فصلنامه علمی- پژوهشی مطالعات اقتصادیِ کاربردی در ایران
سال اوّل، شماره ۱، بهار ۱۳۹۱
صفحات : ۲۲۷- ۱۹۱

شبیه سازی پویای توسعه خودروهای گاز سوز در ایران[۱]

مصطفی دین محمدی*[۱]
زین العابدین صادقی[۲]
رجبعلی صادقیان بافقی[۳]
هما قاسمی[۴]

تاریخ دریافت : ۹۱/۳/۲۲ تاریخ پذیرش : ۹۱/۶/۳

چکیده

این مقاله با ارائه یک مدل سیستم پویا به شبیه‌سازی و بررسی سیاست‌های بلندمدت ناوگان خودروهای گازسوز در دوره زمانی ۱۳۹۰ الی ۱۴۱۰ با استفاده از نرم‌افزار ونسیم می‌پردازد. در انتخاب دو نوع خودرو بنزین‌سوز و گازسوز از طرف خریداران، ویژگی‌هایی از قبیل قیمت خودرو، تعداد جایگاه‌ها، هزینه سوخت و هزینه استهلاک ملاحظه و مدل سازی شده است. نتایج مطالعه نشان می‌دهد روند گسترش خودروهای گازسوز و تعداد جایگاه‌ها با فرض تداوم شرایط سال پایه(۱۳۹۰)، روند رو به افزایشی را خواهند داشت. به طوری که با ادامه وضع موجود در انتهای سال ۱۴۱۰ سهم خودروهای گاز سوز از کل خودروها به۲۷ درصد و تعداد آنها تقریباً به ۱۰ میلیون دستگاه و با متوسط مصرف روزانه ۲۸ میلیون مترمکعب گاز می‌رسد. تحلیل حساسیت مدل نشان می‌دهد که حذف سهمیه‌بندی و آزادسازی قیمت سوخت بنزین و گاز بیشترین اثر در پذیرش خودروهای گازسوز و بالتبع کاهش مصرف بنزین را داراست. با آزاد سازی قیمت‌ها، در انتهای سال ۱۴۱۰، تعداد خودروهای گازسوز نسبت به ادامه سناریوی وضع موجود، حدود ۱۰درصد افزایش می‌یابد ولی متوسط مصرف روزانه گاز با حدود ۷۰ درصد افزایش به۴۸ میلیون مترمکعب می‌رسد و به همین نسبت از مصرف بنزین کاسته می‌شود. تحلیل حساسیت سناریو افزایش سطح اشباع خودرو از ۴۰۰ به ۵۰۰ دستگاه خودرو به ازای ۱۰۰۰ نفر نشان دهنده افزایش تعداد خودرو گازسوز از ۱۰ میلیون به ۱۲میلیون دستگاه در حالت سهمیه‌بندی و به ۲۷ میلیون دستگاه در حالت آزاد سازی قیمت سوخت در سال ۱۴۱۰ است.

کلید واژه: خودروهای گازسوز، سیستم دینامیک، شبیه‌سازی

طبقه بندی JEL : N7, Q4,C63

---

[۱]. این تحقیق با حمایت مالی و همکاری «صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور» انجام پذیرفته است.

۱- استادیار اقتصاد دانشگاه زنجان (نویسنده مسئول)* **Email**: Dinm78@gmail.com
۲- استادیار اقتصاد دانشگاه شهید باهنر کرمان **Email**: Abed_sadeghi@yahoo.com
۳- دانشجوی دکتری مهندسی صنایع دانشگاه صنعتی اصفهان **Email**: Sadeghian110@Gmail.Com
۴- کارشناسی ارشد مهندسی صنایع **Email**: hm_ghasemi2009@yahoo.com

۱- مقدمه

عواملی از قبیل ارزانی گاز طبیعی نسبت به نفت و فرآورده های آن، منابع عظیم گازی موجود در ایران، توسعه یافتگی شبکه گازرسانی در کشور و عدم امکان پرداخت یارانه به بنزین موجب اقبال به گازسوز کردن خودروها در ایران شده است. طبق گزارش انجمن جهانی خودروهای گازسوز (IANGV[1]) تعداد خودروهای گازسوز موجود در ایران در سال ۲۰۰۹، یک میلیون و ۶۶۵ هزار و ۶۰۲ دستگاه گزارش شده است. البته گاز سوز شدن خودروها نیز با مشکلات و موانع متعددی از قبیل عدم اقبال به این نوع وسایل نقلیه توسط مشتریان به علت افت قدرت، مسافت طی شده کمتر نسبت به خودروهای بنزین‌سوز، استهلاک بالا و وزن بیشتر باک برای ذخیره گاز و از سویی عدم توسعه زیرساخت‌های خودروهای گازسوز نظیر تعداد کم جایگاه‌های عرضه گاز به نسبت جایگاه‌های عرضه بنزین و عدم سرمایه‌گذاری گسترده برای انتقال به سوخت گاز در خودروسازی‌ها مواجه هستند.

در این تحقیق با ارائه یک مدل سیستمی پویا به بررسی عوامل موثر بر توسعه ناوگان خودروهای گازسوز سبک و بررسی سیاست های بلندمدت تنوع در ترکیب سوخت بخش حمل و نقل سبک پرداخته می شود. با توجه به ابعاد مدل مسیر مطلوب مورد انتظار توسعه ناوگان خودروهای گازسوز در افق‌های زمانی مدل شبیه سازی و تحلیل می شود.

بخش‌های بعدی این مقاله شامل: مروری بر مطالعات انجام شده، مدل سازی، شبیه‌سازی مدل و استخراج نتایج حاصل از آن، تحلیل حساسیت قیمتی و در بخش پایانی نتایجی که از تحقیق گرفته شده است ارائه خواهد شد.

[1]. International Association For Natural Gas Vehicles

۲- مروری بر مطالعات انجام شده

استفاده از وسایل نقلیه با سوخت گاز طبیعی (NGV[1])، اولین بار در اواسط دهه ۱۹۳۰ میلادی به عنوان جایگزینی برای وسایل نقلیه بنزین‌سوز مطرح شد. پس از بحران نفت در دهه هفتاد میلادی، گسترش خودروهای با سوخت گاز طبیعی شتاب بیشتری گرفت در این قسمت فقط به مطالعاتی اشاره می شود که با ابزار سیستم های پویا به تحلیل توسعه ناوگان خودروهای گازسوز پرداخته اند.

بادگر و جی می[2] (۱۹۹۲) بررسی سهم هر کدام سوخت‌های رایج از قبیل گازطبیعی تا سال ۲۰۴۰ در بازار انرژی کشور نیوزیلند، جونچن لی[3] و همکارانش (۲۰۱۰) بررسی رشد مصرف گاز در کشور چین در سه بخش مصرف صنایع مواد شیمیایی، مصرف صنایع تولید برق و مصرف سوخت صنعت، چیونگ چی[4] و همکارانش (۲۰۰۸) بررسی مدل دینامیکی برای عرضه و تقاضای گاز برای کشور انگلستان در سه بخش اکتشافات، تولید و مصرف و بخش تقاضا، میر[5] (۲۰۰۹) بررسی موانع پیش‌روی صنعت خودرو گازسوز در کشور آمریکا، بالاردین[6] (۲۰۰۹) بررسی موضوع جایگزینی سوخت گاز در بخش حمل و نقل خصوصی ایتالیا، جاسن[7] (۲۰۰۶) بررسی بازار خودرو گازسوز از جمله صنعت خودروسازی و شرکت‌های گاز و هم‌چنین مصرف‌کنندگان و موانع و فرصت‌ها در کشور سوئیس، دی استپ[8] (۲۰۰۹) شناسایی متغیرهایی که در کاهش آلودگی بخش حمل و نقل موثر هستند با استفاده از روابط بازخوردی و حلقه‌های علی معلولی، استرابن[9] (۲۰۰۶)

---

1. Natural Gas Vehicles
2. Patrick S.Bodger and Darryl G.May
3. Junchen Li
4. Kong Chyong Chi
5. Patrick E. Meyer
6. Balardin
7. Arthur Janssen
8. Matthew D. Stepp
9. Jeroen Struben

و استرمن[1] (۲۰۰۶) ارائه یک مدل برای فهم مشکلات و موانع برای انتقال از یک سوخت به سوخت دیگر، ساپل[2] (۲۰۰۸) اجرای مدل دینامیکی استرابن و استرمن برای ایالت کالیفرنیا می‌توان نام برد.

در حوزه گازسوز کردن خودروها در داخل کشور اشرفی(۱۳۸۶) با رویکرد مدل سازی اقتصاد سنجی به بررسی اقتصادی جایگزینی گازطبیعی به جای بنزین و گازوئیل پرداخت و با استفاده از مدل ARIMA برای سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۰ به پیش‌بینی تولید و مصرف سوخت (بنزین و گاز طبیعی) پرداخته است. مطالعه‌ای در ایران با استفاده از رویکرد سیستم پویا، سیاست گاز سوز کردن خودروها را بررسی، تحلیل و شبیه سازی نکرده است.

۳- مدل سازی

در روش سیستم دینامیک، سیستم های پیچیده واقعی توسط بازخوردهای متعدد، تاخیر زمانی، ذخیره‌سازی و از طریق معادلات دیفرانسیل مربوط به هم و توسط دو ابزار ، نمودارهای علی و معلولی و نمودارهای حالت- جریان توصیف می‌شوند. تکنیک سیستم دینامیک از نوع مدل‌های شبیه‌سازی است که امکان مطالعه ساختار و رفتار سیستم‌های پیچیده اقتصادی، اجتماعی، زیستی و فنی را فراهم می‌کند. مدل‌سازی یک فرآیند بازخوردی است و نه یک توالی خطی از مجموعه‌ای از فعالیت‌ها. در قدم اول مدل‌سازی در سیستم دینامیک محدوده و مرز مدل و صورت مسئله تعیین شده سپس در قدم دوم رفتار دینامیک مدل و یا رفتار مرجع متغیرهای مورد نظر بررسی شده (با استفاده از نمودارهای علی و معلولی) و در قدم سوم سیستم فوق شبیه‌سازی شده (با استفاده از

[1]. John D. Sterman
[2]. Derek R. Supple

نمودارهای حالت جریان) و پس از تست مدل و اطمینان از صحت عملکرد مدل، سیاست‌های مختلف مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرند.

قدم اول مدل سازی تعیین محدوده و مرز مدل می‌باشد که با توجه به موضوع به طور ساده می‌توان این طور بیان نمود که خودرو (گازسوز و بنزین سوز)، جایگاه سوخت و دارنده خودرو سه مقوله‌ایی هستند که در این موضوع دخیل هستند و به هم ارتباط دارند. خودروی با توجه به تراکم جمعیت (سطح اشباع[1]) در بازار تقاضا دارد و مشتری با توجه به ویژگی‌های خودرو، خودرو خود را انتخاب و از طرفی نیز خودرو تولیدی نیاز به جایگاه سوخت دارد که رابطه بین این دو به رابطه "مرغ- تخم مرغ[2]" مشهور است. در این رابطه به این موضوع پرداخته می‌شود که کدام یک مهم‌تر است و ابتدا باید به آن پرداخته شود. پس می‌توان مرز مدل را به چهار بلوک تولید خودرو، ناوگان خودرو بنزینی و گازی، بخش جایگاه‌ها و بخش انتخاب مشتری تقسیم نمود که در شکل ۱ نشان داده شده است.

