

تاریخ دریافت: ۱۵ مرداد ۱۴۰۲ تاریخ پذیرش: ۶ بهمن ۱۴۰۲ صفحات ۸۵ الی ۱۲۶

مدل‌سازی تقاضای گاز مشترکین خانگی به‌منظور کاهش شدت مصرف در استان آذربایجان شرقی با رویکرد پویایی‌شناسی سیستم

کیومرث مولایی

دانشجوی دکتری گروه مدیریت صنعتی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

stu.k_molae@iaut.ac.ir

علیرضا بافنده زنده *

دانشیار گروه مدیریت صنعتی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

bafandeh@iaut.ac.ir

صمد عالی

دانشیار گروه مدیریت صنعتی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

samad.aali@iaut.ac.ir

چکیده: هدف از این تحقیق ارائه مدلی برای تقاضای گاز مشترکین خانگی به‌منظور کاهش شدت مصرف در استان آذربایجان شرقی با رویکرد پویایی‌شناسی سیستم است. جامعه آماری این تحقیق، مصرف‌کنندگان خانگی استان آذربایجان شرقی هستند. به‌منظور شناسایی متغیرهای تأثیرگذار بر مصرف از رویکرد فرا ترکیب استفاده شده است. در این تحقیق ۷۹ متغیر با استفاده از متدولوژی فراترکیب، شناسایی و سپس با استفاده از آنتروپی شانون، جایگاه و تأثیر هر یک از متغیرها تعیین و سپس با تجزیه و تحلیل و ترکیب متغیرها، ۱۰ زیرسیستم در قالب ۴۹ متغیر شناسایی شده است. به‌منظور انجام مدل‌سازی پویا از نرم‌افزار ونسیم^۱ استفاده شده است. برای زیرسیستم‌های شناسایی شده نمودارهای علی حلقوی ترسیم و تخمین پارامترها انجام شده است. شبیه‌سازی داده‌ها در بازه زمانی ۱۳۹۲ تا ۱۴۱۲ برای مصرف‌کنندگان خانگی به تعداد ۱۵۳۳۶۹۷ مشترک نشان می‌دهد که با اعمال تمامی سیاست‌های کاهش مصرف می‌توان میزان تقاضا را با وجود افزایش مصرف‌کنندگان گاز طبیعی در سطح فعلی نگه داشت. بر این اساس، اقدامات راهبردی برای کاهش و کنترل مصرف در سه سطح کوتاه مدت، میان مدت و بلندمدت پیشنهاد شده است.

واژه‌های کلیدی: گاز طبیعی، مصرف‌کننده خانگی، پویا شناسی سیستم، تحلیل سیاست

* نویسنده مسئول

^۱ VENSIM

مقدمه

گاز طبیعی یکی از انواع منابع متنوع و گسترده انرژی در اختیار بشر است. گاز طبیعی به دلیل پایین بودن میزان آلاینده‌گی مورد توجه بسیار قرار گرفته است. به نظر می‌رسد گاز طبیعی تا سال ۲۰۳۰ به سهم فزاینده خود میان انرژی‌های فسیلی جهان ادامه دهد. این موضوع نشان می‌دهد که سهم گاز طبیعی در تأمین سوخت مصرفی بخش‌های خانگی، تجاری، صنعت و حمل‌ونقل روندی صعودی را طی خواهد کرد. مطابق آمار سامانه مشترکین شرکت ملی گاز ایران در نیمه دوم سال ۱۴۰۱ گاز مصرف شده در بخش خانگی ۴۸/۹۵ درصد مصرف گاز کل استان آذربایجان شرقی می‌باشد. این مقدار مصرف برای گرمایش منازل مسکونی، آب گرم و پخت‌وپز مورد استفاده قرار گرفته است. هر سال میزان مصرف در بخش خانگی روند روبه رشد دارد به طوری که در این استان، متوسط مصرف سالانه نسبت به ده سال گذشته ۳۲٪ و نسبت سال ۱۴۰۱ به سال ۱۴۰۰ در حدود ۷٪ افزایش داشته است. لذا یکی از کلیدی‌ترین بخش‌بندی‌ها مصرف‌کنندگان گاز طبیعی، بخش خانگی می‌باشند. با عنایت به زمان‌بر و هزینه‌بر بودن توسعه زیرساخت گاز در بخش تولید و انتقال، در حال حاضر اجرای برنامه‌های بهبود برای کاهش مصرف در سمت تقاضا و بهینه‌سازی مصرف سوخت، تنها راه‌حل برای کاهش شدت مصرف و تراز نمودن تولید و مصرف در فصول سرد سال می‌باشد. بدین منظور برای تعیین راهبردها برای مدیریت تقاضا از رویکرد پویا در این تحقیق استفاده شد است.

دانش‌زند^۲ (۲۰۱۸) در تحقیق خود در خصوص تحلیل عرضه و تقاضای گاز در ایران به این نتیجه رسیده است برای تحقق سناریوهای مختلف برای عرضه و تقاضا بر مبنای SD^3 در عرضه و تقاضای NG^4 میزان تقاضا در بخش خانگی می‌بایست کاهش چشمگیری داشته باشد. لذا این نتیجه‌گیری بر لزوم ایجاد تحقیق در راستای یافتن راه‌های کاهش شدت مصرف در این حوزه را پررنگ‌تر می‌نماید. باستان و شکوری^۵ (۲۰۱۸) سناریوهای مختلف برای وابستگی انرژی در ایران را مورد ارزیابی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که جایگزینی گاز و برق می‌تواند با انرژی‌های تجدیدپذیر

^۲ Daneshzand, Farzaneh

^۳ System dynamics

^۴ Natural Gas

^۵ Bastan, Mahdi ; Shakouri G, Hamed

انجام گیرد، ولی با توجه به بهای قیمت سوخت‌های فسیلی و در صورت بهای تمام‌شده بالای تأمین تجهیزات تولید انرژی‌های تجدیدپذیر، گاز طبیعی توجیه اقتصادی بالایی دارد. موحد نسب و همکاران^۶ (۲۰۱۷) در تحقیق خود بیان می‌کند که صرفه‌جویی در گاز و ایجاد امکان صادرات آن از منظر مالی بر تولید برق و صادرات آن ارجحیت دارد و این نشان‌دهنده این است که نه برق و نه انرژی‌های تجدیدپذیر باقیمت جهانی از منظر اقتصادی نمی‌تواند جایگزین گاز طبیعی گردد. پیش‌بینی‌های به‌دست‌آمده از نرم‌افزارهای رایج برآورد انرژی معمولاً از سطوح مصرف انرژی واقعی منحرف می‌شوند، این اختلاف را می‌توان عمدتاً به نادرست بودن نقشی که ساکنان ساختمان در معادله برآورد انرژی ایفا می‌کنند، نسبت داد (یودلسون^۷ ۲۰۱۰). از طرفی تعدادی از پژوهشگران به بررسی تأثیر قیمت بر مصرف پرداخته‌اند قدیمی (۱۳۹۸) دانش زند و همکاران (۲۰۱۸)، پازوکی نژاد (۱۳۹۹)، جانجان (۱۳۹۸) مولایی، یعقوبی (۱۳۹۵)) و تعدادی دیگر از محققان مانند کاظمی پوران بدر (۱۳۹۸) فقط به مدل‌سازی انرژی ساختمان‌های مسکونی با پارامترهای فیزیکی واحد مسکونی پرداخته‌اند و دمای محیطی و پارامتر قیمت و عادات مصرفی را مدنظر قرار نداده‌اند، تعدادی از محققان از جمله پازوکی نژاد (۱۳۹۹)، کاظمی (۱۳۹۹) صالحی (۱۳۹۵) به بررسی عادات مصرفی ساکنین را بررسی و ابعاد مختلف را استخراج نمودند. تعدادی دیگر مانند رفیعی (۱۳۹۸)، قدیمی دیزج (۱۳۹۸) از یک تابع برای مطالعه عرضه و تقاضا استفاده نمودند و لطفی (۱۳۹۸) هم به بررسی تأثیر تراکم ساختمان بر مصرف گاز پرداخته است. در تمامی این تحقیقات نوعی تقلیل‌گرایی بر اساس محدودیت در محدوده، اطلاعات و آمار در دسترس، زمان و ... اتفاق افتاده است و محقق‌هایی که از روش‌های اقتصادسنجی استفاده نموده‌اند از متغیرهای محدودی از جمله جمعیت، هزینه و درآمد به مبحث تقاضای گاز پرداخته‌اند و متغیرهایی مانند اثربخشی تبلیغات بر روی مصرف، بهینه‌سازی به صورت کلان نگر در مدل وارد نشده‌اند. در تحقیق حاضر با استفاده از داده‌ها و متغیرهای هشت زیرسیستم تقاضای گاز طیف وسیعی از متغیرهای تأثیرگذار از قبیل تبلیغات، بهینه‌سازی، درآمد، قیمت، جمعیت، دما و ... به صورت همزمان وارد مدل شده است. همزمان تأثیرگذاری تبلیغات که مدل آن توسط خود محقق توسعه یافته است (مولایی و همکاران ۱۴۰۲) و بهینه‌سازی موتورخانه‌ها به صورت کل نگر در تحقیقات

^۶ Movahednasab

^۷ Yudelso, j

پیشین مدل‌سازی نشده‌اند در این تحقیق این متغیرها در مدل وارد شده و تأثیر آن بر روی تقاضا فرموله و شکاف تحقیقاتی در این حوزه را پر کرده است.

بیان مسئله و سؤال تحقیق

به دلیل توسعه روزافزون شبکه و انشعاب در کشور میزان تقاضای مصرف گاز در کشور روند روبه رشد دارد، از طرفی به دلیل عدم توسعه تولید گاز و عدم ایجاد ظرفیت جدید برای استخراج و پالایش گاز طبیعی در بخش عرضه، تعادل عرضه و تقاضا در فصول سرد سال به هم می‌خورد. در فصل زمستان به دلیل افزایش تقاضا در بخش خانگی برای گرمایش واحدهای مسکونی و همچنین بر اساس سیاست‌گذاری شرکت ملی گاز مبنی بر اولویت مصرف‌کننده خانگی به سایر گروه‌ها، محدودیت مصرف به سایر گروه‌ها اعمال می‌شود. در سال‌های اخیر تعداد مصرف‌کنندگانی که مشمول این محدودیت‌ها می‌شوند روند رو به رشد دارد. به دلیل اینکه توسعه در صنایع بالادستی صنعت گاز نیاز به زمان زیاد و سرمایه‌گذاری کلان در بخش استخراج و پالایش و انتقال دارد و این توسعه انجام نشده است. لذا اجرای برنامه‌های بهبود برای کاهش مصرف در سمت تقاضا ضروری و در حال حاضر تنها راه‌حل برای جلوگیری از تشدید وضعیت بحرانی برای مصرف‌کنندگان و ضرر انباشته برای صنایع و آلودگی زیست‌محیطی ناشی از استفاده از سوخت مایع است. این پژوهش به دنبال ارائه مدلی برای تعیین الگوی تقاضای گاز در بخش مصرف‌کنندگان گاز خانگی به‌منظور مدیریت و کاهش محدودیت مصرف با رویکرد مدیریت در سمت تقاضا است. پیش‌بینی روند توسعه مصرف در بخش خانگی و تأثیر آن بر زنجیره تقاضا، با تحلیل سناریوهای مختلف در مدل میزان تأثیرگذاری هر اقدام را بر روی مصرف مورد ارزیابی قرار می‌دهد. لذا سؤالات تحقیق به شرح ذیل تعیین شد:

۱. متغیرهای کلیدی مرتبط با تقاضای گاز چیست؟
۲. روابط علت معلولی و روابط ریاضی بین متغیرها کلیدی تأثیرگذار بر تقاضای گاز چیست؟
۳. چه سناریوهایی برای تقاضا در بلندمدت و کوتاه‌مدت وجود دارد؟
۴. بر اساس نتایج ارزیابی سناریوها چه راهبردی برای کاهش تقاضای گاز پیشنهاد می‌گردد؟

پیشینه تحقیقات

یوتینگ دینگ و همکاران^۸ (۲۰۲۲) ارزیابی تاب‌آوری سیستم گاز طبیعی در شرایط کمبود عرضه با رویکرد دینامیک سیستم را مورد مطالعه قرار دادند و نتیجه‌گیری می‌کنند که انعطاف‌پذیری سیستم را می‌توان با اندازه‌گیری عرضه اضطراری و فشرده‌سازی تقاضا بهبود بخشید و می‌توان میزان تقاضا را تا ۳۰٪ در زمان غیر اوج بار کاهش داد و ظرفیت انتقال و ذخیره‌سازی زیرزمینی مهم‌ترین عامل در بهبود انعطاف‌پذیری سیستم گاز طبیعی است. یمیلیانوف^۹ (۲۰۲۱) و همکاران با مطالعه شاخص‌ها معیارها، و عوامل توسعه پایدار اقتصادی کشورهایی مانند استرالیا، آلمان، لهستان، روسیه و ترکیه و صرفه‌جویی در انرژی گاز طبیعی را مورد بررسی و تحقیق قرار دادند و پویایی مصرف گاز طبیعی در کشورهای مختلف را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند و ویژگی اصلی توسعه اقتصادی را صرفه‌جویی در انرژی شناسایی کردند. هونگیانلی و همکاران^{۱۰} (۲۰۲۱) نظریه دینامیک سیستم برای ساخت یک مدل پیش‌بینی ساختار مصرف انرژی منطقه‌ای مورد تحلیل قرار دادند نشان داد که مدل ساخته شده اثر پیش‌بینی خوبی دارد و استفاده از ابزار قیمتی و سیاست تعرفه‌ای دو پله‌ای برای بخش تولید و مصرف منجر به بهبود تقاضا می‌شود. باریس و همکاران^{۱۱} (۲۰۱۷) مصرف برق خانوار و نسبت هزینه به درآمد در لتونی را با مدل‌سازی پویا مورد ارزیابی قرار دادند و در این تحقیق نشان دادند که برخلاف انتظارات، کاهش بالقوه مصرف برق تقریباً، نسبت به قیمت برق و نسبت هزینه به درآمد برق حساس نیست و کارایی فناوری‌ها می‌تواند محرک اصلی برای صرفه‌جویی در مصرف برق در آینده باشد. حاجی حسینی بغداد آبادی و همکاران (۱۴۰۱) به آینده‌پژوهی مصرف گاز طبیعی در کشور با توجه به تغییرات آب و هوایی تا سال ۲۰۳۰ با استفاده از رهیافت ترکیبی اقتصادسنجی و سناریوسازی پرداختند. آینده‌پژوهی در قالب هشت سناریو دو متغیر کلیدی تغییرات دما و قیمت گاز طبیعی و همچنین فرض تداوم روندهای گذشته متغیرهای تولید ناخالص داخلی، مصرف برق، شدت انرژی، مصرف فرآورده‌های نفتی و جمعیت، مورد بررسی قرار گرفته است. نتیجه این تحقیق نشان

