

تحلیل و بررسی شاخص مصرف گاز ساختمان‌های روستایی و ارزیابی راهکارهای اصلاحی (نمونه موردی: منطقه شوقان در استان خراسان شمالی)

هومن نعیمی*

استادیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه بجنورد، بجنورد، ایران، h.naeimi@ub.ac.ir

محمد بهروز

کارشناس ارشد، مهندس مکانیک، شرکت گاز خراسان شمالی، بجنورد، ایران، mbehrutz62@yahoo.com

چکیده

در این پژوهش با توجه به فقدان شاخص مصرف گاز برای ساختمان‌های روستایی تلاش شده است از طریق تحلیل مقایسه‌ای بین مصارف اندازه‌گیری شده با مقادیر بازاریابی در زمان طراحی شبکه در یکی از مناطق روستایی خراسان شمالی، درک درستی از الگوی مصرف روستایی حاصل شود. بر اساس نتایج حاصل از پژوهش مشاهده گردید که استفاده از شاخص مصرف ساختمان‌های شهری سبب بروز اختلاف چشمگیری در پیش‌بینی میزان مصرف ساختمان‌های روستایی خواهد شد که این میزان در ساختمان‌های مسکونی و مذهبی به ترتیب در حدود ۴۷٪ و ۵۲٪ و در ساختمان‌های اداری، درمانی و آموزشی با توجه به ابعاد بسیار کوچکتر آن‌ها در مقایسه با ساختمان‌های متناظر شهری به ترتیب در حدود ۸۷٪، ۹۱٪ و ۶۷٪ است. همچنین اختلاف بین مقدار مصرف کل ساعتی با مقدار پیش‌بینی شده در زمان بازاریابی در منطقه طرح حدود ۵۰٪ محاسبه گردید که بیانگر پتانسیل مازاد چشمگیر قابل آزادسازی در بخش روستایی است. در نهایت بر مبنای داده‌های اندازه‌گیری شده روابطی برای پیش‌بینی بیشینه مصرف گرمایشی ساعتی ساختمان‌های روستایی برحسب کمینه دمای مطلق محیط و شاخص‌های مصرف جدیدی برای ساختمان‌های روستایی پیشنهاد گردید.

واژه‌های کلیدی: شاخص مصرف، گاز طبیعی، ساختمان روستایی، الگوی مصرف، شبکه خطوط لوله، راهکارهای اصلاحی.

The analysis and study of gas consumption index of rural buildings and presenting corrective strategies (Case study: Shoqan, North Khorasan province)

H. Naeimi

Department of Mechanical Engineering, University of Bojnord, Bojnord, North, Iran

M. Behruz

North Khorasan Gas Company, Bojnord, North Khorasan, Iran

Abstract

In this study, due to the lack of gas consumption index for rural buildings, an attempt has been made for a better understanding of the rural gas consumption pattern by comparative analysis between measured consumptions and predicted values used for network design in one of the rural areas of North Khorasan province. Based on the results of this study, it was observed that using the urban buildings consumption index will cause a significant difference in predicting the consumption of rural buildings, which is about 47% and 52% in residential and religious buildings, respectively. This difference in office, medical and educational buildings, due to their much smaller dimensions compared to the corresponding urban buildings, is about 87%, 91%, and 67%, respectively. Also, the calculated difference between the predicted amount and the total hourly consumption in the study area was about 50%, which indicates a significant surplus potential ready to release in the rural sector. Finally, based on the measured data, relations to predict the maximum hourly heating consumption of rural buildings in terms of the minimum absolute ambient temperature and new consumption indexes for rural buildings were proposed.

Keywords: Consumption index, natural gas, rural building, consumption pattern, pipeline network, corrective strategies.

۱- مقدمه

۷۳ هزار واحد صنعتی بزرگ و کوچک، پتروشیمی و فولاد و ۲۲۰۰ ایستگاه CNG است [۲]. با گسترش صنعت گاز، شبکه خطوط لوله گاز طی دهه‌ها تکامل یافته و به سیستم‌های بزرگ و پیچیده‌ای تبدیل شده است. امروزه یک شبکه خطوط لوله، از هزاران لوله، تعداد زیادی ایستگاه تقویت فشار و تجهیزات گوناگونی نظیر شیرها، اتصالات و رگلاتورها تشکیل شده است. لذا طراحی و عملکرد بهینه شبکه خطوط لوله از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. برآورد دقیق میزان مصرف شرط اصلی طراحی بهینه شبکه خطوط لوله گاز می‌باشد چرا که برآورد غیردقیق مصرف منجر به افزایش هزینه‌های ساخت و اجرا یا عدم جوابگویی شبکه در ساعات اوج مصرف خواهد شد. پژوهش‌هایی که با محوریت شبکه خطوط لوله گاز طبیعی انجام شده در سه دسته کلی قابل طبقه‌بندی می‌باشند. دسته اول

بر اساس آمار BP^۱ ایران دارنده بیشترین حجم ذخایر گاز طبیعی به میزان ۱۸ درصد از ذخایر شناخته شده جهان است [۱]. این موضوع سبب شده گاز به عنوان مزیت مطلق اقتصاد انرژی ایران لحاظ شود. با توجه به مصرف بیش از ۷۰۰ میلیون مترمکعب گاز در کشور، مدیریت مصرف این فراورده بسیار حایز اهمیت است. بیشتر کارشناسان انرژی و صاحب‌نظران اقتصاد بر این باورند که بهره‌گیری بیشتر و گسترده‌تر از گاز طبیعی، از مزایای توسعه پایدار به شمار می‌آید و این حامل انرژی به عنوان سوخت برتر قرن بیست و یکم شناخته می‌شود. سهم گاز در سبد انرژی کشور هم‌اکنون به بیش از ۷۰٪ رسیده و آمارها حاکی از آن است که ۲۳ میلیون مشترک در کشور از نعمت گاز بهره می‌برند که این رقم معادل ۹۷٪ جمعیت شهری و ۶۷٪ جمعیت روستایی، بیش از

