

بررسی ترموآکونومیک استفاده از انرژی خورشیدی با هدف گرمایش گاز طبیعی در ایستگاه CGS شهر ساری

در ایستگاههای تقلیل فشار گاز شهری (CGS) یک قسمت گرم کننده گاز (heater) وجود دارد. اهمیت قسمت گرمکن در ایستگاه از آن جهت است که برای جلوگیری از هیدراته شدن گاز دمای گاز قبل از کاهش فشار در ایستگاه باید افزایش یابد. هیترهای رایج که از گاز طبیعی به عنوان سوخت استفاده می کنند، عموماً مصرف سوخت بسیار زیادی دارند. نویسندگان مقاله بر این سعی هستند تا امکان جایگزینی انرژی خورشیدی بجای این هیترها را بررسی نمایند. در این مطالعه در ابتدا با استفاده از روش معتبر انگستروم شار خورشیدی تاییده شده شهر ساری محاسبه می گردد. سپس با ارزیابی های اقتصادی تعداد کلکتور بهینه انتخاب می شود. در نهایت بررسی اقتصادی سیستم صورت خواهد گرفت.

احمد عربکوهسار^۱

کارشناس ارشد

محمود فرزانه گرد^۲

دانشیار

مهدی دیمی دشت بیاض^۳

دانشجوی دکترا

واژه های راهنما: ایستگاه گاز شهری (CGS)، هیتر گازی، شار خورشیدی ساری، هیدراته شدن گاز، کلکتور خورشیدی، بررسی اقتصادی

۱- مقدمه

گاز خروجی از پالایشگاهها دارای فشاری در حدود $1000-400$ psi می باشد [۱]. این فشار در مراحل مختلفی کاهش می یابد تا به فشار مناسب مصرف برسد. اولین مرحله کاهش فشار در ایستگاهی با نام ایستگاه دروازه شهری یا همان ایستگاه CGS انجام می گردد. با توجه به ضریب ژول-تامپسون مثبت برای گاز طبیعی، این کاهش فشار باعث کاهش دمای گاز می شود که این مساله به نوبه خود مشکلات عدیده ای همچون یخ زدگی ذرات معلق آب درون گاز و انسداد خط انتقال را دربر دارد. لذا قبل از کاهش فشار، دمای گاز باید افزایش یابد [۱]. عموماً عمل پیش گرمایش گاز توسط هیترهای گازی صورت می گیرد که از گاز طبیعی به عنوان سوخت اصلی استفاده می کنند. در این مقاله پیشنهاد استفاده از انرژی خورشیدی برای پیش گرمایش گاز در این نوع ایستگاه ها ارائه می گردد. با ارزیابی های اقتصادی و فنی ثابت می گردد که با یک سیستم خورشیدی و یک سیستم یدکی برای زمان های اضطراری می توان عمل پیش گرمایش گاز را انجام داد و در مصرف گاز طبیعی صرفه جویی قابل ملاحظه ای نمود.

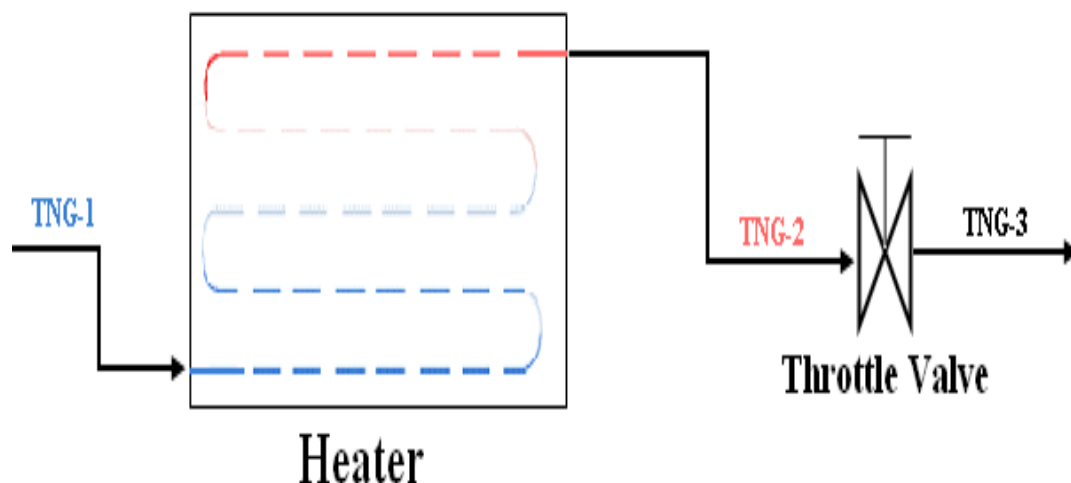
^۱ کارشناس ارشد، گروه مکانیک، واحد مینودشت، دانشگاه آزاد اسلامی mani.koohsar@yahoo.com

^۲ دانشیار، گروه مکانیک، دانشگاه صنعتی شاهرود imchm@yahoo.co.uk

^۳ نویسنده مسئول، دانشجوی دکترا، گروه مکانیک، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی meh_deimi@yahoo.com

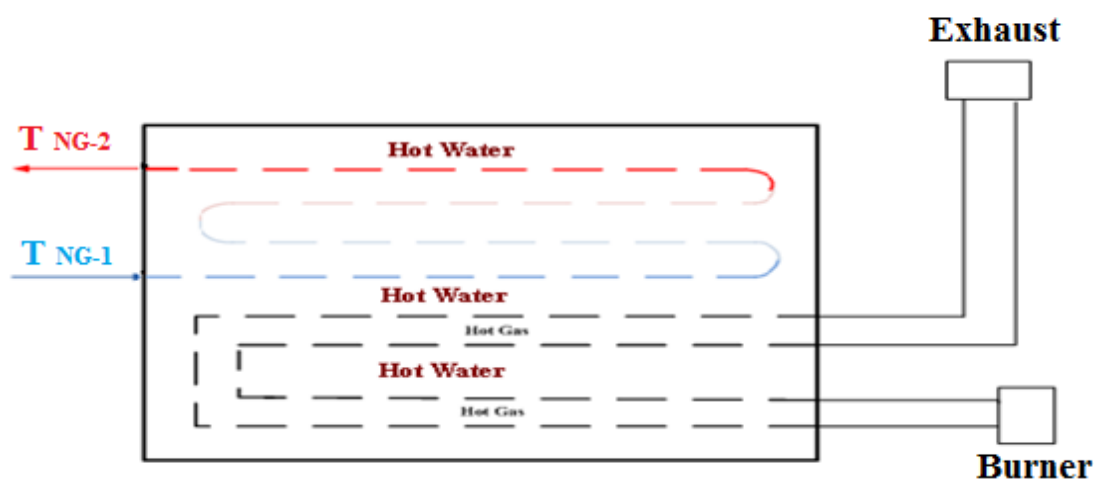
۲- ایستگاه های کاهش فشار گاز (CGS)

گاز طبیعی که از پالایشگاه به سمت نقاط مصرف جاری می گردد، به منظور غلبه بر افت فشارهای ناشی از طولانی بودن مسیر با فشار بسیار بالا به خطوط انتقال وارد می شود. در نزدیکی نقاط شهرها این فشار باید تا فشار مصرف کاهش یابد. ایستگاه کاهش فشار دروازه شهری (CGS) یکی از مکان هایی است که عمل کاهش فشار در آن اتفاق می افتد. شماتیکی از یک ایستگاه CGS در شکل (۱) نمایش داده شده است.



