



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



موسسه آموزش عالی انرژی

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

مهندسی مکانیک - تبدیل انرژی

**عنوان**

**شبیه سازی و آنالیز اقتصادی سیستم آبگرمکن خورشیدی  
برای ساختمان مسکونی واقع در شهر تهران با استفاده از  
نرم افزار TRNSYS و SAM با ملاحظات زیست محیطی**

**استاد راهنما :**

**دکتر علی شامل**

**دکتر رضا اعلائی**

**استاد مشاور:**

**دکتر محمد معرفتی**

**پژوهشگر**

**سعید حشمتی**

**پاییز / ۱۳۹۶**

تاریخ صورتجلسه گروه آموزشی	
شماره دانشجویی	
کد دفاع	
تاریخ صورتجلسه شورای پژوهشی	



باسمه تعالی

این فرم باید توسط دانشجو تایپ شده به تعداد خواسته شده، در روز دفاع تحویل داده شود.

صورتجلسه دفاع

با تأییدات خداوند متعال جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم/ آقای			
د	رشته:	عنوان:	تحت
با حضور استاد راهنما، استاد(استادان) مشاور و هیأت داوران در مؤسسه آموزش عالی انرژی ساوه در تاریخ			
تشکیل گردید.			
در این جلسه، پایان نامه: □ با موفقیت مورد دفاع قرار گرفت □ نیازمند اصلاحات است □ مردود اعلام گردید.			
نامبرده	با امتیاز	( بدون احتساب نمره مقاله ) دریافت نمود.	
نمره			

نام و نام خانوادگی استاد راهنما	محل امضاء	
نام و نام خانوادگی استاد مشاور	محل امضاء	
هیأت داوران: ۱- ۲-	محل امضاء ۱	محل امضاء ۲
مدیر گروه یا رئیس تحصیلات تکمیلی واحد: نام و نام خانوادگی محل امضاء		معاون پژوهشی و فناوری مؤسسه آموزش عالی انرژی ساوه

\*\*\*\*\* (اطلاعات این قسمت حتما توسط کارشناس پژوهشی تکمیل گردد) \*\*\*\*\*

نمره حاصل از ارزشیابی مقاله/ مقالات دانشجو برابر ضوابط (از سقف ۲ نمره) ..... محاسبه و نمره نهایی پایان نامه (مجموع نمره دفاع و

مقاله) به عدد ..... به حروف ..... با درجه ..... به تصویب رسید. / موارد

اصلاحیه جهت اجرا به اطلاع دانشجو رسید.

تأیید معاون پژوهشی و فناوری مؤسسه آموزش عالی انرژی ساوه

تأیید کارشناس حوزه پژوهشی



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

### تعهدنامه اصالت پایان نامه

اینجانب ..... دانش آموخته مقطع کارشناسی ارشد ناپیوسته در رشته ..... که در  
تاریخ ..... از پایان نامه خود به نام .....  
عنوان .....  
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 :

خانواده مهربانم

که با صبوری مرا در این تحقیق یاری کردند

## تشکر و قدر دانی

حمد و سپاس ایزد منان را که با الطاف بیکران خود این توفیق را به من ارزانی داشت تا هر آنچه را که در توان داشتم در انجام این پژوهش بکار گیرم و تجربه ای ارزشمند بدست آورم.

از پدر و مادر عزیزم که در تمام مراحل زندگی همواره یاور و پشتیبان من بوده اند نهایت تشکر را دارم. از استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر یاسی و دکتر اعلایی و دکتر معرفتی که همواره از راهنمایی ها و حمایت های بی دریغ شان بهره مند بوده ام و چگونگی برخورد با مسایل علمی و نیز اخلاق علمی را از ایشان آموخته ام نهایت تشکر و قدردانی را دارم.

در نهایت از دوستان عزیزم که همواره از حمایت های فکری و معنوی شان بهره مند بوده ام سپاسگزارم.

با توجه به رو به اتمام بودن منابع تجدید ناپذیر فسیلی، جایگزین کردن منابع انرژی تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی به امری ضروری تبدیل شده است. انرژی خورشیدی فاقد آلودگی است و در تمامی نقاط کره زمین و بخصوص در مناطق گرم به وفور قابل دسترس بوده و بویژه در مناطق دور از شبکه سراسری برق، استفاده از آن برای تولید برق و گرمایش و سرمایش اقتصادی است. کشور ما از نظر جغرافیایی در منطقه گرم و خشک قرار گرفته و با داشتن بیش از ۲۸۰ روز آفتابی در سال، میزان تابش سالانه خورشیدی آن در حدود  $1800-2200 \text{ kwh/m}^2$  تخمین زده می شود که مقدار آن بالاتر از میزان متوسط جهانی است. یکی از کاربردهای غیرنیروگاهی انرژی خورشیدی گرمایش فضا و آب مصرفی ساختمان با استفاده از انرژی حرارتی خورشیدی می باشد. جهت گرم کردن آب مصرفی ساختمانها که هدف اصلی این تحقیق می باشد، می توان از آبگرمکن های خورشیدی بهره برد. از این میان گرمایش آب به طور متوسط ۲۰ تا ۳۰ درصد کل انرژی مصرفی در خانه را مصرف می کند. بنابراین با استفاده از آبگرمکن خورشیدی می توان سالیانه ۷۰٪ انرژی مورد نیاز برای گرمایش آب را تامین کرد. طی این بررسی سیستم طراحی شده در این تحقیق قادر به تامین ۷۵٪ نیاز آبگرم مصرفی می باشد که اگر در کنار این سیستم از یک منبع حرارتی کمکی بهره بگیریم می توان تمامی نیاز آبگرم مصرفی ساختمان را در طول سال تامین کرد، که در این حالت به اندازه  $2373/3 \text{ KWh}$  صرفه جویی انرژی از منابع انرژی های فسیلی خواهیم داشت. همچنین ا طریق صرفه جویی و یا تولید انرژی در سال، زمان بازگشت سرمایه ۷،۲۲ سال بدست آمد.

کلید واژه ها: خورشیدی، آبگرمکن خورشیدی، شبیه سازی، ترنسیس



## فهرست مطالب

فصل اول مقدمه.....	۱
۱-۱ مقدمه.....	۲
۲-۱ وضعیت انرژی در جهان.....	۳
۱-۲-۱ منابع محدود انرژی های تجدید ناپذیر.....	۴
۲-۲-۱ مسایل زیست محیطی.....	۵
۳-۱ ظرفیت بالای انرژی خورشیدی.....	۷
۴-۱ مزایای استفاده از انرژی خورشیدی.....	۸
۵-۱ بیان مساله.....	۸
فصل دوم پیشینه پژوهش.....	۱۴
۱-۲ مقدمه.....	۱۵
۲-۲ انرژی خورشیدی.....	۱۷
۳-۲ تاریخچه استفاده از انرژی خورشیدی.....	۱۸
۴-۲ تاریخچه استفاده از آبگرمکن خورشیدی.....	۲۱
فصل سوم مواد و روش ها.....	۳۰
۱-۳ مقدمه.....	۳۱
۱-۱-۳ انرژی خورشیدی.....	۳۲

- ۳-۱-۲ رابطه هندسی و زوایای زمین - خورشید..... ۳۴
- ۳-۲ انواع تکنولوژی های استفاده از انرژی خورشیدی..... ۴۶
- ۳-۳ کلکتورهای انرژی خورشیدی..... ۴۹
- ۳-۳-۱ کلکتور های ساکن..... ۵۰
- ۳-۳-۲ کلکتورهای صفحه تخت (مسطح)..... ۵۲
- ۳-۳-۳ ساختار کلکتور مسطح..... ۶۰
- ۳-۳-۴ کلکتور های جفت سهموی..... ۶۵
- ۳-۳-۵ کلکتور های لوله خلاء..... ۶۸
- ۳-۳-۶ کلکتور متمرکز کننده..... ۷۴
- ۳-۴ آبگرمکن های خورشیدی..... ۷۹
- ۳-۵ اجزای اصلی تشکیل دهنده آبگرمکن خورشیدی..... ۸۲
- ۳-۶ انواع سیستم های آبگرمکن خورشیدی..... ۸۴
- ۳-۶-۱ سیستم های غیر فعال..... ۸۵
- ۳-۶-۲ سیستم های فعال..... ۸۸
- ۳-۶-۳ سیستم های مستقیم..... ۸۹
- ۳-۶-۴ سیستم های غیر مستقیم..... ۹۱
- ۳-۶-۵ سیستم های برگشتی..... ۹۲

۷-۳	انواع سیستم گرمکن خورشیدی.....	۹۳
۱-۷-۳	سیستم های ترموسیفون.....	۹۳
۲-۷-۳	سیستم های آب گرم خانگی پمپی.....	۹۴
۳-۷-۳	سیتم های جریان مستقیم.....	۹۴
۴-۷-۳	سیستم های آبگرمکن غیر مستقیم.....	۹۵
۸-۳	سیستم های ترکیبی (آب گرم مصرفی و گرمایش ساختمان) خورشیدی پمپی.....	۹۶
۱-۸-۳	مقایسه سیستم های ترکیبی با آبگرمکن های خورشیدی.....	۹۷
۹-۳	نحوه دسته بندی سیستم های ترکیبی خورشیدی.....	۹۷
۱۰-۳	تابش خورشید و دمای محیط.....	۹۹
	فصل چهارم نتیجه گیری و بحث.....	۱۰۰
۱-۴	مقدمه.....	۱۰۱
۲-۴	شرایط آب و هوایی.....	۱۰۲
۳-۴	شماتیک و شبیه سازی سیستم مورد نظر.....	۱۰۵
۴-۴	بحث و نتیجه گیری.....	۱۰۹
۵-۴	آنالیز اقتصادی.....	۱۱۵
۶-۴	تحلیل کاهش هزینه های اجتماعی.....	۱۲۵
۷-۴	نتیجه گیری کلی.....	۱۲۹

۸-۴ پیشنهادات ..... ۱۳۱

۹-۴ منابع ..... ۱۳۲

## فهرست اشکال

- شکل (۱-۱) نمودار سهم هریک از منابع انرژی در تامین انرژی اولیه در سراسر جهان..... ۳
- شکل (۲-۱) نمودار سهم هریک از منابع انرژی در تامین انرژی الکتریکی در سراسر جهان..... ۴
- شکل (۳-۱) نمودار تغییرات دمای متوسط زمین نسبت به متوسط دما بین سالهای ۱۹۸۰-۲۰۱۵  
..... ۶ میلادی
- شکل (۴-۱) ظرفیت بالای انرژی خورشیدی..... ۷
- شکل (۱-۳) طیف تابش خورشیدی..... ۳۳
- شکل (۲-۳) حرکت چرخشی زمین به دور خورشید..... ۳۶
- شکل (۳-۳) توصیف زوایای کلیدی موقعیت خورشید در دید یک مشاهده گر..... ۳۹
- شکل (۴-۳) روابط کلیدی بین موقعیت خورشید و سطح تابش انحرافی..... ۴۰
- شکل (۵-۳) کلکتور صفحه تخت (الف) نمای تجسمی از یک کلکتور صفحه تخت (ب) عکس یک  
برش از یک کلکتور صفحه تخت با لوله های قائم و زهکشی..... ۵۴
- شکل (۶-۳) نمایی از جزییات جذب کننده کلکتور صفحه تخت..... ۵۶
- شکل (۷-۳) انواع مختلف آرایش های جذب کننده کلکتور خورشیدی صفحه تخت برای آب و  
هوا..... ۶۳
- شکل (۸-۳) یک صفحه جذب کننده کلکتور پلاستیکی..... ۶۴
- شکل (۹-۳) انواع جذب کننده های مختلف کلکتور جفت سهموی..... ۶۶

- شکل (۳-۱۰) کلکتور جفت سهموی پانلی با جذب کننده های استوانه ای الف) دیاگرام شماتیک ب) عکس نصب کلکتور جفت سهموی پانلی..... ۶۷
- شکل (۳-۱۱) دیاگرام شماتیک یک کلکتور لوله خلاء..... ۷۰
- شکل (۳-۱۲) نصب کلکتورهای لوله خلاء واقعی..... ۷۱
- شکل (۳-۱۳) آرایش کلکتورهای لوله خلاء با بازتاب کننده ها الف) بازتاب کننده پراکنده تخت ب) بازتاب کننده کلکتور جفت سهموی..... ۷۳
- شکل (۳-۱۴) لوله های کلکتور جفت سهموی یکپارچه الف) جفت سهموی داخلی ب) بازتاب کننده دایره ای با جذب کننده تیغه دار..... ۷۴
- شکل (۳-۱۵) سیستم آبگرمکن خورشیدی ترموسیفون مدار باز..... ۸۶
- شکل (۳-۱۶) نمایی از سیستم آبگرمکن کلکتور- منبع تغذیه یکپارچه..... ۸۸
- شکل (۳-۱۷) نمایی از سیستم مستقیم..... ۹۰
- شکل (۳-۱۸) نمایی از سیستم غیر مستقیم..... ۹۲
- شکل (۴-۱) نمودار شدت تابش خورشیدی سالیانه شهر تهران..... ۱۰۳
- شکل (۴-۲) میانگین دمای شهر تهران در ماههای مختلف سال..... ۱۰۴
- شکل (۴-۳) نرخ رطوبت سالیانه برای شهر تهران طی ماههای سال..... ۱۰۵
- شکل (۴-۴) شماتیک سیستم آبگرم مصرفی در ساختمان مسکونی مورد مطالعه..... ۱۰۶
- شکل (۴-۵) سیستم آبگرمکن خورشیدی طراحی شده در نرم افزار TRANSYS..... ۱۰۷

شکل (۴-۶) انرژی حرارت تولیدی توسط سیستم آبگرم کن خورشیدی..... ۱۰۹

شکل (۴-۷) دمای آبگرم تولیدی توسط ابگرمکن خورشیدی..... ۱۱۰

شکل (۴-۸) مقایسه دمای ورودی و خروجی کلکتور سیستم آبگرمکن خورشیدی (رنگ قرمز دمای

ورودی، رنگ آبی دمای خروجی)..... ۱۱۰

شکل (۴-۹) انرژی حرارتی تولیدی توسط سیستم آبگرمکن خورشیدی در روز ۲۹ خرداد..... ۱۱۱

شکل (۴-۱۰) دمای آبگرم تولیدی توسط سیستم آبگرمکن خورشیدی در روز ۲۹ خرداد..... ۱۱۲

شکل (۴-۱۱) مقایسه دمای ورودی و خروجی کلکتور در سیستم آبگرمکن خورشیدی..... ۱۱۲

شکل (۴-۱۲) انرژی حرارتی تولیدی توسط سیستم آبگرمکن خورشیدی در روز ۱۵ دی..... ۱۱۳

شکل (۴-۱۳) میزان solar fraction بر حسب مساحت کلکتور..... ۱۱۴

شکل (۴-۱۴) جریان نقدینگی سیستم آبگرمکن خورشیدی..... ۱۲۸

## فهرست جداول و نمودارها

- جدول (۱-۳) کلکتورهای انرژی خورشیدی..... ۵۱
- جدول (۲-۳) مشخصات سیستم کلکتور لوله خلاء..... ۷۲
- جدول (۱-۴) داده های مورد نظر برای محاسبه میزان حرارت لازم جهت تامین آبگرم مصرفی..... ۱۰۸
- جدول (۲-۴) مشخصات اجزای سیستم آبگرمکن خورشیدی..... ۱۰۸
- جدول (۳-۴) داده های مورد نیاز برای برآورد هزینه سیستم آبگرمکن خورشیدی توسط نرم افزار
- SAM..... ۱۲۳
- جدول (۴-۴) محاسبه پلکانی هزینه ماهانه برق صرفه جویی توسط سیستم آبگرمکن خورشیدی(سایت
- وزارت نیرو) ..... ۱۲۴
- جدول (۵-۴) مقدار کاهش گازهای آلاینده به واسطه استفاده از سیستم آبگرمکن خورشیدی..... ۱۲۶



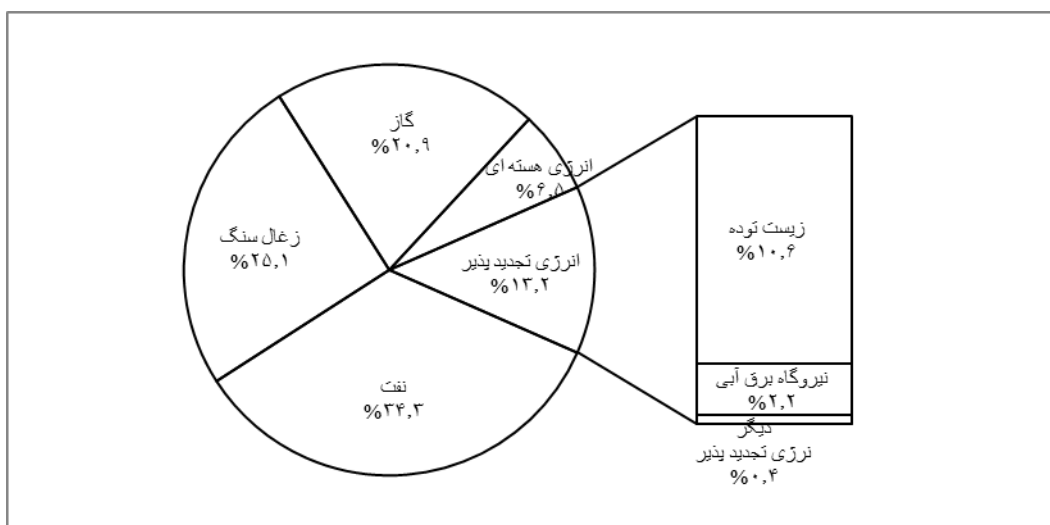
## فصل اول مقدمه و بیان مسئله

---

امروزه انرژی یکی از نیازهای اولیه بشر محسوب می شود و وابستگی انسان به سوخت های فسیلی بسیار بیشتر از گذشته شده است، بطوریکه بیش از ۹۰٪ از انرژی مصرفی جهان از سوخت های فسیلی تامین می شود. انرژی به عنوان یکی از مهمترین عوامل تولید محسوب شده و استفاده بهینه از آن، یکی از عوامل موثر در رشد و بالندگی کشورهاست. در این میان تامین انرژی مورد نیاز جوامع بشری و نگرانی در مورد تداوم تامین آن از اهمیت خاصی برخوردار است. با توسعه صنعتی جهان و تقاضای روزافزون انرژی از یک سو و محدود بودن و لزوم حفظ منابع سوخت های فسیلی برای نسل های آینده و جلوگیری از خسارات زیست محیطی ناشی از استفاده آنها از سوی دیگر، راهی جز روی آوردن به استفاده از انرژی های تجدید پذیر مانند انرژی خورشیدی را باقی نگذاشته است. در حال حاضر، استفاده از این منابع انرژی در جایگزینی با سوخت های فسیلی با توجه به ویژگی های زیست محیطی و اقتصادی دغدغه اصلی سیاست گذاران انرژی محسوب می شود. از جمله مهمترین انرژی های تجدید پذیر میتوان به سیستم های انرژی خورشیدی که پیشرفت های قابل توجهی داشته اند، اشاره نمود. کشور ایران یکی از کشورهای با مصرف انرژی بالا بویژه در بخش ساختمان های مسکونی می باشد، و همچنین از پتانسیل بالای انرژی خورشیدی برخوردار است، لذا استفاده از سیستم های انرژی خورشیدی می تواند در طولانی مدت گامی بزرگ در جهت تحقق اهداف توسعه پایدار، کاهش مصرف انرژی های فسیلی و در نتیجه کاهش آلودگی های زیست محیطی باشد. انرژی خورشیدی دارای مزایایی از جمله دسترسی آسانتر و ظرفیت عظیم این منبع است. میزان انرژی خورشیدی دریافتی توسط زمین چندین هزار برابر مصرف کنونی انرژی الکتریکی در سراسر جهان است.

## ۱ وضعیت مصرف انرژی در جهان

مصرف سالانه‌ی انرژی اولیه<sup>۱</sup> در کل جهان در حال حاضر حدود EJ ۵۰۰<sup>۲</sup> است. این مقدار انرژی معادل ۱۶ TW توان است. سهم هر یک از منابع انرژی در تأمین این مقدار در شکل ۱-۱ نشان داده شده است.



شکل ۱-۱: نمودار سهم هر یک از منابع انرژی در تأمین انرژی اولیه در سراسر جهان (۱۵)

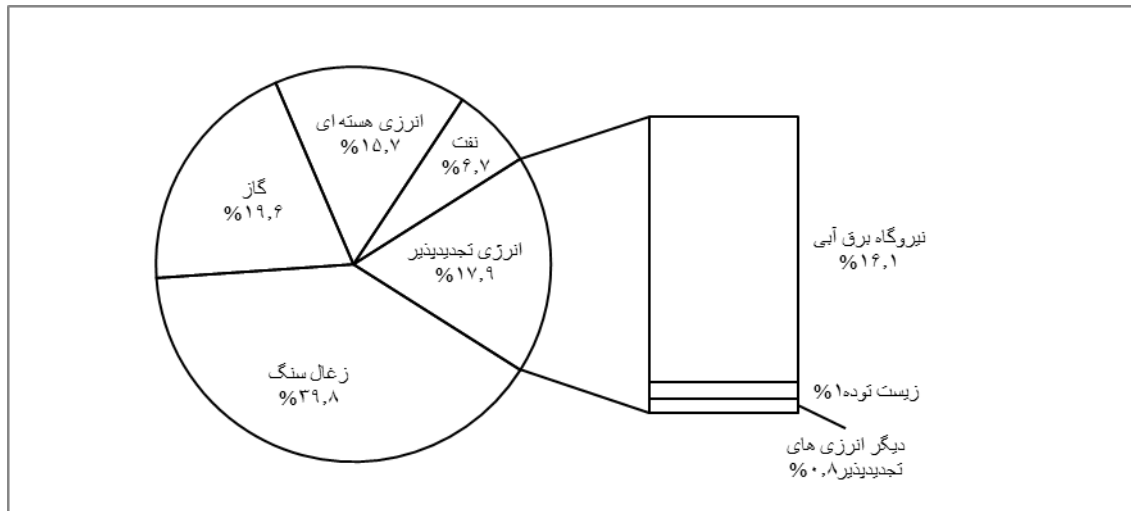
همان‌طور که مشاهده می‌شود، ۳۴/۳٪ این انرژی توسط نفت، ۲۵/۱٪ توسط زغال، ۲۰/۹٪ توسط گاز طبیعی، ۱۳/۲٪ توسط انرژی‌های تجدیدپذیر و ۶/۵٪ توسط انرژی هسته‌ای تأمین می‌شود. از ۱۳/۲٪ انرژی‌های تجدیدپذیر، ۱۰/۶٪ توسط زیست توده، ۲/۲٪ توسط نیروگاه‌های برق-آبی بزرگ و فقط ۰/۴٪ توسط دیگر انرژی‌های تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی، انرژی باد، انرژی امواج دریا و ... تأمین می‌-

<sup>۱</sup> انرژی اولیه: انرژی‌ای که به دیگر صورت‌های مفیدتر انرژی مانند الکتریسیته تبدیل نشده باشد.

<sup>۲</sup> EJ = Exa Joule =  $10^{18}$  J

شود، که انرژی خورشیدی سهمی حدود ۰/۰۴٪ دارد.

مصرف سالانه‌ی الکتریسیته در جهان حدود ۱۸۰۰۰ TWh (۶۴/۸ EJ) است که معادل ۲ TW توان است. همان‌طور که در شکل ۱-۲ نشان داده شده است، این میزان الکتریسیته از منابع متنوعی تولید می‌شود که سهم هر یک به این صورت است: زغال ۳۹/۸٪، گاز طبیعی ۱۹/۶٪، انرژی‌های تجدید پذیر ۱۷/۹٪، انرژی هسته‌ای ۱۵/۷٪ و نفت ۶/۷٪. از منابع تجدید پذیر که ۱۷/۹٪ از کل تولید الکتریسیته را شامل می‌شوند، ۱۶/۱٪ مربوط به نیروگاه‌های برق-آبی بزرگ، ۱٪ مربوط به زیست توده و ۰/۸٪ مربوط به سایر انرژی‌های تجدید پذیر است.



شکل ۲-۰: نمودار سهم هر یک از منابع انرژی در تأمین انرژی الکتریکی در سراسر جهان (۱۵)

## ۱-۴ منابع محدود انرژی‌های تجدید ناپذیر

تعیین دقیق اینکه تا چه زمانی سوخت‌های فسیلی، در دسترس خواهند بود، خیلی مشکل است. به گفته شرکت‌های بزرگ نفت و گاز، منابع بزرگ نفت، در حال توسعه هستند و یا هنوز کشف نشده‌اند. یک

برآورد مطمئن نشان می‌دهد که نفت منابع موجود برای تأمین نیاز فعلی تا حداقل ۳۰ سال دیگر کافی خواهد بود. آخرین گزارش‌ها نشان می‌دهند که منابع گاز برای تأمین نیاز فعلی تا ۶۰ سال دیگر کفایت خواهند کرد. خوشبختانه منابع زغال می‌توانند تا صدها سال دوام یابند. البته جنبه منفی زغال، مقدار زیاد کربن موجود در آن است. سوخت نیروگاه‌های هسته‌ای که اغلب با فرآیند شکافت هسته‌ای کار می‌کنند، نامحدود نیست و چند دهه قبل، این موضوع توجه‌ها را به سوی رآکتورهای تولید سریع که موجب افزایش عمر سوخت می‌شد، جلب کرد. با این حال خطرهای ذاتی سیاسی در چرخه تولید سریع به دلیل تولید پلوتونیوم قابل استفاده در تسلیحات هسته‌ای، توسعه آن را به چند نمونه رآکتور که دارای مشکلات کاربردی فراوانی بودند محدود کرده بود و در حال حاضر، این رآکتورها دیگر وجود ندارند. عمر منابع اورانیوم برای شکافت مرسوم با سرعت استفاده کنونی حدود ۵۰ سال تخمین زده شده است.

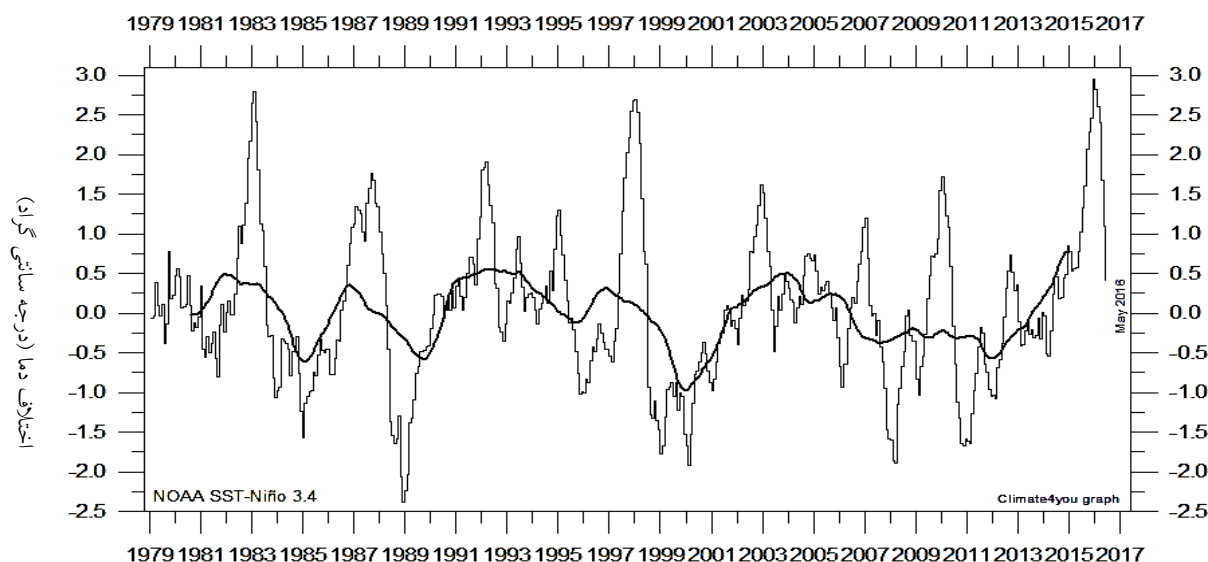
## ۱ ۴ ۴ مسایل زیست محیطی

همه سوخت‌های فسیلی، وقتی می‌سوزند، دی اکسید کربن تولید می‌کنند. آزاد شدن مقادیر زیاد این گاز در جو با ایجاد اثر گلخانه‌ای موجب گرم شدن زمین می‌شود. تحقیقات نشان می‌دهند که میزان دی اکسید کربن موجود در جو در طی چند هزار سال گذشته و تا آغاز انقلاب صنعتی در اوایل قرن نوزده میلادی دارای مقدار تقریباً ثابت  $280 \text{ ppm}^1$  بوده است. میزان دی اکسید کربن جو در ابتدا به دلیل سوزاندن زغال به آهستگی افزایش یافت، اما پس از جنگ جهانی دوم با توجه به مصرف گسترده تر سوخت‌های فسیلی، میزان دی اکسید کربن جو شتاب گرفته است. این عدد در حال حاضر  $380 \text{ ppm}$  بوده و به سرعت

---

<sup>1</sup>particle per million

در حال افزایش است. در نتیجه‌ی این تغییرات، زمین از حدود سال ۱۹۰۰ تا کنون به میزان  $0.7^{\circ}\text{C}$  گرم‌تر شده است که دمای زمین را به بیشترین مقدار در طی ۱۲۰۰۰ سال اخیر رسانده است. شکل (۱-۳) این موضوع را به وضوح نشان می‌دهد.



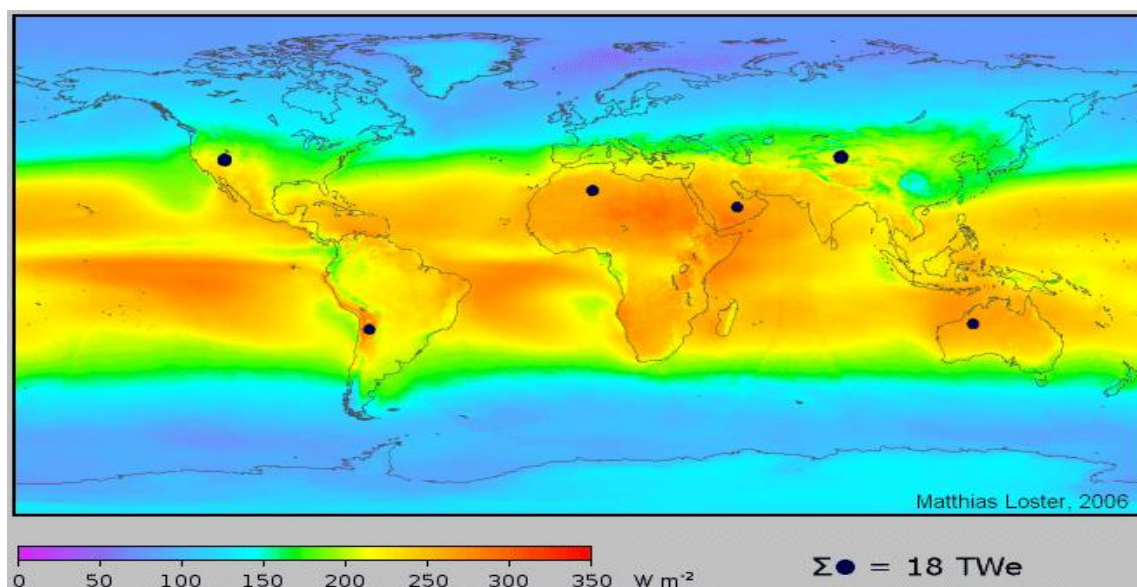
شکل ۳-۰: نمودار تغییرات دمای متوسط زمین نسبت به متوسط دما بین سال‌های ۱۹۸۰-۲۰۱۵ میلادی (۱۵)

اکثر مدل‌های هواشناسی نشان می‌دهند که دو برابر شدن گازهای گلخانه‌ای نسبت به دوره‌ی قبل از انقلاب صنعتی، موجب افزایش دمای متوسط زمین به میزان  $2-5^{\circ}\text{C}$  خواهد شد و این اتفاق میان سال‌های ۲۰۳۰ تا ۲۰۶۰ رخ خواهد داد. اگر اقدامی صورت نگیرد، غلظت دی‌اکسید کربن تا سال ۲۱۰۰ به بیش از سه برابر مقدار قبل از انقلاب صنعتی خواهد رسید که منجر به افزایش دما به میزان  $10-3^{\circ}\text{C}$  خواهد شد. دی‌اکسید کربن، تنها آلاینده‌ی ناشی از سوزاندن سوخت‌های فسیلی نیست. اکسیدهای نیتروژن ( $\text{NO}_x$ ) و اکسیدهای گوگرد ( $\text{SO}_x$ ) منجر به باران اسیدی می‌شوند. همچنین نیروگاه‌های هسته‌ای از نظر زیست محیطی، مشکلات متعددی دارند. زباله‌های رادیواکتیو، تشعشعات رادیواکتیو، زباله‌های اجزای راکتور در

هنگام اتمام عمر نیروگاه، از مشکلات این نیروگاه‌ها به شمار می‌روند. همچنین گزارش‌هایی مبنی بر سهم قابل توجه این نیروگاه‌ها در انتشار دی اکسید کربن به جو وجود دارد.

## ۱ ظرفیت بالای انرژی خورشیدی

شکل ۱-۴ ظرفیت بالای انرژی خورشیدی را نشان می‌دهد. تابش خورشید بر روی زمین ۱۴۰۰۰ بار بیش‌تر از مصرف انرژی در جهان است. انرژی تابشی خورشید که فقط در طول یک سال به زمین می‌رسد، خیلی بیش‌تر از همه منابع سوخت‌های فسیلی و هسته‌ای شناخته شده است. با توجه به مطالب فوق، مطالعه در زمینه تولید توان از انرژی خورشیدی به عنوان یک انرژی تجدید پذیر که با وجود داشتن پتانسیل فراوان، سهم اندکی در تولید انرژی را به خود اختصاص داده است و سازگار با محیط زیست بوده و به آسانی در دسترس است، امری ضروری به نظر می‌رسد.



شکل ۱-۴: ظرفیت بالای انرژی خورشیدی (۱)

## ۱ مزایای استفاده از انرژی خورشیدی

به طور کلی می توان به موارد زیر به عنوان مزایای انرژی خورشیدی اشاره کرد

۱- تمیز بودن: بدلیل اینکه در این انرژی سوخت فسیلی استفاده نمی شود هیچ آلودگی وارد محیط نمی شود و یک انرژی تجدید پذیر است.

۲- قابل اطمینان بودن: نیروگاههای خورشیدی می توانند در طول سال فعال باشند و بدلیل قرار گرفتن نیروگاه بر روی منبع انرژی مشکلی از لحاظ تامین سوخت بدلیل بدی آب و هوا و مسایل سیاسی و ... بوجود نمی آید.

۳- تجدید پذیری و دائمی بودن

۴- صرفه جویی ارزی: هزینه ای برای واردات سوخت از خارج کشور نمی شود.

۵- ایجاد تنوع در سبد انرژی کشور

۶- توسعه فرهنگی، اجتماعی و اقتصادی مناطق محروم

## ۱ بیان مساله

امروزه تبعات مداخله انسان در محیط زیست بیش از هر زمانی متجلی شده است. مفهوم توسعه با رعایت حفاظت از محیط طبیعی و زیست محیطی مترادف است و در شاخص های اقتصادی حساب های ملی،



همچون تولید ناخالص داخلی، ملحوظ نمودن منابع طبیعی و زیست محیطی نیز مطرح است. انرژی، یک نیاز اساسی برای استمرار توسعه اقتصادی، تدارک و تأمین رفاه و آسایش زندگی بشری است. با توجه به گسترش مصرف انرژی و گرایش جهانی به تولید انرژی به صورت غیرمتمرکز در محل مصرف، ابزارهای مختلف تولید پراکنده و ساخت نمونه های تجاری- صنعتی آنها جایگاه ویژه ای یافته است. در واقع منابع تولید پراکنده، منابع تولید توان الکتریکی هستند که مستقیماً به شبکه توزیع یا به مصرف کننده متصل اند. ابزارهای بسیار متنوعی مبتنی بر انرژی های فسیلی و تجدیدپذیر و ابزارهای ذخیره سازی انرژی برای تولید پراکنده وجود دارند، که در این میان می توان به موتورهای احتراقی، میکرو توربین ها، پیل های سوختی، دیزل ژنراتورها، توربین های بادی، سلول های خورشیدی و ... اشاره نمود. بر همین اساس با کاهش روز افزون منابع سوخت های فسیلی و نیاز بشر به تامین انرژی مورد نیاز خویش، سیستم های تامین انرژی بر اساس تولیدات پراکنده گامی بلند در راستای رسیدن به این هدف با حداقل هزینه ممکن جهت سرمایه گذاری و بهره برداری از این منابع محسوب می شود. در رابطه با منابع انرژی های تجدید پذیر، تعدادی از فناوری های نوین تجدید پذیر در حال ظهور هستند. بعنوان مثال، ساختمان های مجهز به توربین بادی، پنل ها و کلکتورهای خورشیدی، سیستم های سرمایش و گرمایش خورشیدی تحت بررسی و تحقیق در هر دو زمینه صنعتی و دانشگاهی می باشند.

انرژی خورشیدی فاقد آلودگی است و در تمامی نقاط کره زمین و بخصوص در مناطق گرم به وفور قابل دسترس بوده و بویژه در مناطق دور از شبکه سراسری برق، استفاده از آن برای تولید برق و گرمایش و سرمایش اقتصادی است. کشور ما نیز از نظر جغرافیایی در منطقه گرم و خشک قرار گرفته و با داشتن بیش از ۲۸۰ روز آفتابی در سال، میزان تابش سالانه خورشیدی آن در حدود  $1800-2200 \text{ kwh/m}^2$  تخمین زده می شود که مقدار آن بالاتر از میزان متوسط جهانی است. تلفات تولید، انتقال و توزیع برق و پراکندگی

جمعیت کشور باعث می شود که استفاده از انرژی خورشیدی توجیه اقتصادی داشته باشد. از طرفی طبق شواهد موجود یکی از سوخت هایی که به زودی در دنیا رتبه اول مصرف و استفاده را به خود اختصاص خواهد داد، انرژی خورشیدی می باشد. مشکل اساسی این منبع انرژی در تبدیل و استفاده، از این امر ناشی می شود که هنوز مجبور نشده ایم آنرا در مقیاس های کلان به شکل قابل استفاده برای خود تبدیل کنیم، چرا که به سادگی با حفاری زمین منابع انرژی را استخراج کرده و به مصرف می رسانیم. اما امروزه بسیاری از کشورها بخشی از انرژی مورد نیاز خود را با استفاده از سلول های خورشیدی تامین می نمایند و در این رابطه به پیشرفت های فراوانی نائل شده اند. در این کشورها توسعه تکنولوژی انرژی خورشیدی نقش مهمی در برآورده ساختن نیاز های انرژی این کشورها داشته است. اما، افزایش کارایی انرژی در تجهیزات و فرآیندهای انرژی بر در ساختمان ها می تواند با اجرای اقدامات گوناگون صورت پذیرد که هزینه هر اقدام و همچنین میزان تاثیر گذاری آنها با هم متفاوت خواهد بود. با توجه به اینکه انجام اقدامات مربوط به بهینه سازی مصرف انرژی معمولاً با محدودیت منابع مالی روبرو می باشد، مطالعه مجموعه اقدامات امکان پذیر و اولویت گذاری فنی اقتصادی آنها از اهمیت برخوردار می باشد.

یکی از کاربردهای غیر نیروگاهی انرژی خورشیدی گرمایش فضا و آب مصرفی ساختمان با استفاده از انرژی حرارتی خورشیدی می باشد. گرمایش ساختمانها با استفاده از انرژی خورشیدی، ایده تازه ای بود که در سالهای ۱۹۳۰ میلادی مطرح شد و در کمتر از یک دهه به پیشرفت های قابل توجهی رسید. جهت گرم کردن آب مصرفی ساختمانها که هدف اصلی این تحقیق می باشد، می توان از آبگرمکن های خورشیدی بهره برد. طبق آمارهای موجود، گرمایش آب و فضا مجموعاً بیش از ۸۰٪ انرژی را در ساختمانها مصرف می کند و بنابراین بیش از یک سوم کل انرژی مصرفی جهان در جهت گرمایش مصرف می شود. از این میان گرمایش آب به طور متوسط ۲۰ تا ۳۰ درصد کل انرژی مصرفی در خانه را مصرف می کند. بنابراین با

استفاده از آبگرمکن خورشیدی می‌توان سالانه ۷۰٪ انرژی مورد نیاز برای گرمایش آب را تأمین کرد. آب گرمکن های خورشیدی یکی از موثرترین طرح های استفاده عمومی و آسان از انرژی خورشید برای تأمین آبگرم مصرفی در بخش خانگی و صنعتی است، بطوریکه دمای سطح کلکتورهای جاذب انرژی خورشیدی تا حدود ۱۰۰ درجه سانتی گراد و دمای آبگرم تولیدی در مدل های با راندمان بالا تا حدود نقطه جوش آب افزایش می یابد. این فرایند تأمین انرژی به حدی موثر و کارآمد است که حتی کشوری مثل آلمان که یکی از کشورهای واقع در بخش شمالی اروپاست، دارای اولین تکنولوژی آبگرمکن های خورشیدی و از پیشروترین تولیدکنندگان آن است.