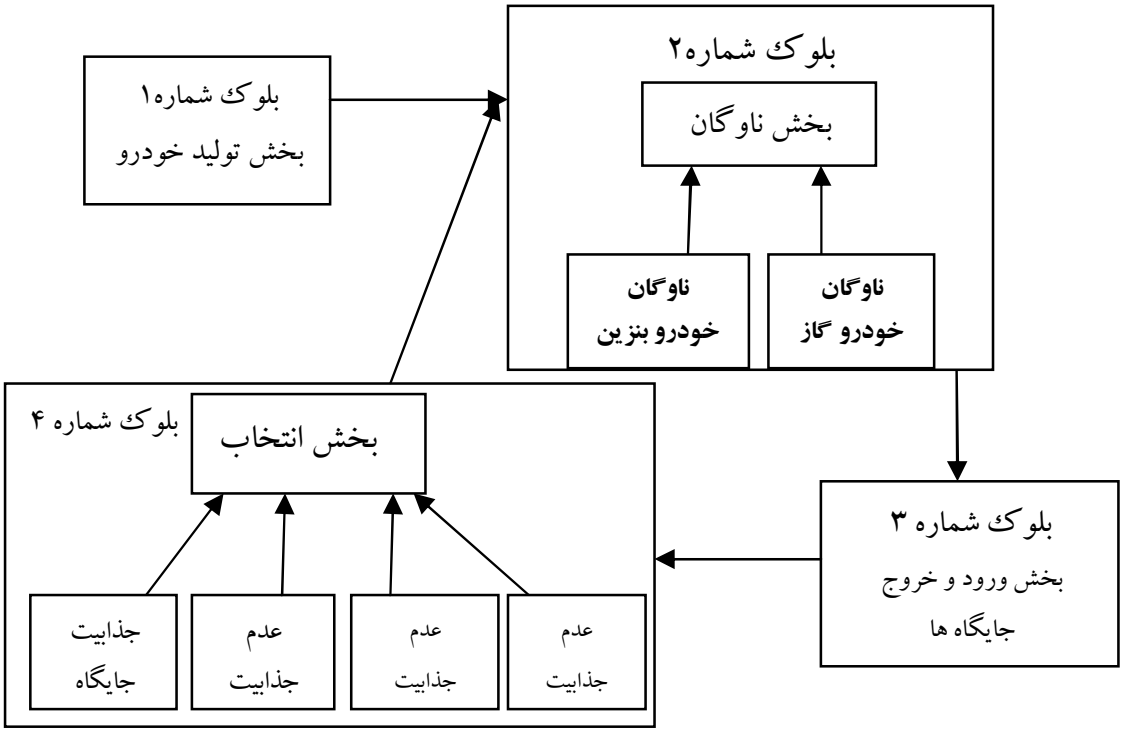
در بخش تولید خودرو، تولید خودرو بر حسب مالکیت تولید حد می خورد. مشتری نیز با توجه به چهار عامل جذابیت جایگاه سوخت، قیمت ماشین، هزینه سوخت و استهلاک خودرو اقدام به انتخاب خودروی بنزینی و یا گازی می‌کند. از طرفی خودروهای گازسوز با مصرف گاز بر بخش جایگاه‌ها تأثیر گذاشته و نحوه ورود و خروج جایگاه‌ها را تعیین می‌نمایند و با افزایش تعداد خودروهای گازسوز، تقاضا برای گاز و در نتیجه جایگاه‌ها بیشتر شده که با احداث جایگاه‌های جدید به عرضه گاز مصرفی مورد نیاز

---

1. Saturation Point
2. Chicken-Egg

مسئله مرغ تخم‌مرغ به این اشاره می‌کند که ابتدا کدام یک بوده‌اند مرغ یا تخم‌مرغ مثلاً آیا ابتدا باید مسئله خریدن اتومبیل گازسوز را مد نظر داشت یا مسئله جایگاه‌های سوخت را، زیرا برای جایگاه‌ها باید ماشین‌ها باشند تا کار کنند و خریدار ماشین نیز این مسئله را قبل از خرید مدنظر دارد که جایگاه سوخت وجود دارد یا خیر (Sterman & Struben, 2007).

مشتریان می‌پردازند. عرضه بیشتر گاز و افزایش تعداد جایگاه‌ها بر جذابیت جایگاه‌ها از نظر مشتریان خرید خودرو گازسوز تاثیر گذاشته به این صورت که با افزایش تعداد جایگاه‌ها و عرضه بیشتر گاز و محدود نبودن عرضه گاز جذابیت جایگاه بیشتر شده و مشتریان ترغیب به خرید خودروهای گازسوز می‌شوند.



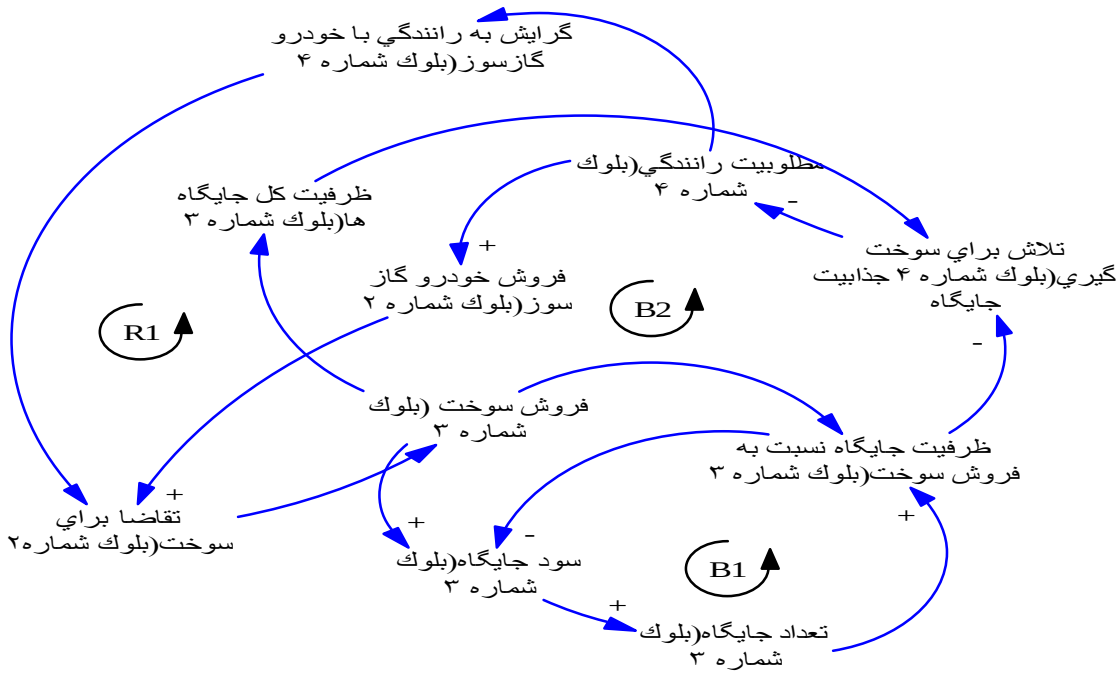
شکل ۱. چهارچوب نظری مدل

۳-۱- حلقه علی معلولی

همانطور که اشاره شد در قدم دوم رفتار دینامیک مدل و یا رفتار مرجع متغیرهای مورد نظر بررسی شده را با استفاده از نمودارهای علی و معلولی نشان داده خواهد شد. دینامیک هر مدل پیچیده توسط دو نوع بازخورد شناخته و پیاده‌سازی شده است. بازخورد مثبت (تقویت کننده[1]) و بازخورد منفی (یا متعادل کننده[2]). به طور کوتاه بازخورد مثبت

[1]. Reinforcing
[2]. Balancing

حلقه‌های بازخوردی به این صورت است که افزایش در یک پارامتر در حلقه باعث افزایش در همان جهت در پارامترهای درون حلقه خواهد شد. در بازخورد منفی افزایش در یکی از پارامترها باعث کاهش در پارامترهای یکسان درون حلقه خواهد شد. در قسمت زیر به بررسی این نوع حلقه های بازخوردی پرداخته خواهد شد.



شکل ۲. حلقه علی و معلولی کل

- حلقه R1 (حلقه تقویتی با افزایش تقاضای خودرو گازسوز):

با افزایش تولید خودرو (بلوک شماره ۱) و به تبع آن افزایش تعداد خودروهای گازسوز (بلوک شماره۲ بخش ناوگان خودرو های گازسوز) تقاضا برای سوخت گاز بیشتر شده و در نتیجه فروش این نوع سوخت افزایش می‌یابد و این میسر نمی‌شود مگر اینکه تعداد جایگاه مناسب برای عرضه گاز در اختیار باشد (بلوک شماره ۳ بخش ورود و خروج جایگاه‌ها) و در نتیجه فروش این نوع سوخت باعث ورود و افزایش تعداد جایگاه‌ها و در نتیجه تلاش برای پیدا کردن جایگاه برای سوخت‌گیری کاهش (جذابیت جایگاه بلوک شماره ۴) و در نتیجه مطلوبیت رانندگی با این نوع ماشین افزایش (بلوک

شماره ۴ بخش انتخاب خودرو از طرف مشتریان) و در پی آن تقاضا برای خودرو گازسوز بیشتر (بلوک شماره ۲) و در پی آن افزایش تقاضای سوخت افزایش می‌یابد.

- حلقه B1 (نقطه تعادل عرضه سوخت گاز طبیعی):

با افزایش فروش گاز در جایگاه‌ها، سود جایگاه‌ها افزایش و در نتیجه زمینه برای ورود جایگاه‌های جدید به بازار افزایش یافته اما این افزایش در جهت کاهش سود جایگاه‌ها حرکت می‌نماید زیرا تعداد جایگاه‌ها افزایش و سود تقسیمی بین جایگاه‌ها کاهش می‌یابد و در نتیجه بازار عرضه گاز به سمت به تعادل کشیدن عرضه و تقاضا کشیده خواهد شد. در این حلقه به طور کلی رابطه درونی بخش ورود و خروج جایگاه‌ها است. البته نکته قابل توجه این است که افزایش فروش سوخت خود بسته به افزایش تعداد خودروها است که در حلقه R1 توضیح داده شد.

- حلقه B2 (حلقه تضعیف کننده با کاهش تقاضای خودرو گازسوز):

همان‌طور که در حلقه R1 مشاهده شد افزایش تقاضا برای سوخت گاز باعث افزایش مطلوبیت رانندگی این نوع خودروها شد. اما در جهت دیگر با افزایش فروش سوخت گاز ظرفیت کل جایگاه‌ها نسبت به فروش کاهش و در نتیجه تلاش برای سوخت‌گیری افزایش می‌یابد و در پی آن مطلوبیت رانندگی با این نوع خودروها کاهش و در نتیجه فروش این نوع خودروها کاهش می‌یابد. در این حلقه بر عکس حلقه R1 افزایش فروش گاز در جهت منفی حرکت می‌نماید که به "اثر بازگشتی[1]" شناخته شده است. اثر بازگشتی به وضعیتی اشاره دارد که در آن افزایش فروش سوخت گاز اگر جایگاه‌ها به قدرکافی

[1]. Rebound Effect

توسعه نیابند باعث افزایش زمان سوخت‌گیری و بالتبع کاهش مطلوبیت رانندگی با این نوع خودروها خواهد شد.

۳-۲- شبیه‌سازی مدل

۳-۲-۱- مدل سازی تولید خودرو (بلوک شماره ۱):

- **مدل سازی بخش جمعیت**

در مدل‌سازی بخش جمعیت این فروض در نظر گرفته شده است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۰).

- ✓ جمعیت سال پایه ۷۵ میلیون نفر در نظر گرفته شده است.
- ✓ متوسط نرخ رشد سالانه جمعیت در دوره ۱.۳ درصد در نظر گرفته شده است.

- **مدل سازی مالکیت خودرو**

مالکیت خودروها عمولاً به صورت مالکیت خودرو در هر ۱۰۰۰ نفر جمعیت در نظر گرفته می‌شود تا با در نظر گرفتن یک نقطه اشباع بتوان مدل را به صورت لجستیک[1] یا S شکل در نظر گرفت و تعداد خودروها را برای آینده پیش‌بینی نمود.

همان‌طور که در شکل زیر نشان داده شده است نمودار S شکل یا لجستیک تعداد خودروها به ازای ۱۰۰۰ نفر به سه فاز اصلی تقسیم خواهد شد:

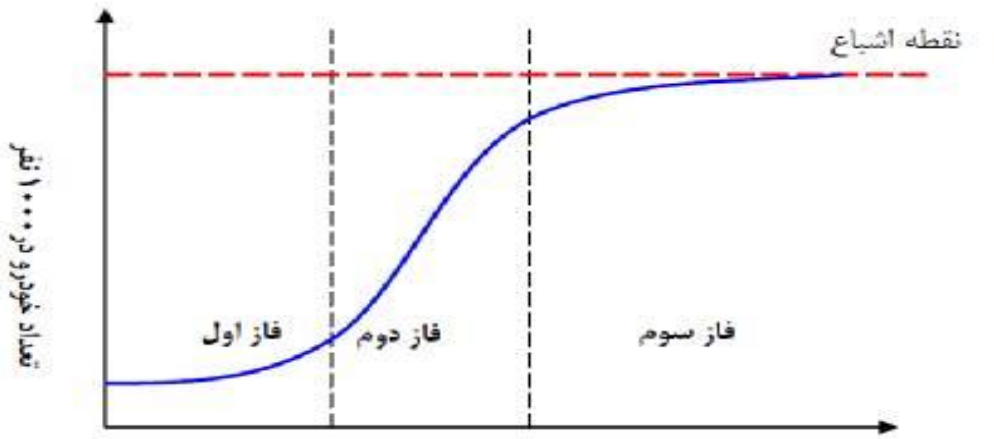
۱- فاز اول که در آن رشد به صورت مثبت و سریع صورت می‌پذیرد.