^۸ Yueting, D. & etal

^۹ Yemelyanov & etal

^{۱۰} Li, Hongyan. & etal

^{۱۱} Bariss & etal

می‌دهد افزایش قیمت گاز طبیعی می‌تواند روند رشد را تعدیل نماید. خسروی نژاد (۱۴۰۰) با استفاده از مدل اقتصادسنجی مبتنی بر سیستم تقاضای ایده‌آلی پژوهشی در خصوص تقاضای حامل‌های انرژی مصرف خانوار انجام داده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد بنزین، برق، گاز جزو کالاهای ضروری هستند. از این سه کالا بنزین و برق خانگی بی‌کاهش و گاز خانگی با کاهش برآورد شده است. حاجی حسینی بغداد آبادی و همکاران (۱۴۰۰) پژوهش اثر تغییرات آب و هوایی بر مصرف گاز طبیعی ایران، کاربرد الگوی رگرسیونی سانسور شده (توییت) را مورد بررسی قرار دادند، یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد، متغیرهای تولید ناخالص داخلی، روند، شدت انرژی، مصرف برق و دما، به ترتیب بیشترین اثر را بر مصرف گاز طبیعی کشور طی دوره مورد بررسی داشته‌اند. تأکید ویژه این مطالعه بر اثر تغییرات آب و هوایی بر مصرف گاز طبیعی است که نتایج تخمین اثر معنی‌دار این عامل را نشان داد. کاظمی و همکاران (۱۳۹۹) مدل مفهومی شبکه با هدف کاهش مصرف انرژی برق و گاز خانگی با استفاده از روش تفکر مبتنی بر ارزش را ارائه نمودند و نتایج نشان داد که علت افزایش مصرف از سوی مصرف‌کننده ناشی از سه عامل عدم درک آثار مصرف بی‌رویه، ناآگاهی در زمینه روش‌های مدیریت اثربخش مصرف انرژی و عدم شناخت و دسترسی به تجهیزات کاهش مصرف و سبب بهینه انرژی‌های مختلف برای کاهش مصرف انرژی است. سیاست‌گذاران نیز به دلیل درک ناکافی از دانش روش‌های کاهش مصرف انرژی خانگی و عدم تسهیل پیاده‌سازی سیاست‌های مستدل، نتوانسته‌اند مصرف بخش خانگی را کنترل کنند. کاظمی پوران بدر و همکاران (۱۳۹۹) بررسی تأثیر سیستم مدیریت ساختمان و عایق‌سازی در کاهش مصرف انرژی با استفاده از تحلیل انرژی ساختمان‌های مسکونی پرداختند. در این تحقیق فرض شده است که به لحاظ مصرف بهینه‌ی انرژی و آسایش ساکنین فراهم نماید، بین ۱۸ تا ۲۶ درجه سانتی‌گراد می‌باشد و برای فعالیت در واحد مسکونی نیز بر اساس استاندارد یک مقدار پیش‌فرض لحاظ شده است. کاظمی و همکاران (۱۳۹۹) در مقاله‌ای تحت عنوان تحلیل اجتماعی عادت مصرف انرژی با تأکید بر مصرف گاز خانگی نسبت بررسی این عوامل پرداخته و دریافته‌اند که دانش مصرف گاز بیشترین تأثیر را بر عادت مصرف گاز دارد و همچنین دریافته‌اند که هیچ رابطه معناداری میان این درآمد خانوار و بهای گاز و عادت مصرف گاز وجود ندارد. عبدیورمزان و همکاران (۱۳۹۹) رابطه ارکان مدل فعال‌سازی هنجار و انگیزش نسبت به صرفه‌جویی با رفتار صرفه‌جویی برق در خانواده‌های تهرانی مورد بررسی قرار دادند و

یافته‌ها نشان داد که از بین متغیرهای جمعیت شناختی تنها وضعیت تأهل با رفتار صرفه‌جویی در مصرف برق ارتباط دارد. آگاهی از مشکل و اسناد مسئولیت‌پذیری و آگاهی از پیامدها، با هنجارهای شخصی رابطه مستقیم و معناداری داشتند و هنجارهای شخصی هم با صرفه‌جویی برق رابطه مستقیم داشت. پازوکی نژاد (۱۳۹۹) در تحقیق خود بیان می‌کند که مصرف گاز توسط مشترکین خانگی تا حد زیادی همسو با منافع جمعی است و ارزش‌های محیط زیستی، اعتماد نهادی، هنجارهای اجتماعی و خودکارآمدی بیشترین تأثیر را بر گرایش‌های دیگرخواهانه در مصرف گاز داشته‌اند. همچنین بیان می‌کند میزان تقاضای گاز با تحصیلات رابطه معناداری ندارد. موسوی و همکاران (۱۳۹۹) به تحلیل اجتماعی مصرف انرژی خانگی در مناطق روستایی ساری پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد که مصرف انرژی خانگی رابطه معنادار و مستقیم با متغیرهای: باورهای محیط زیستی، ارزیابی فرد، هنجارهای رسمی، هنجارهای غیررسمی، مسئولیت‌پذیری محیط زیستی، تصور فرد، احساس فرد، عادت به رفتارهای حمایتی و شرایط محیطی دارد. رجبانی و همکاران (۱۳۹۹) با استفاده از روش تفکر مبتنی بر ارزش مورد مطالعه قراردادند. نتایج نشان داد که علت افزایش مصرف از سوی مردم ناشی از سه عامل بنیادی ۱- عدم درک آثار مصرف بی‌رویه ۲- نبود آگاهی در زمینه روش‌های مدیریت اثربخش مصرف انرژی ۳- عدم شناخت و دسترسی به تجهیزات کاهش مصرف و سبد بهینه انرژی‌های مختلف برای کاهش مصرف انرژی بوده است. سیاست‌گذاران نیز به دو دلیل ۱- درک ناکافی علم مربوط به روش‌های کاهش مصرف انرژی خانگی ۲- عدم تسهیل پیاده‌سازی سیاست‌های مستدل (به کارگیری گزینه‌های سیاستی و توان ارزیابی میزان اثربخش آن) نتوانسته‌اند مصرف بخش خانگی را کنترل کنند. قدیمی دیزج و همکاران (۱۳۹۸) اثر قیمت گاز طبیعی بر تاب‌آوری سیستم گازرسانی ایران را مورد ارزیابی قرار داده و بر اساس مدل تصحیح خطای برداری (VECM) بیان می‌کند که هدفمندی یارانه‌ها بر تاب‌آوری سیستم گازرسانی اثر مثبت داشته ولیکن بعد از اجرای قانون هدفمندی یارانه‌ها، منجر به کاهش آن شده است. جانجان و همکاران (۱۳۹۸)، بررسی عوامل اقتصادی مؤثر بر تقاضای گاز خانگی در ایران پرداخته و نتایج نشان داده که در کوتاه‌مدت و بلندمدت امکان جایگزینی برق با گاز وجود دارد، اما کشش قیمتی تقاضا نسبت به قیمت برق کمتر از ۰/۵ است و نتیجه بیانگر این است که تغییرات قیمت برق تأثیر کمی بر روی مصرف گازدار که گاز طبیعی در بخش خانگی کالایی بی‌کشش و ضروری است.

چارچوب نظری

تحلیل تقاضا یکی از قدرتمندترین ابزارهایی است که برای درک پیش‌بینی پدیده‌ها و متغیرهای تأثیرگذار بر مصرف گاز طبیعی می‌باشد. لذا به منظور تخمین تابع تقاضا برای فرمول‌بندی از روش‌های آماری و اقتصادسنجی استفاده شده است که شامل روش‌های آماری:

الف) ساده برون‌یابی^{۱۲}: اساس این روش بر مبنای نرخ رشد متوسط متغیر مورد بررسی به صورت حسابی، هندسی و نظایر استفاده می‌شود که نرخ رشد محاسبه شده با کمک داده‌های گذشته در پیش‌بینی تقاضای گاز طبیعی در سال‌های آتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. از این روش برای محاسبه روند رشد مصرف کنندگان گاز طبیعی استفاده شده است.

ب) روش سری زمانی^{۱۳}: هرگاه در مورد یک متغیر چنین فرض شود که مقادیر گذشته آن ساختار و ماهیت، رفتار متغیر را در بردارد و تمامی عوامل مؤثر در آن متغیر را در مقادیر گذشته آن اثرگذاری کرده‌اند، می‌توان بر اساس روند گذشته داده‌های سری زمانی، روند آتی را پیش‌بینی نمود که اشکال مختلفی به شرح ذیل دارد.

۱. الگوی چندجمله‌ای

$$Y(t) = a_0 + a_1t + a_2t^2 + \dots + a_{n-1}t^{n-1}$$
۲. الگوی خطی

$$Y(t) = C_1 + C_2t$$
۳. الگوی منحنی رشد نمایی

$$Y(t) = Ate^{rt}$$
۴. الگوی روندی خود رگرسیونی

$$Y(t) = C_1 + C_2Y(t-1)$$
۵. الگوی روندی خود رگرسیونی لگاریتمی

$$\log Y(t) = C_1 + C_2 \log Y(t-1)$$

که در فرمول‌های فوق‌الذکر $Y(t)$ مقدار متغیر برای سری زمانی است (لطفی پور ۱۳۸۲). با توجه به اینکه در این تحقیق از مدل پویا و نرم‌افزار ونسیم برای مدل‌سازی استفاده شده است، لذا به جز موارد فوق‌الذکر از تابع LOOKUP نرم‌افزار برای تعریف متغیرهای سری زمانی من جمله سرانه درآمد، سرانه هزینه، دما و ... استفاده شده است. این تابع با توابع مربوط به نرخ‌های رشد امکان انجام رگرسیون را فراهم می‌نماید.

^{۱۲} Trend Analysis or Trend Extrapolation.

^{۱۳} Time series processing

ج) روش‌های اقتصادسنجی^{۱۴}

روش‌های اقتصادسنجی در مورد الگوسازی تقاضای برای کالا و انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرد. شکل کلی یک الگوی اقتصادسنجی به صورت زیر است:

$$Y = F(x) + U$$

که در این الگو که X متغیر مستقل (مثلاً درآمد) و Y متغیر وابسته (مثلاً تقاضای گاز) و U جمله خطای تصادفی است. با عنایت به روش فرا ترکیب استفاده‌شده برای شناسایی متغیرها و برخی توابع، لذا متغیرهای اقتصادی استفاده‌شده در این تحقیق شامل کشش درآمدی و کشش قیمتی از نتایج تحقیقات پیشین برای برآورد مقادیر و توابع استفاده‌شده است. (لطفی پور ۱۳۸۲)

روش تحقیق

این پژوهش از منظر مبانی فلسفی پژوهشی بر اساس پارادایم تفسیری و از نظر هدف تحقیق از نوع کاربردی و از نظر رویکرد پژوهشی کمی و کیفی است. همچنین بر اساس نحوه جمع‌آوری اطلاعات یک تحقیق توصیفی است. در این تحقیق از روش پویا شناسی سیستم‌ها بهره گرفته شده است. به منظور شناسایی متغیرهای تأثیرگذار بر روی سیستم تقاضا از روش فرا ترکیب که توسط سندولوفسکی و بارسو^{۱۵} (۲۰۰۷) توسعه یافته است و دارای هفت گام ۱- فرموله کردن هدف و منطق ۲- طرح نمودن سؤال تحقیق جستجو برای یافتن منابع موردنیاز برای تحقیق ۳- ارزیابی گزارش‌های مطالعات کیفی و انتخاب متون ۴- طبقه‌بندی گزارش‌های و مطالعات کیفی ۵- تهیه فرا خلاصه کیفی به منظور تجزیه و تحلیل و انجام فرا ترکیب ۶- بهینه‌سازی روایی ترکیب و کنترل کیفیت ترکیب ۷- ارائه یافته‌های متانتز کیفی است بهره گرفته شده است.

سیستم‌های دینامیکی اولین بار در کتاب پویایی‌های صنعتی توسط فاستر^{۱۶} در سال ۱۹۶۱ معرفی گردید. این روش به عنوان ابزاری قدرتمند برای بررسی مسائل پویای مرتبط با سیاست‌های صنعتی ارائه شد، SD مدلی برای تسهیل تفکر، شبیه‌سازی و مطالعه سیستم‌های دینامیکی پیچیده است (فاستر ۱۹۶۱). سیستم‌های دینامیکی روشی است که برای مدل‌سازی و شبیه‌سازی انواع سیستم‌های غیرخطی ابداع شده است. از نقاط قوت سیستم‌های دینامیکی می‌توان به مواردی چون توانایی ساخت

^{۱۴} Econometrics Methods.

