

Providing a System Dynamics Model to Manage Natural Gas Consumption in Yazd Province

Shahrzad Charkhkar¹  | Seyyed Habibollah Mirghafoori^{*2}  | Elahe Hosseini³ 

¹. Phd. Student in Industrial Management, Faculty of Economics, Management and Accounting, Yazd University, Yazd, Iran.
Sh.charkhkar@stu.yazd.ac.ir .Orcid id: 0009-0007-4592-6076

². Full Professor, Industrial Management, Industrial Management Dept., Management; Economic & Accounting Faculty, Yazd University, Yazd, Iran. mirghafoori @ yazd.ac.ir. Orcid id: 0000-0001-5362-6590

³. Researcher in Business and Management/Independent Scholar in Human Resource Management, Global Value Chain and Digital Transformation, Iran .elahee.hosseini@gmail.com .Orcid id: 0000-0003-3478-5320

Article Info

Article type:

Article history:

Keywords:

Energy Planning;
Natural Gas;
Gas Consumption Management;
System Dynamics

ABSTRACT

The increasing global demand for energy carriers, limitations on oil production and supply, and the need to replace conventional energy carriers with clean alternatives have created significant opportunities for natural gas and its derivatives to play a prominent role as clean energy carriers worldwide. On the other hand, the complexity of natural gas production and supply and its associated products, along with the lack of an optimal energy consumption pattern, are among the major challenges facing energy policymakers and decision-makers. This study focuses on modeling and simulating natural gas consumption in Yazd Province, Iran. To this end, a system dynamics approach was employed to identify the key variables affecting natural gas consumption and establish their causal relationships in the form of feedback loops. Following the initial simulation of the model based on the existing conditions, different scenarios were developed and analyzed. Based on the simulation results, appropriate strategies and recommendations were proposed for each scenario.

ارائه مدل پویایی سیستم به منظور مدیریت مصرف گاز طبیعی در استان یزد

شهرزاد چرخکار^۱، اسید حبیب الله میرغفوری^{۲*}، آلهه حسینی^۳

چکیده

روند فزاینده تقاضای جهانی حامل‌های انرژی، محدودیت در تولید و عرضه نفت و لزوم جایگزینی حامل‌های انرژی پاک با آن، افق گسترده‌ای برای ایفای نقش حامل انرژی گاز طبیعی و مشتقات آن به عنوان سوختی پاک در سطح جهان باز نموده است. از سویی دیگر پیچیدگی تولید و عرضه گاز طبیعی و فرآورده‌های آن و عدم وجود الگوی بهینه‌ی مصرف انرژی از جمله چالش‌های مهم تصمیم‌گیران انرژی است. در این پژوهش به مدل‌سازی و شبیه‌سازی مصرف گاز طبیعی در استان یزد پرداخته شده است. بدین منظور، با استفاده از رویکرد پویایی سیستم، متغیرهای موثر بر مصرف شناسایی و به صورت علی در قالب حلقه‌های بازخوردی مشخص گردیدند. پس از شبیه‌سازی اولیه مدل با توجه به وضعیت موجود، به سناریوسازی پرداخته شده است. در نتیجه شبیه‌سازی، راهکارهای پیشنهادی مطابق با هر سناریو ارائه گردیده است.

کلیدواژه‌ها: برنامه ریزی انرژی؛ گاز طبیعی؛ مدیریت مصرف گاز؛ پویایی سیستم

دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۶/۱۶... ..

پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۱۱/۱۶... ..

^۱. دانشجوی دکتری رشته مدیریت صنعتی، دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران Sh.charkhkar@stu.yazd.ac.ir شناسه ORCID:

۰۰۰۹-۰۰۰۷-۴۵۹۲-۶۰۷۶

^۲. استاد، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران mirghafoori@yazd.ac.ir شناسه ORCID: 0000-0001-

۵۳۶۲-۶۵۹۰

^۳. پژوهشگر حوزه کسب‌وکار و مدیریت / پژوهشگر مستقل در زمینه مدیریت منابع انسانی، زنجیره ارزش جهانی و تحول دیجیتال، ایران.

شناسه elahee.hosseini@gmail.com ORCID: 0000-0003-3478-5320

مقدمه

در سالهای اخیر توسعه شهرنشینی و صنعتی شدن باعث افزایش مصرف انرژی شده است [۱]. که این موضوع خود تهدیدی جدی برای آلودگی محیط زیست به شمار می‌آید. در چنین شرایطی، گاز طبیعی به عنوان یک دسته مهم از انرژی‌های کم کربن و پاک توجه بیشتری را به خود جلب کرده است [۲]. علاوه بر این، گاز طبیعی از نظر مقرون به صرفه بودن، وجود ذخایر گازی فراوان در ایران، هزینه کمتر استخراج، پالایش، فراوری و انتقال آن نسبت به نفت، ماندگاری و قابلیت استفاده از ذخایر گاز طبیعی تا سه قرن آتی، گستردگی شبکه گازرسانی در کشور مزایای آشکاری است [۳] که موجب مصرف روزافزون آن در بخش‌های تولید برق، مصارف خانگی و صنعتی و سوخت رسانی به وسایل نقلیه و ... گردیده است [۴]. بررسی‌های آماری موسسه نفت بریتانیا در خصوص مصرف انرژی نشان می‌دهد، مصرف جهانی گاز طبیعی از ۲۹۴۱ میلیارد متر مکعب در سال ۲۰۰۹ با رشد متوسط سالانه ۳/۳ درصد در سال ۲۰۱۹ به ۳۹۲۹ میلیارد متر مکعب افزایش یافته است [۵].

یکی از مشخصه‌های بارز الگوی مصرف گاز طبیعی در ایران نوسانات شدید فصلی است و با افزایش مصرف گاز در بخش گرمایش خانگی و تجاری در فصول سرد و همچنین یخ زدگی لوله‌های گاز بین شهری به ویژه در مناطق سردسیر باعث افت فشار گاز و حتی قطعی گاز می‌گردد [۶]. ناچاراً سهم مصرف گاز برخی از پالایشگاه‌ها و نیروگاه‌های برق کاهش یافته یا حتی موقتاً قطع می‌گردد و این خود نارسایی دیگری را در خصوص تأمین برق مورد نیاز ایجاد می‌نماید [۷]. در نتیجه، تأمین منابع قابل اعتماد و پایدار گاز طبیعی برای مناطق یا کشورهای مختلف ضروری به شمار می‌آید این در حالی است که به دلیل سرمایه‌بر بودن این صنعت، امکان افزایش ظرفیت تولید در کشور با محدودیت‌هایی مواجه کرده است [۸]. بنابراین، باعث شده است دنیا را با چالش بزرگی در خصوص مدیریت سیستم گاز طبیعی روبرو کند [۹]. از این رو، شناسایی میزان مصرف، صادرات و به تبع آن واردات گاز طبیعی در کشور، یکی از اصلی‌ترین گام‌های برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری بخش انرژی در حوزه گاز طبیعی است. در نتیجه، پیش‌بینی وضعیت تقاضای گاز طبیعی در آینده و شناسایی و بررسی عوامل مؤثر بر مصرف آن در بخش‌های مختلف اهمیت بسزایی دارد [۳].

به علت تعاملات بین بخش‌های مختلف مصرف گاز لازم است تا با مطالعه و شناخت همه اجزا و ارتباط بین آنها، رفتار آنها را با نگرش سیستمی درک و مدلسازی کرد. مدل‌ها همواره ابعاد ساده شده واقعیت هستند که می‌توانند درک و دیدگاهی در مورد روابط سیستم به ما بدهند تا به کمک آن بتوان خط‌مشی‌های ممکن برای بهبود سیستم را مورد بررسی

^۱- British Petroleum (BP)

قرار داد [۱۰]. با بهره‌مندی از دانش و فناوری نوین می‌توان عوامل موثر بر مصرف گاز طبیعی در استان را به خوبی شناخت و الگویی بهینه و سودمند برای آینده ارائه کرد. تکنیک پویایی سیستم^۱ در راستای ارائه مدل جامع به ما کمک می‌کند. بنابراین این تحقیق در نظر دارد تا مدیریت مصرف بهینه گاز را با روش پویایی سیستم مدل‌سازی کند. هدف از ارائه مدل جامع این است که بر اساس آن بتوان ضمن پیش بینی مصرف گاز در دوره‌های مختلف زمانی در آینده، سیاست‌های مختلف مصرف را در مدل مورد بررسی و ارزیابی قرار داد. کاربرد نتایج این پژوهش به گونه‌ای است که شرکت گاز استان یزد می‌تواند ضمن شناسایی عوامل مؤثر بر مصرف گاز سیاست‌هایی را اتخاذ کند که در طول سال به ویژه فصول سرد با مشکلاتی از قبیل قطعی گاز و افت فشار گاز مواجه نشود و مصرف گاز در حد استانداردهای موجود باشد. مصرف گاز طبیعی به دو دسته مصارف نهایی و مصارف بخش‌های مولد انرژی تقسیم می‌شوند. مصرف نهایی گاز طبیعی خود شامل دو بخش مصرف نهایی انرژی (مصارف بخش‌های خانگی، تجاری و عمومی، صنعت، حمل و نقل، کشاورزی و سوخت پتروشیمی) و مصارف نهایی غیر انرژی (به عنوان خوراک پتروشیمی) می‌گردد. مصارف بخش انرژی شامل سوخت پالایشگاه‌های نفت و گاز، ایستگاه‌های تقویت فشار، سوخت توربین‌ها و دیزل ژنراتورهای موجود در مسیر خط لوله و گاز مصرفی در نیروگاه‌ها، مصارف واحدهای کوره بلند، واحدهای کک‌سازی، مصارف تلمبه‌خانه‌ها و خوراک واحدهای هیدروژن‌سازی می‌باشد [۱۱]. در این تحقیق به عوامل موثر بر مصرف گاز طبیعی در بخش مصرف نهایی انرژی در استان یزد پرداخته شده است.