شکل ۱- شماتیک یک ایستگاه کاهش فشار دروازه شهری (CGS)

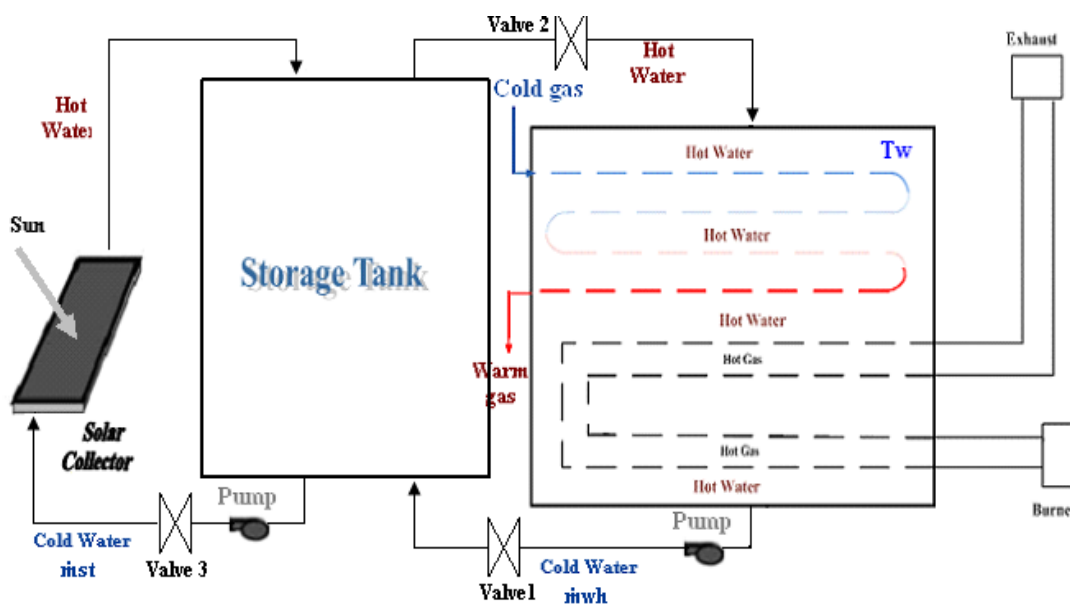
عمل پیش گرمایش گاز توسط هیترهای گازی که موسوم به هیترهای خطی (line heater) هستند صورت می گیرد. نحوه کار به این ترتیب است که کویل های هیتر با سوزاندن گاز تولید انرژی حرارتی کرده و این انرژی توسط آب موجود در هیتر دریافت گردیده و به لوله های حامل گاز شهری که در این آب غوطه ورنند منتقل می گردد. بدین سبب انرژی مورد نیاز گاز برای افزایش دمای مزبور تأمین می شود. شماتیک یک هیتر خطی در شکل (۲) نمایش داده شده است.



شکل ۲- شماتیک هیتر گازی رایج در ایستگاههای فشارشکن

۳- مکانیزم پیشنهادی برای کاربرد انرژی خورشیدی

سیستم های خورشیدی دما پایین بخصوص آن دسته که تولید انرژی الکتریکی نمی کنند، بصورت خیلی وسیع در سرتاسر جهان برای مصارف خانگی و صنعتی بکار برده شده اند. گرمایش خورشیدی آب یک روش بسیار موثر برای بکار بردن انرژی خورشیدی در مصارف گوناگون می باشد. کلکتورهای تخت رایج ترین نوع کلکتورهای خورشیدی در مصارف خانگی و در مصارف صنعتی می باشند و در مواردی کاربرد دارند که به دماهای کمتر از 90°C نیاز باشد [۲]. از آنجا که در ایستگاه CGS دمایی به مراتب کمتر از 90°C مورد نیاز می باشد، لذا کلکتورهای مورد کاربرد در سیستم پیشنهادی این مقاله از نوع کلکتورهای تخت می باشند. شماتیک سیستم پیشنهاد شده را در شکل (۳) می توان مشاهده نمود. طریقه عملکرد این سیستم بدین گونه است که، همگام با طلوع خورشید شیر شماره (۳) باز شده و آب بین تانک ذخیره و کلکتورها به گردش در می آید. این عمل تا لحظه غروب آفتاب ادامه می یابد، در طی این بازه زمانی شیرهای (۱ و ۲) هر دو بسته می باشند. با غروب آفتاب شیر شماره (۳) بسته شده و دو شیر دیگر به حالت باز تغییر وضعیت می دهند، انرژی موجود در آب داغ درون تانک ذخیره بصورت کنترل شده و کاملاً یکنواخت از لحظه غروب خورشید تا صبحدم روز آینده به هیتر تزریق می شود.



شکل ۳- نمای شماتیک سیستم مورد نظر

۴- محاسبه شار خورشیدی جذب شده

انرژی مفید قابل جذب توسط یک کلکتور خورشیدی از رابطه زیر محاسبه میگردد [۳]:

$$Q_u = A_c F_R \{ S - U_l (T_{fi} - T_a) \} \quad (1)$$

در این رابطه $A_c, F_R, U_l, T_{fi}, T_a$ به ترتیب دمای محیط، دمای آب ورودی به کلکتور، ضریب تلفات حرارتی از کلکتور، ضریب برداشت کلکتور و مساحت صفحه جذب کلکتور می باشند. همچنین در رابطه فوق شار خورشیدی جذب شده توسط کلکتور تخت می باشد که از رابطه زیر محاسبه می گردد [۳]:

$$S = (\tau\alpha)_{av} \cdot I_T \quad (2)$$

در رابطه فوق نیز $(\tau\alpha)_{av}$ ، I_T به ترتیب ضریب جذب- عبور متوسط برای کلکتور و شار رسیده به یک کلکتور تخت تحت زاویه نسبت به افق می باشند. لازم به ذکر است که زاویه تمایل کلکتور نسبت به افق یک فاکتور بسیار حائز اهمیت می باشد. در ایران توصیه می شود تا عرض جغرافیایی محل با عددی بین ۱۰ تا ۱۵ جمع شده و عدد حاصل به عنوان زاویه تمایل مناسب اتخاذ گردد [۴]. در این پژوهش با اعمال روش سعی و خطا مناسب ترین زاویه محاسبه گردیده که برابر 48° می باشد. لازم به ذکر است که معادله (۱) تنها با روشهای عددی قابل حل می باشد که در این مقاله روش نیوتن رافسون در کدنویسی با زبان متلب مورد استفاده قرار گرفته است.

