فصلنامه تحقیقات مکانیک کاربردی
جلد ۸، شماره ۱، ص‌ص ۲۷ الی ۳۲، تابستان ۱۳۹۵
تاریخ دریافت: ۹۵/۰۵/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۷/۱۰

تحلیل ترمودینامیکی گرمکن گازی ایستگاه تقلیل فشار (City Gate Station) گاز زنجان

ابوالفضل بیات – دانشجوی کارشناس ارشد مهندسی مکانیک- دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان
کمال عباسپورثانی – استادیار دانشکده مهندسی مکانیک- دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان
فریدون حیدری- دانشجوی کارشناس ارشد مهندسی مکانیک- دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان
محمد وثوق – دانشجوی کارشناس ارشد مهندسی مکانیک- دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان
E-mail: Bayat_ab@yahoo.com

چکیده: گاز طبیعی جهت ارسال به مبادی مصرف، با فشار بالایی انتقال داده می‌شود. در محل مصرف، فشار گاز طبیعی بایستی به میزان فشار کارکرد، تقلیل یابد. این کاهش فشار در ایستگاه تقلیل فشار گاز (City Gate Station) اتفاق می‌افتد. در ایستگاه فوق، فشار از 1000 Psi به 250Psi کاهش می‌یابد. طبق معادله عمومی گازها، با کاهش فشار در حجم ثابت، دمای گاز نیز کاهش می‌یابد، که این کاهش دما سبب یخ زدگی گاز طبیعی و تشکیل هیدرات گازی در قسمت شیر فشار شکن می شود. برای جلوگیری از این پدیده، دمای گاز طبیعی را قبل از رسیدن به شیر فشارشکن، به کمک گرمکن گازی افزایش می دهند. در این مقاله، با استفاده از معادلات حاکم بر ترمودینامیک و با در نظر گرفتن مشخصات گاز طبیعی موجود در خطوط لوله گاز شهر زنجان، میزان افت دما در عبور از شیر فشار شکن برای یک ایستگاه تقلیل فشار با ظرفیت 80000 m^3/hr محاسبه شده است و با استفاده از داده‌های یکساله هواشناسی شهر زنجان، میزان انرژی مورد نیاز برای گرمایش گاز طبیعی جهت جلوگیری از هیدراته شدن گاز طبیعی تعیین گردیده است. این مقدار در ایستگاه تقلیل فشار در طول سال بین 45.3 GJ در تیرماه تا 146.5 GJ در دی ماه متغییر می‌باشد.
واژه‌های کلیدی: گرمکن گازی، ایستگاه تقلیل فشار گاز، شیر فشارشکن، بهینه‌سازی مصرف انرژی، هیدراته شدن گاز

Thermodynamic Analysis of a Gas Preheater at Zandjan City Gate Station

A. B. Bayat, M.S. student in, Dept. of Mech. Eng., Takestan Branch, Islamic Azad University
K. Abbaspoursani, Ass. Prof., Dept. of Mech. Eng., Takestan Branch, Islamic Azad University
F. Haydari, M.S. student in, Dept. of Mech. Eng., Takestan Branch, Islamic Azad University
M. Vesogh, M.S. student in, Dept. of Mech. Eng., Takestan Branch, Islamic Azad University

Abstract: High Pressure natural gas in common, flows in transmissions lines and its pressure should be reduced at the entrance of cities and local consumes. This is done at City Gas Stations (CGS), where the pressure is reduced from 1000 psi to amount of 250 psi. According to the gas state equation, a reduction in pressure at constant pressue causes a reduction in temperature which in turn accompany with the gas freezing and probably produces hydrates in pressure reduction valve. To avoid from this conditions, the temperature of natural gas should be increased by a gas heater, before pressure reduction valve. In the present study, by using thermodynamical relations and considering the natural gas properties flowing in Zandjan pipelines, the reduction of temperature is detemined for a CGS with a capacity of 80000 m^3/hr. The yearly required thermal load for avoiding hydratation has been calculated by utilizing the yearly metorological data in Zandjan. The results show that this load is varied from 45.3 GJ to 146.5 GJ.
Keywords: Gas heater, CGS, pressure reduction valve, energy consumption optimumzation and hydratization