آبگرمکن های خورشیدی از طریق جذب انرژی خورشید توسط صفحات جاذب (کلکتور) خود عمل می نمایند و راندمان گرمایشی آنها برحسب نوع کلکتور آنها متفاوت می باشد. آبگرم، در تمام ساعات شبانه روز یعنی در شب ها و روزهای ابری، در مخزن دو جداره و عایق حرارتی که دمای آب را تا سه روز بدون تغییر حفظ می کند، نگهداری می شود. هزینه های نگهداری و تعمیرات این سیستم ها بسیار پائین و در حد صفر است، زیرا هیچ قطعه متحرکی نداشته و طول عمر کارکرد سیستم ها با کیفیت فنی بالا تا ۲۰ سال می رسد. باتوجه به ظرفیت بالقوه کشورمان از نظر انرژی خورشیدی و تعداد ساعات آفتابی بالایی که در بسیاری از نقاط کشور داریم، همچنین مشکلات زیست محیطی و هزینه بالای سوخت های فسیلی، لازم است تا از این فناوری روز دنیا بهره مند شویم.

بخش اصلی یک آبگرمکن خورشیدی کلکتور آن است که خود شامل یک ورق است که به وسیله تابش کلی خورشید حرارت یافته و حرارت خود را به یک سیال جذب کننده (مانند آب) که داخل لوله در حال جریان است، منتقل می کند. رنگ این ورق همیشه تیره انتخاب می شود و دارای پوشش خاصی است که بتواند ضریب جذب انرژی را به حداکثر و ضریب پخش را به حداقل برساند. برای رسیدن به دمای بالا،

مجموعه ورق و لوله‌ها را در داخل یک جعبه عایق با روکش شیشه قرار می‌دهند تا از اثر گلخانه‌ای بتوان استفاده کرد. آبی که با این روش گرم می‌شود، بر اثر اختلاف دما و با گردش طبیعی وارد یک تانک دوجداره شده و آب مخزن را گرم می‌کند. این آب گرم شده یا به طور مستقیم به مصرف گرمایش خانوار می‌رسد و یا توسط یک مبدل حرارتی دمای آب مصرفی خانواده را افزایش می‌دهد. آبگرمکن خورشیدی هزینه های انرژی را کاهش می دهد چون از انرژی رایگان خورشیدی استفاده می کند. از آنجایی که مصرف سوخت های فسیلی را کاهش می دهد، به دلیل تأثیر مستقیم در کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه ای، به داشتن محیط زیستی پاک کمک شایانی می کند. استفاده از آبگرمکن خورشیدی تا حدود ۷۰٪ از میزان هزینه های انرژی جهت تأمین آبگرم مصرفی می کاهد. به دلیل بهره مندی از انرژی خورشیدی، خطرات مسمومیت، آتش سوزی، انفجار و برق گرفتگی که ناشی از مصرف گاز و سوخت های مایع، جامد و برق است کاملاً حذف می شود.

آبگرمکن های خورشیدی در انواع فعال، غیر فعال، مستقیم و غیر مستقیم خلاصه می شوند. فعال یعنی از یک پمپ گردش جهت به حرکت آوردن سیال یا آب بین کلکتور و مخزن ذخیره استفاده می کند. غیر فعال یعنی پمپی وجود ندارد و از خاصیت جابجایی (ترموسیفون) جهت به گردش در آوردن آب یا سیال واسط بین کلکتور و مخزن ذخیره استفاده می شود. مستقیم یعنی کلکتور، آب مصرفی را مستقیماً گرم کرده و به مخزن ذخیره می فرستد. این سیستم فقط در محل هایی استفاده می شود که نیاز به آب تصفیه نباشد. غیر مستقیم نیز یعنی کلکتور آب مصرفی را توسط یک سیال واسط گرم می کند. سیال واسط معمولاً محلول آب و ضد یخ می باشد که در کلکتور گرم شده و سپس در مبدل حرارتی گرمای خود را به آب مصرفی می دهد. این سیستم همه جا می تواند استفاده شود.

همچنین آبرگرمکن های خورشیدی را می توان بر اساس تفاوت آنها در نوع کلکتور جاذب انرژی خورشیدی طبقه بندی کرد، که عبارتند از : آبرگرمکن های خورشیدی با کلکتور صفحه تخت و آبرگرمکن های خورشیدی با کلکتور های لوله خلاء.

لذا با توجه به مطالب گفته شده، در این تحقیق ضمن بررسی اجمالی انرژی خورشیدی، اصول پایه تکنولوژی خورشیدی و انواع کاربردهای آن در تولید انرژی الکتریکی، حرارتی، سرمایی و شرایط استفاده از این نوع انرژی در مقیاس های خانگی و صنعتی، به بررسی و ارزیابی اقدامات بهینه سازی مصرف انرژی در فرآیند تهیه آبرگرم مصرفی ساختمان ها پرداخته می شود، و آنالیز فنی استفاده از انرژی خورشیدی در تهیه آبرگرم مصرفی ساختمان مسکونی نمونه با استفاده از آبرگرمکن خورشیدی ارائه می گردد. در سیستم مورد نظر برای تولید آبرگرم مصرفی مورد نیاز از یک کلکتور خورشیدی جهت گرم کردن سیال استفاده می شود. انرژی حرارتی حاصل از کلکتور خورشیدی در تانک ذخیره آبرگرم نگهداری می شود تا در مواقع لزوم مورد استفاده قرار گیرد. شبیه سازی سیستم مذکور توسط نرم افزارهای سیستم های انرژی موجود در بازار مانند Matlab, Trnsys و Tsol صورت می گیرد.

**ساختار کلی تحقیق :** در این تحقیق بعد از مقدمه و بیان مساله در فصل اول به مرور ادبیات گذشته در رابطه با عنوان تحقیق و تاریخچه انرژی خورشیدی و سیستم های آبرگرمکن خورشیدی در فصل دوم می پردازیم. فصل سوم اصول کلی و مبانی نظری تحقیق را شامل می شود. در فصل چهارم آنالیز فنی سیستم آبرگرمکن خورشیدی مورد مطالعه در ساختمان نمونه مورد بررسی قرار گرفته و در فصل آخر نیز نتایج بدست آمده از تحقیق و پیشنهادات ادامه کار بیان می گردند.

## فصل دوم پیشینه پژوهش

---

توجه به انرژی غیر وارداتی و متفاوت از سوخت فسیلی و همچنین فاکتورهای زیست محیطی باعث شده که امروزه در جهان به انرژی های تجدیدپذیر با جدیت بیشتری پرداخته شود. انرژی خورشیدی انرژی تجدید پذیری است که محدود به فصل، زمان و شرایط خاصی نبوده و بدون وقفه قابل بهره برداری می باشد. همچنین قیمت تمام شده برق در نیروگاه های انرژی خورشیدی با برق تولیدی از سایر نیروگاه های متعارف قابل رقابت بوده و حتی از انواع دیگر انرژی های نو بمراتب ارزاتر است. ما در این فصل به بررسی پیشینه چرخه خورشیدی خواهیم پرداخت.

با توجه به رو به اتمام بودن منابع تجدید ناپذیر فسیلی، جایگزین کردن منابع انرژی تجدید پذیر مانند انرژی خورشیدی به امری ضروری تبدیل شده است. خورشید برای ما انسانها منبع بی پایان انرژی محسوب می شود. استفاده و بهره مندی از انرژی خورشیدی از دیرباز مورد توجه بشر بوده است. کشورهای صنعتی امروزه به شدت در حال گسترش بهره گیری از انرژی های تجدیدپذیر بخصوص انرژی خورشیدی هستند، تا به تدریج آنها جایگزین انرژی های فسیلی کنند، زیرا علاوه بر داشتن مزایایی چون عاری بودن از هرگونه آلودگی های زیست محیطی، فراوانی، ارزانی، فنا ناپذیری و عدم وابستگی به انرژی های دیگر، همیشه در دسترس بوده و استفاده از آن دشوار نیست. توجه به افزایش بهره گیری از این انرژی، کشورها را به سوی کاهش وابستگی به انرژی های تجدید ناپذیر سوق می دهد. استفاده از سوخت های فسیلی مثل گاز بعنوان پرمصرف ترین منبع تامین گرمایش در کشور یکی از عوامل توسعه به شمار می آید. مشکل رساندن و توزیع سوخت های فسیلی

بخصوص در مناطق دور افتاده روستایی همیشه یکی از چالشهای پیش روی توسعه پایدار روستاها بوده است. از این رو انرژی خورشیدی که در هر مکان قابل بهره برداری و در دسترس است، بستر بسیار مناسبی را برای توسعه و عمران روستاهای کشور فراهم می سازد.

از طرفی قرارگیری ایران در عرض جغرافیایی مناسب سبب جذب مقادیر قابل توجه انرژی خورشیدی شده و از این طریق موقعیت ممتازی را برای بهره گیری از انرژی پایدار و پاک آن فراهم نموده به طوری که می توان با استراتژی های مناسب اتخاذ شده در این بخش مصرف ساختمان ها را به میزان قابل ملاحظه ای کاهش داد. کاهش مصرف انرژی با استفاده بیشتر از خورشید برای گرمایش و تامین انرژی الکتریکی و مصرف آن، به گردش هوا در ساختمان کمک نموده و راهکاری مطلوب برای دستیابی به پایداری محسوب میشود.

یکی از انواع متداول استفاده از انرژی خورشیدی، گرم کردن آب مصرفی مورد نیاز می باشد، که این کار توسط آبگرمکن های خورشیدی صورت می گیرد. آبگرمکن خورشیدی یکی از متداولترین تجهیزات استفاده از انرژی خورشیدی می باشد. آبگرمکن خورشیدی، بخاطر جذابیت اقتصادی آن در مقایسه با دیگر انواع کابرد های انرژی خورشیدی، یکی از مهمترین وسایل برای استفاده از این انرژی می باشد. کلکتورها و آبگرمکن های خورشیدی مورد استفاده قادر هستند تمامی ساختمان های مسکونی کشور را از مصرف انرژی های فسیلی در اغلب اوقات سال بی نیاز سازند. این در حالی است که قابلیت استفاده از انرژی خورشید حتی در سرمایش نیز بسیار بالاست، و این مطالعه در نمونه های مختلف اجرا شده و تحقیقات افراد مختلف در مناطق خشک راهبردهای موثر آتی را برای سایرین پیشنهاد می دهد.

در این میان آبگرم کن خورشیدی لوله خلا، نسل جدیدی از آبگرم کن های خورشیدی می باشد، که عموماً برای تأمین آب مصرفی مورد نیاز مناطق مسکونی مورد استفاده قرار می گیرد. این نوع آبگرمکن ها از



تعدادی لوله خلا و یک مخزن تشکیل شده اند. شیوه گرم شدن آب داخل مخزن بر مبنای قوانین جریان جابجایی آزاد می باشد. عوامل بسیار زیادی از جمله شیب کلکتور، حجم مخزن و نسبت ابعادی تولید قطر لوله در کارایی این نوع آبگرمکن ها تأثیر دارند. لذا در این تحقیق بعد از مرور ادبیات گذشته مربوط به تاریخچه و استفاده از آبگرمکن های خورشیدی لوله خلا در فصل دوم، به چگونگی و آنالیز فنی کارکرد این نوع آبگرمکن خورشیدی در فصل سوم می پردازیم.

## ۲-۲ انرژی خورشیدی

انرژی خورشیدی منحصر بفرد ترین منبع انرژی تجدیدپذیر در جهان است و منبع اصلی تمامی انرژی های موجود در زمین می باشد. انرژی خورشیدی به صورت مستقیم و غیرمستقیم می تواند به اشکال دیگر انرژی تبدیل گردد. به طور کلی انرژی متصاعد شده از خورشیدی در حدود  $3/8$  در  $1023$  کیلووات در ثانیه می باشد. ایران با داشتن حدود  $300$  روز آفتابی در سال جزو بهترین کشورهای دنیا در زمینه پتانسیل انرژی خورشیدی در جهان می باشد. با توجه به موقعیت جغرافیای ایران و پراکندگی روستایی در کشور، استفاده از انرژی خورشیدی یکی از مهمترین عواملی است که باید مورد توجه قرار گیرد. استفاده از انرژی خورشیدی یکی از بهترین راه های برق رسانی و تولید انرژی در مقایسه با دیگر مدل های انتقال انرژی به روستاها و نقاط دور افتاده در کشور از نظر هزینه، حمل نقل، نگهداری و عوامل مشابه می باشد.

با توجه به استانداردهای بین المللی اگر میانگین انرژی تابشی خورشید در روز بالاتر از  $3/5$  کیلووات ساعت در مترمربع ( $3500$  وات ساعت) باشد، استفاده از مدولهای انرژی خورشیدی نظیر کلکتورهای خورشیدی یا سیستم های فتوولتائیک بسیار اقتصادی و مقرون به صرفه است. در بسیاری از قسمت های

ایران انرژی تابشی خورشید بسیار بالاتر از این میانگین بین‌المللی می‌باشد و در برخی از نقاط حتی بالاتر از ۷ تا ۸ کیلو وات ساعت بر مترمربع اندازه‌گیری شده است، ولی بطور متوسط انرژی تابشی خورشید بر سطح سرزمین ایران حدود ۴/۵ کیلو وات ساعت بر مترمربع است.

## ۲-۳ تاریخچه استفاده از انرژی خورشیدی

شناخت انرژی خورشیدی و استفاده از آن برای منظوره‌های مختلف، به زمان ما قبل تاریخ، شاید به دوران سفالگری باز می‌گردد. در آن هنگام روحانیون معابد به کمک جام‌های بزرگ طلائی صیقل داده شده و اشعه خورشید، جهت روشن کردن آتشدان‌های محراب استفاده می‌کردند. مهمترین روایتی که در رابطه با استفاده از تابش خورشید بیان شده داستان ارشمیدس دانشمند و مخترع بزرگ یونان قدیم می‌باشد، که ناوگان روم را با استفاده از انرژی حرارتی خورشید به آتش کشید. گفته می‌شود که ارشمیدس با نصب تعداد زیادی آینه‌های کوچک مربعی شکل در کنار یکدیگر که روی یک پایه متحرک قرار داشته است، اشعه خورشید را از راه دور روی کشتی‌های رومیان متمرکز ساخته و باین ترتیب آنها را به آتش کشیده است. به همین علت از ارشمیدس بعنوان بنیانگذار استفاده از تابش خورشید نام می‌برند، درحالی‌که منابع مصری قدیمی‌تر از آن است. (۱۵)

حدود ۱۸۰۰ سال پس از ارشمیدس شخصی به نام A.KIRCHER (سال ۱۶۱۰-۱۶۸۰) شاهکار ارشمیدس را تکرار کرد و با استفاده از تعدادی آینه، یک لنگرگاه چوبی را از فاصله دور آتش زد و ثابت کرد که داستان حقیقت دارد. در سال ۱۶۱۵ SALMON DE CAUM اهل فرانسه بیانیه‌ای راجع به موتور خورشیدی منتشر کرد. او با استفاده از تعدادی عدسی که در یک قاب نصب شده بودند اشعه خورشید را

بر روی یک استوانه فلزی سربسته که قسمتی از آن از آب پر شده بود متمرکز نمود. تابش خورشید باعث گرم شدن هوای داخل استوانه شده و با انبساط هوا، فشار داخل محفظه افزایش یافته و آب به بیرون رانده می شد. در قرن هیجدهم نا تورا اولین کوره خورشیدی را در فرانسه ساخت. بزرگترین کوره او از ۳۶۰ قطعه آینه تخت کوچک تشکیل شده بود که هر کدام بطور مستقل اشعه خورشید را به یک نقطه متمرکز می کردند. این محقق کوره کوچکی را نیز که از ۱۶۸ قطعه آینه تشکیل شده بود در سال ۱۷۴۷ طراحی و تولید کرد و بوسیله آن یک تل چوبی را در فاصله ۶ متری آتش زد. دستگاه خوراک پز خورشیدی اولین بار بوسیله شخصی بنام NICHELAS DE SAUCCER ساخته شد. اجاق او شامل یک جعبه عایق شده با صفحه سیاه رنگی بود که قطعات شیشه ای درپوش آنرا تشکیل می دادند، اشعه خورشید با عبور از میان شیشه ها وارد جعبه شده و بوسیله سطح سیاه جذب و درجه حرارت داخل جعبه را به  $88^{\circ}\text{C}$  افزایش می داد. آنتونی لاوازیه خالق شیمی نوین برای کسب بیشترین انرژی از خالص ترین منبع حرارتی، تحقیقاتی در کوره های خورشیدی انجام داد و کوره ای ساخت که برای تشکیل یک عدسی محدب این کوره از دو صفحه شیشه ای که بین این دو صفحه با الکل پر شده بود، استفاده نمود. عدسی مایع به قطر ۱۳۰ سانتیمتر و به فاصله کانونی ۳۲۰ سانتیمتر بود. چون قدرت انکسار این عدسی مایع برای بدست آوردن درجه حرارت زیاد در کانون آن موثر نبود، لاوازیه عدسی کوچک دیگری را در کانون آن قرار داد و با کوچکتر کردن فاصله کانونی موثر، این دستگاه قادر شده حتی پلاتینیوم را در دمای  $1760^{\circ}\text{C}$  ذوب نماید. BESSMER پدر فولاد جهان حرارت مورد نیاز کوره خود را با استفاده از انرژی خورشیدی تامین کرد. در قرن نوزدهم تلاش هایی جهت تبدیل انرژی خورشیدی به دیگر فرم های انرژی مثل تولید بخار و استفاده در موتورهای بخار انجام گرفت. در این سال ها چندین موتور بخار خورشیدی ساخته شده و مورد آزمایش قرار گرفتند. سال ۱۸۷۸ MUCHO اولین کلکتور خورشیدی با متمرکز کننده مخروطی شکل را طراحی کرد. آینه های داخل مخروط تمام اشعه های خورشیدی را در نقطه ای در وسط مخروط ناقص که

جذب کننده ای در آنجا نصب شده بود متمرکز می کرد. این کلکتور را AXICON می نامیدند. اولین AXICON بزرگی که ساخته شد شامل یک صفحه از جنس نقره با قطر ۵۴۰ سانتیمتر و به سطح ۱۸/۲ متر مربع بود. وزن آن با کلیه قسمت های متحرک در حدود ۱۴۰۰ کیلوگرم بود و قدرت داشت ۷۸ درصد از انرژی خورشیدی تابیده شده را جذب کند. اریکسون مبتکر سیکل موتور هوای گرم، قدرت مورد نیاز آزمایشات خود را بوسیله یک متمرکز کننده سهموی دریافت می کرد. این شخص با یک سطح انعکاسی برابر با ۹/۳ متر مربع در حدود ۰/۷ کیلووات انرژی دریافت می کرد. (15)

در سال ۱۸۸۰ اولین کلکتور تخت خورشیدی بوسیله TELIER ساخته شد. در سال ۱۸۸۸ WESTER پیشنهاد استفاده از انرژی خورشیدی در ترموکوپل ها را ارائه داد. باین ترتیب که با متمرکز کردن انرژی خورشیدی بر روی ترموکوپل و با استفاده از اساس کار آنها و با ایجاد منابع گرم و سرد، انرژی الکتریکی در دو سر سیم های نیکل و آهن ایجاد نمود. در قرن نوزدهم دستگاه های آب شیرین کن خورشیدی رواج پیدا کردند و دستگاه هایی ساخته شدند که قادر بودند در روزهای آفتابی روزانه حدود ۲۰۰۰۰ لیتر آب مقطر تولید نمایند. در قرن بیستم استفاده از کلکتورها جهت تولید بخار در نیروگاه های برقی مورد توجه زیاد قرار گرفته است. گرم کردن ساختمان ها با استفاده از انرژی خورشید، ایده تازه ای بود که در سال های ۱۹۳۰ مطرح و در یک دهه به پیشرفت های قابل توجهی نائل آمد. اولین خانه خورشیدی در انستیتو تکنولوژی ماساچوست آمریکا در سال ۱۹۳۸ ساخته شد. (1)

مطالعات در زمینه انرژی خورشیدی در ایران از حدود ۴۰ سال قبل و بطوز همزمان در دانشگاههای شیراز و صنعتی شریف شروع شد. از جمله طرح های مهم مورد توجه در این مراکز نیروگاه خورشیدی ۱۰ مگاواتی در دانشگاه شیراز و طرح و توسعه و ساخت سلولهای فتوولتائیک در مرکز فوق الذکر بود. پروژه

هایی در زمینه انرژی خورشیدی هم اکنون در کشور توسط سازمان انرژی های نو ایران در جریان است، که اهم فعالیت های انجام شده در زمینه انرژی خورشیدی کشور عبارتند از :

- نیروگاه حرارتی خورشیدی از نوع سهموی خطی با ظرفیت ۲۵۰ کیلو وات در شهر شیراز
- نیروگاه فتوولتایک متصل به شبکه با توان ۳۰ کیلو وات واقع در شهر طالقان استان البرز
- نیروگاه فتوولتایک سمنان با ظرفیت ۱۰۰ کیلو وات
- نیروگاه فتوولتایک میبد یزد با ظرفیت ۱۲ کیلو وات جهت بهره برداری ۱۵ خانوار روستایی
- و صدها برنامه برق رسانی به خانوارهایی روستایی

## ۲-۴ تاریخچه استفاده از آبگرمکن های خورشیدی

استفاده از انرژی خورشیدی در تولید آبگرم مصرفی و گرمایش ساختمان ها در آمریکا، روسیه، استرالیا و سایر کشورها از سال ۱۹۴۰ به بعد رو به توسعه نهاد. بحران انرژی در سال ۱۹۷۳، اهمیت استفاده از انرژی خورشیدی را افزایش داد و سرمایه گذاری های زیادی در غالب کشورهای جهان به ویژه در کشورهای صنعتی برای دستیابی به طرح های بهینه کاربردهای مختلف انرژی خورشیدی انجام پذیرفت. زنگ خطر محدودیت منابع کره زمین در سال ۱۹۷۰، توسط پیچی<sup>۱</sup>، بازرگان ایتالیایی، و کینگورا<sup>۲</sup> از متولیان سازمان رم کلاب<sup>۳</sup>، به صدا درآمد. آنان در گزارشی به نام "محدودیت رشد"، محدودیت انرژی را اعلام کردند که

---

<sup>۱</sup>Pecchi

<sup>۲</sup>Kingura

<sup>۳</sup>Rome Club

محدودیت انرژی و وابستگی جهان به کاربرد سوخت های فسیلی به خصوص، نفت، دنیا را به لرزه در خواهد آورد.

نخستین اختراع تجاری آبگرمکن خورشیدی توسط کلارنس کمپ<sup>۱</sup> در سال ۱۸۹۱ صورت گرفت. این آبگرمکن موسوم به کلیماکس<sup>۲</sup> شامل چهار مخزن آب استوانه ای شکل بلند از جنس آهن گالوانیزه و آغشته به رنگ سیاه بود که به طورافقی در جعبه ای عایق با پوششی از شیشه قرار داشت. آبگرمکن خورشیدی به شکل کنونی آن توسط ویلیام جی بیل<sup>۳</sup> در سال ۱۹۰۹ در کالیفرنیا به ثبت رسید که مشابه سیستم ترموسیفون بود.

در سالهای اخیر تحقیقات گسترده ای در زمینه بررسی و افزایش راندمان سیستم های آبگرمکن خورشیدی انجام گرفته است. در مطالعات انجام گرفته در یک مجتمع مسکونی در کشور فرانسه، مشخص گردید که حدود ۴۰٪ از انرژی مصرفی برای گرمایش آب را می توان از طریق سیستم آبگرمکن خورشیدی تامین کرد. همچنین در تحقیق انجام شده توسط عبدالرحمن ه.م و السلیمان ف.آ در سال ۲۰۱۴، امکانسنجی جایگزینی آبگرمکن های الکتریکی با سیستم آبگرمکن های خورشیدی در بخش خانگی توسط نرم افزار RETScreen بررسی شد. شبیه سازی برای پنج شهر عربستان سعودی با مختصات جغرافیایی مختلف شامل جده، الظهران، تبوک، ریاض و بیشه انجام شد که نشان داد، در شرایط غالب شهر بیشه مناسبترین مکان و شهر تبوک نامناسب ترین مکان از میان پنج شهر انتخابی برای اجرای سیستم آبگرمکن خورشیدی در کشور عربستان سعودی است. در تحقیق دیگری که توسط خانم فریده عتابی و همکاران در سال ۱۳۹۰ انجام گرفت (13)، استفاده از سیستم آبگرمکن خورشیدی در شهر یزد بوسیله نرم افزار

---

<sup>۱</sup>Kelarns Camp

<sup>۲</sup>Climax

<sup>۳</sup>William.J.Bailey

RETScreen بررسی شد. نتایج نشان داد که میزان صرفه جویی سالیانه در مصرف گاز طبیعی در ساختمان های مسکونی ویلایی و مجتمع های آپارتمانی شهر یزد به ترتیب برابر ۶۶۹۶۰۰۰۰ متر مکعب و ۱۶۸۲۴۰۰۰۰ متر مکعب، میزان صرفه جویی اقتصادی سالیانه به ترتیب برابر ۱۶۵۶۰۰۰۰ دلار و ۴۱۵۲۰۰۰۰ دلار است.

بر اساس آنالیز فنی-اقتصادی بر روی سیستم های آبگرمکن خورشیدی در کشور اردن در سال ۲۰۰۴، مشخص شد که استفاده از سیستم های آبگرمکن خورشیدی مناسبتر از آبگرمکن گازی میباشد. در سال ۲۰۰۴، آنالیزی بر روی سیستم های آبگرمکن خورشیدی در کشور برزیل انجام شد و نتایج نشان داد استفاده از سیستم های آبگرمکن خورشیدی خانگی برای افراد کم درآمد برزیل از نظر اقتصادی بسیار مناسب است. در کشور لبنان حدود ۹۹٪ انرژی اولیه مصرفی از سایر کشورها تأمین می شود و الکتریسیته مهمترین سوخت مصرفی این کشور می باشد. بنابراین، استفاده از سیستم های آبگرمکن خورشیدی باعث کاهش میزان مصرف برق و صرفه جویی اقتصادی به میزان میلیون ها دلار شده است. در تحقیقی تحت عنوان استراتژی افزایش انرژی های تجدیدپذیر در کشور تایوان اثبات گردید که تولید آب گرم توسط سیستم های آبگرمکن خورشیدی از نظر اقتصادی بسیار مقرون به صرفه بوده و گزینه مناسبی برای توسعه انرژی های تجدیدپذیر در این کشور می باشد. استفاده از آبگرمکن های خورشیدی خانگی در یونان طی سالهای ۱۹۷۸ الی ۲۰۰۷ باعث صرفه جویی در مصرف برق و کاهش انتشار آلاینده های هوا گردید و انتشار CO<sub>2</sub> را به میزان ۴۴/۷٪ کاهش داد.

عباسی و همکاران در پژوهشی تحت عنوان تحلیل فنی و اقتصادی آبگرمکن های خورشیدی با سطح جاذب لوله ای شیشه ای (لوله ای خلاء) و مقایسه ای آن با کلکتورهای مسطح به بررسی عملکرد فنی و اقتصادی یک سیستم گرمایش آب خورشیدی از نوع جابجایی طبیعی (ترموسیفون) با سطح جاذب شیشه ای نوع هیپ

پایپ پرداختند. سیستم مذکور را با سیستم مشابه دارای کلکتورهای مسطح و اقلیم آب و هوایی متفاوت، مقایسه کردند.

مونیر و همکاران (۲۰۰۸) در پژوهشی تحت عنوان "چشم‌اندازهای از آبگرمکن‌های خورشیدی مورد استفاده در صنایع نساجی ترکیه" نقش انرژی خورشیدی در صنعت نساجی ترکیه و فرصت‌های پیدا شده برای به کارگیری این انرژی در کشور را مورد بحث و بررسی قرار دادند. فولر (۲۰۱۱) وضعیت استفاده از سیستم‌های آبگرمکن خورشیدی در استرالیا را مرور کرد و مسائل و مشکلات در هنگام طراحی سیستم‌های با مقیاس بزرگ را گزارش داد. کالوگرو (۲۰۰۳) پتانسیل اعمال کلکتورهای مختلف را برای آب گرم مورد تقاضا در صنایع، آزمود. او امکان ذخیره‌ی انرژی در چرخه‌ی آبگرمکن و پارامترهای آن را نیز مورد بررسی قرار داد.

مرتضی خلجی اسدی و همکاران در سال ۸۸ در این مقاله، ابتدا بارهای حرارتی یک آپارتمان مسکونی ( در دو حالت با مصالح متداول و با رعایت مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان) در دو شهر همدان و کرج محاسبه شده است. سپس مطابق با نیاز انرژی ساختمان و بررسی منحنی هزینه - بازده سیستم ترکیبی خورشیدی، تعداد گردآورنده های تخت خورشیدی محاسبه شده و با توجه به تاثیر سایه ردیف کلکتورها بر یکدیگر و محدودیت فضای پشت بام، یک سیستم هیبرید (خورشیدی - فسیلی) پیشنهاد شده است. با توجه به نتایج به دست آمده میزان متوسط انرژی خورشیدی قابل بهره برداری در حالت های مختلف از ۱۵ تا ۴۵٪ در ماه های سرد سال تغییر می کند. با توجه به صرفه جویی سالانه در مصرف سوخت و نیز کاهش هزینه های اجتماعی در منطقه سردسیر با استفاده از سیستم ترکیبی خورشیدی و با در نظر گرفتن قیمت جهانی سوخت، سالانه حدود ۴۳ میلیون ریال در هزینه سوخت صرفه جویی می شود که رقم قابل توجهی است و موجب می شود تا هزینه سرمایه گذاری اولیه نسبتاً زیاد این سیستم در مدت زمان کمتر از دو سال



جایگزین گردد. به همین ترتیب در منطقه معتدل سالانه حدود ۱۰ میلیون ریال در هزینه سوخت صرفه جویی می شود که موجب بازگشت هزینه سرمایه گذاری اولیه این سیستم در مدت چهار سال می گردد.

حسین عباسی و همکاران در این مقاله عملکرد فنی و اقتصادی یک سیستم گرمایش آب خورشیدی از نوع جابجایی طبیعی با سطح جاذب لوله شیشه ای نوع هیت پایپ و مقایسه آن با سیستم مشابه با کلکتورهای مسطح ۱۲ شهر ایران که دارای اقلیم آب و هوایی متفاوتی می باشند بررسی گردیده است. نتایج نشان می دهد که آب گرمکن خورشیدی نوع هیت پایپ عملکرد مناسبتری نسبت به نوع صفحه مسطح خصوصاً در مناطق سرد و با تابش پایین دارد که برحسب میزان جذب انرژی خورشیدی، سهم مصرف انرژی خورشیدی، بازگشت سرمایه و میزان مصرف سوخت کمکی بیان شده است. جهت شبیه سازی فنی سیستم از نرم افزار polysun استفاده شده است.

مأنده جاوید و همکاران در سال ۱۳۹۲ در این تحقیق با استفاده از مشخصات جغرافیایی و اقلیمی شهر کرمان و میزان مصرف گاز طبیعی جهت گرمایش و تولید آب گرم سیستم های بهداشتی در یک ساختمان، آنالیز انرژی و اقتصادی یک سیستم گرمایش ترکیبی خورشیدی برای یک ساختمان مسکونی ویلایی با مساحت ۱۱۰ مترمربع در فصول مختلف سال انجام شده است. جهت تحلیل نامبرده از نرم افزار TRNSYS استفاده شده است. بعد از شبیه سازی سیستم گرمایش ترکیبی، میزان گرمایش تولیدی توسط سیستم خورشیدی، میزان گرمایش مورد نیاز توسط سیستم های متداول گرمکن و میزان کل بار گرمایش ترکیبی در هر ماه از سال تعیین شد. نتایج نشان داد در صورتی که کلکتورهای سیستم خورشیدی در زاویه شیب بهینه سالیانه ثابت شوند، میزان بار گرمایشی خورشید در ماه های مختلف سال در محدوده ۹٪ تا ۸۵٪ بار کل گرمایشی ساختمان خواهد بود. میزان متوسط سالانه هزینه صرفه جویی شده مصرف سوخت

ساختمان در یک دوره بیست ساله با استفاده از سیستم ترکیبی خورشیدی در صورت لحاظ کردن قیمت سوخت یارانه ای، تقریباً ۳۴ دلار و قیمت جهانی سوخت ۳۴۲ دلار خواهد بود.

جنس گلمبین و همکاران در سال ۲۰۱۲ در این تحقیق شبیه سازی ویژگی های مختلف بویلر و همچنین انواع مختلف تجمیع بویلر با سیستم ترکیبی خورشیدی با یک مدل جدید بویلر با سوخت فسیلی مطالعه شده است. برای هر حالت (ترکیب بویلر با سیستم ترکیبی خورشیدی)، راندمان سالانه بویلر، تعداد سیکل های کاری سالانه بویلر و مهمترین عامل یعنی انرژی اولیه صرفه جویی شده در کل سیستم بررسی می شود. ارتباط هیدرولیکی بویلر با سیستم ترکیبی حرارتی خورشیدی در چهار حالت مختلف بررسی شده است. جهت شبیه سازی از نرم افزار TRNSYS استفاده شده است. نتایج نشان می دهد که تاثیر سیستم حرارتی خورشیدی بر راندمان سالانه بویلر ناچیز است. درکنار طرح بندی سیستم، مقادیر آب گرم سالانه مصرفی و تقاضای گرمایش فضا و حد دمای مورد استفاده بر سیستم حرارتی خورشیدی تاثیرگذار است. هر مخزن ذخیره اضافی و بخصوص مخزن بافر بایستی به علت اتلاف های حرارتی بیشتر که باعث کاهش راندمان سیستم می شود، تحلیل شود. این مطالعه اشاره می کند که شاخص صرفه جویی انرژی اولیه و نهایی مهمترین شاخص های ارزیابی سیستم های ترکیبی خورشیدی هستند. شاخص های فرعی مانند مقادیر سالانه راندمان کلکتور و راندمان بویلر اطلاعات اضافه تری را می دهند، اما این شاخص ها برای ارزیابی کامل کل سیستم کافی نیستند.

ای کاکان در سال ۲۰۱۲ در مطالعه ای تجربی برای بهبود عملکرد سیستم های گرمکن خورشیدی موجود در ترکیه انجام شده است. این سیستم با ابداع بویلر با لایه بندی حرارتی راه اندازی شده است و متغیرهای کارکرد داخلی و متغیرهای خارجی سیستم بین ماه های دسامبر ۲۰۱۰ و می ۲۰۱۱ اندازه گیری شده اند. سیستم شامل دو سیکل بسته جریان است. سه بخش کنترل کننده دما برای کنترل جریان در سیستم

کار گذاشته شده است. این سیستم همچنین رویکرد جدیدی را در گرمایش از کف با استفاده از پره های مسی - لوله های مسی جهت گرمایش ساختمان ارائه می دهد. این رویکرد طراحی جدید اثر مثبتی را در جریان انرژی سیستم نشان می دهد. نتایج نشان می دهد که ضریب ذخیره انرژی ماهانه بین ۵۹٪ و ۸۹٪ می باشد.

این سیستم انرژی مورد نیاز ساختمان را برای تامین شرایط آسایش فراهم می کند. همچنین تغییرات مصرف نسبی انرژی خورشیدی (FSC) به صورت روزانه، ماهانه و سالانه بررسی شده است. FSC سالانه سیستم بطور تقریبی ۸۳٪ است.

مگدلنا لاند و همکاران در سال ۲۰۱۴ برای افزایش نسبت ذخیره انرژی بدست آمده بوسیله سیستم های ترکیبی حرارتی خورشیدی، حجم مخزن باید افزایش یابد. نصب مخازن بزرگ در خانه های تک خانوار، محدودیت نصب دارد. در این مقاله تاثیر ابعاد مخزن، همچنین پیکربندی حجم کمکی داخلی و خارجی برای مخازن آب ابعاد بزرگ با استفاده از شبیه سازی دینامیکی سالانه TRNSYS بررسی شده است. نتایج نشان می دهد که مخزن های تا حجم  $m^3 34$  برای کلکتور با مساحت  $m^2 30$  ممکن است استفاده شود. به علاوه شان داده شد که مخزن های با عایق خوب نسبتاً به ابعاد هندسی غیر حساس می باشند. انحراف ابعاد مخزن ها از مقدار متداول می تواند همچنان نسبت ذخیره انرژی را بالا نگهدارد. همچنین شبیه سازی ها نشان می دهد که عملکرد یک حجم کمکی داخلی در بیشتر موارد بیشتر از یک واحد کمکی خارجی است. محدودیت های کاربرد حجم های کمکی خیلی کوچک نیاز به بررسی بیشتری دارد.

السلایمه و همکاران در سال ۲۰۱۰ کمبود یک سیستم ذخیره انرژی که بتواند انرژی خورشیدی را برای تولید آب داغ خانگی و همچنین گرمایش محیط بکار گیرد انگیزه اصلی این تحقیق است که در کشور اردن انجام شده است.

در طی این تحقیق مشخص شده است که تقاضای بازار برای سیستم ترکیبی خورشیدی - بویلر در سه بخش قابلیت پذیرش سیستم، امکان پذیری سیستم و ارزش گذاری سیستم بخصوص پس از افزایش قیمت نفت از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۰۸ خیلی زیاد است. روند بازار نشان می دهد اگر چه کلکتور خورشیدی یک منبع جذاب انرژی نمی باشد ولی سیستم ترکیبی برای گرمایش فضا و تامین آب گرم مصرفی کاملاً قابا پذیرش است. یک مطالعه موردی برای سطحی به مساحت ۲۰۰ مترمربع انجام می شود.

جورجن والین و همکاران در سال ۲۰۱۲ تاثیر ذخیره سازی انرژی (energy conservation) بر کارایی سیستم های گرمکن خورشیدی را انجام دادند، هدف اتحادیه اروپا این است که مصرف انرژی در ساختمان به میزان ۴۱٪ تا سال ۲۰۵۰ در مقایسه با سال ۲۰۰۶-۲۰۰۵ کاهش یابد. این مقاله کارایی سیستم های گرمکن خورشیدی که در معرض نسبت های متفاوتی از گرمایش و مصرف آب گرم خانگی قرار دارند را بررسی می کند. در این مقاله چهار ساختمان با بارهای حرارتی مختلف را در سوئد و کانادا بررسی می شود. دو مکان مختلف، به منظور بررسی تاثیر شرایط آب و هوایی و عرض جغرافیایی بر کارایی سیستم در نظر گرفته شده اند. دو زاویه شیب نزدیک به هم بهینه کلکتور از نوع صفحه مسطح در هر دو مکان برای ارزیابی تاثیر شیب کلکتور بر کارایی سیستم شبیه سازی شده است. مدل هایی از خانه های تک خانوار و بار گرمایشی متفاوت و در عین حال بار آب گرم مصرفی یکسان برای شبیه سازی ایجاد گردیده اند. شبیه سازی ها با استفاده از نرم افزار TRNSYS که یک ابزار پیشرفته برای شبیه سازی سیستم های گذرا است، انجام شده است. خروجی مدل شبیه سازی شده نشان می دهد که راندمان سیستم ترکیبی خورشیدی به شیب کلکتور حساسیت زیادی ندارد. همچنین نتایج نشان می دهد که سیستم های ترکیبی خورشیدی اگر در ساختمان های با بار گرمایشی بیشتر نصب شوند، انرژی مفید بیشتری تولید می کنند و بنابراین مقرون به صرفه تر هستند.

علیرضا هبی و کامران صدیقی در سال ۲۰۰۸ یک سیستم آب گرمکن خورشیدی از نوع جریان اجباری غیرمستقیم و با استفاده از کلکتور مسطح برای تامین آب گرم خانگی یک واحد مسکونی تک خانوار در مونترال کانادا مدلسازی شده است. همگی پارامترهای طراحی ضروری مطالعه شده است و مقادیر بهینه با استفاده از نرم افزار شبیه ساز TRNSYS تعیین شده است. سهم خورشید از کل سیستم بعنوان پارامتر بهینه سازی استفاده شده است. پارامترهای طراحی سیستم و کلکتور که بهینه سازی شده اند شامل مساحت کلکتور، نوع سیال، دبی جرمی جریان کلکتور، حجم و ارتفاع مخزن ذخیره، کارایی مبدل حرارتی، سایز و طول لوله های رابط، جنس و ضخامت صفحه جاذب، تعداد و اندازه لوله های رایزر، فواصل بین لوله، و نسبت دید کلکتور است. نتایج نشان می دهد که با بکارگیری انرژی خورشیدی، سیستم طراحی شده می تواند ۸۳٪-۹۷٪ و ۶۲٪-۳۰٪ از نیاز آب گرم را بترتیب در تابستان و زمستان تامین کند. همچنین مشخص شد که حتی با استفاده از یک صفحه جاذب با پوشش غیر منتخب میتوان در حدود ۵۴٪ انرژی مورد نیاز گرمایش آب در یک سال را با انرژی خورشیدی تامین کرد.

