



بِسْمِ ... الرحمن الرحيم



موسسه آموزش عالی انرژی  
دانشکده فنی و مهندسی  
پایان نامه دوره کارشناسی ارشد  
مهندسی مکانیک-تبدیل انرژی

**عنوان :**

# **استفاده از انرژی خورشیدی در ایستگاه تقلیل فشار (CGS) برای کاهش مصرف سوخت فسیلی (مطالعه موردی شهر همدان)**

**اساتید راهنما :**

**دکتر احمد قریب**

**دکتر رضا علائی**

**پژوهشگر :**

**مجتبی جوادى شعار**

**تابستان ۱۳۹۵**



## موسسه آموزش عالی انرژی

### به نام خدا منشور اخلاق پژوهش

بیاری از خدایان و عقاید این که عالم محض خداست و همواره ناظر بر اعمال انسان و به منظور پاس داشت مقام بلند دانش و پژوهش و نظریه اهمیت جایگاه دانشگاه در اعتلای فرهنگ و تمدن بشری، مادیانجویان و اعضاء هیات علمی و اعضای دانشگاه آزاد اسلامی متعهد می گردیم اصول زیر را در انجام فعالیت های پژوهشی مد نظر قرار داده و از آن تعجلی نکنیم:

- ۱- اصل برانست: التزام به برانست جویی از حرکت زرقار غیر حرفه ای و اعلام موضع نسبت به کسانی که حوزه علم و پژوهش را به مثابه پای غیر علمی می آلائند.
- ۲- اصل رعایت انصاف و امانت: تعهد به اجتناب از حرکت جانب داری غیر علمی و حفاظت از اموال، تجهیزات و منابع در اختیار.
- ۳- اصل ترویج: تعهد به رواج دانش و ابداع نتایج تحقیقات و انتقال آن به بکاران علمی و دانشجویان به غیر از مواردی که منع قانونی دارد.
- ۴- اصل احترام: تعهد به رعایت حریم با و حرمت با و در انجام تحقیقات و رعایت جانب نقد و خودداری از حرکت حرمت شکنی.
- ۵- اصل رعایت حقوق: التزام به رعایت کامل حقوق پژوهشگران و پژوهشگران (انسان، حیوان و نبات) و سایر صاحبان حق.
- ۶- اصل رازداری: تعهد به صیانت از اسرار و اطلاعات محرمانه افراد، سازمان ها و کشورهای دیگر و نهاد های مرتبط با تحقیق.
- ۷- اصل حقیقت جویی: تلاش در راستای پی جویی حقیقت و وفاداری به آن و دوری از حرکت پنهان سازی حقیقت.
- ۸- اصل مالکیت مادی و معنوی: تعهد به رعایت کامل حقوق مادی و معنوی دانشگاه و بکاران پژوهش.
- ۹- اصل منافع ملی: تعهد به رعایت مصالح ملی و در نظر داشتن پیشبرد و توسعه کشور در کلیه مراحل پژوهش.



## حوزه معاونت آموزشی و تحصیلات تکمیلی موسسه آموزش عالی انرژی

### تعهدنامه اصالت پایان نامه

اینجانب مجتبی جوادى شعار دانش آموخته مقطع کارشناسی ارشد ناپیوسته در رشته مهندسی مکانیک که در تاریخ..... از پایان نامه خود با عنوان استفاده از انرژی خورشیدی در ایستگاه تقلیل فشار (CGS) برای کاهش مصرف سوخت فسیلی (مطالعه موردی شهر همدان) با کسب نمره ..... و درجه ..... دفاع نموده ام بدین وسیله اعتراف می کنم:

(۱) این پایان نامه حاصل تحقیق و پژوهش اینجانب بوده و در مواردی که از دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران (اعم از پایان نامه، کتاب، مقاله و ...) استفاده کرده ام، مطابق ضوابط موجود، نام منبع مورد استفاده و سایر مشخصات آن را در فهرست منابع ذکر و درج نموده ام.  
(۲) این پایان نامه قبلاً برای دریافت هیچ مدرک تحصیلی (هم سطح، پایین تر یا بالاتر) در سایر دانشگاه ها و مؤسسات آموزش عالی داخلی و خارجی ارائه نشده است.

ضمناً متعهد می شوم:

(۳) چنانچه بعد از فراغت از تحصیل، قصد استفاده و هر گونه بهره برداری اعم از چاپ مقاله، کتاب، ثبت اختراع و ... از این پایان نامه را داشته باشم، از استاد محترم راهنما و گروه آموزشی مربوطه مجوزهای لازم را اخذ نمایم.

(۴) چنانچه در هر مقطع زمانی خلاف موارد فوق ثابت شود، عواقب ناشی از آن را بپذیرم و موسسه آموزش عالی انرژی مجاز است با اینجانب مطابق ضوابط و مقررات رفتار نموده و در صورت ابطال مدرک تحصیلی ام، هیچگونه ادعایی نخواهم داشت.

نام و نام خانوادگی:

تاریخ و امضاء:

تقدیم به :

همه‌ی آزاد مردان و شیرزنانی که برای اقتدار، سربلندی و پیشرفت ایران  
قدمی برداشتند. آنان که از کنار سختی‌ها، کاستی‌ها، نا امنی‌ها و بی‌عدالتی‌ها  
بی‌تفاوت نگذشتند. آنان که غم، فقر و گرسنگی دیگران را غم، فقر و گرسنگی  
خود دانستند.

## تشکر و قدردانی

حمد و سپاس خدای را که توفیق کسب دانش و معرفت را به ما عطا فرمود. در اینجا بر خود لازم می دانم از تمامی اساتید به ویژه اساتید دوره کارشناسی ارشد که در طول سالیان گذشته مرا در تحصیل علم و معرفت و فضائل اخلاقی یاری نموده اند تقدیر و تشکر نمایم.

از اساتید گرامی و بزرگوار جناب آقای دکتر احمد غریب و جناب آقای دکتر رضا علائی که راهنمایی اینجانب را در انجام تحقیق، پژوهش و نگارش این پایان نامه تقبل نموده اند نهایت تشکر و سپاسگزاری را دارم.

## چکیده :

برای رساندن گاز از پالایشگاه به مبادی مصرف لازم است فشار گاز خطوط لوله را تا حد زیادی بالا برند تا در دورترین فواصل نسبت به پالایشگاه گازرسانی با مشکل مواجه نشود. به همین خاطر در بین راه تلمبه خانه‌هایی تعبیه گردیده که که افت فشار حاصل از اصطکاک و طولانی بودن مسیر را جبران کند. حال اگر بخواهند از خط لوله انشعابی برای مصرف کنندگان بین مسیر بگیرند باید فشار گاز را متناسب با آن مصرف کننده تنظیم (کاهش) کنند جهت این عمل نیازمند تاسیساتی بنام ایستگاه تقلیل فشار CGS می باشد کار اصلی این ایستگاه کاهش فشار گاز میباشد. معمولا فشار گاز موجود در خطوط اصلی گاز حدود  $1000 \text{ psi}$  میباشد و این فشار برای خطوط شهری فشار بالایی است. فشار گاز با عبور از رگلاتورهای موجود در ایستگاه (متناسب با سایز و تعداد رگلاتورها) کاهش می یابد. این کاهش فشار آنی باعث افت دمای گاز می گردد بطوریکه به ازای هر  $100 \text{ psi}$  تقریبا ۷ درجه فارنهایت کاهش دما ایجاد می شود. چون در گاز با وجود سیستم فیلتراسیون باز مقدار ناچیزی از ذرات بخار آب وجود دارد کاهش دما باعث ایجاد یخ زدگی گاز و در نتیجه انسداد مسیر گاز می شود. جهت رفع این مشکل یه هیتر در کنار هر ایستگاه نظر گرفته شده است. این هیتر دمای گاز را آنقدر بالا می برد تا بعد از افت فشار به دمای نرمال برسد. این هیترها گازسوز و بسیار پر مصرف هستند. حال برای کاهش مصرف و بهینه کردن این سیستم در این تحقیق یک سیستم پیشگرمکن خورشیدی با نرم افزار ترنسیس طراحی و ارزیابی می شود.

کلمات کلیدی : ایستگاه تقلیل فشار گاز - کاهش فشار - سیستم خورشیدی - ترنسیس



## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
أ	چکیده.....
	فصل اول
۲	۱-۱- مقدمه.....
۳	۲-۱- ضرورت اجرا.....
۴	۳-۱- هدف.....
	فصل دوم: انرژی خورشیدی
۱۳	۱-۲- خورشید.....
۱۵	۲-۱-۱- تاریخچه استفاده از انرژی خورشید در ایران و جهان.....
۱۵	۲-۱-۲- اطلس خورشیدی دنیا.....
۱۷	۲-۱-۳- اطلس خورشیدی ایران.....
۱۸	۲-۱-۴- اقلیم شهر همدان.....
۱۹	۲-۲- تابش خورشیدی.....
۱۹	۲-۲-۱- بانک اطلاعاتی داده‌های تابش.....
۲۲	۲-۲-۲- بررسی مدل‌های محاسبات تابش خورشید.....
۳۱	۲-۲-۳- زوایای حرکت خورشید و زاویه‌های لازم دیگر.....
۳۳	۳-۲- سیستم‌های حرارتی خورشیدی.....
۳۳	۲-۳-۱- مفاهیم: قبل از پرداختن به جزئیات سیستم‌های حرارتی خورشیدی...
۳۴	۲-۳-۲- سیستم‌های غیرنیروگاهی انرژی خورشیدی.....
۳۵	۲-۳-۳- آبگرمکن خورشیدی.....
۳۷	۲-۳-۴- سیستم‌های نیروگاهی انرژی خورشیدی.....
۴۴	۲-۳-۵- انواع کلکتور خورشیدی.....
۴۹	۲-۳-۶- انرژی خورشیدی در مبدل حرارتی.....
۵۱	۲-۳-۷- ذخیره سازی.....
	فصل سوم: ایستگاه تقلیل فشار
۵۴	۳-۱- گاز طبیعی.....

۵۴	..... ۱-۱-۳-تاریخچه
۵۴	..... ۲-۱-۳-آشنایی با گاز طبیعی (Natural Gas)، خواص و روابط حاکم بر آن
۶۱	..... ۲-۳-انواع خطوط گاز
۶۳	..... ۳-۳-ایستگاه تقلیل فشار
۶۳	..... ۱-۳-۳-انواع ایستگاههای تقلیل فشار گاز بر اساس کاربرد
۶۵	..... ۲-۲-۳-اجزا و عملکرد آنها
۷۰	..... ۲-۳-۳-گرم کن (هیتر)

#### فصل چهارم: طراحی سیستم-مدلسازی خورشیدی

۷۴	..... ۱-۴-مقدمه
۷۵	..... ۲-۴-محاسبه دمای گاز ورودی و میزان افت دما در عبور از شیرهای اختناق
۸۵	..... ۳-۴-نحوه محاسبه گرمای مورد نیاز جهت گرمایش گاز عبوری از هیتر
۸۹	..... ۴-۴-محاسبه توان مورد نیاز هیتر ایستگاه
۹۲	..... ۵-۴-تعیین مصرف سوخت هیتر
۹۵	..... ۶-۴-مدلسازی خورشیدی
۹۵	..... ۱-۶-۴-ترنسیس
۹۷	..... ۲-۶-۴-مدلسازی
۹۹	..... ۳-۶-۴-کسر خورشیدی
۱۰۶	..... ۴-۷-تعیین میزان صرفه جویی با احتساب استفاده از سیستم خورشیدی
۱۰۹	..... ۸-۴-جمع بندی و پیشنهاد برای آینده
۱۱۱	..... منابع

## فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول (۱-۲) مشخصات اقلیمی شهر همدان (۱۵).....	۱۸
جدول (۲-۲) مشخصات برخی از ایستگاه‌های هواشناسی در ایران (۱۳).....	۲۱
جدول (۳-۲) ضرایب انگستروم برای ایستگاه‌های موجود در ایران (۱۳).....	۲۴
جدول (۴-۲) ضرایب مدل بریستو و کمپبل برای مناطق مختلف ایران (۱۳).....	۲۵
جدول (۵-۲) ضرایب مدل هارگریوز برای مناطق مختلف ایران (۱۳).....	۲۷
جدول (۶-۲) مقایسه مدل‌های محاسبه تابش در ایستگاه‌های مختلف (۱۳).....	۲۹
جدول (۷-۲) رتبه بندی مدل‌ها در ایستگاه‌ها (۱۳).....	۳۱
جدول (۸-۲) مقدار n برای هر ماه (Pacheco ۲۰۰۲).....	۳۳
جدول (۹-۲) مقایسه‌ای مختصر از کلکتورهای مرسوم (۲۱).....	۴۴
جدول (۱-۳) خواص شیمیایی و فیزیکی گاز طبیعی در خطوط انتقال (۲۵).....	۵۶
جدول (۲-۳) خواص اختصاصی و احتراقی گاز طبیعی (۲۵).....	۵۸
جدول (۳-۳) خواص احتراقی هیدروکربن‌های سبک (۲۵).....	۵۹
جدول (۴-۳) تقسیم بندی ایستگاه‌های تقلیل فشار بر اساس کاربرد (۲۸).....	۶۴
جدول (۱-۴) مشخصات هیتراگازی مورد مطالعه (۲۹).....	۷۶

## فهرست شکل ها

عنوان	صفحه
شکل (۱-۱) نمای کلی سیستم انتقال گاز طبیعی (۱).....	۳
شکل (۲-۱) سیستم آبگرمکن خورشیدی (Kalogirou,s,2009).....	۸
شکل (۳-۱) سیستم خورشیدی کمکی.....	۹
شکل (۱-۲) ترکیب هسته‌ای مرکز خورشید (Beckman,w,1977).....	۱۳
شکل (۲-۲) نمودار تابش متوسط سالیانه خورشید.....	۱۴
شکل (۳-۲) شماتیک برخورد انرژی خورشیدی با زمین.....	۱۶
شکل (۴-۲) اطلس خورشیدی دنیا (۱۴).....	۱۷
شکل (۵-۲) اطلس خورشیدی ایران .....	۱۷
شکل (۶-۲) برخورد تابش خورشید با زمین.....	۱۹
شکل (۷-۲) زاویه سمت الراس و فراز خورشید (Pacheco ۲۰۰۲).....	۳۲
شکل (۸-۲) سیستم یک آبگرمکن خورشیدی (Kalogirou,s,2009).....	۳۵
شکل (۹-۲) نمایی از بخش متمرکز کننده کلکتورهای سهموی (Kalogirou,s,2009).....	۳۷
شکل (۱۰-۲) نمایی از بخش جذب کننده کلکتورهای سهموی (Kalogirou,s,2009).....	۳۸
شکل (۱۱-۲) نمایی از بخش انتقال و ذخیره کلکتورهای سهموی (Kalogirou,s,2009).....	۳۸
شکل (۱۲-۲) نمایی کامل از یک نیروگاه‌های سهموی خطی (Wanger,2008).....	۳۹
شکل (۱۳-۲) نمای کامل نیروگاه دریافت کننده مرکزی (Kalogirou,s,2009).....	۴۰
شکل (۱۴-۲) نمایی از آینه‌های منعکس کننده و برج دریافت کننده (Kalogirou,s,2009) ...	۴۱
شکل (۱۵-۲) نمایی از سیستم ذخیره نیروگاه دریافت کننده مرکزی (نگارنده).....	۴۱
شکل (۱۶-۲) کاربرد روش فتولتائیک در فضاوردی (Kalogirou,s,2009).....	۴۲
شکل (۱۷-۲) فرآیند کامل سیستم فتولتائیک (Kalogirou,s,2009).....	۴۳
شکل (۱۸-۲) کلکتور تخت از نوع مایعی (Kalogirou,s,2009).....	۴۵
شکل (۱۹-۲) نمونه‌ای از یک کلکتور لوله خلایی (Kalogirou,s,2009).....	۴۶
شکل (۲۰-۲) کلکتور سهموی خطی (Kalogirou,s,2009).....	۴۸
شکل (۲۱-۲) بازتابنده ی خطی متمرکز کننده (Kalogirou,s,2009).....	۴۹
شکل (۲۲-۲) بازتابنده ی سهموی بشقابی (Kalogirou,s,2009).....	۴۹
شکل (۲۳-۲) انرژی خورشیدی در کنار یک مبدل حرارتی (Kalogirou,s,2009).....	۵۰

- شکل (۱-۳) مراحل کلی انتقال و تقلیل فشار گاز..... ۶۲
- شکل (۲-۳) نمایی از یک ایستگاه تقلیل فشار (نگارنده)..... ۶۳
- شکل (۳-۳) فیلترهای تصفیه کننده (نگارنده)..... ۶۶
- شکل (۴-۳) گرمکن (هیتر) (نگارنده)..... ۶۶
- شکل (۵-۳) شماتیک رگلاتور (نگارنده)..... ۶۷
- شکل (۶-۳) نمایی از کنتور (نگارنده)..... ۶۷
- شکل (۷-۳) شیر اطمینان موجود در ایستگاه (نگارنده)..... ۶۸
- شکل (۸-۳) شیر قطع کن فشار (نگارنده)..... ۶۸
- شکل (۹-۳) نشان دهنده های ایستگاه (نگارنده)..... ۶۹
- شکل (۱۰-۳) نمایه برش خورده ی اتصال عایقی..... ۶۹
- شکل (۱۱-۳) نمونه ای از شیرها و فلنج های کاربردی در ایستگاه..... ۶۹
- شکل (۱۲-۳) نمونه از بودار کننده ها (نگارنده)..... ۷۰
- شکل (۱۳-۳) نمای کلی از هیتر (نگارنده)..... ۷۱
- شکل (۱۴-۳) تجهیزات نصب شده روی هیتر (نگارنده)..... ۷۱
- شکل (۱-۴) شماتیک یک هیتر گازی رایج در ایستگاه های CGS (۲۸)..... ۷۴
- شکل (۲-۴) نحوه کارکرد یک هیتر گازی رایج در ایستگاه های CGS (نگارنده)..... ۷۵
- شکل (۳-۴) دماهای مختلف گاز طبیعی عبوری از یک ایستگاه CGS (نگارنده)..... ۷۷
- شکل (۴-۴) نمودار میزان افت دمای گاز در عبور از شیر اختناق از فشار 850 PSI به 250 Psi..... ۷۹
- شکل (۵-۴) نمودار میزان افت دمای گاز در عبور از شیر اختناق با توجه به فشارهای ورودی مختلف..... ۷۹
- شکل (۶-۴) نمودار متوسط دمای محیط در فصل بهار..... ۸۰
- شکل (۷-۴) نمودار متوسط دمای محیط در فصل تابستان..... ۸۱
- شکل (۸-۴) نمودار متوسط دمای محیط در فصل پاییز..... ۸۱
- شکل (۹-۴) نمودار متوسط دمای محیط در فصل زمستان..... ۸۲
- شکل (۱۰-۴) نمودار متوسط دمای محیط روزانه شهر همدان..... ۸۲
- شکل (۱۱-۴) نمودار متوسط دمای گاز ورودی به ایستگاه در فصل بهار..... ۸۳
- شکل (۱۲-۴) نمودار متوسط دمای گاز ورودی به ایستگاه در فصل تابستان..... ۸۳

- شکل (۴-۱۳) نمودار متوسط دمای گاز ورودی به ایستگاه در فصل پاییز..... ۸۴
- شکل (۴-۱۴) نمودار متوسط دمای گاز ورودی به ایستگاه در فصل زمستان..... ۸۴
- شکل (۴-۱۵) نمودار متوسط دمای روزانه گاز ورودی به ایستگاه..... ۸۵
- شکل (۴-۱۶) نمودار متوسط گرمای ساعتی مورد نیاز در فصل بهار بر حسب KW..... ۸۷
- شکل (۴-۱۷) نمودار متوسط گرمای ساعتی مورد نیاز در فصل تابستان بر حسب KW..... ۸۷
- شکل (۴-۱۸) نمودار متوسط گرمای ساعتی مورد نیاز در فصل پاییز بر حسب KW..... ۸۸
- شکل (۴-۱۹) نمودار متوسط گرمای ساعتی مورد نیاز در فصل زمستان بر حسب KW..... ۸۸
- شکل (۴-۲۰) نمودار متوسط گرمای روزانه مورد نیاز در فصول سال بر حسب KW..... ۸۹
- شکل (۴-۲۱) نمودار توان ساعتی مورد نیاز هیتر در فصل بهار بر حسب KW..... ۹۰
- شکل (۴-۲۲) نمودار توان ساعتی مورد نیاز هیتر در فصل تابستان بر حسب KW..... ۹۰
- شکل (۴-۲۳) نمودار توان ساعتی مورد نیاز هیتر در فصل پاییز بر حسب KW..... ۹۱
- شکل (۴-۲۴) نمودار توان ساعتی مورد نیاز هیتر در فصل زمستان بر حسب KW..... ۹۱
- شکل (۴-۲۵) نمودار متوسط روزانه توان مورد نیاز هیتر بر حسب KW..... ۹۲
- شکل (۴-۲۶) نمودار متوسط گاز مصرفی هیتر در فصل بهار بر حسب  $m^3/hr$ ..... ۹۳
- شکل (۴-۲۷) نمودار متوسط گاز مصرفی هیتر در فصل بهار بر حسب  $m^3/hr$ ..... ۹۳
- شکل (۴-۲۸) نمودار متوسط گاز مصرفی هیتر در فصل بهار بر حسب  $m^3/hr$ ..... ۹۴
- شکل (۴-۲۹) نمودار متوسط گاز مصرفی هیتر در فصل بهار بر حسب  $m^3/hr$ ..... ۹۴
- شکل (۴-۳۰) نمودار متوسط گاز مصرف روزانه ی هیتر بر حسب  $m^3/hr$ ..... ۹۵
- شکل (۴-۳۱) ساختاری برای تعریف چگونگی کارکرد ترنسیس..... ۹۶
- شکل (۴-۳۲) طرح بندی پروژه (نگارنده)..... ۹۸
- شکل (۴-۳۳) درجه حرارت سیال در یک روز بهار..... ۹۹
- شکل (۴-۳۴) شدت تابش خورشیدی در یک روز از بهار..... ۱۰۰
- شکل (۴-۳۵) کسر خورشیدی مربوط به یک روز از بهار..... ۱۰۰
- شکل (۴-۳۶) درجه حرارت سیال در یک روز تابستان..... ۱۰۱
- شکل (۴-۳۷) شدت تابش خورشیدی در یک روز از تابستان..... ۱۰۱
- شکل (۴-۳۸) کسر خورشیدی مربوط به یک روز از تابستان..... ۱۰۲
- شکل (۴-۳۹) درجه حرارت سیال در یک روز پاییز..... ۱۰۲
- شکل (۴-۴۰) شدت تابش خورشیدی در یک روز از پاییز..... ۱۰۳

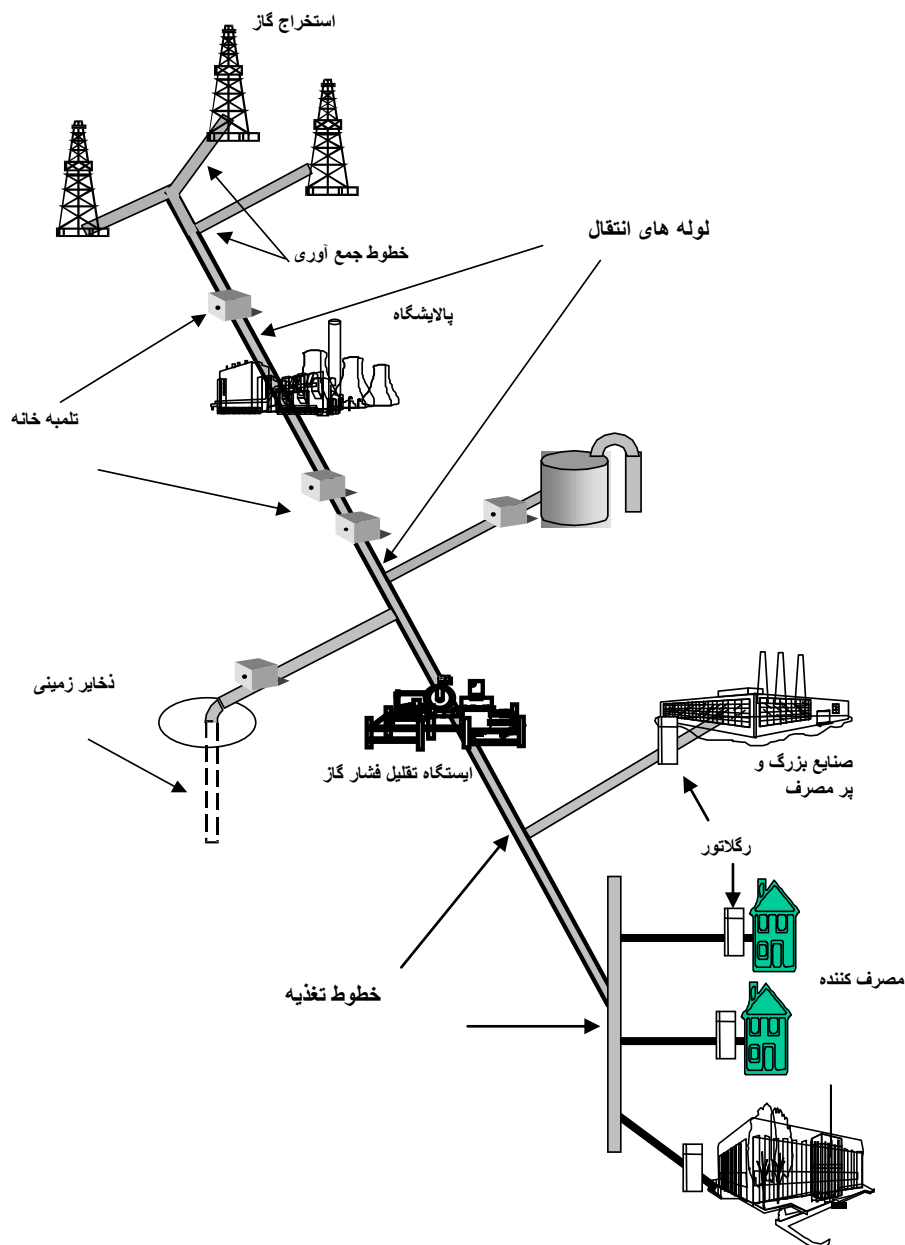
- شکل (۴-۴۱) کسر خورشیدی مربوط به یک روز از پاییز ..... ۱۰۳
- شکل (۴-۴۲) درجه حرارت سیال در یک روز زمستان ..... ۱۰۴
- شکل (۴-۴۳) شدت تابش خورشیدی در یک روز زمستان ..... ۱۰۴
- شکل (۴-۴۴) کسر خورشیدی مربوط به یک روز از زمستان ..... ۱۰۵
- شکل (۴-۴۵) نمودار متوسط گاز مصرفی هیترا با احتساب سیستم خورشیدی در فصل بهار بر حسب  $m^3/hr$  ..... ۱۰۶
- شکل (۴-۴۶) نمودار متوسط گاز مصرفی هیترا با احتساب سیستم خورشیدی در فصل تابستان بر حسب  $m^3/hr$  ..... ۱۰۶
- شکل (۴-۴۷) نمودار متوسط گاز مصرفی هیترا با احتساب سیستم خورشیدی در فصل پاییز بر حسب  $m^3/hr$  ..... ۱۰۷
- شکل (۴-۴۸) نمودار متوسط گاز مصرفی هیترا با احتساب سیستم خورشیدی در فصل زمستان بر حسب  $m^3/hr$  ..... ۱۰۷
- شکل (۴-۴۹) نمودار متوسط گاز مصرف روزانه ی هیترا با احتساب سیستم خورشیدی بر حسب  $m^3/hr$  ..... ۱۰۸

## فصل اول



## ۱-۱- مقدمه

یکی از بزرگترین منابع انرژی در حال حاضر انرژی گاز طبیعی است. سهولت هدایت، ارزش حرارتی مناسب، فراوانی در طبیعت، پاکیزگی در مصرف و نیز آلودگی کم برای محیط زیست، باعث شده که این منبع مورد توجه قرار گرفته و برغم خطرات احتمالی آن در نقاط هدایت و مصرف از استقبال خوب برخوردار باشد. می توان مراحل استخراج و توزیع گاز را مطابق شکل ۱-۱ نشان داد. گاز پس از استخراج از چاه های تولید (Producing Wells) توسط شبکه جمع آوری به واحد تصفیه گاز (Processing Plant) هدایت می شود. بعد از عملیات تصفیه، گاز شیرین (Sweet Gas) به داخل شبکه های هدایت تزریق شده و چنانچه لازم باشد از مسیر طولانی عبور نماید فشار آن توسط کمپرسورهای مخصوص افزایش می یابد. گاز فشرده شده جهت ذخیره در مخازن زیرزمینی بزرگ و در نهایت جهت مصرف هدایت می گردد. برای ورود به نقاط مصرف، گاز لازم است از سیستم های کاهش فشار و اندازه گیری عبور کند زیرا فشار گاز در شبکه اصلی حدود ۱۰۰۰ PSIG می باشد و از طرفی به جهت اندازه گیری میزان مصرف گاز توسط هر مصرف کننده، لازم است دستگاه های اندازه گیری مخصوص به کار گرفته شود. ایستگاه ورودی و اصلی را به نام City Gate Station (CGS) و ایستگاه های بعد از آن را با توجه به میزان فشار و میزان گاز عبوری از آن، به نام های مختلف از جمله T.B.S. (Town Border Station) می خوانند که در فصول بعد به آن اشاره خواهد شد.



شکل (۱-۱) نمای کلی سیستم انتقال گاز طبیعی (۱)

## ۱-۲- ضرورت اجرا:

تابش مناسب خورشید در ایران : در ایران روزانه بطور متوسط  $5/5$  کیلووات ساعت انرژی خورشیدی به ازای هر مترمربع از سطح زمین ، می تابد و در  $90\%$  خاک کشور  $300$  روز آفتابی داریم و مساحت ایران تقریباً  $1,600,000$  کیلومتر مربع می باشد، در نتیجه میزان تابش روزانه انرژی خورشید در طول روز برای ایران تقریباً برابر با  $9,000,000,000$  مگا وات ساعت است. اگر تنها  $1\%$  مساحت ایران انرژی خورشیدی را جذب کند و راندمان سیستم

دریافت کننده ی انرژی تنها ۱۰٪ باشد باز هم میتوانیم روزانه ۹,۰۰۰,۰۰۰ مگا وات ساعت انرژی از خورشید دریافت کنیم (۲). با شوک نفتی سال ۱۹۷۳ میلادی که کشورهای جهان با آن روبرو شدند، توجه به کاربرد انرژی خورشید بالا گرفت و سرمایه گذاری های زیادی در غالب کشورهای جهان برای پژوهش و دستیابی به طرح های بهینه ی کاربردهای انرژی خورشیدی انجام پذیرفت، مثلاً در آلمان با توجه به اینکه میانگین تابش سالیانه نصف کشور ایران است ولی ظرفیت آبگرمکن های فعال در این کشور ۱۵۵ برابر ایران است و این امر کاهش چشمگیر مصرف سوخت های فسیلی را در تولید آبگرم به همراه داشته است. با این تفاسیر استفاده از انرژی خورشیدی نه تنها ضروری بلکه اجتناب ناپذیر میباشد و چون سوخت های فسیلی هم پایان پذیرند و هم آلاینده گی دارند و نیز حمل و نقل آنها نیز خطرناک است (۳).

### ۱-۳- هدف:

از اهداف این تحقیق میتوان به موارد زیر اشاره کرد:

**الف- صرفه جویی در مصرف سوخت فسیلی<sup>۱</sup> (گاز):** بر مبنای مطالعات شرکت بهینه سازی مصرف سوخت استفاده از آبگرمکن های خورشیدی<sup>۲</sup> می تواند ۷۰٪ مصرف گاز مورد نیاز برای گرمایش آب بهداشتی را کاهش دهد و تنها ۳۰٪ از انرژی لازم برای گرمایش آب توسط سیستم پشتیبان (الکتریکی یا گازی) تامین شود. بر اساس آمارهای موجود در ترازنامه هیدروکربوری در سال ۹۱، مصرف گاز کشور در بخش خانگی ۴۰ میلیارد متر مکعب بوده است که ۲۵٪ آن سهم گرمایش آب است. همچنین در بخش عمومی- تجاری، ۶ میلیارد متر مکعب گاز طبیعی مصرف شده است که می توان فرض کرد ۱۵٪ آن به گرمایش آب مربوط است. در صورت کاهش ۷۰ درصدی مصرف گاز با استفاده از آبگرمکن های خورشیدی، ظرفیت صرفه جویی سالانه گاز در بخش های خانگی و عمومی- تجاری به ترتیب برابر ۷ و ۰/۶ میلیارد متر مکعب و در مجموع، ۷/۶ میلیارد متر مکعب است. با در نظر گرفتن قیمت گاز صادراتی به ترکیه، ارزش این مقدار گاز برابر ۳/۵ میلیارد دلار معادل ۱۰/۵ هزار میلیارد تومان است (۴). در کنار راهکارهایی مثل افزایش بازدهی نیروگاه ها، روی آوردن به تولید برق بادی و یا افزایش تولید گاز، یکی از راه های مقابله با کمبود گاز در نیروگاه ها، کاهش مصرف این سوخت پاک در بخش های دیگر، از جمله هیترها است. در سال ۹۱، حدود

1- Fuel Possil

2- Solar Hot Water

۱۱ میلیارد مترمکعب گاز در بخش خانگی، عمومی و تجاری صرف گرمایش آب شده است. با توجه به اینکه در هشت ماهه گرم سال میزان مصرف آب گرم در خانواده‌ها بیش از فصول سرد است و همچنین، تابش مناسب آفتاب در این فصل گرم سبب می‌شود آبگرمکن خورشیدی بتواند تا ۸۰٪ از انرژی گرمایش آب را تامین کند. لازم به ذکر است با در نظر گرفتن اینکه تابش آفتاب در بسیاری از نقاط کشور حتی در فصل سرما هم مناسب است، در ۴ ماهه سرد نیز می‌توان روزانه بیش از ۸ میلیون مترمکعب کاهش مصرف گاز و در دوره چهارماهه، ۱/۱ میلیارد دلار صرفه‌جویی در مصرف سوخت‌های مایع ایجاد کرد. بنابراین با توسعه کامل آبگرمکن‌های خورشیدی در سطح کشور، سالیانه در مجموع ۸/۶ میلیارد دلار کاهش تلفات سوخت مایع در نیروگاه‌های کشور حاصل می‌شود. پیشنهادی که ما در این پروژه مطرح کرده استفاده از گرمکن‌های خورشیدی به جای هیتزهای گازی در ایستگاه‌های CGS کشور و منحصرأ شهر همدان است. هدف آن است که تعدادی کلکتور خورشیدی به نحوی با هیتز موجود در ایستگاه متصل شوند و انرژی مورد نیاز برای افزایش دمای گاز طبیعی را حاصل کنند و یا حتی در صورت امکان باعث حذف هیتز گردند و تمام انرژی توسط خورشید تامین کنند. با توجه به قیمت گران گاز و همچنین پایان پذیری آن استفاده از این سیستم رسیدن به هدف کاهش مصرف سوخت بسیار ممکن می‌باشد.

#### ب- کاهش آثار مخرب زیست محیطی ناشی از احتراق : گسترش آبگرمکن‌های

خورشیدی می‌تواند علاوه بر جلوگیری از مصرف بیهوده انرژی و در نتیجه افزایش عمر منابع انرژی فسیلی، نقش به سزایی در کاهش آلودگی زیست محیطی ایفا کند. از آنجا که در فصل‌های سرد سال مصرف گاز شهرها به طور محسوس افزایش می‌یابد و وارونگی هوا نیز مشکل آلودگی را تشدید می‌کند، توجه به استفاده از آبگرمکن‌های خورشیدی اهمیت دوچندان می‌یابد. هر آبگرمکن خورشیدی به طور متوسط در طول سال از انتشار ۹۶۰ کیلوگرم دی‌اکسید کربن در هوا جلوگیری می‌کند. اگر فرض کنیم هر خانواده در کشور یک دستگاه آبگرمکن خورشیدی داشته باشد، در طول سال می‌توان از انتشار ۲۰ میلیون تن دی‌اکسید کربن در هوای شهرها و مناطق مسکونی جلوگیری کرد (۵). این در حالی است که برخی فعالیت‌های مرتبط با کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی، از جمله افزایش بازده نیروگاه‌ها و یا استفاده از توربین‌های بادی، صرفاً در کاهش آلاینده‌های هوا در حومه شهرها موثر هستند و به طور مستقیم در کاهش آلودگی هوای شهرها و مناطق نقشی ندارند با توجه به در دسترس بودن فناوری آبگرمکن‌های خورشیدی و مزایای اجتماعی و زیست‌محیطی آن، لازم است

سیاست‌گذاران عرصه انرژی و همچنین اصحاب فرهنگ و رسانه، به گسترش این فناوری نوین در کشور توجه ویژه داشته باشند. امید است با استفاده از این فناوری، هدر رفت سوخت‌های فسیلی در تامین آب گرم کاهش یابد. طی چشم اندازهای مصرف انرژی رفته رفته باید به سمت انرژی‌های تجدید پذیر همچون انرژی خورشیدی، انرژی آب، انرژی باد و... رفت. از آنجا که کشور ما پتانسیل انرژی خورشیدی بالایی دارد در این تحقیق از سیستم‌های این انرژی استفاده خواهد شد.

### پیشینه تحقیق

افزایش تقاضا برای انرژی، کاهش مداوم در منابع موجود سوخت‌های فسیلی و افزایش آلودگی‌های زیست محیطی، بشر را برای تحقیق تکنولوژی‌های جدید تولید انرژی تمیز و تجدید پذیر من جمله انرژی خورشیدی، انرژی باد و غیره تشویق می‌کند. در میان منابع انرژی تجدید پذیر، انرژی خورشیدی که بیشترین پتانسیل را برای تبدیل شدن به انرژی گرمایی را داراست و یک بخش مهمی از نیازهای انرژی گرمایی سیاره زمین است، پیشنهاد می‌گردد. تبدیل نور خورشید به انرژی گرمایی به خاطر مداوم، تمیز، بی‌صدا و قابل اطمینان بودن، هزینه نگهداری پایین و موثر بر زندگی موجودات زنده، بویژه اینکه پایان ناپذیر بوده و هیچ پسماند آلودگی یا انتشار گازهای گلخانه‌ای را ندارد، از نوید بخش‌ترین و جنجالی‌ترین تکنولوژی‌های انرژی است.

کلکتورهای خورشیدی لوله خلایی یکی از پرکاربردترین سامانه‌هایی هستند که برای بهره‌گیری مستقیم از انرژی تابشی خورشید به کار گرفته می‌شوند. آنچه این نوشتار در پی آن است، امکان سنجی فنی استفاده از این کلکتورهای خورشیدی لوله خلایی جهت گرمایش گاز طبیعی در ایستگاه گاز (CGS) در شرایط اقلیمی شهر همدان و بحث پیرامون آن است.

کاهش فشار در ایستگاه‌ها باعث کاهش دمای گاز و در نتیجه آن باعث ایجاد مشکلات پتانسیلی می‌گردد مثل از بین رفتن متریال و تشکیل هیدرات. بنابراین ایستگاه‌های تقلیل فشار گاز طبیعی، نیازمند سیستم‌های گرمایشی، بمنظور تضمین دمای گاز طبیعی مورد قبول جهت ارسال به نقاط مصرف است.

مروری بر تحقیقات انجام شده و پیشینه تحقیق در خصوص "امکان سنجی فنی بکارگیری جمع‌کننده‌های خورشیدی لوله خلایی، جهت گرمایش گاز طبیعی در ایستگاه‌های تقلیل فشار گاز" در این بخش انجام خواهد شد.

طبق بررسی‌های انجام شده، در داخل کشور کار کمتری در زمینه استفاده از انرژی خورشید در ایستگاه‌های تقلیل فشار انجام شده است که بیشتر در زمینه استفاده از انرژی خورشید برای سیستم برقی می‌باشد. که از آن جمله می‌توان به کارهای انجام شده در خراسان شمالی و زنجان اشاره کرد. در خارج از کشور در این زمینه در این ادبیات تحقیق مقاله‌ای پیدا نشد ولی کارهای مطالعاتی زیادی در زمینه بهره‌وری و صرفه جویی در مصرف گاز در سامانه‌های گرمایشی انجام شده است.

