نشریه علمی(فصلنامه) انرژی ایران
دوره ۲۷، شماره۴، زمستان ۱۴۰۴، صفحه ۵۹-۷۱

سنجش میزان اثربخشی و برآورد صرفه‌جویی اجرای طرح بهینه‌سازی موتورخانه‌های مشترکین مصرف گاز طبیعی در سطح شهر اراک

سید علیرضا مصطفوی
دانشیار مهندسی مکانیک، دانشگاه اراک (نویسنده مسئول)
a-mostafavi@araku.ac.ir
سید احمد میرمحمد تبار
استادیار جامعه شناسی ، دانشگاه اراک
a-mirmohamad@araku.ac.ir
سید محمد موسوی‌نیا
کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک
s.m.moosavinia@gmail.com

تاریخ دریافت:
۱۴۰۴/۰۴/۲۶
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۴/۰۶/۱۷
کلمات کلیدی:
گاز طبیعی، بهینه‌سازی، صرفه‌جویی، شهر اراک، تغییرات دما، کاهش مصرف

سنجش میزان اثربخشی اجرای هر طرح لازمه‌ی برآورد هزینه و سوددهی، به منظور ایجاد تغییرات لازم در جهت بیشینه شدن عایدی‌های آن می‌باشد. طرح ملی بهینه‌سازی موتورخانه‌های مشترکین مصرف گاز طبیعی با هدف ایجاد صرفه‌جویی و کاهش مصرف در کشور اجرا شده است. این طرح در شهر اراک توسط شرکت گاز استان مرکزی برای ۶۸ مشترک با کاربری‌های مسکونی، ادرای و آموزشی انجام گرفت. در این پژوهش با استفاده از پروتکل بین‌المللی ارزیابی کارای انرژی با در نظر گرفتن اثرات تغییرات دما و همچنین همه‌گیری بیماری کرونا، به برآورد و مقایسه حجم مصرف گاز طبیعی این مشترکین در دو بازه قبل و بعد از انجام طرح و محاسبه میزان صرفه‌جویی و کاهش مصرف صورت گرفته با استفاده از معادلات محاسبه بار حرارتی ساختمان به عنوان پارامتر جایگزین، پرداخته شد. نتایج حاصل نشان داد برای درصد قلبل ملاحظه‌ای از مشترکین کاهش مصرف و صرفه‌جویی رخ داده است. همچنین به ترتیب بیشترین میزان کاهش مصرف در مشترکین آموزشی، مسکونی و اداری بوده است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-09-26]

۱. مقدمه

یکی از مهمترین علل اثرگذار بر توسعه کشورها را می‌توان بهینه سازی مصرف انرژی در نظر گرفت. در قرن جاری نفت و گاز به عنوان مهم‌ترین حامل‌های انرژی مورد استفاده بشر بوده‌اند و ایران نیز بعنوان یکی از بزرگترین دارندگان این ذخایر از این نعمت برخوردار است. مصرف انرژی و به ویژه مصرف گاز طبیعی درهم تنیدگی مستقیم با مسائل اقتصادی اجتماعی و حتی امنیتی دارد و این مساله می‌تواند از ریشه‌های مهم در رشد هر کشوری تلقی گردد (آزاده و همکاران، ۲۰۱۱). طی دهه‌های اخیر رشد مصرف گاز طبیعی در ایران و به دنبال آن ناترازی در تولید و مصرف یکی از معضلات موجود به ویژه در زمان‌های اوج مصرف گاز بوده است. علاوه بر رشد مصرف، عواملی چون کم بودن نسبی تنوع در سبد مصرفی انرژی در کشور نیز موجب افزایش بار مصرف بر روی گاز طبیعی بوده است. از طرفی در دسترس بودن، هزینه کمتر استخراج، پالایش و انتقال نسبت به سایر حامل‌ها همچنین قابلیت ذخیره سازی و آلودگی محیط زیستی پایین نیز از مزایای این سوخت است که منجر به مقرون به صرفه شدن آن می‌شود. طبق آمار تا سال۱۳۹۶ حدود ۵۶ درصد از سبد مصرف انرژی کشور را گاز طبیعی دارا می‌باشد. در نتیجه به موجب این ناترازی و عدم تامین گاز مورد نیاز نیروگاه‌ها در بازه سرد سال، مشکلاتی چون آلودگی هوا ناشی از مصرف سوخت‌هایی مثل مازوت در نیروگاه، نیز در شهرهای مستعد، به وجود می‌آید. این مشکل می‌تواند باعث ایجاد بیماری‌های ریوی در کوتاه مدت و همچنین بیماری‌هایی مانند آلزایمر و ناباروری در دراز مدت برای مردم آن منطقه شود. در ادامه این روند منجر به فشار مالی بسیار به شبکه و بودجه بهداشت و درمان کشور خواهد شد. از این رو اقداماتی که منجر به افزایش صرفه‌جویی در مصرف گاز و بهینه‌سازی مصرف شود می‌تواند زمینه ساز اثرات مثبتی در کشور و برای نسل آینده باشد. از همین جهت است که این حوزه اهمیت کلیدی در سیاست‌گذاری کلان کشور داشته و تحقیقات بسیاری را شامل می‌شود. مدل مصرف در یک ناحیه متاثر از عواملی همچون اقلیم، دما، فرهنگ عمومی و... می‌باشد و به دنبال آن صرفه‌جویی نیز می‌تواند راهکاری‌های متفاوتی از مبدا تولید و استخراج تا مصرف نهایی در بخش‌های مختلف مانند بخش خانگی، صنعتی و ... را شامل شود. به روز رسانی صنایع استخراج، توزیع و مصرف، استاندارد سازی ساختمان‌ها، استاندارد سازی وسایل گازسوز و فرهنگ‌سازی و آموزش در حوزه صرفه‌جویی از جمله این موارد هستند. مستهلک و قدیمی بودن تجهیزات موتورخانه‌ها و عدم انجام سرویس‌های متناسب دوره‌ای می‌تواند یکی از دلایل افزایش مصرف در مشترکین گاز باشد. در این مقاله به بررسی و سنجش اثر بخشی بهینه سازی انجام شده توسط شرکت گاز استان مرکزی بر روی موتورخانه‌های ۶۸ مشترک مسکونی، آموزشی و اداری در شهر اراک، ذیل طرح ملی بهینه سازی مصرف گاز، پرداخته شده است. با دو هدف کلی توجیه سزمایه گذاری و بهبود عملکرد طرح، بررسی میزان مصرف این مشترکین قبل و بعد از بهینه سازی با در نظر گرفتن اثر تغییرات دما، همه گیری کرونا و تغییرات نحوه مصرف مشترکین صورت پذیرفته است. این بررسی‌ها نشان داد طرح انجام گرفته به طور میانگین باعث کاهش مصرف در حدود ۵ درصد، با احتساب همه‌ی مشترکین، شده است. با توجه به اهمیت میزان مصرف گاز طبیعی در کشور در شرایط فعلی و همچنین نقش و اثر تامین پایدار انرژی در آینده و توسعه‌ی ایران، لزوم برنامه ریزی و سیاست گذاری مستمر بر پایه پایش و تحلیل صحیح از طرح‌ها و سیاست‌های در حال انجام، ضروری به نظر می‌رسد (صادقی