^{۱۵} Sandelowski & Barroso

^{۱۶} Foster

مدل‌های پیچیده با در بر گرفتن هزاران معادله، قابلیت ردیابی جریان‌های موجود در سیستم، نمایش بازخوردها، به دست آوردن درک بالایی از روابط علی-حلقوی و درنهایت کاهش اشتباهات در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی اشاره نمود (استرمن ۲۰۰۱). در این مطالعه از روشی که مشایخی در مقاله‌ای تحت عنوان تعریف مسئله دینامیک سیستم به‌عنوان یک فرآیند تکاملی با استفاده از مفهوم ابهام از ریچاردسون و پیو ۱۹۸۱؛ ریچموند، ۱۹۹۷؛ ونیکس ۱۹۹۹؛ استرمن ۲۰۰۰، بیان کرده استفاده می‌شود. شکل (۱) نمودار تحقیق را بیان می‌کند. در این تحقیق از رویکرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها مطابق چارچوب PHAPI استفاده شده است. این چارچوب دارای پنج گام می‌باشد: گام اول تعریف مشکل و چارچوب‌بندی مسئله (انتخاب مرز مدل)^{۱۷} می‌باشد که در بیشتر مواقع از یک نمودار مرجع برای طرح مسئله استفاده می‌شود. در گام دوم فرضیه دینامیکی^{۱۸} که در این مرحله به‌صورت یک مدل کیفی علی و معلولی (CLD) یا حالت و جریان (SDF) به تصویر کشیده می‌شود. سپس در گام سوم آنالیز^{۱۹} این مدل کیفی، کمی شده و در نرم‌افزار، مدل مربوطه ترسیم و با داده‌های دنیای واقعی و فرموله کردن متغیرها اجرا می‌شود و در ادامه با استفاده از آزمون‌های مختلف (مانند شرایط حدی و...) اعتبار آن سنجیده می‌شود. بعد از آنکه مشخص شد فرضیه و مدل قابل اعتماد است، در گام بعد سیاست‌های پیشنهادی^{۲۰} با استفاده از آن موردسنجش و بررسی قرار می‌گیرند. درنهایت و در گام آخر مشکلات و چالش‌های اجرایی^{۲۱} موردبحث قرار می‌گیرند. (مشایخی ۲۰۱۲)

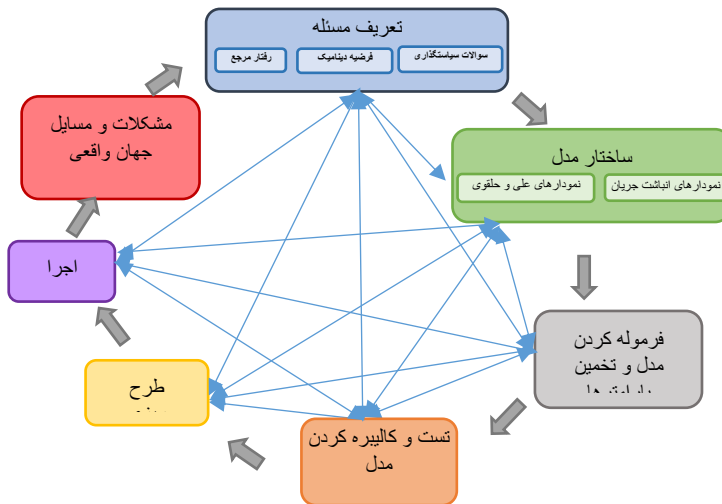
^{۱۷} Problem definition

^{۱۸} Hypothesis

^{۱۹} Analyze

^{۲۰} Policies

^{۲۱} Implementation



شکل ۱: مدل روش‌شناسی سیستم‌های پویا (مشایخی ۲۰۱۲).

یافته‌های پژوهش

چهارچوب بندی مسئله (انتخاب مرز مدل)

به‌منظور شناسایی عوامل و متغیرهای تأثیرگذار بر روی تقاضا با استفاده از متدولوژی فرا ترکیب متغیرهای شناسایی‌شده از ادبیات موضوع، مورد واکاوی قرار گرفته و از طریق تحلیل محتوای طبقه‌بندی و اولویت‌بندی مناسبی صورت پذیرفت. جامعه آماری در این تحقیق، مشکل از مقالات علمی پژوهشی چاپ‌شده در پایگاه‌ها و مراکز علمی معتبر هست. از بین ۱۲۷ مقاله یافت شده در بازه زمانی سال ۱۹۹۲ تا ۲۰۲۲ برای مطالعات خارجی و سال ۱۳۸۲ تا ۱۴۰۱ برای مطالعات داخل کشور، ۵۳ مقاله برای تجزیه و تحلیل انتخاب شد. مقالات، وارد نرم‌افزار MAXQDA گردیده و متغیرها در قالب ۹۸ کد^{۲۲} و ۴۳۷ بخش‌های کدگذاری شده^{۲۳} کدگذاری و ۷۹ متغیر، شناسایی گردید. سپس با تجزیه و تحلیل و ترکیب متغیرهای مشابه، ۴۹ در قالب ۱۰ زیرسیستم طبقه‌بندی گردید. که نتایج در جدول شماره ۱ آورده شده است. به‌منظور تعیین چارچوب مرزهای سیستم در این پژوهش به شرح ذیل تعیین گردید.

^{۲۲} Code

^{۲۳} Coded Segments

۱. در تحقیق حاضر گاز طبیعی به‌عنوان منبع تأمین انرژی برای گرمایش خانوارهای گاز استان آذربایجان شرقی در نظر گرفته شده است.
۲. مرز فیزیکی مورد مطالعه محدوده استان آذربایجان شرقی است. تعداد مصرف‌کنندگان گاز خانگی ۱۵۱۸۰۸۸ مشترک می‌باشد که در واقع جامعه آماری تحت مطالعه این تحقیق می‌باشد.
۳. محدوده زمانی این تحقیق برای داده‌های سری زمانی مصرف بازه ده‌ساله از سال ۱۳۹۱ تا سال ۱۴۰۱ است و پیش‌بینی مدل برای بازه زمانی ۱۴۰۱ تا ۱۴۱۱ می‌باشد.
۴. مرز متغیرها شامل متغیرهایی است به روش فرا ترکیب منتخب شده‌اند و برای ترسیم نمودار زیرسیستم و نمودارهای علی و حلقوی مورد استفاده قرار گرفته است در جدول شماره (۱) آورده شده است. متدولوژی فرا ترکیب برای سیستم تقاضای گاز در تحقیقی که توسط محقق تحت عنوان "شناسایی، اولویت‌بندی و تحلیل متغیرهای تقاضای گاز طبیعی خانگی و ارائه مدل زیرسیستم معماری کلی: رویکرد فرا ترکیب" به تفصیل تشریح شده است. (مولایی و همکاران ۱۴۰۱). جدول شماره (۲) متغیرهای مورد استفاده برای مدل‌سازی تقاضای و نمودارهای حالت جریان را نشان می‌دهد.

جدول ۱: متغیرهای تأثیرگذار بر زیرسیستم تقاضای گاز خانگی

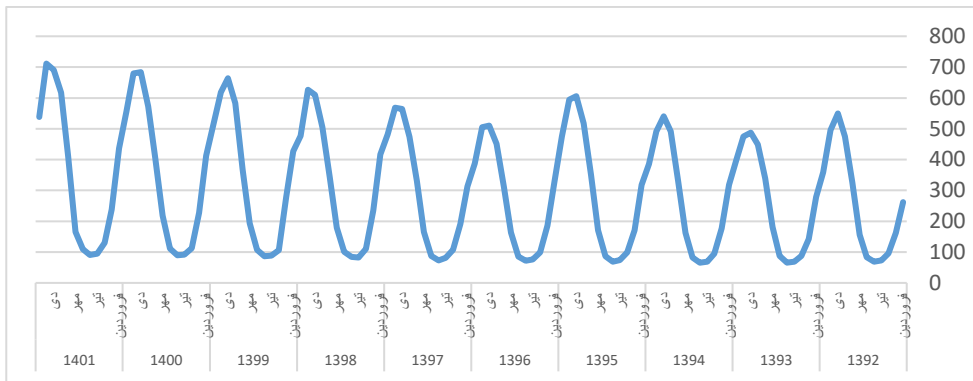
ردیف	زیرسیستم (تم)	متغیرهای شناسایی شده (کد)
۱	زیرسیستم فنی و تکنولوژیک	نوع بنا، شدت انرژی، وجود سیستم هوشمند کنترل دما یا کنتور، نوع وسیله گرمایشی، زیربنای ساختمان، عمر بنا، نمایشگر دما، ویلایی، آپارتمانی
۲	زیرسیستم فرهنگی	رفتار مصرف گاز، آگاهی از مصرف بهینه، باورهای فردی، فرهنگ زیست محیطی، میزان تبلیغات، درک کنترل بر رفتار افراد در صرفه جویی، انگیزش نسبت به صرفه جویی، نگرش نسبت به انرژی
۳	زیرسیستم حکمرانی	تعرفه گاز (قیمت)، حمایت‌های بهینه‌سازی، سیاست‌های توسعه‌ای
۴	زیرسیستم اقتصادی	کشش قیمتی، کشش درآمدی، درآمد سرانه، سهم مخارج خانوار از مصرف انرژی، صادرات، واردات، ثروت خانوار
۵	زیرسیستم اجتماعی	هنجارهای اجتماعی، سرمایه اجتماعی، رضایتمندی از خدمات رسانی، اعتماد نهادی
۶	زیرسیستم زیست محیطی	روز درجه گرماش، آلودگی زیست محیطی، دغدغه زیست محیطی، دانش زیست محیطی، ارزش‌های زیست محیطی

ادامه جدول ۱: متغیرهای تأثیرگذار بر زیرسیستم تقاضای گاز خانگی

ردیف	زیرسیستم (تم)	متغیرهای شناسایی شده (کد)
۷	زیرسیستم زمانی	فصول سرد سال
۸	زیرسیستم جمعیتی	جمعیت، نرخ رشد جمعیت، تعداد اعضای خانوار، سن، تحصیلات، تعداد مشترکین، وضعیت اشتغال، تعداد مصرف کننده، جنسیت، درصد خانوار شهری
۹	زیرسیستم زیر ساخت	پیشینه مصرف، شبکه، امداد و خدمات
۱۰	زیرسیستم مکانی	شهر نشینی

جدول ۲: متغیرهای مدل برای رسم نمودار انباشت جریان

متغیرهای درون زا	متغیرهای برون زا	متغیرهای خارج از مدل
سرانه ساعات برنامه های تبلیغاتی	قیمت (تعرفه گاز)	صادرات
نرخ رشد قیمت	درآمد خانوار	واردات
نرخ رشد درآمد	درصد مصرف کنندگان شهری	نوع بنا(ویلايي / آپارتماني)
نرخ رشد جمعیت	درصد مصرف کنندگان روستایی	هنگار های اجتماعی
سرانه مصرف	داده های سری زمانی دما(اقلیم)	سرمایه اجتماعی
دمای رفاه	پیشینه مصرف (سرانه مصرف)	اعتماد نهادی
دمای آسایش	جمعیت	عمر بنا
	نرخ رشد جمعیت	آلودگی های زیست محیطی
	بازه زمانی فصول سرد سال	فرهنگ(باور)
	کشش قیمتی	انگیزه های صرفه جویی
	کشش درآمدی	نگرش نسبت به مصرف انرژی
	نوع سیستم گرمایش	شبکه/انشعاب گاز
	مصرف خانوار در استان	تجهیزات کنترل دمای داخلی منازل
		رضایتمندی از خدمات شرکت گاز



شکل ۳: مصرف گاز ده‌ساله به صورت ماهیانه بر حسب میلیون مترمکعب

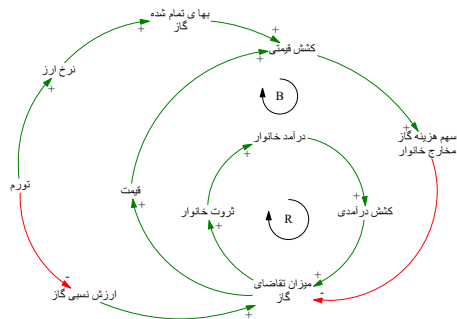
همان‌طور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود میزان تقاضا در بخش خانگی در طول سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۴۰۱ روند افزایشی و رو به رشد دارد.

نمودارهای علی-حلقوی و حالت-جریان

نمودارهای علی، ساختار بازخوردی یک سیستم را نشان می‌دهند، در ادامه برای هشت زیرسیستم نمودارهای علی، رسم شده است. به دلیل تک متغیر بودن زیرسیستم مکانی و زمانی نمودار علی رسم نشده است.

رسم نمودار علی حلقوی زیرسیستم اقتصادی

در صورتی که قیمت گاز افزایش پیدا کند، مصرف کاهش می‌یابد، (حسینی بغداد آبادی ۱۴۰۰). اگر این افزایش قیمت از یک حد آستانه بیشتر شود به حدی که کشش قیمتی آن بیش از واحد شود، در این صورت علاوه بر افزایش سهم هزینه گاز در سبد هزینه‌های خانوار، منجر به کاهش تقاضا شده و یک حلقه تعادلی در جهت کاهش میزان تقاضا ایجاد می‌کند. (مولایی ۱۳۹۵، عباسی ۱۳۸۹)



شکل ۴: نمودار علی حلقوی زیرسیستم اقتصادی

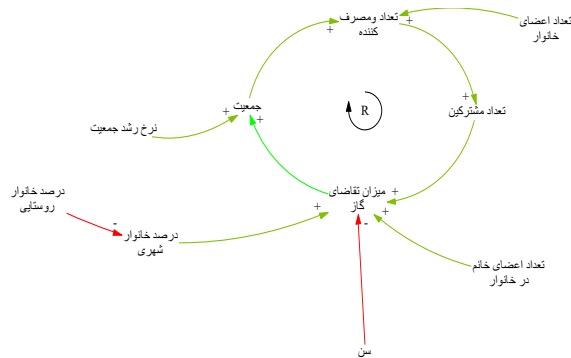
خانوارهایی که دارای ثروت زیاد هستند، به دلیل بالا بودن درآمد و کاهش درآمدی بالای تمایل به مصرف زیاد و افزایش تقاضا دارند. بالا بودن درآمد، تمایل به ایجاد رفاه را بیشتر می‌کند و تقاضا برای مصرف بیشتر می‌شود و ایجاد حلقه تقویتی در راستای افزایش مصرف را خواهد داشت. (گوانی بایوچی^{۲۴} ۲۰۱۰).