بهینه سازی مصرف انرژی در دهه اخیر و خصوصاً بعد از اجرای قانون هدفمند کردن یارانه‌ها، و اصلاح قیمت حامل‌های انرژی در کشور، شکل دیگری به خود گرفت و اکثر سازمانها و ارگانها در حوزه‌های مختلف در صدد بهینه سازی مصرف انرژی برآمدند. در این راستا در مجموعه وزارت نفت نیز کارهای بسیار خوبی انجام شده است. یکی از بخش‌هایی که در آن سوخت فسیلی (گاز طبیعی) به عنوان انرژی مصرف می‌شود، بخش گرمکن ایستگاه‌های تقلیل فشار گاز می‌باشد، از این ایستگاه‌ها به تعداد زیادی در اکثر نواحی ایران وجود دارد. از جمله کارهای انجام شده در این زمینه می‌توان به کارهای ذیل اشاره کرد.

در سال ۱۳۸۶ با مطالعه‌ای که توسط شرکت بهینه سازی مصرف سوخت صورت گرفت، فرصت‌های صرفه جویی قابل توجهی در مصرف انرژی در ایستگاه‌های تقلیل فشار پیش بینی شد (۶). در این پژوهش، عملکرد ایستگاه‌های تقلیل فشار از نظر مصرف انرژی مورد بررسی قرار گرفت. همچنین مشخصات شرکت ملی گاز و نیز کلیه پالایشگاه‌های کشور ارائه گردید. خطوط اصلی انتقال گاز کشور و همچنین ایستگاه‌های تقویت فشار گاز که بر روی آن خطوط قرار گرفته‌اند نیز معرفی شدند. پتانسیل سنجی بازیابی حرارتی از توربین‌های گاز موجود در ایستگاه‌های تقویت فشار گاز از دیگر موارد صورت گرفته است.

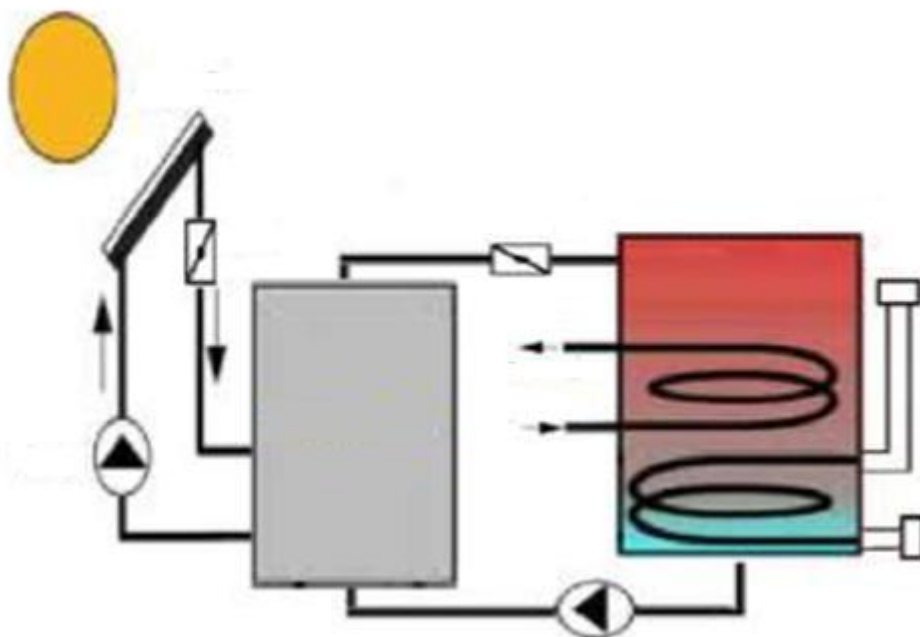
در پروژه‌ای دیگر در سال ۱۳۸۸ در شرکت گاز استان زنجان، خانم رئوفی نژاد و آقای رضایی (۷) پروژه بهینه‌سازی مصرف سوخت در مبدل گرمایی ایستگاه‌های تقلیل فشار گاز طبیعی بوسیله شیر سنولوئیدی و اصلاح محفظه احتراق را انجام دادند.

در این پروژه دو آزمایش روی هیترهای ایستگاه تقلیل فشار گاز استان زنجان به منظور کاهش مصرف سوخت گاز در مبدل و بهبود رنگ شعله‌ها انجام شده است. در نتیجه این دو آزمایش مصرف سوخت تا ۳۷ درصد کاهش یافته است. در اولین آزمایش اندازه محفظه احتراق برای جبران کمبود هوای اضافی و تغییر رنگ شعله‌ها از زرد به آبی و در آزمایش دوم نصب یک شیر الکترونیکی برای کاهش ساعات کاری هیتر و کاهش مصرف سوخت صورت

پذیرفت که کاملاً موفقیت آمیز بود. با این کار علاوه بر بهینه سازی در مصرف سوخت متناسب با سال اصلاح الگوی مصرف بر طول عمر مبدل نیز افزوده شد و باعث شد تا فرآیند احتراق با راندمان بالاتر انجام گردد، می توان گفت که این کار در واقع یک نوآوری روی مبدل های گرمایی ایستگاه های تقلیل فشار گاز طبیعی است.

آقای کوروش اخلاقی و همکاران در سال ۱۳۹۰ (۸) در خصوص استفاده از انرژی خورشید در ایستگاه تقلیل فشار گاز بیرجند، مطالعه ای انجام داده اند.

در این پروژه، مطابق شکل زیر از یک منبع ذخیره انرژی استفاده شده است. که در طول روز انرژی خورشید در یک منبع ذخیره می گردد و بعد از غروب آفتاب، از آن استفاده می گردد. لازم به ذکر است، در طول روز از انرژی خورشید موجود استفاده نمی گردد و انرژی مورد نیاز برای گرمایش گاز در روز، از طریق سوختن گاز در هیتر تامین می گردد.



شکل (۱-۲) سیستم آبگرمکن خورشیدی (Kalogirou, s, 2009)

روند کار به این گونه است که زمانی که روز شروع می شود، شیر ۱ و ۲ بسته می شود و فقط شیر ۳ باز خواهد ماند. از طلوع خورشید تا غروب، آب بین کلکتور خورشیدی و مخازن ذخیره گردش می کند. بنا براین با این کار انرژی در مخزن آب ذخیره خواهد شد. در طول این ساعات کل انرژی مصرفی توسط گاز سرد بوسیله هیتر خطی تامین می گردد. زمانی که هوا سردتر از روزهای دیگر می باشد، (از غروب آفتاب تا دو ساعت بعد از طلوع آفتاب روز بعد) در این حالت شیر ۳ بسته خواهد شد و شیر ۱ و ۲ باز خواهد شد. انرژی ذخیره شده در طول

حدود ۱۰ ساعت از روز بین ۱۶ ساعت زمانی بطور منظم تقسیم می گردد. بنابر این سیستم خورشیدی می تواند برای فقط ساعات سرد به هتر خطی کمک نماید.

در نتیجه این تحقیق، تعداد آرایش های سیستم خورشیدی متشکل از ۴۳۰ عدد کلکتور تخت بهترین انتخاب برای ایستگاه با ظرفیت ( $100000 \text{ m}^3/\text{hr}$ ) پیشنهاد شده است.

آقای احمد عربکوهسار و همکاران در سال ۱۳۹۰ (۹) یک بررسی ترمو اکونومیک جهت استفاده از انرژی خورشید با هدف گرمایش گاز طبیعی در ایستگاه تقلیل فشار آکند شهر ساری با ظرفیت ( $100000 \text{ m}^3/\text{hr}$ ) انجام داده اند. در این تحقیق نیز همانند تحقیق آقای اخلاقی و همکاران مکانیزم پیشنهادی برای کاربرد انرژی خورشید در گرمکن ایستگاه تقلیل گاز به شکل زیر می باشد.



شکل (۱-۳) سیستم خورشیدی کمکی

به پیشنهاد ایشان، از آنجا که در ایستگاه CGS دمایی به مراتب کمتر از  $90^\circ\text{C}$  مورد نیاز میباشد، لذا کلکتورهای مورد کاربرد در سیستم پیشنهادی این مقاله از نوع کلکتورهای تخت میباشد. شماتیک سیستم پیشنهاد شده را در شکل ۴-۲ می توان مشاهده نمود. طریقه عملکرد این سیستم بدینگونه است که، همگام با طلوع خورشید شیر شماره (۳) باز شده و آب بین تانک ذخیره و کلکتورها به گردش درمیآید. این عمل تا لحظه غروب آفتاب ادامه می یابد، در طی این بازه زمانی شیرهای (۲ و ۱) 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 هیتز تزریق می شود.

در این مقاله همچنین به بررسی شرایط آب و هوایی منطقه ساری پرداخته شده است. و بیان گردیده که در شهر ساری تقریباً ۶۰٪ از روزهای سال ابری و یا بارنگی است و در ۴۰٪ روزهای دیگر آسمان صاف و آفتابی است.

در نتیجه این تحقیق، تعداد آرایش‌های سیستم خورشیدی متشکل از ۳۵۰ عدد کلکتور تخت بهترین انتخاب برای ایستگاه با ظرفیت ( $100000 \text{ m}^3/\text{hr}$ ) پیشنهاد شده است.

محسن خطیب و همکاران (۱۰) در یک پروژه به بررسی سیستم تولید همزمان برق و گرما، توربوآکسپندر، ایستگاه تقلیل فشار گاز طبیعی پرداختند. در پژوهش مزبور به بررسی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستمهای تولید همزمان برق و گرما و توربین‌های انبساطی در ایستگاه‌های تقلیل فشار گاز طبیعی پرداخته شد بدین ترتیب که به طور معمول گاز طبیعی پر فشار قبل از استفاده در محلهای مصرف، باید در نقاطی از مسیر انتقال در ایستگاههای تقلیل فشار، به فشاری به مراتب پایین تر و قابل استفاده برای مصرف کننده برسد. معمولاً این افت فشار توسط شیرهای انبساطی صورت می پذیرد. بدین ترتیب بخش اعظمی از انرژی موجود در گاز که بصورت انرژی فشاری، در آن موجود است، هدر خواهد رفت. استفاده از توربینهای انبساطی راهی مفید برای تبدیل انرژی فشاری گاز به انرژی الکتریکی می باشد. میزان افت دما در این تجهیز نسبت به شیرهای انبساطی بیشتر خواهد بود، لذا نیاز حرارتی ایستگاه بیش از وضعیت بدون توربوآکسپندر است. بدین منظور در طرح مربوطه پیشنهاد گردید که بجای تأمین نیاز حرارتی از طریق هیتزهای موجود در ایستگاه، از سیستمهای تولید همزمان برق و گرما به عنوان تأمین کننده این حرارت استفاده گردد. ضمن آنکه انرژی الکتریکی تولیدی توسط این سیستم، نیز به عنوان یک محصول ثانویه، مفید و قابل توجه خواهد بود. سه طرح کلی پیشنهاد شد، که عبارتند از سیستمی شامل توربوآکسپندر تنها، سیستمی شامل تنها تجهیزات تولید همزمان برای تأمین نیاز حرارتی و تولید برق و در نهایت سیستمی که مجموعه‌ای کامل از تمام این فناوریها را در کنار یکدیگر داراست. در این پروژه، با استفاده از الگوریتمی ابتکاری، به انتخاب و تعیین سائز و اندازه فنی ترین سیستم با بیشترین میزان تولید مبادرت شد. این الگوریتم چهار مرحله ای، با طی مسیری منطقی، مجموعه‌ای از سناریوها را برای هر کدام از سه طرح پیشنهادی در اختیار قرار خواهد داد که سائز و اندازه تجهیزات منتخب خود آن سناریوهانیز هر کدام از نظر فنی و اقتصادی بهترین گزینه برای آن سناریو هستند. در نهایت

ایستگاه تقلیل فشار گاز بیرجند به همراه چندین ایستگاه دیگر مورد بررسی قرار گرفتند که نتایج نشان از غیر اقتصادی بودن تمامی طرحها برای ایستگاه تقلیل فشار بیرجند داشت. با بررسی نتایج ایستگاهها و با تعریف پارامتری به نام فاکتور قابلیت، امکان پیش بینی عملکرد فنی و اقتصادی هر ایستگاهی در مواجهه با هر کدام از طرحهای پیشنهادی و با توجه به دبی متوسط عبوری از آن ایستگاه مشخص می شود.

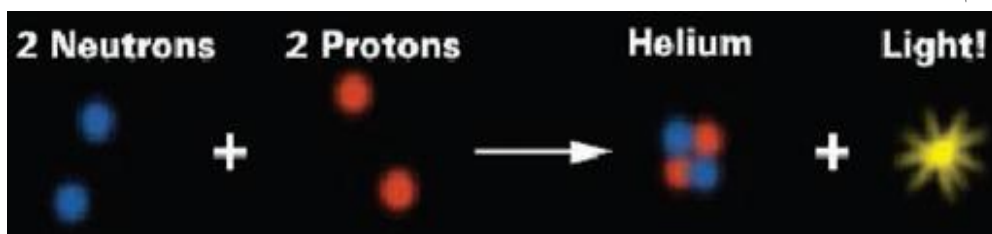
### مراحل انجام تحقیق

در این پروژه ابتدا به تشریح ایستگاههای تقلیل فشار و روشهای موجود برای گرمایش گاز طبیعی و همچنین انرژی خورشیدی و سامانه کلکتورهای خورشیدی لوله خلایی و ساختمان آن پرداخته می شود. سپس مقدار توان مورد نیاز برای گرمایش گاز در گرمکن ایستگاه تقلیل فشار مورد مطالعه، بدست آمده و سیستم خورشیدی برای گرمایش گاز در ایستگاه تقلیل فشار طراحی می گردد.

## فصل دوم: انرژی خورشیدی

## ۲-۱-خورشید:

خورشید، گوی غول پیکر درخشانی در وسط منظومه شمسی و تامین کننده نور، گرما و انرژی‌های دیگر زمین است. تقریباً تمامی منابع انرژی روی زمین بوسیله خورشید تامین می‌گردد. فقط انرژی اتمی<sup>۱</sup>، انرژی داخل زمین<sup>۲</sup> و آن قسمتی از انرژی جذر و مد<sup>۳</sup> که بوسیله نیروی جاذبه ماه می‌باشد بوسیله خورشید تامین نمی‌شود. انرژی خورشید به واسطه واکنش‌های ترکیبی اتمی در اعماق هسته آن تامین می‌شود. در یک واکنش ترکیبی دو هسته اتم با یکدیگر همراه شده و هسته‌ای جدید را به وجود می‌آورند. ترکیب هسته‌ای در مرکز خورشید به دلیل دما و تراکم فوق العاده زیاد می‌تواند صورت پذیرد. از آنجاییکه بار ذرات مثبت است، تمایل به دفع یکدیگر دارند اما دما و تراکم هسته خورشید به قدری زیاد است که می‌تواند آنها را در کنار یکدیگر نگاه دارد. رایج ترین ترکیب هسته‌ای در مرکز خورشید زنجیره پروتون - پروتون نام دارد. این فرایند زمانی انجام می‌گیرد که ساده ترین شکل از هسته‌های هیدروژن (دارای یک پروتون) در یک آن کنار هم قرار می‌گیرند. نخست، هسته‌ای متشکل از دو ذره به وجود می‌آید، سپس هسته‌ای با سه ذره و در نهایت هسته‌ای با چهار ذره شکل می‌گیرد. در این فرایند همچنین یک ذره الکترونی خنثی به نام نوترینو پدیدار می‌گردد. هسته نهایی شامل دو پروتون و دو نوترون است که در واقع هسته هلیوم می‌باشد. جرم این هسته به مقدار بسیار اندکی کمتر از جرم چهار پروتون است که هسته از آن تشکیل شده است.



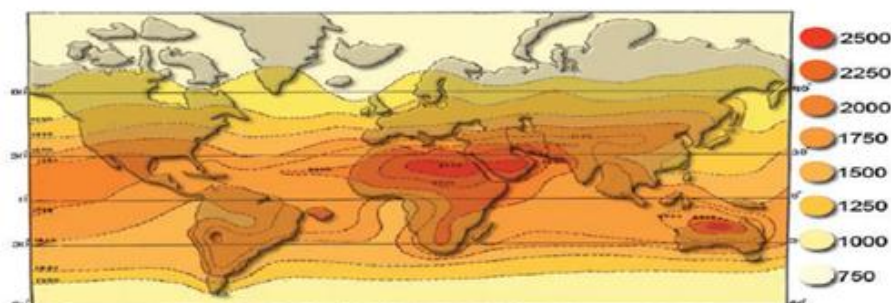
شکل (۲-۱) ترکیب هسته‌ای مرکز خورشید (Beckman, w, 1977)

<sup>1</sup> - Atomic Energy

<sup>2</sup> - Geothermal Energy

<sup>3</sup> - Tidal Energy

جرم از دست رفته به انرژی تبدیل شده است. این مقدار از انرژی به کمک فرمول مشهور فیزیکدان آلمانی، آلبرت انیشتین،  $E=mc^2$  قابل محاسبه است. در این معادله  $E$  به معنای انرژی،  $m$  به معنای جرم و  $c$  به معنای سرعت نور می باشد. خورشید کره‌ای است که به طور کامل از گاز تشکیل شده و بخش بیشتر این گاز از نوعی می باشد که به نیروی مغناطیسی حساس است که دانشمندان به آن پلاسما می گویند. شعاع خورشید (فاصله بین مرکز تا سطح آن) حدود ۶۹۵۵۰۰ کیلومتر، تقریباً ۱۰۹ برابر شعاع زمین است. دمای سطح خورشید ۵۸۰۰ درجه کلوین و دمای هسته خورشید بیش از ۱۵ میلیون درجه کلوین می باشد. جرم خورشید ۹۹/۸ درصد از جرم کل منظومه شمسی و ۳۳۳۰۰۰ برابر جرم زمین است. میانگین چگالی آن حدود ۹۰ پوند در هر فوت مکعب و یا ۱/۴ گرم در هر سانتیمتر مکعب می باشد. این مقدار تقریباً معادل ۱/۴ برابر چگالی آب و کمتر از یک سوم میانگین چگالی زمین است. حدود ۷۵٪ جرم خورشید از هیدروژن می باشند. بعد از هیدروژن، عنصر هلیوم در خورشید بسیار یافت می شود و بقیه جرم خورشید از اتمهای هفت عنصر دیگر تشکیل شده است. به ازای هر ۱ میلیون اتم هیدروژن در کل خورشید، ۹۸ اتم هلیوم، ۸۵۰ اتم اکسیژن، ۳۶۰ اتم کربن، ۱۲۰ اتم نئون، ۱۱۰ اتم نیتروژن، ۴۰ اتم منیزیم، ۳۵ اتم آهن و ۳۵ اتم سیلیکون وجود دارد. بنابراین حدوداً ۹۴ درصد از اتمها، هیدروژن و حدود ۰/۱ درصد اتمهایی غیر از هیدروژن و هلیوم می باشند. و اما از لحاظ جرمی هیدروژن که بزرگ ترین عنصر است ۷۳/۴۶ درصد، هلیوم ۲۴/۸۵ درصد، اکسیژن ۰/۷۷ درصد، کربن ۰/۲۹ درصد، آهن ۰/۱۶ درصد، گوگرد ۰/۱۲ درصد، نئون ۰/۱۲ درصد، نیتروژن ۰/۰۹ درصد، سیلیکون ۰/۰۷ درصد و منیزیم ۰/۰۵ درصد از کل جرم خورشید را به خود اختصاص داده‌اند. طبق برآوردهای علمی در حدود ۴/۵ بیلیون سال از تولد این گوی آتشی می گذرد و تا ۵ میلیارد سال آینده همچنان می توان آن را به عنوان یک منبع عظیم انرژی به حساب آورد (۱۱).



شکل (۲-۲) نمودار تابش متوسط سالانه خورشید

## ۲-۱-۱- تاریخچه استفاده از انرژی خورشید در ایران و جهان :

از بدو پیدایش اولین حیات در روی زمین انرژی خورشیدی در پدیده فتوسنتز کاربرد داشته است. در پیدایش ساختمان برای گرمایش مسکن خود، انسان از نور خورشید بهره می گرفت. بعدها انسان از اشعه آفتاب برای خشک کردن میوه و سبزی در فضای آزاد و برای تبخیر آب دریا در حوضچه‌های کم عمق و تولید نمک استفاده نموده است. اولین و شاید تنها استفاده نظامی انرژی خورشیدی توسط ارشمیدس<sup>۱</sup> در شهر سیرا یکوز در شرق جزیره سیسیل انجام شد. او موفق شد با متمرکز کردن نور خورشید به وسیله چند آئینه روی بادبان کشتی‌ها، آنها را به آتش بکشد. استفاده‌های صنعتی و مدرن انرژی خورشیدی از سالهای ۱۷۷۰ میلادی شروع شد. شاید جالب ترین استفاده از خورشید در کشف گاز اکسیژن صورت گرفته باشد. پرستلی<sup>۲</sup> در سال ۱۷۷۴ توانست نور خورشید را روی ظرف حاوی اکسید جیوه متمرکز نماید و گازی تولید کند که بعدها اکسیژن نامیده شد (۱۲). آزمایشهای متعددی با استفاده از عدسی‌ها و تمرکز نور خورشید توسط لاوزیه انجام شد. در سال ۱۸۷۲ اولین واحد خورشیدی برای نمک زدائی آب دریا در شمال شیلی ساخته شد. از اواخر سالهای ۱۸۰۰ و اوایل سالهای ۱۹۰۰ تعدادی متمرکز کننده خورشیدی جهت دستیابی به دماهای بالا و تولید بخار در فرانسه و آمریکا و مصر ساخته شد که از بخار حاصله برای راه اندازی ماشینهای بخار و آبیاری استفاده می شد. از سالهای ۱۹۴۰ به بعد استفاده از انرژی خورشیدی در تولید آب گرم مصرفی و گرمایش ساختمان‌ها در آمریکا، روسیه (تاشکند و عشق آباد)، استرالیا و سایر کشورها رو به توسعه نهاد. در سال ۱۹۴۶ در هندوستان کوره‌هایی که با انرژی خورشیدی کار می کردند ساخته شد. سلول خورشیدی (فتوولتائیک) برای اولین بار در نیمه اول دهه ۱۹۵۰ بدون سر و صدای زیاد وارد بازار شد و با استقبال قابل ملاحظه‌ای مواجه گشت. در سال ۱۹۵۸ طراحان آمریکایی با تردید در سفینه وانگاردیک یک مبدل حاوی سلولهای خورشیدی هر یک به قدرت ۲ میلی وات به عنوان نیروی کمکی به کار بردند ولی با کمال تعجب مشاهده کردند دستگاه رادیویی سفینه که با این مبدل کار می کرد تا ۶ سال بطور مداوم پیام رادیویی به زمین مخابره نمود. در سال ۱۹۶۱ برای نخستین بار در ایتالیا از انرژی حرارتی خورشیدی برای تولید الکتریسیته توسط توربین‌های بخار کوچک استفاده گردید. با بحران انرژی سال ۱۹۷۳، توجه به کاربرد انرژی خورشیدی بالا گرفت و سرمایه گذاری‌های زیادی در غالب کشورهای جهان (به خصوص کشورهای صنعتی) برای پژوهش و دستیابی به طرحهای بهینه کاربردهای مختلف انرژی خورشیدی انجام پذیرفت.

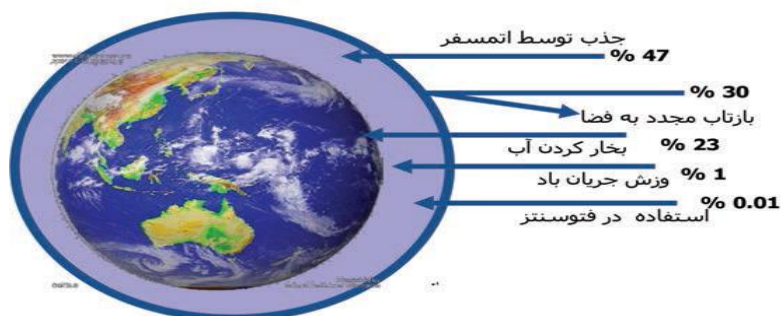
<sup>۱</sup> - Archimedes

<sup>۲</sup> - Priestley

در دهه ۱۹۸۰ با از بین رفتن بحران انرژی، توجه به انرژی خورشیدی تقلیل یافت و در حال حاضر مهمترین موضوعی که در کشورهای صنعتی به آن توجه قابل ملاحظه‌ای می شود سلولهای خورشیدی می باشد. علاوه بر این، روش‌های گرمایش طبیعی خورشیدی در بسیاری از کشورهای جهان (به خصوص آمریکا) در دهه گذشته مورد توجه قرار گرفته است (۱۲). مطالعات در زمینه انرژی خورشیدی در ایران از حدود ۳۵ سال قبل و به طور تقریباً همزمان در دانشگاه‌های شیراز و صنعتی شریف شروع شد. از جمله طرح‌های مهم مورد توجه در این مراکز طرح نیروگاه خورشیدی ۱۰ مگاواتی در دانشگاه شیراز و طرح و توسعه و ساخت سلولهای فتوالکتریک در مرکز فوق الذکر بوده است. پروژه‌هایی در زمینه انرژی خورشیدی هم اکنون در کشور توسط سازمان انرژی‌های نو ایران در جریان می باشد.

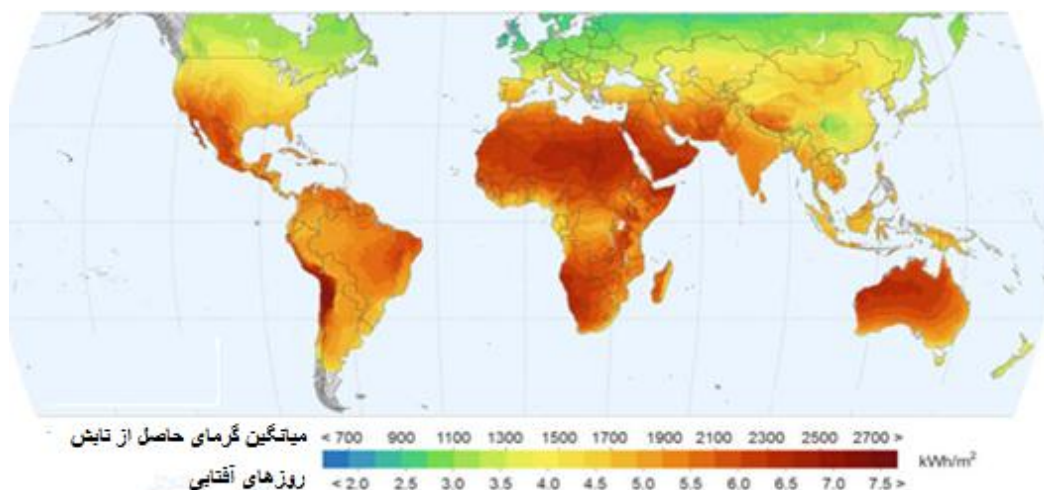
## ۲-۱-۲-۱-۲ اطلس خورشیدی دنیا:

در هر ثانیه تقریباً  $10^{20} * 1/1$  کیلووات ساعت انرژی از خورشید ساطع می شود. تنها یک دو میلیاردم این انرژی به سطح بیرونی جو زمین برخورد می کند (۱۳). این انرژی معادل  $10^{18} * 1/5$  کیلووات ساعت در سال است.



شکل (۲-۳) شماتیک برخورد انرژی خورشیدی با زمین

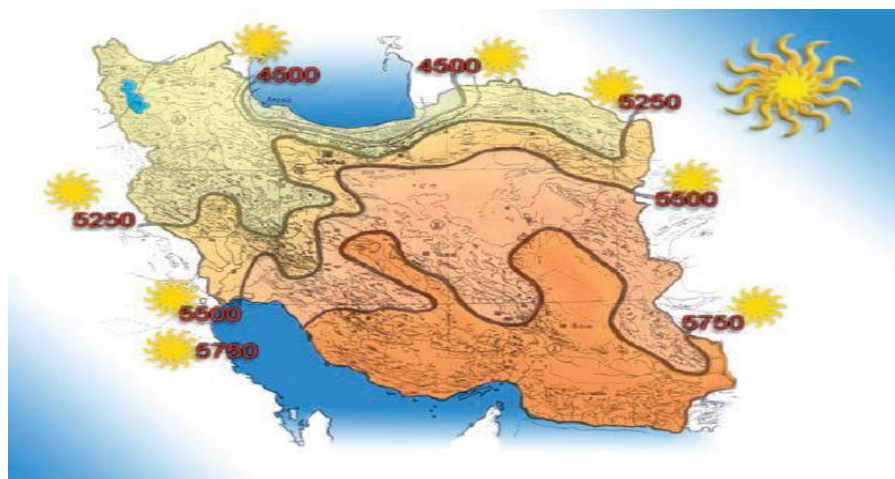
بدلیل ۳۰٪ بازتاب ، تفرق و جذب توسط گازها و ذرات معلق در جو تنها ۴۷٪ از این انرژی به سطح زمین می رسد. بدین ترتیب انرژی تابیده شده به سطح زمین سالانه حدوداً معادل  $10^{17} * 7$  کیلو وات ساعت است.



شکل (۲-۴) اطلس خورشیدی دنیا (۱۴)

## ۲-۱-۳-اطلس خورشیدی ایران:

در ایران روزانه بطور متوسط ۵/۵ کیلووات ساعت انرژی خورشیدی بر هر متر مربع از سطح زمین می تابد و ۳۰۰ روز آفتابی در ۹۰٪ خاک کشور داریم (۱۴). مساحت ایران تقریباً ۱۶۰۰۰۰۰ کیلومتر مربع یعنی حدود  $۱۰^{۱۲} * ۱/۶$  متر مربع است. میزان تابش روزانه انرژی خورشید در ایران برابر است با:

$$۱۰^{۱۲} * ۱/۶ * ۵/۵ \text{ کیلووات ساعت.}$$


شکل (۲-۵) اطلس خورشیدی ایران



## ۲-۱-۴- اقلیم شهر همدان :

استان همدان از سمت شمال به استان‌های زنجان و قزوین، از سمت جنوب به استان لرستان، از سمت شرق به استان مرکزی و از سمت غرب به استان‌های کردستان و کرمانشاه محدود شده‌است.

جدول (۲-۱) مشخصات اقلیمی شهر همدان (۱۵)

کشور	ایران
استان	همدان
شهرستان	همدان
بخش	مرکزی
نام(های) قدیمی	هگمتانه، اکباتان، امدانه، آمادای، آنادانا
جمعیت	۵۲۵٬۷۹۴ سال ۱۳۹۰
	۲۹۲ کالری بر سانتیمتر مربع-روز تابش سالانه خورشید
مساحت	۶۲۸۵٬۰۸ هکتار
ارتفاع از سطح دریا	۱۰۷۴۱ متر
میانگین دمای سالانه	۱۱
میانگین بارش سالانه	۳۲۳ میلی‌متر
روزهای یخبندان سالانه	۱۱۱
عرض جغرافیایی	۳۳ درجه و ۵۹ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی از خط استوا
طول جغرافیایی	۴۷ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۳۶ دقیقه طول شرقی از <u>نصف‌النهار</u> گرینویچ

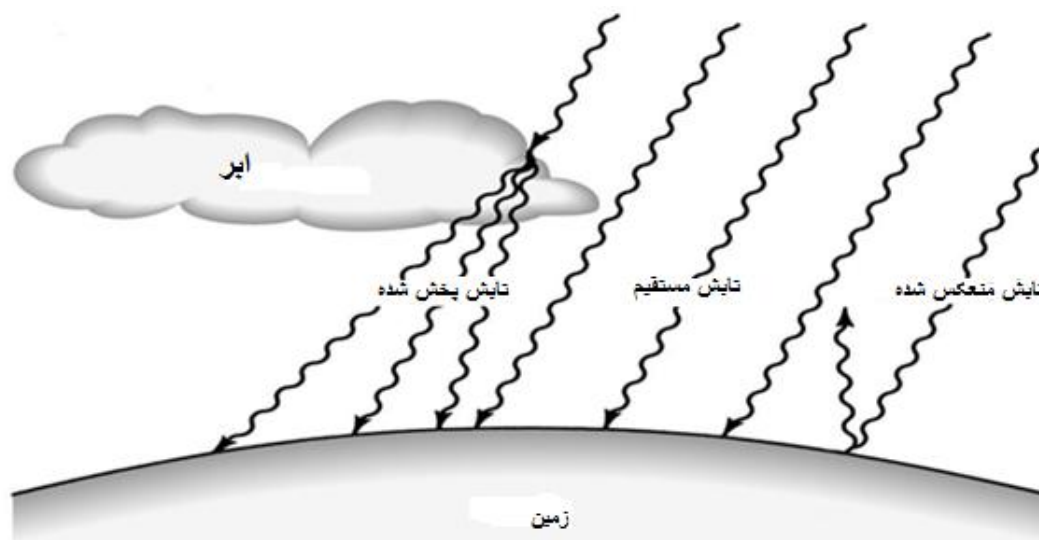
## ۲-۲- تابش خورشیدی:

برآورد تابش خورشیدی با استفاده از متغیرهای هواشناسی:

روابطی که برای محاسبه تابش خورشیدی استفاده می‌شوند همواره وابسته به متغیرهای هواشناسی می‌باشند. این متغیرها شامل: ساعات آفتابی، دمای هوا، ابری بودن، بارندگی، رطوبت نسبی، ترکیب، غلظت و اندازه ذرات موجود در جو (آئروسول‌ها) و آب قابل بارش می‌باشند. این متغیرها به تنهایی یا همراه با هم در روابط مختلف به کار گرفته می‌شوند.

انواع تابش :

- (۱) مستقیم<sup>۱</sup>
- (۲) پخش شده<sup>۲</sup>
- (۳) انعکاس شده<sup>۳</sup>



شکل (۲-۶) برخورد تابش خورشید با زمین

## ۲-۲-۱- بانک اطلاعاتی داده‌های تابش

در حال حاضر ایستگاه تابش سنجی زیادی در ایران وجود دارد که در تمامی آنها تابش کل خورشید و همچنین در برخی از آنها مؤلفه‌های دیگری مثل تابش پراکنده و بازتاب یافته اندازه‌گیری می‌شوند.

<sup>1</sup> - Direct

<sup>2</sup> - Diffuse

<sup>3</sup> - Reflected

این ایستگاه‌ها دارای شرایط اقلیمی متفاوت بوده و عرض جغرافیایی آن‌ها از ۲۵/۶۳ درجه (جاسک) تا ۳۸/۰۸ درجه (تبریز) متفاوت می‌باشد. مشخصات این ایستگاه‌ها در جدول (۲-۲) (۱۸ ایستگاه) آمده است. تحلیل‌های صورت گرفته در این بخش براساس ایستگاه‌های موجود در این جدول می‌باشد (۱۶).

در این ایستگاه‌ها تغییرپذیری مقدار تابش دریافتی نیز قابل توجه است؛ به طوری که ایستگاه رامسر با قرار گرفتن در حاشیه خزر و به دلیل بالا بودن ابرناکی با متوسط تابشی برابر با ۴۶۳۷/۱ مگاژول بر مترمربع در سال دارای کمترین مقدار و ایستگاه کرمان با ۷۴۹۱/۵ مگاژول بر مترمربع در سال، دارای بیشترین مقدار تابش دریافتی می‌باشد.

برای تمام ایستگاه‌های مورد بررسی داده‌های تابش کل روزانه، ساعات آفتابی، دماهای حداکثر و حداقل روزانه و مجموع تابش سالیانه موجود است. ایستگاه‌های مختلف دارای طول دوره اندازه‌گیری متفاوتی هستند، به طوری که ایستگاه بوشهر دارای کوتاه‌ترین دوره (۲۲۶۸ روز) و ایستگاه مشهد دارای طولانی‌ترین دوره ثبت شده (۶۷۳۱ روز) می‌باشد.

جدول (۲-۲) مشخصات برخی از ایستگاه‌های هواشناسی در ایران (۱۳)

ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع (متر)	دما حداقل °C	دما حداکثر °C	مجموع سالیانه ساعات آفتابی	مجموع سالیانه تابش (Mj/m2)	متوسط گذرایی جو
بیرجند	32.87	59.20	1491	8.4	24.4	3293.9	7352.9	0.65
بجنورد	37.47	57.32	1091	6.8	19.8	2946.5	6222.7	0.58
برشهر	28.98	50.83	19.6	19.6	29.6	3214.4	6765.6	0.58
اصفهان	32.62	51.67	1550.4	9.4	23.2	3362.1	6071.2	0.54
همدان	34.87	48.53	1741.5	3.3	19.3	3111.9	6334.4	0.57
جاسک	25.63	57.77	4.8	23.6	29.7	3133.7	6612	0.55
کرج	35.92	50.90	1312.5	8.6	21	3082.1	6556.1	0.60
کرمان	30.25	56.97	1753.8	6.5	24.6	3288.1	7491.5	0.65
مشهد	36.27	59.63	990	7	21.2	3108	5819.1	0.54
ارومیه	37.53	45.08	1313	5.1	17.5	3066.3	6012.5	0.56
رامسر	36.90	50.67	-20	12.5	19.3	2118.3	4637.1	0.43
شیراز	29.60	52.53	1488	9.8	25.7	3437.9	7235.8	0.62
تهران	35.78	51.62	1548.2	10.4	20.2	3022.5	6232.9	0.57
طبرس	33.60	56.92	711	14.3	28.9	3371.1	7048.4	0.63
تبریز	38.08	46.28	1361	7	18	2998	5600.4	0.53
یزد	31.90	54.28	1230.2	11.5	26.5	3281.4	7291.7	0.64
زاهدان	29.47	60.88	1370	10	26.6	3301.4	6317.6	0.54
زنجان	36.68	48.48	1663	3.9	17.9	2972.2	5582.4	0.52

## ۲-۲-۲- بررسی مدل‌های محاسبات تابش خورشید

برای محاسبه تابش کل خورشید با استفاده از متغیرهای هواشناسی می‌توان از مدل‌های مختلفی که به همین منظور توسعه یافته‌اند، استفاده کرد. بیشتر این مدل‌ها دارای ضرایب تجربی هستند که لازم است با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده برای هر ایستگاه به صورت جداگانه برآورد شوند. نتایج مدل‌ها در مناطق مختلف متفاوت بوده و قبل از استفاده در هر منطقه لازم است که مدل‌ها بررسی و پس از محاسبه ضرایب و اعتبارسنجی، بهترین مدل برای منطقه مورد نظر مشخص شود.

در ایران این مدل‌ها توسط پژوهشگران مختلف کالیبره و ضرایب تجربی آن‌ها محاسبه شده است. ولی در موارد متعدد، ضرایبی که در مقیاس زمانی یکسان برای یک مدل پیشنهاد شده‌اند دارای اختلاف بسیار زیادی با یکدیگر هستند. هر چند دوره آماری استفاده شده توسط محققین مختلف ممکن است با هم تفاوت داشته باشند ولی به دلیل تغییرپذیری ناچیز تابش در طی سال‌های مختلف، این عامل نمی‌تواند دلیل اصلی اختلاف‌ها باشند. در برخی موارد ضرایب پیشنهادی حتی با قوانین فیزیکی تابش مغایرت دارند. البته مهمترین دلیل این اختلاف‌ها به کنترل کیفیت داده‌ها بر می‌گردد. به دلیل این که هیچ روش استاندارد برای کنترل کیفیت داده‌های تابش وجود ندارد.

### مدل آنگستروم<sup>۱</sup>

این روش تابش کل روزانه خورشید را با استفاده از ساعات آفتابی ( $S$ ) برآورد می‌کند. انگستروم پیشنهاد کرد که گذرایی جو با متوسط روزانه نسبت ساعات آفتابی موجود به ساعات آفتابی حداکثر ( $S_0$ ) یا همان طول روز نجومی ( $N$ ) رابطه خطی دارد (۱۷). رابطه وی به صورت زیر است:

$$S_0 = N = \frac{w_s - w_r}{15} = \frac{2w_s}{15} \quad (1-2)$$

$$K_T = a + b \frac{S}{S_0} \quad (2-2)$$

که در آن  $K_T$  گذرایی جو یا نسبت تابش کل روزانه خورشید به تابش فراجو روزانه می‌باشد.  $a$  و  $b$  ضرایب تجربی هستند که باید با استفاده از یک دوره آماری داده‌های اندازه‌گیری شده تابش و ساعات آفتابی محاسبه گردند.

