

# طراحی و نصب گرم‌کن جدید در ایستگاه تقلیل فشار گاز شهرستان خرم‌دره با رویکرد کاهش مصرف انرژی

دانشجوی دکتری، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران،  
mohsen.tavakkoli2000@gmail.com  
استاد، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران،  
behrooz\_m\_ziapour@yahoo.com

محسن توکلی  
بهروز میرزایی ضیا پور\*

## چکیده

گاز ورودی به ایستگاه‌های تقلیل فشار گاز دارای فشاری در حدود ۴۰۰-۱۰۰۰ psi می‌باشد باتوجهبه ضریب ژول - تامسون مثبت برای گاز طبیعی، کاهش فشار باعث افت دما و احتمال یخ‌زدگی ذرات معلق آب درون گاز و انسداد خطوط انتقال گاز را فراهم می‌کند؛ لذا قبل از کاهش فشار، دمای گاز توسط گرم‌کن‌های گازی که سوخت مصرفی آنها گاز طبیعی است؛ افزایش می‌یابد. در این نوع مبادله کن ها، هزاران لیتر سیال واسط بین محفظه احتراق و گاز گرم شونده به کار گرفته شده که به نوبه خود موجبات اتلاف انرژی گرمایی از بدنه مبادله کن و مصرف بی‌رویه سوخت می‌شود. در این مقاله طرح جدیدی از گرم‌کن گازی جهت جایگزینی آن با گرم‌کن موجود در ایستگاه تقلیل فشار گاز شهر خرم‌دره به ظرفیت  $30000 \frac{m^3}{hr}$  ارائه و بعد از ساخت در ایستگاه مذکور نصب و تست شد. نتایج تجربی نشان از کاهش انرژی ویژه گرم‌کن به مقدار ۲۰/۴۵ درصد دارد. جایگزینی گرم‌کن جدید در تمام ایستگاه‌های تقلیل فشار، مقدار کاهش مصرف در سال حدود ۵۸/۷ میلیون مترمکعب تخمین زده می‌شود. میزان کاهش آلاینده‌های  $NO_x$ ،  $CO$  به ترتیب ۲۲/۷ درصد و ۲۳ درصد برآورد می‌گردد. **واژه های کلیدی:** گرم‌کن، گاز طبیعی، ایستگاه تقلیل فشار، مصرف انرژی، کارایی، انرژی ویژه.

## Design and Installation of New Heater at khorramdare City Gate Gas Station for Reducing Energy Consumption

M.Tavakoli  
B. Mirzayi Ziapour

Department of Mechanical Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran  
Department of Mechanical Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

### Abstract

The gas input to the gas pressure reduction stations has a pressure of about 400-1000 psi. Due to the positive Joule-Thomson coefficient for natural gas, pressure reduction causes temperature drop and the possibility of freezing of suspended water particles in the gas and blockage of gas transmission lines. Therefore, before reducing the pressure, the gas temperature is increased by gas heaters whose fuel is natural gas; increases In this type of exchangers, thousands of liters of intermediate fluid are used between the combustion chamber and the heated gas, which in turn causes heat energy loss from the exchanger body and excessive fuel consumption. In this article, a new design of a gas heater was presented to replace it with the existing heater in the gas pressure reduction station of khorramdare city gate station with the capacity of  $30000 \frac{m^3}{hr}$ . After manufacturing; It was installed and tested in the station. The experimental results show a reduction in the specific energy of the heater by 20.45%. By replacing the new heater in all the pressure reduction stations, the amount of reduction in consumption per year is estimated to be about 58.7 million cubic meters. The amount of pollutants reduction is 22.7% and 23% is estimated.

**Keywords:** Heater, Natural Gas, Pressure drop station, Energy Consumption, Efficiency, specific energy.

سیال سرد را دارد، محلول آب و ضد یخ می‌باشد و سیال سرد در این سیستم گرمایشی، گاز سرد با دبی بالاست [۱]. در شکل ۱ نمای واقعی و طرح‌واره از گرم‌کن ایستگاه تقلیل فشار گاز به‌نمایش درآمده است. امروزه باتوجهبه بهینه‌سازی مصرف انرژی در صنایع و وجود ۱۸۵۰ ایستگاه CGS در کشور ایران، کاهش مصرف گرم‌کن‌های گازی موردتوجه شرکت ملی گاز ایران قرار گرفته است و اقداماتی در جهت بهینه‌سازی و کاهش مصرف توسط شرکت‌های گاز استانی صورت گرفته است. ولی تاکنون هیچ‌گونه تحقیق جامعی بر روی تغییر ساختار گرم‌کن‌های سنتی صورت نپذیرفته است. باتوجهبه عدم اندازه‌گیری مقدار مصرف گرم‌کن‌ها در ایستگاه‌های تقلیل فشار در کشور، مقدار دقیق مصرف در دست نیست. ولی در سال‌های اخیر چند شرکت گاز

### ۱-مقدمه

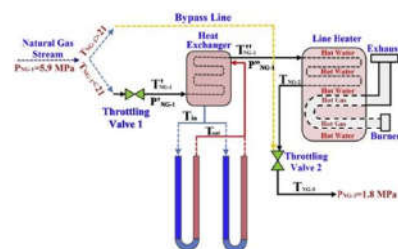
گرم‌کن‌های گازی مورد استفاده در ایستگاه‌های تقلیل فشار به‌صورت مبادله کن غیرمستقیم هستند. این نوع از سیستم‌های گرمایشی به‌صورت یک منبع استوانه‌ای افقی با حجم بالا همراه با لوله‌های مارپیچ هستند که گاز از درون این لوله‌ها عبور کرده و گرم می‌شود. در منبع استوانه‌ای افقی مبادله کن، لوله‌های عبوری گاز طبیعی، سیال واسط (آب و ضد یخ) و لوله آتشین (لوله عبور محصولات احتراق) قرار دارند. در این مبادله کن ها سیال داغ که حاوی انرژی گرمایی بالا است، محصولات احتراق می‌باشد. محصولات احتراق، حاصل واکنش مخلوط سوخت و هوا در مشعل مبادله کن است. سیال واسط در مبادله کن که نقش انتقال انرژی گرمایی از سیال گرم به

\* نویسنده‌گان مکاتبه کننده، آدرس پست الکترونیکی: behrooz\_m\_ziapour@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۳۱/۰۲/۰۵

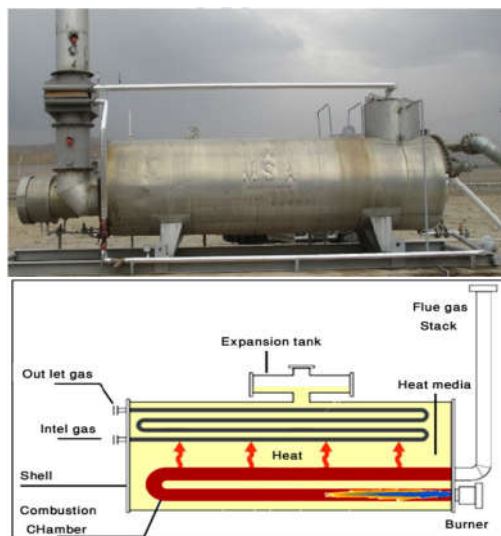
تاریخ پذیرش: ۳۱/۰۵/۲۹

محاسبه مقدار کاهش مصرف شبیه‌سازی گردید. آنها دمای واقعی جریان گاز طبیعی در شیر فشارشکن دوم را اندازه‌گیری نمودند. ضمناً<sup>۱</sup> گرم‌کن بر اساس حداقل دمای موردنیاز جهت جلوگیری از هیدرات و یخ‌زدگی تنظیم شد. نتایج بررسی آنها نشان داد که استفاده از کنترل‌های دما در ایستگاه‌های تقلیل فشار، مصرف گاز طبیعی را بیش از  $431000 m^3$  کاهش می‌دهد. آنها برآورد نمودند با نصب این کنترل‌کننده‌های دما در بیش از ۵۰ ایستگاه مازندران، سالانه ۱ میلیون دلار در مصرف سوخت جهت گرمایش گاز طبیعی صرفه‌جویی خواهد شد.