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-09-26]

و موسویان، ۲۰۱۵). لذا بررسی اثرات سیاست‌ها و برنامه‌های درحال اجرا و آتی کشور در زمینه تمام حامل‌های انرژی می‌تواند زمینه‌ای قابل توجه برای پژوهشگران این عرصه باشد.

در زمینه اهمیت کاهش مصرف گاز و همچنین شناخت عوامل تاثیر گذار بر این تقاضا تحقیقات مختلفی با هدف بررسی هریک از این عوامل و سهم آن‌ها صورت گرفته است. مولایی و همکاران در یک پژوهش نشان دادند که مصرف گاز در بخش خانگی در استان آذربایجان شرقی طی ده سال از حدود ۶۰ به حدود ۸۰ درصد از مصرف کل گاز استان افزایش خواهد یافت، در این پژوهش استاندارد سازی لوازم گرمایشی و همچنین ساختمان ها راهکاری بلند مدت و اثرگذار و همچنین بهینه سازی موتورخانه‌ها راهکاری میان مدت در جهت کاهش مصرف گاز عنوان شده است (مولائی و همکاران، ۲۰۲۴). دانش‌زند در تحقیق خود بیان می‌دارد که مصرف گاز در بخش خانگی در ایران با هدف جلوگیری از وابستگی انرژی باید کاهش قابل توجهی را تجربه کند (دانش‌زند و همکاران، ۲۰۱۸). باستان و شکوری به ارزیابی شیوه‌های مختلف در دسترس به منظور جلوگیری از وابستگی حوزه انرژی ایران به واردات پرداختند، در پژوهش آن‌ها جایگزینی برق و گاز طبیعی با انرژی‌های تجدید پذیر راهکار این مساله است لکن با توجه به ارزانی گاز در ایران و گران تمام شدن تجهیزات و تعمیرات نگهداری تامین انرژی تجدید پذیر، این امر در ایران توجیه اقتصادی ندارد (باستان و شکوری، ۲۰۱۸). موحد نسب و همکاران در پژوهش خود اشاره می‌کنند که صرفه‌جویی در مصرف گاز به منظور دستیابی به امکان صادرات آن، از لحاظ مالی و سیاسی به صادرات برق ارجحیت دارد (موحدنسب و همکاران، ۲۰۱۷). کارشناسان مختلف در تحقیق خود بیان می‌دارند با توجه به رشد جمعیت و افزایش تقاضا در کشور، عدم اصلاح الگوی مصرف می‌تواند پیامدهای خطرناکی به دنیال داشته باشد. آن‌ها واقعی سازی قیمت‌ها، سخت‌گیری در استانداردسازی وسایل گازسوز و همچنین فرهنگ‌سازی عمومی را از جمله راهکارهای مهم برای تغییر در الگوی مصرف مردم می‌دانند. علاوه بر این تغییرات دما یکی از مهمترین فاکتورهای اثرگذار در میزان مصرف گاز می‌باشد. از این رو در برخی پژوهش‌ها محققان به پیش‌بینی اثر این عامل بر حجم مصرف پرداخته‌اند. داغبندان و ستایش در یک پژوهش به مدل‌سازی پیش‌بینی مصرف گاز در شهر رشت با استفاده از شبکه عصبی بر پایه تغییرات دمایی ۷سال متوالی این شهر پرداختند. این مدل در نهایت دقت خوبی به منظور قابل پیش‌بینی سازی مصرف گاز در اثر تغییرات دما ارائه کرد (داغبندان و ستایش، ۲۰۱۷). لیو و لین نیز با استفاده از ورودی‌های قیمت و دما و روش سری‌های زمانی مصرف گاز طبیعی در بخش مسکونی تایوان را بررسی کردند (لیو و لین[1]، ۱۹۹۱). ختن‌زاده و همکاران بر پایه قیمت و دما و با استفاده ا شبکه عصبی به پیش‌بینی مصرف گاز پرداختند (ختن‌زاده و همکاران، ۲۰۰۰). کامرانی نیز با در نظر گرفتن یک دوره ۳۴ ساله به پشی‌بینی مصرف گاز در ایران بر پایه پارامترهای میانگین دمای حداقل ، حجم تقاضا در سال، شاخص قیمت مصرف کننده و تولید ناخالص داخلی پرداخت (کامرانی، ۲۰۱۰). کریمی و همکاران اثر تغییرات دما بر نحوه و حجم مصرف گاز را مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق مصرف بعنوان متغیر وابسته و تغییرات دما بعنوان متغیر مستقل مورد استفاده واقع شده است. نتایج این بررسی نشان داد که در بخش‌های حمل و نقل، تجاری، کشاورزی و مسکونی رابطه معکوس میان مقدار دما و حجم مصرف

[1] Liu and lin

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-09-26]

