

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی مکانیک و مکاترونیک  
پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی تبدیل انرژی

# بررسی تحلیلی، فنی و اقتصادی بکارگیری کلکتورهای سه‌موی خطی برای تأمین آبگرم مصرفی خانگی بصورت هیبرید با گاز طبیعی

نگارنده: محمد حسن قائمی

استاد راهنما  
دکتر سید مجید هاشمیان

بهمن ۱۳۹۶

این پایان نامه را ضمن تشکر و سپاس بیکران و در کمال افتخار و اتقان تقدیم می نمایم به

والدینی که بود نشان تاج افتخاری است بر سرم

و نشان دلیلی است بر بودنم، چرا که این دو وجود پس از پروردگار، مایه هستی ام بوده اند و تتم را گرفتند و راه رفتن را در این وادی زندگی

پراز فراز و نشیب آموختند.

برادران و خواهرانم که وجودشان مایه دلگرمی من می باشد.

## مشکر و قدردانی

بدون شک جایگاه و منزلت معلم، اجل از آن است که در مقام قدردانی از زحمات بی‌شائبه‌ی او، بازبان قاصد و دست ناتوان، چیزی بنگاریم. اما از آنجایی که تجلیل از معلم، پاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تائید می‌کند و سلامت امانت‌داری را که به دستش سپرده‌اند، تضمین؛ بر حسب و طیفه و از باب "من لم یسکر المنعم من المخلوقین لم یسکر الله عزوجل:"

از استاد با کمالات و شایسته؛ جناب آقای دکتر سید محمد هاشمیان که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ‌کلی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند؛ کمال مشکر و قدردانی را دارم، باشد که این خردترین، بخشی از زحماتش را پاس گوید. در پایان نیز از دوست کرامت‌دارم آقای دانیال دویشتی که در سخت‌ترین لحظات یار و مددکار و من بود کمال مشکر را دارم.

محمد حسن قانعی

اینجانب محمد حسن قائمی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه بررسی فنی و اقتصادی استفاده از کلکتور سهموی - خطی برای تأمین آبگرم مصرفی خانگی بصورت هیبرید با گاز طبیعی تحت راهنمایی دکترسید مجید هاشمیان متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام "دانشگاه صنعتی شاهرود" و یا "Shahrood University of Technology" به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آن‌ها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

## تاریخ

### امضای دانشجو

#### مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

علاقه به تحقیق در بهبود عملکرد تولید آبگرم مصرفی خانوار با تست انواع آبگرمکن های خورشیدی خانگی به طور قابل ملاحظه ای در چند دهه ی اخیر افزایش یافته است. این امر به واسطه ی اهمیت آشکار بررسی راندمان این نوع از آبگرمکن ها در عمل بعنوان جایگزین با نمونه های متداول برقی و گازی مشابه می باشد.

در این بین عملکرد کلکتورهای سهموی - خطی بعنوان جاذب نور در آبگرمکن های خورشیدی بدلیل کاربرد عموماً نیروگاهی این نوع از کلکتورها مغفول واقع شده است.

در این پژوهش یک دستگاه آبگرمکن کلکتور های سهموی - خطی طراحی و ساخته شده و عملکرد آن برای تولید دماهای مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. سپس تحلیل اقتصادی این دستگاه بصورت هیبرید با گاز طبیعی بعنوان تولید کننده آبگرم مصرفی خانگی مورد بررسی قرار گرفته است. دستگاه مذکور شامل سازه، منعکس کننده سهموی، مخزن ذخیره، پمپ گردش آب، موتور ردیاب و کنترلر ردیاب است.

در مطالعه حاضر نتایج به دست آمده از نمونه آزمایشگاهی با بکارگیری معادلات حرارتی و سیالاتی مورد بررسی قرار گرفته و نتایج گرفته شده نشان می دهد که با بکارگیری این سیستم در کنار آبگرمکن مخزن دار خانگی معادل ۱۳ درصد در مقدار گاز مصرفی این نوع از آبگرمکن ها صرفه جویی ایجاد می شود. ضمناً با اندکی تغییر در دستگاه مذکور از قبیل تعویض لوله مسی با لوله خلاء بازده دستگاه در شرایط محیطی مختلف بالا رفته و دستگاه ساخته شده قابلیت بکارگیری حتی در نمونه های تجاری برای مصارف خانگی را نیز دارد.

**واژگان کلیدی:** کلکتور سهموی - خطی، آبگرمکن مخزن دار خانگی، لوله خلاء، موتور ردیاب،

متمرکز کننده سهموی

## فهرست مطالب

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| فصل ۱: مقدمه                                                       | ۱  |
| ۱-۱- مقدمه ای بر انرژی خورشیدی و کاربرد های آن در ایران و جهان     | ۲  |
| ۲-۱- نحوه عملکرد آبگرمکن های خورشید                                | ۳  |
| ۳-۱- انواع سیستمهای آبگرمکن خورشیدی                                | ۵  |
| ۱-۳-۱ سیستم های غیر فعال                                           | ۶  |
| ۲-۳-۱ سیستمهای فعال                                                | ۸  |
| ۴-۱- ساختار آبگرمکن های خورشیدی                                    | ۹  |
| ۱-۴-۱ کلکتور های صفحه تخت                                          | ۹  |
| ۲-۴-۱ کلکتور های لوله خلاء                                         | ۱۰ |
| ۳-۴-۱ کلکتورهای سهموی مرکب هیت پایپ دار                            | ۱۲ |
| ۵-۱- تعریف کلی متمرکز کننده های سهموی خطی                          | ۱۳ |
| ۱-۵-۱ گردآورنده صفحه تخت با انعکاس دهنده تخت                       | ۱۴ |
| ۲-۵-۱ گردآورنده های سهموی استوانه ای                               | ۱۵ |
| ۳-۵-۱ گردآورنده های متمرکز کننده شلجمی                             | ۱۶ |
| ۴-۵-۱ گردآورنده با متمرکز کننده دایره ای ثابت و دریافت کننده متحرک | ۱۷ |
| ۵-۵-۱ گردآورنده متمرکز کننده با لنز فرزنل                          | ۱۸ |
| ۶-۵-۱ گردآورنده با دریافت کننده مرکزی                              | ۱۹ |
| ۷-۵-۱ گردآورنده های سهموی ترکیبی                                   | ۲۰ |
| ۸-۵-۱ کلکتورهای استخر خورشیدی                                      | ۲۰ |
| ۶-۱- تحقیقات پیشین                                                 | ۲۱ |
| ۷-۱- اهداف پایان نامه                                              | ۲۴ |
| ۱-۷-۱ مروری بر فصل های پایان نامه                                  | ۲۵ |
| فصل ۲: مدل سازی و محاسبه ی تابش خورشیدی                            | ۲۷ |
| ۱-۲- مقدمه                                                         | ۲۸ |
| ۲-۲- مبانی لازم از انرژی خورشیدی                                   | ۲۸ |
| ۱-۲-۲ دمای هوای محیط                                               | ۳۲ |
| ۲-۲-۲ اصول و نحوه دنبال کردن خورشید                                | ۳۳ |
| ۳-۲-۲ نسبت تمرکز                                                   | ۳۸ |

|    |                                                           |
|----|-----------------------------------------------------------|
| ۳۹ | ۴-۲-۲ ضرایب جذب و عبور ( $\alpha_T$ ) و مقادیر سایر ضرایب |
| ۴۱ | ۳-۲ معادلات حرارت و سیالات حاکم بر سیستم :                |
| ۴۲ | ۱-۳-۲ معادلات بقای انرژی                                  |
| ۴۳ | ۲-۳-۲ ضرایب انتقال و اتلاف حرارتی:                        |
| ۴۵ | ۳-۳-۲ بازده حرارتی کلکتور                                 |

### فصل ۳: طراحی و ساخت ..... ۴۷

|    |                                                            |
|----|------------------------------------------------------------|
| ۴۸ | ۱-۳-۱ تعریف شماتیک اجرایی مسئله                            |
| ۴۹ | ۲-۳-۲ پایه ی دستگاه                                        |
| ۵۰ | ۳-۳-۳ فریم آینه                                            |
| ۵۱ | ۴-۳-۴ آینه ی پلکسی گلاس                                    |
| ۵۵ | ۵-۳-۵ میلۀ فولادی و گیره های نگه دارنده پایه ها در جای خود |
| ۵۶ | ۶-۳-۶ بلبرینگ و قفسه ی آن                                  |
| ۵۷ | ۷-۳-۷ لوله مسی جاذب                                        |
| ۵۷ | ۸-۳-۸ اتصالات به لوله مسی                                  |
| ۵۸ | ۹-۳-۹ حسگرها                                               |
| ۵۹ | ۱۰-۳-۱۰ مخزن ذخیره آب                                      |
| ۶۰ | ۱۱-۳-۱۱ پمپ و دبی سنجی آن در سیستم                         |
| ۶۱ | ۱۲-۳-۱۲ ثبت کننده داده ها                                  |
| ۶۲ | ۱۳-۳-۱۳ تابش سنج                                           |
| ۶۳ | ۱۴-۳-۱۴ موتور مسیر یاب                                     |
| ۶۴ | ۱۵-۳-۱۵ مجموعه سیستم مسیریاب و فوتولتائیک تامین کننده برق  |
| ۶۶ | ۱۶-۳-۱۶ جمع بندی مراحل ساخت نمونه                          |

### فصل ۴: نتایج آزمایشگاهی دستگاه آب گرمکن سهموی ..... ۶۹

|    |                                                 |
|----|-------------------------------------------------|
| ۷۰ | ۱-۴-۱ مقدمه                                     |
| ۷۰ | ۲-۴-۲ بررسی عملکرد کلکتور سهموی - خطی           |
| ۷۶ | ۳-۴-۳ شرایط تابش و مسیریابی در آزمایش ها        |
| ۷۷ | ۴-۴-۴ نتایج                                     |
| ۷۸ | ۱-۴-۴-۱ نتایج آزمایش اول: رسیدن به دمای ۴۰ درجه |
| ۸۳ | ۲-۴-۴-۲ نتایج آزمایش دوم: رسیدن به دمای ۵۰ درجه |
| ۸۵ | ۳-۴-۴-۳ نتایج آزمایش سوم: رسیدن به دمای ۶۰ درجه |
| ۸۶ | ۵-۴-۴-۵ نتیجه گیری از آزمایش ها                 |

|                                                          |     |
|----------------------------------------------------------|-----|
| فصل ۵: بررسی فنی و اقتصادی نمونه‌پذیری و نتیجه‌گیری..... | ۹۳  |
| ۵-۱- مقدمه.....                                          | ۹۴  |
| ۵-۲- فرضیات مسئله.....                                   | ۹۵  |
| ۵-۳- صرفه جویی های اقتصادی طرح.....                      | ۱۰۱ |
| ۵-۴- بحث، نتیجه‌گیری و پیشنهادات.....                    | ۱۰۳ |
| مراج.....                                                | ۱۰۴ |

## فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱ : سیستم ترموسیفون مدار بسته (سمت راست) و مدار باز (سمت چپ)..... ۷
- شکل ۱-۲ : انواع کلکتورهای صفحه تخت..... ۱۰
- شکل ۱-۳ : سیستم لوله خلاء هیت پایپ..... ۱۱
- شکل ۱-۴ : سیستم کلکتور سهموی مرکب هیت پایپ دار..... ۱۲
- شکل ۱-۵ : سیستم کلکتور صفحه تخت با انعکاس دهنده تخت..... ۱۵
- شکل ۱-۶ : سیستم کلکتور سهموی استوانه ای..... ۱۶
- شکل ۱-۷ : سیستم متمرکز کننده شلجمی..... ۱۷
- شکل ۱-۸ : سیستم متمرکز کننده دایره‌ای ثابت و دریافت کننده متحرک..... ۱۸
- شکل ۱-۹ : سیستم متمرکز کننده با لنز فرزنل..... ۱۹
- شکل ۱-۱۰ : سیستم گردآورنده با دریافت کننده مرکزی..... ۱۹
- شکل ۱-۱۱ : سیستم گردآورنده سهموی ترکیبی..... ۲۰
- شکل ۱-۱۲ : کلکتور حجمی خورشیدی..... ۲۱
- شکل ۲-۱ : نمایی از صفحه کلکتور خورشیدی بسمت جنوب [۳۲]..... ۲۹
- شکل ۲-۲ : زوایای مشخص کننده وضعیت صفحه و موقعیت خورشید [۳۳]..... ۲۹
- شکل ۲-۳ : زوایای میل مثبت و منفی در تابستان و زمستان نیمکره شمالی [۳۲]..... ۳۰
- شکل ۲-۴ : چینش شمالی - جنوبی و دنبال کردن از شرق تا غرب [۳۳]..... ۳۳
- شکل ۲-۵ : چینش شرقی - غربی و دنبال کردن از شمال تا جنوب [۳۳]..... ۳۴
- شکل ۲-۶ : چینش شمالی - جنوبی زاویه دار و دنبال کردن از شرق تا غرب [۳۳]..... ۳۵

- شکل ۲-۷ : روند تغییرات بازده بر حسب حالت های ردیابی متفاوت در روز [۳۶]..... ۳۵
- شکل ۲-۸ : مشخصات هندسی زاویه پذیرش [۳۷]..... ۳۶
- شکل ۲-۹ : شبکه انتقال حرارت کلکتور سهموی خطی به همراه کاور لوله شیشه ای..... ۴۲
- شکل ۲-۱۰ : شبکه انتقال حرارت کلکتور سهموی خطی بدون کاور لوله شیشه ای..... ۴۲
- شکل ۳-۱ : دیگرام گردش سیال در نمونه کلکتور سهموی - خطی..... ۴۸
- شکل ۳-۲ : پایه نگه دارنده کلکتور سهموی - خطی..... ۵۰
- شکل ۳-۳ : پایه ها و نشیمن گاه پلکسی سهموی شکل، برش و خم کاری شده بوسیله ی CNC ..... ۵۱
- شکل ۳-۴ : دیتالاگر چهار کانال استفاده شده در تست ..... ۶۲
- شکل ۳-۵ : تابش سنج بکار رفته در تست..... ۶۳
- شکل ۳-۶ : موتور لاندرا با گیربکس سر خود کاهنده ی دور..... ۶۴
- شکل ۳-۷ : کنترلر مسیریاب و اجزاء تولید و ذخیره ی برق ..... ۶۵
- شکل ۳-۸ : پنل های فوتولتائیک و محفظه باتری و شارژر..... ۶۶
- شکل ۳-۹ : نمونه طراحی شده در بالا و نمونه ساخته شده در پایین..... ۶۷
- شکل ۴-۱ : نمودار تعدیل کننده تابش با زاویه برخورد [۴۳]..... ۷۲
- شکل ۴-۲ : نمایی از نمودار سیکل تست کلکتور بر اساس ASHRAE 93..... ۷۳
- شکل ۴-۳ : نمونه گزارش خروجی تست کلکتور..... ۷۴
- شکل ۴-۴ : اندازه گیری دمای مخزن بوسیله ی نمونه گیری از آن..... ۷۸
- شکل ۴-۵ : نمودار دمای محیط بر حسب درجه سانتی گراد در آزمایش اول..... ۷۹
- شکل ۴-۶ : نمودار سرعت باد محیط بر حسب متر بر ثانیه در آزمایش اول..... ۸۰
- شکل ۴-۷ : نمودار تشعشع خورشیدی بر حسب وات بر متر مربع در آزمایش اول..... ۸۰
- شکل ۴-۸ : نمودار دمای متوسط مخزن و لوله ی جاذب بر حسب درجه سانتی گراد در آزمایش اول..... ۸۲

- شکل ۴- ۹ : نمودار حجم آب جایگزین شده به لیتر در آزمایش اول..... ۸۲
- شکل ۴- ۱۰ : نمودار دمای محیط بر حسب درجه سانتی گراد در آزمایش اول و دوم..... ۸۳
- شکل ۴- ۱۱ : نمودار سرعت باد محیط بر حسب متر بر ثانیه در آزمایش دوم..... ۸۳
- شکل ۴- ۱۲ : نمودار تشعشع خورشیدی بر حسب وات بر متر مربع در آزمایش دوم..... ۸۴
- شکل ۴- ۱۳ : نمودار حجم آب جایگزین شده به لیتر در آزمایش دوم..... ۸۴
- شکل ۴- ۱۴ : نمودار حجم آب جایگزین شده به لیتر در آزمایش سوم..... ۸۶
- شکل ۴- ۱۵ : نمودار سرعت باد محیط بر حسب متر بر ثانیه در سه آزمایش..... ۸۸
- شکل ۴- ۱۶ : نمودار تشعشع خورشیدی بر حسب وات بر متر مربع در سه آزمایش..... ۸۸
- شکل ۴- ۱۷ : نمودار بازده ی تئوری و تجربی در در سه آزمایش..... ۸۹
- شکل ۴- ۱۸ : نمودار حجم آب جایگزین شده در حالت تئوری و تجربی بر حسب لیتر در در سه  
آزمایش..... ۹۰
- شکل ۵- ۱ : نحوه عملکرد نمونه تجاری بصورت هیبری..... ۹۴

## فهرست جدول‌ها

- جدول ۴-۱ : جدول خواص فیزیکی آب در دماهای گوناگون [۳۸] ..... ۷۸
- جدول ۴-۲ : جدول شرایط محیطی آزمایش سوم ..... ۸۵
- جدول ۵-۱ : رده بندی برچسب انرژی آبگرمکن گازی مخزن دار ..... ۹۷
- جدول ۵-۲ : شرایط جوی تهران و مقدار حرارت تولیدی سالیانه در بخش خورشیدی آبگرمکن ..... ۱۰۰
- جدول ۵-۳ : رده بندی بازده ی وسایل گازسوز خانگی [۴۸] ..... ۱۰۱

فهرست نشانه‌ها  
 $I_B$  تشعشع مستقیم روی سطح افقی

|                  |                                                   |
|------------------|---------------------------------------------------|
| $A_C$            | سطح دهانه ی رفلکتور                               |
| $A_O$            | سطح خارجی لوله ی جاذب                             |
| $b_0$            | ضریب تجربی کلکتور                                 |
| $C_P$            | ظرفیت حرارتی                                      |
| $C_R$            | ضریب تمرکز کلکتور                                 |
| $D_i$            | قطر داخلی لوله ی جاذب                             |
| $D_0$            | عمق کلکتور                                        |
| $D_O$            | قطر لوله جاذب                                     |
| $D_Y$            | قطر بحرانی جاذب                                   |
| $E_e$            | انرژی مصرفی سالیانه آبگرمکن                       |
| $E_o$            | انرژی مصرفی سالیانه آبگرمکن مبنا                  |
| $F_{ef}$         | ضریب بازده کلکتور                                 |
| $F_R$            | ضریب برداشت کلکتور                                |
| $G_B$            | شدت تشعشع مستقیم                                  |
| $G_{SC}$         | میزان تابش بیرون جو بر هر متر مربع                |
| $h_{C,fi}$       | ضریب جابه جایی داخل جاذب                          |
| $h_{r,ro-a}$     | ضریب انتقال حرارت تشعشعی                          |
| $h_{SS}$         | زاویه ساعت غروب آفتاب                             |
| $h_W$            | ضریب هدایت جابجایی هوا با جاذب                    |
| $\bar{H}$        | میانگین تشعشع ماهیانه روی صفحه افقی در طول یک روز |
| $\bar{H}_0$      | حداکثر تشعشع ماهیانه روی صفحه افقی در طول یک روز  |
| $I$              | تشعشع کل روی سطح افقی                             |
| $(I_B)_t$        | تشعشع مستقیم روی سطح شیبدار                       |
| $k_{air}$        | ضریب صافی ساعتی هوا                               |
| $k_r$            | ضریب هدایت حرارتی لوله جاذب                       |
| $k_t$            | ضریب صافی ساعتی هوا                               |
| $\overline{K_T}$ | میانگین ماهیانه ضریب صافی هوا                     |
| $k_\theta$       | ضریب اصلاح زاویه برخورد                           |
| $L$              | طول لوله جاذب                                     |
| $La$             | عرض جغرافیایی                                     |
| $\dot{m}$        | دبی سیال                                          |
| $n$              | شماره روز سال میلادی                              |
| $Nu$             | عدد ناسلت                                         |
| $Pr$             | عدد پرانتل                                        |
| $q_L$            | شارژ حرارتی طول لوله جاذب                         |
| $Q_S$            | درصد صرفه جویی از آبگرمکن                         |
| $ReD_i$          | رینولدز داخلی لوله جاذب                           |
| $ReD_o$          | رینولدز خارجی لوله جاذب                           |
| $S$              | تابش خالص رسیده به جاذب                           |
| $T_a$            | عمق کلکتور                                        |
| $T_{a\ min}$     | متوسط دمای حداقل ماهانه                           |
| $T_{a\ max}$     | متوسط دمای حداکثر ماهانه                          |
| $T_f$            | دمای متوسط سیال لوله جاذب                         |
| $T_{in}$         | دمای سیال ورودی                                   |
| $T_{out}$        | دمای سیال خروجی                                   |

|              |                        |               |                             |
|--------------|------------------------|---------------|-----------------------------|
| $\mu_i$      | لزجت دینامیکی آب       | $T_{ri}$      | دمای خارجی لوله جاذب        |
| $\sigma$     | ثابت استفان بولتزمن    | $T_{ro}$      | دمای سطح داخلی لوله جاذب    |
| $\emptyset$  | زاویه سمت الرأس خورشید | $T_{SKY}$     | دمای متوسط آسمان            |
| $\varphi_r$  | زاویه لبه              | $U_{loss}$    | ضریب اتلاف حرارتی جاذب      |
| $\epsilon_0$ | ضریب اصلاح انتهای لوله | $U_{ove}$     | ضریب اتلاف کلی              |
|              |                        | $V_a$         | حجم گاز طبیعی خشک مصرفی     |
|              |                        | $V_D$         | حجم آب گرم شده توسط آبگرمکن |
|              |                        | $V_\infty$    | سرعت هوا روی لوله جاذب      |
|              |                        | $W_a$         | عرض دهانه کلکتور            |
|              |                        | $W_D$         | انرژی مصرفی گرم کردن آب     |
|              |                        | $Z$           | زاویه سمت خورشید            |
|              |                        | $Z_S$         | زاویه سمت الرأس             |
|              |                        | $\alpha_S$    | زاویه ارتفاع خورشید         |
|              |                        | $\alpha\tau$  | ضریب جذب و عبور             |
|              |                        | $\beta$       | زاویه شیب کلکتور با افق     |
|              |                        | $\gamma$      | ضریب جذب جاذب               |
|              |                        | $\delta$      | زاویه میل                   |
|              |                        | $\epsilon_0$  | ضریب نشر جاذب               |
|              |                        | $\eta_0$      | بازده ی اپتیکی              |
|              |                        | $\theta$      | زاویه برخورد تابش با کلکتور |
|              |                        | $\theta_{ac}$ | زاویه پذیرش                 |
|              |                        | $\theta_d$    | ماتریس همانی                |
|              |                        | $\rho_{air}$  | چگالی هوا                   |
|              |                        | $\rho_{ref}$  | ضریب انعکاس رفلکتور         |
|              |                        | $\mu_{air}$   | لزجت دینامیکی هوا           |



## فصل ۱: مقدمه

## ۱-۱- مقدمه ای بر انرژی خورشیدی و کاربرد های آن در ایران و جهان

خورشید مرکز عظیم انرژی طبیعی و مایه حیات کره زمین بوده و تمام زندگی ما از آن ناشی می شود و همانطور که تاکنون منبع انرژی دنیا بوده است مسلماً منبع انرژی فردای دنیا نیز خواهد بود، زیرا با توسعه روز افزون جوامع بشری، مصرف سالیانه سوخت و انرژی رو به افزایش می باشد و محققان و دولتمردان در جهان به انرژی های نو، نه بعنوان یک انتخاب بلکه بعنوان یک ضرورت نگاه می کنند. در مقایسه با سایر منابع انرژی نو، انرژی خورشیدی یکی از مهم ترین آنها بر روی کره زمین است. حدود ۳۰ درصد این مقدار از انرژی از طریق انعکاس به فضا باز می گردد و نزدیک به ۴۷ درصد آن به زمین می رسد و باعث عوامل جوی مانند تبخیر آب، حرکت ابرها، جریان باران ها و حرکت موج ها را بوجود می آورد. بخش کوچکی از این انرژی صرف تولید کلروفیل و رویش گیاهان سبز می گردد و منابع غذای گیاهی را در طبیعت پدید می آورد [۱].

اگرچه مقدار انرژی که به سطح زمین می رسد زیاد است ولی نرخ آن در واحد سطح کم می باشد این مسئله خود مشکل اصلی گردآوری و بکارگیری آن می باشد، این مسئله نیاز به سرمایه گذاری بیشتری را برای استفاده از این نوع از انرژی در ذهن تداعی می کند.

با نگاه به تاریخچه استفاده از این نوع از انرژی مشاهده کرده که استفاده ی صنعتی و مدرن از این انرژی از سال ۱۷۷۰ میلادی شروع شد. اما می توان شروع بهره برداری عملیاتی از آن را در اوایل سال ۱۸۰۰ میلادی به جهت دستیابی به دمای بالا برای تولید بخار و راه اندازی ماشین های آبیاری که با بخار کار می کردند دانست، در این ماشین ها از متمرکز کننده خورشیدی ساخته شده جهت دستیابی به دماهای بالا بهره برده و کاربرد آن بیشتر در کشورهای فرانسه، آمریکا و مصر بوده است [۲].

با بحران انرژی سال ۱۹۷۳ توجه به کاربرد انرژی های نو و خصوصا انرژی خورشیدی بالا گرفت و سرمایه گذاری زیادی در غالب کشورهای جهان برای پژوهش و دستیابی به طرح های بهینه ی کاربردهای مختلف انرژی خورشیدی انجام پذیرفت [۳].

بعنوان جمع بندی می توان گفت که انرژی خورشیدی بیشترین سهم را در تولید توان در طبیعت داشته و بعنوان یک انرژی ارزان و قابل دسترس در نقاط مختلف جهان از جایگاه مناسبی برخوردار است، امروزه این انرژی بعنوان یکی از تجاری ترین نوع انرژی در بین انرژی های تجدید پذیر مطرح می شود [۴].

از این انرژی به دو صورت مستقیم و غیر مستقیم استفاده می شود. در حالت مستقیم از سلول خورشیدی یا فتوولتائیک<sup>۱</sup> استفاده می شود تا از تشعشع خورشیدی مستقیما جریان الکتریکی تولید شود که در تولید برق برای مصرف کوچک و متوسط بدور از شبکه ی توزیع سراسری برق، توجه پذیری بالایی دارد.

اما در روش غیر مستقیم یا روش حرارتی - خورشیدی<sup>۲</sup> از انرژی خورشیدی برای گرم کردن سیال استفاده می شود و از حرارت جذب شده برای تولید الکتریسیته در مقیاس نیروگاهی استفاده می شود، اما در مقیاس خانگی از این حرارت برای گرم کردن آبگرم بهداشتی مصرفی توسط آبگرمکن های خورشیدی بهره برده می شود. در ادامه به معرفی نحوه عملکرد و انواع آبگرمکن های خورشیدی می پردازیم.

## ۱-۲- نحوه عملکرد آبگرمکن های خورشید

دستگاه آبگرمکن خورشیدی شامل مجموعه ای است که حداقل دارای منبع، گردآورنده و لوله های رابط می باشد و در بعضی از انواع آنها از پمپ نیز استفاده می شود. تشعشعات خورشیدی از طریق گردآورنده جمع گردیده و حرارت را به مایع درون لوله های رابط منتقل می سازد و از آنجا

<sup>1</sup>Photovoltaic

<sup>2</sup> Solar Thermal

در منبع ذخیره می گردد. بخش اصلی یک آبگرمکن خورشیدی، گردآورنده ی آن است که به وسیله تابش کلی خورشید، انرژی را به یک سیال جذب کننده (مانند آب) که داخل لوله ها در جریان است، منتقل می کند. برای رسیدن به دمای بالا، مجموعه گردآورنده و لوله ها را در داخل یک جعبه عایق با روکش شیشه ای قرار می دهند. دو عامل دیگر که در بازده ی کار آبگرمکن خورشیدی بسیار موثر است، جهت و شیب گردآورنده می باشد.

آبگرمکن های خورشیدی از طریق جذب انرژی خورشیدی توسط صفحات جاذب خود عمل می نمایند و راندمان گرمایشی آنها برحسب نوع گرد آورنده های آن متفاوت است. عموماً آبگرم تولید شده در تمام طول شبانه روز در مخزن دو جداره و عایقی که دمای آب را تا سه روز بدون تغییر باقی نگه می دارد، ذخیره شده تا در طول روز به مصرف خانوار برسد. در مناطق سردسیر با زمستان های طولانی و روزهای ابری بسیار، از یک سیستم تکمیلی برقی یا گازی جهت گرم نگه داشتن آب در کنار انرژی خورشیدی استفاده می شود. این در حالی است که در بیشتر مناطق ایران بیش از سیصد روز آفتابی وجود دارد و این بدان معناست که استفاده از آبگرمکن های خورشیدی در ایران بسیار مقرون بصره است [۴].

سیستم های آبگرمکن خورشیدی، انرژی خورشیدی را به دو جهت عمده مورد استفاده قرار می دهند که مشتمل بر گرمایش مستقیم آبگرم مصرفی و یا گرمایش سیال ثانویه ی ناقل انتقال حرارت بوده (این سیال بطور معمول ترکیب آب و اتیلن گلیکول می باشد). در پاره ای از موارد به جهت به چرخش در آوردن این سیال ثانویه در داخل گرد آورنده از پمپ استفاده می شود (سیستم فعال).

آبگرمکن های خورشیدی قابلیت نصب در هر شرایط آب و هوایی را داشته و عوامل مؤثر بر میزان عملکرد آن متفاوت بوده و به عواملی همچون تابش خورشید در محل و هم چنین میزان درجه آب ورودی به سیستم وابسته است که هر چه درجه حرارت آب ورودی پایین تر باشد، سیستم دارای راندمان بالاتری خواهد بود.

قبل از نصب هر گونه سیستم آبگرمکن در منزل به جهت بالا بردن راندمان و کم کردن هزینه ها لازم است اقداماتی صورت پذیرد که دو عامل بسیار مهم آن، کاهش اتلاف حرارتی از آبگرمکن و متعلقات مربوطه و هم چنین کاهش درجه حرارت آب گرم مصرفی و رساندن آن به اندازه ی معقول می باشد.

با این دو راه کار علاوه بر کاهش میزان سرمایه گذاری اولیه، موجبات کوچکتر شدن اندازه ی آبگرمکن های انتخابی نیز فراهم شده. با توجه به اینکه آبگرمکن صرفا وظیفه تأمین آبگرم را بر عهده دارند، در جهت بهینه مصرف کردن آبگرم نیز باید اقداماتی صورت پذیرد که می توان به استفاده از سردوش های اتوماتیک در حمام، نصب شیرهای کاهش دهنده دبی جریان بر روی کلیه شیرهای آبگرم، عایق بندی آبگرمکن و لوله های حامل آبگرم نیز اشاره داشت. مضافا اینکه سیستم های آبگرمکن خورشیدی به خاطر استفاده از سوخت رایگان از نقطه نظر زیست محیطی و اقتصادی از جایگاه ویژه ای برخوردار می باشند [۴].

### ۱-۳- انواع سیستمهای آبگرمکن خورشیدی

انواع سیستم های آبگرمکن های خورشیدی بر اساس نوع کلکتور، نحوه و میزان آب گرم تولیدی در طول ساعات شبانه روز و همچنین در فصل های تابستان و زمستان دسته بندی می شوند. در برخی از آنها از یک پمپ برای به جریان انداختن آبگرم تولیدی در شبکه لوله کشی آبگرمکن استفاده می شود . این در حالی است که در برخی دیگر آبگرم تولید شده در شبکه لوله کشی بصورت طبیعی و بر اساس خاصیت ترموسیفون جا به جا می شود. با استفاده از تکنولوژی های روز در ساخت آبگرمکن های خورشیدی، امروزه می توان از این سیستم ها در تمامی آب و هواهای ممکن بهره برد. با نصب یک سیستم آبگرمکن خورشیدی بین ۵۰ تا ۸۰ درصد آب گرم مورد نیاز یک خانوار مرتفع می گردد. البته در مناطق گرمسیر و پرتابش می توان تمامی ۱۰۰ درصد آب گرم مصرفی خانوار را از این طریق تولید نمود [۴،۲].