۲- فاز دوم که همانند فاز اول دارای رشد مثبت است اما در نقطه عطف نمودار این رشد مثبت روند کاهشی را به خود خواهد گرفت و رشد خودروها با رشد کاهشی روبرو خواهد شد.

[1]. Logistic

۳- فاز سوم که در آن رشد به صورت مثبت اما خیلی ضعیف است و به حد صفر نزدیک می‌شود اما منفی نخواهد شد.

روند رشد تعداد خودروها در هر ۱۰۰۰ نفر جمعیت در هر کشوری الگوی رفتاری خاص خودش را داراست. چرا که این متغیر تحت تاثیر متغیرهای متعدد اقتصادی، جمعیتی، جغرافیایی و زیرساختی قرار دارد. کشورهای در حال توسعه مانند ایران، چین، هند، در فاز اول این نمودار و یا در ابتدای فاز دوم این نمودار قرار دارند. براساس آمار مربوط به سال ۲۰۱۰ ایران از نظر شاخص سرانه خودرو که همان تعداد خودرو به ازای هر هزار نفر است، در بین ۱۳۸ کشور جهان با عدد ۱۷۵ دستگاه در رده ۶۱ قرار گرفته است. در این تحقیق سطح اشباع ۴۰۰ خودرو به ازای ۱۰۰۰ نفر برای کشور ایران در افق ۱۴۱۰ در نظر گرفته شده است.



شکل۳. نمودار سطح اشباع خودرو به ازای ۱۰۰۰ نفر جمعیت

۳-۲-۲- مدل سازی بخش ناوگان خودرو (بلوک شماره ۲):

همان‌طور که در بلوک اول توضیح داده شد ناوگان خودرو به دو ناوگان خودروهای دوگانه‌سوز و بنزین‌سوز تقسیم می‌شود. در این بخش فرایند افزایش (با ملاحظه ورود و خروج خودروها) خودروها را در دو بخش خودروهای شخصی و تاکسی‌ها بررسی می‌نماییم.

- مدل سازی خودرو شخصی:

طبق آمار ارائه شده در سال ۱۳۹۰، ۱۴میلیون خودرو در سطح کشور در حال تردد هستند که ۱۲میلیون از این تعداد، خودروهای شخصی هستند و بر اساس سن این خودروها به صورت جدول زیر می‌باشند از ۱۲ میلیون خودرو شخصی در حدود ۲/۵ میلیون خودرو گازسوز (دوگانه‌سوز) وجود دارد. البته سهم خودروهای دولتی سهم ناچیزی از سهم کل خودروها را داراست که در این تحقیق در نظر گرفته نشده است (شرکت بهینه سازی مصرف سوخت کتاب اطلاعات حمل و نقل و انرژی کشور، ۱۳۸۸).

سن	درصد
بین ۱ تا ۵ سال	۵۰/۸۴
بین ۶ تا ۱۰ سال	۲۵/۶۱
بین ۱۱ تا ۱۵	۷/۱۶
بین ۱۶ تا ۲۰	۳/۱۹
بین ۲۱ تا ۲۵	۱/۹۰
۲۶ به بالا	۱۱/۳۰

جدول ۱. تقسیم بندی خودروها بر اساس طبقه بندی سن

سن از رده خارج شدن خودروها ۲۶ سال به بالا در نظر گرفته شده است[1] و در نتیجه برای ساده‌تر شدن مدل فقط برای خودروهای ۲۶ سال به بالا نرخ خارج شدن از رده در نظر گرفته شده است.

[1]. این سن و از رده خارج شدن اتومبیل ها توسط مدیریت حمل و نقل و سوخت کشور ارائه شده است.

✓ نرخ از رده خارج شدن:

بر اساس آمارهای ارائه شده است سال ۱۳۷۸، ۹۷۸۸ دستگاه از رده خارج شده است و این رقم در سال ۱۳۸۸ به عدد ۱۲۷۴۰۸ دستگاه رسیده است (شرکت بهینه سازی مصرف سوخت: اطلاعات حمل و نقل و انرژی کشور، ۱۳۸۸). پس برای تعیین نرخ از رده خارج شدن خودروها از فرمول ساده و کلی زیر استفاده می‌شود و نرخ از رده خارج شدن محاسبه می گردد زیرا که با توجه به روندی که نشان داده است روند از رده خارج شدن دارای روند صعودی است.

$$p = p_0 * e^{\alpha t}$$

که p جمعیت خودرو اسقاطی در سال ۱۳۸۸ و p_0 جمعیت خودرو اسقاطی در سال ۱۳۷۸ و t زمان بین دو جمعیت است که در اینجا مقدار ۱۰ را داراست و α نرخ از رده خارج شدن است که در اینجا با توجه به داده‌های داده شده عدد ۲۵۶۶. بدست آمده‌است.

- *بخش مدلسازی تاکسی ها :*

با توجه به آمارهای ارئه شده در مجموع حدوداً ۳۹۲/۲۷۲ دستگاه سواری تحت عنوان تاکسی و مسافربرهای شخصی و غیره در امور حمل و نقل درون‌شهری فعال می‌باشند که حدود ۹۰ درصد تاکسی‌ها گازسوز شده‌اند و بقیه هم به خاطر فرسودگی گازسوز نشده‌اند (مستندات شرکت گازخودرو، ۱۳۹۰).

✓ مدل سازی تولید تاکسی:

همان‌طور که در بخش‌های قبل ذکر شد تولید خودرو در کشور به ازای ۱۰۰۰ نفر جمعیت در نظر گرفته شد. اما در این بخش تولید تاکسی را بر این مبنا در نظر گرفته شده است که نسبت این نوع خودرو ها به کل خودروها در طول دوره شبیه‌سازی یکسان باشد که به علت نداشتن حد اشباع تاکسی‌ها از تخمین بیش از حد این نوع خودروها جلوگیری

به عمل خواهد آمد. سن از رده خارج شدن تاکسی‌ها با توجه به قانون کشوری ۱۵ سال در نظر گرفته شده است. بنابراین تاکسی‌ها بر اساس سنشان به ۴ گروه سنی تقسیم شده‌اند که همانند خودروهای شخصی بر حسب درصد به صورت جدول زیر است.

سن	درصد
بین ۱ تا ۵ سال	۵۰/۸۴
بین ۶ تا ۱۰ سال	۲۵/۶۱
بین ۱۱ تا ۱۵ سال	۷/۱۶
بین ۱۶ تا ۲۰ سال	۱۶/۳۹

جدول ۲. تقسیم بندی تاکسی ها بر اساس طبقه بندی سن

۳-۲-۳- مدل سازی بخش جایگاه سوخت رسانی(بلوک شماره ۳):

همان‌طور که می دانیم یکی از ابعاد مسئله "مرغ-تخم مرغ" قسمت جایگاه‌ها است که در این بخش به مدل سازی نحوه ورود و خروج به بازار این مقوله پرداخته شده است.

موارد ملاحظه شده در مدل:

۱- طبق آمار موجود در ۱۳۸۹ تعداد جایگاه بهره‌برداری شده برابر ۱۶۹۰ جایگاه و تعداد جایگاه‌های در دست ساخت برابر با ۵۷۰ عدد است و تعداد جایگاه‌های در حال طراحی و ارزیابی نیز بسته به شرایط ورود به بازار سنجیده خواهد شد و در قسمت ورود به بازار توضیح داده شده است (مستندات شرکت گازخودرو، ۱۳۹۰).

۲- بخش دولتی سالانه توانایی ساختن حداکثر ۵۰۰ ایستگاه گاز را داراست.

۳- زمان لازم برای طراحی و ارزیابی و مکان یابی در حدود یک سال و نیم، و زمان ساخت یک جایگاه در حدود ۷ ماه در نظر گرفته شده است.

۴- شرکت‌های بهره‌بردار جایگاه‌ها نیز وقتی در یک جایگاه سوخت‌رسانی گاز سرمایه‌گذاری می‌کنند که سود مورد انتظار آنها از یک سطح حداقلی بیشتر باشد که در این مطالعه نرخ سود حداقل ۱۵ درصد در نظر گرفته شده است. به همین منظور در این قسمت به معرفی متغیرهایی که در ورود و خروج جایگاه ها دخیل هستند پرداخته می‌شود:

- *ورود به بازار:*

همانطور که گفته شد برای ورود به بازار دو نکته را باید در نظر گرفت.

۱- سود ده بودن جایگاه.

۲- اخذ پروانه کسب و مجوزهای لازم از دولت.

سود ده بودن یک جایگاه از محاسبه درآمدهای یک جایگاه منهای هزینه‌هایش بدست می‌آید.در ایران تنها راه درآمد یک جایگاه سوخت‌رسانی گاز از طریق فروش گاز به خودروهای گازسوز حاصل می‌شود. مقدار گاز فروخته شده هر جایگاه نیز از تقسیم مقدار کل گاز فروخته شده بر تعداد ایستگاه‌ها بدست می‌آید.

هزینه‌های یک جایگاه نیز به دو صورت است:

۱- هزینه‌های ثابت از قبیل تجهیزات و انشعابات برق و گاز و احداث ابنیه و ...

۲- هزینه های متغیر از قبیل گاز و برق مصرفی و بیمه و تعمیرات و استهلاک جایگاه و ...

که هزینه های ثابت به صورت جدول زیر است (مستندات شرکت گازخودرو،۱۳۹۰).

ردیف	شرح هزینه ثابت	ریال
۱	تجهیزات	۴۵۰۰۰۰۰۰۰۰
۲	انشعابات(برق و گاز)	۸۰۰۰۰۰۰۰۰
۳	احداث ابنیه	۲۵۰۰۰۰۰۰۰۰
۴	مدیریت و نظارت بر مهندسی، احداث و تأمین تجهیزات	۷۸۰۰۰۰۰۰۰
	جمع کل	۸۵۸۰۰۰۰۰۰۰

جدول ۳. هزینه‌های ثابت یک جایگاه گاز به قیمت سال ۱۳۹۰

نکته: زمین از طرف شهرداری و یا ارگان‌های دیگر تأمین می‌شود لذا هزینه‌ایی برای تأمین زمین لحاظ نشده است.

برای مدل سازی هزینه‌های ثابت، هزینه ثابت در مدل به صورت یکجا و به صورت یکساله در نظر گرفته نشده است بلکه به صورت یک دوره بازگشت سرمایه در نظر گرفته شده است که این دوره، یک دوره ۱۰ ساله است و هزینه‌های ثابت در این دوره ۱۰ ساله بازپرداخت خواهد شد. هزینه‌های متغیر نیز بر اساس جدول زیر است:

ردیف	هزینه متغیر	ریال بر متر مکعب
۱	فیش گاز مصرفی	۸۹
۲	فیش برق مصرفی	۳۹.۵
۳	حقوق و دستمزد، لباس و کفش کار و بیمه	۵۰
۴	بیمه جایگاه	۵
۵	تعمیر و نگهداری و لوازم یدکی	۴۳
۶	متفرقه	۱۳
۷	هزینه های بالاسری	۱۲
۸	استهلاک جایگاه	۳۷
	جمع کل	۲۸۸.۵

جدول ۴. هزینه‌های متغیر یک جایگاه

و هم‌چنین مالیات بر سود که در این مطالعه ۵ درصد است در نظر گرفته شده است (مستندات شرکت گازخودرو، ۱۳۹۰).