وجود دارد. این رابطه در بخش حمل و نقل بیشـــترین شـــدت را داراســـت (کریمی، ۲۰۱۰). حاجی حســـینی و همکاران در پژوهشـی به آینده پژوهی روند مصـرف گاز در ایران بر اسـاس تغییرات اقلیمی تا سـال ۲۰۳۰ پرداختند. این مطالعه نشـان داد مصـــرف گاز در ســـال مورد نظر برابر ۲۳۷ میلیارد مترمکعب خواهد بود. در این مقاله پارامتر قیمت نیز بعنوان اثر گذار بر این روند در نظر گرفته شـده اسـت (حاجی حسـینی بغداد آبادی و همکاران، ۲۰۲۲). در تحقیق دیگری حاجی حسـینی و همکاران به مطالعه الگوی مصـــرف گاز در اثر تغییرات آب و هوا پرداختند این بررســـی نتایج معناداری میان تغییرات آب و هوا و حجم مصرف را نشـان داد (حاجی حسـینی بغداد آبادی و همکاران، ۲۰۲۰). رابطه با تحلیل الگوی مصرف انرژی در ایران، نادری دده ساقی در یک تحقیق به جایگاه حامل‌های انرژی فسیلی و الگوی مصرف آن‌ها در بخش خانگی و تجاری پرداخته است. در این بررسـی با توجه به افزایش سـهم مصـرف انرژی در بخش خانگی و تجاری در بازه سـال‌های ۱۳۶۱ تا ۱۳۸۱، نشـان داده شـد با اسـتفاده از روش‌های بهینه‌سـازی سـاختمان مانند دوجداره کردن پنجره و یا عایق سـازی دیوارها به ازای هر مترمربع بنا، ۰.۱۶ بشکه نفت خام صرفه‌جویی در انرژی حاصل خواهد شد (نادری دده ساقی، ۲۰۲۳). سپهری‌فر با اعلان نرخ مصرف بالای انرژی در ایران نسبت به متوسط جهانی، به بررسی عوامل مهم تاثیرگذار در حجم مصرف گاز در بخش خانگی پرداختند. این پژوهش در چندبخش عوامل را مورد بررسـی قرار می‌دهد و طبق نتایج آن کیفیت مصـالح سـاختمانی، سـبک زندگی و کیفیت وسـایل مصرف کننده از مهمترین موارد برشمرده شده‌اند (سپهری‌فر و همکاران، ۲۰۲۲). جهت سنجس اثر اطلاع رسانی و تبلیغات بر حجم مصـرف مشـترگان گاز طبیعی، مولایی و همکاران تحقیقی با اسـتفاده از پرسـشـنامه به روش نمونه گیری تصـادفی دو مرحله‌ای و محاسـبات آماری از ۲۱۶۹ مشـترک در اسـتان آذربایجان شـرقی انجام دادند. این بررسـی نشـان داد هر ۱ درصـد افزایش در سطح تبلیغات، حدود نیم درصد کاهش مصرف در مشـترکان به دنبال خواهد داشـت. مولایی در بررسـی دیگری بر مشـترکین گاز اسـتان آذربایجان شـرقی به شـناسـایی متغیرهای موثر در مصـرف و اثر آن‌ها پرداخت و نتایج حاصـل نشـان داد علیرغم افزایش مشـترکین مصرف با اعمال سیاست‌های کاهش مصرف می‌توان تاثیر قابل توجه‌ای بر حجم مصرف اعمال نمود (مولائی و همکاران، ۲۰۲۳). فلسفی در پژوهش خود با شـبیه‌سـازی نرم‌افزاری سـاختمان اداره گاز شـهر کرمانشـاه به بررسـی راه حل‌های ایجاد کاهش مصرف در انرژی مصرفی این ساختمان پرداخت. نتایج این شبیه‌سازی نشان داد با استفاده از راهکارهای موجود بهینه‌سـازی، امکان کاهش حدود ۴۰ درصـدی در مصـرف انرژی این واحد وجود دارد (فلسـفی، ۲۰۲۲). سـیهان در پژوهش خود به بررسـی اثر قرنطینه‌های اعمال شـده در زمان همه‌گیری کرونا بر مصـرف برق و گاز در مناطق صـنعتی ترکیه پرداخته اســت. این پژوهش کاهش ۴۰ تا ۷۰ درصـــدی را در مقاطع زمانی قرنطینه در این مناطق اعلام می‌دارد (ســـیهان[۲]، ۲۰۲۲). اوئنو و همکاران در بررسـی خود تاثیر در اختیار گذاری برخط اطلاعات مصـرف انرژی را بر میزان مصـرف مشـترکان مورد مطالعه قرار داد که این تحقیق کاهش مصـزف ۹ درصـدی را در مخاطبان خود گزارش کرد (یوئنو[۳] و همکاران، ۲۰۰۶). وندرســـک و همکاران در یک مقاله با ارائه یک روش رگرســـیون غیرخطی مدلی برا تخمین میزان مصـــرف گاز طبیعی در

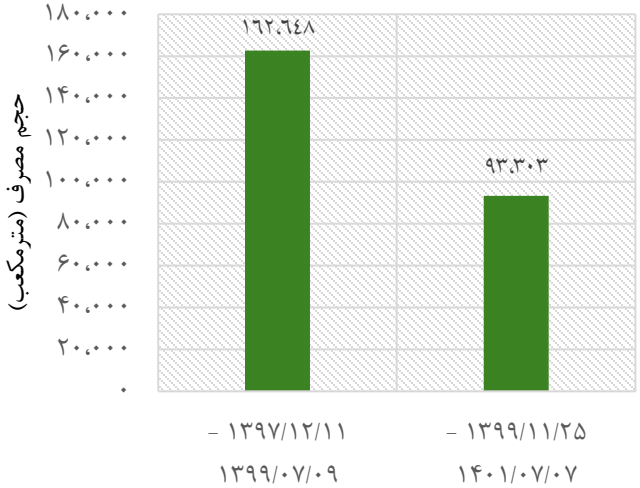
[2] Cihan
[3] Ueno

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-09-26]

مشترکان خانگی و کم مصرف ارائه کرده است (وندرسک[4] و همکاران، ۲۰۰۸). لذا با توجه به اهمیت این موضوع توسعه روش‌های مختلف به منظور ایجاد صرفه‌جویی بیشتر در انواع حامل انرژی دارای جایگاه به‌روزی در فعالیت‌های علمی می‌باشد. در این پژوهش به بررسی اثرات و برآورد صرفه‌جویی ناشی از انجام پروژه بهینه‌سازی موتورخانه‌ها در سطح شهر اراک، که شامل عایق‌سازی، شستشو و رسوب‌زدایی موتورخانه ها در ۶۸ مشترک از کاربریهای اداری، آموزشی و مسکونی می‌باشند، پرداخته شده است. اعمال صورت گرفته بر روی موتورخانه ها در زمان های متوالی بوده و یا توجه به همه‌گیری کرونا در این بازه اثرات مربوطه نیز مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در نهایت نتایج به دست آمده در جهت ارتقا و بالابردن بهره‌وری گزارش شده‌اند.