مقوله تورم از دو دیدگاه قابل بررسی است، الف) از یک سو به دلیل اثرگذاری بر خدمات، کالا و نرخ ارز باعث بالا رفتن هزینه تمام شده تولید و توزیع گاز می‌شود و این افزایش هزینه‌ها تمایل دولت را برای افزایش قیمت زیاد می‌کند. ب) در صورتی که سیاست دولت افزایش قیمت گاز با تورم باشد، منجر به افزایش قیمت و ایجاد حلقه تعادلی در راستای کاهش تقاضا می‌شود. اما، در صورتی که سیاست گذار تمایلی به افزایش قیمت در مقابل تورم نداشته باشد، در این صورت باعث کاهش ارزش نسبی قیمت گاز شده و میزان تقاضا روند افزایشی خواهد داشت. (محمدی ۱۳۹۸). نمودار این حلقه در شکل (۴) نمایش داده شده است.

رسم نمودار علی حلقوی زیرسیستم فرهنگی

دانش مصرف بهینه گاز بیشترین تأثیر را بر عادت مصرف دارد و با افزایش سطح دانش، رفتار مصرف کننده بهبود می‌یابد، (پازوکی ۱۳۹۹). همچنین متغیر کنترل بر رفتار تأثیر معنی داری بر روی

^{۲۴} Baiocchi, Giovanni



نمودار ۶: نمودار علی حلقوی زیرسیستم جمعیتی

رسم نمودار علی حلقوی زیرسیستم جمعیتی (جمعیت شناختی)

شهرنشینی باعث افزایش تقاضای گاز می‌شود. در روستاها خانه‌ها ویلایی دارای سرانه مصرف بالا هستند. به دلیل توسعه شهرنشینی و مهاجرات روستائیان در فصول سرد سال به شهرها، مصرف گاز در شهرها نسبت به روستا افزایش می‌یابد. همین موضوع باعث می‌شود درصد شهرنشینی و متعاقب آن مصرف افزایش می‌یابد، (زارع شاه‌آبادی ۱۳۹۴). وضعیت اشتغال بر روی میزان مصرف تأثیر مثبت دارد، (پازوکی ۱۳۹۹). تعداد اعضای خانوار، میزان تقاضا برای مصرف انرژی را افزایش می‌دهد، (مارگارت ۲۰۱۳^{۲۵}، لیانگ لی ۲۰۲۱^{۲۶}، صالحی ۱۳۹۵). بالا رفتن سن اعضای خانوار باعث می‌شود که میزان تقاضا برای مصرف انرژی افزایش یابد، (پازوکی ۱۳۹۹، مارگارت ۲۰۱۳، لیانگ لی ۲۰۲۱). اما زارع شاه‌آبادی (۱۳۹۲) تحقیق نشان می‌دهد که با بالا رفتن سن مصرف مسئولانه‌تر شده و صرفه‌جویی اتفاق می‌افتد. او همچنین در خصوص جنسیت

بیان می‌کند که زنان خانه‌دار رفتار مسئولانه‌تری نسبت به مصرف انرژی دارند، اما (لیانگ لی ۲۰۲۱) به این نتیجه رسیده است با حضور تعداد زیاد خانم در منزل به دلیل نیاز به آب گرم و پخت پز تقاضا برای مصرف را بالا خواهد برد. افزایش جمعیت باعث می‌شود که تعداد مصرف کننده و به تبع آن تعداد

^{۲۵} Margarethe

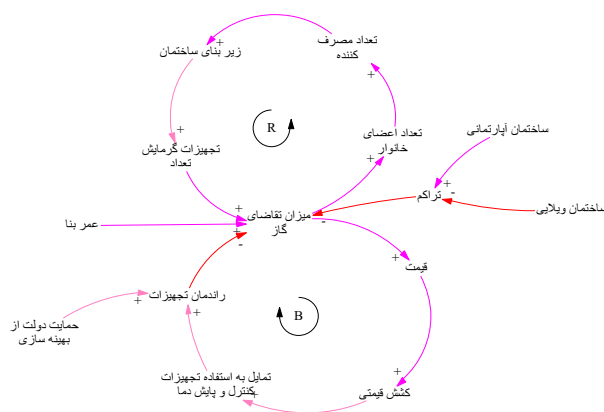
^{۲۶} LingyanLi

مشترکین روند افزایش داشته و بر روی میزان تقاضا تأثیر مثبت داشته و حلقه تقویتی در راستای افزایش مصرف را به دنبال خواهد داشت.

رسم نمودار علی حلقوی زیرسیستم فنی و تکنولوژیکی

در صورت بالا رفتن قیمت گاز، کشش قیمتی بالا خواهد رفت و بالا رفتن کشش قیمتی تمایل به صرفه جویی و استفاده از تجهیزات کنترل و پایش مصرف و دما بیشتر شده و این موضوع تأثیر مثبت بر راندمان تجهیزات گازسوز دارد. در صورت افزایش راندمان تجهیزات میزان تقاضا برای مصرف کاهش می‌یابد، ورهامی (۱۳۹۴)، عباسی (۱۳۸۹)، لطفی پور (۱۳۸۲). به همین دلیل حلقه تعادلی در جهت کاهش تقاضا، ایجاد خواهد شد. هرچقدر بنا قدیمی‌تر باشد میزان تقاضا برای مصرف انرژی افزایش می‌یابد، (لیانگ لی ۲۰۲۱). همچنین آپارتمان نشینی و افزایش تراکم باعث کاهش مصرف به ازای هر مصرف‌کننده می‌باشد. ساختمان‌های ویلایی نسبت به آپارتمانی به دلیل تراکم کم و هدر رفت انرژی مصرف بالاتری دارند، (لطفی ۱۳۹۸). در خانوار پرجمعیت و یا در مجموعه آپارتمانی که خانوار زیادی سکونت دارند،

تعداد مصرف‌کننده روند افزایشی دارد. همچنین زیربنای ساختمان و به تبع آن تعداد تجهیزات گرمایش روند افزایشی داشته و این موضوع باعث تقاضای بیشتر شده و حلقه تقویتی در راستای افزایش تقاضای مصرف صورت می‌پذیرد، (لیانگ لی ۲۰۲۱).

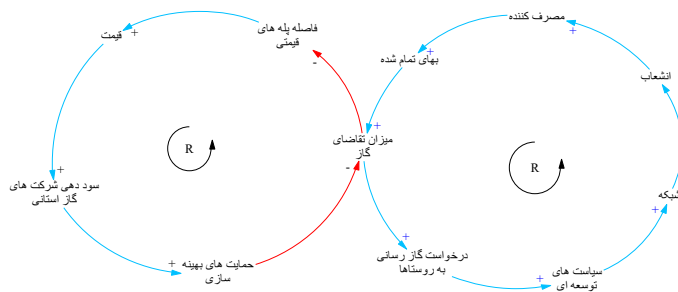


نمودار ۷: نمودار علی حلقوی زیرسیستم فنی و تکنولوژیکی

رسم نمودار علی حلقوی زیرسیستم حکمرانی

در صورتی که درخواست گازرسانی به روستا توسط نمایندگان مجلس روند افزایشی داشته باشد، دولت به دنبال اجرای سیاست‌های نمایندگان مجلس سیاست‌های توسعه‌ای را دنبال می‌نماید. توسعه گازرسانی به روستاها افزایش متراژ شبکه، انشعاب و مصرف‌کننده را به دنبال دارد. از سوی دیگر به دلیل اینکه در این استان روستاهای باقیمانده کم جمعیت هستند، لذا این توسعه باعث به عدم توجیه اقتصادی گازرسانی به روستاها با بهای تمام شده زیاد می‌گردد.

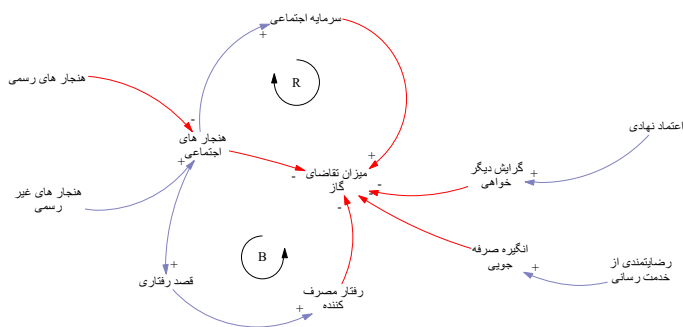
این موضوع باعث ایجاد حلقه تقویتی در راستای افزایش تقاضا می‌شود. از سوی دیگر وقتی تقاضا روند افزایشی پیدا کند دولت به منظور کنترل مصرف نسبت به کاهش پله‌های قیمتی به منظور افزایش بها برای مصرف‌کنندگان اقدام می‌نماید. در صورت افزایش بهای گاز، علاوه بر اینکه شرکت‌های گاز استانی سود ده می‌شوند، می‌توانند سیاست‌های بهینه‌سازی برای گروه خانگی پیگیری کنند و با سرمایه‌گذاری در این حوزه میزان مصرف را کاهش دهند هرچند که صادقی شاهدانی (۱۳۹۵) بیان می‌کند اجرای سیاست‌های قیمتی و غیر قیمتی اثربخش‌تر از سیاست‌های فنی و تکنولوژیکی است.



نمودار ۸: نمودار علی حلقوی زیرسیستم حکمرانی

رسم نمودار علی حلقوی زیرسیستم اجتماعی

صالحی و همکاران (۱۳۹۹) با بررسی عوامل اجتماعی مؤثر بر مصرف گاز، متغیرهای هنجارهای رسمی و غیررسمی را مورد مطالعه قرار داده و هنجارهای رسمی تأثیر منفی و هنجار غیررسمی تأثیر مثبت بر مصرف دارند و میزان تأثیرگذاری این متغیرها نسبت به سایر متغیرها کم است. رحیمی (۱۳۹۸) تأثیرگذاری هنجارهای اجتماعی را از طریق متغیر هنجار ذهنی و تأثیرگذاری آن بر رفتار بررسی و نتایج نشان دهنده میزان تأثیرگذاری کم عوامل اجتماعی نسبت به سایر متغیرها است. شارون^{۲۷} (۲۰۱۸) متغیر هنجار اجتماعی را هم‌وزن سایر متغیرهای تأثیرگذار بر میزان مصرف قرار داده است. زارع شاه‌آبادی (۱۳۹۴) سرمایه اجتماعی را که متشکل از متغیرهای اعتماد، آگاهی، هنجار پذیری و مشارکت اجتماعی بیان نموده و تأثیر آن را بر روی مصرف گاز مثبت ارزیابی می‌نماید. هنجارهای اجتماعی بر روی سرمایه اجتماعی تأثیر مثبت داشته و تشکیل حلقه تقویتی در راستای کاهش مصرف را دارد. پازوکی (۱۳۹۹) بیان می‌کند که افزایش اعتماد نهادی گرایش به دیگر خواهی را افزایش و باعث کاهش مصرف می‌گردد، هرچند که مقدار این تأثیرگذاری نسبت به سایر متغیر کم است. کاظمی (۱۳۹۵) میزان تبلیغات و رضایتمندی از عملکرد شرکت گاز را از متغیرهای مهم تأثیرگذار بر متغیر انگیزه صرفه‌جویی می‌داند و ارتقای رضایتمندی را به‌عنوان راهکار کاهش شدت مصرف بیان می‌کند.



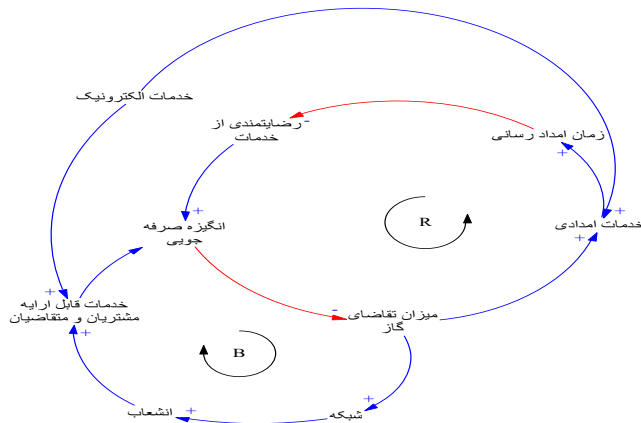
نمودار ۱۰: نمودار علی حلقوی زیرسیستم اجتماعی

رسم نمودار علی حلقوی زیرسیستم زیرساخت

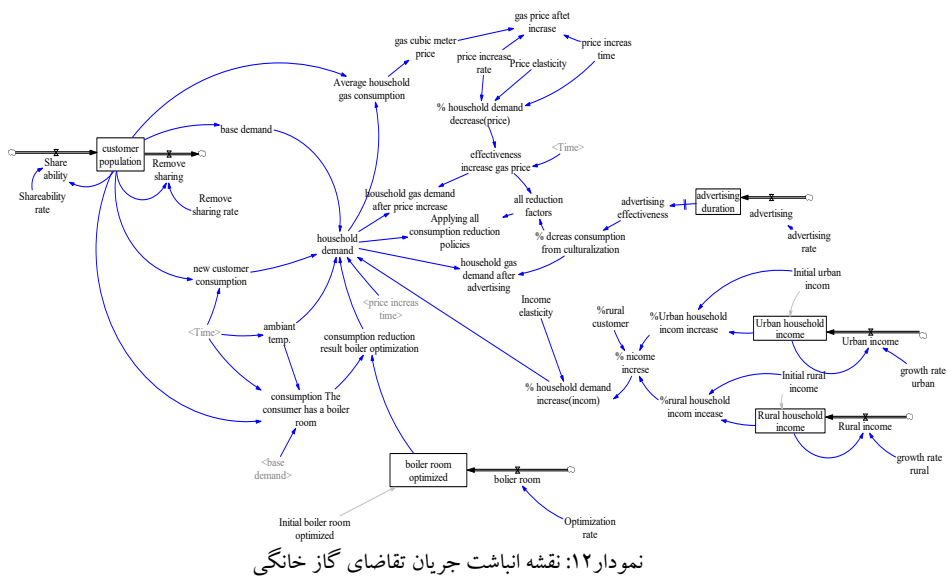
هرچقدر میزان تقاضای گاز بیشتر می‌شود در این صورت نیاز به خدمات امدادیشرکت گاز بیشتر می‌شود. در صورت افزایش تعداد خدمات امدادی، زمان امدادسانی روند افزایشی پیدا می‌کند. چنانچه بتوان زمان امدادسانی را کاهش داد، بر رضایتمندی مشترکین تأثیر مثبت دارد و باعث ایجاد انگیزه برای صرفه‌جویی در شرایط بحران خواهد شده و یک حلقه تقویتی در راستای مدیریت مصرف تشکیل خواهد شد. همچنین وقتی متراژ شبکه روند افزایشی دارد و به تبع آن تعداد مصرف‌کننده زیاد شده و تعداد خدمات قابل ارائه و همچنین روند تقاضای گاز روند صعودی خواهد داشت. در صورتی که خدمات به نحوه خوب ارائه شوند، این مقوله باعث ایجاد انگیزه برای صرفه‌جویی در شرایط بحران خواهد شد. همچنین توسعه زیرساخت‌های خدمات الکترونیک باعث افزایش سرعت امدادسانی و باعث بهبود کیفیت و زمان ارائه خدمات خواهد شد.