۱- مقدمه

گاز طبیعی در خطوط لوله بین شهری دارای فشار بالایی می‌باشد. این فشار در مراحل مختلفی کاهش می‌یابد تا به فشار مناسب مصرف‌کننده برسد. اولین مرحله کاهش فشار در ایستگاهی در ورودی شهرها می‌باشد که به‌نام ایستگاه دروازه شهری یا همان ایستگاه CGS (City Gas Station) شناخته می‌شود. این کاهش فشار با توجه به ضریب ژول- تامپسون با کاهش دمای گاز همراه می‌باشد که این مسئله به نوبه خود مشکلات چندی همچون یخزدگی آب و انسداد مسیر گاز را در بر دارد[۱]. لذا قبل از کاهش فشار، گاز را گرم می‌کنند. عمل پیش گرمایش گاز در گرمکن‌های گازی که مملو از آب هست صورت می‌گیرد. نحوه کار بدین‌ترتیب است که گرمکن دارای کوئیل‌هایی است که با سوزاندن گاز، حرارت را به درون آب گرمکن گازی و آن نیز حرارت را به لوله‌های حامل گاز شهری که از درون گرمکن گازی می‌گذرند، منتقل می‌کند. یک نمونه از این گرمکن‌های گازی در شکل (۱) نمایش داده شده‌است.

گاز طبیعی جهت گرمایش درون یک لوله از یک سمت گرمکن گازی وارد شده و بوسیله آب گرم درون گرمکن گازی احاطه می گردد. این لوله در درون گرمکن گازی در چند مرحله گردش می‌نماید و درنهایت دمای گاز درون آن به حد مطلوب می‌رسد.

در این مقاله، به محاسبه میزان گرمای مورد نیاز با هدف تولید گرمای بهینه و جلوگیری از هیدراته‌شدن برای یک گرمکن گازی با ظرفیت ۸۰۰۰۰ m^3/hr در شرایط اقلیمی شهر زنجان پرداخته می‌شود.

۲- تعیین دمای گاز ورودی به ایستگاه

در این بخش به نحوه محاسبه توان گرمایی مورد نیاز گرمکن‌های گازی ایستگاههای تقلیل فشار پرداخته می‌شود. ایستگاه مورد مطالعه، یک ایستگاه با ظرفیت ۸۰۰۰۰ m^3/hr در شهر زنجان می‌باشد. تجهیزات و تأسیسات موجود در این ایستگاه‌ها براساس ظرفیت آن ایستگاه طراحی می‌گردد. بطوریکه برای این ایستگاه، گرمکن گازیی طراحی شده دارای توانایی گرمایش گاز با دبی ۸۰۰۰۰ m^3/hr را با شرایط اطمینان می‌باشد. در جدول (۱) مشخصات گرمکن‌گازی ایستگاه فوق مطابق استاندارد IGS-M-PM-104(2) [۲] درج شده‌است.

گاز عبوری از یک ایستگاه تقلیل فشار در بخشهای مختلف ایستگاه دارای شرایط متفاوتی می‌باشد. در شکل زیر شرایط دمایی مختلف گاز عبوری نمایش داده شده است.

در شکل (۲) طرحواره این گرمکن نشان‌داده‌شده‌است. در این شکل، T_{NG-1} دمای گاز ورودی به گرمکن‌گازی است که در واقع دمای گاز ورودی به ایستگاه می‌باشد. دمای بعدی دمای T_{NG-2} دمای گاز خروجی از گرمکن گازی است که همان دمای گاز ورودی به شیرهای فشارشکن می‌باشد. و بالاخره T_{NG-3} دمای گاز بعد از فرآیند کاهش فشار در شیرهای اختناق می‌باشد.