شکل ۲- ایستگاه تقلیل فشار مجهز به سیستم انرژی زمین گرمایی برای کاهش مصرف گرم‌کن ایستگاه.

هنرور و همکارانش [۶]، به بررسی انتخاب سیال کارآمد در گرم‌کن‌های ایستگاه‌های تقلیل فشار گاز پرداختند. در این مطالعه به شبیه‌سازی ایستگاه‌های تقلیل فشار پرداخته شده است و پس از بررسی ظرفیت انتقال گرما سیالات مختلف، سیالات مناسب جهت استفاده در گرم‌کن‌های گازی را معرفی نمودند. در نهایت محلول آب پروپیلن گلیکول، آب اتیلن گلیکول و آب پتاسیم را به‌عنوان سیالاتی با کارایی بهتر جهت گرم‌کن‌های ایستگاه‌های تقلیل فشار گاز انتخاب نمودند. هاوارد و همکارانش [۷] به بررسی کارایی سیستم پیل سوختی و توربین انبساطی هیبریدی برای تولید توان در ایستگاه‌های تقلیل فشار گاز طبیعی پرداختند. شبیه‌سازی آنها نشان داد که اضافه‌کردن یک توربین انبساطی به سیستم تقلیل فشار، درآمد سالانه ۱۰۵۹۷ دلار را در بر دارد. اضافه‌کردن پیل سوختی به سیستم تقلیل فشار ایستگاه تأثیر عمده‌ای روی کارایی سیستم دارد. طوریکه حداکثر کارایی یک توربین انبساطی ۱۲۰۰۰ مترمکعب بر ساعت، با اضافه‌کردن پیل سوختی در حدود ۱۰ درصد افزایش می‌یابد. در پژوهش دیگری رضایی و همکارانش [۸] به بررسی کاهش مصرف انرژی در ایستگاه‌های تقلیل فشار گاز طبیعی با استفاده از انرژی خورشیدی پرداختند و نشان دادند که با استفاده از ۴۵۰ گردآور، ذخیره مقدار انرژی تا ۲۰ دلار در ساعت متغیر می‌باشد و نشان دادند طرح موردنظر صرفه‌جویی سالانه، به میزان ۱۰۶۷۸ دلار در مصرف سوخت را در برخواهد شد. در مطالعه‌های دیگر افشاری و همکارانش [۹] به مدل‌سازی عددی و طراحی ریکوپراتور به‌منظور پیش‌گرمایش هوا در هیتر ایستگاه تقلیل فشار گاز شهری پرداختند و نشان دادند که استفاده از ریکوپراتور با کوپل ۶ اینچ باعث می‌شود دمای هوای پیش‌گرم شده  $60^{\circ}C$  افزایش یابد این افزایش باعث صرفه‌جویی مصرف سوخت به‌اندازه ۹ درصد نسبت به گرم‌کن‌های رایج می‌شود. در پژوهشی دیگر در خصوص گرم‌کن‌ها، معینی و همکارانش [۱۰] به بررسی بهبود کارایی و کاهش مصرف سوخت در

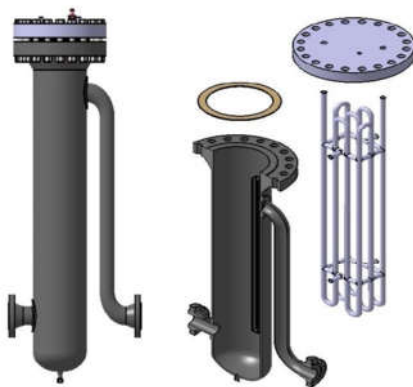


شکل ۱- نمایی واقعی و طرح واره از گرم‌کن غیرمستقیم آبی مورد استفاده در ایستگاه‌های تقلیل فشار گاز.

استانی اقدام به نصب کنترل جهت اندازه‌گیری مصرف بر روی گرم‌کن‌های گازی در استان‌ها نموده‌اند. مطالعات متعددی در خصوص کاهش مصرف گرم‌کن‌های ایستگاه تقلیل فشار صورت‌گرفته است؛ ولی امروزه در سطح شرکت ملی گاز استفاده از گرم‌کن‌های قدیمی مرسوم و رایج می‌باشد [۲]. از جمله مطالعات انجام شده می‌توان به مطالعه عزیزی و همکارانش [۳]، در خصوص اتلاف انرژی از گازهای خروجی دودکش گرم‌کن‌ها اشاره نمود. آنها استفاده از مبادله کن گرمایی برای پیش‌گرم کردن گاز، قبل از ورود به گرم‌کن‌ها را پیشنهاد دادند و به‌اندازه ۱۱ درصد کار آبی گرمایی گرم‌کن‌ها را با پیش‌گرم کردن گاز به‌وسیله نصب مبادله کن گرمایی در یک سال بهبود دادند. در مطالعه دیگر فرزانه گرد و همکارانش [۴]، استفاده از مبادله کن گرمایی زمین گرمایی در ایستگاه‌های تقلیل فشار را برای کاهش مصرف سوخت مورد مطالعه قرار دادند. در این تحقیق از سیستم<sup>۱</sup> VGHSX در ایستگاه تقلیل فشار گاز گنبد کاووس استفاده گردیده است. همان‌گونه که در شکل ۲ نشان داده شده است، فرایند پیش‌گرمایش گاز طبیعی در دو مرحله انجام شده است. در ابتدا گاز طبیعی وارد مبادله کن پوسته لوله شده و پس از دریافت انرژی زمین، از گرم‌کن ایستگاه عبور می‌کند و جهت جلوگیری از یخ‌زدگی گاز طبیعی در خروجی شیر فشارشکن، به دمای موردنظر می‌رسد. آنها با آنالیز اقتصادی ترمودینامیکی نشان دادند که یک سیستم شامل ۸ چاله با عمق ۱۵۰ متر و  $0.15$  متر قطر برای ایستگاه تقلیل فشار مورد مطالعه مناسب می‌باشد که در مقایسه با سیستم خورشیدی، سیستم پیشنهاد شده از نظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه‌تر می‌باشد. در مطالعه دیگر ذبیحی و همکارانش [۵]، استفاده از کنترل‌کننده جدید دما بر روی گرم‌کن‌ها در ایستگاه‌های تقلیل فشار را بررسی کردند. در این مطالعه یک کنترل‌کننده دمای جدید بر روی شیرهای فشارشکن دوم خطوط ایستگاه جهت کاهش مصرف، نصب شده و عملکرد ایستگاه در نرم‌افزار HYSYS برای

<sup>۱</sup>Vertical Ground Heat Exchangers

و جایه‌جایی سیال‌ها به‌صورت قراردادن سیال درون لوله‌ها و گاز ورودی به شهرها در مخازن، می‌باشد که از مزایای این طرح علاوه بر کاهش مصرف گاز طبیعی جهت گرمایش و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، کاهش حجم سیال واسط مورد استفاده، امکان نصب گرم‌کن بر روی خطوط ایستگاه می‌باشد که باعث کاهش مساحت ایستگاه می‌گردد. امروزه با توجه به افزایش مصارف گاز در بخش‌های خانگی تجاری و صنعتی نیاز به احداث ایستگاه‌های کمکی در بعضی از شهرهای کشور احساس می‌گردد و استفاده از گرم‌کن‌هایی سنتی باعث افزایش مساحت ایستگاه گردیده و هزینه‌های گزافی را به شرکت ملی گاز جهت خریداری زمین تحمیل می‌نماید و در صورت استانداردسازی طرح جدید امکان کوچک‌سازی ایستگاه‌های تقلیل فشار در سطح شرکت ملی گاز ایران صورت خواهد پذیرفت.