* نویسنده مکاتبه کننده، آدرس پست الکترونیکی: h.naeimi@ub.ac.ir

تاریخ دریافت: ۰۰/۰۵/۱۱

تاریخ پذیرش: ۰۰/۱۰/۲۰

پژوهش‌هایی هستند که در آن‌ها موضوع تابع تقاضای گاز طبیعی برای مصارف بخش‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. به عنوان مثال؛ بررسی تابع تقاضای گاز طبیعی برای مصارف خانگی و تجاری در ایران توسط کشاورز حداد و میرباقری جم [۳] صورت گرفت که از مدل ساختار سری زمانی برای مدل‌سازی دو مؤلفه روند تصادفی و فصلی تصادفی در تقاضای انرژی به منظور برآورد صحیح کسش‌های درآمدی و قیمتی استفاده نمودند. سپس به کمک فیلتر کالمن با روش حداکثر راستنمایی، برآوردهای نارایب پارامترهای تابع تقاضا محاسبه گردید. شیرانی فخر و همکاران [۴] به مطالعه تابع تقاضای گاز طبیعی در بخش صنعت ایران با استفاده از مدل سری زمانی ساختاری پرداختند و نشان دادند کسش قیمتی تقاضای گاز طبیعی در بخش صنعت در کوتاه مدت و بلندمدت کم است. نتایج حاصل از در نظر گرفتن اثر اجرای قانون هدفمندکردن یارانه‌ها نیز نشان داد که برخلاف انتظار، اجرای این قانون اثری روی تقاضای گاز طبیعی در بخش صنعت ندارد. در پژوهش دیگری ورهرامی [۵] با ارایه یک دیدگاه اقتصاد خرد، به بررسی کسش‌های قیمتی و درآمدی کوتاه مدت و بلندمدت تقاضای گاز طبیعی در بخش کشاورزی استان همدان پرداخت که در آن برای محاسبه کسش‌های قیمتی تقاضای گاز طبیعی در کوتاه‌مدت و بلندمدت از نتایج برازش شده از داده‌های فصلی مربوط به دوره زمانی ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۲ به همراه مدل Quick استفاده گردید. در خصوص برآورد تابع تقاضای گاز طبیعی در بخش خانگی استان‌های مختلف هم پژوهش‌هایی صورت گرفته است که از آن جمله می‌توان به پژوهش انجام شده توسط قاسمی [۶] در استان کردستان اشاره نمود که در آن پس از بررسی نتایج برآوردها و آمارها، مدل تمام لگاریتمی به عنوان بهترین مدل با توانایی پاسخگویی با قابلیت اعتماد بالا برگزیده شد. در مورد مشابهی، تابع تقاضای کوتاه‌مدت و بلندمدت تقاضای گاز طبیعی در بخش خانگی استان سمنان توسط بابایی و همکاران [۷] به کمک الگوی خودرگرسیون با وقفه‌های توزیعی و مدل تصحیح خطا محاسبه گردید. نتایج برآورد تابع تقاضا طی سال‌های ۱۳۷۸-۱۳۸۸ نشان داد که کسش قیمتی برای گاز طبیعی در کوتاه‌مدت و بلندمدت در بخش خانگی از نظر آماری معنادار نبوده اما کسش درآمدی معنادار خواهد بود.

دسته دوم پژوهش‌هایی هستند که در آن‌ها به موضوع مدل‌سازی شبکه خطوط انتقال گاز طبیعی به منظور دستیابی به طراحی بهینه پرداخته شده است. به عنوان مثال؛ اوستر و دلاوراوغلو [۸] از مدل بهینه‌سازی غیرخطی عدد صحیح مختلط بزرگ مقیاس^۱ برای طراحی یک شبکه انتقال گاز طبیعی جدید در ترکیه یا توسعه شبکه موجود با کمینه‌کردن سرمایه‌گذاری کلی و هزینه‌های عملیاتی استفاده نمودند. در ایران نیز برای طراحی بهینه یک شبکه انتقال گاز از جنوب به نفاطی در شمال و شمال شرق مشتمل بر ۲۶۶۰ کیلومتر خط لوله و ۲۶ ایستگاه کمپرسور از الگوریتم ژنتیک استفاده شد [۹]. در این مطالعه مجموع سرمایه‌گذاری و هزینه‌های عملیاتی به عنوان تابع هدف در نظر گرفته شد و نشان داده شد که ضرورتاً کوتاه‌ترین مسیر، انتخاب

بهینه نمی‌باشد. اخیراً نیز چن و همکاران [۱۰] از مدل خودبرگشتی با مقیاس بزرگ برای پیش‌بینی جریان گاز در شبکه انتقال فشار بالا در کشور آلمان بهره گرفتند که به نحو چشمگیری دقت پیش‌بینی و تعادل بین عرضه و تقاضا را بهبود بخشید. در پژوهش دیگری با هدف تعیین توالی بهینه اتصال گرہ‌ها برای خط اصلی گاز طبیعی ابتدا شبکه عمومی به مدار الکتریکی تبدیل گردید و سپس معادله جبری غیرخطی مدل با استفاده از روش هاردی کراس حل شد [۱۱]. بر اساس نتایج به دست آمده، مسیر بهینه یک سامانه انتقال گاز طبیعی پیچیده تعیین گردید. ژانگ و لیو [۱۲] نیز به مطالعه مدل عملکرد بهینه مبتنی بر الگوریتم ژنتیک بهبود یافته در شبکه خطوط گاز طبیعی پرداختند که در آن سود بیشینه و دبی جریان بیشینه به عنوان تابع هدف در نظر گرفته شده و از دو فرمول جدید یکی برای ارزش تناسب و دیگری با هدف محاسبه احتمالات ترکیب و جهش استفاده شده بود. محاسبات مدل بر روی یک شبکه خط لوله فشار متوسط به عنوان نمونه مطالعاتی نشان داد که سود بیشینه و دبی جریان بیشینه در الگوریتم ژنتیک بهبود یافته در مقایسه با هر دو الگوریتم پایه و غیربهینه افزایش می‌یابد.

به منظور کاهش تقاضای برق در ایستگاه‌های کمپرسور و کمینه کردن خطر کمبود گاز، روش بهینه‌سازی چندهدفه توسط سو و همکاران [۱۳] توسعه داده شد که در آن برای توصیف کمی احتمال بروز وقفه در تامین گاز در شبکه، یک تابع محدودیت جدید بر مبنای معادله بقای جرم معرفی گردید. نتایج این بررسی نشان داد که مدل چندهدفه قادر به یافتن راه حلی است که به نحو موثری به هر دو نیاز کمینه کردن ریسک کمبود تامین گاز و کاهش تقاضای برق پاسخ دهد. اخیراً نیز وانگ و همکاران [۱۴] به تحلیل آسیب‌پذیری ظرفیت انتقال شبکه خطوط انتقال گاز طبیعی با تمرکز بر ویژگی‌های ذاتی شبکه به جای محیط و احتمالات پرداختند. بر مبنای چشم‌انداز بهره‌وری شبکه و عملکرد مبتنی بر جریان، سه شاخص آسیب‌پذیری ظرفیت انتقال شبکه تعریف شد و طراحی یک مسیر شبکه خط لوله بهینه و تعیین ظرفیت انتقال به منظور بهبود قابلیت اطمینان و ملاحظات اقتصادی کل شبکه مورد بررسی قرار گرفت.

دسته سوم از پژوهش‌های انجام شده با موضوع شبکه خطوط لوله گاز مواردی هستند که از طریق تغییر پارامترهای طراحی شبکه خطوط لوله به دنبال هدف کاهش هزینه‌های ساخت و اجرای خطوط لوله بوده‌اند. یکی از این پارامترهای موثر در طراحی شبکه، فشار طراحی شبکه است که بررسی تاثیر کاهش آن بر طراحی شبکه توسط صابرقدیم [۱۵] صورت پذیرفت که این کاهش از طریق افزایش سرعت جریان گاز و ثابت نگه داشتن سایر پارامترهای شبکه اعمال گردید به نحوی که بخشی از وظایف رگولاتور در طول مسیر به وسیله لوله‌ها انجام شود. نتایج پژوهش نشان داد که اگرچه طراحی شبکه با فشار پایین‌تر از لحاظ فنی و کاهش مصرف انرژی توجیه‌پذیر است اما به لحاظ اقتصادی باید نقطه بهینه فشار طراحی شبکه و قطر لوله‌ها را محاسبه نمود تا به افزایش هزینه‌ها ناشی از افزایش سایز لوله‌ها منجر نشود. در پژوهش دیگری از الگوریتم رقابت استعماری برای بهینه‌سازی قطر لوله‌ها در شبکه توزیع گاز طبیعی با رعایت محدودیت‌های شبکه استفاده گردید [۱۶]. نتایج نشان داد که رهیافت پیشنهادی نسبت به نرم افزار GPNET که در شرکت ملی گاز استفاده می‌شود، منجر به