با افزایش سهم گاز طبیعی در سبد تأمین انرژی بسیاری از کشورها و همچنین افزایش مصرف، کشورها به این نتیجه رسیدند که ادامه روند فعلی و ایجاد نکردن تغییرات اساسی در سیاست‌های دولت باعث می‌شود که به هیچ‌کدام از اهداف سند چشم‌انداز خود نرسند [۱۲]. در نتیجه از مدل‌ها استفاده نمودند زیرا مدل‌ها درک بهتری از سیستم عرضه و تقاضای گاز طبیعی در ارتباط با سایر منابع انرژی را برای برنامه‌ریزان انرژی در سطح ملی و بین‌المللی فراهم می‌کنند و علاوه بر پیش‌بینی، قابلیت شبیه‌سازی و سناریوسازی را نیز دارند. مدل‌های سیستم دینامیک با شناسایی ساختار علی یک سیستم، رفتار سیستم‌های پیچیده را شبیه‌سازی می‌کنند. آنها به طور گسترده‌ای برای پیش‌بینی رفتار آینده یک سیستم و تجزیه و تحلیل گزینه‌های سیاست برای بهبود رفتار آن استفاده می‌شوند [۱۳]. ایده استفاده از پویایی سیستم در برنامه ریزی انرژی به سال ۱۹۷۱ برمی‌گردد که نایل آم‌دلی برای صنعت گاز طبیعی آمریکا ایجاد کرد [۱۴]. از آن زمان به بعد، مدل‌های مختلف انرژی با استفاده از روش پویایی سیستم ساخته شده است. محققان این روش را برای برنامه ریزی

^۱- System Dynamics (SD)

^۲- Naill

سیستم های انرژی در سطوح مختلف مناطق جغرافیایی مانند مناطق شهری یا محلی در داخل کشور [۱۵]، سطح ملی و بین المللی [۱۶] یا برای یک صنعت خاص [۱۷] استفاده کرده اند. انواع مختلف انرژی نیز با استفاده از این روش از جمله برق [۱۸]، انرژی های نو و تجدید پذیر [۱۹] و نفت و گاز طبیعی [۲۰] مدل سازی شده است.

در میان مدل های سیستم دینامیکی که برای برنامه ریزی انرژی تولید شده اند، برخی به بررسی جنبه های خاص سیستم های گاز طبیعی پرداخته اند. لی^۱ و همکاران (۲۰۱۱) یک مدل پویایی سیستم برای پیش بینی رشد مصرف گاز طبیعی چین در پاسخ به برنامه های استراتژیک خود برای کاهش مصرف زغال سنگ و جایگزینی آن با گاز طبیعی ایجاد کرده اند. آنها چشم انداز مصرف انرژی در بخش های مختلف از جمله صنایع شیمیایی، تولید برق، سوخت های صنعتی، صنایع عالی و مسکونی را ارائه می دهند. متغیرهای موثر بر مصرف، رشد تولید ناخالص داخلی (GDP)، نرخ شهرنشینی، جمعیت و نسبت سرمایه گذاری صنایع در نظر گرفته می شوند [۲۱]. یوناو همکاران (۲۰۱۵) مدل پویایی سیستم برای گاز شیل در چین برای تحلیل آینده بازار رقابتی گاز شیل توسعه داده اند. آنها نقش فناوری، هزینه تولید، یارانه های دولت و سایر عوامل سیاست را در اوج رقبا در این صنعت بررسی کرده و پیشنهاد داده اند که دولت چین یک بازار عالی در صنعت گاز شیل ایجاد کند. این بازار منجر به بهبود فناوری و کاهش هزینه تولید خواهد شد [۲۲]. دانشزاد و همکاران (۲۰۱۸) طی مطالعه خود یک مدل پویایی سیستم از سیستم عرضه و تقاضای گاز طبیعی را برای کمک به پیش بینی آینده تأمین گاز طبیعی برای مصرف داخلی ارائه داده اند. این مدل بستری را ایجاد کرده که بتوان برای شبیه سازی نتایج احتمالی سیستم تحت سناریوهای مختلف و مطالعه اثربخشی سیاست های فعلی مورد استفاده قرار گیرد. کنار هم قرار دادن گاز طبیعی و جایگزین های آن در یک مدل واحد و مطالعه اثرات جایگزینی انرژی در سمت تقاضا و همچنین در سمت عرضه مورد مطالعه قرار گرفته است. همچنین در مقاله دیگری یک مدل عرضه-تقاضا برای تخصیص بهینه گاز طبیعی به بخش های مختلف تقاضا از طریق تعیین مسیر قیمت برای هر بخش توسعه داده اند. اثرات دینامیکی قیمت بر تقاضا و درآمد بر عرضه با استفاده از پویایی سیستم مدل سازی کرده اند. نتایج نشان می دهد که سهم بخش مسکونی باید کمتر شود و سهم بسیار بیشتری را به صادرات تخصیص داد [۱۳].

علاوه بر مدلسازی پویایی سیستم، مدل های هوشمند متعدد دیگری برای بدست آوردن دقت پیش بینی بالاتر و رضایت بخش تر به طور گسترده در مقالات مورد استفاده قرار گرفته اند، که مدل تئوری فازی [۲۳]. مدل ماشین بردار پشتیبان

^۱- Li

^۲- Yunna

^۳- Daneshzand

[۲۴]. مدل شبکه عصبی [۲۵] و مدل تئوری خاکستری [۲۹] از این موارد می‌باشند. با توجه به پژوهش‌های نویسندگان می‌توان دریافت که پیش‌بینی و سیاست‌گذاری در حوزه انرژی به خصوص گاز طبیعی به عنوان سوخت پاک، از اهمیت بالایی برخوردار است ولی تاکنون به بررسی ابعاد و متغیرهای تأثیرگذار بر مصرف در سطح استانی پرداخته نشده است. بنابراین در این پژوهش با استفاده از نظریه پویایی سیستم، متغیرهای موثر بر مصرف گاز استان یزد شناسایی و مدل پویای مصرف کل گاز استان به منظور شبیه‌سازی، پیش‌بینی و سیاست‌گذاری طراحی گردید. در ادامه این پژوهش به بیان روش تحقیق و ذکر سوالات و اهداف پژوهش پرداخته و در ادامه به ارائه مدل پویایی سیستم به منظور مدیریت مصرف گاز طبیعی در استان یزد پرداخته شده است. در پایان به نتایج و پیشنهادات پژوهش اشاره شده است.

۲. روش شناسی

پژوهش حاضر از نظر جهت‌گیری کاربردی است و از نظر هدف پژوهش توصیفی-پیمایشی می‌باشد. روش گردآوری داده‌ها در این پژوهش میدانی بوده و شیوه گردآوری داده‌ها مطالعات کتابخانه‌ای، مصاحبه و پرسشنامه می‌باشد. با استفاده از مطالعات پژوهش‌های گذشته عوامل موثر بر مصرف گاز شناسایی گردید و سپس با کمک پرسشنامه و مصاحبه نیمه ساختار یافته با تعداد ۱۰ نفر از مدیران و کارشناسان شرکت گاز استان یزد که با توجه به سابقه کار و میزان آشنایی با زمینه‌های مختلف مصرف گاز در بخش‌های مختلف مصرف خانگی، صنعتی، کشاورزی و حمل و نقل انتخاب گردیده بودند، مصاحبه انجام گردید و بعد از اشیاع نظری مدل اولیه طراحی گردید. در ادامه با استفاده از داده‌های سال‌های گذشته مصرف گاز طبیعی در استان یزد و پرسشنامه دوم به منظور استخراج روابط بین متغیرها، تعیین ضرایب وزنی شاخص‌ها و ارائه مدل ریاضی طراحی شد و پس از تایید روایی طبق نظر خبرگان و تایید پایایی از طریق آلفای کرونباخ در بین تعدادی از خبرگان که بر اساس شرایط خاص خبرگی و به روش هدفمند انتخاب شده بودند توزیع گردید و داده‌های بدست آمده بر اساس رویکرد پویایی سیستم‌ها و با استفاده از نرم افزار ونسیم^۱ به روش سناریو نویسی مورد تحلیل قرار گرفت. یکی از بهترین روش‌های بررسی و تحلیل روابط متغیرها و مقولات تأثیرگذار، روش پویایی سیستمها (SD) است که می‌تواند در شبیه سازی و تحلیل رفتارهای پدیده‌ها مورد استفاده قرار گیرد. با استفاده از این روش می‌توان در محیط شبیه سازی شده با تغییر ساختار یا متغیرهای مدل، تغییرات لازم را در رفتار سیستم ایجاد نمود.