نمودار انباشت جریان

متغیرهای انباشت (حالت)، وضعیت سیستم را مشخص کرده و اطلاعاتی را تولید می‌کنند که تصمیم‌ها بر اساس آن‌ها اتخاذ می‌شود. نمودار (۱۲) نقشه جریان انباشت تقاضای گاز خانگی را نشان می‌دهد.



نمودار ۱۱: نمودار علی حلقوی زیرسیستم زیرساخت تعداد انشعاب



فرموله کردن مدل

مدل شبیه‌سازی شده از طریق تخمین پارامترها، مقادیر اولیه و توابع ریاضی شکل می‌گیرد. جدول (۳) پارامترها و توابعی که بر اساس ادبیات موضوع، داده‌های سری زمانی متغیرها و یافته‌های محقق به دست آمده است را نشان می‌دهد.

ادامه جدول ۳: توابع مدل

واحد	فرمول	نام متغیر در مدل	متغیر
درجه سانتیگراد	=Time LOOK UP: [(۰-۰۵)-(۲۴۰,۳۰)]	"ambient temp."	دمای هوای محیط
Dmnl*	=۰,۳۸۹	Price elasticity	کشش قیمتی
درصد	=(IF THEN ELSE(Price elasticity*price increase rate<۰,۲۴, Price elasticity*price increase rate , ۰,۲۴))*step(۱, price increase time)	"% household demand decrease(price)"	درصد کاهش مصرف منتج از افزایش قیمت
Dmnl	=۱-step(۱, ۱۲۰)+(step(۱, ۱۲۰)-step(۱, ۱۳۸))*(۱-% household demand decrease(price)" +(Time-۱۲۰)*... +(Time-۲۲۸)*"% household demand decrease(price)"/۱۸)	effectiveness increase gas price	تاثیر گذاری افزایش قیمتی
متر مکعب	effectiveness increase gas price*household demand	household gas demand after price increase	تقاضا بعد از افزایش قیمت
نفر درماه	= ۰۰۱۴۳۶	growth rate urban	نرخ رشد جمعیت شهری
نفر درماه	= ۰۰۱۵۶	growth rate rural	نرخ رشد جمعیت روستایی
ریال	=Urban income Initial Value: ۱,۰۰۹۰۹e+۰۷	Urban income	درآمد خانوار شهری
ریال	= Rural income Initial Value: ۱,۰۰۹۰۹e+۰۷	Rural income	درآمد خانوار روستایی
درصد	=(Urban household income-intial urban incom)/intial urban incom	"%Urban household incom increase"	درصد افزایش درآمد خانوار شهری
درصد	=(Rural household income-initial rural income)/initial rural income	"%rural household income increase"	درصد افزایش درآمد خانوار روستایی
درصد	IF THEN ELSE("% income increase"*Income elasticity<۰,۱۴۲, "% income increase"*Income elasticity , ۰,۱۴۲)	"% household demand increase(income)"	درصد افزایش مصرف منتج از افزایش درآمد
تعداد	= ۳۰*step(۱, ۱۲۰)	Optimization rate	نرخ بهینه سازی
متر مکعب	=IF THEN ELSE(boiler room optimized<۲۴۰۰ , boiler room optimized*۰,۱۶*consumption The consumer has a boiler room , ۲۴۰۰*۰,۱۶*consumption The consumer has a boiler room)	consumption reduction result boiler optimization	کاهش مصرف گاز منتج ز بهینه سازی
ساعت	= ۳۰*step(۱, ۷۲)	advertising rate	نرخ تبلیغات
ساعت	= advertising Initial Value: ۲۳۶۰	advertising duration	مدت زمان تبلیغات
درصد	=IF THEN ELSE(۰,۰۰۱۰۳*advertising duration+ ۰,۱۳۴۷۹۵>۰,۸۵ , ۰,۸۵ , DELAY(۰,۰۰۱۰۳*advertising duration+ ۰,۱۳۴۷۹۵, ۳))	advertising effectiveness	ثر بخشی تبلیغات
متر مکعب	= IF THEN ELSE("% dcreas consumption from culturalization"<۰,۲۵, ۱-% dcreas consumption from culturalization", ۰,۷۵)*household demand	household gas demand after advertising	میزان تقاضا بعد از تبلیغات
درصد	= IF THEN ELSE(effectvness increase gas price-% dcreas consumption from culturalization">۰,۷۵, effectvness increase gas price-% dcreas consumption from culturalization", ۰,۷۵)	all reduction factors	درصد اثر بخشی کلیه عوامل

* بدون واحد

اعتبار سنجی مدل

قبل از ارزیابی سیاست‌ها و سناریوها، می‌بایست از صحت مدل اطمینان حاصل شود. برای این منظور از چهار روش آزمودن "رفتار مجدد"، "آزمون‌های "حالت‌های حدی"، "آزمون ابعاد متغیرها" و "استفاده از نظر خبرگان" و که هر چهار روش در ادامه تشریح شده است.

آزمودن رفتار مجدد

هدف از این آزمون مقایسه نتایج شبیه‌سازی شده با داده‌های واقعی است. به عبارت دیگر در صورتی که مدل بتواند داده‌های واقعی را بازسازی کند دارای اعتبار می‌باشد. کلیه متغیرها که رفتار اصلی سیستم را تشریح می‌نمایند در بازه ده‌ساله به صورت ماهانه از سال ۱۳۹۲ تا سال ۱۴۰۱ اعمال شده است. در جدول (۴) خروجی مدل با داده‌های واقعی مقایسه شده است و نشان می‌دهد که مدل توانسته است رفتار سیستم را در سال‌های گذشته به خوبی پیش‌بینی نماید.

آزمودن حالت‌های حدی

در این آزمون مقادیر اولیه متغیرها در شرایط حدی (کران‌های بالا و یا پایین مقادیر) به مدل شبیه‌سازی شده اعمال می‌شود، در صورتی که نتایج به دست آمده از مدل، با ادبیات تحقیق سازگاری داشته باشد، می‌توان ادعا کرد که مدل از اعتبار نسبی می‌باشد. برای این منظور زمانی که قیمت گاز

جدول ۴: متوسط انحراف خروجی مدل از داده‌های واقعی

سال	مجموع مصرف سالانه	خروجی مدل	متوسط درصد انحراف ماهانه
۱۳۹۲	۳۱۰۶۳۴۵۹۹۳	۳۰۶۹۸۱۱۲۰۰	٪-۱/۱۸
۱۳۹۳	۳۰۵۷۸۹۹۰۱۱	۳۳۴۷۳۶۸۹۰۰	٪۹/۴۷
۱۳۹۴	۳۲۰۷۳۴۳۸۵۷	۳۵۳۰۸۴۱۲۰۰	٪۱۰/۰۹
۱۳۹۵	۳۵۲۹۷۵۷۹۵۹	۳۴۳۷۹۴۱۸۰۰	٪-۲/۶۰
۱۳۹۶	۳۱۷۴۲۳۲۹۶۸	۳۷۹۴۰۰۲۴۰۰	٪۱۹/۵۳
۱۳۹۷	۳۴۳۸۲۷۸۶۱۴	۳۸۰۰۹۷۰۵۰۰	٪۱۰/۵۵
۱۳۹۸	۳۹۶۹۸۵۰۷۱۷	۴۵۷۹۸۹۴۳۰۰	۱۵٪/۸۹
۱۳۹۹	۴۰۳۵۳۴۳۰۸۸	۴۲۰۹۵۰۶۳۰۰	٪۴/۳۲
۱۴۰۰	۴۱۵۸۵۴۲۴۶۲	۴۱۶۳۴۲۹۳۰۰	۰٪/۱۲
۱۴۰۱	۴۲۳۳۲۶۹۶۶۵۷	۴۲۱۱۰۵۱۵۰۰	٪-۰/۵۲

افزایش می‌یابد میزان مصرف کاهش می‌یابد و این درصد کاهش مصرف برای افزایش قیمت بیش از ۴۵٪ در مقدار معینی ثابت می‌ماند که با ادبیات موضوع مبنی بر کالای ضروری بودن گاز انطباق دارد. همچنین وقتی درآمد خانوار بالا می‌رود مصرف گاز نیز به تناسب بالا خواهد رفت که این میزان حدی نیز برابر با ۱۴٪ است که این مورد نیز با ادبیات موضوع تطابق دارد.

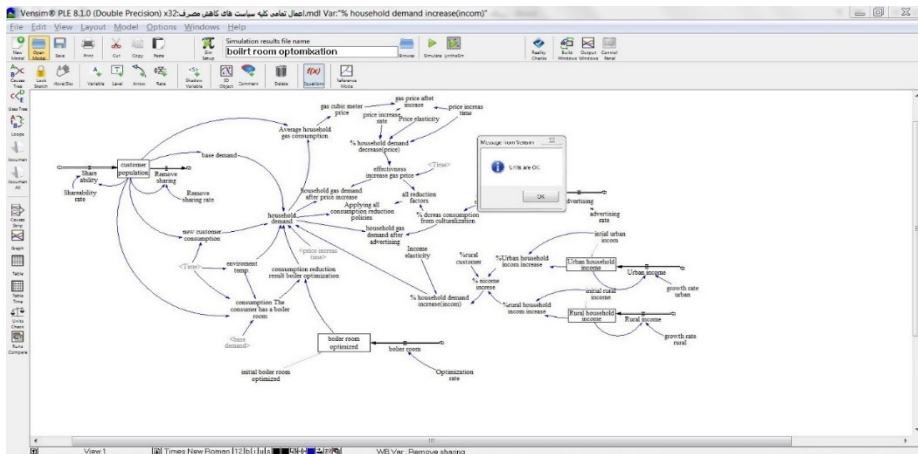
با افزایش میزان اطلاع‌رسانی و تبلیغات در راستای بهینه‌سازی مصرف مقدار حدی ۲۵٪ می‌باشد و میزان حداکثر اثربخشی ۸۵٪ برای سقف اثربخشی نیز نشانگر رفتار صحیح مدل با ادبیات موضوع تطابق دارد. لذا، نتایج به دست آمده برای آزمون حدی با انتظاراتی تحقیق سازگاری دارد.

استفاده از نظر خبرگان

نتایج حاصل از شبیه‌سازی سیستم با مدیریت بهره‌برداری، مهندس ارشد فروش، مسئول دستگاه‌های کاربردی و رئیس اندازه‌گیری و توزیع گاز و اساتید دانشگاهی مورد ارزیابی قرار گرفت. در این بررسی رفتار و همچنین ساختار مدل و سازگاری بخش‌های مختلف با دنیای واقعی مقایسه

گردید. آزمون ابعاد متغیرها

برای بررسی درست بودن روابط از قابلیت چک کردن ابعاد متغیر توسط نرم‌افزار ونسیم استفاده شده است در شکل ۱۳ خروجی نرم‌افزار برای چک کردن ابعاد مدل آورده شده است. بنابراین می‌توان بر اساس این روش نیز ادعا کرد که مدل از اعتبار نسبی برخوردار است



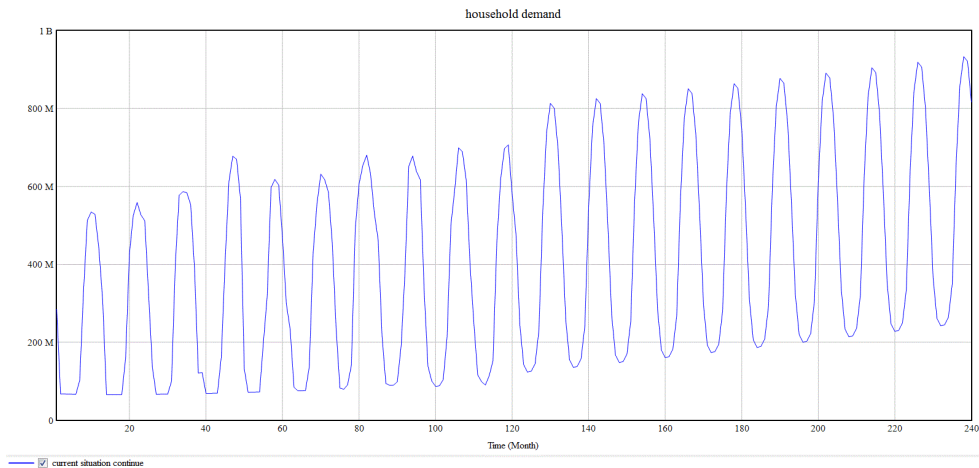
شکل ۱۳: چک کردن ابعاد متغیرها توسط نرم‌افزار ونسیم

طراحی و ارزیابی سیاست‌ها (سناریوها)

پس از اطمینان از اعتبار مدل، پنج سناریو برای کاهش میزان تقاضای گاز مورد ارزیابی قرار گرفت که در ادامه نتایج هر کدام ارائه می‌شود. کلیه سناریوها زمان بر حسب ماه و سال مبنای سال ۱۳۹۲ می‌باشد.