۵- طراحی سیستم

ایستگاه مورد مطالعه این مقاله، ایستگاه آکند شهر ساری می باشد که دارای یک هیتر با دبی گاز عبوری $100000 \text{ (m}^3/\text{hour)}$ می باشد. اطلاعات کامل مربوط به ایستگاه مورد نظر در جدول (۱) ارائه گردیده است [۶].

جدول ۱- ویژگیهای فیزیکی هیتر خطی مورد مطالعه

مساحت کویل فایر تیوب	۸۸,۱ m ²
حجم آب درون هیتر	۴۸ m ³
قطر کویل	۰,۱۰۱۵ m
تعداد کویل ها	۷
دبی جرمی گاز طبیعی	۱۵,۵۶ kg/s
حداکثر دمای عملکرد هیتر	۸۸ °C
بیشترین قابلیت تولید انرژی	۱۷۵۰ kW
طول پوسته هیتر	10 m
قطر پوسته هیتر	۲,۸۵ m

برای گاز ساری دمای هیدراته در حدود 5°C و همچنین افت دمای حاصل از کاهش فشار مذکور 16°C می باشد [۵]. در اکثر ایستگاههای موجود در کشور دمای گاز تا حد زیادی افزایش می یابد که می توان به سادگی اثبات نمود این دما هرگز دمای بهینه نبوده و می توان آن را تا میزان زیادی کاهش داد:

$$T_{o-g} = T_{hyd} + \Delta T_{d-v} + \Delta T_{sec} \quad (3)$$

در رابطه بالا T_{o-g} دمای گاز خروجی از هیتر، T_{hyd} دمای هیدراته گاز، ΔT_{d-v} افت دما در شیر اختناق و ΔT_{sec} اختلاف دمایی است که بعنوان ضریب ایمنی کار اتخاذ می شود و بهترین میزان برای آن توسط مراجع علمی معتبر 5°C گزارش شده است [۵]. لذا دمای بهینه گاز خروجی از هیتر (T_{o-g}) در ایستگاه آکند

ساری 25°C می باشد. T_{i-g} دمای گاز ورودی به ایستگاه است که از لوله های در عمق ۱,۵m زمین خارج می شود و تابعی از دمای محیط می باشد و از رابطه زیر محاسبه می گردد [۶]:

$$T_{i-g} = 0.0084 T_{am}^2 + 0.318 T_{am} + 11.403 \quad (۴)$$

انرژی ای که گاز برای رسیدن به دمای مورد نظر دریافت میکند از رابطه زیر بدست می آید [۷]:

$$\dot{Q}_{gh} = \dot{m}_g \cdot C_{pg} \cdot (T_{o-g} - T_{i-g}) \quad (۵)$$

در این معادله \dot{m}_g دبی جرمی گاز و C_{pg} ظرفیت حرارتی ویژه گاز می باشد. رابطه میان دمای گاز خروجی از هیتر و آب درون هیتر بصورت زیر می باشد:

$$\frac{T_w - T_{o-g}}{T_w - T_{i-g}} = e^Y, \quad Y = \frac{\pi D_{oc} L_c U_c}{\dot{m}_g C_{pg}} \quad (۶)$$

$$T_{o-g} = T_w (1 - e^Y) - T_{i-g} e^Y \quad (۷)$$

برای طراحی سیستم کارآمد این نکته باید مورد توجه قرار گیرد که هیترهای موجود در ایستگاه های کاهش فشار قابلیت کنترل خودکار و پاسخ به تغییرات لحظه ای دمای گاز ورودی را ندارند، از اینرو در ابتدای هر روز توان هیتر روی یک میزان مشخص ثابت شده و این میزان تا مدت زمان ۲۴ ساعت که مصادف است با ابتدای روز خورشیدی آینده تغییری نمی کند. در فرآیند آنالیز حرارتی سیستم پیشنهادی، دو حجم کنترل باید در نظر گرفته شود. حجم کنترل اول مربوط به تانک ذخیره می باشد. بالانس انرژی برای این تانک به صورت زیر می باشد:

$$m_{st} \cdot C_{pw} \frac{dT_{st}}{dt} = \dot{Q}_{solar} - \dot{Q}_{load} \quad (۸)$$

حجم کنترل دوم پیرامون هیتر می باشد و بالانس انرژی برای هیتر به صورت زیر می باشد:

$$m_{wh} \cdot C_{pw} \frac{dT_{wh}}{dt} = \dot{Q}_{heater} + \dot{Q}_{load} - \dot{Q}_{gh} \quad (۹)$$

که در این دو رابطه، $m_{st} \cdot C_{pw}$ ظرفیت حرارتی آب درون مخزن ذخیره و $m_{wh} \cdot C_{pw}$ ظرفیت حرارتی آب درون هیتر، T_{wh} ، T_{st} به ترتیب دمای آب مخزن ذخیره و دمای آب درون هیتر می باشند. همچنین \dot{Q}_{heater} ، \dot{Q}_{solar} ، \dot{Q}_{load} و \dot{Q}_{gh} به ترتیب، انرژی تولیدی توسط هیتر گازی، مجموع انرژی تولیدی توسط سیستم خورشیدی، انرژی تزریق شده از مخزن ذخیره به هیتر و انرژی کسب شده توسط گاز عبوری از هیتر می باشند. در روابط بالا \dot{Q}_{load} از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$\dot{Q}_{load} = \dot{m}_{wh} C_{pw} (T_{st} - T_{wh}) \quad (۱۰)$$