۲. روش کار

همانطور که اشاره شد در این پژوهش ۶۸ مشترک در شهر اراک جهت برآورد میزان اثرگذاری و حجم صرفه‌جویی حاصل، به واسطه بهینه‌سازی صورت گرفته در موتورخانه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند، که شامل ۳۳ مورد سازه مسکونی، ۲۸ مورد اداری و ۷ مورد آموزشی هستند. در ابتدا به صورت کلی با در نظر گرفتن یک بازه‌ی بلندمدت و دو بازه‌ی کوتاه مدت در بازه‌های سرد و گرم سال، کاهش مصرف در غالب مشترکین نسبت به قبل از انجام بهینه‌سازی مقایسه شد. بازه‌ی بلند مدت یک بازه تقریبا ۶۵۰ روزه و بازه‌های کوتاه مدت به صورت ۹۰ روزه در نظر گرفته شده‌اند. شکل(۱) برای یک مشترک کاهش رخ داده در بازه بلند مدت و به طور مشابه شکل(۲) کاهش مصرف را در بازه‌های کوتاه مدت در بخش گرم و سرد سال نشان می‌دهد. منظور از بازه‌ی گرم سال حد فاصل بین ماه‌های اردیبهشت ماه تا شهریور ماه و بازه‌ی سرد سال از آبان ماه تا اسفند ماه می‌باشد.

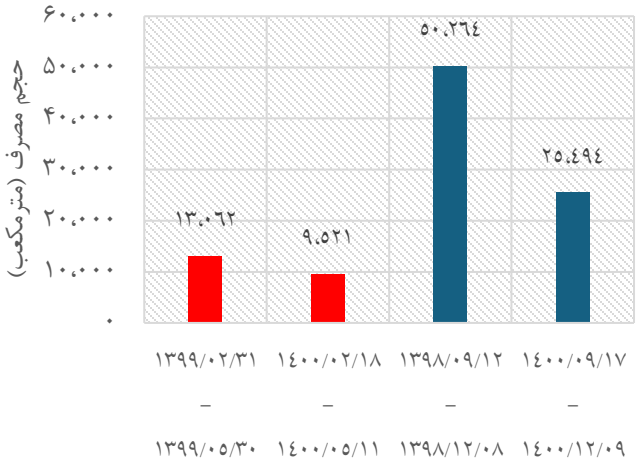


شکل ۱: نمونه حجم مصرف یک مشترک در بازه زمانی بلند مدت برای قبل و بعد از بهینه‌سازی

[4] Vondracek

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-09-26]

مقادیر این کاهش مصرف‌ها برای هر کاربر متفاوت است. علت این امر آن است که برخی از ساختمان‌ها قدیمی‌تر و به دنبال آن موتورخانه‌های قدیمی با بهینگی پایین داشته و بعد از بهینه‌سازی تغییرات قابل ملاحظه‌ای در مصرف آن‌ها ایجاد می‌شود اما از طرفی برخی ساختمان‌ها نوساز بوده وتغییرات حاصل در آن‌ها کمتر بوده است. کاهش مصرف به وجود آمده بعد از انجام بهینه‌سازی ممکن است علاوه بر اعمال صورت گرفته دلایل دیگری نیز داشته باشد، به عنوان مثال یک واحد مسکونی ممکن است برای مدتی ساکنین آن کم شده باشند و یا یک اداره به دلیل تعطیلات ناشی از بیماری کرونا کاهش در حجم مصرف را تجربه کرده باشد. به علاوه با توجه به یکسان نبودن زمان انجام بهینه‌سازی این اثرات نقش مهم‌تری پیدا خواهند کرد، لذا برای خارج کردن اثرات سایر پارامترها بر روی حجم مصرف لازم است ابتدا این اثرات شناسایی شوند. بدین منظور یک پرسشنامه جهت ارزیابی تغییرات احتمالی در وضعیت نوع کاربری، تعداد ساکنین، تعطیلات یا زمان‌های بلا استفاده بودن واحد و یا هرگونه رخدادی که منجر به نوسان در در روال عادی مصرف گاز نسبت به قبل از انجام بهینه‌سازی شود، تدوین و در اختیار مشترکین قرار گرفت.



شکل ۲: نمونه حجم مصرف یک مشترک در بازه‌های زمانی کوتاه مدت فصول سرد و گرم

طرح‌ها و پروژه‌های مختلف در زمینه مصرف انرژی و صرفه‌جویی مبتنی بر اندازه‌گیری و صحه‌گذاری صرفه‌جویی توسعه پیدا می‌کنند از این رو پروتکل‌های متعددی در این زمینه مورد استفاده می‌باشد که پروتکل بین‌المللی ارزیابی کارایی انرژی قدیمی‌ترین پروتکل موجود در این زمینه می‌باشد. طبق این پروتکل برای سنجش وضعیت یک پارامتر می‌توان یک پارامتر با عنوان پارامتر جایگرین که دارای رابطه‌ی مستقیم و معناداری با پارامتر اصلی باشد را پایش و به وسیله آن برآورد مورد نظر را انجام داد. در این بررسی با فرض ثابت بودن حجم مصرف گاز در بازه گرم سال، به منظور سنجش تاثیر دما بر حجم مصرف گاز، از مقدار گرمایش مورد نیاز در ساختمان برای تامین دمای آسایش داخل محیط در فصل سرد به عنوان پارامتر جایگزین استفاده شده است. چرا که از طرفی با افزایش نیاز به گرمایش حجم مصرف گاز زیاد شده و از طرفی طبق روابط محاسباتی برای تامین گرما در ساختمان ارتباط مستقیم بین اختلاف دمای بیرون ساختمان و دمای آسایش داخل وجود دارد. به عنوان

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-09-26]

مثال روابط (۱) و (۲) به ترتیب اتلاف حرارتی از جداره‌های ساختمان و اتلاف از طریق تعویض هوای محیط را نشان می‌دهند. در این روابط Q اتلاف گرما، U مقاومت حرارتی، A مساحت سطح، Ti دمای طرح داخل و To دمای طرح خارج، V حجم تعویض هوا و ضرایب ۰/۰۷۴۹ و ۰/۲۴۱ به ترتیب برابر جرم مخصوص هوا و گرمای ویژه هوا می‌باشند.