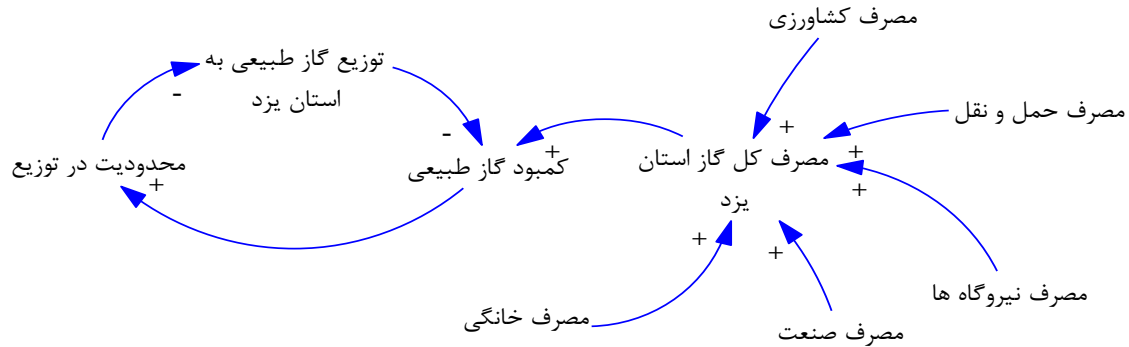
^۱- Vensim

۲.۱. فرایند مدل سازی پویایی سیستم

پویایی سیستم، یک ابزار مدیریتی برای تصمیم‌گیری در مورد سامانه‌های پویا است که با استفاده از مدل‌سازی ریاضی، امکان شبیه‌سازی، فهم و درک سامانه‌های پیچیده را فراهم می‌کند؛ به عبارت دیگر، روشی برای فهم رفتار پویا و مستمر در سامانه‌های پیچیده به شمار می‌رود. پویایی سیستم بر پایه دو رکن اساسی بنا نهاده شده است: اول اینکه، دید این روش به سامانه‌ها در بستر زمان است. به عبارت دیگر، همواره باید رفتار سیستم در طول زمان مورد بررسی قرار گیرد. رکن دوم، توجه به بازخوردها در هر سیستم است که تبادل اطلاعات بین بخش‌های مختلف سیستم را نشان می‌دهد [۲۶]. فرایند مدل‌سازی پویایی سیستم بدین گونه است تحلیلگر مدل را با استفاده از مطالعات گذشته و نظرات خبرگان ساخته و با استفاده از نظرات کیفی استخراج شده و داده‌های کمی موجود سال‌های گذشته، مدل فرمول‌بندی و شبیه‌سازی می‌گردد. صحت‌گذاری مدل با تطبیق رفتار مدل با رفتار واقعی مورد آزمایش قرار می‌گیرد [۲۷]. در نتیجه گام‌های فرایند مدل سازی پویایی سیستم به صورت (۱) بیان مسئله (۲) تدوین فرضیه‌های پویایی مدل (۳) تدوین مدل شبیه سازی (۴) تست مدل (۵) طراحی گزینه‌های سیستم و ارزیابی آن می‌باشد [۲۸].

۲.۲. شناسایی زیر سیستم‌های مدل

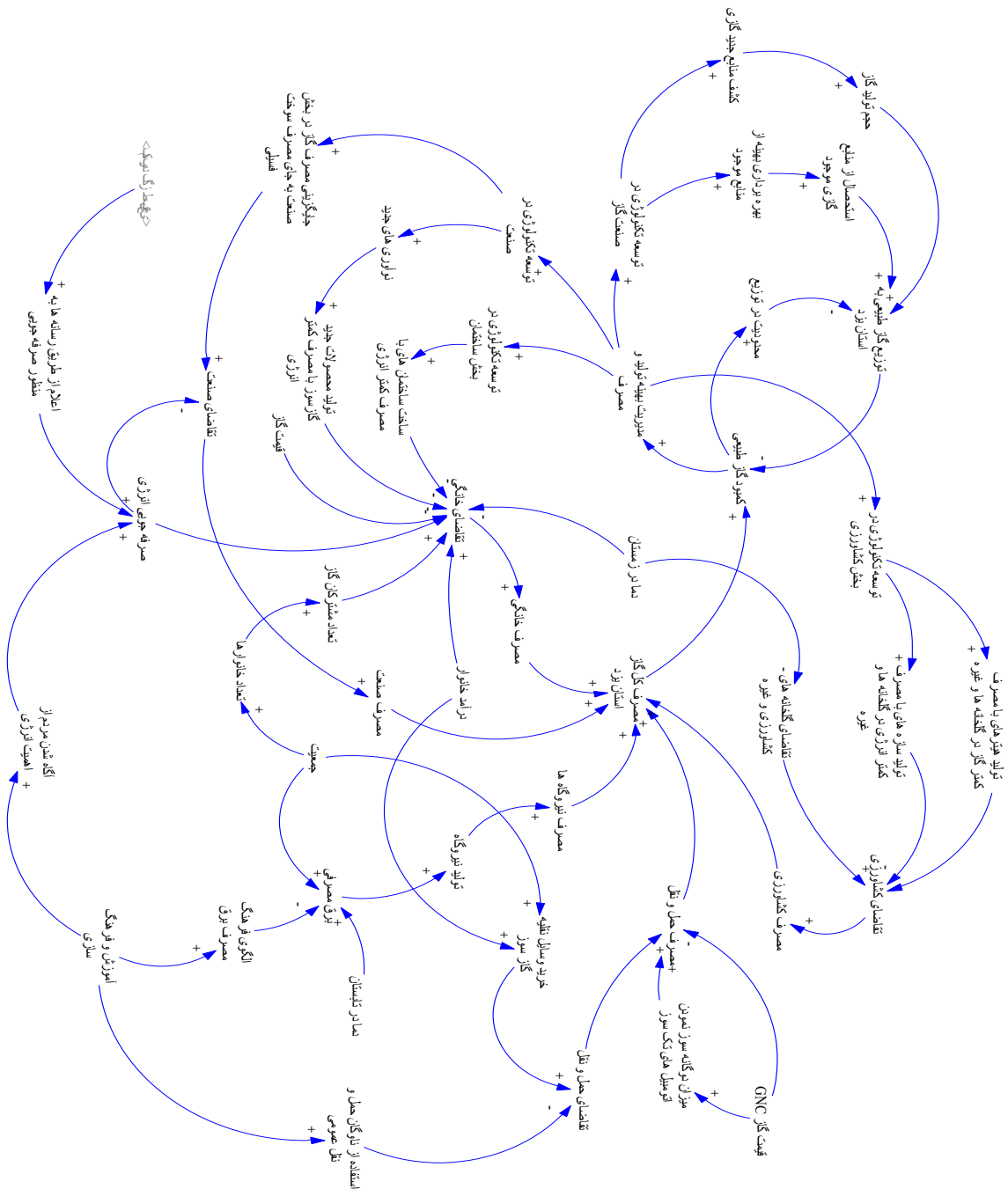
مصرف کل گاز استان یزد از مجموع مصارف در بخش‌های مختلف از جمله خانگی، حمل و نقل، صنعت، نیروگاه‌ها و کشاورزی بدست می‌آید. در این پژوهش، به منظور دستیابی به مقدار کل مصرف گاز طبیعی، کلیه علل و عوامل موثر بر مصرف در هریک از این پنج زیر سیستم مصرف با توجه به مطالعه ویژگی‌های صنعت گاز و نظر خبرگان شناسایی گردید. از آنجایی که میزان سنجش کمبود یا مازاد گاز طبیعی به مقدار گاز طبیعی توزیع شده بستگی دارد، بنابراین باید مقدار گاز توزیع شده و عوامل موثر بر این مقدار را نیز بررسی کرد. بنابراین، یافته‌های مطالعه نشان می‌دهد که متغیر کلیدی که در این مدل دنبال می‌شود و در واقع هدف کاهش آن می‌باشد، مقدار کمبود گاز طبیعی است. این متغیر در واقع از اختلاف دو متغیر توزیع گاز و مصرف گاز بدست می‌آید. اگر این مقدار مثبت باشد مازاد گاز و در غیر این صورت کمبود گاز طبیعی وجود دارد.



شکل (۱): زیرسیستم‌های مصرف کل گاز استان

۲.۳. ساخت حلقه‌های علی نمودار علت و معلولی

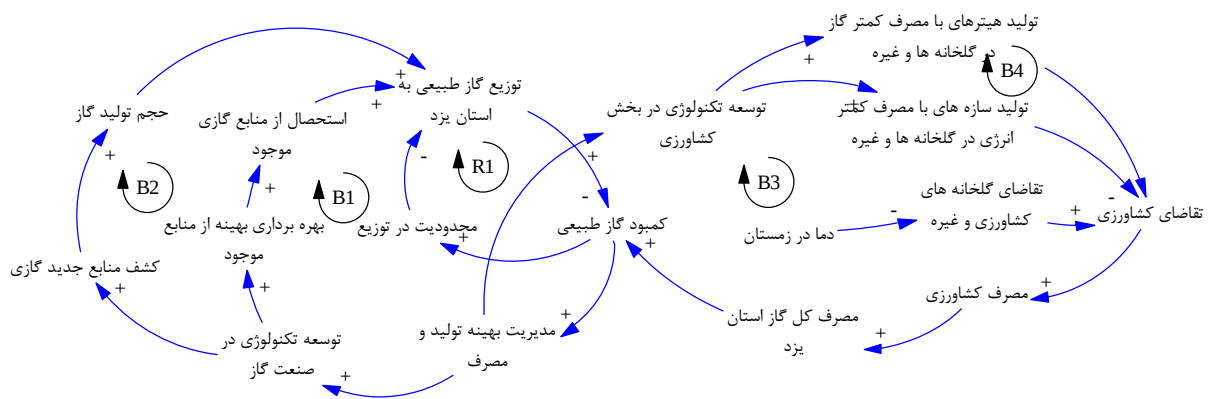
پس از فرموله کردن فرضیه‌های پویا، بر اساس این فرضیات و با الهام از نظریه‌های معتبر در حوزه مبانی نظری مسئله، روابط بین متغیرهای زیر سیستم با هم و با دیگر زیر سیستم‌ها به صورت علت و معلولی و ارتباط جریان اطلاعات در قالب نمودارهای علت و معلولی که متشکل از حلقه‌های بازخور مثبت و منفی هستند، نمایش داده شده است. این نمودارها برای نمایش وابستگی متقابل و فرایندهای بازخور مناسب بوده و در شروع یک پروژه مدلسازی، نقش موثری را در ارائه مدل‌های ذهنی دارند. نمودار علت و معلولی مصرف گاز طبیعی در شکل ۲ مشاهده می‌گردد.