سناریوی اول: ادامه وضع موجود

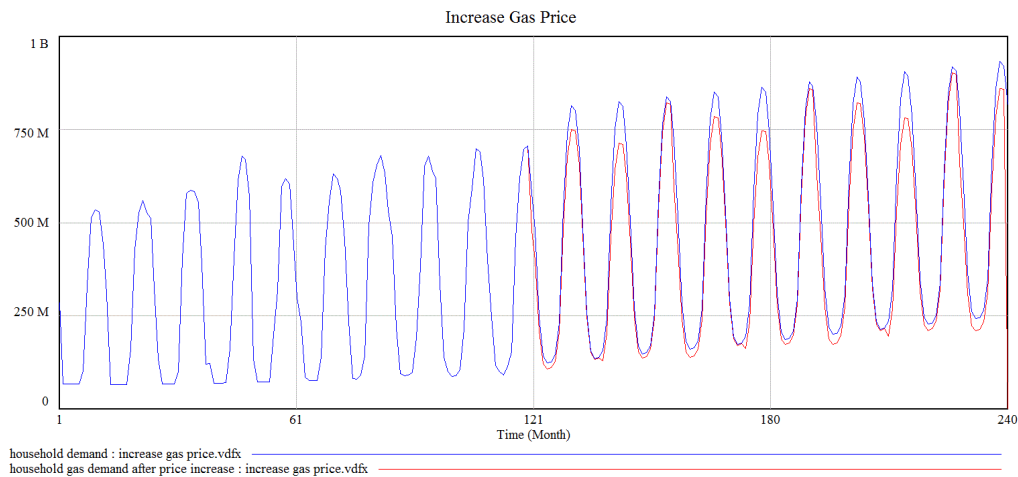
ادامه وضع موجود به این معنی است که اگر در وضعیت مصرف گاز و شرایط محیطی تغییری اساسی ایجاد نشود، به طوری که شرایط آب و هوایی در تابستان و زمستان مطابق متوسط دمای سه سال ۱۴۰۱-۱۳۹۹ بوده و شرایط درآمدی مصرف‌کنندگان و قیمت گاز مطابق سال‌های گذشته باشد و روند رشد جمعیت مصرف‌کنندگان طبق روال گذشته ادامه یابد. همچنین شرکت گاز استان نیز در سیاست‌های قیمتی و غیر قیمتی خود تغییری ایجاد نکند. زمان شروع مدل‌سازی سال ۱۳۹۲ و زمان در مدل بر حسب ماه، مطابق نمودار نشان داده شده در شکل (۱۴) در پیک زمستان سال ۱۴۰۱ میزان مصرف ۷۰۶ میلیون مترمکعب است. در این سال ۶۳٪ مصرف گاز استان صرف گرمایش منازل می‌شود. این میزان در سال ۱۴۱۱ به ۹۳۳ میلیون مترمکعب رشد خواهد داشت. با عنایت به عدم توسعه خطوط انتقال گاز استان طی سال‌های اخیر و سهمیه سالانه ثابت اختصاص یافته به این استان، سهم مصرف در بخش خانگی از ۶۳٪ به ۸۲/۵٪ رشد خواهد داشت. لذا با افزایش ۲۱ درصدی مصرف در بخش خانگی باید محدودیت‌های زیاده‌تری به سایر بخش‌های مصرف‌کنندگان اعمال نمود. این یافته با یافته‌های تحقیقات سیف و همکاران (۱۳۹۹) مبنی بر پیشی گرفتن عرضه بر تقاضا تطابق دارد.



نمودار ۱۴: تقاضای گاز خانگی (میلیون مترمکعب) بازمان (ماه) با فرض ادامه وضعیت موجود.

سناریوی دوم: اعمال سیاست‌های قیمتی

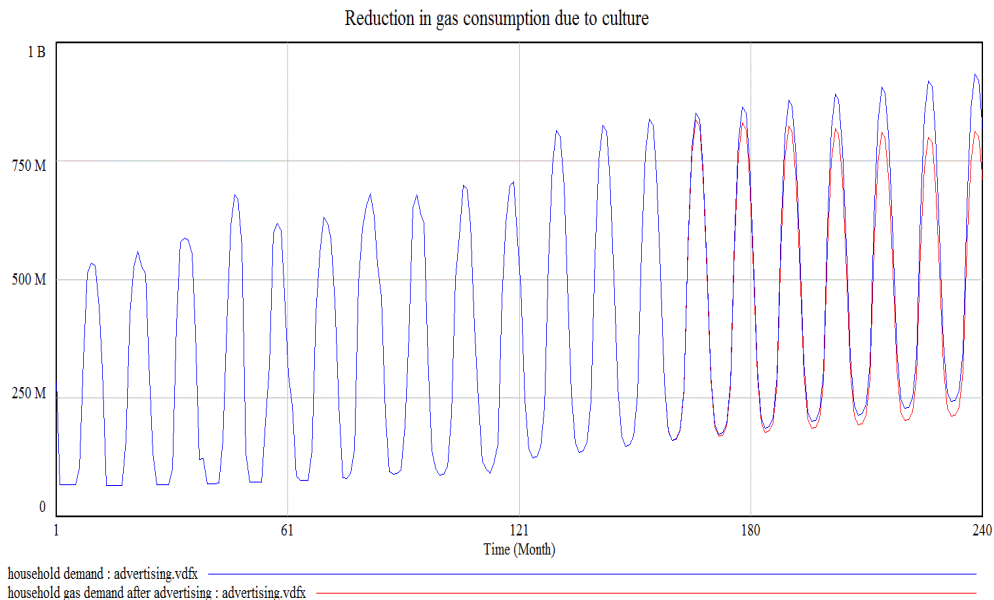
بر اساس یافته‌های تحقیق، گاز خانگی کالایی کم‌کشش و ضروری می‌باشد. بر اساس مدل افزایش ۱ درصدی در قیمت میزان مصرف را $0/389$ درصد کاهش خواهد داد. از طرفی این کاهش تا دمای رفاه می‌تواند کاهش یابد. لذا در یک بازه زمانی افزایش قیمت حداکثر می‌تواند 24% منجر به کاهش مصرف گردد. حداکثر مقدار افزایشی که می‌تواند این مقدار کاهش را که در اوج سرمایه زمستان محقق کند، بر اساس ضریب کشش قیمتی معادل 45% افزایش می‌باشد. این مقدار افزایش بر اساس فاکتور کشش درآمدی که متأثر از نرخ تورم سالانه با عنایت به ادامه وضع موجود اقتصادی در نظر گرفته شده است. همچنین یادآور می‌شود به دلیل ضروری بودن گاز افزایش بیش از 45% کارایی برای کاهش مصرف را از داده و صرفاً منجر افزایش هزینه گاز در سبد انرژی خانوار شده و اثری در بهبود عرضه و تقاضا ندارد. از سوی دیگر پس از سپری شدن مدتی به دلیل افزایش درآمد و کشش درآمدی استفاده شده در تحقیق بر اساس مدل برابر با $0/457$ اثر خود را پس از سپری شدن ۱۸ ماه اثر خود را به دلیل افزایش درآمد، از دست خواهد داد. نمودار (۱۵) روند تأثیرگذاری افزایش قیمت بر میزان تقاضا را نشان می‌دهد. این یافته با یافته‌های قدیمی دیزج و همکاران (۱۳۹۸) مطابقت دارد.



نمودار ۱۵: تقاضای گاز خانگی (میلیون مترمکعب) بازمان (ماه) با افزایش بهای گاز مصرفی

سناریوی سوم: فرهنگ‌سازی برای مصرف بهینه گاز

یافته‌های پژوهش میزان اثربخشی تبلیغات را ۶۳٪ نشان می‌دهد؛ که حاکی از اثربخشی خوب تبلیغات بر کاهش شدت مصرف می‌باشد. لذا با سرمایه‌گذاری در حوزه، آموزش، آگاهی و اطلاع‌رسانی و تشویق مشترکین به رعایت دمای رفاه در زمان پیک مصرف، می‌توان مشارکت مردم را در راستای کاهش مصرف جلب نمود. با توجه به فاصله ۵ درجه‌ای دمای راحتی (۲۶ درجه سانتی‌گراد) و درجه رفاه (۲۱ درجه سانتی‌گراد) و لزوم جلب اعتماد عمومی مبنی بر مشارکت در کاهش مصرف و اعتماد نهادی بالا در این خصوص، با ارتقای اثربخشی تبلیغات می‌توان تا ۲۵٪ مصرف گاز را در کاهش داد و از محل صرفه‌جویی گاز در بخش خانگی، گاز مصرفی سایر بخش‌ها من جمله صنایع و نیروگاه را تأمین نمود. یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد به ازای هر ۱ درصد افزایش اثربخشی تبلیغات مصرف بهینه می‌توان ۰/۵۹ درصد در مصرف گاز استان کاهش ایجاد کرد. این یافته نشان‌دهنده اهمیت تبلیغات و بهبود کانال‌های ارتباطی برای آگاهی بخشی در خصوص مصرف بهینه و اطلاع‌رسانی در خصوص راهکارهای کاهش مصرف در منازل مسکونی و همچنین ارائه تسهیلات برای افزایش راندمان تجهیزات گازسوز مانند بخاری است. لذا با تدوین و اجرای برنامه عملیاتی برای افزایش زمان تبلیغات



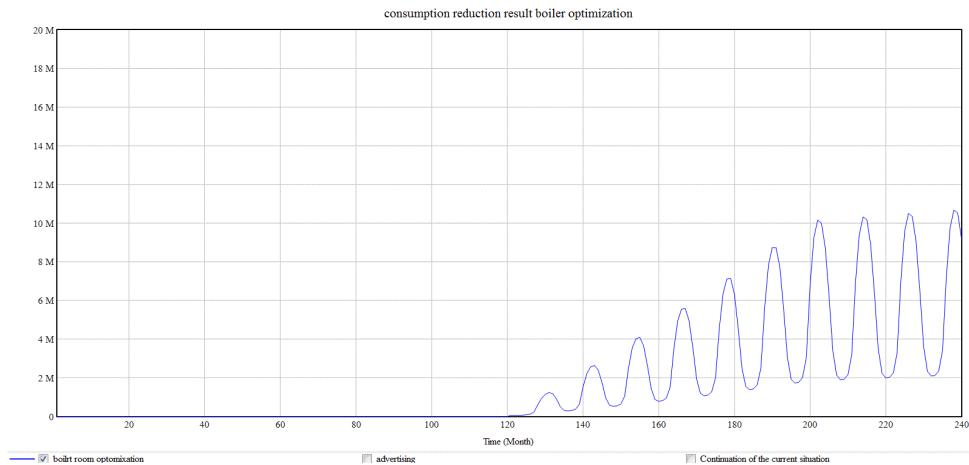
نمودار ۱۶: تقاضای گاز خانگی (میلیون مترمکعب) با زمان (ماه) با انجام تبلیغات اثربخش مصرف بهینه گاز

مصرف بهینه گاز ماهانه ۳۰ دقیقه نسبت به برنامه‌های اجرایی جاری و تدوین استراتژی‌های متنوع برای افزایش میزان اثربخشی ارتباط با مشترکین و ارتقای اثربخشی تا ۸۵٪، نمودار (۱۶) رفتار سیستم را نسبت به حالت ادامه وضعیت موجود نشان می‌دهد.

نمودار بالا نشان‌دهنده این است که با سرمایه‌گذاری صحیح و تدوین و استراتژی برای ارتقای اثربخشی تبلیغات در راستای مصرف بهینه گاز می‌توان با وجود افزایش تعداد مشترکین در طی سال‌های آتی از افزایش مصرف در بخش خانگی تا ده سال جلوگیری نموده و مصرف را در محدوده کنونی مدیریت نمود.

سناریوی چهارم: بهینه‌سازی موتورخانه‌ها

با عنایت به وجود ۲۴۰۰ موتورخانه در بخش خانگی و در صورت برنامه‌ریزی برای بهینه‌سازی ۳۰۰ در موتورخانه در سال و با احتساب ۳۵۴ موتورخانه بهینه‌شده تا پایان سال ۱۴۰۱ کلیه موتورخانه‌ها در استان در ۷ سال آتی بهینه‌سازی خواهند شد. این بهینه‌سازی شامل، اصلاح عایق

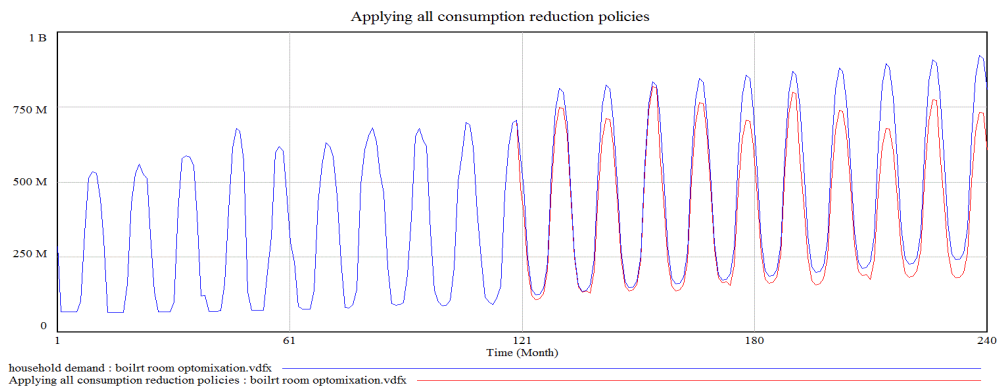


نمودار ۱۷: صرفه‌جویی انجام‌شده از محل بهینه‌سازی موتورخانه‌ها

موتورخانه‌ها، نصب روسوب گیر و تنظیم مشعل می باشد. مطابق خروجی مدل که در نمودار (۱۷) آورده شده است در فصل سرما به اتمام موتورخانه‌ها می‌توان ۱۰ میلیون مترمکعب در ماه از محل بهینه‌سازی انجام‌شده در مصرف گاز صرفه‌جویی نمود.