$$Q = U\,A\,(T_i - T_o) \quad (۱)$$

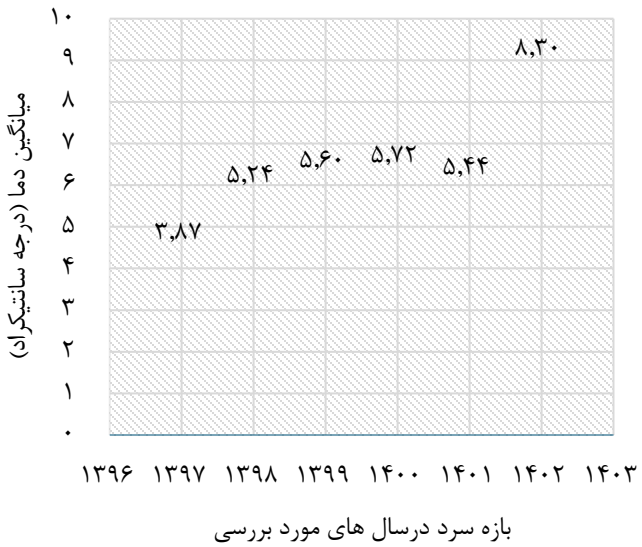
$$Q = V \times 0.0749 \times 0.241 \times (T_i - T_o) \quad (۲)$$

همانظور که مشخص است با کاهش دمای محیط خارج و بیشتر شدن اختلاف دما بین داخل و خارج ساختمان اتلاف حرارتی یا به عبارتی نیاز به گرمایش افزایش یافته و در نتیجه حجم مصرف گاز نیز افزایش خواهد یافت. این مساله این ضرورت را هم آشکار می‌سازد که باید اثر دما از کاهش یا افزایش مصرف خارج گردد. به عبارتی کاهش مصرفی که دلیل افزایش دما رخ داده است صرفه‌جویی محسوب نمی‌شود. . از این رو باید بررسی شود که چه مقدار از کاهش مصرف گاز می‌تواند به دلیل افزایش دما در بازه‌های مورد نظر باشد. بدین منظور داده‌های هواشناسی ایستگاه فرودگاه شهر اراک از ابتدای آبان ماه تا آخر اسفند ماه سال‌های ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۲ جمع‌آوری گردیده است. این داده‌ها به صورت هر سه ساعت یکبار ثبت شده و میانگین آن‌ها در بازه‌ی ذکر شده برای هرسال محاسبه گردیده است. شکل (۳) این مقادیر را در سال‌های مورد نظر نشان می‌دهد. همانظور که مشخص است به عنوان مثال در سال ۱۴۰۲ کاهش مصرف گاز به طور کلی متاثر از گرم‌تر بودن هوا نسبت به سال قبل‌تر می‌باشد. برای ارزیابی ارتباط بین پارامتر حجم مصرف و گرمایش مورد نیاز با در نظر گرفتن اثر دمای میانگین، با استفاده از داده‌های موجود نسبت حجم مصرف هر مشترک در بازه بلند مدت بعد و قبل از بهینه‌سازی و همچنین نسبت گرمایش مورد نیاز برای بعد و قبل از بهینه‌سازی برای تمام مشترکین محاسبه شده است. رابطه (۳) بیانگر این نسبت‌ها می‌باشد.

$$Q_{after} / Q_{before} = \Delta T_{after} / \Delta T_{before} = \Delta V_{after} / \Delta V_{before} \quad (۳)$$

که در این رابطه V نشانگر حجم مصرف شده گاز مشترک مربوطه می‌باشد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-09-26]



شکل ۳: میانگین دمای بازه سرد ۶ سال اخیر در شهر اراک

بنابراین می‌توان گفت طبق پروتکل بین‌المللی ارزیابی کارای انرژی (IPMVP) گرمای اتلافی پارامتر جایگزین حجم گاز مصرف شده می‌باشد. در ادامه برای تمام مشترکین نسبت‌های فوق در بازه‌های بلندمدت و کوتاه مدت محاسبه شده است. با توجه به قرارگیری زمان اعمال راهکار مد نظر برای برخی مشترکین در دوره همه‌گیری بیماری کرونا، برای آن دسته از مشترکینی اداری آموزشی، تعدا روزهای تعطیل مربوطه از طریق پرسشنامه مورد بررسی قرار گرفت. طبق این بررسی، مراکز اداری تعطیلی نداشته و کاهش تعداد کارکنان فعال در ساختمان را در مدت زمان مذکور داشته‌اند. مراکز آموزشی نیز از نوع دانشگاهی بوده و بخش اداری آن‌ها در فاصله زمانی مشابه مراکز اداری مذکور، فعالیت داشته است. در رابطه با مشترکین مسکونی نیز واضح است که کاهش مصرفی، به این علت، رخ نداده است. بیان این نکته نیز دارای اهمیت است که ساختمان‌های مورد بررسی دارای تجهیزات هوشمند کنترل مصرف نیستند، به عبارتی فعالیت سیستم های گرمایشی در آن‌ها تابع تعداد نفرات حاضر در ساختمان نبوده است. لذا برای مشترکین اداری اثر این تعطیلات صفر در نظر گرفته شده است چرا که حتی با حضور افراد کمتر تغییری در مقدار مصرف به وجود نیامده است. برای تعداد محدودی از مشترکین آموزشی نیز بازه مشابه دیگری خارج از همه‌گیری، به منظور خارج کردن اثر این پارامتر از بررسی، درنظر گرفته شد.

برای محاسبه صرفه‌جویی در یک مجموعه، پروتکل بین‌المللی اندازه‌گیری و صحه‌گذاری عملکرد رابطه (۴) را ارائه می‌دهد، و برای محاسبه صرفه‌جویی در این بررسی نیز این رابطه استفاده شده است. در این رابطه منظور از تصحیحات، اثرات عواملی هستند که منجر به تغییر در مصرف نسبت به زمان قبل از انجام راهکار مورد نظر ایجاد می‌شوند. تصحیحات معمول آن دسته از تغییراتی هستند که به طور معمول ایجاد می‌شوند مانند تغییرات شرایط آب و هوایی، و تغییرات غیر معمول شامل تغییراتی مانند تغییر افراد ساکن و یا نوع کاربری مجموعه می‌شود. دوره مبنا به عنوان دوره قبل از انجام راهکار بهینه‌سازی و دوره

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-09-26]

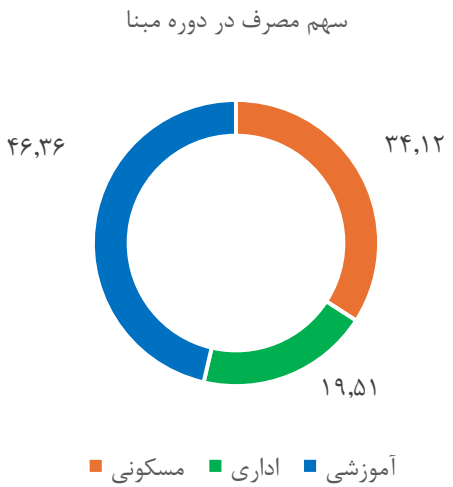
گزارش‌دهی نیز دوره مشـابه بعد از انجام راهکار ایجادکننده صـرفه‌جویی می‌باشـد. این دوره‌ها حتی‌الامکان باید متشـابه، در فاصله نزدیک با زمان انجام راهکار و همچنین در بر گیرنده‌ی یک چرخه کامل از مصرف در مجموعه مورد نظر باشند.