¹Mixed-integer nonlinear optimization model

صرفه‌جویی ۲۰ درصدی در هزینه‌ها می‌شود که در مقایسه با روش مبتنی بر الگوریتم ژنتیک با صرفه‌جویی ۱۲/۱ درصدی دارای کارایی بالاتری است. تاثیر پارامترهایی نظیر ضریب اصطکاک و ترکیب گاز طبیعی بر روی یک شبکه نمونه در حالت بحرانی نیز توسط فرزانه‌گرد و رهبری [۱۷] مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از مدل‌سازی شبکه نشان داد که ضریب اصطکاک تاثیر بیشتری بر روی شبکه داشته و گازهای طبیعی که وزن مولکولی بالاتری دارند افت فشار کمتری در شبکه ایجاد می‌کنند که این موضوع می‌تواند از مشکلات ناشی از کاهش فشار مانند افزایش سرعت و عمل نکردن شیرهای فشار شکن جلوگیری کند.

$$(۱) = \text{بیشینه مصرف ساعتی غیرگرمایشی}$$

$$(\times 30 \text{ ساعات کار دائمی در روز}) / \text{مصرف دایمی ماهیانه}$$

$$= \text{بیشینه مصرف روزانه گرمایشی}$$

$$(۲) \text{DD} \times 365 / \text{مصرف گرمایشی سالیانه} \times \text{تعداد روزهای کار در سال} \times \text{DDD}$$

$$\text{تعداد روزهای کار در سال} \times \text{DDD}$$

بر اساس بررسی‌های صورت گرفته طراحی شبکه‌های گازرسانی بر مبنای مراجع تدوین شده در سال‌های ۱۳۶۴ و ۱۳۷۲ [۱۸ و ۱۹] انجام می‌شود که در آن به منظور برآورد میزان مصرف ساختمان‌های شهری و روستایی، بدون توجه به تفاوت‌های الگوی مصرف و نوع مصالح به کار رفته در ساختمان‌های شهری و روستایی، از دستورالعمل تعیین احتیاجات گاز طبیعی مربوط به سال ۱۳۶۴ [۲۰] استفاده می‌گردد. بدیهی است استفاده از معیار و الگوی طراحی یکسان با شهرهای بزرگ در مناطق روستایی سبب طراحی شبکه به میزان بیش از حد نیاز واقعی و اتلاف سرمایه می‌شود.

$$(۳) \text{DD} = \text{دمای محیط} - \text{دمای مینا}$$

تاکنون با توجه به عدم وجود شاخص مصرف گاز برای ساختمان‌های روستایی، از شاخص مصرف ساختمان‌های مشابه شهری در طراحی شبکه گازرسانی استفاده می‌شد که این امر به بیش‌طراحی شبکه منجر می‌شد. در این مقاله ابتدا با در نظر گرفتن عوامل موثر بر مصرف و داده‌های اندازه‌گیری شده، مقادیر اصلاحی برای مصرف دایمی روزانه پیشنهاد شده و روابطی برای تخمین بیشینه مصرف ساعتی گرمایشی ساختمان‌های روستایی با توجه به کمینه دمای روستا ارائه خواهد شد. در ادامه تاثیر نوع مصالح ساختمانی بر میزان مصرف ساختمان‌های روستایی گوناگون مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت نیز بر اساس نتایج به دست آمده از پژوهش، مقادیر اصلاحی برای بیشینه مصرف ساعتی ساختمان‌های روستایی محاسبه و به عنوان شاخص‌های جدید مصرف ساختمان‌های روستایی معرفی می‌شوند. نتایج این پژوهش اولاً می‌تواند برای طراحی خطوط و شبکه‌های جدید به ویژه در مناطق روستایی مورد استفاده قرار گیرند. از آنجا که در طراحی سایز لوله، مقدار دبی حجمی گاز مصرفی تاثیر بسیار زیادی دارد، برآورد صحیح و منطقی مصرف باعث صرفه‌جویی قابل توجهی در اجرای خطوط انتقال، تغذیه و توزیع می‌گردد. ثانیاً با توجه به ظهور مصرف‌کنندگان عمده جدید نظیر گلخانه‌ها، ایستگاه‌های CNG، کارخانه آسفالت، نیروگاه‌های کوچک و غیره، می‌توان با شناسایی ظرفیت مازاد، بخشی از تقاضای جدید را از این محل جبران نمود بدون آن که نیازی به تغییر در شبکه خطوط لوله باشد.

مصرف گرمایشی سالیانه از تفاضل کل مصرف متقاضی در طول سال از میزان مصرف دائمی سالیانه به دست می‌آید. سپس به کمک روابط زیر می‌توان بیشینه مصرف ساعتی گرمایشی و بیشینه مصرف ساعتی را محاسبه نمود [۱۸].

$$(۴) = \text{بیشینه مصرف ساعتی گرمایشی}$$

$$\text{ساعات کار گرمایشی} / \text{بیشینه مصرف روزانه گرمایشی}$$

۲- مبانی طراحی شبکه خطوط لوله گاز

برآورد دقیق میزان مصرف یکی از پیش‌نیازهای ضروری طراحی شبکه خطوط لوله گاز است به نحوی که هم طراحی و اجرای شبکه با کمترین هزینه ممکن بوده و هم شبکه در ساعات اوج مصرف پاسخگوی نیاز مصرف‌کنندگان باشد. منظور از بازاریابی در این پژوهش، بررسی تعیین احتیاجات گاز طبیعی و برآورد مصرف گاز مورد نیاز

¹ Degree Day

² ASHRAE

³ Degree Day Demand

$$(5) \text{ بیشینه مصرف ساعتی گرمایشی} + \text{بیشینه مصرف ساعتی غیرگرمایشی} = \text{بیشینه مصرف ساعتی}$$

۲-۱- روش کدگذاری و درج اطلاعات

برای طراحی شبکه توزیع گاز باید بیشینه مصرف ساعتی مشترکان هر منطقه محاسبه شود که مبنای محاسباتی آن برای هر واحد در بخش پیشین توضیح داده شد. سپس نقشه خام منطقه با مقیاس ۱/۲۰۰۰ یا ۱/۲۵۰۰ تهیه می‌شود که از آن برای پیاده‌سازی مصارف لیست بازاریابی بر روی بلوک‌ها استفاده می‌گردد. بلوک‌ها شامل مجموعه ساختمان‌هایی می‌باشند که از هر جهت به معبر عمومی منتهی شده باشند که می‌توانند دارای اشکال هندسی منظم یا نامنظم باشند. در مرحله بعد نقشه بازاریابی منطقه بر اساس لیست برآورد مصرف تهیه می‌گردد. در لیست برآورد مصرف، اطلاعات مکانی مشتمل بر شماره ناحیه، شماره بخش، شماره بلوک و شماره ضلع، نوع مصرف‌کننده مشتمل بر خانگی، تجاری و تجاری ویژه، میزان مصرف فعلی به مترمکعب و در نهایت میزان مصرف آینده به مترمکعب به تفکیک مصرف سالانه، مصرف متوسط روزانه، بیشینه مصرف روزانه و بیشینه مصرف ساعتی درج می‌گردد. با در نظر گرفتن بیشینه مصرف ساعتی در حد اشیاع و حدس اولیه در مورد تعیین تعداد ایستگاه‌های تقلیل فشار حاشیه شهری بر مبنای ظرفیت‌های ۱۰۰۰۰، ۲۰۰۰۰ یا ۳۰۰۰۰ مترمکعب بر ساعت برای شبکه‌های فولادی و ۵۰۰۰ یا ۱۰۰۰۰ مترمکعب بر ساعت برای شبکه‌های پلی‌اتیلن و کسب اطلاع از محل دقیق ایستگاه ورودی گاز اقدام به بررسی و تعیین مسیرهای مختلف برای شبکه تغذیه کرده و پس از مقایسه مسیرهای مختلف، مسیر بهینه از نظر اقتصادی و طول انتخاب می‌گردد. تعداد و موقعیت ایستگاه‌های تقلیل فشار با در نظر گرفتن عواملی نظیر اشیاع بودن منطقه از لحاظ کمبود زمین‌های خالی، تراکم منطقه، میزان کل مصرف در حد اشیاع، تداوم عرضه گاز و جنبه‌های اقتصادی تعیین می‌شود. در ادامه مسیر خطوط شبکه توزیع بر اساس نقشه بازاریابی با ارجحیت خیابان‌های اصلی و عریض شهر برای عبور لوله‌های اصلی و حداقل برخورد با موانع مهم مانند راه‌آهن، اتوبان‌ها، پل‌ها و رودخانه‌ها انتخاب می‌گردد به نحوی که امکان عملیات اجرایی گازرسانی و طراحی تفصیلی خطوط لوله وجود داشته باشد. همچنین بهتر است خطوط اصلی شبکه توزیع در نزدیکی مصرف‌کنندگان ویژه عمده مستقر بوده و به گونه‌ای اجرا شود که حداکثر تداوم عرضه گاز در شرایط اضطراری ممکن باشد. در نهایت در طراحی تفصیلی در محل‌های مناسب از خطوط اصلی انشعاب گرفته شده و گاز به نقاط مصرف پخش می‌گردد. پس از مشخص شدن اتصالات و پیاده نمودن مصارف بر روی نقشه، گره‌بندی نقشه صورت می‌پذیرد. پس از آماده شدن نقشه گره‌بندی، اطلاعات وارد نرم افزار طراحی شبکه GPNET شده و محاسبات شبکه بر اساس دو اصل زیر انجام می‌شود:

