



## سیستم ترکیبی خورشیدی راه حلی نوین برای گرمایش گاز طبیعی در ایستگاه تقلیل فشار

ابوالفضل بیات - دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک - تبدیل انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان

کمال عباسپورثانی - استادیار دانشکده مهندسی مکانیک - دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان،

فریدون حیدری - دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک - تبدیل انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان

محمد وثوق - دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک - تبدیل انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان

E-mail: [bayat\\_ab@yahoo.com](mailto:bayat_ab@yahoo.com)

چکیده: گاز طبیعی با فشار بالا در خطوط انتقال گاز جریان دارد و در محل ورود به شهرها و نقاط مصرف، فشار گاز تا فشار مورد نیاز، کاهش داده می‌شود. این کاهش فشار در ایستگاههایی به نام ایستگاه تقلیل فشار (City Gate Station) انجام می‌پذیرد. در این ایستگاهها از گرمکن گازی جهت افزایش دمای گاز برای جلوگیری از یخ زدن گاز طبیعی هنگام عبور از شیر فشارشکن استفاده می‌شود. سوخت این گرمکن‌ها از گاز طبیعی می‌باشد. در این مقاله امکان استفاده از انرژی خورشید جهت گرمایش گاز طبیعی در ایستگاه تقلیل فشار بررسی شده است و استفاده از انرژی خورشید بصورت ترکیبی با سوخت فسیلی جهت بهینه‌سازی مصرف سوخت پیشنهاد شده است. مطالعه موردی برای یک ایستگاه تقلیل فشار به ظرفیت  $5000 \text{ m}^3/\text{hr}$  در شرایط اقلیمی شهر سلطانیه از توابع استان زنجان انجام شده و در نتیجه استفاده از تعداد ۳۵ کلکتور تخت خورشیدی به همراه سوخت فسیلی پیشنهاد شده است. در صورت استفاده از سیستم فوق، سالانه مقدار ۵۲۲۱ متر مکعب گاز طبیعی صرفه جویی می‌شود که معادل ۱۶٫۱٪ سوخت اولیه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ایستگاه تقلیل فشار گاز، گرمکن گازی، بهینه‌سازی مصرف انرژی، شیر فشارشکن

## Solar Hybrid System as an Alternative for Pre-heating of Natural Gas in City Gate Stations

A. Bayat, M.S. student, Dept. of Mech. Eng., Takestan Branch, Islamic Azad University

K. Abbaspoursani, Ass. Prof., Dept. of Mech. Eng., Takestan Branch, Islamic Azad University

F. Heydari, M.S. student, Dept. of Mech. Eng., Takestan Branch, Islamic Azad University

M. Vosogh, M.S. student, 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 be done at City Gas Stations (CGS), where for avoiding of gas freezing it pre-heated by a gas-burner. This paper deals with the feasibility of utilizing solar Energy in CGS for gas preheating. For that a case study has been carried out with a thermal capacity of  $5000 \text{ m}^3/\text{h}$  at Soltaneyeh city in Zandjan district. A solar Hybrid system with 35 Water solar collectors has been proposed. The results show that by utilizing this system, annually, an amount of 5200  $\text{m}^3$  natural gas saved these equivalents 16% of present total consumption in CGS.

**Keywords:** city gas station, gas heater, Energy consumption optimization, and pressure-reducing valve.

## ۱- مقدمه

امروزه یکی از عظیم‌ترین منابع انرژی فسیلی پس از نفت و ذغال سنگ، انرژی گاز طبیعی است. فراوانی در طبیعت، سهولت انتقال، ارزش حرارتی نسبتاً بالا، پاکیزگی مصرف و نیز پایین بودن نشر آلودگی زیست محیطی، موجب گردیده است که این منبع انرژی بسیار مورد توجه قرار گیرد و علی‌رغم ریسک‌های احتمالی آن (در ایستگاه‌های تولید، انتقال و مصرف) از استقبال خوب مصرف‌کنندگان برخوردار باشد.