عامل مهم دیگر علاوه بر سود که در ورود یک جایگاه به بازار نقش دارد نقش دولت در اعطای پروانه کسب و جواز حضور در بازار است؛ که با توجه به برنامه توسعه که دولت در نظر گرفته است، تعیین می‌گردد. تعداد جایگاه مورد نیاز کشور توسط دولت بر اساس استانداردهای جهانی تعداد جایگاه‌ها به ازای هر ۱۰۰۰ خودرو گازسوز، یک عدد جایگاه است تعیین می‌شود این ملاک معیار دولت در اعطای مجوز می‌باشد. از آن جایی که احداث جایگاه‌ها به عهده دولت است دولت سالانه ۵۰۰ جایگاه را احداث می‌نماید. اگر تعداد جایگاه مورد نیاز از تعداد جایگاه در حال حاضر بیشتر باشد در آن صورت دولت اجازه خواهد داد تا جایگاه‌داران وارد بازار شوند در غیر این صورت اعطای جواز غیرممکن خواهد بود.

- *خروج از بازار:*

در این تحقیق فرض شده است خروج از بازار به معنای تعطیلی موقت جایگاه‌دار است و به معنای خروج به صورت کامل نیست. از آن جایی که دولت فقط در اعطای مجوزهای لازم نقش دارد در خروج از بازار تنها سود ده بودن جایگاه نقش اساسی را ایفا نموده و اثرگذار خواهد بود و همانند شرایط ورود به بازار اگر سود جایگاه‌دار حداقل به میزان ۱۵ درصد هزینه‌هایش نباشد جایگاه موقتاً تعطیل خواهد شد.

۳-۲-۴- مدل سازی بخش انتخاب مشتریان(بلوک شماره ۴):

مشتریان از بین خودروهای تولید شده با توجه به چهار ویژگی هزینه سوخت، هزینه استهلاک، قیمت ماشین و تعداد جایگاه‌ها به انتخاب خودرو مورد نظر خود می‌پردازند. که در این تحقیق این انتخاب توسط تابع لاجیت صورت می‌پذیرد.

- *مدل انتخاب لاجیت:*

در مدل لاجیت به جای شناختن یک گزینه به عنوان حق انتخاب به هر گزینه احتمال انتخاب داده خواهد شد و احتمال انتخاب یک نوع گزینه (در اینجا یک نوع وسیله نقلیه) بوسیله احتمال این که این نوع وسیله مطلوبیت بیشتری نسبت به محصولات دیگر را دارد انتخاب می‌شود و فرمول آن به شکل زیر است:

$$P(j/J) = \frac{e^{uj}}{\sum_{j\varepsilon J} e^{uj}} \qquad (۱)$$

که در آن j به معنای یک نوع محصول از بین محصولاتی است که می‌توان انتخاب نمود (در این تحقیق دو نوع محصول بنزین‌سوز و گازسوز مد نظر است) و uj تابع مطلوبیت می‌باشدکه به صورت یک تابع خطی و به صورت زیر است.

$$\text{Uj}=\alpha 1fj + \alpha 2pj + \alpha 3sj + \alpha 4dj \qquad (۲)$$

نکته قابل توجه در این مطلوبیت‌ها در این است که جمع چهار گزینه قیمت به علاوه تعداد جایگاه و هزینه سوخت و استهلاک قابل جمع نبوده زیرا این چهار گزینه هم واحد نیستند. برای رفع این مشکل، جذابیت انتخاب ها نرمال سازی و در نتیجه بدون واحد در نظر گرفته خواهند شد در این مقاله این تابع به صورت تابعی خطی از چهار متغیر اصلی زیر است:

۱- عدم جذابیت قیمت ماشین (pj)

۲- عدم جذابیت هزینه سوخت (fj)

۳- عدم جذابیت نگهداری و استهلاک (dj)

۴- جذابیت در دسترس بودن سوخت (پراکندگی جایگاه) (sj)

مطلوبیت ماشین بنزین‌سوز (u1) = عدم جذابیت قیمت خودرو بنزینی+ عدم جذابیت هزینه سوخت+ عدم جذابیت نگهداری و استهلاک + جذابیت در دسترس بودن سوخت (پراکندگی جایگاه‌های بنزینی).

مطلوبیت ماشین گازسوز(u2) = عدم جذابیت قیمت ماشین گازسوز + عدم جذابیت هزینه سوخت + عدم جذابیت نگهداری و استهلاک + جذابیت در دسترس بودن سوخت(پراکندگی جایگاه‌های گازی).

در این صورت فرمول لاجیت احتمال انتخاب خودرو به صورت زیر تبدیل می شود:

احتمال انتخاب ماشین بنزین‌سوز $=\frac{e^{u1}}{e^{u1}+e^{u2}}$

احتمال انتخاب ماشین بنزین سوز $=\frac{e^{u2}}{e^{u1}+e^{u2}}$

هم‌چنین در این تحقیق ضرایب $\alpha 1$ و $\alpha 2$و $\alpha 3$ و $\alpha 4$ با هم مساوی و برابر۱ فرض شده اند یا به عبارت دیگر چهار متغیر مورد نظر دارای اثر یکسانی هستند.

- *مدل عدم جذابیت قیمت ماشین گاز سوز و بنزینی:*

به طور متوسط قیمت ماشین گازسوز در حدود۱ میلیون تومان بیشتر از نوع بنزین‌سوز آن است (مستندات شرکت گازخودرو، ۱۳۹۰). همان‌طور که در بخش انتخاب مدل مشتریان نیز ذکر شد برای تعیین اثر قیمت، این اثر تبدیل به عدم جذابیت قیمت خواهد شد. عدم جذابیت این نوع وسیله نیز به صورت ساده و به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$\text{عدم جذابیت قیمت ماشین گازسوز}=\frac{\text{قیمت ماشین گازسوز}}{\text{قیمت ماشین بنزین‌سوز + قیمت ماشین گازسوز}}$$

$$\text{عدم جذابیت قیمت ماشین بنزین سوز}=\frac{\text{قیمت ماشین بنزین‌سوز}}{\text{قیمت ماشین بنزین‌سوز + قیمت ماشین گازسوز}}$$

یعنی این که تفاوت قیمتی دو نوع ماشین مدنظر گرفته خواهد شد و ضمناً با توجه به فرمول بالا، عدم جذابیت قیمت خودرو بدون واحد خواهد شد که در فرمول انتخاب لاجیت اثر خود را به صورت یکسان نسبت به دو گزینه هزینه سوخت و جذابیت جایگاه خواهد گذاشت.

- *مدل جذابیت جایگاه ها:*

تعداد ایستگاه‌های سوخت‌رسان بنزینی ۱۲۱ هزار واحد در نظر گرفته شده است. نرخ ورود این جایگاه‌ها متناسب با تولید خودروها لحاظ شده است و بدین صورت است که به ازای هزار خودرو، یک ایستگاه سوخت رسانی وجود دارد و محدودیتی در ساخت آن وجود ندارد و تعداد جایگاه‌های گاز نیز از بخش ورود و خروج جایگاه‌ها محاسبه خواهد شد. جذابیت جایگاه‌ها نیز به صورت ساده و به صورت زیر در نظر گرفته شده است.

$$\text{جذابیت جایگاه گازی} = \frac{\text{تعداد جایگاه گازی}}{\text{تعداد جایگاه گازی + تعداد جایگاه بنزینی}}$$

$$\text{جذابیت جایگاه بنزینی} = \frac{\text{تعداد جایگاه بنزینی}}{\text{تعداد جایگاه گازی + تعداد جایگاه بنزینی}}$$

در رابطه بالا نیز جذابیت جایگاه بدون واحد شده‌است.

- *مدل هزینه سوخت:*

برای محاسبه هزینه سوخت سالانه ماشین‌های بنزینی و گازی رویه کار به این صورت است که دو حالت وجود دارد:

۱- سهمیه‌بندی بنزین (سناریو پایه وضع موجود است): در این حالت با توجه به شواهد موجود ابتدا شخص دارنده ماشین بنزینی و گازی به مصرف بنزین (سهمیه‌ای)خود خواهد پرداخت و سپس اگر ماشین بنزینی بود به مصرف بنزین با قیمت آزاد خواهد پرداخت و اگر دوگانه‌سوز گازی باشد به مصرف گاز می‌پردازد. البته مبنای هزینه سوخت

سالانه هر ماشین نیز بر اساس پیمایش و مصرف سوخت به ازای ۱۰۰ کیلومتر در نظر گرفته شده است، به عنوان مثال ماشین‌های شخصی به طور متوسط سالانه ۲۰ هزار کیلومتر پیمایش دارند که با توجه به مصرف سوخت به ازای ۱۰۰ کیلومتر و سهمیه‌بندی ابتدا بنزین سهمیه خود را مصرف نموده که با این مقدار سهمیه‌بندی پیمایشی صورت می‌پذیرد و پیمایش باقی مانده که نیاز به سوخت را دارد با توجه به بنزین آزاد یا گاز طی خواهند کرد.

۲- بدون سهمیه‌بندی بنزین (سناریوهای تغییر قیمت): در این حالت چون قیمت‌ها تغییر نموده است مصرف کننده با توجه به قیمت به مصرف سوخت مورد نظر خود خواهد پرداخت یعنی اگر یک شخص دارنده خودرو دوگانه‌سوز باشد با در نظر گرفتن قیمت‌ها، آن سوختی که ارزانتر است را انتخاب و مصرف می‌نماید.

توضیحات و مفروضات:

۱- به طور متوسط میزان مسافت طی شده یک خودرو شخصی در ایران ۲۰ هزار کیلومتر است در حالی‌که این مقدار برای تاکسی‌ها به میزان ۷۰ هزار کیلومتر است (شرکت بهینه سازی مصرف سوخت کتاب اطلاعات حمل و نقل و انرژی کشور، ۱۳۹۰).

۲- به علت سهمیه‌بندی بنزین ماشین‌های گازسوز (دوگانه سوز) در استفاده از بنزین دارای محدودیت هستند و سالانه ۷۲۰ لیتر مصرف سوخت بنزین برای خودرو های شخصی و ۶۰۰۰ لیتر برای تاکسی‌های بنزین سوز و ۳۶۰۰ لیتر برای تاکسی های دوگانه سوز در نظر گرفته شده است.

۳- در این تحقیق فرض بر آن شده است که با توجه به شواهد موجود در سناریوی پایه شخص دارنده ماشین دوگانه سوز ابتدا کل سهمیه بنزین خود را مصرف نموده و

سپس رو به مصرف گاز خواهد آورد. در نتیجه کل مسافتی که می‌توان بوسیله سوخت بنزین طی نمود از مسافت طی شده توسط ماشین‌های گازسوز کم شده است.

۴- در این تحقیق قیمت هر لیتر بنزین سهمیه ای ۴۰۰ تومان و قیمت بنزین آزاد ۷۰۰ تومان و قیمت هر متر مکعب گاز ۳۰۰ تومان در نظر گرفته شده است.

۵- میزان سوخت مصرفی ماشین‌ها در ۱۰۰ کیلومتر در سال پایه ۷/۹۳ لیتر به ازای ۱۰۰ کیلومتر در نظر گرفته شده است و در انتهای دوره شبیه‌سازی توجه به پیشرفت فناوری مصرف سوخت خودروها به عدد ۳ لیتر در ۱۰۰ کیلومتر خواهد رسید (شرکت بهینه سازی مصرف سوخت کتاب اطلاعات حمل و نقل و انرژی کشور، ۱۳۹۰).