یکی از پارامترهای مهم در شیرهای اختناق ایستگاههای گاز شهری، میزان افت دمای آنها می‌باشد. این میزان افت دما بصورت زیر تعریف می‌گردد.

$$\Delta T_{throttle\text{-}valve}=T_{NG-2}-T_{NG-1} \qquad (۱)$$

پارامتر دیگر تعیین دمای هیدراته T_{hyd} گاز طبیعی عبوری از ایستگاه زنجان می‌باشد. در اکثر ایستگاه‌های موجود در کشور دمای گاز را تا حد غیرضروری افزایش می‌دهند که می‌توان تا میزان زیادی این دما را پایین آورد، بدون اینکه هیچگونه صدمه‌ای به بحث فنی کار وارد شود. براساس اطلاعات دریافتی، گاز عبوری از این ایستگاه عموما از خط لوله بقطر ۲۰ اینچ زنجان تامین می‌گردد که حداقل دمای هیدراته آن طبق اطلاعات دریافتی از شرکت گاز استان زنجان در حدود ^{o}C ۶ می باشد.

با توجه به مطالب بیان‌شده، اکنون می‌توان دمای دقیق گاز طبیعی خروجی از گرمکن‌گازی را که میزان سوخت مصرفی گرمکن گازی به آن وابسته است، تعیین نمود. این دما از رابطه زیر بدست می آید:

$$T_{NG-2}=T_{hyd}+\Delta T_{throttle\text{-}valve}+\Delta T_{safety} \qquad (۲)$$

در رابطه فوق ΔT_{safety} میزان دمای اضافی اتخاذشده برای

اطمینان بیشتر می‌باشد.

اکنون باید افت دمای گاز طبیعی حاصل از کاهش فشار در اثر عبور از شیرهای اختناق ($\Delta T_{\text{throttle valve}}$) در ایستگاه زنجان محاسبه گردد. در این مقاله افت دما با توجه به شرایط استاندارد کاهش فشار از فشار ۱۰۰۰ psi تا فشار ۲۵۰ psi برای شرایط دمایی گاز ورودی متفاوت بدست آمده‌است.

با توجه باینکه فرآیند کاهش فشار در شیرهای اختناق (رگلاتور)، فرآیند آنتالپی ثابت است، لذا با استفاده از جداول ترمودینامیکی [۳] مقدار آنتالپی را در ورودی و خروجی رگلاتور یکسان گرفته و برای دماهای مختلف ورودی، دمای خروجی را با استفاده از این جداول تعیین می‌شود. در شکل (۳) میزان کاهش دمای گاز در رگلاتور موقع کاهش فشار از فشار ۱۰۰۰ psi تا فشار ۲۵۰ psi در دماهای مختلف گاز ورودی درج شده‌است.

بطوریکه در شکل (۳) نمایان است، میزان افت دما در فشار ورودی ۱۰۰۰ psi بین دمای ۱۵ ^{o}C تا حدود ۲۵ ^{o}C با توجه به دماهای مختلف گاز ورودی به ایستگاه متغیر می‌باشد. هر چند افت دما در ماه‌های سرد سال افزایش می‌یابد. اما چون عموماً در ماه‌های سرد سال همواره با افت فشار گاز در ورودی ایستگاه مواجه هستیم بطوری که عموما در فصل زمستان که افت دما در شیرهای اختناق شرایط بحرانی‌تری را دارد، فشار گاز در ورودی ایستگاه تا میزان ۲۰۰ psi نیز از مقدار استاندارد کمتر شده و به حدود ۶۰۰ psi می‌رسد.