آب گرمکن خورشیدی به دو دسته عمده غیر فعال<sup>۱</sup> و فعال<sup>۲</sup> تقسیم می گردند. که در سیستم فعال برخلاف سیستم غیر فعال از پمپ الکتریکی جهت به چرخش درآوردن سیال عامل ناقل حرارت استفاده می شود. با ذکر این نکته که میزان آبگرم تولیدی آبگرمکن خورشیدی علاوه بر مواردی که قبلاً ذکر گردید، به عواملی همچون زاویه و جهت نصب گردآورنده ها، میزان تشعشع خورشیدی و کیفیت نصب نیز بستگی دارد.

### ۱-۳-۱ سیستم های غیر فعال

سیستم های غیر فعال که فاقد هر گونه اجزاء الکتریکی هستند به دو دسته تجمعی و ترموسیفونی تقسیم می شوند و بدون آنکه به پمپ سیرکولاسیون احتیاج داشته باشند، آبگرم را در سراسر گردآورنده به چرخش درآورده و همین عوامل در مقایسه با سیستم های فعال موجب انعطاف پذیر بودن، تعمیر و نگهداری آسان تر و طول عمر بالاتر می شوند، اما عیب عمده آنها راندمان پایین ترشان است [۵]. ما در زیر به اختصار، بدلیل کاربر بیشتر، فقط سیستم نوع ترموسیفون را توضیح می دهیم.

با آنکه چندین دهه از ساخت نخستین آبگرمکن خورشیدی ترموسیفون می گذرد، اما با این حال یکی از تکنولوژی های برتر برای به کارگیری 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 ترموسیفون نسبت به نوع دیگر (آبگرمکن های فعال جابجایی اجباری) شده است. در آبگرمکن خورشیدی با چرخش طبیعی سیال ناقل، باید مخزن ذخیره در ارتفاع مشخصی (۳۰ تا ۶۰ سانتیمتر) نسبت به بالاترین قسمت گردآورنده قرار داده می شود و از چرخش معکوس به وسیله نصب شیرهای یکطرفه جلوگیری به عمل آید.

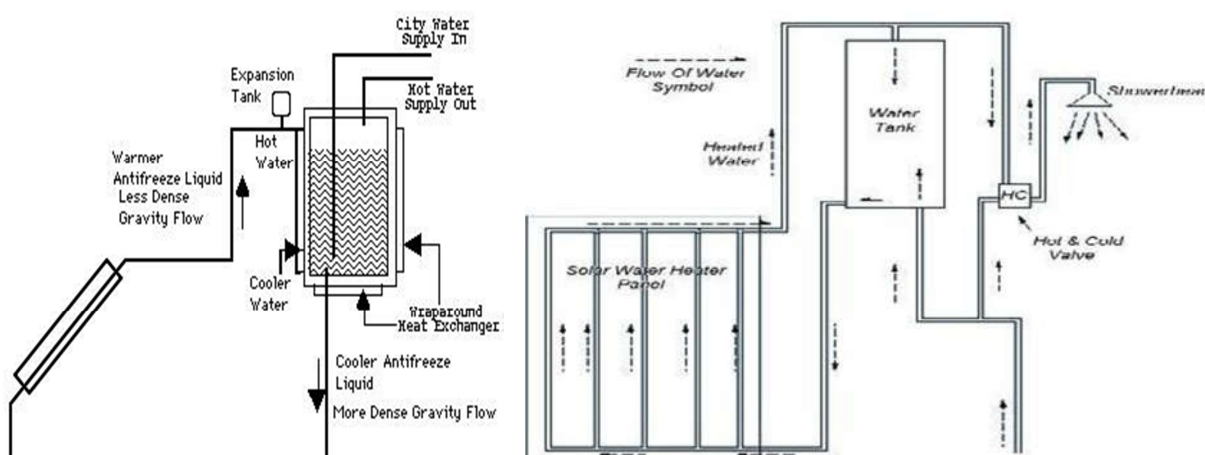
<sup>1</sup> Passive

<sup>2</sup> Active

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، به علت 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 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 میکند. در

شکل ۱-۱ هر دو سیستم نشان داده شده است:



شکل ۱-۱: سیستم ترموسیفون مدار بسته (سمت چپ) و مدار باز (سمت راست)

آبگرمکن خورشیدی در حالت ترموسیفون (جریان طبیعی)، این محدودیت را دارد که مخزن ذخیره حتماً باید بالاتر از گردآورنده نصب شود. اما اگر به هر علت این امر امکان پذیر نباشد می توان مخزن

را در محل مناسب حتی پایین تر از گردآور نصب کرده و برای جریان دادن آب بین گردآور و مخزن ذخیره از یک پمپ جریانی (سیرکولاتور) استفاده کرد. در این حالت سیستم آبگرمکن خورشیدی را سیستم اجباری یا فعال می گویند که در زیر توضیح آن داده خواهد شد.

### ۱-۳-۲ سیستمهای فعال

همانطور که قبلا نیز ذکر شد، سیستم های فعال دارای پمپ و دیگر ادوات کنترلی بوده و در مقایسه با سیستم های غیر فعال دارای راندمان بالاتری بوده، همچنین بازسازی و بهسازی آنها راحت تر انجام می پذیرد که دلیل آن عدم وجود منبع آبگرم در کنار و یا بالای گردآورنده ها می باشد.

ناگفته نماند که پمپ و کنترل کننده ی قطع و وصل آن، هزینه این آبگرمکن را افزایش داده و علاوه بر آن، لزوم وجود انرژی الکتریکی در محل باعث افزایش هزینه های جاری شده و مزایای این سیستم را کاهش می دهد. ساده ترین کنترل پمپ جریانی در این آبگرمکن ها، ترموستاتی است که با افزایش دمای آب گردآور، پمپ را به کار انداخته و باعث جریان آب بین گردآور و مخزن ذخیره آبگرمکن می گردد. معمولا در سیستم های اجباری مخزن ذخیره آبگرمکن از نوع مخزن دو جداره و کویلی است. از آنجاییکه یکی از ارکان اصلی این سیستم ها پمپ های الکتریکی هستند، لذا با قطع برق پمپ کار نکرده و در نتیجه امکان یخ زدگی یا جوش آوردن سیال سیستم وجود خواهد داشت.

برای رفع این نقیصه، اقدام به نصب یک شیر انجماد از جنس دو فلزی می کنند که بدلیل ضریب انبساط متفاوت این دو فلز، مجرای خروج سیال قبل از رسیدن به نقطه انجماد باز و سیال سیستم تخلیه شده که باعث ایمن سازی تجهیزات در مقابل یخزدگی شده. البته امروزه در کنار آبگرمکن اقدام به نصب سیستم های تولید فتوولتائیک برق خورشیدی نموده که وظیفه تأمین قدرت مورد نیاز پمپ سیرکولاسیون را بر عهده داشته و در نتیجه از جریان برق سراسری نیز مستقل خواهند بود [۶].

بر اساس این طبقه بندی ها، نمونه آزمایشگاهی ما را که در فصل چهارم مراحل ساخته آن توضیح داده خواهد شد را به نوعی می توان سیستم جابجایی اجباری تلقی کرده که مجهز به سامانه

ی فوتوولتائیک برای تأمین برق مورد نیاز پمپ سیرکولاتور است و نمونه ی بهبود یافته با رویکرد تجاری سازی آن را که در فصل پنجم مطرح می شود، نمونه هیبرید گازی آن با کنترل ترموستاتی می توان دانست.

## ۴-۱- ساختار آبگرمکن های خورشیدی

اجزاء اصلی یک آبگرمکن خورشیدی شامل گردآورنده، منبع ذخیره آب، پمپ الکتریکی، سیستم لوله کشی داخلی و سایر تجهیزات کنترلی و الکتریکی بوده، اصلی ترین بخش هر آبگرمکن خورشیدی بخش گردآورنده آن بوده معمولا بر اساس این بخش دسته بندی آبگرمکن ها صورت می گیرد. بر این اساس آبگرمکن ها به طور کلی به سه نوع مختلف تقسیم بندی شده که شامل گردآورنده های صفحه تخت<sup>۱</sup> و لوله خلاء<sup>۲</sup> و دارای متمرکز کننده<sup>۳</sup> می باشند. به جهت تفهیم بحث در فصول آتی، هر یک از این سیستم های کلکتور در زیر بطور مختصر تشریح می گردد.

### ۴-۱-۱ کلکتور های صفحه تخت

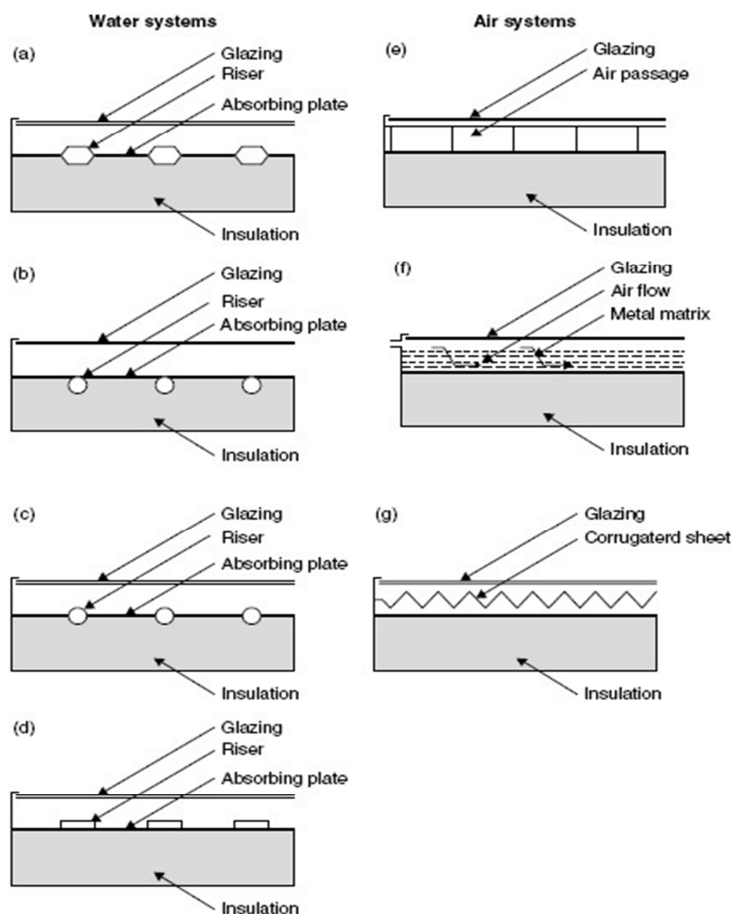
این کلکتور ساده ترین و پر استفاده ترین نوع کلکتورها به شمار می روند. ساختار آن به شکل یک جعبه مستطیل شکل بوده که در داخل آن یک صفحه جاذب فلزی از جنس مس یا آلومینیوم با پوششی به رنگ های خاص قرار گرفته است. این صفحه نور خورشید را جذب و به گرما تبدیل می کند و سپس گرمای تولید شده به سیال جاری در لوله ها منتقل می گردد. اطراف کلکتور به منظور کاهش اتلاف حرارت عایق بندی شده و روی سطح جعبه نیز با شیشه یا پلاستیک های شفاف پوشانده می شود. ضمنا اگر بتوان به محور کلکتور زاویه ای برابر با شیب عرض جغرافیایی محل داد آنگاه میزان جذب و تولید آبگرم بالا رفته. کلکتورهای صفحه تخت را می توان به صورت های مختلفی از جمله بر مبنای پوشش (با پوشش شیشه ای، با پوشش پلاستیکی، بدون پوشش، خلاء و ...) بر

<sup>۱</sup> Collector Flat Plate

<sup>۲</sup> Evacuated-tube

<sup>۳</sup> Concentrator

مبنای جاذب (جاذب فلزی، جاذب پلیمری و ...) بر مبنای سیال گرم شونده (مایع، هوا و ...) بر مبنای سطح مقطع شکل هندسی و نوع مقاطع عبور سیال (شکل ۱-۲) دسته بندی کرد.



شکل ۱-۲: انواع کلکتورهای صفحه تخت [۷].

## ۱-۴-۲ کلکتورهای لوله خلاء

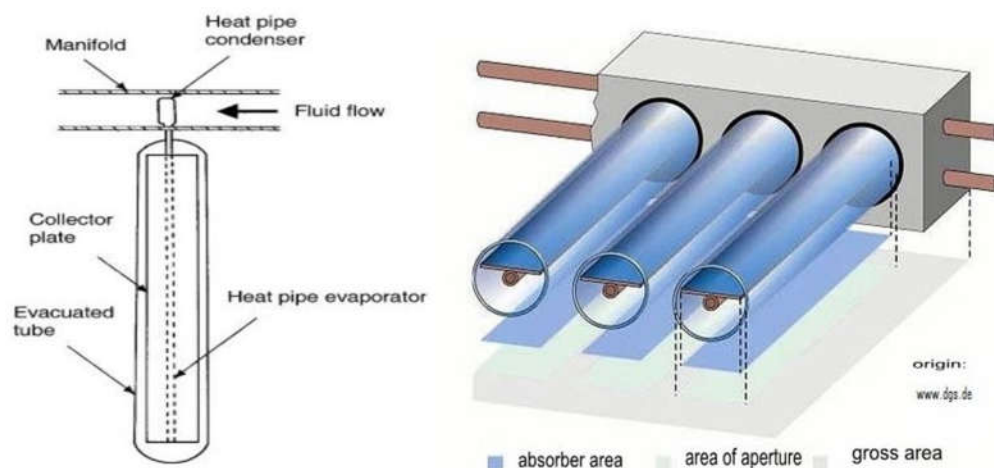
این کلکتور از تعدادی لوله دو جداره شفاف و موازی تشکیل شده است. هوا از فضای بین دو جداره خارج گردیده و خلاء ایجاد شده از اتلاف حرارت جلوگیری می کند. این کلکتورها از انواع متعارف کلکتورهای صفحه تخت برای استفاده در مناطق گرم و آفتاب خیز به حساب می آیند.

مزیت این نوع کلکتور توانایی در ایجاد دمای بالاتر می باشد. پوشش خلاء تلفات ناشی از انتقال حرارت جابجایی و هدایت را کاهش می دهد، بنابراین کلکتور می تواند در دماهای بالاتری نسبت به کلکتور صفحه تخت کار کند. مانند کلکتورهای صفحه تخت، این کلکتورها نیز تابشی های مستقیم و

دیفیوز را جمع آوری می کنند. با این وجود، راندمان آنها بدلیل برخورداری از زاوایای برخورد کوچک، بالاتر است. این موضوع باعث می شود تا کلکتور لوله خلاء مزیت بیشتری نسبت به کلکتور صفحه تخت در تمام طول روز داشته باشد.

نوع خاصی از این کلکتورها عبارتند از یک لوله گرمایی (هیت پایپ) که درون یک لوله خلاء شیشه ای قرار گرفته است. کلکتورهای لوله گرمایی با بهره بردن از تغییر فاز مایع- بخار مواد، موجب انتقال حرارت با راندمان بالا می شوند. جهت انتقال گرما از مواد قابل تغییر در فازهای بخار و مایع با راندمان بالا استفاده می شود [۸].

ویژگی کلکتورهای لوله خلاء هیت پایپی یک هادی با راندمان بسیار بالا می باشد که در داخل یک لوله خلاء شده پوشش داده شده، قرار می گیرد. این لوله پوشش داده شده از جنس مس بوده و به پره های مسی سیاه رنگی متصل می باشد که داخلی لوله خلاء شده را پر می کند (صفحه جاذب). بالای هر کدام از این لوله ها، یک برآمدگی فلزی است که درون هدر عبور سیال قرار می گیرد و ناقل حرارت به سیال بوده (شکل ۱-۳). لوله حرارتی شامل مقدار کمی سیالی (مانند متانول) می باشد که تحت سیکل تبخیر - تقطیر جریان دارد.

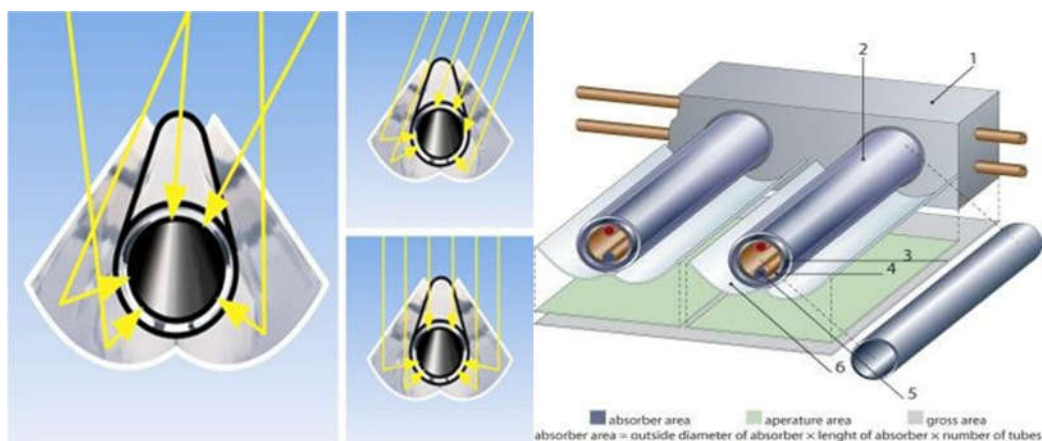


شکل ۱-۳ : سیستم لوله خلاء هیت پایپ

### ۱-۴-۳ کلکتورهای سهموی مرکب هیت پایپ دار

نوع دیگر از کلکتورها که اخیراً توسعه داده شده است، کلکتور سهموی مرکب هیت پایپ دار می باشد. این کلکتور ترکیبی از لوله های عایق خلاء بوده که در قسمت پشت لوله شیشه ای آن یک بازتابنده ای به صورت ثابت قرار گرفته است. جاذب این مدل کلکتور نوع لوله خلاء هیت پایپی است و تمرکز کننده ثابت انعکاسی پشت این لوله ها، قادرند که تمامی پرتوهای ورودی خورشیدی را به بخش جاذب هیت پایپی بتابانند. کلکتورهای لوله خلاء این نوع از نمونه ها بصورت هیت پایپی بوده و از مواد دو فازی بهره می برند. استفاده از این سیستم ها به عنوان کلکتورهای خورشیدی مورد توجه وینستون قرار گرفت [۹].

همان طوری که در شکل ۱-۴ نشان داده شده است، با قرار دادن دو نیمه سهمی گون در مقابل یکدیگر می توان نیاز این کلکتور به دنبال کردن خورشید را کاهش داد. این نوع کلکتورها می توانند اشعه های تابشی خورشید را در محدوده بسیار زیادی دریافت کنند. ضمناً این نوع کلکتورها از انواع سهموی خطی به لحاظ کاربری ساده تر می باشند [۱۰].



شکل ۱-۴: سیستم کلکتور سهموی مرکب هیت پایپ دار

با استفاده از بازتاب دهنده های داخلی، هرگونه اشعه ورودی از دهانه کلکتور به سمت جذب کننده ای که در مرکز کلکتور قرار دارد، هدایت می شود. در هنگام قرارگیری کلکتور بصورت افقی، به خاطر اینکه در قسمت های بالایی بازتاب دهنده این کلکتورها، تنها بخش کوچکی از پرتوهای ارسالی به

جاذب برخورد می کنند، به همین دلیل می توان برای کوچکتر کردن این کلکتور قسمت بالایی بازتاب دهنده آن را کوتاه کرد [۱۱]. انجام این کار موجب کاهش قیمت و ابعاد کلکتور می شود. دهانه سهمی ها معمولا به وسیله شیشه پوشیده می شود تا از ورود گرد و غبار و سایر مواد به داخل کلکتور که موجب کاهش خاصیت بازتابی آن می شود، جلوگیری بعمل آید. علاوه بر آن بسته به اندازه زاویه دریافت، کلکتور می تواند به صورت ثابت قرار گیرد یا اینکه خورشید را دنبال کند. زاویه دریافت عبارتست از زاویه ای که یک منبع نور می تواند در بین این زاویه حرکت کرده و روی جاذب همگرا شود. محور طولی یک بازتاب دهنده سهمی می تواند نسبت به زاویه اصلی، در جهت شمال به جنوب یا شرقی - غربی قرار گیرد.

هنگامیکه محور کلکتور در جهت شمالی - جنوبی قرار می گیرد، دهانه کلکتور باید با زاویه شیبی به اندازه عرض جغرافیایی منطقه نصب شده و به سمت استوا متمایل باشد و در صورت لزوم، کلکتور باید حول محور طولی، خورشید را دنبال کند. در صورتیکه زاویه دریافت یا دهانه کلکتور به اندازه کافی بزرگ باشد، نیازی به تنظیم شیب کلکتور با تغییر فصل نیست و کلکتور می تواند به طور ثابت قرار گیرد. البته دریافت اشعه های خورشید فقط در ساعاتی که خورشید در زاویه دریافت قرار گیرد میسر است. هنگامی که کلکتور نسبت به محور طولی آن در جهت شرقی - غربی قرار می گیرد، با اندکی تنظیم زاویه شیب نسبت به فصل، می تواند به نحو مطلوبی اشعه های خورشید را دریافت کند [۱۱، ۱۲].

## ۱-۵- تعریف کلی متمرکز کننده های سهموی خطی

برای بسیاری از کاربردها به دمای بالاتری از آنچه کلکتور های تخت می توانند فراهم کنند نیاز است. گردآورنده متمرکز کننده زمانی که دمای بیش از صد درجه مورد نیاز باشد، ضرورت پیدا می کند. برای بالا بردن دما، می توان انرژی تحویلی سطحی را که از آن افت حرارت داریم کاهش دهیم. برای این منظور از یک وسیله نوری (اپتیکالی) بین سطح تابش کننده و سطح جذب کننده استفاده می

شود. یک جذب کننده با سطح کوچک نسبت به کلکتور های تخت انتقال حرارت از دست رفته کمتری را در ازای یک دمای یکسان سطح دارد [۱۴]. کاربردهای حرارتی نوع کلکتور که نیازمند استفاده از متمرکز کننده ها هستند عبارت است از، سیکل های تبدیل انرژی دما بالا یا متوسط و نیز سیستم های متعددی برای تهیه حرارت فرایندهای صنعتی در دماهای متوسط آزمایش ۱۰۰ تا ۴۰۰ یا در محدوده ی بالاتر از ۴۰۰ درجه [۱۵]. به خاطر حضور یک سیستم نوری (در واقع به علت آنکه اشعه خورشید باید همیشه روی صفحه ی جذب کننده متمرکز شود)، یک گردآورنده متمرکز کننده، معمولاً مجبور است خورشید را طوری دنبال کند که تابش نور را روی جذب کننده متمرکز کند، که به این دنبال کردن، ردیابی<sup>۱</sup> می گویند. از این رو گردآورنده های متمرکز کنند، به دو دسته تصویری<sup>۲</sup> و غیر تصویری<sup>۳</sup> تقسیم بندی می شوند. گردآورنده هایی که در دسته تصویری قرار می گیرند، باید مجهز به سیستم ردیابی خورشید باشند حال آن که گردآورنده های غیر تصویری، نیازی به سیستم ردیابی ندارند و تنها کافی است جهت آنها را چند دفعه، در طول یک سال تغییر دهند. لذا با حذف سیستم ردیابی در این نوع گردآورنده ها، هزینه مربوط به ساخت و نگهداری آن حذف می شود (گردآورنده CPC در این دسته بوده).

### ۱-۵-۱ گردآورنده صفحه تخت با انعکاس دهنده تخت<sup>۴</sup>

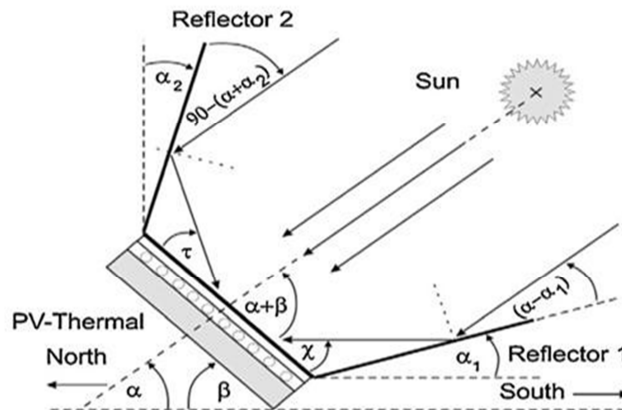
در این مدل برای انعکاس تابش به صفحه جذب کننده، از آینه های قابل تنظیمی که در لبه ها قرار دارد، استفاده می گردد. ساده بودن در طراحی، نسبت تمرکز کمی بالاتر از یک، و مناسب برای تامین دمایی حدود بیست تا سی درجه بالاتر از گردآورنده صفحه تخت و عدم نیاز به ردیابی خورشید، از ویژگیهای این نوع گردآورنده ها می باشد (شکل ۱-۵).

<sup>1</sup> Tracking

<sup>2</sup> Imaging

<sup>3</sup> Non Imaging

<sup>4</sup> Flat Plate Collector With Plane Reflector



شکل ۱-۵: سیستم کلکتور صفحه تخت با انعکاس دهنده تخت

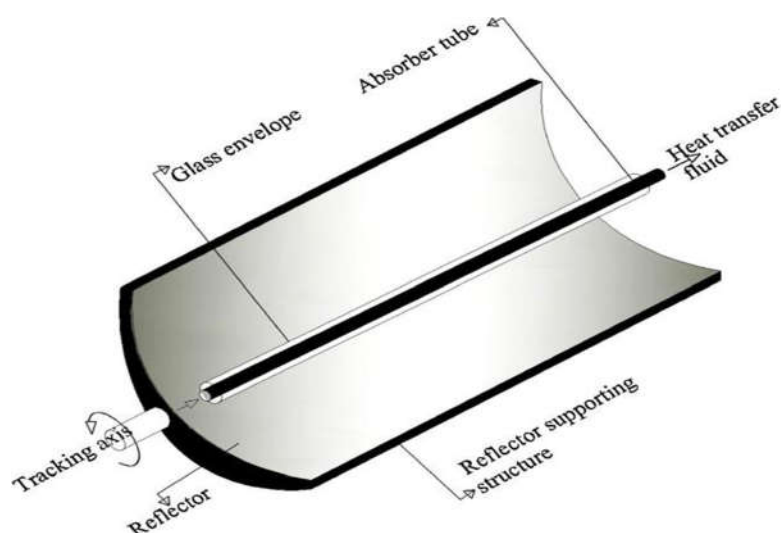
## ۱-۵-۲ گردآورنده های سهموی استوانه ای<sup>۱</sup>

زمینه اولیه کلکتورهای سهموی خطی به سال ۱۸۷۰ در جایی که جان اریکسون برای اولین بار یک کلکتور سهموی - خطی ساخت و پس از بررسی و انجام آزمایشهای متعدد توانست در یک سیکل بخار از آن برق تولید نماید. در پی آن در سال ۱۹۰۷ ویلیام مایر دست به طراحی و ساخت کلکتور سهموی دقیق تری زد و آن را به نام خود ثبت نمود [۱۸].

در این نوع گردآورنده ها، متمرکز کننده شکل سهموی استوانه ای دارد و تصویر در محور کانونی سهمی، شکل می گیرد. کانون بر روی خطی و در جایی که روی سطح لوله جذب کننده قرار دارد. تمام نور جذب شده پس از برخورد به جاذب و تبدیل به گرما شدن، به سیال در حال جریان در آن، انتقال می یابد (شکل ۱-۶).

به علت آن که اشعه خورشید باید همیشه روی لوله جذب کننده متمرکز شود، این نوع گردآورنده نیز تصویری و نیازمند سیستم ردیابی می باشد. در مورد متمرکز کننده های سهموی استوانه ای، عموماً چرخش حول یک محور مورد نیاز می باشد و دمای بالای ۴۰۰ درجه سانتیگراد در این مدل قابل دستیابی می باشد [۱۵].

<sup>۱</sup> Cylindrical Parabolic Collector

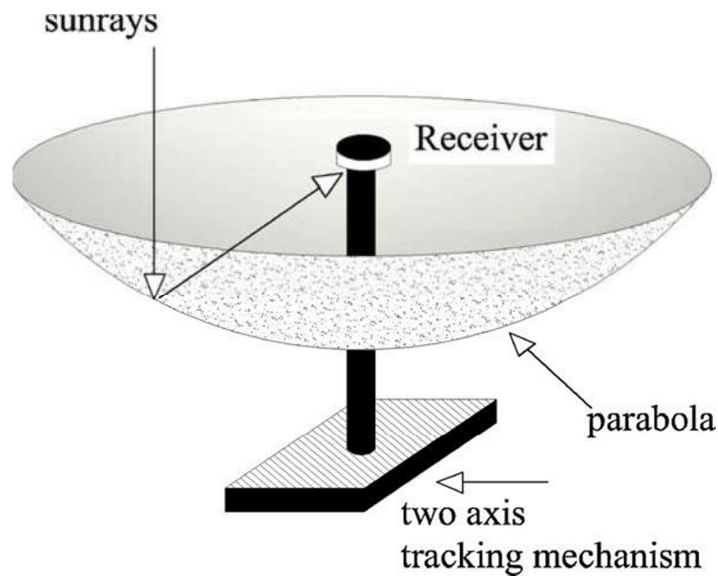


شکل ۱-۶: سیستم کلکتور سهموی استوانه ای

### ۱-۵-۳ گردآورنده های متمرکز کننده شلجمی<sup>۱</sup>

رسیدن به دمای بالاتر از ۴۰۰ درجه سانتیگراد با استفاده از متمرکز کننده های شلجمی شکل، امکان پذیر می باشد. این متمرکز کننده یک سطح فضایی است که از دوران یک سهمی بوجود می آید و کانون آن یک نقطه است. در این نوع متمرکز کننده ها، بر خلاف متمرکز کننده سهموی استوانه ای که تمرکز خطی بود، تمرکز نقطه ای می باشد. برای اینکه چنین سیستمی کاملاً موثر باشد لازم است که این گردآورنده تمام مدت به طرف خورشید نشانه گیری شود و در نتیجه به مکانیسم ردیابی دو محوری نیاز دارد [۱۶]. (شکل ۱-۷)

<sup>1</sup> Paraboloid Concentrating Collector

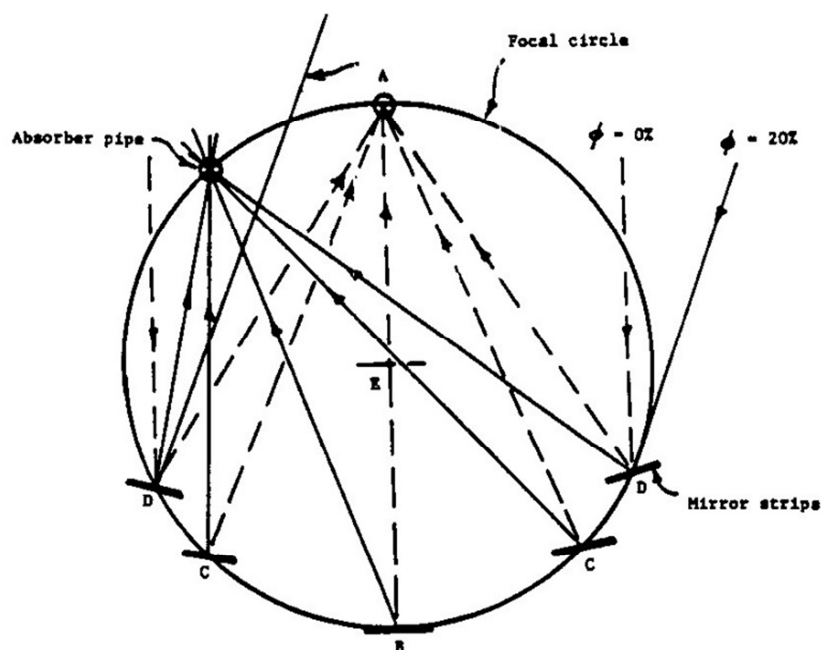


شکل ۱-۷: سیستم متمرکز کننده شلجی

### ۴-۵-۱ گردآورنده با متمرکز کننده دایره ای ثابت و دریافت کننده متحرک<sup>۱</sup>

بر خلاف گردآورنده های سهموی استوانه ای که متمرکز کننده به منظور ردیابی خورشید می چرخد، این مدل، متمرکز کننده ی ثابت، و دریافت کننده متحرک دارد. متمرکز کننده ها آرایشی از نوارهای آینه ای مسطح باریک و طولانی هستند که در یک سطح استوانه‌ای ثابت شده اند (شکل ۱-۸). نوارهای آینه ای، خط باریکی از تصویر ایجاد می کنند که یک مسیر چرخشی همانند حرکت خورشید دنبال می کنند. این مسیر بر همان مسیر دایره‌ای منطبق است که در آن نوارهای آینه ای ثابت هستند از این رو دریافت کننده می بایست در طول مسیر چرخشی برای دنبال کردن خورشید حرکت نماید [۱۵].

