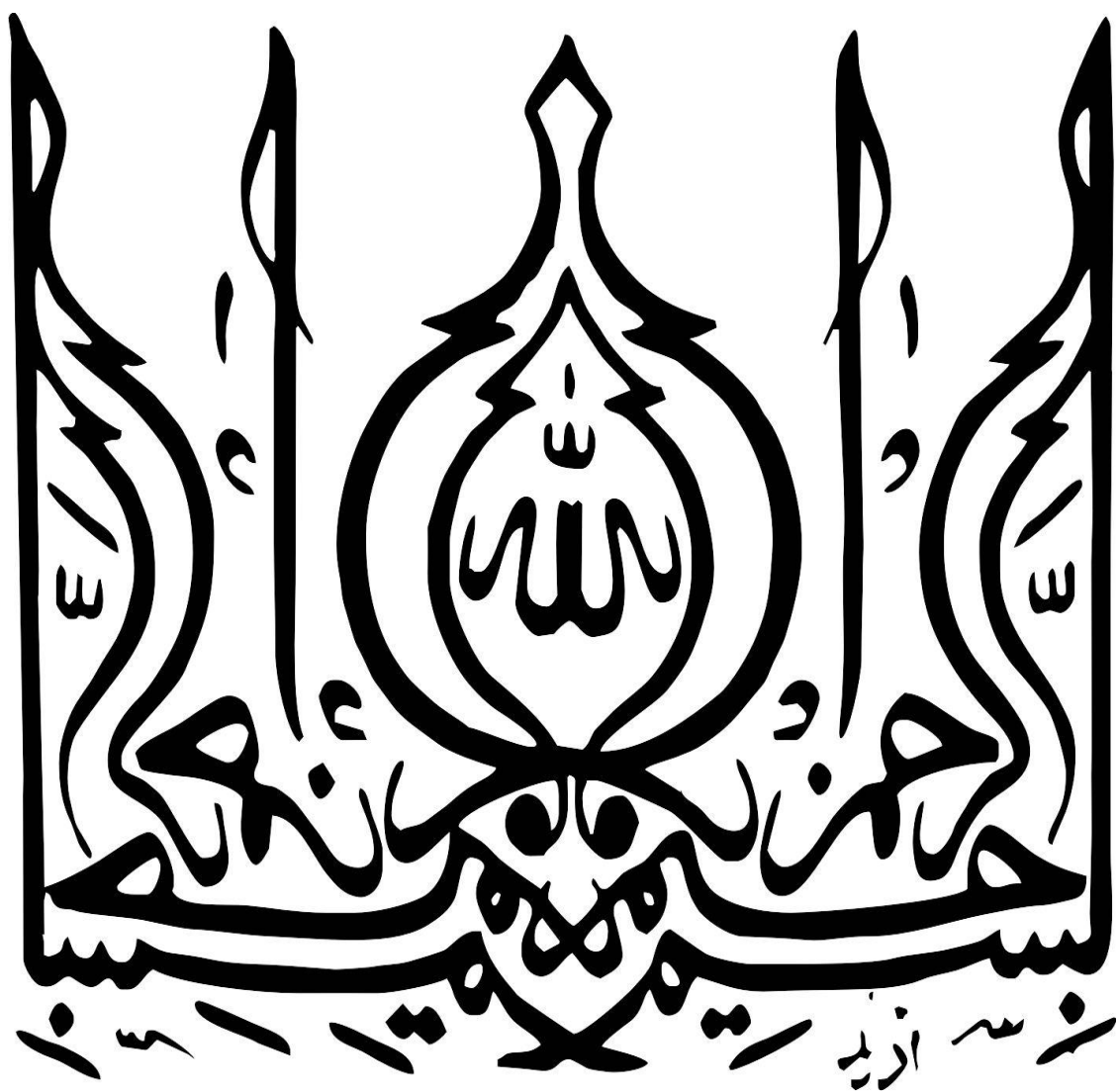






دانشکده مهندسی مکانیک

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی سیستم‌های انرژی

بررسی تأثیر نوع و نحوه توزیع مصرف آب گرم در طول روز بر

جهت‌گیری بهینه صفحه جاذب آبگرمکن خورشیدی

نگارش:

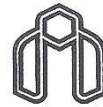
عباس رجبی خانقاهی

اساتید راهنما:

دکتر علی عباس نژاد

دکتر مجید عمیدپور

بهمن ۹۱



دانشگاه علمی کاربردی

مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۶)

بسمه تعالی

شماره :

تاریخ :

ویرایش :

فرم صورتجلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای عباس رجبی خانقاهی رشته مهندسی سیستم‌های انرژی تحت عنوان بررسی تأثیر نحوه و نوع مصرف آب گرم در طول روز بر جهتگیری بهینه صفحه جاذب آبگرمکن‌های خورشیدی که در تاریخ ۱۳۹۱/۱۱/۲۸ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می‌گردد:

☐ مردود	☐ دفاع مجدد	☐ قبول (با درجه : عالی - امتیاز ۱۹/۱۷۵)
--------------------------------	------------------------------------	--

۲- بسیار خوب (۱۸ - ۱۸/۹۹)

۱- عالی (۱۹ - ۲۰)

۴- قابل قبول (۱۴ - ۱۵/۹۹)

۳- خوب (۱۶ - ۱۷/۹۹)

۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	دکتر علی عباس نژاد دکتر مجید عمیدپور		
۲- استاد مشاور			
۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	دکتر علی جبّاری	استاد	
۴- استاد ممتحن	دکتر مجید هاشمیان	استاد	
۵- استاد ممتحن	دکتر محمود چهارطاقی	استاد	

رئیس دانشکده:



تقدیم به :

مادرم که با عاطفه سرشارش، روحم را از تنهایی و نومیدی رهایی می بخشد

و

همه کسانی که در راه علم آموزی مشوق من بوده اند

و

معلمانی که دانش اندکم را مدیون آن ها هستم

سپاس و قدردانی:

سپاس و حمد پروردگار را که توان اندیشیدن به ما عطا فرمود. اکنون که در این مقطع از تحصیلات به درجه کارشناسی ارشد نائل آمده‌ام بر خود لازم می‌دانم از کسانی که مرا در این مسیر یاری نموده اند تشکر و قدر دانی نمایم. از معلمانی که مرا با الفبای علم آشنا نمودند و به من قدرت تفکر و تعمق آموختند.

از اساتید راهنما آقایان دکتر مجید عمیدپور و علی عباس نژاد به پاس راهنمایی‌های بی‌دریغشان و دکتر محمد ضامن و مهندس مهدی سوفاری که همکاری نزدیکی با بنده داشته و مرا از نظرات سودمندشان بهره مند ساختند کمال تشکر و سپاس را دارم.

تعهد نامه

اینجانب عباس رجبی خانقاهی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی سیستم‌های انرژی دانشکده مکانیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه بررسی تأثیر نوع و نحوه توزیع مصرف آب گرم در طول روز بر جهت‌گیری بهینه صفحه جاذب آبرگرمکن خورشیدی تحت راهنمایی دکتر علی عباس نژاد و دکتر مجید عمیدپور متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه / رساله توسط اینجانب انجام شده 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 / رساله تا کنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرکی یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام >> دانشگاه صنعتی شاهرود<< و یا >>shahrood university of technology<< به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افراد که در به دست آوردن نتایج اصلی پایان نامه / رساله تأثیر گذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه / رساله رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه / رساله ، در مواردی که از موجود زنده (با بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه / رساله ، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاقی انسانی رعایت شده است.

تاریخ:

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق و نشر

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

چکیده:

یکی از موضوعاتی که در طراحی آبگرمکن‌های خورشیدی کمتر مورد توجه قرار می‌گیرد، توجه به چگونگی توزیع آب مصرفی در طول شبانه روز است. به عنوان مثال مصارف خانگی، تجاری، اداری و صنعتی هر یک توزیع خاصی برای مصرف آب گرم دارند. اصولاً در نصب کلکتورها هدف جذب بیشترین تشعشع سالیانه، ماهیانه یا جذب بیشترین تشعشع براساس سردترین روز سال است. این درحالی است که می‌توان جهت‌گیری کلکتورها را طوری تعیین نمود که بیشترین جذب انرژی از یک سطح معین در طول روز همراه با بازده حرارتی بالاتر سیستم با توجه به ساعات مصرف و تغییرات دمای مخزن وجود داشته باشد.

با بررسی تأثیر شیفت مصرف روی پارامترهای طراحی بخصوص روی جهت‌گیری کلکتورها این نتیجه حاصل شد که در زمانهای همزمانی مصرف آب گرم و جذب تشعشع با کاهش دمای مخزن راندمان کلکتورها افزایش می‌یابد. بسته به اینکه مصرف در ساعات قبل از ظهر باشد و یا بعد از ظهر کلکتورها به ترتیب به سمت شرق و غرب نسبت به جنوب گرایش می‌یابند. و برای ساعاتی که مصرف وجود دارد جهت‌گیری کلکتورها به سمتی است که حداکثر دریافت تشعشع وجود دارد. برای الگوهای مصرف کاربردی شامل آپارتمان مسکونی، واحد تجاری و ... با بررسی‌های انجام شده مشخص شد میزان صرفه‌جویی حاصل از بهینه‌سازی همزمان زوایای شیب و جهت‌گیری کلکتورها نسبت به حالت جذب حداکثری تشعشع بین ۱۱ تا ۱۴ درصد می‌رسد.

با مقایسه سیستم‌های مستقیم و غیر مستقیم در حالت بهینه‌سازی همزمان پارامترهای طراحی شامل سطح کلکتورها، حجم مخزن ذخیره و زوایای شیب و جهت‌گیری کلکتورها مشخص شده است که در سیستم‌های غیر مستقیم نسبت به سیستم‌های مستقیم جهت‌گیری کلکتورها با توجه به نوع مصرف به دلیل تغییرات دمایی مخزن، تغییرات بیشتری نسبت به حالت جذب حداکثری تشعشع دارد و میزان این تفاوت به ۱۷ درجه نیز می‌رسد.

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه (اهداف و اهمیت موضوع).....	۱
۱-۱- پیش زمینه پروژه.....	۲
۳-۱- هدف پروژه.....	۳
۴-۱- ساختار پایان نامه.....	۴
فصل دوم : آبرگمکنهای خورشیدی و انواع آن.....	۵
۱-۲- سیستمهای غیر فعال.....	۸
۱-۱-۲- سیستمهای ترموسیفون.....	۸
۲-۱-۲- سیستمهای یکپارچه کلکتوری ذخیره ساز.....	۱۴
۲-۲- سیستم فعال.....	۱۷
۱-۲-۲- سیستمهای چرخش مستقیم.....	۱۸
۲-۲-۲- سیستمهای گرمایش آبی غیر مستقیم.....	۲۰
۳-۲-۲- سیستمهای گرمایش آب با هوا.....	۲۳
۴-۲-۲- سیستمهای پمپ حرارتی.....	۲۵
۵-۲-۲- سیستمهای گرمایش استخر.....	۲۵
۳-۲- سیستمهای ذخیره حرارت.....	۲۶
۱-۳-۲- ذخیره‌ی حرارتی سیستمهای مایع.....	۲۸
۴-۲- کلکتورهای انرژی خورشیدی.....	۳۲
۱-۴-۲- کلکتورهای بدون حرکت (ثابت).....	۳۳
۲-۴-۲- کلکتورهای صفحه تخت.....	۳۴
فصل سوم: مروری بر کارهای انجام شده (ادبیات موضوع).....	۴۴
۱-۳- مقدمه.....	۴۵
۲-۳- مروری بر مطالعات انجام شده در سالهای اخیر در حوزه آبرگمکنهای خورشیدی.....	۴۵
۱-۲-۳- شبیه‌سازی سیستمهای گرمایش آب خورشیدی.....	۴۵
۲-۲-۳- بهینه‌سازی سیستمهای گرمایش آب خورشیدی.....	۴۷
۳-۲-۳- تأثیر الگوهای مصرف آب گرم روی پارامترهای طراحی.....	۵۰

فصل چهارم: بررسی الگوهای مصرف.....	۵۲
۱-۴- تقاضای آب گرم.....	۵۳
۱-۱-۴- منازل مسکونی.....	۵۳
۲-۱-۴- ساختمانهای آموزشی و تجاری.....	۵۷
۳-۱-۴- خوابگاهها.....	۵۷
۴-۱-۴- هتل آپارتمانها یا متلها.....	۵۸
۵-۱-۴- ساختمانهای اداری.....	۵۸
۶-۱-۴- تاسیسات غذاخوری.....	۵۸
۷-۱-۴- آپارتمانها.....	۵۸
۸-۱-۴- مدارس.....	۵۹
۹-۱-۴- اطلاعات اضافی.....	۵۹
۱۰-۱-۴- مقدار مصرف از دیدگاه لوازم مصرف:.....	۶۰
فصل پنجم: مدلسازی.....	۶۳
۱-۵- خورشید.....	۶۴
۲-۵- ثابت خورشیدی.....	۶۵
۳-۵- تعاریف.....	۶۷
۴-۵- جهت تابش مستقیم.....	۶۹
۵-۵- نسبت تشعشع مستقیم روی سطح شیبدار به سطح افقی.....	۷۲
۶-۵- تشعشع خارج از جو روی سطح افقی.....	۷۳
۷-۳- تخمین تشعشع آسمان صاف.....	۷۴
۸-۵- تشعشع روی سطح شیب دار.....	۷۶
۱-۸-۵- تشعشع روی سطح شیبدار - آسمان ایزوتروپیک.....	۷۹
۲-۸-۵- تشعشع روی سطح شیبدار - آسمان ناهمسانگرد یا آنیزوتروپیک.....	۸۰
۹-۵- معادلات حاکم بر سیستمهای متداول گرمایش آب خورشیدی.....	۸۵
۱-۹-۵- سیستم SWH مستقیم با چرخش اجباری.....	۸۵
۲-۹-۵- سیستم گرمایش آب خورشیدی غیر مستقیم با چرخش اجباری.....	۸۸
فصل ششم: بهینه سازی و نتایج و بحث.....	۹۲