لذا تحقیق حاضر با هدف بررسی استفاده از آبگرمکن های خورشیدی در یک ساختمان مسکونی واقع در شهر تهران، به بیان چگونگی عملکرد و مزایا و معایب بهره گیری از این شیوه استفاده از انرژی های تجدید پذیر می پردازد، که این ویژگی ها قابل تعمیم به دیگر مناطق نیز می باشد. کافی است تا معایب و هزینه های انتقال و توزیع سوخت های فسیلی و میزان بهره وری آن در مقایسه با انرژی خورشیدی مورد توجه قرارگیرد.

## فصل سوم مواد و روش ها

---

### ۳-۱ مقدمه :

امروزه با توجه به نزدیک شدن اتمام سوخت های فسیلی و با در نظر گرفتن اثر گلخانه ای ناشی از سوختن حامل های انرژی فسیلی، استفاده و جایگزینی سوخت های جدید نه تنها یک انتخاب بلکه یک اجبار است. امروزه بیش از ۸۰ درصد انرژی مورد استفاده در زمین از سوخت های فسیلی تامین می شود. میزان حامل انرژی نفتی در اواسط قرن ۲۱ میلادی رو به پایان خواهد رفت و همچنین زغال سنگ عمری بیش از ۲۰۰ تا ۳۰۰ سال در آینده نخواهد داشت. بنابراین با بکارگیری انرژی حاصل از منابع تجدید پذیر علی الخصوص انرژی خورشیدی، به صرفه جویی در استفاده از منابع فسیلی، امکان ذخیره سازی این منابع برای نسل های آینده را فراهم می سازد. بکارگیری انرژی خورشیدی در تامین آبگرم مصرفی منازل و مراکز صنعتی، یکی از کاربردی ترین و مقرون به صرفه ترین روش های استفاده از انرژی های تجدید پذیر است، و به همین دلیل اکثر کشورهای پیشرفته و در حال توسعه در حال سرمایه گذاری در این راستا می باشند. تجهیزات ساده و ارزان قیمت، عدم نیاز چندان به تعمیر و نگهداری، راندمان بالا و امکان تولید و نصب سریع و آسان و همچنین امکان بهره برداری عموم جوامع از این سیستم دلایل محکمی در بکارگیری از این طرح می باشند.

جالب است بدانید که گرمایش آب و فضا مجموعاً بیش از ۸۰٪ انرژی را در ساختمانها مصرف می کند، لذا بیش از یک سوم کل انرژی مصرفی جهان در جهت گرمایش مصرف می شود. از این میان گرمایش آب بطور متوسط ۲۰ تا ۳۰ درصد کل انرژی مصرفی در خانه را به خود اختصاص می دهد. بنابراین با استفاده از آبگرمکن های خورشیدی می توان سالیانه ۷۵٪ انرژی مورد نیاز برای گرمایش آب را تامین کرد.

در این فصل بعد از معرفی مبانی و روابط انرژی خورشیدی و انواع تکنولوژی های استفاده از این انرژی

تجدید پذیر به بررسی انواع و کارکرد آبگرمکن های خورشیدی و ارائه روابط حاکم بر آنها می پردازیم.

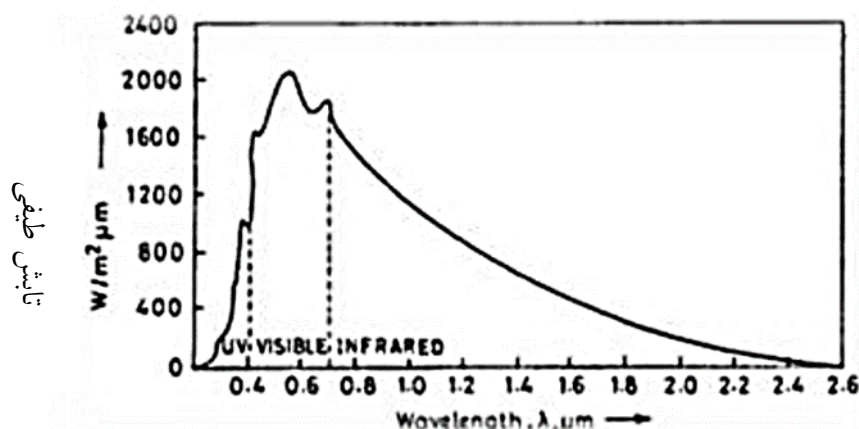
### ۳-۱-۱ انرژی خورشیدی

خورشید کره ای به شعاع  $6.95 \times 10^8$  m است که  $1.5 \times 10^{11}$  m با زمین فاصله دارد. دمای خورشید ۵۷۷۷ کلوین می باشد و برآورد می شود که دمای مرکز آن در حدود  $8 \times 10^6$  K تا  $40 \times 10^6$  K باشد. چگالی آن ۱۰۰ برابر بزرگتر از چگالی آب است. خورشید یک راکتور همجوشی مستمر است، و بسیاری از واکنش های همجوشی برای تامین انرژی خورشید صورت می گیرند. واکنش اصلی یک فرآیند تشکیل هلیوم (یک هسته اتم هلیوم) توسط ترکیب با هیدروژن است (چهار فوتون). انرژی خورشید بطور مداوم در تمامی جهات ساطع شده و به دو قسمت زمینی و فرازمینی تقسیم می شود. محدوده طول موج طیفی مابین  $0.3 \mu\text{m}$  تا  $3 \mu\text{m}$  می باشد که در شکل (۳-۱) نشان داده شده است. در  $0.48 \mu\text{m}$  حداکثر شدت طیفی رخ می دهد. بطور تقریبی ۶/۵٪ انرژی کل در ناحیه ماورابنفش گنجانده شده است (کمتر از  $0.38 \mu\text{m}$ ). در ناحیه مرئی ( $0.38 \mu\text{m} < \lambda < 0.78 \mu\text{m}$ ) حدود ۴۸٪ انرژی کل قرار دارد. مابقی انرژی که حدود ۴۵/۶٪ می باشد، در ناحیه مادون قرمز ( $\lambda > 0.78 \mu\text{m}$ ) بدست می آید.

تشعشع خورشیدی که به مرزهای اتمسفر کره زمین می رسد تشعشع پرتویی می باشد که تشعشع مستقیم نیز خوانده می شود. این تابش مستقیماً از طرف خورشید به هر نقطه از زمین حرکت کرده و در امتداد یک خط مستقیم متصل به خورشید به نقطه انتخابی سطح زمین برخورد می کند. برخی از تابش ها به محض عبور از اتمسفر زمین پراکنده می شوند. در نتیجه، هم تشعشع پرتویی هم امواجی که پس از برخورد به اتمسفر پراکنده شده اند، به تمام نقاط سطح زمین می رسند. تابش مستقیم صرفاً در یک جهت می تابند در



حالی که تشعشع پراکنده در تمام جهات به سطح زمین می رسند. تابش مستقیم و امواج پراکنده نه تنها به سطح ناهموار زمین (در بازتاب به سطح صاف) می رسند، بلکه امواج پس از برخورد به سطح زمین و اشیاء مختلف موجود در محل انعکاس می یابند. سطوح موجود در زمین برای دریافت و تسخیر انرژی خورشیدی شرایط متفاوتی دارند که به موقعیت جغرافیایی محیط پیرامون، ماهیت، مواد و عوامل دیگر



بستگی دارد.

$\mu$

شکل ۵-۰: طیف تابش خورشیدی (۲۱)

موقعیت هر سطح در بازتاب نورخورشید با استفاده از مفاهیم بنیادین هندسی کروی در ارتباط با حرکت زمین نسبت به خورشید مشخص می شود. زمین حول محور خود می چرخد که این چرخش بر خط استوایی عمود می باشد. یک چرخ طول موج  $\mu m$  چرخشی زمین به عنوان معیار اندازه گیری زمان بکار می رود. مقیاس های زمانی مورد استفاده در زمین به موقعیت نقطه مشاهده نسبت به نصف النهار مربوط است.

در امتداد تمام خط نصف النهار منطقه زمانی یکسان است، طوری که خورشید در مدت ۲۴ ساعت، هر مدار نصف النهار را یک بار طی می کند. مقیاس های زمانی معمول بر حسب یک رابطه بین نقطه زمانی و طول

جغرافیایی به کار می روند. هر درجه از طول جغرافیایی برابر است با اختلاف زمانی ۴ دقیقه، بنابراین هر ۱۵ درجه یک ساعت اختلاف زمانی دارد. منطقه های زمانی در کاربردهای عملی مورد استفاده قرار می گیرد. ۲۴ عدد از این مناطق جغرافیایی معین شده اند که هر یک ۱۵ درجه از طول جغرافیایی را شامل می شود.  $(360^\circ / 24h = 15^\circ / h)$ ، که هر کدام از این مناطق با منطقه قبلی یک ساعت اختلاف زمانی دارد، (هر چند بعضی مواقع استثناهایی مانند منطقه زمانی استرالیا وجود دارد).

### ۳-۱-۲ رابطه هندسی و زوایای زمین - خورشید

یکی از پارامترهای کلیدی که برای توصیف حرکت زمین نسبت به خورشید و موقعیت متقابل آنها نسبت به هم استفاده می گردد واحد «زاویه ساعت» خورشیدی است ( $\omega$ ). این واحد می تواند نسبت به همه نقاط واقع بر روی زمین به عنوان تابعی از زمان خورشیدی تعیین گردد. زاویه ساعت ( $\omega$ ) جابجایی زاویه دار خورشید در شرق و غرب نصف النهار محلی است که در اثر حرکت چرخشی زمین ایجاد می شود اختلاف زمانی ۱ ساعت برابر است با تغییرات ۱۵ درجه از زاویه ساعت. زاویه ساعت در ساعت ۱۲ ظهر برابر صفر می باشد، و هر اختلاف ساعت مطابق با تغییر زاویه  $15^\circ$  - (قبل از ظهر) و  $15^\circ$  + (بعد از ظهر) می باشد زاویه ساعت به ساعت با معادله زیر تعریف می شود: (۱)

$$(1-3)$$

$$\omega = 15(t_{sol} - 12)$$

زمان خورشیدی  $t_{sol}$  با حرکت زاویه ای آشکار خورشید در آسمان، با ظهر خورشیدی بکار رفته به عنوان نقطه مرجع (ساعت ۱۲ در معادله ۱-۳) معین می شود و در ساعت ها گسترش می یابد. ایستگاه های

هواشناسی مقیاس های تشعشع خورشیدی را بر حسب زمان خورشیدی انجام می دهند. ظهر خورشیدی لحظه ای روی می دهد که خورشید در نقطه ای است که مسیر آشکار آن سطح تراز نصف النهار محلی را از وسط قطع می کند. زمان در منطقه زمانی محلی (زمان استاندارد) اجزای اصلی زمان خورشیدی است، اما با آن برابر نیست. نسبت بین زمان خورشیدی ( $t_{sol}$ ) و زمان استاندارد ( $t_{std}$ ) با معادله زیر مشخص می شود:

(۱)

(۲-۳)

$$t_{sol} = t_{std} + 4(L_{std} - L_{loc}) + E$$

همان طوریکه معادله (۲-۳) نشان می دهد زمان خورشیدی به عنوان یک زمان استاندارد مطابق با مقدار E توصیف می شود. به اصطلاح معادله زمان و اجزای موقعیت جغرافیایی، که تفاوت بین نقطه مشاهده و نقطه ای که زمان استاندارد در آن تعریف می شود را محاسبه می کند. اجزای موقعیت جغرافیایی برای نقطه مشاهده مخصوصی ثابت شده است، که به عنوان اختلاف (در واحد درجه) بین نصف النهار محلی مشاهده کننده ( $L_{loc}$ ) و نصف النهار  $L_{std}$  که زمان استاندارد برای آن تعریف شده است بیان می شود. در موارد کاربرد زمان تابستان و زمستان این اجزا برای فصول مربوطه دو ارزش متفاوت دارند. مقدار E در طول زمان متغیر است اگرچه تصور می رود برای هر روز از سال ثابت و پایدار باشد. معادله زمان E تغییرپذیری حرکت زمین به دور خورشید را محاسبه می کند، که لحظه عبور خورشید از سطح تراز نصف النهار محلی نقطه مشاهده را تغییر می دهد. وقتی خورشید می چرخد زمین به طور یکنواخت حول محور خودش می چرخد و در مسیر بیضی شکل حرکت می کند. (به همین دلیل فاصله بین زمین و خورشید در طول سال تغییر می کند). وقتی زمین از خورشید دور است سرعت حرکت چرخشی اندکی کاهش می یابد و سپس با کمتر شدن فاصله افزایش می یابد. مقدار پارامتر E توسط معادله Spencer با روش زیر تعیین می شود: (۱)

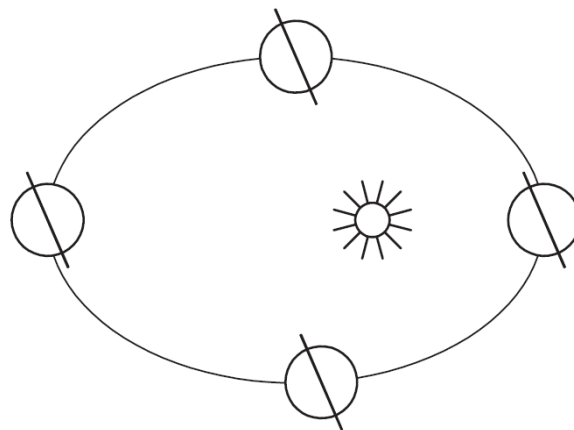
$$E = 229.2(0.000075 + 0.001868 \cos B - 0.032077 \sin B - 0.014615 \cos 2B - 0.04089 \sin 2B)$$

مقدار B با رابطه زیر محاسبه می شود :

$$B = (n-1) \frac{360}{365}$$

که در آن n تعداد روزهای یک سال می باشد.

در حالی که زمین به دور خورشید می چرخد محور آن به طور ثابت در  $66^{\circ}33'$  به سطح تراز مدار در نوسان می باشد (شکل ۳-۲). مسیر حرکت ظاهری خورشید در مدار آسمانی از دید یک مشاهده گر بر روی بر روی زمین در طول یک سال دایره البروج نامیده می شود. در حالی که زمین حرکت می کند شرایط آفتاب گیری بر روی زمین در چرخه های روزانه و سالانه تغییر می کند. بخاطر نوسان محور زمین سطح تراز استوایی از سطح تراز چرخشی متفاوت است. خورشید به هنگام حرکت در طول دایره البروج (در واقع آن حرکت زمین است نه خورشید) خودش را تنها دوبار در سطح تراز استوایی می یابد. (۲۱)



شکل ۳-۲: حرکت چرخشی زمین به دور خورشید

۲۱ مارس و ۲۳ سپتامبر، به ترتیب نقطه اعتدال بهار و پاییز هستند. بعد از آن روزها خورشید در فواصل

دایره البروج نوسانی از سطح تراز استوایی در حال نزدیک شدن به سطح تراز یکی از نواحی گرمسیری- در نیمکره شمالی یا جنوبی- به دور خود می چرخد. به محض رسیدن به سطح تراز گرمسیری خورشید شروع به برگشت به سمت استوا می کند. موقعیت جایی که خورشید در اوج خود به حداکثر ارتفاع می رسد، تغییر پذیری طول جغرافیایی اوج گیری در سایر عرض های جغرافیایی را باعث می شود. این حقیقت، به نوبه خود منجر به طول متغیر روزها و شب ها می شود. تقاطع بین دایره البروج و سطح تراز استوایی مرز بین یک منطقه را مشخص می کند، که خورشید احتمالاً در نقطه اوج به حداکثر ارتفاع خود می رسد. بنابراین نوسان محور زمین دلیل وجود فصول و تنوع پذیری وابسته به طول روز و طول جغرافیایی ماکزیمم خورشید می باشد.

تغییرات فصلی در موقعیت متقابل زمین و خورشید با پارامترهایی تعریف می شود که به عنوان انحراف از محور اصلی خورشید از آن یاد می شود. انحراف از محور اصلی به عنوان زاویه بین خط رابط زمین و خورشید، سطح تراز استوایی در ظهر خورشیدی، تعریف می شود. مقدار انحراف از محور اصلی برای نیم کره شمالی در فصل تابستان مثبت است. بسته به انحراف از محور اصلی سرعت تابش امواج خورشیدی که به سطح پرتو افشانی شده می رسند، تغییر می کند. مقدار انحراف از محور اصلی خورشید در محدوده های زیر تغییر می کند: (21)

$$-23.45^{\circ} (December 22) \leq \delta \leq +23.45^{\circ} (June 22)$$

انحراف خورشید از محور اصلی در روزهای اعتدال برابر صفر است. در اغلب مواقع مقدار انحراف بر حسب فرمول تقریبی Cooper محاسبه می شود: (21)

(۳-۳)

$$\delta = 23.45 \sin(360 \frac{284+n}{365})$$

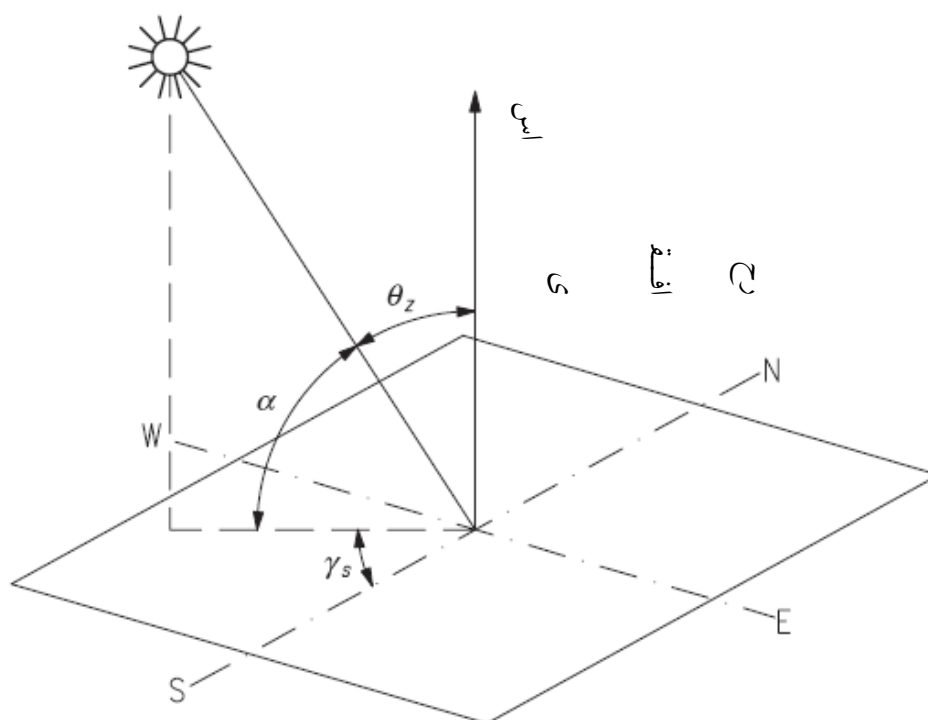
که در این رابطه منظور از  $n$ ، شماره روز در سال است (برای مثال مقدار  $n$  برای ۱ ژانویه برابر ۱ است)، درست مانند  $E$  در معادله Spencer.

انرژی خورشیدی تنها در طول روز به سطح زمین می‌رسد. میدان انرژی تشعشعی هنگامی که خورشید تا سطح افق پایین می‌آید، کاهش پیدا می‌کند. این تشعشع هنگامی که خورشید در بالاترین منطقه قرار دارد به بیشینه می‌رسد. اگر زاویه طول جغرافیایی خورشیدی  $30^\circ$  درجه باشد میزان انرژی دریافت شده از زمین نصف می‌شود. این بدان معنی است که در مواردی که هوا کاملاً صاف است، تابش نمی‌تواند از  $500W/m^2$  تجاوز کند. برای کشورهایی که در طول جغرافیایی بلندتری قرار دارند، زاویه طول جغرافیایی خورشید از  $30^\circ$  درجه در طول ۵ ماه پاییز و زمستان تجاوز نمی‌کند.

تعیین موقعیت خورشید بر حسب اینکه یک مشاهده گر در سطح افقی زمین قرار دارد مستلزم پارامترهای بیشتری است. یک مقدار برجسته و مهم، زاویه نقطه اوج خورشیدی ( $\theta_z$ ) می‌باشد. این یک زاویه نرمال به سطح زمین و همجهت تابش مستقیم می‌باشد. اختلاف بین این زاویه و زاویه  $90^\circ$  درجه، زاویه طول جغرافیایی خورشیدی ( $\alpha_s$ ) یا زاویه بلند خورشیدی می‌باشد، که زاویه ای ما بین سطح تراز افقی و خط مستقیم به سمت خورشید است (با جهت تابش مستقیم منطبق و همزمان است).

پارامتر مهم دیگر زاویه آزیموس خورشیدی ( $\gamma_s$ ) می‌باشد، که زاویه ای ما بین سطح تراز که از میان خورشید عبور می‌کند و نقطه اوج مشاهده گر می‌باشد و سطح تراز نصف النهار محلی بر روی سطح افقی زمین سنجیده می‌شود. این زاویه تلاقی تابش افقی جهت تابش را از جنوب بسط می‌دهد؛ اگر تابش از سمت جنوب باشد، مقدار آزیموس صفر است، تلاقی شرقی (از جنوب) منفی در نظر گرفته می‌شود، و تلاقی غربی مثبت است. بنابراین آزیموس منفی  $90^\circ$  درجه با شرق مطابقت می‌کند و مثبت  $90^\circ$  درجه با غرب و  $\pm 180^\circ$  درجه با شمال برابر است. پارامترهای زاویه ای موقعیت خورشید را در آسمان برحسب

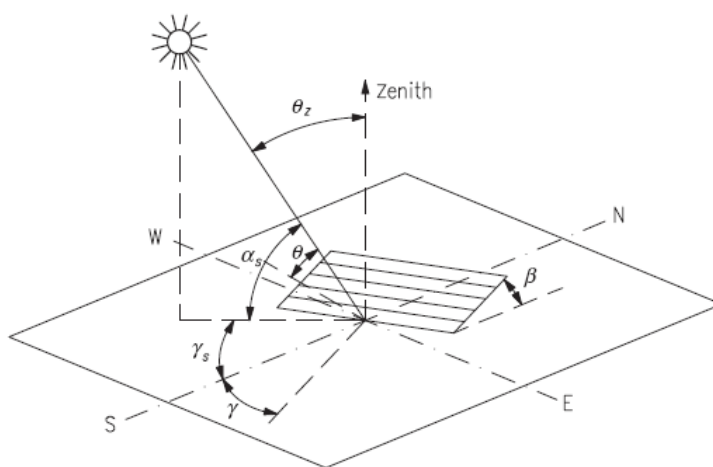
یک مشاهده گر بر روی سطح افقی زمین تعیین می کنند. در نمودار (۳-۳) موقعیت مشاهده گر در سطح مورد بحث زمین توسط مختصات جغرافیایی توصیف شده اند. ارزش و اهمیت قابل توجه برای تعیین دسترسی به تابش مستقیم عرض جغرافیایی ( $\varphi$ ) می باشد. انحراف با زاویه انحراف  $\beta$  در مقابل سطح تراز افقی محاسبه می شود که زاویه بین سطح مورد بحث و سطح تراز افقی می باشد. زاویه انحراف از لحاظ تئوری ممکن است در محدوده  $0 \leq \beta \leq 180^\circ$  عوض شود جهت یابی جغرافیایی بسته به موقعیت سطح نسبت به خورشید با زاویه آزیموس ( $\gamma$ ) آن سطح محاسبه می شود. این زاویه بین متوسط سطح تراز نسبت به سطح مورد نظر و سطح تراز نصف النهار محلی می باشد. زاویه آزیموس ممکن است در محدوده  $-180^\circ \leq +180^\circ$  تغییر کند (مقادیر منفی به سمت شرق و مثبت به سمت غرب و صفر درجه به سمت جنوب). (۱)



شکل ۷-۰: توصیف زوایای کلیدی موقعیت خورشید در دید یک مشاهده گر

انحراف از محور اصلی و جهت یابی سطح در داخل سطوح ساختمانی با زاویه انحراف و آزیموس محاسبه می شود که در گذر زمان ثابت است. شکل (۳-۴) روابط هندسی بین امواج خورشیدی متلاقی و امواج دریافتی سطح را نشان می دهد که ممکن است شامل هر کدام از سطوح ساختمانی باشد. در شکل مذکور سطح مورد بحث در زاویه  $\beta$  به سمت سطح افقی زمین انحراف دارد و به سمت استوا با انحراف زاویه آزیموس  $\gamma$  جهت یابی شده است. متوسط سطح افقی زمین و متوسط سطح انحراف یافته مورد بحث نیز رسم شده اند.

شکل (۳-۴) همچنین زاویه متلاقی تابش مستقیم ( $\theta$ ) را بر سطح تراز افقی نشان می دهد. موقعیت خورشید نسبت به مشاهده گر با زاویه آزیموس خورشیدی  $\gamma_s$  و زاویه طول جغرافیایی خورشیدی  $\alpha_s$  محاسبه می شود.



شکل ۸-۰: روابط کلیدی بین موقعیت خورشید و سطح تابش انحرافی

در زمستان اختلاف ها بین پرتو افکنی خورشیدی روزانه که به سطوح موجود در عرض های جغرافیایی متعدد می رسند، قابل ملاحظه هستند و در موارد حداکثری حتی به  $25MJ/(m^2 day)$  می رسد.

زاویه انحراف  $\theta$  تابش مستقیم بر روی سطح منحرف آزادانه انتخاب شده و هر جهت یابی به عنوان یک وظیفه پارامترهای زاویه ای کلیدی موقعیت خورشید نسبت به سطح بررسی شده بیان می شود، و بر اساس



نظریه Benford و Back بصورت زیر بیان می شود (۱)

$$\begin{aligned}\cos(\theta) &= \sin(\delta)[\sin(\varphi)\cos(\beta) - \cos(\varphi)\sin(\beta)\cos(\gamma)] \\ &+ \cos(\delta)[\cos(\varphi)\cos(\beta)\cos(\omega) + \sin(\varphi)\sin(\beta)\cos(\gamma)\cos(\omega) \\ &+ \sin(\beta)\sin(\gamma)\sin(\omega)]\end{aligned}\quad (4-3)$$

(5-3)

$$\cos(\theta) = \cos(\theta_z)\cos(\beta) + \sin(\theta_z)\sin(\beta)\cos(\gamma_s - \gamma)$$

در شرایط موقعیت سطح ویژه معین معادله (4-3) ممکن است ساده شود. در مورد سطح مقابل جنوب یا شمال زاویه آزیموس به ترتیب صفر یا ۱۸۰ درجه است. این بدان معنی است که آخرین قسمت معادله (3-3) ممکن است نادیده گرفته شود.

برای سطوح مقابل جنوب (جهت یابی اصلی نمای خارجی ساختمان با هدف جذب و دریافت انرژی در مورد ساختمان های خورشیدی کم انرژی و غیر فعال) زاویه آزیموس برابر صفر است، پس بنابراین زاویه انحراف تابش مستقیم دریافتی آن سطح به روش معادله زیر تعیین می شود: (1)

(6-3)

$$\begin{aligned}\cos(\theta) &= \sin(\delta)[\sin(\varphi)\cos(\beta) - \cos(\varphi)\sin(\beta)] \\ &+ \cos(\delta)[\cos(\varphi)\cos(\beta)\cos(\omega) + \sin(\varphi)\sin(\beta)\cos(\omega)] \\ &= \sin(\delta)[\sin(\varphi - \beta)] + \cos(\delta)\cos(\omega)\cos(\varphi - \beta)\end{aligned}$$

در مورد سطح مقابل شمال  $\gamma = 180^\circ$ ، پس معادله (4-3) شکل زیر را به خود می گیرد: (1)

(7-3)

$$\begin{aligned}\cos(\theta) &= \sin(\delta)[\sin(\varphi)\cos(\beta) + \cos(\varphi)\sin(\beta)] \\ &+ \cos(\delta)[\cos(\varphi)\cos(\beta)\cos(\omega) - \sin(\varphi)\sin(\beta)\cos(\omega)] \\ &= \sin(\delta)[\sin(\varphi + \beta)] + \cos(\delta)\cos(\omega)\cos(\varphi + \beta)\end{aligned}$$

در مورد سطح عمودی ( $\beta = 90^\circ$ ) با هر گونه جهت یابی (دیوارهای بیرونی یک سطح بسته ساختمانی)،

معادله (۳-۴) شکل ساده شده زیر را به خود می‌گیرد: (1)

$$\cos(\theta) = \sin(\delta)\cos(\varphi)\cos(\gamma) + \cos(\delta)\sin(\varphi)\cos(\omega) + \cos(\delta)\sin(\gamma)\sin(\omega) \quad (۳-۸)$$

با این همه، اگر سطح عمودی یک سطح بسته ساختمانی مستقیماً به سمت یکی از چهار جهت اصلی تمایل پیدا کند، در این صورت معادله (۳-۴) بیشتر ساده می‌شود. از این رو در مورد سطح عمودی مقابل جنوب زاویه تلاقی ممکن است از این معادله بدست آید: (1)

$$(۳-۹)$$

$$\cos(\theta) = -\sin(\delta)\cos(\varphi) + \cos(\delta)\sin(\kappa)\cos(\omega)$$

در مورد سطح عمودی مقابل شمال  $(\beta=90^\circ, \gamma=180^\circ)$ ، شرق  $(\beta=90^\circ, \gamma=-90^\circ)$  یا غرب  $(\beta=90^\circ, \gamma=90^\circ)$  نسبت به زاویه تلاقی به ترتیب این طور بیان می‌شود: (1)

$$(۳-۱۰)$$

$$\cos(\theta) = \sin(\delta)\cos(\varphi) - \cos(\delta)\sin(\varphi)\cos(\omega)$$

$$(۳-۱۱)$$

$$\cos(\theta) = -\cos(\delta)\sin(\omega)$$

$$(۳-۱۲)$$

$$\cos(\theta) = \cos(\delta)\sin(\omega)$$

برای سطح افقی که  $\beta=0$  می‌باشد در این مورد، زاویه تلاقی تابش مستقیم  $\theta$  برابر با زاویه سمت الرأس خورشیدی  $(\theta_z)$  می‌باشد. در طول روز زمانی که خورشید بالای خط افق است، این زاویه باید بین صفر و ۹۰ درجه باشد. با استفاده از معادله (۳-۴)، امکان آن فراهم می‌شود که زاویه تلاقی  $\cos$  این زاویه را

تعیین کنیم که زاویه سمت الرأس خورشیدی مطابق است با: (21)

(۱۳-۳)

$$\cos(\theta_z) = \sin(\delta)\sin(\varphi) + \cos(\delta)\cos(\varphi)\cos(\omega)$$

زاویه ساعت طلوع خورشید  $\omega_{rise}$  برای سطح افقی با معادله (۱۳-۳) محاسبه می شود. در طول طلوع و غروب خورشید زاویه سمت الرأس خورشیدی ( $\theta_z$ ) برای تابش مستقیم منحرف یک زاویه راست می باشد. (۹۰ درجه، که بدان معنی است که زاویه طول جغرافیای خورشیدی صفر درجه است و خورشید بر روی یک خط افق قرار دارد.) در زاویه سمت الرأس خورشیدی ۹۰ درجه عبارت سمت چپ معادله برابر با صفر است. معادله در نظر گرفته شده ممکن است به شکلی تبدیل شود که تعیین زاویه ساعت طلوع خورشید یا غروب خورشید را امکان پذیر سازد. این زاویه (کسینوس آن) بعد از تبدیل به این صورت بیان می شود: (21)

(۱۴-۳)

$$\cos \omega_{rise} = -\tan(\varphi)\tan(\delta)$$

باید توجه داشت که زاویه ساعت طلوع و غروب خورشید برای موقعیت های مخصوص با عرض جغرافیایی مخصوص به عنوان عملکرد انحراف از محور اصلی تغییر می کند، که به معنای تغییرات در روزهای بعدی سال می باشد. درست همانند زاویه ساعت طلوع خورشید یا غروب آن زاویه آزیموس در طلوع خورشید و غروب آن نیز در طول سال تغییر می کند. زاویه آزیموس خورشیدی از لحاظ تئوری ممکن است از ۱۸۰- درجه به ۱۸۰+ درجه تغییر کند. برای عرض جغرافیایی بین مدار رأس السرطان، برج سرطان و دایره قطبی (عرض جغرافیایی از ۲۳/۴۵ تا ۶۶/۴۵ درجه شمالی) برای طول روز خورشیدی (از طلوع تا غروب خورشید)، کمتر از ۱۲ ساعت، زاویه آزیموس خورشیدی شامل محدوده  $-90^\circ \leq \gamma_s \leq +90^\circ$  می باشد. زمانی که یک روز خورشیدی دقیقاً ۱۲ ساعت طول می کشد، زاویه

آزیموس طلوع و غروب خورشید، به ترتیب  $90^\circ -$  و  $90^\circ +$  می باشد. در مورد روز خورشیدی طولانی تر از ۱۲ ساعت خورشید از سمت شمال خط شرقی به غربی (برای عرض جغرافیایی شمالی) طلوع و غروب می کند.

این بدان معنی است که خورشید در آسمان موقعیت های مختلفی می تواند در آن واحد داشته باشد. به منظور تعیین این موقعیت با یافتن زاویه آزیموس خورشیدی ( $\gamma_s$ ) فرمول Mitchel و Braun بکار می رود. این فرمول فضای آسمان را به چهار قسمت تقسیم می کند و زاویه آزیموس خورشیدی را بصورت تابعی با عنوان شبه زاویه آزیموس خورشیدی با رابطه زیر توصیف می کند: (21)

(۱۵-۳)

$$\gamma_s = C_1 C_2 \gamma'_s + C_3 \left( \frac{1 - C_1 C_2}{2} \right) 180$$

که در آن :

(۱۶-۳)

$$\sin \gamma'_s = \frac{\sin \omega \cos \delta}{\sin \theta_z} \quad \text{or} \quad \tan \gamma'_s = \frac{\sin \omega}{\sin \varphi \cos \omega - \cos \varphi \tan \delta}$$

ضرایب  $C_1, C_2, C_3$  ثابت و برابر با ۱ یا -۱ هستند. ضریب  $C_1$  مساوی است با ۱ و -۱، وقتی که زاویه ساعت برای زمان تعیین شده (یا به طور دقیق تر و مختصرتر، مقدار مطلق آن) به ترتیب بالاتر یا پایین تر از زاویه ساعت باشد که خورشید مستقیماً در شرق یا غرب واقع است، (یعنی وقتی  $\gamma_s = \pm 90^\circ$ ) که این طور بیان می شود: [20]

(۱۷-۳)

$$C_1 = \begin{cases} +1 & \text{if } |\omega| < \omega_s \\ -1 & \text{if } |\omega| \geq \omega_s \end{cases}$$

ضریب  $c_2$  در طول دوره های طولانی تر زمانی مساوی  $+1$  یا  $-1$  می باشد، که بسته به انحراف از محور اصلی و عرض جغرافیایی براساس معادله زیر محاسبه می شود: (20)

(۱۸-۳)

$$C_2 = \begin{cases} +1 & \text{if } \varphi(\varphi - \delta) \geq 0 \\ -1 & \text{if } \varphi(\varphi - \delta) < 0 \end{cases}$$

باید توجه داشت در کشورهای واقع در شمال مدار رأس السرطان، این ضریب همیشه برابر با  $+1$  خواهد بود.

در نهایت مقدار ضریب  $c_3$  در طول روز در حال تغییر است و برای آن مقدار  $-1$  در قبل از ظهر و  $+1$  در ظهر و بعد از آن تصور می شود که به نسبت زاویه ساعت بصورت زیر محاسبه می شود: (20)

(۱۹-۳)

$$C_3 = \begin{cases} +1 & \text{if } \omega \geq 0 \\ -1 & \text{if } \omega < 0 \end{cases}$$

تعیین موقعیت دقیق خورشید در آسمان زمانی مهم است که تجزیه و تحلیل تأثیر امواج خورشیدی بر روی ساختمان صورت می گیرد. برای عرض های جغرافیایی بالاتر در تابستان، ساعت «طلوع» و «غروب» خورشید بر روی نمای ساختمان عمودی همانند زمان واقعی طلوع و غروب خورشید نیست. اگر امواج خورشیدی دریافت شده از طرف سطح در عرض جغرافیایی  $\varphi$ ، با زاویه شیب  $\beta$  و رو به جنوب قرار داشته باشد، زاویه تابش برای تابش مستقیم با روابط هندسی همانند سطح افقی واقع در عرض جغرافیایی  $(\varphi - \beta)$  می تواند محاسبه گردد. از این رو معادله (۱۳-۳) را می توان به صورت زیر تغییر داد: (20)

(۲۰-۳)

$$\cos(\theta) = \sin(\delta) \sin(\varphi - \beta) + \cos(\delta) \cos(\varphi - \beta) \cos(\omega)$$

این شکل از معادله این امکان را برای ما فراهم می آورد که زاویه تابش بکار رفته برای ایجاد دیاگرام های مسیر خورشید را تعیین کنیم. به منظور کسب بهترین شرایط آفتابگیری ممکن، ضروری است سطح بررسی شده را طوری قرار دهیم که جهت زاویه تابش به آن سطح عمود باشد. که به این معنی است که زاویه تابش پرتوهای مستقیم ( $\theta$ ) برابر با صفر باشد. در عمل یعنی سطح به کار رفته برای دریافت امواج خورشیدی باید متحرک بوده و حرکت آشکار خورشید را دنبال کند.

یک پارامتر برجسته بکار رفته در مطالعات دسترسی امواج خورشیدی طول روز خورشیدی ( $T_d$ ) می باشد، که اختلاف زمانی بین طلوع و غروب خورشید را بیان می کند. این پارامتر از روی زاویه ساعت طلوع و غروب خورشید طبق معادله (۳-۱۴) محاسبه می شود.

## ۳-۲ انواع تکنولوژی های استفاده از انرژی خورشیدی

در حال حاضر انرژیهای تجدیدپذیر حدود ۱۳/۳٪ از انرژی اولیه مورد نیاز جهان را تامین می کنند، پتانسیل آینده آنها بستگی به استخراج منابع موضعی در دسترس و همچنین غلبه بر چالش های محیطی مانند پذیرش افکار عمومی دارد. انواع مختلف انرژی های تجدیدپذیر در ابتدا وابسته به جذب تشعشع خورشید می باشند. انرژی آزاد شده از سطح خورشید  $3.86 \times 10^{20}$  MW است، میزان انرژی که از این مقدار به سطح زمین میرسد به طور میانگین در سطح دریا معادل  $1000 \text{ W/m}^2$  می باشد.