به‌منظور حفظ ایمنی در تاسیسات لوله کشی گاز شهری، در هنگام ورود گاز به نقاط مصرف لازم است از ایستگاه‌های تقلیل فشار گاز استفاده گردد. تا فشار شبکه به فشار ایمن و مور نیاز تقلیل یابد. از مهمترین قسمت‌های ایستگاه تقلیل فشار، سیستم تنظیم فشار گاز (شیر فشار شکن) و گرمکن گازی می‌باشد.

هدف اصلی در این مقاله، بررسی و امکان‌سنجی فنی بکارگیری جمع‌کننده‌های خورشیدی تخت، جهت گرمایش گاز طبیعی در ایستگاه‌های تقلیل فشار گاز سلطانیه و جایگزینی انرژی خورشیدی به جای استفاده از سوخت‌های فسیلی و همچنین صرفه جویی در مصرف گاز و کاهش آلاینده‌های زیست محیطی می‌باشد.

مطابق معادله عمومی گازها، با کاهش فشار در حجم ثابت، دمای گاز نیز کاهش می‌یابد، و هنگامی که دمای آن به دمای نقطه شبنم گاز طبیعی نزدیک گردد، بخار میعان‌ات همراه گاز، به‌صورت مایع در آمده و سبب تشکیل هیدرات‌گازی و یخ زدن گاز طبیعی در شیر فشار شکن می‌گردد. جهت جلوگیری از این اتفاق، گاز طبیعی قبل از رسیدن به شیر فشار شکن، توسط گرمکن گازی که در ایستگاه‌های تقلیل فشار قرار دارد، گرم می‌شود. تامین سوخت این گرمکن از گاز طبیعی می‌باشد. در این مقاله، با استفاده از اطلاعات هواشناسی شهر سلطانیه، یک امکان‌سنجی فنی در خصوص استفاده از انرژی خورشید به جای سوخت گاز طبیعی جهت گرم کردن گاز در گرمکن گازی

انجام شده است. در شکل (۱) طرحواره یک ایستگاه تقلیل فشار گاز نشان داده شده است.

## ۲- انتخاب تعداد بهینه کلکتورها

در این بخش هدف تعیین بهترین طراحی برای استفاده از انرژی خورشیدی برای کاهش گاز مصرفی گرمکن ایستگاه تقلیل فشار گاز سلطانیه می‌باشد. طبق بررسی‌های انجام شده بهترین طرح در این مورد استفاده همزمان از انرژی خورشیدی و گرمکن گازی جهت گرم کردن گاز عبوری می‌باشد. با طراحی چنین سیستمی علاوه بر استفاده از ظرفیت انرژی خورشیدی در کاهش گاز مصرفی گرمکن، می‌توان از قابلیت بالای سیستم و انجام صحیح فرآیند کاهش فشار، بدون ایجاد یخ زدگی نیز اطمینان داشت.

در سیستم خورشیدی طراحی شده، برای کمک به کاهش مصرف گاز طبیعی در گرمکن ایستگاه CGS نقش تعیین‌کننده را تعداد کلکتورها بازی می‌کند. هر چند در این طرح، نیاز به سیستم انتقال آب‌گرم از کلکتورها اعم از لوله کشی و پمپ نیز مورد نیاز است، ولی با توجه به هزینه ناچیز اجرای سیستم انتقال در مقابل هزینه کلکتورها، می‌توان از آن صرف‌نظر کرد. این در حالی است که تخفیف ناشی از خرید بالای کلکتور می‌تواند هزینه‌های جانبی را جبران نماید. با توجه به مطالب بیان شده واضح است که انتخاب تعداد کلکتور بهینه برای سیستم نقش اساسی خواهد داشت.

جهت انتخاب تعداد کلکتور بهینه بر مبنای اقتصادی، باید هزینه تعداد کلکتورها را با هزینه پارامتر مهم در گرمکن گازی مقایسه نمود. در نتیجه مقایسه این دو پارامتر که هر دو بصورت قیمت می‌باشند، می‌توان تصمیم درستی برای تعیین تعداد کلکتورها داشت. علی‌القاعده در کارکرد گرمکن‌های گازی می‌توان مهمترین عامل را میزان مصرف گاز طبیعی به عنوان سوخت گرمکن و در نتیجه هزینه تمام شده آن دانست. که در

کلکتور صفحه تخت در شهر سلطانیه می‌باشد. در ایران خوشبختانه سازندگان و وارد کنندگان تجهیزات بهره برداری از انرژی خورشیدی رو به افزایش است و در چند سال اخیر شرکت‌ها و بخش‌های مرتبط با این صنعت رو به افزایش می‌باشد.