۹۳	۱-۶- مقدمه.....
۹۳	۲-۶- بهینه سازی ریاضی.....
۹۴	۱-۲-۶- پارامترهای ورودی.....
۹۶	۲-۲-۶- جذب حداکثری تشعشع.....
۹۷	۳-۲-۶- بررسی تأثیر شیفت زمانی یک مصرف نمونه.....
۱۰۳	۴-۲-۶- تأثیر الگوهای مصرف کاربردی برروی پارامترهای طراحی بهینه.....
۱۱۵	۵-۲-۶- مقایسه‌ی پارامترهای طراحی سیستمهای مختلف گرمایش آب خورشیدی.....
۱۲۱	فصل ششم: نتیجه گیری.....
۱۲۴	منابع و مراجع

فهرست اشکال:

- شکل ۱-۲- شماتیکی از آب گرمکن خورشیدی ترموسیفونی [۴]..... ۹
- شکل ۲-۲- ساختار سیستم ترموسیفون. (الف) ساختار کلکتور صفحه تخت. (ب) ساختار کلکتور لوله خلاً..... ۱۱
- شکل ۳-۲- ساختار یک تانک مجزا با بافل عایق [۴]..... ۱۲
- شکل ۴-۲- ساختار آبگرمکن خورشیدی با مبدل حرارتی پوششی یا منتل..... ۱۴
- شکل ۵-۲- شمای یک سیستم یک پارچه کلکتوری ذخیره ساز..... ۱۵
- شکل ۶-۲- شمایی از یک سیستم توسعه یافته یک پارچه کلکتوری ذخیره ساز..... ۱۶
- شکل ۷-۲- برآمدگی کاملاً توسعه یافته یک سیستم یکپارچه کلکتوری ذخیره ساز..... ۱۶
- شکل ۸-۲- مختصات آیینهای برای متمرکز کننده برآمده غیر انعکاسی ایدآل..... ۱۷
- شکل ۹-۲- سیستم چرخش مستقیم [۴]..... ۱۹
- شکل ۱۰-۲- سیستم تخلیه از پایین [۴]..... ۲۰
- شکل ۱۱-۲- سیستمهای گرمایش آب غیر مستقیم [۴]..... ۲۲
- شکل ۱۲-۲- مبدلهای حرارتی خارجی و پوششی (الف) مبدل حرارتی خارجی..... ۲۲
- (ب) مبدل حرارتی داخلی [۴]..... ۲۲
- شکل ۱۳-۲- سیستم تخلیه از پشت [۴]..... ۲۳
- شکل ۱۴-۲- سیستم هوایی [۴]..... ۲۴
- شکل ۱۵-۲- شمایی از سیستم گرمایش آب استخر..... ۲۷
- شکل ۱۶-۲- تصویری از یک سیستم گرمایش آب استخر..... ۲۷
- شکل ۱۷-۲- مخزن تحت فشار با مبدل حرارتی داخلی [۴]..... ۲۹
- شکل ۱۸-۲- آرایش تانک ذخیره چندگانه با مبدل حرارتی داخلی [۴]..... ۳۰
- شکل ۱۹-۲- سیستم مخزن تحت فشار با مبدل حرارتی [۴]..... ۳۰
- شکل ۲۰-۲- سیستم ذخیره‌ی بدون فشار با مبدل حرارتی خارجی..... ۳۱
- شکل ۲۱-۲- کلکتور صفحه تخت (الف) نمای تصویری از کلکتور تخت (ب) عکس برشی از لوله های تغذیه و اصلی کلکتور تخت [۴]..... ۳۵
- شکل ۲۲-۲- نمای گسترده از صفحه تخت و جزییات صفحه جاذب..... ۳۷

- شکل ۲-۲۳- انواع مختلف کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت [۴]..... ۴۲
- شکل ۲-۲۴- عکس صفحه جاذب کلکتور پلاستیکی..... ۴۳
- شکل ۴-۱- مقدار متوسط ساعتی مصرف آب گرم در منازل مسکونی [۴۹]..... ۵۵
- شکل ۴-۲- مقدار مصرف ساعتی آب گرم در منازل مسکونی برای سطح اطمینان ۹۵٪ [۴۹]..... ۵۵
- شکل ۴-۳- مقدار مصرف ساعتی آب گرم در مصارف صبح زود و شبانه..... ۵۶
- منازل مسکونی [۴۹]..... ۵۶
- شکل ۴-۴- مقدار مصرف ساعتی مصرف آب گرم در منازل مسکونی..... ۵۶
- بر حسب تعداد مصرف کنندگان [۴۹]..... ۵۶
- شکل ۵-۱- روابط زمین - خورشید..... ۶۶
- شکل ۵-۲- زوایای خورشیدی و نمای برای نشان دادن زاویه سمت خورشیدی..... ۷۰
- شکل ۵-۳- تشعشع مستقیم روی سطح افقی و شیبدار..... ۷۳
- شکل ۵-۴- شدت نسبی تشعشع خورشید به عنوان تابعی از زاویه فراز..... ۷۷
- برای روز صاف در لس آنجلس [۵۰]..... ۷۷
- شکل ۵-۵- توزیع تشعشع دیفیوز در فضای آسمان [۵۰]..... ۷۷
- شکل ۵-۶- تشعشع مستقیم، دیفیوز و بازتاب از زمین روی سطح شیبدار [۵۰]..... ۸۱
- شکل ۵-۷- نمودار بازده کلکتور تخت خورشیدی..... ۸۶
- شکل ۵-۸- سیستم SWH با چرخش مستقیم اجباری..... ۸۸
- شکل ۵-۹- سیستم SWH غیرمستقیم با چرخش اجباری بدون مخزن تخلیه..... ۸۹
- شکل ۵-۱۰- سیستم SWH غیرمستقیم با چرخش اجباری با مخزن تخلیه..... ۹۰
- شکل ۵-۱۱- سیستم SWH غیرمستقیم با چرخش اجباری با مبدل خارجی..... ۹۱
- شکل ۶-۱- تغییرات زاویه سمت در بازه‌ی زمانی مصرف مختلف..... ۹۹
- شکل ۶-۲- تغییرات دمای تانک ذخیره در حالت دریافت حداکثری تشعشع در ماه ژانویه..... ۹۹
- شکل ۶-۳- تغییرات دمای تانک ذخیره در حالت دریافت حداکثری تشعشع در ماه آگوست..... ۱۰۰
- شکل ۶-۴- تغییرات دمای تانک ذخیره در حالت جهتگیری بهینه با توجه به مصرف در ماه ژانویه..... ۱۰۰
- شکل ۶-۵- تغییرات دمای تانک ذخیره در حالت جهتگیری بهینه با توجه به مصرف در ماه آگوست..... ۱۰۱
- شکل ۶-۶- راندمان ماهیانه کلکتورها برای جهتگیری کلکتورها در دو حالت بیان شده..... ۱۰۱

- شکل ۶-۷- درصد صرفه جویی انرژی به جهت بهینه شدن جهتگیری با توجه به مصرف آب گرم..... ۱۰۲
- شکل ۶-۸- تغییرات زاویه شیب کلکتور در بازه های زمانی مصرف..... ۱۰۲
- شکل ۶-۸- الگوی مصرف آب گرم یک واحد آپارتمانی ۱۵ واحد..... ۱۰۳
- شکل ۶-۹- الگوی مصرف آب گرم یک مدرسه نوبت عصر..... ۱۰۳
- شکل ۶-۱۰- الگوی مصرف آب گرم یک مدرسه نوبت صبح..... ۱۰۴
- شکل ۶-۱۱- الگوی مصرف آب گرم یک واحد تجاری..... ۱۰۴
- شکل ۶-۱۲- الگوی مصرف آب گرم یک واحد اداری..... ۱۰۴
- شکل ۶-۱۳- درصد صرفه جویی انرژی به دلیل جهتگیری بهینه کلکتورها در مصارف مختلف..... ۱۰۶
- شکل ۶-۱۴- درصد صرفه جویی انرژی به دلیل بهینه سازی همزمان جهتگیری و شیب در مصارف مختلف..... ۱۰۷
- شکل ۶-۱۵- درصد صرفه جویی معادل حال حاضر کل هزینه (NPV) به دلیل بهینه سازی همزمان جهتگیری و شیب در مصارف مختلف..... ۱۰۷
- شکل ۶-۱۶- تغییرات زاویه سمت صفحه با تغییر کسر خورشیدی..... ۱۰۸
- شکل ۶-۱۷- تغییرات زاویه سمت صفحه با تغییر کسر خورشیدی..... ۱۰۹
- شکل ۶-۱۸- تغییرات زاویه سمت صفحه با حجم مخزن ذخیره..... ۱۱۰
- شکل ۶-۱۹- تغییرات زاویه شیب کلکتور با حجم مخزن ذخیره..... ۱۱۱
- شکل ۶-۲۰- تغییرات زاویه سمت صفحه با افزایش و کاهش مصرف..... ۱۱۱
- شکل ۶-۲۱- تغییرات زاویه شیب کلکتور با مصرف ساعتی آب گرم..... ۱۱۲
- شکل ۶-۲۲- درصد صرفه جویی انرژی و معادل حال حاضر کل هزینه برای انواع الگوها..... ۱۱۵
- شکل ۶-۲۳- تغییرات زوایای سمت صفحه و شیب کلکتورها در انواع سیستمهای گرمایش آب خورشیدی..... ۱۱۶
- شکل ۶-۲۴- تغییرات نسبت حجم مخزن ذخیره به سطح کلکتورها در انواع سیستمهای گرمایش آب خورشید..... ۱۱۶
- شکل ۶-۲۵- تغییرات دمایی تانک ذخیره (الف) ماه نهم (ب) ماه اول در سیستم مستقیم..... ۱۱۷
- شکل ۶-۲۶- تغییرات دمایی تانک ذخیره (الف) ماه نهم (ب) ماه اول در سیستم غیر مستقیم بدون مخزن تخلیه..... ۱۱۸
- شکل ۶-۲۷- تغییرات دمایی تانک ذخیره (الف) ماه نهم (ب) ماه اول در سیستم غیر مستقیم با مخزن تخلیه..... ۱۱۹
- شکل ۶-۲۸- تغییرات دمای اولیه تانک ذخیره در ماه های مختلف در سیستم مستقیم..... ۱۲۰
- شکل ۶-۲۹- تغییرات دمای اولیه تانک ذخیره در ماه های مختلف در سیستم غیر مستقیم..... ۱۲۰

فهرست جداول:

- جدول ۱-۲- سیستم‌های گرمایش آب خورشیدی [۴]..... ۷
- جدول ۲-۲- کلکتورهای انرژی خورشیدی [۵۷]..... ۳۴
- جدول ۱-۴- مقدار آب گرم مصرفی در فعالیت های خانگی [۸۱]..... ۵۴
- جدول ۲-۴- حجم کل و مقدار متوسط آب گرم مصرفی [۸۱]..... ۵۴
- جدول ۳-۴- مقدار مصرف آب گرم برای ساختمان‌های برای ساختمان‌های مختلف [۸۱]..... ۵۹
- جدول ۴-۴- مقدار مصرف آب گرم در ساختمان‌های آپارتمانی (گالن بر نفر) [۸۱]..... ۶۰
- جدول ۶-۴- تقاضای آبگرم برای هر یک از تجهیزات در ساختمان های مختلف..... ۶۲
- جدول ۱-۵- روز متوسط برای هر ماه و مقادیر n [۴۷]..... ۷۱
- جدول ۲-۵- ضرائب تصحيح مربوط به آب و هوا [۴۷]..... ۷۵
- جدول ۳-۵- ضرائب روشنایی برای مدل پرز و همکارانش..... ۸۴
- جدول ۱-۶- مقدار توان بازتاب زمین در ماه‌های مختلف (میلادی) سال..... ۹۶
- جدول ۲-۶- بازه زمانی مصرف آب گرم برای مشاهده تأثیر پارامترهای طراحی..... ۹۸
- جدول ۳-۶- پارامترهای بهینه برای انواع الگوهای مصرف..... ۱۰۵
- جدول ۴-۶- داده‌های ورودی برای بهینه سازی سیستم..... ۱۱۳
- جدول ۵-۶- پارامترهای بهینه برای انواع الگوهای مصرف در بهینه‌سازی همزمان..... ۱۱۴

فصل اول:

مقدمه (اهداف و اهمیت موضوع)

۱-۱- پیش زمینه پروژه

با توجه به محدودیت منابع سوخت فسیلی و زیان بار بودن استفاده غیراصولی از این گونه سوختها برای سلامت محیط زیست، پژوهش و کاربرد انرژی های تجدیدپذیر در مجامع علمی و صنعتی از اهمیت ویژه ای برخوردار شده است. در این میان انرژی خورشید، با توجه به اینکه انرژی کاملاً پاک و عاری از هرگونه آلودگی بوده و به عنوان منبع انرژی کاملاً ارزان شناخته شده، اهمیت بیشتری پیدا کرده است. انرژی خورشیدی مستعدترین و بهترین منبع انرژی جایگزین است. در کشورهایی نظیر کشور ما که میزان تابش خورشیدی در آن به ۲۰۰۰ kWh در سال می رسد و در بسیاری از نقاط آن تعداد ساعات آفتابی از ۲۸۰۰ ساعت در سال تجاوز می کند استفاده از انرژی خورشید، امری ضروری است. علی رغم ارزیابی امیدوارانه ی پتانسیل انرژی خورشیدی، مسائل اقتصادی و تکنیکی قابل ملاحظه که ممکن است با کاربرد انرژی خورشیدی رخ دهد باید حل شود. توسعه ی کاربرد توان و قدرت خورشید به این که چطور ما به تعدادی از محدودیت های جدی شامل مسائل تکنولوژیکی و علمی، محدودیت های مالی و بازاریابی و سیاسی رسیدگی می کنیم بستگی دارد. به علاوه، آموزش مهندسان برای تغییر کانون توجه آنها از تکنولوژی سوخت فسیلی و تجدیدنپذیر به منبع توان تجدیدپذیر بسیار موثر است. تبدیل حرارتی^۱ یک طرح تکنولوژیکی است که تشعشع خورشیدی را بکار می گیرد. وقتی که یک سطح سیاه در معرض اشعه ی خورشید قرار می گیرد، انرژی خورشیدی را جذب کرده و بارگرمایی آن بیشتر می شود. کلکتورهای انرژی خورشیدی که با سطوح رو به خورشید کار می کنند، انرژی را به سیالی که درون آنها جریان دارد منتقل می کنند. برای کم کردن اتلاف حرارتی به اتمسفر و بهبود راندمان آن، یک یا دو ورقه شیشه معمولاً بالای سطح جاذب قرار می گیرد. این نوع کلکتورهای حرارتی تحت تأثیر اتلافات حرارتی به خاطر تابش و جابجایی هستند. بهبود در سیستم با کارهایی مانند سطوح انتخابی، تخلیه^۲ کلکتور برای کاهش اتلاف حرارتی و شیشه ی مخصوص برای افزایش راندمان صفحه ی جاذب ایجاد می شود.