<sup>1</sup> Collector With Fixed Circular Concentrator and Moving Receiver

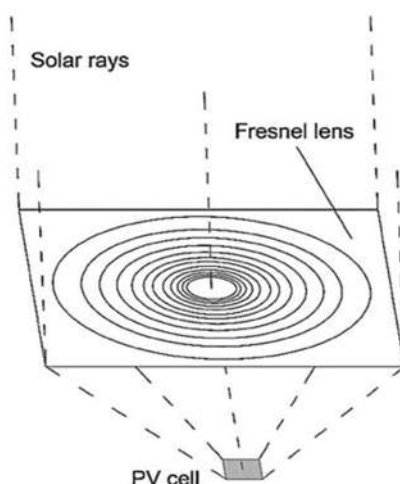


شکل ۱-۸: سیستم متمرکز کننده دایره ای ثابت و دریافت کننده متحرک

### ۱-۵-۵ گردآورنده متمرکز کننده با لنز فرزنل<sup>۱</sup>

در این نوع متمرکز کننده، تمرکز با استفاده از لنز به دست می آید. مرسوم ترین ابزار مورد استفاده، لنزهای فرزنل هستند. لنز فرزنل یک صفحه نازک است که از یک طرف مسطح و در طرف دیگر شیارهای طولی وجود دارد. زاوایای شیارها به گونه ای هستند که تابش در یک خط متمرکز می شود. لنز معمولاً از صفحات پلاستیک اکریلیک ساخته می شود [۱۷]. (شکل ۱-۹)

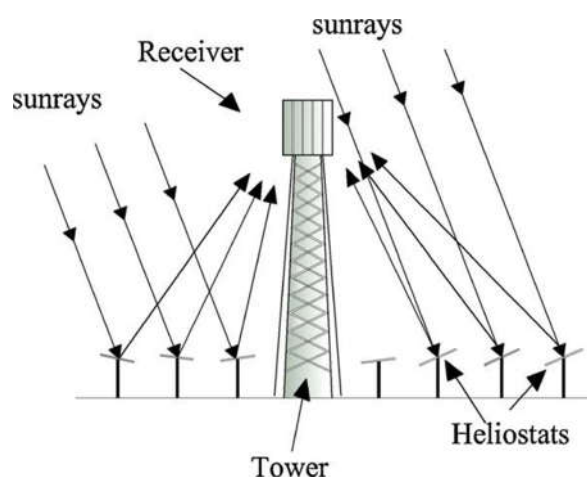
<sup>1</sup> Fresnel Lens Concentrating Collector



شکل ۱-۹: سیستم متمرکز کننده با لنز فرزنل

### ۱-۵-۶ گردآورنده با دریافت کننده مرکزی<sup>۱</sup>

در این گردآورنده، تابش طیفی از تعدادی آینه که به طور مستقل کنترل شده، موسوم به هیلوستات<sup>۲</sup>، به یک دریافت کننده مرکزی که در بالای یک برج گذاشته شده است منعکس می شود. یک سیالی که در دریافت کننده جریان دارد، تابش جذب شده را دریافت می کند و به جایی که برای عملیات در سیکل ها استفاده می شود، انتقال میدهد [۱۶]. (شکل ۱-۱۰)



شکل ۱-۱۰: سیستم گردآورنده با دریافت کننده مرکزی

<sup>۱</sup> Central Receiver Collector

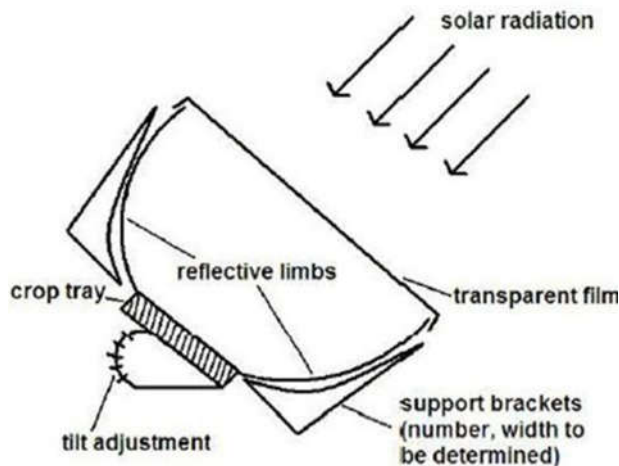
<sup>۲</sup> Heliostates

### ۱-۵-۷ گردآورنده های سهموی ترکیبی<sup>۱</sup>

این متمرکز کننده شامل آینه های انحناداری بوده که بخش هایی از دو سهمی هستند (کلکتور سهموی مرکب هیت پایدار زیر مجموعه ی این دسته بوده) و مشابه کلکتور صفحه تخت با انعکاس دهنده ی مسطح، از نوع غیر تصویری است که زاویه پذیرش بزرگی دارد. به علت زاویه پذیرش بالا، نیازی به ردیابی دائم خورشید ندارد.

نسبت تمرکز در این نوع گردآورنده نسبت به گردآورنده های توضیح داده شده در بالا، بهبود یافته و دارای مقادیری بین سه تا ده می باشد. به علاوه، نسبت تمرکز آن برابر با ماکزیمم مقدار ممکن برای یک زاویه پذیرش داده شده می باشد [۱۵]. گاهی از صفحات فوتولتائیک دارای خنک کننده در پشت آن به عنوان جاذب مرکزی این نوع از کلکتورها بهره برده می شود تا بتوان همزمان تولید برق و حرارت داشت

(شکل ۱-۱۱).



شکل ۱-۱۱: سیستم گردآورنده سهموی ترکیبی

### ۱-۵-۸ کلکتورهای استخر خورشیدی<sup>۲</sup>

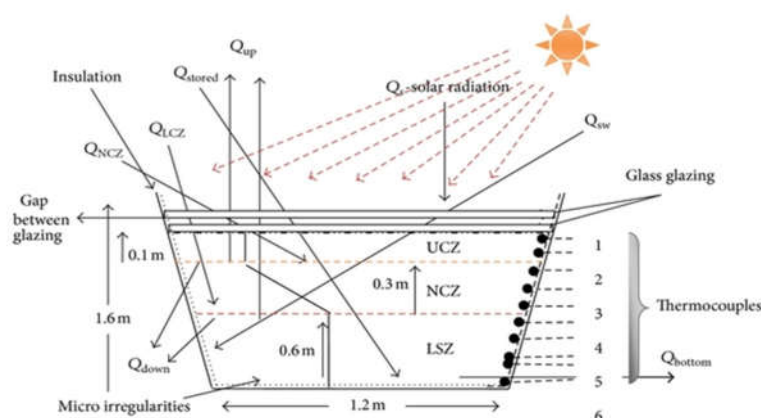
کلکتورها استخرهای خورشیدی<sup>۳</sup> کلکتوری است که از صفحه ای نیمه شفاف بعنوان جاذب جهت دریافت تشعشع خورشید روی مایع شفاف ناقل حرارت استفاده می کند، با ادامه ی پیشرفت این نوع

<sup>1</sup> Compound Parabolic Collector

<sup>2</sup> Solar volumetric collectors

<sup>3</sup> Solar ponds

از آبرگمکن ها محققان با بهینه سازی عملکرد کلکتور بر حسب پارامترهای بی بعد و همچنین متغیر عمق کلکتور پرداخته اند که حاصل آن بدست آمدن رابطه ای برای تغییرات راندمان بهینه کلکتور با عمق آن است. در صورتی که عمق کلکتور صفر فرض شود، کلکتور حجمی تبدیل به کلکتور صفحه تخت می گردد، اما نمودارهای بدست آمده نشان می دهند که توان خروجی از این کلکتور بسیار بیشتر از کلکتور صفحه تخت در شرایط مشابه می باشد (شکل ۱-۱۲).



شکل ۱-۱۲: کلکتور حجمی خورشیدی

## ۱-۶- تحقیقات پیشین

در سیستم های خورشیدی به دلیل هزینه اولیه نسبتا زیاد، نیاز به ارزیابی دقیق و ارائه راهکارهایی جهت بهبود عملکرد و کارایی ضروری به نظر می رسد. در سالهای اخیر مطالعاتی در زمینه آنالیز انرژی و انرژی انواع مختلف سیستم های خورشیدی صورت گرفته که عمده ی آنها روی کلکتورهای صفحه تخت می باشد، تحقیقات تئوری و آزمایشگاهی بسیاری روی انواع مختلف این کلکتور صورت گرفته است. اما با توجه به اهمیت روز افزون بازده در استفاده از انرژی خورشیدی، کلکتور خورشیدی سهموی - خطی بدلیل بازده بالاتر از نمونه های صفحه تخت، همواره به عنوان گیرنده ی نیروگاهی تابش خورشیدی مورد توجه پژوهشگران بوده اند. در زیر به چندین مورد از کارهای پیشین که در راستای تحقیق حاضر می باشد اشاره می شود.

در سال ۱۹۸۸ آکیو سوزوکی در مقاله ای به بررسی روابط اساسی در تحلیل اگزرژی کلکتورهای خورشیدی پرداخته و پس از آن دو مدل کلکتور صفحه تخت و لوله ای خلاء را با فرض ثابت بودن ضریب افت حرارت کلی<sup>۱</sup> از دیدگاه اگزرژی مقایسه کرده است. که به دلیل افت راندمان اپتیکی در نتیجه ی وجود فاصله بین لوله های شیشه ای در کلکتور لوله ای خلاء، نتایج مقایسه ی صورت گرفته بسیار به هم نزدیک بوده اند[۱۹].

در سال ۲۰۰۰ سی. یاپ و همکارانش به بررسی روابط انتقال حرارت در کلکتور لوله ای خلاء ساده با نوع لوله ی حرارتی پرداختند. نویسندگان در این مقاله با بررسی مقاومتهای حرارتی در مسیر انتقال حرارت از سطح جاذب به آب، روابطی برای محاسبه ی ضریب اتلاف حرارت و حرارت مفید منتقل شده به آب ارائه کردند. هرچند که در این تحقیق از مدل مقاومت الکتریکی مناسبی جهت تحلیل رفتار کلکتور ارائه شده، اما برخی از روابط انتقال حرارتی استفاده شده مختص جریان های داخلی مغشوش هستند<sup>۲</sup> و استفاده از آنها برای جریان های آرام مناسب نیست[۲۰].

در سال ۲۰۰۰ سینگ و همکاران به بررسی سیستم های گرمایی خورشیدی از جمله کلکتورهای سهموی - خطی برای نیروگاه های بخار پرداختند. آنها بر اساس دیدگاه های انرژی و اگزرژی نیروگاه سیکل رنکین را مورد ارزیابی قرار دادند[۲۱].

در سال ۲۰۰۲ یعقوبی و همکاران به ارزیابی بهینه طراحی کلکتورهای سهموی - خطی و مقایسه کلکتورهای سری لوز با کلکتورهای نیروگاه شیراز پرداختند[۲۲].

در سال ۲۰۰۵ لومینوسا و فارا تحقیقی با هدف نشان دادن وابستگی اگزرژی به نرخ جریان سیال و سطح کلکتور صفحه تخت و تاثیر این دو پارامتر در عملکرد کلکتور انجام دادند. روش بکار رفته شده در این تحقیق دامنه وسیعی از مقادیر ممکن برای دبی سیال ورودی ارائه می دهد، اما در مورد اینکه مدل انتخاب شده بهترین حالت باشد با اطمینان اظهار نظر نمی کند[۲۳].

<sup>1</sup> Overall heat loss coefficient

<sup>2</sup> Turbulent

در سال ۲۰۰۶ از ترک و همکاران به بررسی بازده های انرژی، انرژی و اگزرژی و اپتیکی کلکتور سهموی - خطی در طول زمان پرداختند [۲۴].

در سال ۲۰۰۷ تیای و همکاران بازده های انرژی و اگزرژی کلکتور سهموی - خطی به صورت غیر المانی و برای دبی جرمی های پایین و بسیار بالا را مورد بررسی قرار دادند [۲۵].

در سال ۲۰۰۸ احمد کهربائیان و همکاران پارامترهای مختلف کلکتور سهموی - خطی را برای یک شدت تشعشع ثابت در یک سیستم چهار درجه آزادی از دیدگاه بهینه سازی بررسی کردند [۲۶].

در سال ۲۰۰۹ حسین موسی زاده و همکاران به بررسی روش های ردیابی خورشید برای کلکتورهای مختلف پرداختند و روش های بهینه از دیدگاه تولید بیشینه انرژی را معرفی کردند [۲۷].

در سال ۲۰۱۰ احمد یاسن به آنالیز انرژی کلکتور سهموی - خطی از دو جنبه تئوری و آزمایشگاهی پرداخت. نتایج نشان داد که داده های آزمایشگاهی و تئوری مطابقت خوبی را نشان می دهند [۲۸].

در سال ۲۰۱۲ سیواردی و همکاران به ارزیابی انرژی و اگزرژی انواع کلکتورهای سهموی متمرکز کننده خورشیدی برای تابش های متغیر در شهرهای مختلف هند پرداختند. نتایج نشان داد بیشینه انرژی برای مکان های مختلف، در زمانهای متفاوت بدست می آید [۲۹].

در سال ۲۰۱۳ شوپنگ و همکاران به بررسی و مقایسه ردیابی خورشید برای کلکتورهای سهموی - خطی در دو حالت چرخشی و تک محوری از دیدگاه انرژی پرداختند. نتایج نشان می دهد در حالت ردیابی چرخشی انرژی بیشتری نسبت به حالت ردیابی تک محوری حاصل می شود [۳۰].

در سال ۲۰۱۴ ریکاردو پادیللا و همکاران به بررسی و ارزیابی کلکتورهای سهموی خطی از دیدگاه انرژی و اگزرژی در شدت تشعشع ثابت و مقایسه دو حالت بدون پوشش و با پوشش پرداختند. نتایج حاصل از تحقیقات آنها نشان داد که هر دو بازده های انرژی و اگزرژی در حالت وجود پوشش شیشه ای بیشتر از بازده در حالت بدون پوشش می باشد [۳۱].

در بیشتر مقالات مطرح شده در بالا، مدل‌هایی تحلیلی برای راندمان انرژی و انرژی با در نظر گرفتن فرضیاتی در صورت مسئله مورد بررسی قرار گرفته و سپس این مدل‌ها به یک برنامه محاسباتی منتقل شده‌اند. در این برنامه‌ها اکثر راندمان انرژی، راندمان انرژی، دمای خروجی سیال از کلکتور، شدت جریان سیال و سطح کلکتور به عنوان پارامترهای قابل تغییر در نظر گرفته شده‌اند. معمولاً راندمان انرژی به صورت تابعی از دبی و سطح مورد بررسی قرار گرفته و توسط برنامه کامپیوتری یک نقطه ماکزیمم کلی برای آن بدست آمده است. آنالیزهای ارائه شده در تعدادی از این مقالات عموماً برپایه فرض برابری دمای ورودی سیال به کلکتور با دمای محیط و ثابت دانستن ضریب افت حرارت کلی می‌باشد، که در نمونه ما این فرضیات صورت نگرفته است.

## ۱-۷- اهداف پایان‌نامه

در این پایان‌نامه برای نخستین بار یک تولید کننده آبگرم خورشیدی دما بالا (که با استفاده از متمرکز کردن نور خورشید توسط گردآورنده‌های متمرکز کننده از نوع سهموی - خطی به دست می‌آید) و عموماً کاربرد صنعتی و غیر خانگی داشته را در کنار گاز طبیعی برای تامین آبگرم مصرفی خانوار با رویکرد تجاری سازی محصول نهایی مورد مطالعه قرار می‌دهیم.

این امر نیازمند به نمونه آزمایشگاهی برای بدست آوردن داده تجربی و بررسی نتایج حاصل از معادلات تئوری بوده، از آنجاییکه مصرف آبگرم یک خانوار در طول روز نمودار ثابت و مشخصی با زمان در طول روز ندارد و ورود آب سرد به مخزن پس از هر بار مصرف آب بر روی بازدهی تولید آبگرم توسط هر دو منبع گاز طبیعی و آبگرمکن خورشیدی تأثیر می‌گذارد (محاسبه بازده در این حالت فرآیندی دینامیک در طول روز خواهد بود)، ما در این پروژه بمنظور ساده سازی طرح، حداکثر توانسته نمونه‌ای تجربی مطابق طرح واره را ساخته و در طول تابش آفتاب در روزهای ابتدایی خرداد بررسی و داده برداری تجربی نماییم. تغییرات تابش خورشیدی، دمای ورودی به جاذب، دمای محیط

و دمای خروجی سیال کاری و میزان حداکثر تولید آبگرم ممکن سیستم در روزهای تست ثبت شده و بازده انرژی (بازده قانون اول ترمودینامیک) برای مدل ما بررسی خواهد شد.

## ۱-۷-۱ مروری بر فصل‌های پایان‌نامه

این پایان‌نامه از یک فصل به‌عنوان مقدمه و چهار فصل اصلی و یک بخش جهت معرفی مراجع مورد استفاده تشکیل شده است. در فصل دوم مفاهیم استفاده شده در این مطالعه به تفصیل توضیح داده می‌شود و معادلات برای حل تحلیلی و بدست آوردن بازده دستگاه ارائه شده‌اند. در فصل سوم به معرفی مراحل ساخت نمونه پرداخته شده، در فصل چهارم داده‌های حاصل از تست این نمونه در روزهای مختلف سال ارائه شده است و سپس اعتبار و صحت سنجی نتایج صورت گرفته. در فصل پنجم، میزان صرفه جویی‌های حاصل در گاز طبیعی برای گرمایش همین میزان از آبگرم را در قالب تحلیل اقتصادی در یک نمونه هیبرید با گاز طبیعی مطالعه گشته و نتایج آن ارائه می‌گردد. در آخر به معرفی نتایج این پایان‌نامه و ارائه پیشنهادها و توصیه‌هایی برای ارتقای سطح کیفی تحقیق حاضر و انجام مطالعه جامع‌تر در راستای موضوع این پایان‌نامه، می‌پردازیم.



## فصل ۲ : مدل سازی و محاسبه ی تابش خورشیدی

## ۲-۱- مقدمه

از موارد بسیار مهم در طراحی، جهت محاسبه راندمان تئوری سیستم های سهموی - خطی، بررسی معادلات حاکم از دیدگاه نوری برای بدست آوردن میزان تابش خورشیدی در منطقه مورد نظر جهت محاسبه حداکثر انرژی قابل دریافت در حالت تئوری بوده، ضمناً پس از تعیین ضریب تمرکز نمونه، با بدست آمدن حداکثر گرمای تولیدی از این روابط، نوبت به بررسی آن از دیدگاه مکانیک حرارت و سیالات جهت بررسی ضرایب انتقال حرارت می باشد، هر کدام از این مباحث در بخش های زیر به تفصیل توضیح داده خواهد شد.

## ۲-۲- مبانی لازم از انرژی خورشیدی

در شکل ۱-۲ نمایی کلی از یک کلکتور خورشیدی قابل مشاهده است. همان گونه که در شکل مشاهده می شود جهت و موقعیت هر صفحه در هر لحظه توسط دو زاویه شیب و سمت الرأس مشخص می شود که به ترتیب عبارتند از:

زاویه شیب  $\beta^1$ : عبارت است از زاویه بین صفحه مورد نظر و سطح افق ( $\beta \geq 90^\circ$ ) به این معنی است که سطح مورد نظر روبه پایین است و همواره  $0^\circ \leq Z_s \leq 180^\circ$ .

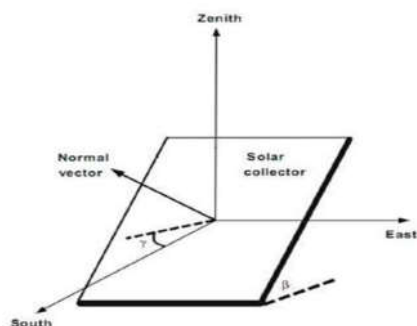
زاویه سمت الرأس صفحه  $Z_s^2$ : اگر راستای عمود بر سطح صفحه مورد نظر را بر روی صفحه افق تصویر کنیم، راستای این با راستای نصف النهار محلی زاویه ای می سازد که همان زاویه سمت الرأس صفحه می باشد. اگر راستای تصویر در امتداد شمال به جنوب باشد،  $Z_s$  صفر خواهد بود (همواره  $0^\circ - 180^\circ$ ).

$180^\circ \geq Z_s \geq 0^\circ$  یعنی سمت شرق منفی و غرب مثبت در نظر گرفته می شود [۳۲].

شکل زیر زوایای معرفی شده را نشان می دهد.

<sup>1</sup> Slope angle

<sup>2</sup> Surface azimuth angle

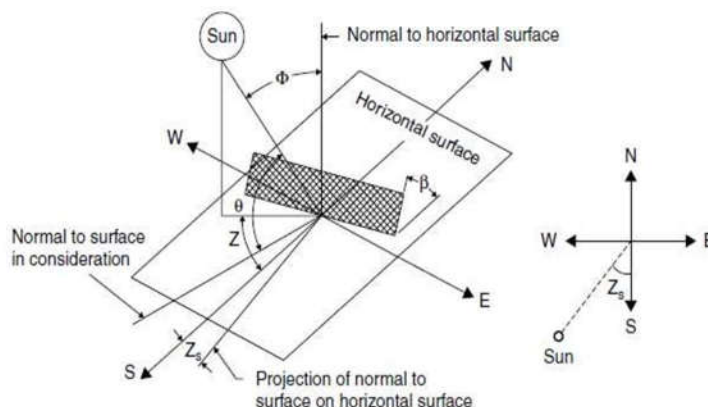


شکل ۲-۱: نمایی از صفحه کلکتور خورشیدی بسمت جنوب [۳۲].

زوایای مشخص کننده موقعیت خورشید نسبت به محل  $\alpha$ ،  $\varphi$  و  $Z$  می باشند که به ترتیب عبارتند از: زاویه سمت الرأس خورشید<sup>۱</sup>  $\varphi$ : راستایی که مکان مورد نظر را به خورشید متصل می کند، با راستای قائم زاویه ای می سازد که همان زاویه سمت الرأس خورشید است.

زاویه ارتفاع خورشید<sup>۲</sup>  $\alpha_s$ : زاویه ای است که خط واصل خورشید و مکان مورد نظر با افق می سازد. در واقع زاویه ارتفاع خورشید متمم زاویه سمت الرأس خورشید است ( $\alpha_s + \varphi = 90^\circ$ ).

زاویه سمت خورشید<sup>۳</sup>  $Z$ : زاویه ای است که تصویر راستای تابش خورشید بر روی سطح افق، با راستای شمال به جنوب می سازد. علامت این زاویه مانند  $Z_s$  مشخص می شود [۳۳]. (شکل ۲-۲) زوایای اصلی که با استفاده از آنها می توان جهت تابش خورشید را محاسبه کرد به ترتیب عبارتند از:



شکل ۲-۲: زوایای مشخص کننده وضعیت صفحه و موقعیت خورشید [۳۳].

<sup>1</sup> zenith angle

<sup>2</sup> Solar altitude angle

<sup>3</sup> Solar azimuth angle

زاویه عرض جغرافیایی<sup>۱</sup>  $La$ : اگر مرکز زمین را به مکان مورد نظر روی سطح زمین متصل کنیم، خط واصل با صفحه استوا زاویه ای میسازد که همان عرض جغرافیایی است که در نیمکره شمالی مثبت و در نیمکره شمالی مثبت و در نیمکره جنوبی منفی در نظر گرفته می شود.

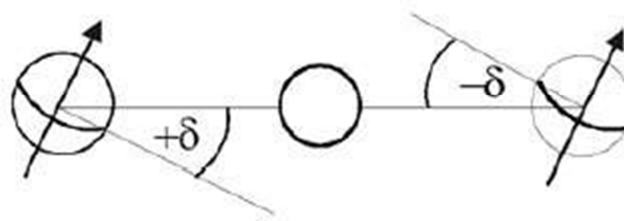
زاویه ساعت<sup>۲</sup>  $h$ : خط واصل مرکز زمین و مرکز خورشید و نیز خط متصل کننده مرکز زمین به مکان مورد نظر روی سطح زمین را در نظر می گیریم. زاویه ساعت عبارت است از زاویه بین تصویر این دو خط در صفحه استوا، این زاویه از نظر علامت در صبح منفی و در بعد از ظهر مثبت در نظر گرفته می شود. زاویه ساعت به دلیل چرخش زمین حول محور خود، در هر ساعت  $15^\circ$  تغییر می کند.

زاویه میل<sup>۳</sup>  $\delta$ : خطی که مرکز زمین و خورشید را به هم متصل می کند، با تصویرش در صفحه استوا زاویه ای می سازد که همان زاویه میل می باشد که از رابطه (۱-۲) که در زیر آمده است پیروی می کند.

(۱-۲)

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

در این رابطه  $n$  شماره روز میلادی است. شکل ۲-۳ زاویه میل مثبت و منفی در تابستان و زمستان در نیمکره شمالی نشان می دهد [۳۲].



شکل ۲-۳: زوایای میل مثبت و منفی در تابستان و زمستان نیمکره شمالی [۳۲]

شاخص میانگین ماهیانه ضریب صافی هوا از رابطه (۲-۲) که در زیر آمده است پیروی می کند.

(۲-۲)

$$\overline{K_T} = \frac{\overline{H}}{\overline{H_0}}$$

<sup>1</sup> Latitude angle

<sup>2</sup> Hour angle

<sup>3</sup> Declination angle

که  $\bar{H}$  میانگین تشعشع ماهیانه رسیده به زمین بر روی صفحه افقی در طول یک روز می باشد و برای هر مکان خاص مشخص وقابل اندازه گیری است.  $\bar{H}_0$  از رابطه (۳-۲) محاسبه می شود:

$$\bar{H}_0 = \frac{24 \times 3600}{\pi} G_{sc} \left( 1 + 0.033 \cos \left( \frac{360n}{365} \right) \right) \times \left( \cos(La) \cos(\delta) \sin(h_{ss}) + \left( \frac{360n}{365} \right) \sin(La) \sin(\delta) \right) \quad (3-2)$$

$G_{sc}$  در رابطه (۳-۲) برابر ۱۳۶۷ در نظر گرفته می شود و  $h_{ss}$  به شکل زیر محاسبه می شود [۳۴]:

$$h_{ss} = \cos^{-1}[-\tan(La) \tan(\delta)] \quad (4-2)$$

ضریب صافی ساعتی، مربوط به تشعشع ساعتی نیز به شکل زیر بدست می آید:

$$k_t = (a + b \cos(h)) \bar{K}_T \quad (5-2)$$

که مقادیر  $a$  و  $b$  در رابطه (۵-۲) به صورت زیر محاسبه می شوند:

$$a = 0.409 + 0.5016 \sin(h_{ss} - 60) \quad (6-2)$$

$$b = 0.6609 - 0.4767 \sin(h_{ss} - 60)$$

تشعشع ساعتی روی صفحه افقی از رابطه زیر حاصل می شود:

$$I = r_t \bar{H} \quad (7-2)$$

و هم چنین از  $r_t$  رابطه ی زیر بدست می آید:

$$r_t = \frac{\pi}{24} (a + b \cos(h)) \frac{\cos(h_{ss}) - \cos(h_{ss})}{\sin(h_{ss}) - \pi \frac{h_{ss}}{180} \cos(h_{ss})} \quad (8-2)$$

بیشتر کلکتورهای متمکز کننده به علت دنبال کردن خورشید فقط از تشعشع مستقیم بهره می برند.

یکی از این کلکتورها، کلکتور سهموی - خطی است. چون نمونه ما از این نوع است برای محاسبه ی

تشعشع ساعتی دریافتی مستقیم درحالت تئوری از رابطه (۹-۲) بهره می بریم (رابطه روی سطح

شیبدار هم بکار می آید) [۳۴]:

$$(I_B)_t = R_B I_B \quad (9-2)$$

$$R_B = \frac{\cos \theta}{\cos \emptyset} \quad (۱۰-۲)$$

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin(La) \sin(\delta) \cos(\beta) - \cos(La) \sin(\delta) \sin(\beta) \cos(z_s) \\ & + \cos(La) \cos(\delta) \cos(\beta) \cos(h) \\ & + \sin(La) \cos(\delta) \cos(h) \sin(\beta) \cos(z_s) \\ & + \cos(\delta) \sin(h) \sin(\beta) \sin(z_s) \end{aligned} \quad (۱۱-۲)$$

$$(۱۲-۲)$$

$$\cos \emptyset = \sin(La) \sin(\delta) - \cos(La) \cos(h) \cos(\delta)$$

$h$  در رابطه بالا زاویه ساعت می باشد که از رابطه زیر بدست می آید :

$$h = (hour - 12) \times 15 \quad (۱۳-۲)$$

$I_B$  در رابطه (۱۲-۲) تشعشع ساعتی دریافتی مستقیم روی سطح افقی می باشد و صورت زیر محاسبه شده:

$$I_B = I - I_D \quad (۱۴-۲)$$

$I_D$  در رابطه (۱۳-۲) تشعشع ساعتی دریافتی پخش بر روی سطح صاف است، که با توجه به روابط بالا به صورت زیر محاسبه می شود [۳۴] :

$$\frac{I}{I_D} = \begin{cases} 1 - 0.249k_t & \text{for } 0 \leq k_t \leq 0.35 \\ 1.557 - 1.84k_t & \text{for } 0.35 \leq k_t \leq 0.75 \\ 0.177 & \text{for } 0.75 \leq k_t \end{cases} \quad (۱۵-۲)$$

## ۱-۲-۲ دمای هوای محیط

در صورت لزوم دمای هوای محیط بر حسب زمان از رابطه ی (۱۶-۲) محاسبه می شود [۳۵] :

$$Ta = 0.5(Ta, max + Ta, min) + 0.5(Ta, max - Ta, min) \cos(h) \quad (۱۶-۲)$$

در معادله بالا  $Ta, max$  &  $Ta, min$  متوسط دماهای حداکثر و حداقل متوسط ماهیانه محیط است.