شکل ۳- نمایشی از طراحی اولیه گرم‌کن جدید ایستگاه تقلیل فشار گاز

## ۲- طراحی سیستم

با توجه به اهمیت مدیریت مصرف انرژی در ایران همان‌گونه که در مقدمه اشاره شد مطالعات گسترده‌ای در این خصوص با استفاده از انرژی‌های نو و سیستم‌های کنترلی صورت پذیرفته، ولی در خصوص تغییر سیستم و جایگزینی آن با گرم‌کن‌های سنتی تاکنون مطالعاتی صورت نگرفته است. روش تحقیق مورد استفاده در پژوهش حاضر مبتنی بر طراحی مفهومی و محاسباتی و شبیه‌سازی و بررسی‌های تجربی می‌باشد. طراحی صورت گرفته در تمامی بخش‌ها و قطعات منطبق بر استاندارد IGS شرکت ملی گاز ایران است. پس از شبیه‌سازی با توجه به پارامترهای اصلی تحقیق از جمله دبی گاز عبوری و دمای گاز ورودی و خروجی از گرم‌کن و محاسبات تحلیلی صورت گرفته قطر اولیه پوسته گرم‌کن ۱۴ اینچ محاسبه می‌گردد. سپس به منظور اعتبارسنجی نتایج حاصل از شبیه‌سازی و محاسبات تحلیلی عملکرد گرم‌کن با پوسته ۱۴ اینچ به صورت تجربی مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در این مقاله گرم‌کن جدیدی برای یکی از خطوط ایستگاه تقلیل فشار گاز (CGS) شهرستان خرم‌دره استان زنجان به ظرفیت  $30000 \frac{m^3}{hr}$  طراحی ساخت و تست گردیده است این مبادله کن به صورت مبادله کن پوسته لوله‌ای طراحی شده است که شامل پوسته استوانه‌ای شکل، لوله‌های مارپیچ عبور دهنده آب به داخل مبادله کن، پکیج زمینی می‌باشد. مبادله کن مورد نظر برای تأمین (دبی گاز ورودی) استوانه‌ای به قطر ۱۴

گرم‌کن‌های آبی با استفاده از بافل‌ها پرداختند و پس از شبیه‌سازی جریان، بافل‌های مختلف را مورد مطالعه قرار دادند و در نهایت با انتخاب بافل‌های حلقوی ۴/۹۵ درصد مصرف گاز طبیعی در گرم‌کن‌ها را کاهش دادند در مطالعه دیگر قزلباش و همکارانش [۱۱] به مطالعه ارزیابی کارایی لوله گردابی و مبادله کن گرمایی زمین گرمایی عمودی در کاهش مصرف سوخت ایستگاه‌های تقلیل فشار پرداختند. در این مطالعه به کاهش مصرف انرژی گرم‌کن با استفاده از لوله گردابی و مبادله کن گرمایی زمین گرمایی پرداخته شده است. لوله گردابی به جای شیر فشارشکن برای کاهش فشار گاز طبیعی استفاده می‌شود. برخلاف شیرهای فشارشکن، لوله گردابی جریان ورودی را به دو جریان گرم و جریان سرد تقسیم می‌کند. جریان سرد وارد مبادله کن گرمایی پوسته لوله می‌گردد و پس از دریافت گرما از طریق فرایند زمین گرمایی و گرم شدن با جریان گرم خروجی از لوله گردابی مخلوط می‌شود و در فشار پایین به سوی گرم‌کن جریان می‌یابد. سیستم طراحی شده می‌تواند مصرف انرژی را تا ۸۸ درصد کاهش دهد. آنها همچنین نشان دادند بازگشت سرمایه در کمتر از ۴/۵ سال صورت خواهد پذیرفت. نادری و همکارانش [۱۲] برای بازیابی بخشی از انرژی اتلافی از گرم‌کن غیرمستقیم ایستگاه تقلیل فشار گاز طبیعی (NG)، استفاده از سیستم پیش‌گرمایش آب را مورد مطالعه قرار دادند. طرح پیشنهادی شامل یک مبادله کن گرمایی گاز - آب است که روی دودکش گرم‌کن نصب شده است. آب خنک‌تر از طریق یک پمپ در مبادله کن گرمایی گاز آب‌گردش می‌کند. طرح پیشنهادی در یکی از ایستگاه‌های دروازه شهری (CGS) در شهرکرد، ایران روی گرم‌کن ایستگاه اجرا شد و نتایج مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که طرح پیشنهادی مصرف سوخت گرم‌کن را تا حدود ۴۵ درصد کاهش می‌دهد. در نتیجه، راندمان انرژی و انرژی ایستگاه به ترتیب حدود ۸۰ و ۱۰۰ درصد افزایش می‌یابد. تحلیل اقتصادی همچنین نشان می‌دهد که ضریب معکوس سرمایه برای چنین ایستگاهی حدود ۱/۳ سال است. تمامی مطالعات صورت گرفته در راستای بهینه‌سازی گرم‌کن‌های سنتی انجام گرفته است. همان‌گونه که در شکل ۱ مشاهده می‌گردد در گرم‌کن‌های سنتی گاز طبیعی عبوری از ایستگاه، توسط سیال عامل موجود در گرم‌کن گرم می‌شود سیال عامل این گرم‌کن‌ها آب اتیلن گلیکول با نسبت ترکیبی ۷۰ به ۳۰ می‌باشد که هزار لیتر آب اتیلن گلیکول بسته به ظرفیت گرم‌کن‌ها در پوسته گرم‌کن جهت تبادل گرما موجود می‌باشد که گرمایش این حجم از سیال واسط و اتلافات آن از طریق پوسته مستلزم مصرف سوخت زیادی در مشعل این گرم‌کن‌ها می‌باشد. در این مقاله یک گرم‌کن جدید برای گرمایش گاز عبوری از ایستگاه تقلیل فشار ارائه و بررسی شده است. در این گرم‌کن‌ها برخلاف گرم‌کن‌های سنتی گاز عبوری در داخل پوسته و سیال عامل در داخل لوله جریان دارد که دقیقاً برعکس فرایند جامی گاز و سیال عامل در گرم‌کن‌های سنتی می‌باشد شکل ۳ نمایشی از مبادله کن پوسته لوله گرم‌کن جدید را نشان می‌دهد. مبادله کن پوسته لوله بر روی خطوط ایستگاه نصب و گرمایش سیال عامل توسط پکیج زمینی که در خارج از زون خطر مکانیکال ایستگاه قرار دارد صورت می‌گیرد. حجم سیال آب در گردش در پکیج زمینی بسیار کمتر از حجم سیال عامل گرم‌کن‌ها سنتی می‌باشد. نوآوری مقاله حاضر ارائه گرم‌کن جدید با تغییر کلی ساختار مبادله کن گرم‌کن گازی

$$\dot{E}_{stack} = \dot{m}_{stack} (C_{p,stack,i} T_{stack,i} - C_{p,stack,o} T_{am}) \quad (13)$$

$$\dot{m}_{stack} = \dot{m}_{air} + \dot{m}_{fuel} \quad (14)$$

$$T_{stack,i} = T_w - \frac{T_{combustion} - T_w}{1 - \exp\left(-\frac{1}{\dot{m}_{fuel} \left(1 + \frac{\dot{m}_{air}}{\dot{m}_{fuel}}\right) C_{p,ave,stack} R_{tot,stack}}\right)} \quad (15)$$

$$R_{tot,stack} = \frac{1}{h_{stack} A_{i,stack}} + \frac{L_e}{K_{stack} A_{e,stack}} + \frac{1}{h_w A_{o,stack}} \quad (16)$$