از پارامترهای مهم دیگر این بخش تعیین دمای گاز طبیعی ورودی به ایستگاه تقلیل فشار می‌باشد، که این دما با $T_{NG\text{-}1}$ نمایش داده‌می‌شود. با توجه باین مهم که گاز ورودی به ایستگاه از طریق لوله‌هایی در عمق ۱/۵ متری زمین وارد ایستگاه می‌شود، می‌توان نتیجه گرفت که دمای گاز ورودی مطابق رابطه (۳) تابعی از دمای محیط می‌باشد[۴].

$$T_{NG\text{-}1}=0.0084T^{2}_{am}0.318T_{am}+11.403 \qquad (۳)$$

اطلاعات دمای محیط زنجان طی روزهای مختلف سال ۱۳۹۲ که از سازمان هواشناسی کشور [۵] اخذ شده‌است در شکل(۴) نمایش داده شده‌است.

با استفاده از اطلاعات دمای شهر زنجان می‌توان دمای گاز ورودی به ایستگاه را برای سال ۱۳۹۲ با استفاده از رابطه (۳) محاسبه نمود. در شکل (۵) دمای گاز ورودی به ایستگاه در زنجان برای سال ۱۳۹۲ و بصورت متوسط روزانه برای ماه‌های مختلف نمایش داده شده‌است.

مطابق شکل (۵) ، کمترین میزان دمای گاز ورودی با توجه به این مهم که لوله در خاک مدفون است حدود ۹ ^{o}C و بیشترین دمای گاز ورودی به ایستگاه ۲۷ ^{o}C می‌باشد. با توجه به شرایط مذکور و استفاده از شکل (۳) می‌توان حداکثر میزان افت دما در شیرهای اختناق در ایستگاه زنجان را ۲۲ ^{o}C تعیین نمود. و با توجه به دماهای بیان‌شده و اتخاذ ۲ ^{o}C دمای اطمینان و حدود ۶ ^{o}C دمای هیدراته، درنهایت دمای خروجی گرمکن گازی برای ایستگاه زنجان ۳۰ ^{o}C تعیین می‌گردد.

۳- گرمای مورد نیاز جهت گرمایش گاز عبوری از گرمکن

بر اساس مطالب بیان‌شده، اکنون می‌توان گرمای مورد نیاز جهت گرمایش گاز عبوری از ایستگاه را جهت جلوگیری از هیدراته‌شدن روابط ذیل محاسبه نمود:

$$\dot{Q}_{load}=\dot{m}_G(\Delta h) \qquad (۴)$$

$$\Delta h=(C_{p2}\times T_2)-(C_{p1}\times T_1) \qquad (۵)$$

که در روابط فوق $\dot{m}_G$ دبی جرمی و Δh تغییرآنتالپی در فرآیند گرمایش در گرمکن گازی، C_p و T دما و ظرفیت حرارتی ویژه گاز و زیرنویس‌های ۱ و ۲ بترتیب مربوط به ورودی و خروجی گاز از گرمکن می‌باشند که با توجه به ظرفیت ایستگاه، دبی‌جرمی در تمام محاسبات ۸۰۰۰۰ m^3/hr در نظر گرفته می‌شود. همچنین با توجه به این حقیقت که درصد بالایی از گاز طبیعی مناطق مختلف ایران را متان تشکیل می دهد (بین ٪۸۵ تا ٪۹۸)، لذا می‌توان از چگالی متان جهت تبدیل دبی حجمی گاز عبوری برحسب مترمکعب به کیلوگرم استفاده نمود.

مقدار چگالی گاز طبیعی زنجان اخذشده از شرکت گاز زنجان برابر ۰/۶۱۴۳ kg/m^3 است. براین اساس میزان گاز عبوری ۸۰۰۰۰ m^3/hr در شرایط استاندارد مقدار ۱۳/۶۵۱ kg/s تعیین می‌گردد.

همچنین ظرفیت حرارتی ویژه گاز ورودی به ایستگاه زنجان که درصد بالایی از آن متان می‌باشد، برحسب دما با استفاده از رابطه (۶) محاسبه می‌گردد.

$$C_p = C_\circ + C_1\theta + C_2\theta^2 + C_3\theta^3 \quad \text{kJ/kg.K} \qquad (۶)$$

$$\theta = T(\text{Kelvin})/1000 \qquad (۷)$$

مقادیر ثابت C_o، C_1، C_2 و C_3 برای گاز متان به ترتیب برابر ۱/۲، ۳/۲۵، ۰/۷۵ و ۰/۷۱- می‌باشند[۳].