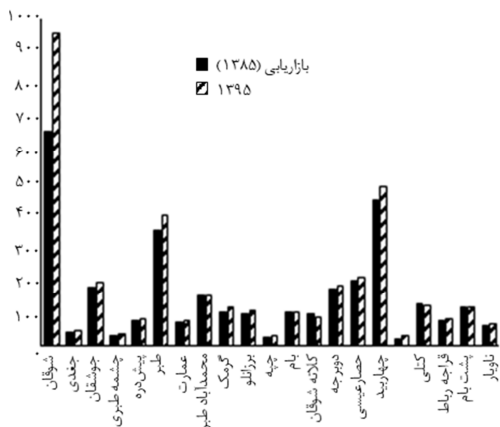
- قانون گره‌ها: جمع جبری دی‌های لوله‌های متصل به یک گره برابر بار مصرفی آن گره باشد.
 - قانون حلقه‌ها: جمع جبری افت فشار گاز داخل هر حلقه برابر صفر شود.
- دستگاه معادلات غیرخطی حاصل از دو قانون گره‌ها و قانون

حلقه‌ها با استفاده از روش آزمون و خطای هاردی-کراس حل و افت فشار در گره‌ها، دی جرمی و سرعت در لوله‌ها را محاسبه می‌گردد. در نهایت مسیر بهینه به نحوی انتخاب می‌گردد که افت فشار در هیچ مسیر یا گرهی بیش از حد مجاز نبوده، سرعت گاز در لوله‌ها بیشتر یا کمتر از حد مجاز نباشد و فشار در هیچ گرهی نیز کمتر از حد مجاز نشود [۱۸].

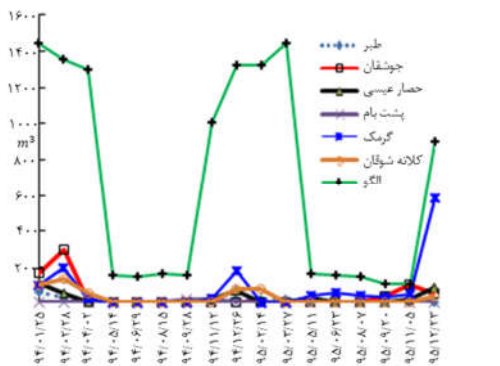
۲-۲- اطلاعات بازاریابی منطقه طرح

در انتخاب منطقه طرح برای پژوهش حاضر به این نکته توجه شده است که تمام یا بیشتر روستاهای منطقه از نعمت گاز برخوردار بوده و اطلاعات مصرف گاز در منطقه در سال‌های مورد بررسی موجود و در دسترس باشد. لذا با عنایت به این موارد، در این پژوهش شهر شوقان به همراه روستاهای تابعه از توابع شهرستان جاجریم به عنوان منطقه طرح انتخاب گردید. به منظور بررسی دقیق‌تر موضوع در مبحث بازاریابی، تعداد مشترکین شهر شوقان و روستاهای تابعه در سال ۱۳۹۵ با تعداد واحدها در همان مناطق در زمان بازاریابی در سال ۱۳۸۵ در شکل ۱ مقایسه شده است. این مقایسه نشان می‌دهد که علی‌رغم سپری شدن زمان طولانی از زمان بازاریابی، تعداد مشترکین به جز در شوقان که در این مدت از روستا به شهر تبدیل شده و تعداد مشترکین آن حدود ۴۵ درصد رشد داشته، در مابقی روستاها تغییر محسوسی نداشته است. همچنین در شکل ۲ مقایسه‌ای بین مصرف واقعی و مصرف آتی (زمان بازاریابی) در منطقه طرح انجام شده است. مصارف آتی بر اساس خروجی نرم‌افزار شرکت ملی گاز ایران محاسبه گردیده‌اند که در طراحی خطوط لوله گاز مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

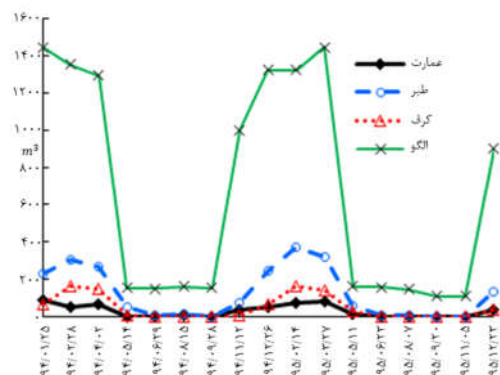
میزان مصرف واقعی متعارف روستاهای منطقه طرح بر اساس تعداد واحدهای موجود در آن‌ها در شکل ۳ ترسیم شده است و نشان می‌دهد که روند مصرف متعارف تقریباً به صورت خطی با تعداد واحدهای موجود در روستاها تغییر می‌کند. در ترسیم این نمودار، روستاهایی که مصرف ویژه بیش از حد متعارف دارند در نظر گرفته نشده‌اند چرا که به دلیل تعداد کم واحدهای روستایی، تاثیر این نوع مصرف غالب بوده و انواع مصارف دیگر را تحت‌الشعاع قرار می‌دهد و موید این موضوع است که در فرایند طراحی شبکه خطوط گاز طبیعی مصارف ویژه باید به صورت جداگانه لحاظ گردند.