در این پژوهش مشخصات یک کلکتور از شرکت KBB جهت استفاده در سیستم خورشیدی مورد نظر انتخاب گردید که مشخصات آن در جدول شماره (۱) آمده است.

همان طور که در جدول (۱) مشخص است مساحت واقعی کلکتور مورد استفاده  $2 \text{ m}^2$  می‌باشد. همچنین با استفاده از مشخصات کلکتور میزان دبی جرمی در گردش برای کلکتور نیز  $80 \text{ kg/hr}$  در نظر گرفته می‌شود. حرارت مفید قابل جذب توسط یک جمع کننده تخت خورشیدی از رابطه (۱) بدست می‌آید [۲]:

$$q_u = F_R A_C [S - U_L (T_{fi} - T_a)] \quad (1)$$

در رابطه (۱)  $F_R$  نرخ حرارت مفید واقعی،  $A_C$  سطح کلکتور،  $S$  مقدار تابش جذب شده،  $U_L$  ضریب کلی تلفات حرارتی از کلکتور،  $T_{fi}$  دمای صفحه جذب و  $T_a$  دمای محیط می‌باشد.

$F_R$  بیان کننده نرخ حرارت مفید واقعی به دست آمده نسبت به مقدار حرارتی که می‌توانست جذب شود، در صورتی که صفحه جذب گردآورنده در دمای  $T_{fi}$  باشد، است. این مقدار ما بین ۰ و ۱ می‌باشد. و مطابق رابطه (۲) محاسبه می‌گردد.

$$F_R = \frac{\dot{m} C_p}{U_L A_C} \left[ 1 - \exp\left(\frac{-F' U_L A_C}{\dot{m} C_p}\right) \right] \quad (2)$$

$\dot{m}$  مقدار دبی جرمی و  $C_p$  ظرفیت گرمایی ویژه سیال می‌باشد. با توجه به اینکه در جمع کننده تخت مورد مطالعه، لوله‌های سیال در میان صفحه جذب قرار دارند، از رابطه (۳) برای محاسبه  $F'$  استفاده شده است.

نهایت برای تعیین تعداد کلکتور بهینه این دو عامل اقتصادی یعنی هزینه کلکتورها و همچنین ارزش فعلی هزینه گاز مصرفی را با هم مقایسه نمود.

در این مقاله بر اساس استعلام از تامین کنندگان کلکتورهای خورشیدی تخت، قیمت هر کلکتور ده میلیون ریال در نظر گرفته شده است. همچنین قیمت گاز طبیعی بر مبنای قیمت جهانی و استعلام از شرکت گاز، به ازای هر متر مکعب مبلغ  $3600$  ریال در نظر گرفته شده است [۱].

با توجه به مطالب بیان شده برای تعیین تعداد کلکتور بهینه، هزینه مالی برای تعداد متفاوت کلکتور را با هزینه سوخت گرمکن در شرایط استفاده از سیستم کمکی خورشیدی با تعداد کلکتور مشخص با هم در یک نمودار مقایسه می‌شوند. این مقایسه کمک شایانی به انتخاب تعداد کلکتور بهینه خواهد بود. با توجه به مطالب بیان شده در شکل (۲) هزینه کلکتورها و هزینه سوخت گرمکن در حضور سیستم خورشیدی برای تعداد کلکتورهای مختلف نمایش داده شده است.