از آنجایی که نرخ انرژی تزریقی از تانک ذخیره به هیتر ثابت می باشد و با توجه به اینکه با گذشت زمان اختلاف دمای بین آب هیتر و آب مخزن ذخیره کاهش می یابد لذا به منظور حفظ یکنواختی انرژی تزریقی طبق معادله فوق دبی جرمی آب تزریقی افزایش می یابد. با توجه به اینکه اطلاعات اساسی مورد استفاده در تحلیل حرارتی سیستم از قبیل دمای هوا و شار خورشیدی جذب شده در قالب بازه زمانی یک ساعته موجودند، لذا مبنای تغییرات دمای آب داخل تانک که بصورت یک سیستم متمرکز حرارتی در نظر گرفته می شود، یک ساعته فرض می شود. با توجه به این نکته و همچنین در نظر گرفتن سه معادله (۸، ۹ و ۱۰) یک دستگاه دو معادله و دو مجهول به صورت زیر ایجاد می گردد:

$$\begin{cases} \int_j^{i+1} [m_{st} C_{pw} dT_{st} + (\dot{m}_{wh} C_{pw} T_{st}) dt] = [\dot{Q}_{solar} + \dot{m}_{wh} C_{pw} T_{wh}]_j \Delta t \\ \int_j^{i+1} [m_{wh} C_{pw} dT_{wh} + (\dot{m}_{wh} C_{pw} T_{wh}) dt] = [\dot{Q}_{heater} + \dot{m}_{wh} C_{pw} T_{st} - \dot{Q}_{gh}]_j \Delta t \end{cases} \quad (11)$$

اندیس های (i) و (i+1) معرف بازه های زمانی می باشند. بنابراین \dot{Q}_{heater} از رابطه زیر بدست می آید:

$$\dot{Q}_{heater} = \frac{\dot{m}_{wh} C_{pw} (T_{wh}^{(i+1)} - T_{wh}^{(i)})}{3600} + (\dot{Q}_{gh} - \dot{Q}_{load})^{(i)} \quad (12)$$

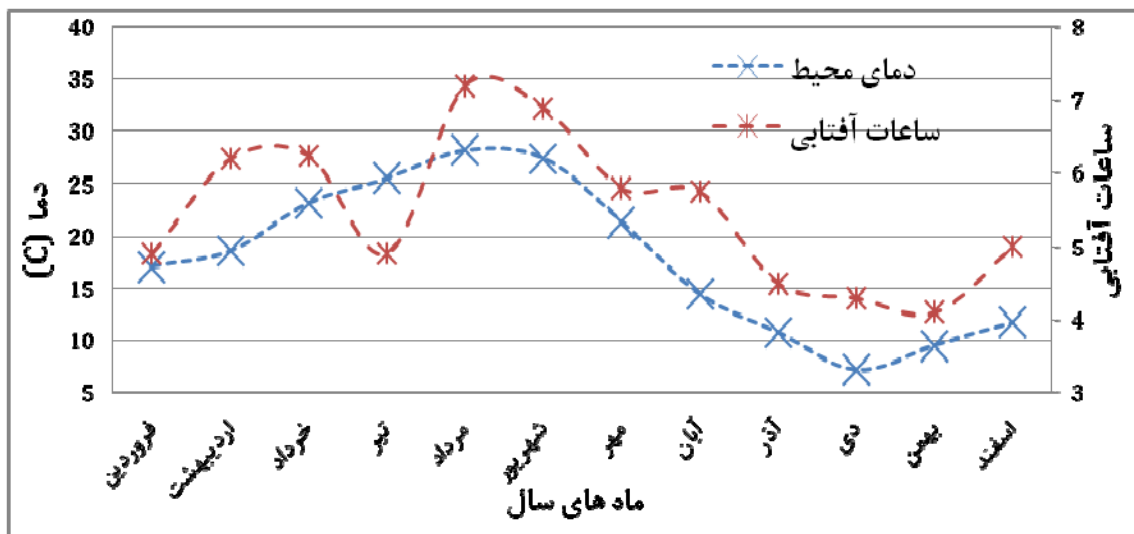
همچنین راندمان هیتزهای رایج در ایستگاهها در حدود ۳۵٪ تا ۴۵٪ می باشد که راندمان اتخاذی در این مقاله ۴۰٪ می باشد [۱]. سوخت مصرفی برای تولید این میزان انرژی با لحاظ کردن راندمان حرارتی هیتزهای خطی از رابطه زیر بدست خواهد آمد:

$$\dot{m}_f = \left[\frac{\dot{m}_{wh} C_{pw} (T_{wh}^{(i+1)} - T_{wh}^{(i)})}{3600} + (\dot{Q}_{gh} - \dot{Q}_{load})^{(i)} \right] / LHV \eta_h \quad (13)$$

نکته حائز اهمیت درباره حجم تانک ذخیره می باشد. با توجه به این مطلب که هر چه دمای آب ورودی به کلکتورها افزایش یابد راندمان کلکتورها کاهش می یابد و از طرفی حجم بیشتر مخزن به معنی افزایش قیمت تانک می باشد، لذا حجم تانک ذخیره باید بصورت بهینه انتخاب شود. با روش سعی و خطا در آنالیز اقتصادی و فنی طرح بهترین حجم برای تانک ذخیره ۱۰۰ لیتر به ازای هر عدد کلکتور حاصل گردیده است.

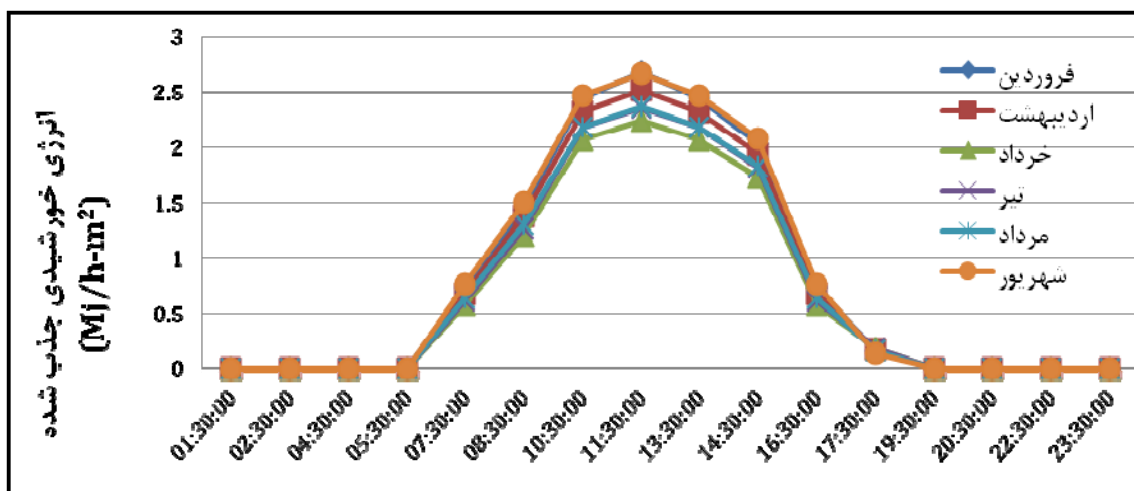
۶- نتایج

در این بخش به بررسی نتایج حاصله از این تحقیق پرداخته می شود. یکی از پارامترهای مهم در این تحقیق بررسی شرایط آب و هوایی منطقه ساری می باشد. در شکل (۴) شرایط دمایی شهر ساری و ساعات آفتابی هر روز را بطور متوسط ماهیانه نشان می دهد. این شکل بیانگر آنست که در این شهر تقریباً ۶۰٪ از روزهای سال ابری یا بارندگیست و در ۴۰٪ روزهای دیگر آسمان صاف و آفتابی است [۸].