آبگرمکن خورشیدی (SWH) یک تکنولوژی آزمایش شده و مشهور انرژی تجدیدپذیر می باشد و تا کنون در کشورهای زیادی در دنیا به کار رفته است. سیستم آبگرمکن خورشیدی بطور کلی شامل سه قسمت اصلی، یعنی یک کلکتور صفحه تخت، یک مبدل حرارتی (تانک ذخیره) و پمپ سیرکولاسیون است. سیستم آبگرمکن خورشیدی پرکاربردترین و مشهورترین سیستم در به کار بردن تشعشع

¹ Thermal conversion

² Evacuation

خورشیدی به عنوان منبع انرژی می باشد که تبدیلات حرارتی را به کار می برد. پیشرفتهای علمی روی سیستمهای SWH در دهه های اخیر رشد چشمگیری داشته است. این نوع سیستمها نه تنها برای کاربردهای خانگی بلکه برای هتلها، بیمارستانها، ساختمانهای اداری، صنایعی مانند نساجی، کاغذسازی، صنایع غذایی و حتی گرم کردن آب استخرهای شنا کاربرد فراوانی پیدا کرده اند [۱].

۱-۲- بیان مسئله

تاکنون، مطالعات گسترده ای زیادی در مورد سیستم های آبگرمکن خورشیدی انجام شده و این سیستم را به پرکاربردترین سیستم انرژی تجدیدپذیر و خورشیدی در تولید آب گرم برای خانه و ساختمانها تبدیل کرده است.

بهینه سازی سیستم های گرمایش آب خورشیدی از جمله فعالیتهایی است که توجه زیادی روی آن به منظور حداکثرسازی بهره وری از منبع نامتناهی انرژی خورشیدی، می شود. پارامترهایی که در بهینه کردن این سیستمها بسیار مؤثرند شامل سطح کلکتور، حجم مخزن، زاویه شیب کلکتور و زاویه آزیموت یا سمت صفحه^۱ و... می باشند. از طرفی، مقدار مصرف آب گرم و نحوه توزیع مصرف آن در طول روز یا الگوی مصرف آب گرم نیز فاکتوری مهم در تعیین پارامترهای بهینه است. تا کنون مطالعات ناچیزی در زمینه تاثیر الگوهای مصرف آب گرم در بهینه سازی پارامترهای سیستم های گرمایش آب خورشیدی مخصوصاً جهتگیری کلکتورها انجام شده است. این پروژه سیستم آبگرمکن خورشیدی را از نظرگاه تاثیر الگوهای متفاوت مصرف آب گرم روی جهتگیری و شیب و سطح بهینه کلکتور صفحه تخت بررسی می کند. در واقع با مدلسازی ریاضی مناسب به بهینه سازی سیستم آبگرمکن خورشیدی می پردازد.

۱-۳- هدف پروژه

- ۱- بررسی الگوهای مختلف مصرف در کشور
- ۲- آشنایی با کلکتورهای خورشیدی بخصوص کلکتور تخت خورشیدی
- ۳- مدل سازی ریاضی تابش انرژی خورشید و اجزای آبگرمکن خورشیدی به منظور طراحی بهینه چگونگی نصب صفحات جاذب
- ۴- تلفیق مدلسازی انجام شده با الگو و نحوه مصرف و بهینه سازی جهت گیری صفحات جاذب

^۱ Solar azimuth angle

۱-۴- ساختار پایان نامه

این پایان نامه از ۶ فصل تشکیل شده است. فصل اول مقدمه، که شامل پیش‌زمینه پروژه، بیان مسئله و اهداف پروژه می‌باشد. فصل دوم در رابطه با آب‌گرمکن‌های خورشیدی و انواع آن و کلکتور خورشیدی تخت است که مهمترین جزء آن می‌باشد. فصل سوم به تشریح الگوهای مصرف آب گرم و بررسی تأثیر پارامترهای مختلف روی ایجاد الگوها می‌پردازد. فصل چهارم مدلسازی ریاضی تابش آسمان صاف، کلکتورهای تخت خورشیدی و آب‌گرمکن‌های خورشیدی می‌باشد. فصل پنجم به بیان نتایج حاصل از بهینه‌سازی سیستم‌های گرمایش آب خورشیدی با دیدگاه تأثیر مصرف روی جهت‌گیری و شیب کلکتورها در انواع مصارف مختلف می‌پردازد. فصل ششم و آخر نیز شامل نتیجه‌گیری از موضوع تحقیق می‌باشد.

فصل دوم :

آبگرمکن‌های خورشیدی و انواع آن

شاید رایج‌ترین کاربرد سیستم‌های خورشیدی، استفاده از سیستم‌های گرمایش آب خورشیدی برای گرمایش آب خانگی باشد. رواج این سیستم‌ها برپایه‌ی این حقیقت است که سیستم‌های نسبتاً ساده و بادوامی هستند. این دسته از سیستم‌های خورشیدی متعلق به کاربردهای حرارتی با دمای پایین^۱ می‌باشند.

مصرف حرارت دمای پایین جهان در حدود 10 EJ در هر سال برای تولید آب گرم، معادل ۶ تریلیون مترمربع سطح کلکتور تخمین زده شده است [۲]. در سال ۲۰۰۵، در حدود ۱۴۰ میلیون مترمربع از سطح کلکتورهای حرارتی خورشیدی در حال کارکرد در سرتاسر جهان وجود داشت که تنها ۲/۳٪ پتانسیل موجود می‌باشد [۳].

یک آب گرمکن خورشیدی، ترکیب یک مجموعه کلکتور، یک سیستم انتقال انرژی و یک تانک ذخیره می‌باشد. قسمت اصلی یک آبگرمکن خورشیدی مجموعه‌ای از کلکتورها می‌باشد، که انرژی تشعشعی خورشید را جذب و به حرارت تبدیل می‌کند. سپس این گرما توسط سیال انتقال حرارت (آب، مایع ضد یخ^۲، هوا) که از میان کلکتورها می‌گذرد جذب می‌شود. این گرما می‌تواند ذخیره شود یا بطور مستقیم به کار رود. چون بخش‌های اصلی سیستم انرژی خورشیدی در معرض شرایط آب و هوایی قرار دارد، این بخش‌ها باید از یخ‌زدگی^۳ و گرم شدن بیش از حد^۴ به سبب قرار گرفتن در مقابل اشعه آفتاب در طول تقاضای انرژی پایین محافظت شوند.

۲ نوع از آبگرمکن‌های خورشیدی در دسترس می‌باشند:

- مستقیم یا سیستم‌های حلقه باز^۵، که در آن آب آشامیدنی به طور مستقیم در کلکتورها گرم می‌شود.
- غیر مستقیم یا سیستم‌های حلقه بسته^۶، که در آن آب آشامیدنی به طور غیر مستقیم توسط سیال عامل انتقال حرارتی که در کلکتورها گرم شده و از میان مبدل حرارتی عبور کرده تا گرمای خود را به آب سرویس یا خانگی بدهد گرم می‌شود.

¹ Low – temperature heat application

² Non – freezing liquid

³ freezing

⁴ overheating

⁵ Open loop systems

⁶ Closed loop systems

سیستم‌ها همچنین با توجه به روش انتقال حرارت متفاوتند:

- سیستم‌های طبیعی (یا غیر فعال)^۱
- سیستم‌های گردش اجباری (یا فعال)^۲

جدول ۱-۲- سیستم‌های گرمایش آب خورشیدی [۴].

سیستم‌های غیر فعال	سیستم‌های فعال
ترموسیفون (مستقیم یا غیر مستقیم)	سیستم‌های گردش مستقیم (یا فعال حلقه باز)
سیستم‌های یکپارچه کلکتوری ذخیره ساز (انفعالی)	سیستم‌های گردش غیر مستقیم (یا فعال حلقه بسته)، مبدل حرارتی داخلی و خارجی
	سیستم‌های هوایی
	سیستم‌های پمپ حرارتی
	سیستم‌های گرمایش استخر ^۳

گردش طبیعی توسط جابجایی طبیعی (ترموسیفون) رخ می‌دهد، در حالی که در سیستم‌های گردش اجباری برای گردش یا سیرکولاسیون سیال انتقال حرارت از میان کلکتورها، پمپ یا فن را بکار می‌برند. به جز برای سیستم‌های ترموسیفون و سیستم‌های یکپارچه کلکتوری ذخیره ساز که نیازی به کنترل ندارند، سیستم‌های گرمایش آب سرویس یا خانگی خورشیدی با بکار بردن

¹ Passive system

² Active system

³ Pool heating system

ترموستات‌های دیفرانسیلی، کنترل می‌شوند. بعضی از سیستم‌ها همچنین یک مبدل حرارتی سمت بار^۱ را بین جریان آب آشامیدنی و تانک آب گرم به کار می‌برند.

هفت نوع سیستم انرژی خورشیدی برای گرمایش آب گرم مورد نیاز در کاربردهای خانگی و سیستم‌های سرویس دهنده^۲، همانطوری که در جدول ۲-۱ نشان داده شده است به کار می‌روند. سیستم‌های ترموسیفون و سیستم‌های یکپارچه کلکتوری ذخیره ساز سیستم‌های غیر فعال نامیده می‌شوند، چون هیچ پمپی در آنها به کار نمی‌رود، در حالی که بقیه سیستم‌ها، سیستم‌های فعال هستند، زیرا یک پمپ یا فن برای گردش سیال در آنها به کار می‌رود. برای محافظت از یخ‌زدگی، بازگردش^۳، تخلیه از پایین^۴ برای سیستم‌های گرمایش آب خورشیدی مستقیم و تخلیه از پشت^۵ برای سیستم‌های گرمایش آب خورشیدی غیر مستقیم به کار می‌روند.

یک محدوده وسیعی از کلکتورها مانند کلکتورهای صفحه تخت، لوله‌ی خلاء و سهموی مرکب برای سیستم‌های گرمایش خورشیدی به کار می‌رود. علاوه بر این نوع کلکتورها، سیستم‌های بزرگتر می‌توانند از انواع پیشرفته‌تر مانند parabolic trough استفاده کنند.

مقدار آب گرم تولید شده توسط آب گرمکن خورشیدی به اندازه و نوع سیستم، مقدار تابش آفتاب در دسترس در محل و الگوی تقاضای آب گرم فصلی بستگی دارد.

۲-۱- سیستم‌های غیر فعال

دو نوع سیستم به این طبقه بندی تعلق دارد: ترموسیفون و سیستم‌های یکپارچه کلکتوری ذخیره‌ساز^۶.

۲-۱-۱- سیستم‌های ترموسیفون

سیستم‌های ترموسیفون، به طور شماتیک در شکل ۲-۱ نشان داده شده است. در این سیستم آب آشامیدنی یا سیال انتقال حرارت گرم می‌شود و با بکار بردن جابجایی طبیعی از کلکتور به مخزن ذخیره انتقال می‌یابد. اثر ترموسیفونی به خاطر افت چگالی آب با افزایش دما رخ می‌دهد. بنابراین، با

¹ Load – side heat exchanger

² Service hot water

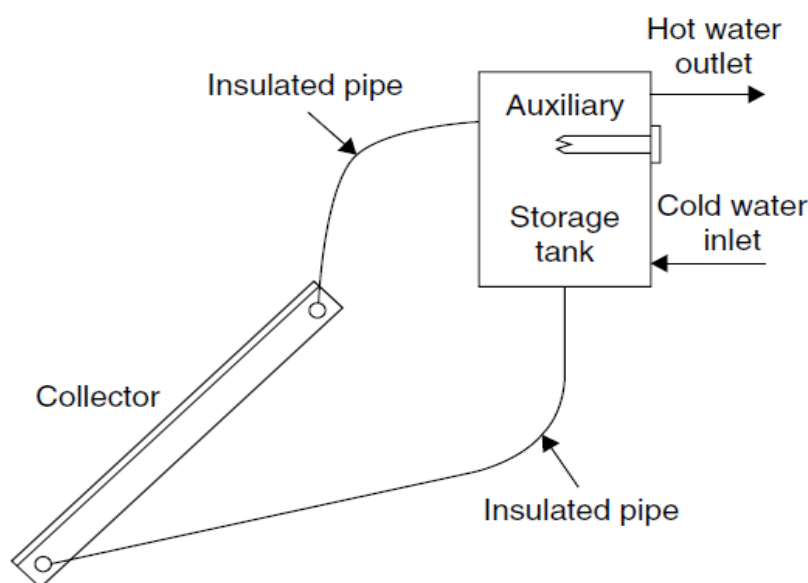
³ recirculating

⁴ Drain - down

⁵ Drain - back

⁶ Integrated collector storage systems

تأثیر انرژی تشعشعی جذب شده، آب در کلکتور گرم شده و سپس منبسط می‌شود، چگالی آن کاهش می‌یابد و از طریق کلکتور به بالای مخزن ذخیره منتقل می‌شود. اینجا آب گرم توسط آب سردی که به سمت پایین تانک حرکت می‌کند جایگزین می‌شود. سیرکولاسیون مادامی که خورشید در حال تابیدن است به طور پیوسته وجود دارد. چون عامل محرک تنها اختلاف چگالی کم است، لوله‌هایی با اندازه‌ی بزرگتر از اندازه‌های نرمال برای کاهش اصطکاک لوله باید به کار رود. خطوط اتصال باید به خوبی عایق شوند تا از اتلاف حرارتی جلوگیری شود. همچنین این خطوط باید برای جلوگیری از تشکیل حباب هوا^۱، که ممکن است سیرکولاسیون را متوقف کند شیب داده شوند.