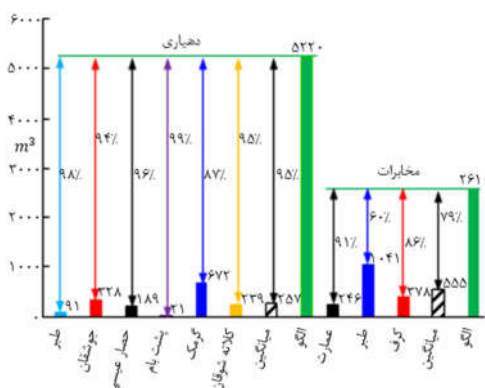
شکل ۱- تعداد مشترکین منطقه طرح با تعداد واحدها در زمان بازاریابی



شکل ۸- مصرف دوره‌ای ساختمان دهیاری با کد W با الگو



شکل ۹- مصرف دوره‌ای ساختمان مخابرات با کد W با الگو

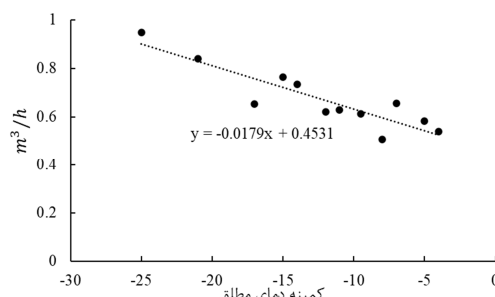


شکل ۱۰- مصرف سالیانه کد W روستایی با الگو

۴-۵- بررسی واحدهای بهداشت و درمانگاه (کد F)

در طراحی شبکه خطوط لوله گاز طبیعی، از کد F برای خانه بهداشت و درمانگاه استفاده می‌گردد [۲۰]. ساختمان‌های بهداشت در روستاها اصولاً از نوع درمانگاه سرپایی و فاقد تخت برای بستری هستند و هر مجموعه با توجه به شرایط جغرافیایی به ویژه امکانات ارتباطی و

ماهیهانه به کمینه دمای هوا وابسته است. با توجه به داده‌های موجود در سال‌های مورد بررسی، مصرف دائمی و مصرف گرمایشی ماهیهانه ساختمان‌های کد B محاسبه گردید و پیشنهاد می‌گردد که مصرف دائمی ماهیهانه این کد از $90 m^3$ به $60 m^3$ کاهش یابد. بیشینه مصرف گرمایشی ساعتی این کد بر حسب کمینه دمای مطلق منطقه نیز در شکل ۷ ترسیم شده است که می‌توان از این نمودار به منظور پیش‌بینی بیشینه مصرف گرمایشی و در نتیجه بیشینه مصرف ساعتی کد B در سایر روستاها با توجه به کمینه دمای مطلق منطقه استفاده نمود.



شکل ۷- بیشینه مصرف گرمایشی ساعتی کد B روستایی بر حسب کمینه دمای مطلق هوا

۴-۲- بررسی واحدهای اداری (کد W)

از کد W برای ساختمان‌های دولتی و واحدهای اداری و دفتری از زیربنای کمتر از 500 مترمربع استفاده می‌گردد [۲۰]. از این گروه در روستاها عمدتاً ساختمان‌های دهیاری و مخابرات وجود دارند که بر اساس مشاهدات میدانی در مقایسه با ساختمان‌های اداری شهری از ابعاد به مراتب کوچک‌تری برخوردار هستند. علی‌رغم ابعاد بسیار کوچک‌تر این گروه از ساختمان‌ها، میزان مصرف در نظر گرفته شده در زمان بازاریابی و طراحی بر اساس استانداردهای ساختمان‌های اداری شهری محاسبه گردیده است.

مصارف دوره‌ای ساختمان‌های دهیاری و مخابرات برای تعدادی از روستاهای منطقه طرح به ترتیب در شکل‌های ۸ و ۹ با مقادیر پیش‌بینی شده مقایسه شده‌اند که مطابق انتظار تفاوت چشمگیری بین این دو مقدار مشاهده می‌گردد. مصرف سالیانه ساختمان‌های دهیاری و مخابرات با مصرف پیش‌بینی شده برای طراحی در شکل ۱۰ مقایسه شده است. با توجه به این نمودار به وضوح می‌توان دید که مصارف واقعی تفاوت چشمگیری با مقادیر پیش‌بینی شده دارند. تفاوت فاحش بین مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی برای ساختمان‌های دهیاری و مخابرات روستایی موبد این نکته است که معیارهای طراحی مورد استفاده برای ساختمان‌های اداری شهری به هیچ وجه مناسب برای ساختمان‌های اداری روستایی نبوده و باید در آن‌ها بازنگری صورت پذیرد.

بر اساس مصارف اندازه‌گیری شده برای ساختمان‌های کد W روستایی، مصرف دائمی ماهیهانه پیشنهادی برای این کد $60 m^3$ باشد در حالی که این مقدار برای ساختمان‌های اداری شهری $100 m^3$ است. در شکل ۱۱ نیز بیشینه مصرف ساعتی گرمایشی این کد بر حسب کمینه دمای مطلق ترسیم گردیده است که می‌تواند برای تخمین بیشینه مصرف ساعتی ساختمان‌های مشابه در سایر مناطق روستایی استفاده گردد.

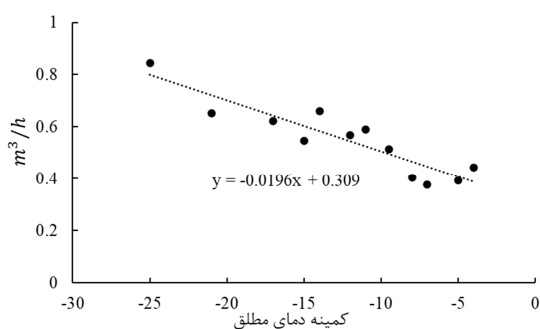
مشاهده می‌گردد مصرف پیش‌بینی شده، که بر اساس معیار ساختمان‌های کد F شهری محاسبه گردیده اختلاف فاحشی با مصرف واقعی اندازه‌گیری شده دارد و ظرفیت مازاد قابل‌ملاحظه‌ای به ازای هر ساختمان بهداشت و درمانگاه در روستاها وجود دارد.

مصرف دائمی ماهیانه بیمارستان‌ها در شهرها به هنگام طراحی شبکه $360m^3$ می‌باشد [۲۰] ولی با توجه به مصارف اندازه‌گیری شده برای ساختمان‌های کد F روستایی پیشنهاد می‌گردد مقدار مصرف دائمی ماهیانه این گروه $60m^3$ در نظر گرفته شود و برای تخمین بیشینه مصرف گرمایشی ساعتی نیز با توجه به کمینه دمای مطلق هر منطقه از شکل ۱۴ استفاده گردد.

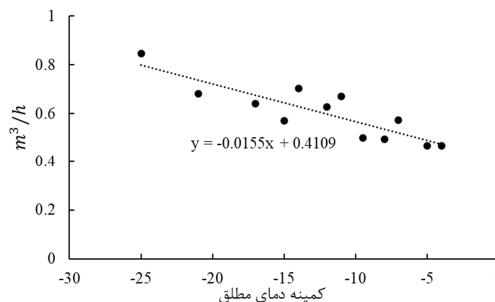
۲-۶- بررسی مدارس و اماکن آموزشی (کد S)

به هنگام طراحی شبکه خطوط لوله از کد بازاریابی S برای مدارس و اماکن آموزشی نظیر کودکانستان، آمادگی، دبستان، راهنمایی، دبیرستان و هر نوع آموزشگاه دیگر استفاده می‌گردد [۲۰] که با توجه به بررسی به عمل آمده در برخی از استان‌ها این الگو برای ساختمان‌های آموزشی روستایی نیز بدون در نظر گرفتن مساحت زیربنا، تعداد کلاس درس یا تعداد دانش‌آموزان به کار برده می‌شود. توجه به این نکته حایز اهمیت است که ساختمان‌های مدارس و اماکن آموزشی در روستاها اصولاً کوچک‌تر از اماکن آموزشی شهری بوده یا در بعضی از روستاها از کانکس برای مدارس استفاده می‌گردد.