شکل (۲): نمودار علی-معلولی مصرف گاز طبیعی (یافته های پژوهشگران)

در ادامه به تشریح حلقه‌های علت و معلولی در هر کدام از زیر سیستم‌های مصرف پرداخته می‌شود:

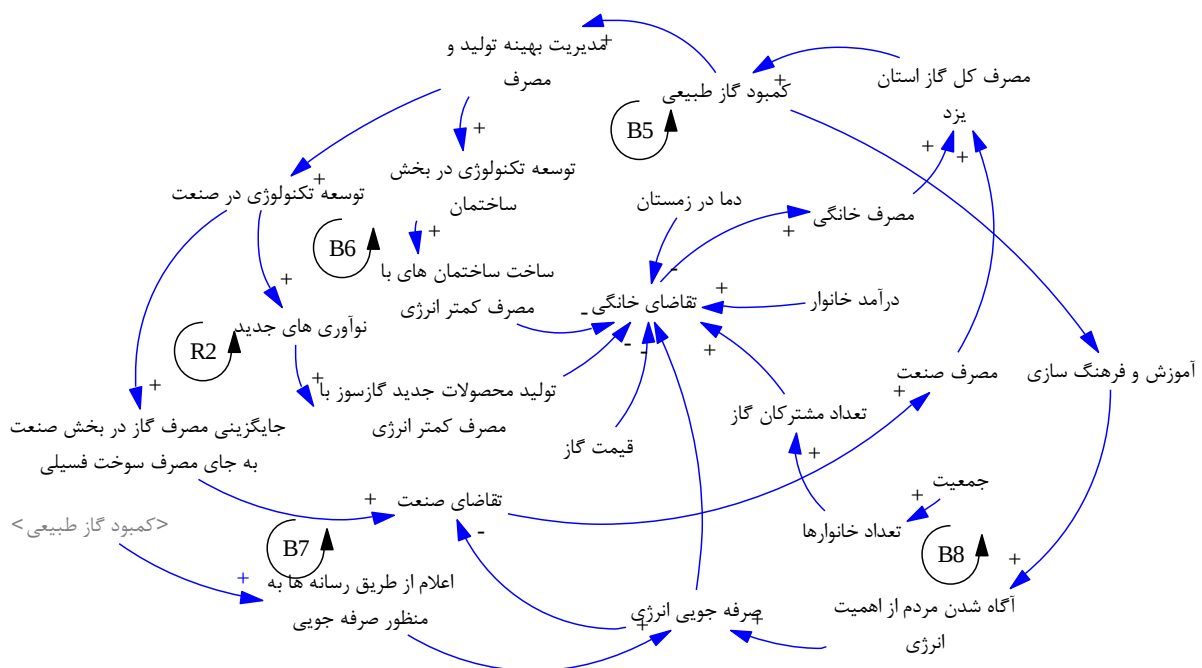
مقدار توزیع گاز به استان یزد تحت تأثیر عواملی از جمله مقدار حجم گاز تولیدی و مقدار استحصال از منابع گازی موجود می‌باشد که البته بعد از گذر از محدودیت‌هایی که در توزیع وجود دارد به استان یزد می‌رسد. در واقع محدودیت‌های توزیع باعث می‌شود مقدار گاز توزیع شده به استان کمتر شده و این خود موجب کمبود گاز طبیعی می‌گردد. کمبود گاز طبیعی خود مجدداً محدودیت‌هایی در توزیع ایجاد می‌کند و این حلقه مدام تشدید می‌شود (حلقه تشدید کننده R1). از طرفی دیگر کمبود گاز طبیعی باعث می‌شود افراد به سمت مدیریت بهینه تولید و مصرف پیش روند که این خود باعث توسعه تکنولوژی‌هایی در صنعت گاز می‌گردد که خود در زمینه استحصال از منابع گازی موجود و همچنین تولید گاز به نحو بهتری عمل کرده و در نتیجه توزیع گاز به استان افزایش می‌یابد. این افزایش توزیع گاز به صورت متعادل کننده‌ای موجب کاهش کمبود گاز می‌گردد (حلقه‌های متعادل کننده B1 و B2). در مورد مصرف گاز طبیعی در بخش کشاورزی، می‌توان یکی از متغیرهای مهمی که تقاضای گلخانه‌های کشاورزی را برای گاز افزایش می‌دهد، کاهش دما در زمستان می‌باشد، از طرفی دیگر کمبود گاز طبیعی باعث می‌شود که به فکر مدیریت بهینه مصرف و تولید افتاده و تکنولوژی در زمینه کشاورزی توسعه پیدا کند. این توسعه‌های تکنولوژی خود باعث تولید سازه‌ها و هیترهای با مصرف کمتر انرژی می‌شود و در نتیجه تقاضای مصرف گاز در حوزه کشاورزی کمتر می‌شود (حلقه‌های متعادل کننده B3 و B4).



شکل (۳): حلقه‌های علت و معلولی توزیع گاز و مصرف کشاورزی (یافته‌های پژوهشگران)

در تقاضای خانگی گاز طبیعی یک سری متغیرهای برون‌زایی وجود دارند که مقدار تقاضا را افزایش می‌دهند. برای مثال رشد جمعیت باعث افزایش تعداد مشترکان گاز و در نتیجه افزایش تقاضای خانگی می‌شود. افزایش درآمد خانوارها نیز باعث افزایش تقاضا می‌گردد. از طرفی دیگر، یک سری متغیرهای برون‌زا باعث کاهش تقاضای خانگی گاز طبیعی

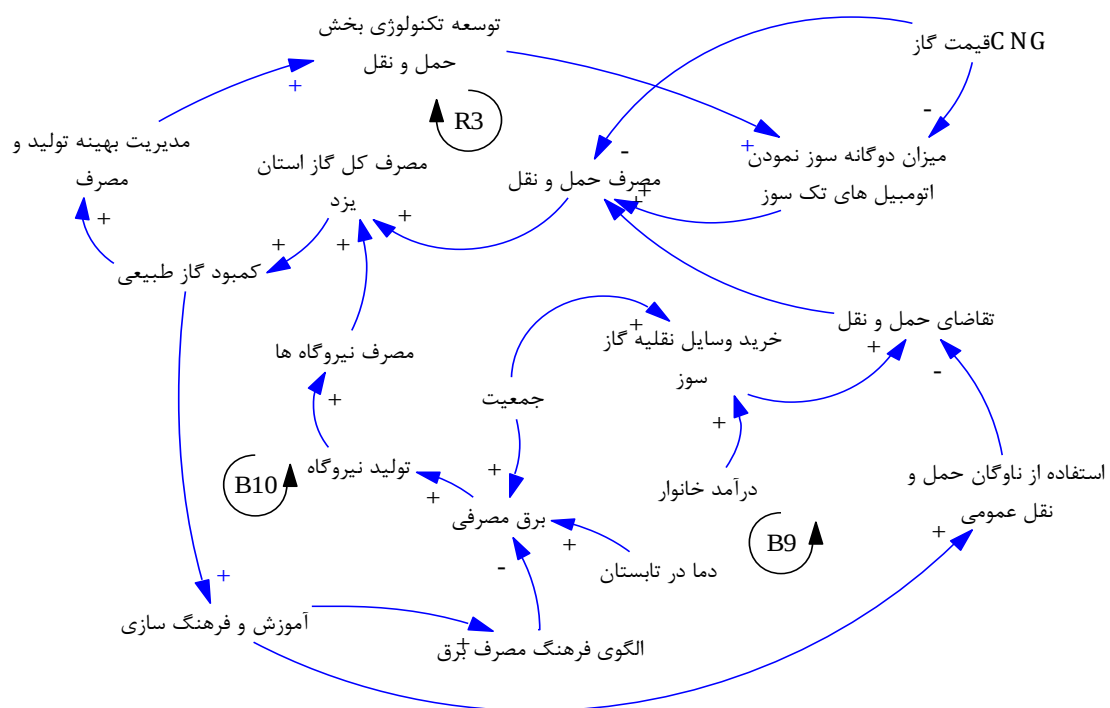
می‌گردند مثل افزایش قیمت گاز و افزایش دما در زمستان. مادامی که مصرف خانگی گاز طبیعی بیشتر می‌شود، مواجهه با کمبود گاز طبیعی بیشتر می‌گردد، در نتیجه به دنبال مدیریت بهینه مصرف و تولید، تکنولوژی در بخش ساخت ساختمان‌ها و همچنین تولید محصولات گازسوز با مصرف کمتر انرژی توسعه پیدا می‌کند و باعث متعادل کردن تقاضا و مصرف خانگی گاز طبیعی می‌گردد (حلقه‌های متعادل کننده B5 و B6). کمبود گاز طبیعی باعث اعلان از طریق رسانه‌ها به منظور صرفه‌جویی و همچنین آموزش و فرهنگ‌سازی برای صرفه‌جویی انرژی می‌گردد، در نتیجه تقاضا را کاهش می‌دهد (حلقه متعادل کننده B7 و B8). کمبود گاز طبیعی باعث توسعه‌هایی در بخش تکنولوژی صنعت می‌گردد و از آنجایی که استفاده از گاز طبیعی به جای سوخت‌های فسیلی بهتر است، این توسعه تکنولوژی باعث استفاده بیشتر از گاز طبیعی در بخش صنعت می‌گردد (حلقه تشدید کننده R2).