با توجه به مطالب بیان شده میزان گرمای مورد نیاز برای گرمایش گاز برای جلوگیری از هیدراته شدن در ایستگاه زنجان در شکل‌های (۶) و (۷) نمایش داده‌شده‌است. لازم به ذکر است که این میزان گرما با در نظرگرفتن دمای گاز خروجی گرمکن گازی برابر ۳۰ ^oC حاصل شده‌است. همانطور که در شکل‌های فوق مشخص است، میزان این گرما در فصل تابستان کمتر و برعکس در فصل زمستان میزان آن بیشتر می‌باشد.

۴- محاسبه توان مورد نیاز گرمکن ایستگاه

گرمای مورد نیاز جهت جلوگیری از هیدراته شدن هم اکنون توسط خود گازطبیعی تامین می‌گردد. گرمکن‌های گازی در شرایط کارکرد عملی دارای راندمان ۱۰۰٪ نیستند و درنتیجه باید گرمای تولیدشده از گاز طبیعی قدری بیشتر از گرمای موردنیاز باشد. این گرما با تعریف راندمان احتراق برای گرمکن گازی و گرمای اتلافی بر اساس رابطه (۸) بدست می‌آیند.

$$\dot{Q}_{heater} = \frac{\dot{Q}_{load}}{\eta_c} + \dot{Q}_{losses} \qquad (۸)$$

در رابطه بالا میزان گرمای اتلافی با $\dot{Q}_{losses}$ و راندمان گرمکن‌های گازی با η_c نمایش داده شده‌است. گرمای اتلافی به گرمایی اطلاق می‌شود که از طریق سطوح خارجی گرمکن گازی به‌محیط منتقل می‌گردد و می‌توان آنرا با عایق‌بندی سطوح گرمکن به حداقل رساند. همچنین راندمان گرمکن‌ها بدین دلیل تعریف می‌گردد که بخش قابل توجهی از گرما از طریق دودکش گرمکن گازی به محیط منتقل می‌شود. بطور معمول سازندگان این گرمکن‌ها راندمان آنها را در حدود ٪۴۵ تعیین در نظر می‌گیرند. درنتیجه توان موردنیاز گرمکن با فرض عایق بودن سطوح خارجی گرمکن ($\dot{Q}_{losses} = 0$) و راندمان احتراق ٪۴۵ ، مطابق شکل‌های (۸) و (۹) بدست می‌آید.

۵- میزان سوخت مصرفی گرمکن

در این بخش سعی برآن است که میزان گاز مصرفی در گرمکن محاسبه گردد. برای محاسبه میزان مصرف سوخت باید حجم گاز مصرفی را محاسبه نمود. حجم گاز مصرفی از رابطه (۹) قابل محاسبه است.

$$\dot{Q}_{heater} = \dot{V}(LHV) \qquad (۹)$$

که در آن $\dot{Q}_{heater}$ میزان توان مورد نیاز گرمکن، $\dot{V}$ دبی‌حجمی گاز مصرفی و LHV ارزش حرارتی پایین سوخت می‌باشد. با توجه به این موضوع که برای گاز مصرفی گرمکن از همان گاز عبوری به ایستگاه استفاده می‌شود، می‌توان از ارزش حرارتی گاز زنجان که برابر ۸۰۷۴ $kcal/m^3$ و یا ۳۳۸۰۴ kj/m^3 می‌باشد، استفاده نمود. با توجه به مطالب بیان‌شده میزان دبی حجمی گاز مصرفی گرمکن را برحسب m^3/h می‌توان از معادله زیر محاسبه نمود.

$$\dot{V}(m^3/h) = \dot{Q}_{heater}(kj/hr)/\left[33804(kj/m^3)\right] \qquad (۱۰)$$

با توجه به توضیحات بالا، اکنون می‌توان میزان گاز مصرفی موردنظر را محاسبه نمود. در شکل‌های (۱۰) و (۱۱) متوسط مصرف گاز برحسب m^3/h برای ماه‌های مختلف نمایش داده شده‌است.