<sup>۱</sup> - Angstrom

برای تمام مدل‌های به کار گرفته شده شامل مدل انگستروم، بریستوکمپیل، هارگریوز و ردی تابش فراجو روزانه محاسبه شده و سپس گذرایی روزانه جو ( $K_T$ ) براساس معادله زیر به دست می آید:

$$K_T = \frac{H(MJ.m^{-2}.day^{-1})}{H_{0d}(MJ.m^{-2}.day^{-1})} \quad (2-3)$$

برای بررسی ضرایب مدل‌ها، داده‌های موجود پس از کنترل کیفیت به دو فصل تابستان و زمستان تقسیم شدند و ضرایب مدل‌ها برای فصول مختلف به طور جداگانه محاسبه شدند. ضرایب محاسبه شده مدل انگستروم در جدول (2-3) آورده شده است. در این جدول و سایر جداول مشابه مربوط به سایر مدل‌ها که در ادامه شرح داده می‌شوند،  $a$ ،  $b$  و  $c$  ضرایب مدل‌ها و  $r$  ضریب همبستگی بین متغیر هواشناسی استفاده شده و متغیر برآورد شده (تابش کلی خورشید یا گذرایی جو) می‌باشد.

در جداول ذکر شده، همچنین میانگین و انحراف معیار ضرایب برای کل داده‌های ایستگاه‌های تابش‌سنجی ایران محاسبه شده و مشاهده می‌گردد که در اکثر موارد انحراف معیار ضرایب ناچیز است و نشان دهنده تغییرپذیری کم آن‌ها در گستره ایران می‌باشد.

جدول (۲-۳) ضرایب انگستروم برای ایستگاه‌های موجود در ایران (۱۳)

ایستگاه	فصل	a	b	r	ایستگاه	فصل	a	b	r
بجنورد	تابستان	0.33	0.42	0.89	رامسر	تابستان	0.27	0.46	0.89
	زمستان	0.31	0.45	0.93		زمستان	0.29	0.42	0.87
بوشهر	تابستان	0.37	0.35	0.76	شیراز	تابستان	0.41	0.32	0.71
	زمستان	0.37	0.38	0.86		زمستان	0.39	0.36	0.84
اصفهان	تابستان	0.47	0.26	0.58	شمال تهران	تابستان	0.29	0.42	0.93
	زمستان	0.40	0.34	0.82		زمستان	0.29	0.44	0.95
همدان	تابستان	0.37	0.36	0.84	طیس	تابستان	0.55	0.19	0.36
	زمستان	0.33	0.43	0.90		زمستان	0.31	0.46	0.92
چاسک	تابستان	0.32	0.37	0.91	تبریز	تابستان	0.24	0.47	0.95
	زمستان	0.26	0.47	0.96		زمستان	0.27	0.46	0.93
کرج	تابستان	0.40	0.30	0.76	یزد	تابستان	0.43	0.36	0.59
	زمستان	0.34	0.40	0.91		زمستان	0.39	0.37	0.83
کرمان	تابستان	0.37	0.41	0.86	زاهدان	تابستان	0.40	0.32	0.78
	زمستان	0.33	0.42	0.93		زمستان	0.34	0.39	0.89
کرمانشاه	تابستان	0.34	0.41	0.93	زنجان	تابستان	0.39	0.38	0.77
	زمستان	0.31	0.49	0.95		زمستان	0.29	0.50	0.96
خوربایانک	تابستان	0.45	0.28	0.64	تابستان	میانگین	0.37	0.36	0.78
	زمستان	0.41	0.31	0.80		حداقل	0.24	0.19	0.36
مشهد	تابستان	0.33	0.38	0.92		حداکثر	0.55	0.47	0.95
	زمستان	0.33	0.40	0.91		انحراف	0.07	0.07	0.15
مهرآباد تهران	تابستان	0.38	0.34	0.82	زمستان	میانگین	0.33	0.42	0.90
	زمستان	0.33	0.41	0.94		حداقل	0.26	0.31	0.80
ارومیه	تابستان	0.38	0.43	0.78		حداکثر	0.41	0.50	0.96
	زمستان	0.32	0.49	0.91		انحراف	0.04	0.05	0.05

در رابطه انگستروم ضریب a بیانگر میزان تابش دریافتی در یک روز کاملاً ابری ( $S=0$ ) و  $a+b$  بیانگر مقدار تابش دریافتی در یک روز کاملاً صاف ( $S = S_0$ ) است.



## مدل بریستو و کمپیل

این مدل تابش کل روزانه خورشید را براساس دماهای حداکثر و حداقل روزانه و بارندگی کل روزانه محاسبه می‌کند. در این روش گذرای جو با استفاده از دامنه شبانه روزی دما ( $\Delta T_B$ ) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$K_T = a[1 - \exp(-B \cdot \Delta T_B^c)] \quad (۴-۲)$$

جدول (۴-۲) ضرایب مدل بریستو و کمپیل برای مناطق مختلف ایران (۱۳)

ایستگاه	فصل	a	B	C	ایستگاه	فصل	a	B	C
بجنورد	تابستان	0.68	0.06	1.54	رافسر	تابستان	0.6	0.01	2.45
	زمستان	0.69	0.02	2.04		زمستان	0.7	0.01	2.28
بوشهر	تابستان	0.66	0.03	2.06	شیراز	تابستان	0.68	0.02	1.95
	زمستان	0.68	0.004	2.89		زمستان	0.7	0.01	2.25
اصفهان	تابستان	0.68	0.02	2.05	شمال تهران	تابستان	0.65	0.02	2.17
	زمستان	0.68	0.01	2.4		زمستان	0.67	0.01	2.37
همدان	تابستان	0.68	0.03	1.68	طیس	تابستان	0.73	0.01	2.35
	زمستان	0.68	0.02	1.87		زمستان	0.71	0.002	2.93
چاسک	تابستان	0.70	0.01	2.4	تبریز	تابستان	0.62	0.02	2.18
	زمستان	0.67	0.01	2.85		زمستان	0.64	0.01	2.35
کرج	تابستان	0.63	0.01	2.63	یزد	تابستان	0.72	0.003	2.79
	زمستان	0.68	0.01	2.31		زمستان	0.72	0.01	2.3
کرمان	تابستان	0.75	0.01	2.2	زاهدان	تابستان	0.66	0.01	2.15
	زمستان	0.71	0.02	2.01		زمستان	0.67	0.07	1.39
کرمانشاه	تابستان	0.72	0.05	1.36	زنجان	تابستان	0.72	0.01	2.2
	زمستان	0.74	0.02	1.78		زمستان	0.74	0.01	2.12
خورریانک	تابستان	0.69	0.02	2.14	تابستان	میانگین	0.68	0.018	2.205
	زمستان	0.68	0.002	3.19		حداقل	0.6	0.001	1.36
مشهد	تابستان	0.66	0.02	2.06		حداکثر	0.75	0.06	3.54
	زمستان	0.64	0.02	2.07		انحراف	0.04	0.014	0.458
مهرآباد تهران	تابستان	0.65	0.001	3.54	زمستان	میانگین	0.69	0.014	2.295
	زمستان	0.70	0.01	2.49		حداقل	0.64	0.002	1.39
ارومیه	تابستان	0.75	0.01	2.2		حداکثر	0.75	0.07	3.19
	زمستان	0.75	0.02	2.02		انحراف	0.03	0.014	0.428

در این رابطه  $C$ ،  $B$  و  $a$  ضرایب تجربی وابسته به شرایط ایستگاه بوده و برای هر ایستگاه جداگانه محاسبه می‌گردند. ضریب  $a$ ، بیان کننده ماکزیمم  $K_T$  در شرایط آسمان صاف



برای منطقه مورد نظر و ضرایب B و C مشخص می‌کنند با افزایش  $\Delta T_B$ ، چه مدت طول می‌کشد تا ماکزیمم  $K_T$  به دست آید.

بريستو و كمپيل ضرايب معادله را به صورت  $a = 0.7$  و  $B = 1036 \exp(-0.154 \Delta T_m)$  و  $C = 2.4$  پیشنهاد کردند ( $\Delta T_m$  متوسط ماهانه  $\Delta T_B$ ). آن‌ها همچنین برای محاسبه  $\Delta T_B$  روش زیر را ارائه نمودند:

$$\Delta T_B(j) = T_{\max}(j) - \frac{[T_{\min}(j) + T_{\min}(j+1)]}{2} \quad (2-5)$$

که در این رابطه دما برحسب درجه سانتیگراد و  $j$  نشان دهنده روز مورد نظر است. ضرایب مدل بریستو و کمپیل که با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های تابش‌سنجی ایران محاسبه شده‌اند، در جدول (۲-۴) آورده شده‌اند. میانگین و انحراف از معیار نیز محاسبه شده و مشاهده می‌گردد که تغییرپذیری ضرایب در گستره ایران ناچیز است.

### مدل هارگریوز

در این مدل تابش روزانه فراجو و دامنه روزانه هوا ( $\Delta T_H$ ) متغیرهای مستقل و تابش کل روزانه متغیر وابسته می‌باشد (۱۷). رابطه پیشنهادی هارگریوز و همکارانش به صورت زیر می‌باشد:

$$H = a + bH_o(\Delta T_H)^{0.5} \quad (2-6)$$

$$\Delta T_H = T_{\max} - T_{\min} \quad (2-7)$$

ضرایب مدل هارگریوز که با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های تابش‌سنجی ایران محاسبه شده‌اند در جدول (۲-۵) آورده شده‌اند. در این جا نیز مانند دو مدل قبل میانگین و انحراف از معیار ضرایب برای تابستان و زمستان محاسبه شده است

جدول (۲-۵) ضرایب مدل هارگریوز برای مناطق مختلف ایران (۱۳)

ایستگاه	فصل	a	B	r	ایستگاه	فصل	a	b	r
پجنورد	تابستان	7.84	0.11	0.74	رامسر	تابستان	-5.55	0.2	0.67
	زمستان	0.73	0.16	0.88		زمستان	-2.85	0.2	0.9
بوشهر	تابستان	11.65	0.1	0.58	شیراز	تابستان	9.19	0.1	0.69
	زمستان	3.73	0.15	0.76		زمستان	4.04	0.13	0.79
اصفهان	تابستان	6.53	0.13	0.69	شمال تهران	تابستان	-0.46	0.18	0.78
	زمستان	2.13	0.16	0.86		زمستان	-2.6	0.21	0.94
همدان	تابستان	2.51	0.13	0.82	طیس	تابستان	12.02	0.11	0.66
	زمستان	1.7	0.14	0.86		زمستان	0.35	0.18	0.9
چاسک	تابستان	1.41	0.18	0.52	تبریز	تابستان	1.78	0.15	0.67
	زمستان	5.53	0.13	0.7		زمستان	-0.13	0.15	0.86
کرج	تابستان	6.97	0.11	0.78	یزد	تابستان	11.84	0.1	0.57
	زمستان	1.32	0.16	0.84		زمستان	3.37	0.14	0.8
کرمان	تابستان	10.96	0.1	0.58	زاهدان	تابستان	8.43	0.1	0.69
	زمستان	0.73	0.15	0.86		زمستان	3.78	0.11	0.82
کرمانشاه	تابستان	2.5	0.13	0.85	زنجان	تابستان	7.41	0.12	0.74
	زمستان	1.25	0.15	0.89		زمستان	0.74	0.16	0.86
خوریابانک	تابستان	9.38	0.12	0.74	تابستان	میانگین	6	0.13	0.7
	زمستان	1.89	0.16	0.85		حداقل	-5.55	0.1	0.52
مشهد	تابستان	3.35	0.14	0.76		حداکثر	12.02	0.2	0.85
	زمستان	0.63	0.15	0.89		انحراف	4.63	0.03	0.09
مهرآباد تهران	تابستان	5.37	0.14	0.75	زمستان	میانگین	1.28	0.16	0.85
	زمستان	-1.3	0.2	0.87		حداقل	-2.85	0.11	0.7
ارومیه	تابستان	6.92	0.14	0.75		حداکثر	5.53	0.21	0.94
	زمستان	0.62	0.17	0.86		انحراف	2.14	0.02	0.05

## مدل ردی

ردی از متغیرهای بارش روزانه (p,mm) و عرض جغرافیایی ( $\Phi$ ) برحسب درجه) برای برآورد تابش روزانه خورشید به صورت زیر استفاده نمود:

$$H = a + b\Phi + cp^{0.33} \quad (2-8)$$

با توجه به این که یکی از متغیرهای مستقل این رابطه عرض جغرافیایی می باشد، بنابراین ضرایب آن نمی توانند برای یک ایستگاه خاص تعیین شوند و برای محاسبه ضرایب آن نیاز به ایستگاه های دارای عرض های جغرافیایی متفاوت داریم. با به کار بردن داده های تمامی ایستگاه های تابشی ایران، ضرایب این مدل به صورت زیر تعیین شده اند.

الف) برای تابستان  $a=29/56$  ،  $b=-0/12$  ،  $c=-4/0$  و  $r=0/35$

ب) برای زمستان  $a=32/74$  ،  $b=-0/53$  ،  $c=-2/72$  و  $r=0/48$

## مقایسه نتایج مدل های مختلف برای ایران

برای اعتبار سنجی مدل ها، داده های تابش سال هایی که برای کالیبراسیون مدل ها استفاده شده بودند کنار گذاشته شدند و داده های بقیه سال ها استفاده شدند. سنجه های آماری شامل عرض از مبدأ (a)، شیب (b) و ضریب همبستگی، رابطه خطی بین داده های اندازه گیری شده و محاسبه شده (r)، RMSE و MBE در جدول (۶-۲) آورده شده اند.

جدول (۶-۲) مقایسه مدل‌های محاسبه تابش در ایستگاه‌های مختلف (۱۳)

ایستگاه	مدل	a	b	r	RMSE	MBE	%RMSE	%MBE
بجنورد	انگستروم	4.21	0.83	0.82	3.18	0.5	15	2.37
	بریسو	6.44	0.73	0.74	3.8	0.8	17.93	3.78
	هارگریوز	8.58	0.62	0.71	3.73	0.5	17.58	2.33
	ردی	21.72	-0.34	-0.39	10.49	-6.72	49.43	-31.68
یونسفر	انگستروم	5.55	0.75	0.91	2.34	0.12	10.79	0.55
	بریسو	5.18	0.72	0.76	3.91	-0.81	18.02	-3.74
	هارگریوز	9.8	0.54	0.75	3.75	-0.08	17.26	-0.36
	ردی	24.49	-0.23	-0.33	8.09	-2.13	37.26	-9.81
اصفهان	انگستروم	5.54	0.79	0.92	2.12	0.74	9.12	3.17
	بریسو	6.29	0.74	0.85	2.64	0.26	11.35	1.11
	هارگریوز	8.69	0.65	0.83	2.85	0.57	12.26	2.44
	ردی	27.34	-0.42	-0.52	9.77	-5.8	41.97	-24.92
همدان	انگستروم	8.02	0.62	0.82	4.27	-0.75	18.29	-3.19
	بریسو	8.23	0.61	0.77	4.73	-0.85	20.27	-3.65
	هارگریوز	10.45	0.5	0.73	5.13	-1.25	21.96	-5.36
	ردی	21.31	-0.23	-0.4	12.2	-7.35	52.24	-31.47
چابک	انگستروم	4.65	0.8	0.83	2.24	0.49	10.82	2.39
	بریسو	6.5	0.18	0.09	13.1	-10.47	63.36	-50.67
	هارگریوز	8.11	0.35	0.38	6.69	-5.33	32.37	-25.77
	ردی	28.13	-0.34	-0.4	5.92	0.35	28.63	1.69
کرج	انگستروم	5.09	0.78	0.88	2.68	0.42	12.73	1.99
	بریسو	6.04	0.73	0.79	3.48	0.27	16.53	1.26
	هارگریوز	8.38	0.61	0.8	3.36	0.08	15.94	0.38
	ردی	23.92	-0.39	-0.47	10.27	-5.3	48.71	-25.13
کرمان	انگستروم	3.62	0.86	0.92	2.22	0.36	9.28	1.53
	بریسو	8.11	0.74	0.85	3.55	1.94	14.83	8.11
	هارگریوز	7.91	0.72	0.83	3.36	1.12	14.03	4.68
	ردی	26.73	-0.33	-0.48	9.73	-5.13	40.67	-21.44
کرمانشاه	انگستروم	3.58	0.86	0.93	2.4	0.48	10.86	2.17

3.65	13.97	0.81	3.09	0.88	0.82	4.88	پرستو	
1.78	14.6	0.39	3.23	0.86	0.69	7.22	هارگریوز	
-26.41	47.3	-5.85	10.47	-0.38	-0.25	21.76	ردی	
2.97	14.13	0.65	3.1	0.82	0.68	7.66	انگستروم	زاهدان
0.26	16.6	0.06	3.65	0.73	0.58	9.36	پرستو	
-2.35	17.12	-0.52	3.76	0.72	0.58	8.75	هارگریوز	
-10.79	38.41	-2.37	8.44	-0.48	-0.36	27.6	ردی	
3.3	13.92	0.68	2.87	0.89	0.81	4.55	انگستروم	مشهد
5.45	16.64	1.12	3.43	0.85	0.81	4.98	پرستو	
5.35	17	1.1	3.5	0.84	0.77	5.91	هارگریوز	
-25.83	50.78	-5.32	10.46	-0.5	-0.35	22.47	ردی	
0.01	12.67	0.0	2.76	0.89	0.8	4.41	انگستروم	مهرآباد
0.28	18.38	0.06	4.01	0.75	0.69	6.91	پرستو	
-0.49	17.82	-0.11	3.89	0.76	0.6	8.71	هارگریوز	
-28.73	48.77	-6.27	10.64	-0.40	-0.29	21.87	ردی	
2.82	12.23	0.68	2.94	0.92	0.81	5.23	انگستروم	ارومیه
-0.84	16.96	-0.2	4.08	0.82	0.69	7.22	پرستو	
1.36	17.55	0.33	4.22	0.81	0.62	9.45	هارگریوز	
-39.98	57.34	-9.62	13.8	-0.39	-0.25	20.49	ردی	
-6.25	28.38	-0.95	4.32	0.75	0.66	4.22	انگستروم	رامسر
-31.02	49.39	-4.72	7.52	0.55	0.54	2.24	پرستو	
-19.94	38.79	-3.04	5.91	0.59	0.42	5.85	هارگریوز	
-9.61	53.77	-1.46	8.19	-0.11	-0.08	14.96	ردی	
2.63	10.93	0.6	2.51	0.88	0.75	6.36	انگستروم	شیراز
1.72	12.09	0.39	2.77	0.85	0.79	5.2	پرستو	
-0.13	12.75	-0.03	2.92	0.83	0.62	8.61	هارگریوز	
-16.26	36.38	-3.73	8.34	-0.34	-0.25	25.04	ردی	
-6.27	13.6	-1.38	2.99	0.92	0.78	3.44	انگستروم	شمال تهران
-6.74	17.14	-1.48	3.77	0.86	0.79	3.04	پرستو	
-9.01	18.29	-1.98	4.03	0.86	0.66	5.59	هارگریوز	
-30.36	51.43	-6.68	11.32	-0.37	-0.22	20.27	ردی	
2.69	9.11	0.64	2.18	0.92	0.86	3.9	انگستروم	طیس



2.22	12.75	0.53	3.06	0.85	0.92	2.43	برستو	
4.88	13.58	1.17	3.25	0.82	0.74	7.48	هارگریوز	
-28.57	45.25	-6.85	10.84	-0.54	-0.43	27.51	ردی	
-12.66	18.95	-3.05	4.56	0.88	0.64	5.57	انگستروم	تبریز
-12.4	21.64	-2.99	5.21	0.79	0.54	8.18	برستو	
-15.27	23.75	-3.68	5.72	0.78	0.51	8.2	هارگریوز	
-0.11	10.5	-0.03	2.63	0.88	0.8	4.89	انگستروم	یزد
0.41	13.69	0.1	3.43	0.79	0.65	8.87	برستو	
-1.36	13.56	-0.34	3.4	0.79	0.61	9.46	هارگریوز	
-27.34	44.34	-6.85	11.11	-0.6	-0.45	29.59	ردی	

جدول (۷-۲) رتبه بندی مدل‌ها در ایستگاه‌ها که براساس اطلاعات جدول (۶-۲) انجام گرفته، را نشان می‌دهد. به طوری که مشاهده می‌شود، در تمام ایستگاه‌ها معادله انگستروم، برآورد بهتری از تابش کل خورشید دارد. بنابراین استفاده از رابطه انگستروم برای برآورد تابش در ایستگاه‌های مختلف ایران پیشنهاد می‌شود.

جدول (۷-۲) رتبه بندی مدل‌ها در ایستگاه‌ها (۱۳)

ایستگاه	رتبه ۱	رتبه ۲	رتبه ۳	رتبه ۴	ایستگاه	رتبه ۱	رتبه ۲	رتبه ۳	رتبه ۴
بجنورد	انگستروم	هارگریوز	برستو	ردی	مهرآباد	انگستروم	هارگریوز	برستو	ردی
یوشهر	انگستروم	هارگریوز	برستو	ردی	ارومیه	انگستروم	برستو	هارگریوز	ردی
اصفهان	انگستروم	برستو	هارگریوز	ردی	رامسر	انگستروم	هارگریوز	برستو	ردی
همدان	انگستروم	برستو	هارگریوز	ردی	شیراز	انگستروم	برستو	هارگریوز	ردی
کرج	انگستروم	هارگریوز	برستو	ردی	تهران	انگستروم	برستو	هارگریوز	ردی
جاسک	انگستروم	برستو	هارگریوز	ردی	طیس	انگستروم	برستو	هارگریوز	ردی
کرمان	انگستروم	هارگریوز	برستو	ردی	تبریز	انگستروم	برستو	هارگریوز	ردی
کرمانشاه	انگستروم	برستو	هارگریوز	ردی	یزد	انگستروم	هارگریوز	برستو	ردی
مشهد	انگستروم	برستو	هارگریوز	ردی	زاهدان	انگستروم	برستو	هارگریوز	ردی

با توجه به جدول بالا مشاهده می‌کنیم که استفاده از مدل انگستروم برای محاسبه تابش خورشیدی در شهرهای ایران از دیگر مدل‌های ارائه شده دقیق است. آنان به این نتیجه رسیده‌اند که این ضرایب مقادیر ثابتی نیستند بلکه به بسیاری از پارامترها از جمله عرض جغرافیایی فصول سال و غیره بستگی دارد.

## ۲-۳- زوایای حرکت خورشید و زاویه‌های لازم دیگر

زمانیکه بخواهیم حرکت خورشید را از نظر یک ساکن واقع در روی زمین بررسی کنیم به نظر می‌رسد که خورشید در یک مدار دایره‌ای شکل حول زمین چرخش می‌کند، اگرچه این



در این رابطه  $n$  شماره روز می باشد. برای محاسبه مقدار  $n$  روابطی موجود است که این روابط در جدول (۲-۸) متناسب با ماه میلادی آورده شده است؛ این جدول شامل مقادیر  $n$  برای کلیه سال‌ها، به جز سال‌های کبیسه می‌باشد. برای سال کبیسه به مقدار  $n$  از ماه مارس به بعد باید یک واحد اضافه کرد و بدین ترتیب مقادیر  $\delta$  نیز مختصر تغییر خواهد کرد.

جدول (۲-۸) مقدار  $n$  برای هر ماه (Pacheco ۲۰۰۲)

ماه میلادی	$n$ برای روز $i$ ام ماه میلادی
ژانویه Jan	$i$
فوریه Feb	$31+i$
مارس Mar	$59+i$
آوریل Apr	$90+i$
مه May	$120+i$
ژوئن Jun	$151+i$
ژوئیه Jul	$181+i$
آگوست Aug	$212+i$
سپتامبر Sep	$243+i$
اکتبر Oct	$273+i$
نوامبر Nov	$304+i$
دسامبر Dec	$334+i$

## ۲-۳- سیستم‌های حرارتی خورشیدی :

در این بخش هدف بررسی انواع سیستم‌های خورشیدی می‌باشد و به طور مفصل این سیستم‌ها بررسی خواهند شد، ولی با توجه به نقش اصلی کلکتورها در بیشتر این سیستم‌ها، در ابتدا به بررسی انواع این کلکتورها که عموماً وظیفه جذب و جمع آوری تابش خورشید را بر عهده دارند پرداخته می‌شود.

## ۲-۳-۱- مفاهیم :

قبل از پرداختن به جزئیات سیستم‌های حرارتی خورشیدی، بهتر است برخی مفاهیم اولیه شرح داده شوند:



**سیال عامل<sup>۱</sup>:** در اغلب سیستم‌ها، حرارت جذب شده توسط کلکتور برای اینکه به نقاط دیگر منتقل شده و مورد استفاده مناسب قرار گیرد به کی سیال انتقال حرارت که ممکن است روغن، آب، هوا و ... باشد منتقل می شود این سیال را سیال عامل می نامند.

**سطوح جاذب<sup>۲</sup>:** سطوح تیره دارای قابلیت جذب بهتر اشعه‌های تابیده شده خورشید هستند در سیستم‌های خورشیدی، جایی که نور خورشید تابیده شده یا متمرکز می شود، سطوح جاذب در معرض آن قرار می گیرند. این سطوح با روشهای مختلف صنعتی ساخته می شوند که بتوانند حداکثر جذب انرژی حرارتی را داشته باشند.

**سیستم ذخیره حرارت:** برای اینکه در طول شب یا در ساعات ابری بتوان از انرژی خورشید استفاده نمود لازم است مقداری از انرژی حرارتی خورشید در منابعی ذخیره شود. در آبگرمکنهای خورشیدی از مخازن ذخیره آب گرم استفاده می شود و در سیستم‌های نیروگاهی، انرژی می شود تا در هنگام عدم تابش خورشید، مورد استفاده قرار گیرد.

**گرد آورنده‌ها<sup>۳</sup>:** بصورت تخت یا دارای انحنا می باشند. ممکن است بصورت تکی یا تعدادی از آنها در سیستم‌ها وجود داشته باشند. اغلب سیستم‌های نیروگاهی از گرد آورنده‌ها در سطح وسیعی بهره می برند.

## **۲-۳-۲- سیستم‌های غیر نیروگاهی انرژی خورشیدی**

کاربردهای غیر نیروگاهی سیستم‌های حرارتی خورشیدی را می توان در زمینه‌های زیر بصورت صنعتی، تجاری و خانگی تقسیم بندی کرد:

- گرمایش آب مصرفی (آب گرمکنهای خورشیدی) برای منازل، ساختمانها، کارخانجات و استخرها و حمام خورشیدی

- ساختمان‌های خورشیدی (گرمایش فضای داخلی ساختمانها، سرمایش فضای داخلی ساختمانها)

- آب شیرین کن‌های خورشیدی (در اندازه‌های خانگی و صنعتی)

- خشک کن‌های خورشیدی (برای خشک کردن مواد غذایی و محصولات کشاورزی)

- اجاق‌های خورشیدی

- کوره‌های خورشیدی

---

<sup>1</sup> - Working Fluid

<sup>2</sup> - Absorbent Surface

<sup>3</sup> - Collectors

- استخرهای خورشیدی
- پمپ‌های حرارتی خورشیدی

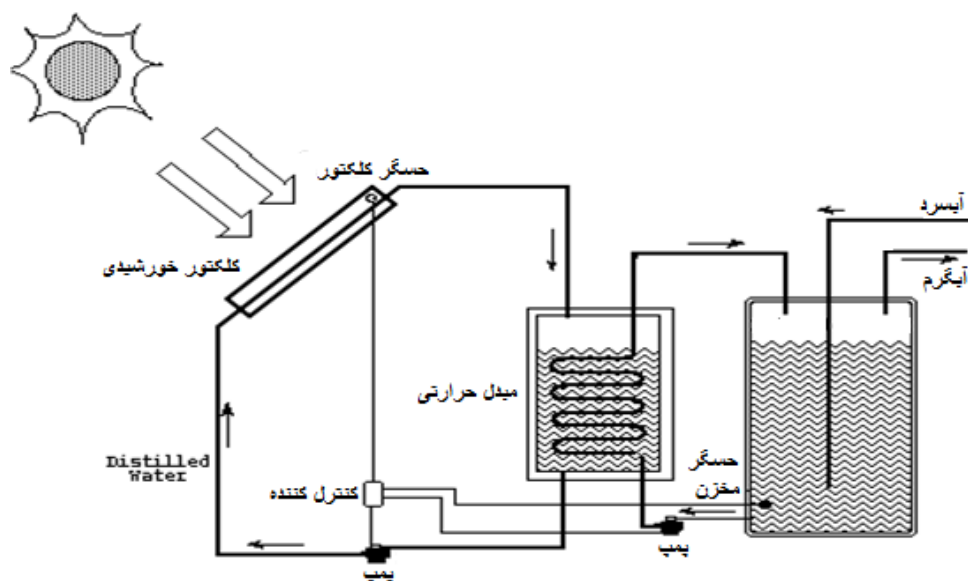
## ۲-۳-۳- آبگرمکن خورشیدی:

آبگرمکن‌ها اصلی‌ترین سیستم مورد استفاده در کاربردهای غیرنیروگاهی خورشیدی می‌باشند. همانطور که از نام آن پیداست برای گرم کردن آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. آب گرم تولید شده می‌تواند برای:

- آب گرم بهداشتی
- گرم کردن فضای ساختمانی یا تأمین آب پیش گرم برای سیستم‌های گرمایشی
- تأمین گرمای مورد نیاز برای راه اندازی سیستم‌های جذبی، جهت تهویه مطبوع و سیستم‌های سرمایشی
- استفاده در خشک کنها و آب شیرین کنها و غیره مورد استفاده قرار گیرد.

طرز کار یک آبگرمکن خورشیدی:

آبگرمکنها از سه بخش اصلی تشکیل می‌شوند که شامل: کلکتور، مدار لوله کشی، مخزن ذخیره حرارتی می‌باشند.



شکل (۲-۸) سیستم یک آبگرمکن خورشیدی (Kalogirou,s,2009)

در اغلب آبگرمکنهای امروزی سیال عامل که محلول آب و ضد یخ است در کی سیکل بسته<sup>۱</sup> بین مخزن و کلکتور توسط مدار لوله کشی در جریان است. کلکتور انرژی حرارتی خورشید را جذب کرده و به سیال عامل منتقل می کند سیال گرم شده به سمت منبع ذخیره حرکت کرده و در آنجا پس از عبور از یک مبدل حرارتی، گرمای خود را به آب داخل مخزن منتقل می کند و پس از سرد شدن به کلکتور باز می گردد و بدین ترتیب بدون اینکه با آب مصرفی مخلوط شود، دائماً در یک سیکل بسته در حال حرکت است. آبگرمکنهای خورشیدی به دو دسته، آبگرمکنهای مدار باز و مدار بسته طبقه بندی می شوند که هر یک به دو صورت ترموسیفونی (جریان طبیعی) یا پمپی (اجباری) می توانند کار نمایند.

در سیستمهای مدار باز، آبی که جهت تأمین آب گرم مصرفی مورد استفاده می باشد مستقیماً از تانک ذخیره کلکتورها، پمپ می شود.

دو نوع مدار باز داریم: ۱- گردش اجباری (پمپ)، ۲- ترموسیفون.

وقتی که دمای سیال داخل کلکتورها بیشتر از دمای تانک ذخیره باشد، آب گرم شده به طرف مخزن ذخیره هدایت می شود. سیستم تخلیه از پایین شامل دریچه‌ای است که آب داخل کلکتورها را وقتی به ۳۸ درجه سانتیگراد می رسد تخلیه می کند. وقتی که دما کمتر از ۳۸ درجه سانتیگراد باشد (۱۹)، سیستم بصورت اتوماتیک، آب را از تانک ذخیره به سمت کلکتورها پمپ می کند. یک سیستم مدار بسته بسیار کارآمد و قابل اطمینان بوده و به نگهداری کمتری احتیاج دارد. مثلاً مواد ضد یخ بکار رفته در سیستم هر ۲ سال یکبار به بازرسی نیاز دارد (در این سیستم، به دلیل استفاده از مایع ضد یخ احتمال خنک شدن سریع و انجماد وجود ندارد و بسیار قابل اعتماد و قابل استفاده در محدوده وسیعی می باشد. البته در این سیستم کلکتورها حتماً باید بالاتر از تانک انتقال حرارت نصب شوند. در سیستمهای باز، قدرت پمپ برابر است با مجموع اصطکاک داخل لوله‌ها و اختلاف ارتفاع بین کلکتور و مخزن ذخیره، در صورتیکه در سیستمهای بسته قدرت پمپ تنها برابر است با مجموع اصطکاک داخلی لوله‌ها. استفاده از آبگرمکنهای خورشیدی برای مناطق پرتابش و دور از شبکه سراسری مناسب می باشد.

---

<sup>۱</sup> - Closed Cycle

## ۲-۳-۴- سیستم‌های نیروگاهی انرژی خورشیدی

با گسترش روز افزون استفاده از انرژی خورشیدی روش‌های مختلف استفاده از این انرژی نیز گسترش یافت. امروزه سیستم‌های انرژی خورشیدی به طور عمده به ۳ بخش زیر تقسیم می‌گردند:

\*نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی از نوع کلکتور سهموی خطی

\*نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی از نوع برج دریافت کننده مرکزی

\*سیستم‌های فتو ولتائیک

## ۲-۳-۴-۱- نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی از نوع کلکتور سهموی خطی

تکنولوژی نیروگاه‌ها از نوع کلکتور سهموی خطی بر ۴ عنصر اصلی تکیه دارد:

### الف- سیستم متمرکز کننده

در این سیستم‌ها، کلکتور سهموی وظیفه متمرکز کردن نور خورشید را بر عهده دارد. نمایی از این سیستم در شکل زیر آورده شده است:



شکل (۲-۹) نمایی از بخش متمرکز کننده کلکتورهای سهموی (Kalogirou,s,2009)

### ب- سیستم دریافت کننده

این سیستم وظیفه دریافت امواج تابش خورشید را به عهده دارد. در شکل زیر نمایی از سیستم آمده است.



شکل (۲-۱۰) نمایی از بخش جذب کننده کلکتورهای سهموی (Kalogirou,s,2009)

### ج- سیستم انتقال و ذخیره

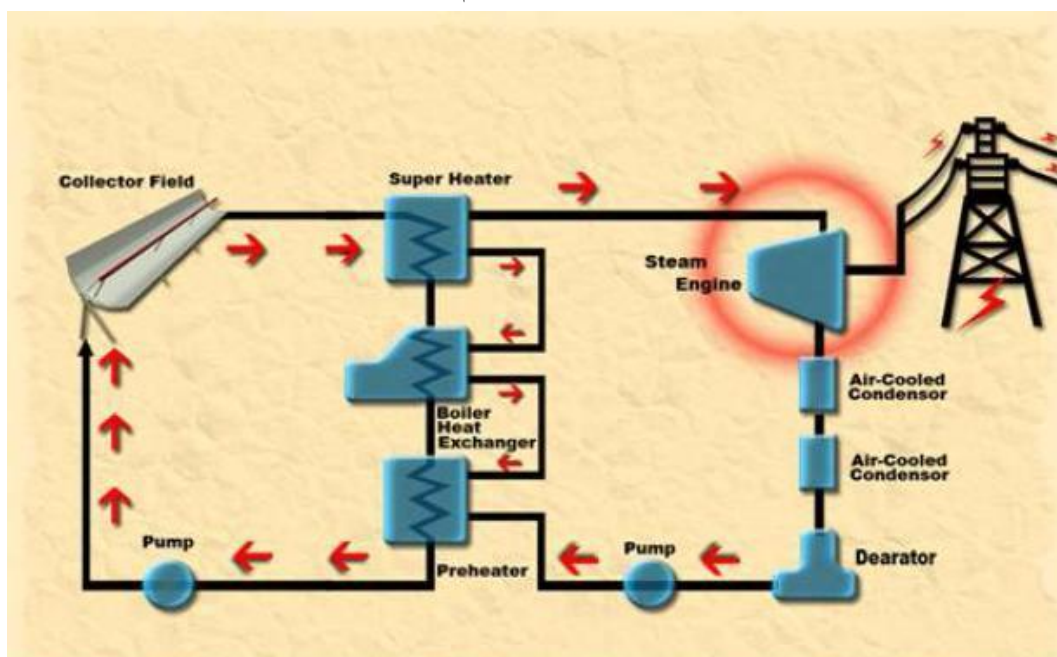
این سیستم همچنان که از نامش پیداست وظیفه انتقال و ذخیره انرژی خورشیدی را به عهده دارد. در شکل زیر نمونه‌ای از این سیستم قابل مشاهده است:



شکل (۲-۱۱) نمایی از بخش انتقال و ذخیره کلکتورهای سهموی (Kalogirou,s,2009)

## د- سیستم تبدیل انرژی

در این سیستم انرژی تابش خورشید، جهت تولید توان، به بخار تبدیل می‌گردد. ویژگی اصلی نیروگاه‌های سهموی خطی که باعث توسعه آن‌ها شده است، توانایی بی‌نظیر آن‌ها در کویل شدن با نیروگاه‌های با سوخت فسیلی می‌باشد. این ویژگی بی‌نظیر باعث می‌گردد انعطاف پذیری استفاده از این سیستم بسیار بالا گردد و امکان استفاده از این نوع نیروگاه‌ها در کنار نیروگاه‌های فسیلی فراهم گردد که این نزدیکی این امکان را فراهم خواهد ساخت که بتوان از امکانات این نیروگاه‌ها برای سیستم‌های خورشیدی استفاده نمود.



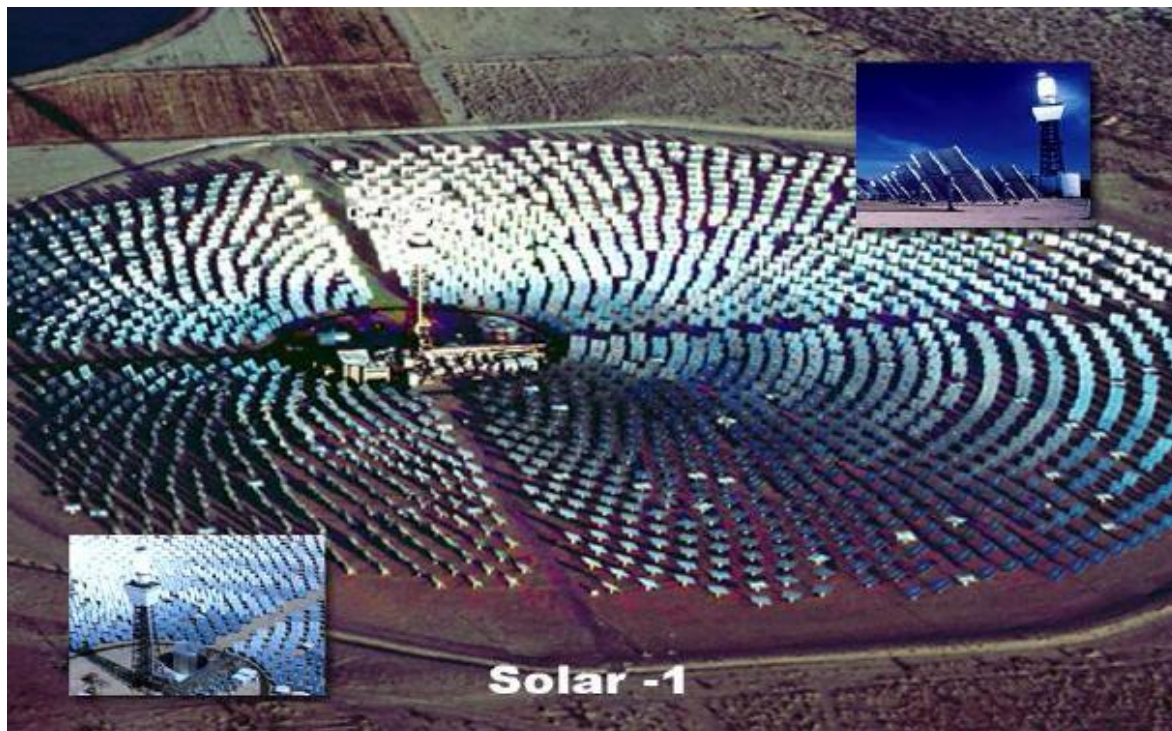
شکل (۲-۱۲) نمایی کامل از یک نیروگاه‌های سهموی خطی (Wanger, 2008)

اولین نیروگاه سهموی خطی از سال ۱۹۸۵ میلادی در جنوب کالیفرنیا با ظرفیت ۳۵۴ MW شروع به کار نمود (۲۰). در سایر کشورها نیز از این نوع نیروگاه‌ها استفاده می‌شود. کشورهای اسپانیا، مصر، مکزیک، هند و مراکش از جمله این کشورها هستند.