در این شکل هزینه کلکتورها و هزینه سوخت گرمکن در حضور سیستم خورشیدی برای تعداد کلکتورهای مختلف از تعداد ۱۰ عدد تا ۸۰ عدد بصورت بازه‌های ۱۰ تایی آمده است. پر واضح است که هزینه کلکتورها با افزایش تعداد آنها افزایش می‌یابد. از سوی دیگر، در این نمودار هزینه سوخت گرمکن در حضور سیستم خورشیدی و با تعداد کلکتورهای مختلف نمایش داده شده است. با ترسیم این دو در یک نمودار، آنها در یک نقطه همدیگر را قطع می‌کنند که از این نقطه می‌توان به عنوان نقطه بهینه برای یافتن تعداد کلکتور بهینه استفاده کرد. این دونمودار یکدیگر را در حدود نقطه ۳۵ کلکتور قطع نموده‌اند. در نتیجه تعداد بهینه کلکتورها را ۳۵ عدد در نظر می‌گیریم.

### ۳- توان تولیدی سیستم خورشیدی در شرایط اقلیمی سلطانیه

در این بخش هدف ارائه نتایج تولید حرارت با استفاده از ۳۵

حال بعد از محاسبه میزان شار گرمایی تولیدی توسط ۳۵ کلکتور تخت خورشیدی در شرایط اقلیمی سلطانیه، به بررسی میزان شار حرارتی مورد نیاز گرمکن در حضور سیستم خورشیدی با ۳۵ کلکتور می‌پردازیم. در شکل‌های (۷) تا (۱۰) میزان شار حرارتی مورد نیاز گرمکن در حضور سیستم خورشیدی آمده است.

همان‌طور که در شکل‌های فوق مشهود است، در فصل تابستان بین ساعات ۹ تا ۱۲ سیستم خورشیدی بطور کامل می‌تواند وظیفه گرمایش گاز را بر عهده بگیرد و در نتیجه گرمکن می‌تواند بطور کامل خاموش شود. استفاده از این سیستم خورشیدی می‌تواند کمک شایانی در کاهش کار گرمکن ایفا نماید.

**۵- میزان صرفه‌جویی گاز طبیعی با حضور سیستم خورشیدی**  
کم شدن کار گرمکن با استفاده از سیستم خورشیدی در کاهش گاز مصرفی گرمکن نیز نقش بسزایی دارد. با در نظر گرفتن ارزش حرارتی سوخت گاز طبیعی موجود در خطوط انتقال گاز شهر سلطانیه، در شکل‌های (۱۱) تا (۱۴) میزان صرفه‌جویی گاز در شرایط استفاده از سیستم خورشیدی با ۳۵ کلکتور نمایش داده شده است.

همان‌طور که در نمودارهای بالا مشهود است، استفاده از سیستم خورشیدی با ۳۵ کلکتور می‌تواند باعث صرفه‌جویی قابل توجهی در طی ماه‌های مختلف گردد. از سوی دیگر، استفاده از این تعداد کلکتور در کارکرد سالیانه گرمکن نیز بسیار موثر خواهد بود.

#### ۶- نتیجه‌گیری

در نتیجه‌گیری نهایی این سیستم، می‌توان گفت که استفاده از سیستم خورشیدی با ۳۵ کلکتور نیاز به سرمایه‌گذاری حدود ۳۵ میلیون تومانی با احتساب قیمت هر کلکتور ۱۰ میلیون ریال

$$F' = \frac{1}{WU_L \left[ \frac{1}{U_L [(W - D_o)\rho] + D_o} \right] + \frac{1}{\pi D_i h_f}} \quad (۳)$$

که در رابطه فوق  $D_i$  قطر داخلی لوله،  $D_o$  قطر خارجی لوله و  $h_f$  ضریب انتقال حرارت جابجائی سیال در سطح داخلی لوله می‌باشد.

در این تحقیق برای شار جذب شده ساعتی از رابطه معمول و مشهور ایزوتروپیک [۲] استفاده شده است. رابطه محاسبه تابش جذبی در روش ایزوتروپیک به صورت رابطه (۴) بیان می‌شود.

$$S_{iso} = I_b R_b (\tau\alpha)_b + 0.5 \left[ I_d (\tau\alpha)_d (1 + \cos \beta) + \rho_g (I_b + I_d) (\tau\alpha)_g (1 - \cos \beta) \right] \quad (۴)$$

زاویه  $\beta$  زاویه‌ای است که صفحه کلکتور با افق خواهد داشت که این زاویه به زاویه شیب (Slope) معروف است. زاویه  $\beta$  به طور مستقیم تابعی از عرض جغرافیایی است و برای هر یک از کشورهای دنیا فرمولی تجربی و متفاوت با کشوری دیگر دارد. در ایران پیشنهاد می‌شود برای انتخاب زاویه شیب عرض جغرافیایی محلی ( $\phi$ )، را در نظر بگیریم. اما این فقط یک تقریب است بهترین نتیجه را با محاسبه از طریق سعی و خطا می‌توان به دست آورد که در این تحقیق همان عرض جغرافیایی ۳۶/۴۱° در نظر گرفته شده است.