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

میزان انرژی موردنیاز برای گرمایش گازطبیعی جهت

جلوگیری از هیدراته‌شدن گازطبیعی، در ایستگاه تقلیل فشار گاز (CGS) با ظرفیت ۸۰۰۰۰ m^3/hr در شرایط اقلیمی شهر زنجان در طی سال بین ۴۵/۳ Gj در تیرماه تا ۱۴۶/۵ Gjدر دی‌ماه متغیر می‌باشد که نمودار آن در شکل (۱۲) آمده است.

در جمع‌بندی نهایی مقدار انرژی سالانه مورد نیاز Gj ۳۴۹۹۴ می‌باشد که با توجه به‌ارزش حراتی سوخت در زنجان، گاز مصرفی سالانه مقدار m^3 ۱،۰۳۵،۲۰۰ تعیین می‌گردد.

با توجه به مقدار زیاد انرژی مورد نیاز گرمکن در ایستگاه-های تقلیل‌فشار جهت پیش‌گرمایش گاز، پیشنهاد می‌گردد راهکارهائی جهت کاهش مصرف سوخت گرمکن‌های گازی و افزایش راندمان آنها انجام شود. در این راستا می‌توان از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر نیز بهره گرفت.

۷- مراجع

[۱] آشنایی با ایستگاههای تقویت فشار انتقال گاز، مهندس حسین کاردری، (۱۳۸۷).

[۲] پایگاه اینترنتی:http://igs.nigc.ir

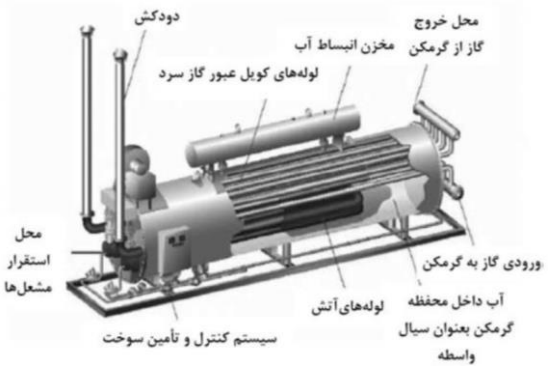
[3] Van Wylen, *"Fundamentals Of Thermodynamics"*, Volume1, John Wiley Publishers, 1998.

[4] Edalata, M., and Mansoori, G. A., *"Buried Gas Transmission Pipelines: Temperature Profile Prediction through the Corresponding States Principle"*, Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, Vol. 10, Issue 4 , pp. 247–252, (1988).

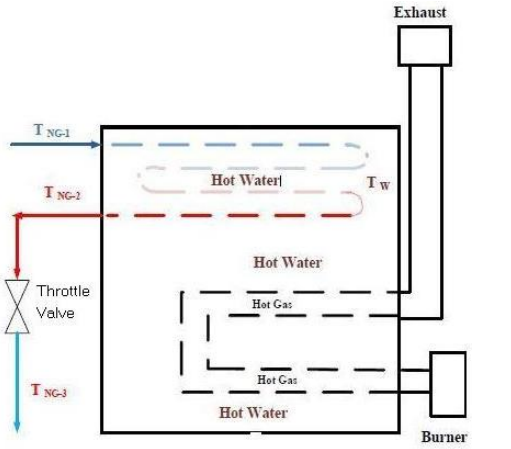
[۵] پایگاه اینترنتی: http://www.wather.com

جدول ۱: مشخصات گرمکن گازی گازی مورد مطالعه [۲]