## ۲-۳-۲-۴- نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی از نوع برج دریافت کننده مرکزی

ایده نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی از نوع دریافت کننده مرکزی اولین بار توسط دانشمندان روسی در اوایل دهه ۱۹۵۰ مطرح گردید و اولین نوع از نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی از نوع دریافت کننده مرکزی در سال ۱۹۸۲ با نام solar1 با ظرفیت ۱۰ MW به بهره برداری رسید (۲۰).





شکل (۲-۱۳) نمای کامل نیروگاه دریافت کننده مرکزی (Kalogirou,s,2009)

در نیروگاه‌های دریافت کننده مرکزی پرتوهای خورشید توسط مزرعه‌ای که از تعداد زیادی آینه‌های منعکس کننده بر روی یک دریافت کننده که بالای برج نسبتاً بلندی نصب شده است متمرکز می‌شود. مجموعه آینه‌ها به صورتی طراحی شده است که خورشید را تعقیب می‌نماید که به این مجموعه سیستم گردآورنده می‌گویند. در این سیستم سیال عامل وارد سیستم دریافت کننده شده و پس از جذب حرارت ناشی از پرتوهایی که بر روی سطح دریافت کننده متمرکز شده اند، وارد سیستم تولید بخار نیروگاه می‌گردد. می‌توان گفت که این قسمت نقش بویلر را در نیروگاه‌های متعارف تولید برق بازی می‌کند. بخار اضافی تولید شده می‌تواند وارد سیستم ذخیره انرژی شده و حرارت آن به این سیستم منتقل شود. در شکل زیر یک نمونه از این نیروگاه‌ها آمده است.



شکل (۲-۱۴) نمایی از آینه‌های منعکس کننده و برج دریافت کننده (Kalogirou, s, 2009)

این سیستم از تانک‌های بزرگ حاوی سنگ، روغن یا نمک مذاب تشکیل شده است. از سیستم ذخیره در هنگام افت توان در نیروگاه و نیز پیشگرم کردن نیروگاه در ابتدای روز استفاده می‌شود.



شکل (۲-۱۵) نمایی از سیستم ذخیره نیروگاه دریافت کننده مرکزی (نگارنده)

در یک نیروگاه حرارتی خورشیدی از نوع دریافت کننده مرکزی برای جبران تغییرات در انرژی تابشی خورشید می‌توان از سوخت فسیلی به عنوان سوخت کمکی استفاده کرد، این سیستم به نام نیروگاه دوگانه فسیلی خورشیدی و یا هیبرید شناخته می‌شود. از این سیستم



علاوه بر تولید الکتریسیته می توان برای تولید هیدروژن با مقیاس بالا استفاده نمود. از دهه ۱۹۸۰ تاکنون سیستم‌های دریافت کننده مرکزی مختلفی در روسیه، اسپانیا، ژاپن، فرانسه و ایالات متحده آمریکا نصب و راه اندازی شده است (۲۰). این نیروگاه‌ها می تواند حرارت بیش از  $130^{\circ}\text{C}$  تولید نماید، به همین دلیل در مقایسه با دیگر سیستم‌های خورشیدی دارای راندمان بالاتری می باشد و در حال حاضر نیز مطالعات بر روی این سیستم ادامه دارد.

### ۲-۳-۴-۳- سیستم‌های فتوولتائیک

با پیشرفت صنعت الکترونیک، بشر به تکنولوژی تولید سلول‌های فتوولتائیک دست یافت. در ابتدا این سلول‌ها تنها برای مصارف فضایی و نظامی مورد استفاده قرار می‌گرفت اما به تدریج با توسعه تکنولوژی این فن، امکان توسعه تجاری این فن و ارائه آن به بازار فراهم گردید.



شکل (۲-۱۶) کاربرد روش فتوولتائیک در فضاوردی (Kalogirou,s,2009)

به پدیده‌ای که با استفاده از نور خورشید بدون استفاده از مکانیزم‌های محرک مستقیماً الکتریسیته تولید کند پدیده فتوولتائیک گویند. سیستم‌های فتوولتائیک یکی از پرکاربردترین سیستم‌های انرژی‌های نو می‌باشد و تاکنون سیستم‌های گوناگونی در سرتاسر جهان نصب و راه اندازی شده است. عملکرد مناسب این سیستم‌ها باعث شده که هر روزه بر تعداد آن‌ها در جهان افزوده شود.

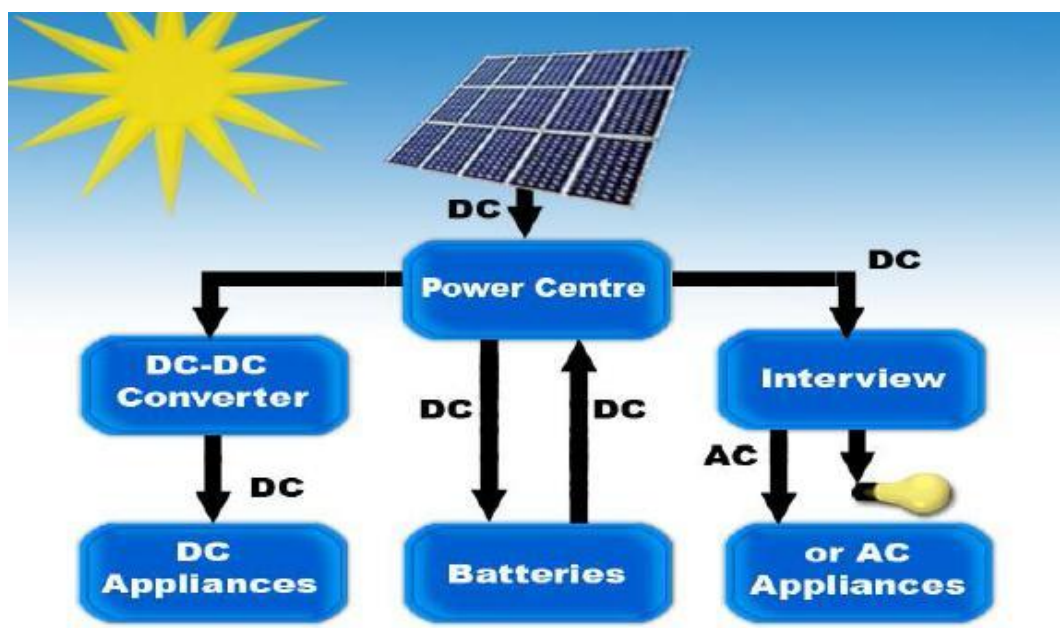
سیستم‌های فتوولتائیک از ۳ مجموعه شامل پنل فتوولتائیک (photovoltaic module)، بخش واسطه (medium part) و بخش مصرف کننده انرژی (electrical load) تشکیل شده

است. پنل‌ها یا پیل‌های خورشیدی مبدل انرژی خورشیدی به انرژی الکتریکی می‌باشد. جریان ولتاژ خروجی این پنل‌ها از نوع برق DC می‌باشد. عنصر اصلی تمام این سلول‌ها سیلیکون می‌باشد.

سلول‌های ساخته شده در سه نوع مختلف سیلیکون تک کریستالی، سیلیکون چند کریستالی یا پلی کریستال و فیلم‌های نازک می‌باشد.

به یک مجموعه از سلول‌های سری یا موازی شده پنل فتولتائیک گویند. بخش بعدی با نام تولید مطلوب یا بخش کنترل می‌باشد. این بخش در واقع مغز سیستم می‌باشد که توان ورودی پنل‌ها را طبق نیاز الکتریکی مصرف کنندگان تصحیح و کنترل می‌نماید.

عناصر تشکیل دهنده این بخش عبارتند از: باتری، شارژ کنترل، MPPT، INVERTER، سیستم کنترل و ....



شکل (۲-۱۷) فرآیند کامل سیستم فتولتائیک (Kalogirou,s,2009)

مصرف کننده الکتریکی می‌تواند از ۲ نوع DC و یا AC باشد که با آرایش‌های مختلفی از پنل‌های فتولتائیک می‌توان بارهای متفاوتی را با توان‌های مختلف ۵W/۰ الی چند مگاوات تأمین نمود. از جمله این کاربردها می‌توان به نیروگاه فتولتائیک از نوع متصل یا مستقل از

شبکه سراسری، سیستم پمپاژ خورشیدی، روشنایی خورشیدی، حفاظت کاتدیک، یخچال خورشیدی از نوع فتولتائیک، سیستم تغذیه قابل حمل یا پرتابل و دیگر کاربردها اشاره کرد.

## ۲-۳-۵- انواع کلکتور خورشیدی :

کلکتورهای خورشیدی نوع خاصی از مبدل‌های گرمایی هستند که انرژی تابشی خورشید را به سیالی که معمولاً آب روغن یا هوا است، انتقال می‌دهند. مهم‌ترین جزء هر سیستم خورشیدی در گرمایش و یا سرمایش کلکتور خورشیدی است که به صورت زیر تقسیم بندی می‌شوند.

جدول (۲-۹) مقایسه‌ای مختصر از کلکتورهای مرسوم (۲۱)

نوع حرکت کلکتور	نوع کلکتور	محدوده‌ی دمایی
ایستا	صفحه تخت	۸۰-۳۰
	لوله خلایی	۲۰۰-۵۰
سیستم با ردیابی حول یک محور	بازتابنده متمرکزکننده	۲۵۰-۶۰
	سهموی خطی	۳۰۰-۶۰
سیستم با ردیابی حول دو محور	سهموی بشقابی	۵۰۰-۱۰۰

## ۲-۳-۵-۱- کلکتورهای ایستا:

این کلکتورها پس از نصب، حرکتی برای ردیابی خورشید ندارند. این کلکتورها نیز به دو دسته تقسیم می‌شوند.

۱) **کلکتورهای صفحه تخت<sup>۱</sup>**: این نوع از کلکتورها برای گرم کردن سیالاتی مثل آب یا هوا، محلول آب و نمک، محلول آب و گلیکول و برخی مواد دیگر بکار برده می‌شوند. ساخت این کلکتورها آسان، و نیز نسبت به سایر کلکتورها ارزان‌ترند. یک کلکتور تخت به طور کلی شامل اجزاء ذیل است:

- ماده‌ای شفاف که معمولاً شیشه بوده و ممکن است یک لایه و یا چند لایه باشد. کاربرد شیشه بدان علت است که شیشه بخش وسیعی از پرتوهای خورشیدی با طول موج کوتاه را از خود عبور می‌دهد، از طرفی هیچ یک از تشعشعات منعکس شده از صفحه‌ی

1-Flat Plate Collector

جاذب کلکتور را، با طول موج‌های بلند، از خود عبور نمی‌دهد و به این ترتیب حرارت جذب شده را در روی صفحه نگهداری می‌کند.

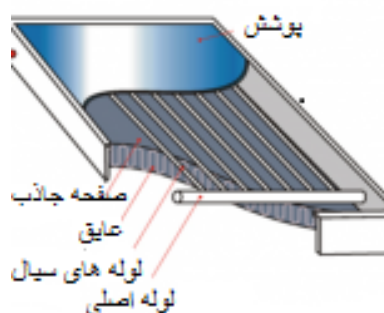
-صفحه‌ی جذب کننده که معمولاً به رنگ سیاه بوده و می‌تواند صفحه‌ای صاف، یا موج دار و یا شیاردار باشد که لوله‌ها و یا گذرگاه‌ها، به آن متصل می‌شوند.

-لوله‌ها و یا گذرگاه‌ها که می‌توانند به اشکال گوناگونی باشند و برای هدایت سیال ناقل حرارت بکار برده می‌شوند.

-جمع کننده‌ها و تقسیم کننده‌ها برای عبور و تخلیه‌ی سیال ناقل حرارت.

-عایق حرارتی که برای کاهش اتلاف حرارتی کلکتور از سمت پشت و اطراف بکار برده می‌شود.

-پوشش کلی کلکتور به صورت یک محفظه برای حفاظت و نگهداری اجزاء مذکور. معمول‌ترین نوع کلکتورهای تخت، نوعی است که سیال ناقل حرارت در آن، مایع است. مایعی مانند آب-روغن و یا مایعی با نقطه‌ی انجماد پایین، چراکه یخ زدن آب در کلکتور و خوردگی و نشتی، از مشکلات اساسی در این نوع از کلکتورهاست. در این دسته از کلکتورها، سیال عامل از قسمت پایین وارد و هنگام عبور از گذرگاه‌های صفحه‌ی جاذب گرم شده و از قسمت فوقانی به طرف مخزن ذخیره جریان پیدا کرده و یا پمپ می‌شود. اجزاء این کلکتور در شکل (۱-۲) نشان داده شده است:



شکل (۱۸-۲) کلکتور تخت از نوع مایعی (Kalogirou,s,2009)

مقدار حرارتی که توسط کلکتورهای صفحه تخت جمع آوری می‌شود، به صورت زیر فرموله می‌گردد:

$$Q = FIA_c$$

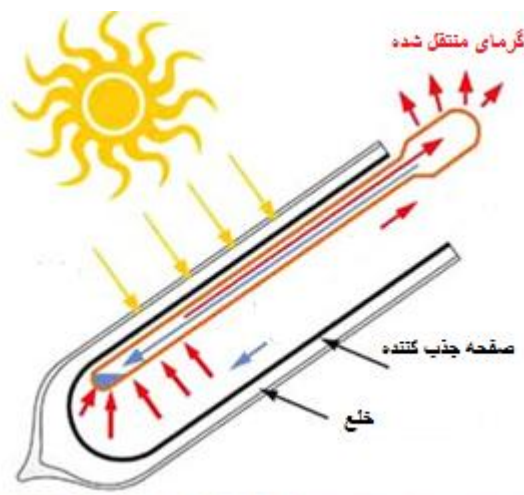
(۱۰-۲)

در این رابطه،  $F$  ضریب بهره‌ی کلکتور است که به عواملی مثل ساختمان و طرح کلکتور، دبی سیال و سرعت باد محیط و عوامل افت حرارتی کلکتور بستگی دارد (هر کلکتوری با هر ظرفیت مشخصی دارای ضریب بهره‌ی معینی است)  $I$  میزان شدت تابش خورشیدی است (واحد آن ژول بر متر مربع است) و  $A_c$  مساحت سطح کلکتور می‌باشد (واحد آن متر مربع است). در نیمکره‌ی شمالی کلکتورهای صفحه تخت، رو به جنوبند و در نیمکره‌ی جنوبی رو به شمال نصب می‌شوند. در حقیقت کلکتورهای صفحه تخت رو به خط استوا نصب می‌شوند و شیب نصب، حدوداً برابر عرض جغرافیایی منطقه مورد نظر است و بسته به نوع سیستم بین ۵ تا ۱۰ درجه تفاوت دارد.

$Q$  نیز عبارت است از مقدار حرارت رسیده به سطح کلکتور که مقدار آن به ایام سال و وقت روز، عرض جغرافیایی محل، زاویه انحراف خورشید، درجه حرارت محیط و سیال، سرعت باد و خصوصیات پوشش کلکتور وابسته است (واحد آن ژول است).

## ۲) کلکتورهای لوله خلایی<sup>۱</sup>: یک لوله‌ی شیشه‌ای، که صفحه و لوله‌ای جذب کننده را

در بر گرفته، مشابه شکل زیر، کلکتور لوله خلاییست.



شکل (۱۹-۲) نمونه‌ای از یک کلکتور لوله خلایی (Kalogirou, s, 2009)

برای جلوگیری از اتلاف حرارت، داخل لوله‌ی شیشه‌ای، خلأ شده است. ضمناً وجود خلأ، برای حفظ خاصیت رنگ مسی مخصوصی که روی صفحه‌ی جاذب را پوشانیده، ضروری است، چرا که این نوع رنگ، در خلأ دارای ضریب جذب بالایی است اما در اتمسفر، این خاصیت را از دست می‌دهد ساخت این نوع کلکتورها به مراتب بالاتر از کلکتورهای صفحه تخت، دشوارتر و گران‌تر است. ضمناً راندمان این نوع از کلکتورها به مراتب بالاتر از کلکتورهای تخت است. اشعه‌ی خورشید، پس از عبور از لوله‌ی شیشه‌ای و خلأ داخلی آن، به صفحه‌ی جاذب رسیده و انرژی حرارتی خود را از طریق این صفحه به لوله و سپس به سیال داخلی آن که آب یا سیال واسطه‌ی دیگری می‌باشد، منتقل می‌کند. سطح منعکس کننده، اشعه‌های محیط لوله را از سمت پایین به داخل کلکتور منعکس کرده و به این ترتیب درجه حرارت سیال داخلی را افزایش می‌دهد. درجه‌ی حرارت تولید شده در این نوع از کلکتورها، خیلی بیشتر از کلکتورهای صفحه تخت است.

#### **۲-۵-۳-۲- کلکتورهای متمرکز کننده (شامل سیستم‌های ردیاب حول یک یا دو محور) :**

این دسته از کلکتورها، دارای نسبت تمرکز بالاتری در مقایسه با کلکتورهای ایستا هستند که این عامل بر روی کاهش اتلاف حرارتی تأثیرگذار است و یکی از دلایل محدوددهی دمایی بالای این نوع کلکتورهاست. برخی از مزایا و معایب کلکتورهای متمرکزکننده نسبت به ایستا به این شرح هستند:

##### **مزایا:**

- با مساحتی یکسان در انرژی خورشیدی یکسان، کلکتورهای متمرکزکننده نسبت به تخت، محدوددهی دمایی بالاتری را برای سیال فراهم می‌کنند.
- با توجه به آنکه سطح دریافت کننده‌ی این دسته از کلکتورها کم است، اتلاف حرارتی کمتری دارند، لذا راندمان حرارتی بالاتری خواهند داشت.
- سطح بازتاب کننده‌شان از لحاظ ساختاری ساده تر است و با توجه به مواد استفاده شده در آنها، قیمت مناسب‌تر و ارزان‌تری دارند.

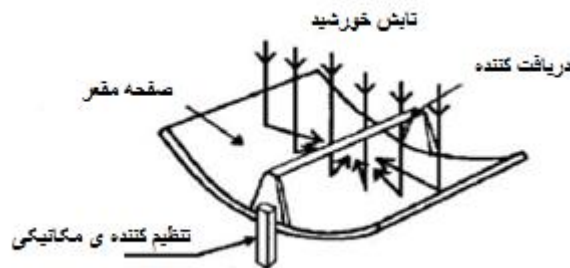
### معایب:

-سیستم‌هایی که خورشید را ردیابی می‌کنند، از نظر طراحی پیچیده‌ترند.  
-سطح بازتابنده شان ممکن است به مرور زمان خاصیت بازتابندگی‌اش را از دست بدهد، به همین دلیل نیاز به تعمیر و نگهداری بیشتری دارد.

این کلکتورها به سه دسته‌ی عمده به شرح ذیل تقسیم می‌شوند:

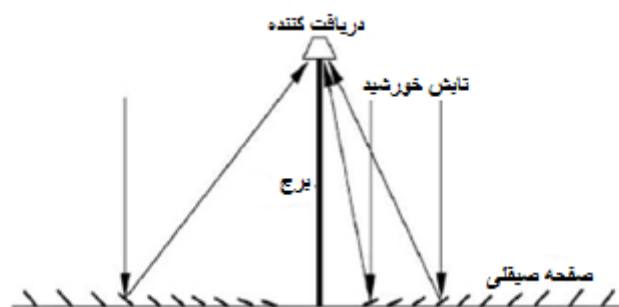
(۱) **کلکتورهای سهموی خطی:** این کلکتورها، به طور موثر، حرارتی در محدوده‌ی دمایی ۵۰ تا ۴۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد فراهم می‌کنند. این کلکتورها به وسیله‌ی انحنا دادن به یک ورق از مواد بازتاب کننده و به شکل سهمی ساخته می‌شوند. لوله‌ی سیاه رنگی که توسط لوله‌ی شیشه‌ای که آن را در بر گرفته، برای کاهش اتلاف حرارتی در امتداد خط کانونی سهمی به عنوان دریافت کننده قرار می‌گیرد. استفاده از یک ردیاب که حول یک محور دوران می‌کند، از اهمیت بالایی برخوردار است.

در شکل زیر نمونه‌ای از یک کلکتور سهموی خطی آورده شده است.



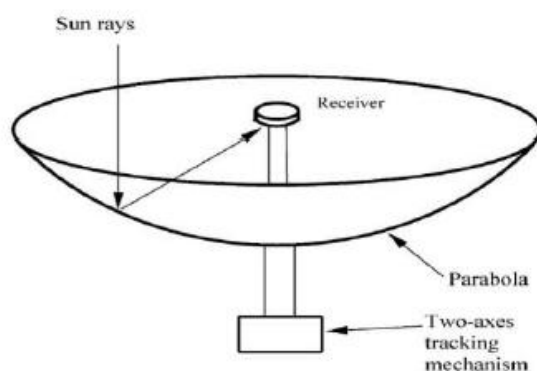
شکل (۲-۲۰) کلکتور سهموی خطی (Kalogirou,s,2009)

(۲) **بازتابنده‌های خطی متمرکزکننده:** آرایشی از آینه‌های خطی طوری قرار می‌گیرند، که پرتوها را بر روی یک دریافت کننده‌ی ثابت، که بر روی یک برج سوار شده است، متمرکز کنند. مزیت این نوع سیستم آن است که در آن از بازتابنده‌های تخت استفاده شده، که در قیاس با بازتابنده‌های شیشه‌ای سهموی ارزان‌ترند، ضمناً آن‌ها روی زمین نصب می‌شوند و نیاز چندانی به ایجاد تجهیزات برای نگهداری ندارند. شکل زیر نمونه‌ای از یک بازتابنده‌ی خطی متمرکز کننده است (۲۲).



شکل (۲-۲۱) بازتابنده ی خطی متمرکز کننده (Kalogirou,s,2009)

۳) بازتابنده های سهموی بشقابی: این دسته از کلکتورها، پرتوهای خورشید را، روی نقطه ی کانونی بشقاب کلکتور، بازتاب می کنند. رد یابی در این ها حول دو محور انجام می گیرد. یعنی در هر لحظه طوری قرار می گیرند که در مقابل خورشید باشند، لذا بیشترین بازده را در مقایسه با دیگر کلکتورها دارند. از این نوع کلکتورها اغلب برای تولید الکتریسیته استفاده می کنند. شکل زیر نمونه ای از یک بازتابنده ی سهموی بشقابی است.



شکل (۲-۲۲) بازتابنده ی سهموی بشقابی (Kalogirou,s,2009)

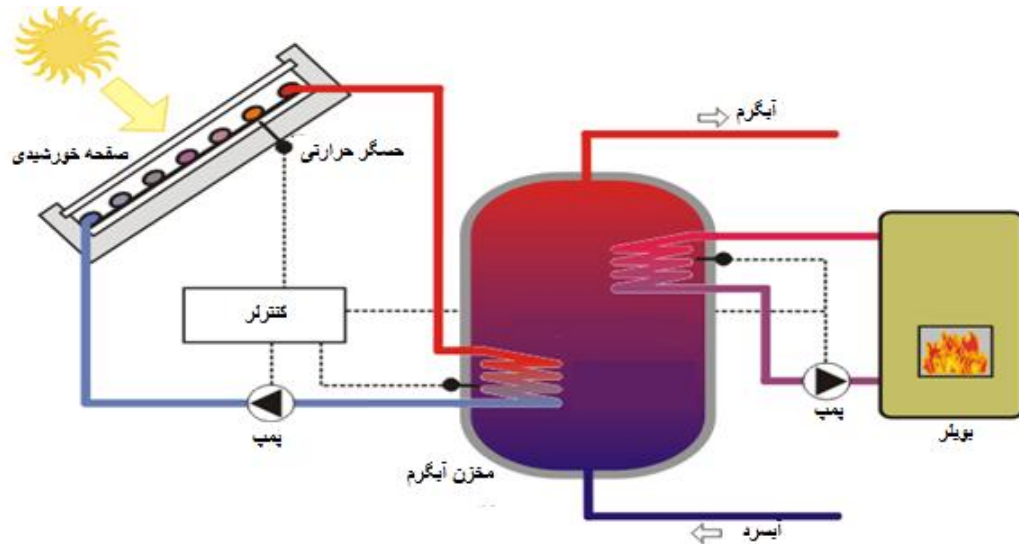
## ۲-۳-۶- انرژی خورشیدی در مبدل حرارتی:

استفاده اساسی از گرمایش خورشیدی تهیه آب داغ است. آب ورودی را که با یک رشته از پانل های خورشیدی داغ میشود میتوان بطور مستقیم مصرف کرد یا در صورتی که به دماهای بالاتری نیاز باشد میتوان آنرا با یک گروکن کمکی بیشتر گرم کرد با این وجود در بسیاری از کاربردها لازم است حرارت را از یک سیال انتقال دهنده که توسط خورشید گرم میشود به یک منبع سرد منتقل کرد. برای مثال سیال انتقال دهنده میتواند آب باشد که برا جلوگیری از یخ زدن و خورده شدن مجموعه به آن ضدیخ اضافه شده باشد. سیال انتقال دهنده



در یک مدار بسته جریان دارد و حرارت از طریق یک مبدل حرارتی با جریان مختلف به لوله متصل به ورودی منتقل میشود.

همچنین میتوان حرارت را از طریق یک مبدل تک جریانی به مخزن آب منتقل کرد.



شکل (۲-۲۳) انرژی خورشیدی در کنار یک مبدل حرارتی (Kalogirou,s,2009)

آهنگ انتقال حرارت از سیالی گرمتر به سیالی سردتر در یک مبدل حرارتی با جریان مخالف عبارتست از:

$$Q = \bar{U}_L LA \quad (۱۳-۲)$$

که در آن  $\bar{U}_L$  ضریب انتقال حرارت و  $L$  طول مبدل است (۲۳). لگاریتم اختلاف درجه حرارت متوسط بین سیالهای داغ و سرد برابر است با:

$$A = \frac{(T_H - \hat{T}_H) - (T_C - \hat{T}_C)}{\ln[(T_H - \hat{T}_H)/(T_C - \hat{T}_C)]} \quad (۱۴-۲)$$

که  $T_H - T_C$  دمای داغ (ورودی) و سرد (خروجی) سیال اولیه (که با نور خورشید گرم شده) و  $\hat{T}_H \hat{T}_C$  دماهای گرم (خروجی) و سرد (ورودی) سیال ثانوی (مثلاً آب) هستند. آهنگ انتقال حرارت با رابطه زیر:

$$Q = m_1 C_1 (T_H - T_C) \quad (۱۵-۲)$$

یا بطور معادل با رابطه ی زیر بیان میشود:

$$Q = m_1 C_1 (\hat{T}_H - \hat{T}_C) \quad (۱۶-۲)$$

میتوان حرارت خورشیدی بدست آمده از رشته را با استفاده از یک مبدل حرارتی تک جریانی در مخزن بزرگی ذخیره کرد. سیال انتقال دهنده از یک مبدل حرارتی میگذرد که خود در یک محیط ذخیره با دمای  $T_B$  غوطه ور است. اگر دمای سیال ورودی  $T_H$  و دبی آن  $m_1$  باشد با دمای:

$$T_C = T_B + (T_H - T_B) \exp\left(\frac{U_L L}{m_1 C_1}\right) \quad (17-2)$$

خارج می شود و با آهنگ:

$$Q_{\text{ذخیره}} = m_1 C_1 (T_H - T_B) \left[ 1 - \exp\left(-\frac{\bar{U}_L L}{m_1 C_1}\right) \right] \quad (18-2)$$

حداکثر آهنگ انتقال ممکن به ذخیره کننده با  $(T_H - T_B)$  متناسب است و این نشان میدهد که با زیاد شدن  $\bar{U}_L L$  و  $(T_H - T_B)$  بازده انتقال حرارت به محیط ذخیره بیشتر میشود. در واقع وقتی  $\bar{U}_L L$  به سوی  $\infty$  میل میکند (یعنی یک مبدل ایده آل) آهنگ انتقال حرارت به ذخیره کننده مساوی:

$$Q_{\text{ذخیره}} = m_1 C_1 (T_H - T_B)$$

و دمای سیال به هنگام خروج معادل:  $T_C = T_B$

خواهد بود اگر دمای محیط ذخیره بتدریج در اثر ذخیره کردن حرارت افزایش یابد تاثیر فرآیند انتقال کمتر میشود. مبدلها میتوانند بین دو مایع یا یک مایع و هوا حرارت مبادله کنند. برای مثال در سیستمهایی که فضا را از طریق دمیدن هوا گرم میکنند حرارت را میتوان از دو طریق به جریان هوای دمیده منتقل کرد. نخست از طریق مایع درون مخزن ذخیره حرارتی و دوم از طریق جریان مخالف یک مایع انتقال که توسط نور خورشید داغ شده است. هرچه دمای بیشتری گرم و سیال انتقال دهنده به نحو موثرتری سرد میشود. حرارت در یک مدار بسته از مایع به جریان هوا منتقل میشود.

### ۲-۳-۷-ذخیره سازی:

در یک سیستم گرمایش خورشیدی معمولاً تدابیری برای ذخیره سازی اتخاذ میشود انرژی اخذ شده در خلال زمانهایی که تابش نور خورشید شدید است را میتوان ذخیره کرد و در زمانهایی که خورشید پنهان است به کار برد. هنگامی که حرارت در یک واسطه ذخیره شده انرژی واسطه افزایش میابد. این افزایش میتواند به شکل انرژی جنبشی مولکولی باشد که در آن دمای واسطه زیاد خواهد شد. البته این افزایش به شکل انرژی پتانسیل نیز میتواند باشد ولی در این حالت ساختار مولکولی تغییر می کند مثل تغییر شیمیایی یا یک تغییر فاز (مثل ذوب

یا تبخیر شدن). هنگامیکه حرارت افزوده شده فقط موجب افزایش دما در محیط شود میگوییم که انرژی حرارتی بصورت حرارت ملموس ذخیره میشود. تا زمانی که هیچ تغییر فازی وجود نداشته باشد افزایش دما با حرارت ذخیره شده تقریباً متناسب و با جرم نسبت عکس دارد و تغییر دما را میتوان بصورت زیر نوشت (۲۳):

$$\Delta T = Q_s / m_s C_s \quad (\text{ذخیره حرارت ملموس}) \quad (۱۹-۲)$$

که  $Q_s$  حرارت ذخیره شده و  $C_s$  و  $m_s$  به ترتیب گرمای ویژه و جرم واسطه ذخیره کننده هستند هنگامی که حرارت ملموس از محیط اخذ شود دما بر طبق معادله  $\Delta T = Q_s / m_s C_s$  تنزل میابد یک پارامتر مهم در سیستم ذخیره سازی حرارتی حرارت ذخیره شده در واحد حجم است.

برای ذخیره سازی حرارت ملموس میتوان رابطه بالا را به شکل زیر نوشت :

$$\frac{Q_s}{V_s} = \frac{m_s}{V_s} C_s \Delta T = \rho_s C_s \Delta T \quad (۲۰-۲)$$

در بعضی کاربردها مطلوبست که تغییر دمای محیط ذخیره کننده را حداقل نگه داریم. طبق رابطه ذخیره سازی میتوان این تغییر را با افزایش جرم محیط ذخیره کننده کاهش داد. لیکن راه موثرتری برای ثابت کردن دما استفاده از گرمای نهان<sup>۱</sup> بجای ذخیره کردن حرارت ملموس است. هنگامی که به یک جامد حرارت دهیم دمای آن شروع به افزایش می کند تا به دمای ذوب  $T_m$  برسد. وقتی به آن حرارت بیشتری بدهیم دمای آن در  $T_m$  ثابت باقی میماند. ولی دستخوش تغییر فاز شده و به مایع تبدیل میشود و تا وقتی عمل ذوب کامل نشده باشد دما افزایش نمیابد حرارتی که در واحد جرم توسط محیط ذوب شده و در خلال تغییر فاز ذخیره میشود گرمای نهان<sup>۱</sup> نامیده می شود (۲۳). گرمای نهان ذخیره شده در واحد حجم عبارتست:

$$\frac{Q_s}{V_s} = \rho_s I \quad (۲۱-۲)$$

---

<sup>۱</sup> - Latent Heat

## فصل سوم: ایستگاه تقلیل فشار

### ۳-۱- گاز طبیعی<sup>۱</sup>:

#### ۳-۱-۱- تاریخچه:

گاز طبیعی دارای تاریخی چند هزار ساله است. تقریباً در سال ۹۴۰ قبل از میلاد، مردمان سرزمین چین با استفاده از نی‌های تو خالی گاز طبیعی را از محل آن در خشکی به ساحل رسانده و از آن برای جوشاندن آب دریا و استحصال نمک استفاده می‌کردند. برخی از صاحب‌نظران اعتقاد دارند که چینی‌ها چاه‌های گاز را حتی تا عمق ۶۰۰ متری نیز حفر می‌کردند. همچنین حفر چاه‌های گاز در ژاپن در حدود سال ۶۰۰ قبل از میلاد گزارش شده است. سایر تمدن‌های باستانی نیز خروج گاز از زمین را متوجه شده و دریافته بودند که قابل اشتعال است و می‌سوزد. لذا معابدی برای محصور نگه داشتن این «شعله‌های جاودان» پر رمز و راز که بازدیدکنندگان به دیده احترام به آنها می‌نگریستند بنا شد. گزارش‌های مختلفی از ستون‌های آتش و آبی جوشان و سحرآمیز که مانند روغن شعله‌ور می‌شد به ثبت رسیده است. اما اهمیت گاز طبیعی به عنوان سوخت مورد استفاده در زندگی بشر از اوایل دهه ۱۹۳۰ آغاز شد (۲۴). در اواخر قرن بیستم مشخص شد که گاز طبیعی در بخش اعظم جهان صنعتی به یک منبع انرژی بسیار ضروری و حیاتی مبدل شده است. زغال‌سنگ<sup>۲</sup> در قرن نوزدهم انقلاب صنعتی را سبب شد و نفت خام که سوخت قرن بیستم بود باعث توسعه اقتصادی در جهان شد.

### ۳-۱-۲- آشنایی با گاز طبیعی (Natural Gas)، خواص و روابط حاکم بر آن

از آنجا که گاز طبیعی یک ماده معدنی است و در تماس با مواد مختلف شیمیایی می‌باشد لذا لازم است خواص و نیز خلوص آن را به لحاظ شیمیایی و فیزیکی مورد بررسی قرار داد.

<sup>۱</sup> - Natural Gas

<sup>۲</sup> - Coal

چون هدف اصلی این پروژه، گرم کردن گاز در هیتر ایستگاههای تقلیل فشار گاز می باشد. ذیلاً" به اختصار به خواص شیمیایی و فیزیکی (ترمودینامیکی) گاز اشاره می شود و از پرداختن به شناخت آن به صورت مشروح خودداری می شود.

گاز طبیعی (Natural Gas) شامل هیدروکربن های اشباع C1 و C2 به مقدار زیاد، C3 تا C5 به مقدار کم و مقادیر بسیار ناچیزی از گاز نیتروژن، گاز کربنیک و ترکیبات گازی شکل گوگرددار است که مقادیر آنها بر حسب مکان استخراج گاز طبیعی متفاوت می باشد. ولی همواره درصد C1 در مقایسه با سایر اجزاء آن بالا می باشد.

### ۳-۱-۲-۱- خواص شیمیایی گاز طبیعی

ترکیب شیمیایی گاز طبیعی ایران و درصد و نسبت های آن مطابق جدول صفحه بعد می باشد. در دو جدول صفحات بعد کلیه خواص فیزیکی و شیمیایی گازهای موجود در گاز طبیعی دیده می شود. در مورد گاز طبیعی استاندارد حاکم در ایران استاندارد IGS-CH-033(0)2004 مربوط به شرکت ملی گاز ایران می باشد و جداول صفحه بعد مأخوذ از همین استاندارد می باشد. میلیون ها سال قبل گاز طبیعی و نفت خام در اثر تجزیه و فاسد شدن گیاهان و اجساد حیوانات در تهریایا و اقیانوس های قدیمی به وجود آمد. بخش اعظم این مواد ارگانیک در هوا تجزیه (اکسیده) و وارد جو شد. ولی بخشی دیگر قبل از تجزیه، مدفون و یا وارد آب های راکد و فاقد اکسیژن شده و از اکسید شدن آنها جلوگیری به عمل آمده است. گاز طبیعی عمدتاً از متان ( $CH_4$ ) یعنی ساده ترین نوع هیدروکربن و هیدروکربن های پیچیده تر و سنگین تری چون اتان ( $C_2H_6$ )، پروپان ( $C_3H_8$ ) و بوتان ( $C_4H_{10}$ ) تشکیل شده است. در این میان گاز اتان برخی از میدانها درصد قابل ملاحظه ای ( تا حدود ۱۰٪ یا کمی بالاتر) را تشکیل می دهد (۲۵). حال آنکه گازهای سنگین تر اجزای بسیار کوچکی را در ترکیب گاز طبیعی شامل می شوند همچنین ترکیباتی از قبیل  $H_2S$ ،  $CO_2$ ،  $N_2$  نیز همراه گاز طبیعی یافت می شوند که درصد آنها در مخازن مختلف و حتی در قسمت های مختلف از یک مخزن، با یکدیگر متفاوت است. همچنین آب نیز همیشه با گاز طبیعی استخراج شده از مخازن همراه است که در پالایشگاه ها در بخشی به نام واحد نم زدائی، آب و ترکیب های مزاحم که سبب پائین آوردن ارزش حرارتی گاز شده و همچنین مشکلاتی در انتقال و مصرف گاز بوجود می آورند، از گاز طبیعی تفکیک میشوند و پس از آن، گاز به خطوط انتقال و در نهایت به مصرف کنندگان تحویل می شود.

جدول (۱-۳) خواص شیمیایی و فیزیکی گاز طبیعی در خطوط انتقال (۲۵)

Property	Minimum value	Maximum value	Test method
<b>Chemical Properties</b>			
<b>Major and minor components, mol %</b>			
Methane	80	-	ASTM D 1945
Ethane	-	12	ASTM D 1945
Propane	-	4	ASTM D 1945
Butane	-	1	ASTM D 1945
Pentane and heavier	-	0.5	ASTM D 1945
Carbon dioxide	-	1	ASTM D 1945
Nitrogen	-	0.6	ASTM D 1945
Others	-	0.1	ASTM D 1945
<b>Trace components</b>			
Hydrogen sulfide	-	5 mg/scm	ASTM D 2725
Mercaptan sulfur	-	15 mg/scm	ASTM D 2385
Total sulfur		100 mg/scm	ASTM D 3031
<b>Physical Properties</b>			
Water vapor	-	110 mg/scm	ASTM D 1142
Gross Heating value	1000 BTU/scf	1180 BTU/scf	ASTM D 1826

### ۳-۱-۲-۲-خواص فیزیکی گاز طبیعی

چنانچه ملاحظه شد، قسمت اعظم ترکیب شیمیایی گاز طبیعی از هیدروکربن متان و اتان می باشد.

با توجه به جدول:

• ارزش حرارتی گاز طبیعی: 1000 – 1180 BTU/SCFT

• ضریب تراکم:  $Z = 0.77-0.97$

• ضریب تراکم متوسط:  $Z_{ave} = \frac{0.77 + 0.97}{2} = 0.870$

• وزن مولکولی: 20.014 تقریباً 20

• دانسیته نسبی: Specific Gravity (نسبت به هوا (pair=1.0) )

$$G = \frac{M}{M} = \frac{20.014}{28.96} = 0.69109 \approx 0.7$$

گاز طبیعی بعد از هیدروژن پاک‌ترین نوع سوخت فسیلی برای طبیعت است. زیرا عمدتاً دی‌اکسیدکربن و بخار آب تولید می‌کند. علاوه بر این متان یکی از مواد خام اصلی برای ساخت حلال‌ها و دیگر مواد شیمیایی ارگانیک است. پروپان و بوتان نیز از گاز طبیعی استخراج می‌شوند. گاز نفتی مایع شده یا (LPG)<sup>۱</sup> اصولاً همان پروپان است و اغلب به جای گاز طبیعی در مناطق فاقد خطوط لوله مورد استفاده قرار می‌گیرد.