دو راه برای استفاده از انرژی دریافتی خورشید در سطح زمین وجود دارد. ساده ترین و ارزان ترین آن گرم کردن آب یا سیال دیگر به روش های مختلف از جمله تمرکز نور می باشد، اما انرژی حرارتی در اکثر

مواقع مطلوب نیست. راه دوم استحصال انرژی خورشیدی از طریق واحدهای فتوولتاییک می باشد، که به منظور تبدیل مستقیم انرژی خورشیدی به جریان الکتریسیته طراحی شده اند، و از اثر فتوولتاییک استفاده می کنند. اثر فتوولتاییک بر اساس اثر متقابل فوتون هایی با انرژی برابر یا بیش از انرژی باند ممنوعه مواد فتوولتاییک است. ماژول های فتوولتاییک انرژی خورشید را بدون آلودگی و سر و صدا و نوسانات به الکتریسیته تبدیل می کنند. انرژی خورشید چگالی انرژی کمی دارد و بنابراین ماژول های فتوولتاییک باید سطح زیادی داشته باشند تا بتوانند انرژی کمی تولید کنند. سیستم های فتوولتاییک در شبکه های قدرت به هم پیوسته از مبدل استفاده می کنند تا جریان DC تولید شده به وسیله آرایه های فتوولتاییک به جریان AC متناسب با ولتاژ و فرکانس مورد نیاز در شبکه برق تبدیل شود. تجهیزات مورد نیاز برای تولید برق از انرژی خورشیدی عبارتند از :

- آرایه فتوولتاییک

- سیستم های دنبال کننده تابش خورشید

- اینورتر یا مبدل الکترونیک قدرت AC/DC

- ذخیره ساز

- دنبال کننده حداکثر توان

- سایر تجهیزات

سلول خورشیدی یک قطعه الکترونیکی است که عموماً تحت عنوان سلول فتوولتاییک یا به طور خلاصه PV-Cell نیز شناخته می شود و وظیفه آن تبدیل تشعشعات خورشیدی به جریان الکتریسیته می باشد. اکثر سلولهای خورشیدی تجاری از یک لایه نازک سیلیکون ساخته شده اند که به دو نوع جداگانه از نیمه رساناها تفکیک می شود که یکی با بور و دیگری با فسفر پوشانده شده است. نتیجه بدین صورت است که

یک سمت از آن که نیمه رسانای n-type نامیده می‌شود تمایل به دفع الکترون و سمت دیگر آن یعنی نیمه رسانای p-type، تمایل به جذب الکترون دارد. صفحه ای که هر دو نیمه رسانا به آن متصل می‌شوند، رابط یا لایه تخلیه نامیده می‌شود. هنگامی که یک سلول خورشیدی در معرض تابش اشعه قرار می‌گیرد، الکترون‌های موجود در سیلیکون تحریک شده و از اتم‌های اصلی خود خارج می‌شوند که این پدیده فتوولتائیک نامیده می‌شود. این الکترون‌ها تمایل به حرکت به سمت قسمت p-type سلول دارند و بارهای مثبت نیز به قسمت n-type سلول متمایل می‌گردند و اختلاف پتانسیلی حدود ۰/۵ ولت بین این دو قسمت از سلول پدید می‌آید که با اتصال سیم‌های رسانا به آنها می‌توان از جریان بوجود آمده استفاده نمود. لازم به ذکر است که ولتاژ و جریان تولید شده توسط هر سلول اصولاً بسیار محدود بوده و به همین علت معمولاً تعداد زیادی از سلول‌های خورشیدی در کنار هم قرار گرفته و به صورت سری به هم متصل می‌گردند تا برق تولید شده بتواند برای منظوره‌های مختلف مورد استفاده قرار گیرد. پنل‌های خورشیدی به طور کلی به دو حالت سری یا موازی به هم متصل می‌شوند. این آرایه‌ها به حالت ثابت و یا ردیاب متحرک که بنابر فصل با زاویه تابش خورشید خود را تطبیق می‌دهند، نصب می‌شوند. ردیاب‌ها بر دو نوع هستند، ردیاب‌هایی که بر روی یک محور و یا بر روی دو محور دوران می‌کنند و ردیاب‌ها همواره پنل‌های خورشیدی را در جهت تابش خورشید نگاه داشته، بنابراین موجب افزایش راندمان خروجی پنل‌ها می‌شوند. پنل‌های خورشیدی بسته به میزان برق تولیدی خود در اندازه‌های مختلفی ساخته می‌شوند. آرایشی از چند پنل خورشیدی که در کنار هم قرار گرفته و به یکدیگر متصل می‌شوند، یک سیستم فتوولتائیک را ایجاد می‌نمایند.

راه دیگر بهره‌مندی از انرژی خورشیدی استفاده از کلکتورهای خورشیدی است. این گروه شامل سیستم‌هایی می‌شود که بر پایه کلکتورهای حرارتی با دمای پایین و بالا عمل می‌نماید. این سیستم‌ها از منبع



خورشیدی برای مصرف نهایی حرارتی استفاده می کنند. این سیستم ها خود شامل دو گروه کلکتورهای تخت و کلکتورهای متمرکز کننده می باشند. سیستم های حرارتی دارای یک بخش ذخیره هستند تا حرارت خورشید را برای استفاده در شب ممکن نمایند. اکثر سیستم های حرارتی خورشیدی برای گرمایش آب بطور تجاری، استخرهای شنا یا آب مصرفی خانه های ویلایی، آپارتمانی و هتل ها و ...، و همچنین بخش بزرگی از تقاضا برای گرمایش فضای ساختمان و برای تامین انرژی مدارهای پمپ حرارتی جذبی و نظایر آن به منظور تامین سرمایش فضای ساختمان ها نیز بکار می رود. علاوه بر این استفاده از سیستم های حرارتی خورشیدی برای کاربرد های صنعتی بعلاوه فضای ناکافی برای نصب کلکتورهای متمرکز کننده، محدودیت داشته و در حال مطالعه و بررسی بیشتر است. کاربرد های غیر نیروگاهی سیستم های حرارتی خورشیدی را می توان در زمینه های زیر بصورت صنعتی، تجاری و خانگی تقسیم بندی کرد :

- گرمایش آب مصرفی (آبگرمکن های خورشیدی) برای منازل، ساختمانها، کارخانجات و استخرها و حمام خورشیدی
- ساختمان های خورشیدی (گرمایش و سرمایش فضای داخلی ساختمان ها)
- آب شیرین کن های خورشیدی (در اندازه های خانگی و صنعتی)
- خشک کن های خورشیدی (برای خشک کردن مواد غذایی و محصولات کشاورزی)
- اجاق های خورشیدی
- پمپ های حرارتی خورشیدی

### ۳-۳ کلکتورهای انرژی خورشیدی

کلکتورهای انرژی خورشیدی انواع خاصی از مبدل های حرارتی هستند که انرژی تشعشعی خورشید را به انرژی داخلی محیط انتقال، تبدیل می کنند. جز اصلی هر سیستم گرمایی خورشیدی، بخش کلکتور آن است. این جز وسیله ای است که تشعشع ورودی خورشید را جذب و آن را به گرما تبدیل می کند و این گرما را به سیالی که معمولاً هوا، آب و یا روغن است و در داخل کلکتور در جریان می باشد، انتقال می دهد. انرژی خورشیدی جمع شده از طریق سیال بصورت گردشی یا بطور مستقیم برای گرم کردن آب یا تجهیزات تهویه محیط استفاده می شود و یا جهت ذخیره سازی انرژی حرارتی قابل استفاده در شب یا روزهای ابری به مخزن مورد نظر انتقال می یابد.

کلکتورهای انرژی خورشیدی دارای دو نوع اساسی هستند :

- کلکتورهای غیر متمرکز کننده (ساکن)<sup>۱</sup>
- کلکتورهای متمرکز کننده<sup>۲</sup>

یک کلکتور غیر متمرکز کننده دارای مساحت یکسانی برای دریافت و جذب تشعشع خورشیدی می باشد، در حالیکه یک کلکتور متمرکز کننده دارای ردیابی خورشیدی است و معمولاً دارای سطح بازتاب کننده مقعر می باشد که تشعشع مستقیم خورشید را به یک سطح دریافت کننده کوچک متمرکز می کند، بنابراین شار تشعشعی را افزایش می دهد. کلکتورهای متمرکز کننده برای کاربردهای دما بالا مناسب هستند. جدول (۱-۳) انواع کلکتورها را نشان می دهد. (۱)

### ۳-۳-۱ کلکتورهای ساکن

---

1-Non-concentrating

2- concentrating

کلکتورهای انرژی خورشیدی بطور اساسی توسط حرکتشان (ساکن، ردیابی تک محوری و ردیابی دو محوری) و دمای بهره برداری شان متمایز می شوند. کلکتورهای ساکن بطور دائم در موقعیت خود ثابت هستند و خورشید را ردیابی نمی کنند. سه نوع اصلی این کلکتورها عبارتند از :

۱- کلکتورهای صفحه تخت (مسطح)

۲- کلکتورهای جفت سهموی

۳- کلکتورهای لوله خلاء

جدول ۱-۰: کلکتورهای انرژی خورشیدی

محدوده دمایی	نسبت تمرکز	نوع جذب کننده	نوع کلکتور	حرکت
۳۰-۸۰	۱	تخت	کلکتور صفحه تخت <sup>۱</sup> (FPC)	ساکن
۵۰-۲۰۰	۱	تخت	کلکتور لوله خلاء <sup>۲</sup> (ETC)	
۶۰-۲۴۰	۱-۵	لوله ای	کلکتور جفت سهموی <sup>۳</sup> (CPC)	
۶۰-۳۰۰	۵-۱۵			
۶۰-۲۵۰	۱۰-۴۰	لوله ای	بازتاب کننده خطی فرسنل <sup>۴</sup> (LFR)	ردیابی تک محوری
۶۰-۳۰۰	۱۵-۵۰	لوله ای	کلکتور ناودانی استوانه ای <sup>۵</sup> (CTC)	

1-Flat plate collector

2-Evacuated tube collector

3- Compound parabolic collector

4- Linear fresnel reflector

5- Cylindrical trough collector

	کلکتور ناودانی سهموی <sup>۱</sup> (PTC)	لوله ای	۱۰-۸۵	۶۰-۴۰۰
ردیابی دو محوری	بازتاب کننده بشقابک سهموی <sup>۲</sup> (PDR)	نقطه ای	۶۰۰-۲۰۰۰	۱۰۰-۱۵۰۰
	کلکتور میدان هلیوستات <sup>۳</sup> (HFC)	تخت	۳۰۰-۱۵۰۰	۱۵۰-۲۰۰۰

### ۳-۲-۳ کلکتورهای صفحه تخت (مسطح)

کلکتور خورشیدی نوع خاصی از مبدل حرارتی است که انرژی تابشی خورشیدی را به گرما تبدیل میکند. کلکتور خورشیدی از چندین لحاظ با مبدل های حرارتی متداول تفاوت می کند. مبدل های حرارتی معمولاً تبادل مایع با مایع را انجام می دهند که این تبادل با نرخ انتقال حرارت بالایی انجام می پذیرد و در آن تابش عامل غیر مهمی است. در کلکتور خورشیدی، انرژی تبادل شده از منبع با فاصله زیاد به صورت انرژی تابشی سیال منتقل می شود. شار تابش برخوردی در بهترین حالت تقریباً  $1100 \text{ W/m}^2$  (بدون تمرکز نوری) بوده و متغیر می باشد. محدوده طول موج از  $0.3$  تا  $3 \mu\text{m}$  است که به طور قابل ملاحظه ای کوچکتر از تابش گسیل شده از بسیاری از سطوح جاذب انرژی می باشد. بنابراین، تحلیل کلکتور های خورشیدی مسائل منحصر به فردی از شارهای انرژی پائین، متغیر و با اهمیت نسبتاً بالای تابش، ارائه می کند.

کلکتورهای مسطح برای کاربردهایی که نیازمند تحویل انرژی در دمای متوسط شاید تا  $100$  درجه سانتیگراد بالاتر از دمای محیط هستند، طراحی می شوند. آنها از هر دو تابش خورشیدی مستقیم و پراکنده

6- Parabolic trough collector

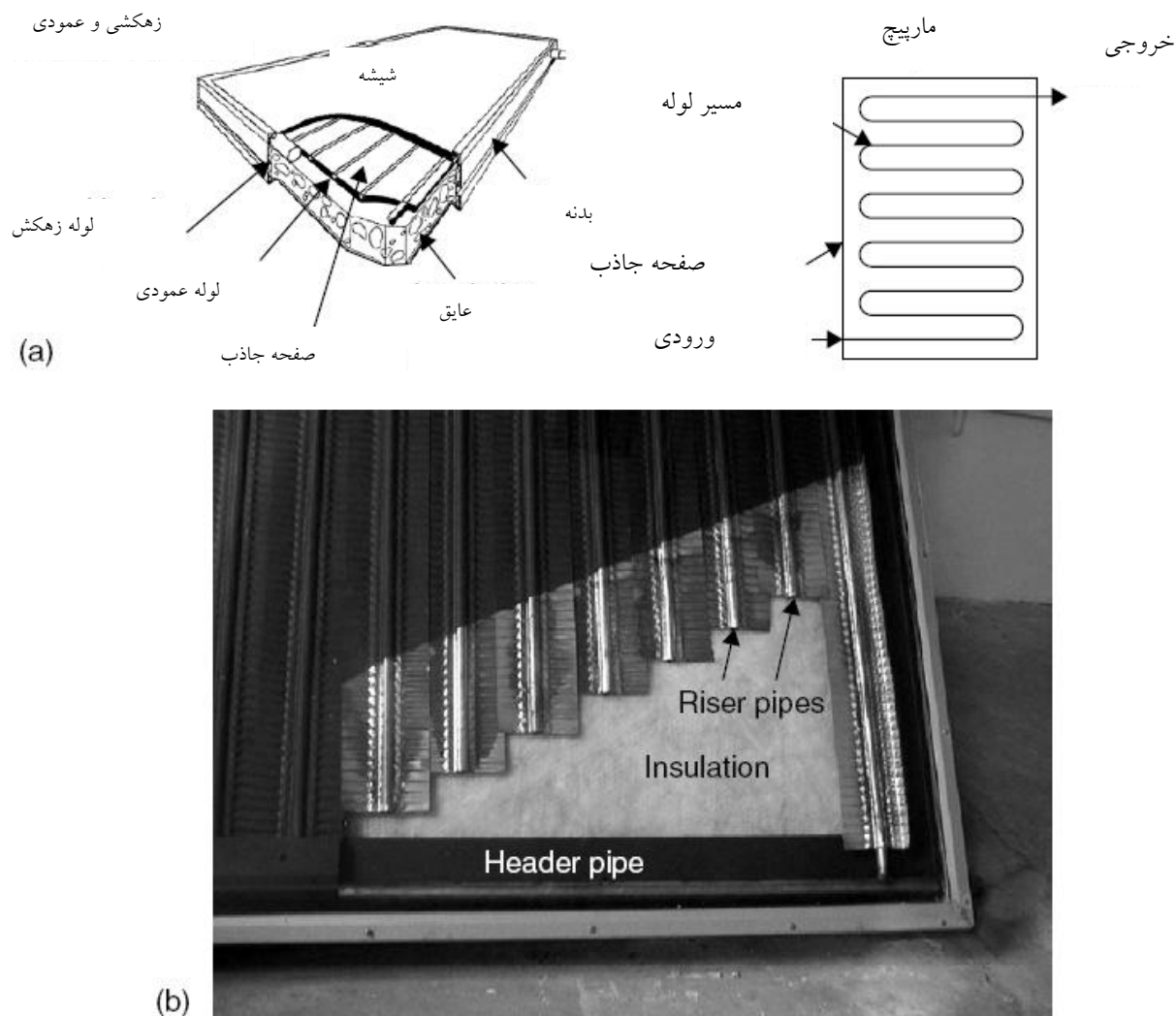
7- Parabolic dish reflector

8- Heliostat field collector

استفاده می کنند و نیازمند ردیابی خورشید نبوده و نگهداری ناچیزی نیاز دارند و از نظر مکانیکی نسبت به کلکتورهای متمرکز کننده ساده ترند. اصلی ترین کاربرد این واحد در آبگرمکن های خورشیدی، گرمایش ساختمان، تهویه مطبوع و پروسه های گرمایش صنعتی می باشد. گرمایش غیر فعال ساختمان را می توان به صورت موارد خاص کلکتورهای مسطح، جاذب هایی مثل اتاق یا دیوار ذخیره ای در نظر گرفت.

اهمیت کلکتورهای مسطح در پروسه های حرارتی به صورتی است که عملکرد حرارتی آنها بصورت قابل ملاحظه ای با جزئیات بیان می شود. این امر برای شناخت چگونگی کارکرد اجزا انجام شده است. در موارد عملی محاسبات طراحی و معادلات بازدهی کلکتور به صورت روابط نسبتاً ساده ای کاهش یافته اند.

یک کلکتور صفحه تخت نمونه در شکل (۳-۵) نشان داده شده است. وقتی تشعشع خورشید از درون پوشش شفاف عبور می کند و به سطح جذب کننده سیاه با ضریب جذب بالا برخورد میکند، بخش زیادی از این انرژی توسط این سطح جذب شده و به محیط انتقال در لوله های سیال برای استفاده یا ذخیره منتقل می شود. سطح پایینی صفحه جذب کننده و کناره ها برای کاهش تلفات هدایت به خوبی عایق می شوند. لوله های مایع می توانند به صفحه جذب کننده جوش شوند یا با صفحه به صورت یکپارچه باشند. لوله های مایع در دو طرف به لوله های زهکشی با قطر بزرگ تر متصل می شوند.



شکل ۹-۱۰: کلکتور صفحه تخت (الف) نمای تجسمی از یک کلکتور صفحه تخت (ب) عکس یک برش از یک کلکتور صفحه تخت با لوله های قائم و زهکشی (۱)

کلکتور با لوله های قائم و زهکشی، طراحی معمول برای کلکتور های صفحه تخت می باشد. یک طراحی دیگر، طراحی ماریچی است، که در سمت راست شکل (۳-۵ الف) نشان داده شده است. کلکتور ماریچی نمی تواند به طور موثر در حالت ترموسیفون (گردش طبیعی) کار کند و به یک پمپ برای گردش سیال انتقال حرارت، نیاز دارد. صفحه جذب کننده می تواند یک ورقه باشد که به آن لوله های قائم ثابت شده اند یا هر لوله قائم می تواند به یک تیغه جدا ثابت شود، همانطور که در شکل (۳-۵ ب) نشان داده شده است.

یک پوشش شفاف برای کاهش تلفات جابجایی از صفحه جذب کننده استفاده می شود که با این کار لایه های هوای ایستا بین صفحه جذب کننده و شیشه حبس می شوند. همچنین این پوشش تلفات تشعشعی کلکتور را کاهش می دهد، زیرا شیشه برای اشعه های موج کوتاه دریافتی از خورشید شفاف است اما برای اشعه های حرارتی موج بلند ساطع شده از صفحه جذب کننده تقریباً غیر شفاف می باشد (اثر گلخانه ای). مزیت کلکتور های صفحه تخت این است که برای تولید ارزان قیمت هستند، هر دو تشعشع مستقیم و پراکنده را دریافت و جمع می کند و به صورت دائم در موقعیتشان ثابت هستند. بنابراین به هیچ ردیابی خورشیدی نیاز ندارد. این کلکتورها باید مستقیماً نسبت به خط استوا، در نیمکره شمالی رو به جنوب و در نیمکره جنوبی رو به شمال جهت دهی شوند. زاویه شیب بهینه این کلکتور برابر با عرض جغرافیایی محل، با اختلاف زاویه ۱۰ تا ۱۵ درجه یا کمتر می باشد که بستگی به کاربرد مورد نظر دارد. در کاربردهای سرمایش خورشیدی، زاویه بهینه برابر عرض جغرافیایی منهای ۱۰ درجه می باشد. بنابراین خورشید نسبت به کلکتور در طول تابستان زمانی که این انرژی به صورت حداکثری مورد نیاز است، به صورت عمودی خواهد بود. در کاربردهای گرمایش محیط، زاویه بهینه برابر عرض جغرافیایی بعلاوه ۱۰ درجه می باشد. در حالی که برای تولید آب گرم سالیانه این مقدار برابر با عرض جغرافیایی بعلاوه ۵ درجه خواهد بود تا در زمستان یعنی زمانی که آب گرم بیشتری مورد نیاز است، به طور نسبی بهترین عملکرد را داشته باشد.

اجزا مهم کلکتور صفحه تخت همانطور که در شکل (۳-۶) نشان داده شده است، به شرح زیر می باشد:

◀ پوشش: یک یا چند ورق شیشه ای یا هر ماده شفاف تشعشعی دیگر.

◀ گذرگاه های سیال برای انتقال گرما: لوله ها، تیغه ها یا گذرگاه هایی که سیال انتقال حرارت را از

ورودی به خروجی هدایت می کنند.

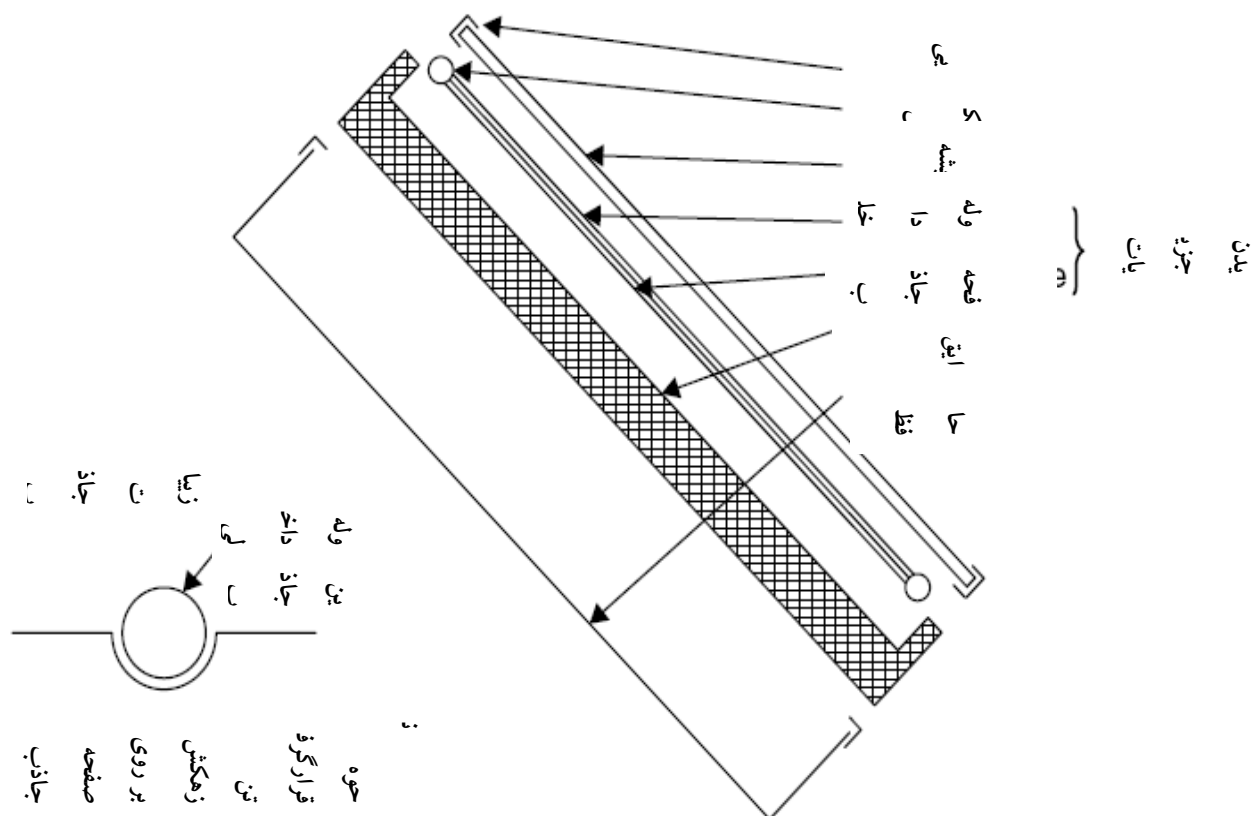
◀ صفحه جذب کننده: صفحات تخت، چین دار و یا شیاردار هستند که به لوله ها، تیغه ها یا

گذرگاه ها متصل می شوند. یک روش اتصال، ثابت کردن به صورت محاطی می باشد، که

در شکل (۷-۳) با جزئیات نشان داده شده است. صفحه معمولاً با لایه با ضریب جذب بالا و ضریب صدور پایین پوشانده می شوند.

- ◀ زهکش ها: لوله ها و مجراهایی که سیال را جمع و تخلیه می کنند.
- ◀ عایق: برای به حداقل رساندن تلفات حرارتی از عقب و کناره های کلکتور استفاده می شود.
- ◀ محفظه: محفظه ای که اجزای گفته شده را در بر میگیرد و از آن در برابر ذرات، رطوبت و هر ماده دیگری محافظت می کند.

÷



شکل ۷-۳: نمایی از جزئیات جذب کننده کلکتور صفحه تخت (۱)

کلکتور های صفحه تخت در انواع گسترده ای از طراحی ها و از مواد مختلفی ساخته می شوند. این کلکتور ها برای گرم کردن سیالاتی مانند آب، آب همراه با مواد ضد یخ و یا هوا استفاده می شوند. هدف اصلی این



کلکتور ها گردآوری حداکثری انرژی خورشیدی در کمترین قیمت کل ممکن، می باشد. این کلکتورها همچنین به رغم اثرات ناسازگار اشعه فرابنفش خورشید، خوردگی و گرفتگی به علت اسیدی، بازی یا سختی مایع انتقال حرارت، یخ زدگی آب، یا رسوب گیری مجرا یا رطوبت روی جداره شیشه ای و شکستگی شیشه به علت انبساط حرارتی، تگرگ و یا سایر علت ها باید عمر موثر طولانی داشته باشند. این عوامل را می توان با استفاده از شیشه سکوریت به حداقل رساند.

#### الف) مواد جداره شیشه ای

شیشه به طور وسیعی برای جداره شیشه ای کلکتور های خورشیدی استفاده می شود، زیرا شیشه می تواند ۹۰٪ تابش ورودی خورشیدی را که موج کوتاه است، انتقال دهد در حالی که تقریباً هیچ تشعشع موج بلندی را که از صفحه جذب کننده به سمت بیرون انتشار می یابد، از خود عبور ندهد. شیشه پنجره معمولاً دارای محتوای آهن زیادی است و برای استفاده در کلکتورهای خورشیدی مناسب نیست. شیشه با محتوای آهن کم به طور نسبی، ضریب عبوردهی بالایی برای تشعشع خورشیدی دارد (تقریباً ۸۵٪ تا ۹۰٪ در برخورد عمود). اما این شیشه برای تشعشع حرارتی موج بلندی که توسط سطوح گرم شده صادر می شود، دارای ضریب عبور دهی صفر می باشد (۵ تا ۵۰ میکرون).

ورقه ها و لایه های نازک پلاستیکی نیز دارای ضریب عبوردهی بالا برای اشعه موج کوتاه می باشند اما به خاطر اینکه بیشتر انواعی که به کار می روند دارای باند انتقال متوسطی برای طیف تشعشع حرارتی هستند، معمولاً دارای ضریب عبوردهی موج بلند به بزرگی ۰/۴ می باشند. بعلاوه، پلاستیک ها عموماً با دماهایی که بدون هیچ تغییر ابعادی یا خرابی می توانند تحمل کنند، محدود می شوند. تنها تعداد کمی از پلاستیک ها

می توانند در برابر اشعه فرابنفش خورشید به مدت طولانی مقاومت کنند. با این حال، پلاستیک ها با تگرگ شکسته نمی شوند و در شکل های لایه نازک کاملاً انعطاف پذیرند و جرم کمی دارند. شیشه های پنجره تجاری و گلخانه ای به ترتیب دارای ضریب عبور دهی برخورد نرمال حدود ۸۷٪ و ۸۵٪ هستند. برای تشعشع مستقیم، ضریب عبوردهی به طور قابل ملاحظه ای با زاویه تابش تغییر می کند. پوشش ها با بافت های سطحی آنتی رفلکس می توانند ضریب عبوردهی را به طور قابل توجهی بهبود بخشند. اثر لکه و غبار بر روی جداره شیشه ای کلکتور ممکن است کاملاً کوچک باشد و اثر تمیز کردن بارش های اتفاقی باران معمولاً کفایت می کند، تا ضریب عبوردهی را در حدود ۲٪ تا ۴٪ مقدار ماکزیمم خود نگه دارد. غبار معمولاً در فصل تابستان زمانی که ریزش باران اندک است، جمع می شود، اما به خاطر تابش شدید خورشید در این فصل، غبار کلکتور را از اورهیت شدن (بیش از حد گرم شدن) محافظت میکند.

جداره شیشه ای باید مقدار زیادی از تابش خورشیدی را تا آنجا ممکن است، عبور دهد و تلفات حرارتی به بیرون را تا حد ممکن کاهش دهد. اگرچه شیشه بطور بالقوه برای اشعه های موج بلند صادر شده از صفحات کلکتور غیر شفاف است، اما جذب تشعشع دمای شیشه را افزایش داده و باعث ایجاد تلفات حرارتی به اتمسفر اطراف از طریق تشعشع و جابجایی می شود.

#### ب) صفحات جذب کننده کلکتور

صفحه کلکتور بیشترین تشعشعی را که از طریق جداره شیشه ای عبور کرده جذب می کند در حالی که مقدار کمی از حرارت به سمت بالا به اتمسفر و مقدار کمی به عقب به سمت محفظه به صورت تلفات

انتقال داده می شود. صفحات کلکتور حرارت باقی مانده و تلف شده را به سیال انتقال حرارت منقل می کنند. برای به حداکثر رساندن جمع آوری انرژی، جذب کننده یک کلکتور باید پوششی داشته باشد که ضریب جذب بالایی برای تشعشع خورشیدی (طول موج کوتاه) و ضریب صدور کمی برای تشعشع بازتابی (طول موج بلند) داشته باشد. این صفحه منتخب نامیده می شود. ضریب جذب سطح کلکتور برای تشعشع خورشیدی موج کوتاه به ماهیت رنگ پوشش و زاویه تابش بستگی دارد. معمولاً رنگ سیاه استفاده می شود. اما عموماً به دلیل زیبایی، پوشش ها با رنگ های مختلفی پیشنهاد می شوند.

با عملیات شیشمایی یا الکترولیتی مناسب، سطوحی با ضریب جذب ( $\alpha$ ) بالا برای تشعشع خورشیدی و ضریب صدور ( $\varepsilon$ ) کم برای تشعشع های بازتابی موج بلند، می توان تولید کرد. اساساً، صفحه منتخب معمولی، شامل یک لایه نازک رویی است که برای تشعشع خورشیدی موج کوتاه به شدت جاذب است اما به طور نسبی برای تشعشع حرارتی موج بلند شفاف می باشد و این لایه بر روی سطحی قرار داده می شود که برای تشعشع موج بلند ضریب صدور کم و ضریب بازتاب بالایی دارد. وقتی دمای سطح کلکتور خیلی بالاتر از دمای هوای محیط می باشد، صفحات منتخب به طور خاص اهمیت پیدا می کنند. ارزاترین پوشش جذب کننده به رنگ سیاه مات است. با این حال این پوشش ها منتخب نیستند و عملکرد کلکتوری که به این طریق تولید می شود، به ویژه برای دماهای بهره برداری بیش از ۴۰ درجه بالاتر از دمای محیط، پایین می باشد. کلکتور خورشیدی کارآمد و موثر از لحاظ انرژی، باید تشعشع خورشیدی برخوردی را جذب کرده و آن را به انرژی حرارتی تبدیل کند و این انرژی حرارتی را به محیط انتقال حرارت با حداقل تلفات در هر مرحله انتقال دهد. ممکن است از چندین اصول طراحی و مکانیزم فیزیکی برای ایجاد صفحه منتخب جذب کننده خورشیدی استفاده شود. جذب کننده های خورشیدی که تحت عنوان جذب کننده های پشت سرهم نامیده می شوند، دارای دولایه ای هستند که خواص نوری متفاوتی دارند. یک پوشش دی الکتریک یا نیمه رسانا با ضریب جذب خورشیدی بالا و ضریب عبوردهی مادون قرمز بالا بر روی یک ماده

غیر منتخب با ضریب بازتاب بالا مانند فلز، یک نوع جذب کننده بالا و غیر انتخابی را با یک آینه حرارتی که ضریب عبور دهی خورشیدی بالا و ضریب بازتاب مادون قرمز بالایی دارد، پوشش می دهند.

امروزه، جذب کننده های خورشیدی تجاری با آبکاری الکتریکی، آنودیزاسیون، تبخیر، پراکشی و بکارگیری رنگ کارهای منتخب خورشیدی ساخته می شوند. بیشتر انواع پوشش های منتخبی که بکار گرفته شده اند، به طور گسترده از کروم سیاه هستند. بیشتر پیشرفته ها در سال های اخیر بر اساس بکارگیری تکنیک های خلاء برای تولید جذب کننده های نوع تیغه مورد استفاده در کاربردهای دما پایین می باشد.

فرآیندهای الکتروشیمیایی که برای تجاری کردن جذب کننده ها به کار می رفتند با فرآیند صنعتی پرداخت فلز جایگزین شدند. ایجاد شرایط جذب کننده های خورشیدی که در کاربردهای دما بالا استفاده می شد (برای مثال، ضریب صدور حرارتی به شدت پایین و ثبات دمایی بالا) برای فرآیند های تر مشکل بود.

بنابراین، رسوب پراکشی مقیاس بزرگ در اواخر دهه ۱۹۷۰ توسعه یافت. امروزه تکنیک های خلاء رشد یافته است و دارای مزیت های هزینه کم و آلودگی محیطی کم نسبت به فرآیند های تر می باشد.

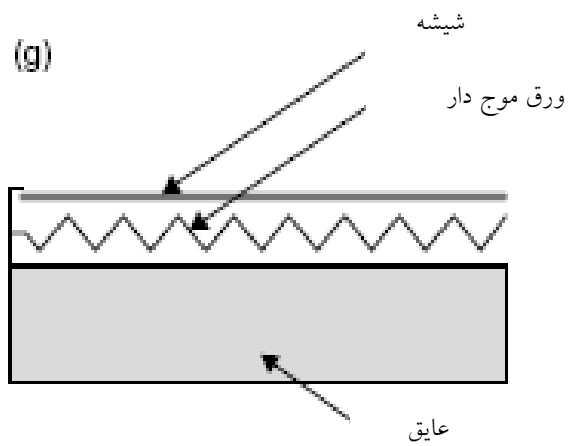
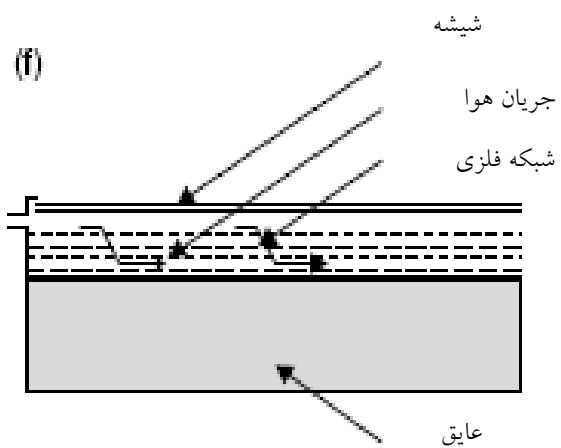
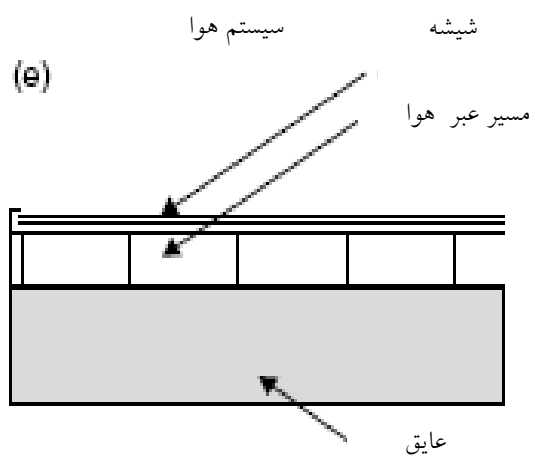
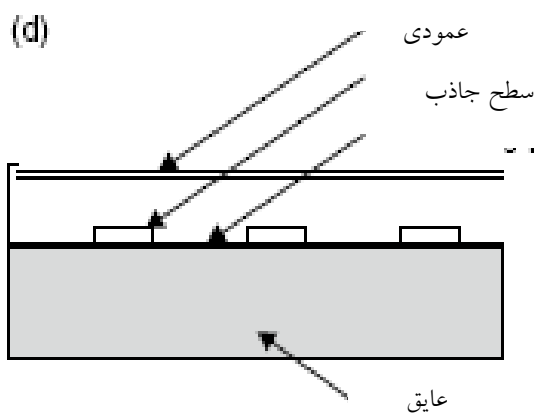
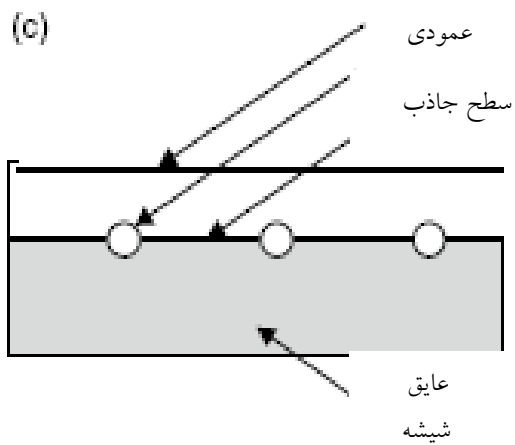
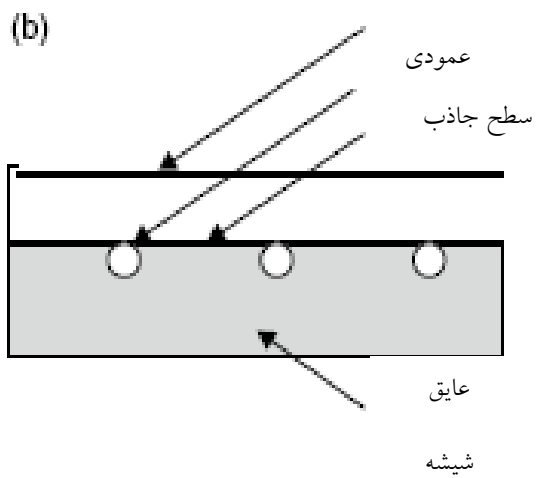
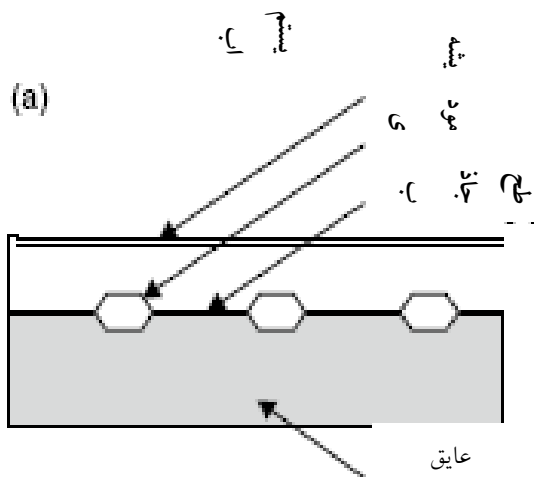
### ۳-۳-۳ ساختار کلکتور مسطح

برای کلکتور های گرمایش سیال، گذرگاه ها یا باید با صفحات جذب کننده، یکپارچه باشند یا به طور محکم به آن متصل شوند. در این حالت مساله مهم بدست آوردن یک اتصال حرارتی خوب بین لوله ها و صفحات جذب کننده بدون هزینه های اضافی برای نیروی انسانی و مواد می باشد. موادی که بیشتر برای صفحات کلکتور استفاده میشوند: مس، آلومینیوم و فولاد ضد زنگ هستند. اکستروژن های پلاستیک مقاوم در برابر اشعه فرابنفش برای کاربردهای دما پایین استفاده می شوند. اگر کل مساحت کلکتور با سیال انتقال

حرارت در تماس باشند، کندوکتانس حرارتی ماده مهم نیست. در فاصله بین جذب کننده و پوشش در محدوده ۱۵ تا ۴۰ میلی متر، اتلاف حرارت جابجایی در کلکتور به طور نسبی محسوس نمی باشد. عایق کلکتور تخت از پشم شیشه یا پوشش فیبری معدنی ساخته می شود. پشم شیشه نوع ساختمانی مناسب نیست؛ زیرا الیاف آن در دمای بالا تبخیر می شوند و بر روی پوشش کلکتور چگالیده شده و ورودی تشعشع خورشیدی را مسدود می کند. شکل (۷-۳) تعدادی از طراحی های صفحات جذب کننده برای هیترهای خورشیدی هوا و آب را نشان می دهد که برای دستیابی به درجه های مختلف استفاده می شوند. شکل (۷-۳ a) یک طراحی اتصال ورقی را نشان می دهد، که در آن گذرگاه های سیال به صفحه یکپارچه شده اند تا هدایت حرارتی خوبی بین فلز و سیال برقرار شود. شکل (۷-۳ b) و (۷-۳ c) هیترهای سیال با لوله هایی که از طریق جوش کاری یا لحیم کاری یا سایر روش ها به سطح بالایی و پایینی ورق ها (جزئیات شکل (۷-۳) را نیز ببینید) متصل شده اند را نشان می دهند. لوله های مسی به خاطر مقاومت فوق العاده شان در برابر خوردگی عمدتاً استفاده می شوند. سیمان حرارتی، مفصل های کابلی، بست ها و یا سیم پیچ ها تلاش هایی در جهت جستجو برای روش های اتصال کم هزینه می باشند. شکل (۷-۳ d) استفاده از لوله ها در قالب مستطیلی را نشان می دهد، که باعث ایجاد مساحت انتقال حرارت بزرگ تری بین لوله و صفحه می شود. فشار میکائیک، سیمان حرارتی، یا لحیم کاری ممکن است برای اتصال این مجموعه استفاده شود. از لحیم کاری نرم باید اجتناب شود؛ زیرا در شرایط ایستا، دمای بالای صفحه می تواند لحیم را ذوب کند.