در نهایت بازه گرم‌کن از رابطه زیر قابل محاسبه است [۱۷]:

$$\eta = \frac{\dot{E}_{NG}}{\dot{E}_T} \quad (17)$$

جدول ۱- مشخصات هندسی و خواص موردنیاز گرم‌کن طراحی شده

|                                    |                           |
|------------------------------------|---------------------------|
| قطر پوسته                          | ۱۴ اینچ                   |
| قطر کوئل                           | ۳/۴ اینچ                  |
| تعداد کوئل                         | ۱۲                        |
| چگالی گاز طبیعی                    | ۰/۶ کیلوگرم بر مترمکعب    |
| میانگین دمای محیط                  | ۱۰ درجه سلسیوس            |
| میانگین دمای گاز ورودی             | ۱۳ درجه سلسیوس            |
| دبی ساعتی گاز عبوری از ایستگاه     | ۱۰۰۰۰ مترمکعب بر ساعت     |
| ضریب گرمای رسانشی پوسته            | ۴۳ وات بر مترمربع کلونین  |
| ضریب انتقال گرمای همرفتی هوا       | ۲۳ وات بر مترمربع کلونین  |
| ضریب انتقال گرمای همرفتی گاز طبیعی | ۶۰۰ وات بر مترمربع کلونین |

توان موردنیاز برای گرمایش گاز طبیعی ۵۶ کیلووات محاسبه می‌گردد که برای تأمین این توان از کپیچ زمینی گرم ایران استفاده گردیده است. باتوجه به متغیر بودن پارامترهای فشار و دمای ورودی به ایستگاه تقلیل فشار و همچنین دبی متغیر گاز طبیعی مصرفی در ماه‌های مشابه برای دو سال متوالی، جهت مقایسه عملکرد گرم‌کن طراحی شده با سیستم سنتی انرژی ویژه گرم‌کن را به صورت زیر بیان می‌شود:

$$e_r = \frac{\dot{m}_f}{\dot{m}_g} \quad (18)$$

باتوجه به اینکه سوخت گرم‌کن از گاز ورودی به ایستگاه انشعاب گیری و تأمین می‌گردد رابطه (۱۸) به شکل را می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

$$e_r = \frac{v'_f}{v'_g} \quad (19)$$

پس از ساخت گرم‌کن مطابق مشخصات جدول شماره ۱ و استاندارد API12K و اخذ تأیید رادیوگرافی سرجوش‌ها نسبت به تست هیدرواستاتیکی مخزن گرم‌کن به اندازه ۱/۵ برابر فشار کاری اقدام گردید. گرم‌کن موردنظر (شکل ۴) را به مدت دو ماه در ایستگاه CGS شهرستان خرم‌دره نصب و نسبت به اندازه گیری دما و مقدار مصارف گاز طبیعی بر اساس دبی گاز ورودی به شهر اقدام گردید [۱۸].

### ۳- نتایج

در این بخش به بررسی نتایج حاصله از این تحقیق در بازه زمانی دو ماه ماه‌های اسفند و فروردین که گرمایش با استفاده گرم‌کن طراحی شده انجام گرفته و مقایسه آن با ماه‌های مشابه در سال قبل که

اینچ و به طول ۱/۲ متر در نظر گرفته شده است باتوجه به اطلاعات جدول ۱، مقدار انرژی موردنیاز برای گرمایش گاز طبیعی از روابط زیر به دست می‌آید [۱۳]:

$$\dot{E}_{NG} = \dot{m}_{NG} (h_{out} - h_{in}) = \dot{m}_{NG} \int_{T_{in}}^{T_{out}} C_p dT \quad (1)$$

$$C_p = 1.085T - 1.722 \times 10^{-4}T + 6.67 \times 10^{-7}T^2 - 3.11 \times 10^{-10}T^3 \quad (2)$$

دمای گاز ورودی به ایستگاه تقلیل فشار به صورت تابعی از دمای محیط به وسیله رابطه شماره (۳) تعیین می‌گردد:

$$T_{in} = 0.0084T_{am}^2 + 0.318T_{am} + 11.4^\circ C \quad (3)$$

باتوجه به اطلاعات ارائه شده در مورد ایستگاه‌های تقلیل فشار، دمای بهینه‌ای که جریان گاز طبیعی باید قبل از رگلاتور به آن برسد را می‌توان از رابطه زیر محاسبه نمود [۱۴]:

$$T_{out} = T_{hyd} + \Delta T_{d-v} + 5^\circ C \quad (4)$$

که در آن  $\Delta T_{d-v}, T_{hyd}$  به ترتیب دمای هیدارت گاز طبیعی و اختلاف دمای حاصل از کاهش فشار در ورودی و خروجی رگلاتور ایستگاه می‌باشند که با استفاده از داده‌های موجود در شرکت ملی گاز ایران باتوجه به فشار ورودی  $\Delta T_{d-v}$  در معادلات عددی بین ۱۲ تا ۱۵ درجه سلسیوس در نظر گرفته می‌شود. پس از محاسبه مقدار انرژی موردنیاز گرمایش گاز طبیعی، اتلاف روی سطح گرم‌کن را نیز طبق محاسبات مربوط به مبادله کن‌های گرمایی پوسته لوله می‌توان به شرح ذیل محاسبه نمود:

$$\dot{E}_{SUR} = \frac{T_G - T_{am}}{\frac{1}{h_g A_i} + \frac{Ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2\pi K_{steel} L_{steel}} + \frac{1}{h_{air} A_o}} \quad (5)$$

دما گاز داخل پوسته از رابطه زیر به دست می‌آید [۱۵]:

$$T_G = \frac{T_{w,o} - T_{w,i}}{1 - \exp\left(-\frac{1}{\dot{m}_w C_{p,w} R_{tot,w}}\right)} \quad (6)$$

مقاومت گرمایی بین پوسته و کوئل از رابطه (۷) تعیین می‌شود [۱۶]:

$$R_{tot,w} = \frac{1}{h_w A_{i,coil}} + \frac{\ln\left(\frac{r_{o,coil}}{r_{i,coil}}\right)}{2\pi K_{coil} L_{coil}} + \frac{1}{h_g A_{o,coil}} \quad (7)$$

$$Re_g = \frac{4\dot{m}_g}{\pi D_p \mu_g} \quad (8)$$

$$Nu_g = \frac{h_g D_p}{K_g} = 0.023 Re_g^{0.5} Pr_g^n \quad (9)$$

$$if \begin{cases} T_s \leq T_g, n = 0.3 \\ T_s \geq T_g, n = 0.4 \end{cases}$$

اتلافات گرمایی دودکش در دیگ نیز به صورت زیر بیان می‌گردد:

$$\dot{E}_{stack} = \dot{m} C_{p(fue.gas)} (T_{out} - T_{in}) \quad (11)$$

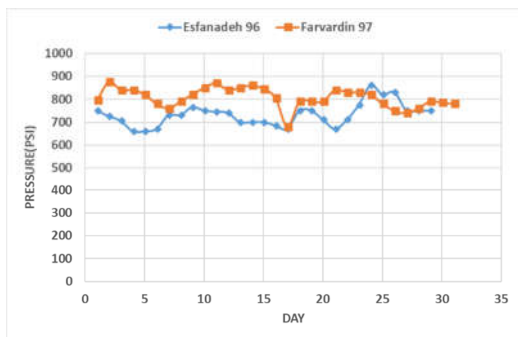
کل توان موردنیاز برای گرمایش گاز طبیعی با دبی موردنیاز، از مجموع انرژی موردنیاز جهت گرمایش گاز طبیعی و اتلافات دیواره به دست می‌آید:

$$\dot{E}_T = \dot{E}_{NG} + \dot{E}_{SUR} + \dot{E}_{stack} \quad (12)$$

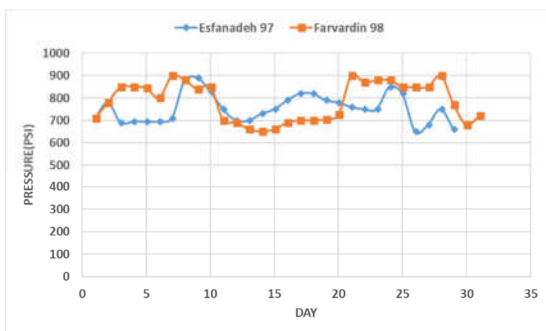
تلفات گرمایی از دودکش را می‌توان از طریق رابطه (۱۲) محاسبه نمود [۱۶]:

$$\dot{E}_{stack} = \dot{m}_{stack} (h_{in,stack} - h_{out,stack}) \quad (12)$$

شکل های ۶ و ۷ مربوط به نمودارهای فشارهای اندازه‌گیری شده ورودی به گرم‌کن طراحی شده و سنتی است. همان‌طور که مشخص است میانگین فشار در بازه استفاده از گرم‌کن طراحی شده و سنتی به ترتیب ۷۵۴ PSI و ۷۶۸ PSI می‌باشد که با توجه به تأثیر فشار بر ضریب ژول تامسون ملاحظه می‌شود که اختلاف میانگین فشار ورودی به ایستگاه در دوره اندازه‌گیری کمتر از ۲ درصد می‌باشد که امکان مقایسه هر دو سیستم در شرایطی عملیاتی را فراهم می‌نماید.

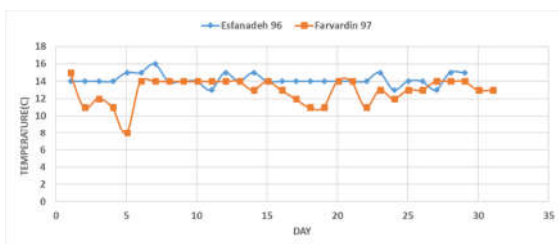


شکل ۶- فشار ورودی ایستگاه در زمان نصب گرم‌کن سنتی



شکل ۷- فشار ورودی ایستگاه در زمان نصب گرم‌کن طراحی شده

شکل های ۸ و ۹ به ترتیب نشان‌دهنده نمودار دماهای گاز ورودی به ایستگاه در بازه اندازه‌گیری می‌باشد همان‌گونه که از نمودارها مشخص می‌باشد میانگین دمای گاز ورودی به ایستگاه در بازه استفاده از گرم‌کن طراحی شده و سنتی به ترتیب ۱۹/۱۳°C و ۱۳/۱۳°C می‌باشد. ملاحظه می‌گردد که اختلاف میانگین دمای گاز ورودی به گرم‌کن‌ها حدود ۲/۸ درصد است که این اختلاف در مقایسه عملکرد گرم‌کن‌ها قابل چشم‌پوشی است.



شکل ۸- دمای ورودی ایستگاه در زمان نصب گرم‌کن سنتی

گرمایش گاز توسط گرم‌کن سنتی صورت پذیرفته خواهیم پرداخت پارامترهای مهم در این تحقیق، فشار و دمای ورودی به ایستگاه، دمای خروجی از ایستگاه و دماهای ورودی و خروجی از گرم‌کن، دبی گاز گرم شده و مقدار مصرف گاز طبیعی جهت پیش‌گرمایش گاز و همچنین مقایسه انرژی ویژه گرم‌کن می‌باشد این داده‌ها به صورت ساعتی ثبت گردید. برای اندازه‌گیری گاز عبوری از ایستگاه از کنتور توربینی ۸ اینچ به ظرفیت ۶۵ G و برای اندازه‌گیری گاز مصرفی در گرم‌کن سنتی و جدید از کنتورهای دیافراگمی به ترتیب به ظرفیت ۱۰ G و ۶ G همان‌گونه که در شکل ۲ نشان داده شده استفاده گردیده است. مشخصات و میزان دقت تجهیزات اندازه‌گیری که در این پروژه برای اندازه‌گیری دبی حجمی گاز سوزانده شده و عبوری به کاررفته است در جدول شماره ۲ آمده است.



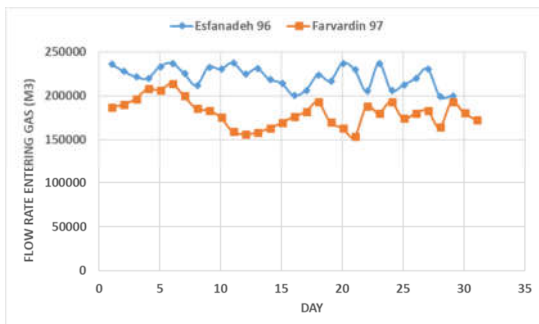
شکل ۴- نمایی از گرم‌کن نصب شده در ایستگاه CGS

جدول ۲- مشخصات و میزان دقت تجهیزات اندازه‌گیری

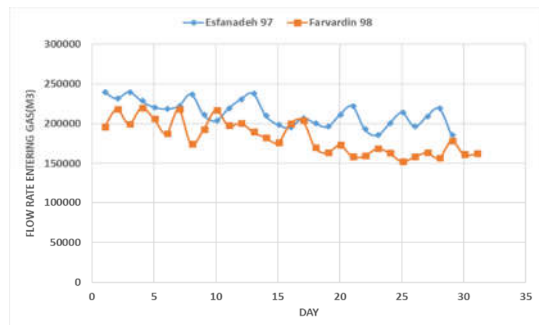
| دقت %               | دامنه $\frac{m^3}{hr}$ | شرکت سازنده | تجهیز  |
|---------------------|------------------------|-------------|--|
| $\pm 2\% - \pm 3\%$ | ۰/۱۶-۱                 | GAS SOUZA N | کنتور دیافراگمی نصب شده جهت اندازه‌گیری مصرف گاز گرم‌کن سنتی                       |
| $\pm 2\% - \pm 3\%$ | ۰/۱۰-۰۰۶               | GAS SOUZA N | کنتور دیافراگمی نصب شده جهت اندازه‌گیری مصرف گاز گرم‌کن جدید                       |
| $\pm 1\% - \pm 2\%$ | ۱۰۰-۵                  | ELSTER      | کنتور توربینی نصب شده بر روی خطوط ایستگاه جهت اندازه‌گیری گاز گرم شده ورودی به شهر |



شکل ۵- نمایی از گرم‌کن نصب شده در ایستگاه CGS

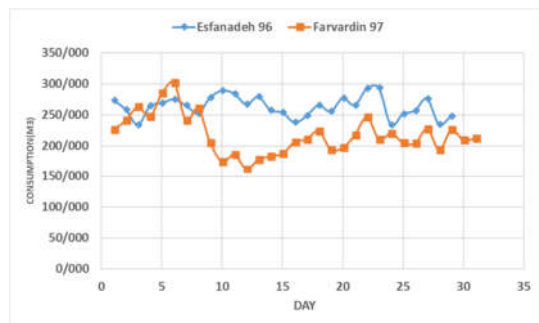


شکل ۱۲- دبی گاز گرم شده ایستگاه در زمان نصب گرم کن سنتی

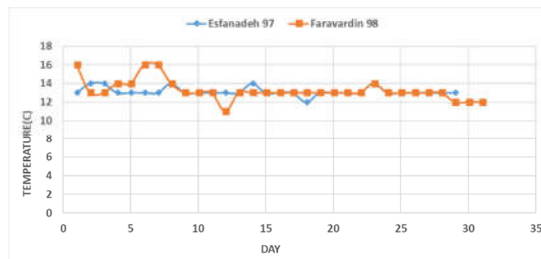


شکل ۱۳- دبی گاز گرم شده ایستگاه در زمان نصب گرم کن طراحی شده

شکل‌های ۱۴ و ۱۵ مصارف گرم‌کن‌های سنتی و جدید را نشان می‌دهند که مصرف گرم‌کن سنتی در مجموع ۱۴۳۹۳/۶ مترمکعب و مصرف گرم‌کن جدید طراحی شده ۱۱۲۸۲/۸ مترمکعب می‌باشد.