به منظور درک بهتر میزان هماهنگی کد بازاریابی S با شرایط طراحی اماکن آموزشی روستایی، میزان مصارف واقعی دوره‌ای این گروه با میزان مصرف پیش‌بینی شده آن‌ها در شکل ۱۵ مقایسه شده است. با توجه به این شکل به وضوح می‌توان مشاهده کرد که استفاده از کد بازاریابی S برای اماکن آموزشی روستایی منجر به ایجاد تفاوت قابل‌ملاحظه در پیش‌بینی مقدار مصرف این گروه از مصرف‌کنندگان به ویژه در فصول سرد سال می‌گردد که عمده مصرف ناشی از گرمایش می‌باشد. در شکل ۱۶ نیز میزان مصرف سالیانه واقعی ساختمان‌های این گروه با مصرف پیش‌بینی شده آن‌ها مقایسه گردیده است. اطلاعات ارایه شده در شکل ۱۶ بیانگر آن است که مصرف سالیانه واقعی واحدهای آموزشی روستایی حداقل به میزان ۴۸ درصد کمتر از مقادیر پیش‌بینی شده در فاز طراحی است که ضرورت اصلاح و بازنگری معیار طراحی برای این گروه از ساختمان‌ها را نمایان می‌سازد.



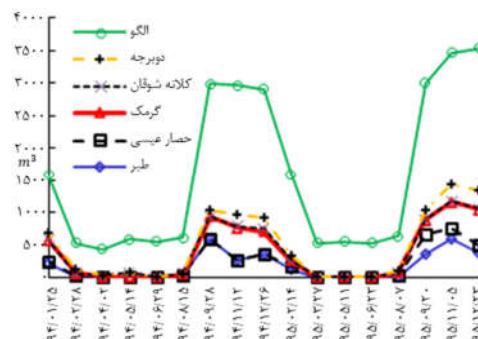
شکل ۱۴- بیشینه مصرف گرمایشی ساعتی کد F روستایی بر حسب کمینه دمای مطلق هوا



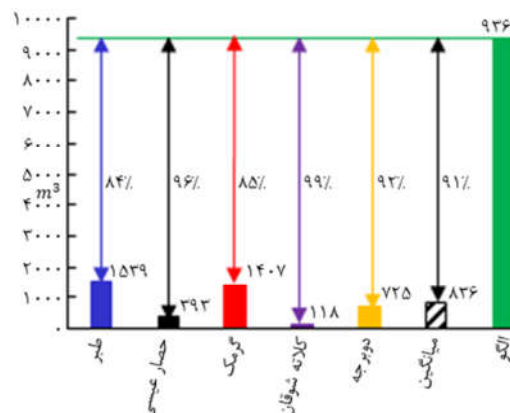
شکل ۱۱- بیشینه مصرف گرمایشی ساعتی کد W روستایی بر حسب کمینه دمای مطلق هوا

جمعیت، یک یا چند روستا را زیر پوشش خود قرار می‌دهد. بر اساس ضوابط و مقررات، نیروی انسانی در خانه‌های بهداشت یک بهورز زن و یک بهورز مرد به ازای هر ۱۵۰۰ نفر جمعیت تحت پوشش می‌باشد و مساحت زیربنای خانه‌های بهداشت عمدتاً کمتر از ۱۰۰ متر مربع است [۲۳]. لذا چنانچه مصارف واقعی خانه بهداشت چند روستا در منطقه مورد بررسی را با میزان مصرف پیش‌بینی شده، آن چنان که در شکل ۱۲ نشان داده شده است، مقایسه کنیم تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای بین مصرف پیش‌بینی شده برای خانه بهداشت و مصرف واقعی مشاهده می‌گردد که البته قابل انتظار نیز هست.

در شکل ۱۳ نیز میزان مصرف سالیانه ساختمان‌های خانه بهداشت با مصرف پیش‌بینی شده مقایسه گردیده است. در این شکل به وضوح



شکل ۱۲- مصرف دوره‌ای کد F روستایی با الگو

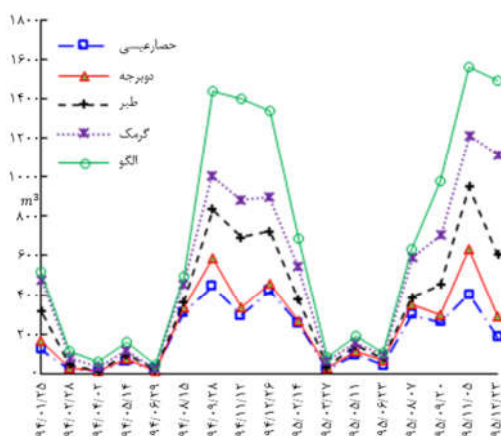


شکل ۱۳- مصرف سالیانه کد F روستایی با الگو

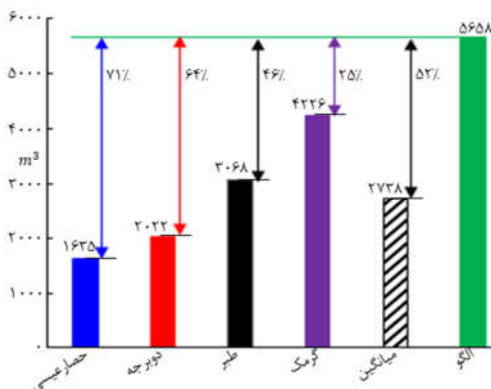
۷-۲- بررسی مساجد، حسینیه و امامزاده (کد N)

برای مساجد و اماکن مذهبی و متبرکه از کد بازاریابی N استفاده می‌شود که در صورت دارا بودن مساحت زیربنای بیش از ۵۰۰ مترمربع جزو ساختمان‌های با مصرف ویژه محسوب می‌شوند [۲۰]. با توجه به جمعیت نسبتاً پایین روستاها در مقایسه با شهرها، ساختمان‌های اماکن مذهبی در روستاها کوچک‌تر از اماکن مذهبی شهری بوده و در بیشتر مواقع به جز در ماه‌های محرم و رمضان فعالیت بسیار کمی دارند. لذا انتظار می‌رود که مصارف واقعی و پیش‌بینی شده ساختمان‌های کد N در روستاها کمتر از موارد مشابه شهری باشد. مقایسه دوره‌ای بین موارد پیش‌بینی شده و واقعی در دو سال متوالی در چندین روستای منطقه طرح انجام شده و نتایج در شکل ۱۸ ترسیم گردیده‌اند. نتایج حاصل از نمودار ۱۸ و نیز مقایسه بین مقادیر سالیانه مصرف واقعی و مصرف زمان بازاریابی مطابق شکل ۱۹ نمایانگر تفاوت بین این دو مقدار و نیاز به اصلاح این کد بازاریابی می‌باشد.

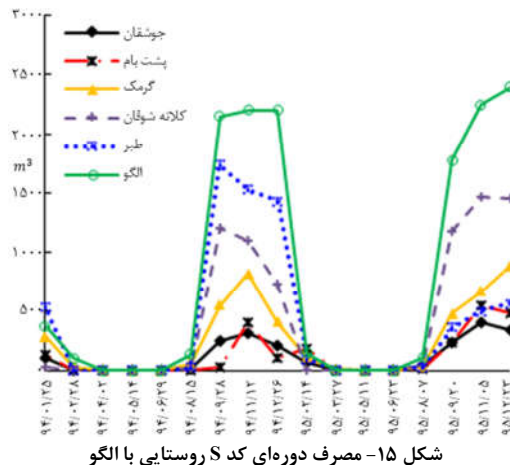
برای تخمین بیشینه مصرف ساعتی ساختمان‌های کد N، پیشنهاد می‌گردد مقدار مصرف ماهیانه دائمی به میزان $60 m^3$ در نظر گرفته شود و با استفاده از نمودار ۲۰ و کمینه دمای مطلق منطقه، نسبت به تخمین بیشینه مصرف ساعتی ساختمان‌های این کد اقدام گردد تا مقادیر پیش‌بینی شده انطباق بهتری با داده‌های واقعی داشته باشند و طراحی شبکه بر اساس داده‌های واقعی انجام گردد.