شکل (۴): حلقه‌های علت و معلولی مصرف خانگی و صنعت گاز طبیعی (یافته‌های پژوهشگران)

در بخش حمل و نقل مصرف گاز طبیعی عواملی مثل افزایش جمعیت و افزایش درآمد خانوارها باعث میل به خرید بیشتر وسایل نقلیه گازسوز می‌شود، در نتیجه تقاضا و مصرف بخش حمل و نقل افزایش می‌یابد. توسعه تکنولوژی در بخش حمل و نقل باعث می‌شود میزان دوگانه سوز نمودن خودروهای تک سوز افزایش یافته و این خود باعث افزایش مصرف حمل و نقل گاز طبیعی و در نتیجه کمبود گاز طبیعی می‌گردد (حلقه تشدید کننده R3). از طرفی دیگر کمبود گاز

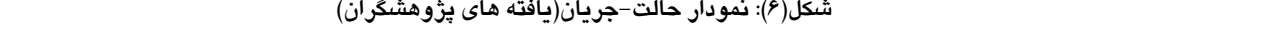
طبیعی باعث آموزش و فرهنگ سازی در زمینه استفاده بیشتر از وسایل نقلیه عمومی می گردد، در نتیجه باعث متعادل کردن تقاضای حمل و نقل می شود (حلقه متعادل کننده B9). در بخش مصرف نیروگاه ها، باید بیان کرد که افزایش جمعیت و افزایش دما در تابستان موجب نیاز بیشتر به برق و تولید بیشتر نیروگاه ها و در نتیجه مصرف بیشتر گاز طبیعی توسط نیروگاه ها می گردد. از طرف دیگر آموزش و فرهنگ سازی موجب ایجاد الگوهای بهتر مصرف برق و تعدیل این حلقه می گردد (حلقه متعادل کننده B10).



شکل (۵): حلقه های علت و معلولی مصرف کشاورزی و مصرف نیروگاه ها از گاز طبیعی (یافته های پژوهشگران)

۲.۴. ساخت مدل حالت-جریان

به منظور ساخت مدل حالت-جریان روندهای متغیرها در طول زمان مورد توجه قرار می گیرد و با توجه به این روندها و براساس قوانین موجود ارتباط بین متغیرها به صورت ریاضی فرموله می شوند. متغیرهای مدل حالت-جریان از پویایی های شناسایی شده در نمودار علت و معلولی پیروی می کنند. شکل ۴ مدل حالت-جریان مسئله را نشان می دهد.



در ادامه برخی از متغیرها و معادله به کار رفته در مدل در جدول ۱ معرفی می‌گردد.

جدول (۱): برخی معادلات و روابط ریاضی مدل جریان مصرف گاز طبیعی استان یزد

متغیر	واحد اندازه گیری	معادله و روابط ریاضی حاکم بر مدل
-------	------------------	----------------------------------

جمعیت	people	INTEG نرخ رشد جمعیت), (۹۹۰۰۰۰
نرخ رشد جمعیت	percent	جمعیت * ۰,۰۲
کمبود/مازاد گاز طبیعی	millionm3	INTEG توزیع گاز طبیعی-مصرف گاز طبیعی), (۰)
مصرف گاز طبیعی	millionm3	IF THEN ELSE ("کمبود/مازاد گاز طبیعی" <=۰, مصرف کشاورزی گاز طبیعی+مصرف خانگی گاز طبیعی+مصرف صنعت گاز طبیعی+مصرف گاز طبیعی نیروگاه ها+مصرف حمل و نقل گاز طبیعی, مصرف کشاورزی گاز طبیعی+مصرف خانگی گاز طبیعی+مصرف صنعت گاز طبیعی+مصرف گاز طبیعی نیروگاه ها+مصرف حمل و نقل گاز طبیعی)
توزیع گاز طبیعی	millionm3	(استحصال از منابع گازی موجود+تولید گاز طبیعی)/۱۲۵
مصرف خانگی گاز طبیعی	millionm3	IF THEN ELSE (مقایسه درآمد با قیمت گاز=۱, (دما در زمستان>=۰, (RAMP(15, 0, 19+۴۶۷)) ساخت ساختمان های با مصرف کمتر انرژی+صرفه جویی انرژی+تولید محصولات جدید با مصرف کمتر گاز, (RAMP(10, 0, 19+۴۶۷)) ساخت

ارائه مدل پویایی سیستم به منظور مدیریت مصرف گاز طبیعی در استان یزد

ساختمان های با مصرف کمتر انرژی+صرفه جویی انرژی+تولید محصولات جدید با مصرف کمتر گاز)		
, (RAMP(8, 0, 19+۴۶۷)) ساخت ساختمان های با مصرف کمتر انرژی+صرفه جویی انرژی+تولید محصولات جدید با مصرف کمتر گاز)		
مصرف حمل و نقل گاز طبیعی	millionm3	RAMP (میزان دوگانه سوز نمودن خودروهای تک سوز, ۰, ۱۹) + RAMP (خرید وسایل نقلیه گازسوز/۱۳۰۰۰), ۰, ۱۹) - RAMP (CNG قیمت گاز/۸۰), ۰, ۱۹) - RAMP (استفاده از وسایل نقلیه عمومی, ۰, ۱۹) + (تعداد خودرو*۵۰/۵۰۶۱+e
مصرف گاز طبیعی نیروگاه ها	millionm3	IF THEN ELSE (دما در تابستان<۳۸, (جمعیت*۱۰۰/۱۰۰۰۰۰-تغییر الگوی مصرف برق, (جمعیت*۸۰/۱۰۰۰۰۰-تغییر الگوی مصرف برق)
مصرف صنعت گاز طبیعی	millionm3	+RAMP(80, 0, 19)) + (۲۱۹ استفاده از گاز طبیعی به جای سوخت های فسیلی
مصرف کشاورزی گاز طبیعی	millionm3	IF THEN ELSE (دما در زمستان>۵, ۰, ۱۰۵) + RAMP(1.05, 0, 19) - (تولید هیتراهای با مصرف کمتر گاز/۱۰۰)*۵,۶ - (تولید سازه های با مصرف کمتر انرژی/۱۰۰)*۵,۶ - (تولید هیتراهای با مصرف کمتر گاز/۱۰۰)*۵,۶ - (تولید سازه های با مصرف کمتر انرژی/۱۰۰)*۵,۶
دما در زمستان	Centigrade	F1(Time)
دما در تابستان	Centigrade	F2(Time)
قیمت گاز	Rial/m3	F3(Time)
درآمد	Rial	F4(Time)
تولید گاز طبیعی	millionm3	(RAMP(1800, 0, 19) + RAMP(۲۸۰۰۰ توسعه تکنولوژی در صنعت گاز, ۰, ۱۹))
صرفه جویی انرژی	m3	اعلان از طریق رسانه ها به منظور صرفه جویی+آموزش و فرهنگ سازی

۲,۵. شبیه سازی و اعتبارسنجی مدل

به منظور شبیه سازی مدل مصرف گاز طبیعی استان یزد، از داده های سال ۱۳۸۵ به عنوان سال پایه برای شروع شبیه سازی در نظر گرفته شده و شبیه سازی برای مدت ۱۹ سال تا سال ۱۴۰۴ صورت گرفته است. در مواردی احتیاج به تخمین معادلات و داده های آماری سری زمانی متغیرها بوده، از داده های مربوط به سال ۱۳۸۵ تا سال ۱۳۹۲ استفاده شده است. داده های مورد استفاده در این پژوهش با توجه به اعداد و ارقام ارائه شده در ترازنامه های انرژی کشور، سالنامه آماری استان یزد در سال های مختلف، هم چنین برخی از داده ها با استفاده از اطلاعاتی که از مصاحبه با کارشناسان بخش صنعت گاز به دست آمده است و هم چنین برخی ضرایب متغیرها از مطالعات انجام گرفته دیگران در زمینه های مرتبط استخراج گردیده است. اعتبارسنجی مدل شامل آزمون های برازندگی، آزمون سازگاری ابعاد، آزمون

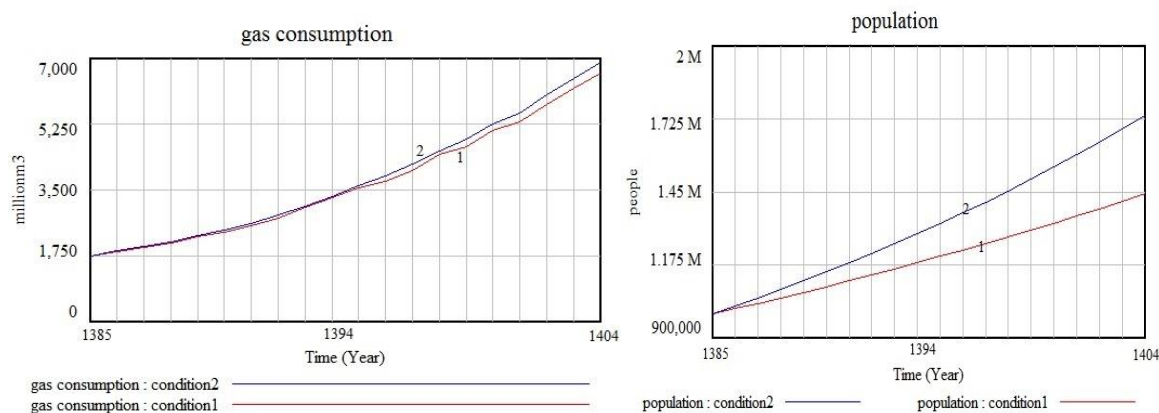
شرایط حدی، آزمون تأیید پارامتری، آزمون کفایت مرز، آزمون باز تولید رفتار و آزمون خطای انتگرال‌گیری انجام شد و از نظر رفتاری نیز متغیرهای مدل مورد تأیید خبرگان قرار گرفت. جدول ۲ نتایج آزمون رفتاری دو متغیر را نشان می‌دهد. جدول (۲): آزمون اعتبار رفتاری متغیر مصرف خانگی گاز طبیعی و کل مصرف گاز استان یزد (میلیون مترمکعب) (یافته‌های پژوهشگران)