سناریوی پنجم: اعمال هم‌زمان تمام سیاست‌های کاهش

در صورتی که تمام سیاست‌های کاهش مصرف شامل افزایش قیمت/انجام بهینه‌سازی موتورخانه‌ها/فرهنگ‌سازی را باهم اعمال کرد، نمودار ۱۷ روند مصرف را در مقایسه با ادامه وضع موجود نسبت به اعمال تمام سیاست‌های کاهش مصرف را نشان می‌دهد. محدودیتی که در این بخش وجود دارد این است که به دلیل اینکه مشترکین دمای منازل را در فصول سرد سال بیشتر از دمای رفاه زمستان (۱۸) نمی‌آورند لذا با اعمال تمام سیاست‌های کاهش مصرف نمی‌توان مصرف استان در بخش خانگی را بیش از ۲۵٪ کاهش داد. این موضوع با یافته‌های دینگ و همکاران (۲۰۲۲) مطابق دارد.



نمودار ۱۷: تقاضای گاز خانگی (میلیون مترمکعب) با زمان (ماه) با اعمال هم‌زمان تمام سیاست‌های کاهش

بحث و نتیجه‌گیری

یافته‌های حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهد که با ادامه وضع موجود در طی ده سال آتی سهم مصرف گاز استان در زمان اوج سرمای زمستان در بخش خانگی از ۶۳٪ به ۸۲/۵٪ رشد خواهد داشت. در این صورت زیر ۲۰٪ از سهم گاز استان برای سایر بخش‌ها اعم از ادارات و سازمان‌های دولتی، مدارس و دانشگاه‌ها، صنایع، بخش کشاورزی، دامداری و نیروگاه باقی خواهد ماند که تهدید جدی برای این حوزه‌ها می‌باشد. سناریو دو نشان می‌دهد، افزایش قیمت تأثیر طولانی‌مدت برای روی کاهش مصرف ندارد و برای ادامه‌دار بودن تأثیر قیمت بر روی تقاضا می‌بایست متناسب به روند درآمدی و همچنین تورم در بازه‌های زمانی مناسب از اهرم قیمت برای کنترل تقاضا استفاده نمود.

مطابق با سناریوی سوم فرهنگ‌سازی و اطلاع‌رسانی در خصوص مصرف بی‌رویه با تأخیر زمانی تأثیر قابل ملاحظه‌ای در کاهش مصرف به شرطی که با افزایش سرمایه‌گذاری در این حوزه از روش‌ها و ابزار نوین برای ارتقای اثربخشی در چهار گام آگاهی، علاقه، تمایل و رفتار ایجاد نمود. در غیر این صورت از این پس از سپری شدن مدتی این سیاست اثربخشی خود را از دست خواهد داد. مطابق نتایج مدل با ادامه روند جاری طی ۷ سال آتی پروژه بهینه‌سازی موتورخانه‌ها به اتمام خواهد رسید و نتایج نشان می‌دهد، این سناریو تأثیر زیادی بر کاهش مصرف ندارد. همچنین نتایج تحقیق نشان می‌دهد که بیش از نیمی از جمعیت استان از بخاری گازسوز راندمان پایین و مابقی از پکیج برای گرمایش منازل مسکونی استفاده می‌نمایند، لذا سیاست‌گذاری برای استفاده از ابزار هوشمند برای کنترل دمای پکیج

و استفاده از بخاری‌هایی دارای برچسب انرژی بالاتر نسبت به بخاری‌های موجود در بازار راهگشای کنترل تقاضا خواهد بود. سناریو استفاده هم‌زمان از کلیه ابزارها نشان می‌دهد با استفاده از سیاست‌های قیمتی و غیر قیمتی به‌طور هم‌زمان می‌توان روند افزایش مصرف را کنترل نموده و طی ده سال آتی میزان تقاضا را در همین محدوده حفظ نمود. لذا می‌توان راهکارهای کنترل و کاهش تقاضا را در قالب سیاست‌های کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت به شرح زیر دسته‌بندی نمود. با عنایت به مطالب فوق‌الذکر می‌توان راهکارهای کنترل و کاهش تقاضا را در قالب سیاست‌های کوتاه‌مدت و میان و بلند به شرح جدول شماره ۵ دسته‌بندی نمود.

پیشنهادها

با ابزارها و سیاست‌های فعلی نمی‌توان کل تقاضا در بخش خانگی را کاهش داد و ادامه روند کنونی منجر به شرایط بحرانی در این حوزه خواهد شد.

اعمال سیاست‌های قیمتی

مطابق سناریو دو سیاست افزایش قیمت در بخش خانگی می‌بایست در دستور کار شرکت ملی قرار گیرد و این افزایش قیمت می‌بایست به‌صورت سالانه و تدریجی اعمال شود و افزایش چند صددرصدی قیمت به دلیل ضروری بودن ماهیت گاز طبیعی اثربخشی بر روی کاهش تقاضا ندارد لذا

جدول ۵: راهبردی‌ها و سیاست‌های مدیریت تقاضا در بخش خانگی

راهبردهای کوتاه‌مدت	راهبردهای میان‌مدت	راهبرد طولانی‌مدت
استفاده از سیاست‌های افزایش قیمت برای کنترل تقاضا	بهینه‌سازی موتورخانه‌ها	ایجاد راهبرد و سیاست در بخش ساخت و بازسازی برای ارتقای عایق کاری دیوارها و سقف منازل مسکونی و استفاده از در و پنجره‌های دوجداره
اطلاع‌رسانی دقیق در خصوص روند جاری مصرف گاز و آموزش راهکارهای کاهش مصرف و پیامدهای مصرف بی‌رویه	هوشمند سازی موتورخانه‌ها و پکیچ‌ها	حمایت از اجباری نمودن رعایت استاندارد در تولید و فروش لوازم گازسوز و لزوم تولید تجهیزات گازسوز برچسب انرژی رده‌بالا
استفاده از ابزار تشویقی برای کاهش مصرف	نظارت و کنترل بر ساخت و توزیع تجهیزات گازسوز باراندمان بالا	

مطابق یافته‌های تحقیق پیشنهاد می‌گردد برای متوسط مصرف در استان حداکثر ۳۰٪ در هر سال قیمت گاز افزایش یابد تا تأثیر بر روی تقاضا داشته باشد. برای اینکه بتوان شدت مصرف را کنترل نمود، در صورت افزایش سطح درآمدی بیش از این مقدار باید با ارزیابی مجدد داده‌های عرضه و تقاضا و همچنین کاهش درآمدی و کاهش قیمتی این درصد به صورت مستمر مورد بازنگری قرار گیرد.

استفاده از ابزار تبلیغاتی برای فرهنگ‌سازی

مطابق سناریو شماره سه شرکت گاز می‌بایست سیاست‌ها در حوزه فرهنگ‌سازی مصرف و اطلاع‌رسانی طوری طرح‌ریزی نماید که در فصول سرد سال برنامه‌ها و محتوای آموزشی و تبلیغاتی از منظر تعداد ساعات و همچنین کانال‌های ارتباطی روند رو به رشد داشته باشد و بتواند ماهانه ۲۰ ساعت بر تولید محتوای اضافه نماید تا توان تبلیغاتی برای کنترل مصرف را حفظ نماید. بیشتر از این مقدار کارایی لازم را ندارد و کمتر از این مقدار هم می‌تواند باعث کاهش اثربخشی گردد.

اجرای طرح‌های بهینه‌سازی

مطابق سناریو شماره چهار، فرآیند کنونی بهینه‌سازی موتورخانه‌ها که در دستور کار شرکت ملی گاز قرار دارد، در طولانی مدت و حتی کوتاه‌مدت اثربخشی لازم را ندارد. مطابق یافته‌های تحقیق در صورت تمرکز بر روی ارتقای راندمان بخاری گازسوز و همچنین ایجاد زیرساخت برای استفاده از ابزار هوشمندسازی بر روی پکیج‌ها از اثربخشی بالاتری بر روی کاهش شدت مصرف دارد.

اجرای طرح‌های ترکیبی برای کنترل شدت مصرف

مطابق یافته‌های سناریو شماره پنج پیشنهاد می‌گردد، به منظور تشویق مصرف‌کنندگان به اجرای سیاست‌های بهینه‌سازی، اجرای سیاست قیمت شناور بر مبنای میزان بار حرارتی ساختمان استفاده نمود بدین صورت که هرچه قدر بار حرارتی به ازای یک متر زیربنای ساختمان کم باشد، گاز بها به ازای آن ساختمان کاهش یابد.

لذا پیشنهاد می‌گردد سیاست تعیین برچسب ساختمان برای کلیه مصرف‌کنندگان اجرا شده و هر ساختمانی دارای برچسب پایین تر باشد، قیمت گاز بهای هر مترمکعب نیز کاهش یابد.

محدودیت تحقیق

تحقیق حاضر نیز همانند هر تحقیق دیگر درون محدودیت‌هایی شکل گرفته است. فقدان اطلاعات در برخی موارد، محدودیتی بود که تخمین توابع را با مشکل مواجه می‌ساخت. همچنین

برخی متغیرها بر اساس ترجیحات و امکانات محقق کنار گذاشته شدند. تحقیقات آتی می‌تواند با گسترش مرز مدل این محدودیت را رفع نمایند. تحقیقات زیادی در خصوص تأثیر متغیرهای اجتماعی، زیست‌محیطی و فرهنگی بر روی مصرف انجام شده است و بیشتر تحقیقات به صورت کیفی انجام شده است و این نوع تحقیقات و توانایی پیش‌بینی میزان تأثیرگذاری بر میزان مصرف را به دلیل محدودیت‌های موجود در تحقیقات کیفی نداشتند. در تحقیق حاضر نیز در بخش محاسبات کمی به دلیل همین محدودیت‌ها امکان محاسبه تأثیرگذاری برخی متغیرها بر روی مصرف وجود نداشت.

منابع:

۱. اکبری، نعمت‌اله؛ طلائی، هوشنگ؛ جلائی، اعظم؛ (۱۳۹۵)، "بررسی عوامل اجتماعی و فرهنگی مؤثر بر مصرف انرژی خانوار پس از اجرای قانون هدفمندسازی یارانه‌ها، مطالعه موردی: شهر اصفهان"، جامعه‌شناسی کاربردی، شماره ۲، صص ۱-۴۶.
۲. امامقلی‌زاده، محمد؛ سالاری، محمود؛ (۱۳۹۵)، "بهینه‌سازی مصرف انرژی در یک ساختمان اداری با محاسبه تأثیر اجزای خارجی و هوشمندسازی موتورخانه"، مهندسی مدیریت انرژی، دوره ۶، شماره ۲، صص ۱۲-۲۳.
۳. پازوکی نژاد، زهرا؛ صالحی، صادق؛ (۱۳۹۹)، "گذار از منافع فردی به منافع جمعی در مصرف انرژی"، بررسی مسائل اجتماعی ایران، دوره یازدهم - شماره ۲، صص ۳۳۹-۳۱۷.
۴. پازوکی نژاد، زهرا؛ صالحی، صادق؛ محمودی، حسین؛ فیروززائیان، علی اصغر؛ (۱۳۹۹)، "تحلیل اجتماعی عادت مصرف انرژی با تأکید بر مصرف گاز خانگی"، مطالعات و تحقیقات اجتماعی در ایران، دوره ۹، شماره ۲، صص ۲۹۱-۳۱۳.
۵. حاجی حسینی بغدادآبادی، طاهره؛ قاسمی، عبدالرسول؛ تیمور محمدی؛ (۱۴۰۱)، "آینده پژوهی مصرف گاز طبیعی در ایران در افق ۲۰۳۰ رهیافت سناریو سازی مبتنی بر الگوی رگرسیون سانسور شده"، فصل‌نامه مطالعات اقتصاد انرژی، سال ۱۸، شماره ۷۳، صص ۱-۲۳.
۶. حاجی حسینی بغدادآبادی، طاهره؛ قاسمی، عبدالرسول؛ محمدی، تیمور؛ (۱۳۹۹)، "اثر تغییرات آب و هوایی بر مصرف گاز طبیعی ایران، کاربرد الگوی رگرسیونی سانسور شده (تویبت)", پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران، سال دهم، شماره ۳۴، ۱۱۴ صص - ۸۱.
۷. خسروی نژاد، علی اکبر؛ (۱۴۰۰)، "برآورد سیستم تقاضای بنزین، برق و گاز خانگی برای خانوارها"، فصل‌نامه مدل‌سازی اقتصادی، سال پانزدهم شماره ۲ پیاپی ۵۴ صص ۴۶-۲۱.