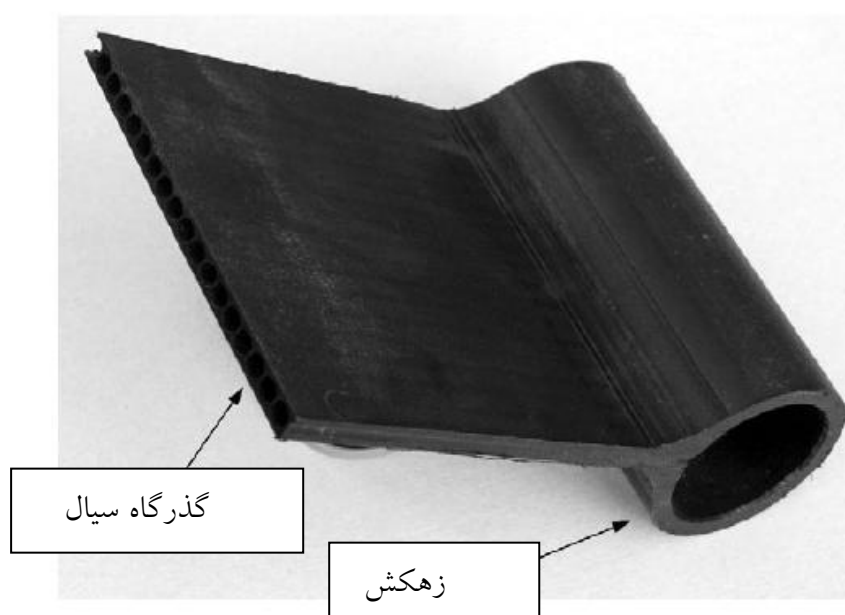
اختلاف اساسی بین کلکتور های مبتنی بر هوا و آب بر می گردد به نیاز به طراحی یک جذب کننده که کمبود انتقال حرارتی که به علت ضرایب انتقال حرارت پایین تر بین هوا و جذب کننده خورشیدی به وجود آمده است را جبران کند. هوا یا دیگر گازها می توانند با کلکتورهای صفحه تخت گرم شوند، به ویژه

اگر سطح بسط یافته (شکل (e ۷-۳)) برای خنثی کردن ضریب انتقال حرارت پایین بین فلز و هوا استفاده شود.. ماتریس های پارچه ای یا فلزی (شکل (f ۷-۳)) و ورق های فلزی چین دار نازک (شکل (g ۷-۳)) یا جذب کننده های مخلخل وقتی که سطوح بالای عملکرد مورد نیاز می باشد، ممکن است استفاده شوند. نیاز اساسی این طراحی ها دارا بودن سطح تماس بالا بین سطح جذب کننده و هوا می باشند. ظرفیت حرارتی هوا خیلی کمتر از آب می باشد، از این رو نرخ های جریان حجمی بزرگ تری از هوا مورد نیاز است که قدرت پمپ بالاتری را نتیجه می دهد. کاهش تلفات حرارتی از جذب کننده را می توان یا از طریق صفحه منتخب با کاهش انتقال حرارت تشعشعی یا با منع انتقال حرارت جابجایی انجام داد.



شکل ۱۱-۰: انواع مختلف آرایش های جذب کننده کلکتور خورشیدی صفحه تخت برای آب و هوا (۲۱)

طبقه بندی دیگری از کلکتور ها که در شکل (۷-۳) نشان داده نشده است، کلکتور خورشیدی بدون جداره شیشه ای یا بدون پوشش می باشد. این کلکتور ها معمولاً واحد های کم هزینه ای هستند که میتوانند انرژی حرارتی خورشید را با هزینه هایی موثر در کاربردهایی مانند پیش گرمایش آب برای مصارف خانگی یا صنعتی، گرمایش استخرهای شنا، گرمایش فضا و گرمایش هوا برای کاربردهای صنعتی و کشاورزی عرضه کنند. عموماً این کلکتور ها در مواردی که دمای بهره برداری کلکتور نزدیک محیط می باشد، بکار می روند. این کلکتور ها معمولاً کلکتورهای پانلی نامیده می شوند که شامل یک ورقه جذب کننده پلاستیکی پهن و گذرگاه های سیال با فاصله نزدیک به هم هستند (شکل (۸-۳)). موادی که برای کلکتورهای پانلی پلاستیکی استفاده می شوند، شامل پلی پروپیلن، پلی اتیلن، اکریلیک و پلی کربنات می باشند.



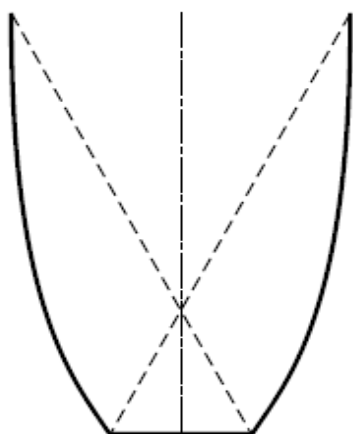
شکل ۱۲-۰: یک صفحه جذب کننده کلکتور پلاستیکی (۲۰)



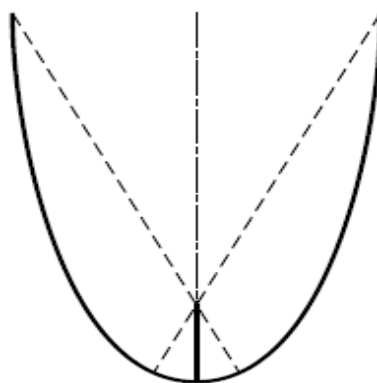
### ۳-۳-۴ کلکتورهای جفت سهموی

کلکتورهای جفت سهموی (CPC) نوعی از کلکتورهایی هستند که هم بعنوان کلکتور ساکن و هم کلکتور متمرکز کننده بکار می روند. در اصل این نوع کلکتورها از نوع کلکتورهای متمرکز کننده غیر تصویری هستند. این کلکتورهای قابلیت این را دارند که تشعشع برخوردی را در محدوده وسیعی به جذب کننده بازتاب کنند. ضرورت حرکت این متمرکز کننده برای تطبیق یافتن با تغییر جهت خورشید، با استفاده از یک ناودانی که دارای دو بخش رویه سهمی است، کاهش می یابد. (شکل ۳-۹)

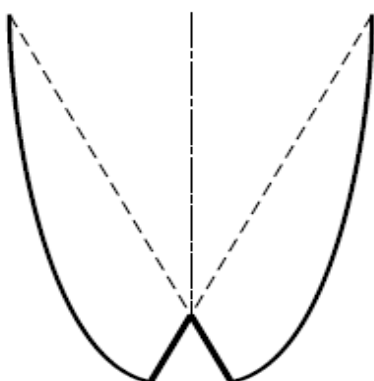
متمرکز کننده های جفت سهموی می توانند به طور نسبی تشعشع ورودی را در محدوده وسیعی از زاویه ها دریافت کنند. با استفاده از بازتاب های داخلی متعدد، هر اشعه که تحت زاویه پذیرش وارد دهانه داخلی کلکتور می شود، مسیر خود را به سمت سطح جذب کننده واقع در انتها کلکتور پیدا می کند. جذب کننده می تواند آرایش های مختلفی داشته باشند. جذب کننده می تواند تخت، دو رویه، گوه ای، یا استوانه ای باشد، که در شکل (۳-۱۰) نشان داده شده است .



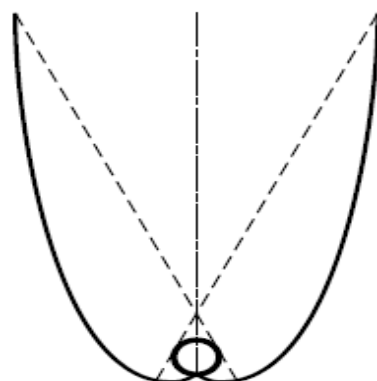
جاذب تخت



جاذب دو طرفه



جاذب مثلثی

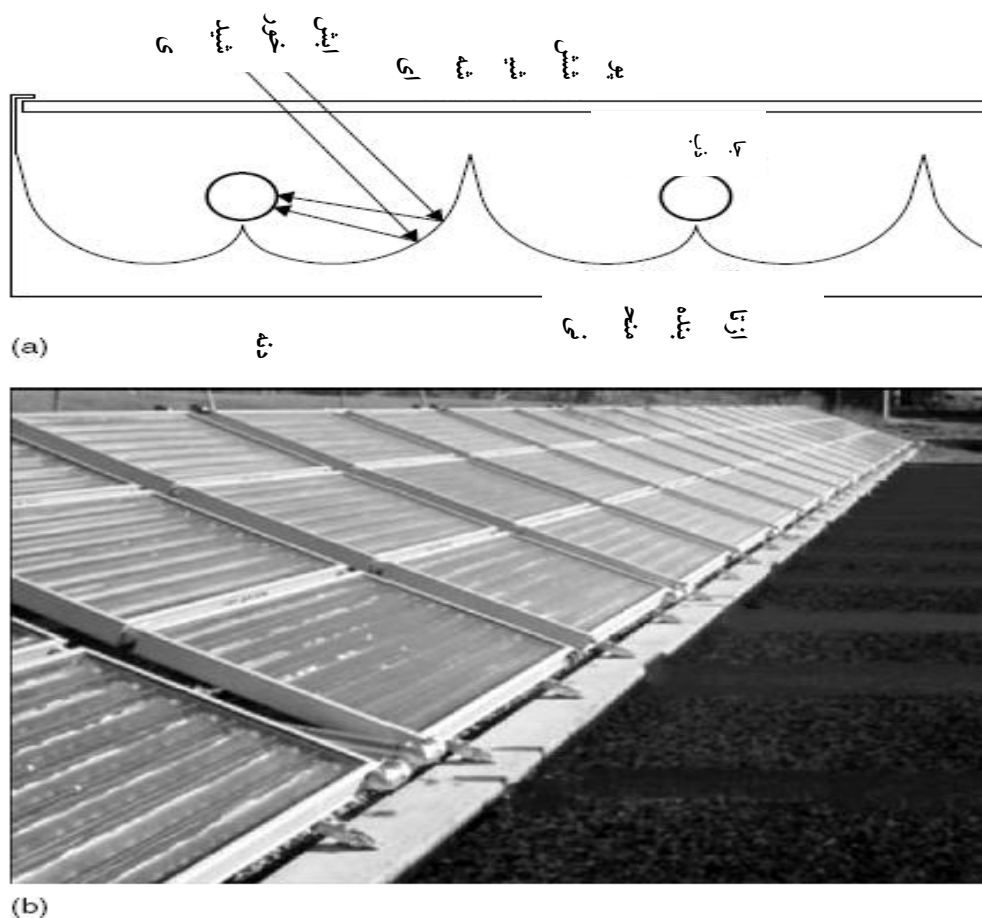


جاذب لوله ای

شکل ۱۳-۰: انواع جاذب کننده های مختلف کلکتور جفت سهموی (۱)

دو نوع اساسی از کلکتورهای جفت سهموی که طراحی شده اند عبارتند از: متقارن و غیر متقارن. کلکتورهای جفت سهموی معمولاً دو نوع اصلی از جذب کننده ها را به کار می برند: جذب کننده نوع تیغه ای با یک لوله و جذب کننده لوله ای. نوع تیغه ای می تواند تخت، دو رویه یا گوه ای باشد، همان طور که در شکل (۳-۹) برای نوع متقارن نشان داده شده است و همچنین می تواند تک کاناله یا چند کاناله باشد.

کلکتورهای جفت سهموی باید یک فاصله بین دریافت کننده و بازتاب کننده داشته باشند تا از اینکه بازتاب کننده به عنوان یک تیغه، حرارت را از جذب کننده هدایت کند جلوگیری شود. چون این فاصله باعث اتلاف مساحت بازتاب کننده و متناظر اتلاف عملکرد می شود، باید کوچک نگه داشته شود. این موضوع برای دریافت کننده های تخت مهم تر می باشد.



شکل ۱۴-۰: کلکتور جفت سهموی پانلی با جذب کننده های استوانه ای (الف) دیاگرام شماتیک (ب) عکس نصب

### کلکتور جفت سهموس پانلی (۱)

برای کاربردهای دما بالاتر، کلکتور جفت سهموی ردیابی می تواند استفاده شود. وقتی ردیابی استفاده می شود، چون نسبت تمرکز معمولاً پایین است و تشعشع با یک یا چند بازتاب بر روی سطوح سهموی می تواند جمع و تمرکز شود این ردیابی خیلی ناهموار و متناوب می باشد. کلکتورهای جفت سهموی می توانند یا به صورت تک واحدی با یک دهانه و یک دریافت کننده (۳-۹) یا به صورت یک پانل (شکل ۳-۱۰) تولید شوند. وقتی این کلکتور به صورت یک پانل ساخته می شود، شبیه کلکتور صفحه تخت می باشد. همانطور که در شکل (۳-۱۰ ب) نشان داده شده است.

### ۳-۳-۵ کلکتورهای لوله خلاء

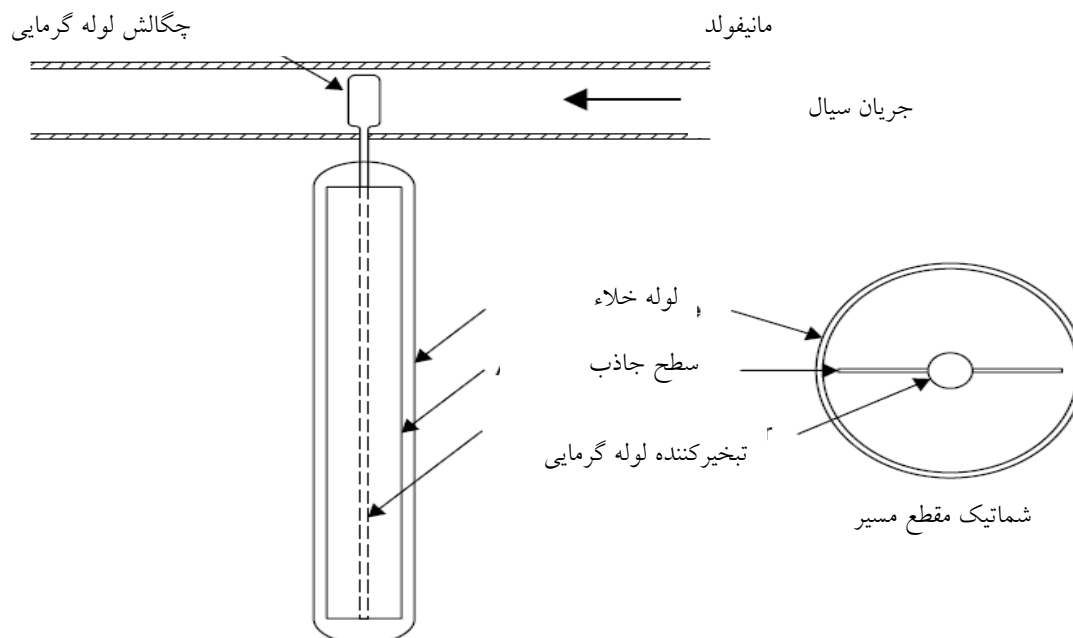
کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت ساده معمولی برای آب و هواهای گرم و آفتابی استفاده می شوند. با این حال مزایای آنها در شرایط نا مساعد در طی روزهای بادی، ابری و سرد به شدت کاهش می یابد. بنابراین اثرات عوامل جوی مانند تقطیر و رطوبت، باعث فرسودگی مواد داخلی، در نتیجه کاهش عملکرد و شکست سیستم می شود. کلکتورهای خورشیدی لوله حرارتی خلاء (لوله ها) بصورت متفاوتی نسبت به سایر کلکتورهای موجود در بازار بهره برداری می شوند. این کلکتورهای خورشیدی شامل یک لوله حرارتی داخل یک لوله آب بندی شده خلاء می باشد. همانطور که در شکل (۳-۱۱) نشان داده شده است. در یک ساختار واقعی، لوله های زیادی به یک چند راهه، همانطور که در شکل (۳-۱۲) نشان داده شده است، متصل می شوند.

کلکتورهای لوله خلاء نشان می دهند که ترکیب یک صفحه منتخب و یک جلوگیری کننده موثر جابجایی می تواند باعث عملکرد خوب در دماهای بالا شود. محفظه خلاء تلفات هدایت و جابجایی را کاهش می دهد، بنابراین این کلکتورها می توانند در دماهای بالاتر از کلکتور صفحه تخت بهره برداری شوند. شبیه کلکتورهای صفحه تخت، این کلکتورها هر دو اشعه مستقیم و پراکنده را جمع می کنند. با این حال، بازده آن ها در زوایای تابش کم، بالاتر است. این اثر باعث می شود که کلکتورهای لوله خلاء دارای مزیت نسبت به کلکتورهای صفحه تخت در شرایط عملکرد روزانه باشند.

کلکتورهای لوله خلاء از تغییر فاز مایع - بخار مواد برای انتقال حرارت در بازده بالا استفاده می کنند. این کلکتورها یک لوله حرارتی (یک هدایت کننده حرارتی با بازده بالا) را نشان می دهند که داخل یک لوله آب بندی شده خلاء قرار می گیرد. این لوله که یک لوله مسی آب بندی شده است. سپس به یک تیغه مسی سیاه که لوله (صفحه جذب کننده) را پر می کند، متصل می شود. برآمدگی بالای هر لوله یک سر فلزی است که به هر لوله آب بندی شده (کندانسور) متصل می شود. لوله انتقال حرارت شامل یک مقدار کمی از سیال است (مانند متانول) که متحمل یک سیکل تبخیر - تقطیر می شود. در این سیکل، حرارت خورشیدی مایع را تبخیر می کند و این بخار به ناحیه چاه حرارتی جایی که این بخار تقطیر می شود و گرمای نهانش را از دست می دهد، منتقل می شود. این سیال تقطیر شده دوباره به کلکتور خورشیدی بر میگردد و این فرآیند تکرار می شود. وقتی این لوله ها نصب می شوند این سرهای فلزی به صورت یک مبدل حرارتی (چند راهه) ظاهر می شوند. همانطور که در شکل (۳-۱۱) نشان داده شده است. آب یا الکل (گلیکول) از درون چند راهه جریان می یابد و حرارت را از لوله ها دریافت می کند. این مایع گرم شده درون مبدل حرارتی دیگری گردش کرده و حرارت خودش را به یک فرآیند یا به آب ذخیره شده در مخزن خورشیدی

منتقل می کند. در یک کاربرد دیگر، کلکتور لوله خلاء مستقیماً به مخزن ذخیره آب گرم متصل می شود.

(۲۱)

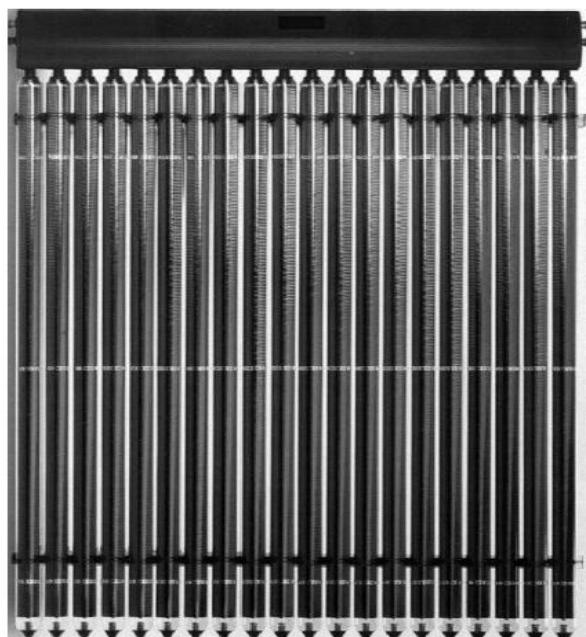


شکل ۱۵-۰: دیاگرام شماتیک یک کلکتور لوله خلاء

به دلیل اینکه هیچ تبخیر یا تقطیری بالاتر از دمای تغییر فاز رخ نمی دهد، لوله حرارتی به صورت ذاتی در برابر یخ زدگی و اورهیت شدن حفاظت می شوند. کنترل دمایی خود محدود شوندگی از ویژگی هایی منحصر به فرد کلکتور لوله حرارتی خلاء می باشد.

کلکتورهای لوله خلاء شامل یک لوله حرارتی داخل یک لوله خلاء آب بندی شده می باشند. مشخصات یک کلکتور نمونه از این نوع در جدول شماره (۲-۳) نشان داده شده است. در بازار، کلکتورهای لوله خلاء دارای شکل های مختلف جذب کننده هستند. لوله خلاء با بازتاب کننده های کلکتور جفت سهموی توسط چندین تولید کننده به صورت اقتصادی عرضه می شوند. طرحی که برای کاهش و افزایش طول عمر

ارائه شده است. کلکتور لوله خلاء نوع دو جداره تمام شیشه ای می باشد. این نوع کلکتور از دو لوله شیشه ای هم محور استفاده می کند و فاصله بین لوله ها خلاء می باشد که یک پوشش خلاء ایجاد می کند. در این نوع کلکتور لوله خلاء پوشش منتخب بر روی سطح بیرونی گنبد انتهایی لوله شیشه ای اندود می شود. این لوله سپس درون یک لوله شیشه ای با قطر بزرگ تر دوم قرار می گیرد و این لوله ها در انتها باز به هم متصل می شوند. مزیت این طراحی این است که تماماً از شیشه درست شده است و لازم نیست برای استخراج گرما از لوله، به محفظه شیشه ای نفوذ کرد و تلفات ناشی حذف شده است و نگهداری آن از سیستم تک محفظه ای ارزان تر می باشد. به هر حال این طراحی ها فقط برای سیستم های کم فشار مناسب هستند و دارای این اشکال هستند که لوله ها نمی توانند زهکشی شوند؛ یعنی اگر یک لوله بشکند، تمام سیال عامل ممکن است تلف شود. این طراحی همچنین ECT لوله مرطوب نامیده می شود. یک دسته از ETC لوله مرطوب، ETC تک شیشه ای نرمال است که در آن آب (یا سیال دیگری) درون کلکتور یا در لوله U شکل یا لوله هم محور جریان دارد.



شکل ۰-۱۶: نصب کلکتورهای لوله خلاء واقعی (۲۰)

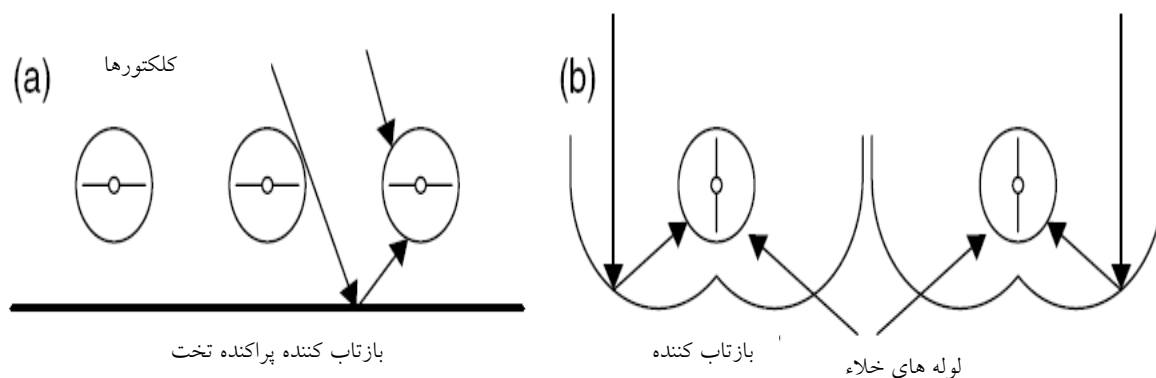
کلکتور های لوله خلاء به طور نسبی گران هستند. هزینه موثر این کلکتورها با کاهش تعداد لوله ها و استفاده از بازتاب کننده ها برای متمرکز کردن تشعشع خورشیدی بر روی لوله ها می تواند بهبود پیدا کند. یک بازتاب کننده پراکنده (ضریب بازتاب،  $\rho = 0.6$ ) پشت لوله ها نصب می شود، که در فاصله یک قطر لوله از هم قرار دارند، همانطور که در شکل (۳-۱۳ الف) نشان داده شده است، این بازتاب کننده انرژی جذب کننده در هر لوله را بیش از ۲۵٪ برای برخورد عمودی افزایش می دهد. این سیستم همچنین به خاطر اثرات زاویه تابشی، ۱۰٪ افزایش در جمع آوری انرژی را در طول یک روز کامل ارائه می دهد. افزایش در جمع آوری انرژی بیشتر هر لوله را می توان با بکارگیری بازتاب کننده های نوع CPC حاصل کرد. همانطور که در شکل (۳-۱۳ ب) نشان داده شده است. آرایش های لوله خلاء با متمرکز کننده های ساکن ممکن است دماهای ایستا بیش از ۳۰۰ درجه سلسیوس داشته باشد.

جدول ۲-۰: مشخصات سیستم کلکتور لوله خلاء (۱)

پارامتر	مقدار
قطر لوله شیشه ای	۶۵ mm
ضخامت شیشه	۱/۶mm
طول کلکتور	۱۹۶۵mm
جنس صفحه جذب کننده	مس
پوشش	انتخابی
مساحت جذب کننده	$0.1m^2$

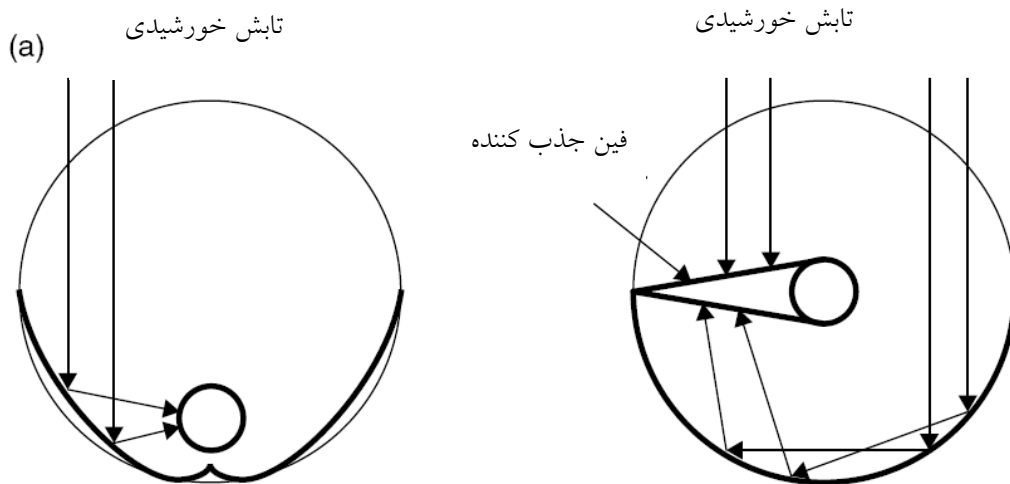


نوع دیگری از کلکتور که اخیراً توسعه یافته است، کلکتور سهموی یکپارچه (ICPC) است. این نوع کلکتور یک کلکتور لوله خلاء می باشد که در قسمت انتهایی لوله شیشه ای، یک ماده بازتاب کننده قرار داده شده است. در این حالت بازتاب کننده CPC (شکل ۳-۱۴-الف) و یا یک بازتاب کننده استوانه ای (شکل ۳-۱۴-ب) استفاده می شود.



شکل ۳-۱۷: آرایش کلکتورهای لوله خلاء با بازتاب کننده ها (الف) بازتاب کننده پراکنده تخت (ب) بازتاب کننده کلکتور جفت سهموی (۲۰)

نوع دوم به تمرکز بازتاب کننده شکل یافته نمی رسد ولی هزینه تولید خیلی کمتری دارد. در طراحی دیگری، یک ICPC ردیاب توسعه داده شده است، که برای کاربردهای دما بالا مناسب می باشد. کلکتورهای لوله خلاء در اندازه های مختلفی با محدوده قطر بیرونی از ۳۰ میلی متر تا حدود ۱۰۰ میلی متر تولید می شوند. طول معمول این کلکتورها حدود ۲ متر است.



شکل ۱۸-۰: لوله های کلکتور جفت سهموی یکپارچه الف) جفت سهموی داخلی ب) بازتاب کننده دایره ای با جذب کننده تیغه دار (۱)

### ۳-۳-۶ کلکتورهای متمرکز کننده

در این تحقیق با کلکتورهای متمرکز کننده سر و کار نداریم و تنها به اصول جرئی عملکرد آنها بسنده می کنیم. برای بسیاری کاربردها، تحویل انرژی در دمای بالاتر نسبت به دمای کلکتورهای مسطح مطلوب می باشد. دماهای تحویل انرژی را می توان با کاهش سطحی که تلفات گرمایی از آن اتفاق می افتد، افزایش داد. این امر توسط قرار دادن یک وسیله نوری در میان منبع تابش و سطح جاذب انرژی، صورت می پذیرد. جاذب کوچک دارای تلفات حرارتی کوچکتر در مقایسه با کلکتور مسطح در دمای جاذب مشابه، خواهد بود.

دو وسیله مرتبط را در نظر می گیریم: متمرکز کننده های غیر تصویر ساز و تصویر ساز.

بسیاری از طرحها بیان کننده کلکتورهای متمرکز کننده هستند. متمرکز کننده ها می توانند بازتاب دهنده (انعکاسی) یا انکساری (شکننده نور)، استوانه ای یا سطح مدور، یکپارچه یا جزء به جزء باشند. دریافت کننده ها می توانند کوژ، مسطح، یا کاو باشند و می توانند دارای پوشش شفاف یا بدون پوشش باشند.

بسیاری حالات ردیابی محتمل است. ضرایب تمرکز (نسبت سطح دهانه کلکتور به سطح جاذب، که تقریباً فاکتورهایی هستند که سبب می شوند شار تابشی بر روی سطح جاذب انرژی، افزایش یابد) در حدود چندین مرتبه بزرگنمایی تغییر می کنند. با این محدوده گسترده طرحها، ایجاد تحلیل کلی کاربردی برای همه متمرکز کننده ها مشکل می باشد. بنابراین متمرکز کننده ها به دو گروه تقسیم و بررسی می شوند: کلکتورهای غیر تصویرساز با ضریب تمرکز پایین و کلکتورهای خطی تصویر ساز با ضرایب تمرکز متوسط. همچنین بعضی ملاحظات اساسی متمرکز کننده های سه بعدی را توجه می کنیم که می توانند در محدوده ضریب تمرکز بیشینه مقیاس ضریب تمرکزها، کار کنند.

متمرکز کننده ها می توانند دارای ضرایب تمرکز از مقادیر پایین کوچکتر از ۱ گرفته تا مقادیر بالا با مرتبه  $10^5$  باشند. افزایش نسبت ها بدین معناست دمایی که در آن انرژی را می توان تحویل داد، افزایش یافته است و همچنین بدین معناست که دقت بیشتر در کیفیت نوری و قراگیری سیستم نوری نیاز است. بنابراین هزینه تحویل انرژی از یک کلکتور متمرکز کننده تابع دمای قابل دسترس است. در بیشترین محدوده تمرکز و متقابلاً بیشترین دقت نوری، کلکتورهای متمرکز کننده به شکل عبارت کوره های خورشیدی بیان می شوند؛ اینها وسایل آزمایشگاهی هستند که برای مطالعه خصوصیات مواد در دمای بالا و سایر فرایندهای دما بالا، بکار می رود.

از نقطه نظر یک مهندس، کلکتور های متمرکز کننده مسائلی علاوه بر آن هایی که برای کلکتور های مسطح بودند، ارائه می کنند. گرچه کلکتورهای متمرکز کننده (به جز آنهایی که در محدوده انتهای پایینی مقیاس ضریب تمرکز ها هستند) باید برای ردیابی خورشید جهت گیری شوند، تا تابش مستقیم به سطح جاذب کننده مستقماً بتابد. محدوده ای از شکل ها در دسترس طراح می باشند که به او اجازه می دهند یک سری پارامترهای طراحی جدیدی را بکار گیرد. همچنین ملزومات جدیدی برای نگهداری، مخصوصاً نگه داشتن کیفیت نوری سیستم ها برای مدت زمانی طولانی در حضور گرد و خاک، آب و هوا و زنگ زدگی یا دیگر

مولفه های خوردگی جوی، مورد نیاز است. ترکیبی از مسائل علمی و هزینه کلکتور، سودمندی کلکتورهای متمرکز کننده را محدود کرده است.

برای جلوگیری از سردرگمی در شناخت اصطلاحات، کلمه کلکتور برای کل سیستم شامل دریافت کننده و متمرکزکننده به کار خواهد رفت. دریافت کننده عبارت است از المانی از سیستم که در آنجا تابش جذب و به دیگر اشکال انرژی تبدیل میشود، که شامل جذب کننده، پوشش های مرتبط با آن و عایق می باشد. متمرکز کننده یا سیستم نوری، قسمتی از کلکتور است، که تابش را به سمت دریافت کننده جهت می دهد دهانه<sup>۱</sup> متمرکز کننده، دهانه ای است که تابش خورشیدی از درون آن متمرکز کننده می شود.

همانطوری که بیان شد دماهای دریافت انرژی را می توان با کاهش مساحتی که در آن تلفات حرارت رخ می دهد، افزایش داد. اگر مقدار زیادی از تشعشع خورشیدی به طور نسبی بر روی یک مساحت دریافت کوچک متمرکز شود، دماهای خیلی بالاتر از دماهای قابل دستیابی کلکتورهای صفحه تخت را می توان بدست آورد. این امر با بکارگیری یک وسیله نوری بین منبع تشعشع و سطح جذب کننده انرژی انجام پذیر است. کلکتورهای متمرکز کننده مزایای ویژه ای نسبت به نوع معمولی صفحه تخت عرضه می دارند. مزایای اصلی عبارتند از :

- سیال عامل می تواند در سطح یکسان جمع آوری انرژی، در سیستم متمرکز کننده به دماهای

بالاتری نسبت به سیستم صفحه تخت برسد. این بدین معنی است که بازده ترمودینامیکی بالاتری قابل دستیابی است.

- با یک سیستم متمرکز کننده رسیدن به تطابق ترمودینامیکی بین سطح دما و عمل امکان پذیر

است. این عمل ممکن است وسایل ترمودینامیکی، و یا سایر وسایل دما بالا را راه اندازی کند.

---

<sup>۱</sup>aperture

- بازده حرارتی بزرگ تر است؛ زیرا مساحت اتلاف حرارتی نسبت به مساحت دریافت کننده کوچک می باشد.

- سطوح بازتاب کننده به ماده کمتری نیاز دارند و از لحاظ ساختاری ساده تر از کلکتور های صفحه تخت می باشند؛ بنابراین برای یک کلکتور متمرکز کننده، هزینه در واحد مساحت سطح جمع آوری کننده خورشیدی کمتر از کلکتور صفحه تخت است.

- به علت مساحت نسبی کوچک دریافت کننده در واحد انرژی خورشیدی جمع آوری شده، عملیات سطح منتخب و عایق خلاء، تلفات حرارتی را کاهش می دهد و بازده کلکتور را به صورت اقتصادی بهبود می دهد.

عیوب این کلکتور عبارتند از :

- سیستمهای متمرکز کننده تشعشع پراکنده کمی جمع آوری میکند، که بستگی به نسبت تمرکز دارد.

- بعضی شکل های سیستم ردیابی را نیاز دارند که کلکتور را برای تعقیب خورشید قادر سازند.

- سطوح بازتاب کننده خورشیدی ممکن است ضریب بازتابی شان را با زمان از دست بدهند و ممکن است به پاکسازی دوره ای و دوباره جلا دادن نیاز داشته باشند.

به علت حرکت ظاهری خورشید در طول آسمان، کلکتور های متمرکز کننده باید حرکت روزانه خورشید را تعقیب کنند. حرکت خورشید می تواند با دو روش به سهولت ردیابی شود. روش اول، سمت - ارتفاعی است که به یک وسیله ردیابی نیاز دارد تا با زوایای ارتفاع و آزیموس تغییر کند، یعنی وقتی که این روش به درستی عمل کند، کلکتور قادر خواهد بود، تعقیب خورشید را به درستی انجام دهد. عموماً کلکتورهای

سهموی خورشیدی از این روش استفاده می کنند. روش دوم، روش ردیابی تک محوری است. که کلکتور خورشید را تنها در یک جهت یا از شرق به غرب یا از شمال به جنوب ردیابی می کند. کلکتورهای ناودانی سهموی عموماً از این سیستم استفاده می کنند. این سیستم ها نیاز به تنظیم دقیق و پیوسته دارند تا با تغییرات جهت دهی خورشید تنظیم شوند.

نوع اول متمرکز کننده های خورشیدی یک کلکتور صفحه تخت می باشد که با یک بازتاب کننده تخت ساده تجهیز شده، تا به طور محسوس بتواند مقدار تشعشع مستقیم رسیده به کلکتور را افزایش دهد. در حقیقت، این سیستم ساکن بوده و یک متمرکز کننده می باشد، زیرا دهانه بزرگتر از جذب کننده می باشد. یک آنالیز کامل از چنین سیستمی توسط گارگ و هریشیکسان (۱۹۹۸) ارائه شده است. این مدل کمک می کند تا انرژی کل جذب شده توسط کلکتور در هر ساعت از روز برای هر عرض جغرافیایی و برای زوایای شیب تصادفی و زوایای آزیموس کلکتور و بازتاب کننده ها پیش بینی شود. کلکتورهای صفحه تخت میتوانند با بازتاب کننده های تخت یا به روش آرایش دندانان اهر ای مجهز شوند، که آرایش دندانان اهر ای برای تاسیسات کلکتور چند ردیفی مناسب است. در هر دو حالت، بازتاب کننده های پراکنده تخت ساده می توانند به طور قابل توجهی مقدار تشعشع مستقیم رسیده به کلکتور را افزایش دهند. اصلاح بازتاب کننده پراکنده بیان کننده ماده ای است که آینه ای نیست و از تشکیل تصویر خورشید بر روی جذب کننده که باعث ایجاد توزیع تنش غیر یکنواخت و تنش های حرارتی می شود، جلوگیری می کند.

نوع دیگری از کلکتورها، CPC ها هستند که تحت عنوان کلکتورهای ساکن پوشش داده می شوند که متمرکز کننده نیز می باشند. این کلکتور می تواند ساکن یا ردیاب باشد که بستگی به زاویه پذیرش دارد. وقتی ردیابی استفاده می شود، چون نسبت تمرکز معمولاً کوچک است و تشعشع توسط یک یا چند بازتاب بر روی سطوح سهموی جمع آوری و متمرکز می شود. این ردیابی بسیار ناهموار یا متناوب می باشد.

### ۳-۴ آبگرمکن های خورشیدی

همانطوریکه در بخش قبلی اشاره شد یکی از کاربرد های انرژی خورشیدی که امروزه بیشتر مدنظر قرار گرفته است، گرم کردن آب توسط کلکتور های خورشیدی است. این تکنولوژی که در قالب آبگرمکن های خورشیدی مطرح می شود دارای انواع و مکانیسم عملکرد متفاوتی می باشد. با توجه به محدودیت منابع سوخت فسیلی و زیان بار بودن استفاده غیر اصولی این گونه سوختها برای سلامت محیط زیست، تحقیقات و کاربردهای انرژیهای تجدید پذیر در مجامع صنعتی و علمی از اهمیت ویژه ای برخوردار گشته است. در این میان انرژی خورشید، با توجه به اینکه انرژی کاملاً پاک و عاری از هرگونه آلودگی بوده و به عنوان منبع انرژی کاملاً ارزان شناخته شده است، اهمیت بیشتری پیدا می کند. در کشورهای نظیر کشور ما که میزان تابش خورشیدی در آن به  $2000 \text{ KW/m}^2$  در سال می رسد و در بسیاری از نقاط آن تعداد ساعات آفتابی از ۲۸۰۰ ساعت در سال تجاوز می کند، استفاده از انرژی خورشید، نه تنها ضروری بلکه اجتناب ناپذیر است. وسعت و شرایط جغرافیایی کشور، بافت اجتماعی، فراوانی و گستردگی روستاها که اغلب به صورت یک نقطه در دل کوهها و پهنه دشتها قرار دارند و همچنین عدم برخورداری از تکنولوژی پیشرفته و مستقل برای تولید و توزیع انرژی به روش های متداول امروزی و بسیاری دلایل دیگر نشان می دهند که اگر انرژی خورشیدی بر پایه و اساس علمی و فنی مورد استفاده قرار گیرد، منبع مطمئن و مداومی برای تامین انرژی کشور خواهد بود. روش های گوناگونی برای استفاده از این انرژی پاک و لایزال الهی وجود دارد، اما گرم کردن آب با استفاده از آبگرمکن خورشیدی، شاید به عنوان آسانترین و اقتصادی ترین روش باشد. زیرا با داشتن دانش کافی درباره تابش خورشید، به راحتی و به صورت بسیار موثرتر می توان انرژی خورشید را برای گرم کردن آب مصرفی منازل و حتی کاربرهای صنعتی بکار برد. پیشرفت های علمی روی

آبگرمکن خورشیدی در دهه های اخیر رشد چشمگیری داشته است. این نوع آبگرمکن ها نه تنها برای کاربردهای خانگی بلکه برای هتل ها، بیمارستان ها، ساختمان های اداری، صنایعی مانند نساجی، کاغذ سازی، صنایع غذایی و حتی گرم کردن آب استخرهای شنا در زمستان کاربرد فراوانی پیدا کرده اند.