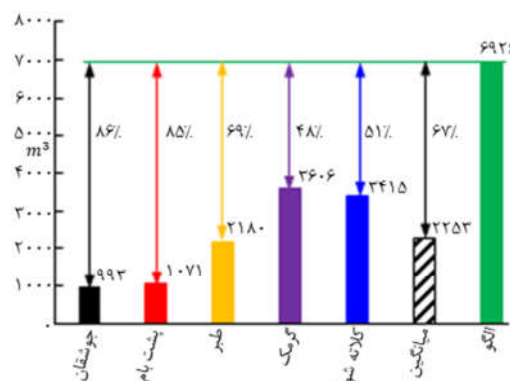
شکل ۱۸- مصرف دوره‌ای کد N روستایی با الگو



شکل ۱۹- مصرف سالیانه کد N روستایی با الگو

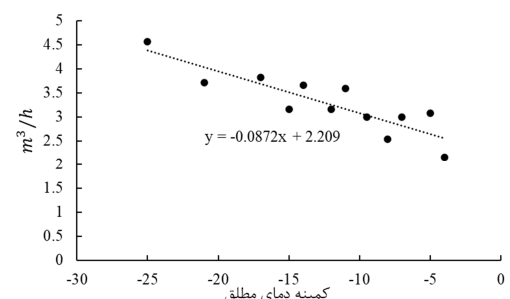


شکل ۱۵- مصرف دوره‌ای کد S روستایی با الگو



شکل ۱۶- مصرف سالیانه کد S روستایی با الگو

اگرچه مقدار مصرف دائمی ماهیانه مدارس شهری $90 m^3$ است [۲۰] اما با توجه به مقادیر مصرف واقعی اندازه‌گیری شده برای مدارس روستایی، مقدار پیشنهادی برای ساختمان‌های کد S روستایی $60 m^3$ است. همچنین با استفاده از کمینه دمای محیط و نمودار ۱۷ می‌توان به تخمینی برای بیشینه مصرف ساعتی ساختمان‌های کد S روستایی در سایر مناطق دست یافت و دیگر نیازی به استفاده از کد بازاریابی شهری نیست که به مراتب مقدار مصرف را بالاتر از مقادیر واقعی در نظر می‌گیرد.



شکل ۱۷- بیشینه مصرف گرمایشی ساعتی کد S روستایی بر حسب کمینه دمای مطلق هوا

جدول ۱- میانگین مازاد مصرف سالیانه کدهای بازاریابی ساختمان‌های

روستایی					
کد N	کد S	کد F	کد W مخابرات	کد W دهیاری	کد B
۵۲٪	۶۷٪	۹۱٪	۷۹٪	۹۵٪	۴۷٪

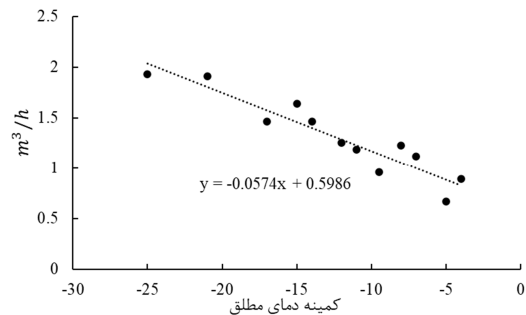
جدول ۲- بیشینه مصرف ساعتی ساختمان‌های روستایی پرمصرف و با مصرف متوسط با مقدار بازاریابی

اختلاف	مصرف متوسط	اختلاف	پرمصرف	بازاریابی	
%	m ³ /h	%	m ³ /h	m ³ /h	
۵۲	۰,۸۸	۳۶	۱,۱۷	۱,۸۳	کد B
۹۲	۰,۷۶	۸۱	۱,۷۷	۹,۳۱	کد W
۹۰	۰,۸۴	۸۳	۱,۴۶	۸,۵۶	کد F
۸۹	۱,۵۹	۷۹	۳,۰۴	۱۴,۵۱	کد S
۷۰	۲,۲۴	۳۶	۴,۷۹	۷,۴۸	کد N

با مقادیر پیش‌بینی شده در جدول ۳ مقایسه گردیده‌اند. در خصوص کدهای بازاریابی W و F با توجه به لزوم خدمت‌رسانی این ساختمان‌ها در شرایط بحران و افزایش زمان بهره‌برداری، بیشینه مصرف ساعتی اصلاحی برابر با ساختمان مسکونی شهری با کد B با مساحت زیربنای ۳۰۰ مترمربع در نظر گرفته شد که با توجه به این موضوع که مساحت این دو گروه از ساختمان‌های روستایی عمدتاً کمتر از ۱۰۰ مترمربع می‌باشد در شرایط بحران نیز پاسخگو خواهد بود. با توجه به ظرفیت مازاد محاسبه شده در جدول ۳ مشاهده می‌گردد که علی‌رغم کمتر بودن مقدار صرفه جویی مربوط به کد B در مقایسه با سایر کدها، به دلیل تعداد بسیار زیاد ساختمان‌های مسکونی میزان صرفه‌جویی کل در این کد قابل ملاحظه خواهد بود. همچنین به وضوح می‌توان دید که بازنگری مصرف ساختمان‌های روستایی منجر به صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای در مصرف کل خواهد شد که این مقدار در منطقه مورد بررسی در حدود ۵۰ درصد است. این ظرفیت مازاد را می‌توان بدون ایجاد تغییر در شبکه گازرسانی به مصرف‌کنندگان جدید اختصاص داد یا به هنگام طراحی شبکه‌های خطوط لوله گازرسانی جدید با عدم استفاده از کدهای بازاریابی ساختمان‌های شهری و در نظر گرفتن مقادیر واقع‌بینانه مصرف برای ساختمان‌های روستایی، از طراحی فراتر از حد نیاز اجتناب نموده و هزینه‌های طراحی و اجرای خطوط را تا حد امکان کاهش داد بدون آن که خللی در طراحی و عملکرد شبکه ایجاد گردد.

جدول ۳- شاخص مصرف پیشنهادی برای کدهای بازاریابی روستایی

کد بازاریابی	تعداد واحد	بیشینه مصرف ساعتی		کل مصرف ساعتی	
		بازاریابی	اصلاحی	بازاریابی	اصلاحی
		m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h
کد B	۳۱۸۰	۱,۸۳	۰,۹۷	۵۸۱۹	۳۰۸۴
کد W	۱۸	۹,۳۱	۱,۸۳	۱۶۸	۳۳



شکل ۲۰- بیشینه مصرف گرمایشی ساعتی کد N روستایی بر حسب کمینه دمای مطلق هوا

۳- نتیجه‌گیری

در این پژوهش به منظور طراحی بهینه شبکه خطوط لوله گاز یا شناسایی ظرفیت مازاد شبکه موجود بر مبنای مصارف واقعی ساختمان‌های روستایی، مصارف واقعی دوره‌ای و سالیانه با مقادیر پیش‌بینی شده متناظر در زمان بازاریابی مقایسه گردیدند. بر مبنای نتایج حاصل از ارزیابی کدهای بازاریابی گوناگون در بخش‌های پیشین، تفاوت چشمگیری بین مصرف واقعی دوره‌ای و پیش‌بینی شده مشاهده گردید. با توجه به نتایج ثبت شده، اختلاف بین میانگین مصارف سالیانه واقعی با مقادیر پیش‌بینی شده محاسبه و در جدول ۱ ارائه شده است که بیانگر پتانسیل قابل آزادسازی از هر کد بازاریابی بر اساس شرایط واقعی آن کد می‌باشد. همان‌گونه در این جدول به وضوح دیده می‌شود در هر یک از کدهای بازاریابی ظرفیت مازاد چشمگیری وجود دارد.