با توجه به فرضیات بیان شده و تشریح روش محاسبه میزان حرارت تولید شده توسط یک جمع‌کننده تخت خورشیدی، اکنون می‌توان میزان حرارت فوق را برای ماه‌های مختلف و شرایط دمایی گوناگون در منطقه سلطانیه محاسبه نمود. در شکل‌های (۳) تا (۶) میزان حرارت تولید شده توسط ۳۵ کلکتور تخت خورشیدی برای شهر سلطانیه برحسب میانگین ساعتی آمده است.

**۴- بار حرارتی مورد نیاز گرمکن در حضور سیستم خورشیدی**

[2] Duffie J. A., and Beckman W. A., "Solar Engineering of Thermal Processes", Second Edition, Madison, USA, A wiley-interscience Publication, (1991).

جدول (۱): مشخصات کلکتور خورشیدی مورد استفاده

۱۸۷۰ mm	طول جمع کننده
۱۱۵۰ mm	عرض جمع کننده
۷۵ mm	ضخامت جمع کننده
شیشه	جنس روکش
۳,۲ mm	ضخامت روکش
۰,۵ mm	ضخامت صفحه جاذب
۱۰ mm	قطر داخلی لوله‌ها
۱۲ mm	قطر خارجی لوله‌ها
۱۵۰ mm	فاصله لوله‌ها
۲ m <sup>2</sup>	مساحت صفحه جاذب
مس	جنس صفحه جاذب

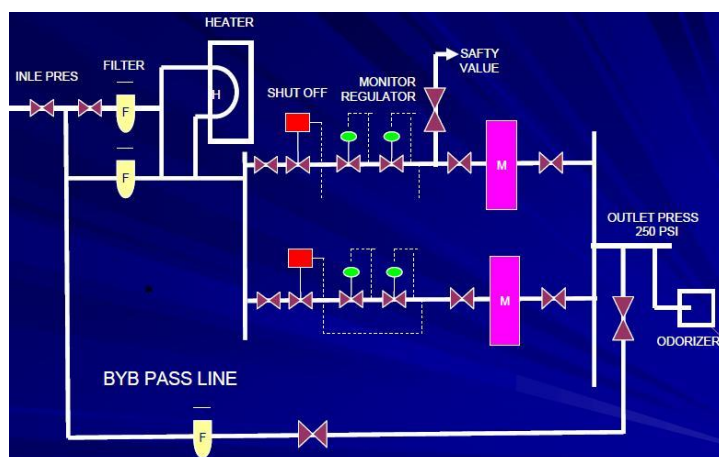
می باشد. و این در حالی است که میزان مصرف سوخت گرمکن بطور سالیانه از میزان ۳۲۳۶۳ متر مکعب به میزان ۲۷۱۴۲ متر مکعب کاهش می یابد. با توجه به کاهش مصرف سوخت گرمکن می توان گفت در طول سال با این سیستم و استفاده از ۳۵ کلکتور در حدود ۵۲۲۱ متر مکعب سوخت در گرمکن کمتر مصرف خواهد شد که این کاهش مصرف سوخت معادل ۱۶,۱٪ درصد سوخت مصرفی می باشد.