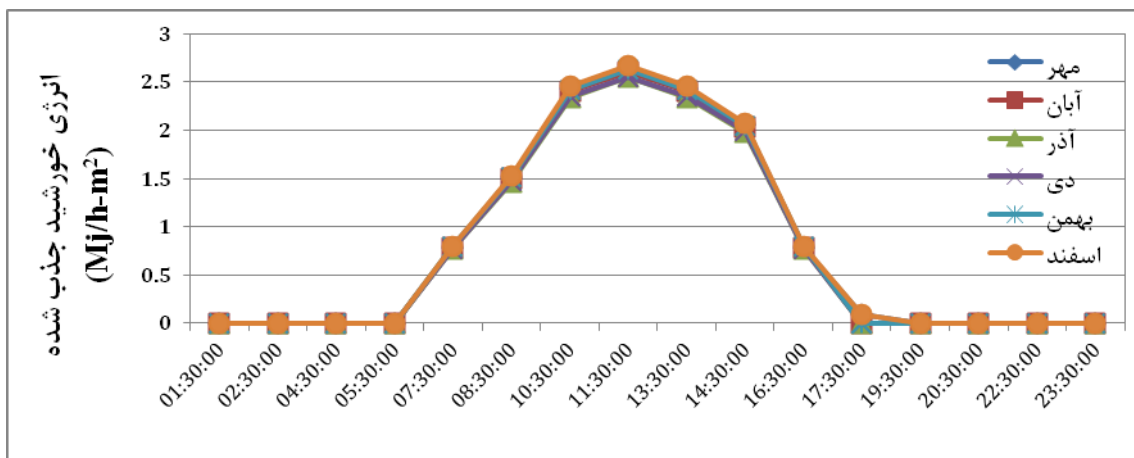


شکل ۴- دمای محیط و متوسط ساعات آفتابی در هر ماه از سال برای ساری [۸]

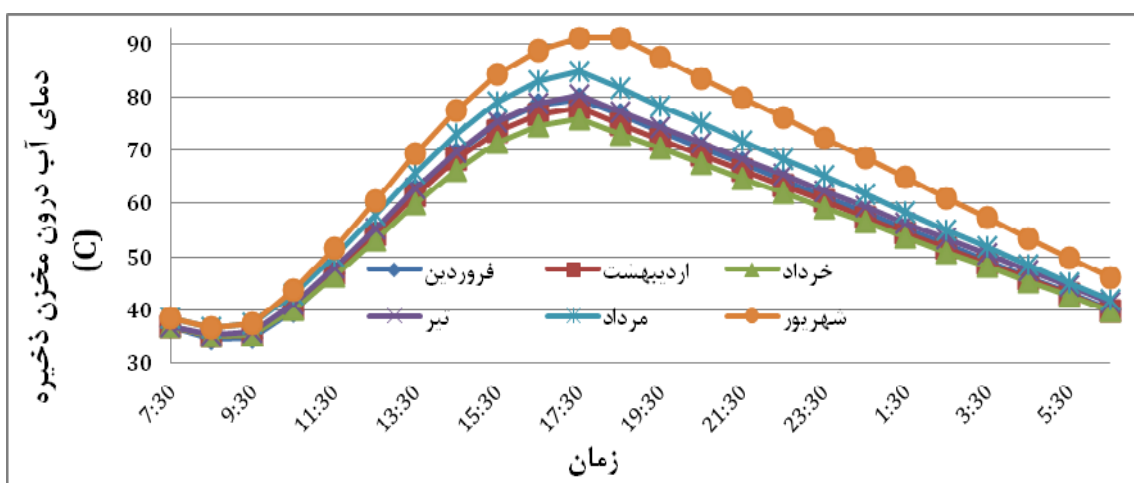
اشکال (۶ و ۷) شار جذب شده متوسط ماهیانه در هر ساعت از روز را نمایش می دهند. این گراف ها به کمک معادله (۲) رسم گردیده اند. شکل‌های (۷ و ۸) به ترتیب نشان دهنده دمای آب درون مخزن ذخیره در هر ساعت از شبانه روز به صورت متوسط ماهیانه در شش ماهه نخست و پایانی سال می باشند.



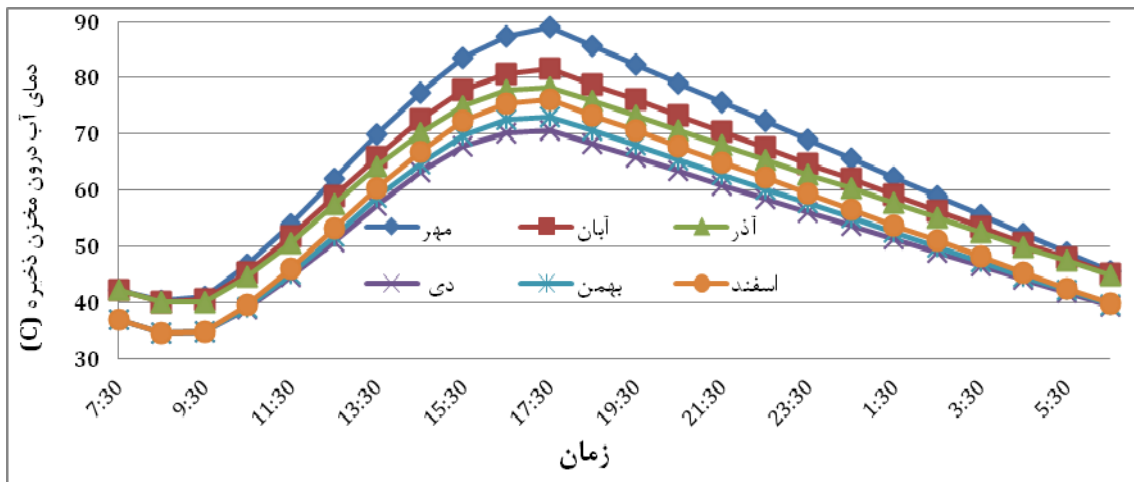
شکل ۵- متوسط ماهیانه شار جذب شده در ساری برای شش ماهه نخست سال