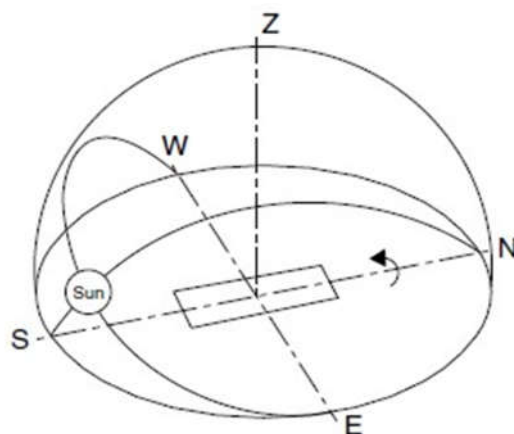
## ۲-۲-۲ اصول و نحوه دنبال کردن خورشید

خورشید روزانه از شرق طلوع و در غرب غروب می کند به همین اساس کلکتورهای متمرکزکننده نیاز به دنبال کردن آن دارند. با توجه به ابعاد هندسی کلکتور و حرکت خورشید می توان بازه های زمانی دنبال کردن را مشخص نمود. این کلکتورهای در نیروگاه ها معمولاً به صورت شمالی- جنوبی چیده می شوند و خورشید را از شرق تا غرب دنبال می کنند. حال به بررسی سه نوع چیدمان برای کلکتورها می پردازیم:

- ۱- چیدمان شمالی- جنوبی : در این نوع چیدمان کلکتور را در راستای شمال به جنوب (شکل ۲-۴)
- ۴) نصب می کنند. سیستم دنبال کننده، خورشید را از مشرق تا مغرب دنبال می کند. (در حقیقت دنبال کردن خورشید با سرعتی برابر با گردش زمین می باشد و برابر با سرعت پانزده

$$\cos \theta = \sqrt{(\sin(\alpha_s))^2 + (\cos \delta)^2 (\sin h)^2} \quad (۲-۱۷)$$

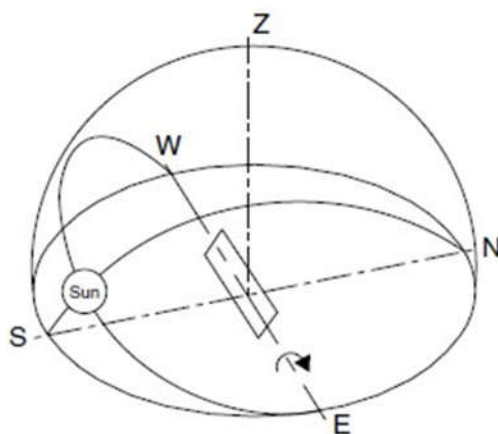
درجه در ساعت بوده)



شکل ۲-۴: چیدمان شمالی - جنوبی و دنبال کردن از شرق تا غرب [۳۳]

۲- چیدمان شرقی - غربی: در این نوع چیدمان کلکتور را در راستای شرق به غرب (شکل ۲-۵) نصب کرده و دنبال کننده، بصورت شمالی - جنوبی، خورشید را دنبال می کند. هرگاه کلکتور به طور پیوسته خورشید را دنبال کند، کمترین زاویه برخورد  $\theta$  در این چیدمان به نحو زیر محاسبه می شود:

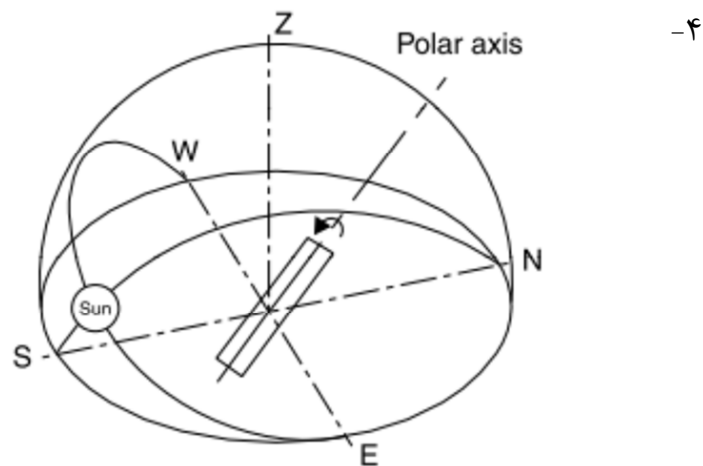
$$\cos \theta = \sqrt{1 - (\cos \delta)^2 (\sin h)^2} \quad (2-18)$$



شکل ۲-۵: چیدمان شرقی - غربی و دنبال کردن از شمال تا جنوب [۳۳]

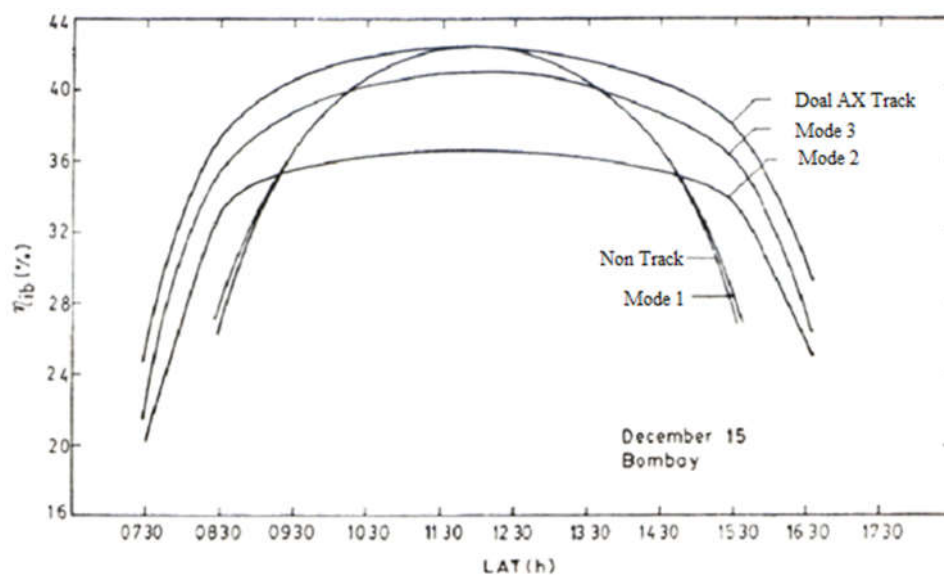
۳- چیدمان شمالی- جنوبی زاویه دار: در این نوع چیدمان کلکتور را در راستای شمال به جنوب بصورت شیب دار نصب که اگر این شیب قابل تنظیم باشد، همانند کلکتورهای صفحه تخت بصورت ماهانه تنظیم می شود و زاویه شیب بهینه بوسیله ی روابطی مشابه این کلکتورها در طول ماه های سال محاسبه می شود (در ماه های گرم شیب کمتر و در ماه های سرد شیب بیشتر از زاویه عرض جغرافیایی محل تنظیم می شود)، و اگر شیب ثابت باشد معمولاً کلکتور آن را با زاویه ای برابر شیب عرض جغرافیایی محل نصب می کنند ( $\beta = La$ )، سیستم دنبال کننده، کماکان خورشید را از مشرق تا مغرب و با سرعت پانزده درجه در ساعت دنبال می کند. بدلیل طول زیاد کلکتور در نیروگاهها، این نوع چیدمان کلکتور آنجا امکان اجرایی داشته و فقط در نمونه ی آزمایشگاهی و نیمه صنعتی کاربرد دارد. ضمناً کمترین زاویه برخورد

$\theta$  در این چیدمان از رابطه ی  $\delta = \theta$  محاسبه می شود (شکل ۲-۶).



شکل ۲-۶: چینش شمالی - جنوبی زاویه دار و دنبال کردن از شرق تا غرب [۳۳]

در زیر نمودار بازده بر حسب تابش برای حالت های مختلف مسیریابی خورشید رسم شده است (شکل ۲-۷).

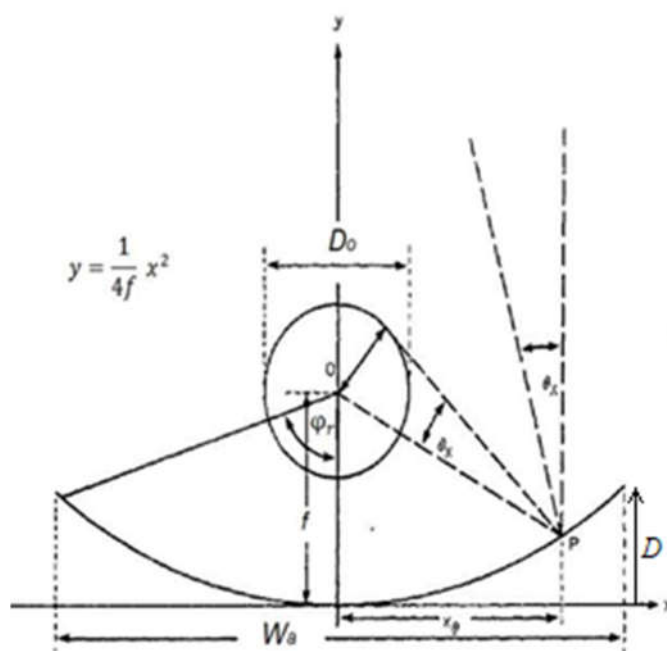


شکل ۲-۷: روند تغییرات بازده بر حسب حالت های ردیابی متفاوت در روز [۳۶]

به وسیله این نمودار می توان به راحتی تفاوت در انواع روش های مختلف مسیر یابی را دریافت. در شکل تغییرات بازده در روز ۱۵ سپتامبر بر اساس تغییرات تابش در طول روز در شهر بمبئی آورده شده است. همان طور که در شکل به وضوح دیده می شود تغییرات در تابش به وسیله حالت

های ردیابی اصلاح شده است. بهترین حالت ممکن برای دریافت تابش حالت مسیر یاب دو محور می باشد و بدترین حالت، حالت اول می باشد که تفاوت چندانی با حالت بدون مسیر یاب کلکتوری در راستای شرقی - غربی که با شیبی برابر با عرض جغرافیایی محل به طرف جنوب متمایل شده است، ندارد. با توجه به طرح واره نمونه و مطالب بالا ما شیوه دوم را بدلیل قابلیت اجرایی بالاتر آن مورد در نمونه مورد بحث برگزیدیم.

برای استفاده از حداکثر تشعشع خورشیدی و برای استفاده از کل مساحت صفحه سهموی جهت بازتاباندن پرتوها به روی لوله ی جاذب، کلکتورها می بایست با فاصله زمانی مشخص خورشید را دنبال کنند. بر همین اساس زاویه های به نام  $\theta_{ac}$  زاویه پذیرش<sup>۱</sup> تعریف و از رابطه (۲-۱۹) محاسبه می شود (شکل ۲-۷). در این رابطه  $\varphi_r$  زاویه لبه<sup>۲</sup> نامیده می شود [۳۳]



شکل ۲-۸: مشخصات هندسی زاویه پذیرش [۳۷]

<sup>1</sup> Acceptance angle

<sup>2</sup> Rim angle

$$\sin \theta_{ac} = \frac{D_o}{2f} \cos\left(\frac{\varphi_r}{2}\right)^2 \quad (۱۹-۲)$$

همانطور که در شکل پیداست زاویه بین پرتو تابیده شده به صفحه سهموی با خط موازی محور  $y$  ها، بسته به مکان برخورد پرتو متفاوت است. این زاویه را زاویه انحراف<sup>۱</sup> می نامیم و از رابطه زیر بدست می آید [۳۷].

$$\sin(\theta_{d,x}) = \frac{D_o}{2f(1 + (\frac{x}{2f})^2)} \quad (۲۰-۲)$$

اینجاست که ضریب برخورد تعریف می شود. در حقیقت ضریب برخورد بخشی از تابش منعکس شده از سطح رسیور است که توسط دریافت کننده جذب می شود. چنانچه سیستم دنبال کننده به شکلی عمل کند که زاویه انحراف همواره کمتر از زاویه پذیرش باشد و یا لوله جاذب با قطر به اندازه کافی بزرگ انتخاب شود، آنگاه تمامی پرتوهای تابیده شده به کلکتور بر روی لوله جاذب منعکس خواهند شد و ضریب برخورد برابر با یک می باشد، در غیر این صورت با داشتن  $\theta_d$  می توان سطح مفید بازتاب را محاسبه نمود.

قابل ذکر است در حالت کلی تصویر کاملی از نور منعکس کننده به سطح گیرنده نمی رسد (این خود ناشی از نقص در سطح منعکس کننده نیز می باشد)، از همین رو می توان با قطور ساختن لوله جاذب، نقص در آینه و سیستم مسیریاب را جبران کرد، به همین خاطر است که در بعضی مراجع دیگر از جمله کتاب دافی بکمن رابطه ای بین ضریب برخورد و قطر بحرانی وجود دارد. این مرجع قطری را بحرانی تعریف کرده، که اگر قطر لوله جاذب از این مقدار بالاتر باشد مقدار ضریب برخورد قطعا یک شده و این ضریب دیگر در معادلات داخل نخواهد شد. قطر بحرانی برای ضریب

$$D_{\gamma=1} = \frac{W_a \sin(0.267)}{\sin \varphi_r} \quad (۲۱-۲)$$

<sup>1</sup> Digression angle

برخورد یک با معادله زیر نشان داده می شود.

لازم به ذکر است با توجه به معادله بالا این مقدار بحرانی برای نمونه ما، بزرگ تر از مقدار بحرانی ذکر شده است زیرا قطر لوله جاذب ۶۴ میلیمتر بوده (در حدود ۱۳ برابر مقدار بحرانی) در نظر گرفته شد که تا حد زیادی می تواند خطاهای ساخت را پوشش دهد.

## ۲-۲-۳ نسبت تمرکز

در کلکتورهای متمرکز کننده اولین موردی که در محاسبات اپتیکی وارد می شود، مقدار نسبت تمرکز است و در این نوع از کلکتورها، این مقدار با قطر خارجی لوله جاذب و طول دهانه کلکتور نسبت دارد. اگرچه این مقدار در حالت نظری می تواند مقدار زیادی باشد (در حدود ۲۱۲ برای کلکتورهای سهموی) ولی در عمل دستیابی به این مقدار ما را از رسیدن به دقت لازم در قرار دادن جاذب کلکتور در محل درست باز می دارد.

$$C_R = \frac{W_a - D_o}{\pi D_o} \quad (2-22)$$

در این پروژه با توجه به محدودیت های حین ساخت، سطح زیرین جاذب (در نمونه ما یک نیم دایره با قطر ۱۶ میلیمتر به همراه یک صفحه ی تخت با عرض ۴۸ میلیمتر بوده) را، برای صدق در فرمول بالا، با قطر لوله جاذبی ۲۴ میلیمتری معادل سازی کرده و هم چنین عرض دهانه در فرمول یک متر لحاظ شده است، که در این صورت مقدار شدت تمرکز در نمونه ما برابر با ۱۳ خواهد بود.

در اینجا لازم به ذکر است که بدلیل ابعاد ورق رفلکتور موجود در بازار، مقدار عرض دهانه برابر یک متر لحاظ شده است. با توجه به اینکه خورشید در فاصله بسیار زیادی از زمین قرار دارد شعاع های رسیده به متمرکز کننده به حالت موازی با مرکز یا محور سهمی قرار می گیرند و انحنای این

سهمی در حقیقت تمام تابش رسیده به سطح را به یک محور متمرکز می کند. در معادله زیر به خوبی ارتباط بین عمق و عرض دهانه یک کلکتور سهمی نشان داده شده است.

$$f = \frac{W_a^2}{16D_0} \text{ \& } y = \left(\frac{2x}{W_a}\right)^2 D_0 \quad (2-23)$$

در معادله بالا  $D_0$  در حقیقت عمق کلکتور و نباید با  $D_0$  که قطر لوله جاذب است، اشتباه گرفته شود، در نمونه ما عمق کلکتور ۲۵ سانتی متر لحاظ شده است، در نتیجه آن طبق فرمول ها ارتفاع طول تمرکز برابر با ۲۵ سانتی متر می شود و این بدان معنی است که لوله جاذب در ارتفاع ۲۵ سانتی متری قرار می گیرد. این مورد به وسیله نرم افزار های یافتن نقطه تمرکز و فاصله کانونی ریاضی در منحنی ها نیز بررسی شد. طبق محاسبات انجام گرفته در سایر مقالات نشان داده شده است که یکی از بهترین زاویه های برخورد به سطح منعکس کننده برابر با ۹۰ درجه می باشد [۵۰]. که طبق معادله ی زیر وقتی این حالت قابل دسترس است که مقدار  $f$  برابر با  $f = \frac{W_a}{4}$  باشد.

$$\cos \varphi_r = \frac{1}{\sqrt{(0.5W_a)^2 + (D_0 - f)^2}} - 1 \quad (2-24)$$

## ۲-۴ ضرایب جذب و عبور ( $\alpha\tau$ ) و مقادیر سایر ضرایب

با توجه به روابط اپتیک نوری، با عبور نور از یک شیشه و یا از یک محیط شفاف، نور دچار شکست شده ضرایب عبور، جذب و انعکاس جاذب مطرح می شوند (در صورت وجود پوشش شیشه ای بر روی سطح لوله این ضرایب مطرح می شوند، در غیر این صورت مقدار این ضرایب ۱ خواهد بود). مراجعی چون دافی- بکمن و سوخاتمه، با ناچیز دانستن ضریب انعکاس در سطوح شفاف برای سادگی کار، ضرایب عبور و جذب متوسط را به صورت ضریب ( $\alpha\tau$ ) معرفی می کنند و رابطه ی ریاضی (۲-۲۵) بر مبنای آن فرموله شده است.

$$\eta_o = \alpha \tau \times \rho_{ref} \times \gamma \quad (2-25)$$

از آنجایی که روشی مدون و مکانیزه برای ایجاد خلاء بین لوله شیشه ای و لوله جاذب U شکل توسط اینجانب یافت نشد، ما بر روی نمونه مورد بحث از پوشش لوله شیشه ای بر روی سطح لوله جاذب بهره نبردیم. این امر خود موجب افزایش افت ناشی از جابجایی با هوای پیرامون خواهد شد، به همین دلیل سعی شد، با افزایش دبی و ایجاد جریان کاملاً مغشوش در لوله جاذب، بازده را بالا برده زیرا مبنای ساخت این نمونه بر جلوگیری از افزایش دما در لوله ی جاذب آن با افزایش دبی سیال در گردش درون لوله جاذب است. ضمناً افت ناشی از عبور و شکست نور از این لوله اتفاق نیفتاده و بازده اپتیکی مقدار افت کمتری می نماید. همین طور بدلیل عدم وجود کاور شیشه ای در نمونه، همانطور که در بالا قبلاً ذکر شده بود، مقدار این ضریب برابر ۱ خواهد بود و فقط برای آینه، مقدارش تحت عنوانی دیگر، در قالب ضریب بازتاب آینه اعمال می شود.

دو ضریب بسیار مهم دیگر در مرحله طراحی اولیه جهت تکمیل رابطه تابشی باقی مانده است، یکی از آنها ضریب جذب سطح لوله  $\gamma$  می باشد، در سال های اخیر معمولاً این سطح، با آب کرم سیاه پوشش داده شده و پس از پخت در کوره، رنگ سیاه مخصوصی گشته که کل سطح لوله های مسی را می پوشاند.

مورد باقی مانده ضریب انعکاس از سطح منعکس کننده است، این ضریب با نماد  $\rho_{ref}$  نشان داده می شود. در معادله نهایی بازدهی رفلکتور را با  $\eta_o$  نشان می دهند [۳۹].

فاکتور دیگری که در مورد محاسبه تابش رسیده به سطح کلکتور باقی می ماند، ضریب شیب یا مسیریابی کلکتور  $R_B$  است این ضریب در حقیقت از نسبت زاویه سمت الرأس و زاویه برخورد و

طبق (۲-۲۶) بدست می آید. در نهایت مهم ترین معادله تابشی حاکم بر سیستم، معادله تابش رسیده به سطح بنام  $S$  است.

$$S = I_B \times R_B \times \tau \alpha \times (\rho_{ref} \times \gamma + \frac{D_o}{W - D_o}) \quad (2-26)$$

البته در کتاب دافی- بکمن رابطه دیگری نیز بر طبق راندمان نوری  $\eta_o$  و ضریب برخورد  $\cos \theta$  و ضریب اصلاح کننده ی اثر انتهای لوله ها  $\epsilon_o$  در آن وجود دارد. اما معمولاً این رابطه برای ردیف های طولانی و در امتداد هم کلکتورها به کار برده می شوند.

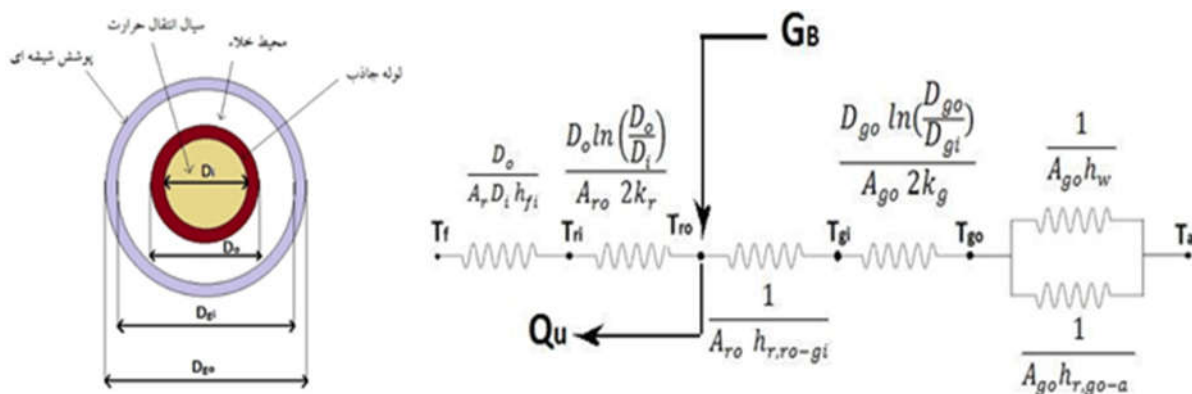
$$S = I_B \times \eta_o \times \epsilon_o \times \cos \theta \quad (2-27)$$

در نمونه ما جهت محاسبه  $\eta_o$  بر طبق رابطه ی (۲-۲۵) مقدار  $\gamma$  را برابر با  $0/9$  و  $\rho_{ref}$  را برابر با  $0/83$  در نظر گرفته ایم، چرا که اطلاعات کاملی از ضریب انعکاس پلکسی گلاس آینه ای در دسترس نبوده [۴۲]. راندمان اپتیکی نهایی، در صورت وجود کاور شیشه ای اطراف جاذب برابر  $63/3$  و در صورت عدم حضور این کاور برابر  $74/5$  می شود، اختلاف  $11$  درصدی عدم وجود این کاور را بر روی جاذب دما پایین ما که بر طبق گمان اولیه، احتمال رسیدن اتلاف ناشی از انتقال حرارت جا به جایی به این مقدار بعید بنظر می رسد را توجیه می کند.

## ۲-۳- معادلات حرارت و سیالات حاکم بر سیستم :

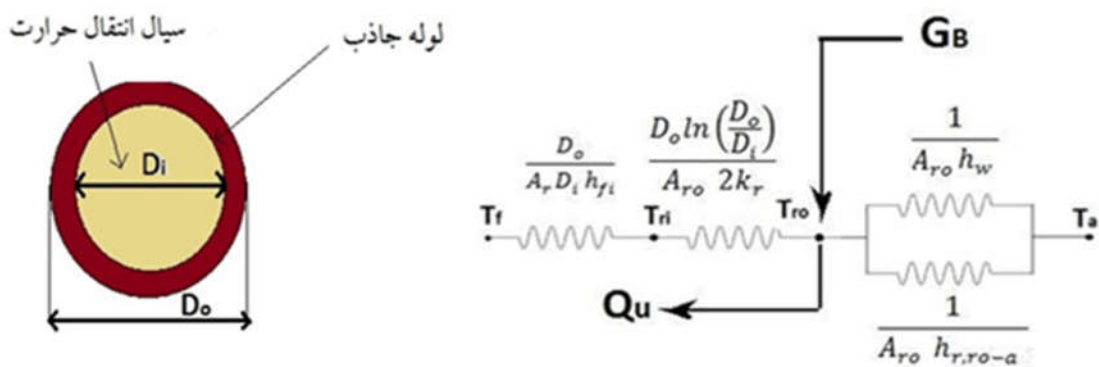
در حقیقت در این روابط، با کلکتور مانند یک مبدل انتقال حرارت برخورد می شود، با این فرض که انتقال حرارت از کلکتور به بیرون رخ داده و مقدار افت حرارتی کلی را به دست می آورند. در غالب جاذبه های کلکتورهای نیروگاهی و صنعتی، بدلیل وجود کاور شیشه ای اطراف لوله جاذب که خلاء در بین این دو وجود دارد، با توجه به معادلات انتقال حرارت تشعشی (بدلیل خلاء بین جاذب و لوله شیشه ای، مقاومت حرارتی فقط از نوع

تثعشعی داریم) و جابجایی طبیعی و اجباری طبق شکل ۲-۹ می توان مقاومت حرارتی معادل را بدست آورد.



شکل ۲-۹: شبکه انتقال حرارت کلکتور سهموی خطی به همراه کاور لوله شیشه‌ای

اما در نمونه مورد آزمایش ما بدلیل عدم وجود این کاور روابط بصورت شکل زیر ساده سازی می شوند. البته باز هم بدلیل کوپل بودن و داشتن چند متغیر مجهول در حل این معادلات نیاز به حل همزمان معادلات هنوز وجود دارد، با این وجود دستگاه معادلات کوچکتر خواهد شد و حل بسیار ساده تر می گردد. مقاومت حرارتی معادل در نمونه مورد بحث ما بصورت شکل ۲-۱۰ قابل محاسبه است.



شکل ۲-۱۰: شبکه انتقال حرارت کلکتور سهموی خطی بدون کاور لوله شیشه‌ای

## ۲-۳-۱ معادلات بقای انرژی

بقای انرژی برای سطوح داخلی و خارجی لوله جاذب، پوشش شیشه‌ای و سیال به صورت زیر می باشد.

بقای انرژی برای سطح خارجی لوله جاذب [۳۸]:

$$0 = (h_{r,ro-a} + h_w)(T_a - T_{ro})\pi LD_o + \tau\alpha\gamma\rho_{ref}A_C G_B + \frac{\pi l D_o (T_{ri} - T_{ro}) 2K_r}{(D_o \ln(\frac{D_o}{D_i}))} \quad (28-2)$$

بقای انرژی برای سطح داخلی لوله جاذب [۳۸]:

$$0 = h_{c,fi}(T_i - T_f)\frac{D_i}{D_o} + \frac{(T_{ri} - T_{ro}) 2K_r}{(D_o \ln(\frac{D_o}{D_i}))} \quad (29-2)$$

ضمناً بر اساس دمای ورودی و خروجی سیال از لوله جاذب، می توان طبق بقاء انرژی رابطه زیر را داشت [38]:

$$Qu = \dot{m}C_p(T_{out} - T_{in}) = h_{c,fi}A_i(T_{ri} - T_f) \quad (30-2)$$

## ۲-۳-۲ ضرایب انتقال و اتلاف حرارتی:

ضریب اتلاف حرارتی کلی لوله جاذب با محیط بیرون از رابطه زیر محاسبه می شود [۳۸]:

$$U_{Loss} = \left( \left( \frac{1}{(h_{r,ro-a} + h_w)} \right) \frac{D_o}{D_i} + \frac{(D_o \ln(\frac{D_o}{D_i}))}{2K_r} + \frac{1}{h_{c,fi}} \right)^{-1} \quad (31-2)$$

ضریب انتقال حرارت تشعشع لوله جاذب با محیط بیرون از رابطه زیر محاسبه می شود [۳۳]:

$$h_{r,ro-a} = \varepsilon_o \sigma (T_{ro} + T_{sky})(T_{ro}^2 + T_{sky}^2) \quad (32-2)$$

ضمناً می توان اتلاف حرارتی ناشی از تشعشع و جابجایی را با دو ترم زیر، به ازای هر متر لوله جاذب را از رابطه ساده شده ی زیر نیز بدست آورد که در آن  $\varepsilon_o$  ضریب نشر جاذب بوده که به علت اندود کرم سیاه حدود ۰.۱ تا ۰.۱۵ در نظر گرفته می شود.  $T_{sky}$  نیز دمای متوسط آسمان بوده که رابطه مخصوص به خود را داشته ولی معمولاً ۸ درجه پایین تر از دما محیط لحاظ شده و این مقدار دقت مطلوبی دارد.

$$\frac{q_l}{L} = h_w(T_{ro} - T_a)D_o\pi + \varepsilon_o\alpha\pi D_o(T_{ro}^4 - T_{sky}^4) \quad (33-2)$$

برای بدست آوردن ضرایب انتقال حرارت جابجایی پوشش جاذب استوانه ای با محیط بیرون و لوله جاذب با سیال درون لوله، محاسبه اعداد رینولدز، ناسلت و پرانتل لازم است. عدد ناسلت برای جریان روی لوله های استوانه ای جاذب از روابط زیر محاسبه می شود [۴۰]:

$$Nu = \begin{cases} Nu = 0.4 + 0.54(ReD_o)^{0.52} & \text{for } 0.1 < ReD_o < 1000 \\ Nu = 0.3(ReD_o)^{0.6} & \text{for } 1000 < ReD_o < 50,000 \end{cases} \quad (34-2)$$

عدد رینولدز برای جریان روی لوله جاذب استوانه ای به صورت زیر محاسبه می شود [۴۱]:

$$ReD_o = \frac{\rho_{air}V_{\infty}D_o}{\mu_{air}} \quad (35-2)$$

ضریب انتقال حرارت جابجایی لوله جاذب استوانه ای با محیط بیرون به صورت زیر محاسبه می شود [۴۰]:

$$h_w = \frac{K_{air}Nu}{D_o} \quad (36-2)$$

خواص هوا برای دما میانگین لوله جاذب و دمای هوا خوانده می شود. اما برای داخل لوله جاذب برای جریان مغشوش کاملاً توسعه یافته در لوله های صاف، ناسلت از رابطه دیتووس و بوولتر محاسبه شده است [۴۰]:

$$Nu = 0.023 ReD_i^{0.8} Pr^{0.4} \quad (37-2)$$

عدد رینولدز برای جریان سیال درون لوله جاذب از رابطه زیر محاسبه می شود. ضمناً خواص سیال در دما میانگین آب ورودی و خروجی سیال خوانده می شود.

$$ReD_i = \frac{4\dot{m}}{\pi D_i \mu_f} \quad (38-2)$$

## ۳-۳-۲ بازده حرارتی کلکتور

عملکرد حرارتی کلکتورهای خورشیدی با استفاده از کمیت بازده حرارتی مورد تحلیل قرار می گیرد. بازده حرارتی را می توان به صورت انرژی جذب شده توسط سیال جریان یافته درون لوله جاذب تقسیم بر انرژی تابشی مستقیم برخورد کننده به سطح صاف بازتابنده تعریف و محاسبه نمود [۳۳]:

$$\eta_{Th} = \frac{Q_u}{A_c G_B} \quad (۳۹-۲)$$

که  $Q_u$  انرژی جذب شده توسط سیال جریان یافته داخل لوله جاذب تعریف و از رابطه زیر محاسبه نمود [۳۹]:

$$Q_u = F_R A_c [ G_B \eta_{opt} - \frac{A_o}{A_c} U_{Loss} (T_{in} - T_a) ] \quad (۴۰-۲)$$

$\eta_{opt}$  بازده اپتیکی و از رابطه زیر محاسبه می شود [۳۳]:

$$\eta_{opt} = \tau \alpha \rho_{ref} \gamma [(1 - A_F \tan(\theta)) \cos(\theta)] = \eta_o \times \epsilon_o \times \cos \theta \quad (۴۱-۲)$$

که  $A_F$  ضریب هندسی بوده، همچنین پیش تر عبارت  $\eta_o \times \epsilon_o \times \cos \theta$  را در رابطه ۲-۲۷ دیده بودیم، ضمناً  $\epsilon_o$  بر طبق رابطه زیر محاسبه می شود که در آن  $l$  طول لوله ی کلکتور می باشد:

$$\epsilon_o = 1 - \left( \frac{f}{l} \right) \left( 1 + \frac{W_a^2}{48 f^2} \right) \tan \theta \quad (۴۲-۲)$$

این روابط برای انواع زیادی از کلکتورهای طول های بلند کاربردی می باشد اما در نمونه ما این مقدار برابر یک شده. ضمناً  $F_R$  همان ضریب برداشت کلکتور نام دارد و این فاکتور را می توان از رابط زیر بدست آورد [۳۹]:

$$F_R = \frac{C_p \dot{m}}{A_o U_{Loss} \left[ 1 - e^{-\left( \frac{U_{Loss} F_{ef} A_o}{C_p \dot{m}} \right)} \right]} \quad (۴۳-۲)$$

در رابطه بالا مقدار ضریب بازده از رابطه زیر بدست آمده که در نمونه ما همانطور که در فصل چهارم ذکر خواهد شد، بدلیل تاثیر گذاری شدید مقدار افت حرارتی ناشی از ضریب جابه جایی جاذب با هوا

$(h_w)$  ، صورت و مخرج این کسر تقریباً یکی و برابر مقدار افت ناشی از  $h_w$  شده و این مقدار این

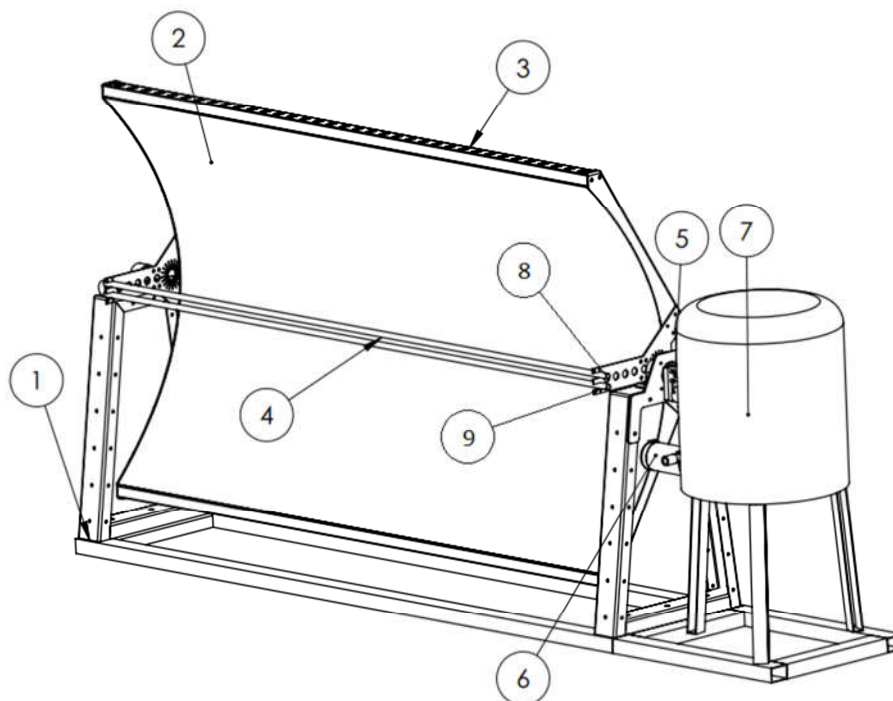
ضریب در نمونه مورد آزمایش ما تقریباً برابر یک است [۳۹] :

$$F_{ef} = \frac{U_{ovr}}{U_{Loss}} \quad (۴۴-۲)$$

## فصل ۳ : طراحی و ساخت

### ۳-۱- تعریف شماتیک اجرایی مسئله

در شکل زیر شماتیک سیکل همراه با جزئیات آن به ترتیب در زیر توضیح داده شده است. (شکل ۳-۱)



شکل ۳-۱: دیاگرام گردش سیال در نمونه کلکتور سهموی - خطی

۱ - پایه ی دستگاه

۲ - سطح آینه ای کلکتور

۳ - فریم مقعر نگه دارنده ی آینه

۴ - لوله جاذب مسی یا دریافت کننده تابش خورشیدی

۵ - موتور گیربکس مسیریاب

۶ - پمپ DC سیرکولاسیون

۷ - مخزن ذخیره ی آب

۸ - سنسور سنجش دمای آب رفت

۹ - سنسور سنجش دما آب برگشت

با توجه به متعدد بودن پارامترها طراحی می بایست یکی از موارد را ثابت در نظر گرفته و طبق آن تغییرات سایر پارامترها را مورد بررسی قرار داد. اولین پارامتر طول دهانه ی کلکتور است که با توجه به امکانات موجود و شرایط طراحی بهینه و با توجه به اینکه دهانه های پیشنهادی نمونه های کوچک در مقیاس بررسی شده، معمولاً یک متر می باشند ما این مقدار را جزء ثابت ها در نظر گرفته، دومین پارامتر زاویه لبه بوده که مقدار ۹۰ درجه یکی از بهینه ترین زوایای لبه است، حال ما با این دو ثابت، به بررسی سایر موارد می پردازیم.