۸. **رجبانی، ندا؛ ثقفی، فاطمه؛ شکوری گنجوی، حامد؛ کاظمی، عالیبه؛** (۱۳۹۸)، "ارائه مدل مفهومی شبکه اهداف کاهش مصرف انرژی برق و گاز خانگی با استفاده از روش تفکر مبتنی بر ارزش"، فصل نامه علمی مطالعات راهبردی سیاست گذاری عمومی، ص ص ۱۷۱-۱۵۱
۹. **رحیمی، افسانه؛ مروت، حبیب؛ فرید زاد، علی؛** (۱۳۹۵)، "بررسی نقش نگرش و عقاید بر مصرف انرژی الکتریکی خانوارها در ایران"، پژوهش‌نامه اقتصاد انرژی ایران، سال ششم شماره ۲۱، ص ص ۱۲۹-۱۶۹.
۱۰. **رفیعی، زهرا؛ سایه میری، علی؛** (۱۳۹۸)، "بررسی تابع تقاضای گاز طبیعی در بخش خانگی استان خوزستان رویکرد تابع تقاضای تقریباً ایده آل"، پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران سال هشتم پاییز ۱۳۹۸ شماره ۳۲، ص ص ۱۰۳-۷۹
۱۱. **زارع شاه آبادی، اکبر؛ حاجی زاده میمندی، مسعود؛ لطفعلیانی ابرنآبادی، علی محمد؛ سلیمانی، زکیه؛** (۱۳۹۲)، "بررسی تأثیر عوامل اجتماعی- فرهنگی بر الگوی مصرف انرژی در پژوهش‌های برنامه‌ریزی و سیاست گذاری انرژی"، پژوهش‌های برنامه‌ریزی و سیاست گذاری انرژی / سال اول / شماره ۳ / پاییز ۱۳۹۲، ص ص ۱۷-۵۰
۱۲. **سیف، هستی؛ اقارب پرست، محمدرضا؛ بهنود، محمد؛** (۱۳۹۹)، "سیاستگذاری ایران در حوزه منابع گاز طبیعی"، فصلنامه مطالعات سیاسی، سال دوازدهم، شماره ۸۱، ص ص ۸۱-۹۲
۱۳. **صادقی شاهدانی، مهدی؛ خوشخوی، مهدی؛** (۱۳۹۵) "تحلیل مقایسه‌ای نقش مؤلفه‌های اقتصادی و فنی در بهبود کارایی مصرف انرژی بخش خانگی ایران". تحقیقات مدل‌سازی اقتصادی، شماره ۲۷.
۱۴. **صالحی، صادق؛ فیروزجاییان، علی اصغر؛ موسوی، مهسا؛** (۱۳۹۹)، "تحلیل اجتماعی مصرف انرژی خانگی در مناطق روستایی مطالعه موردی روستاهای ساری"، نشریه علمی فصلنامه انرژی ایران، دوره ۲۳، شماره ۲، ص ص ۹۳-۱۱۸
۱۵. **صالحی، صادق؛ محمدی، جمال؛ امامقلی، لقمان؛** (۱۳۹۵)، "تبیین جامعه‌شناختی الگوی مصرف برق شهروندان مازندران"، مسائل اجتماعی ایران، سال هفتم، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۵، ص ص ۱۰۱-۱۲۳.
۱۶. **عباسی، مریم؛ امینی فرد، عباس؛** (۱۳۹۷)، "برآورد اثر بازگشتی مستقیم بهبود کارایی مصرف گاز در بخش خانگی ایران"، فصلنامه اقتصاد کاربردی دوره ۸، شماره ۲۶، ص ص ۶۳-۷۲
۱۷. **عباسی، ابراهیم؛ دهباشی، سعیده کاظم؛** (۱۳۸۹)، "برآورد تابع تقاضای گاز طبیعی در بخش خانگی، مطالعه موردی استان سمنان"، فصلنامه علوم اقتصادی، سال سوم شماره ۱۱، ص ص ۱۰۹-۱۳۲

۱۸. **عبدیورمزان محمدنقی فراهانی، مراد؛ خانپور، حمید؛ صفاری نیا، مجید؛** (۱۳۹۹)، "رابطه ارکان مدل فعال‌سازی هنجار و انگیزش نسبت به صرفه‌جویی با رفتار صرفه‌جویی برق در خانواده‌های تهرانی"، فصلنامه پژوهش‌های کاربردی روان‌شناختی، سال یازدهم، شماره ۴، صص ۹۱-۶۱
۱۹. **فطرس، محمد حسین؛ براتی، جواد؛** (۱۳۹۰)، "تجزیه‌ی انتشاردی اکسیدکربن ناشی از مصرف انرژی به بخش‌های اقتصادی، یک تحلیل تجزیه شاخص"، فصلنامه‌ی مطالعات انرژی اقتصاد، سال هشتم، شماره ۲۶ صص ۴۹-۷۳
۲۰. **قدیمی دیزج، خلیل؛ محمدی، تیمور؛ آماده، حمید؛ تکلیف، عاطفه؛** (۱۳۹۸)، "اثر قیمت گاز طبیعی بر تاب‌آوری سیستم گازرسانی ایران"، پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران، پیاپی ۳۲، صص ۱۷۶-۱۳۷
۲۱. **کاظمی پوران بدر، سمانه؛ دانشجو، فرهاد؛ معصومی حقیقی، علی؛ شایانفر، محسنعلی؛** (۱۳۹۹)، "بررسی تأثیر سیستم مدیریت ساختمان و عایق‌سازی در کاهش مصرف انرژی با استفاده از تحلیل انرژی ساختمان‌های مسکونی"، فصلنامه مهندسی سازه و ساخت. شریه علمی پژوهشی مهندسی سازه و ساخت، دوره ۷، شماره ۵، صص ۲۳-۵.
۲۲. **کاظمی، محمد؛ نمازی، حسین؛** (۱۳۹۵)، "عوامل بازدارنده اجتماعی بهره‌وری مصرف انرژی در ساختمان در ایران"، فصلنامه پژوهش‌های سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی انرژی، سال دوم، شماره یک، صص ۱۸۶-۱۶۸
۲۳. **لطفی، صدیقه؛ نیکپور، عامر؛ سلیمانی، محمد؛** (۱۳۹۸)، "بررسی تأثیر فرم شهر بر میزان مصرف انرژی در بخش مسکونی"، مطالعه موردی: شهر همدان؛ شهر پایدار بهار ۱۳۹۸، دوره اول - شماره ۱، صص ۱۲۲-۱۰۹
۲۴. **محمدی، تیمور؛ آماده، حمید؛ تکلیف، عاطفه؛ قدیمی دیزج، خلیل؛** (۱۳۹۸)، "مطالعه تاب‌آوری سیستم توزیع گاز طبیعی ایران، نشریه علمی سیاست‌گذاری اقتصادی"، نشریه علمی سیاست‌گذاری اقتصادی سال یازدهم، شماره بیست و دوم، صص ۳۳۴-۲۹۹
۲۵. **مولایی، محمد؛ یعقوبی، مسلم؛** (۱۳۹۵)، "تقاضا برای مصرف گاز طبیعی در بخش خانگی در منطقه ۷ ایران (باملاحظه قانون هدفمندی یارانه‌ها)"، پژوهشنامه اقتصادی انرژی ایران، سال پنجم شماره ۱۷، صص ۱۹۱-۱۶۷.
۲۶. **مولایی، کیومرث؛ بافنده زنده، علیرضا؛ عالی، صمد؛** (۱۴۰۱) "شناسایی، اولویت‌بندی و تحلیل متغیرهای تقاضای گاز طبیعی خانگی و ارائه مدل زیرسیستم معماری کلی: رویکرد فرا ترکیب"، فصلنامه پژوهش‌های سیاستگذاری و برنامه‌ریزی انرژی، دوره ۸، شماره ۴، صص ۷۶-۱۰۵
۲۷. **مولایی، کیومرث؛ بافنده زنده، علیرضا؛ عالی، صمد؛** (۱۴۰۲) "ارائه مدلی برای سنجش اثربخشی تبلیغات و اطلاع‌رسانی در کاهش شدت مصرف گاز خانوار مطالعه موردی: استان آ. شرقی" فصلنامه پژوهش‌های سیاستگذاری و برنامه‌ریزی انرژی، دوره ۹، شماره ۲، صص ۷۵-۱۰۵

۲۸. موسوی، مهسا؛ صالحی، صادق؛ فیروزجاییان، علی اصغر؛ (۱۳۹۹)؛ "تحلیل اجتماعی مصرف انرژی خانگی در مناطق روستایی مطالعه موردی روستاهای ساری". نشریه علمی (فصلنامه انرژی ایران، دوره ۲۳، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹، ص ۱۱۸).
۲۹. خان بلوکی، صدف؛ عیوضی حشمت، علی اصغر؛ ثانوی فرد، رسول؛ (۱۴۰۱)؛ "بررسی رابطه بین اثربخشی تبلیغات بانکی و نگرش مخاطب (مورد مطالعه: مشتریان بانک دی در شهر تهران)؛ مدیریت کسب و کار؛ دوره ۱۴، شماره ۵۵، ص ص ۲۳۶-۲۱۹.
۳۰. لطفعلی پور، محمدرضا؛ باقری، احمد؛ (۱۳۸۲)، "تخمین تقاضای گاز طبیعی مصارف خانگی شهر تهران"، فصل‌نامه پژوهش‌های اقتصادی ایران/شماره ۱۶، صص ۱۵۱-۱۳۳.
۳۱. عباسی، مریم؛ امینی فرد، عباس؛ (۱۳۹۷)؛ برآورد اثر بازگشتی مستقیم بهبود کارایی مصرف گاز در بخش خانگی ایران. فصلنامه اقتصاد کاربردی دوره ۸، شماره ۲۶.
۳۲. ورهرامی، ویدا؛ مشرفی، رسام؛ لایق، جابر؛ (۱۳۹۴)، "بررسی آثار نامتقارن قیمت گاز طبیعی بر مصرف آن در بخش خانگی"، فصل‌نامه اقتصاد و الگوسازی دانشگاه شهید بهشتی، سال چهارم، شماره ۱۹ و ۲۰، ص ص ۱-۲۷.
۳۳. Bariss, U., Bazbauers, G., Blumberga, A., & Blumberga, D. (۲۰۱۷). System dynamics modeling of households' electricity consumption and cost-income ratio: A case study of Latvia. *Environmental and Climate Technologies*, 20, ۳۶-۵۰.
۳۴. Bastan, M., & Shakouri G., H. (۲۰۱۸). A System Dynamics Model for Policy Evaluation of Energy Dependency. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, Paris, France, July 26-27.
۳۵. Baiocchi, G., Minx, J., & Hubace, K. (۲۰۱۰). The Impact of Social Factors and Consumer Behavior on Carbon Dioxide Emissions in the United Kingdom. *Journal of Industrial Ecology*, 14(۱), ۵۰-۷۲.
۳۶. Daneshzand, F., Amin-Naseri, M. R., Elkamel, A., & Fowler, M. W. (۲۰۱۸). A System Dynamics Model for Analyzing Future Natural Gas Supply and Demand. *Ind. Eng. Chem. Res.* DOI: ۱۰.۱۰۲۱/acs.iecr.۸b۰۰۷۰۹.
۳۷. Fornell, C., & Larcker, D. (۱۹۸۱). Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. *Journal of Marketing Research*, 18(۱), ۳۹-۵۰.
۳۸. Khansari, N., Vesaghi, A., Mansouri, M., & Mostashari, A. (۲۰۱۵). The Multiagent Analysis of Social Progress in Energy Behavior: *The System Dynamics Methodology*. *IEEE SYSTEMS JOURNAL*. Link.
۳۹. Kline, R. B. (۲۰۰۵). *Principles and Practice of Structural Equation Modelling (2nd ed.)*. New York: The Guilford Press.
۴۰. Leopold, A. (۲۰۱۵). Energy related system dynamic models: A literature review. *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*. DOI 10.1007/s10100-015-0417-4.

۴۱. Li, H., Li, B., & Niu, D. (۲۰۲۱). Prediction on the Energy Consumption Structure in Liaoning Province Based on System Dynamics. *Pol. J. Environ. Stud.* 30(6), 5593-5604. DOI: 10.15244/pjoes/136044.
۴۲. Lingyan Li, Yao Wang, Mengmeng Wang, Wei Hu, & Yongkai Sun. (۲۰۲۱). Impacts of multiple factors on energy consumption of aging residential buildings based on a system dynamics model: Taking Northwest China as an example. *Journal of Building Engineering*, 44.
۴۳. Margarethe, G., Huebner, J., & Cooper, K. (۲۰۱۳). Domestic Energy Consumption—What Role Do Comfort, Habit, and Knowledge About the Heating System Play? *Energy and Buildings*, 66, 626–636.
۴۴. Movahednasab, A., Rashidinejad, M., & Abdollahi, A. (۲۰۱۷). Market-Based Analysis of Natural Gas and Electricity Export via System Dynamics. *Journal of Electrical and Computer Engineering Innovations (JECEI)*, ۵(۲).
۴۵. Ladokun, M., Motawa, I., & Banfill, P. (۲۰۱۲). Understanding and Improving Household Energy Consumption and Carbon Emissions Policies – A System Dynamics Approach. *School of the Built Environment, Heriot-Watt University, Edinburgh, EH14 4AS, UK.*
۴۶. Yemelyanov, O., Symak, A., Petrushka, T., Vovk, O., Ivanytska, O., Symak, D., Havryliak, A., Danylovyh, T., & Lesyk, L. (۲۰۲۱). Criteria, Indicators, and Factors of the Sustainable Energy Saving Economic Development: *The Case of Natural Gas Consumption. Energies*, 14, 5999.
۴۷. Sandage, C. S., & Fryburger, V. F. (۱۹۶۷). Advertising Theory and Practice (۷th ed.). *New York: McGraw-Hill.*
۴۸. Sheoran, M., & Kumar, D. (۲۰۲۰). Modelling the enablers of sustainable consumer behavior towards electronic products. *Department of Management Studies, Malaviya National Institute of Technology, Jaipur, India. [Online] pp. 1-23. Available at: <https://www.emerald.com/insight/1746-5664.htm>.*
۴۹. Yudelson, J. (۲۰۱۰). Greening existing buildings. *Green Source/McGraw-Hill, New York.*
۵۰. Ueting, D., Chen, S., Zheng, Y., & Nie, R. (۲۰۲۲). Resilience Assessment of Natural Gas System under Supply Shortages: A system dynamics approach. *Energy*, ۲۴۷, 123518.
۵۱. Xiaowei Xu, & Schrier, T. (۲۰۱۹). Hierarchical effects of website aesthetics on customers' intention to book on hospitality sharing economy platforms. *Electronic Commerce Research and Applications*, 35, 1-12. [Online] Available at: <https://doi.org/10.1016/j.elerap.2019.100856>.
۵۲. Weilin Cui, Cao, G., Park, J. H., Ouyang, Q., & Zhu, Y. (۲۰۱۳). Influence of indoor air temperature on human thermal comfort, motivation and performance. *Building and Environment*, 68, 114-122.

۵۳. Zhang, A. (۲۰۱۹). Agent-Based Modelling of Occupants' Clothing and Activity Behaviour and Their Impact on Thermal Comfort in Buildings. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 329, 012022.