#### ۷- قدردانی

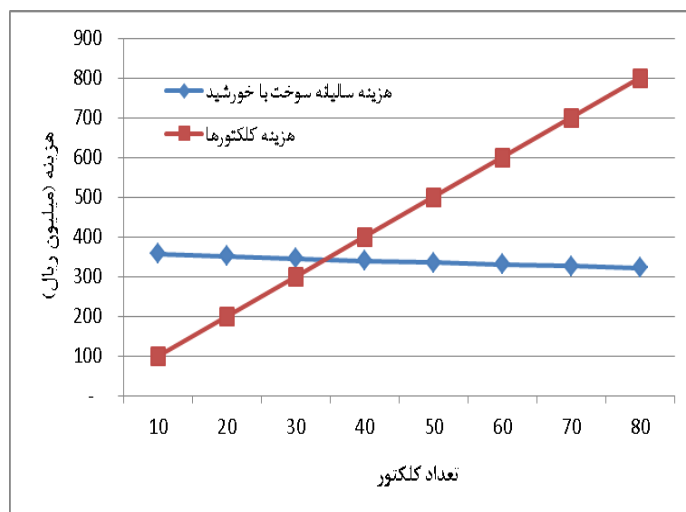
در پایان از حمایت‌های علمی و مالی شرکت گاز استان زنجان، تشکر و قدردانی می گردد.

#### ۸- مراجع

[۱] پایگاه اینترنتی: <http://www.nigc.ir>



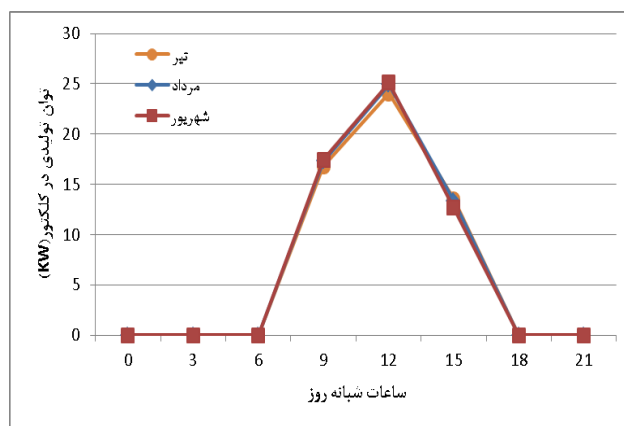
شکل (۱): طرحواره یک ایستگاه تقلیل فشار گاز



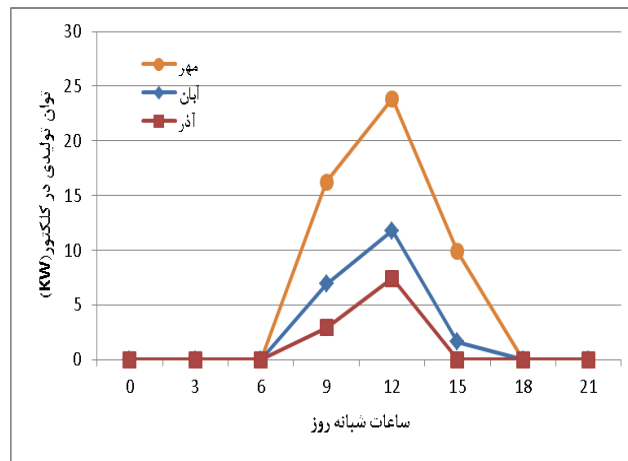
شکل (۲): روند هزینه سیستم خورشیدی بر حسب تعداد کلکتور



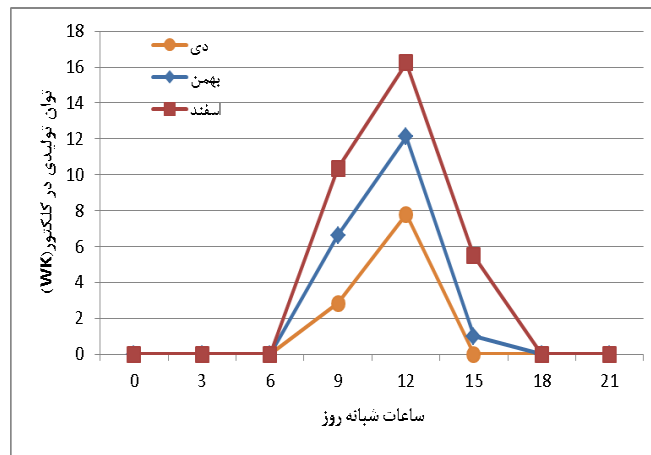
شکل (۳): روند تغییرات توان تولیدی کلکتورها برای فصل بهار