شکل ۲-۱- شماتیکی از آب گرمکن خورشیدی ترموسیفونی [۴].

مزیت سیستم‌های ترموسیفون اینست که این سیستم‌ها به پمپ و کنترلرها نیازی ندارند و قابلیت اطمینان بالاتر و طول عمر بیشتری نسبت به سیستم‌های اجباری دارند. به علاوه، این سیستم‌ها به منبع الکتریکی برای عمل کردن نیازی ندارند و به طور طبیعی نرخ جریان گردش را به طور هم فاز با میزان تشعشع تعدیل می‌کنند.

¹ Air pockets

عیب عمده‌ی سیستم ترموسیفون این است که این سیستم‌ها به طور مقایسه‌ای واحدهای بلندی هستند، که از لحاظ زیبایی خیلی جذاب نیستند. دو نوع سیستم ترموسیفون، تحت فشار^۱ و بدون فشار^۲ وجود دارند. در واحدهای ترموسیفون تحت فشار، آب جبرانی از شاه لوله شهر یا واحدهای فشار است و کلکتورها و تانک‌های ذخیره باید توان مقاومت در برابر فشار کار را داشته باشند. وقتی آب شهر به طور مستقیم به کار می‌رود، شیرهای کاهش فشار و اطمینان باید برای محافظت سیستم نصب شوند، زیرا فشار می‌تواند از فشار کار کلکتورها و تانک ذخیره بزرگتر باشد. در سیستم‌های جاذبه، معمولاً جایی که منبع آب شهر متناوب است، یک تانک ذخیره‌ی آب سرد روی کلکتور خورشیدی هم به عنوان تامین کننده‌ی سیلندر آب گرم و هم تامین کننده‌ی نیاز آب سرد مکان به کار می‌رود. این عمل واحدهای کلکتور را بلندتر و با زیبایی کمتر می‌سازد.

یک عیب دیگر این سیستم‌ها در رابطه‌ی با کیفیت آب استفاده شده است. هنگامی که سیستم باز است، آب اسیدی یا سخت به شدت می‌تواند سبب ته نشینی شود که بسته شدن یا پوسیدن مسیر سیال جاذب را در بردارد.

ساختار تیپی کلکتور شامل کلکتور تخت و کلکتورهای لوله خلاء به ترتیب در شکل‌های ۲-۲-۲-۲ (الف) و ۲-۲-۲-۲ (ب) نشان داده شده است.

چرخش معکوس در سیستم‌های ترموسیفون :

در شب وقتی که کلکتور خنک‌تر از آب داخل تانک است، جهت جریان ترموسیفون معکوس می‌شود، بنابراین آب ذخیره شده سرد می‌شود. باید توجه شود که چرخش حلقه ترموسیفون کلکتور توسط لایه بندی حرارتی^۳ در حلقه کلکتور و قسمت زیرین تانک، سطح برگشت جریان کلکتور ایجاد می‌شود. مسئله اصلی در طراحی سیستم ترموسیفون، کاهش اتلاف حرارتی در نتیجه‌ی چرخش ترموسیفون معکوس در شب، وقتی که دمای آسمان پایین است. نورتن و رابرت^۴ در ۱۹۸۳ [۵] پیشنهاد کردند که برای جلوگیری از جریان معکوس فاصله‌ی مجزای تانک - کلکتور باید بین ۲۰ تا ۲۰۰ میلی متر باشد. یک راه عملی برای جلوگیری از جریان معکوس قراردادن بالای کلکتور تقریباً ۳۰۰ میلی متر زیر بخش تحتانی تانک ذخیره است. اتلاف حرارتی ساعات شب از یک کلکتور تابعی از

¹ pressurized

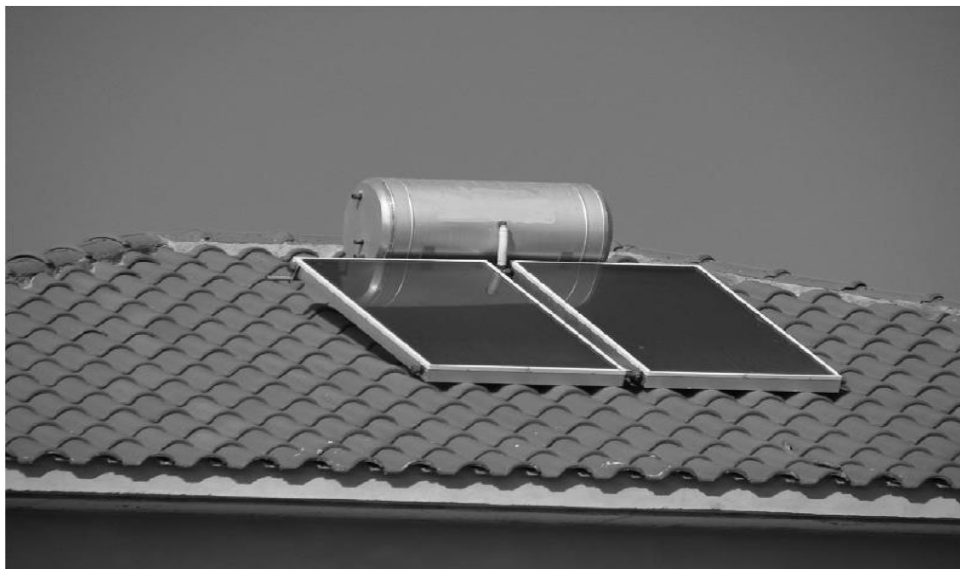
² unpressurized

³ Thermal stratification

⁴ Norton and Probert

دمای محیط اطراف و دمای آسمان است. اگر دمای آسمان به طور چشم‌گیری زیر دمای محیط باشد، سرد شدن کلکتور سبب خواهد شد تا سیال به صورت ترموسیفون در جهت عکس از طریق کلکتور جریان یابد و دمای سیال تا زیر دمای محیط سرد شود. وقتی که جریان معکوس وارد لوله‌های برگشت در زیر تانک می‌شود، با آب گرم‌تر داخل تانک ذخیره مخلوط می‌شود. ترکیب سرمایش زیر دمای محیط کلکتور و گرمایش در لوله‌های برگشت سبب جریان معکوس در همه‌ی ساختارهای ترموسیفون، بجز در جدایی عمودی بین بالای کلکتور و پایین تانک می‌شود [۶].

(الف)



(ب)



شکل ۲-۲- ساختار سیستم ترموسیفون. (الف) ساختار کلکتور صفحه تخت. (ب) ساختار کلکتور لوله خلاء.

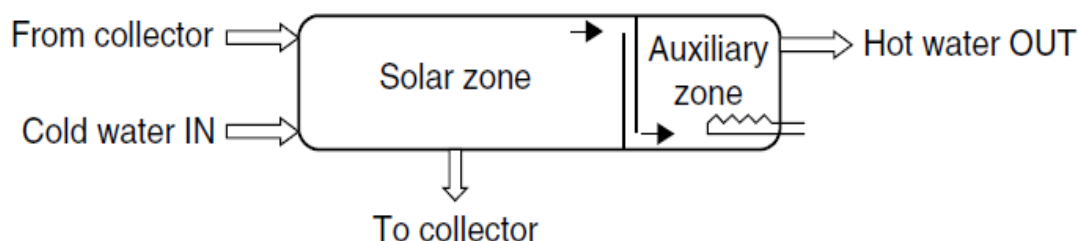
ساختارهای تانک عمودی در برابر تانک افقی :

چون عملکرد سیستم‌های ترموسیفون به لایه بندی آب در تانک ذخیره بستگی دارد، تانک عمودی بیشتر جذاب‌تر است. همچنین داشتن هیتر کمکی در ارتفاع بالای تانک همانطوری که در شکل ۱-۲ نشان داده شده، برای گرمایش تنها قسمت بالای تانک با انرژی کمکی برای زمانی که مورد نیاز است قابل ترجیح می‌باشد. این امر به سه دلیل اهمیت دارد:

۱. این عمل قشر بندی حرارتی را بهبود می‌دهد.
۲. اتلافات حرارتی تانک به طور خطی با دمای تانک افزایش می‌یابد.
۳. کلکتورها در دمای ورودی پایین‌تر، با راندمان بالاتر کار می‌کنند.

به هر حال برای کاهش ارتفاع کلی واحد، تانک‌های افقی مکرراً به کار می‌روند. راندمان تانک افقی سیستم‌های ترموسیفون توسط انتقال حرارت هدایت بین ناحیه کمکی دما بالا در بالای تانک و ناحیه خورشیدی^۱ و اختلاط نقاط تزریق جریان^۲ تحت تاثیر قرار دارد [۷].

کارایی این سیستم‌ها را می‌توان با بکاربردن تانک‌های خورشیدی و کمکی جداگانه و یا جداکردن ناحیه‌ی کمکی و ناحیه پیش گرمایش با یک بافل^۳ عایق، همانطوری که در شکل ۲-۳ نشان داده شده است بهبود داد. یک عیب سیستم‌های دو تانک یا تانک‌های مجزا اینست که ورودی خورشید نمی‌تواند ناحیه‌ی کمکی را تا مادامی که تقاضا وجود دارد گرم کند.



شکل ۲-۳ ساختار یک تانک مجزا با بافل عایق [۴].

^۱ Solar zone

^۲ Flow injection points

^۳ Baffle

لایه بندی حرارتی در تانک‌های افقی کم عمق، به درجه اختلاط در بار، آب جبرانی^۱ و ورودی کلکتور به تانک بستگی دارد. بار باید از بالاترین نقاط ممکن دریافت شود، در حالی که، جریان آب جبرانی باید از طریق یک لوله‌ی توزیع یا یک دیفیوز به طوریکه به زیر تانک بدون برهم زدن قشربندی دمایی یا اختلاط ناحیه‌ی کمکی بالا با ناحیه‌ی خورشیدی وارد شود.

به طور کلی اشکال عمده‌ی تانک‌های افقی اینست که عمق کم تانک قشر بندی را به خاطر انتقال حرارت هدایتی از طریق دیواره‌های تانک و آب کاهش می‌دهد. به علاوه، برای سیستم‌های کمکی داخل تانک، انتقال حرارت هدایتی بین ناحیه کمکی و ناحیه‌ی خورشیدی، راندمان خورشیدی را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

محافظت از یخ زدگی :

برای مکان‌هایی که آب و هوای معتدل دارند، آبگرمکن‌های خورشیدی ترموسیفون حلقه باز به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. با محافظت از یخ زدگی، سیستم‌های ترموسیفون را در مکان‌هایی که شرایط یخ زدگی کمتر نیز رخ می‌دهد می‌توان به کار برد. این سیستم را می‌توان توسط شیر خروج آب^۲، گرمایش الکتریکی در لوله‌های اصلی کلکتور یا لوله‌های رایزر مخروطی شونده (باریک شونده)^۳ برای کنترل رشد یخ در رایزر، می‌توان به کار برد [۸]. همه‌ی این تکنیک‌ها به طور موفقیت آمیزی توسط شرکت‌های سازنده آبگرمکن خورشیدی به کار رفته است. در خور بودن آنها برای نواحی با شرایط یخ زدگی ملایم ثابت شده است. در بعضی از نمونه‌ها، تنها طراحی مناسب کاربرد حلقه‌های کلکتور آنتی فریز^۴ با یک مبدل بین کلکتور و تانک و یک سیال انتقال حرارت آنتی فریز جاری در کلکتور و مبدل می‌باشد. برای تانک‌های افقی، سیستم با کاربرد فراوان مبدل‌های پوششی^۵ یا حلقوی، همانطوری که در شکل ۲-۴ نشان داده شده است استفاده می‌شود.

مبدل حرارتی پوششی یا Mantle heat exchanger به آسانی ساخته می‌شود و یک سطح انتقال حرارت بزرگی را فراهم می‌کند. مبدل‌های حرارتی پوششی در تانک‌های عمودی نیز به کار می‌روند. شرکت‌های سازنده تانک‌های افقی معمولاً در صورت امکان مبدل حرارتی پوششی به بزرگی تانک که

¹ Makeup water

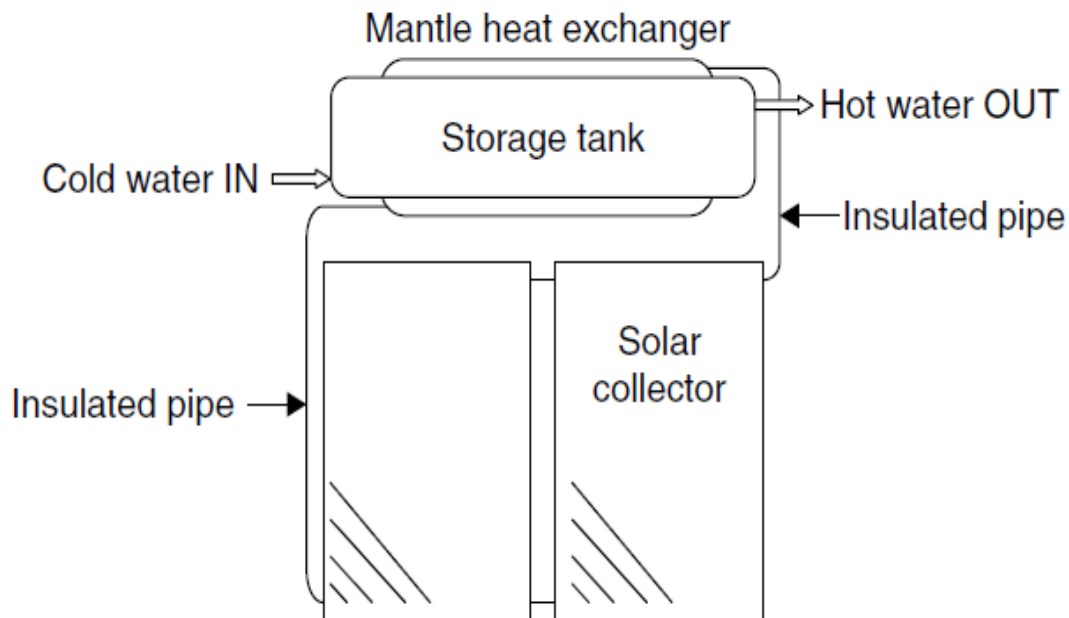
² Dump valve

³ Tapered riser tubes

⁴ Antifreeze collector loop

⁵ Mantle heat exchanger

تقریباً تمام محیط آن را و تمام ارتفاع آن را می‌پوشاند می‌سازند. سیال انتقال حرارتی که در این سیستم‌ها به کار می‌رود اغلب محلول اتیلن گلیکول - آب می‌باشد.