شکل ۶- متوسط ماهیانه شار جذب شده در ساری برای شش ماهه دوم سال

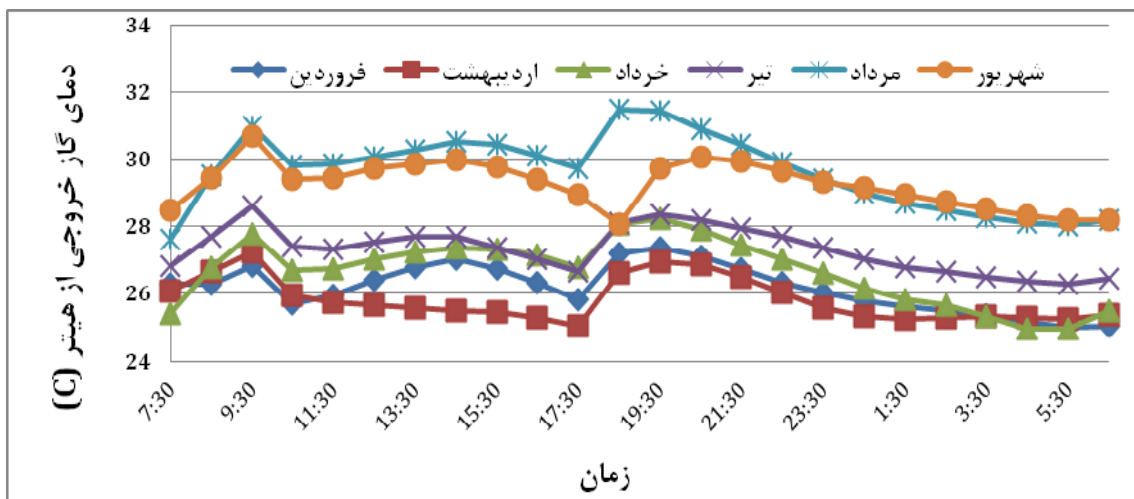


شکل ۷- متوسط ماهیانه دمای آب درون مخزن ذخیره در هر ساعت از شبانه روز برای شش ماهه نخست سال

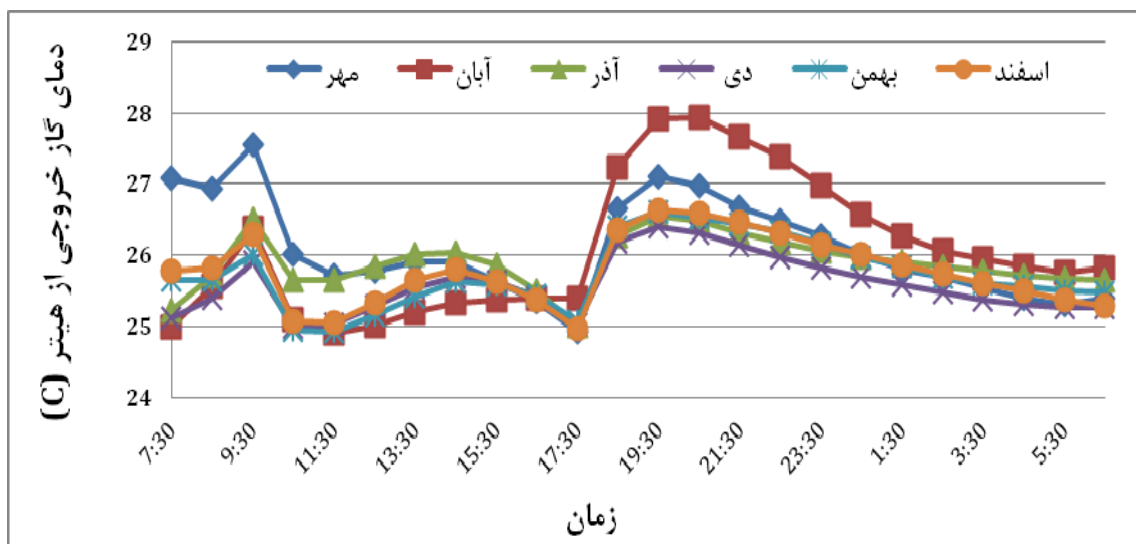


شکل ۸- متوسط ماهیانه دمای آب درون مخزن ذخیره در هر ساعت از شبانه روز برای شش ماهه پایانی سال

با سیستم پیشنهاد شده دمای گاز خروجی از هیتر، هرگز از حداقل دمای مجاز کمتر نخواهد شد. دمای گاز خروجی از هیتر بصورت متوسط ماهیانه در هر ساعت از شبانه روز در اشکال (۹ و ۱۰) به ترتیب برای شش ماهه نخست و پایانی سال آورده شده است. همچنین شکل (۱۱) یک مقایسه بین میزان انرژی تولیدی توسط هیتر در دو حالت سیستم سنتی و سیستم مجهز به انرژی خورشیدی که متشکل از ۳۵۰ عدد کلکتور تخت می باشد، را نمایش می دهد. اما سوال مهم این است که مبنای تعداد کلکتور انتخاب شده چه می باشد؟ تعداد کلکتور بهینه از تلاقی سرمایه گذاری اولیه، که مجموع بهای کلکتورها، بهای تانک ذخیره و هزینه های تهمیر و نگهداری و نصب می باشد، با میزان بهای سالیانه سوخت سالیانه هیتر، که با بالا رفتن تعداد کلکتورها کاهش می یابد، بدست می آید [۵]. شکل (۱۲) نشان می دهد که تعداد آرایش سیستم خورشیدی متشکل از ۳۵۰ عدد کلکتور بهترین انتخاب خواهد بود.