گاز طبیعی غالباً ناخالصی‌هایی چون دی‌اکسیدکربن (گاز اسیدی)، سولفید هیدروژن (گاز ترش) و آب و همچنین نیتروژن، هلیوم و سایر گازهای نادر را به همراه دارد. دی‌اکسید را به حوزه‌های نفتی قدیمی تخلیه شده تزریق می‌کنند تا تولید آنها افزایش یابد. نیتروژن نیز گازی است قابل تزریق به حوزه‌های نفتی و هلیوم در صنایع الکترونیک تارتل موارد استفاده ارزشمند و فراوان دارد. سولفید هیدروژن ( $H_2S$ ) بسیار سمی است و مقادیر بسیار ناچیز آن نیز می‌تواند کشنده و مہلک باشد. سولفید هیدروژن بسیار خورنده و فرساینده است و می‌تواند به لوله‌ها، اتصالات و شیرهای چاه آسیب و خسارت وارد کند. بنابراین قبل از انتقال گاز طبیعی به خطوط لوله، سولفید هیدروژن جداسازی شده و دی‌اکسید کربن و آب آن نیز از طریق آب‌زدایی یا نمک‌گیری گرفته می‌شود.

---

<sup>۱</sup> - Liquefied Petroleum Gas



جدول (۲-۳) خواص اختصاصی و احتراقی گاز طبیعی (۲۵)

	Methane	Ethane	Propane	Iso Butane	Butane	Pentane
Molecular weight of gas	16.04	30.07	44.09	58.12	58.12	72.15
Gal./lb.-mole at 60 °F	6.41	9.64	10.41	12.38	11.94	18.71
Weight						
% carbon	74.88	79.88	81.72	82.66		
%hydrogen	25.12	20.12	18.28	17.34	17.34	
Specific gravity						
Of liquid (water =1)	0.248	0.377	0.508	0.563	0.584	0.631
Of liquid °API	340	247	147	120	111	93
Of gas (air=1)	0.555	1.048	1.550	2.077	2.084	2.490
Weights and volumes						
Lb./gal. liquid	2.51	3.145	4.235	4.64	4.873	5.250
Ratio gas volume to liquid volume	443	293.4	272.7	229.3	237.8	207.0
Heat value						
B.t.u. /cu.ft.gas	1.012	1.786	2.522	3.163	3.261	4.023
B.t.u./lb.liquid	23.885	22.323	21.560	20.732	21.180	21.110
Latent heat of vaporization at boiling point						
B.t.u./lb	221	211	185	158	167	153
B.t.u./gal	553	664	785	742	808	802

هر متر مکعب گاز طبیعی بصورت متوسط ۸۶۰۰ کیلو کالری ارزش حرارتی دارد، اما این مقدار اسمی است و ارزش حرارتی دقیق گاز طبیعی هر میدان گازی، تابع ترکیبات آن بوده و بطور کلی هرچه درصد متان در گاز طبیعی بیشتر باشد ارزش حرارتی آن پایتتراست.

ارزش یک متر مکعب گاز طبیعی در شرایط استاندارد تقریباً به اندازه یک لیتر بنزین می باشد. مصرف یک بخاری گازی در هر ساعت از نیم تا یک و نیم متر مکعب گاز طبیعی می باشد. گازی که در منازل، محل های کسب و کار و بخش های صنعتی استفاده می شود در واقع متان خالص است که گازی بی رنگ و بی بو و با شعله های کم رنگ و به نسبت روشن می باشد. تقاضای جهانی انرژی طی دویست سال اخیر به دلیل نگرانی های زیست محیطی به سمت سوخت هایی با محتوای کربن کمتر متمایل شده است. طی این مدت انرژی مورد نیاز انسان از چوب (با محتوای کربن ۱/۲۵ نسبت به هیدروژن موجود در آن) به زغال سنگ سپس

بهنفت و در حال حاضر به گاز طبیعی (گاز متان با میزان کربن ۶۵٪) تغییر نموده و در این راستا سهم گاز طبیعی به عنوان سوخت در حال افزایش است.

جدول (۳-۳) خواص احتراقی هیدروکربن‌های سبک (۲۵)

	Methane	Ethane	Propane	Iso Butane	Butane	Pentane
Ultimate CO <sub>2</sub> in flue product, %	11.7	13.1	13.7	-	14	14.2
Required for complete combustion:						
Cu. ft.O <sub>2</sub> /cu.ft.gas	2	3.5	5	6.5	6.5	8
Cu. ft.O <sub>2</sub> /cu.ft.gas	9.55	16.7	23.86	31.02	31.02	38.19
Lb.air/lb.gas	3.98	3.73	3.63	3.58	3.58	3.54
Lb.air/lb.gas	17.24	16.13	15.71	15.49	15.49	15.35
Product of combustion						
Cu. ft.CO <sub>2</sub> /cu.ft.gas burned	1	2	3	4	4	5
Cu.ft.water vapor/cu.ft.gas burned	2	3	4	5	5	6
Cu.ft.nitrogen/cu.ft.gas burned	7.55	13.2	18.86	24.52	24.52	30.19
Lb.CO <sub>2</sub> /lb.gas burned	2.74	2.92	2.99	3.03	3.03	3.05
Lb.water vapor/lb.gas burned	2.24	1.79	1.63	1.55	1.55	1.5
Lb.nitrogen/lb.gas burned	13.26	12.40	12.08	11.91	11.91	11.80
Maximum flame temp. in air:						
Observed temp. °F	3416	3443	3497	3452	3443	
% gas for max. temp. :						
Min	9.45	5.70	4.05	3.15	3.15	
Max	10.10	5.95	4.30	3.25	3.40	
Ignition temp. in air °F	1202	986	932	950	896	
Flash temp. °F (calculated)	-306	-211	-156	-117	-101	
% of gas in mixture	9.5-10	5.7-6	4-4.3	3.6-3.8	3.6-3.8	

گاز طبیعی منبع انرژی تقریباً پاکیزه، فراوان و ارزان قیمتی است که هم اکنون نیز به مقیاس وسیع برای مصارف صنعتی و خانگی به کار رفته و در طی دهه‌های آینده بهره‌برداری از آن گسترش خواهد یافت. در توسعه اقتصادی جهان، مناطق و کشورهای مختلف، به دلیل منابع و ذخایر عظیم در دسترس و توسعه تکنولوژی‌های خلاق، باعث کاهش هزینه‌ها و زمان اجرای پروژه‌ها و در نتیجه بهبود اقتصاد پروژه‌های توسعه و انتقال گاز شده است. همچنین

تلاش جهانی برای کاهش گازهای گلخانه‌ای و گاز CO<sub>2</sub> مزیت استفاده از گاز طبیعی در مقایسه با سایر سوخت‌ها را نشان می‌دهد.

دولت‌ها و صاحبان صنایع امروزه به دنبال آن دسته از حامل‌های انرژی هستند که آلاینده‌های کمتری تولید می‌کنند. به همین دلیل جهان به گاز طبیعی روی آورده است. در واقع گاز طبیعی در هر واحد انرژی حدود ۲۴ درصد نسبت به نفت خام و ۴۲ درصد نسبت به زغال‌سنگ گازهای آلاینده کمتری تولید می‌کند و این بیان‌گر آن است که می‌توان انرژی بیشتری مصرف و در مقایسه با نفت خام و زغال‌سنگ، آلاینده‌های کمتری تولید کرد.

مصرف گاز طبیعی در دهه ۱۹۹۰ در اروپا به شدت افزایش یافته، به طوری که در آلمان ۳۰ درصد، در ایتالیا ۵۰ درصد و در انگلیس ۱۰۰ درصد رشد داشته است و در مقابل تولید گاز آلاینده CO<sub>2</sub>، به همین نسبت کاهش یافته. هر چند انتشار CO<sub>2</sub> و ذرات معلق در مقایسه با زغال‌سنگ و نفت قابل چشم‌پوشی است. لیکن مقادیر متناهی از NO<sub>x</sub> انتشار می‌یابد که نیازمند بررسی و مطالعات بیشتر آثار و تبعات آن در محیط زیست می‌باشد (۲۶).

قابلیت اشتعال گاز طبیعی فقط در محدوده خاصی از نسبت‌های اختلاط با هوا اتفاق می‌افتد که این محدوده را محدوده «قابلیت اشتعال»<sup>۱</sup> می‌نامند مرز پائین این محدوده را اشتعال L.E.L و مقدار بالای این محدوده را، حد بالای اشتعال H.E.L می‌نامند.

حد پائین اشتعال گاز طبیعی ۵ درصد و حد بالای آن ۱۵ درصد می‌باشد. بهترین حالت برای اشتعال گاز طبیعی نسبت ۱۰ درصد گاز با هواست که همان نسبتی است در فرمول ترکیب متان و اکسیژن (هوا) دیده می‌شود.

### ۳-۱-۲-۳- روابط ترمودینامیکی (برای گاز طبیعی)

روابط زیادی در مورد خواص ترمودینامیکی هیدروکربن‌های گازی پیشنهاد شده است اما مواردی که ذیلاً به آن اشاره می‌شود روابطی است که کاربرد آن‌ها بسیار ساده و به حد کافی برای استفاده در محاسبات مهندسی دارای دقت می‌باشد.

یکی از روابط مهم ترمودینامیکی که در ایستگاه‌های گاز مورد استفاده قرار می‌گیرد تعیین رفتار گاز در اطراف شیر تقلیل فشار (Regulator) می‌باشد. تحول ترمودینامیکی که در رگولاتور ایستگاه گاز اتفاق می‌افتد عبارت است از عبور گاز پر فشار از یک Orifice که در آن عمل expansion اتفاق می‌افتد.

---

<sup>1</sup> - Flammability

انبساط گاز می تواند همراه میعان گاز و یا بدون میعان گاز باشد. در اینجا هدف بررسی انبساط گاز در حالتی است که گاز حالت خود را حفظ می کند. معادله حالت را می توان در مورد این اتفاق با توجه به شرایط آن چنین در نظر گرفت (۲۷):

(رابطه ۳-۱)

$$q + h_i + \frac{V_i^2}{2g_c} + Z_i \frac{g}{g_c} = W + h_e + \frac{V_e^2}{2g_c} + Z_e \frac{g}{g_c}$$

الف- چون اتفاق انبساط گاز در فضا و مساحت کوچکی اتفاق می افتد بنابراین می توان با توجه به حجم عبور گاز تحول را آدیاباتیک فرض نمود بنابراین  $q=0$ .

ب- کار مکانیکی در سیستم اتفاق نمی افتد و انرژی پتانسیل تغییر نمی یابد  $W=0$ .  
در تحولی که گاز منبسط می گردد حجم مخصوص زیاد می شود و چنانچه قطر لوله بعد از Orifice ثابت باشد انرژی سینتیک سیال اضافه می گردد (به همین دلیل برای ثابت نگه داشتن سرعت خطی سیال قطر لوله را بعد از انبساط (کاهش فشار) افزایش می دهند.  
ج- چون اختلاف ارتفاع نیز برای سیال اتفاق نمی افتد پس  $Z_i=Z_e$ . بنابراین معادله به صورت زیر خلاصه می شود:

$$h_i + \frac{V_i^2}{2g_c} = h_e + \frac{V_e^2}{2g_c}$$

از طرفی با توجه به ضریب ژول-تامپسون  $\mu_j = \left( \frac{DT}{DP} \right) h$  یعنی تغییر درجه حرارت نسبت به فشار در آنتالپی ثابت می توان در منحنی (T-P) گاز سه حالت را تشخیص داد.  $\mu_j$  در حقیقت ضریب زاویه مماس بر منحنی (T-P) می باشد. در حالتی که ضریب ژول-تامپسون یعنی تانژانت زاویه مماس بر منحنی، مثبت باشد درجه حرارت در این تحول افت می کند و چنانچه منفی باشد درجه حرارت افزایش می یابد.

تحول ترمودینامیکی که در شیرهای انبساط (رگولاتورها) اتفاق می افتد در زمره  $\mu_j > 0$  می باشد بنابراین با کاهش دما همراه خواهد بود که این کاهش دما در اطراف شیر رگولاتور موجب میعان بخار آب خارج و در نتیجه یخ زدگی اطراف شیر می گردد.

### ۳-۲- انواع خطوط گاز

قبل از ورود به مقوله ایستگاههای گاز و انواع آن لازم است توضیحاتی در مورد طبقه بندی خطوط لوله گاز و فشار کارکرد آن بیان گردد، که طبقه بندی ایستگاههای گاز تابعی از وضعیت این خطوط می باشند.

به طور کلی فشارهای خطوط گاز به سه دسته کلی تقسیم می گردند (۲۸):

الف- خطوط انتقال (فشار بالا High Pressure) که گاز را از منابع تولید به ورودی شهرها و یا نیروگاهها و صنایع بزرگ نظیر پتروشیمی و غیره انتقال می دهد.

ب- خطوط توزیع (فشار متوسط Medium Pressure) که گاز را از ورودی شهرها (ایستگاههای برون شهری CGS) به ایستگاههای توزیع درون شهری (TBS) انتقال می دهند.

ج- خطوط شبکه گاز (فشار پایین Low Pressure Conduct) که گاز را از ایستگاههای توزیع درون شهری (TBS) به مصرف کنندگان نهایی درون شهری و روستایی به ویژه خانگی انتقال می دهند.

شکل زیر مراحل کلی انتقال و جایگاه ایستگاههای تقلیل فشار گاز را نشان می دهد.



شکل (۳-۱) مراحل کلی انتقال و تقلیل فشار گاز

بر حسب اینکه بخواهیم گاز را در هر یک از مراحل فوق جهت مصرف و تغذیه مرحله بعد استفاده نماییم از ایستگاههای خاصی استفاده می گردد که تقسیم بندی آن به شرح ذیل است.

اگر با توجه به نوع مصرف کننده بخواهیم یک تقسیم بندی ارائه دهیم داریم :

الف) ایستگاههایی که شبکههای توزیع گاز را تغذیه می نماید ( ایستگاههای شهری).

ب) ایستگاههایی که شبکه داخلی صنایع و واحدهای تجاری و مسکونی بزرگ را تغذیه می نمایند. ( ایستگاههای تجاری صنعتی )

در ایستگاه هائی که ظرفیت آنها بیش از پنج هزار متر مکعب در ساعت بوده و تداوم گاز رسانی حیاتی می باشد تعداد خطوط ایستگاه بیش از یک خط خواهد بود که معمولاً در این گونه موارد ظرفیت هر خط در صدی از ظرفیت کل ایستگاه می باشد .

### ۳-۳- ایستگاه تقلیل فشار

کلیات : یک ایستگاه تقلیل فشار گاز متناسب با ظرفیت فشار ورودی و خروجی ، نوع مصرف کننده تعداد و مراحل شکست فشار و خطوط آن به شکل های مختلفی طراحی و ساخته می شود.



شکل (۳-۲) نمایی از یک ایستگاه تقلیل فشار (نگارنده)

### ۳-۳-۱- انواع ایستگاههای تقلیل فشار گاز بر اساس کاربرد

ایستگاههای تقلیل فشار گاز بر اساس کاربرد آنها مطابق جدول زیر دسته بندی می شوند.

جدول (۳-۴) تقسیم بندی ایستگاههای تقلیل فشار بر اساس کاربرد (۲۸)

ردیف	نوع ایستگاه	علامت اختصاری	توضیح	کاربری / تفکیکی / نوع مصرف	فشار خروجی	فشار ورودی
۱	فقط اندازه گیری	MS	مشترک عمده و CNG ها	ایستگاه خانگی/صنعتی/تجاری/CNG	۲۵۰ یا ۶۰	۲۵۰ یا ۶۰
۲	تقلیل فشار و اندازه گیری	MRS	مشترک عمده	ایستگاه خانگی/صنعتی/تجاری	۶۰	۲۵۰
۳	ایستگاههای تقلیل فشار کم ظرفیت (کوچک)	RS	مشترک عمده	ایستگاه خانگی/صنعتی/تجاری	۶۰	۲۵۰
۴	ایستگاههای با خروجی ۳۰ یا ۱۵ پوند	DRS	مشترک عمده	ایستگاه خانگی/صنعتی/تجاری	۳۰ یا ۱۵	۲۵۰ یا ۶۰
۵	مشترکین ۲ پوندی	علمکی	مشترک عمده	ایستگاه خانگی/صنعتی/تجاری	۲	۶۰
۶	ایستگاههای CGS شهری، روستایی و صنعتی	CGS	مشترک عمده یا شهری یا روستایی	ایستگاه صنعتی / ----	۲۵۰	۱۰۰۰
۷	ایستگاههای CGS/TBS شهری، روستایی و صنعتی	CGS/TBS	مشترک عمده یا شهری یا روستایی	ایستگاه صنعتی / ----	۶۰	۱۰۰۰
۸	ایستگاههای TBS شهری و روستایی	TBS	شهری یا روستایی	----	۶۰	۲۵۰

شهرها که مصرف کنندگان خانگی و صنایع کوچک را در خود جای می دهند به همراه صنایع بزرگ همچون صنعت سیمان , کارخانجات تولید لاستیک , شیشه و ... مصرف کنندگان عمده این انرژی می باشند که برای مصرف این انرژی احتیاج به یک سری تغییرات در گاز می باشد تا آماده بهره برداری شود این تغییرات در ایستگاههای C.G.S و T.B.S می شود .

### ۳-۱-۱-۳-۱- تعریف ایستگاههای گازی C.G.S و T.B.S :

به ایستگاههایی که در ورودی شهرها تجهیز می شوند C.G.S و یا به طور کامل ( City Gate Station ) گفته می شود . گاز پس از اعمال تغییراتی در این ایستگاهها وارد سیستم توزیع می شود این قسمت به ناحیه پرفشار معروف است . سپس توسط ایستگاههای کوچک تر بعدی که به ایستگاه ناحیه ای T.B.S معروفند ( Town Boaraer Station ) به مصرف کنندگان ناحیه کم فشار صنعتی و خانگی منتقل می شود . از جمله وظایف ایستگاههای گازی به جز تقلیل فشار که توسط رگلاتورهای فشار شکن انجام می گیرد تعیین مصرف گاز توسط وسایل اندازه گیری مختلف نیز می باشد . این دو فرآیند تقریباً در تمامی ایستگاههای تقلیل

فشار انجام می گیرد ولی در C.G.S ها یک فرآیند مهم دیگر نیز انجام می شود و آن بودار کردن گاز می باشد. انتخاب تعداد ظرفیت و محل مناسب برای ایستگاه بستگی به طراحی کلی سیستم انتقال ذخیره سازی و توزیع دارد. مثلاً برای یک شبکه توزیع وسیع باید از دو ایستگاه تغذیه کمک گرفت که در صورتی که قطع خروجی از یک ایستگاه داشته باشیم بتوان از ایستگاه دوم بهره گرفت. نکته مهم در طراحی ایستگاه‌ها این است که یک ایستگاه بایستی برای ظرفیت مصرفی چند سال آینده یک منطقه طراحی و ساخته شود و همچنین در قسمت‌های مختلف آن پیش بینی جهت افزایش ظرفیت ایستگاه انجام شود. به عنوان مثال چنانچه ایستگاهی برای یک کارخانه سیمان با ظرفیت اسمی ۵۰۰۰ ton/yer طراحی شود، بایستی قابلیت افزایش را جهت افزایش ظرفیت تولید کارخانه داشته باشد، همچنین برای ایستگاه‌های شهری که روز به روز بر جمعیت آن شهر افزوده می شود این پیش بینی خبرها اساس ترین اصول طراحی به حساب می آید، جایگاه یک ایستگاه بایستی در محلی انتخاب شود که دسترسی به امکانات آب، برق، تلفن و جاده به سادگی میسر باشد. به این ترتیب، ایستگاه‌های تقلیل فشار گاز، بخش مهمی از سیستم گازرسانی بوده که با اشکال و تجهیزات مختلف، طراحی و نصب می گردند. با پیشرفت علوم و فناوری، ساخت این تجهیزات به طور مرتب تغییر و ارتقاء می یابد. از جمله بخشهایی که در کلیه این ایستگاه‌ها وجود دارد، بخش تقلیل و تنظیم فشار می باشد که عمدتاً توسط رگلاتور انجام می پذیرد. با توجه به اینکه هدف اصلی در این پروژه، امکان سنجی فنی بکارگیری جمع کننده‌های خورشیدی، جهت گرمایش گاز طبیعی در ایستگاه‌های تقلیل فشار گاز همدان به جای استفاده از سوخت‌های فسیلی است، لذا مناسب است در ابتدا به بررسی انواع خطوط گاز، انواع ایستگاه‌های تقلیل فشار گاز و انواع هیترهای موجود در آنها پرداخته شود.

### ۳-۲-۲- اجزا و عملکرد آنها:

به طور کلی تجهیزات به کار رفته در ساختمان ایستگاه به شرح زیر است که ممکن است کاربرد برخی از آنها ضروری و یا تعداد آنها تغییر نماید:

۱- فیلترها: جهت جلوگیری از ورود ناخالصی‌های همراه گاز به داخل تجهیزات ازفیلتر استفاده میشود

انواع فیلتر: ۱- فیلترهای چرخشی ۲- فیلترهای همراه با جداکننده ۳- فیلترهای المنت دار





شکل (۳-۳) فیلترهای تصفیه کننده (نگارنده)

۲- گرم کن<sup>۱</sup>: یک مبدل حرارتی است که توسط سیال آب مقطر دمای گاز را که کاهش یافته افزایش می‌دهد.



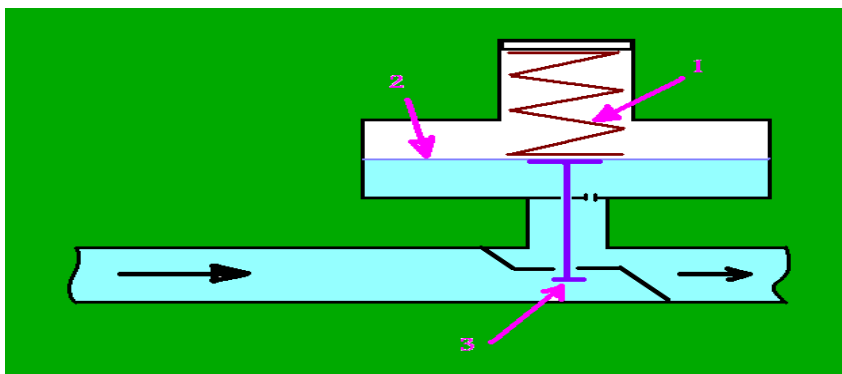
شکل (۴-۳) گرمکن (هیتر) (نگارنده)

۳- رگلاتورها: دستگاهی است که با تغییر جریان گاز (دبی) میزان فشار آن را کنترل می‌کند.

ساختمان رگلاتور: (۱) قسمت بارگذار<sup>۲</sup> (۲) قسمت اندازه گیر<sup>۳</sup> (۳) قسمت عمل کننده

---

<sup>۱</sup> - Heater  
<sup>۲</sup> - Loading  
<sup>۳</sup> - Measuring



شکل (۳-۵) شماتیک رگلاتور (نگارنده)

۴- کنتورها: جهت اندازه گیری حجم گاز عبوری از ایستگاه استفاده میشود.

انواع:

الف - کنتورهای جابجایی: (رفت و برگشتی-دیافراگمی)

ب - کنتورهای توربینی: متداولترین نوع مصرفی میباشد که اساس کار آن نسبت حجم گاز با چرخش پره ها می باشد.



شکل (۳-۶) نمایی از کنتور (نگارنده)

۵- شیرهای اطمینان<sup>۲</sup>: اگر به هر دلیلی رگلاتورها وظایف خود را انجام ندهند و یا فشار را به اندازه لازم کاهش ندهند شیر اطمینان بطور خودکار گاز را تخلیه کرده تا به فشار متعادل برسد.

<sup>۱</sup> - Restractor

<sup>۲</sup> - Safety Valve



شکل (۷-۳) شیر اطمینان موجود در ایستگاه (نگارنده)

۶- شیرهای قطع فشار<sup>۱</sup> ( فشار شکن ) : اگر رگلاتورها و شیر اطمینان دچار مشکل شوند شیر قطع کن گاز لاین خود را قطع می کند تا زمانی که تکنسین های شرکت گاز عیب را بر طرف کنند.

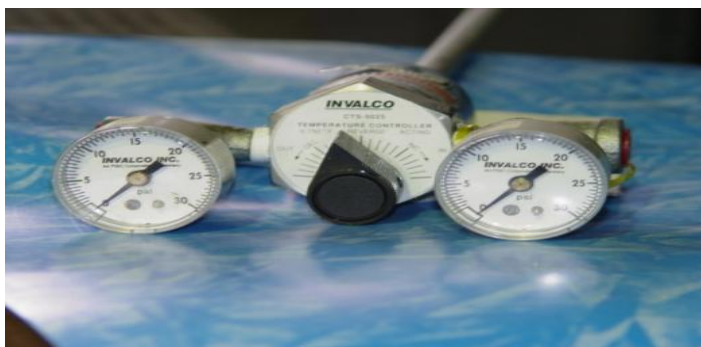


شکل (۸-۳) شیر قطع کن فشار (نگارنده)

۷- فشار سنج ها و ترمومترها و عایق های الکتریکی : یک سری نشان دهنده هستند که دردوره های معینی توسط تجهیزات استاندارد باید کالیبره شوند.

---

<sup>1</sup> - Shut Of Valve



شکل (۳-۹) نشان دهنده‌های ایستگاه (نگارنده)

۸- اتصال عایقی : خط لوله برای جلوگیری از پوسیدگی در زیر خاک علاوه بر عایق کاری داراییک ولتاژ ۳ ولتی برق می باشد که جهت منتقل نشدن این برق از این اتصال در ورودی و خروجی ایستگاه استفاده می‌شود.



شکل (۳-۱۰) نمایه برش خورده ی اتصال عایقی

۹- شیرها و فلنچ‌ها : شیرها : شیرها جهت قطع کردن جریان گاز در مواقع لازم مثل تعمیرات استفاده میشوند.

۱۰- فلنچ : واسطه‌ای بین یک اتصال پیچ و مهره‌ای و یک اتصال جوشی می‌باشد.



شکل (۳-۱۱) نمونه‌ای از شیرها و فلنچ‌های کاربردی در ایستگاه



۱۱- بودار کننده ها: در خروجی ایستگاه دستگاهی تعبیه شده که یک ماه بودار را در گاز خروجی از ایستگاه تزریق می کند که باعث بودار شدن گاز می شود.



شکل (۳-۱۲) نمونه از بودار کننده ها (نگارنده)

### ۳-۳-۲- گرم کن (هیتر):

یک مبدل حرارتی است که توسط سیال آب مقطر دمای گاز را که کاهش یافته افزایش میدهد. کهدلیل کاهش دمای گاز: ۱- افت فشار ۲- پایین بودن دمای محیط مشکلات ناشی از کاهش دمای گاز:

- ۱- تقطیر ذرات بخار موجود در گاز و ایجاد یخ زدگی در تجهیزات هنگام فصول سرد
- ۲- دمای گاز استاندارد تعریف شده ۱۵ درجه سلسیوس می باشد لذا تامین این دما در ایستگاه ضروری می باشد.

### ۳-۳-۱- ساختمان گرمکن:

- ۱- محفظه گرمکن ۲- لوله های گاز ۳- آتشدان ۴- دودکش ۵- محفظه احتراق ۶- مخزن انبساط ۷- سیستم تامین سوخت

<sup>1</sup> - Odorizer



شکل (۳-۱۳) نمای کلی از هیتر (نگارنده)

### ۳-۲-۲- سیستم‌های کنترلی موجود در گرمکن :



شکل (۳-۱۴) تجهیزات نصب شده روی هیتر (نگارنده)

(۱) کنترل کننده دمای گاز خروجی

(۲) کنترل کننده دمای آب گرمکن

۳) کنترل کننده سطح آب گرمکن

۴) سیستم محافظ شعله پیلوت

ظرفیت حرارتی گرمکن‌ها متناسب با ظرفیت ایستگاه می باشد بازای هر متر مکعب

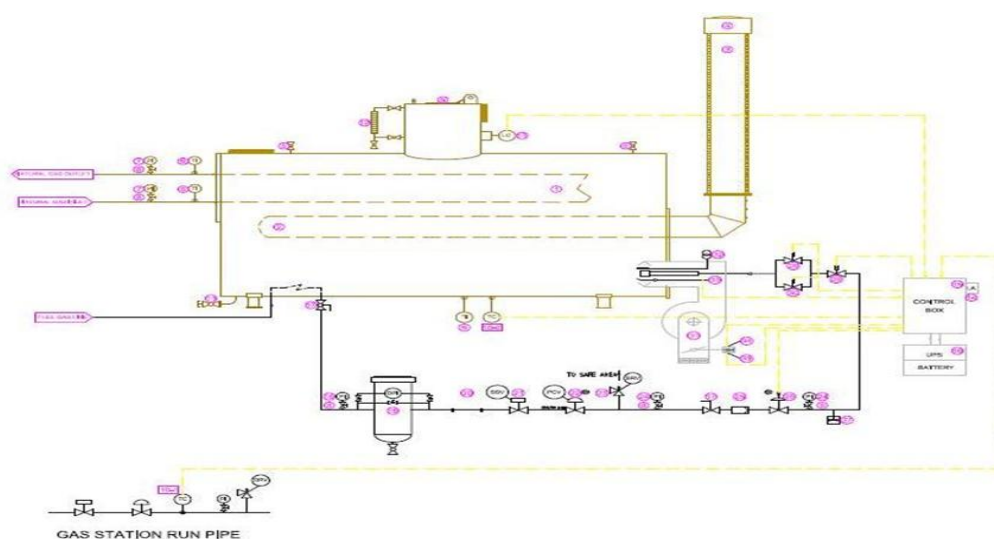
ظرفیت ایستگاه ۷۰ بی تی یو بر ساعت در نظر گرفته میشود ۱ بی تی یو = ۲۵۲ کالری

## **فصل چهارم: طراحی سیستم – مدلسازی خورشیدی**



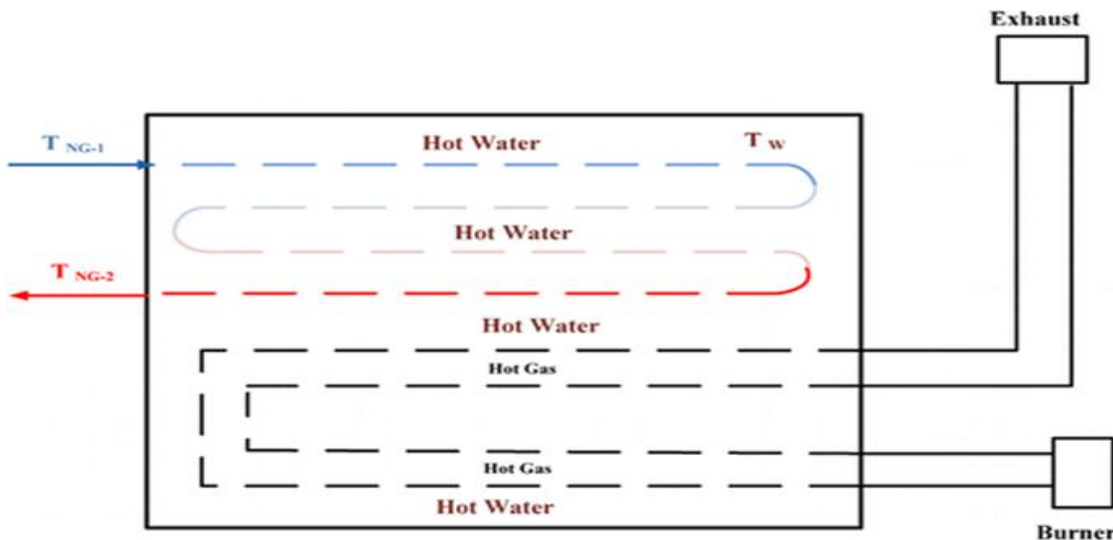
## ۴-۱- مقدمه

همانطور که در بخشهای قبلی بیان شد گاز طبیعی خطوط لوله بین شهری دارای فشار بالایی می باشد. این فشار در مراحل مختلفی کاهش می یابد تا به فشار مناسب مصرف کننده برسد. اولین مرحله کاهش فشار در ایستگاهی در ورودی شهرها می باشد که با نام ایستگاه دروازه شهری یا همان ایستگاه CGS شناخته می شود. این کاهش فشار با توجه به ضریب ژول - تامپسون با کاهش دمای گاز همراه می باشد که این مسئله به نوبه خود مشکلات عدیده ای همچون یخ زدگی آب همراه و انسداد مسیر گاز را در بر دارد. لذا قبل از کاهش فشار، گاز را گرم می کنند. عمل پیش گرمایش گاز در هیترهای گازی که مملو از آب هست صورت می گیرد. نحوه کار به این ترتیب است که هیتر دارای کوئل هایی است که با سوزاندن گاز، حرارت را به درون آب هیتر و آن نیز حرارت را به لوله های حامل گاز شهری که از درون هیتر می گذرند، منتقل می کند. یک نمونه از این هیترها در شکل زیر نمایش داده شده است.



شکل (۴-۱) شماتیک یک هیتر گازی رایج در ایستگاه های CGS (۲۸)

در یک هیتر گازی، سوختن گاز طبیعی در مشعل، موجب تولید گازهای داغ می گردد و این گازها در عبور از هیتر، باعث گرم شدن آب درون آن می شود. گاز طبیعی جهت گرمایش درون یک لوله از یک سمت هیتر وارد شده و بوسیله آب گرم درون هیتر احاطه می گردد. این لوله در درون هیتر در چند مرحله گردش می نماید و در نهایت دمای گاز درون آن به نهایت مطلوب می رسد. در شکل زیر نحوه کارکرد آن نمایش داده شده است.



شکل (۲-۴) نحوه کارکرد یک هیتر گازی رایج در ایستگاههای CGS (نگارنده)

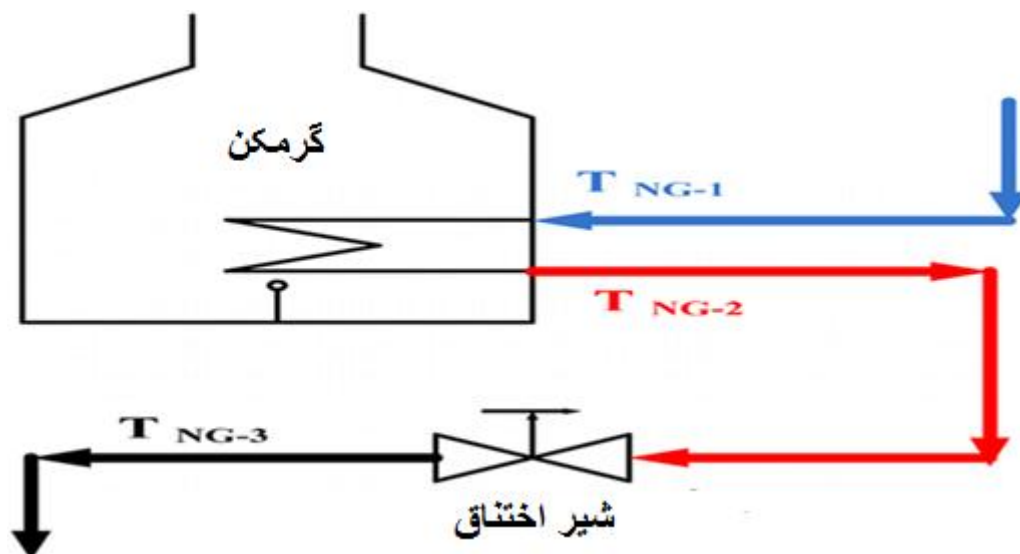
## ۲-۴- محاسبه دمای گاز ورودی و میزان افت دما در عبور از شیرهای اختناق

در این بخش به نحوه محاسبه توان گرمایی مورد نیاز هیترهای گازی ایستگاههای تقلیل فشار پرداخته می شود. ایستگاه مورد مطالعه این پروژه، یک ایستگاه با ظرفیت ۵۰۰۰ متر مکعب بر ساعت می باشد. تجهیزات و تاسیسات موجود در این ایستگاهها بر اساس ظرفیت آن ایستگاه طراحی می گردد بطوری که برای این ایستگاه، هیتري طراحی گردیده است که توانایی گرم کردن گاز با دبی ۵۰۰۰ متر مکعب بر ساعت را با شرایط اطمینان داشته باشد. در جدول زیر مشخصات هیتر گازی ایستگاه فوق مطابق استاندارد (IGS-M-PM-104(2) آمده است.

جدول (۴-۱) مشخصات هیترگازی مورد مطالعه (۲۹)

مقدار	واحد	نماد	کمیت به انگلیسی	کمیت به فارسی
5000	SCMH		Heater Capacity	ظرفیت هیتر
1000	PSI	P out	Inlet Pressure	فشار گاز ورودی به هیتر
1000	PSI	P in	Outlet Pressure	فشار گاز خروجی از هیتر
10	°C	T G-in.h		دمای گاز ورودی
50	°C	T G-out.h		دمای گاز خروجی
7	m <sup>2</sup>		Area Of Tube	مساحت کویل ها
			Diameter Of Coil	قطر کویل
			Number Of Coil	تعداد کویل ها
	mm		Wall THK Of Coil	ضخامت کویل
	Lit		Water Capacity	حجم آب درون هیتر
5000	m <sup>3</sup> /hr		Gas Flow	دبی جرمی گاز عبوری از هیتر
			Working Temp.	حداکثر دمای عملکرد هیتر
45%				راندمان احتراق
				حداکثر سرعت مجاز گاز در کویل ها
	m		Length	طول پوسته هیتر
	m		Diameter	قطر پوسته هیتر
	Kcal/hr		Heat Duty Min	کمترین قابلیت تولید انرژی
	Kcal/hr		Heat Duty Max	بیشترین قابلیت تولید انرژی

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



شکل (۳-۴) دماهای مختلف گاز طبیعی عبوری از یک ایستگاه CGS (نگارنده)

که در شکل بالا  $T_{G-in.h}$  دمای گاز ورودی به هیتر است که همان دمای گاز ورودی به ایستگاه می باشد. دمای بعدی دمای  $T_{G-out.h}$  دمای گاز خروجی از هیتر است که همان دمای گاز ورودی به شیرهای فشار شکن می باشد. و در نهایت  $T_{G-out.v}$  دمای گاز عبوری بعد از فرآیند کاهش فشار در شیرهای اختناق می باشد.

یکی از پارامترهای مهم در شیرهای اختناق ایستگاه های گاز شهری، میزان افت دمای آنها می باشد. این میزان افت دما بصورت زیر تعریف می گردد.

$$\Delta T_v = T_{G-Out-h} - T_{G-Out-v} \quad (۱-۴)$$

پارامتر مهم بعدی تعیین دمای هیدراته  $T_{hyd}$  گاز طبیعی عبوری از ایستگاه می باشد. در اکثر ایستگاه های موجود در کشور دمای گاز را تا حد غیر ضروری افزایش می دهند که می توان تا میزان زیادی این دما را پایین آورد، بدون اینکه هیچگونه صدمه ای به بحث فنی کار وارد شود.

با توجه به مطالب بیان شده، اکنون می توان دمای دقیق گاز طبیعی خروجی از هیتر را که میزان سوخت مصرفی هیتر بدان وابسته است تعیین نمود. این دما از رابطه زیر بدست می آید:

$$T_{G-Out-h} = T_{hyd} + \Delta T_v + \Delta T_{safety} \quad (۲-۴)$$

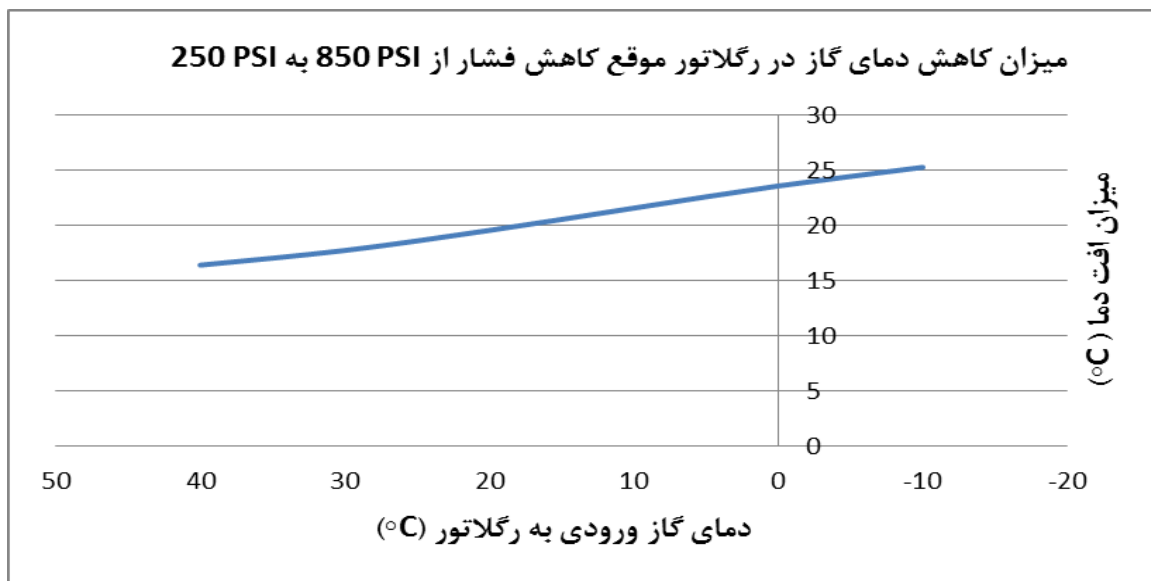
در معادله بالا  $\Delta T_{safety}$  میزان دمای اضافی اتخاذ شده برای اطمینان بیشتر می باشد.