شکل ۲-۴- ساختار آبگرمکن خورشیدی با مبدل حرارتی پوششی یا منتل

۲-۱-۲- سیستم‌های یکپارچه کلکتوری ذخیره ساز

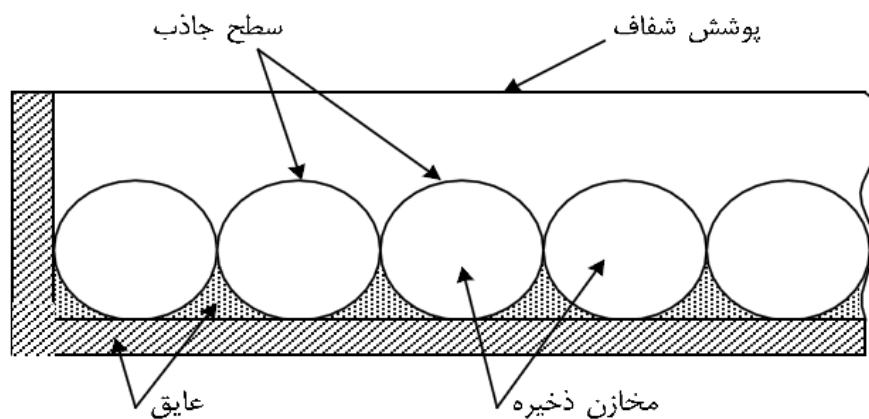
سیستم‌های یکپارچه کلکتوری ذخیره ساز از منبع آب داغ به عنوان قسمتی از کلکتور استفاده می‌کنند یعنی سطح منبع ذخیره سازی جزء سطح جذب کننده کلکتور نیز می‌باشد. همانند سایر سیستم‌ها، آب داغ از قسمت بالایی منبع کشیده شده و آب سرد در جهت مخالف از پایین به منبع وارد می‌شود. معمولاً سطح منبع ذخیره به منظور کمینه کردن تلفات حرارتی، پوشیده می‌شود.

پیکره اصلی این سیستم‌ها از یک مخزن یا مجموعه‌ای از مخازن که به هم متصل شده اند تشکیل شده است. سطوح روباز این مخازن، سطوح جاذب انرژی می‌باشند. همانگونه که در شکل ۲-۵ نشان داده شده است، این مخازن در یک محفظه عایق که سطح بالایی آن از پوششی شفاف جهت عبور تابش خورشیدی تشکیل شده است، محصور می‌شوند. پوشش بالا و عایق پشت لوله‌ها، تلفات انرژی از لوله‌های استوانه‌ای را کاهش می‌دهند.

انواع دیگری از سیستم‌های یکپارچه کلکتوری ذخیره ساز ساخته شده اند. برخی سیستم‌ها از یک مخزن منفرد استوانه‌ای جاذب انرژی به همراه یک متمرکز کننده نوری به منظور افزایش تابش

جذب شده، استفاده می‌کنند. این سیستم‌ها به طور نمونه دارای نسبت‌های تمرکز حدود یک (واحد) می‌باشند. واکسمن و ساکالوف^۱ در سال ۱۹۸۵ میلادی تجربیات خود را از طریق یک سیستم گرمایش که در آن یک مخزن تخت به دو قسمت تقسیم می‌شود تشریح کردند. در سیستم مذکور یک کانال جاذب باریک زیر سطح جذب‌کننده انرژی و همچنین یک ناحیه ذخیره سازی عمیق‌تر پشت کانال جاذب قرار دارد. ناحیه ذخیره سازی توسط یک حائل عایق از کانال جاذب جدا می‌شود. آب از ناحیه ذخیره‌سازی از طریق کانال و به وسیله جابجایی به گردش در می‌آید. زالر و همکاران^۲ در سال ۱۹۸۵ میلادی سیستم‌های یکپارچه کلکتوری ذخیره ساز را تحلیل کردند و روشی را جهت تخمین عملکرد بلند مدت این سیستم‌ها توسعه دادند.

سیستم‌های یکپارچه کلکتوری ذخیره ساز از جهاتی شبیه به دیواره‌های کلکتوری ذخیره ساز می‌باشند که در گرمایش غیرفعال فضا مورد استفاده قرار می‌گیرند. لیو و همکارانش در سال ۲۰۰۵، تجربیات خود را با استفاده از سیستم‌های یکپارچه کلکتوری ذخیره ساز خورشیدی با دسته لوله‌های شناور، تشریح کردند. آنها روابط تجربی عدد نوسلت-ریلی^۳ را برای مشخصه‌های انتقال حرارت که برای طراحی چنین سیستم‌هایی لازم است، ارائه کردند. شکل ۲-۶ نمونه‌ای از یک نوع سیستم یکپارچه کلکتوری ذخیره ساز توسعه‌یافته را نشان می‌دهد.

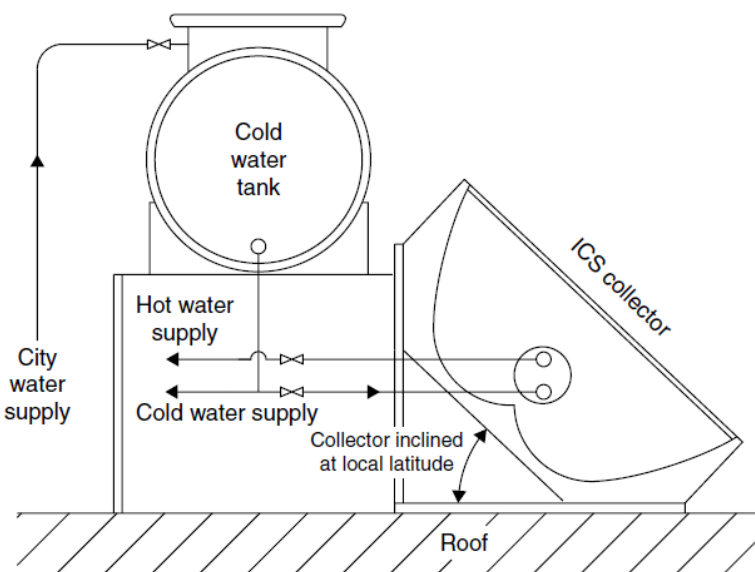


شکل ۲-۵- شمای یک سیستم یکپارچه کلکتوری ذخیره ساز

¹ Vaksenman and salokov

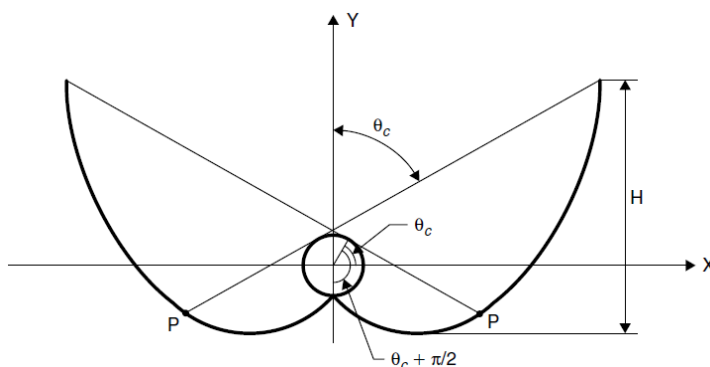
² Zalner et al

³ Nusselt-Rayleigh Number

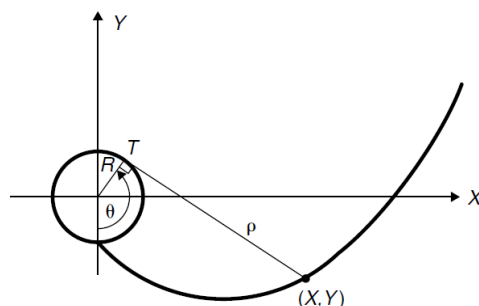


شکل ۲-۶- شمایی از یک سیستم توسعه یافته یک پارچه کلکتوری ذخیره ساز

یک متمرکزکننده کاملاً توسعه یافته برآمده برای یک دریافت کننده استوانه‌ای در شکل ۲-۷ قابل مشاهده است. منحنی مخصوص نشان داده شده دارای یک نیم زاویه پذیرش (θ_c) ۶۰ درجه یا یک زاویه کامل پذیرش ($2\theta_c$) ۱۲۰ درجه می‌باشد. هر طرف برآمدگی به لحاظ ریاضی دارای دو بخش مجزا می‌باشد که به طور یکنواخت در نقطه P به هم متصل می‌شوند که این نقطه به نیم زاویه پذیرش (θ_c) مربوط می‌شود. بخش اول، یعنی از انتهای دریافت کننده تا نقطه P، تو رفتگی (تقعر) سطح مقطع دایره‌ای شکل دریافت کننده می‌باشد. بخش دوم، از نقطه P تا بالای منحنی می‌باشد یعنی جائیکه منحنی با محور y موازی می‌شود. با اشاره به شکل ۲-۸ و برای یک مخزن استوانه‌ای، شعاع (R)، نیم زاویه پذیرش (θ_c)، و فاصله در طول یک خط مماس از دریافت کننده (p)، به زاویه بین شعاع در انتهای دریافت کننده (θ) و شعاع در نقطه تماس (T) مربوط می‌شوند.



شکل ۲-۷- برآمدگی کاملاً توسعه یافته یک سیستم یکپارچه کلکتوری ذخیره ساز



شکل ۲-۸- مختصات آینه‌ای برای متمرکز کننده برآمده غیر انعکاسی ایدآل

۲-۲- سیستم فعال

در سیستم‌های فعال، آب یا سیال انتقال حرارت به کلکتور پمپ می‌شود. معمولاً این سیستم گرانت‌ر و کم بازده‌تر از سیستم‌های غیر فعال می‌باشد، مخصوصاً اگر ابزارهای آنتی فریز نیاز باشند. به علاوه، اصلاح و بروز درآوردن^۱ یا بهینه سازی سیستم‌های فعال در خانه مشکل است، مخصوصاً در زیر زمین که فضا برای تجهیزات اضافی مانند سیلندر آب گرم نیاز است. پنج نوع سیستم به این طبقه بندی تعلق دارد: سیستم چرخش مستقیم^۲، سیستم گرمایش آب غیر مستقیم، سیستم‌های هوایی، سیستم‌های پمپ حرارتی و سیستم‌های گرمایش استخر.

نرخ جریان یا سرعت جریان بالا در سیرکولاسیون پمپ آبگرمکن خورشیدی برای بهبود ضریب برداشت حرارتی، F_R و ماکزیمم کردن راندمان حرارتی به کار رود. اگر راندمان سیستم کامل مورد نظر باشد، این موضوع دریافت می‌شود که اگر نرخ جریان پایین کلکتور و تانک با لایه بندی حرارتی به کار رود کسر خورشیدی^۳ افزایش می‌یابد. لایه بندی حرارتی را با بکار بردن پخش کننده‌های جریان^۴ در تانک و مبدل‌های حرارتی حلقه‌ی کلکتور^۵ بهبود می‌یابد؛ برای ماکزیمم کردن تأثیر، لازم است این مشخصه‌ها با نرخ جریان پایین ترکیب شوند.

کاربرد جریان با نرخ پایین، هم روی هزینه‌ی سرمایه‌گذاری اولیه و هم روی ذخیره‌ی انرژی مؤثر است. هزینه سرمایه‌گذاری اولیه به خاطر اینکه نیازسیستم به پمپ با قدرت پایین، لوله‌هایی با قطر پایین‌تر

¹ retrofit

² Direct circulation system

³ Solar fraction

⁴ Flow diffusers

⁵ Collector loop heat exchanger

(بنابراین ارزانتر و آسانتر در نصب) کمتر است. همچنین، لوله‌های کوچکتر به عایق گذاری با هزینه‌ی پایین‌تر و ضخامت کمتر نیاز دارند، زیرا میزان مقاومت R در عایق گذاری به نسبت قطر خارجی به داخلی بستگی دارد. به علاوه، در سیستم‌های با نرخ جریان پایین می‌توان لوله کشی سیستم کلکتور را با قطر پایین و در نتیجه، لوله‌های مسی گرد انعطاف پذیر که آسانتر نصب می‌شوند به کار برد. در این نمونه، لوله‌های قابل انعطاف را بادست می‌توان زاویه داد تا بدون نیاز به زاویه تند که منجر به افت فشار بالا می‌شود، مسیر را تغییر داد.

طبق گفته‌های داف^۱ در ۱۹۹۶ [۹] جریان در حلقه‌ی کلکتور باید در محدوده‌ی $0.2 - 0.4 \text{ Lit/min} - \text{m}^2$ به ازای مساحت دهانه‌ی کلکتور باشد. در حقیقت، عیب کاهش سرعت یا نرخ جریان کلکتور، کم شدن راندمان کلکتور در نتیجه‌ی افزایش دمای بالاتر کلکتور به ازای دمای ورودی معین است. برای مثال، برای کاهش جریان از 0.9 به $0.3 \text{ Lit/min} - \text{m}^2$ ، راندمان به میزان 6% کاهش می‌یابد؛ ولی، کاهش دمای ورودی کلکتور به دلیل لایه بندی بهتر در تانک، تلفات راندمان کلکتور را جبران می‌کند. پمپ‌ها برای بیشتر سیستم‌های فعال نیاز به هد سانتریفوژ استاتیکی^۲ پایین دارند، که برای کاربردهای خانگی کوچک توان الکتریکی 30 تا 50 وات برای عمل کردن به کار می‌برند.