همچنین بیشینه مصرف ساعتی ساختمان‌های روستایی در دو گروه پرمصرف و با مصرف متوسط محاسبه و با مقدار بازاریابی در جدول ۲ مقایسه شدند. گروه پرمصرف شامل ساختمان‌هایی است که در آن‌ها از مصالح سنتی نظیر خشت و گل استفاده گردیده یا به دلیل قدمت بالای بنا و عدم رعایت استانداردهای اصلاح الگوی مصرف، میزان اتلاف انرژی در آن‌ها بسیار بالاست. ساختمان‌هایی که در آن‌ها از مصالح معمول نظیر آجر و سیمان استفاده شده یا به علت عمر کمتر بنا رعایت استانداردهای اصلاح الگوی مصرف انرژی به صورت حداقلی صورت پذیرفته در گروه با مصرف متوسط قرار دارند. مقایسه نتایج ارائه شده در جدول ۲ تا حدودی بیانگر تفاوت‌های موجود در مصارف واقعی ساختمان‌های روستایی در هر کد بازاریابی و بیانگر نقش مصالح ساختمانی و الگوی مصرف می‌باشد.

با توجه به نتایج حاصل از جداول ۲ و ۳ پیشنهاد می‌گردد که شاخص مصرف جدیدی برای ساختمان‌های روستایی ارائه شود که این مقادیر بر اساس مقادیر اندازه‌گیری شده محاسبه و در جدول ۳ درج شده‌اند. همچنین با توجه به مقادیر اصلاح شده بیشینه مصرف ساعتی، کل مصرف ساعتی برای هر کد در منطقه مورد بررسی محاسبه شده و نتایج

کد F	۱۲	۸,۵۶	۱,۸۳	۱۰۳	۲۲	۸۱
کد S	۲۶	۱۴,۵۱	۴,۷۹	۳۷۷	۱۲۴	۲۵۳
کد N	۲۷	۷,۴۸	۳,۵۹	۲۰۲	۹۷	۱۰۵
		مجموع	۶۶۶۹	۳۳۶۰	۳۳۰۹	

۴- مراجع

- [۱۵] صابرقدیم و، توزیع گاز در مناطق شهری با فشار پایین. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، ۱۳۹۲.
- [۱۶] هاشمی س.ز، امیری ع.، میرمحمدی ع. و بیات م.، بهینه سازی شبکه توزیع گاز طبیعی با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری. پژوهش نفت، ش. ۸۷، ص ۳۹-۴۷، ۱۳۹۳.
- [۱۷] فرزانه گرد م.، رهبری ح.ر.، تحلیل شبکه خطوط لوله گاز طبیعی در حالت بحرانی: تاثیر پارامترهای مهم در حالت بحرانی. مهندسی مکانیک دانشگاه تبریز، ش. ۴۸(۴)، ص ۲۲۷-۲۳۵، ۱۳۹۷.
- [۱۸] آئینه چی م.ا.، مبانی طراحی شبکه های گازرسانی، شرکت ملی گاز ایران، ۱۳۶۴.
- [۱۹] آئینه چی م.ا.، اصول مبانی طراحی شبکه های گازرسانی پلی اتیلن، شرکت ملی گاز ایران، ۱۳۷۲.
- [۲۰] بررسی جامع تعیین احتیاجات گاز طبیعی، شرکت ملی گاز ایران، ۱۳۶۴.
- [21] Climatic Data for Building Design Standards (ASHRAE 169), United States: ASHRAE, 2013.
- [۲۲] سالنامه آماری استان خراسان شمالی، سازمان مدیریت و برنامه ریزی خراسان شمالی، ۱۳۹۵.
- [۲۳] استانداردهای شبکه بهداشت و درمان، وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، ۱۳۹۵.

- [1] BP Statistical Review of World Energy, 2017.
- [۲] ترازنامه انرژی - وزارت نیرو، معاونت انرژی، ۱۳۹۸.
- [۳] کشاورز حداد غ. و میریاقری جم م.، بررسی تابع تقاضای گاز طبیعی (خانگی و تجاری) در ایران، فصلنامه پژوهش های اقتصادی ایران، ش. ۳۲، ص ۱۳۷-۱۶۰، ۱۳۸۶.
- [۴] شیرانی فخر ز.، خوش اخلاق ر. و شریفی ع.م.، تخمین تابع تقاضای گاز طبیعی بخش صنعت ایران با استفاده از مدل سری زمانی ساختاری. فصلنامه علمی مطالعات اقتصادی کاربردی ایران، د. ۳، ش. ۱۱، ص. ۱۲۹-۱۵۷، ۱۳۹۳.
- [۵] ورهرامی و.، تابع تقاضای گاز طبیعی در بخش کشاورزی استان همدان، کنفرانس بین المللی کشاورزی، محیط زیست و منابع طبیعی در هزاره سوم، رشت، ایران، ۱۳۹۶.
- [۶] قاسمی س.، برآورد تابع تقاضای گاز طبیعی در بخش خانگی، مطالعه موردی استان کردستان. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، ۱۳۹۷.
- [۷] بابازاده م.، قدیمی دیبج خ. و قربانی و.، برآورد تابع تقاضای کوتاه مدت و بلندمدت گاز طبیعی در بخش خانگی، فصلنامه مدل سازی اقتصادی، ش. ۱، پ. ۲۵، ص ۱۰۱-۱۱۳، ۱۳۹۳.
- [8] Üstera H., Dilaveroğlu S., Optimization for design and operation of natural gas transmission networks. Applied Energy, Vol. 133, pp. 56-69, 2014.
- [9] Sanaye S., Mahmoudimehr J., Optimal Design of a Natural Gas Transmission Network Layout. Chemical Engineering Research and Design, Vol. 91, No. 12, pp. 2465-2476, 2013.
- [10] Chen Y., Koch T., Zakiyeva N., Zhu B., Modeling and forecasting the dynamics of the natural gas transmission network in Germany with the demand and supply balance constraint. Applied Energy, Vol. 278, pp. 1-16, 2020.
- [11] Arogunjo E.O., Olatunbosun A., Markus E.D., Optimal Design of an Energy-efficient Natural Gas Transmission Mainline. In International Conference on the Domestic Use of Energy (DUE), Wellington, South Africa, 2019, pp. 1-6.
- [12] Zhang Z., Liu X., Study on optimal operation of natural gas pipeline network based on improved genetic algorithm. Advances in Mechanical Engineering, Vol. 9, No. 8, pp. 1-8, 2017.
- [13] Su H., Zio E., Zhang J., Li X., Chi L., Fan L., Zhang Z., A method for the multi-objective optimization of the operation of natural gas pipeline networks considering supply reliability and operation efficiency. Computers & Chemical Engineering, Vol. 131, No. 5, 2019.
- [14] Wang W., Zhang Y., Li Y., Liu C., Han S., Vulnerability analysis of a natural gas pipeline network based on network flow. Journal of Pressure Vessels and Piping, Vol.188, 2020.