طبق فرمول زیر می توان طول خم یا منحنی را به دست آورد :

$$S = 4.59f \quad (۱-۳)$$

با توجه به فرمول به دست آمده در بالا، طول قوس منحنی ما در نمونه برابر با ۱/۱۴ متر می شود، از آنجاییکه عرض یک ورق پلکسی گلاس آینه ای به ضخامت دو میلیمتر برابر ۱/۲ متر بوده، به راحتی می توان این مقدار را از ورق استخراج نمود، و به این ترتیب دهانه ی جاذب مستطیلی به عرض ۱ متر و طولی برابر ۲ متر دارد. ضمناً با تقریب مناسب و حذف جملات با توان بالاتر ، معادله قوس دستگاه برابر با  $y = x^2$  خواهد شد.

### ۳-۲- پایه ی دستگاه

پایه ی دستگاه از آهن پروفیل  $6 \times 4 \text{ Cm}$  ساخته شده است. چون بار روی پایه از نوع بار استاتیکی می باشد، بحث خستگی در این مورد مطرح نیست و فقط کافی است که سازه، وزن لوله ی جاذب و اتصالات نگه دارنده ی صفحه پلکسی گلاس را تحمل کند (شکل ۳-۲).



شکل ۳-۲: پایه نگه دارنده کلکتور سهموی - خطی

پایه ها ابتدا برش خورده و بعد از سند بلاست، به کمک رنگ پودری الکترواستاتیک، پوشش دهی شده. در زیر پایه چهار عدد چرخ گردان برای حمل راحت تر دستگاه و دو پایه ی عمودی با ضخامت ورق ۳ میلیمتر، در دو طرف بعنوان نشیمنگاه یاتاقان ها تعبیه شده است.

### ۳-۳- فریم آینه

برای نگهداری آینه به شکل سهموی، از ورقی با ضخامت سه میلیمتر، بروش برش و خم کاری شده با CNC محل نشیمنگاهی برای ورق پلکسی گلاس ساخته شدند، تا صفحه آینه ای درون شیار که برایش تعبیه شده سوار شود و با دوعدد پیچ آلن در محلش سفت شود (شکل ۳-۳). در نهایت برای جلوگیری از پیچش سازه، لوله ای فولادی بعنوان محور با قطر ۵۷ میلیمتر، پایه هایی را که ورق آینه بر روی آن سوار است، به هم متصل می کند، این لوله باعث می شود که سازه در حین حرکت توسط موتور دچار پیچیدگی نشود.



شکل ۳-۳: پایه ها و نشیمن گاه پلکسی سهموی شکل، برش و خم کاری شده بوسیله ی CNC

### ۳-۴- آینه ی پلکسی گلاس

این ورقها توسط اسپری کردن یک لایه آلومینیومی پس از لایه برداری و کاملاً صاف کردن ورق ساخته می شود. پس از خشک شدن از اسپری فویل متالیک نقره در پشت آن جهت پوشش دوم برای آینه ای شدن آن استفاده می شود. در حقیقت در ساخت آن از دو لایه پوششی استفاده شده است. برای نوع شیشه ای آن که تحت عنوان آینه های نشکن وارد بازار شده است ضریب انعکاسی معادل ۸۵ درصد گزارش شده است [۴۲].

از آن جا که خود این مورد به ضریب عبور از سطح تا رسیدن به سطح آینه ای و انعکاس آن مربوط می شود، در پلکسی گلاس ها در حالت بدون پوشش این مقدار ۹۲ درصد گزارش شده است و در مقایسه با شیشه که معادل ۹۵ درصد است می توان انتظار داشت که ضریب انعکاسی معادل ۸۳ درصد را داشته باشد (شکل ۳-۴).

متأسفانه اطلاعات کامل و دقیق توسط شرکت سازنده گزارش نشده و امکان دسترسی جهت اندازه گیری این مقدار نیز وجود ندارد و اطلاعات زیر از بروشورهای محل خرید استخراج شده است. از مشخصات دیگر آن می توان به موارد زیر اشاره کرد:

به دلیل دارا بودن یک لایه غیر قابل دید بین جدارهای پلکسی گلاس، بر روی آن بخار تشکیل نمی شود و قابلیت تحمل بار ۷۵۰ نیوتن در متر مربع را بدون فریم ضربدری دارد. دارای پیوستگی کامل الیافی بوده و انعطاف خارج از عرف را ندارد. وزن ورق بر اساس هر متر مربع معادل ۵ کیلو گرم می باشد به عبارت دقیق تر وزن مخصوص (دانسیته) پلکسی گلاس حدود ۱۱۹۰ کیلوگرم بر متر مکعب و نزدیک چگالی آب می باشد. این در حالی است که دانسیته شیشه ۲۶۰۰ حدود کیلوگرم بر متر مکعب است، در نتیجه پلکسی گلاس در عین حال که سبک تر است از شیشه است، تحمل وزن و نیروی بالاتری را دارد. اضافه بر آن در حالت سرد قابلیت فرم پذیری دارد و ضد ضربه می باشد.

با توجه به اطلاعات فنی ورق تا دمای ۹۰ درجه در مقابل تغییر شکل بوده و مقاومت می کند. دارای استاندارد B2 آتش نشانی می باشد (یعنی به کندی مشتعل شده و بصورت قطره ای ذوب می شود و در هنگام سوختن دود نمی کند). پرتوهای UV نور خورشید را از خود عبور نمی دهد. طبق آزمایش های صورت گرفت توسط شرکت سازنده آن قابلیت تحمل تگرگ تا قطر ۲۰ میلیمتر و به وزن ۴/۵ گرم که سرعت ۲۱ متر در ثانیه را داشته باشد را دارد.



شکل ۳-۴: ورق پلکسی گلاس قبل (بالا) و بعد (پایین) از برداشتن روکش محافظ آن

برای شکل سهموی گرفتن ورق پلکسی گلاس بر روی پایه، کلمپ ها یا نگه دارنده هایی شیارى شکل در دور طرف قوس ورق پلکسی بر روی فریم ایجاد گشته که با اعمال فشار وارده از طرفین و

خواباندن آن بر روی قوس های فریم، به صفحه شکل داده. جهت این کار ابتدا طرفین ورق را درون دو شیار قرار داده و آرام، آرام با خم کردن ورق به مرور آن را تحت فشار قرار داده تا کار جا انداختن بدرستی انجام شود. از آن جا که در طول 2 متر پایه هایی سهموی شکل در وسط یا گوشه ها در نظر گرفته نشده بود، تا تمام سطح ورق به طور یکسان تحت فشار قرار نمی گیرد، در نتیجه اعوجاج خفیفی در آینه مقعر بوجود می آید (شکل ۳-۵) که خطا اپتیکی رفلکتور را جهت تمرکز بالا برده، پس منطقی است در جهت بهبود طرح در آینده برای یکنواخت کردن فشار روی ورق، این کار اصلاحی یعنی افزودن پایه هایی سهموی و سبک در وسط و کناره ها انجام گیرد.



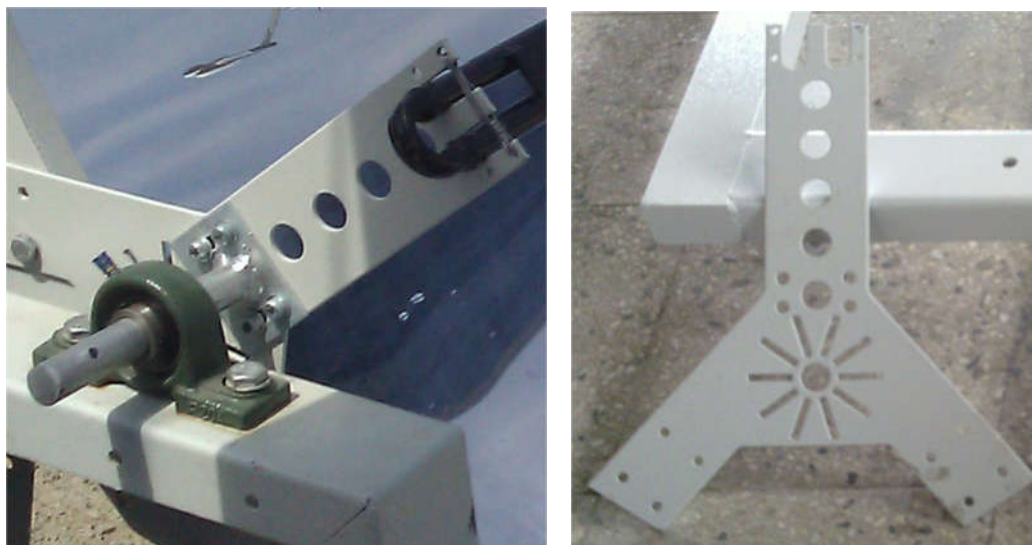
شکل ۳-۵: اعوجاج خفیف در آینه مقعر ورق پلکسی خصوصاً در گوشه آینه

### ۳-۵- میله فولادی و گیره های نگه دارنده پایه ها در جای خود

از آن جا که برای این سیستم، امکان ردیابی و چرخش در نظر گرفته شده بود، در نتیجه تمام قطعات آینه و جاذب می بایست بر روی یک محور قرار گیرند.

جهت ایجاد این محور از دو لوله توپر فولادی با طول ۲۰ سانتیمتر و قطر ۱۷ میلیمتر که در بازار موجود بوده استفاده شد. جهت محکم قرار گرفتن پایه های فلزی نورد خورده سهموی شکل در جای مناسب خود و بر روی میله های فولادی، از جوینت هایی که به صورت مثلث شکل و در دو سمت استفاده شد، که از یک سو پایه های منحنی را در محل مناسب نگه می دارند و از سوی دیگر به میله های فولادی پیچ شده اند، این جوینت ها همچنین لوله جاذب را بر روی محل مناسب خود در کانون سهمی مستقر می کنند (شکل ۳-۶).

ضمناً شاید بتوان این جوینت ها را که به صورت دو طرفه نصب می شوند، حساس ترین قطعه در مسیریابی به لحاظ تلرانس های حین ساخت آن دانست. زیرا کوچک ترین اشتباه در محل برش های نشیمن گاه لوله جاذب، باعث بهم خوردن کانون سهمی و ایجاد افت های اپتیکی شده و همچنین خطا در انتخاب محل صحیح سوراخ های محور چرخش باعث عدم بالانس مناسب وزن روی این محور شده که نیاز به نیروی زیاد برای گردش حین مسیریابی را باعث شده، بنابراین مانند شکل سوراخ هایی اضافه روی این جوینت ها در نظر گرفته شد، تا امکان تصحیح خطا با اضافه کردن وزنه های بالانس روی این محل ها در آینده و پس از ساخت وجود داشته باشد. در شکل زیر نمایی از آن اتصالاتی را که در مرحله قبل توضیح داده شد را می توان دید.



شکل ۳-۶: جوینت اتصال دهنده و مثلث شکل (راست) و میله فولادی توپر (چپ)

### ۳-۶- بلبرینگ و قفسه ی آن

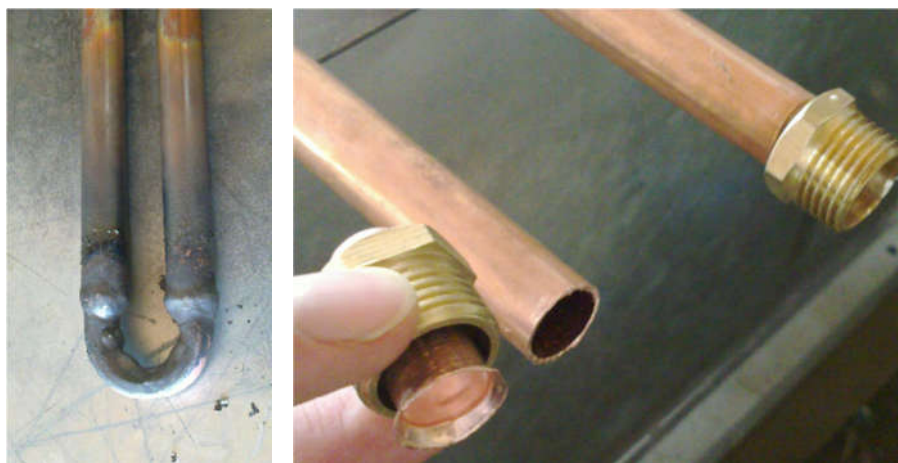
جهت دادن امکان چرخش به کل سیستم از دو عدد بلبرینگ از نوع ساچمه ای با قطر گلولی ۲۰ میلیمتر استفاده شد. برای قرار گرفتن بلبرینگ ها بر روی پایه های سازه نیز از یک قفسه ی کولر آبی استفاده شد (شکل ۳-۷).



شکل ۳-۷: بلبرینگ و قاب نگه دارنده آن

### ۳-۷- لوله مسی جاذب

رده ای موسوم به L در بین لوله های مسی با توجه به ضخامت مناسب آن جهت جاذب انتخاب و سطح آن با رنگ مخصوص مشکی رنگ آمیزی شد. این لوله از مس و بصورت U ساخته شده است تا جریان آب رفت و برگشتی بوده و مدت زمان و سطح تبادل بیشتری با جاذب صفحه ای زیرش داشته و در یک محل از کلکتور خارج شود. دو سری رزوه شده از طریق جوش مهره هایی برنجی که به صورت نری به آن اضافه شده که وظیفه نگه داشتن اتصال لوله ی جاذب را با مادگی های شلنگ زره دار بصورت مداوم بر عهده دارند (شکل ۳-۸).



شکل ۳-۸ : لوله مسی جاذب و نحوه اتصالات دو سر آن

### ۳-۸- اتصالات به لوله مسی

جهت محکم کردن اتصالات آب به لوله ی جاذب و مخزن و همچنین امکان اتصال سنسورهای بیشتر در آینده، از دو شلنگ زره دار استفاده شد که با مهره های خود به لوله مسی جاذب محکم می شوند و یک واشر مخصوص بین این دو قسمت به عنوان آبنده قرار می گیرد که تا دمای ۴۰۰ درجه را می تواند تحمل نماید (شکل ۳-۹).



شکل ۳-۹: شلنگ های زره دار و نحوه اتصالات دو سر آن به لوله مسی جاذب

### ۳-۹- حسگرها

از آن جا که در این سیکل انتظار دمایی بین ۲۰ تا ۱۰۰ درجه سانتیگراد می رود با توجه به بررسی منابع استفاده از سنسور دمای NTC پیشنهاد شده است. این سنسورها در دمای بین ۵۰ - تا ۱۵۰ درجه دقیق ترین سنسورهای موجود در بازار بوده و خطای نسبتا کمی را دارند. یکی از این سنسورها بعد از خروجی پمپ و در مسیر ورودی آب به کلکتور و درون سه راهی آب نصب شده که در تصویر نشان داده شده است (شکل ۳-۱۰).

ضمنا درون سه راهی، سمت خروجی سنسور توسط رزین پر شده تا از نشت آب جلوگیری شود. سنسور دوم برای سنجش دمای مخزن ذخیره و در محل ورودی آب برگشتی از کلکتور به مخزن و مشابه بالا درون سه راهی نصب شده است، از آنجایی که مخزن همیشه کاملا از آب پر شده، این سنسور با آب بالای مخزن تماس پیدا کرده و دمای آب برگشتی که از روی آن عبور می کند، سنجیده می شود و همانطور که در فصل بعد گفته می شود، این دما، ملاکی از دمای آبگرم مخزن بوده. علت دقت بالای این نوع از سنسورها ایجاد اختلاف کم مقاومت با تغییرات دمایی می باشد چرا که جنس حسگرها از نوع پلاتینیوم است.



شکل ۳-۱۰: محل اتصال سنسور ها به شلنگ زره دار و مخزن

### ۳-۱۰- مخزن ذخیره آب

اصلی ترین وظیفه آن ذخیره و نگه داری آب گرم در طول روز بوده. با توجه به اینکه مبنای طراحی این سیستم تولید آبگرم در دماهای متعارف برای مصارف گرم بهداشتی یک خانوار بوده، چون سطح مقطع رفکتور در نمونه آزمایشگاهی ما پایین است (۲ متر مربع)، برای اینکه در طول یک روز تابش بتوانیم به آن دماهای متعارف برسیم، ما حجم مخزن را کم و برابر ۶۰ لیتر در طراحی مد نظر گرفتیم. برای عایق بندی و ایزوله کردن این مخزن نیز از چسب و الیاف مخصوص پشم شیشه و متقال که به رنگ سفید است بهره بردیم (شکل ۳-۱۱).



شکل ۳-۱۱: مخزن ذخیره آب قبل (سمت راست) و بعد از عایق بندی (سمت چپ)

با اینکه احتمال رسیدن به نقطه جوش آب بعید به نظر می‌رسد، اما این مخزن خاصیت جدا کننده آب از بخار را نیز ایفا می‌کند، به این معنی که اگر آب به صورت دو فاز وارد مخزن می‌شود، بخار از آب جدا شده و از بالای مخزن به هوا پرج می‌شود و آب داغ باقی مانده موجود در مخزن تغذیه به پمپ باز می‌گردد تا در سیکل‌های بعدی استفاده شود. قابل ذکر است در این میان یک مخزن آب جبرانی بر روی سیستم نصب شده است و مخزن تغذیه در سمت متصل به آب جبرانی به شناور مجهز می‌باشد تا همیشه سطح آب را در یک مقدار مشخص نگه دارد. ضمناً از یک بشر جهت مدرج ساختن منبع آب جبرانی استفاده شده است.

### ۳-۱۱- پمپ و دبی سنجی آن در سیستم

برای به گردش در آوردن جریان آب، از یک پمپ جریان مستقیم ۲۴ ولت با دبی حداکثری ۲۰ لیتر بر دقیقه استفاده شد، این پمپ بصورت یک حالتی بوده، که خود ضعفی بزرگی برای این پمپ (خصوصاً در نمونه‌ی ما که یکی از پارامترها می‌توانست تغییر دبی پمپ در تابش‌های گوناگون باشد) نسبت به نمونه‌های مشابه چند دوره جریان متناوب آن بوده، اما با توجه به کارکرد این پمپ با جریان مسقیم، توان راه اندازی آن به وسیله دو عدد باتری ۱۲ ولت قابل شارژ با پنل خورشیدی وجود دارد (از آنجایی که سیستم ما بدلیل داشتن متمرکز کننده امکان ایجاد دمایی بالاتر از جوشش در جاذب آن وجود دارد، از پارامترهای حیاتی آن گردش مداوم سیال در طی روز و حتی در صورت قطع برق شهری بوده). این دلیل قادر به خود کفا بودن، علت اصلی بر بهره بردن از این پمپ (که از تنها نمونه‌های جریان مستقیم و ولتاژ پایین موجود در بازار بوده) است، ضمناً این پمپ محصول ترکیه است و می‌تواند در شبکه‌هایی با حداکثر افت فشار ۰.۲ بار به کار رود (شکل ۳-۱۲).



شکل ۳-۱۲: پمپ دی سی ۲۴ ولت با دبی حداکثری ۲۰ لیتر بر دقیقه

از آنجایی که شبکه لوله سیستم ما مدار بسته بوده، افت ناشی از ارتفاع در آن وجود ندارد و تنها افت ناشی از لوله و اتصالات بوده، با تست تجربی که بوسیله سنجش دبی با بشر و در شرایط متعارف کاری از سیستم گرفته شد، مشاهده شد که این پمپ درافت های موجود در شبکه ما با دبی در حدود ۲ لیتر بر دقیقه کار می کند.

البته دبی متغیر را می توان با تغییر در ولتاژ پمپ ایجاد نمود اما از آنجایی این کار استاندارد نبوده و ولتاژ پایین باعث گشته که پمپ جریان بالاتری از سیستم بکشد که باعث آسیب رساندن به خود و سیستم کنترل دمایی و شارژ کنترلر موجود در سامانه فوتولتاییک شده، از این کار اجتناب شد و ترجیح داده شد که آزمایش با دبی ثابت پمپ انجام گیرد.

### ۳-۱۲- ثبت کننده داده ها

در این سیستم از دیتالاگر PLC2B-TC استفاده شده است این دستگاه دارای پنج ورودی سنسور دما از نوع NTC است (که در تست های ما سه ورودی برای ما کاربرد داشت) و دارای محدود تنظیم زمانی ثبت داده ها تا ۲۱ ساعت است. دقت این دستگاه ۵ ثانیه بوده، به این معنی که هر ۵ ثانیه داده ها ثبت شود (شکل ۳-۱۳).



شکل ۳-۴: دیتالاگر چهار کانال استفاده شده در تست

در این سیستم ما تنظیم دستگاه را بر روی ۶۰ دقیقه قرار دادیم چون در تست های ما تغییرات دما آرام بوده و نیاز به ثبت لحظه ای دما نداریم، قابل ذکر است که در کاتالوگ دیتالاگر خطای ۰/۵ تا ۱ درجه در ثبت داده ها بیان شده است.

### ۳-۱۳- تابش سنج

جهت اندازه گیری تابش بر روی سطح کلکتور از سولارمتر 1333TES استفاده شد. محدوده عملکردی آن تا ۲۰۰۰ وات بر مترمربع تابش با دقت ۱۰ وات است، یکی از ویژگی های این سولارمتر، تنظیم زمانی برای داده برداری و ثبت اطلاعات می باشد که در اینجا با توجه به تنظیمات دیتالاگر، سولار متر را نیز بر روی شصت دقیقه تنظیم می کنیم، قابلیت کوچک بودن باعث نصب آن بر روی سطوح مختلف شده (شکل ۳-۱۴).



شکل ۳-۵: تابش سنج بکار رفته در تست

### ۳-۱۴- موتور مسیر یاب

برای به گردش درآمدن سیستم طبق برنامه ای از قبل تعیین شده، نیاز به روشن و خاموش شدن موتوری جریان مستقیم و دارای قابلیت چرخش دو جهته بوده (البته غالب موتورهای جریان مستقیم دارای این قابلیت بوده که با تعویض قطب ها، عمل چرخش برعکس اتفاق می افتد). هم چنین در مسیر شفت خروجی این موتور باید از گیربکسی حلزونی جهت کاهش دور و قفل شدن پس از حرکت بهره برده تا ضمن آرام و دقیق ترکردن سرعت مسیریابی، با افزایش گشتاور خروجی، توان گردش مجموعه آینه و قاب نگه دارنده آن را داشته باشد. بدین منظور ما از موتوری موسوم به لاندبا گیربکس سرخود، که به جهت راه اندازی سیستم برف پاک کن مورد استفاده قرار می گیرد و قابلیت های ذکر شده در بالا را بصورت یکجا دارد، بهره بردیم (شکل ۳-۱۵).



شکل ۳-۶: موتور لاندیا با گیربکس سر خود کاهنده ی دور

### ۳-۱۵- مجموعه سیستم مسیریاب و فوتولتائیک تامین کننده

#### برق

در مورد سیستم مسیریاب نیز باید به طور مختصر گفت که نوع سیستم ما از نوع تقویمی بوده، یعنی برای انجام فرآیند به برنامه ای از قبل نوشته شده در مورد معادله حرکت خورشید در آسمان که در فصل قبل بطور جامع بیان شد، متکی است. این سیستم در مقایسه با سیستم مسیریاب اپتیکی که عموماً استفاده می شود دارای این مزیت است که در هنگام ابری یا غبار آلود بودن آسمان دچار سردرگمی نشده، اما مهم ترین عیب آن هم در این بوده که از عملکرد مسیریابی بازخوردی دریافت نکرده و تمامی تلورانس های ناشی از ساخت و لقی های موجود در گیربکس و موتور را باید در هنگام نوشتن برنامه حرکت در آن مد نظر قرارداد، ضمن اینکه اگر کوچک ترین عقب یا جلو افتادگی در مسیریابی به هر دلیل بوجود آید، این مقدار در مکانیزم باقی مانده تا زمانی که توسط اپراتور تشخیص داده شده و اصلاح شود، بنابراین سیستم قابلیت خود اصلاحی موجود در مسیریاب اپتیکی را ندارد. به این دلیل و سایر دلایلی که ذکر آن در این بحث نمی گنجد، اغلب سیستم های صنعتی و نیروگاهی از ترکیب این دو شیوه، برای مسیریابی استفاده می کنند، اما در نمونه های آزمایشگاهی مانند نمونه ی ما، برای کاهش هزینه ها و دشواری های حین ساخت و از آنجاییکه همواره یک اپراتور از سیستم در

حال کار نگهداری می کند، استفاده از یکی از این دو روش بیان شده در بالا کفایت می کند. ما نیز شیوه دوم مسیریابی را در نمونه خود بکار می بریم (شکل ۳-۱۶).



شکل ۳-۷: کنترلر مسیریاب و اجزاء تولید و ذخیره ی برق

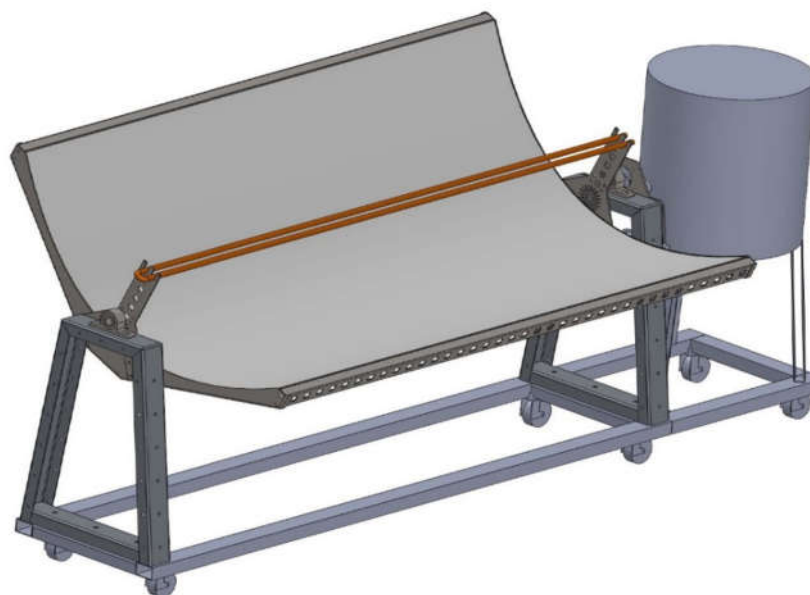
برای تأمین برق مستقیم مورد نیاز سیستم در طول روز و در دو ولتاژ ۲۴ ولت (مورد مصرف برای پمپ) و ۱۲ ولت (مورد مصرف برای موتورگیربکس)، از دو عدد پنل ۵۰ وات خورشیدی بصورت سری با هم و دو عدد باتری ۱۲ ولت ۱۸ آمپر ساعت، در کنار شارژ کنترلر ۱۲-۲۴ ولت و با ظرفیت ده آمپری استفاده شد، دلایل انتخاب این ظرفیت ها مربوط به جمع میزان مصرف برق پمپ و موتورگیربکس و کنترلر مسیریاب در طی روز بوده و بحث درباره ی جزئیات دلایل این انتخاب ها، از حوصله این بحث خارج است (شکل ۳-۱۷).



شکل ۳-۸: پنل های فوتولتائیک و محفظه باتری و شارژر

### ۳-۱۶- جمع بندی مراحل ساخت نمونه

با توجه به اینکه تا حد امکان در ساخت نمونه، سعی بر ساخت نمونه ای جامع و دقیق بود، اما محدودیت های مالی و زمانی موجود، در اجرای طرح بی تاثیر نبوده که عدم وجود دبی سنج و سنسورهای ثبت دما به تعداد کافی (فقط دو عدد) از جمله این موارد است، البته جهت رفع مورد دوم سعی شد که با دماسنج در محل این مشکل حل شود، اما با این وجود نمونه ساخته شده با طرح اولیه مطابقت قابل قبولی دارد. (شکل ۳-۱۸).



شکل ۳-۹: نمونه طراحی شده در بالا و نمونه ساخته شده در پایین



فصل ۴ : نتایج آزمایشگاهی دستگاه آب کر مکن سهمی

## ۴-۱- مقدمه

با توجه به هدف پروژه که مقایسه اقتصادی استفاده از آبگرمکن های کلکتور خورشیدی هیبرید با گاز طبیعی با آبگرمکن های گازی تجاری بدون کلکتور خورشیدی در فصل آخر می باشد، داده برداری ها صرفاً برای بدست آوردن توان و بازده کلکتور ساخته شده برای رساندن دمای مخزن آب به سه دمای گوناگون اخذ شده بوده و بحث تست های گوناگون در مورد زاویه شیب بهینه کلکتور و یا تغییر دبی سیال در گردش بر روی بازده کلکتور و.... که نیازمند به ساخت نمونه ای جدید دارد، در تست ها گنجانده نشده است.

این سه دما، سه دمای متعارف برای مصرف آب گرم خانگی بوده که شامل دماهای ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سانتی گراد می باشد، در آزمایش ها مدت زمان رسیدن به هر یک از این دماها، بازده تئوری و تجربی کلکتور در هر یک از این دماها و حجم آب قابل گرم شدن تا آن دما اندازه گیری شده، در صورت مازاد بودن این حجم از ۶۰ لیتر مخزن مقدار آن بوسیله ی خروج آبگرم از سیستم و افزودن آب جبرانی به آن مورد ارزیابی قرار گرفته.