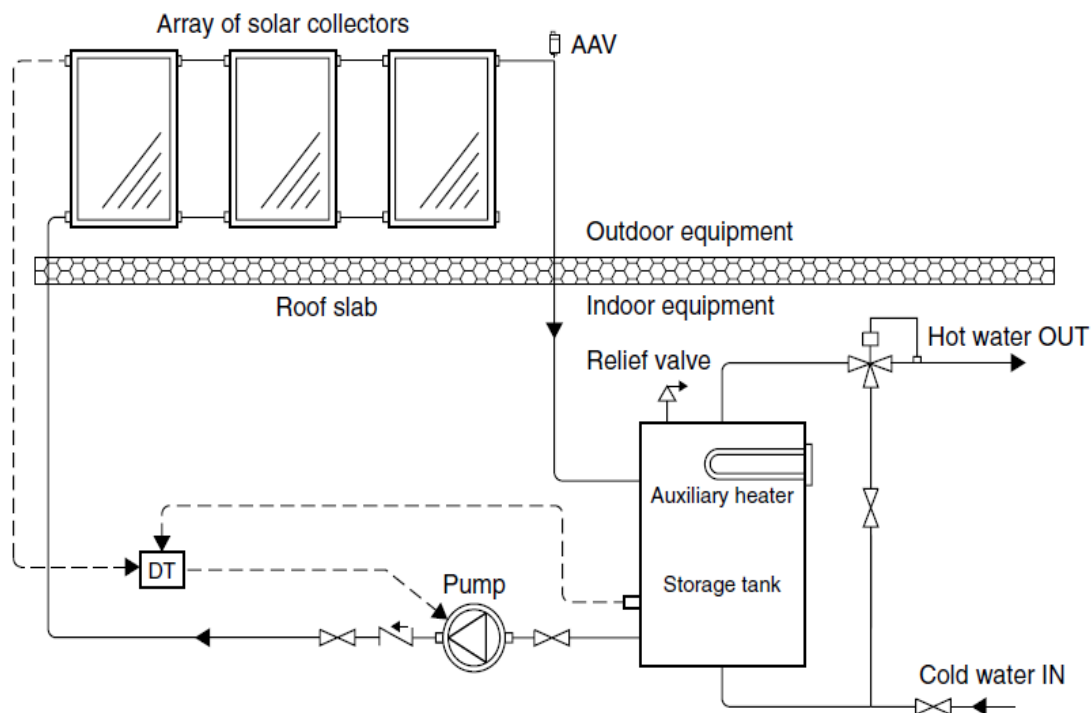
۲-۱-۲- سیستم‌های چرخش مستقیم

یک شماتیک از سیستم چرخش مستقیم در شکل ۲-۹ نشان داده شده است. در این سیستم، یک پمپ برای چرخش آب آشامیدنی از منبع به کلکتور وقتی که انرژی تشعشعی خورشید کافی در دسترس است، برای افزایش دمای آن و سپس بازگشت آب گرم شده به تانک ذخیره تا زمانی که نیاز وجود دارد به کار می‌رود. به خاطر وجود یک پمپ برای چرخش آب، کلکتورها نمی‌توانند بالا یا پایین مخزن ذخیره قرار گیرند. سیستم چرخش مستقیم اغلب با یک تانک ذخیره که به یک گرمکن کمکی تجهیز شده به کار می‌رود؛ اما، دو تانک نیز می‌توان به کار برد. یک مشخصه مهم این ساختار شیر یکطرفه فنری^۳ است که برای جلوگیری از گردش ترموسیفونی معکوس زمانی که پمپ کار نمی‌کند، به کار می‌رود.

^۱ duff

^۲ Static head centrifugal

^۳ Spring – loaded check valve



شکل ۲-۹- سیستم چرخش مستقیم [۴].

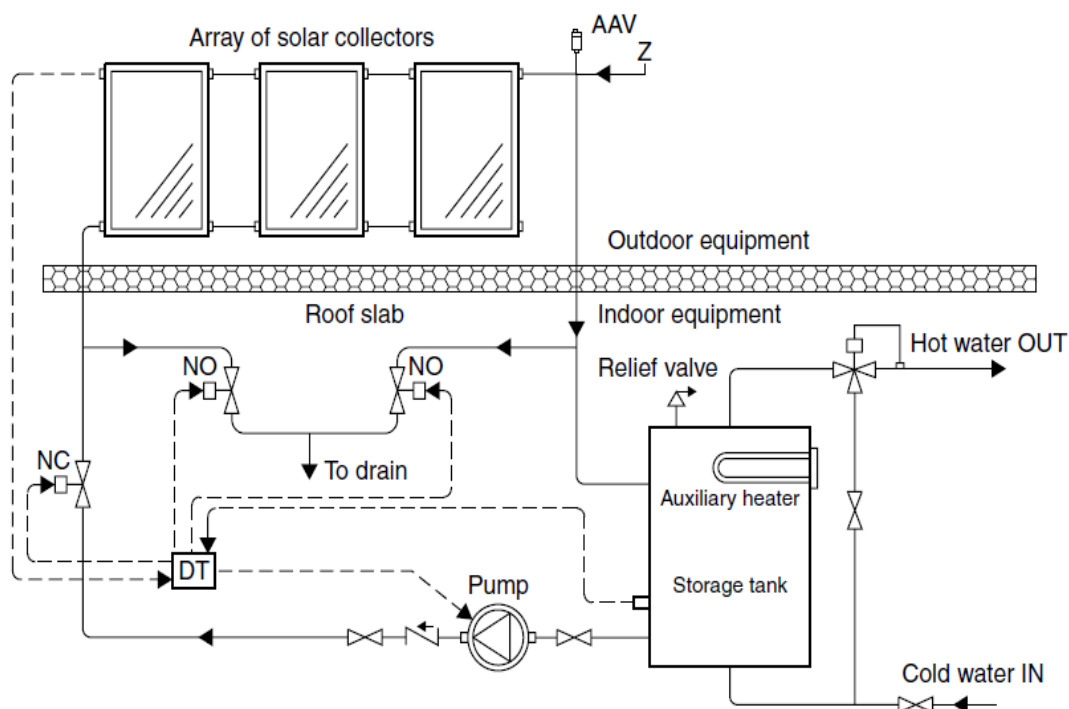
سیستم‌های چرخش مستقیم می‌توانند با یک تانک ذخیره‌ی آب سرد کوپل شده یا به طور مستقیم به منبع آب شهری متصل شوند. شیرهای کاهش فشار (فشار شکن) و شیرهای اطمینان برای این سیستم‌ها، وقتی که فشار آب شهر از فشار کاری کلکتور بیشتر است مورد نیاز هستند. سیستم گرمایش آب مستقیم نباید در نواحی با آب سخت یا اسیدی به کار روند. زیرا، ته نشینی‌ها سبب بسته شدن لوله‌ها و خورده شدن کلکتور می‌شود.

سیستم‌های چرخش مستقیم را می‌توان در نواحی که یخ زدگی کم است، به کار برد. برای برخی شرایط آب و هوایی، محافظت از یخ زدگی معمولاً با بازگردش آب گرم از مخزن ذخیره فراهم می‌شود. این عمل مقداری حرارت را اتلاف، ولی از سیستم محافظت می‌کند. در این نمونه‌ها یک ترموستات ویژه برای عمل کردن پمپ وقتی که دما به زیر دمایی خاص افت می‌کند به کار می‌رود. اینچنین باز گردش برای محافظت از یخ‌زدگی باید برای مکان‌هایی که یخ‌زدگی اندک (چند ساعت اندک در یک سال) رخ می‌دهد به کار رود. یک عیب این سیستم‌ها وقتی است که توان افت کرده و پمپ نمی‌تواند کار کند. بنابراین، سیستم می‌تواند یخ بزند.

در این نمونه‌ها یک شیر کاهنده (یا شیر خروج) را می‌توان زیر کلکتورها برای فراهم کردن محافظت بیشتر نصب کرد.

برای محافظت از یخ زدگی، یک تغییر در سیستم گردش مستقیم که سیستم تخلیه - پایین نامیده می‌شود، به کار می‌رود. این سیستم در شکل ۲-۱۰ نشان داده شده است. در این نمونه، آب آشامیدنی از مخزن ذخیره به کلکتورها پمپ می‌شود. وقتی که شرایط یخ زدگی یا افت توان رخ می‌دهد، سیستم تخلیه به طور اتوماتیکی با جدا کردن مجموعه کلکتورها و لوله‌های خارجی از منبع آب جبرانی با یک شیر در حال عادی بسته^۱ (NC) و تخلیه کردن آن با ۲ شیر در حال عادی باز^۲ انجام می‌شود. باید توجه داشت که کلکتورهای خورشیدی و لوله‌های متصل پیوسته با دقت شیب داده شوند، تا لوله‌های خارجی در هنگام توقف سیرکولاسیون عمل تخلیه را انجام دهند.

شیرهای یکطرفه که در بالای کلکتورها در شکل ۲-۱۰ نشان داده شده است، به هوا اجازه می‌دهد تا کلکتور و لوله‌ها را در طول تخلیه پر کند و در هنگام پر کردن کلکتور و لوله از آنها خارج شود.



شکل ۲-۱۰- سیستم تخلیه از پایین [۴].

۲-۲-۲- سیستم‌های گرمایش آبی غیر مستقیم

یک شکل شماتیک از سیستم گرمایش آبی غیر مستقیم در شکل ۲-۱۱ نشان داده شده است. در این سیستم، یک سیال انتقال گرما درون حلقه‌ی بسته کلکتور با یک مبدل حرارتی که گرمای آن به آب

^۱ Normally closed

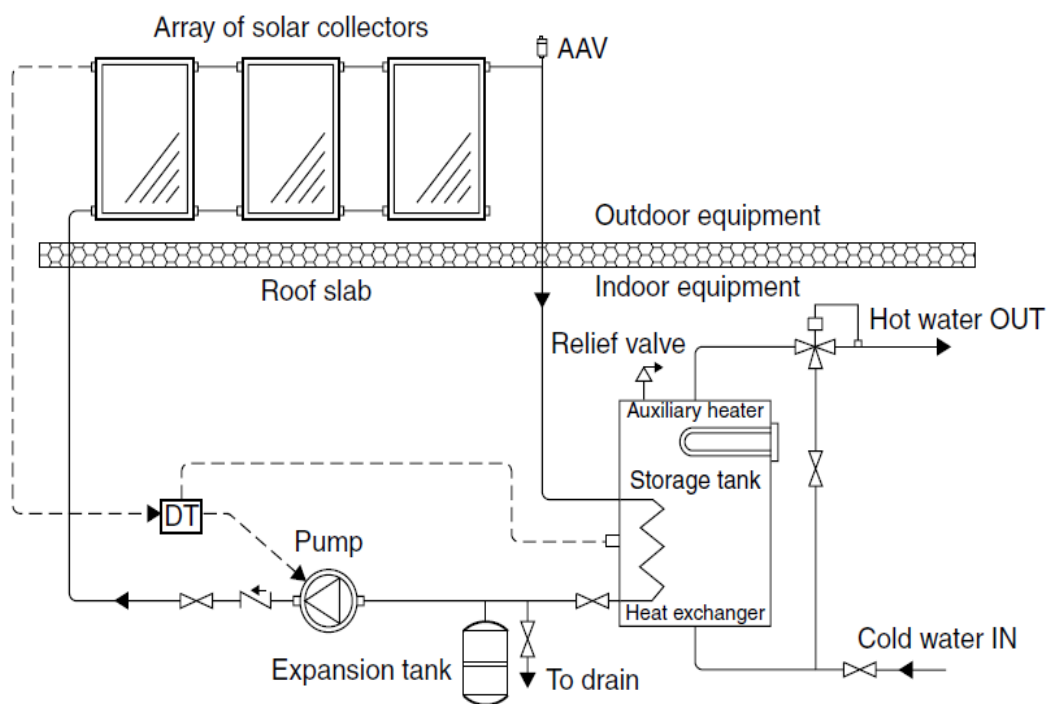
^۲ Normally open

بهداشتی منتقل می‌شود به چرخش در می‌آید. به طور معمول سیال انتقال حرارت محلول‌های آب- اتیلن گلیکول است. اگرچه، روغن‌های سیلیکونی و میردها نیز به کار می‌روند. وقتی که سیال غیر بهداشتی (غیرآشامیدنی) یا سمی به کار می‌رود، مبدل‌های ۲ دیواره باید به کار رود. مبدل‌های حرارتی می‌تواند در داخل تانک ذخیره، اطراف تانک ذخیره (پوشش تانک)، یا خارج از تانک قرار گیرد. باید توجه داشت که حلقه‌ی کلکتور بسته است؛ بنابراین، یک تانک انبساط و یک شیر اطمینان مورد نیاز است.

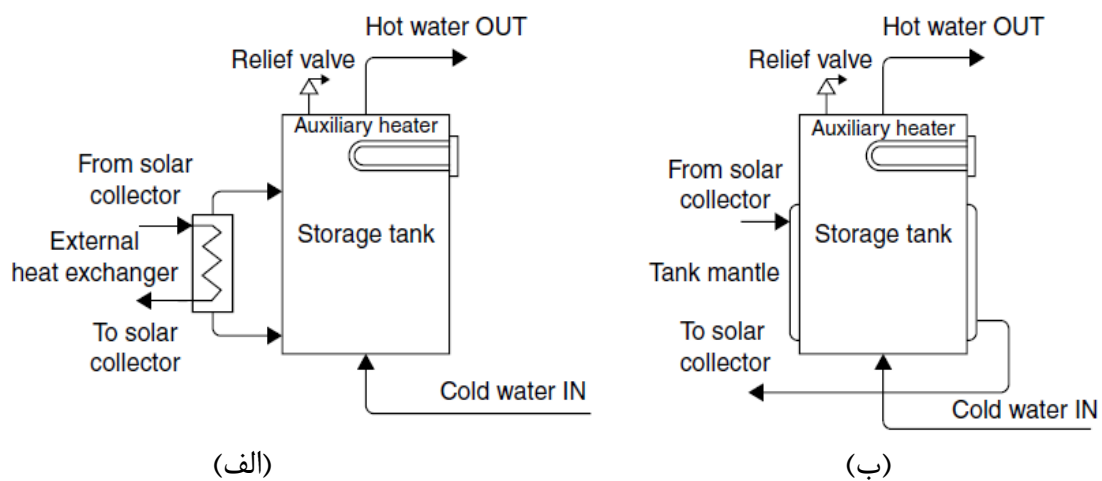
سیستم‌های این گونه که محلول آب - اتیلن گلیکول را به کار می‌برند، در نواحی که در معرض رنج دمایی یخ زدگی طولانی قرار دارند، به جهت محافظت خوب این محلول از یخ زدگی ترجیح داده می‌شوند. این سیستم‌ها به جهت ساختار و عملکرد گرانتر می‌باشند، زیرا محلول باید هر ساله چک و هر چند سال بسته به کیفیت محلول و دمایی که محلول به آن رسیده، عوض شود.