(۴) صرفه‌جویی = (مصرف در دوره مبنا ± تصحیحات) - مصرف در دوره گزارش‌دهی

طبق موارد بیان شده در بخش‌های قبل، دوره‌های مدنظر در این رابطه همان دوره‌های بلندمدت ذکر شده و تصحیحات شامل اثر تغییرات دما و همه‌گیری کرونا خواهد بود. طبق این رابطه صـرفه‌جویی را می‌توان به عنوان اختلاف میزان مصـرف واقعی و مصـرف پیش بینی شـده تعریف نمود. بنابراین با توجه به تصـحیحات مذکور، ابتدا یک حجم مصـرف برای هر مشـترک در دوره مشخص خود به عنوان حجم مصرف پیش‌بینی شده محاسبه، و سپس با حجم واقعی مصرف آن در همان دوره مقایسه گشته است.

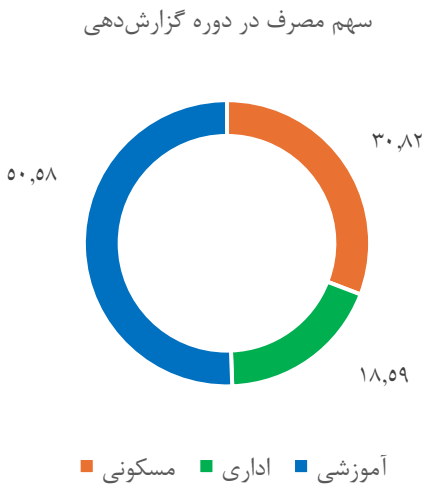
۵. نتایج و بحث

حجم کل مصـرف مشـترکین مورد بررسـی در این پژوهش در دوره مبنا برابر ۹۴۳۳۹۰۶ مترمکعب بوده اسـت که این عدد در دوره گزارش دهی برابر ۹۳۱۹۵۷۴ مترمکعب محاسـبه شـده اسـت. شـکل‌های (۴) و (۵) میزان سـهم هر دسـته از مشـترکین از حجم مصرف را برای هر دو دوره مبنا و گزارش دهی ارائه می‌دهد..



شکل ۴: سهم مصرف هر دسته از مشترکین در دوره مبنا

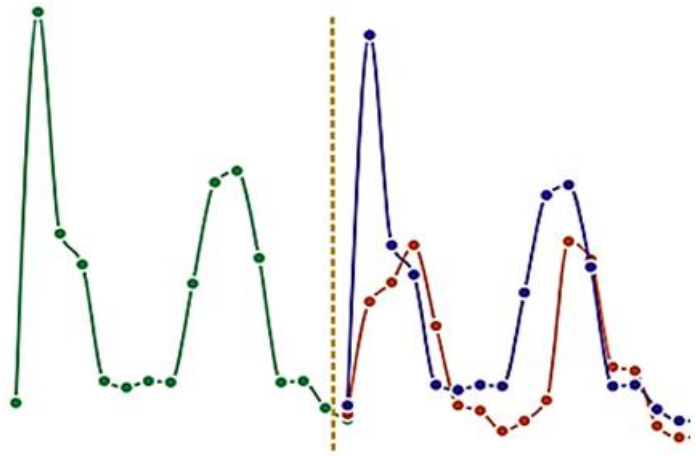
[Downloaded from necjournals.ir on 2025-09-26]



شکل ۵: سهم مصرف هر دسته از مشترکین در دوره گزارش‌دهی

با بررسی رابطه ۳ برای تمام مشترکین در بازه‌های هدف، نشان داده شد این نسبت‌ها برای حدود ۸۰ درصد از مشترکین تناسب خوبی را ارائه می‌کند. این محاسبات تخمین مناسبی از ارتباط بین حجم مصرف و تغییرات دما را نشان می‌دهد، به صورتی که به طور میانگین به ازای هر درجه افزایش یا کاهش در دمای میانگین مورد بررسی در بازه مورد نظر، حجم مصرف، کاهش یا افزایش ۵ درصدی را تجربه می‌کند. به عبارتی جهت تصحیح اثر تغییرات دما بر محاسبه‌ی صرفه‌جویی می‌توان ۵ درصد حجم مصرف را به ازای هر درجه تغییر در دمای میانگین اعمال کرد. بر همین اساس و با توجه به رابطه ۴ به منظور ارزیابی صرفه‌جویی، حجم مصرف پیش‌بینی شده برای هر مشترک با استفاده از تصحیحات لازم در دوره گزارش‌دهی محاسبه و با حجم مصرف واقعی همان دوره مقایسه گردیده است. به عنوان مثال شکل ۶ این روند را برای یک مشترک نشان می‌دهد. خط سبز رنگ مصرف در دوره مبنا، خط آبی رنگ مصرف پیش بینی شده در دوره گزارش‌دهی و خط قرمز مصرف واقعی در دوره گزارش دهی را نشان می‌دهد. این مقادیر برای تمام مشترکین در دوره‌های مشخص هرکدام محاسبه و براساس دوره گزارش‌دهی خود مقدار صرفه‌جویی انجام شده برآورد گردیده است. نقاط موجود در نمودارهای شکل (۶) در واقع تعداد دفعات دریافت اطلاعات مصرف از مشترکین در بازه مربوط به خود می‌باشد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-09-26]