اکنون باید افت دمای گاز طبیعی حاصل از کاهش فشار در اثر عبور از شیرهای اختناق در ایستگاه محاسبه گردد. در این پروژه افت دما با توجه به شرایط استاندارد کاهش فشار یعنی کاهش فشار از فشار ۸۵۰ PSI تا فشار ۲۵۰ PSI برای شرایط دمایی گاز ورودی متفاوت نیز بدست آمده است (۲۸).

با توجه به اینکه فرآیند کاهش فشار در شیرهای اختناق (رگلاتور)، فرآیند آنتالپی ثابت است. لذا با استفاده از جداول ترمودینامیک مقدار آنتالپی را در ورودی و خروجی رگلاتور یکسان گرفته و برای دماهای مختلف ورودی، دمای خروجی را با استفاده از روش درونیابی بدست می آوریم (۲۷). به عنوان مثال برای دمای ورودی  $273^{\circ}\text{K}$  در فشار ورودی ۸۵۰ PSI و فشار خروجی ۲۵۰ PSI با استفاده از درون یابی مطابق محاسبات زیر، مقدار دمای خروجی  $249^{\circ}\text{K}$  بدست می آید. لذا مقدار اختلاف دمای ورودی و خروجی رگلاتور در این حالت  $273-249=24^{\circ}\text{K}$  بدست می آید.

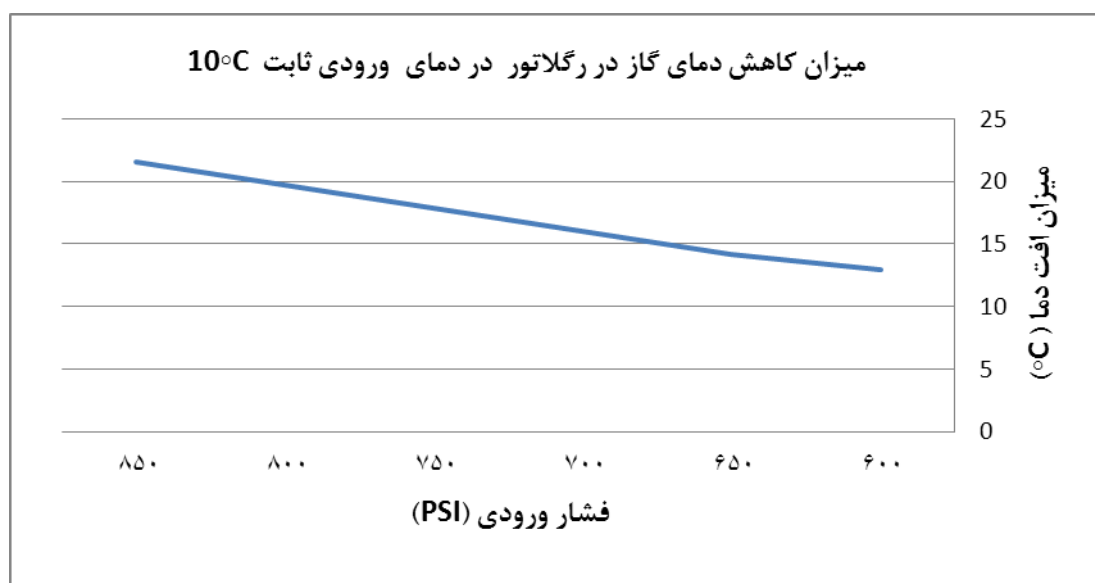
P1. (PSI)	P. (bar)	Temp. (K)		
		250	273	300
850	40	1032.9		1160.5
	58.61	1002.11	1066.2	1141.43
	60	999.8		1140
P2. (PSI)	P. (bar)	Temp. (K)		
		200	249	250
250	10	965.5		1077.9
	17.24	948.421	1066.2	1067.55
	20	941.9		1063.6

به همین ترتیب با محاسبه برای دماهای مختلف گاز ورودی به ایستگاه از فشار ۸۵۰ PSI به فشار ۲۵۰ PSI میزان کاهش دما مطابق شکل (۴-۴) مشاهده می گردد.



شکل (۴-۴) نمودار میزان افت دمای گاز در عبور از شیر اختناق از فشار 850 Psi به 250 Psi

همانطور که در نمودار بالا مشخص است، میزان افت دما در فشار ورودی 850 PSI بین دمای 15°C تا حدود 25°C با توجه به دماهای مختلف گاز ورودی به ایستگاه متغیر می باشد. هر چند افت دما در ماههای سرد سال افزایش می یابد اما چون عموماً در ماههای سرد سال همواره با افت فشار گاز در ورودی ایستگاه مواجه هستیم بطوری که عموماً در فصل زمستان که افت دما در شیرهای اختناق شرایط بحرانی تری را دارد فشار گاز در ورودی ایستگاه تا میزان 200 PSI نیز از مقدار استاندارد کمتر شده و به حدود 600 PSI می رسد. در شکل (۴-۵) میزان افت دما بر اساس دمای ورودی 10°C و فشارهای مختلف نمایش داده شده است.



شکل (۴-۵) نمودار میزان افت دمای گاز در عبور از شیر اختناق با توجه به فشارهای ورودی مختلف

یکی از پارامترهای مهم دیگر این بخش تعیین دمای گاز طبیعی ورودی به ایستگاه تقلیل فشار می باشد. که این دما با  $T_{in}$  نمایش داده می شود. با توجه به این مهم که گاز ورودی به ایستگاه از طریق لوله‌هایی در عمق ۱.۵ متری زمین وارد ایستگاه می شود، می توان نتیجه گرفت که دمای گاز ورودی تابعی از دمای محیط می باشد. در معادله بعد این رابطه آمده است.

$$T_{in}=T_{G-in-h}=0.0084T_{atm}^2+0.31T_{atm}+11.403 \quad (3-4)$$

همانطور که در معاله بالا مشخص است. دمای گاز ورودی به ایستگاه با دمای محیط رابطه مستقیم دارد.

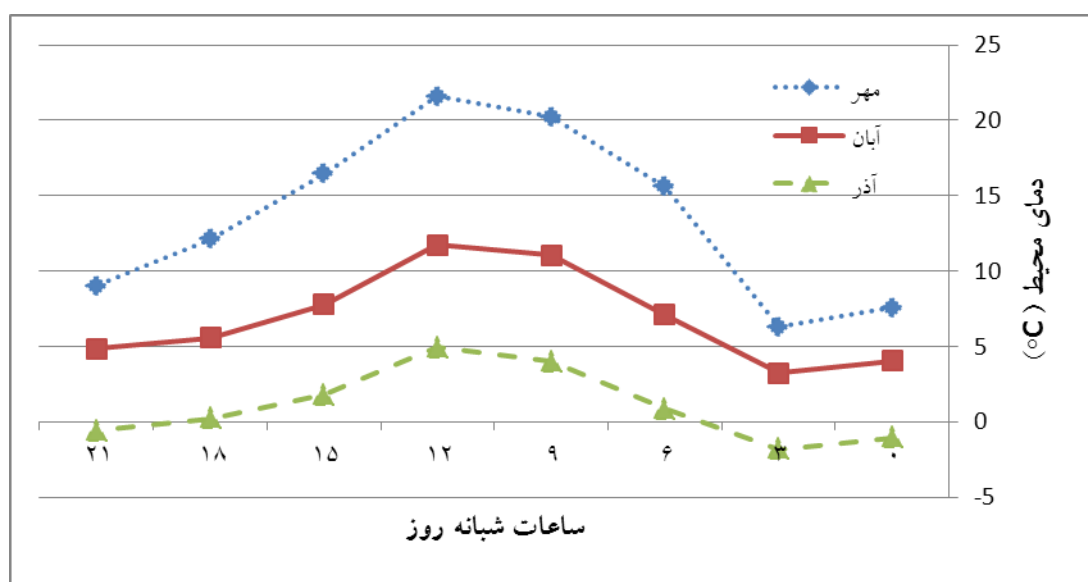
اطلاعات دمای محیط همدان طی روزهای مختلف سال ۱۳۹۲ که از سازمان هواشناسی اخذ شده است. در نمودارهای زیر نمایش داده می شود (۱۵).



شکل (۴-۶) نمودار متوسط دمای محیط در فصل بهار

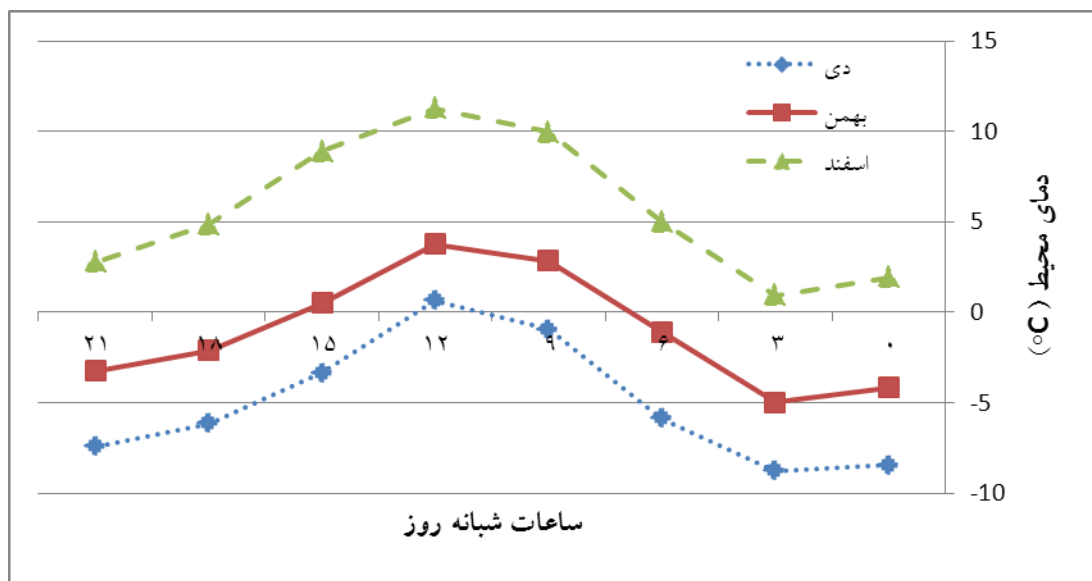


شکل (۴-۷) نمودار متوسط دمای محیط در فصل تابستان



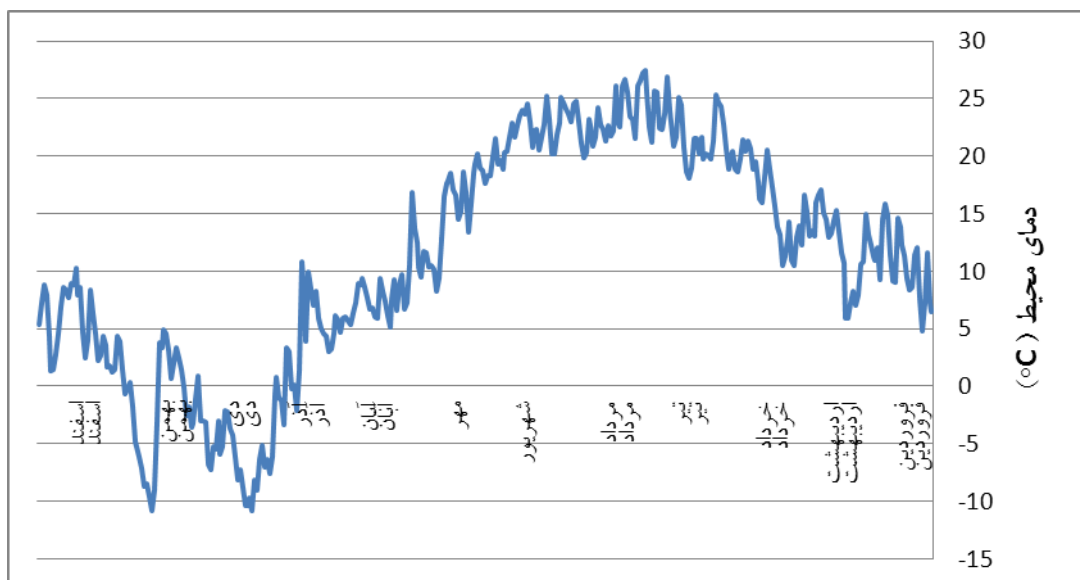
شکل (۴-۸) نمودار متوسط دمای محیط در فصل پاییز





شکل (۴-۹) نمودار متوسط دمای محیط در فصل زمستان

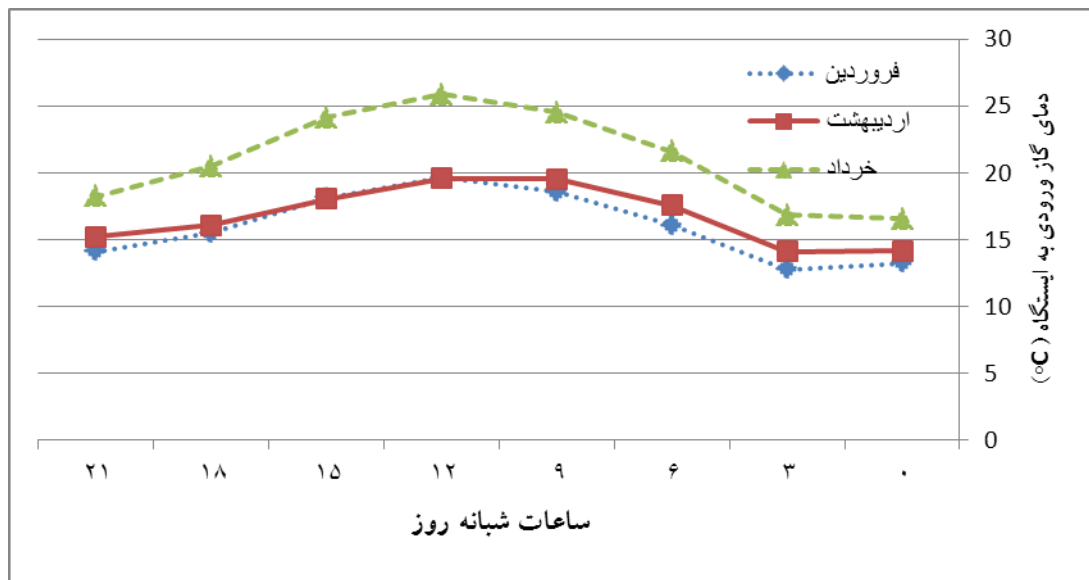
با بررسی نمودارهای بالا مشخص است که در نمودار مربوط به فصل زمستان، بیشترین دمای فصل در اسفند ماه با مقدار تقریبی  $11^{\circ}\text{C}$  و کمترین در دی ماه با مقدار تقریب  $9^{\circ}\text{C}$  - رخ داده است.



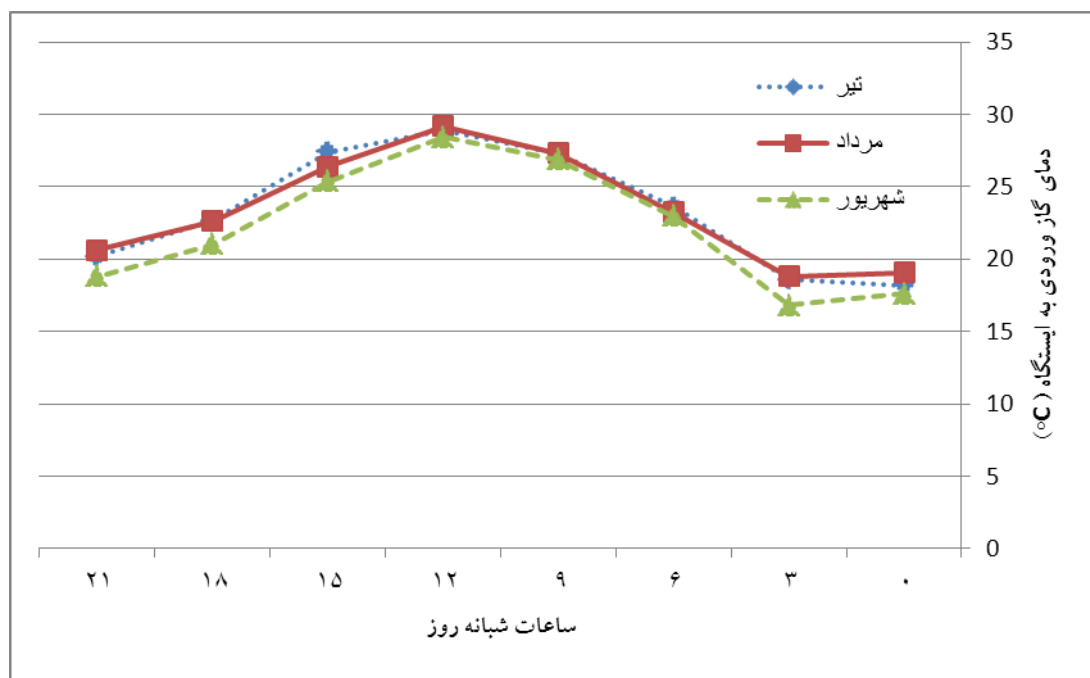
شکل (۴-۱۰) نمودار متوسط دمای محیط روزانه شهر همدان

با استفاده از اطلاعات دمای همدان می توان دمای گاز ورودی به ایستگاه را برای سال ۱۳۹۲ با استفاده از رابطه (۴-۲) محاسبه نمود. در نمودارهای زیر دمای گاز ورودی به ایستگاه

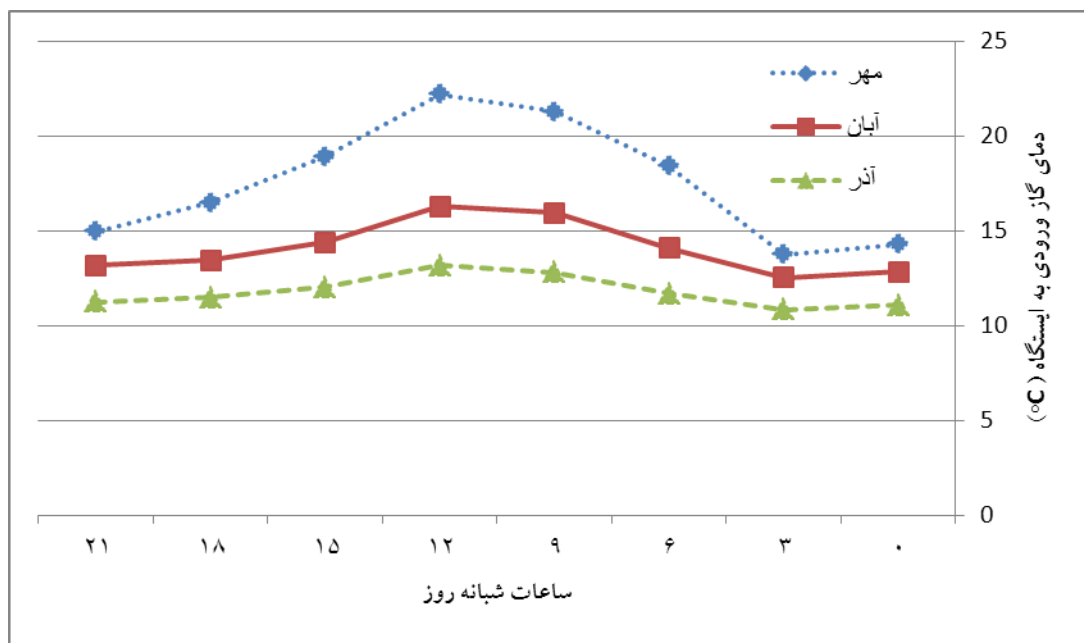
در همدان برای سال ۱۳۹۲ و بصورت متوسط ساعتی برای ماههای مختلف نمایش داده شده است.



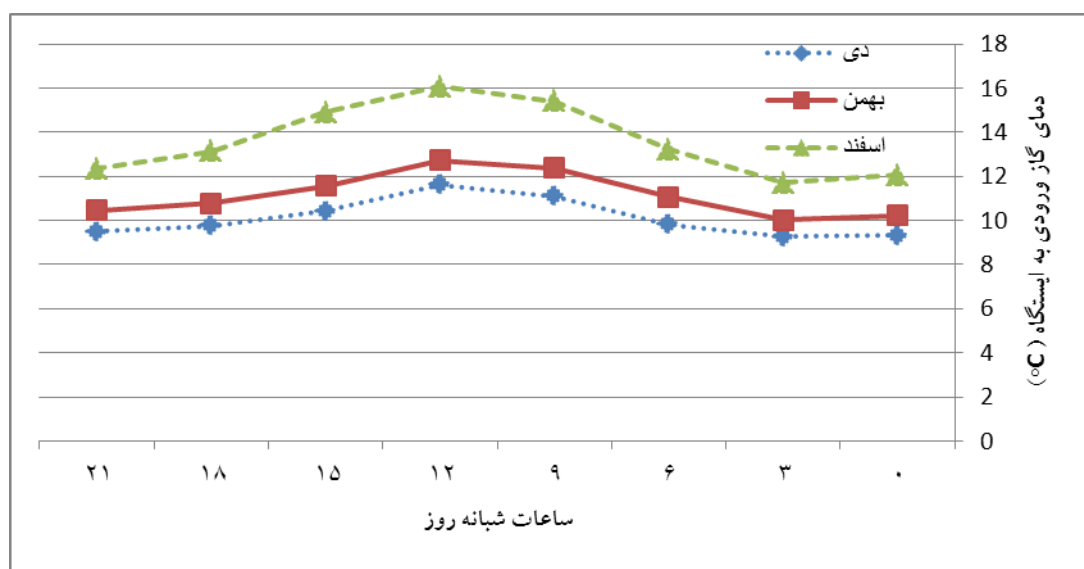
شکل (۴-۱۱) نمودار متوسط دمای گاز ورودی به ایستگاه در فصل بهار



شکل (۴-۱۲) نمودار متوسط دمای گاز ورودی به ایستگاه در فصل تابستان

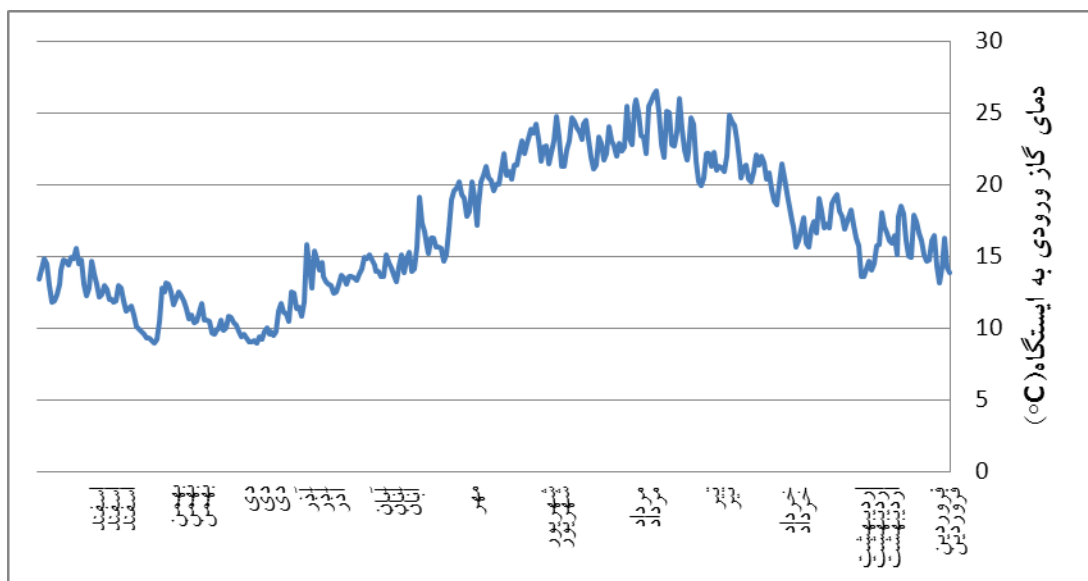


شکل (۴-۱۳) نمودار متوسط دمای گاز ورودی به ایستگاه در فصل پاییز



شکل (۴-۱۴) نمودار متوسط دمای گاز ورودی به ایستگاه در فصل زمستان

در ادامه متوسط دمای گاز ورودی به ایستگاه بصورت متوسط روزانه به شکل نمودار زیر می باشد.



شکل (۴-۱۵) نمودار متوسط دمای روزانه گاز ورودی به ایستگاه

همانطور که در نمودار بالا نیز مشهود است، کمترین میزان دمای گاز ورودی با توجه به این مهم که لوله در خاک مدفون است حدود  $9^{\circ}\text{C}$  و بیشترین دمای گاز ورودی به ایستگاه  $27^{\circ}\text{C}$  می باشد. با توجه به شرایط مذکور و استفاده از نمودار (۴-۱) میتوان حداکثر میزان افت دما در شیرهای اختناق در ایستگاه همدان را  $22^{\circ}\text{C}$  تعیین نمود. و با توجه به دماهای بیان شده و اتخاذ  $2^{\circ}\text{C}$  دمای اطمینان و حدود  $6^{\circ}\text{C}$  دمای هیدراته، در نهایت دمای خروجی هیتر برای ایستگاه  $30^{\circ}\text{C}$  تعیین می گردد.

#### ۴-۳- نحوه محاسبه گرمای مورد نیاز جهت گرمایش گاز عبوری از هیتر:

بر اساس مطالب بیان شده، اکنون می توان گرمای مورد نیاز جهت گرمایش گاز عبوری از ایستگاه را جهت جلوگیری از هیدراته شدن محاسبه نمود. برای محاسبه گرمای مورد نیاز می توان از رابطه زیر استفاده نمود (۲۳).

$$\dot{Q}_{load} = \dot{m}_G \times \Delta h \quad (4-4)$$

$$\Delta h = (C_{p2} \times T_2) - (C_{p1} \times T_1) \quad (5-4)$$

که در معادله بالا  $\dot{m}_G$  دبی جرمی و  $\Delta h$  تغییر آنتالپی در فرآیند گرمایش در هیتر و  $C_{p1,2}$  و  $T_{1,2}$  به ترتیب دما و ظرفیت حرارتی ویژه گاز در ورودی و خروجی هیتر می باشند

که با توجه به ظرفیت ایستگاه ( $m^3/hr$ ) ۵۰۰۰ و هیتر متناظر با آن دبی جرمی در تمام محاسبات مقدار ( $m^3/hr$ ) ۵۰۰۰ در نظر گرفته می‌شود. همچنین با توجه به این حقیقت که درصد بالایی از گاز طبیعی مناطق مختلف ایران را متان تشکیل می‌دهد، (بین ۸۵ تا ۹۸ درصد) (۲۵) لذا می‌توان از دانسیته متان جهت تبدیل دبی گاز عبوری از واحد مترمکعب بر ساعت به واحد کیلو گرم بر ثانیه استفاده نمود. ولی از آنجایی که مقدار دانسیته گاز طبیعی همدان از واحد اندازه گیری گاز اخذ شده است لذا مقدار آن که برابر  $kg/m^3$  ۶۱۴۳/۰ است در محاسبه دبی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بر این اساس میزان گاز عبوری ( $m^3/hr$ ) ۵۰۰۰ در شرایط استاندارد مقدار  $kg/s$  ۰/۸۵۳ تعیین می‌گردد.

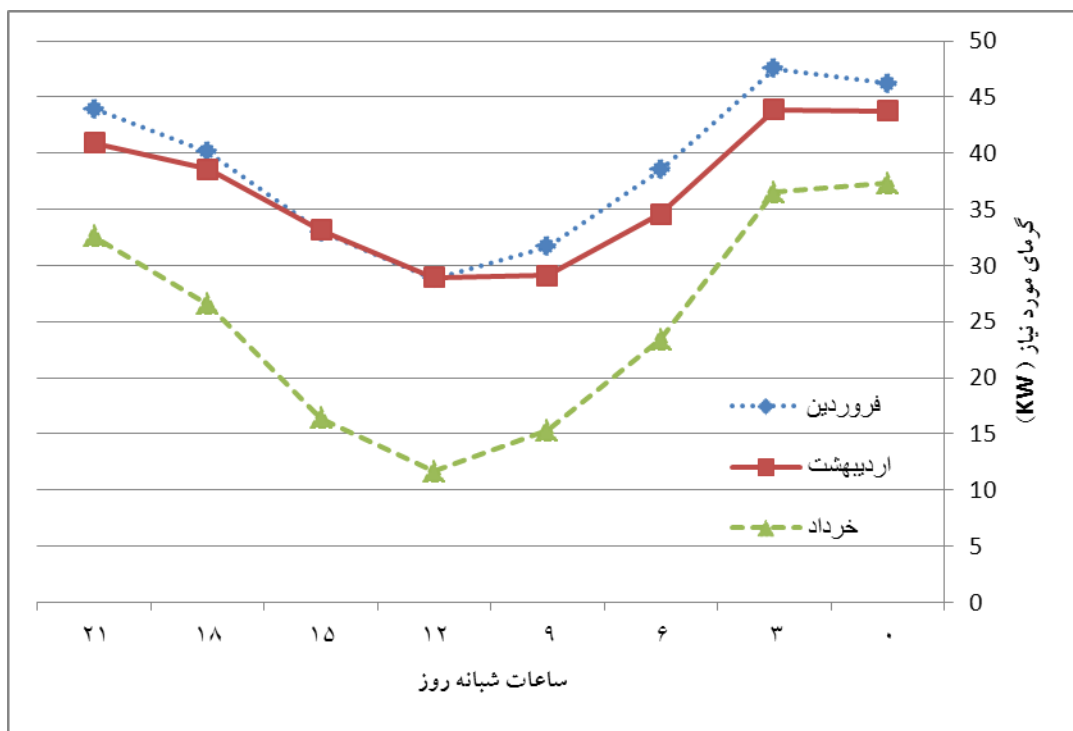
همچنین ظرفیت حرارتی ویژه گاز ورودی به ایستگاه همان طور که اشاره شد، درصد بالایی از آن متان می‌باشد. در دماهای مختلف با استفاده از فرمول ذیل محاسبه می‌گردد.

$$C_p = C_0 + C_1\theta + C_2\theta^2 + C_3\theta^3 \quad (Kj/Kg \ K) \quad (۴-۶)$$

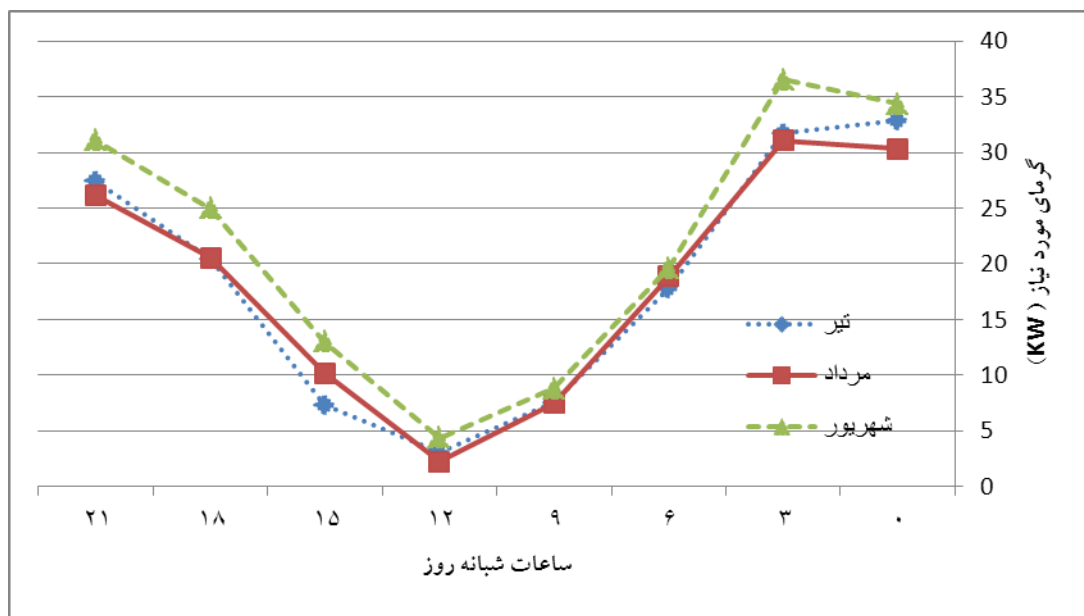
$$\theta = T(Kelvin)/1000 \quad (۴-۷)$$

مقادیر  $C_0$  و  $C_1$  و  $C_2$  و  $C_3$  برای گاز متان مطابق صفحه ۶۷۹ به ترتیب برابر ۱/۲ و ۳/۲۵ و ۰/۷۵ و ۰/۷۱- می‌باشند (۲۵).

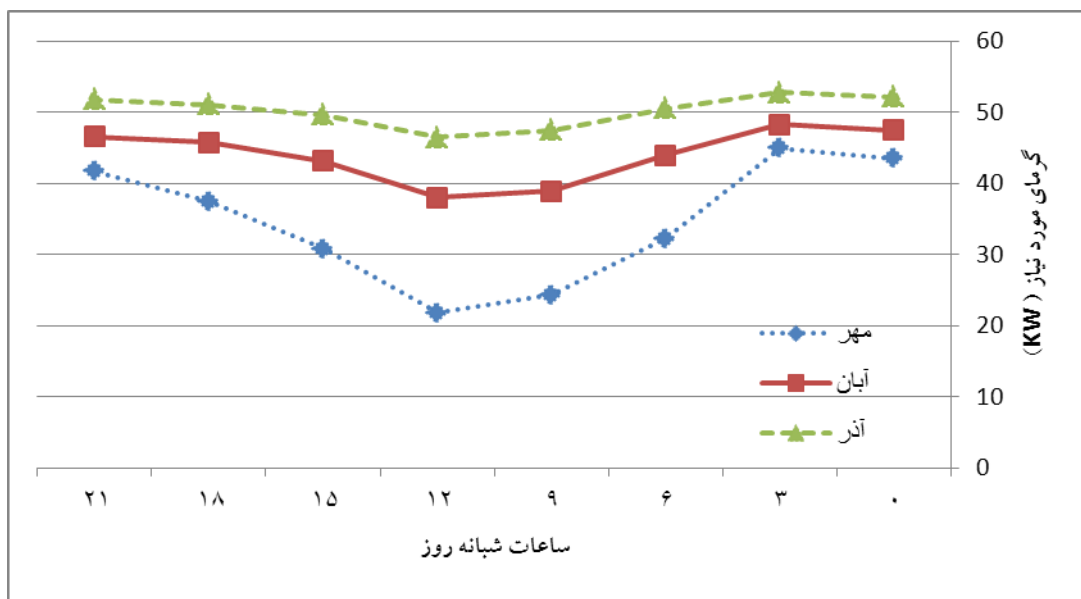
با توجه به مطالب بیان شده میزان گرمای مورد نیاز برای گرم کردن گاز برای جلوگیری از هیدراته شدن در ایستگاه در نمودار زیر نمایش داده شده است. لازم به ذکر است که این میزان گرما با در نظر گرفتن دمای گاز خروجی هیتر برابر  $30^\circ C$  بدست آمده است.



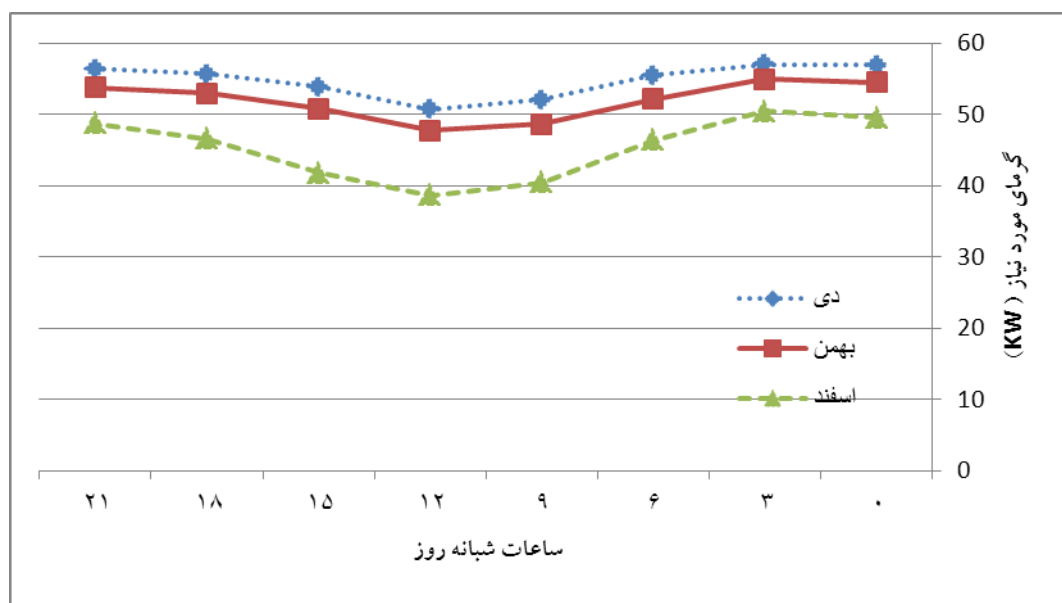
شکل (۴-۱۶) نمودار متوسط گرمای ساعته مورد نیاز در فصل بهار بر حسب KW



شکل (۴-۱۷) نمودار متوسط گرمای ساعته مورد نیاز در فصل تابستان بر حسب KW

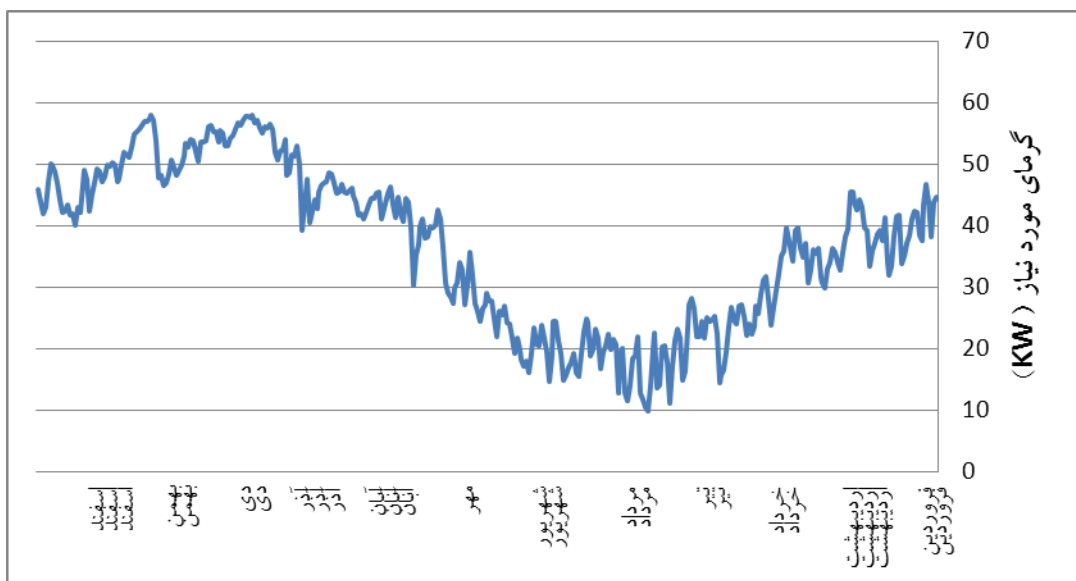


شکل (۴-۱۸) نمودار متوسط گرمای مورد نیاز در فصل پاییز بر حسب KW



شکل (۴-۱۹) نمودار متوسط گرمای مورد نیاز در فصل زمستان بر حسب KW

در ادامه نمودار متوسط گرمای روزانه مورد نیاز گاز ورودی به ایستگاه ترسیم شده است.



شکل (۴-۲۰) نمودار متوسط گرمای روزانه مورد نیاز در فصول سال بر حسب KW

همانطور که در نمودار بالا مشخص است، گاز عبوری در فصل تابستان نیاز کمتری به گرما دارد و برعکس در فصل زمستان نیاز بیشتری به گرم کردن دارد.