ساختار تیپی کلکتور شامل مبدل حرارتی داخلی در شکل ۲-۱۱، مبدل حرارتی خارجی در شکل ۲-۱۲ (الف) و مبدل حرارتی پوششی (Mantle) در شکل ۲-۱۲ (ب) نشان داده شده است. یک قاعده‌ی کلی برای پیروی کردن اینست که تانک ذخیره باید حجمی بین $35 L/m^2$ تا $70 L/m^2$ به ازای سطح دهانه کلکتور داشته باشد. البته به طور گسترده از $50 L/m^2$ به ازای سطح دهانه کلکتور استفاده می‌شود.

برای محافظت از یخ زدگی، یک تغییر در سیستم آب گرم غیر مستقیم با نام تخلیه از پشت ایجاد می‌شود. سیستم تخلیه از پشت به طور کلی در سیستم‌های گرمایش آب غیر مستقیم به کار می‌رود، که آب درون حلقه بسته کلکتور می‌چرخد تا از طریق مبدل، گرما را به آب بهداشتی بدهد. چرخش مادامی که انرژی خورشیدی در دسترس است ادامه دارد. وقتی که چرخش توسط پمپ متوقف شد، سیال کلکتور توسط جاذبه به تانک تخلیه از پشت، سرازیر می‌شود. اگر سیستم تحت فشار باشد، این تانک بعنوان تانک انبساط در هنگام عملکرد سیستم نیز به کار می‌رود؛ در این نمونه، باید این تانک با شیرهای اطمینان فشار و دما محافظت شود. در یک نمونه سیستم بدون فشار در شکل ۲-۱۳، تانک باز است و به اتمسفر ارتباط دارد. لوله دومی که از کلکتور به بالای تانک تخلیه از پشت هدایت می‌شود، این امکان را می‌دهد تا در طول تخلیه از پشت، کلکتور پر از هوا شود. چون حلقه بسته کلکتور از آب بهداشتی جدا است، هیچ شیری برای بکار انداختن تخلیه نیاز نیست و مشکلی نیز بابت ته نشینی نیز نداریم؛ ولی، مجموعه کلکتور و لوله‌های خارجی باید به طور مناسب برای اجرای کامل تخلیه از پشت داده شوند.

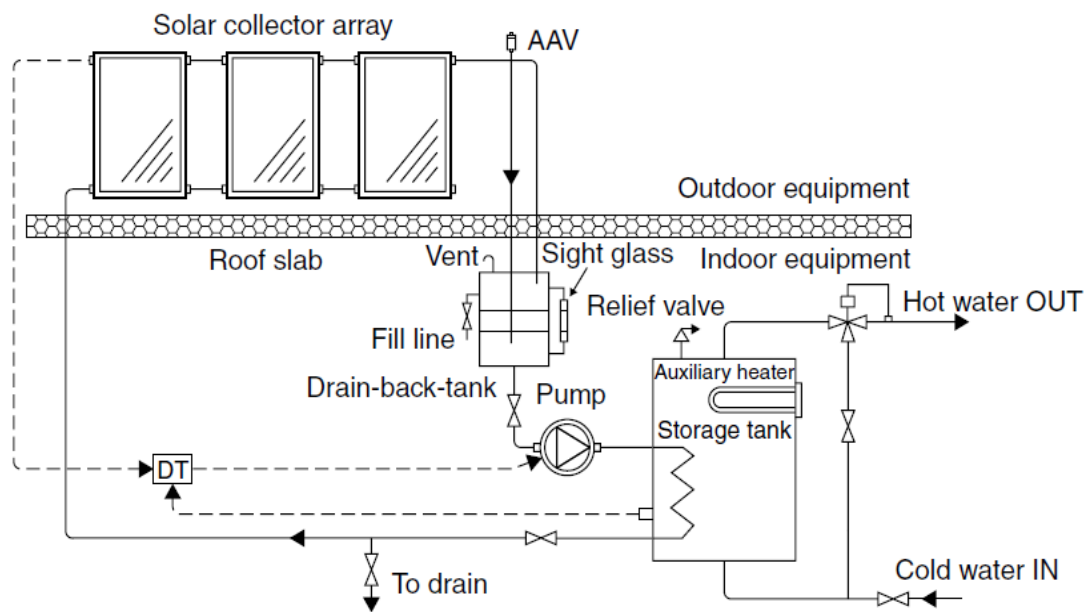


شکل ۱۱-۲- سیستم‌های گرمایش آب غیر مستقیم [۴].



شکل ۱۲-۲- مبدل‌های حرارتی خارجی و پوششی (الف) مبدل حرارتی خارجی

(ب) مبدل حرارتی داخلی [۴].



شکل ۲-۱۳- سیستم تخلیه از پشت [۴].

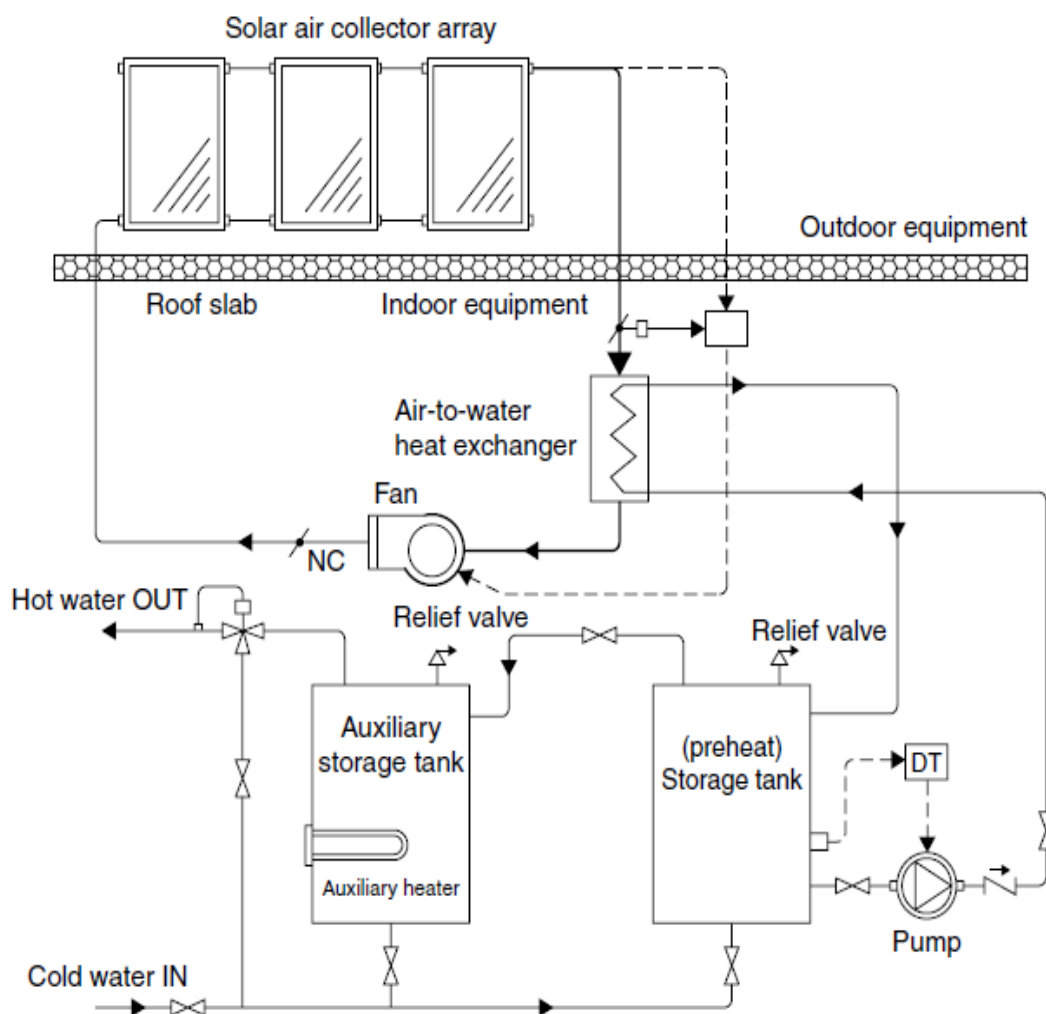
محافظت از یخ زدگی در سیستم‌های تخلیه از پشت ذاتی است، زیرا کلکتورها و لوله‌های بالای سقف وقتی که پمپ خاموش است خالی می‌باشند. یک عیب این سیستم اینست که پمپ با توانایی هد استاتیکی بالا برای پرکردن کلکتور در هنگام شروع کار نیاز است.

در سیستم تخلیه از پشت، این امکان است که کلکتورها در طول دوره‌ی تابش آفتاب تخلیه شوند؛ بنابراین، انتخاب کلکتورهایی که بتوانند دوره‌های طولانی شرایط رکود و سکون را مقاومت کنند، حائز اهمیت است.

۲-۲-۳- سیستم‌های گرمایش آب با هوا

سیستم‌های هوایی، سیستم‌های گرمایش آب غیر مستقیم هستند، زیرا هوا درون کلکتورهای هوایی و از طریق کانال به گردش در می‌آید و به سمت مبدل حرارتی هوا به آب هدایت می‌شود. در این مبدل حرارتی، گرما به آب بهداشتی که درون مبدل حرارتی در حال سیرکوله شدن می‌باشد، منتقل می‌شود و سپس به درون تانک ذخیره باز می‌گردد. شکل ۲-۱۴ ساختار یک سیستم با ۲ تانک را نشان می‌دهد. به خاطر اینکه سیستم هوایی عموماً برای پیش گرمایش آب گرم خانگی به کار می‌رود و بنابراین هیت‌ر کمکی در یک تانک فقط قرار می‌گیرد، این نوع سیستم‌ها اغلب اوقات استفاده می‌شوند.

مزیت این سیستم این است که هوا به محافظت در برابر یخ زدگی و جوشیدن نیازی ندارند و خوردگی و افت کیفیت در سیال انتقال حرارت را نیز ندارند و بعلاوه رایگان نیز است. این نوع سیستم به لحاظ قیمتی سودمندتر و مناسب‌تر است، زیرا هیچ شیر اطمینان و یا مجاری انبساطی نیاز ندارند. عیب این سیستم اینست که تجهیزات کنترل هوا (مانند داکت‌ها و فن‌ها) فضای بیشتری را نسبت به لوله‌ها و پمپ‌ها می‌گیرند. همچنین کشف نشت هوا بسیار مشکل است و بعلاوه توان مصرفی (الکتریسته بکار رفته برای حرکت فن‌ها) معمولاً بیشتر از سیستم‌های آبی است.



شکل ۲-۱۴ - سیستم هوایی [۴].

۴-۲-۲- سیستم‌های پمپ حرارتی

پمپ‌های حرارتی، انرژی مکانیکی را برای انتقال انرژی حرارتی از یک منبع (چشمه^۱) حرارتی در دمای پایین به یک چاه^۲ حرارتی بکار می‌برد. مزیت بزرگ سیستم‌های گرمایش پمپ حرارتی رانده شده توسط برق، در مقایسه با گرمایش یا مقاومت الکتریکی یا سوخت‌های گران، اینست که ضریب کارایی پمپ‌های حرارتی (COP)؛ نسبت کارایی حرارتی به انرژی الکتریکی برای گرمایش بزرگتر از واحد است؛ زیرا، پمپ‌های حرارتی ۹ تا ۱۵ MJ حرارت را به ازای هر کیلووات ساعت انرژی مورد نیاز کمپرسور می‌دهد.

ایده‌ی اصلی این سیستم، توسط چارترز^۳ و همکارانش^۴ در ۱۹۸۰ [۱۰] ارائه گردید. این سیستم شامل یک تبخیر مستقیم سیال کار پمپ حرارتی، یک مبدل حرارتی پوششی و پیچیده^۴ اطراف تانک ذخیره می‌باشد. یک عیب ممکن این سیستم‌ها اینست که انتقال حرارت کندانسور با جابجایی آزاد از دیواره‌ی تانک محدود می‌شود، که می‌توان با بکار بردن سطح انتقال حرارت بزرگ آن را مینیمم کرد. یک عیب مهم این سیستم این است که در مدار تبرید، پمپ حرارتی باید تخلیه شده و در مکان شارژ شود، که به تجهیزات و مهارت‌های خاصی نیاز است. این عیب با بکار بردن سیستم پمپ حرارتی فشرده از بین می‌رود. این سیستم یک اواپراتور نصب شده در خارج تانک ذخیره آب با جریان هوای با جابجایی طبیعی را در خورد دارد. این سیستم نیاز دارد تا در هوای آزاد نصب شود و اگر در مجاورت داکت تهویه هوای خروجی از ساختمان قرار گیرد، می‌تواند به عنوان واحد بازیابی گرمای تلف شده به کار رود. فایده این سیستم اینست که تمامی تجهیزات این سیستم در کارخانه مونتاژ شده و بنابراین سیستم پیش شارژ^۵ (شارژ اولیه) می‌شود [۴].