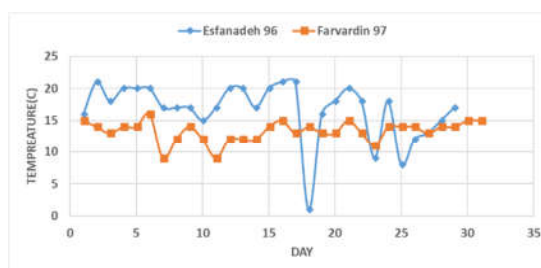


شکل ۱۴- مصرف گاز گرم‌کن ایستگاه در زمان نصب گرم کن سنتی

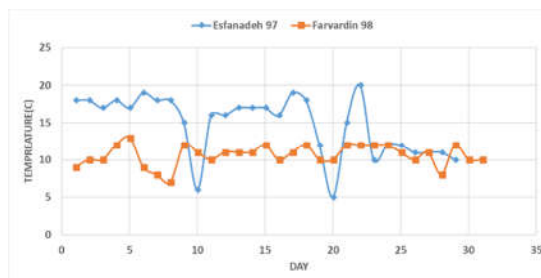


شکل ۹- دمای ورودی ایستگاه در زمان نصب گرم کن طراحی شده

شکل‌های ۱۰ و ۱۱ مربوط به نمودارهای دما اندازه‌گیری شده خروجی از ایستگاه می‌باشد همان‌گونه که مشاهده می‌گردد میانگین دمای گاز خروجی از ایستگاه در بازه استفاده از گرم‌کن طراحی شده و سنتی به ترتیب  $13/13^{\circ}\text{C}$  و  $14/75^{\circ}\text{C}$  می‌باشد.



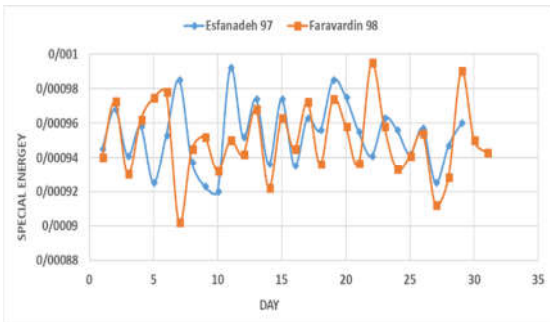
شکل ۱۰- دمای خروجی ایستگاه در زمان نصب گرم کن سنتی



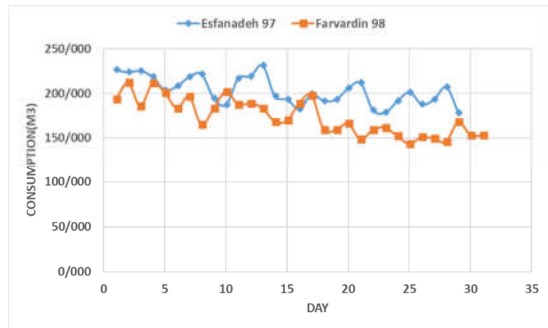
شکل ۱۱- دمای خروجی ایستگاه در زمان نصب گرم کن طراحی شده

شکل‌های ۱۲ و ۱۳ نمودارهای دبی گاز گرم شده عبوری از ایستگاه به مبادی مصرف را نشان می‌دهند. مجموع گاز عبوری گرم شده از ایستگاه در اسفند ۹۶ و اردیبهشت ۹۷، ۱۲۰۲۲۵۵۷ مترمکعب و در اسفند ۹۷ و اردیبهشت ۹۸، ۱۱۸۴۶۱۶۸ مترمکعب بر ساعت می‌باشد.

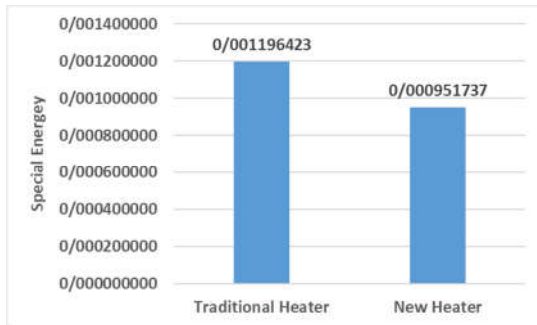




شکل ۱۷ - انرژی ویژه گرم کن طراحی شده



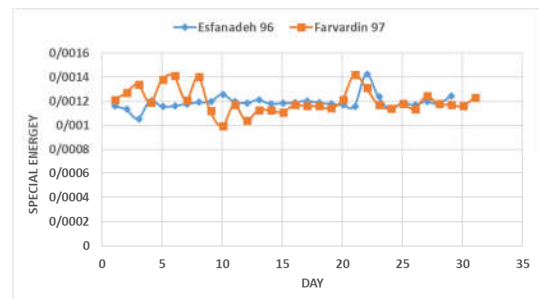
شکل ۱۵ - مصرف گاز گرم کن ایستگاه در زمان نصب گرم کن طراحی شده



شکل ۱۸ - انرژی ویژه گرم کن سنتی و طراحی شده

کاهش مصرف سوخت در گرم کن‌های ایستگاه‌های تقلیل فشار، منجر به کاهش انتشار گازهای گلخانه ای و آلاینده هوا می‌گردد، با توجه به پتانسیل موجود در این طرح علاوه بر صرفه جویی میلیون ها مترمکعب گاز طبیعی در سال در مصرف گرم کن‌ها، شاخص های زیست محیطی ناشی از کاهش انتشار آلاینده ها نیز بهبود می یابد [۱۹]. منبع نشر گازهای آلاینده هوا شامل اجزای  $VOC_s, CO, NO_x, SO_2$  و گازهای گلخانه ای شامل  $N_2O, CO_2, Methane$ ، در ایستگاه‌های تقلیل فشار گاز به صورت نقطه ای و ثابت می باشد که منجر به انتشار می شود.  $VOC_s$  شامل ترکیبات آلی فرار می باشد. برای محاسبه انتشار این گازها نیاز به معیارهای عددی از فعالیت گرم کن می باشد که اطلاعات عملکردی نامیده می شوند و می بایست جرم گازهای منتشره در یک بازه زمانی مشخص محاسبه گردد. روشهای مختلفی برای محاسبه میزان انتشار وجود دارد که هر کدام از آنها به امکانات و داده های خاص خود نیاز داشته و دقت این روش ها نیز با یکدیگر تفاوت دارد که از روش ضرایب انتشار مطابق جدول ۳ استفاده شده است [۲۰].

دبی گاز ورودی به شهرها متغیر بوده و به پارامترهای مختلفی از جمله دمای محیط، فعالیت و عدم فعالیت صنایع و بخش کشاورزی و غیره وابسته است؛ لذا این دبی در روزهای سال متفاوت می‌باشد با متفاوت بودن دبی عبوری از ایستگاه میزان مصارف گرم کن‌ها نیز متفاوت می‌باشد؛ لذا همان گونه که در بخش قبل اشاره شد برای سنجش عملکرد گرم کن‌ها از انرژی ویژه گرم کن استفاده شده است. شکل های ۱۶ و ۱۷ انرژی ویژه گرم کن را ارائه می‌دهند. نمودار انرژی ویژه گرم کن طراحی شده و سنتی در شکل ۱۸ ارائه گردیده است. همان گونه که مشاهده می‌گردد انرژی ویژه گرم کن در گرم کن طراحی شده به میزان ۲۰/۴۵ درصد کاهش را نشان می‌دهد نتایج تجربی نشان می‌دهند به ازای ۱ میلیون مترمکعب گاز عبوری از ایستگاه مورد اشاره با نصب گرم کن جدید، مصرف گرم کن ۲۴۵ مترمکعب کاهش می‌یابد. با توجه به مصرف سالانه ۲۴۰ میلیارد مکعبی گاز طبیعی در کشور، مقدار مصرف گاز در گرم کن سنتی و جدید جهت گرمایش گاز عبوری برای مبادی مصرف خانگی تجاری و صنعتی به ترتیب ۲۸۷/۱۴۱ میلیون مترمکعب و ۲۲۸/۴۱۶ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد که در صورت استاندارد سازی و جایگزینی گرم کن جدید در سراسر کشور مقدار کاهش مصرف در گرم کن‌های جدید در سال حدود ۵۸/۷ میلیون مترمکعب می‌باشد.