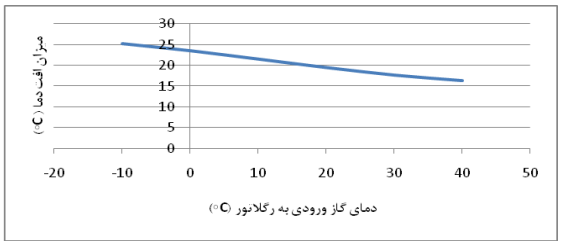
کمیت	واحد	مقدار
ظرفیت گرمکن گازی	m^3/hr	۸۰۰۰۰
فشار گاز ورودی به گرمکن گازی	PSI	۱۰۰۰
فشار گاز خروجی از گرمکن گازی	PSI	۱۰۰۰
دمای گاز ورودی	◦C	متغییر
دمای گاز خروجی	◦C	۴۰
دبی جرمی گاز عبوری از گرمکن گازی	m^3/hr	۸۰۰۰
راندمان احتراق	٪	۴۵



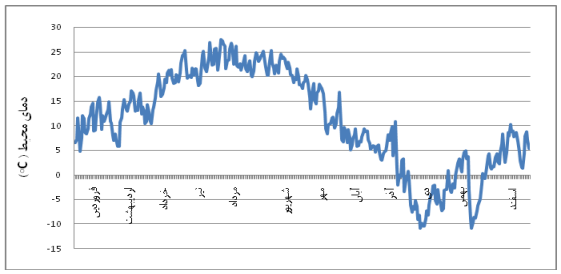
شکل(۱): نمای گرمکن گازی مورد استفاده در ایستگاه‌های CGS



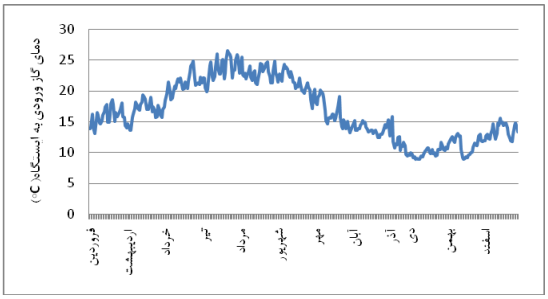
شکل(۲): طرحواره گرمکن‌گازی بهمراه مدار سوخت، آب و گاز طبیعی عبوری از یک ایستگاه CGS



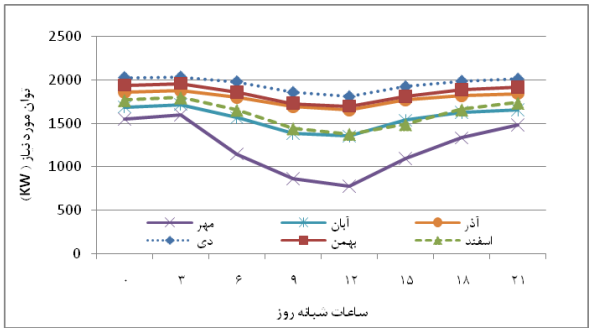
شکل(۳): میزان افت دمای گاز در عبور از شیر فشارشکن



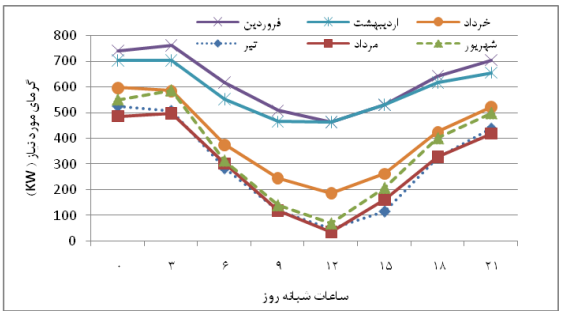
شکل (۴): متوسط دمای محیط روزانه شهر زنجان [۵]