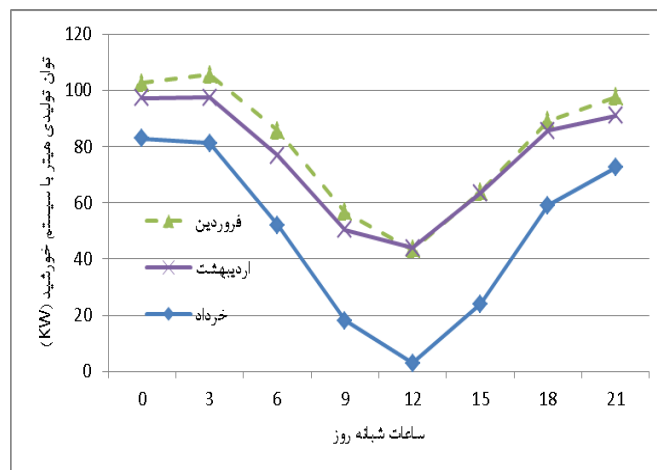
شکل (۴): روند تغییرات توان تولیدی کلکتورها برای فصل تابستان



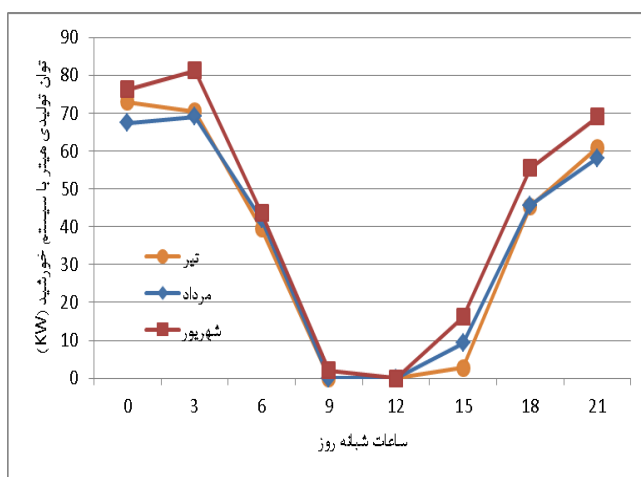
شکل (۵): روند تغییرات توان تولیدی کلکتورها برای فصل پائیز



شکل (۶): روند تغییرات توان تولیدی کلکتورها برای فصل زمستان



شکل (۷): روند تغییرات بار حرارتی تولیدی گرمکن با سیستم خورشیدی برای فصل بهار



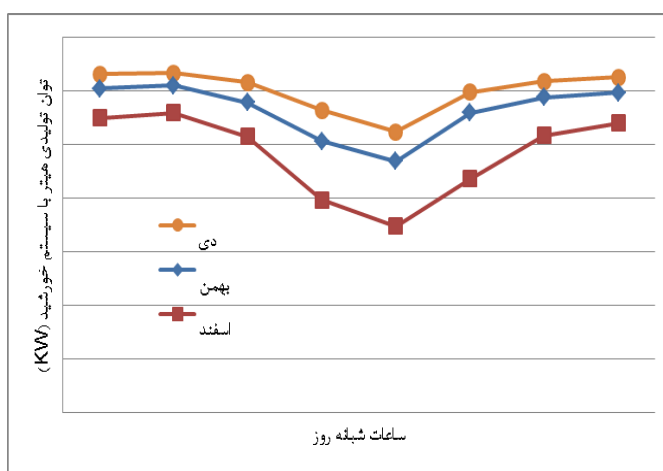
شکل (۸): روند تغییرات بار حرارتی تولیدی گرمکن با سیستم خورشیدی برای