شکل ۱۶ - انرژی ویژه گرم کن سنتی

جدول ۳- ضرایب انتشار آلاینده‌های هوا ناشی از احتراق گاز طبیعی

| آلاینده | ضریب انتشار<br>$kg/10^6 m^3$ |
|---------|------------------------------|
| $CO_2$  | ۱۹۲۰۰۰۰                      |
| $N_2O$  | ۳۵/۲                         |
| $SO_2$  | ۹/۶                          |
| Methane | ۳۶/۸                         |
| $VOC_s$ | ۸۸                           |
| CO      | ۱۳۴۴                         |
| $NO_x$  | ۴۴۸۰                         |

با استفاده از مقدار سوخت مصرف شده در گرم‌کن‌های سنتی و گرم‌کن طراحی شده و باتوجه به ضرایب انتشار جدول ۳، مقادیر نشر گازهای گلخانه‌ای و آلاینده به ترتیب در جداول ۴ و ۵ ارائه گردیده است [۲۱]. برای اندازه گیری گازهای خروجی دودکش‌ها از دستگاه MRU OPTIMA 7 که مجهز به آنالیزر داخلی گازها بوده و با روش الکتروشیمیایی گازهای خروجی را قرائت می کند استفاده شده که دارای ۷ حسگر جهت اندازه گیری پارامترهایی نظیر درصد اکسیژن، اکسیژن مرجع، دی اکسید کربن مقدار مونوکسید کربن، اکسیدهای نیتروژن، دی اکسید سولفور، هیدروکربن‌ها، سولفید هیدروژن، دمای محیطی راندمان احتراق خالص، راندمان احتراق ناخالص و ضریب لاندرا دارا می باشد. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد با جایگزینی در کل ایستگاه‌های تقلیل فشار کشور، به‌ازای گاز عبوری از ایستگاه به مقدار ۲۴۰ میلیارد مکعب، مقادیر نشر گاز دی‌اکسیدکربن و اکسید نیتروس در بازه موردنظر به ترتیب  $11310 \times 2067$  تن، کاهش را نشان می‌دهد. همچنین مقادیر نشر گازهای آلاینده ی مونوکسید کربن و اکسیدهای نیتروژن به ترتیب ۷۸۹۲۶ و ۲۶۳۰۸۷ کیلوگرم درسال کاهش می یابد با این مقادیر کاهش مشخص می گردد گرم کن جدید نقش موثری در کاهش گازهای گلخانه‌ای و آلاینده می تواند ایفا نماید و در مجموع سالانه انتشار مونوکسید کربن به جو ۲۲/۷ درصد و انتشار اکسیدهای نیتروژن ۲۳ درصد کاهش می‌یابد [۲۲].

جدول ۴- نشر گازهای گلخانه‌ای در گرم‌کن سنتی و طراحی شده بر اساس تن

|                  | Methane | $CO_2$         | $N_2O$ |
|------------------|---------|----------------|--------|
| گرم‌کن سنتی      | ۱۰۵۶۶   | $55110 \times$ | ۱۰۱۰۷  |
| گرم‌کن طراحی شده | ۸۴۰۵    | $43810 \times$ | ۸۰۴۰   |
| مقدار کاهش       | ۲۱۶۱    | $11310 \times$ | ۲۰۶۷   |

جدول ۵- نشر گازهای آلاینده در گرم‌کن سنتی و طراحی شده بر اساس کیلوگرم

|                  | CO     | $VOC_s$ | $NO_x$  | $SO_2$ |
|------------------|--------|---------|---------|--------|
| گرم‌کن سنتی      | ۳۸۵۹۱۸ | ۲۵۲۶۸   | ۱۲۸۶۳۹۴ | ۲۷۵۶   |
| گرم‌کن طراحی شده | ۳۰۶۹۹۲ | ۲۰۱۰۰   | ۱۰۲۳۳۰۷ | ۲۱۹۲   |
| مقدار کاهش       | ۷۸۹۲۶  | ۵۱۶۸    | ۲۶۳۰۸۷  | ۵۶۴    |

#### ۴- نتیجه گیری

در این مقاله به طراحی و نصب، تست گرم‌کن جدید در ایستگاه تقلیل فشار گاز شهرستان خرم‌دره باهدف کاهش مصرف سوخت پرداخته شد. گرم‌کن موردنظر بر روی خط اول ایستگاه تقلیل فشار گاز، در بازه زمانی سه ماه تست و نتایج موردنظر با گرم‌کن سنتی موجود برای بازه زمانی مشابه در سال گذشته مقایسه گردید. باتوجه به متغیر بودن دمای ورودی و مقدار گاز گرم شده توسط گرم‌کن برای مقایسه عملکرد گرم‌کن از انرژی ویژه گرم‌کن استفاده شد. نتایج تجربی نشان از کاهش انرژی ویژه گرم‌کن به مقدار ۲۰/۴۵ درصد دارد. که در صورت استانداردسازی و جایگزینی گرم‌کن جدید در سراسر کشور مقدار کاهش مصرف در گرم‌کن‌های جدید در سال حدود ۵۸/۷ میلیون مترمکعب برآورد می‌گردد. محاسبات مربوط به مقادیر گازهای آلاینده و گلخانه‌ای حاصل از فرایند احتراق در گرم‌کن نشان از کاهش گازهای آلاینده دارد که این کاهش مصرف منجر به کاهش انتشار گاز CO به مقدار ۲۲/۷ درصد و همچنین کاهش انتشار گاز  $NO_x$  به مقدار ۲۳ درصد می‌گردد. همچنین باتوجه به هزینه‌های ساخت و تست گرم‌کن و مقدار سوخت صرفه‌جویی شده، بازگشت سرمایه برای ایستگاه مورد مطالعه کمتر از چهار سال برآورد می‌گردد.

#### ۵- سپاسگزاری

نویسندگان در این پژوهش از مجموعه شرکت گاز استان زنجان بابت حمایت‌های بی‌دریغشان کمال قدردانی و تشکر را دارند.

#### ۶- نمادها

|                  |                                |                  |
|------------------|--------------------------------|------------------|
| $E_{NG}$         | انرژی مورد نیاز گاز طبیعی      | $kw$             |
| $\dot{m}_{NG}$   | دبی گاز عبوری                  | $\frac{m}{hr^3}$ |
| $h_{out}$        | آنتالپی گاز خروجی              | $\frac{kJ}{kg}$  |
| $h_{in}$         | آنتالپی گاز ورودی              | $\frac{kJ}{kg}$  |
| $T_{in}$         | دمای گاز ورودی                 | $^{\circ}C$      |
| $T_{out}$        | دمای گاز خروجی                 | $^{\circ}C$      |
| $C_p$            | گرمای ویژه                     | $\frac{kJ}{kgK}$ |
| $T_{atm}$        | دمای محیط                      | $^{\circ}C$      |
| $T_{hyd}$        | دمای دی هیدرات                 | $^{\circ}C$      |
| $\Delta T_{a-v}$ | اختلاف دمای قبل و بعد رگلاتور  | $^{\circ}C$      |
| $\dot{E}_{sur}$  | انرژی اتلافی از پوسته          | $kw$             |
| $T_G$            | میانگین دمای گاز پوسته         | $^{\circ}C$      |
| $h_g$            | ضریب انتقال گرمای همرفتی گاز   | $\frac{w}{m^2K}$ |
| $A_i$            | سطح داخلی پوسته                | $m^2$            |
| $r_o$            | شعاع خارجی پوسته               | m                |
| $r_i$            | شعاع داخلی پوسته               | m                |
| $k_{steel}$      | ضریب انتقال گرمای رسانشی پوسته | $\frac{w}{m^2K}$ |
| $l_{steel}$      | طول پوسته                      | m                |
| $h_{air}$        | ضریب انتقال گرمای همرفتی هوا   | $\frac{w}{m^2K}$ |
| $A_0$            | سطح خارجی پوسته                | $m^2$            |
| $T_{wso}$        | دمای آب خروجی از کویل          | $^{\circ}C$      |
| $T_{wfi}$        | دمای آب ورودی به کویل          | $^{\circ}C$      |
| $C_{p,w}$        | گرمای ویژه آب                  | kJ/kg K          |
| $R_{tot,w}$      | مقاومت گرمایی بین پوسته و کویل | K/W              |