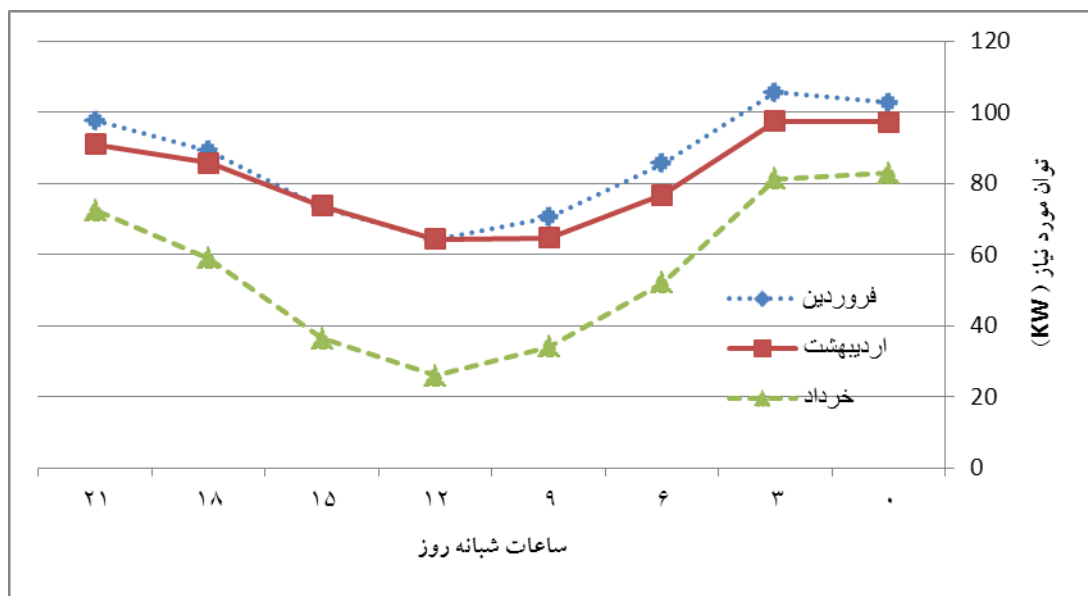
#### ۴-۴- محاسبه توان مورد نیاز هیتر ایستگاه

گرمای مورد نیاز جهت جلوگیری از هیدراته شدن هم توسط هیتری با سوخت گاز طبیعی تامین می گردد. هیتروهای گازی در شرایط کارکرد دارای راندمان ۱۰۰ درصد نیستند و در نتیجه باید از گرمای مورد نیاز گاز طبیعی مقدار بیشتری تولید کنند. این گرما با تعریف راندمان احتراق برای هیتر و همچنین گرمای اتلافی بر اساس رابطه زیر بدست می آیند (۲۳).

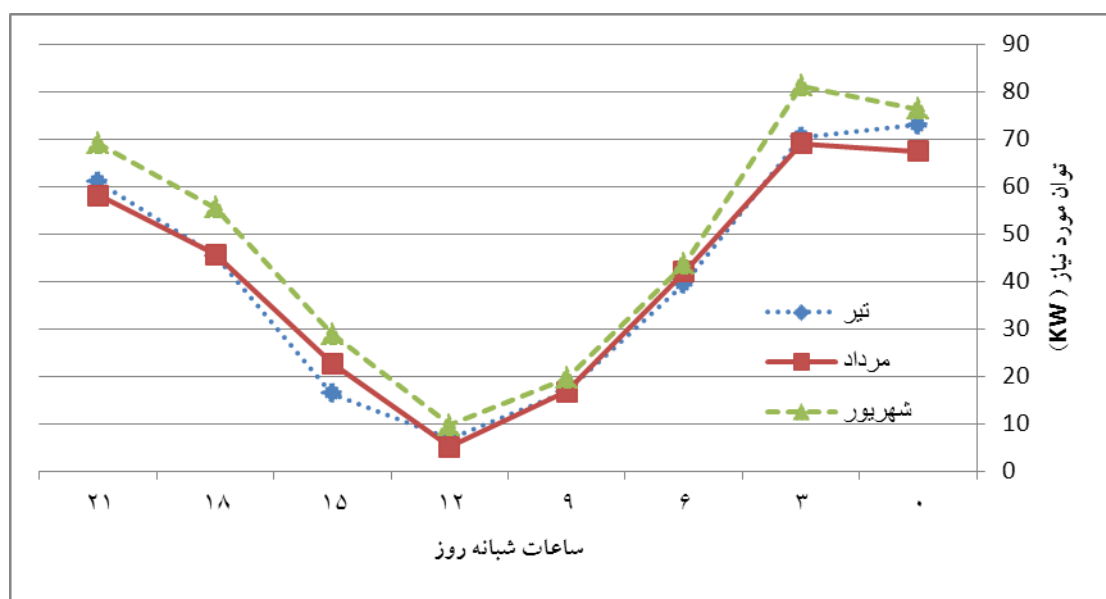
$$\dot{Q}_{heater} = \frac{\dot{Q}_{load}}{\eta_{combustion}} + \dot{Q}_{lost} \quad (۴-۸)$$

در رابطه بالا میزان گرمای اتلافی با  $\dot{Q}_{lost}$  و راندمان هیتروهای گازی با  $\eta_{combustion}$  نمایش داده شده است. گرمای اتلافی به گرمایی اطلاق می شود که از طریق سطح خارجی هیتر به محیط منتقل می گردد. که این گرمای اتلافی را می توان با عایق نمودن سطح هیتر به حداقل رساند. همچنین راندمان هیتروهای گازی به این دلیل تعریف می گردد که بخش قابل توجهی از گرما از طریق دودکش هیتر به محیط منتقل می شود. بطور معمول سازندگان این هیترها راندمان آنها را در حدود ۴۵ درصد تعیین می کنند (۲۹).

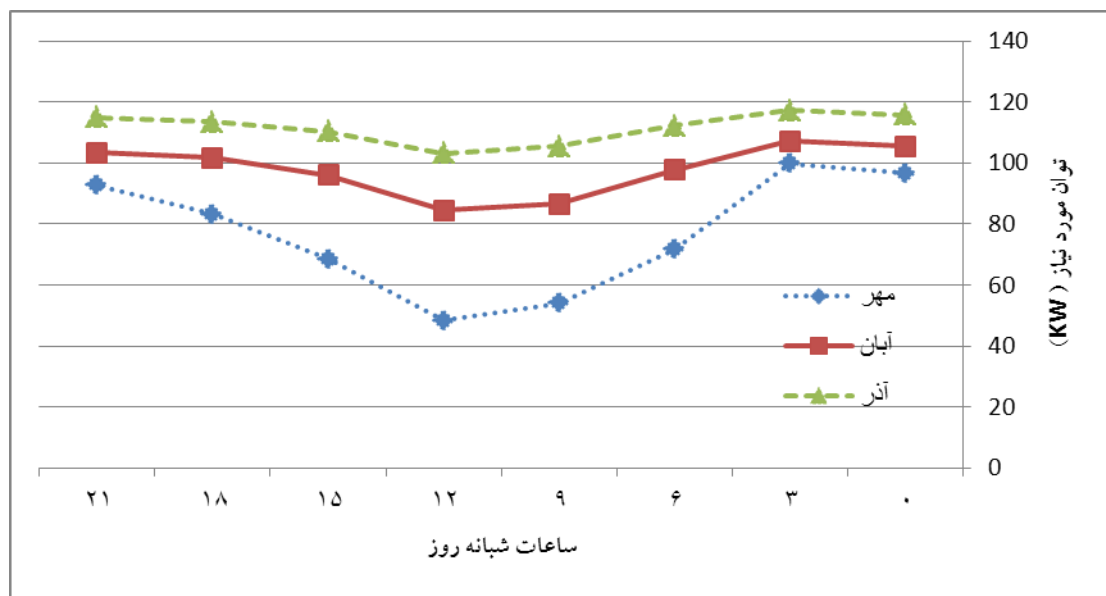




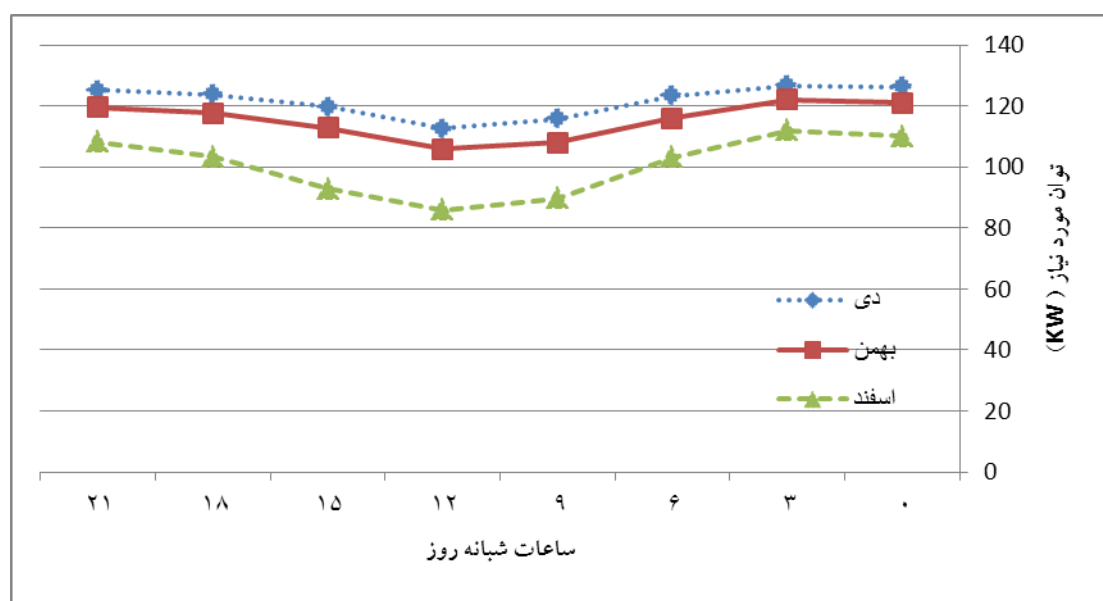
شکل (۴-۲۱) نمودار توان ساعتی مورد نیاز هیتر در فصل بهار بر حسب KW



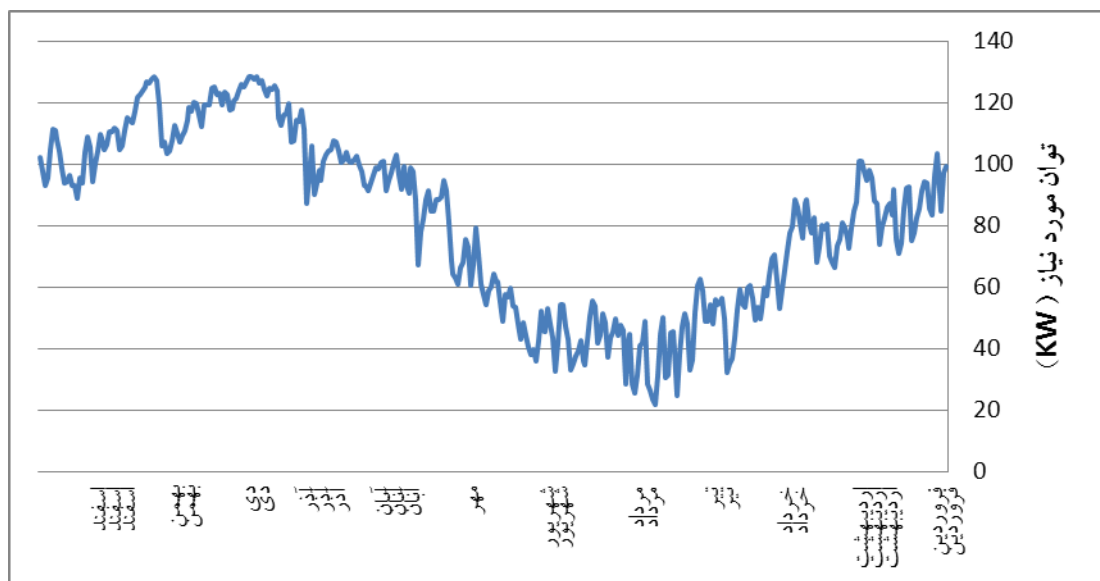
شکل (۴-۲۲) نمودار توان ساعتی مورد نیاز هیتر در فصل تابستان بر حسب KW



شکل (۴-۲۳) نمودار توان ساعتی مورد نیاز هیتر در فصل پاییز بر حسب KW



شکل (۴-۲۴) نمودار توان ساعتی مورد نیاز هیتر در فصل زمستان بر حسب KW



شکل (۴-۲۵) نمودار متوسط روزانه توان مورد نیاز هیتر بر حسب KW

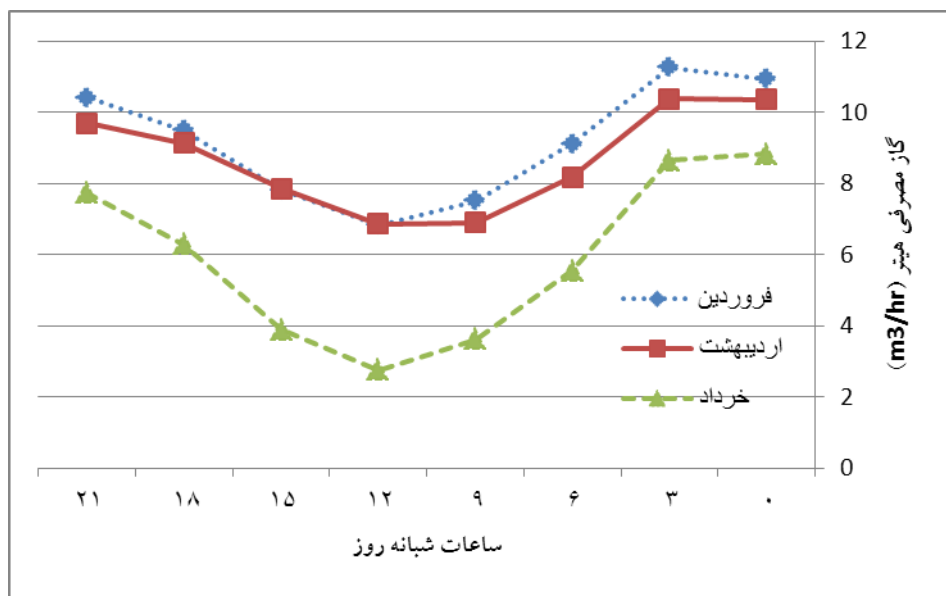
لازم به ذکر است که توان مورد نیاز نمایش داده شده در نمودارهای بالا با فرض عایق بودن سطح خارجی هیتر ( $\dot{Q}_{lost} = 0$ ) و راندمان احتراق ۴۵ درصد بدست آمده است.

#### ۴-۵- تعیین مصرف سوخت هیتر:

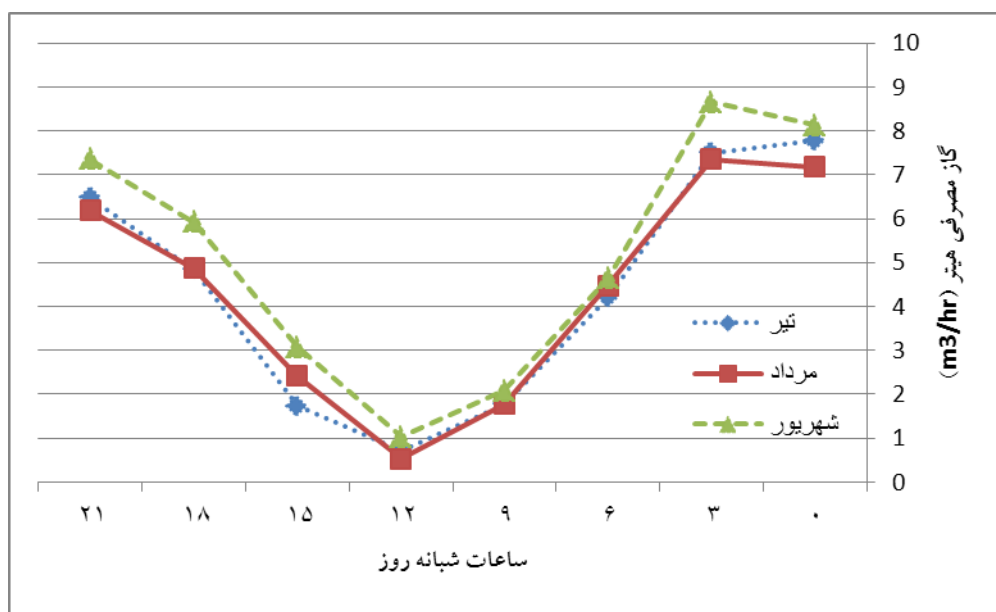
از آنجا که تمام هدف پروژه صرفه جویی در مصرف سوخت هیتر میباشد؛ لازم است مصرف میزان گاز طبیعی توسط هیتر محاسبه گردد. مقدار مصرف هیتر از رابطه ی زیر بدست می آید:

$$\dot{m}_f = \left[ \frac{\dot{Q}_{heater}}{3600} \right] / LHV \eta_h \quad (4-9)$$

در این رابطه  $\dot{m}_f$  دبی جرمی سوخت مصرفی و  $LHV$  ارزش حرارتی سوخت هیتر میباشد. با توجه به  $\dot{Q}_{heater}$  بدست آمده در بخشهای قبلی و ارزش حرارتی گاز طبیعی ایستگاه همدان که از منابع شرکت گاز همدان به مقدار  $33804 \text{ kJ/m}^3$  استخراج شده است و راندمان ۴۵٪ هیتر موجود در ایستگاه داریم



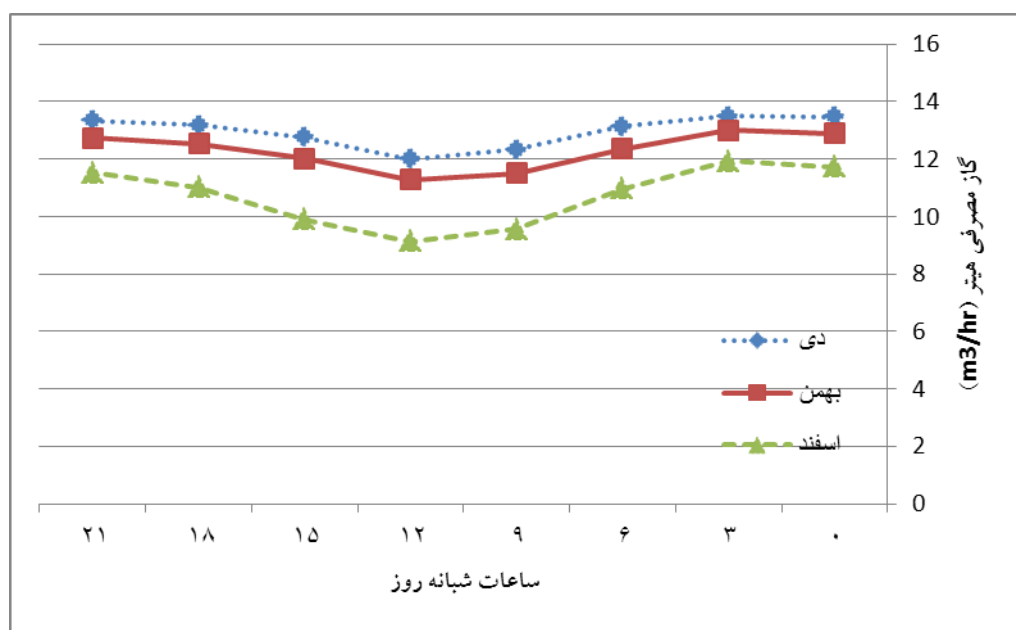
شکل (۴-۲۶) نمودار متوسط گاز مصرفی هیتر در فصل بهار بر حسب  $m^3/hr$



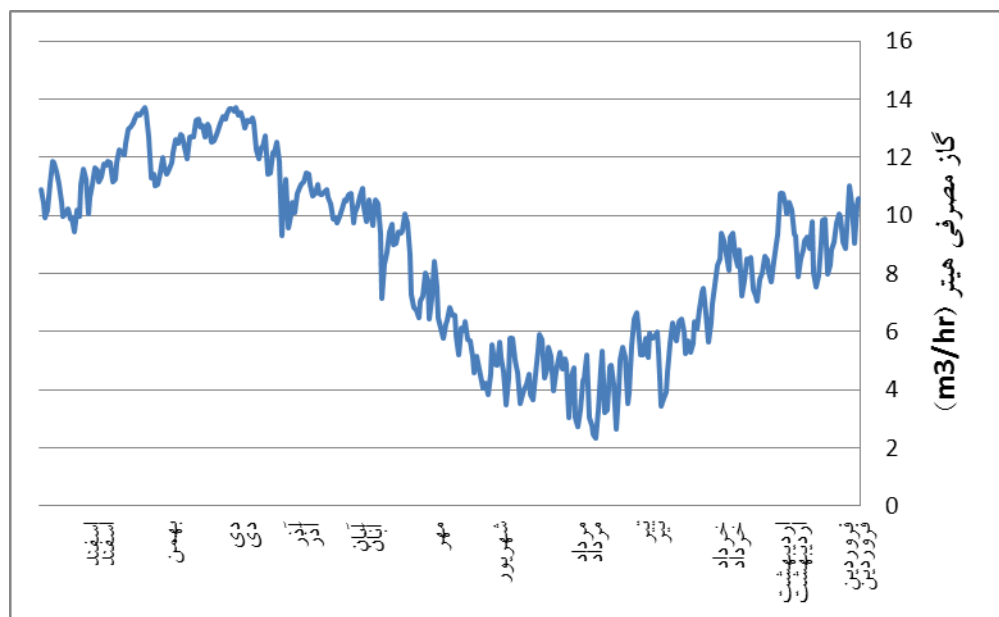
شکل (۴-۲۷) نمودار متوسط گاز مصرفی هیتر در فصل بهار بر حسب  $m^3/hr$



شکل (۴-۲۸) نمودار متوسط گاز مصرفی هیتر در فصل بهار بر حسب  $m^3/hr$



شکل (۴-۲۹) نمودار متوسط گاز مصرفی هیتر در فصل بهار بر حسب  $m^3/hr$



شکل (۴-۳) نمودار متوسط گاز مصرف روزانه ی هیت بر حسب  $m^3/hr$

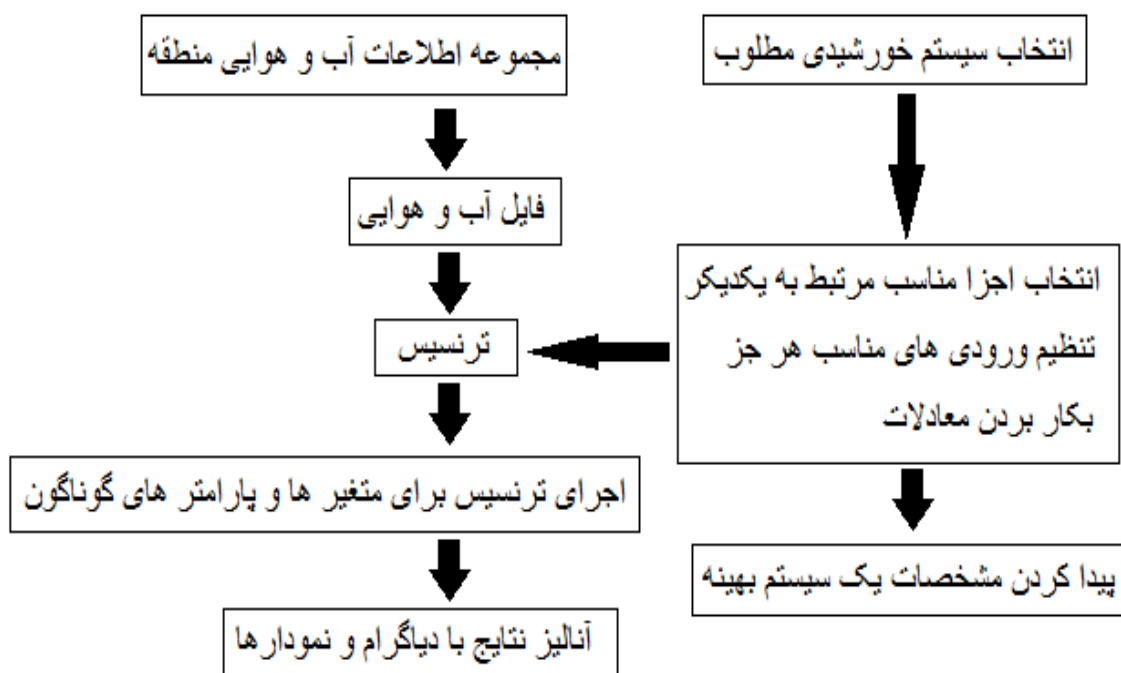
#### ۴-۶-مدلسازی خورشیدی:

در این پروژه از نرم افزار ترنسیس برای مدلسازی خورشیدی جهت گرم کردن گاز استفاده شده، لذا به اختصار به معرفی این نرم افزار پرداخته شده است.

#### ۴-۶-۱-ترنسیس:

ترنسیس یک محیط شبیه‌سازی کامل و قابل توسعه برای شبیه‌سازی‌های سیستم‌های سرمایش و گرمایش خورشیدی در حالت گذراست. برای مثال شبیه‌سازی‌های ساختمان‌های چندمنظوره. این نرم‌افزار توسط محققان و مهندسان به اعتبار مفاهیم جدید انرژی، من جمله شبیه‌سازی‌های گرمایشی و سرمایشی ساده گرفته تا حالات بسیار پیچیده گذرا، مورد استفاده قرار می‌گیرد. این استفاده شامل استراتژی‌های کنترل، شبیه‌سازی سیستم‌های بادی، خورشیدی، هیدروژنی و فتوولتائیک و غیره است. یکی از فاکتورهای موفقیت ترنسیس در ۲۵ سال گذشته، ساختار مدولار و ارتباطات و فناوری‌های باز آن، بوده است. مدل‌های مورد نیاز کاربر، در فضای ابزار این نرم‌افزار به وفور موجود است و در صورت عدم وجود با انواع زبان‌های برنامه‌نویسی، قابلیت تعریف دارند. علاوه بر این ترنسیس قابلیت اتصال به بسیاری از

برنامه‌های کاربردی مثل متلب و اکسل و کمیس و غیره را نیز داراست. کاربردهای ترنسیس شامل سیستم‌های خورشیدی، ساختمان‌هایی با مصرف انرژی کم و طراحی پیشرفته، سیستم‌های انرژی تجدید پذیر، پیل‌های سوختی و در نهایت هر سیستمی که نیاز به شبیه‌سازی پویا و گذرا دارد می‌باشد (۳۰). به‌طور معمول، یک پروژه ترنسیس، اجزاء را به‌طور گرافیکی، در محیط شبیه‌سازی استودیو<sup>۱</sup> تعریف کرده و آن‌ها را به یکدیگر لینک می‌کند. هر جزء شامل پارامترها، ورودی‌ها و خروجی‌ها، با یک مدل ریاضی، با معادلات از قبل تعریف شده می‌باشند. لینک‌ها نیز در متغیرهایی یکسان، اجزاء تعریف شده را به هم متصل می‌کنند. ترنسیس به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان یک ابزار تجزیه و تحلیل قابل اعتماد، برای سیستم‌های انرژی پیچیده به رسمیت شناخته شده و نمونه‌هایی از استفاده آن به شرح ذیل است.



شکل (۴-۳۱) ساختاری برای تعریف چگونگی کارکرد ترنسیس

1- trnsys simulation studio

### کاربردهای عمده ترنسیس :

الف) طراحی های ترکیبی ساختمان (ساختمان های بزرگ چندطبقه و نمونه هایی که تجزیه و تحلیل آن ها بطور دستی بسیار دشوار است)، لذا ترنسیس با موفقیت طرح پیشنهادی را با طرحی جایگزین و فرضی مقایسه می کند (۳۰).

ب) آزمایشگاه های مستقلی هستند که نتایج به دست آمده از آزمون های استاندارد اشری را در کلکتورهای حرارتی خورشیدی، برای کسر خورشیدی در انواع شرایط آب و هوایی با کمک نرم افزار ترنسیس مقایسه می کنند (۳۰).

در استفاده از این نرم افزار امتیازاتی به شرح ذیل هست:

بیشتر قابلیت های آن از مدل های اجزای پیش ساخته به نام تایپ می آید و کد ترنسیس با موتور محاسباتی خود، ورودی ها و خروجی ها را به هم پیوند می دهد. استودیوی شبیه سازی نسخه ۱۶، به صورتی اصلاح شده که به برنامه نویسان اجازه اتصال اجزاء، وارد کردن معادلات و مشخص کردن قالب بندی خروجی و پارامترهای شبیه سازی را می دهد و فضا را برای دوری از بکارگیری دستی یا بصری معادلات فراهم می کند (۳۰).

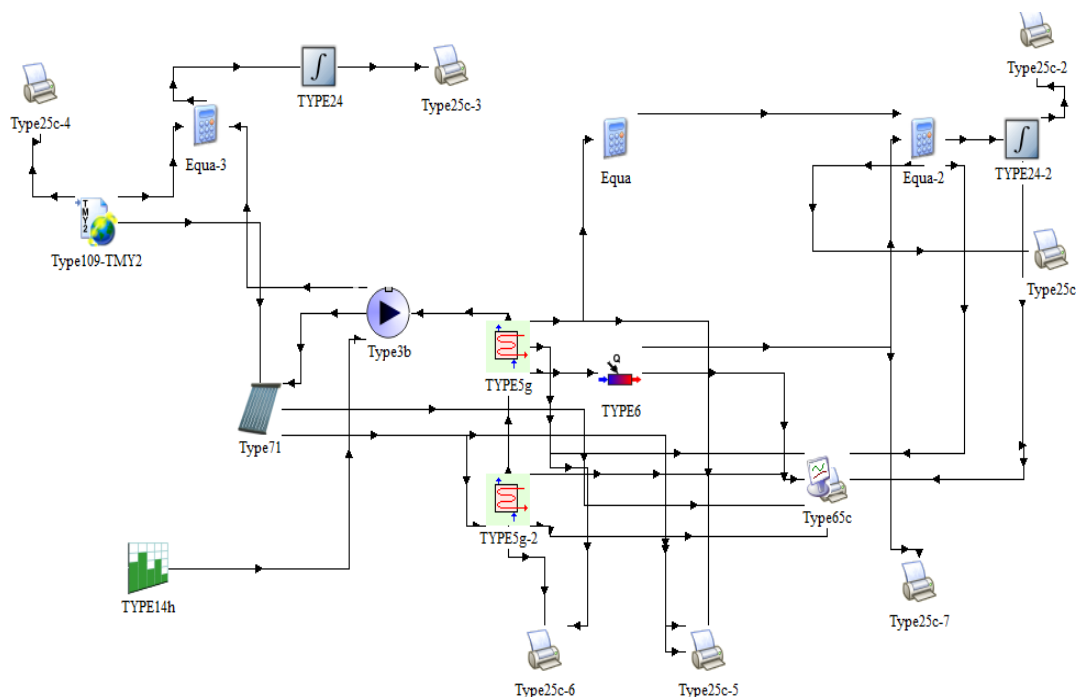
کاربران می توانند اجزای جدید را بدون ایجاد هرگونه تغییر در هسته ترنسیس در فرترن برنامه نویسی کنند. این در حالیاست که اجزاء خورشیدی در کتابخانه ترنسیس با معادلات و ساختارشان تعریف شده اند.

در ترنسیس می توان مدل سازی ساختمان را بهبود بخشید، به عبارتی در محیط ترن بیلد، روابط گرافیکی جداگانه ای برای وارد کردن بسیاری از پارامترها در شبیه سازی وجود دارد.

### ۴-۶-۲- مدل سازی:

برای سیستم مورد نظر طرح گرمایشی خورشیدی با استفاده از کلکتور لوله خلأئی به مساحت ۵۰ مترمربع، یک پمپ سیرکلاتور سرعت ثابت با ماکزیمم دبی ۱۰۰۰ کیلوگرم بر ساعت، دو عدد مبدل لوله پوسته و یک گرمکن کمکی با سوخت گاز استفاده شده است. همچنین از پرینترها برای ثبت خروجی هایی که به صورت نمودار برای فصول مختلف مد نظر قرار گرفته، انتگراتور و تابع اجباری، کنترل کننده پمپ و پلاتر آنالین استفاده شده است. شرایط آب و هوایی با توجه به شرایط همدان که در کتابخانه نرم افزار موجود است انتخاب گردید. طرح بندی پروژه به فرم زیر صورت گرفته است.





شکل (۴-۳۲) طرح بندی پروژه (نگارنده)

شیب کلکتور با عنایت به اینکه در طول سال باید بیشترین انرژی از آن دریافت شود، ۲۰ درجه از نرمافزار استخراج شده است و برای بیشترین کسر خورشیدی دبی پمپ سیرکولاتور ۱۰۰۰ کیلوگرم بر ساعت بدست آمده است و به همین ترتیب تعداد لوله‌های عبوری از مبدل‌ها که حداکثر کسر خورشیدی حاصل شود ۱۵۰ لوله از نرم افزار استخراج گردید. پس از بهینه سازی انجام شده نمودارهای بدست آمده بصورت زیر ارزیابی میشود:

همانطوریکه در نمودار شدت تابش خورشید پیداست، از ساعت تقریباً ۷ الی ۲۰ تابش خورشید موجود است و در همین زمان نیز دمای سیال خروجی از کلکتور در حال افزایش است که این سیال با عبور از مبدل پوسته لوله اول، با انتقال حرارت به گاز ورودی به مبدل، دمای گاز افزایش و دمای سیال کاهش می یابد، ولی دمای خروجی سیال حلقه کلکتور تا اندازه‌ای میباشد که بتوان در یک مبدل حرارتی دیگر از آن استفاده نمود لذا سیال حلقه کلکتور وارد یک مبدل پوسته لوله دیگر میشود و با انتقال حرارت به گاز خروجی از مبدل اول دمای آن را مجدد بالا میبرد که در نمودار تغییرات دمای سیال حلقه کلکتور بر حسب زمان و تغییرات دمای گاز در خروجی مبدل‌ها کاملاً مشهود است.

#### ۴-۶-۳- کسر خورشیدی:

بصورت درصدی از انرژی حرارتی گاز که توسط سیستم خورشیدی تامین میشود تعریف میگردد .

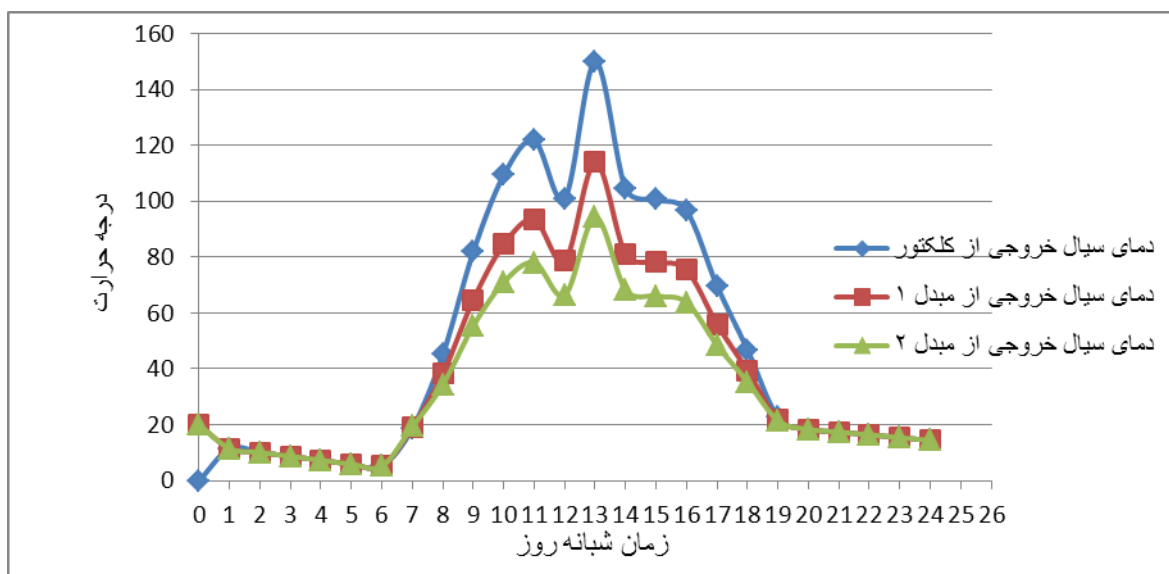
$$SF = \dot{Q}_{sol} / (\dot{Q}_{sol} + \dot{Q}_{aux}) \quad (۹-۴)$$

$\dot{Q}_{sol}$  : انرژی حرارتی تامین شده از خورشید

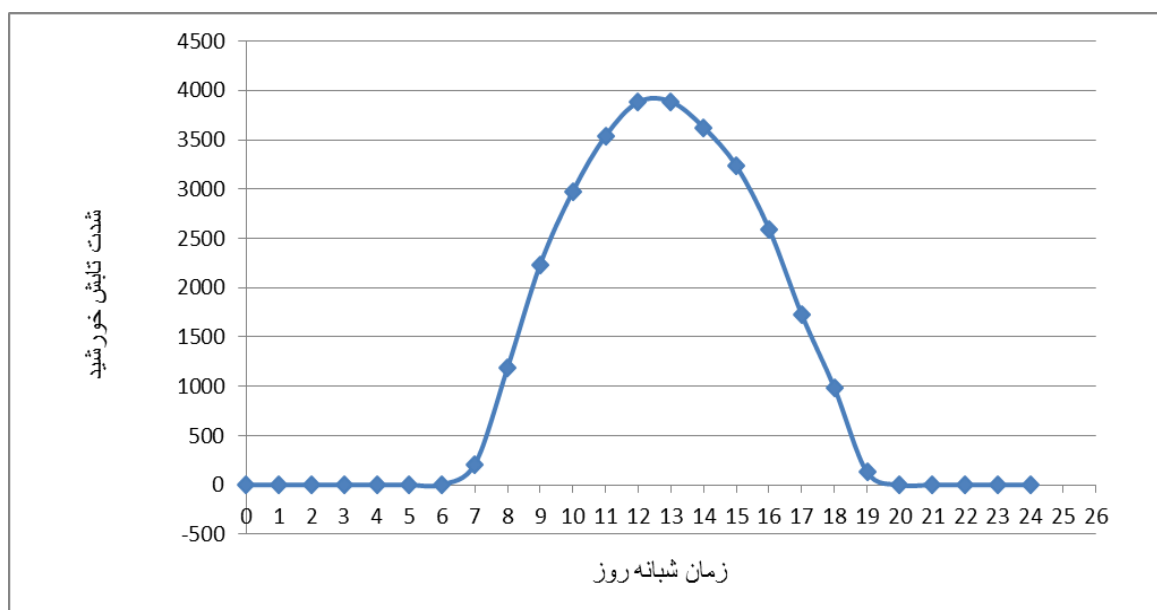
$\dot{Q}_{aux}$  : انرژی حرارتی تامین شده توسط هیتر گازی

SF : کسر خورشیدی

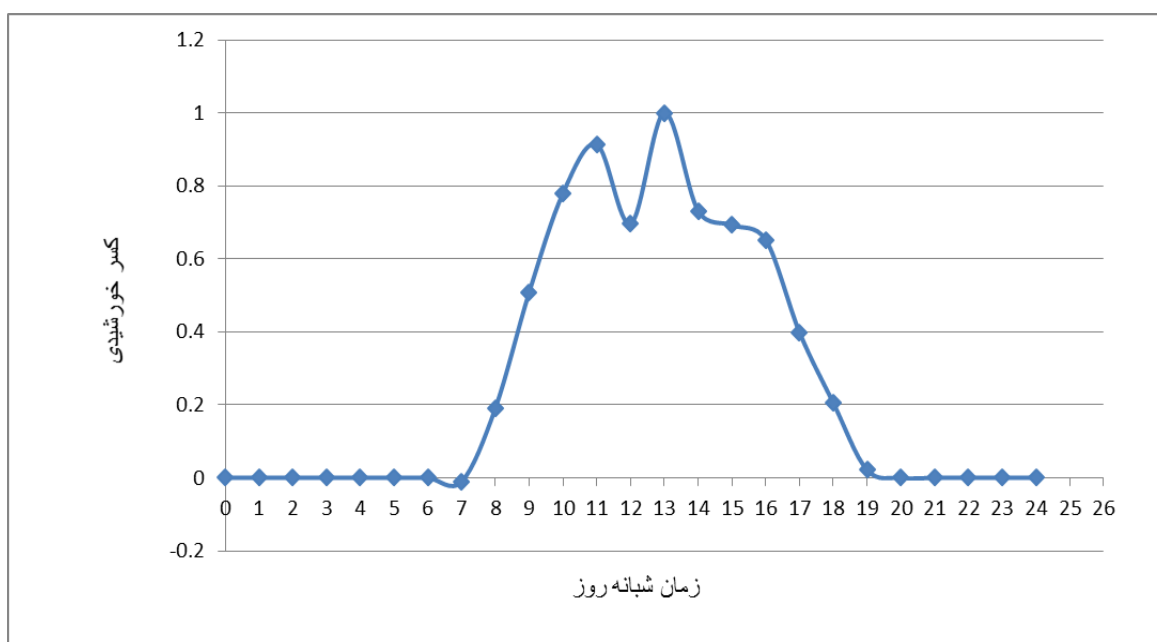
میباشند. طبق نمودار، کسر خورشیدی و دمای سیال خروجی از کلکتورها کاملاً مشهود است که با افزایش دمای سیال و نرخ انتقال حرارت، کسر خورشیدی افزایش می‌یابد. نتایج ثبت شده از مدلسازی فوق در فصول مختلف سال بدست آمده‌اند و برای یک روز آرایه شده‌اند.