میزان مصرف اولیه گاز در سال ۱۳۹۰، ۱۷ میلیون متر مکعب در روز و میزان مصرف بنزین نیز ۶۰ میلیون لیتر در نظر گرفته شده است

- *مدل هزینه استهلاک*

هزینه استهلاک ماشین دوگانه‌سوز ۱۵ درصد بیشتر از نوع بنزین‌سوز در نظر گرفته شده است.

$$\text{عدم جذابیت استهلاک ماشین گازسوز} = \frac{\text{هزینه استهلاک ماشین گازسوز}}{\text{هزینه استهلاک ماشین بنزین سوز + هزینه استهلاک ماشین گازسوز}}$$

$$\text{عدم جذابیت استهلاک ماشین بنزین سوز} = \frac{\text{هزینه استهلاک ماشین بنزین سوز}}{\text{هزینه استهلاک ماشین بنزین سوز + هزینه استهلاک ماشین گازسوز}}$$

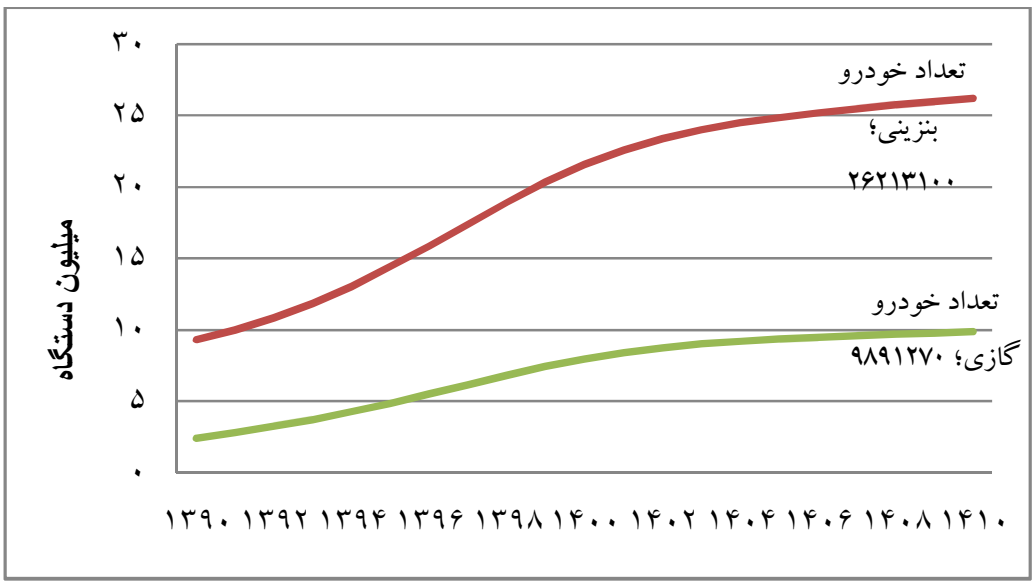
در این قسمت نیز همانند قسمت‌های قبل تفاوت قیمت ناشی از هزینه استهلاک مدنظر قرار گرفته‌است یا به عبارت دیگر در فرمول بالا هزینه استهلاک ماشین بنزین‌سوز اگر ۱۰۰ در نظر گرفته شود هزینه استهلاک ماشین گاز سوز ۱۱۵ در نظر گرفته خواهد شد.

۳-۲- ۵- نتایج شبیه سازی

شبیه‌سازی برای یک دوره بیست ساله و از سال ۱۳۹۰ الی ۱۴۱۰ و توسط نرم افزار ونسیم صورت پذیرفته است.

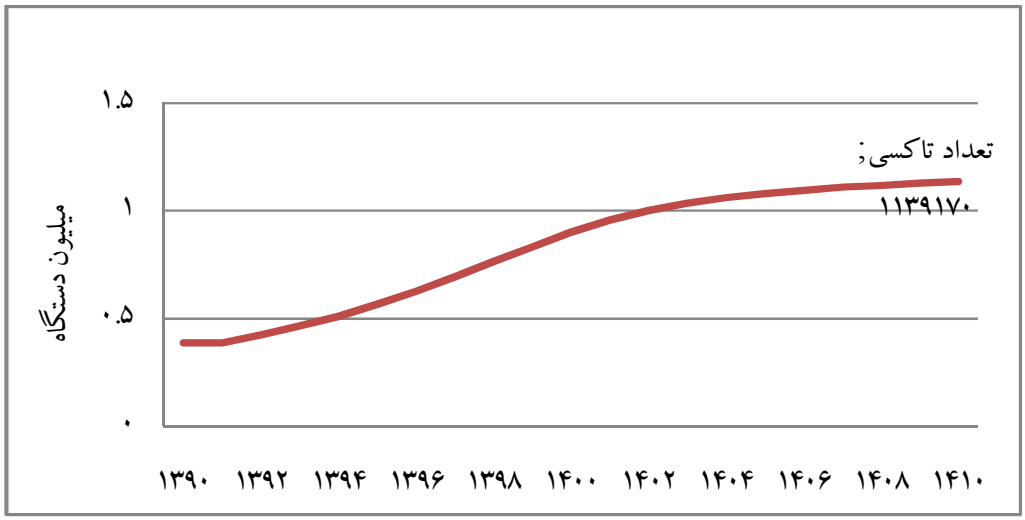
۳-۲-۵-۱- شبیه‌سازی تعداد خودرو:

همان‌طور که در شکل زیر مشخص شده است روند ورود خودروهای بنزینی و دوگانه‌سوز شخصی روند صعودی را داراست و تعداد خودرو گازسوز از ۲/۵ میلیون دستگاه به ۱۰ میلیون دستگاه خواهد رسید و تعداد خودروهای بنزینی نیز از ۹/۳ میلیون دستگاه به ۲۶ میلیون دستگاه خواهد رسید و در سال ۱۴۱۰ نزدیک به سطح اشباع ۴۰۰ خودرو به ازای ۱۰۰۰ نفر خواهد رسید.



نمودار شماره ۱. تعداد خودرو بنزین سوز و گاز سوز (دستگاه) در سناریو پایه

تعداد تاکسی‌ها نیز از ۳۹۰ هزار دستگاه به عدد ۱۱۳۹۱۷۰ دستگاه خواهد رسید.

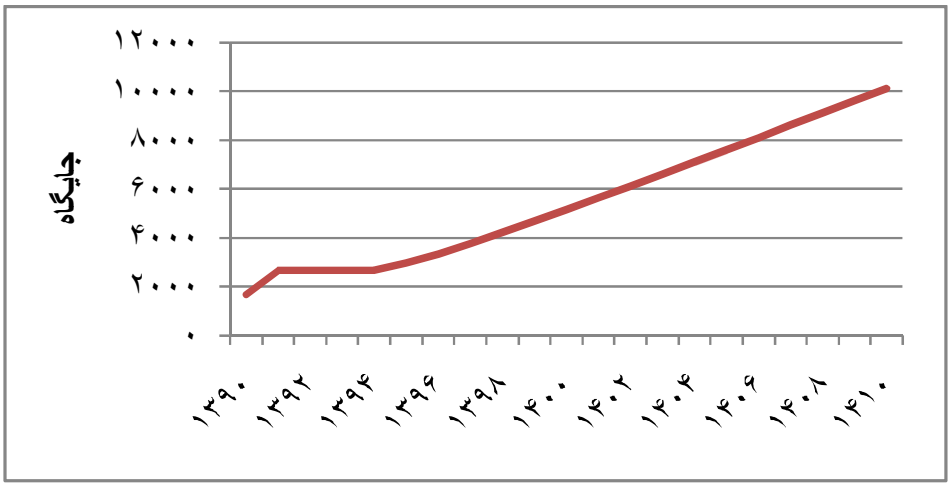


نمودار شماره ۲. تعداد کل تاکسی (دستگاه) در سناریو پایه

که از این تعداد، در سناریوی پایه، تعداد خودرو گازسوز از ۳۵۰ هزار دستگاه به ۴۰۲ هزار دستگاه خواهد رسید و بقیه که بنزین‌سوز هستند نشان‌دهنده این واقعیت است که با شرایط سناریو پایه از جمله پیمایش ۷۰ هزار کیلومتر در سال مشتریان علاقه‌مند به تاکسی‌های بنزینی تا تاکسی‌های گازسوز خواهند بود.

۳-۲-۵-۲- شبیه‌سازی تعداد جایگاه گاز رسانی

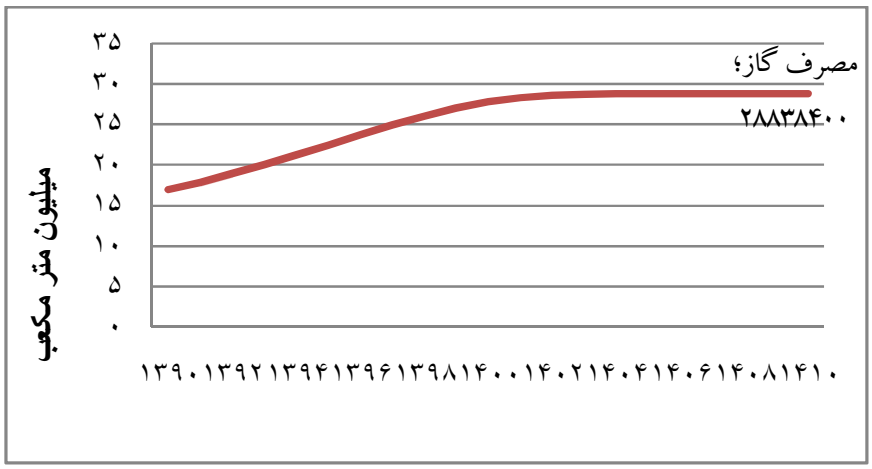
همان‌طور که در شکل زیر نشان داده شده است تعداد جایگاه‌های سوخت‌رسانی گاز نیز روند صعودی را داراست و از عدد ۱۶۹۰ به عدد ۱۰ هزار جایگاه خواهد رسید و این به منزله سودآور بودن این جایگاه‌ها است و همان‌طور که در بخش قبل نیز دیده شد تعداد خودروهای گازسوز به ۱۰ میلیون دستگاه رسیده بود که نشان دهنده این مطلب است که روند تعداد جایگاه‌ها با تعداد خودروها همسان است و به ازای ۱۰۰۰ دستگاه خودرو گازسوز یک ایستگاه سوخت‌رسانی وجود خواهد داشت.



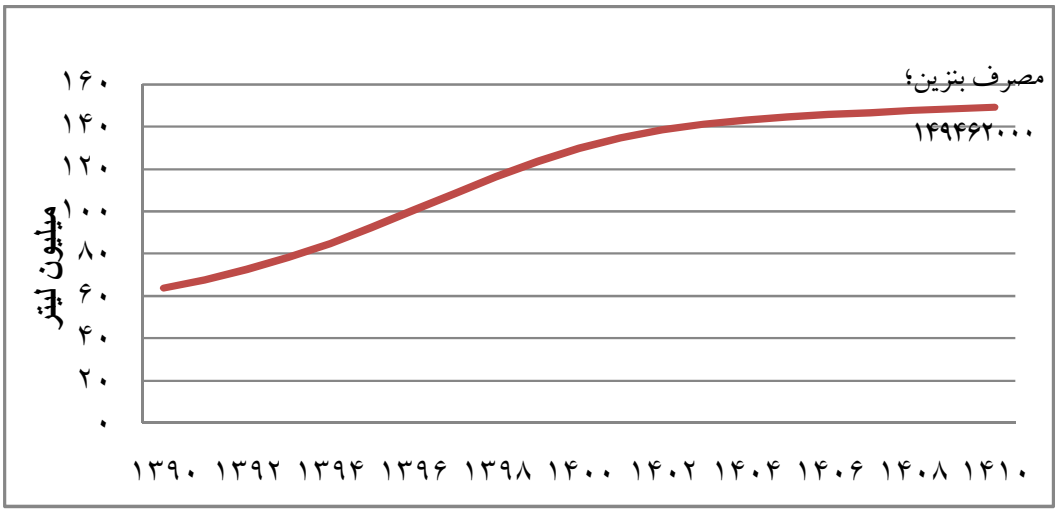
نمودار شماره۳. تعداد جایگاه گاز در سناریو پایه

۳-۲-۵-۳- شبیه‌سازی مصرف گاز و بنزین:

مصرف گاز نیز با توجه به نموداری که در شکل زیر نشان داده شده است روند صعودی را طی خواهد کرد و از میزان ۱۷ میلیون متر مکعب در سال ۱۳۹۰ به عدد ۲۸ میلیون متر مکعب خواهد رسید و مصرف بنزین نیز از ۶۰ میلیون لیتر در روز در سال ۱۳۹۰ به ۱۴۹ میلیون لیتر در سال ۱۴۱۰ خواهد رسید که در مقایسه با میزان مصرف گاز به شدت‌اش بیشتر است و دلیل آن این است که در سناریو پایه فرض شده بود که در سهمیه‌بندی به دلیل عدم اختلاف معنی‌دار بنزین و گاز مصرف‌کنندگان ابتدا به مصرف بنزین خود خواهند پرداخت و سپس کمبود سوخت خود را از گاز مرتفع می‌کنند.