آبگرمکن های خورشیدی از طریق جذب انرژی خورشید توسط صفحات جاذب (گردآورنده) خود، عمل می نمایند و راندمان گرمایشی آنها بر حسب نوع گردآورنده آنها متفاوت می باشد. آب گرم، در تمام ساعات شبانه روز، در مخزن دوجداره و عایق حرارتی که دمای آب را تا سه روز بدون تغییر حفظ می کند، نگهداری می شود. با استفاده از سیستم های آبگرمکن خورشیدی خانگی می توان هزینه های مصرف گاز، گازوئیل و برق را به طور چشمگیری کاهش داد. همچنین هزینه های نگهداری و تعمیرات این سیستم ها بسیار پایین است، زیرا هیچ قطعه متحرکی نداشته و طول عمر کارکرد سیستم ها با کیفیت فنی بالا تا ۲۰ سال می رسد. با توجه به ظرفیت بالقوه کشورمان از نظر انرژی خورشیدی و تعداد ساعات آفتابی بالایی که در بسیاری از نقاط کشور داریم، همچنین مشکلات زیست محیطی و هزینه بالای سوخت های فسیلی، لازم است تا از این فناوری روز دنیا بهره مند شویم.

بنابراین با استفاده از آب گرمکن های خورشیدی می توان آب گرم سالم را به طور نامحدود و با صرف کمترین هزینه، در اختیار داشت. استفاده از فناوری های نوین در ساخت و همچنین مکانیزم ساده عملکرد آب گرمکن های خورشیدی نسبت به آب گرمکن های سنتی، کمک شایانی در کاهش هزینه های خانوار دارد. یک سیستم آب گرمکن خورشیدی شامل فناوری های نوین در خصوص استفاده از انرژی تجدید پذیر خورشید بوده که در بسیاری از کشورهای دنیا مورد پذیرش عموم مردم واقع شده است. استفاده از انرژی خورشید روز به روز با استقبال بیشتری مواجه می شود. یک سیستم آب گرمکن خورشیدی جهت تأمین آب گرم مورد نیاز در طول سال با قابلیت اعتماد بالا طراحی می شود. در مناطق سردسیر با زمستان های طولانی و روزهای ابری بسیار، از یک سیستم تکمیلی برقی یا گازی جهت گرم کردن آب در کنار



انرژی خورشیدی استفاده می شود.

آبگرمکن های خورشیدی به طوری که از نام آنها پیداست، از طریق جذب انرژی خورشید و تابش نور بر صفحات جاذب (کلکتور) عمل می نمایند و راندمان گرمایشی آنها در فصول مختلف سال و بر حسب موقعیت های جغرافیایی هر شهر متفاوت می باشد. این فناوری می تواند در اقلیم های مختلف و متفاوت تا ۷۵ درصد انرژی مورد نیاز آب گرم مصرف کنندگان را تأمین نماید. آبگرمکن خورشیدی دارای مزایای

قابل توجه ای است که از جمله می توان به موارد ذیل اشاره نمود : (10)

- این سیستم تقریباً در هر اقلیم قابل استفاده است؛
  - یک منبع تأمین انرژی مستقل است و انرژی مورد نیاز آن به راحتی در دسترس می باشد؛
  - در زمان قطع گاز یا برق همچنان آبگرم در اختیار مصرف کننده است؛
  - پس از خرید و نصب هزینه تأمین سوخت ندارد؛
  - سازگار با محیط زیست است و انتشار گازهای گلخانه ای در پی ندارد؛
  - تعمیر و نگهداری آن آسان و کم هزینه است؛
  - به راحتی به سیستم های گرمایی غیر خورشیدی موجود اضافه می گردد؛
  - عمر مفید آن طولانی است و به ۱۵ تا ۲۰ سال می رسد.
- به عنوان یک فناوری نابالغ، مهم ترین مانع برای توسعه استفاده از سیستم آبگرمکن خورشیدی، سرمایه بر بودن اولیه این سیستم خورشیدی است که بر روی انتخاب مشتریان تأثیر منفی می گذارد. برای این مسأله لازم است راهکارهای اساسی اندیشیده شود. در مناطقی که هزینه های انرژی و حامل های انرژی زیاد است و دسترسی به شبکه گاز و برق مشکل و یا اساساً دسترسی به آنها وجود ندارد، کاربرد این سیستم از اهمیت فوق العاده ای برخوردار است. معمولاً ابعاد بهینه مولد های خورشیدی را به گونه ای انتخاب می کنند که در کنار تأسیسات حرارتی حدود ۷۵ درصد نیاز سالانه آبگرم مصرفی ساختمان را برآورده نماید و

یا به عبارتی دیگر، سیستم های خورشیدی حدود ۹ ماه از سال ۱۰۰٪ نیاز آبگرم مصرفی ساختمان را تأمین و در سه ماه فصل زمستان به صورت سیستم کمکی در کنار تأسیسات مرکزی ساختمان عمل می نماید.

### ۳-۱۵ اجزاء اصلی تشکیل دهنده آبگرمکن خورشیدی

اجزای تشکیل دهنده یک آبگرمکن خورشیدی عبارتند از: (13)

- سطح جاذب (کلکتور)؛ جنس آن بر اساس شرایط اقلیمی متفاوت بوده و تعداد آن بر اساس میزان مصرف آب گرم روزانه تعیین می شود. بطور کلی کلکتور های خورشیدی مورد استفاده در آبگرمکن های خورشیدی در دو نوع صفحه ای و لوله ای هستند، که کلکتور های صفحه تخت کاربرد بیشتری نسبت به کلکتور های لوله ای دارند.
- مخزن ذخیره آب گرم؛ معمولاً بصورت مخزن دو جداره یا مخزن کویل دار می باشد. در بسیاری از سیستم های خورشیدی واحد ذخیره گرما، جهت فراهم نمودن اینرسی گرمایی یا اثر انباره ای بکار می رود. این اثر انباره ای گرما، جهت از بین بردن نوسانات انرژی خروجی از گردآورنده که به علت نوسانات کوتاه مدت در تراز تابش خورشید و تغییرات مربوط به چرخه روز و شب ایجاد می گردد، مورد نیاز می باشد. مقدار ذخیره گرما معمولاً به وسیله محدودیت های اقتصادی تعیین می شود، زیرا ذخایر بزرگ که می توانند خروجی نسبتاً یکنواختی از سیستم ارائه دهند، عموماً خیلی گران تمام می شوند. مخزن ذخیره در آبگرمکن های خورشیدی باید آب داغ را در خود نگه دارد، بدون اینکه دچار خوردگی شود. همچنین باید در مقابل فشار وارده مقاومت کافی داشته باشد. جنس مخازن بکار رفته در آبگرمکن های خورشیدی معمولاً از فولاد و مس بوده و گاهی اوقات از فایبر گلاس نیز استفاده می شود. این مخازن توسط پشم شیشه و یا پلی اورتان به

ضخامت ۱۰ الی ۲۰ سانتیمتر عایق می شوند. اندازه مخازن از چند صد لیتر تا چند متر مکعب متغیر است. یک حساب سر انگشتی برای تخمین ظرفیت آن این است که به ازای هر متر مربع سطح گردآورنده، مخزنی ۷۵ تا ۱۰۰ لیتری در نظر گرفته شود.

■ مبدل گرمایی؛ مبدل های گرمایی در سیستم های گرمایش خورشیدی مایعی برای جلوگیری از یخ زدگی و کاهش فشار بر روی مخزن ذخیره، بکار می روند. از آنجایی که سیستم های گرمایش خورشیدی با گردآورنده های تخت تحت دمای پایین عمل می کنند، به حداقل رساندن افت دما در مبدل گرمایی موجود در مدار گردآورنده دارای اهمیت زیاد می باشد. این عمل مستلزم کاربرد مبدل گرمایی با سطح خیلی بزرگ و میزان مناسبی از جریان سیال می باشد. اندازه مبدل گرمایی باید طوری انتخاب شود که ارزش تبادل گرمایی یا ضریب اثر کمتر از  $0.7$  نگردد. اندازه یک مبدل گرمایی گلیکول به آب باید طوری انتخاب شود که اختلاف دمای سیال گرم کننده در ورود و دمای سیال گرم شونده در خروج حدود  $3^{\circ}\text{C}$  تا  $8^{\circ}\text{C}$  باشد. مبدل هایی که این اختلاف دما در آنها کمتر از  $3^{\circ}\text{C}$  باشد، با اینکه کارایی گردآورنده را اندکی افزایش می دهند، ولی هزینه آنها زیاد می گردد. مبدل هایی که اختلاف دما در آنها بیشتر از  $8^{\circ}\text{C}$  گردد، کارایی گردآورنده را به مقدار بسیار زیادی کاهش می دهند. در ایران نیز از مبدل گرمایی استفاده می شود و این مبدل ها عموماً بصورت مخازن دو جداره می باشند.

■ پمپ سیرکولاسیون؛ جهت گردش آب درون کلکتورها و تبادل حرارتی با تانک ذخیره آبگرم بکار می رود.

■ منبع انبساط؛ جهت جلوگیری از نوسانات حجمی و یکنواخت کردن فشار سیال مورد استفاده قرار می گیرد.

■ نگهدارنده فلزی جهت مخزن و صفحه جاذب؛

▪ لوله و اتصالات مربوطه؛

▪ عایق‌بندی حرارتی؛ گردآورنده، لوله های اتصال و مخزن ذخیره را برای کاهش اتلاف حرارت باید

با ماده مناسبی عایق نمود. خواصی که یک عایق خوب باید داشته باشد عبارتند از :

ضریب هدایت حرارتی پایین داشته باشد؛ در تمام نقاطی که بکار می رود یکسان و یکنواخت باشد؛ در

مقابل دماهای نزدیک به  $200^{\circ}\text{C}$  پایدار باشد؛ در مقابل خوردگی مقاومت کافی داشته باشد، دارای عمر

طولانی بوده و از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشد.

برای عایق کاری گردآورنده حداقل ۲ اینچ عایق خوب باید در زیر و اطراف آن بکار برد. عایق بکار رفته

باید عاری از ارتباط دهنده آلی باشد، زیرا دماهای بالای گردآورنده موجب می شود که این ماده بر روی

سطح زیرین پوشش شفاف رسوب کند و بطور زیان آوری بر روی قابلیت عبوردهی آن تاثیر نماید. اغلب

مواد پلاستیکی، مانند پلی استایرین یا پلی یورتان اسفنجی به وسیله گرمای یک گردآورنده راکد، از طریق

ذوب و یا از طریق انبساط مخرب براحتی صدمه می بینند. یکی از راههای استفاده از چنین موادی قرار

دادن یک لایه فایبر گلاس در زیر صفحه گردآورنده و تعبیه آن مجموعه در یک ساختار اسفنجی یا

پلاستیکی است. در این شرایط ماده پلاستیکی عایق شده به وسیله فایبر گلاس معمولاً بیش از اندازه گرم

نخواهد شد و می تواند به گونه ای سازنده عمل نماید. نوع عایقی که در گردآورنده های تولید داخلی بکار

می رود، بیشتر از جنس پشم سنگ، پشم شیشه و پلی یورتان می باشد. برای مخازن ذخیره، فوم پلی یورتان

و پلی استایرین برای عایق بندی بکار گرفته می شوند.

### ۳-۶ انواع سیستم های آبگرمکن خورشیدی

کاربرد سیستم آبگرم خورشیدی در منازل مسکونی طی چند سال اخیر رواج زیادی یافته است. معمولاً از آبگرمکن های خورشیدی برای گرم کردن یا پیش گرمایش آب استفاده می شود که به واسطه آن مصرف وسایل گازسوز یا الکتریکی به منظور تولید آب گرم کاهش پیدا می کند.

می توان سیستم های آبگرمکن خورشیدی را به دو دسته که دارای پمپ گردش سیال و سیستم کنترل (فعال)<sup>۱</sup> و دسته ای که فاقد این سیستم ها هستند (غیر فعال)<sup>۲</sup> تقسیم کرد.

### ۳-۶-۱ سیستم های غیر فعال

سیستم های غیر فعال به دو دسته ترموسیفون<sup>۳</sup> و کلکتور - منبع تغذیه یکپارچه (ICS)<sup>۴</sup> تقسیم می شوند.

الف) آبگرمکن های چرخش طبیعی (ترموسیفون)

با آنکه چندین دهه از ساخت نخستین آبگرمکن خورشیدی ترموسیفون می گذرد، اما با این حال یکی از تکنولوژی های برتر برای بکارگیری انرژی خورشید استفاده از این نوع آبگرمکن ها می باشد. کارایی بالا، سهولت ساخت، عدم حضور قطعات متحرک و عدم نیاز به نگهداری باعث برتری آبگرمکن های ترموسیفون نسبت به نوع دیگر، یعنی آبگرمکن های جابجایی اجباری شده است. در آبگرمکن های خورشیدی چرخش طبیعی، مخزن ذخیره در ارتفاع مشخصی (۳۰ تا ۶۰ سانتیمتر) نسبت به بالاترین قسمت گردآورنده قرار داده می شود، تا از چرخش معکوس سیال در ساعاتی که تابش خورشید وجود ندارد،

---

<sup>۱</sup>Active

<sup>۲</sup>Passive

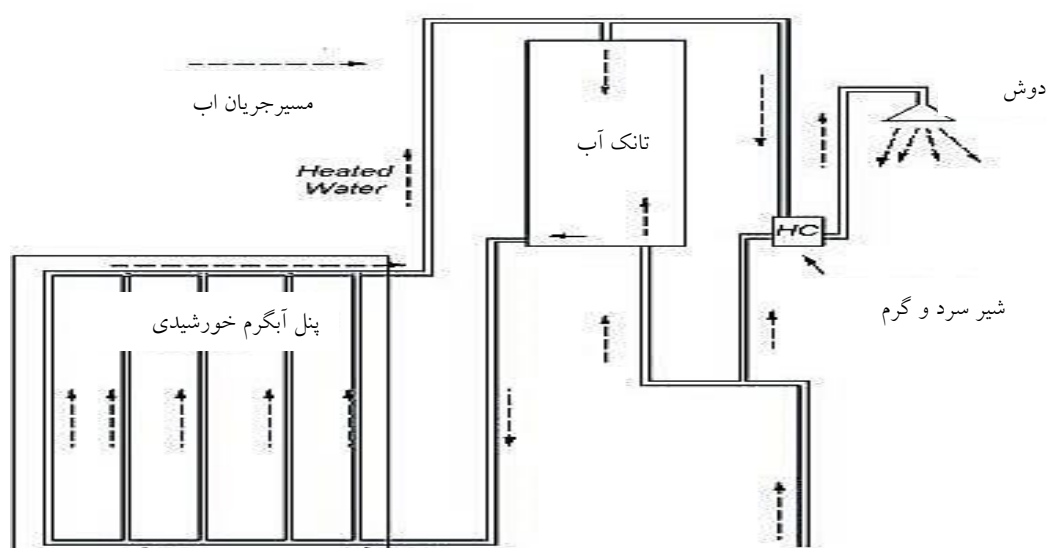
<sup>۳</sup>Thermosiphon

<sup>۴</sup>Integral Collector Storage

جلوگیری شود. در اوایل صبح، تابش خورشید باعث گرم شدن گردآورنده می شود. سیال گرم داخل آن با جابجایی طبیعی بالا رفته، به مخزن ذخیره می رسد و آب سرد مخزن از پایین آن به داخل گردآورنده جاری می گردد. به این ترتیب چرخش طبیعی در جایی که تابش خورشید به اندازه کافی باشد، به خودی خود برقرار می شود و در صورت نبودن تابش کافی خورشید، بعلت اینکه نیروی شناوری رو به بالا نمی تواند بر افت های اصطکاکی سیال داخل لوله غلبه کند، چرخش سیال متوقف می گردد.

این سیستم ها به دو دسته مدار باز و مدار بسته تقسیم می شوند. در سیستم مدار باز (سیستم مستقیم) آب به صورت مستقیم در میان گردآورنده جاری می باشد. این سیستم بسیار ساده، کارا و قابل اطمینان بوده ولی در شرایط آب و هوایی سرد و دماهای زیر صفر درجه کارایی خوبی ندارد، و یخ زدن آب داخل لوله ها ممکن است منجر به پارگی آنها شود. در سیستم های مدار بسته (غیر مستقیم) معمولاً سیالی غیر از آب که نقطه انجماد پایین تری دارد (مانند مخلوط پروپیلن گلیکول و آب) بکار گرفته می شود. این سیستم ها دو چرخه جداگانه دارند، که از طریق یک مبدل گرمایی به یکدیگر متصل شده اند، و این مبدل گرما را از سیال داخل گردآورنده به آب مصرفی منزل منتقل می کند. در شکل های (۳-۱۵) سیستم نشان داده شده اند.

(12)



#### شکل ۱۹-۰: سیستم آبگرمکن خورشیدی ترموسیفون مدار باز

در سیستم های ترموسیفون کلکتور در زیرمخزن ذخیره قرار دارد. با تابش خورشید بر دمای سیال داخل کلکتور افزوده می شود و در نتیجه چگالی آن کاهش می یابد. اگر دما به حد کافی بالا رود به طوری که وزن سیال از لوله پایین کلکتور (لوله بالای کلکتور) از وزن سیال بین ورودی و خروجی از مخزن (ورودی به کلکتور) کمتر بشود، آنگاه سیال شروع به حرکت خواهد کرد.

این سیستم ها خیلی ساده هستند و نیازی به پمپ ندارند. اگر در شرایط آب و هوایی با امکان یخ زدگی از این سیستم ها استفاده شود از ترکیب ضدیخ استفاده خواهد شد و ممکن است از گرمکن برقی در مخزن ذخیره نیز استفاده شود. اگر از حرارت داخل مخزن برداشتی نشود، دمای مخزن بر اثر همرفت طبیعی بالا خواهد رفت و در صورتی که اتلاف حرارتی مخزن و لوله ها با انرژی خورشیدی مفید به دست آمده توسط کلکتور برابر شود سیستم به حداکثر دمای خود می رسد و امکان جوش آمدن در مخزن آب گرم مصرفی (DHW)<sup>۱</sup> وجود دارد که بستگی به فشار در هر حلقه دارد. اگر جوش آمدن در کلکتور ایجاد شود بخار با تحویل گرما به مخزن چگالیده می شود و اگر جوش آمدن در مخزن اتفاق بیفتد، از شیرهای کاهش فشار برای خروج بخار استفاده خواهد شد.

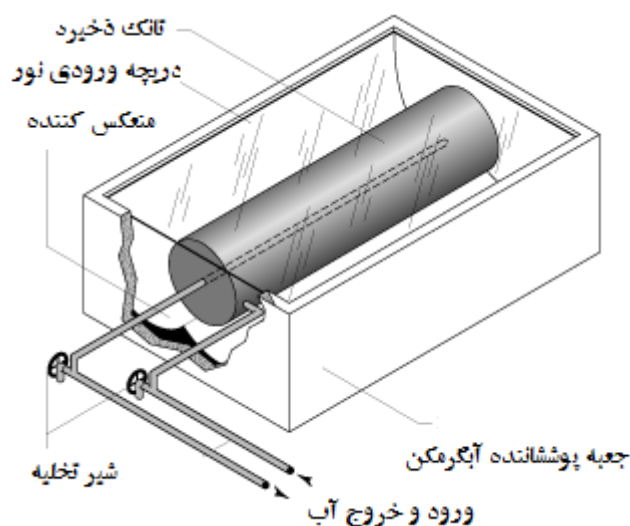
#### ب) کلکتور - منبع تغذیه یکپارچه

سیستم های کلکتور - منبع تغذیه یکپارچه ساده ترین آبگرمکن های خورشیدی می باشند. این کلکتورها سطح آینه ای داشته و برای تجمع انرژی خورشیدی بر روی لوله جاذب که شامل سیال انتقال حرارت

---

<sup>۱</sup>Domestic Hot Water

است، بکار می رود. در این سیستم ها تانک ذخیره و کلکتور دو قسمت جدا از هم نیستند و یکی می باشند. آب سرد بطور مستقیم به کلکتور متصل است و توسط خورشید گرم می شود. بر خلاف سیستم های دیگر، تا زمانی که مصرفی وجود نداشته باشد آب گرم داخل کلکتور باقی می ماند سپس بطور مستقیم از کلکتور مورد مصرف قرار می گیرد. سیستم های ICS به منبع ذخیره بزرگتری (برای بالا بردن قابلیت جذب) نسبت به سیستم های معمولی نیاز دارند، همین امر نیز از سیستم در برابر یخ زدگی محافظت می کند. شکل (۳-۱۷) نمایی از این سیستم را نشان می دهد.



شکل ۳-۲۰: نمایی از سیستم آبگرمکن کلکتور - منبع تغذیه یکپارچه

### ۳-۶-۲ سیستم های فعال

تفاوت اصلی این نوع سیستم ها با آبگرمکن ترموسیفون در این است که سیال عامل داخل گرد آورنده در این حالت توسط پمپ به گردش در می آید. مزیت اصلی این سیستم این است که می توان مخزن ذخیره آنرا در موقعیت دلخواه و مناسب مثلاً در فضای زیر شیروانی، داخل حمام و یا در اطراف سقف قرار داد.



این نوع سیستم ها نیز به دو دسته مدار باز و بسته تقسیم می شوند. سیستم های پمپی زمانی نیاز می شود که کلکتور در سطح بالاتری از مخزن قرار دارد. این مورد زمانی اتفاق می افتد که از سیستم آب گرمکن خورشیدی در مناطقی که دمای هوا در زمستان بسیار پایین است، استفاده شود و بنابراین نمی توان مخزن را در هوای آزاد قرار داد. پمپ برای گردش آب از مخزن به کلکتور به منظور افزایش دمای آن هنگامی که انرژی خورشیدی به میزان کافی در دسترس است، استفاده می کند. پمپ از یک ترموستات اختلافی که دما در خروجی کلکتور و مخزن ذخیره را اندازه گیری و مقایسه می کند فرمان می گیرد و زمانی پمپ شروع بکار می کند که یک اختلاف دمای مشخصی وجود داشته باشد.

سیستم های فعال شامل سه دسته اصلی مستقیم<sup>۱</sup>، غیر مستقیم<sup>۲</sup> و برگشتی<sup>۳</sup> می باشند. آبگرمکن های خورشیدی از یک کلکتور خورشیدی برای جذب انرژی خورشید و یک منبع برای ذخیره سازی آب گرم تشکیل شده اند.

### ۳-۶-۳ سیستم های مستقیم

در سیستم های مستقیم، آب بطور مستقیم داخل کلکتور گردش می کند. زمانی که دمای کلکتور بیشتر از تانک ذخیره است پمپ باعث گردش آب از داخل منبع ذخیره به کلکتور می شود. سیستم های مستقیم عموماً برای آب و هوایی که منجر به یخ زدگی سیستم یا جاهایی که آب سنگین یا اسیدی دارند، توصیه

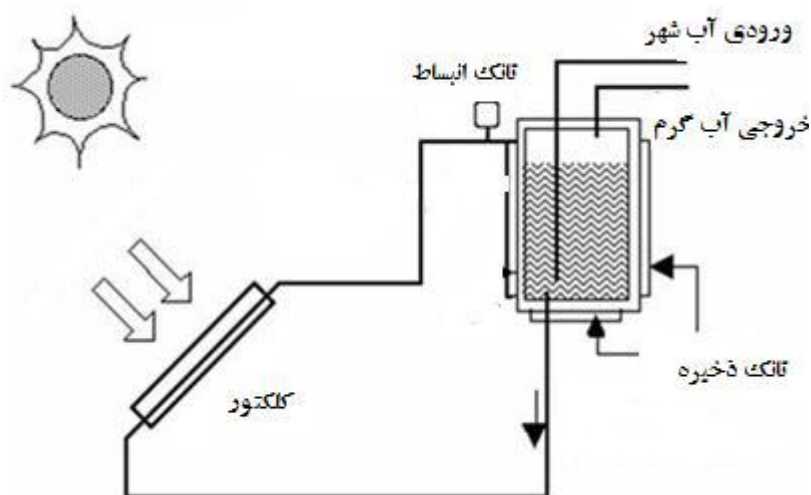
---

<sup>۱</sup>Direct

<sup>۲</sup>Indirect

<sup>۳</sup>Back Drain

نمی شوند. برای جاهایی که حفاظت سیستم در برابر یخ زدگی مهم می باشد، سیستم های پیشنهادی می توانند بصورت غیر مستقیم (با مدار بسته) یا برگشتی باشند. شکل (۳-۱۸) نمایی از سیستم های مستقیم را نشان می دهد. (3)



شکل ۳-۱۷: نمایی از سیستم مستقیم

سیستم های جریان مستقیم از مخزن آب سرد تغذیه شده و یا مستقیم به آب شهر متصل می شوند. سیستم های آب گرمکن مستقیم در مناطقی که سختی آب بالا و یا اسیدی است نباید استفاده شود، زیرا باعث خوردگی در کلکتور خواهد شد. این سیستم ها در مناطقی که امکان یخ زدگی کم است می تواند استفاده شود. در شرایط آب و هوای خاص بوسیله چرخش دوباره آب گرم از مخزن ذخیره از سیستم در برابر یخ زدگی محافظت می شود. با این روش مقداری حرارت تلف می شود ولی در عین حال از سیستم محافظت می شود. برای محافظت در برابر یخ زدگی نوعی از سیستم های جریان مستقیم به نام سیستم تخلیه از پایین<sup>۱</sup> استفاده می شود. هر وقت که یخ زدگی یا خرابی در سیستم پیش آید بطور اتوماتیک با جدا کردن آرایه کلکتورها و لوله های بیرونی از آب تغذیه مصرفی با استفاده از یک شیر نرمال بسته<sup>۲</sup> و تخلیه آن

<sup>۱</sup>Drain-Down System

<sup>۲</sup>Normal Close

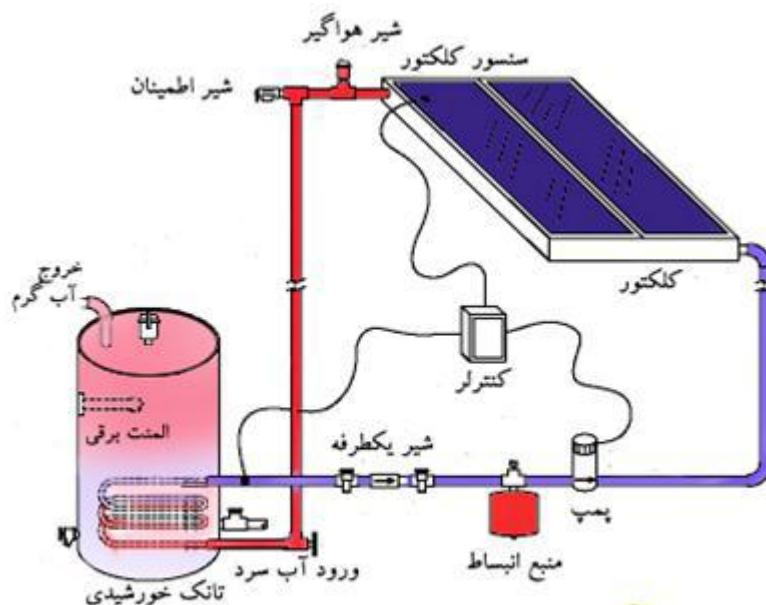
با دو شیر نرمال باز<sup>۱</sup> تخلیه می شود.

### ۳-۶-۴ سیستم های غیر مستقیم

سیستم های غیر مستقیم در کلکتور از سیال پروپیلن گلیکول برای انتقال حرارت استفاده می کنند. دمای پایین انجماد پروپیلن گلیکول از یخ زدگی سیستم جلوگیری می کند و امکان استفاده از سیستم های خورشیدی در جاهایی که مدت زمان بیشتری را در شرایط زیر صفر درجه سانتیگراد به سر می برند را فراهم می کند. سیستم های غیر مستقیم برای جلوگیری از جریان معکوس ترموسیفون در شب به یک شیر یکطرفه احتیاج دارند. شکل (۳-۱۹) نمایی از این سیستم ها را نشان می دهد. در این سیستم ها اگر از سیالات غیر آشامیدنی یا سمی استفاده شود، بایستی از مبدل های حرارتی دوجداره استفاده کرد، که می تواند دو مبدل حرارتی در حالت سری باشد. این مبدل ها می توانند در داخل مخزن ذخیره اطراف مخزن یا خارج مخزن قرار گیرند. با توجه به بسته بودن مدار کلکتور یک مخزن انبساط و یک شیر اطمینان فشار نیاز است. بعلاوه محافظت از افزایش بیش از حد دما برای جلوگیری از تجزیه شدن سیال انتقال دهنده حرارت یا تبدیل شدن به عامل خوردگی لازم است. در این سیستم ها برای مناطقی که دمای یخ زدگی طولانی دارند بیشتر از محلول های آب - اتیلن گلیکول استفاده می شود زیرا در برابر یخ زدگی مقاومت خوبی دارند. قانون کلی برای مخازن ذخیره این است که حجم آن بایستی ۳۵ تا ۷۰ لیتر به ازای هر مترمربع مساحت دید کلکتور باشد و بطور گسترده  $50 \text{ L/m}^2$  استفاده می شود.

---

<sup>۱</sup>Normal Open



شکل ۱۸-۰: نمایی از سیستم غیر مستقیم (4)

آبگرمکن های خورشیدی به منظور جبران کمبود احتمالی انرژی خورشیدی، باید دارای یک سیستم جبران ساز باشند. سیستم جبران ساز در آبگرمکن های خورشیدی ترموسیفونی یک المنت برقی است که در داخل مخزن اصلی قرار دارد و در مواقع موردنیاز بصورت اتوماتیک روشن می شود. این المنت برقی دارای یک ترموستات است که می توان دمای دلخواه را توسط آن تنظیم نمود

### ۳-۶-۵ سیستم های برگشتی

سیستم های برگشتی از آب بعنوان سیال انتقال حرارت استفاده می کنند. برای جلوگیری از خطر یخ زدگی هنگامی که دمای کلکتور کمتر از دمای تانک می شود پمپ خاموش می شود و آب داخل سیستم به منبع

برگشت داده می شود. سپس فضای داخل کلکتور توسط هوا پر می شود و از یخ زدگی سیستم محافظت می کند. برای هر دو سیستم غیر مستقیم و برگشتی، چرخه سیالی که انرژی خورشیدی را جذب می کند بطور بسته با آبی که در تانک ذخیره وجود دارد تبادل حرارت می کند. بدین ترتیب، سیستم ها از آب آشامیدنی که مورد مصرف خانگی قرار می گیرد جدا می شوند.

### **۳-۷ انواع سیستم گرمکن خورشیدی**

#### **۳-۷-۱ سیستم های ترموسیفون:**

در این سیستم ها کلکتور در زیر مخزن ذخیره قرار دارد. با تابش خورشید بر دمای سیال داخل کلکتور افزوده می شود و در نتیجه چگالی آن کاهش می یابد. اگر دما به حد کافی بالا رود به طوری که وزن سیال از لوله پایین کلکتور - لوله بالای کلکتور - ورود به مخزن ذخیره از وزن سیال بین ورودی و خروجی از مخزن - ورودی به کلکتور، کمتر بشود آنگاه سیال شروع به حرکت خواهد کرد.

این سیستم ها خیلی ساده هستند و نیازی به پمپ ندارند. اگر در شرایط آب و هوایی با امکان یخ زدگی از این سیستم ها استفاده شود از ترکیب ضد یخ استفاده خواهد شد و ممکن است از گرمکن برقی در مخزن ذخیره نیز استفاده شود. اگر از حرارت داخل مخزن برداشتی نشود دمای مخزن بر اثر همرفت طبیعی بالا خواهد رفت و در صورتی که اتلاف حرارتی مخزن و لوله ها با انرژی خورشیدی مفید به دست آمده توسط کلکتور برابر شود سیستم به حداکثر دمای خود می رسد و امکان جوش آمدن در مخزن آب گرم مصرفی (DHW) یا لوپ کلکتور وجود دارد که بستگی به فشار در هر لوپ دارد. اگر جوش آمدن در کلکتور ایجاد شود بخار با تحویل

گرما به مخزن چگالیده می شود و اگر جوش آمدن در مخزن اتفاق بیفتد از شیرهای کاهش فشار برای خروج بخار استفاده خواهد شد. (4)

### **۳-۷-۲ سیستم آب گرم خانگی پمپی**

سیستم های پمپی زمانی نیاز می شود که کلکتور در سطح بالاتری از مخزن قرار دارد. این مورد زمانی اتفاق می افتد که از سیستم آب گرمکن خورشیدی در مناطقی که دمای هوا در زمستان بسیار پایین است استفاده شود و بنابراین نمی توان مخزن را در هوای آزاد قرار داد. بمب برای گردش آب از مخزن به کلکتور بمنظور افزایش دمای آن هنگامی که انرژی خورشیدی به میزان کافی در دسترس است استفاده می کند. بمب از یک ترموستات اختلافی که دما در خروجی کلکتور و مخزن ذخیره را اندازه گیری و مقایسه می کند فرمان می گیرد و زمانی بمب شروع بکار می کند که یک اختلاف دمای مشخصی وجود داشته باشد. (4)

### **۳-۷-۳ سیستم های جریان مستقیم**

این سیستم ها اغلب از یک مخزن ذخیره تکی مجهز به یک گرمکن کمکی آب استفاده می کند اما دو مخزن ذخیره نیز می تواند استفاده شود. یک خصوصیت مهم این ساختار استفاده از SPRING-LOADED CHECK VALVE برای جلوگیری از اتلافات حرارتی ناشی از جریان ترموسیفونی معکوس بعلت کار نکردن بمب است.

سیستم های جریان مستقیم از مخزن آب سرد تغذیه شده و یا مستقیم به آب شهر متصل می شوند. سیستم های آب گرمکن مستقیم در مناطقی که سختی آب بالا و یا اسیدی است نباید استفاده شود زیرا باعث خوردگی در کلکتور خواهد شد.

این سیستم ها در مناطقی که امکان یخزدگی کم است می تواند استفاده شود. در شرایط آب و هوای خاص بوسیله چرخش دوباره آب گرم از مخزن ذخیره از سیستم در برابر یخزدگی محافظت می شود. با این روش مقداری حرارت تلف می شود ولی در عین حال از سیستم محافظت می شود.

برای محافظت در برابر یخزدگی نوعی از سیستم های جریان مستقیم به نام سیستم تخلیه از پایین (drain-down system) استفاده می شود. هر وقت که یخزدگی یا خرابی در سیستم بیش آید سیستم بطور اتوماتیک با جدا کردن آرایه کلکتورها و لوله های بیرونی از آب تغذیه مصرفی با استفاده از یک شیر نرمال بسته (NC) و تخلیه آن با دو شیر نرمال باز (NO) تخلیه می شود.

### **۳-۷-۴ سیستم های آب گرمکن غیر مستقیم**

سیال انتقال دهنده حرارت در یک مدار بسته از کلکتور تا مبدل حرارتی گردش می کند بطوریکه حرارت در این مبدل به آب آشامیدنی انتقال می یابد. متداولترین سیالات انتقال دهنده حرارت محلول های آب - اتیلن گلیکول هستند هرچند سیالاتی نظیر روغن های سیلیکون و مبردها نیز می توانند استفاده شوند. اگر سیالات غیر آشامیدنی یا سمی استفاده شود بایستی از مبدل های حرارتی دوجداره استفاده شود: که می تواند دو مبدل

حرارتی در حالت سری باشد. این مبدل ها می توانند در داخل مخزن ذخیره اطراف مخزن (بوسته مخزن) یا خارج مخزن قرار گیرند. با توجه به بسته بودن مدار کلکتور یک مخزن انبساط و یک شیر اطمینان فشار نیاز است. بعلاوه محافظت از افزایش بیش از حد دما برای جلوگیری از تجزیه شدن سیال انتقال دهنده حرارت یا تبدیل شدن به عامل خوردگی لازم است. (4)

در این سیستم ها برای مناطقی که دمای یخزدگی طولانی دارند بیشتر از محلول های آب - اتیلن گلیکول استفاده می شود زیرا در برابر یخ زدگی مقاومت خوبی دارند.

قانون کلی برای مخازن ذخیره اینست که حجم آن بایستی ۳۵ تا ۷۰ لیتر به ازای هر مترمربع مساحت دید کلکتور باشد و بطور گسترده  $50 \text{ l/m}^2$  استفاده می شود.

### **۳-۸ سیستم های ترکیبی (آب گرم مصرفی و گرمایش ساختمان) خورشیدی**

#### **پمپی**

بار گرمایش ساختمان (SH) در طول سال با تابش خورشید رابطه معکوس دارد. در زمستان بار مورد نیاز SH زیاد است اما تابش خورشید کم است. در تابستان نیازی به گرمایش ساختمان وجود ندارد اما تابش خورشید زیاد است.

هر چه دمای محیط کمتر باشد و استاندارد عایقکاری کمتر رعایت شود بار SH مورد نیاز و حرارت کل مورد نیاز (بار آبگرم مصرفی + گرمایش) افزون می شود.



حالات مختلف ارتباط هیدرولیکی اجزای سیستم ترکیبی خورشیدی وجود دارد. سیستم های متداول که دارای مخزن ذخیره SH می باشند (به طور مثال بویلر گازی)، بوسیله یک سیستم حرارتی خورشیدی، سیستم گرمایش ساختمان ارتقا می یابد و در چنین مواردی مخازن ذخیره جداگانه برای DHW و SH وجود دارد. سیستم های جدید اغلب دارای یک مخزن ذخیره ترکیبی برای ذخیره حرارت DHW و SH هستند. (۴)

### **۳-۸-۱ مقایسه سیستم های ترکیبی با آب گرمکن های خورشیدی**

سیستم های ترکیبی خورشیدی از لحاظ جمع آوری انرژی خورشیدی و انتقال حرارت تولیدی به وسیله ای برای ذخیره انرژی شبیه هم هستند. تفاوت اصلی اینست که مساحت کلکتور نصب شده در یک سیستم ترکیبی برای تامین دو انرژی مورد نیاز، بیشتر از آب گرمکن خورشیدی است که وظیفه تامین فقط یک مورد از انرژی را دارد.

در یک سیستم ترکیبی حداقل دو منبع انرژی وجود دارد که برای تامین حرارت دو مصرف کننده انرژی حرارتی استفاده می شود: کلکتورهای خورشیدی مادامی که انرژی خورشیدی در دسترس باشد حرارت را تامین می کنند و منبع انرژی کمکی (نفت، گاز، چوب و غیره) مکمل انرژی خورشیدی است.

### **۳-۹ نحوه دسته بندی سیستم های ترکیبی خورشیدی**

تفاوت اصلی بین سیستم های ترکیبی مختلف در حالت کلی به ذخیره حرارت و نحوه مدیریت حرارت که توسط مهندس طراح انتخاب می شود بستگی دارد و شامل موارد ذیل است:

- ✓ آیا حرارت تولید شده بوسیله سیستم گرمکن کمکی نیاز به ذخیره دارد یا خیر.
  - ✓ تعداد مخزن های ذخیره
  - ✓ طراحی لوپ ها به گونه ای که سیال به عنوان واسطه ذخیره حرارت به کار گرفته شود.
  - ✓ نوع مبدل های حرارتی که برای انتقال حرارت از یک سیال واسطه به دیگری استفاده می شود.
  - ✓ هندسه لوله های سیال ورودی به مخازن ذخیره و دبی جریان که هر دو تاثیر مستقیم در همگن شدن حرارت در مخزن دارند.
  - ✓ هندسه وسایل مکانیکی لایه بندی حرارتی
  - ✓ الگوریتم کنترلی استفاده شده
  - ✓ ابعاد تمام اجزای سیستم
- روش ذخیره حرارت تولید شده برای گرمایش ساختمان بوسیله کلکتورهای خورشیدی؛ مخزن حرارت کلکتورهای خورشیدی می تواند با مخزن حرارت DHW ترکیب بشود یا نشود. و همچنین با مخزن ذخیره حرارت گرمکن کمکی برای گرمایش ساختمان می تواند ترکیب بشود یا نشود.
- منظور از نحوه مدیریت حرارت تولیدی بوسیله گرمکن کمکی اینست که: آیا حرارت تولیدی ذخیره شود؟ برای چه مدت؟ چگونه کنترل کننده ها تضمین می نمایند که گرمکن های کمکی باقی مانده حرارتی را که کلکتورهای خورشیدی نمی توانند فراهم کنند، تامین نمایند.

### ۳-۱۰ تابش خورشید و دمای محیط

آب و هوا بعنوان یک فاکتور مهم در انرژی بهره برداری شده از یک سیستم ترکیبی خورشیدی تاثیر دارد که شامل موارد زیر است:

کلکتور خورشیدی:

- ✓ دمای جاذب وابسته به تابش خورشیدی روی کلکتور خورشیدی است.
- ✓ اتلافات حرارت به محیط از اختلاف دمای بین جاذب کلکتور و محیط ناشی می شود.
- ✓ بار حرارتی ساختمان
- ✓ در نتیجه اختلاف دمای بین ساختمان و محیط بیرون اتلافات حرارتی ایجاد می شود. (هوا و زمین)
- ✓ تابش خورشید به بنجره ها بعنوان بهره حرارتی داخلی در بازه زمانی از سال که نیاز به گرمایش ساختمان می باشد.
- ✓ بار آب گرم (DHW)
- ✓ دمای آب سرد شبکه اصلی آبرسانی در طول سال متغیر است. این تغییر بطور اساسی وابسته به دمای متوسط ماهانه محیط است.