## ۴-۲- بررسی عملکرد کلکتور سهموی - خطی

کارایی یک کلکتور در واقع بیان کننده نحوه عملکرد آن در یک زمان طولانی است. برای یافتن کارایی کلکتور خورشیدی استانداردهایی چون ISO 9806-1، ASHRAE 93 و EN12975-2 وجود دارد، متعارف ترین استاندارد برای بررسی عملکرد کلکتورها استاندارد ASHRAE است. این استاندارد در سال ۱۹۷۷ برای اولین بار چاپ گردید و جدیدترین آن مربوط به سال ۱۹۹۳ می باشد، اما به مرور مواردی که در این استاندارد لحاظ نشده بود بدان اضافه گردید. برای اولین بار در سال ۱۹۹۰ استاندارد هم برای مواردی که در آن تغییر فاز در سیستم آبگرمکن خورشیدی وجود داشته باشد نیز ارائه شد.

برای بررسی عملکرد کلکتور ساخته شده ابتدا باید سیکل مناسبی را در بین این استانداردها انتخاب کرد که کلکتور در آن تست شود. برای این مهم در این تحقیق سعی شد که از استاندارد بین المللی ASHRAE 93 ورژن ۲۰۰۳ استفاده شود و تمام شرایط آزمایش نیز مطابق با این استاندارد طراحی گردد.

چهار پارامتر بدست آمده در آزمایش موجود در این استاندارد عبارتند از :

۱- راندمان حرارتی

۲- اصلاح کننده زاویه برخورد

۳- زاویه پذیرش کلکتور

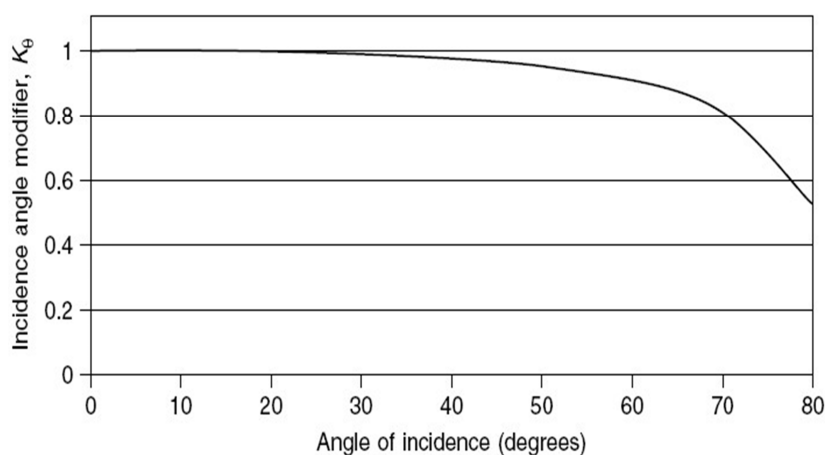
۴- ثابت زمانی

شاید بعضی از مفاهیم بالا واضح بوده، اما در اینجا لازم می دانیم مختصری راجع به آنها توضیح داده شود.

راندمان حرارتی در شرایط پایدار برابر نسبت میزان انرژی منتقل شده به سیال (بر واحد سطح کلکتور) به کل میزان انرژی جذب شده توسط کلکتور بوده، ضمناً کل میزان انرژی جذب شده توسط کلکتور (بر واحد سطح کلکتور) برابر مجموع انرژی مفید منتقل شده به سیال و میزان اتلاف انرژی می باشد. در تمام معادلات قبل فرض بر آن بوده است که زاویه تابش بر روی کلکتور به صورت عمودی است ولی این اتفاق به ندرت رخ می دهد برای همین ضریب  $K_\theta$  که به ضریب اصلاح کننده زاویه برخورد موسوم است و با توجه به زاویه قرار گیری کلکتور از رابطه زیر بدست می آید ( $b_0$  از ضرایب تجربی کلکتور است).

$$K_\theta = 1 - \left( \frac{1}{1 - \cos \theta} \right) b_0 \quad (1-4)$$

طبق نمودار شکل 4-1، ضریب  $K_\theta$  عموماً در زوایای نصب کلکتور نزدیک به یک و قابل صرف نظر است.

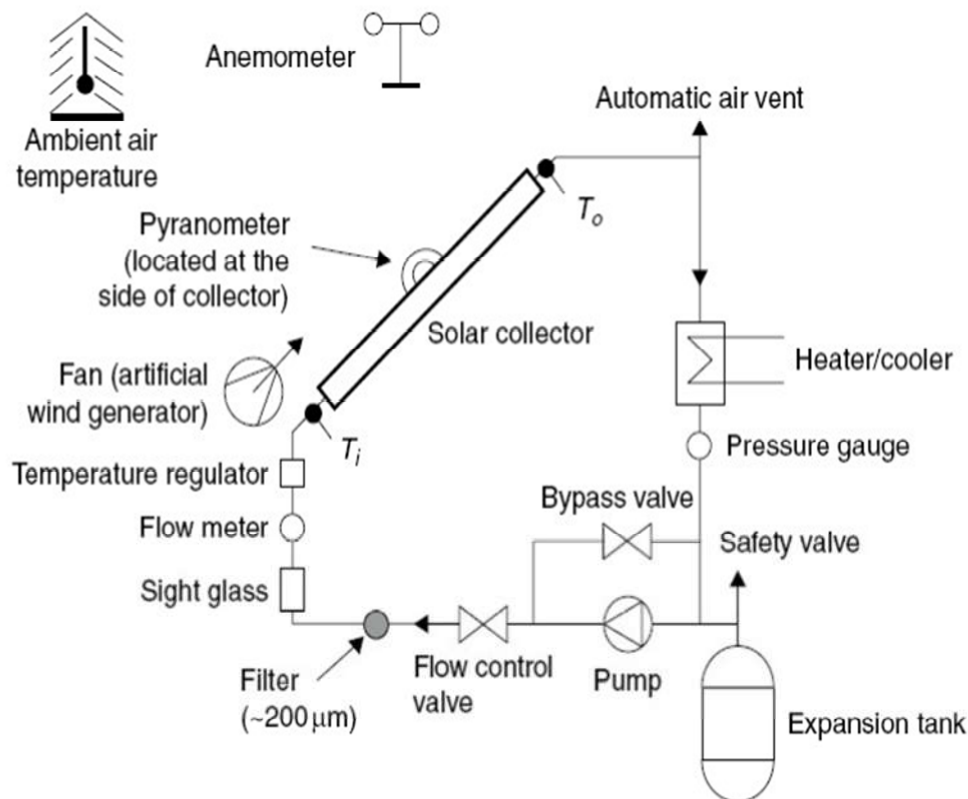


شکل 4-۱: نمودار تعدیل کننده تابش با زاویه برخورد [۴۳]

تست زاویه ی پذیرش کلکتور، در حقیقت تست حساسیت کلکتور را به ردیابی بیان می کند. در این تست کلکتور به سمت خورشید قرار داده می شود و عملکرد کلکتور به طور مداوم در حالت های مختلف قرار گیری خورشید که در سمت کانون یا خارج آن باشد اندازه گیری می شود. در نهایت با بررسی و آنالیز این تست دقت مورد نیاز برای سیستم ردیابی استخراج می شود.

ثابت زمانی کلکتور زمانی است که طی آن دمای خروجی سیال از کلکتور به  $63/2$  درصد مقدار نهایی آن بعد از یک تغییر پله ای در تابش برسد. در این روش کلکتوری را که با دمای سیال ورودی نزدیک به دمای محیط در حال کار یکنواخت است را به ناگاه با سایه افکندن و یا روشی دیگر از منبع تابش جدا می کنند و با اندازه گیری دمای خروجی و ثبت زمانی آن، زمانی را که دما به مقدار  $63/2$  درصد اختلاف بین دما خروجی و دمای ورودی کلکتور برسد را به عنوان ثابت زمانی معرفی می شود.

طبق این استاندارد (ASHREA 93:2003) باید کلکتور مورد نظر در سیکل مدار بسته مطابق شکل زیر قرار گرفته و در شرایطی خاص که شامل میزان دبی آب ورودی، دمای محیط، زاویه قرارگیری کلکتور، مشخصات کلی هندسی کلکتور و لوله های جاذب، تشعشع خورشید، دمای آب ورودی به کلکتور و... می باشد مورد آزمایش بازده قرار گیرد (شکل ۴-۲).



شکل ۴-۲: نمایی از نمودار سیکل تست کلکتور بر اساس ASHRAE 93

دمای سیال عامل برای تست باید در محدوده  $\pm 1$  درجه سانتیگراد و دبی آن حدود  $\text{lit/sec}$   $0/000315$   $(0/00189 \text{ lit/min})$  و سیستم باید ۵۱ دقیقه قبل از تست گیری پایدار شده باشد. دمای ورودی به رسیور باید در محدوده  $\pm 0/5$  درجه سانتیگراد کنترل شود. مورد دیگر محدودیت آب و هوایی است. سرعت باد باید بین  $2/2$  تا  $4/2$  باشد و دمای هوای محیط نباید بیش از  $30$  درجه سانتیگراد باشد. در نهایت مقدار تابش عمودی در طول تست نباید بیش از  $790$  وات بر متر مربع باشد و تغییرات آن نیز نباید بیش از  $\pm 32$  وات بر متر مربع باشد. برای تست کلکتور شرایط بالا طبق

استاندارد در آزمایشگاه ایجاد و خواص کلکتور را در زوایای ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ اندازه گیری می کنند [۴۴]. در نهایت خروجی آزمایش بالا جدولی همانند شکل خواهد بوده (شکل ۴-۳). این تست مربوط به کلکتوری سهموی از نوع فرنل و مرتبط به سال ۲۰۱۰ است.

SOLAR COLLECTOR  
CERTIFICATION



CERTIFIED SOLAR COLLECTOR

SUPPLIER: Chromasun, Inc.  
1050 N 5th Street,  
Suite San Jose, CA 95112

MODEL: MCT-HT-001

COLLECTOR TYPE: Concentrating

CERTIFICATION#: 2010064A

Original Certification Date: 24-May-11

COLLECTOR SPECIFICATIONS (for the tested collector)

|                       |                     |                       |                             |          |           |
|-----------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------------|----------|-----------|
| Gross Area            | 3.99 m <sup>2</sup> | 42.95 ft <sup>2</sup> | Gross Length                | 3.390 m  | 11.12 ft  |
| Aperture Area         | 3.39 m <sup>2</sup> | 36.49 ft <sup>2</sup> | Gross Width                 | 1.230 m  | 4.04 ft   |
| Absorber Area         | 0.30 m <sup>2</sup> | 3.23 ft <sup>2</sup>  | Gross Depth                 | 0.316 m  | 1.04 ft   |
| Fluid Capacity        | 0.9 liter           | 0.238 gal             | Test Pressure               | 1110 kPa | 161.5 psi |
| Dry Weight            | 99.79 kg            | 220 lb                | Concentration Ratio         | 20       |           |
| Tracking: Single axis |                     |                       | Control System: Active      |          |           |
| Cover Geometry: Flat  |                     |                       | Reflector Geometry: Fresnel |          |           |

COLLECTOR MATERIALS and COATINGS

|                                   |                                |
|-----------------------------------|--------------------------------|
| Cover: Low Iron Glass             | Reflector: Coated Aluminum     |
| Absorber: Stainless Steel, U-tube | Absorber Coating: Black Chrome |

TECHNICAL INFORMATION

Collector Model: (Based on Aperture Area)

$$Q/A_a = F'(\tau\alpha)_{en} K_{\theta\theta}(\theta) G_b + F'(\tau\alpha)_{en} K_{\theta d}(\theta) G_d - c_1(t_m - t_a) - c_2(t_m - t_a)^2 - c_3 u(t_m - t_a) + c_4(E_L - \sigma a^4) - c_5 dt_m/dt - c_6 u G$$

$$K(\theta) = 1 - b_0 [1/\cos(\theta) - 1]$$

|                                                               |        |                                      |
|---------------------------------------------------------------|--------|--------------------------------------|
| Collector efficiency factor: $F'(\tau\alpha)_{en}$            | 0.565  |                                      |
| Incident angle modifier for diffuse radiation: $K_{\theta d}$ | 0.12   |                                      |
| Longitudinal incident angle modifier constant: $b_{0L}$       | 0.13   |                                      |
| Transverse incident angle modifier constant: $b_{0T}$         | -0.19  |                                      |
| Heat loss coefficient: $c_1$                                  | 0.54   | [W/(m <sup>2</sup> K)]               |
| Temperature dependence of the heat loss coefficient: $c_2$    | 0.0032 | [W/(m <sup>2</sup> K <sup>2</sup> )] |
| Wind speed dependence of the heat loss coefficient: $c_3$     | 0.00   | [J/(m <sup>2</sup> K)]               |
| Sky temperature loss coefficient: $c_4$                       | 0.00   | [W/(m <sup>2</sup> K)]               |
| Effective thermal capacity: $c_5$                             | 7800   | [J/(m <sup>2</sup> K)]               |
| Wind dependence of zero-loss efficiency: $c_6$                | 0.00   | [s/m]                                |

|                          |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| IAM                      | 10°   | 20°   | 30°   | 40°   | 50°   | 60°   | 70°   |
| $K_{\theta T}(\theta_T)$ | 1.003 | 1.012 | 1.030 | 1.059 | 1.110 | 1.190 | 1.003 |
| $K_{\theta L}(\theta_L)$ | 0.998 | 0.992 | 0.980 | 0.96  |       |       |       |

Impact Safety Rating: 0

Test Conditions:

|                                                      |                                                          |
|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Max Fluid Temperature During Efficiency Test: 179 °C | Wind Speed Range During Efficiency Test: 0.0 to 1.68 m/s |
| Test Fluid: Water                                    | Test Flow Rate: 0.114 kg/sec                             |
| Exposure Test Conducted: Wet                         | Tested Method: SRCC Standard 600                         |

Remarks:

شکل ۴-۳: نمونه گزارش خروجی تست کلکتور

با توجه به محدودیت تجهیزات آزمایشگاهی و اندازه گیری جهت ایجاد و ثبت پارامترهای مورد نیاز در استاندارد بالا، در حال حاضر استفاده از این استاندارد در تست نمونه ما کاری بسیار دشوار به نظر می رسد زیرا شرایط آب و هوایی در حقیقت قابل کنترل نبوده و از سوی دیگر، همان طور که در فصل پیش گفته شد، بدلیل دبی ثابت پمپ سیرکولاسیون دسترسی به دبی سنجی با قدرت اندازه گیری و

دقت خواسته شده در نمونه ما امکان پذیر نیست. در مجموع می توان گفت شرایط تست ارائه شده، فقط در صورت استفاده از شبیه سازهای خورشیدی منطقی بوده که با توجه به توان و شرایط آزمایشگاهی داخل کشور، در هیچ جایی چنین شبیه سازهای نبوده، و در هیچ نقطه ای از آن نمی توان این شرایط را بوجود آورد. در نهایت سعی شد تا حد امکان شرایط تست ها مورد لحاظ قرار گرفته که با توجه به هدف بدست آوردن ضرایب تجربی منطقی به نظر رسیده.

به همین دلیل اگر معادله محاسبه میزان حرارت دریافتی موجود در شکل ۴-۲ را با فرضیات  $K_{\theta} = 1$  که در نمونه ما بدلیل افقی بودن اتفاق می افتد و اعمال فقط ضرایب  $C_1$  و  $F(\tau\alpha)$  ساده سازی نماییم و سپس این رابطه در معادلات (۲-۴۰) و (۲-۴۳) شرکت داده شود، آنگاه خواهیم داشت :

$$F_R A_c \left[ I_B \eta_{opt} - \frac{A_o}{A_c} U_{Loss} (T_{in} - T_a) \right] = A_c [F(\tau\alpha) I_B - C_1 (T_{in} - T_a)] \quad (2-4)$$

و چون  $\frac{A_o}{A_c} \cong C_R$  با تعریف ضریب  $C_0$  برای ساده سازی معادله داریم:

$$F_R \eta_{opt} = F(\tau\alpha) = C_0, \quad \frac{F_R}{C_R} U_{Loss} = C_1 \quad (3-4)$$

در نهایت اگر رابطه (۲-۳۹) مد نظر قرار داده، راندمان حرارتی برابر شده با :

$$\eta_{Th} = \frac{Q_u}{A_c G_B} = \frac{C_0 G_B - C_1 (T_{in} - T_a)}{G_B} \quad (4-4)$$

این همان رابطه ای است که ما برای محاسبه راندمان تئوری به آن نیاز داریم. البته ما برای بدست آوردن ضرایب از این محاسبات نیاز به حل همزمان معادلات بالانس انرژی مطرح شده در فصل سوم بروش سعی و خطا بر اساس حدث دمای  $T_c$  بوده، تا با توجه به خروجی این حل ها، بازده تئوری بدست آید.

اما از آنجاییکه در تست دیده شد که اختلاف دمای رفت و برگشت آب به جاذب حدود یک درجه است و از این حیث می توان کلکتور را دما ثابت برابر نیم درجه بالاتر از دمای آب ورودی به کلکتور فرض کرد و همچنین ضرایب افت حرارتی ما بیش تر تحت تأثیر سیال هوای بیرون است، تا آب در گردش داخل جاذب (ضمناً تغییرات خواص سیال آب در دماهای تست نمونه ما کم است)، با توجه به

هدف از انجام این تست ها که بررسی عملکرد کلکتور در شرایط محیطی واقعی و اندازه گیری مقدار آبگرم تولیدی و بازده تجربی و بدست آوردن این مقادیر از روابط تئوری و در آخر بررسی صحت روابط تئوری برای نمونه ساخته شده می باشد). بنابراین نیاز به حل همزمان معادلات بوسیله ی برنامه نویسی برای بدست آوردن مقادیر دقیق کمتر احساس شده، چون خطای این روش کم بوده و در نمونه های تجاری معادلات بازده بر اساس همین ضرایب ثابت فرموله شده است. لازم به ذکر است که ما در محاسبات تئوری خود در از رابطه (۲-۲۶) جهت محاسبات اپتیکی بهره برده، چون این رابطه نسبت به رابطه (۲-۲۷) که برای کلکتورهای طولانی آمده در نمونه کوتاه ما جوابگو است. ضمناً رابطه از کتاب سوخاتمه گرفته شده است و از دقت و صحت بالاتری برخوردار می باشد.

#### ۴-۳- شرایط تابش و مسیریابی در آزمایش ها

با توجه به اینکه در این پروژه روش پیگیری خورشید شامل قرار گیری محور کانونی در راستای شمالی - جنوبی و بدون شیب مطابق با روش اول مسیریابی بیان شده در بخش ۲-۲ فصل دوم بوده، زاویه قرار گیری کلکتور با سطح افق صفر و برنامه مسیریاب نیز از روابط این فصل محاسبه می گردد (لازم به ذکر است که در هر سه آزمایش جهت کلکتور به صورت شمال جنوب بوده و ردیابی به صورت مداوم انجام می گیرد).

ضمناً زمان انجام آزمایش ها می بایست در قرینه ی ظهر خورشیدی انجام گیرد. به این معنی که باید ساعت ظهر خورشیدی محلی را به دست آورد (در تست های ما حدود ساعت ۱۲ و ۴۰ دقیقه) و در زمان های قرینه آن آزمایش ها را انجام داد. معمولاً آزمایش ها در ساعت ۹ صبح آغاز شده و در ساعت ۱۷ به پایان می رسد. اندازه گیری پارامترهای مورد نیاز هر یک ساعت یک بار انجام می شد. قبل از ورود آب جهت پر کردن مخزن، دمای آب ورودی اندازه گیری شده، پس از شروع تست و ایجاد پایداری در سیستم، دمای آب ورودی و خروجی از کلکتور، همچنین دمای متوسط مخزن ذخیره بوسیله نمونه گیری، تشعشع خورشید اندازه گیری می شد. آزمایش در شهر تهران که دارای عرض و

طول جغرافیای ۳۵/۷ و ۵۲/۳ درجه می باشد و در روز ۲۹ اردیبهشت و هفته بعد از آن انجام شده است. روز آزمایش ها بگونه ای طراحی شده تا آزمایش ها در شرایط تابشی و جوی یکسان انجام می شود.

#### ۴-۴- نتایج

در آزمایش ها تغییرات دمای آب و تابش ها گردآوری شده است، در شرایط واقعی در روزهای تست گرفته شده، روزهایی با وجود لکه های ابری و کاهش تابش وجود داشت که پاسخ های سیستم به این شرایط بسیار سریع و با افت حرارتی همراه بود که در ادامه به توضیح آن در نمودارها خواهیم پرداخت. بدلیل اختلاف کم دمای ورود و خروج سیال از کلکتور، نمودار تا حد زیادی بصورت یک خط دیده شده.

لازم به ذکر است که در مدل ریاضی به در سایه قرار گیری مقداری از طول لوله جاذب بدلیل زاویه مایل پرتوها با دهانه ورودی کلکتور توجه نشده بود، در نتیجه اختلافی در حدود ۱۰ درصد بین عددهای تئوری و عملی مشاهده شد که منطقی به نظر نمی رسید. پس از در نظر گرفتن این مسئله که به دلیل عدم قرار گیری کلکتور در شیبی با عرض جغرافیایی محل حدود ۱۰ درصد از لوله جاذب در سایه قرار می گرفت، با لحاظ این شرایط و کسر این مقدار از معادلات، این اختلاف به حدود ۲ تا ۵ درصد تنزل یافت که این مقدار بسیار به شرایط به دست آمده در آزمایش نزدیک می باشد و تا حدی می توان از آن در صحت داده های تجربی و مقایسه آن استفاده کرد. در مجموع با توجه به مطالب بیان شده در این فصل، مدل تئوری به قرار زیر برای این شرایط موجود طراحی شد.

$$\eta_{Th} = C_0 - \frac{C_1}{G_B} (T_{in} - T_a) \quad (۴-۵)$$

ما خواص آب را در محاسبه بازده تئوری در دمای جاذب قرائت می کنیم (جدول ۴-۱). سپس با توجه به روابط فصل دوم مقدار هر یک از ضرایب  $C_0$  و  $C_1$  را به دست آورده و با قرار دادن در رابطه ی (۴-۴)

(۴) مقدار راندمان حرارتی تئوری را بدست می آوریم.

| T<br>°C | $\rho$<br>kg/m <sup>3</sup> | C <sub>p</sub><br>kJ/kg.K | $\mu \times 10^6$<br>N.s/m <sup>2</sup> | K<br>W/m.K | Pr    | $\beta \times 10^4$<br>1/K | $\nu \times 10^6$<br>m <sup>2</sup> /s | $\sigma \times 10^4$<br>N/m |
|---------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------------------|------------|-------|----------------------------|----------------------------------------|-----------------------------|
| 0       | 999.9                       | 4.212                     | 1787.8                                  | 0.551      | 13.67 | -0.63                      | 1.789                                  | 756                         |
| 10      | 999.7                       | 4.191                     | 1305.3                                  | 0.575      | 9.52  | 0.7                        | 1.306                                  | 742                         |
| 20      | 998.2                       | 4.183                     | 1004.2                                  | 0.599      | 7.02  | 1.82                       | 1.006                                  | 727                         |
| 30      | 995.7                       | 4.174                     | 801.2                                   | 0.618      | 5.42  | 3.21                       | 0.805                                  | 712                         |
| 40      | 992.2                       | 4.174                     | 653.1                                   | 0.634      | 4.31  | 3.87                       | 0.659                                  | 696                         |
| 50      | 988.1                       | 4.174                     | 549.2                                   | 0.648      | 3.54  | 4.49                       | 0.556                                  | 679                         |
| 60      | 983.2                       | 4.179                     | 469.8                                   | 0.659      | 2.98  | 5.11                       | 0.478                                  | 662                         |
| 70      | 977.8                       | 4.187                     | 406                                     | 0.668      | 2.55  | 5.7                        | 0.415                                  | 644                         |

جدول ۴-۱: جدول خواص فیزیکی آب در دماهای گوناگون [۳۸]

از آنجاییکه برای دمای مخزن در نمونه سنسور جداگانه ای در نظر گرفته نشده بود، لذا جهت جبران این نقص سعی شد در طول روز با نمونه گیری از آب مخزن دمای آن را بدست آورد (شکل ۴-۴).

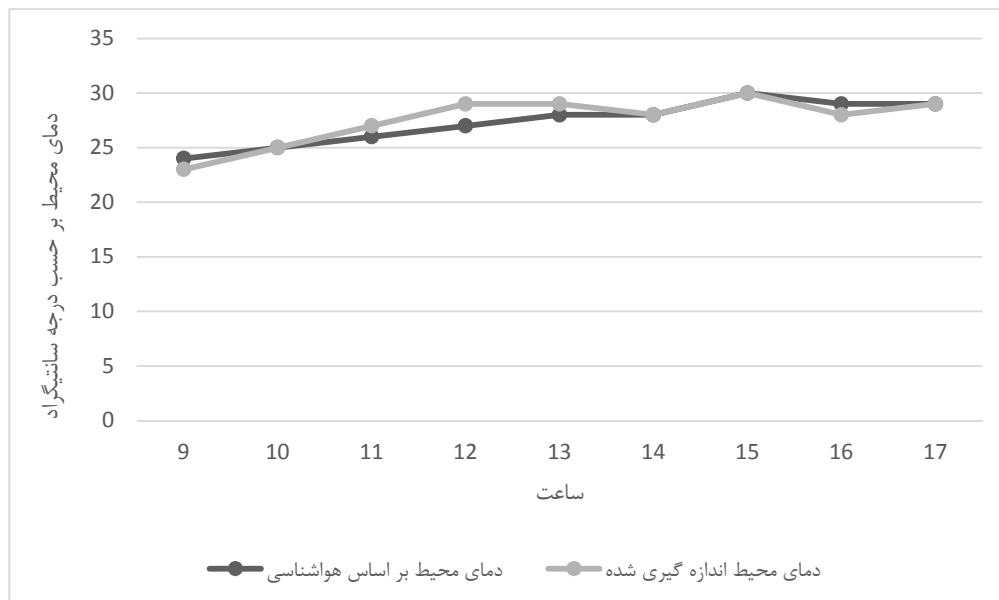


شکل ۴-۴: اندازه گیری دمای مخزن بوسیله ی نمونه گیری از آن

#### ۴-۴-۱ نتایج آزمایش اول: رسیدن به دمای ۴۰ درجه

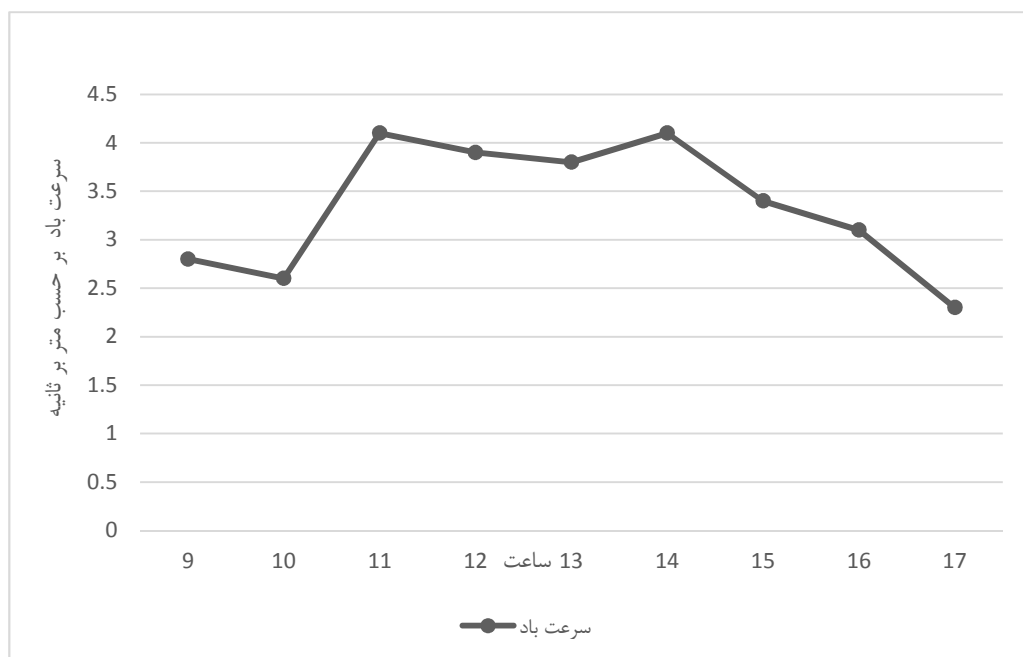
همان طور که در مطالب گذشته توضیح داده شد، در این آزمایش ها سعی شده است دبی جرمی آب در طول آزمایش ثابت نگه داشته شود. این عدد برای این آزمایش ۰/۰۳۳۳ کیلوگرم بر ثانیه بوده، همچنین دمای آب ورودی به مخزن در شروع تست نیز برای هر سه آزمایش یکسان بوده و برای

تمامی آنها در محدوده ۱۸ الی ۱۹ درجه سانتیگراد متغیر می باشد. در هم زیر نمودار دمای هوا در آزمایش اول نشان داده شده است.



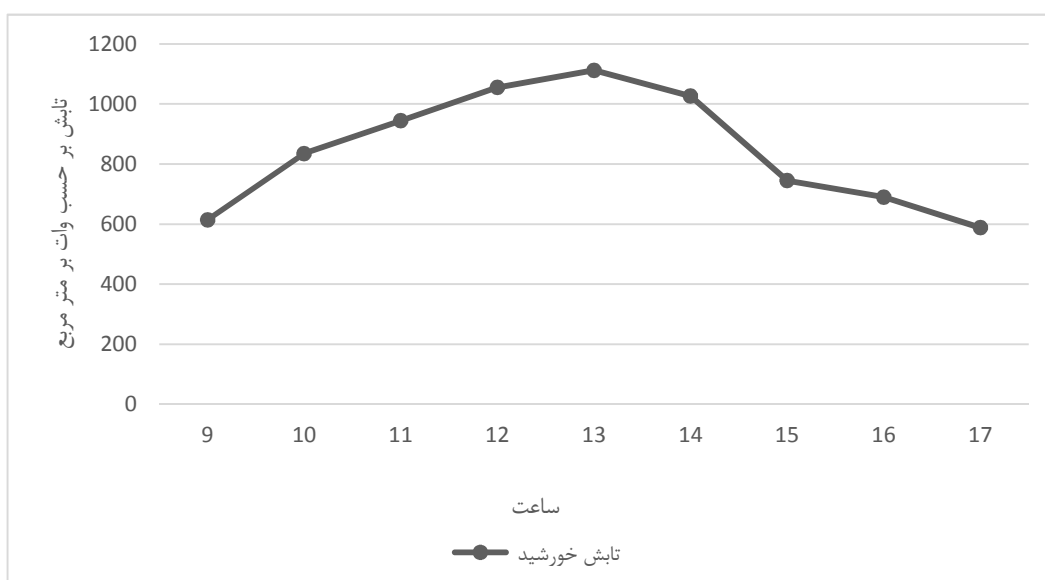
شکل ۴-۵: نمودار دمای محیط بر حسب درجه سانتی گراد در آزمایش اول

طبق نمودار بالا دمای محیط اندازه گیری شده نیز تطابق خوبی با دمای اعلام شده توسط هواشناسی داشته. همچنین نمودار شکل ۴-۶ زیر نشاندهنده ی سرعت باد در محل در روز آزمایش اول می باشد. با به توجه به تحلیل های ذکر شده، این دو پارامتر نقش به سزایی در تعیین نرخ اتلاف و دمای پوشش لوله جاذب دارند.



شکل ۴-۶: نمودار سرعت باد محیط بر حسب متر بر ثانیه در آزمایش اول

در شکل ۴-۷ تشعشع رسیده به تابش سنج نسب شده روی دهانه ی کلکتور در طول آزمایش رسم شده است. با توجه به تغییرات تابش و نوسانات تابشی موجود، تغییرات دمای خروجی به خوبی قابل مشاهده می باشد. تغییرات ناگهانی در تابش به علت وجود ابر در آسمان در حدود دو ساعت آخر تست گیری به وجود آمد.



شکل ۴-۷: نمودار تشعشع خورشیدی بر حسب وات بر متر مربع در آزمایش اول

با توجه به این که دمای ورودی به جاذب با دمای خروجی از مخزن یکی می باشد، از آنجاییکه به دلیل دبی بالا پمپ در این سیستم، دمای مخزن و لوله جاذب تا حد بسیاری یکنواخت شده، بنابراین می توان با صرف نظر از خطای کم بوجود آمده نیم درجه دمای بالاتر از دمای ورودی به جاذب را دمای مخزن ذخیره دانست و همچنین با مقایسه دماهای ورود و خروج سیال به جاذب اندازه گیری شده در نمونه به اختلاف کم این دو دما پی بردیم، بنابراین دمای لوله جاذب را میانگین این دو دما دانسته.