فصل تابستان



شکل (۹): روند تغییرات بار حرارتی تولیدی گرمکن با سیستم خورشیدی برای

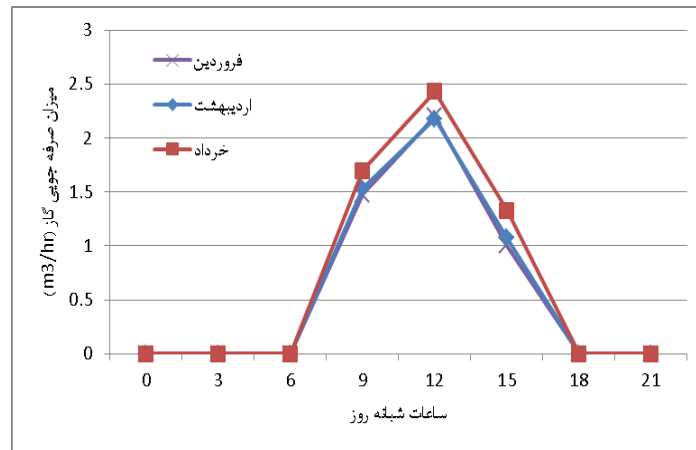
فصل پائیز



شکل (۱۰): روند تغییرات بار حرارتی تولیدی گرمکن با سیستم خورشیدی برای

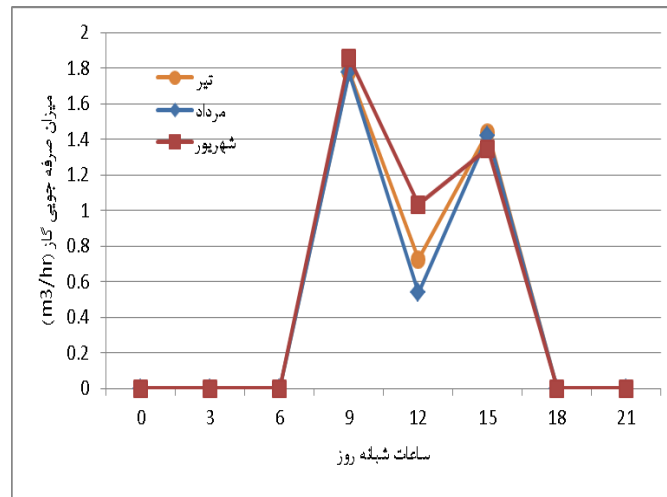
فصل زمستان





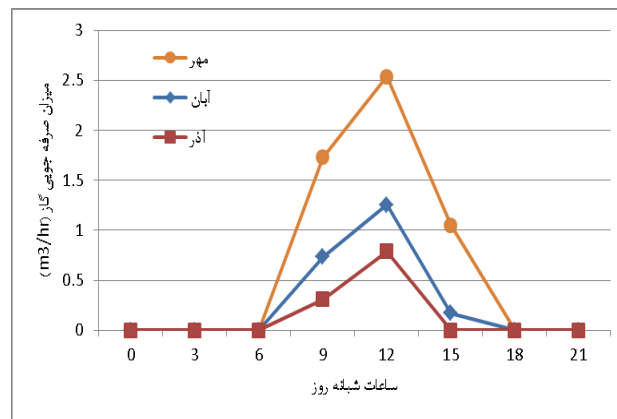
شکل (۱۱): روند تغییرات میزان صرفه‌جویی گاز طبیعی با استفاده از سیستم

خورشیدی برای فصل بهار



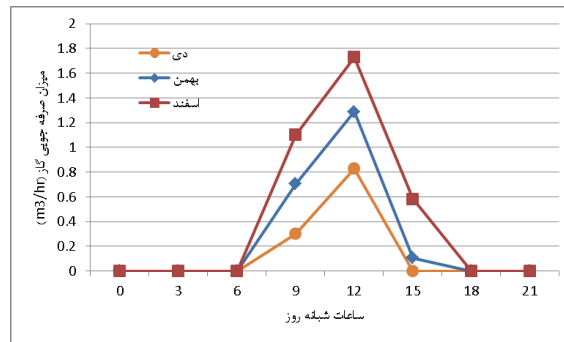
شکل (۱۲): روند تغییرات میزان صرفه‌جویی گاز طبیعی با استفاده از سیستم

خورشیدی برای فصل تابستان



شکل (۱۳): روند تغییرات میزان صرفه‌جویی گاز طبیعی با استفاده از سیستم

خورشیدی برای فصل پاییز



شکل (۱۴): روند تغییرات میزان صرفه جویی گاز طبیعی با استفاده از سیستم خورشیدی برای فصل زمستان