نمودار شماره ۴. مصرف گاز (متر مکعب) در سناریو پایه



نمودار شماره ۵. مصرف بنزین (لیتر در روز) در سناریو پایه

۳-۲-۵- ۴- تحلیل حساسیت قیمت سوخت

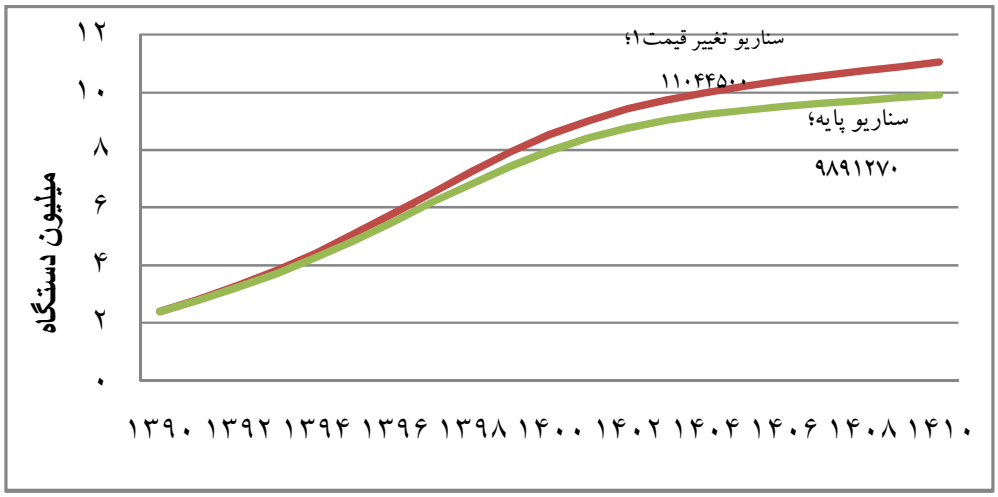
در بخش زیر سه سناریو مد نظر قرار گرفته است که در جدول زیر نشان داده شده است.

	قیمت گاز	قیمت بنزین سهمیه بندی	قیمت بنزین آزاد
سناریو پایه	۳۰۰	۴۰۰	۷۰۰
سناریو شماره ۱	۳۵۰	حذف سهمیه بندی	۷۰۰ (۲۰۰ تومان یارانه دولت)
سناریو شماره ۲	۴۰۰	حذف سهمیه بندی	۹۰۰(قیمت آزاد)

جدول۵. سناریو تغییر قیمت

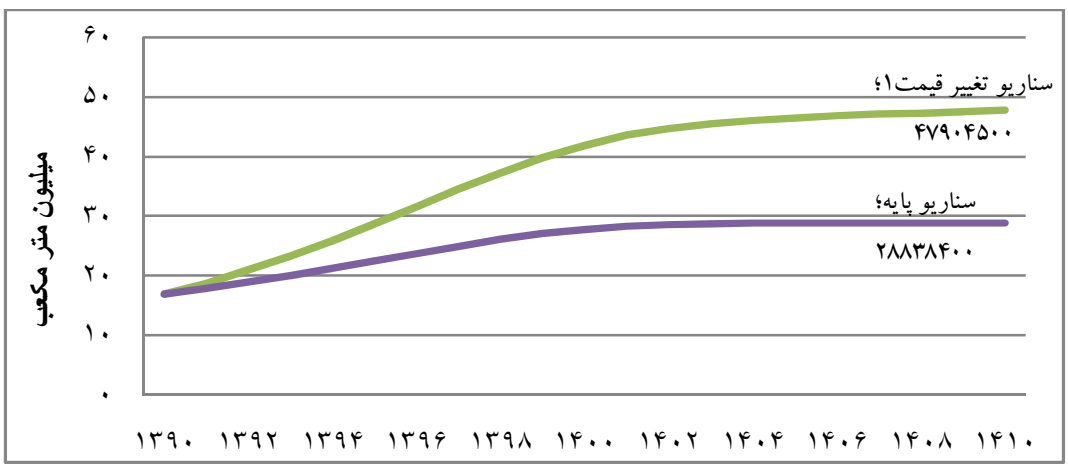
- شبیه سازی سناریو شماره ۱:

همانطور که در شکل زیر ملاحظه می‌کنید با توجه به سناریو شماره ۱ و تغییر قیمت گاز از ۳۰۰ به ۳۵۰ و حذف سهمیه بندی بنزین تعداد خودروهای گازسوز از حدود ۱۰ میلیون دستگاه در سال ۱۴۱۰ به ۱۱ میلیون دستگاه خواهد رسید و به همین میزان از خودروهای بنزینی کاسته خواهد شد.

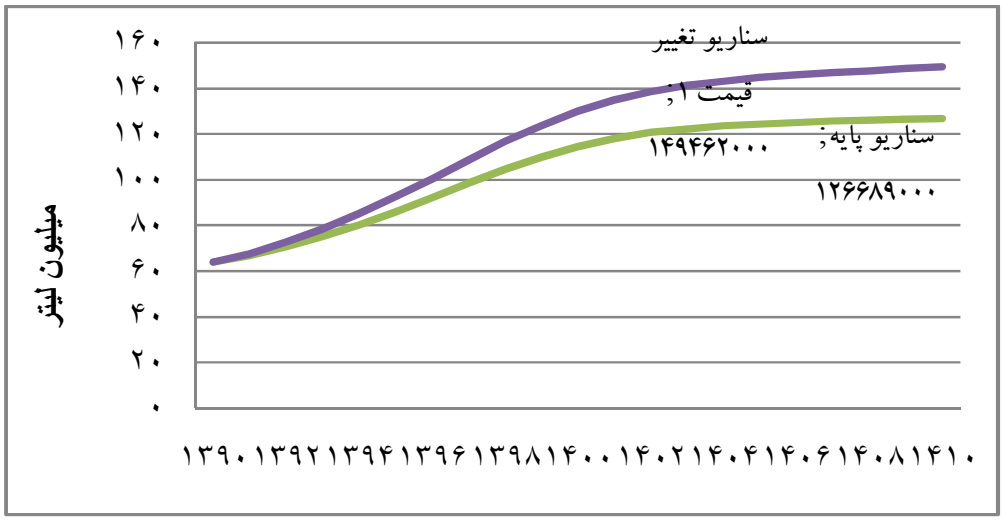


نمودار شماره۶ . تعداد خودرو گازسوز (دستگاه) با توجه به سناریو شماره ۱

مصرف گاز نیز از ۱۷ میلیون متر مکعب در روز به عدد ۴۸ میلیون متر مکعب خواهد رسید که این عدد در سناریو پایه عدد ۲۹ میلیون متر مکعب است و این نشان‌دهنده این موضوع است که با حذف سهمیه بندی و آزاد گذاشتن مشتریان در انتخاب سوخت خود مصرف‌کنندگان گاز بیشتری را مصرف نموده و از روند افزایشی مصرف بنزین کاسته خواهد شد یا به عبارت دیگر همان‌طور که در شکل مصرف بنزین نشان داده شده است با توجه به سناریو شماره ۱، ۲۳ میلیون لیتر از مصرف بنزین در سال ۱۴۱۰ کاسته و به عبارت دیگر صرفه‌جویی خواهد شد که معادل همین میزان به مصرف گاز اضافه شده است و نشان دهنده تغییر الگوی مصرف، مصرف‌کنندگان خواهد بود.



نمودار شماره ۷. مصرف گاز (متر مکعب) با توجه به سناریو شماره ۱

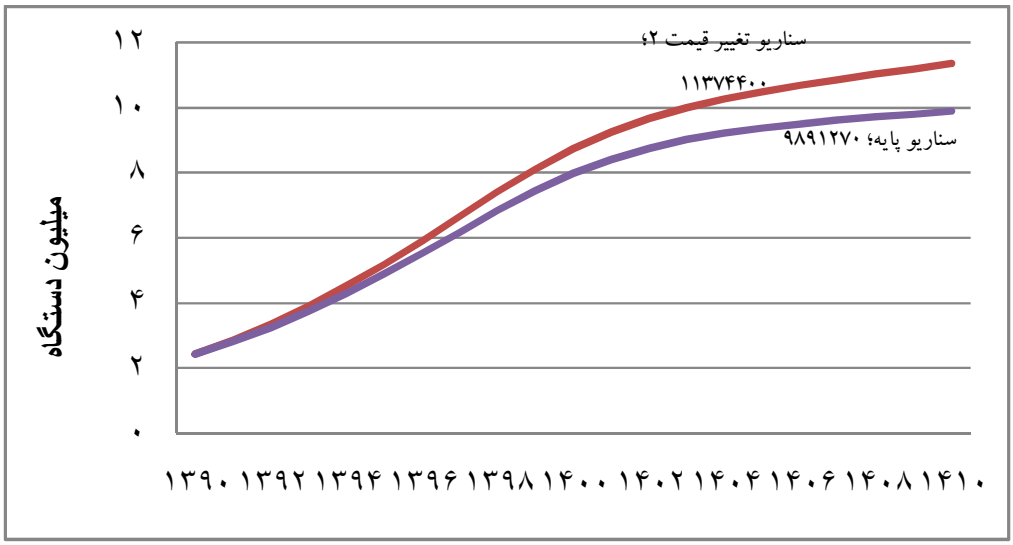


نمودار شماره ۸. مصرف بنزین (لیتر در روز)

با توجه به سناریو شماره ۱

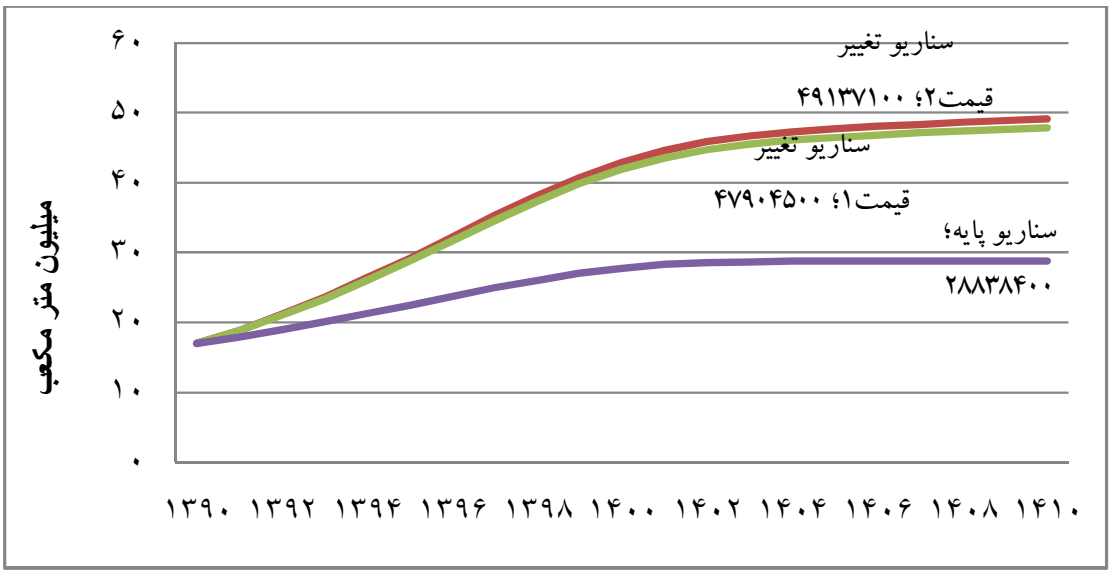
- شبیه سازی سناریو شماره ۲:

همان‌طور که در شکل زیر ملاحظه می‌شود با توجه به سناریو شماره دو نیز تعداد خودروهای گازسوز افزایش یافته است اما تفاوت چندانی با تعداد خودروهای شبیه‌سازی شده برای سناریو شماره ۱ ندارد (تعداد خودروهای گازسوز سناریو شماره ۱، ۱۱ میلیون ۱۰۰ هزار دستگاه بود.) و حاکی از این است که افزایش ۲۰۰ تومانی قیمت بنزین و ۵۰ تومانی گاز اثر قابل ملاحظه‌ای را در پذیرش خودروهای گازسوز ندارد.