- [13] Naderi M, Ahmadi G, Zarringhalam M, Akbari O, Khalili E. Application of water reheating system for waste heat recovery in NG pressure reduction stations, with experimental verification. *Energy journal*, 2018.
- [14] Salari S, Goudarzi K. Heat transfer enhancement and fuel consumption reduction in heaters of CGS gas stations. *Case Studies in Thermal Engineering*, 2017. 10(2017):641-649.
- [15] Olfati M, Bahiraei M, Heidari S, Veysi F. A comprehensive analysis of energy and exergy characteristics for a natural gas city gate station considering seasonal variations. *Energy*, 2018, Volume 155, Page 721-733.
- [16] Shafiei D, Mostafavi A, Mehrabadi J. Analysis of the effects of forced convective heat transfer to reduce the efficiency of heaters of gas pressure reducing stations. *Case Studies in Thermal Engineering*, 2017.
- [17] Mostafavi A, Shirazi M. Thermal modeling of indirect water heater in city gate station of natural gas to evaluate efficiency and fuel consumption. *Energy* 2020. 212.
- [18] Javadi, M, Banihashemi H. Study of thermal performance and optimization of city gas station heaters equipped with turbulator in the fire tube section. *Thermal science and Engineering Progress*, 2023, Volume 37 10153.
- [۱۹] لکزیان، احسین زاده. بررسی افزایش راندمان مبادله‌کن پوسته لوله‌ای کمپرسور دومرحله‌ای در نیروگاه طوس. *مجله مهندسی مکانیک تبریز*. مرداد ۱۳۹۹، شماره پیاپی ۹۱ جلد ۵۰ شماره ۲. ص ۱۶۳-۱۶۷.
- [20] Emission Factor Documentation for AP-42 Section 1.4-Natural Gas Combustion, Technical Support Division, Office of Air Quality Planning and Standards, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC, 1997.
- [۲۱] راهنمای محاسبه و گزارش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای وزارت نفت.
- [۲۲] توکلی م، میرزائی ضیا پور ب. بررسی تجربی آلاینده‌های گرم‌کن جدید در ایستگاه تقلیل فشار گاز و مقایسه نتایج آن با گرم‌کن سنتی. *مجله مطالعات علوم محیط‌زیست*. زمستان سال ۱۴۰۳ دوره نهم شماره ۴ فصل صفحه ۹۵۲۳-۹۵۱۶.
- [۲۳] هاشم‌آبادی ح، شیخانی ح، پیش‌بین ا. بررسی عملکرد و میزان آلاینده NO مشعل‌های گرم‌کن‌های ایستگاه‌های تقلیل فشار گاز طبیعی در فصول مختلف سال با استفاده از شبیه‌سازی CFD. *چهارمین کنفرانس سوخت احتراق ایران*. دانشگاه کاشان. بهمن ۱۳۹۰.

|                   |                                |                  |
|-------------------|--------------------------------|------------------|
| $h_w$             | ضریب انتقال گرمای همرفتی آب    | $\frac{w}{m^2K}$ |
| $A_{i,coil}$      | سطح داخلی کویل                 | $m^2$            |
| $r_{o,coil}$      | شعاع خارجی کویل                | m                |
| $r_{i,coil}$      | شعاع داخلی کویل                | m                |
| $k_{coil}$        | ضریب انتقال گرمای رسانشی پوسته | $\frac{w}{m^2K}$ |
| $L_{coil}$        | طول کویل                       | m                |
| $A_{o,coil}$      | سطح خارجی کویل                 | $m^2$            |
| $Re_g$            | عدد رینولدز                    |                  |
| $D_p$             | قطر پوسته                      | m                |
| $\mu_g$           | ویسکوزیته گاز                  | $\frac{kg}{ms}$  |
| $Nu_g$            | عدد ناسلت                      |                  |
| $k_g$             | ضریب انتقال گرمای رسانشی گاز   | $\frac{w}{m^2K}$ |
| $Pr_g$            | عدد پراوتل                     |                  |
| $\dot{E}_{stack}$ | انرژی اتلافی دودکش             | $kw$             |
| $e_r$             | انرژی ویژه گرم‌کن              |                  |
| $\dot{m}_f$       | دبی سوخت مصرفی                 | $\frac{m^3}{h}$  |
| $\dot{m}_g$       | دبی گاز عبوری                  | $\frac{m^3}{h}$  |

## ۷-منابع

- [1] VanWylen GJ, Sonntag. RE, Borgnakke. C. *Fundamentals of thermodynamics*, Sixth ed, 14th section, 2002.
- [2] www.nigc.ir
- [3] Azizi SH, Rashidmardani A, Andalibi, MR. Study of preheating natural gas in gas pressure reduction station by the flue gas of indirect water bath heater. *Int. J. Sci. Eng. IR Invest*, 2014, 3 (27): 17-22.
- [4] Farzaneh-Gord M, Ghezelbash R. Employing geothermal heat exchanger in natural gas pressure drop station in order to decrease fuel consumption. *International Journal of Energy*, 2014, 83:164-176.
- [5] Zabihi A, Taghizadeh M. New energy-saving temperature controller for heater at natural gas gate station. *Journal Natural Gas Science and Engineering*, 2014.
- [6] Zabihi A, Taghizadeh M. New energy-saving temperature controller for heater at natural gas gate station. *Journal Natural Gas Science and Engineering*.
- [7] Honarvar B, RAHIMI A. Selection of Efficient Fluid in Heaters of Natural Gas Pressure Reducing Stations; the Feasibility of its production and Simulation of the Heater. *Visi jurnal Akademik*, 2015, 7:106-113.
- [8] Howard C, Oosthuizen P, Peppley B. An investigation of the performance of a hybrid turboexpander -fuel cell system for power recovery at natural gas pressure reduction stations. *Applied thermal Engineering*, 2011 31:2165-2170.
- [9] Rezaei M, Farzaneh-Gord M. Reducing energy consumption in Natural Gas Pressure Drop Stations by Employing Solar Heat. *World Renewable Energy Congress, Sweden*.
- [۱۰] افشاری ا، ابراهیم‌پور ع، علیان ت. مدل‌سازی و طراحی ریکوپراتور به‌منظور پیش‌گرمایش هوا در هیتر ایستگاه تقلیل فشار گاز شهری، مطالعه موردی: ایستگاه هسا اصفهان. *مجله مهندسی مکانیک تبریز*. زمستان ۱۳۹۵، شماره پیاپی ۷۷ جلد ۴۶ شماره ۴. ص ۱۹-۲۶.
- [11] Moeini S, Khodadai MJM. Energy efficiency improvement and fuel savings in water heaters using baffles. *Applied Energy*, 2013, 102:520-533.
- [12] Ghezelbash R, Farzaneh-Gord M, Sadi M. Performance Assessment of Vortex Tube and Vertical Ground Heat Exchanger in Reducing Fuel Consumption of Conventional Pressure Drop Stations. *Applied Thermal Engineering*, 2016, 102:213-226.