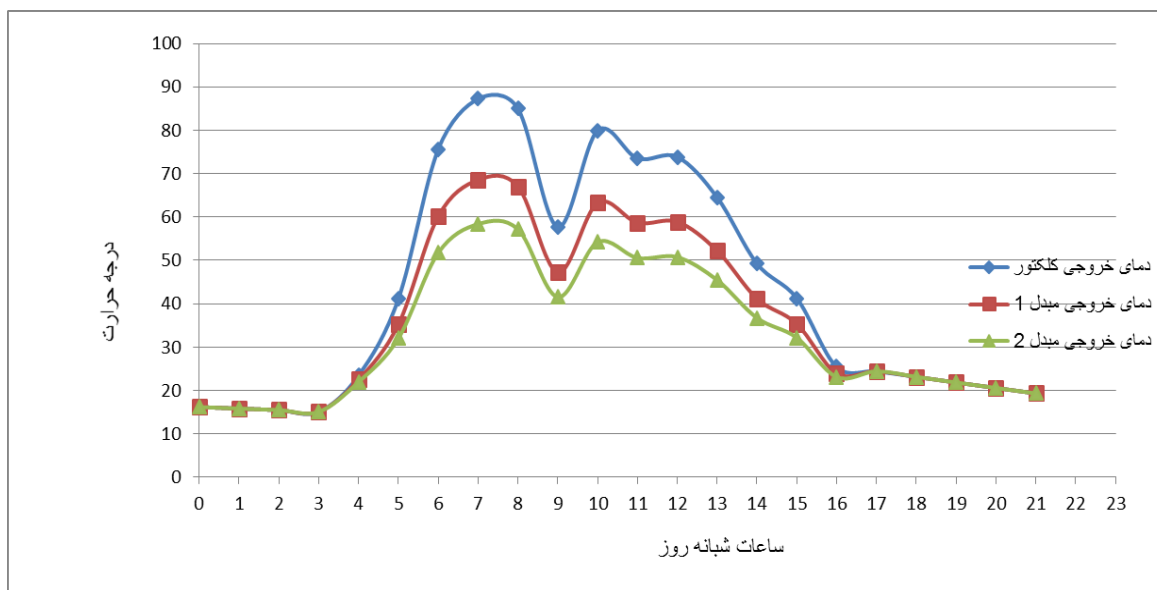
شکل (۴-۳۳) درجه حرارت سیال در یک روز بهار



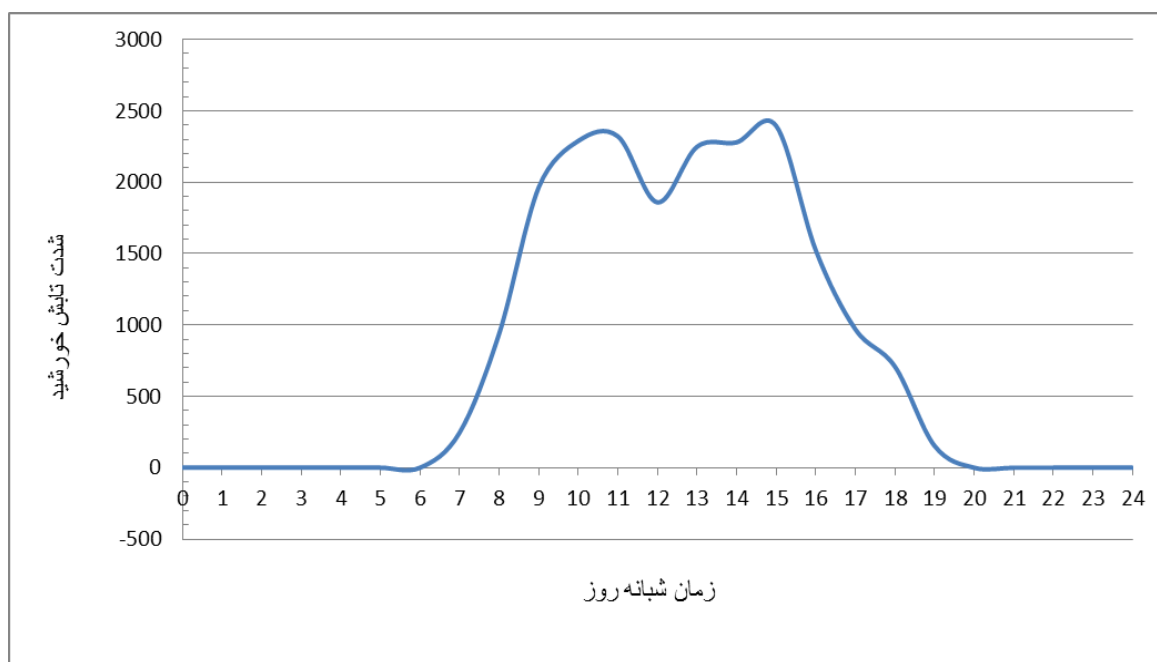
شکل (۴-۳۴) شدت تابش خورشیدی در یک روز از بهار



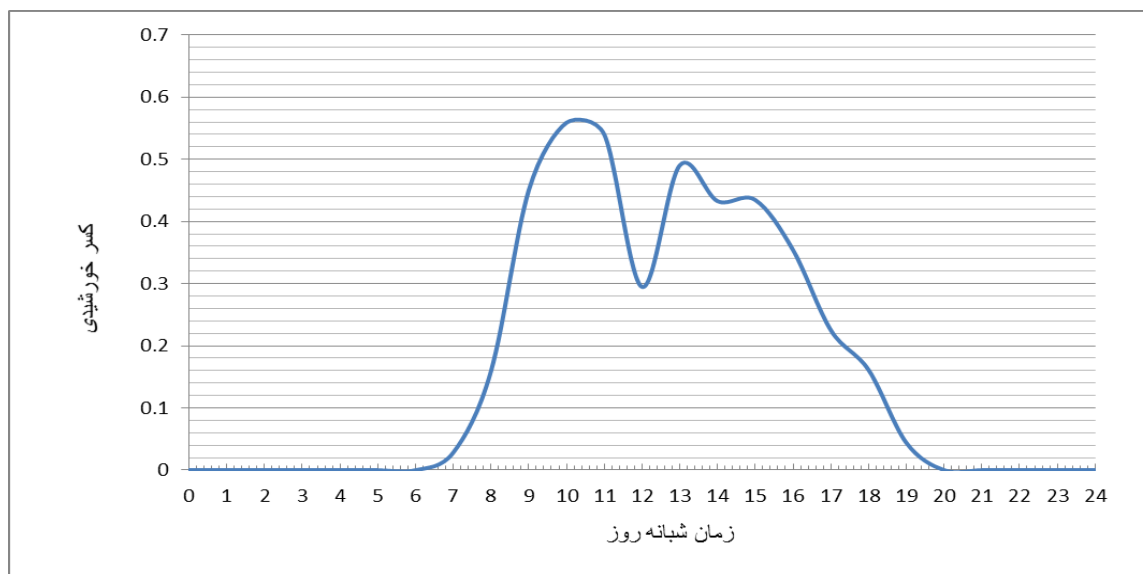
شکل (۴-۳۵) کسر خورشیدی مربوط به یک روز از بهار



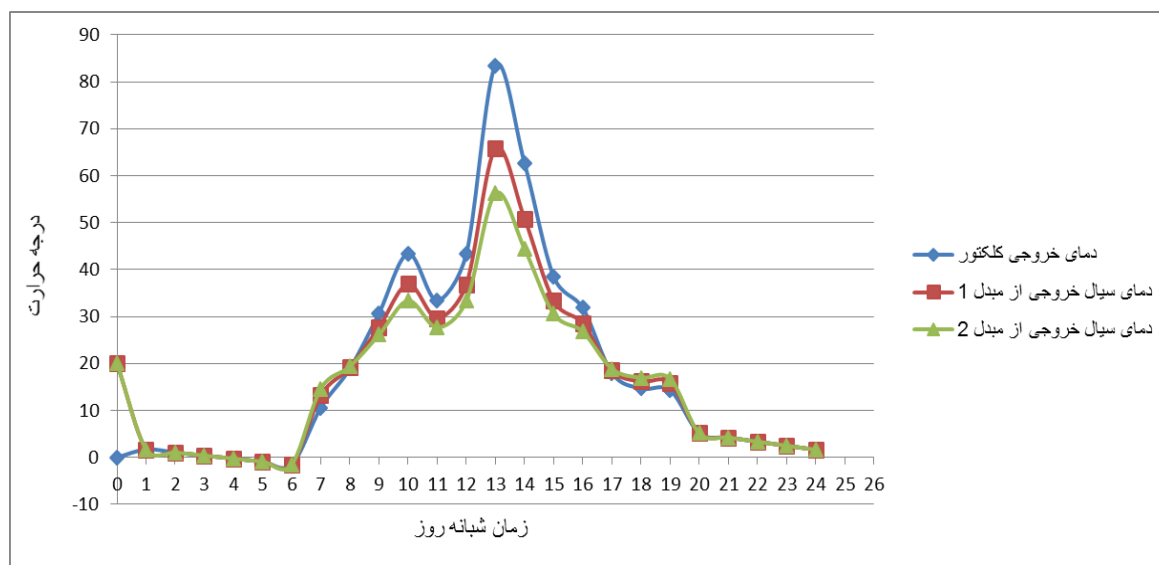
شکل (۴-۳۶) درجه حرارت سیال در یک روز تابستان



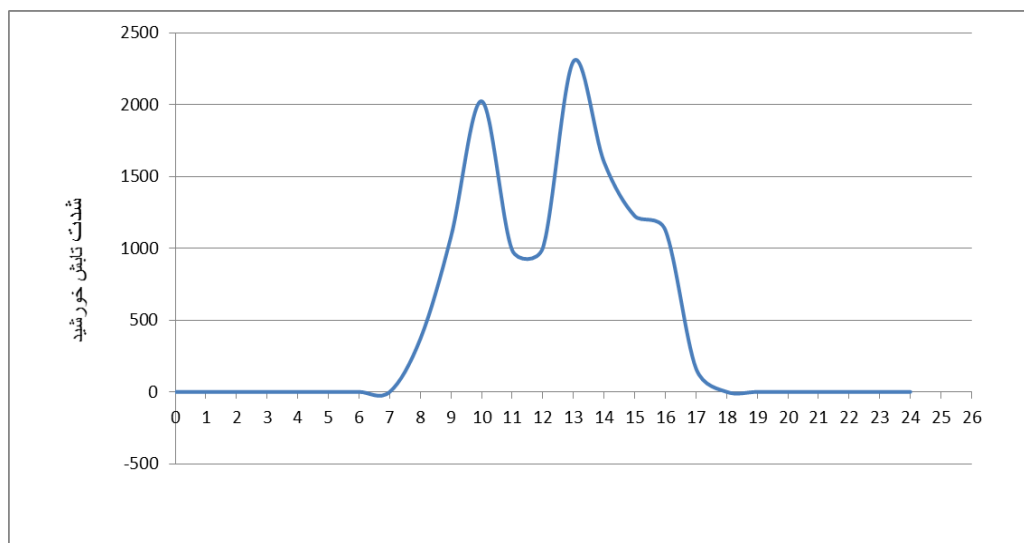
شکل (۴-۳۷) شدت تابش خورشیدی در یک روز از تابستان



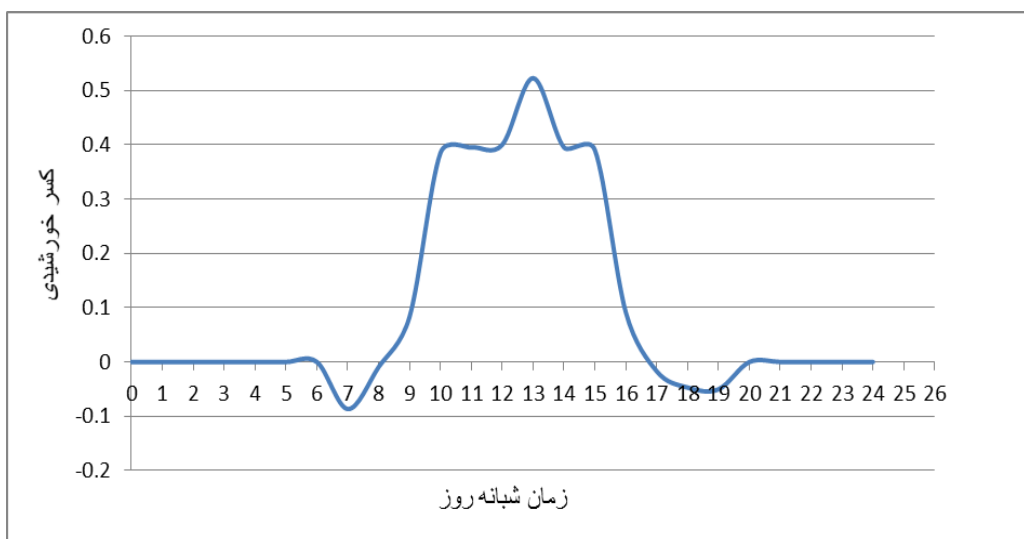
شکل (۴-۳۸) کسر خورشیدی مربوط به یک روز از تابستان



شکل (۴-۳۹) درجه حرارت سیال در یک روز پاییز



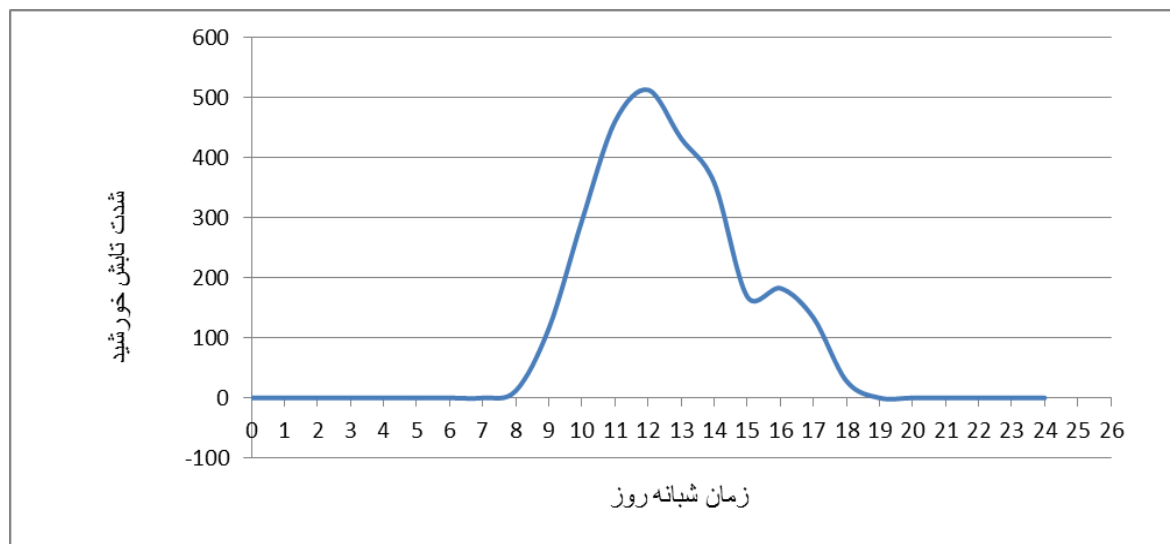
شکل (۴-۴۰) شدت تابش خورشیدی در یک روز از پاییز



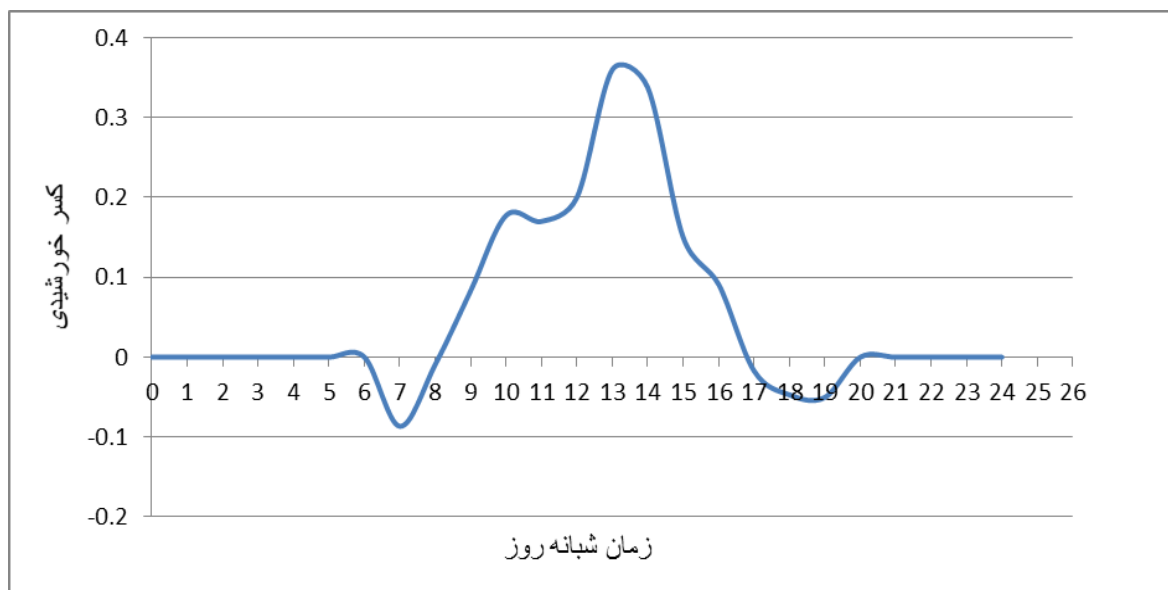
شکل (۴-۴۱) کسر خورشیدی مربوط به یک روز از پاییز



شکل (۴-۴۲) درجه حرارت سیال در یک روز زمستان



شکل (۴-۴۳) شدت تابش خورشیدی در یک روز زمستان



شکل (۴-۴۴) کسر خورشیدی مربوط به یک روز از زمستان

با توجه به نمودارهای مربوطه، آنچه که در نمودار کسر خورشیدی پیداست، در هر فصل بخش قابل توجهی از انرژی لازم برای تامین گرمای گاز در ایستگاه به کمک خورشید فراهم شده است. این مقدار برای فصل بهار بطور متوسط  $0/8$  بین ساعات ۹ تا ۱۷ و برای فصل تابستان  $0/5$  بین ساعات ۱۰ تا ۱۶ و برای پاییز بین ساعات ۱۰ تا ۱۵ حدود  $0/4$  و برای زمستان به نظر میرسد شرایط چندان مناسبی برای تامین انرژی خورشیدی برای ایستگاه فراهم نخواهد شد.

نتیجه کار برای تامین انرژی گرمایی لازم در ایستگاه تقلیل فشار با استفاده از انرژی خورشیدی با ۵۰ متر مربع کلکتور لوله خلایی و پمپ جریان ثابت ۱۰۰۰ کیلوگرم بر ساعت و دو مبدل پوسته لوله ارایه شده است.



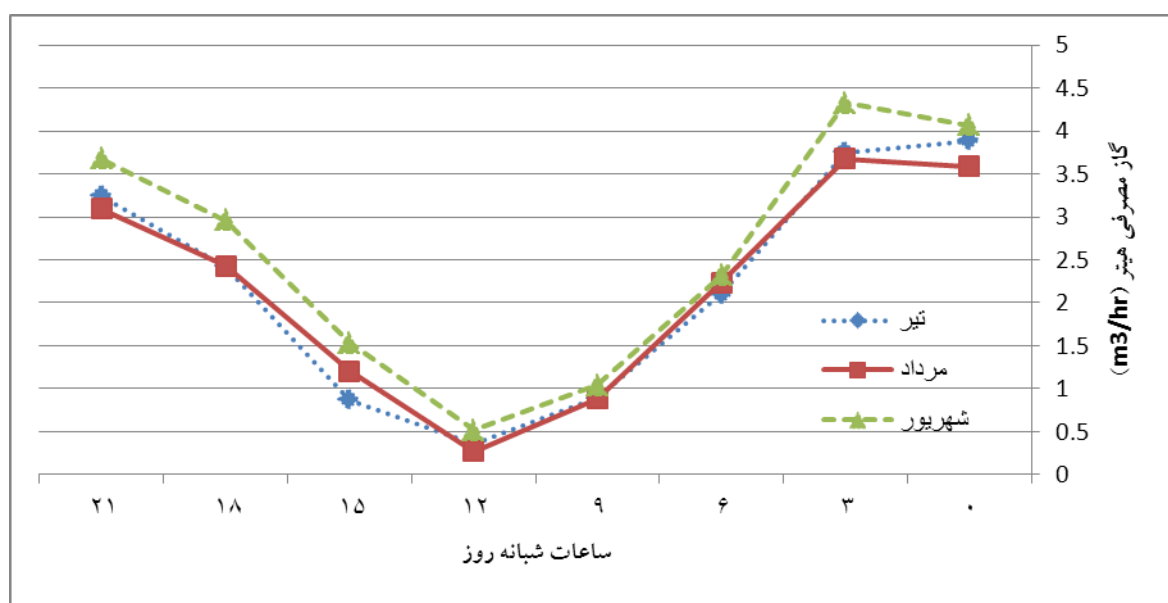
#### ۴-۷- تعیین میزان صرفه جویی با احتساب استفاده از سیستم خورشیدی:

در بخش ۴-۵ میزان مصرف سوخت ایستگاه بدون استفاده از سیستم خورشیدی محاسبه و به شکل نمودار نمایش داده شد، با استفاده از سیستم خورشیدی طراحی شده میزان مصرف سوخت ایستگاه کاهش خواهد یافت. با اعمال کسر خورشیدی هر فصل میزان مصرف سوخت در هر ماه برابر است با



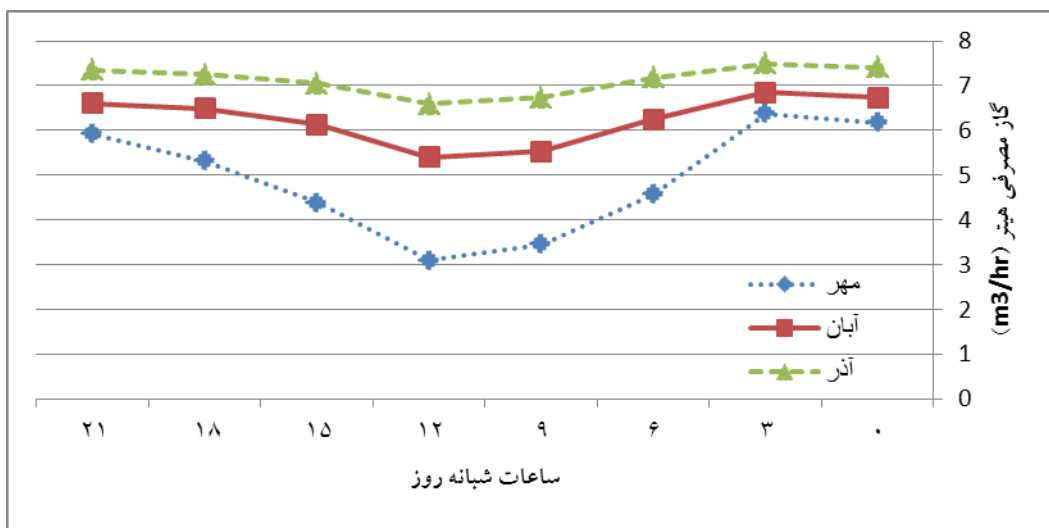
شکل (۴-۵) نمودار متوسط گاز مصرفی هیترا با احتساب سیستم خورشیدی در فصل بهار بر حسب

$m^3/hr$

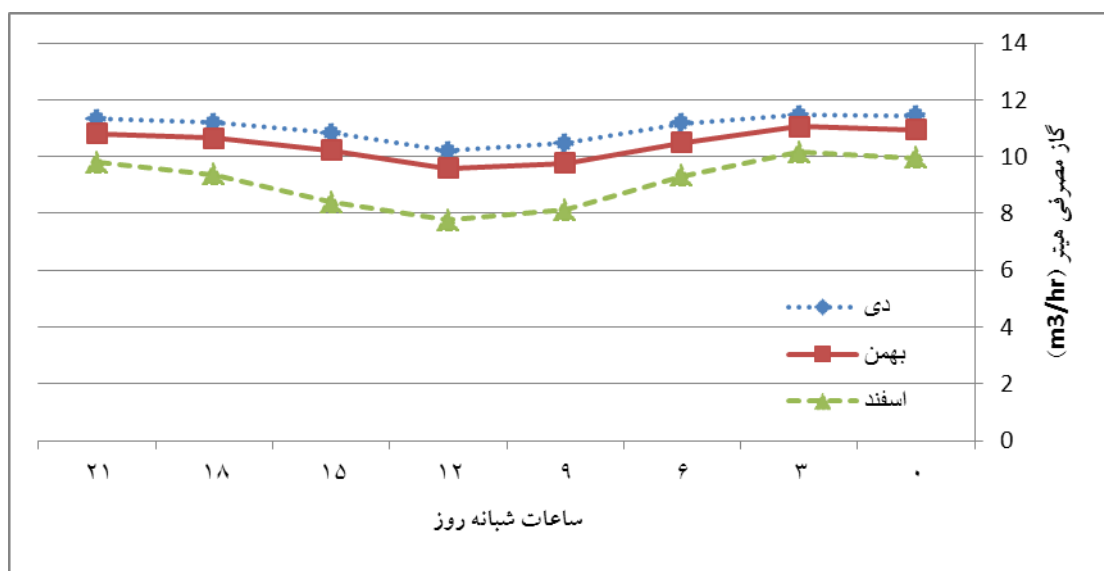


شکل (۴-۶) نمودار متوسط گاز مصرفی هیترا با احتساب سیستم خورشیدی در فصل تابستان بر حسب

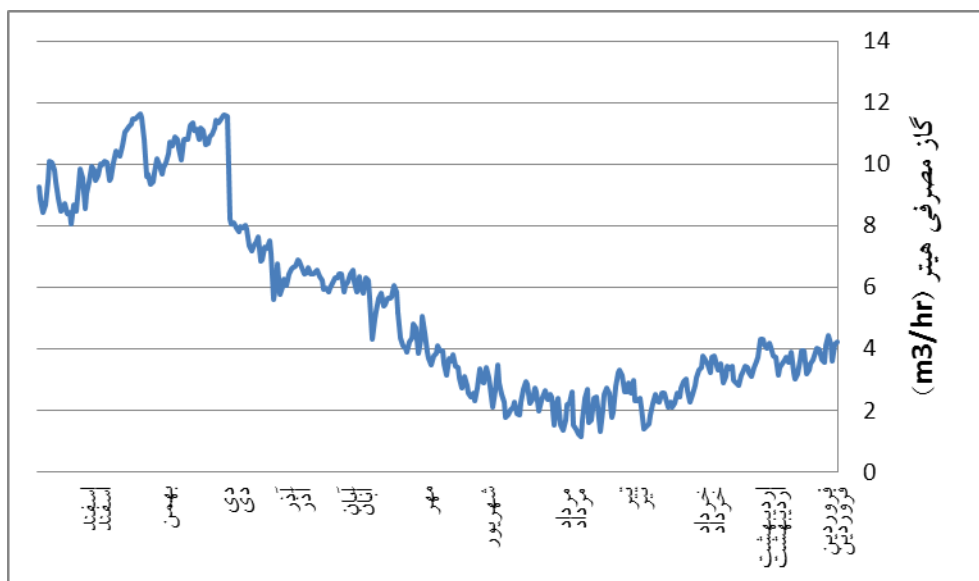
$m^3/hr$



شکل (۴-۴۷) نمودار متوسط گاز مصرفی هیتر با احتساب سیستم خورشیدی در فصل پاییز بر حسب  $m^3/hr$



شکل (۴-۴۸) نمودار متوسط گاز مصرفی هیتر با احتساب سیستم خورشیدی در فصل زمستان بر حسب  $m^3/hr$



شکل (۴-۴۹) نمودار متوسط گاز مصرف روزانه ی هیترا با احتساب سیستم خورشیدی بر حسب

$m^3/hr$

همانطور که از نمودارهای بالا مشخص است مصرف گاز هیترا متناسب با فصول سال کاهش یافته است

• مقدار مصرف گاز سالانه ایستگاه در سال ۱۳۹۲ برابر است با :  
(متر مکعب)  $۷۶۰۰۵ / ۶$

• با بکار گیری سیستم خورشیدی مصرف ایستگاه برابر است با :  
(متر مکعب)  $۴۷۶۰۸ / ۸$

با این تفاسیر:

میزان صرفه جویی مصرف گاز طبیعی اختلاف مصرف سوخت ایستگاه، بدون استفاده از سیستم خورشیدی و مصرف سوخت ایستگاه، با استفاده از سیستم خورشیدی که برابر است :

میزان صرفه جویی گاز طبیعی: (متر مکعب)  $۲۸۳۹۶ / ۸$

با احتساب تعرفه گاز طبیعی برای صنایع در برابر با ۱۰۰۰ ریال برای هر متر مکعب ؛  
مقدار صرفه جویی نقدی برابر است با :

( ریال )  $۲۸۳۹۶۸۰۰$

درست است که میزان گاز صرفه جویی شده مبلغ قابل توجهی نمیباشد؛ اما باید به این امر توجه کرد که ذخایر انرژی فسیلی روبه اتمام می باشد و بالعکس انرژی خورشیدی، انرژی لایتناهی و تجدید پذیر میباشد و از نظر آلاینده‌گی نیز، قدمی در مسیر نیل به چشم انداز هوایی پاک برای آیندگان برداشته ایم.

#### ۴-۸- جمع بندی و پیشنهاد برای آینده

از آنجایی که ایران از لحاظ بهره‌مندی از انرژی خورشیدی برای تأمین گرمایش از موقعیت جغرافیایی خوبی برخوردار است لذا، توجه به این انرژی تجدیدپذیر پاک و در دسترس، با توجه به کمبود انرژی در آینده و مشکلات زیست محیطی، بسیار ضروری است. بررسی و کار در زمینه انرژی‌های خورشیدی، به دلیل تازگی و نو بودن در دهه اخیر، چه از لحاظ نرم‌افزاری و چه از لحاظ سخت‌افزاری، مسئله‌ای منعطف و نیز گاهی وابسته به استدلال‌های تجربی است. از این جهت پیشنهاداتی جهت وسعت دامنه کار در زمینه انرژی خورشیدی ارائه می‌شود (باید دانست که قبل از هر تصمیمی برای انتخاب سیستم جهت نصب و راه‌اندازی، لازم است که ابتدا سیستم بهینه شود، آنگاه در صورت ارزیابی شرایط و نتایج حاصل شده، عملیات کاربردی انجام می‌گیرد).

بجای استفاده از کلکتورهای تخت و لوله خلایی با موقعیت نصب ثابت، می‌توان از کلکتورهای ردیاب یا کلکتورهای سهموی استفاده کرده و نتایج را با شرایط قبل مقایسه نمود. در آینده می‌توان در طرحی پژوهشی، کلکتورهای تخت را با کلکتورهای لوله خلایی لینک کرد و تأثیر این مسئله را بر کسر خورشیدی موردبررسی قرار داد. ضمناً می‌توان سیستم خورشیدی را به عنوان یک سیستم اصلی تأمین گرمایش طرح‌بندی کرده‌و یک سیستم گرمایشی کمکی برای جبران کمبود حرارت به کار برد. این سیستم گرمایشی کمکی به صورت سری و موازی می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد و نتایج نیز با هم مقایسه شوند. قابل ذکر است که سیستم حاضر را می‌توان در آب و هواهای گوناگون و در اقلیم‌های متفاوت بررسی و مقایسه کرد. چرا که شدت وابستگی سیستم‌های خورشیدی به میزان رطوبت، تابش خورشید، فشار و دما بسیار زیاد است، لذا تست آن در شرایط مختلف آب و هوایی از جمله مسائل قابل توجه می‌باشد. در طرح‌بندی‌های گوناگون به‌جای استفاده از دو مبدل می‌توان از چند مبدل، در پروژه‌های خورشیدی استفاده کرده و پس از لینک کردن، نتایج را ارزیابی نمود. در تحقیق فوق

با تغییر در پارامترهای اساسی مثل دبی پمپ و مساحت سطح کلکتور، می‌توان اثرات را بررسی نمود. ضمناً به جای استفاده از پمپ جریان ثابت می‌توان در طرح، از پمپ جریان متغیر نیز بهره برد. پمپ جریان متغیر برحسب شدت تابش خورشید در ساعات روز، دبی لازم را برای کلکتور فراهم می‌کند، بدین ترتیب اتلافات حرارتی و مصرف انرژی الکتریکی به شدت کاسته خواهد شد. ترکیب کلکتورهای تخت یا لوله خلابی با معماری سازه‌ها نیز امروزه از مسائل بسیار قابل توجه، در طراحی سیستم‌های خورشیدی است، چرا که کمبود فضای راه‌اندازی برای نصب این سیستم‌ها از جمله مشکلات عمده در طراحی است. به عبارتی پرداختن به ظاهری معقول و مناسب، ضمن طراحی، برای طراحان می‌تواند از جمله مسائل بسیار با اهمیت لحاظ گردد.

## منابع:

- (۱)، شرکت ملی گاز ایران [www.nigc.ir](http://www.nigc.ir)، فروردین ۱۳۹۳
- (۲) آقا نجفی، سیروس. انتقال حرارت تابشی خورشیدی" انتشارات خواجه نصیر، چاپ اول، ۱۳۸۶.
- (۳) زمزمیان، امیر حسین . بررسی اقتصادی سیستم‌های گرمایش و آبگرم خورشیدی برای مصارف خانگی، وزارت نیرو ، امور انرژی تهران
- (۴) وزارت نیرو. آمار و نمودارهای انرژی ایران و جهان، معاونت امور برق و انرژی، دفتر برنامه ریزی کلان برق و انرژی ۱۳۸۴.
- (۵) عزیزی، علی تحلیل اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی مزایای بکارگیری آبگرمکن خورشیدی، ۱۳۹۰.
- (۶) وزارت نیرو -ترازنامه انرژی، ۱۳۸۳.
- (۷) رضایی، علی -رئوفی نژاد، رقیه. بهینه سازی مصرف سوخت در مبدل‌های حرارتی ایستگاه‌های تقلیل فشار گاز طبیعی بوسیله شیر سلونوئیدی، ۱۳۸۸.
- (۸) اخلاقی، کوروش. استفاده از انرژی خورشید در ایستگاه تقلیل فشار گاز بیرجند، ۱۳۹۰.
- (۹) احمد عربکوهسار، محمود فرزانه گرد، مهدی دیمی دشت بیاض. بررسی ترمو اکونومیک استفاده از انرژی خورشیدی با هدف گرمایش گاز طبیعی در ایستگاه CGS شهرساری، ۱۳۹۰.
- (۱۰) محسن خطیب . بررسی سیستم تولید همزمان برق و گرما توربو اکسپندر در ایستگاه تقلیل فشار گاز طبیعی -دانشگاه شاهرود-
- (۱۱) Beckman, W.A., Klein, S.A., Duffie, J.A., ۱۹۷۷, *Solar Heating Design*, John Wiley & Sons, New York
- (۱۲) Iniyani, S. Ranko Goic. *Mirunalini Thirugnanasambandam* 2010. A review of solar thermal
- (۱۳) مهدی بهادری نژاد، جایگاه انرژی خورشیدی در ایران، مجله ی مهندسی مکانیک، شماره ی ۱، سال اول، ۱۳۷۱
- (۱۴) [sinamet.ir](http://sinamet.ir)
- (۱۵) [www.irimo.ir](http://www.irimo.ir)
- (۱۶) -Duffie & Beckman, *solar engineering of processes*, (1991)
- (۱۷) Winter C.J., Sizmann, R.L., Vant – Hall, L.L., 1998, *solar power Plants: fundamentals Technology, system, Economics*, Berlin: springer –verlag London
- (۱۸) Tsilingiris, P.T. *Solar Water Heating Design - A New Simplified Dynamic*
- (۱۹) بهروز خادمی. سیاست‌های وزارت نیرو درباره ی برنامه ریزی تحقیق و توسعه ی نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی، مجموعه مقالات سمینار توسعه ی کاربرد انرژی‌های نو، ۱۳۷۶

- (۲۰) Kalogirou S. A., *Solar Thermal Collectors and Applications*, Progress in Energy and Combustion Science, Vol
- (۲۱) Green, Martin A., et al. *Solar cell efficiency tables (Version ۴۵)*. Progress in photovoltaics: research and applications (2015)
- (۲۲) اینکروپرا، فرانک، دویت، دیوید. *مقدمه‌ای بر انتقال گرما*، جلد ۱، ترجمه علی اصغر رستمی، مریم شیرازی، چاپ سوم ۱۳۸۲
- (۲۳) <http://scopewe.com/category/chemical-engineering/ang>
- (۲۴) داود کیانی. *مشارکت انرژی روسیه - اتحادیه اروپا*. پژوهشکده مطالعات راهبردی، ش. ۸ مرداد ۱۳۸۶.
- (۲۵) [www.worldometers.info](http://www.worldometers.info)
- (۲۶) یونس سنجل، میخائیل ایبولز. *ترمودینامیک با نگرش مهندسی*، ترجمه بهرام پوستی، انتشارات متفکران، ویرایش سوم، ۱۳۹۰.
- (۲۷) کاردری، حسین. *آشنایی با ایستگاه‌های تقلیل فشار انتقال گاز*، ۱۳۸۷.
- (۲۸) شرکت گاز استان همدان - واحد پژوهش
- (۲۹) [www.trnsys.com](http://www.trnsys.com) Transient system simulation tool سایت رسمی ترنسیس، مهر ماه، ۱۳۹۳

**Abstract:**

It is necessary to transmit gas from refinery to the consumption destinations that we increase pipe lines gas pressure enough to prevent problems even in farthest distances from supplying gas refineries. There are some pumping points established in the way which compensate pressure faults caused by friction and path length. now, if it's essential to diverge from pipeline for consumers, you should regulate (decrease) gas pressure based on consumers, and achieving this requires installations including CGS pressure reduction station, which its main take is to reduce gas pressure. Available gas pressure in gas main lines is usually 1000 psi and this is considered as high pressure for urban lines. Gas pressure decreases by passing from available regulators in station (according to regulator number and size). This immediate decreased pressure causes gas temperature fault as it makes 7 °F decrement for each 100 psi. Because there is some water steam, despite open filtration system, decreased temperature causes gas freeze and consequently blocking gas path. It is considered a heater next to each station, in order to solve this problem. This heater increases gas temperature so that it could normalize the pressure after decreasing pressure. These heaters are gaslight and so energy-intensive. Now, in this article, a solar pre-heating system is designed and evaluated by Transis software for reducing consumption and optimizing the system.

**Keywords:** gas pressure reducing station; pressure reducing; solar system; Transis.





Energy Institute for Higher Education  
Faculty Of Engineering  
Mechanical Engineering-Department of Energy Conversion  
Thesis For  
Degree Of Master Of Science (M.Sc)

**Title:**  
**Use Of Solar Energy In City Gate  
Station(CGS) For Reducing Fossil Fuel  
Consumption(Case Study Of Hamadan)**

**Supervisors:**  
**Dr. Ahmad Gharib**  
**Dr.Reza Alayi**

**By:**  
**Mojtaba Javadi Shoar**

**Summer, 2016**