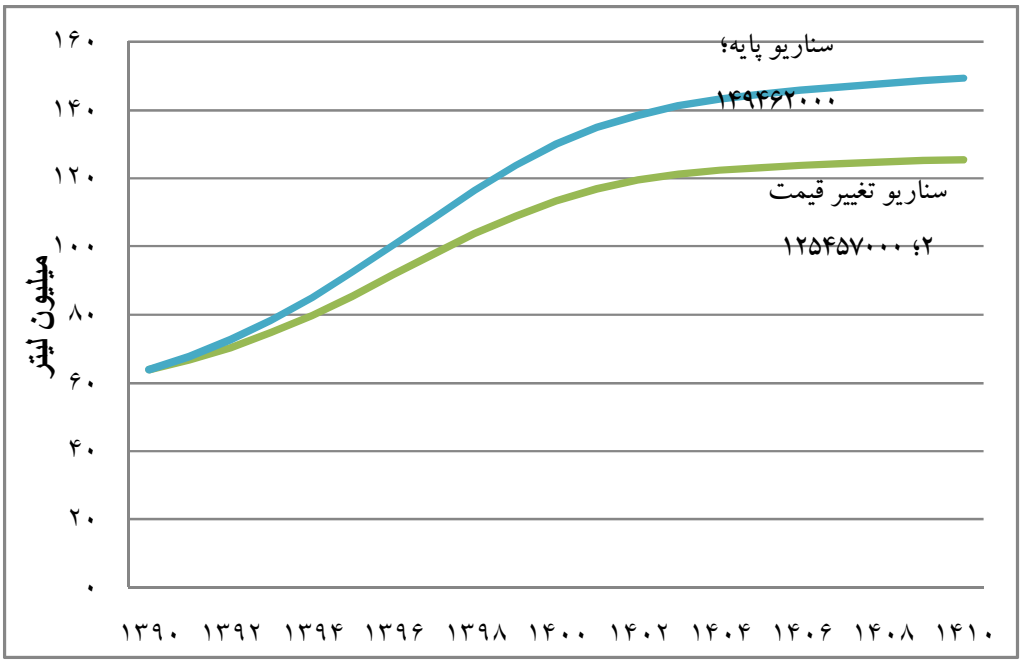
نمودار شماره ۹. تعداد خودرو گازسوز (دستگاه) با توجه به سناریو شماره ۲

میزان مصرف گاز نیز از ۱۷ میلیون متر مکعب به ۵۳ میلیون متر مکعب خواهد رسید که این عدد در سناریو پایه عدد ۲۹ و در سناریو شماره ۱، ۵۲ میلیون متر مکعب بود و این نشان‌دهنده این مطلب است که با حذف سهمیه‌بندی و آزاد گذاشتن مشتریان در انتخاب سوخت خود مصرف‌کنندگان گاز بیشتری را مصرف نموده و از روند افزایشی مصرف بنزین کاسته خواهد شد. اما تغییر قیمت در سناریو شماره ۲، اثر چندانی در کاهش مصرف بنزین و افزایش مصرف گاز نخواهد گذاشت.



نمودار شماره ۱۰. مصرف گاز (متر مکعب) با توجه به سناریو شماره ۲

مصرف بنزین نیز از ۱۴۹ میلیون لیتر به ۱۲۵ میلیون لیتر کاهش خواهد یافت در حالیکه میزان مصرف بنزین در سناریو شماره ۱، ۱۲۶ میلیون لیتر بود و این تفاوت قیمتی در سناریو شماره ۲ نسبت به سناریو شماره ۱ فقط یک میلیون لیتر کاهش در مصرف بنزین بوجود آورده‌است.



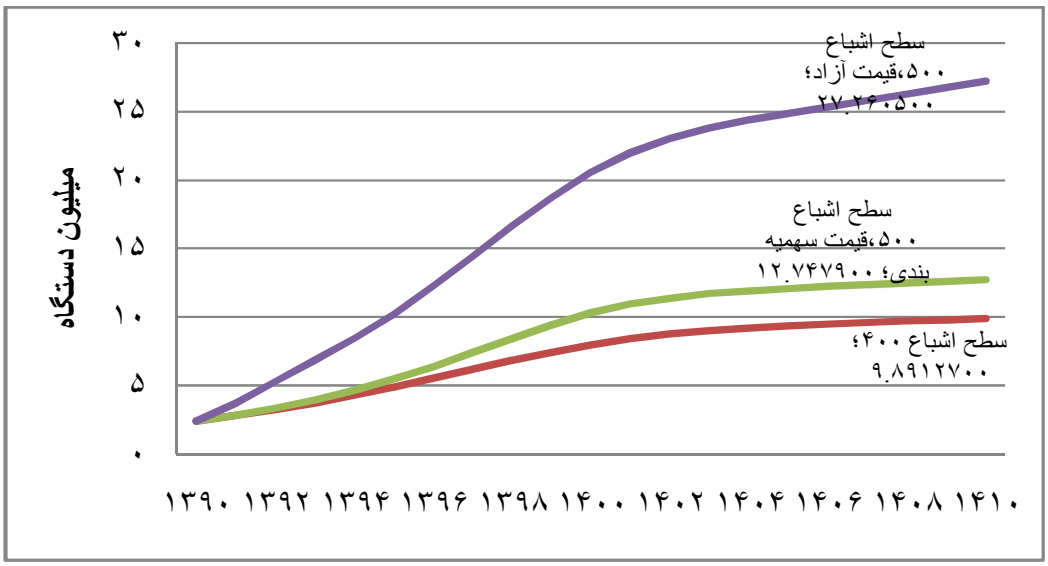
نمودار شماره۱۱. مصرف بنزین (لیتر در روز) با توجه به سناریو شماره ۲

پس در کل با توجه به سناریو شماره ۱ و ۲ می‌توان نتیجه گرفت برای تحقق یافتن جایگزینی سوخت گاز به جای بنزین می‌بایست سهمیه‌بندی حذف و مشتریان را در انتخاب سوخت آزاد گذاشت با در نظر گرفتن این مطلب که مشتریان با مد نظر قرار دادن چهار ویژگی هزینه سوخت، تعداد جایگاه‌ها، استهلاک و قیمت دو نوع ماشین به انتخاب خودرو مد نظر خود خواهند پرداخت، این سناریو نشان داد که هزینه سوخت چه اثری را در پذیرش خودروهای گازسوز و بالتبع کاهش مصرف بنزین داراست.

۳-۲-۵-۵- تحلیل حساسیت سطح اشباع:

یکی از فروض این تحقیق سطح اشباع ۴۰۰ دستگاه خودرو به ازای ۱۰۰۰ نفر بود که در این قسمت به تحلیل حساسیت تغییر این فرض پرداخته شده است. اگر سطح اشباع به ۵۰۰ دستگاه به ازای ۱۰۰۰ نفر تغییر پیدا کند با توجه به دو مقوله سهمیه بندی بنزین و آزاد سازی قیمت بنزین و گاز چه اثری بر روی نتایج شبیه سازی انواع خودروها خواهد داشت؟

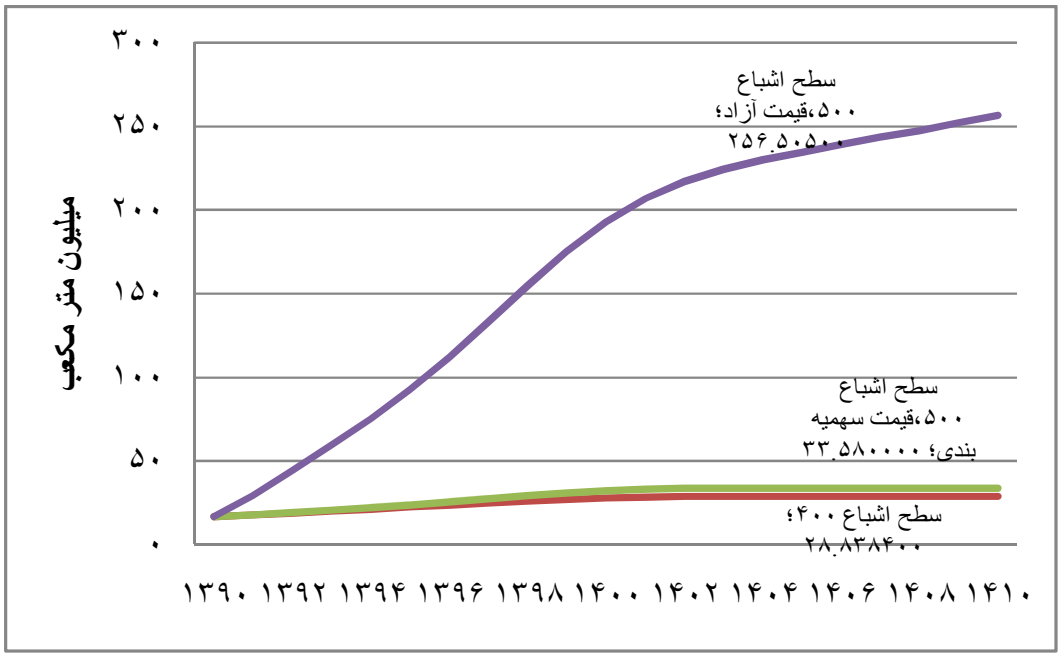
همانطور که در شکل زیر نشان داده شده است تعداد خودرو های گاز سوز با توجه به تغییر سطح اشباع از ۴۰۰ دستگاه به ۵۰۰ دستگاه به ازای ۱۰۰۰ نفر در هر دو مورد قیمت سهمیه بندی و قیمت آزاد روند رو به رشد قابل توجهی را نسبت به سناریو پایه خواهد داشت.



نمودار شماره ۱۲. تعداد خودرو گازسوز (دستگاه) با توجه به سناریو سطح اشباع ۵۰۰

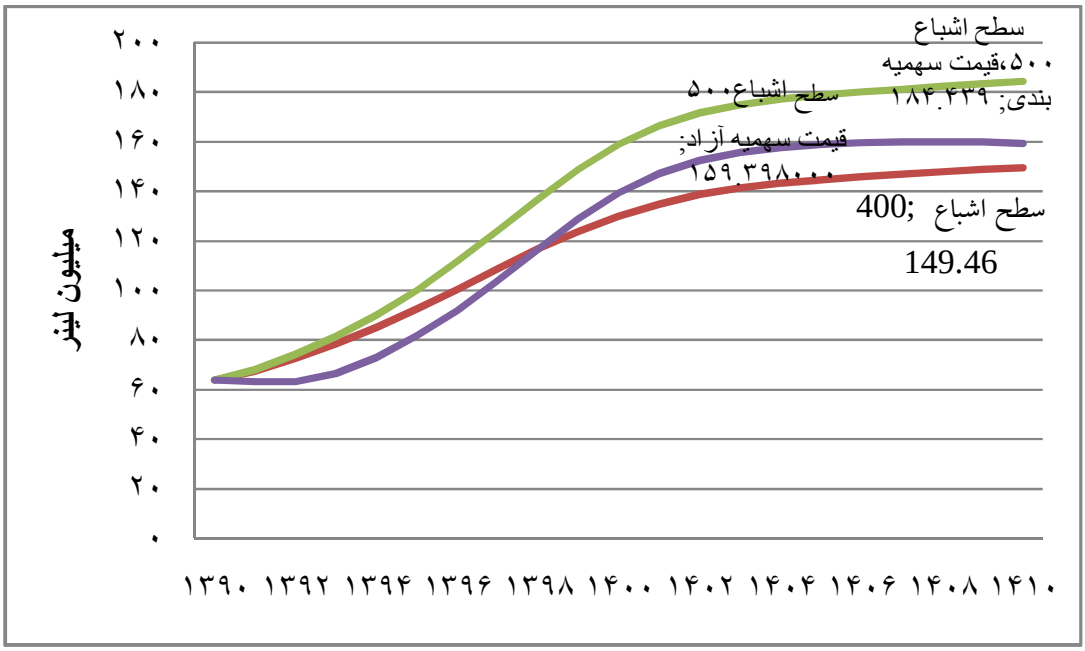
در حالت آزاد سازی قیمت ها، روند افزایش خودروهای گازی جهشی خواهد بود. نسبت به سناریو پایه که تعداد خودروهای گازسوز در پایان سال ۱۴۱۰ تقریبا ۱۰ میلیون دستگاه بود این مقدار با توجه به آزاد سازی قیمت و سطح اشباع ۵۰۰ دستگاه به عدد ۲۷ میلیون خواهد رسید. آزاد سازی قیمت ها و افزایش سطح اشباع، رشد فزاینده خودر وهای گازسوز را در پی دارد.