شکل ۹- متوسط ماهیانه دمای گاز خروجی از هیتر در هر ساعت از شبانه روز برای شش ماهه نخست سال

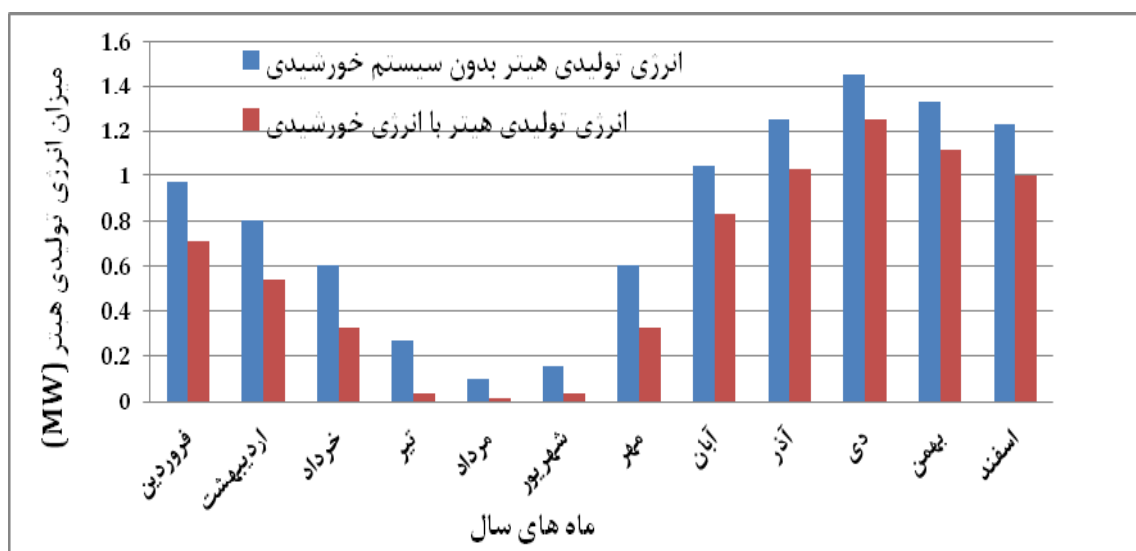


شکل ۱۰- متوسط ماهیانه دمای گاز خروجی از هیتر در هر ساعت از شبانه روز برای شش ماهه دوم سال

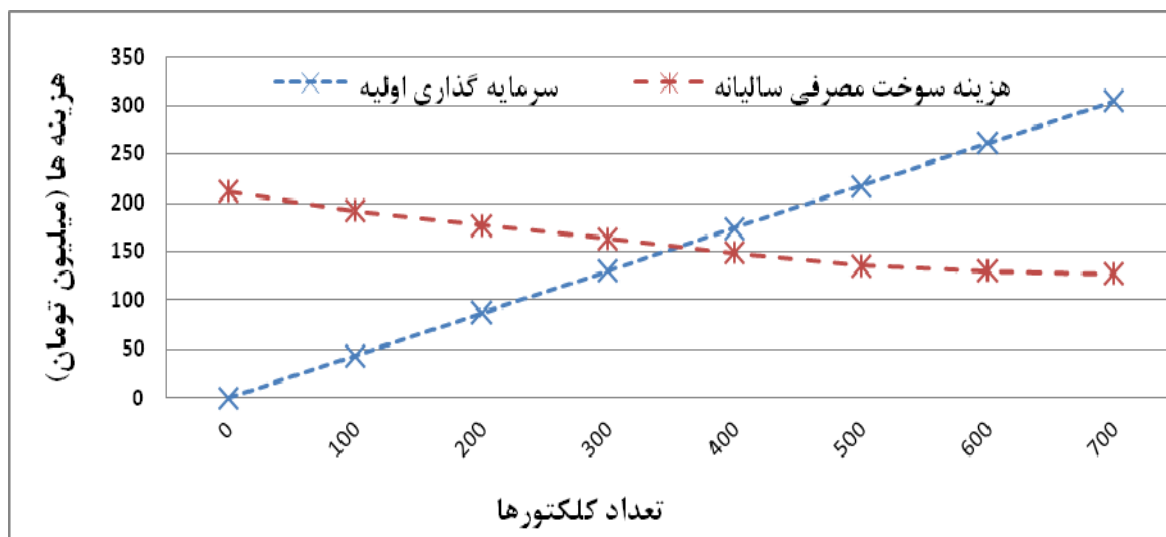
با تعداد ۳۵۰ عدد کلکتور هزینه سرمایه گذاری اولیه رقمی معادل ۱,۶ میلیارد ریال و صرفه جویی سالیانه در مصرف سوخت معادل ۵۵۰ میلیون ریال می باشد که اگر ضریب مربوط به ساعات آفتابی بودن شهر ساری (۰,۴) در این محاسبات لحاظ گردد، صرفه جویی سالیانه ۲۲۰ میلیون ریال خواهد بود. بنابراین از رابطه زیر دوره بازگشت سرمایه محاسبه می شود [۵].

$$PaybackRatio = (Capitalcost) / (Benefit) = \frac{1/600/000/000 R}{220/000/000 R} = 7.2 \text{ years} \quad (15)$$

این رابطه بیانگر آنست که تقریباً پس از ۷ سال سیستم به سوددهی خالص می رسد.

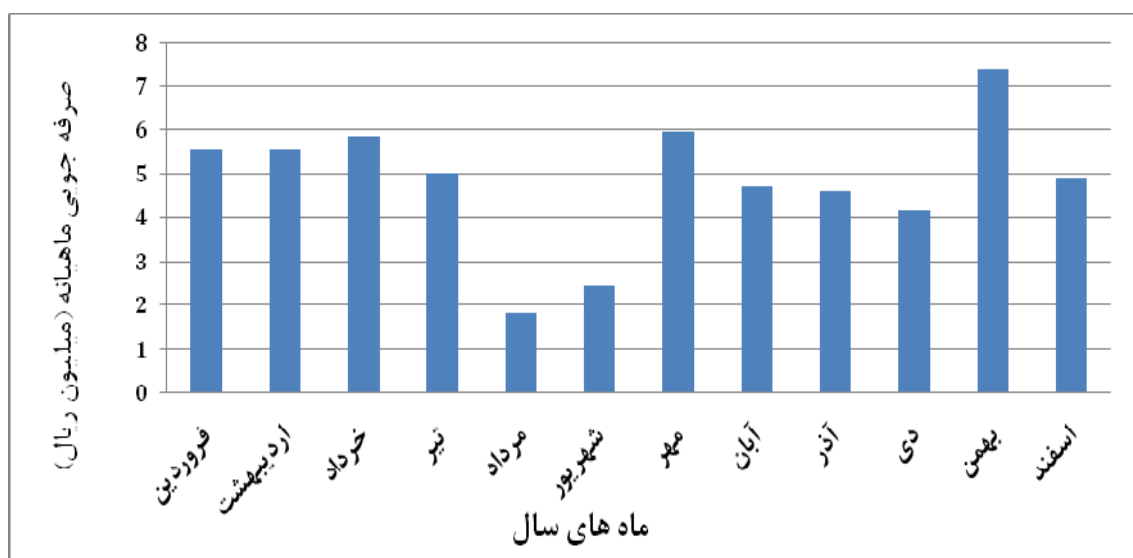


شکل ۱۱- متوسط ماهیانه انرژی تولید شده توسط هیتر



شکل ۱۲- تعداد بهینه کلکتور

نهایتاً شکل (۱۳) مجموع صرفه جویی را در هر ماه از سال ۱۳۸۷ نمایش می دهد.