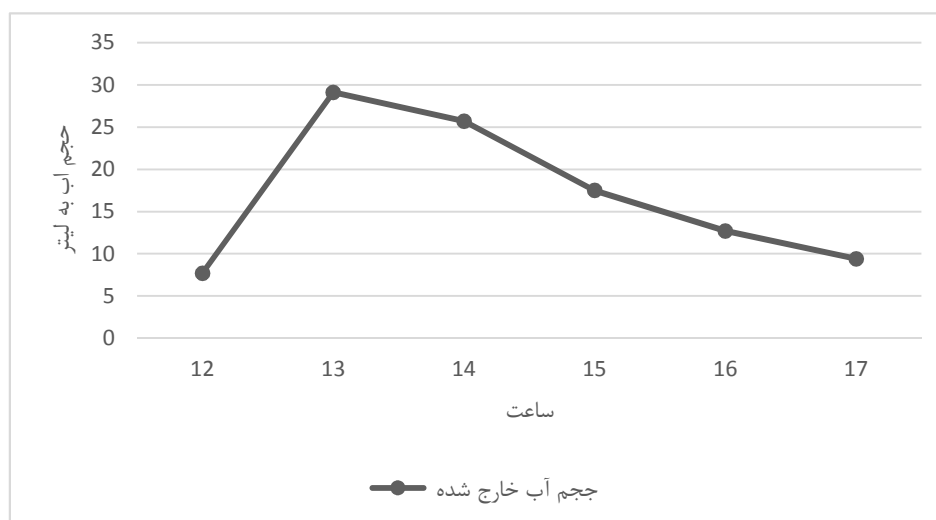
آب ورودی، گرما را از جاذب دریافت و به مخزن وارد می شود و سیکل دوباره تکرار می شود، این مسئله بیان گر این موضوع است که می بایست دمای میانگین لوله ی جاذب و مخزن با پیشروی زمان در طول روز در صورت تقریباً ثابت ماندن افت حرارتی بالاتر شود، با توجه به نمودار تشعشع خورشید که تا ساعت دوازده و چهل دقیقه سیر صعودی و پس از آن سیر نزولی داشته است و همچنین عمود بودن تقریبی خورشید در این ساعت بر عرض دهانه بازشدگی، انتظار می رود که بیشترین دمای خروجی، بدلیل بالاترین میزان دریافتی انرژی در این زمان رخ دهد، که نتایج برای تمامی آزمایش ها حاکی از چیزی غیر از این باور می باشد.

زیرا دمای جاذب بیشتر تحت تاثیر دمای آب ورودی به آن می باشد و بالاترین دمای آن در همان ساعات انتها تست اتفاق می افتد. در نمودارهای زیر تغییرات دمای میانگین لوله ی جاذب و مخزن، هر دو بر حسب زمان آورده شده که در شکل ۴-۸ نشان داده شده است.



شکل ۴-۸: نمودار دمای متوسط مخزن و لوله ی جاذب بر حسب درجه سانتی گراد در آزمایش اول

همان طور که در اول آزمایش ذکر شد با توجه نیاز به ایجاد دمای ثابت ۴۰ درجه در مخزن طبق فرض آزمایش، از ساعت ۱۲ به بعد به دلیل رسیدن دمای مخزن به این مقدار نیاز به خروج آب اضافه و جایگزین کردن آب آن با دمای ۱۹ درجه بوده، بنابراین حجم آب خروجی را می توان طبق شکل ۴-۹ نمایش داد (این حجم به وسیله ی بشری مدرج که بعنوان مخزن آب جبرانی مورد استفاده بود اندازه گیری شده است).



شکل ۴-۹: نمودار حجم آب جایگزین شده به لیتر در آزمایش اول

## ۴-۲ نتایج آزمایش دوم: رسیدن به دمای ۵۰ درجه

آزمایش در روز بعد از آزمایش اول انجام و به همین دلیل مقدار تغییرات دما محسوس نبوده (شکل

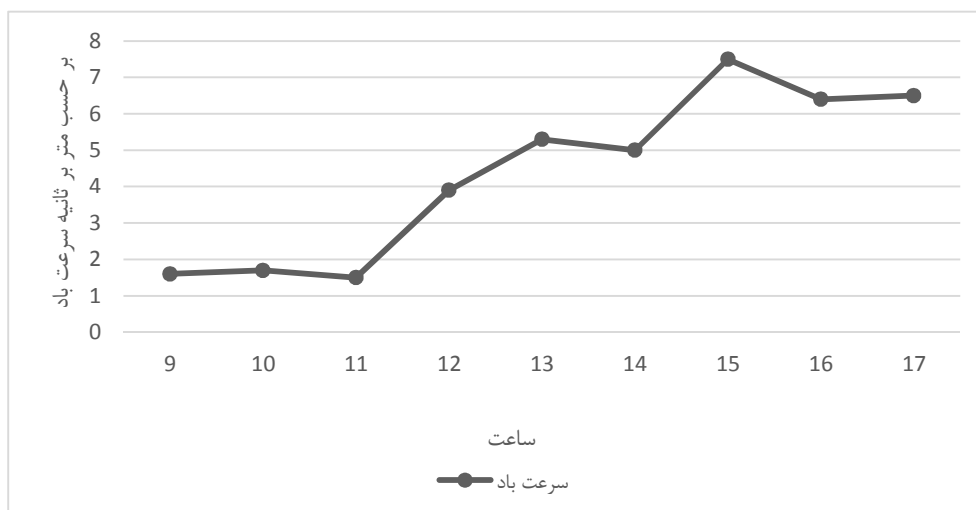
۴-۱۰).



شکل ۴-۱۰: نمودار دمای محیط بر حسب درجه سانتی گراد در آزمایش اول و دوم

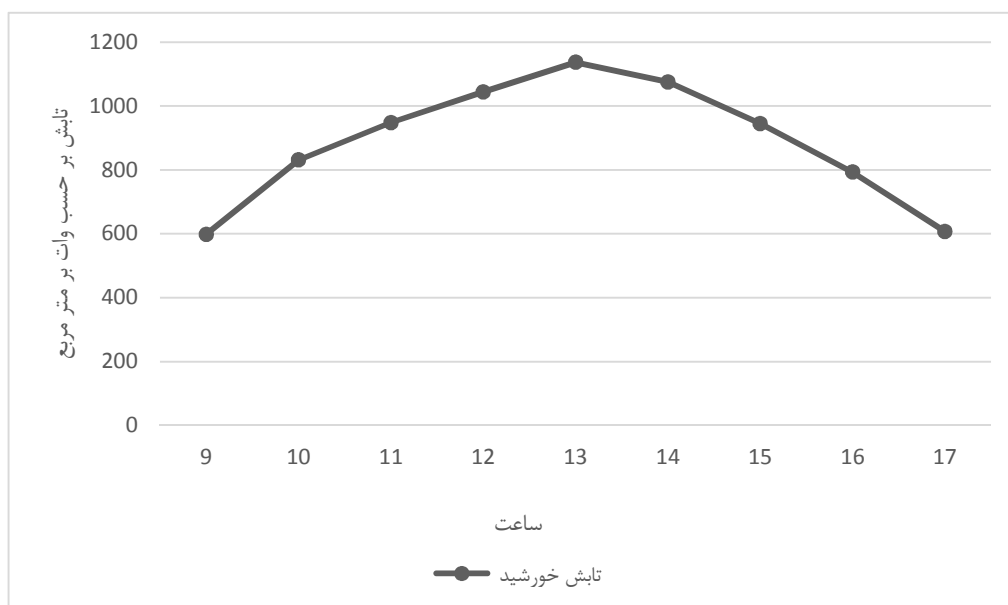
البته با شدت گرفتن وزش باد که از ساعت ۱۵ اتفاق افتاد و در نمودار شکل ۴-۱۱ مشاهده شده،

روند کاهش دما و افت بازده مشاهده شد و رسیدن به دمای ۵۰ درجه را کمی سخت تر کرده.



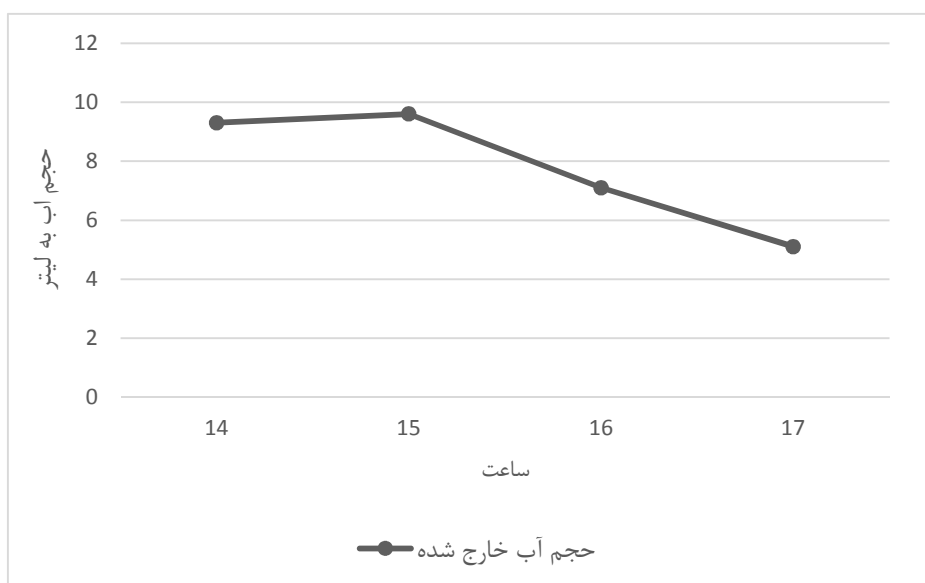
شکل ۴-۱۱: نمودار سرعت باد محیط بر حسب متر بر ثانیه در آزمایش دوم

همچنین در وضعیت نسبتاً عمود خورشید در ساعت ۱۳ مقدار بیشترین تابش را دارد (شکل ۴-۱۲).



شکل ۴-۱۲: نمودار تشعشع خورشیدی بر حسب وات بر متر مربع در آزمایش دوم

با توجه به تصور بالا می توان حدس زد که رسیدن به دمای میانگین ۵۰ درجه برای لوله ی جاذب و مخزن در ساعت ۱۳ اتفاق بیفتد زیرا تابش حداکثر و مقدار سرعت باد و به تبع تلفات جاذب رو به افزایش است.



شکل ۴-۱۳: نمودار حجم آب جایگزین شده به لیتر در آزمایش دوم

بر اساس شکل ۴-۱۳ این تصور کاملاً درست است لی بر خلاف دمای چهل درجه، مقدار برداشت آب از مخزن به مقدار زیادی کاهش یافته و این بخاطر بالا رفتن تلفات از لوله ی جاذب در دمای بالاست، وزش باد در ساعت ۱۵ به بعد هم مزید بر علت شده و باعث کاهش مقدار بسیار زیادی از حجم آب قابل برداشت شده.

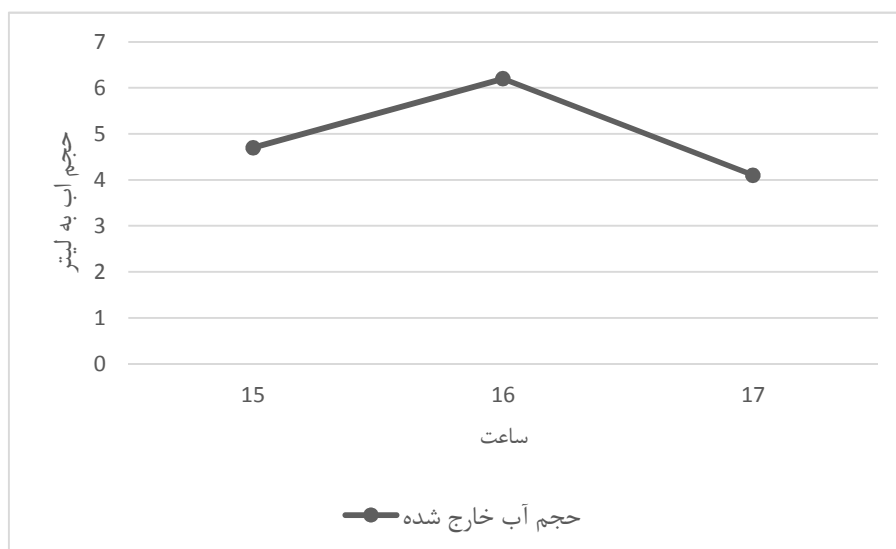
#### ۴-۳-۴ نتایج آزمایش سوم : رسیدن به دمای ۶۰ درجه

با توجه به نتایج حاصل شده از دو آزمایش قبل، رسیدن به دمای ۶۰ درجه در این آزمایش با اجرای آن در شرایط نا مساعد جوی دور از ذهن به نظر می رسید، بنابراین با توجه به پیش بینی های سازمان هواشناسی، شرایط تست بگونه ای طراحی شد تا سرعت وزش باد کم تر از ۵ متر بر ثانیه و تابش در تمام روز اتفاق بیفتد، این حالت که شرح آن در جدول ۴-۲ آمده، دو روز بعد از آزمایش دوم میسر و تست ها در آن روز گرفته شد. البته این شرایط کمی ایده ال به نظر می آید و شرایط واقعی همواره اینگونه نبوده.

| ساعت                      | ۹   | ۱۰  | ۱۱  | ۱۲   | ۱۳   | ۱۴   | ۱۵  | ۱۶  | ۱۷  |
|---------------------------|-----|-----|-----|------|------|------|-----|-----|-----|
| دمای هوا (درجه سانتیگراد) | ۲۳  | ۲۵  | ۲۶  | ۲۹   | ۳۲   | ۳۱   | ۲۸  | ۲۸  | ۲۸  |
| سرعت باد (متر بر ثانیه)   | ۱.۸ | ۳.۶ | ۳.۱ | ۲.۹  | ۳.۸  | ۴.۶  | ۴.۴ | ۳.۲ | ۲.۷ |
| تشعشع (وات بر مترمربع)    | ۶۳۰ | ۸۳۰ | ۹۳۵ | ۱۱۳۰ | ۱۱۵۵ | ۱۰۴۵ | ۹۲۰ | ۷۸۰ | ۵۷۰ |

جدول ۴-۲: جدول شرایط محیطی آزمایش سوم

باز هم مثل آزمایش قبل و بر طبق آنچه انتظارش را داشتیم رسیدن به دمای ۶۰ درجه در ساعت ۱۳ اتفاق افتاده و بدلیل اتلاف کم تر حرارت از لوله جاذب در مقایسه با آزمایش قبل تولید آبگرم ۶۰ درجه مقدار قابل قبولی پیدا کرده که در نمودار شکل ۴-۱۴ به تصویر کشیده شده است.



شکل ۴-۱۴: نمودار حجم آب جایگزین شده به لیتر در آزمایش سوم

#### ۴-۵- نتیجه گیری از آزمایش ها

همانطور که در نتایج مشاهده و هم چنین قابل پیش بینی نیز بوده، با افزایش دمایی که بعنوان خروجی نهایی از آبگرمکن خورشیدی مورد انتظار بوده، توان تولید ابگرم کاهش یافته، اما رابطه بین این دو متغیر خطی نبوده، که این امری خلاف تصور نمایان می شد (البته دلیل آن تا حدی واضح بوده، زیرا بدلیل عدم وجود کاور شیشه ای بدور جاذب در نمونه ی ساخته شده، تلفات بصورت تصاعدی در دماهای بالا رشد داشته).

البته باید اعتراف کرد که این میزان تلفات بالا از تصور اولیه در هنگام ساخت نمونه بوده و اگر حدسی به مقدار مرتبه بالای آن حتی در دماهای پایین آب تولیدی می شد، حتی الامکان از حداقل پوشش شیشه ای موجود، (لوله ای شیشه ای ساده بدون خلاء در اطراف جاذب حتی با وجود افت اپتیکی آن) بهره برده می شد.

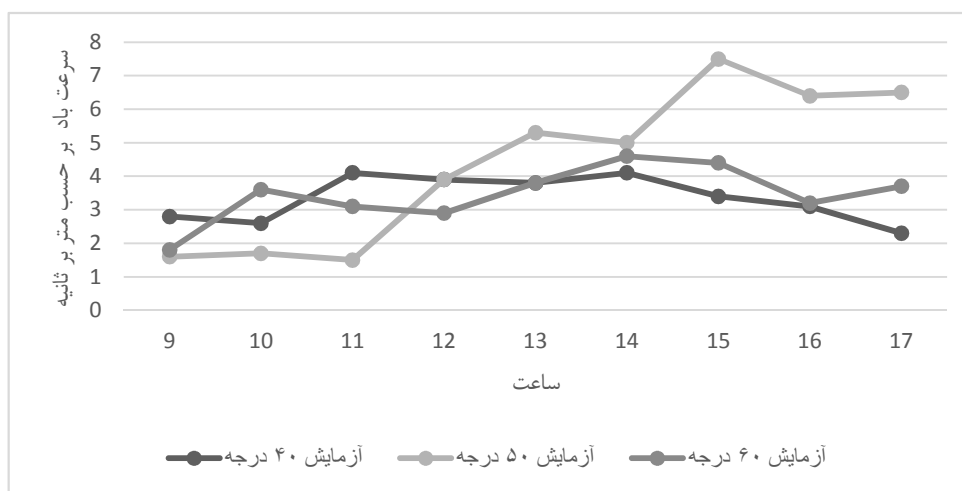
حال قبل از پرداختن به نتایج تئوری و مقایسه آن با داده های تجربی نحوه ی محاسبات جهت بدست آوردن بازده تئوری و مقدار آب جبرانی از این روش در زیر بیان می شود.

ابتدا سعی شد با توجه اپتیکی موجود در فصل دوم مقدار تابش در محل جغرافیایی مورد نظر به دست آمده و سپس این مقدار تابش جهت محاسبه بازده تئوری حرارتی مورد استفاده قرار گیرد، با این عمل این دو روش تئوری و عملی در محاسبه ی بازده و مقدار آب خروجی کاملاً از هم مجزا می شد. شاید در وهله اول این امر خوب بنظر برسد اما باید رویکرد تحقیق که استفاده کاربردی از نتایج آن است را مد نظر قرار می دادیم، زیرا محاسبه تابش بصورت صرفاً تئوری شرایط محیطی و آب و هوایی را، از جمله وجود گرد و غبار و آلاینده های صنعتی و هوای گهگاه ابری محل تست را شامل نمی شد. به همین خاطر با مبنا قرار دادن تابش های برداشت شده در محل بر روی دهانه ی نمونه را جهت داده اولیه محاسبات راندمان تئوری و عملی قرار داده.

در محاسبه راندمان تئوری همانطور که پیش تر در روابط ۳-۳ و ۴-۳ بیان شده ابتدا با توجه به نمودار سرعت باد در هر ساعت که اصلی ترین پارامتر تاثیرگذار در محاسبه  $U_{Loss}$  بوده مقدار این ترم در هر ساعت از روز محاسبه شده، سپس  $F_R$  نیز در همان ساعات از روابط فصل دوم با توجه به ثوابت دبی و  $U_{Loss}$  و خواص حرارتی آب در دمای اولیه محاسبه می شود، حال با این دو پارامتر و ثوابت  $\eta_{opt}$  و  $C_R$  می توان ضرایب ثابت  $C_1$  و  $C_2$  را در هر ساعت محاسبه کرد که با داشتن دمای آب ورودی به جاذب (در اولین تست ثابت و برابر ۱۵ درجه بوده) می توان در هر ساعت بازده تئوری را محاسبه کرد، سپس با داشتن این بازده و ضرب در مقدار تابش ثبت شده در این ساعت و مقدار سطح دهانه کلکتور (۲ متر مربع) می توان مقدار حرارت مفید انتقال داده شده به آب را در این ساعت از روز سنجید، سپس با توجه به حجم ثابت ۶۰ لیتری مخزن دمای نهایی آب پس از طی این ساعت از روز بدست می آید که بعنوان داده دمای آب برای محاسبه بازده و دمای اولیه در ساعت بعدی بکار می رود، این روند محاسبات در هر ساعت ادامه می یابد تا این که دما به مقدار ثابت فرض مسئله (۵۰،۴۰ یا ۶۰) برسد، از آن پس بجای بدست آوردن مقدار افزایش دما مخزن از روی گرمای دریافتی، به محاسبه حجمی از آب پرداخته که می تواند با گرفتن این مقدار گرما از دمای اولیه شروع ۱۵ درجه به هر یک از دماهای از پیش تعیین شده (۵۰،۴۰ یا ۶۰) برسد. در محاسبه بازده عملی با داشتن

دمای اولیه و نهایی مخزن در هر ساعت مقدار گرمای داده شده به آب در آن ساعت محاسبه که نسبت آن با تمام گرمای جذب شده که سنجیده می شد برابر بازده عملی آن ساعت بوده.

اگر بخواهیم بعنوان جمع بندی کارهای صورت گرفته، رابطه ی بازده را با هر یک از پارامترهای سرعت هوا و میزان تابش بررسی کنیم، امکان آن در مورد پارامتر سرعت هوا تقریباً وجود ندارد زیرا پروفیل سرعت هوا در تمامی نمودارهای تست ها با هم اختلاف دارد (شکل ۴-۱۵).



شکل ۴-۱۵: نمودار سرعت باد محیط بر حسب متر بر ثانیه در سه آزمایش

اما در مورد پارامتر تابش با توجه به هم خوانی این پروفیل ها این امکان وجود دارد (شکل ۴-۱۶).

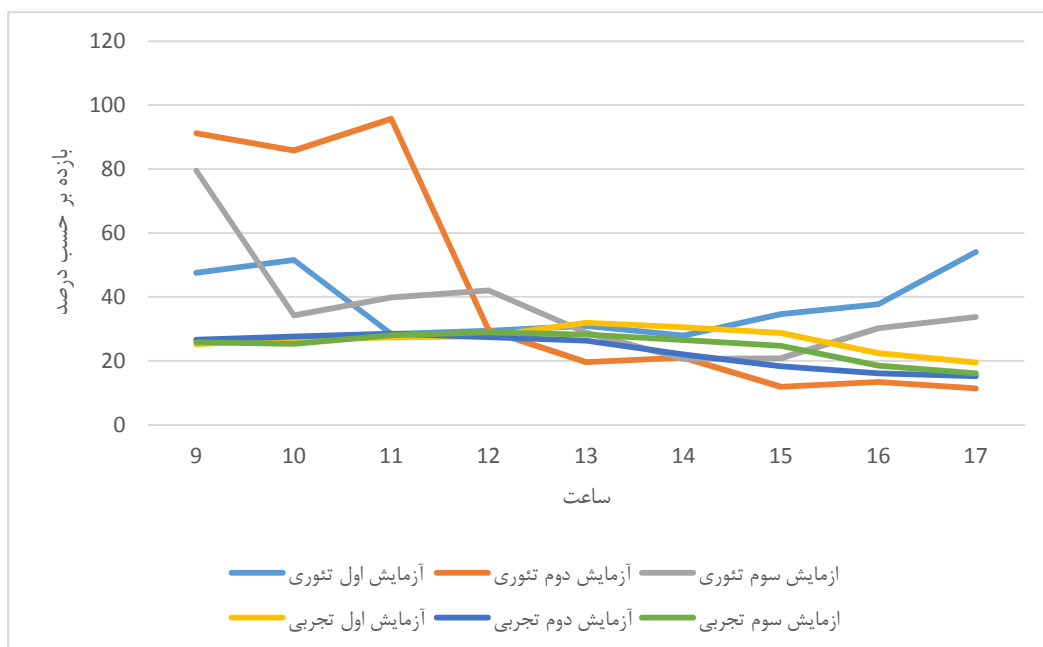


شکل ۴-۱۶: نمودار تشعشع خورشیدی بر حسب وات بر متر مربع در سه آزمایش

در نمودار بالا به غیر از آزمایش اول که در ساعت ۱۵ بدلیل ایجاد شرایط ابری افت تشعشع داریم، در سایر نمودارها بدلیل قرار گیری روزها پشت سر هم، تابش تقریباً یکی شده (طبق تئوری هم همین انتظار را داشته).

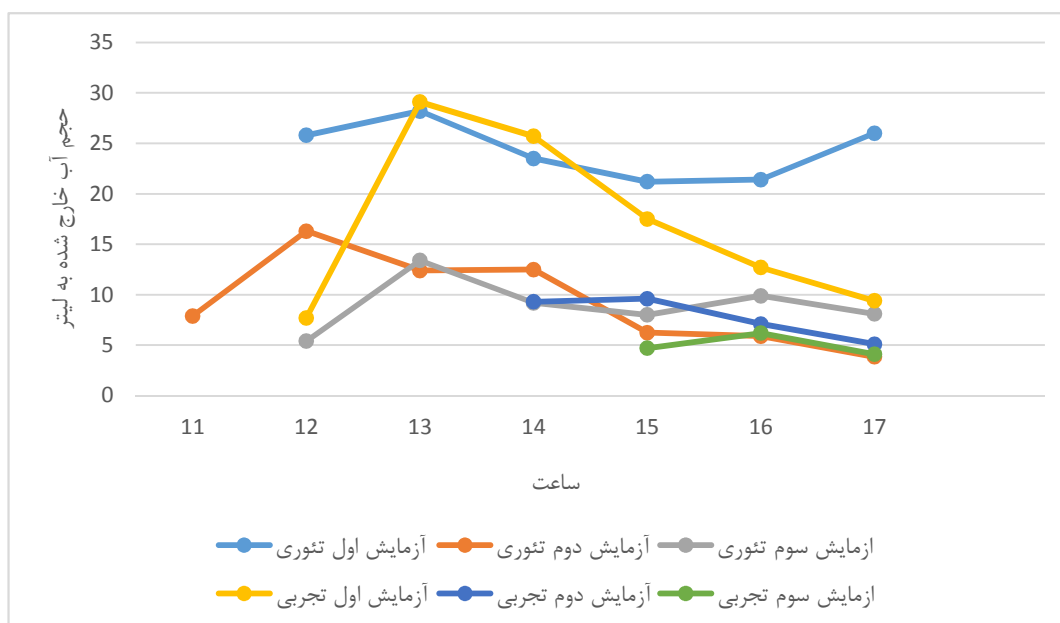
اختلاف های موجود را می توان ناشی از خطای اندازه گیری و آلوده گی متفاوت هوا در روزهای تست دانست.

حال می توان مهم ترین نمودار این فصل را که مقایسه بازده تئوری و تجربی در سه آزمایش بوده را بر اساس ساعت روز در شکل (۴-۱۷) رسم کرد.



شکل ۴-۱۷: نمودار بازده ی تئوری و تجربی در سه آزمایش

جهت مقایسه راحت تر می توان سه نمودار حجم خروجی ابگرم را در نمودار شکل ۴-۱۸ بصورت یکجا داشت.



شکل ۴-۱۸: نمودار حجم آب جایگزین شده در حالت تئوری و تجربی بر حسب لیتر در سه آزمایش همانطور که در نمودار بالا مشهود است، مقدار حجم آب خروجی در ساعات پایان روز در نمودار آب ۶۰ درجه نسبت به ۵۰ درجه در حالت تئوری افزایش یافته (اما در حالت تجربی افزایشی نداشته و به هم نزدیک شده)، همچنین این نتیجه بر خلاف نتیجه ی مقایسه ی بین آزمایش های ۴۰ و ۵۰ درجه در حالت تئوری بوده و دلیل آن را می توان تاثیر شرایط مساعد جوی در این آزمایش ۶۰ درجه دانست، اما در عمل این مقدار تاثیر ذکر شده در حالت تئوری رد شده.

ضمناً در آزمایش اول در ساعت ۱۷ مقدار آب تولیدی در حالت تئوری افزایش یافته که بر خلاف سایر نمودارهای موجود در شکل بوده و می توان دلیل آن را خطای محاسبه بازده در انتهای روز دانست. این خطای محاسبه بازده در حالت تئوری فقط در آزمایش اول نبوده و اگر به سایر نمودارهای تئوری در شکل ۴-۱۷ دقت کرده و آنها را با حالت تجربی آن مقایسه کنیم، خواهیم دید که خصوصاً در ابتدا و انتها روز اختلاف محاسبات بالا بوده که دلیل عمده آن را می توان خطای بالای رابطه ی محاسبه ی راندمان (بدلیل داشتن تابع نمایی نپر در آن) در سرعت های وزش باد با سرعت بالا و علل خصوص در باد با سرعت پایین دانست، بطوریکه در سرعت های باد کمتر از یک متر این خطای بالا،

راندمان را بالاتر از مقدار واقعی آن و نزدیک و حتی بیشتر از یک تخمین زده و در سرعت های بالای ۵ متر بر ثانیه مقدار بازده را بسیار کمتر تخمین می زند. ضمناً عدم در نظر گرفته شدن زاویه بسیار تند پرتوهای تابیده با دهانه ورودی در مواقع ابتدا و انتهای روز و در سایه ماندن بخش اعظم کلکتور در این زمان ها، در رابطه ی محاسبات تئوری دیده نشده است که این خود خطای زیادی در مورد محاسبه ی راندمان تئوری ایجاد کرده.

حال بعنوان جمع بندی می توان تطابق داده های تئوری و تجربی را در بازه ی ساعتی ۱۲ تا ۱۵ مناسب دانسته، بر طبق این نتایج با درخواست آب خروجی با دمای بالاتر از سیستم بازده ی آن به مقدار کمی کاهش یافته، اما در مورد حجم آب تولیدی گرم، این کاهش شدت بیشتری یافته. چون حجم آب تولیدی در کنار راندمان مناسب از جمله اهداف طراحی این سیستم بوده، بنابراین ما داده های آزمایش اول را مبنای محاسبات فصل بعد قرار داده. همچنین حجم آب تولیدی در این دما بالا بوده و طبق تست ها چیزی حدود ۱۰۲ لیتر (طبق تئوری ۱۴۵ لیتر) در روز بوده.



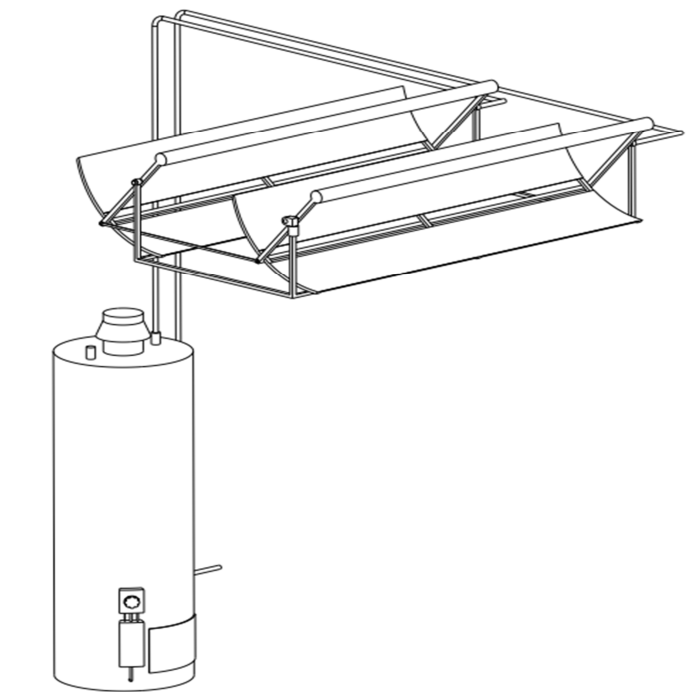
## فصل ۵ : بررسی فنی و اقتصادی نمونه پیریدی و نتیجه گیری

## ۵-۱- مقدمه

کشور ایران از طرفی با توجه به داشتن ذخایر عظیم گازی و از طرفی بدلیل قرار گیری در نزدیکی مدار رأس السرطان و داشتن شرایط نیمه خشک، در ناحیه ای پر تابش و پر از ذخایر هیدروکربنی در زمین قرار گرفته است، این عوامل ایران را ناحیه ای مستعد برای سیستم های هیبرید گاز و خورشیدی قرار داده است.

ترکیب این سیستم ها عموماً به عنوان بخشی از سیکل تولید بخار در نیروگاه های حرارتی مورد بهره برداری قرار گرفته است و در ایران هم در ساختار نیمه صنعتی طرح نیروگاه ۲۵۰ کیلووات سهموی - خطی شیراز که راه اندازی اولیه شده، نمونه ای از این کاربردهاست.

با نتیجه گیری که از داده های نمونه تجربی ساخته شده در فصل قبل داشته، به این نتیجه رسیدم که تولید آبگرم دما پایین در بخش خورشیدی، به جهت ذخیره سازی و گرمتر شدن در بخش گازی سیستم را می توان بعنوان وظیفه ی اصلی بخش خورشیدی سیستم دانست (شکل ۵-۱).