به همین ترتیب میزان مصرف گاز نیز روند رو به افزایشی را خواهد داشت و میزان مصرف گاز از ۲۸ میلیون در سال ۱۴۱۰ در سناریو پایه به عدد ۳۳ میلیون متر مکعب خواهد رسید و در حالت آزاد سازی قیمت بنزین و گاز این مقدار به ۲۵۶ میلیون متر مکعب خواهد رسید.



نمودار شماره ۱۳. مصرف گاز (متر مکعب) با توجه به سناریو سطح اشباع ۵۰۰

مصرف بنزین نیز با توجه این سناریو از عدد ۱۴۹ میلیون لیتر در روز در سال ۱۴۱۰ به عدد ۱۸۴ میلیون لیتر در حالت سهمیه بندی بنزین خواهد رسید اما مصرف بنزین در حالت آزاد سازی قیمت از ۱۴۹ میلیون لیتر در روز در سال ۱۴۱۰ به عدد ۱۵۹ میلیون لیتر خواهد رسید به عبارت دیگر می توان این طور بیان نمود که با توجه به روند رو به افزایش فزاینده مصرف گاز با توجه به افزایش سطح اشباع، روند مصرف بنزین در حد سناریو پایه خواهد ماند و از روند رشد آن کاسته خواهد شد.



نمودار شماره ۱۴. مصرف بنزین (لیتر در روز) با توجه به سناریو سطح اشباع ۵۰۰

۵- نتیجه‌گیری

هدف از این مقاله ارائه یک مدل سیستمی پویا با روش سیستم دینامیک با بازه زمانی ۲۰ ساله برای ناوگان خودروهای گاز سوز است و بررسی سیاست‌های بلندمدت برای این نوع خودروها، شناسایی وتحلیل عوامل اثرگذار بر گازسوز نمودن و گازسوز شدن خودروها و نشان دادن مسیر بهینه مورد انتظار ناوگان خودروهای گازسوز با توجه به افق‌های زمانی مدل بوده‌است. با توجه به هدف عنوان شده (ارائه یک مدل سیستمی پویا برای ناوگان خودرو گازسوز وبررسی سیاست‌های بلند مدت) و مطالب ارائه شده در بخش های قبل و هم‌چنین شبیه‌سازی انجام شده نتیجه این پژوهش را می‌توان در موارد زیر بیان کرد:

نتایج سناریو تداوم وضع موجود:

- تعداد خودرو گازسوز از ۲/۵ میلیون به ۱۰ میلیون دستگاه خواهد رسید و تعداد خودروهای بنزینی نیز از ۹/۳ دستگاه به ۲۶ میلیون دستگاه خواهد رسید به عبارت دیگر سهم ۲۰ درصدی خودرو های گازسوز در سال ۱۳۹۰ به ۲۷ درصد در سال ۱۴۱۰ خواهد

رسید. تعداد تاکسی ها نیز از ۳۹۰ هزار دستگاه به عدد ۱۱۳۹۱۷۰ دستگاه خواهد رسید که از این تعداد، تعداد خودرو گازسوز از ۳۵۰ هزار دستگاه به ۴۰۲ هزار دستگاه خواهد رسید و بقیه بنزین‌سوز هستند.

- روند تعداد جایگاه‌های سوخت‌رسانی گاز داری روند صعودی است و از عدد ۱۶۹۰ به عدد ۱۰ هزار جایگاه خواهد رسید. از طرفی نیز دیده شد تعداد خودروهای گازسوز به ۱۰ میلیون دستگاه رسیده است که حاکی از آن است که روند تعداد جایگاه ها با تعداد خودروها همسان است و به ازای ۱۰۰۰ دستگاه خودرو گازسوز یک ایستگاه سوخت‌رسانی وجود دارد.
- مصرف گاز نیز روند صعودی را طی خواهد کرد و از میزان ۱۷ میلیون متر مکعب در سال ۱۳۹۰ به عدد ۲۸ میلیون متر مکعب در سال ۱۴۱۰ خواهد رسید و مصرف بنزین نیز از ۶۰ میلیون لیتر در روز در سال ۱۳۹۰ به ۱۴۹ میلیون لیتر خواهد رسید به عبارت دیگر سهم گاز در سبد سوختی کشور از ۲۰ درصد به ۱۵ درصد خواهد رسید و در نتیجه این طور می توان بیان نمود که با نگه داشتن وضعیت موجود (وجود سهمیه بندی بنزین و عدم اختلاف معنی‌دار قیمت بنزین و گاز) نمی توان انتظار این را داشت که سهم ۳۰ درصدی گاز در سبد سوختی کشور محقق شود.

نتایج سناریو تغییر قیمت:

- تغییر قیمت گاز از ۳۰۰ به ۳۵۰ و حذف سهمیه بندی بنزین و تغییر قیمت بنزین از ۴۰۰ به ۷۰۰، تعداد خودروهای گازسوز را از حدود ۱۰ میلیون دستگاه در سال ۱۴۱۰ به ۱۱ میلیون دستگاه خواهد رسید و به همین میزان از خودروهای بنزینی کاسته خواهد شد به عبارت دیگر سهم ۲۰ درصدی خودرو های گازسوز در سال ۱۳۹۰ به ۳۰ درصد در سال ۱۴۱۰ خواهد رسید.

- مصرف گاز نیز از ۱۷ میلیون متر مکعب در روز به عدد ۵۲ میلیون متر مکعب خواهد رسید که این عدد در سناریو پایه عدد ۲۹ میلیون متر مکعب بود یا به عبارت دیگر سهم گاز در سبد سوختی کشور از ۲۰ درصد به حدود ۳۰ درصد خواهد رسید و این نشان‌دهنده این مطلب است که با حذف سهمیه‌بندی و آزاد گذاشتن مشتریان در انتخاب سوخت خود مصرف کنندگان گاز بیشتری را مصرف نموده و از روند افزایشی مصرف بنزین کاسته خواهد شد یا به عبارت دیگر می توان بیان نمود با تغییر قیمت بنزین و حذف سهمیه‌بندی می‌توان به هدف سهم ۳۰ درصدی گاز در سبد سوختی کشور دست یافت.

سناریو سطح اشباع ۵۰۰ دستگاه خودرو به ازای ۱۰۰۰ نفر:

- تعداد خودروهای گازسوز از ۱۰ به ۱۲ میلیون دستگاه در حالت سهمیه بندی و به ۲۷ میلیون دستگاه در حالت آزاد سازی قیمت سوخت در سال ۱۴۱۰ خواهد رسید.
- مصرف گاز نیز روند صعودی را طی خواهد کرد و از میزان ۲۸ میلیون متر مکعب در سال ۱۴۱۰ به ۳۳ میلیون متر مکعب در حالت سهمیه بندی و در حالت آزاد سازی قیمت به ۲۵۶ میلیون متر مکعب در سال ۱۴۱۰ خواهد رسید. مصرف بنزین نیز از ۱۴۹ میلیون لیتر در روز در سال ۱۴۱۰ به ۱۸۴ میلیون لیتر در حالت سهمیه بندی بنزین خواهد رسید اما مصرف بنزین در حالت آزاد سازی قیمت از ۱۴۹ میلیون لیتر در روز در سال ۱۴۱۰ به عدد ۱۵۹ میلیون لیتر خواهد رسید.

مسیر مطلوب گاز سوز کردن خودروها با توجه به وضع موجود درسال ۱۳۹۰ و با توجه به سیاست حذف سهمیه‌بندی و آزاد سازی قیمت‌ها می‌تواند قابل دست‌یابی باشد.

منابع

۱. استرمن، جان (۱۳۸۷)؛ **پویایی شناسی سیستم**، ترجمه: شهرام میرزایی دریانی، احمد اصلی زاده، کیوان شاهقلیان، علیرضا سلوک دار، علیرضا زنده بافنده، ناشر: ترمه، تهران.

۲. استرمن، جان (۱۳۸۸)؛ **پویایی شناسی کسب وکار تفکر سیستمی و مدل‌سازی برای جهانی پیچیده**، ترجمه: علینقی مشایخی، کورش برارپور، مرضیه امامی، پریسا موسوی اهرنجانی، بنفشه بهزاد، لاله رضایی عدل، حسن فغانی، سمت، تهران.

۳. سید اصفهانی، میر مهدی (۱۳۸۸)؛ برنامه‌ریزی پویا با کاربرد مدیریت و مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران.

۴. شرکت بهینه سازی مصرف سوخت، (۱۳۸۸)؛ کتاب اطلاعات حمل و نقل انرژی کشور.

۵. مزرعتی، محمد (۱۳۸۸)؛ اقتصاد انرژی ۲ مدل‌سازی تقاضای انرژی در بخش حمل و نقل، پارس پیدورا، تهران.

۶. صدیقی، عسگر (۱۳۸۲)، "طراحی سیستم هدفمند یارانه انرژی با استفاده از سیستم دینامیک"، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع دانشکده فنی، دانشگاه تهران.

7. Esterman, John (2000); Systems Thinking and Modeling for a Complex World, First Edition, Jeffrey J. Shelstad McGraw-Hill Companies.
8. Sarker, Ruhul A, S. Newton, Charles (2008); Optimization Modeling: A Practical Introduction, First Edition, CRC Press Taylor & Francis Group.
9. D.Stepp, Matthew, Winebrake, James, Hawker, J. Scott, J. Skerlos, Steven, (2009); Green House Gas Mitigation Policies and

the Transportation Sector: The Role of Feedback Effects on Policy Effectiveness, Energy Policy 37, 2774–2787.

10. Qudrat-Ullah, Hassan, Seo Seong, Baek(2010); How to do Structural Validity of a System Dynamics Type Simulation Model: The Case of an Energy Policy Model, Energy Policy 38 , 2216–2224.
11. R. Supple, Derek, (2008); Managing the Transition Toward Self-Sustaining Alternative Fuel Vehicle Markets: Policy Analysis Using a Dynamic Model, System Dynamics Group, MIT Sloan School of Management,dsupple@alum.mit.edu.
12. Dong Lee, Jeong, Bae Park, Sung, Kim, Tai-Yoo, (1999); Profit, Productivity, and Price Differential: an International Performance Comparison of the Natural Gas Transportation Industry, Energy Policy 27, 679 -689.
13. D. Sterman, John, Struben, Jeroen, (2007); Transition Challenges for Alternative Fuel Vehicle and Transportation Systems, MIT Sloan School of Management.
14. Jifeng, Wang, Huapu, lu, Hu, Peng, (2008); System Dynamics Model of Urban Transportation System and Its Application, J Transpn Sys Eng & IT 8(3), 83-89.
15. Christidis, Panayotis, Hidalgo, Ignacio, Soria, Antonio, (2003); Dynamics of the Introduction of New Passenger Car Technologies, European Commission Joint Research Centre (DG JRC), Institute for Prospective Technological Studies.
16. Struben, Jeroen, (2005); Space Matters Too! Mutualistic Dynamics Between Hydrogen Fuel Cell Vehicle Demand and Fueling Infrastructure, System Dynamics Group ,MIT Sloan School of Management.
17. Krupnick, Alan, (2010), Energy, Greenhouse Gas, and Economic Implications of Natural Gas Trucks, Energy Policy 42,4590–5943.
18. Ballardin, Giorgio, (2009); Environmental Benefits and Economic Rationale of Expanding the Italian Natural Gas Private Car Fleet, Energy Policy39, 7470–7125.

19. Kiani, behdad, Pourfakhraei, Mohammad Ali, (2010); A System Dynamic Model for Production and Consumption Policy in Iran Oil and Gas Sector, Energy Policy38, 7764–7774.
20. S.bodger, Patrick , G. may ,(1992); A System Dynamics Energy Model of New Zealand, Technological Forecasting and Social Change 41,97- 106.
21. Chi, Kong Chyong, J. Nuttall, William, M. Reiner, David, (2009); Dynamics of the UK Natural Gas Industry: System Dynamics Modelling and Long-term Energy Policy Analysis, Technological Forecasting & Social Change 76,339–357.
22. Li, Junchen, Dong, Xiucheng, Shangguan, Jianxin, Hook, Mikael, (2011); Forecasting the Growth of China's Natural Gas Consumption, Energy, 1-6.