	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲
مصرف کل گاز استان	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲
رفتار مرجع	۲۴۸۰	۲۷۰۷	۸۸۳
رفتار شبیه‌سازی شده	۲۳۷۶	۲۵۴۲	۲۷۴۸
مصرف خانگی گاز	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲
رفتار مرجع	۵۸۴	۶۳۷	۶۵۵
رفتار شبیه‌سازی شده	۵۸۸	۶۱۲	۶۳۲

۲.۶. سناریوسازی

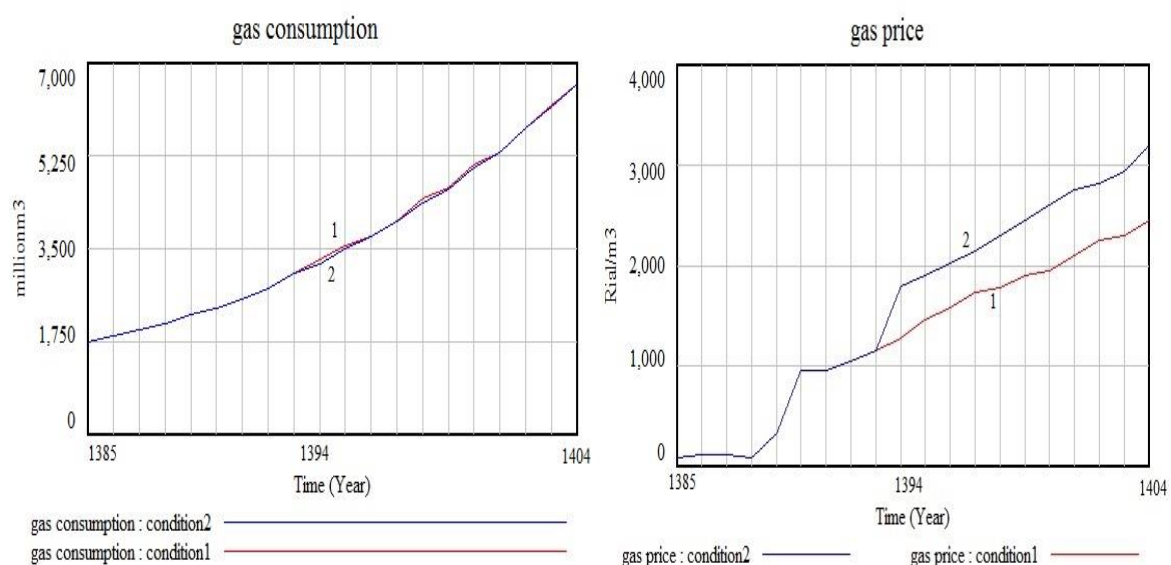
پس از تهیه نمودار جریان مصرف گاز و اعتبار سنجی مدل، می‌توان از آن برای تدوین انواع سناریوهای مدنظر برای آینده در رابطه با تحلیل و بهبود مدیریت مصرف گاز طبیعی در استان یزد استفاده کرد. بررسی این سناریوها از این جهت اهمیت دارد که در صورت انطباق با رفتار دنیای واقعی متغیرها، منجر به روایی بالاتر مدل تئوریک می‌شود. سناریوهای مختلف ارائه و مقدار مصرف گاز طبیعی و به عبارتی متغیر حالت که مقدار کمبود/مازاد گاز طبیعی می‌باشد، سنجیده می‌شود و تغییرات کلی سیستم ارزیابی می‌شود.

سناریوی اول: افزایش نرخ رشد جمعیت: یکی از مهم‌ترین عوامل موثر بر مصرف گاز جمعیت می‌باشد که به تبع افزایش آن مصرف گاز افزایش می‌یابد و اگر برنامه ریزی‌های کلان راهکاری برای آن نداشته باشیم مطمئناً با کمبود گاز طبیعی مواجه می‌شویم. بنابراین باید تاثیر تغییرات آن را در مصرف گاز بسنجیم. نتایج در شکل ۷ نشان داده شده است.



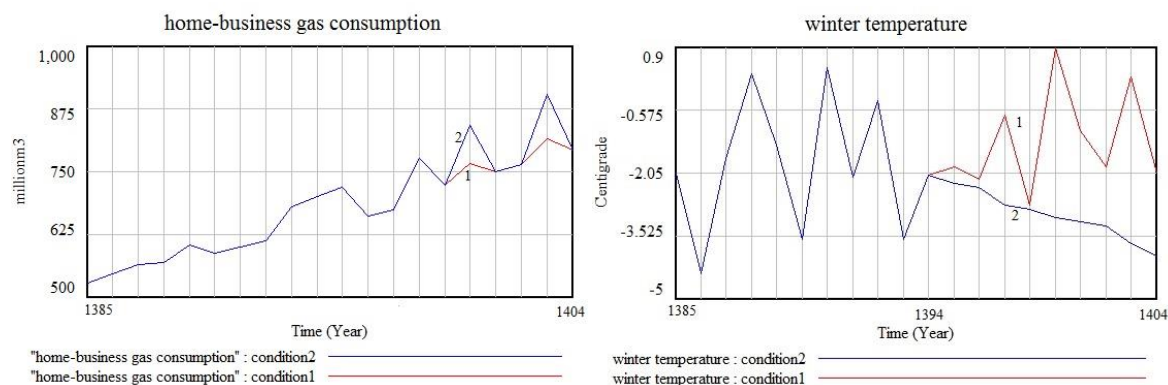
شکل (۷): رفتار متغیر کل مصرف گاز با افزایش جمعیت (یافته‌های پژوهشگران)

سناریوی دوم: افزایش قیمت گاز طبیعی بخش خانگی: بدون شک دولت از بزرگترین مصرف کنندگان حامل های انرژی است و افزایش قیمت این حامل ها موجبات افزایش هزینه دولت را فراهم می آورد. هدف دولت از اجرای قانون هدفمندسازی یارانه ها اصلاح الگوی مصرف انرژی و در نهایت کاهش حجم یارانه های نقدی بوده است. نتایج نشان می دهد که با تغییرات قیمت حامل های انرژی، به تنهایی اثر چندانی بر مصرف این فرآورده نخواهد داشت. نتایج در شکل ۸ نشان داده شده است.



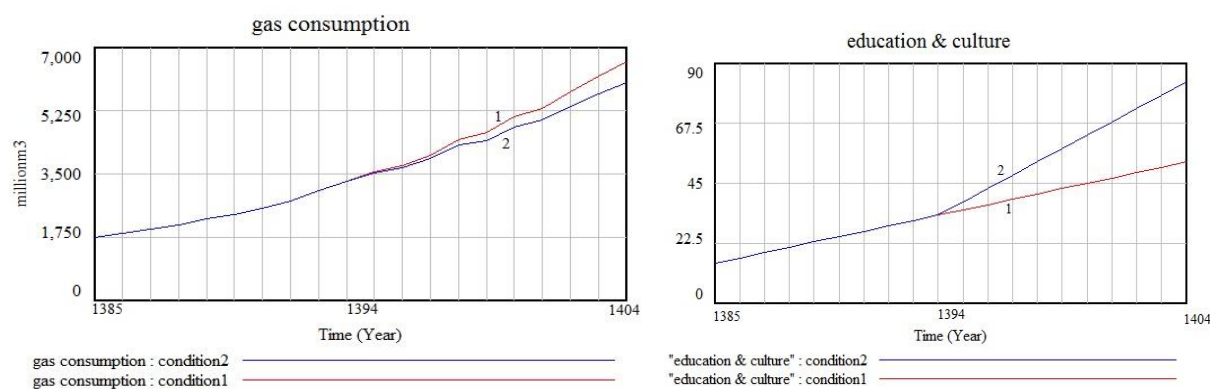
شکل (۸): بررسی رفتار قیمت گاز، کل مصرف گاز با افزایش قیمت گاز بخش خانگی (یافته های پژوهشگران)

سناریوی سوم: کاهش دما در زمستان: با توجه به این که تغییرات دمایی اثرات غیر قابل انکاری بر تغییرات مصرف مواد اولیه تأمین کننده انرژی های گرمایی و سرمایی بخش های مختلف جامعه خصوصاً مصرف گاز طبیعی دارد، در این سناریو نشان می دهد که اثر کاهش دما در زمستان باعث افزایش مصرف گاز خانگی و همچنین مصرف گاز بخش کشاورزی می شود. نتایج در شکل ۹ نشان داده شده است.