## فصل چهارم نتیجه گیری و بحث

---

به کارگیری انرژی خورشیدی در تامین آب گرم مصرفی منازل و مراکز صنعتی، یکی از کاربردی ترین و مقرون به صرفه ترین روش های استفاده از انرژی های تجدید شونده در جهان امروزی است و به همین دلیل اکثر کشورهای پیشرفته و در حال توسعه، در حال سرمایه گذاری کلان در این راستا می باشند. تجهیزات ساده و ارزان قیمت، عدم نیاز چندان به تعمیر و نگهداری، راندمان بالا و امکان تولید و نصب سریع و آسان و همچنین امکان بهره برداری عموم جوامع از این سیستم دلایل محکمی در بکارگیری از این طرح می باشند.

در کشورهای نظیر کشور ما که میزان تابش خورشیدی در آن به  $2000 \text{ kw/m}^2$  در سال می رسد و در بسیاری از نقاط آن تعداد ساعات آفتابی از ۲۸۰۰ ساعت در سال تجاوز می کند، استفاده از انرژی خورشید، نه تنها ضروری بلکه اجتناب ناپذیر است. لذا با داشتن دانش کافی درباره تابش خورشید، به راحتی و به صورت بسیار موثرتر می توان انرژی خورشید را برای گرم کردن آب مصرفی منازل و حتی کاربرهای صنعتی بکار برد. پیشرفت های علمی روی آبگرمکن خورشیدی در دهه های اخیر رشد چشمگیری داشته است. این نوع آبگرمکن ها نه تنها برای کاربردهای خانگی بلکه برای هتل ها، بیمارستان ها، ساختمان های اداری، صنایعی مانند نساجی، کاغذ سازی، صنایع غذایی و حتی گرم کردن آب استخرهای شنا در زمستان کاربرد فراوانی پیدا کرده اند. در این قسمت از تحقیق به بررسی فنی و اقتصادی استفاده از آبگرمکن های

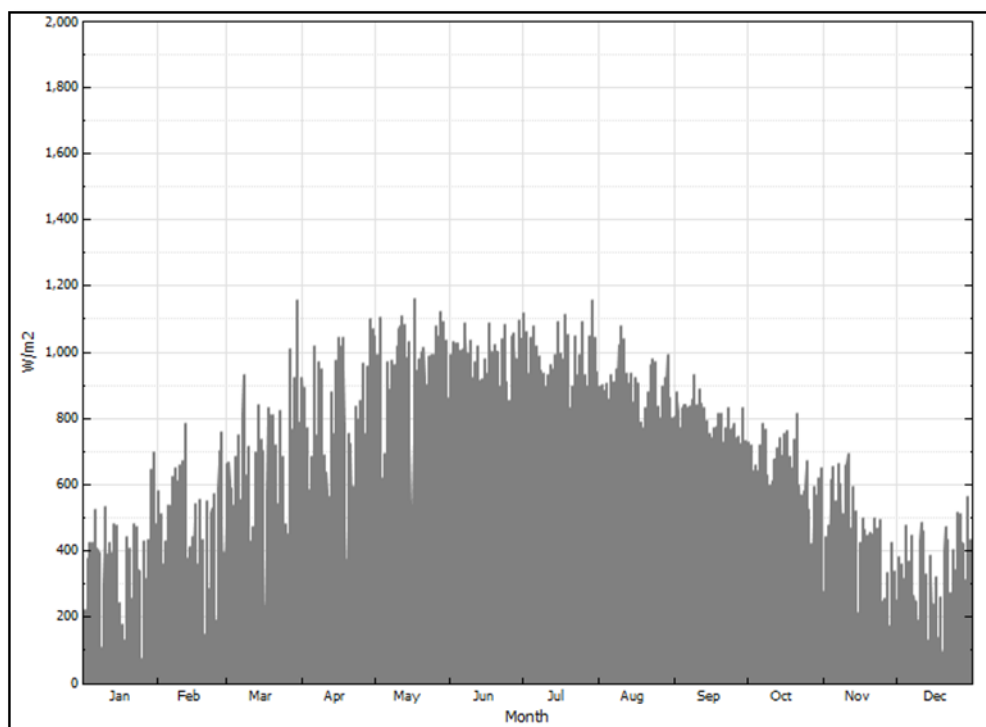
خورشیدی صفحه تخت برای کاربردهای مسکونی پرداخته می شود. برای اینکار از نرم افزارهای SAM، TRNSYS<sup>۱</sup> و Retscreen استفاده شده است.

## ۴-۲ شرایط آب و هوایی

میزان دریافت انرژی خورشیدی در نقاط مختلف بر اساس تفاوت عرض جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا، پدیده های جوی و غیره متفاوت است. بنابراین، برای کسب اطلاعات مربوط به تابش، باید عرض و ارتفاع جغرافیایی آن مکان مشخص شود، تا بتوان میانگین ماهیانه و سالانه تابش دریافتی از خورشید را در سطح افق و تمامی سطوح با جهت ها و شیب های مختلف، برای مکان مورد نظر تعیین کرد. با توجه به اینکه شهرهای مرکزی ایران از شدت تابش خورشیدی بالایی ( $4.5-5.2 \text{ KWh/m}^2/\text{day}$ ) برخوردار هستند، و استفاده از این سیستم ها توجیه بهتری دارد، در این تحقیق شهر تهران بعنوان مطالعه موردی مورد بررسی قرار گرفته است.

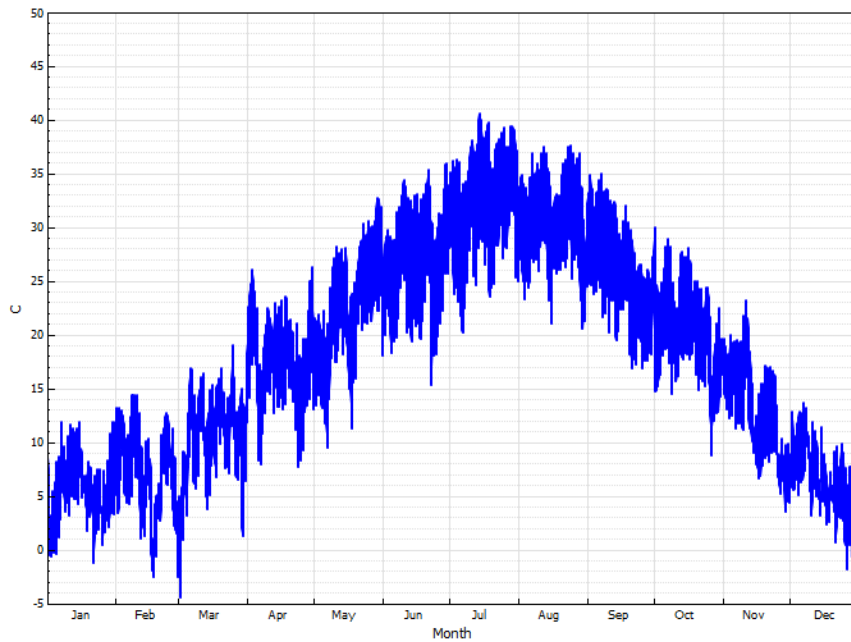
---

<sup>۱</sup>System Advisor Model



شکل ۰-۲۱: نمودار شدت تابش خورشیدی سالیانه شهر تهران (منبع : <http://www.energyplus.com>)

شهر تهران دارای عرض جغرافیایی  $35/4^{\circ}$  درجه، طول جغرافیایی  $51/3^{\circ}$  درجه، ارتفاع از سطح دریاهای آزاد ۱۹۹۰ متر و میانگین دمای  $18^{\circ}$  درجه سانتیگراد است. همچنین میانگین سرعت وزش باد در شهر تهران  $m/s$   $2/7$  می باشد. به عنوان ورودی مساله به اطلاعات جغرافیایی دقیقی از جمله میزان تابش خورشید و میانگین دما در ماه های مختلف سال نیاز داریم. شکل (۴-۱) نمودار شدت تابش خورشیدی سالیانه شهر تهران و شکل (۴-۲) نیز میانگین دمای شهر تهران را در ماه های مختلف سال نشان می دهند.



شکل ۲۲-۰: میانگین دمای شهر تهران در ماههای مختلف سال (منبع: <http://www.energyplus.com>)

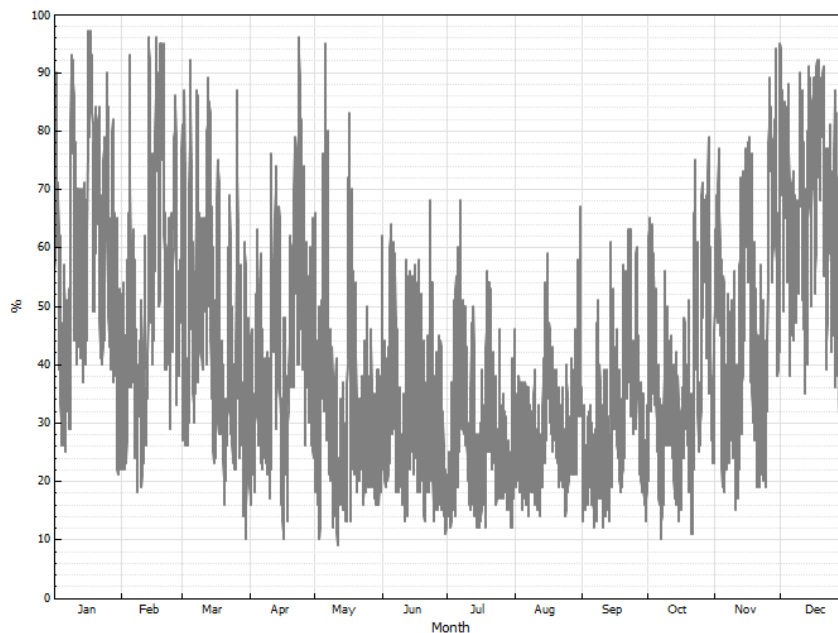
همانگونه که از شکل ها بر می آید، شهر تهران دارای حداکثر و حداقل میانگین دما به ترتیب برابر ۳۲/۳ و

۵/۳۴ درجه سانتی گراد می باشد که به ترتیب مربوط به ماههای Jul و Jan می باشد. شکل (۴-۱) نیز نشان

می دهد که، شهر تهران دارای میانگین شدت تابش سالیانه  $153/6 \text{ KW/m}^2$  می باشد.

شکل (۴-۳) نرخ رطوبت سالیانه را برای شهر تهران طی ماه های سال نشان می دهد.





شکل ۰-۲۳: نرخ رطوبت سالیانه برای شهر تهران طی ماههای سال

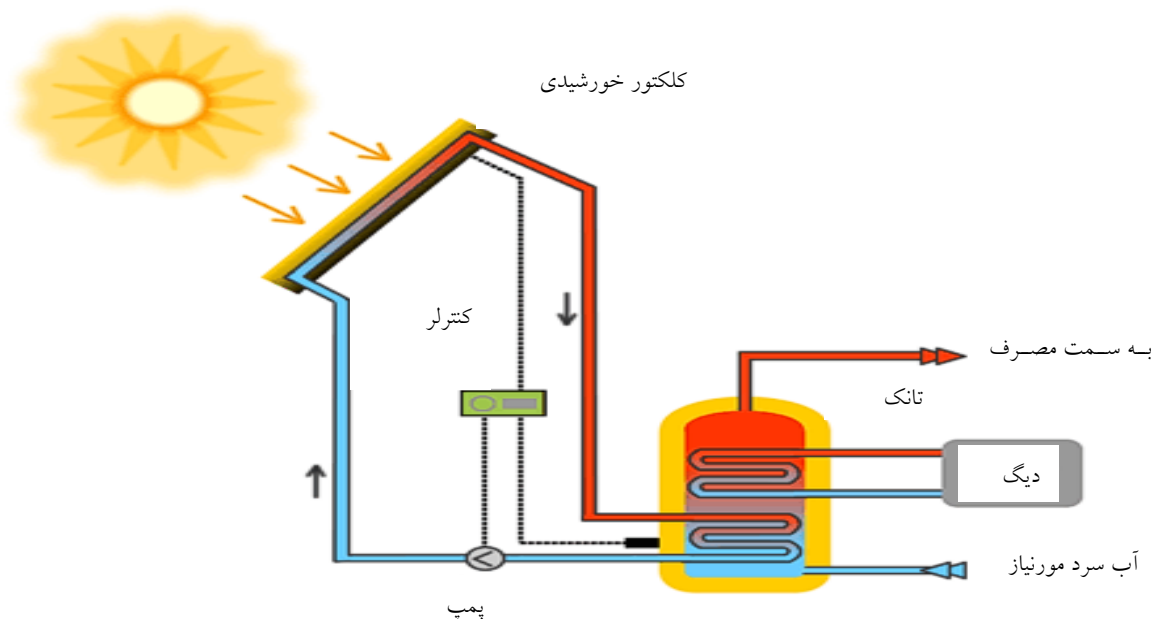
## ۴-۳ شماتیک و شبیه سازی سیستم مورد نظر

همانطوریکه بیان شد، آبگرمکن خورشیدی دستگاهی است که انرژی خورشید (نور مستقیم و غیر مستقیم) را به انرژی گرمایی تبدیل و آن را به آب انتقال می دهد. انواع آبگرمکن خورشیدی را می توان بر اساس تفاوت آنها در نوع کلکتور جاذب انرژی خورشیدی طبقه بندی کرد که عبارتند از : آبگرمکن خورشیدی با کلکتور تخت و آبگرمکن های خورشیدی با کلکتورهای لوله ای تحت خلا. شماتیک سیستم طراحی برای تامین آبگرم مصرفی در ساختمان مسکونی مورد مطالعه در شکل (۴-۴) نشان داده شده است. همانطوریکه از شکل واضح است، سیستم آبگرمکن خورشیدی دارای اجزای زیر است :

- **سطح جاذب (کلکتور) :** در این تحقیق جنس کلکتور از نوع کلکتور صفحه تخت انتخاب شده است و تعداد آن بر اساس میزان مصرف آبگرم روزانه تعیین می شود. بطور کلی کلکتور های مورد

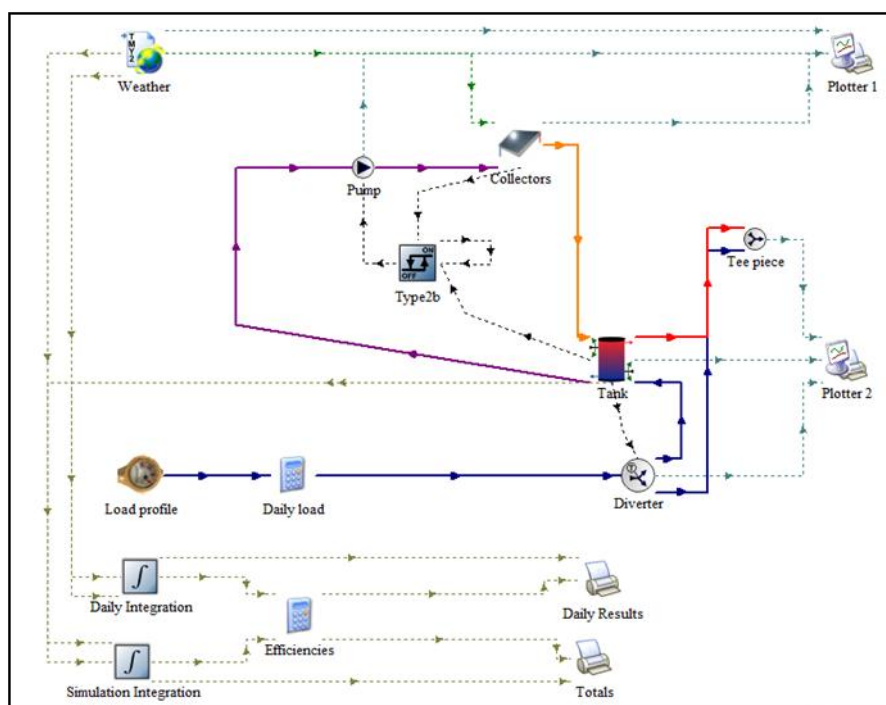
استفاده در آبگرمکن های خورشیدی در دو نوع صفحه ای و لوله ای هستند که کلکتور صفحه تخت استفاده بیشتری دارد. این نوع از کلکتورها در شرایطی که آب و هوای منطقه مورد نظر سرد نباشد، استفاده می شوند و بازدهی بالاتری دارند؛

- مخزن ذخیره آبگرم : این مخزن معمولاً بصورت مخزن دو جداره یا مخزن کویل دار می باشد؛
- پمپ سیرکولاسیون : جهت گردش آب درون کلکتورها و تبادل حرارتی با تانک بکار می رود؛
- منبع انبساط : جهت جلوگیری از نوسانات حجمی و یکنواخت کردن فشار سیال بکار می رود.



شکل ۰-۲۴: شما تیک سیستم آبگرم مصرفی در ساختمان مسکونی مورد مطالعه (۱۳)

برای شبیه سازی فنی سیستم مورد نظر از نرم افزار TRNSYS استفاده شده است که شما تیک آن در شکل (۵-۴) نشان داده شده است.



شکل ۲۵-۰: سیستم آبگرمکن خورشیدی طراحی شده در نرم افزار TRNSYS

با توجه به استانداردهای موجود در زمینه مصرف آب گرم در ایران، به ازای هر نفر معادل ۶۰ لیتر آب گرم برای مصرف در روز در نظر گرفته شده است، که برای یک خانواده ۴ نفره حجم آب گرم مصرفی حدود ۲۴۰ لیتر در روز در نظر گرفته می شود. برآورد میزان انرژی مورد نیاز این مقدار آب با توجه به دمای ورودی و خروجی آب مصرفی گام اصلی و اساسی در راستای تحقیق حاضر می باشد که در ادامه به آن پرداخته می شود. میزان حرارت لازم برای تامین آب گرم مصرفی توسط رابطه زیر محاسبه می شود: (۱۳)

$$Q = C_p \cdot M \cdot (T_2 - T_1)$$

که در آن  $M$  مقدار واقعی آبگرم مصرفی در روز بر حسب لیتر،  $C_p$  وزن مخصوص آب در فشار ثابت بر حسب  $KJ/Kg.K$ ، و  $T_1$  و  $T_2$  به ترتیب دمای آب ورودی و خروجی از آبگرمکن خورشیدی بر حسب درجه سانتی گراد می باشند، که مقادیر این پارامترها در جدول (۴-۱) آورده شده است.

جدول ۳-۰: داده های مورد نظر برای محاسبه میزان حرارت لازم جهت تامین آبگرم مصرفی

پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
وزن مخصوص آب در فشار ثابت	4.18 KJ/Kg.K	دمای آب ورودی به آبگرمکن خورشیدی	15.5° C
مقدار واقعی آبگرم مصرفی در روز	240 lit	دمای آب خروجی از آبگرمکن خورشیدی	60° C

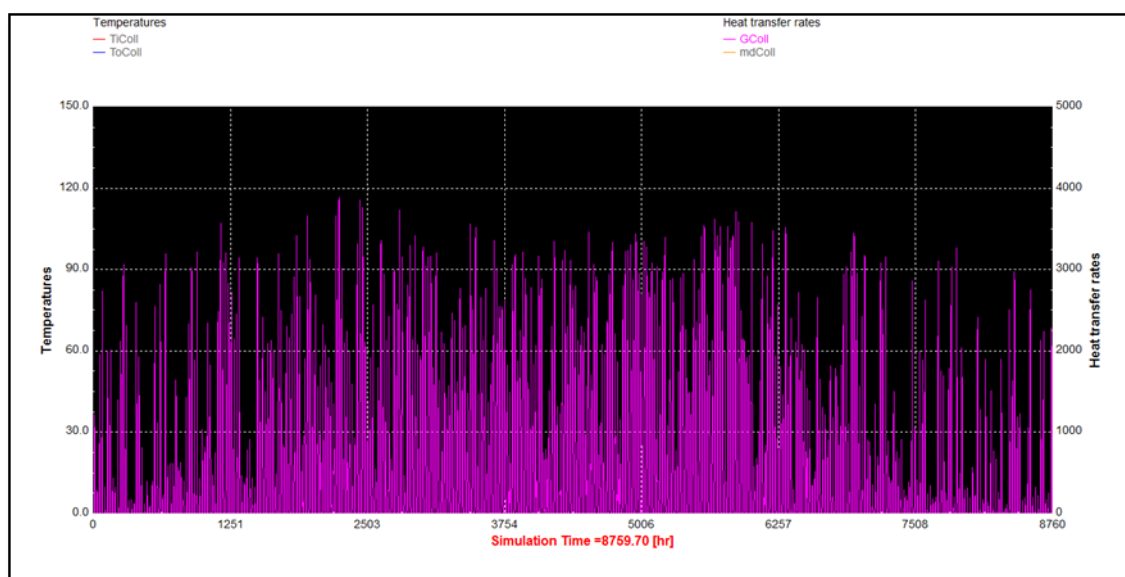
لذا با توجه داده های جدول فوق می توان گفت که سالیانه به حرارتی معادل  $16.29 \times 10^6$  KJ یا KWh جهت تامین آبگرم مصرفی این ساختمان مسکونی نیاز می باشد. در صورتی که ۷۵٪ این انرژی توسط سیستم خورشیدی تامین شود، میزان کل انرژی حاصل از سیستم آبگرمکن خورشیدی برای یک خانواده ۴ نفره برابر ۳۳۹۵ KWh خواهد بود. جدول (۴-۲) مشخصات اجزای سیستم آبگرمکن خورشیدی را نشان می دهد.

جدول ۴-۰: مشخصات اجزای سیستم آبگرمکن خورشیدی

پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
مساحت کلکتور	۳/۸ m <sup>2</sup>	IAM	۰/۰۹
نرخ دبی کل سیستم	۰/۰۵ Kg/s	حجم تانک ذخیره	۰/۷۷ m <sup>3</sup>
سیال عامل	آب	دمای ورودی سیال	۱۵/۵ °C
زاویه شیب کلکتور	۳۵	دمای خروجی سیال	۶۰ °C
زاویه آزیموس کلکتور	۱۸۰	توان پمپ	۳۰ W
$F_R(\tau\alpha)$	۰/۸۴	راندمان پمپ	۰/۸۵
$F_R U_L$	۶/۸ W/m <sup>2</sup> .C		

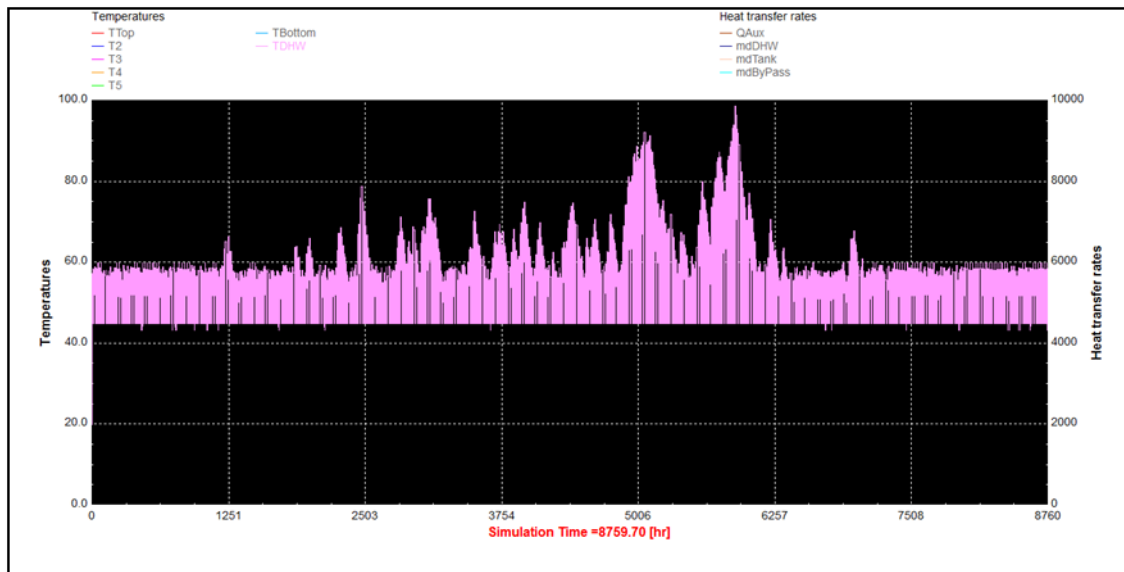
## ۴-۴ بحث و نتیجه گیری:

برای بررسی سیستم آبگرمکن خورشیدی از لحاظ فنی به سراغ آنالیز نمودار های خروجی نرم افزار TRNSYS می رویم. شکل های (۴-۶) و (۴-۷) به ترتیب انرژی حرارتی و دمای آبگرم تولیدی توسط سیستم آبگرمکن خورشیدی را نشان می دهند.



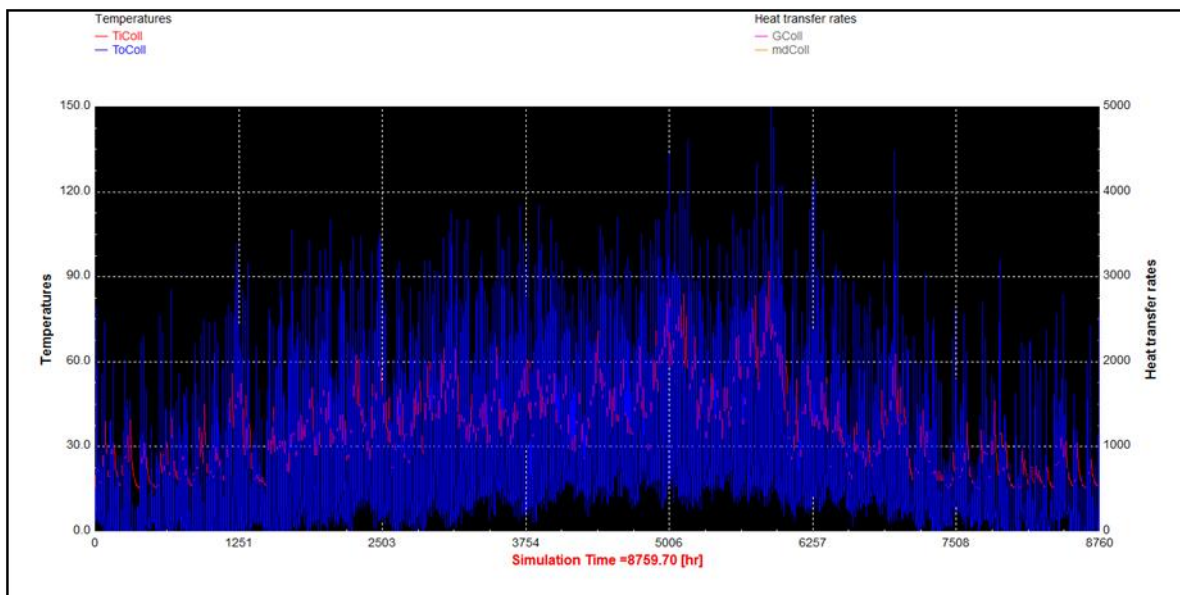
شکل ۴-۶: انرژی حرارتی تولیدی توسط سیستم آبگرمکن خورشیدی

همانطوریه از شکل ها مشخص است بالاترین انرژی حرارتی تولیدی توسط سیستم آبگرمکن خورشیدی در حدود  $3900 \text{ KJ/h}$  و بالاترین دمای خروجی این سیستم در حدود  $98^\circ\text{C}$  می باشد. همچنین شکل (۴-۸) دمای ورودی و خروجی کلکتور را نشان می دهد.



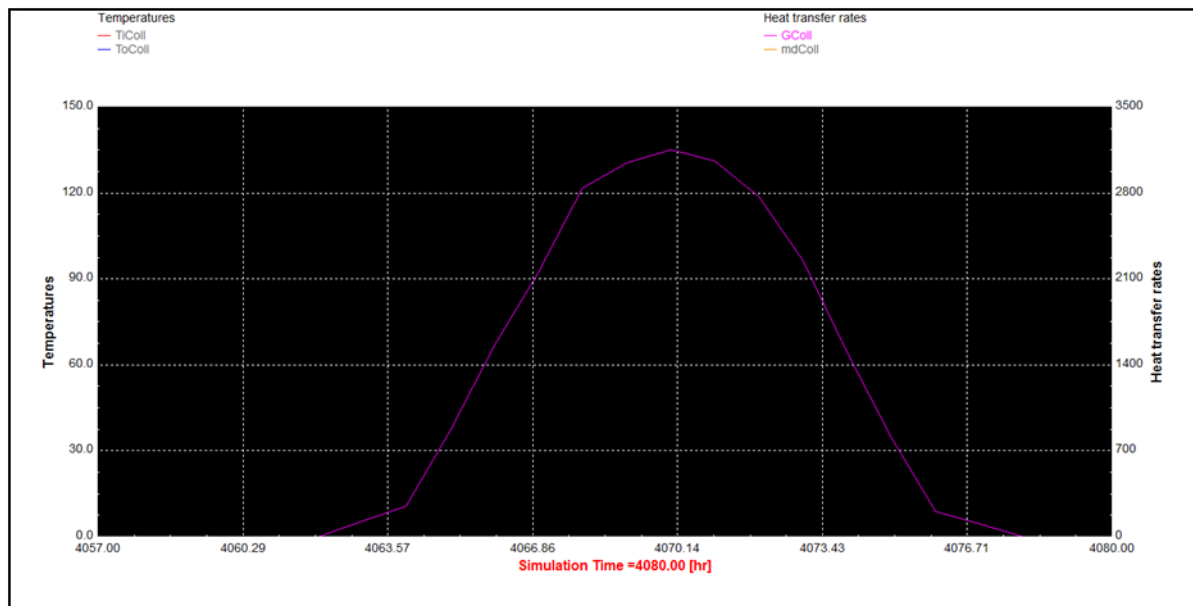
شکل ۲۷-۰: دمای آبگرم تولیدی توسط سیستم آبگرمکن خورشیدی

با بررسی نمودارها می توان گفت که سیستم آبگرمکن خورشیدی طراحی شده  $3/326 \text{ KWh}$  انرژی حرارتی را تولید می کند که تقریباً برابر نیاز بار حرارتی برای تامین آبگرم مصرفی ساختمان می باشد.



شکل ۲۸-۰: مقایسه دمای ورودی و خروجی کلکتور سیستم آبگرمکن خورشیدی (رنگ قرمز دمای ورودی، رنگ آبی دمای خروجی)

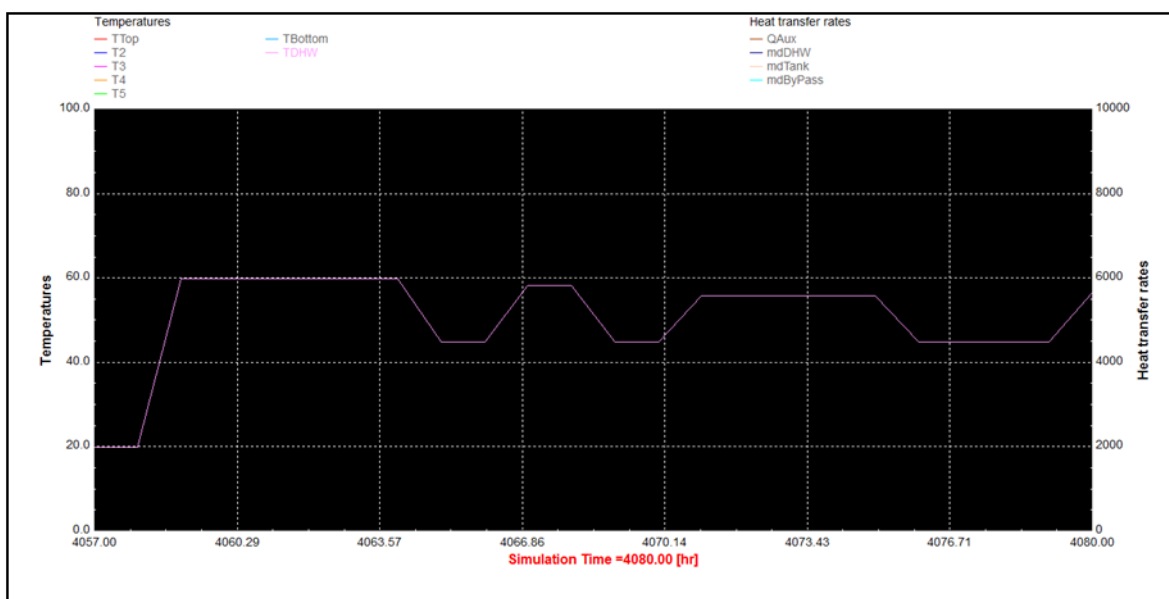
در ادامه برای آنالیز بیشتر سیستم آبگرمکن خورشیدی یک روز مشخصی از سال را در نظر گرفته و خروجی های سیستم را بررسی می کنیم. برای اینکار روز ۲۹ خرداد ماه را در نظر می گیریم که در این روز از سال شدت تابش خورشیدی برابر  $7/36 \text{ KW/m}^2$  می باشد. شکل های (۴-۹) و (۴-۱۰) به ترتیب انرژی حرارتی خروجی و دمای آبگرم خروجی سیستم را نشان می دهند.



شکل ۰-۲۹: انرژی حرارتی تولیدی توسط سیستم آبگرمکن خورشیدی در روز ۲۹ خرداد

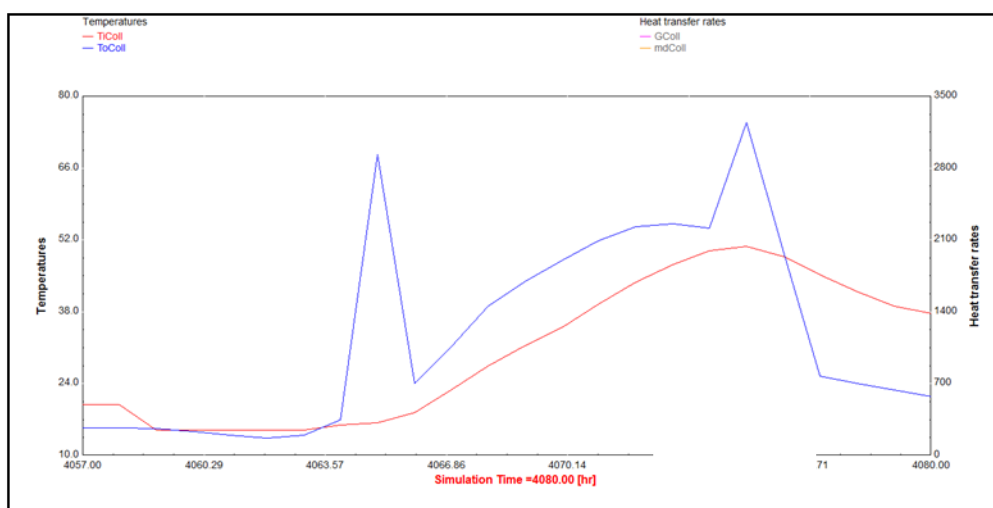
با بررسی دقیق تر این نمودارها می توان گفت که در این روز از سال کل انرژی حرارتی بدست آمده از سیستم آبگرمکن خورشیدی طراحی شده برابر  $8/87 \text{ KWh}$  می باشد، که با در نظر گرفتن اطلاعات بخش های قبلی با توجه به اینکه روزانه حدود  $9/3 \text{ KWh}$  انرژی حرارتی جهت تامین آبگرم مصرفی نیاز داریم، لذا می توان گفت که سیستم طراحی شده توانایی تولید این حرارت را دارد.

با دقت در نمودار دمای خروجی آبگرم تولیدی توسط سیستم آبگرمکن خورشیدی نیز می توان گفت که در اکثر ساعات شبانه روز دمای خروجی مناسب برای استفاده جهت مصارف آبگرم می باشد.



شکل ۳۰-۰: دمای آبگرم تولیدی توسط سیستم آبگرمکن خورشیدی در روز ۲۹ خرداد

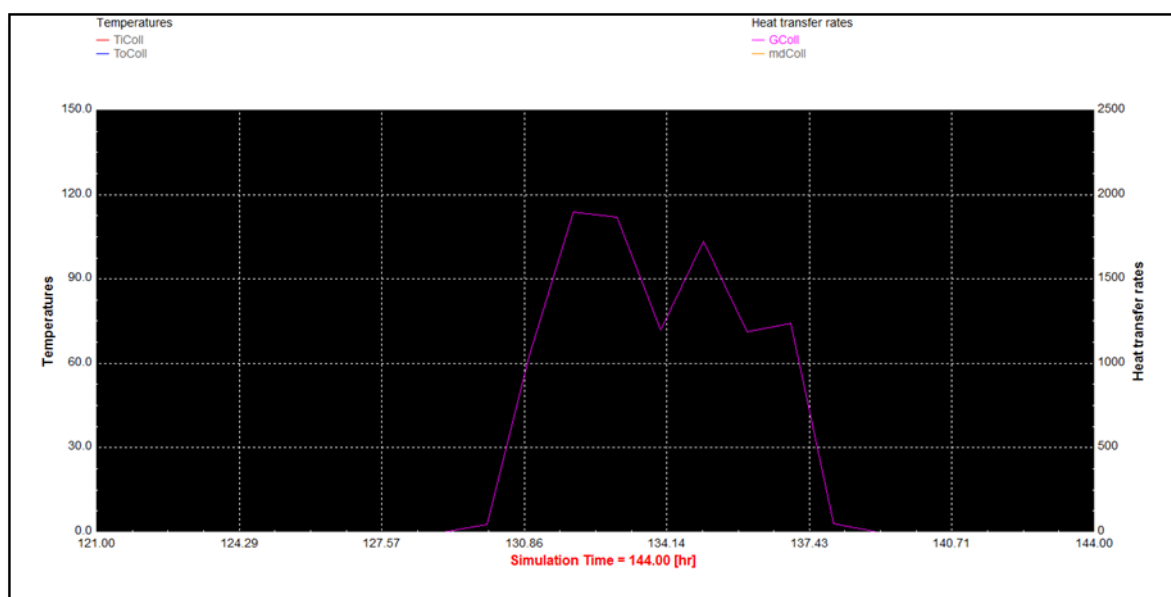
نمودار شکل (۴-۱۱) نیز مقایسه بین دمای ورودی و خروجی کلکتور را برای سیستم آبگرمکن خورشیدی طراحی شده نشان می دهد. واضح است که دمای خروجی کلکتور در حد قابل قبولی برای تامین آبگرم مصرفی موردنیاز می باشد.



شکل ۳۱-۰: مقایسه دمای ورودی و خروجی کلکتور در سیستم آبگرمکن خورشیدی



در ادامه نتایج را برای یک روز سرد سال یعنی ۱۵ دی ماه بررسی می کنیم. شکل (۴-۱۲) انرژی حرارتی تولید شده توسط سیستم آبگرمکن خورشیدی را برای این روز از سال نشان می دهد. با بررسی دقیق تر این نمودار می توان گفت که سیستم مذکور در حدود ۱۰۲۷۶ KJ یا ۲/۸۵ KWh انرژی حرارتی تولید می کند که با توجه به گفته های قبلی نتیجه می شود که در روزهای سرد سال سیستم آبگرمکن خورشیدی برای تامین آبگرم مصرفی به منبع حرارتی کمکی نیاز دارد. همچنین بالاترین انرژی حرارتی در این روز در ساعت ۱۱ بدست می آید که برابر ۱۸۹۷/۵۳ KJ/h می باشد.



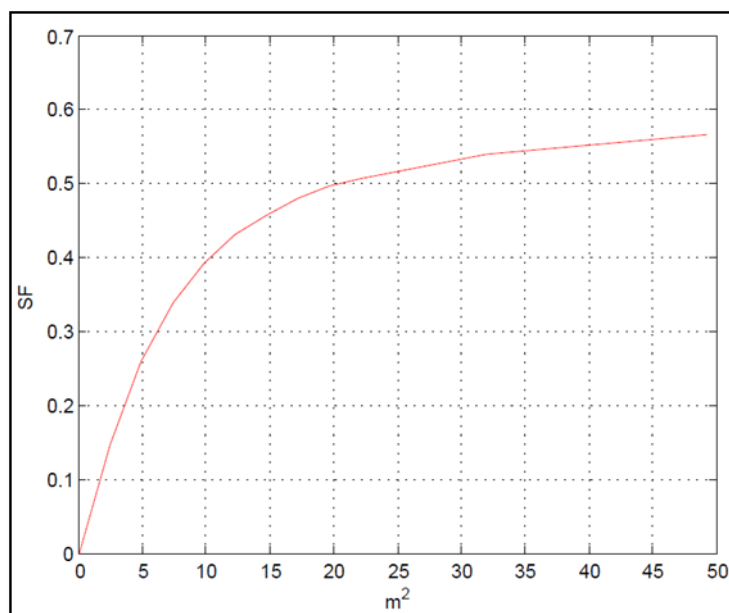
شکل ۰-۳۲: انرژی حرارتی تولیدی توسط سیستم آبگرمکن خورشیدی در روز ۱۵ دی ماه

لذا می توان نتیجه گرفت که سیستم طراحی شده در این تحقیق قادر به تامین ۷۵٪ نیاز آبگرم مصرفی می باشد که اگر در کنار این سیستم از یک منبع حرارتی کمکی بهره بگیریم می توان تمامی نیاز آبگرم مصرفی ساختمان را در طول سال تامین کرد، که در این حالت به اندازه ۲۳۷۳/۳ KWh صرفه جویی انرژی از منابع انرژی های فسیلی خواهیم داشت که این صرفه جویی انرژی، کاهش هزینه های اقتصادی و اجتماعی

خانوار در سطح خرد و کل جامعه در سطح کلان را به دنبال خواهد داشت، که در بخش بعدی به آن می پردازیم.