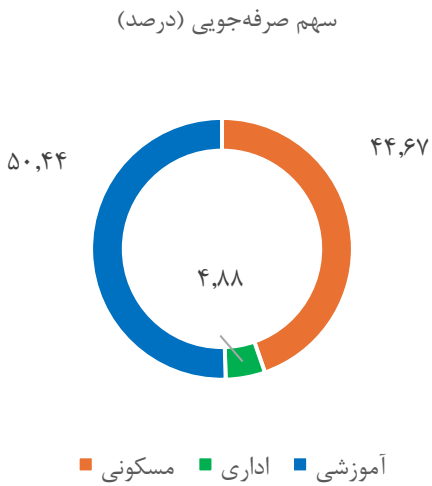


شکل ۶: روند مصرف واقعی در دوره مبنا و گزارش دهی و صرفه‌جویی پیش‌بینی شده

محاسبات انجام شده به صورت کلی برای تمام مشترکین صرفه‌جویی معادل ۴۶۳۷۶۰ مترمکعب را نشان داد. شکل (۷) میزان کاهش مصرف را نیز به ازای مجموع کل مشترکان که شامل مشترکان دارای صرفه‌جویی و بدون صرفه‌جویی می‌باشد را گزارش می‌کند. در این نمودار مقدار کاهش مصرف و صرفه‌جویی با مقادیر منفی گزارش شده است. نمودار موجود در شکل (۸) نیز صرفه‌جویی در حجم مصرف را برای هر دسته از مشترکین نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است مقدار صرفه‌جویی از مقدار کاهش مصرف بیشتر است. علت این امر آن است که برای برخی مشترکین حجم مصرف پیش‌بینی شده در دوره گزارش‌دهی از حجم مصرف مبنا بالاتر بوده است. به عنوان مثال برای مشترکی که در دوره مبنا ۱۰۰۰ مترمکعب مصرف داشته است و به دلیل برودت هوا پیش‌بینی مصرف آن در دوره گزارش‌دهی ۱۵۰۰ مترمکعب محاسبه شده است و در عین حال مصرف واقعی معادل ۱۳۰۰ مترکعب داشته، میزان صرفه‌جویی ۲۰۰ مترمکعب خواهد بود اما کاهش حجم مصرفی رخ نداده است. این محاسبات نشان داد راهکارهای صورت گرفته منجر به صرفه‌جویی در ۷۳٪ از تعداد کل مشترکین شده‌اند.

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-09-26]

شکل ۷: حجم مصرف و صرفه‌جویی کل مشترکین



شکل ۸: سهم هر دسته از مشترکین از صرفه‌جویی کل

به منظور سنجش درصد صرفه‌جویی صورت گرفته، مشترکین در دو دسته‌بندی مورد ارزیابی قرار گرفتند. دسته اول شامل تمام مشترکین است به عبارتی هم مشترکین دارای صرفه‌جویی و هم مشترکین دارای افزایش مصرف در این گروه قرار دارند. و دسته دوم صرفا مشترکینی هستند که صرفه‌جویی داشته‌اند. برای دسته اول به منظور محاسبه درصد صرفه‌جویی مقادیر عددی صرفه‌جویی‌ها و افزایش مصرف‌ها به صورت جبری باهم جمع شده‌اند. جداول (۱) و (۲) به تفکیک نوع مشترک، این ارزیابی را نشان می‌دهد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-09-26]

جدول ۱: درصد کاهش مصرف برای تمام مشترکین

دسته‌بندی	کل مشترکین	مسکونی	اداری	آموزشی
درصد کاهش خالص(٪)	۴/۹۱۵	۶/۴۲۵	۱/۲۸۹	۵/۳۴۹

جدول ۲: درصد کاهش مصرف برای مشترکین دارای صرفه‌جویی

دسته‌بندی	کل مشترکین	مسکونی	اداری	آموزشی
درصد کاهش خالص(٪)	۲۳/۴۵۳	۱۹/۰۳۰	۱۲/۹۱۹	۴۱/۱۴۱

۶. نتیجه گیری

در این پژوهش به برآورد صرفه‌جویی حاصل از اجرای طرح بهینه‌سازی موتورخانه‌ها در سطح شهر اراک، با در نظر گرفتن اثرات تغییرات دما و همه‌گیری بیماری کرونا پرداخته شد. بر اساس روابط محاسباتی اعلام شده در پروتکل بین‌المللی ارزیابی کارایی انرژی (IPMVP)، با در نظر گرفتن اثرات دما به عنوان تصحیح معمول و اثرات همه‌گیری بیماری کرونا به عنوان تصحیح غیرمعمول صرفه جویی برای هر مشترک محاسبه گردید. سنجش اثرات حاصل از تغییرات دما به کمک روابط محاسبات گرمایش ساختمان، و با اعمال دمای میانگین برای دوره‌های قبل و بعد از بهینه‌سازی محاسبه شد. و با استفاده از پرسشنامه، شرایط مصرف هر مشترک برای دوره مصرف بعد از انجام بهینه‌سازی جهت بالابردن دقت نتیجه‌گیری، مورد بررسی قرار گرفت. بررسی حجم مصرف و دمای میانگین و گرمایش مورد نیاز در بازه‌های مربوطه نشان داد به طور متوسط به ازای هر درجه کاهش یا افزایش در دمای میانگین بازه، حجم مصرف ۵ درصد افزایش یا کاهش می‌یابد. این عدد به عنوان تصحیح در مراحل بعد مورد استفاده قرار گرفت. نتایج حاصل از تحقیق در گام نهایی نشان داد ۷۳ درصد از مشترکین بعد از انجام بهینه‌سازی، دارای کاهش مصرف ۲۳ درصدی شده‌اند. این عدد برای کل مشترکین اعم از با و بدون صرفه‌جویی حدود ۵ درصد می‌باشد. مشترکین آموزشی، مسکونی و اداری به ترتیب دارای بیشترین سهم در کاهش مصرف بوده‌اند. جهت برآورد میزان مصرف انرژی به صورت تجمیعی پیشنهاد می‌شود به طور همزمان مصرف برق مشترکین نیز در همان بازه‌های سابق، در پژوهش‌های بعدی بررسی گردد. به عبارتی صرفه‌جویی کلی با لحاظ کردن حجم مصرف گاز و برق محاسبه شده و با دقت بالاتری می‌توان میزان صرفه‌جویی را گزارش نمود.

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-09-26]

منابع

[1] A. Azadeh, S. M. Asadzadeh, M. Saberi, V. Nadimi, A. Tajvidi, and M. Sheikalishahi, *"A Neuro-fuzzy-stochastic frontier analysis approach for long-term natural gas consumption forecasting and behavior analysis: The cases of Bahrain, Saudi Arabia, Syria, and UAE," Applied Energy*, vol. 88, no. 11, pp. 3850-3859, 2011/11/01/ 2011, doi: https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.04.027.