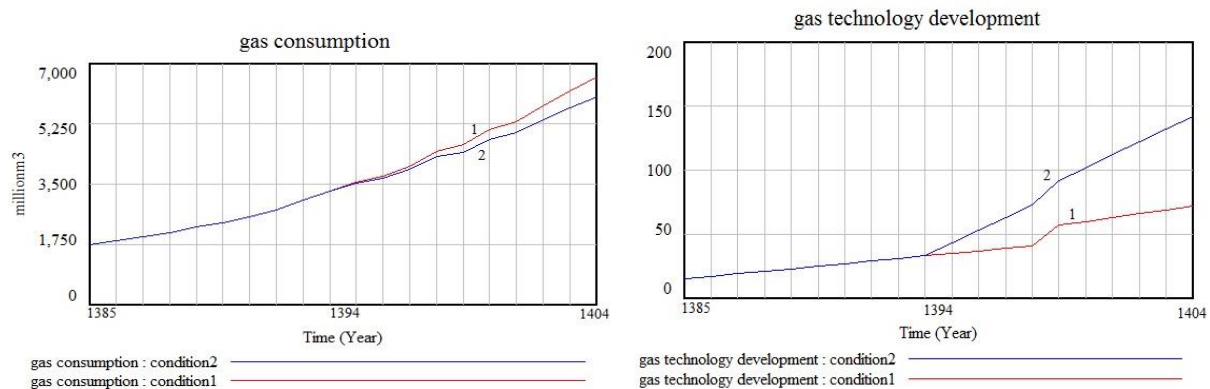
شکل (۹): رفتار متغیر مصرف گاز خانگی با کاهش دما (یافته های پژوهشگران)

سناریوی چهارم: افزایش سطح آموزش و فرهنگ سازی: با روش های متفاوت می توان سطح آموزش و فرهنگ مردم را افزایش داد. زیر ساخت های اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی داری جایگاه بسزایی می باشند، که جهت اشاعه فرهنگ مصرف صحیح و جلوگیری از اتلاف منابع کمیاب همواره می باید آنها را مورد توجه قرار داد. زیرا یکی از مهم ترین عوامل و تاثیرگذارترین عامل همین آموزش و فرهنگ سازی می باشد. نتایج در شکل ۱۰ نشان داده شده است.



شکل (۱۰): بررسی تأثیر آموزش و فرهنگ سازی بر مقدار مصرف کل گاز (یافته های پژوهشگران)

سناریوی پنجم: افزایش سطح تکنولوژی: انرژی یکی از عناصر مؤثر بر رشد و توسعه اقتصادی کشورهاست. از سویی به علت کمبود برخی منابع انرژی و عدم تجدید پذیری آن ها باید به دنبال راهکارهای کاهش مصرف انرژی بود تا بدین گونه توسعه پایدار حاصل آید و منافع نسل های آتی نیز تأمین شود. یکی از این راهکارها استفاده از تکنولوژی های صرفه جویی کننده مصرف انرژی است، به طوری که بهبود تکنولوژی می تواند در راستای صرفه جویی در مصرف انرژی عمل نماید. بهبود تکنولوژی منجر به کاهش رشد مصرف انرژی می شود، چون با بهبود تکنولوژی ابزارها و تکنیک های جدیدی حاصل می آید که این ابزارها و تکنیک ها به انرژی کمتری جهت تولید نیاز دارد. نتایج در شکل ۱۱ نشان داده شده است.



شکل (۱۱): رفتار متغیر مصرف کل گاز با افزایش تکنولوژی (یافته های پژوهشگران)

۳. بحث و نتیجه گیری

رفتار تقاضای مصرف گاز در استان متأثر از چند حوزه می باشد که بیشترین مقدار مصرف را دو حوزه عمده مصارف نیروگاهی و مصرف در بخش خانگی، تجاری و عمومی می باشد. بدلیل اینکه مصرف گاز در این دو بخش رفتاری فصلی دارد در زمان های اوج مصرف روزانه به رقم بالایی می رسد. در تابستان ها به علت گرمی هوا و نیاز به تولید برق بیشتر تقاضای نیروگاه ها بالا می رود و در زمستان به علت سردی هوا نیاز به گاز در بخش خانگی افزایش می یابد. بنابراین این مشکل باید مورد توجه سیاستگذاران قرار بگیرد و برای آن برنامه ریزی کنند و از طرف دیگر همانگونه که می دانیم روند رشد صنعت رو به کاهش است و این موضوع برای آینده نگران کننده بوده و می تواند مورد توجه سیاستگذاران قرار گرفته و روند صنعتی شدن را مورد بازنگری قرار دهند. با نگاهی به وضعیت فعلی صنایع کشور و نحوه فعالیت و سودآوری آنها می توان بر صحت نتیجه حاصله اذعان کرد. با این روند افزایش جمعیت و نیاز روزافزون مردم به مصرف گاز باید برنامه ریزی دقیقی در این زمینه انجام شود.

با توجه به این که در این پژوهش به منظور ارائه راهکار برای مدیریت مصرف گاز طبیعی استان یزد، از یک مدل شبیه سازی استفاده شده، می توان بدون هیچ هزینه ای، متغیرهای مختلف مدل را در ترکیب های مختلف که می تواند حالات فوق العاده زیادی را دربرگیرد، تغییر داد و رفتارهای ناشی از تغییر سیاست ها را مشاهده نمود و به انتخاب بهترین روش پرداخت. ذکر این نکته ضروری است که ارزیابی سیاست ها در عالم واقع و از طریق تجربه، مستلزم صرف هزینه بسیار و زمان زیادی است که موجب اتلاف منابع می شود. حال آن که با بهره گیری از شبیه سازی، می توان نتایج تعداد زیادی از سیاست های مختلف را با صرف زمان ناچیز و هزینه ای اندک مورد ارزیابی قرار داد.

به هر حال به نظر می‌رسد تمامی مسائل فوق در کنار افزایش سالیانه تعداد مشترکان در بخش‌های خانگی، صنعتی، نیروگاهی و مسائل دیگری که شرح آنها در این مختصر نمی‌گنجد دست به دست هم داده است تا مصرف انرژی گاز در بخش خانگی تا میزان وحشتناکی بالا برود. لذا برای حل این مشکلات یک اجماع کلی از سوی دولت و مردم نیاز است. سازمان‌ها و وزارتخانه‌های مختلفی باید در کنار هم جمع شوند و هر حوزه باید مشکلات مرتبط با آن بخش را مرتفع کند. وزارتخانه‌ها و سازمان‌هایی مانند نیرو، صنعت، معدن و تجارت، راه و شهرسازی، نظام مهندسی و ساختمان، استاندارد، بهینه‌سازی مصرف سوخت، محیط زیست، شهرداری و بسیاری سازمان‌های مرتبط دیگر باید در کنار شرکت گاز برای این مشکل و معضل که تأثیرات بسیار سنگینی روی اقتصاد، انرژی، هوا، محیط زیست و حفظ و نگهداشت این انرژی پاک برای نسل‌های بعدی دارد، گرد آمده و فکری اساسی کنند تا انشاء... در سال‌های آتی میزان و تراز تولید و مصرف در همه بخش‌ها به سطح قابل قبولی برسد.

۴. پیشنهادها

نتایج حاصل از سناریو اول نشان دهنده ارتباط مستقیم بین رشد جمعیت و مصرف گاز طبیعی می‌باشد. به‌طور کلی باید اذعان داشت که کنترل اندازه و رشد جمعیت باید در راستای مصرف انرژی در آینده، با توجه به پایان پذیری منابع انرژی، باید مدنظر سیاستگذاران و مدیران در حوزه ی اقتصاد و جمعیت قرار بگیرد.

سناریوی دوم نشان می‌دهد افزایش قیمت گاز طبیعی تأثیر چندان زیادی در کاهش مصرف گاز طبیعی ندارد. بنابراین، با توجه به این شرایط پیشنهاد می‌شود جهت کاهش مصرف این حامل در کشور از به کارگیری سیاست‌های قیمتی به عنوان تنها ابزار سیاستگذاری به شدت پرهیز شود. برای کاهش در مصرف حامل‌های انرژی بایستی علاوه بر راهکار قیمتی باید به راهکارهای غیرقیمتی از جمله اصلاح الگوی مصرفی خانوارها اقدام کرد.

با توجه به سناریوی سوم می‌توان نتیجه گرفت که از مشخصه‌های آشکار الگوی مصرف گاز طبیعی، نوسانات قابل توجه فصلی و دوره ای در تقاضای گاز است. با توجه به محدود بودن توان افزایش تولید گاز و بالا بودن هزینه های سرمایه گذاری آن، یکی از راه حل های اصلی کاهش اثرات سوء این نوسانات، ذخیره سازی در زمان عرضه‌ی مازاد و برداشت از مخازن در هنگام افزایش تقاضا است. بنابراین، یکی از راه حل‌های اساسی برای مدیریت مصرف در فصول سرد، افزایش ظرفیت تاسیسات زیرزمینی ذخیره‌ی گاز طبیعی به منظور پیک سایه مصرف است.

نتایج حاصل از اجرای سناریوی چهارم نشان می‌دهد که فرهنگ غلط مصرف بیش از نیاز در همه بخش‌ها و ارکان زندگی وجود دارد ولی می‌توان با آموزش‌های صحیح و به هنگام آنها را اصلاح نمود. در واقع می‌توان گفت، از آن جا که استفاده نادرست از وسایل مصرف‌کننده انرژی دلیل اصلی اتلاف انرژی در کشور ما است، با ایجاد فرهنگ صحیح مصرف و خصوصاً افزایش آگاهی مردم و اصلاح الگوی مصرف در جامعه، می‌توان به حفظ این ذخایر حیاتی کمک نمود. برنامه‌های آگاه‌سازی و آموزش در زمینه پیامدهای زیست محیطی نامناسب اتلاف انرژی و راهکارهای اصلاح الگوی انرژی یکی از بهترین شیوه‌ها و مقرون به صرفه ترین روش‌ها برای اصلاح الگوی مصرف انرژی می باشد. همچنین موفقیت برنامه‌های آموزشی در این زمینه، نیازمند ایجاد تغییر در سطح آگاهی محیط زیستی، باورها، اعتقادات، نگرش‌ها جهت فرهنگ‌سازی و نهادینه کردن الگوی مناسب مصرف و جلب مشارکت مردم است. بنابراین باید بیش از این روی آموزش و فرهنگ‌سازی مردم سرمایه گذاری شود.