شکل ۵-۱: نحوه عملکرد نمونه تجاری بصورت هیبریدی

ما در طرح خود بدنبال اجرایی سازی این ترکیب انرژی های خورشیدی و گازی در مقیاس خانگی بوده ایم. در این فصل ابتدا به بررسی اقتصادی نمونه هیبریدی آبگرمکن سهموی - خطی با گاز طبیعی پرداخته و در ادامه ی فصل خلاصه ای از نتایج به دست آمده در این پایان نامه ارائه می گردد و در نهایت موضوعاتی جدید و مکمل در راستای موضوع پایان نامه، پیشنهاد می گردد.

مکانیزم عملکرد در نمونه تجاری این نوع از آبگرمکن ها به این نحوه است که، ترموستاتی وابسته به دمای آب درون لوله های جاذب بر روی هدر تغذیه آب این لوله ها نصب شده که دمای تنظیم این ترموستات بر روی هر یک از دماهای تنظیمی مورد نیاز (در این مسئله ۴۰ درجه) بوده و با رسیدن به این دمای تنظیمی، فرمانی به شیر برقی NC نصب شده روی هدر خروجی آب از جاذب ها و پمپ سیستم صادر و باعث شده این شیر باز و آب درون لوله های جاذب بالا به آب مخزن آبگرمکن ایستاده ی درون خانه تخلیه می شود. این عمل استفاده از مخزن آبگرمکن ایستاده بعنوان مخزن مشترک، به چند دلیل صورت گرفته که در زیر بیان می شود:

۱- از مخزن آبگرمکن ایستاده هم بعنوان مخزن مشترک بهره و در هزینه های ساخت صرفه جویی گردد.

۲- از تلفات زیاد و نیاز به عایق بندی بالای مخزن سیستم هایی که بر روی پشت بام نصب شده جلوگیری کرده و ضمناً بار مرده ی روی سقف ساختمان را نیز کاهش دهیم.

۳- از ناپایداری سازه آبگرمکن های خورشیدی مرسوم که بدلیل نصب مخزن در ارتفاعی بالاتر از پشت بام، مرکز ثقل سازه را به نقطه ی بالای آبگرمکن برده جلوگیری بعمل می آید.

۴- قانون منع وجود انشعاب گاز در بالای پشت بام، مانع ساخت نمونه هیبریدی ما نمی شود.

## ۵-۲- فرضیات مسئله

مقایسه ی اقتصادی این فصل بین استفاده از این نوع از آبگرمکن های خورشیدی هیبرید با گاز طبیعی با آبگرمکن های گازی تجاری بدون کلکتور خورشیدی صورت می گیرد.

اولین فرض در مسئله کاربرد این سیستم برای یک خانوار ۴ نفره معمولی است. پیدا کردن سایر فرضیات مسئله از روی استاندارد ملی ۱۲۱۹-۲ صورت گرفته است [۴۵].

این استاندارد که برای تست آبگرمکن های مخزن دار تدوین شده است، با مبنا قراردادن آبگرمکنی ایده آل بنام آبگرمکن مبنا، سایر محصولات را با آن قیاس کرده.

آبگرمکنی مبنا نامیده شده که بازدهی حرارتی آن برابر ۷۰ درصد فرض و مقدار گاز مصرفی اسمی آن ۳۰ مگاژول در هر ساعت است، حجم مخزن آب این آبگرمکن ۱۴۰ لیتر و نرخ مصرف انرژی جبرانی آن ۱/۱۴ مگاژول بر ساعت خواهد بود [۴۵].

منظور از مصرف انرژی جبرانی مقدار انرژی بوده که باعث جبران تلفاتی شده که در تولید حرارت برای گرمایش مؤثر نبوده و شامل تلفات حرارتی دیواره مخزن در طول سال، میزان گاز مصرفی پیلوت و مقدار گاز مصرفی در ۱۹ بار استارت روزانه آبگرمکن در طول سال بوده [۴۵].

درصد صرفه جویی حاصل از سایر آبگرمکن ها  $Q_S$  از رابطه ۵-۱ زیر محاسبه شده است :

$$Q_S = \frac{E_o - E_e}{E_e} \times 100, E_o = 28900 Mj \quad (۱-۵)$$

$E_o$  مقدار انرژی مصرف شده برای گرمایش آب آبگرمکن مبنا و  $E_e$  مقدار مصرف انرژی سالیانه آبگرمکن مورد نظر از طریق اندازه گیری و محاسبه در طول یک سال است، این مقدار بر حسب مگاژول برای گرم کردن روزانه ۲۰۰ لیتر آب با افزایش دمای ۴۵ درجه متناسب با بازده آبگرمکن مورد نظر است [۴۵].

بر طبق این نتایج برای آبگرمکنی با  $Q_S$  معین می توان به قرار جدول ۵-۱، رده ی برچسب انرژی تعیین کرد:

جدول ۵-۱: رده بندی برچسب انرژی آبگرمکن گازی مخزن دار

| درصد صرفه جویی $Q_S$ | رده ی انرژی |
|----------------------|-------------|
| $Q_S > 35$           | <b>A</b>    |
| $29 < Q_S \leq 35$   | <b>B</b>    |
| $23 < Q_S \leq 29$   | <b>C</b>    |
| $17 < Q_S \leq 23$   | <b>D</b>    |
| $11 < Q_S \leq 17$   | <b>E</b>    |
| $5 < Q_S \leq 11$    | <b>F</b>    |
| $0 < Q_S \leq 5$     | <b>G</b>    |

آبگرمکن های گازسوز مخزنی تولید کشور عمدتاً دارای بازدهی بسیار پایین و مصرف انرژی بالایی هستند. بر مبنای این استاندارد ملی ایران هیچ یک از این آبگرمکن ها در عمل نتوانستند دارای رده انرژی باشند [۴۶].

در مورد نمونه های خارجی نیز با بررسی، مشخص شده که بعنوان مثال بازدهی حرارتی محفظه احتراق آبگرمکن یونیکال که یک آبگرمکن ایتالیایی و با فناوری جدید است، ۸۲/۵ درصد است. این آبگرمکن با ۵/۵ درصد صرفه جویی در مصرف سالانه گاز، رده انرژی F را به خود اختصاص داده است [۴۶].

عامل اصلی پایین تر از انتظار بودن رده انرژی آبگرمکن پیشرفته ایتالیایی تست شده آن است که در استاندارد اروپا، برای مصرف انرژی در حالت آماده بکار معیاری وجود ندارد و تنها به بازدهی گرمایش آب در هنگام روشن بودن مشعل و گرم شدن آب از دمای سرد تا دمای گرم نهایی توجه شده است، در حالی که در استاندارد ملی ۲-۱۲۱۹ (برگرفته از استاندارد سخت گیرانه ی استرالیایی AS 4552)، آزمون مصرف انرژی حالت آماده بکار طی یک فرآیند آزمون با حداقل ۷۲ ساعت زمان بدست آمده و همانطور که بیان شد این تست مسئله اتلاف جبرانی را مورد اندازه گیری قرار می دهد [۴۶].

در ادامه به عنوان نمونه مورد مطالعه یکی از آبگرمکن های تولید داخل برای افزایش بازده بویسیله ی کوپل با سیستم ما مورد مطالعه قرار گرفته تا بصورت تئوری مورد تحلیل فنی و اقتصادی قرار گیرد.

این نمونه قبل از اعمال اصلاحات، دارای راندمان حرارتی ۶۷ درصد در محفظه احتراق بوده، درصد صرفه جویی  $Q_s$  آن ۴۸- درصد است. منفی بودن بازده به این معنی است که راندمان ۴۸ درصد کمتر از آبگرمکن مبنا است، بنابراین برچسب انرژی به این آبگرمکن تعلق نمی گیرد و مطابق استاندارد ملی ۱۲۱۹-۲ مردود بوده.

ابتدا بر طبق رابطه ۵-۱ محاسبه ی میزان  $E_e$  برای این آبگرمکن مقدار ۴۲۷۷۲ مگاژول حساب شده، طبق استاندارد از این مقدار انرژی، مقدار ۲۰۵۲۳ مگاژول مربوط به ترم تولید ۲۰۰ لیتر آبگرم با اختلاف دمای ۴۵ درجه بوده که از رابطه زیر محاسبه می شود ( $C_p = 4.186$ ).

$$W_D = \frac{V_D \times \Delta T \times C_p}{1000} \times 365 = Mj \quad (۲-۵)$$

و مقدار ۲۲۲۴۹ مگاژول باقیمانده مربوط به ترم اتلاف جبرانی در زمان خاموشی برنر اصلی و انتقال حرارت همرفتی از مخزن بوده.

برای رفع این میزان تلفات بالا می توان راهکارهایی مانند عایق بندی یا قرار دادن آبگرم کن در محیطی با دمای بالا را پیشنهاد داد که در جای خود نیاز به امکان سنجی و بررسی دارد ولی راهکاری که ما در این فصل پیشنهاد می دهیم تامین مقداری از این انرژی یا مقداری از تولید ۲۰۰ لیتر روزانه بویسیله ی آبگرم خورشیدی در دمای پایین است. با اینکه بخش اعظم تولید این آبگرم در ظهر و بعداز ظهر، در ساعات بین ۱۰ تا ۱۶ اتفاق می افتد (طبق نتایج تست نمونه) که برخلاف پیک مصرف آبگرم بهداشتی ابتدای روز است، اما از آن می توان برای استفاده مستقیم بعنوان آبگرم مصرفی خانوار در روشورها و یا در صورت نیاز به گرمتر شدن برای استحمام، بعنوان دمای ورودی به مخزن آبگرمکن گازی ایستاده مورد استفاده قرار داد.

در فصل چهارم دیدم که با دهانه کلکتور ۲ متر مربعی، می توان در تابش یک روز آفتابی در ۳۰ اردیبهشت ماه، حدود ۱۰۰ لیتر آب را از دمای ۱۹ درجه (که نزدیک به دمای آب لوله کشی شهری ۱۵ درجه که در استاندارد فرض شده است) به دمای ۴۰ درجه با راندمان نسبتاً ثابت ۲۹ درصد برساند. حال ما در نمونه تجاری مطابق شکل ۵-۱ سطح کلکتور را دو برابر یعنی ۴ متر مربع با دو عدد کلکتور فرض می کنیم.

ما برای بدست آوردن بازده از روابط تئوری بهره برده که با داده های تجربی فصل چهارم تطابق قابل قبولی داشت. بر این اساس با مبنا قرار دادن داده های هواشناسی که از بخش هواشناسی سازمان های زیر مجموعه ی ناسا در مورد میانگین مقدار مجموع تابش روزانه بر واحد سطح، دما و میزان سرعت باد متوسط در هر ماه در مورد شهر تهران اخذ شده [۴۷]، بازده ی بخش خورشیدی سیستم را در هر ماه میلادی بدست آورده و با ضرب آن در مقدار مجموع تابش روزانه و سطح کلکتور می توان مقدار کل انرژی قابل استحصال از بخش خورشیدی را بدست آورد، این مقادیر بصورت خلاصه شده در جدول ۵-۲ آمده است.

حال با تبدیل این میزان حرارت خورشیدی بر حسب مگاژول و کسر آن از کل حرارت خواهیم داشت:

$$A_0 = 42772 - (1563.6 \times 3.6) \cong 37143$$

حال با جاگذاری این مقدار جدید در رابطه ی  $Q_S$  مقدار کماکان هم منفی بوده و بر اساس آن هنوز نمی تواند برچسب انرژی تدوین می شود، ولی از مقدار ۴۸- به مقدار ۲۲- تقلیل پیدا کرده است، میزان گاز صرفه جویی شده از این تغییر از رابطه زیر و با توجه به انرژی حرارتی گاز مصرفی محاسبه می گردد [۴۶]:

$$V_a = \frac{A_e(Mj)}{37.78 (Mj)} = m^3 \quad (۳-۵)$$

در این رابطه عدد ۳۷/۷۸ مقدار ارزش حرارتی گاز خشک در دمای ۱۵ درجه و در فشار یک اتمسفر می باشد [۴۶]. بنابراین مصرف گاز این آبگرمکن از مقدار ۱۱۳۲ متر مکعب در سال به ۹۸۳ متر

مکعب (یعنی کاهش ۱۴۹ مترمکعبی) رسیده و این یعنی کاهش ۱۳ درصدی در مقدار گاز مصرفی این آبگرمکن ها.

جدول ۵-۲: شرایط جوی تهران و مقدار حرارت تولیدی سالیانه در بخش خورشیدی آبگرمکن

|                           | Air temperature (°C) | Daily solar radiation (kWh/m <sup>2</sup> /d) | Wind speed (m/s) | Efficiency (%) | Daily solar Heating (kWh) |
|---------------------------|----------------------|-----------------------------------------------|------------------|----------------|---------------------------|
| January                   | 6.1                  | 2.73                                          | 3.8              | 16.86          | 57.06                     |
| February                  | 8.9                  | 3.62                                          | 4.2              | 19.32          | 78.34                     |
| March                     | 13.5                 | 4.50                                          | 4.7              | 19.95          | 111.3                     |
| April                     | 18.2                 | 5.51                                          | 4.7              | 22.47          | 148.5                     |
| May                       | 22.3                 | 6.39                                          | 4.8              | 23.41          | 185.5                     |
| June                      | 28.4                 | 7.35                                          | 5.3              | 22.32          | 196.8                     |
| July                      | 31.6                 | 7.04                                          | 5.8              | 20.76          | 181.3                     |
| August                    | 29.3                 | 6.56                                          | 5.6              | 21.11          | 171.7                     |
| September                 | 27.4                 | 5.64                                          | 4.6              | 25.88          | 175.1                     |
| October                   | 18.5                 | 4.05                                          | 4.0              | 26.15          | 131.3                     |
| November                  | 12.5                 | 2.94                                          | 3.6              | 23.87          | 84.22                     |
| December                  | 5                    | 2.38                                          | 3.7              | 14.32          | 42.26                     |
| Total solar heating (kWh) |                      |                                               |                  |                | 1563.6                    |

همچنین بازده حرارتی کلی این سیستم قبل از کوپل، چیزی حدود ۴۸ درصد بوده که بعد از استفاده از این روش بازده کلی به ۵۵/۲ ارتقاء یافته (معادل ۷/۲ درصد) که با توجه به جدول ۵-۳ که در آن بازده ی وسایل گازسوز ذکر شده، مقداربالایی در بین آبگرمکن های گازی ایستاده به حساب می آید.

جدول ۵-۳: رده بندی بازده ی وسایل گازسوز خانگی [۴۸]

| رتبه | نوع سیستم گازسوز        | محدوده ی راندمان (%) | استاندارد ملی تدوین شده               |
|------|-------------------------|----------------------|---------------------------------------|
| ۱    | پکیج شوفاژ دیواری       | ۸۵ تا ۹۵             | تدوین نشده است                        |
| ۲    | آبگرمکن فوری دیواری     | ۷۵ تا ۸۵             | الزامی است و اکثرا اجرا می شود        |
| ۳    | بخاری گازی دودکش        | ۴۵ تا ۷۵             | الزامی است ولی بطور کامل اجرا نمی شود |
| ۴    | حرارت مرکزی (موتورخانه) | ۴۵ تا ۵۵             | تدوین نشده و شاید غیر ممکن باشد       |
| ۵    | آبگرمکن مخزن دار        | ۴۵ تا ۵۵             | الزامی است ولی اصلا اجرا نمی شود      |
| ۶    | شومینه                  | ۳۵ تا ۴۰             | تدوین نشده و شاید غیر ممکن باشد       |

همان طور که در جدول بالا ملاحظه می شود، این نوع از وسایل گاز سوز راندمان پایینی در بین سایر وسایل گازسوز دارند و لزوم اصلاح بازده این نوع از آبگرمکن ها و یا تعویض آنها با نمونه های خورشیدی و یا فوری دیواری موجود که راندمان بالاتری داشته، ضروری می نماید.

### ۵-۳- صرفه جویی های اقتصادی طرح

از آنجاییکه که هزینه قبوض گاز مصرفی بصورت پلکانی محاسبه می شود و این صرفه جویی از پلکان آخر مصرف کسر شده، ابتدا باید تخمینی از کل مصرف گاز یک خانوار در طول سال بدست آورد. چون ۲۳ درصد گاز مصرفی در منزل صرف تأمین آبگرم، ۷۰ درصد سهم گرمایش منزل و ۷ درصد سهم پخت و پز شده [۴۸]. با یک تناسب ساده مقدار کل مصرف گاز سالانه چیزی حدود ۴۹۲۲ متر مکعب در سال برآورد می شود، حال با توجه به اینکه اکثر این مصرف ۷۰ درصدی گاز جهت گرمایش در ۵ ماه سرد سال اتفاق افتاده که در آن نرخ هر متر مکعب گاز در قبض متفاوت با ۷ ماه گرم سال بوده، ما به جهت سادگی ۷۰ درصد مصرف را بر ۵ ماه سرد سال و ۳۰ درصد باقی را بر ۷ ماه گرم سال تقسیم بندی کرده تا میزان مصرف ماه های سرد و گرم بصورت جداگانه شود.

این مقدار برای ماه های گرم ۲۱۱ متر مکعب و برای ماه های سرد ۶۸۹ در ماه حساب می شود. با توجه به نرخ نامه بها گاز در سال ۹۶ و قرارگیری شهر تهران در اقلیم سوم [۴۹]، مقدار بهای گازی برای ماه سرد به دلیل قرار گرفتن در پله ی ششم مصرف ۲۲۰ تومان به ازای هر متر مکعب و برای ماه های گرم بدلیل قرارگیری در پله ی پنجم، ۲۵۷ تومان خواهد شد.

با اعمال این نرخ ها، مقدار بهای گاز سالیانه خانوار ۱۱۳۷۵۰۰ تومان شده، از این مقدار بصورت دقیق  $\frac{1}{3}$  هزینه، مربوط به ماه های گرم سال و  $\frac{2}{3}$  هزینه ها مربوط به ماه های سرد است.

از آنجائیکه اهم کارایی سیستم خورشیدی ما در ۷ ماه گرم سال بوده، پس ما ۱۴۵ متر مکعب صرفه جویی را بر روی ماه های گرم سال سرشکن کرده که باعث شده متوسط مصرف هر ماه گرم به ۱۹۰ متر مکعب در ماه کاهش یابد و برابر با نرخ نامه ماه های گرم، از پله پنجم به چهارم تنزل کرده [۴۹] و نرخ هر متر مکعب ۲۱۱ تومان شود. حال ۱۹۰ را در تعداد ماه (۷ ماه) و در نرخ ۲۱۱ به ازای هر متر مکعب ضرب می کنیم و بار رقم بهای گاز مصرفی ماه های سرد جمع می کنیم، مبلغ کل این بار ۱۰۳۹۵۰۰ تومان شده که صرفه جویی معادل ۹۸ هزار تومان سالانه و برابر با ۸.۶ درصد از هزینه کل را به همراه داشته.

اگر متوسط هزینه ی ساخت بخش خورشیدی را چیزی در حدود ۱۲۰۰۰۰۰ تومان در تولید نیمه صنعتی آن دانست (این عدد با توجه به قیمت نمونه ساخته شده و با نسبتی از آن در تولید عمده محصول حاصل شده)، می توان بازگشت سرمایه ای ۱۲ ساله را از محل صرفه جویی در گاز مصرفی خانوار برای این طرح متصور شد که در وضعیت کنونی شرایط اقتصادی ایران و با توجه به نرخ تورم و نرخ بهره بانکی، سرمایه گذاری در آن امری غیر منطقی قلمداد شده، مگر اینکه دولت در آینده، در نرخ گاز بهاء تجدید نظر نماید، که این امر هم با توجه به ذخایر عظیم گازی موجود در ایران، امری بسیار بعید بنظر می رسد.

## ۵-۴- بحث، نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این پایان‌نامه به بررسی تجربی و آزمایشگاهی دستگاه آبگرمکن خورشیدی سهموی - خطی پرداخته شد. معادلات اپتیکی، حرارت و سیالاتی حاکم بر این نمونه تجربی مطرح و با توجه به شرایط محیطی تست نمونه و ضرایب مواد بکار رفته در ساخت نمونه، ساده سازی شده و سپس به کمک داده های تجربی برداشت شده در هنگام تست نمونه، برای محاسبه ی بازده تئوری دستگاه حل شد. سپس اثر کمیت‌های مختلفی نظیر میزان تولید آبگرم در روز و ساعت، تأثیر مقدار تابش بر روی بازده تئوری و تجربی، تأثیر مقدار برداشت آبگرم بر روی بازده تئوری و تجربی و ... مورد بررسی قرار گرفت.

از مهم‌ترین نتایج و دستاوردهای این پایان‌نامه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

امکان استفاده از آبگرمکن سهموی - خطی در مقیاس خانگی بررسی شد. اگر از آن بصورت هیبرید با آبگرمکن های مخزنی موجود در داخل خانه بهره برده شود، بازده کلی آبگرمکن گازی را به میزان  $7/2$  درصد ارتقاء داده شده و معادل  $13$  درصد در مقدار گاز مصرفی این نوع از آبگرمکن ها صرفه جویی ایجاد می شود، ضمناً این ترکیب، باعث کاهش  $8/6$  درصدی میزان بهاء گاز مصرفی یک خانوار  $4$  نفره در ایران شده، که بازگشت سرمایه ای  $12$  ساله را برای طرح می توان متصور شد. بعنوان پیشنهاد جهت ارتقاء تحقیق پیشنهاد می شود که در جهت بررسی تأثیر دبی سیال روی بازده کلکتور و مقدار آبگرم تولید آن، ارتقاء جاذب به نوع لوله خلاء، زاویه پذیر کردن محور جاذب و قرار دادن آن در زوایای مختلف و همچنین اجراء رفلکتور بصورت فرنل اقداماتی صورت گرفته و نتایج آن مورد بررسی قرار گیرد.

## مراجع

- [1] عزیزیان ک، (۱۳۸۱)، "پایانامه کارشناسی ارشد،" طراحی و ارزیابی بهینه کارایی سیکل روغن و بخار نیروگاه خورشیدی شیراز"، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه شیراز
- [2] بهادری نژاد م، (۱۳۷۶)، "جایگاه انرژی خورشیدی در ایران"، مجله ی مهندسی مکانیک، شماره ۱.
- [3] C.J. Winter, R.L. Sizmann, L.L. Vant-Hull, "Solar power plants", *Springerverlag*, 1991.
- [4] شکیبی ع، (۱۳۸۲)، "آبگرمکن های خورشیدی"، ماهنامه فنی مهندسی تهویه مطبوع، چاپ اول
- [5] H. Tanaka, "Solar thermal collector augmented by flat plate booster reflector: optimum inclination of collector and reflector" *Applied Energy*, 88 , pp. 395-404, 2011.
- [6] M. Smyth, P. Emaes, B. Norton, "Integrated collector storage solar water heaters", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 10, pp. 503-538, 2006.
- [7] C.J. Kalogirou, "Solar energy engineering : processes and systems / Soteris", 1st ed ISBN 978-0-12-374501-9, pp. 503-538, 1991.
- [8] S.A. Kalogirou, "Solar thermal collectors and applications", *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 30, pp. 231–290, 2004.
- [9] M. Pereira, "Design and performance of a novel non-evacuated 1.2x CPC type concentrator", *Proceedings of Intersol Biennial Congress of ISES, Montreal, Canada*, vol. 2, pp. 1199–204, 1985.
- [10] Y. Tripanagnostopoulos, P. Yianoulis, S. Papaefthimiou, "Souliotis M, Nousia Th. Cost effective asymmetric CPC solar collectors", *Renewable Energy*, vol. 16, pp. 628–631, 1999.

- [11] A. Rabl, "Optical and thermal properties of compound parabolic collectors", *Solar Energy*, vol. 18, pp. 497–511, 1976.
- [12] Y. Tripanagnostopoulos, P. Yianoulis, "CPC solar collectors with multichannel absorber" *Solar Energy*, vol. 58(1–3), pp. 49–61, 1996.
- [13] Y. Tripanagnostopoulos, P. Yianoulis, S. Papaefthimiou, S. Zafeiratos, "CPC collectors with flat bifacial absorbers".
- [14] S. Kalogirou, P. Eleftheriou, S. Lloyd, J. Ward, "Design and performance characteristics of a parabolic-trough solar collector system", *Appl Energy*, vol. 47, pp. 341–54, 1994.
- [15] S. P. Sukhatme, "Solar energy: principles of thermal collection and storage", *Tata Mcgrawhill, New Dehli*, second ed., pp. 74-240, 2003.
- [16] V. V. Tyagi, S. C. Kaushik, S. K. Tyagi, "Advancement in solar photovoltaic/thermal (PV/T) hybrid collector technology", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 16, pp. 1383–1398, 2012.
- [17] D. Chemisana, "Building Integrated Concentrating Photovoltaics: A review", *Renewable and Sustainable Energy Review*, Vol. 15, pp. 603–611, 2011.
- [18] A. Fernandez-Garcia, E. Zarza, L. Valenzuela, and M. Pérez, "Parabolic trough solar collectors and their applications," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, pp. 1695-1721, 2010
- [19] A Suzuki, "General theory of exergy-balance analysis and application to solar collectors" *Journal of Energy*, vol. 13, pp. 153-160, 1988.
- [20] C. Yapp, T.H. Khor, and K.C. Ng, "Outdoor testing of evacuated-tube heat-pipe solar collectors," *Institution of Mechanical Engineers*, vol. 214, pp. 23-30, 2000.
- [21] N. Singh, S. Kaushik, and R. Misra, "Exergetic analysis of a solar thermal power system," *Renewable energy*, vol. 19, pp. 135-143, 2000.

[22] یعقوبی م، ورزین افضل م، غلام علی ح، (۱۳۸۱)، "پایانامه کارشناسی ارشد،" ارزیابی و بهینه سازی کلکتور سهموی - خطی نیروگاه خورشیدی شیراز"، هفدهمین کنفرانس بین المللی برق، دانشگاه

شیراز

[23] I. Luminosua, L. Fara, " Determination of the optimal operation mode of a flat solar collector by exergetic analysis and numerical simulation ," *Journal of Energy*, vol. 30, pp. 731-747, 2005.

[24] M. Öztürk, N. Ç. Bezir, and N. Özek, "Optical, energetic and exergetic analyses of parabolic trough collectors," *Chinese Physics Letters*, vol. 24, pp. 1787, 2007.

[25] S. Tyagi, S. Wang, M. Singhal, S. Kaushik, and S. Park, "Exergy analysis and parametric study of concentrating type solar collectors," *International Journal of Thermal Sciences*, vol. 46, pp. 1304-1310, 2007

[26] A. Kahrobaian and H. Malekmohammadi, "Exergy Optimization Applied to Linear Parabolic Solar Collectors," *Journal of Faculty of Engineering*, vol. 42, pp. 131-144, 2008.

[27] H. Mousazadeh, A. Keyhani, A. Javadi, H. Mobli, K. Abrinia, and A. Sharifi, "A review of principle and sun-tracking methods for maximizing solar systems output," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 13, pp. 1800-1818, 2009.

[28] A. Tadahmun Ahmed Yassen, "Experimental and Theoretical Study of a Parabolic Trough Solar Collector," *Anbar Journal for Engineering Sciences*, 2012.

[29] V. S. Reddy, S. Kaushik, and S. Tyagi, "Exergetic analysis and performance evaluation of parabolic trough concentrating solar thermal power plant (PTCSTPP)," *Energy*, vol. 39, pp. 258-273, 2012

[30] S. Peng, H. Hong, H. Jin, and Z. Zhang, "A new rotatable-axis tracking solar parabolic-trough collector for solar-hybrid coal-fired power plants," *Solar Energy*, vol. 98, pp. 492-502, 2013.

[31] R. V. Padilla, A. Fontalvo, G. Demirkaya, A. Martinez, and A. G. Quiroga, "Exergy analysis of parabolic trough solar receiver," *Applied Thermal Engineering*, vol. 67, pp. 579-586, 2014

[32] U. Eiker, 2003. "Solar Technologies for buildings. John Wiley & Sons".

[33] S. A. Kalogirou, 2013. "Solar energy engineering: processes and systems" ,Academic Press.

- [34] J. A. Duffie and W. A. Beckman, "Solar engineering of thermal processes" John Wiley & Sons, 2013
- [35] M. N. Bahadori and M. J. Chamberlain, "A simplification of weather data to evaluate daily and monthly energy needs of residential buildings," *Solar energy*, vol. 36, pp. 4.1986,507-99
- [36] P. Sukhatme, J. K. NayakSolar, "Energy: Principles of Thermal Collection and Storage", 3Edition, ,Publication Date: January 13, 2009.
- [37] A. Rabl, "Active solar collectors and their applications", Oxford University Press, 1985
- [38] J. Holman, "Heat transfer, 1986," *Mc Gran-Hill Book Company, Soythern Methodist University*, 1986
- [39] A. John Duffie, A. William Beckman, "Solar Engineering of Thermal Processes" John Wiley & Sons, 2013.
- [40] F. P. Incropera, "Fundamentals of heat and mass transfer", John Wiley & Sons, 2011
- [41] R. W. Fox, A. T. McDonald, and P. J. Pritchard, "Introduction to fluid mechanics " vol. 5, John Wiley & Sons New York, 1998.
- [42] SHAULONG CHINSOLAR, "REFLECTIVITY AND ABSORPTIVITY STUDIES", Texas Tech University, 1978.
- [43] ISO 9806-1, Test methods for solar collectors, "Part 1: Thermal performance of glazed liquid heating collectors including pressure drop". 1994
- [44] ASHRAE STANDARD, "Methods of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Collectors ",Supersedes ANSI/ASHRAE Standard 93:2003, 93-2010.
- [45] سازمان ملی استاندارد ایران،(۱۳۸۶)، "استاندارد ملی آبگرمکن گازسوز مخزن دار به شماره استاندارد ملی ۱۲۱۹-۲"، <http://isom.isiri.gov.ir/nst>
- [46] واحد پژوهش و فناوری شرکت گاز استان خراسان رضوی، (۱۳۹۳)، "فناوری آبگرمکن های مخزن دار با هدف کاهش مصرف گاز بررسی شد" <http://www.shana.ir/fa>
- [47] <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/retscreen>.

[48] نوفرستی ج ، (۱۳۸۸)، "راه کارهای اصلی اصلاح الگوی مصرف گاز در ساختمان همراه با

پیشنهادهای تکمیلی"، مجله ی اقتصاد انرژی، شماره ۱۲۱. <http://mgd.nigc.ir/Portal/Home>.

[49] <http://mgd.nigc.ir/Portal/Home/>

[50] B. Singh, M. Singh, F. Sulaiman, "Designing a solar thermal cylindrical parabolic trough concentrator by simulation". International Rio 3 congress, World Climate and Energy Event, Rio de Janeiro, 2003.

## **Abstract**

The interest in research to improve the performance of household hot water production has increased with the testing of a variety of solar water heaters in the last few decades. This is due to the obvious importance of studying the efficiency of this type of water heaters in practice as an alternative to conventional electrical and gas samples.

In the meantime, the performance of parabolic-linear collectors as a light absorber in solar water heaters has been neglected due to the generally utilized power of this type of collectors.

In this research, a parabolic-linear collector water heater was designed and constructed and the performance was investigated to generate different temperatures. Then, the economic analysis of this device was considered as a natural gas hybrid as a household hot water producer. The device includes structures, parabolic reflectors, storage tank, water pump, engine detector and tracker controller.

In the present study, the results of the laboratory test using thermal and fluid equations have been investigated and the results show that using this system along with a household tank water heater is saved equivalent to 13% of the amount of gas consumed by this type of water heaters. Meanwhile, with a slight change in the device, such as changing the copper tube with the vacuum tube, the machine's efficiency is increased in various environmental conditions and the device can be used even in commercial applications for household use.

**Keywords:** Parabolic collector - Linear, household tank water heater, Vacuum tube, Motor tracker, Parabolic concentrator



**Faculty of Mechanical and Mechatronics Engineering**

**M.Sc. Thesis in Energy Conversion Engineering**

**Examination the analytical and technical  
and economical using linear parabolic  
collectors for domestic hot water supply  
hybrid with natural gas**

**By: Mohammad Hassan Ghaemi**

**Supervisor:  
Dr. Seyed Majid Hashemiyan**

January 2018