[2] S. K. sadeghi and s. m. mousavian, *"Statistical Analysis and Construction of Prediction Intervals for A Hybrid Neural Network in: A Case Study of Natural Gas Consumption in the Household Sector," JSE*, vol. 6, no. 20, pp. 73-106, 2015, doi: 10.18869/acadpub.jemr.5.20.73.

[3] K. molaee, A. Bafandeh Zendeh, and s. Aali, *"Provide A model to measure effectiveness Advertising and Notification At Decrease Intensity of household gas consumption (case study: East Azarbaijan Province),"* (in eng), *Quarterly Journal of Energy Policy and Planning Research*, Research vol. 9, no. 2, pp. 75-105, 2023. [Online]. Available: http://epprjournal.ir/article-1-1125-fa.html.

[4] F. Daneshzand, M. R. Amin-Naseri, A. Elkamel, and M. Fowler, *"A System Dynamics Model for Analyzing Future Natural Gas Supply and Demand," Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 57, 07/18 2018, doi: 10.1021/acs.iecr.8b00709.

[5] M. Bastan and H. Shakouri G, *"A System Dynamics Model for Policy Evaluation of Energy Dependency,"* in *International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, Paris, France, 2018. [Online]. Available: https://www.ieomsociety.org/paris2018/papers/418.pdf. [Online]. Available: https://www.ieomsociety.org/paris2018/papers/418.pdf

[6] A. Movahednasab, M. Rashidinejad, and A. Abdollahi, *"Market-Based Analysis of Natural Gas and Electricity Export via System Dynamics," Electrical and Computer Engineering Innovations*, vol. 5, 2017. [Online]. Available: https://jecei.sru.ac.ir/article_692_6ef3bc31b1c0ac9a86b29e6ef37b7c47.pdf.

[7] A. Daghbandan and N. Setayesh, "Modeling and prediction of natural gas consumption with help of multi objective GMDH-Type Neural Network. Case study: regional gas distribution company of Rasht city," (in eng), *Iranian Journal of Energy*, Research vol. 19, no. 4, pp. 0-0, 2017. [Online]. Available: http://necjournals.ir/article-1-831-fa.html.

[8] L.-M. Liu and M.-W. Lin, *"Forecasting residential consumption of natural gas using monthly and quarterly time series," International Journal of Forecasting*, vol. 7, no. 1, pp. 3-16, 1991/05/01/ 1991, doi: https://doi.org/10.1016/0169-2070(91)90028-T.

[9] A. Khotanzad, H. Elragal, and T. L. Lu, *"Combination of artificial neural-network forecasters for prediction of natural gas consumption," IEEE Transactions on Neural Networks*, vol. 11, no. 2, pp. 464-473, 2000, doi: 10.1109/72.839015.

[10] E. Kamrani, *"Modeling and forecasting long-term natural gas (NG) consumption in Iran, using particle swarm optimization (PSO),"* ed, 2010.

[11] T. Karimi, Sadeghimoghadam, M.R, Rahnama, R.A, *"AN INVESTIGATION OF THE IMPACT OF TEMPERATURE VARIATION ON NATURAL GAS CONSUMPTION IN IRAN," ENERGY ECONOMICS REVIEW*, vol. 7, no. 24, pp. 193-218, 2010. [Online]. Available: https://sid.ir/paper/99630/en#downloadbottom.

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-09-26]

[12] T. Haji Hoseini Baghdad Abadi, A. R. Ghasemi, and T. Mohammadi, *"Future study of natural gas consumption in Iran in the horizon of 2030; Approach Scenario making based on regression pattern Censored,"* (in eng), *Quarterely Energy Economics Review*, Thesis(PhD.) vol. 18, no. 73, pp. 1-23, 2022. [Online]. Available: http://iiesj.ir/article-1-1443-fa.html.

[13] T. Haji Hoseini Baghdad Abadi, A. R. Ghasemi, and T. Mohamadi, *"The Effect of Climate Change on Iran's Natural Gas Consumption; Application of Censored Regression Model (Tobit),"* *Iranian Energy Economics Research*, vol. 9, no. 34, pp. 87-111, 2020, doi: 10.22054/jiee.2021.50681.1734.

[14] N. Naderi dedah saqi, *"Analysis of energy consumption in Iran and study of reducing energy consumption in homes,"* presented at the The 23rd National Conference on Civil Engineering, Architecture and Urban Planning papers, 2023. [Online]. Available: https://civilica.com/doc/2101640.

[15] h. Sepehrifar, F. Lotfizade, and A. Farahmandian, *"Analysis of Main Factors of Resedential Gas Consumption in Iran,"* (in eng), *Quarterly Journal of Energy Policy and Planning Research*, Research vol. 7, no. 4, pp. 1-27, 2022. [Online]. Available: http://epprjournal.ir/article-1-1077-fa.html.

[16] K. Molai, A. Bafandeh Zendeh, and s. Aali, *"Modeling gas demand of household customers in order to reduce consumption intensity in east Azarbaijan province with system dynamics approach,"* (in eng), *Quarterly Journal of Energy Policy and Planning Research*, Research vol. 9, no. 4, pp. 85-126, 2024. [Online]. Available: http://epprjournal.ir/article-1-1148-en.html.

[17] P. Falsafi, *"Energy audit and providing solutions to optimize energy consumption in the Kermanshah City Gas Administration building,"* presented at the 3rd.International Conference on Architecture, Civil Engineering, Urban Development, Environment and Horizons of Islamic Art in the Second Step Statement of the Revolution papers, 2022. [Online]. Available: https://civilica.com/doc/1959395.

[18] P. Cihan, *"Impact of the COVID-19 lockdowns on electricity and natural gas consumption in the different industrial zones and forecasting consumption amounts: Turkey case study,"* *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 134, p. 107369, 2022/01/01/ 2022, doi: https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2021.107369.

[19] T. Ueno, F. Sano, O. Saeki, and K. Tsuji, *"Effectiveness of an energy-consumption information system on energy savings in residential houses based on monitored data,"* *Applied Energy*, vol. 83, no. 2, pp. 166-183, 2006/02/01/ 2006, doi: https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2005.02.002.

[20] J. Vondráček *et al.*, *"A statistical model for the estimation of natural gas consumption,"* *Applied Energy*, vol. 85, no. 5, pp. 362-370, 2008/05/01/ 2008, doi: https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2007.07.004.

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-09-26]