حال برای بررسی میزان کارایی سیستم بعد از محاسبه SF<sup>۱</sup> برای سیستم خورشیدی تعداد کلکتور ها را افزایش داده و نمودار SF را بر حسب مساحت کلکتور رسم می کنیم، که این نمودار در شکل (۴-۱۳) نشان داده شده است. همچنین برای محاسبه SF از رابطه زیر استفاده می کنیم :

$$SF = 1 - \frac{Q_{Solar} - Q_{Pupm}}{Q_{non-Solar}}$$



شکل ۰-۳۳: میزان Solar fraction بر حسب مساحت کلکتور

---

<sup>۱</sup>Solar fraction

که در این تحقیق با محاسبه SF با استفاده از رابطه فوق مقدار آن برابر ۰/۱۹ بدست می آید. البته با افزایش تعداد کلکتور راندمان سیستم بدلیل تلفات بالای کلکتورها پایین می آید که این امر را نیز باید در نظر گرفت.

## ۴-۵ آنالیز اقتصادی

بطور کلی برای بررسی عملکرد سیستم های آبگرمکن خورشیدی بایستی موارد زیر را در نظر گرفت :

- شدت تابش خورشیدی منطقه مورد مطالعه
  - انرژی مورد نیاز جهت تامین آبگرم مصرفی ساختمان
  - در نظر گرفتن حجم ذخیره مناسب جهت تامین آبگرم در شرایط ابری
- که کلیه این موارد در سرمایه گذاری اولیه سیستم های آبگرمکن خورشیدی تاثیر می گذارد. بر اساس گزارش سازمان انرژی آمریکا، معمولاً ابعاد بهینه سیستم های مولد خورشیدی را به گونه ای انتخاب می کنند که در کنار تاسیسات حرارتی حدود ۷۵٪ نیاز سالیانه آبگرم مصرفی ساختمان را برآورده نماید، و یا به عبارت دیگر سیستم خورشیدی حدود ۹ ماه از سال ۱۰۰٪ نیاز آبگرم مصرفی ساختمان را تامین کرده و در سه ماه فصل زمستان بصورت سیستم کمکی در کنار تاسیسات مرکزی ساختمان عمل نماید.

پژوهش ها و مطالعات انجام شده در زمینه اقتصاد انرژی خورشیدی حداقل در چهار زمینه قابل دسته بندی می باشند. ارزیابی های اقتصادی و مالی، بازاریابی و بررسی اندازه احتمالی بازار، بررسی پارامترهای اقتصادی (مانند اشتغال، محیط زیست و ذخیره انرژی) و تدوین برنامه ها و سیاست های دولت در زمینه

انرژی (شامل تشویق ها و جریمه ها، قوانین و مقررات و تخصیص اعتبارات پژوهشی و بودجه های تحقیقاتی)، چهار محور اصلی موضوعاتی هستند که در زمینه اقتصاد انرژی خورشیدی قابل بحث و بررسی می باشند. در محور نخست یعنی ارزیابی های اقتصادی و مالی پروژه های خورشیدی، سوالات زیر می تواند جهت فعالیت های پژوهشی را مشخص نماید: آیا سیستم های انرژی خورشیدی استعداد مقرون به صرفه بودن را دارند؟ قیمت تولید این سیستم ها چگونه تعیین می شود و هزینه استفاده از این سیستم ها به چه میزان است؟ آیا مصرف کننده های شخصی متقاضی آن ها می باشند و اگر چنین است تحت چه شرایطی چه طرح و اندازه هایی بیشتر مقرون به صرفه می باشند؟ و آیا این سیستم های توسط دولت تأمین مالی و یا حمایت می شوند؟ در دسته دوم یعنی مسائل بازاریابی، سوالات کلیدی که می توان مطرح نمود، عبارت است از: عوامل مهم و مؤثر در تقاضای سیستم های خورشیدی و موانع بازاری در بالا بودن میزان پذیرش آنها چه هستند و چگونه می توان اندازه بازارهای متفاوت را با توجه به منطقه جغرافیایی، نوع سرمایه گذاری، نوع ساختمان سازی تخمین زد. در دسته سوم، تاثیر بازار انرژی خورشیدی بر پارامترهای اقتصادی منطقه ای و ملی مانند اشتغال، محیط زیست و رفاه اجتماعی و هزینه های مربوط به آنها بررسی می گردد. در محور چهارم نیز موضوعاتی در زمینه تدوین برنامه ها و سیاست های دولت به منظور ایجاد سیاست عمومی مناسب در رابطه با انرژی خورشیدی و ایجاد زیرساخت های اقتصادی و فرهنگی در پذیرش و توسعه این فناوری، قابل بررسی می باشند.

برای آنالیز اقتصادی هر پروژه مالی باید ابتدا پارامترهای سرمایه گذاری (تخصیص منابع مالی به تجهیزات و تسهیلات مربوط به سیستم های اقتصادی)، مخارج (ارزش پولی کالاها، تجهیزات و خدمات خریداری شده در طول یک دوره زمانی)، درآمد (ارزش پولی فروش کالاها و خدمات در طول یک دوره زمانی)، هزینه (ارزش استهلاک کالاها و خدمات در فرآیند تولید تا هنگامیکه تولید محصول لازم است)، فروش (ارزش

پولی کالا و خدمات حاصل از عملیات فرآیند تولید در یک دوره زمانی)، هزینه یا قیمت جاری (هزینه یا قیمت در زمان های مشخص و بر اساس قیمت روز در آن زمان) و هزینه یا قیمت واقعی (هزینه یا قیمت کالاها و خدمات در زمانهای مختلف که تاثیر تورم از آن حذف شده است) مشخص شوند.

پروژه های مربوط به مهندسی انرژی به دو دسته پروژه های مربوط به احداث واحد های جدید<sup>۱</sup> و پروژه های مربوط به اصلاح واحدهای موجود<sup>۲</sup> تقسیم بندی می شوند. در تمام این دو نوع پروژه باید مقداری هزینه صرف شود تا در مقابل درآمدی حاصل گردد. در بررسی هزینه ها دو نوع هزینه را می توان در نظر گرفت: (۱۵)

- **هزینه های ثابت:** هزینه هایی هستند که وابسته و مرتبط با خروجی فرآیند یا تاسیسات نیستند، مانند هزینه اجاره محل و بیمه؛
  - **هزینه های متغیر:** هزینه هایی هستند که مستقیماً با خروجی یک تاسیسات خاص یا فرآیند تولید، تغییر می کنند، مانند هزینه های سوخت.
- برای بررسی آنالیز اقتصادی به ارائه چند مفهوم نیاز داریم که در ادامه به بیان آنها می پردازیم :

#### الف) نرخ بهره و انواع آن

به بهای پول وام گرفته شده نرخ بهره می گویند. هنگامی که مبلغی پول برای مدت معینی به عنوان وام داده می شود و به صورتی است که مبلغی که وام گیرنده به وام دهنده می پردازد بیش از مبلغ دریافتی اولیه

---

<sup>۱</sup>Grassroot Project

<sup>۲</sup>Retrofit Project

است. بنابراین می توان در پایان یک دوره معین مبلغ دریافتی و مبلغ بازپرداخت را با عنوان مبلغ پرداختی یا

نرخ بهره نسبت به کل پول دریافتی بیان کرد. نرخ بهره را به دو صورت زیر می توان بیان کرد :

۱ + نرخ بهره ساده: در این حالت نرخ بهره به عنوان درصد ثابتی از سرمایه قرض گرفته شده محاسبه می شود و یک درصد بهره ثابت برای هر سال وام در نظر گرفته می شود. برای بازپرداخت از فرمول زیر استفاده می کنیم: (۱۵)

(۳-۴)

$$TRV = LV + (IR/100 \times LV \times P)$$

۱ + نرخ بهره مرکب: در این حالت نیز مبلغ بهره به عنوان درصدی از وام معوقه در انتهای هر مقطع زمانی و بصورت سالیانه محاسبه می شود. برای محاسبه میزان بازپرداخت فرمول زیر را بکار می بریم:

(۱۵)

(۴-۴)

$$TRV = LV \times (1 + IR/100)$$

در روابط فوق TRV میزان بازپرداخت، LV سرمایه قرض گرفته شده، IR نرخ بهره و P نیز زمان بازپرداخت (سال) می باشند.

ب) زمان بازگشت سرمایه گذاری

زمان بازگشت سرمایه ( $PbT^1$ ) مدت زمانی است که طول می کشد تا جریانات نقدی تجمعی پروژه صفر شود. بعبارتی مدت زمانی است که طول می کشد تا سرمایه گذاری اولیه در پروژه با عایدات آن برابر

---

<sup>1</sup>Pay back Time

شود. زمان بازگشت سرمایه یکی از روش‌های استاندارد ارزیابی طرح‌های اقتصادی است که به دلیل آسان بودن محاسبه آن توسط بیشتر تحلیل گران مالی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش معیار ارزیابی طرح، کوتاهی و بلندی زمان بازگشت سرمایه است. طرح‌های با دوره بازگشت سرمایه کوتاه‌تر جذابیت بیشتری نسبت به طرح‌هایی با دوره بازگشت بلندتر دارند. این روش بخصوص در هنگام مقایسه دو یا چند طرح با یکدیگر کاربرد دارد. در محاسبه شاخص  $PbT$  ارزش زمانی پول در نظر گرفته نمی‌شود و جریانات نقدی با فرض دارا بودن ارزش یکسان در سال‌های مختلف، بایکدیگر جمع می‌شوند. برای طرح‌های مهندسی انرژی می‌توان زمان بازگشت سرمایه را به سه صورت زیر تعریف کرد: (۱۵)

ج) زمان بازگشت سرمایه ساده ( $SPbT^1$ ):

در این حالت هزینه‌های عملیاتی بعنوان عاملی در نظر گرفته می‌شوند که باید از درآمد ناخالص کسر شوند تا درآمد خالص بدست آید. برای محاسبه آن از رابطه زیر استفاده می‌کنیم: (۱۵)

$$(۵-۴) \quad \text{درآمد خالص سالیانه پروژه} / \text{هزینه خالص طرح یا سرمایه گذاری خالص طرح} =$$

$SPbT$

د) زمان بازگشت سرمایه پویا ( $RPbT^2$ ):

در تعریف زمان بازگشت سرمایه ساده به این نکته اشاره شد که ارزش زمانی پول در محاسبه زمان بازگشت سرمایه لحاظ نمی‌شود و برای بالا بردن دقت محاسبه به جای آن از شاخص زمان بازگشت سرمایه پویا استفاده می‌کنیم، که در آن جریانات نقدی پس از تنزیل شدن بایکدیگر جمع می‌شوند. برای محاسبه این پارامتر از رابطه زیر استفاده می‌کنیم: (۱۵)

---

<sup>1</sup>Simple Pay back Time

<sup>2</sup>Real Pay back Time

(۶-۴)

$$CC \times AF = AS$$

که در آن CC هزینه یا سرمایه گذاری خالص مورد نیاز طرح (دلار) و AS درآمد خالص سالیانه طرح (دلار بر سال) می باشند. همچنین AF نشانگر ضریب سالیانه کردن می باشد که طبق رابطه زیر بدست می آید:

(۱۵)

(۷-۴)

$$AF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

که در آن i نرخ بهره (یا تفاضل نرخ بهره و تورم) و n عمر پروژه یا سال های مورد بررسی می باشند.

(د) زمان بازگشت سرمایه منصفانه ( $EPbT^1$ )

برای محاسبه این زمان بازگشت سرمایه لازم است ابتدا ارزش حال خالص ( $NPV^2$ ) پروژه تعیین شود،

سپس با استفاده از رابطه زیر مقدار آنرا محاسبه می کنیم: (۱۵)

(۸-۴)

$$EPbT = \frac{1}{IRR}$$

که در آن  $IRR^3$  نشانگر نرخ بازگشت داخلی می باشد و بعنوان نرخ تنزیلی تعریف می شود که به ازای آن ارزش حال خالص صفر می گردد. در صورت یکسان بودن سایر شرایط، اگر میزان خالص سرمایه گذاری

---

<sup>1</sup>Equity Pay back Time

<sup>2</sup>Net Present Value

<sup>3</sup>Internal Rate of Return



دو طرح مساوی باشد ولی نرخ بازده داخلی آنها متفاوت باشد، طرحی که دارای نرخ بازده داخلی بیشتری است بر دیگری برتری دارد.

ر) ارزش حال خالص

ارزش حال خالص تفاوت بین ارزش فعلی جریانهای نقدی ورودی و ارزش حال جریان نقدی خروجی است. NPV برای بودجه بندی سرمایه مورد استفاده قرار می گیرد، تا احتمال سرمایه گذاری محاسبه شده یا پروژه را تحلیل کند. این متد اثر زمان را در هر جریان نقدینگی آتی خاص به کمیت در می آورد، و ارزش حال هر جریان نقدینگی آتی یا صرفه جویی نقدینگی را تعیین می کند. ارزش حال با استفاده از نرخ بهره فرضی که معمولاً نرخ تنزیلی خوانده می شود تعیین می شود. برای محاسبه NPV از روابط زیر استفاده می کنیم: (۱۵)

(۳۳-۴)

$$NPV = \sum_{n=1}^n PV$$

$$PV = S \times DF$$

$$DF = (1 + i/100)^{-n}$$

S: جمع جبری پرداختی ها و دریافتی ها

i: نرخ تنزیل

متد ارزش حال خالص ارزش حال تمام جریان‌ات نقدینگی سالیانه (مثلاً هزینه های سرمایه ای و صرفه جویی های خالص) ایجاد شده در طول عمر یک پروژه را محاسبه و آنها را تجمیع می کند. هزینه ها به عنوان یک مقدار منفی و صرفه جویی ها به عنوان یک مقدار مثبت ارائه می شوند.

در تحلیل های اقتصادی سیستم های آبگرمکن خورشیدی معمولاً پارامترهایی نظیر ارزش فعلی خالص (NPV)، بازده داخلی (IRR) و یا بازگشت سرمایه (PBT) سیستم که نسبت به سایر پارامترها رایج تر است، با توجه به هزینه سوخت مصرفی در منطقه، محاسبه می شود.

بر اساس گزارش آزمایشگاه ملی انرژی های تجدید پذیر (NREL)<sup>۱</sup> وابسته به سازمان انرژی آمریکا، سیستم های آبگرمکن خورشیدی با دوره بازگشت سرمایه ساده (SPBT) ۴ تا ۸ سال، اقتصادی معرفی شده اند. با توجه به اینکه دوره عمر سیستم های خورشیدی با اعمال تغییرات و نگهداری مناسب ۱۵ تا ۴۰ سال (بطور متوسط ۳۰ سال) در نظر گرفته می شوند، کاربرد سیستم های آبگرمکن خورشیدی با دوره بازگشت سرمایه کمتر از ۱۰ سال از نظر اقتصادی توجیه پذیر خواهد بود.

حال با توجه به توضیحات ارائه شده به بررسی اقتصادی سیستم آبگرمکن خورشیدی مورد نظر می پردازیم. برای اینکار از نرم افزار SAM استفاده شده است.

برای محاسبه نرخ تمام شده سیستم آبگرمکن خورشیدی توسط نرم افزار SAM به پارامترهایی از قبیل قیمت کلکتور به ازای هر متر مربع، قیمت تانک ذخیره، درصدی از هزینه نصب پروژه که توسط وام تامین می شود و مدت بازپرداخت وام و همچنین نرخ بهره وام، تعداد سال آنالیز پروژه، نرخ تورم، مشوق های دولتی و استانی برای حمایت از پروژه های انرژی های تجدید پذیر، نرخ مالیات و... نیاز داریم، که مقدار این پارامترها در جدول (۳-۴) آورده شده است.

---

<sup>۱</sup>National Renewable Energy Laboratory

جدول ۵-۰: داده های موردنیاز برای برآورد هزینه سیستم آبگرمکن خورشیدی توسط نرم افزار SAM

پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
قیمت کلکتور	نرخ تورم		۲۰٪
قیمت تانک ذخیره	مدت آنالیز پروژه		۱۰ سال
وام سرمایه گذاری	۵۰٪ سرمایه گذاری اولیه	مشوق های دولتی	۳۰٪ کل هزینه سرمایه گذاری اولیه
نرخ بهره وام	۷٪ با بازپرداخت ۱۵ ساله	مشوق های استانی	۲۰٪ کل هزینه سرمایه گذاری اولیه
بیمه	۱٪ کل هزینه سرمایه گذاری اولیه	مالیات	۱/۵٪ مشوق دولتی ۱٪ مشوق استانی

با وارد کردن داده های جدول فوق در نرم افزار SAM هزینه سیستم آبگرمکن خورشیدی برای تامین آبگرم مصرفی ساختمان برابر ۴۳۵/۲۵ دلار بدست می آید، که با در نظر گرفتن ۳۸۰۰۰ ریال به ازای هر دلار ارزش ریالی آن برابر ۱۶۵۳۹۵۰۰ ریال خواهد بود.

همانطوریکه در بخش قبلی محاسبه شد، میزان کل انرژی حاصل با بکارگیری سیستم آبگرمکن خورشیدی در طول یک سال برابر ۳۳۹۵ KWh بود، که میزان انرژی حاصل در طول یک ماه برابر ۲۸۲/۹۱ KWh خواهد بود. حال با توجه به قیمت پلکانی برق که در جدول (۴-۴) نمایش داده شده است، تقریباً ۲۸۲/۹۱ کیلو وات ساعت مصرف ماهانه انرژی برق بعد از حذف یارانه ها، ارزش ریالی این میزان انرژی در سال ۱۳۹۵ برای یک ماه برابر با ۱۹۰۸۷۵ ریال خواهد بود.

جدول ۶-۰: محاسبه پلکانی هزینه ماهانه برق صرفه جویی شده توسط سیستم آبگرمکن خورشیدی (سایت وزارت نیرو)

مصرف ۳۰ روزه (KWh)	نرخ (ریال)	مصرف ۳۰ روزه (KWh)	نرخ (ریال)
۰-۱۰۰	۴۵۰	۱۰۰	۴۵۰۰۰
۱۰۰-۲۰۰	۵۲۵	۱۰۰	۵۲۵۰۰
۲۰۰-۳۰۰	۱۱۲۵	۸۲/۹۱	۹۳۳۷۵
مقدار مصرف انرژی و مبلغ ماهیانه		۲۸۲/۹۱	۱۹۰۸۷۵

این رقم در یک سال برابر ۲۲۹۰۵۰۰ ریال خواهد بود، که این مبلغ در صورت استفاده از آبگرمکن خورشیدی در طول یک سال برای یک خانوار ۴ نفره صرفه جویی پولی خواهد داشت.

در ادامه با توجه به اینکه هزینه آبگرمکن خورشیدی که از نرم افزار SAM بدست آمد برابر ۱۶۵۳۹۵۰۰ ریال بود، با احتساب تنها درآمد بدست آمده از طریق صرفه جویی و یا تولید انرژی در سال، زمان بازگشت سرمایه بصورت زیر بدست می آید :

$$16539500 \div 2290500 = 7.22 \text{ (سال)}$$

این محاسبات برای حالتی بود که از آبگرمکن برقی بجای آبگرمکن خورشیدی استفاده شود. حال در ادامه محاسبات را برای حالتی که از آبگرمکن گازی استفاده شود انجام می دهیم و زمان بازگشت سرمایه را بدست می آوریم. برای اینکار میزان مصرف گاز طبیعی برای تامین آبگرم مصرفی را با استفاده از رابطه زیر بدست می آوریم: (۱۳)

$$M' = \frac{Q}{LHV \times C \times \eta}$$

که در آن  $M'$  مصرف گاز طبیعی در طول یکسال،  $Q$  میزان انرژی حرارتی مورد نیاز برای تامین آبگرم مصرفی در طول یکسال (KJ)،  $LHV$  ارزش حرارتی سوخت ( $LHV = 36000 \text{ KJ/m}^3$ )،  $C$  ضریب تبدیل که برابر ۰/۷۵ در نظر گرفتیم و  $\eta$  نیز بازده سوخت می باشد که در اینجا برابر ۰/۷۵ فرض می کنیم. در این صورت مصرف گاز طبیعی در طول یکسال برای این خانوار برابر  $804/4 \text{ m}^3$  خواهد بود.

حال با توجه به اینکه قیمت هر متر مکعب گاز طبیعی بطور متوسط ۱۵۰۰ ریال در نظر گرفته می شود، می توان گفت که به اندازه ۱۲۰۶۶۰۰ ریال صرفه جویی پولی در طول یکسال در صورت استفاده از سیستم آبگرمکن خورشیدی عاید خانوار می شود، که با احتساب تنها درآمد بدست آمده از طریق صرفه جویی و یا تولید انرژی در سال، زمان بازگشت سرمایه بصورت زیر بدست می آید :

$$16539500 \div 1206600 = 13/7 \text{ (سال)}$$

## ۴-۶ تحلیل کاهش هزینه های اجتماعی

بر اثر تولید گازهای آلاینده صدماتی به اکوسیستم و بهداشت و سلامت افراد جامعه و ساختارهای فیزیکی از جمله ساختمان ها و بناهای مختلف و مواد و محصولات تولیدی وارد می شود که ضرورت دارد برای جبران این آسیب ها در اقتصاد کشور هزینه هایی انجام شود. به مجموع پولی که جهت جبران آسیب های وارده بر اکوسیستم و بهداشت و سلامت افراد و جامعه و مواد و محصولات تولیدی و بناها و ساختمان ها هزینه می شود، هزینه های اجتماعی ناشی از انتشار گازهای آلاینده و گازهای گلخانه ای گفته می شود. بیشترین هزینه اجتماعی بخش انرژی، مربوط به منتشر شدن گازهای گلخانه ای شامل ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}_2$ ) است. هزینه های اجتماعی ناشی از مصرف حامل های انرژی فسیلی در کشور برای آلاینده های مختلف در

ترازنامه انرژی سالانه بیان می گردد. استفاده از آبگرمکن خورشیدی به دلیل کاهش استفاده از انرژی های فسیلی، کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه ای و به دنبال آن کاهش هزینه های اجتماعی را به دنبال خواهد داشت. جدول (۴-۵) میزان انتشار گازهای آلاینده و گلخانه ای به ازای هر KWh برق را نشان می دهد. در کشور بیشترین انتشار در بین گازهای آلاینده گاز CO<sub>2</sub> با شاخص انتشار ۶۷۸/۲۴ گرم بر کیلو وات ساعت، NO<sub>x</sub> با شاخص انتشار ۲/۶۷ گرم بر کیلو وات ساعت و SO<sub>2</sub> هم با شاخص انتشار ۲/۲۴ گرم بر کیلو وات ساعت در رده بعدی قرار دارند. با در نظر گرفتن میزان انتشار گازهای آلاینده به ازای هر کیلو وات ساعت و با توجه به داده بدست آمده از راه صرفه جویی برق در خانوار مورد مطالعه به واسطه استفاده از سیستم آبگرمکن خورشیدی، امکان محاسبه مقدار کاهش گازهای آلاینده میسر خواهد شد. جدول (۴-۵) مقدار کاهش گازهای آلاینده را به واسطه استفاده از سیستم آبگرمکن خورشیدی نشان می دهد.

جدول ۷-۰: مقدار کاهش گازهای آلاینده به واسطه استفاده از سیستم آبگرمکن خورشیدی (۱۳)

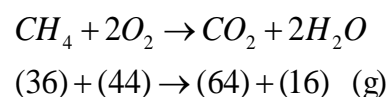
گاز آلاینده	مقدار انتشار به ازای هر KWh	مقدار کاهش به واسطه آبگرمکن خورشیدی (Kg/year)
CO <sub>2</sub>	۶۷۸/۲۴	۲۳۰۲/۶۲
SO <sub>2</sub>	۲/۶۷	۹/۰۶
NO <sub>x</sub>	۲/۲۴	۷/۶
جمع	۶۸۳/۱۵	۲۳۱۹/۲۸

با توجه به اینکه میزان انتشار گاز CO<sub>2</sub> نسبت به دو گاز دیگر بسیار بیشتر است، در محاسبه هزینه های زیست محیطی از آنها صرفنظر می شود. اگر هزینه حذف و کنترل گاز دی اکسید کربن حاصل از آبگرمکن های برقی را حدود ۳۶ دلار به ازای هر تن و ارزش ریالی هر دلار را ۳۸۰۰۰ ریال در نظر بگیریم، ارزش

ریالی پول صرفه جویی شده حاصل از کاهش حجم گاز CO<sub>2</sub> در نتیجه استفاده از آبگرمکن خورشیدی برای خانوار در طول یکسال برابر ۳۱۴۹۹۸۴ ریال خواهد شد. حال با در نظر گرفتن هزینه زیست محیطی، زمان بازگشت سرمایه برای سیستم آبگرمکن خورشیدی بصورت زیر بدست می آید :

$$۱۶۵۳۹۵۰۰ \div ۵۴۴۰۴۸۴ = ۳/۰۴ \text{ (سال)}$$

حال اگر از آبگرمکن گازی استفاده کنیم، می توان میزان هزینه های زیست محیطی ناشی از انتشار گاز های گلخانه ای را محاسبه نمود. میزان دی اکسید کربن برای هر سوخت از واکنش آن با اکسیژن حاصل می شود. رابطه زیر واکنش گاز طبیعی را نشان می دهد :



بر اساس رابطه فوق به ازای هر گرم گاز طبیعی ۲/۷۵ گرم CO<sub>2</sub> تولید می شود. از طرفی هر ۱/۳۵ متر مکعب گاز معادل یک کیلوگرم گاز طبیعی فشرده شده است. پس در طول یکسال میزان CO<sub>2</sub> تولیدی به واسطه استفاده از آبگرمکن گازی برای هر خانوار بصورت زیر بدست می آید :

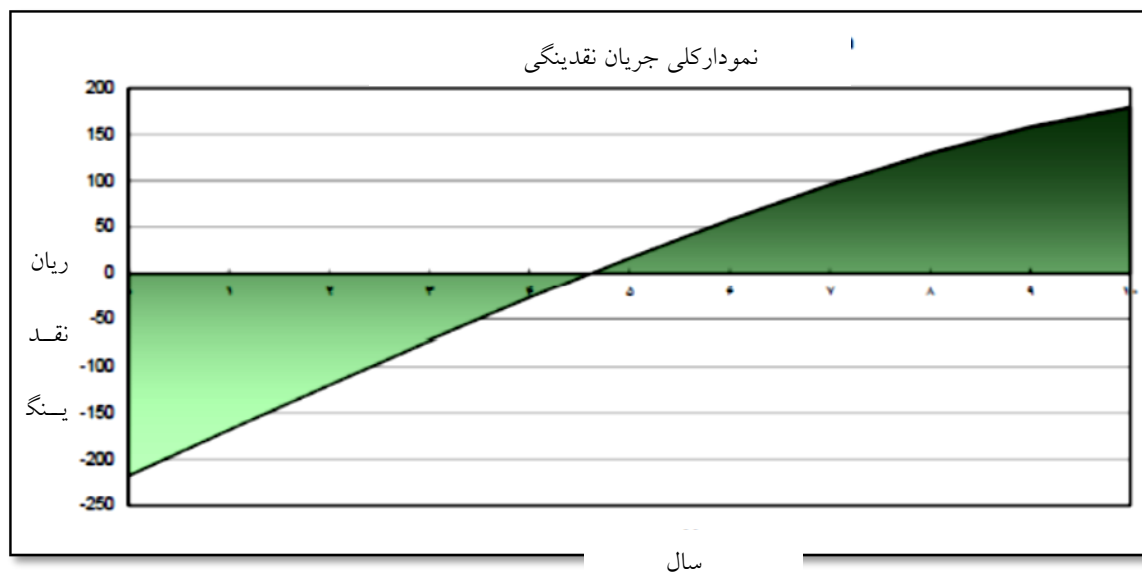
$$804.4 \div 1.35 = 595.85 \text{ Kg.Natural Gas}$$

$$595.85 \times 2.75 = 1638.60 \text{ Kg.CO}_2$$

بنابراین ارزش ریالی پول صرفه جویی شده حاصل از کاهش حجم گاز CO<sub>2</sub> در نتیجه استفاده از آبگرمکن خورشیدی برای خانوار در طول یکسال برابر ۲۲۴۱۶۰۴ ریال خواهد شد، که با در نظر گرفتن هزینه زیست محیطی، زمان بازگشت سرمایه برای سیستم آبگرمکن خورشیدی بصورت زیر بدست می آید :

$$۱۶۵۳۹۵۰۰ \div ۳۴۴۸۲۰۴ = ۴/۸ \text{ (سال)}$$

با وارد کردن تمامی اطلاعات و داده های فوق در نرم افزار Retscreen و تحلیل سیستم آبگرمکن خورشیدی مورد مطالعه صحت محاسبات فوق تائید گردید و زمان بازگشت سرمایه با در نظر گرفتن عواید حاصل از کاهش هزینه های اجتماعی در حدود ۴/۸ سال می باشد. نمودار شکل (۴-۱۴) این واقعیت را نشان می دهد.



شکل ۳۴-۰: جریان نقدینگی سیستم آبگرمکن خورشیدی



## ۴-۷ نتیجه گیری کلی

❖ شهر تهران دارای حداکثر و حداقل میانگین دما به ترتیب برابر  $32/3$  و  $5/34$  درجه سانتی

گراد می باشد که به ترتیب مربوط به ماههای Jul و Jan می باشد، شهر تهران دارای میانگین

شدت تابش سالیانه  $153/6 \text{ KW/m}^2$  می باشد.

❖ سالیانه به حرارتی معادل  $16.29 \times 10^6 \text{ KJ}$  یا  $4526/24 \text{ KWh}$  جهت تامین آبگرم مصرفی

این ساختمان مسکونی نیاز می باشد. در صورتی که  $75\%$  این انرژی توسط سیستم

خورشیدی تامین شود، میزان کل انرژی حاصل از سیستم آبگرمکن خورشیدی برای یک

خانواده ۴ نفره برابر  $3395 \text{ KWh}$  خواهد بود.

❖ سیستم طراحی شده در این تحقیق قادر به تامین  $75\%$  نیاز آبگرم مصرفی می باشد که اگر در

کنار این سیستم از یک منبع حرارتی کمکی بهره بگیریم می توان تمامی نیاز آبگرم مصرفی

ساختمان را در طول سال تامین کرد، که در این حالت به اندازه  $2373/3 \text{ KWh}$  صرفه جویی

انرژی از منابع انرژی های فسیلی خواهیم داشت.

❖ هزینه سیستم آبگرمکن خورشیدی برای تامین آبگرم مصرفی ساختمان برابر  $435/25$  دلار

بدست می آید، که با در نظر گرفتن  $38000$  ریال به ازای هر دلار ارزش ریالی آن برابر

۱۶۵۳۹۵۰۰ ریال خواهد بود.

❖ باتوجه به اینکه دوره عمر سیستم های خورشیدی با اعمال تغییرات و نگهداری مناسب ۱۵

تا ۴۰ سال (بطور متوسط ۳۰ سال) در نظر گرفته می شوند، کاربرد سیستم های آبگرمکن

خورشیدی با دوره بازگشت سرمایه کمتر از ۱۰ سال از نظر اقتصادی توجیه پذیر خواهد

بود.

❖ هزینه آبگرمکن خورشیدی که از نرم افزار SAM بدست آمد برابر ۱۶۵۳۹۵۰۰ ریال بود، با

احتساب تنها درآمد بدست آمده از طریق صرفه جویی و یا تولید انرژی در سال، زمان

بازگشت سرمایه ۷,۲۲ سال خواهد بود.

## ۴-۸ پیشنهادات

- ❖ چرخه مورد نظر تحلیل انرژی شود تا از لحاظ قانون دوم ایرادات آم مشخص شود.
- ❖ استفاده از منبع گرمای خورشیدی و کلکتورهای سهموی خطی به جای کلکتورهای کنونی بررسی و تحلیل انرژی و انرژی و اقتصادی گردد.
- ❖ این شماتیک مورد نظر با یک شهر دیگر بررسی گردد تا از لحاظ اقتصادی و کارایی مقایسه بهتری با توجه به مقدار تابش صورت بگیرد
- ❖ امروزه جدیدترین بحث در ترمودینامیک بحث انرژی پیشرفته است. روی چرخه مورد نظر تحلیل انرژی پیشرفته انجام گیرد تا علاوه بر پیدا کردن تخریب انرژی درونی و بیرونی، تاثیر انتخاب روش در تحلیل انرژی مشخص شود.
- ❖ تحلیل انرژی پیشرفته زمانی ارزش بیشتری پیدا می کند که همراه با تحلیل اقتصادی به کار رود (Exergoeconomic). پیشنهاد می شود چرخه مورد بررسی تحلیل اقتصادی شود، هزینه اولیه مورد نیاز سرمایه گذاری شده، هزینه های جاری و هزینه عملکردی هر عضو تعیین شده و سپس این هزینه ها خود به چهار بخش گفته شده در تحلیل پیشرفته تقسیم شوند.
- ❖ چرخه مورد بررسی بهینه سازی همزمان نسبت به پارامترهای مختلف انجام گیرد.

## ۴-۹ منابع:

- ۱ - شامل، علی، محمد معرفتی و رضا علایی، مبانی سیستم های انرژی خورشیدی، انتشارات یاوریان، ۱۳۹۵
- ۲ - هراتیان، مجتبی، آخوندی، نادر، تحلیل فنی و اقتصادی کاربرد آبگرمکن خورشیدی برای یک ساختمان دولتی در اصفهان، همایش بهینه سازی مصرف سوخت در ساختمان، ۱۳۸۲
- ۳ - آغامیری، آزاد، مطالعه تجربی برای بهینه سازی کارایی آبگرمکن های خورشیدی یکپارچه، پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد، دانشگاه محقق اردبیلی، ۱۳۹۱
- ۴ - همراهی، سراج الدین، طراحی، ساخت و بررسی عملکرد یک آبگرمکن خورشیدی سهموی جدید، پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد، دانشگاه یزد، ۱۳۹۱
- ۵ - زنده بودی، آرمان، بررسی تجربی عملکرد آبگرمکن خورشیدی لوله خلا جهت گرمایش ساختمان، پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۳۹۱
- ۶ - اعرابی، محمدحسین، اسدی، ابوالفضل و محمد صابر فلاح نژاد، بهینه یابی مدل توسعه آبگرمکن های خورشیدی از منظر دولت (مطالعه موردی: استان یزد)، یازدهمین همایش بین المللی انرژی، تهران، ۱۳۹۵
- ۷ - خراسانی، مهرزاد، طراحی یک واحد آبگرمکن های خورشیدی (مخزن ذخیره ساز انرژی) جهت استفاده در سیستم های تهویه مطبوع، اولین کنفرانس بین المللی گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع، تهران، ۱۳۸۸
- ۸ - شادی طلب، ژاله، نایه در، مهدی، واکاوی عوامل موثر بر پذیرش آبگرمکن های خورشیدی خانگی در نواحی روستایی (مطالعه موردی: شهرستان بردسکن)، مجله توسعه روستایی، دوره اول، شماره ۱، پاییز و زمستان ۱۳۸۸

۹ - یوسفی، حسین، نوراللهی، یونس، طغیانی، سمیه، آنالیز هزینه های اقتصادی و محیط زیستی

جایگزینی آبگرمکن های خورشیدی، مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره هجدهم، شماره

سه، پاییز ۱۳۹۵

۱۰ - گزانه، امید، بهشتی نیا، محمد علی، شبیه سازی و تحلیل فنی - اقتصادی آبگرمکن خورشیدی برای

کاربرد مسکونی، مجله مدلسازی در مهندسی، سال سیزدهم، شماره ۴۳، زمستان ۱۳۹۴

۱۱ - اشرفی زاده، سید علی، کمال زاده، علیرضا، طولابی، محمد، امکان سنجی نصب یک سیستم

آبگرمکن خورشیدی با کلکتورهای صفحه تخت برای شهر نوشهر، اولین همایش ملی مدیریت

انرژی های نو و پاک، همدان، ۱۳۹۳

۱۲ - عزیزی، علی، فریادی، شهرزاد، تحلیل اقتصادی - اجتماعی و زیست محیطی مزایای بکارگیری

آبگرمکن خورشیدی (مطالعه موردی شهر شیراز)، نشریه انرژی ایران، دوره ۱۵، شماره ۱، بهار

۱۳۹۱

۱۳ - عتابی، فریده، کعبی نژادیان، عبدالرزاق، موسی زاده، المیرا، آنالیز فنی، اقتصادی و زیست محیطی

استفاده از سیستم های آبگرمکن خورشیدی در ساختمان های مسکونی، نشریه انرژی ایران، دوره

۱۴، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۰

۱۴ - ظهیر نژاد، سجاد، رهبر، نادر، بررسی جهت گیری ساختمان و جنس دیوار ها در عملکرد آبگرمکن

خورشیدی توسط نرم افزار Retscreen (مطالعه موردی شهر سمنان)، مجله مهندسی مکانیک و

ارتعاشات، دوره ۶، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۴

۱۵ - خربندسری، میلاد، بررسی فنی و اقتصادی از انرژی های تجدید پذیر در تهویه مطبوع خورشیدی

یک ساختمان مسکونی نمونه در تهران، پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد

واحد تهران جنوب، ۱۳۹۶

- 16-Christopher J.Koroneos, Evanthia A.Nanak, Life cycle environmental impact assessment of a solar water heater, Journal of Cleaner Production, Volume 37, December 2012, Pages 154-161
- 17- M.Arab,M.Soltanieh, M.B.Shafii,Experimental investigation of extra-long pulsating heat pipe application in solar water heaters, Experimental Thermal and Fluid Science, Volume 42, October 2012, Pages 6-15
- 18- K.Sampathkumar, P.Senthilkumar, Utilization of solar water heater in a single basin solar still—An experimental study, Desalination, Volume 297, 3 July 2012, Pages 8-19
- 19- David A.G.Redpath, Thermosyphon heat-pipe evacuated tube solar water heaters for northern maritime climates, Solar Energy, Volume 86, Issue 2, February 2012, Pages 705-715
- 20- Dorota Chwieduk, Solar Energy in Buildings Thermal Balance for Efficient heating and cooling, Elsevier, 2014
- 21-Soteris Kalogirou, Solar energy engineering : processes and systems, Elsevier, 2009

## **Abstract**

Given the exponential nature of non-renewable fossil fuels, the replacement of renewable energy sources such as solar energy has become essential. Solar energy is free of contamination and is abundant in all parts of the globe, especially in hot areas, and especially in distant areas of the grid, it is used for generating electricity and heating and cooling.

Our country is also geographically located in a warm and dry area and having more than 280 sunny days per year, its annual solar radiation is estimated to be about 1800-2200 kwh / m<sup>2</sup>, which is higher than the global average. . One of the non-power plant uses of solar energy is the heating of the space and water consumed by the building using solar thermal energy.

Solar water heaters can be used to heat water used in buildings, which is the main objective of this research. Of this, water heating consumes an average of 20 to 30 percent of the total energy consumed at home. So using an solar water heater, you can supply 70% of the energy needed for water heating annually.

In this study, the system designed in this research is able to provide 75% of the needs of the spa. If, along with this system, we will use an auxiliary heating source, we can provide all the needs of the spa using the building throughout the year, which in this The state of KWh 3/2373 will save energy from fossil fuels. Also, by saving or generating energy in a year, the return on investment was 7.22 years.

Key words: Solar, Heating Water, Simulation, TRNSYS



Energy Institute For Higher Education

Faculaty Of Engineering

Department Of Mechanical Engineering- Energy Conversion

Thesis For

Degree Of Master Of Scinence (M.Sc)

Title

Simulation and economic analysis Of Solar  
Heating Water For Residential Building In Tehran  
with Using TRNSYS and SAM Software with  
work environment consideration

Supervisor

Dr. Shamel

Dr. Alayi

advisor:

Dr. Marefati

By :

Saeid heshmati

Fall / 2017