شکل ۱۳- صرفه جویی ماهیانه در سال ۱۳۸۷

لازم به ذکر است که بهای در نظر گرفته شده برای گاز طبیعی در ارزیابی های اقتصادی، همان قیمت جهانی گاز و قیمت و ویژگیهای کلکتور مورد استفاده و همچنین تانک ذخیره مورد استفاده در طراحی و هزینه های نصب، راه اندازی، تعمیرات و نگهداری تماماً مطابق استانداردهای بازار لحاظ شده است. اطلاعات فنی مربوط به سیستم خورشیدی مورد استفاده در جدول (۲) و اطلاعات اقتصادی طرح در جدول (۳) ارائه گردیده است [۹].

جدول ۲- مشخصات کلکتور صنعتی مورد استفاده

دبی جرمی بهینه	۰,۰۳ kg/s
ابعاد کلکتور	۲ m x ۰,۹۵ m x ۰,۰۹۵ m
جنس روکش	شیشه
ضخامت روکش	۰,۰۰۴ m
ضخامت صفحه جاذب	۰,۰۰۰۵ m
قطر داخلی لوله ها	۰,۰۱ m
قطر خروجی لوله ها	۰,۰۱۲ m
مساحت صفحه جاذب	۱,۵۱ m ²
جنس جاذب	مس

جدول ۳- اطلاعات اقتصادی مربوط به پروژه

سرمایه گذاری اولیه برای ۳۵۰ کلکتور	۶۴۷۵۰۰۰۰۰ ریال
هزینه تانک ذخیره با حجم ۳۵ m ³	۵۲۵۰۰۰۰۰۰ ریال
هزینه نصب و راه اندازی	۳۵۰۰۰۰۰۰۰ ریال
هزینه های تعمیرات و نگهداری سالیانه	۶۰۰۰۰۰۰۰ ریال
قیمت گاز طبیعی به ازای هر متر مکعب	۲۷۰۰ ریال
صرف جویی خالص سالیانه	۲۲۰۰۰۰۰۰ ریال
دوره بازگشت سرمایه	۷/۲ سال

مراجع

- [۱] آشنایی با ایستگاههای تقویت فشار انتقال گاز، مهندس حسین کاردری، (۱۳۸۷).
- [2] Kalogirou S. A., "Solar Thermal Collectors and Applications", Progress in Energy and Combustion Science, Vol. 30, pp. 231-295, (2004).
- [3] Duffie J. A., and Beckman W. A., "Solar Engineering of Thermal Processes", Second Edition, Madison, USA, A wiley-interscience Publication, (1991).
- [4] www.Suna.ir

- [5] Farzaneh-Gord, M., Arabkoohsar, A., Rezaei, M., and Deymi Dasht-bayaz, M., "Feasibility of Employing Solar Energy in Natural Gas Pressure Drop Stations", Journal of the Energy Institute, Vol. 84, No. 3, pp. 165-173, (2011).
- [6] 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).
- [7] Incropera, F.P., and DeWitt, D.P., "Fundamentals of Heat and Mass Transfer", 5th Ed. New York, John Wiley, (2002).
- [8] www.Mazandaranmet.ir
- [9] <http://Solar.Polar.ir/>

فهرست نمادهای انگلیسی

m^2	مساحت کلکتور	A_c
$\text{kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$	ظرفیت حرارتی ویژه در فشار ثابت برای گاز طبیعی	C_{PNG}
m	قطر خارجی کوئل	D_i
m	قطر داخلی کوئل	D_o
kJ/kg	آنتالپی گاز طبیعی ورودی	$h_{\text{NG-1}}$
kJ/kg	آنتالپی گاز طبیعی خروجی از هیتر	$h_{\text{NG-2}}$
$\text{W/m} \cdot ^\circ\text{K}$	ضریب انتقال حرارت هدایتی موثر کوئل	K_c
m	طول کوئل	L_c
kg	جرم آب درون تانک	m_w
kg	جرم آب درون تانک ذخیره	m_{w-s}
kg/s	دبی جرمی گاز طبیعی	\dot{m}_{NG}
kg/s	دبی جرمی سوخت مصرفی توسط هیتر	\dot{m}_f
kW	انرژی تامین شده توسط هیتر	\dot{Q}_{heater}
kW	انرژی دریافت شده توسط گاز طبیعی	\dot{Q}_{gh}
kW	نرخ انرژی خورشیدی	\dot{Q}_{solar}
kW/m^2	شار خورشیدی جذب شده	S
$^\circ\text{C}$	دمای محیط	T_{am}
$^\circ\text{C}$	دمای هیدراته	T_{hyd}
$^\circ\text{C}$	دمای گاز ورودی هیتر	$T_{\text{NG-1}}$
$^\circ\text{C}$	دمای گاز طبیعی خروجی از هیتر	$T_{\text{NG-2}}$
$^\circ\text{C}$	دمای آب تانک	T_w

$^{\circ}\text{C}$	دمای آب تانک ذخیره	T_{w-s}
$^{\circ}\text{C}$	دمای گاز طبیعی بعد از شیر اختناق	T_{NG-3}
$^{\circ}\text{C}$	افت دما در شیر اختناق	ΔT_{IV}
$\text{W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$	ضریب انتقال حرارت کلی	U_c

نمادهای یونانی

راندمان حرارتی	η_h
ضریب جذب صفحه جاذب	α
ضریب عبور شیشه	τ

Abstract

Natural gas is transported between production points and consuming locations at very high pressure. At consuming locations, the natural gas pressure has to be reduced to a working level. The pressure reduction takes places at City Gate Station (CGS). The gas must be preheated before pressure reduction takes places to ensure that it remains above the hydrate-formation zone and dew point, so that no liquid or solid phase condenses at the station exit. Indirect Water Bath Gas Heaters (known as line heater) are employed in the CGS to preheat the natural gas. The heaters are not equipped with automatic control systems. The heaters consume considerable amount of natural gas flowing through the CGS as fuel to provide the required heat for preheating the natural gas stream. As the low temperature heat is required for preheating the natural gas, a solar system has been proposed to provide part of heat demand. The solar system consists of a collector array and a storage tank. The feasibility study of proposed system for a CGS unveils that the payback ratio is only 7.2 years.