نتایج سناریوی پنجم نشان می‌دهد که استفاده از تکنولوژی‌های قدیمی و تجهیزات فرسوده تولید در طول زمان، موجب افزایش مصرف گاز طبیعی در صنایع گردیده است، در نتیجه می‌توان با استفاده از تکنولوژی‌های نوین موجب کاهش مصرف گاز طبیعی شد. لذا ضروری است زمینه‌های کاهش مصرف گاز طبیعی در صنایع مختلف را با بهره‌گیری از تکنولوژی‌های پیشرفته و تجهیزات جدید فراهم نمود. در این راستا پرداخت یارانه توسط دولت برای بکارگیری تجهیزات کارا و به‌روزتر، می‌تواند در ایجاد انگیزه برای توسعه تکنولوژی مؤثر واقع شود.

از آنجایی که در این پژوهش به بررسی مصرف گاز در بخش‌های مختلف مصرف پرداخته شد تنها در هر حوزه متغیرهایی که تأثیر عمده داشته در نظر گرفته شد و در نتیجه از جامعیت مدل کاسته شد. به محققان آتی پیشنهاد می‌گردد با بررسی هر حوزه مصرف به صورت جداگانه تا حد ممکن تمام متغیرهای مؤثر بر مصرف شناسایی گردد. همچنین در این مدل تنها به بررسی سناریوهایی پرداخته شد که مصرف را کاهش می‌داد و در نتیجه به محققان آتی پیشنهاد می‌گردد ضمن بررسی متغیرهای مؤثر بر توزیع گاز، راهکارهایی جهت افزایش این متغیر نیز پیشنهاد گردد.

منابع و مآخذ

- مهرگان، محمدرضا، زندیه، مصطفی، کاظمی، عالی و اخوان انوری، محمدرضا، «مدل سازی عوامل مؤثر بر مصرف گاز طبیعی در بخش خانگی با استفاده از نگاشت شناختی فازی (FCM)»، مدیریت صنعتی، دوره ۹، شماره ۳، صص ۵۱۵-۵۳۸، ۱۳۹۶.
- سوهانکار، امیرحسین، حیدری، حمید و اکبری، محمدرضا، «چالش‌های مدیریت پیک مصرف گاز در ایران و ضرورت توسعه‌ی ظرفیت تاسیسات زیرزمینی ذخیره‌ی گاز طبیعی»، ماهنامه علمی اکتشاف و تولید نفت و گاز، شماره ۱۸۷، صص ۱۷-۲۷، ۱۳۹۹.
- فرامرزی، مرتضی، «بررسی و ارزیابی افزایش مصرف گاز طبیعی در سبد انرژی کشور چالش‌ها و راهکارها»، چهارمین کنفرانس ملی CNG، ۱۳۹۰.
- دیل، فرزانه و قنبرزاده، مریم، «نگاهی به رابطه مصرف گاز طبیعی در رشد اقتصادی و اولویت‌بندی مصرف گاز در کشور»، ماهنامه بررسی مسائل و سیاست‌های اقتصادی، شماره ۲، صص ۱۴۳-۱۴۸، ۱۳۹۱.
- معاونت امور برق و انرژی دفتر برنامه ریزی و اقتصاد کلان برق و انرژی، «ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۶»، ویراسته محمدعلی شفیعی زاده، ۱۳۹۸.
- صمدی، علی حسین و عیدی زاده، شهرام، «طراحی یک مدل دینامیک برای تدوین سیاست‌های صنعت گاز ایران با استفاده از رهیافت پویایی‌شناسی سیستم»، فصلنامه تحقیقات مدل‌سازی اقتصادی، شماره ۱۴، صص ۱۵۱-۱۸۱، ۱۳۹۲.
- شکری، ابوذر و قاضی‌زاده، ضیالدین، «بررسی اثر هوش تجاری به‌عنوان ابزار مدیریت دانش در بهبود شاخص‌های کلیدی عملکرد هولدینگ‌های سرمایه‌گذاری با رویکرد پویایی‌شناسی سیستم»، فصلنامه مدیریت راهبردی دانش سازمانی، دوره ۲، شماره ۷، صص ۴۱-۷۸، ۱۳۹۸.
- حاجی‌لو وحید، معمارزاده طهران، غلامرضا و مقیمی، زهرا، «مدل توسعه سرمایه انسانی در وزارت نفت ایران»، مدیریت منابع انسانی در صنعت نفت، دوره ۱۱، شماره ۴۳، صص ۳-۲۴، ۱۳۹۹.
- امیری، علیرضا، زارع مهرجردی، یحیی، جلالی منش، عمار و صادقیه، احمد، «پویایی‌شناسی عوامل مؤثر بر پایداری سیستم تولید گندم»، مدیریت تولید و عملیات، دوره ۱۱، شماره ۲ (پیاپی ۲۱)، صص ۱-۲۶، ۱۳۹۹.
- [1] Wang, Y., & Liang, S. (2013). "Carbon dioxide mitigation target of China in 2020 and key economic sectors". Energy Policy, 58, 90-96.
- [2] Wu, W., Ma, X., Zeng, B., Lv, W., Wang, Y., & Li, W. (2020). "A novel Grey Bernoulli model for short-term natural gas consumption forecasting". Applied Mathematical Modelling, No. 84, pp. 393-404.
- [4] Wei, N., Li, C., Peng, X., Li, Y., & Zeng, F. (2019). "Daily natural gas consumption forecasting via the application of a novel hybrid model". Applied Energy, No.250, pp. 358-368.
- [5] BP, Statistical Review of World Energy, 69th edition, 2020, 33.
- [9] Zhou, W., Wu, X., Ding, S., & Pan, J. (2020). "Application of a novel discrete grey model for forecasting natural gas consumption: A case study of Jiangsu Province in China". Energy, No. 200, pp.117-443.

- [10] Shi, T., & Gill, R. (2005). "Developing effective policies for the sustainable development of ecological agriculture in china: the case study of Jinshan Country with a systems dynamics model", Ecological Economics, No.53, pp. ۲۲۳-۲۴۶.
- [13] Daneshzand, F., Amin-Naseri, M. R., Elkamel, A., & Fowler, M. (2018). "A System Dynamics Model for Analyzing Future Natural Gas Supply and Demand". Industrial & Engineering Chemistry Research, Vol.57, No. 32, pp.11061-11075.
- [14] Naill, R. F. (1971). *The Discovery Life Cycle of a Finite Resource: A case study of US natural gas*.
- [15] Chhipi-Shrestha, G., Hewage, K., & Sadiq, R. (2017). "Water-energy-carbon nexus modeling for urban water systems: system dynamics approach". Journal of Water Resources Planning and Management, Vol.143, No. 6, pp.040171016.
- [16] Romagnoli, F., Barisa, A., Dzene, I., Blumberga, A., & Blumberga, D. (2014). "Implementation of different policy strategies promoting the use of wood fuel in the Latvian district heating system: Impact evaluation through a system dynamic model". Energy, No.76, pp.210-222.
- [17] Norbert, R., Kim, J., & Griffay, G. (2020). "A system dynamics framework for the assessment of resource and energy efficiency in iron and steel plants". Journal of Cleaner Production, No.276, p.123663.
- [18] Shahvali, S., Zandieh, M., Rabieh, M., & Dorri, B. (2021). "Long-term electricity demand forecast by combining interpretive-structural modeling methods and system dynamics". Journal of Industrial and Systems Engineering. Vol.13, No.3, pp.133-152.
- [19] Dhirasasna, N., & Sahin, O. (2021). "A system dynamics model for renewable energy technology adoption of the hotel sector". Renewable Energy, No.163, pp. 1994-2007.
- [20] Daneshzand, F., Amin-Naseri, M. R., Asali, M., Elkamel, A., & Fowler, M. (2019). "A system dynamics model for optimal allocation of natural gas to various demand sectors". Computers & Chemical Engineering, No.128, pp. ۸۸-۱۰۵.
- [21] Li, J., Dong, X., Shangguan, J., & Hook, M. (2011). "Forecasting the growth of China's natural gas consumption". Energy, Vol.36, No. 3, pp.1380-1385.
- [22] Yunna, W., Kaifeng, C., Yisheng, Y., & Tiantian, F. (2015). "A system dynamics analysis of technology, cost and policy that affect the market competition of shale gas in China". Renewable and Sustainable Energy Reviews, No. ۴۵, pp. ۲۳۵-۲۴۳.
- [23] Azadeh, A., Asadzadeh, S. M., & Ghanbari, A. (2010). "An adaptive network-based fuzzy inference system for short-term natural gas demand estimation: Uncertain and complex environments". Energy Policy, Vol.38, No.3, pp. 1529-1536.
- [24] Bai, Y., & Li, C. (2016). "Daily natural gas consumption forecasting based on a structure-calibrated support vector regression approach". Energy and Buildings, No.127, pp. 71-579.
- [25] Shi, T., & Gill, R. (2005). "Developing effective policies for the sustainable development of ecological agriculture in china: the case study of Jinshan Country with a systems dynamics model", Ecological Economics, No.53, pp. ۲۲۳-۲۴۶.