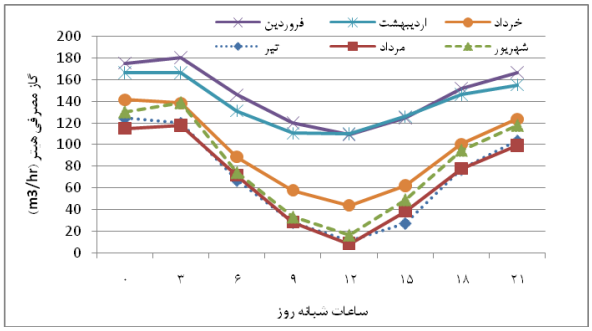
شکل (۵): متوسط دمای روزانه گاز ورودی به ایستگاه



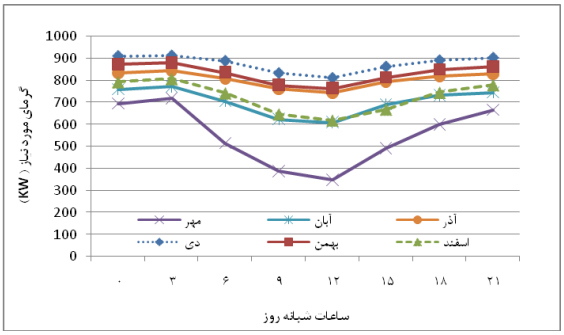
شکل (۹): توان ساعتی مورد نیاز گرمکن گازی در شش ماهه دوم



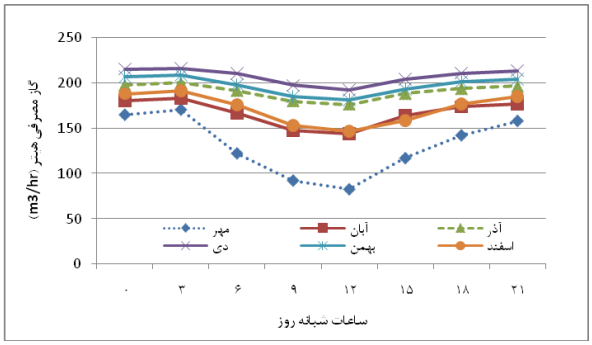
شکل (۶): متوسط گرمای ساعتی موردنیاز در شش ماهه اول



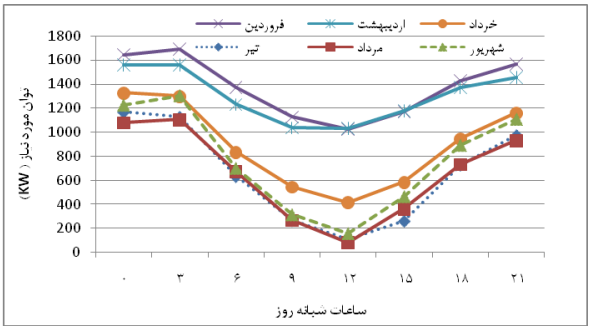
شکل (۱۰): متوسط گاز مصرفی گرمکن گازی در شش ماهه اول



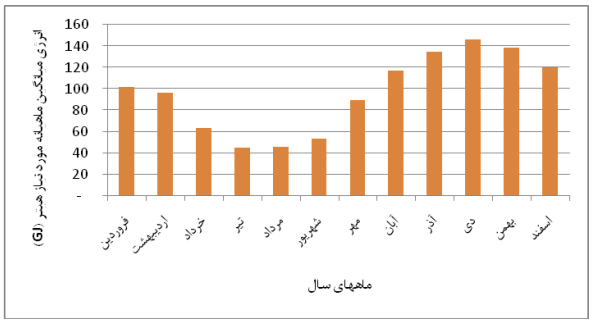
شکل (۷): متوسط گرمای ساعتی موردنیاز در شش ماهه دوم



شکل (۱۱): متوسط گاز مصرفی گرمکن گازی در شش ماهه دوم



شکل (۸): توان ساعتی مورد نیاز گرمکن گازی در شش ماهه اول



شکل (۱۲): انرژی میانگین ماهیانه مورد نیاز گرمکن گازی