۵-۲-۲- سیستم‌های گرمایش استخر

سیستم‌های گرمایش استخر به مخزن ذخیره مجزا نیاز ندارند، زیرا استخر خود به عنوان مخزن ذخیره در نظر گرفته می‌شود. در بیشتر موارد، از پمپ فیلتراسیون استخر به منظور گردش آب در پنل‌های خورشیدی یا لوله‌های پلاستیکی، استفاده می‌شود. به طور کلی در طول روز، به کنترل‌های خودکار نیاز نمی‌باشد، زیرا وقتی خورشید می‌تابد، استخر عمل جذب گرما را انجام می‌دهد. اگر قرار

¹ source

² sink

³ Charters et al

⁴ wrapped

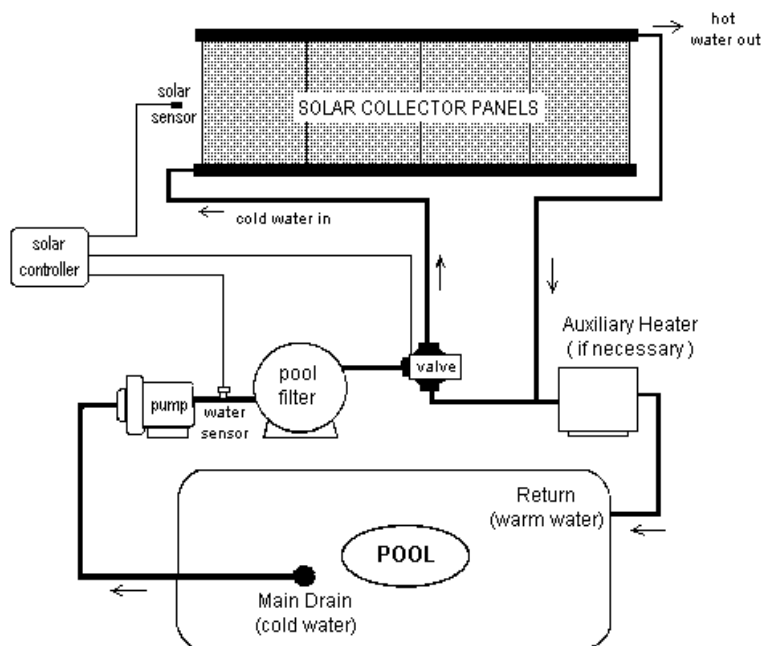
⁵ Pre - charged

باشد از سیستم‌های کنترلی استفاده شود، از آنها به منظور هدایت جریان آب فیلتر شده به کلکتورها تنها زمانی که حرارت خورشیدی مهیا می‌باشد، استفاده می‌شود. به علاوه، این امر توسط یک شیر ساده دستی تحقق می‌یابد. معمولاً این نوع از سیستم‌های خورشیدی به صورت تخلیه از پایین (تخلیه به درون استخرهنگامی که پمپ خاموش است) طراحی می‌شوند؛ بنابراین کلکتورها ذاتاً در مقابل یخ‌زدگی محافظت می‌شوند. اولین نوع طراحی کلکتور که برای گرمایش استخرهای شنا مورد استفاده قرار گرفت، یک صفحه پلاستیکی مشکی‌رنگ سخت بود که از پلی‌پروپیلن ساخته شده بود. در تمام موارد، مساحت زیادی مورد نیاز می‌باشد و سقف خانه نزدیک به استخر می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. اتلاف حرارتی کل، مجموع تلفات تبخیر، تشعشع و جابجایی می‌باشد. این محاسبه نیازمند دانستن دمای هوا، سرعت باد و رطوبت نسبی یا فشار بخار نسبی می‌باشد. موارد دیگری از تلفات حرارتی که دارای تأثیر به مراتب کمتری نسبت به موارد فوق‌الذکر می‌باشند، عبارتند از: آشفته‌گی ایجاد شده توسط شناگران، هدایت حرارتی به زمین (معمولاً بسیار ناچیز است)، و بارش باران که چنانچه این مقادیر قابل توجه باشند می‌توانند سبب کاهش دمای استخر شوند [۴]. بطورمتوسط استخرهای رو باز، ۹۰ درصد گرمایشان را از طریق سطح از دست می‌دهند به‌طوریکه ۷۰ درصد به‌وسیله جابجایی و تبخیر، ۲۰ درصد بوسیله تابش به آسمان، و حدود ۱۰ درصد نیز بوسیله هدایت از دیواره ها و کف هدر می‌رود. بهترین راه جلوگیری از اتلاف حرارت ناشی از تبخیر، استفاده از یک روکش پلاستیکی بر روی استخر است. کشیدن روکش، بین ۵ تا ۱۰ درجه دمای آب را بالاتر می‌برد. اندازه کلکتور مورد نیاز برای یک استخر شنا به عوامل بسیاری بستگی دارد. از جمله این عوامل می‌توان به اندازه استخر، وضعیت آب و هوا، دمای آب مورد نیاز، شرایط وزش باد، میزان سایه بودن استخر، و میزان استفاده از استخر اشاره نمود. معمولاً، کل سطح مورد نیاز کلکتور خورشیدی برابر ۵۰ تا ۱۰۰ درصد سطح استخر می‌باشد. از نظر جهت، کلکتور باید رو به جنوب و به زاویه عرض جغرافیایی منطقه باشد [۱۱]. شکل ۲-۱۵، شمایی از سیستم گرمایش آب استخر را نشان می‌دهد. تصویری از یک سیستم گرمایش استخر در شکل ۲-۱۶ نشان داده شده است.

۲-۳- سیستم‌های ذخیره حرارت

مخزن ذخیره‌ی حرارت یکی از بخش‌های اصلی سیستم گرمایش، سرمایش و تولید توان خورشیدی است. بخاطر اینکه تقریباً نیمی از سال هر مکانی در تاریکی است، مخزن ذخیره‌ی حرارت بسیار لازم است به شرط اینکه سیستم خورشیدی به طور پیوسته عمل کند. برای بعضی از کاربردها، مانند استخر شنا، گرمایش هوا در هنگام روز و پمپ‌های آبیاری، عملکرد متناوب و دوره‌ای قابل قبول است، اما بیشتر دیگر کاربردهای انرژی خورشیدی نیاز به عملکرد در طول شب و وقتی که خورشید در

پشت ابرهاست دارند. معمولاً طراحی و انتخاب تجهیزات مخزن ذخیره‌ی حرارتی یکی از پارامترهای است که در سیستم‌های خورشیدی، بیشترین غفلت را در این مورد می‌شود. ولی سیستم‌های ذخیره‌ی انرژی یک تاثیر بسزایی در هزینه سیستم، کارایی و قابلیت اطمینان آن دارند. علاوه، سیستم ذخیره روی پارامترهای اساسی دیگر نیز مانند حلقه کلکتور و سیستم توزیع حرارتی موثر است.



شکل ۲-۱۵- شمایی از سیستم گرمایش آب استخر



شکل ۲-۱۶- تصویری از یک سیستم گرمایش آب استخر

یک تانک ذخیره در یک سیستم خورشیدی، وظایف بسیاری دارد، که مهمترین آنها بصورت زیر می‌باشد:

- بهبودی بکارگیری انرژی خورشیدی جمع آوری شده با فراهم کردن ظرفیت و توان حرارتی برای کم کردن دسترسی به خورشید و عدم تطبیق بار و بهبود واکنش سیستم به بارهای پیک ناگهانی یا تلفات ورودی انرژی خورشیدی
- بهبودی عملکرد سیستم با جلوگیری از سرعت رسیدن سیال انتقال حرارت به دمای بالا، که باعث کم شدن راندمان کلکتورها می‌شود.

به طور کلی، انرژی خورشیدی در مایعات، جامدات یا موادی با قابلیت تغییر فاز^۱ (PCM) ذخیره می‌شود. آب بیشترین کاربرد را به عنوان واسطه‌ی ذخیره برای سیستم‌های آبی دارد، چون آب ارزان و غیر سمی و ظرفیت ذخیره‌ی بالایی به خاطر وزن و حجم دارد. به علاوه، آب به عنوان یک مایع، جابجایی آسان با پمپ‌ها و لوله کشی‌های مرسوم می‌باشد. برای سرویس کاربردهای گرمایش آبی و بیشتر گرمایش فضای ساختمان، آب به صورت معمول شامل انواع تانک‌ها است، که معمولاً مدور می‌باشند. سیستم‌های هوایی گرما را در سنگ و سنگریزه‌ها ذخیره می‌کنند، اما بیشتر اوقات جرم ساختاری ساختمان به کار می‌رود.

دمای سیال تحویل داده شده به بار (Load) باید برای کاربردهای مورد نظر مناسب باشد. دمای پایین‌تر سیال فرستاده شده به کلکتور، راندمان بالای کلکتور را شامل می‌شود.

مکان مخزن ذخیره همچنین باید با دقت مورد ملاحظه قرار گیرد. بهترین مکان داخل فضای ساختمان یا زیر سقف است، زیرا اتلافات حرارتی در کم‌ترین مقدار و بدتر شدن شرایط آب و هوایی یک فاکتور نیست. اگر تانک را نمی‌توان در داخل فضای ساختمان نصب کرد، باید در بالای زمین یا روی سقف قرار گیرد. در این هنگام یک مخزن ذخیره باید یک عایق بندی خوب و محافظت خوب از این عایق بندی داشته باشد. تانک ذخیره باید حتی الامکان نزدیک مجموعه کلکتورها قرار گیرد تا از لوله کشی طولانی جلوگیری به عمل آید.

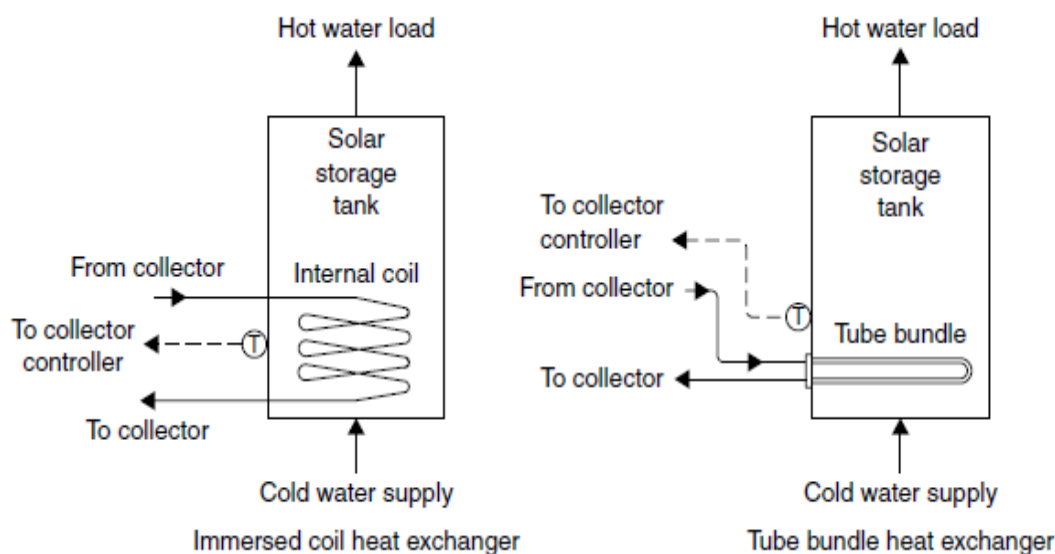
۲-۳-۱- ذخیره‌ی حرارتی سیستم‌های مایع

۲ نوع مخزن ذخیره‌ی آبی برای سیستم‌های مایع در دسترس است: تحت فشار، بدون فشار.

^۱ Phase change material

دیگر تفکیک شامل کاربرد یک مبدل خارجی یا داخلی یا ساختار واحد یا چندتایی تانک می‌باشد. آب ممکن است در تانک مسی، فلز گالوانیزه (فلز پوشانده شده با روی) یا تانک بتنی ذخیره شود. هرچه که این مخزن انتخاب شود، باید خوب عایق بندی شود و تانک‌های بزرگ باید به دسترسی یا مدخل ورودی برای تعمیر و نگهداری تجهیز شوند. مقدار U (ضریب اتلاف حرارتی کلی) پیشنهاد شده برابر $0.16 \frac{W}{k-m^2}$ می‌باشد [۴].

سیستم‌های تحت فشار به سمت منبع اصلی آب شهر^۱، باز و متصل می‌باشد. منبع تحت فشار برای سیستم‌های گرمایش آب سرویس کوچک ترجیح داده می‌شوند، اگرچه این نمونه در مکان‌هایی که منبع آب به صورت متناوب و دوره‌ای است، مناسب نیست. اندازه‌ی مخزن ذخیره در حالت واقعی بین ۴۰ تا ۸۰ لیتر بر یک مربع از سطح کلکتور می‌باشد. در سیستم‌های تحت فشار، مبدل حرارتی همیشه در سمت کلکتور قرار می‌گیرد. چه ساختار مبدل حرارتی داخلی و چه خارجی برای این نوع سیستم‌ها می‌توان بکار برد. ۲ نوع اساسی مبدل‌های حرارتی داخلی وجود دارد: یکی کویل‌های غوطه ور^۲ و دیگری مجموعه لوله‌های متمرکز^۳ که در شکل ۲-۱۷ نشان داده شده است.



شکل ۲-۱۷- مخزن تحت فشار با مبدل حرارتی داخلی [۴].

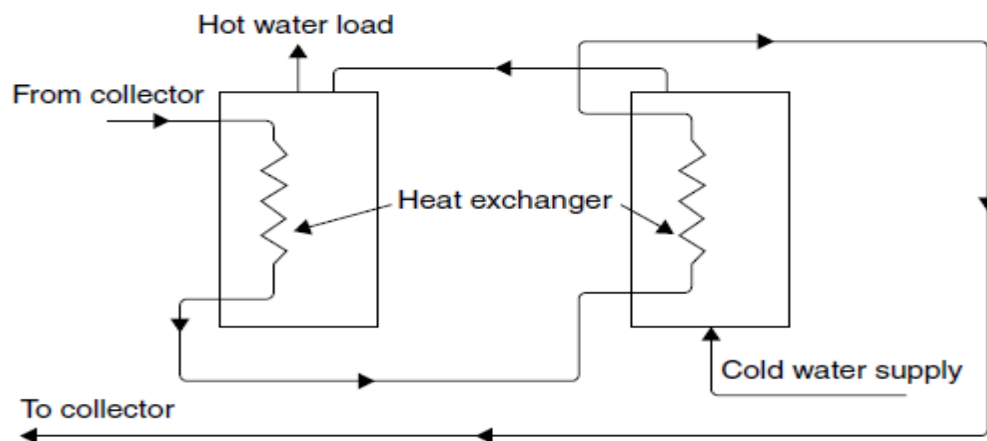
¹ City mains

² Immersed coil

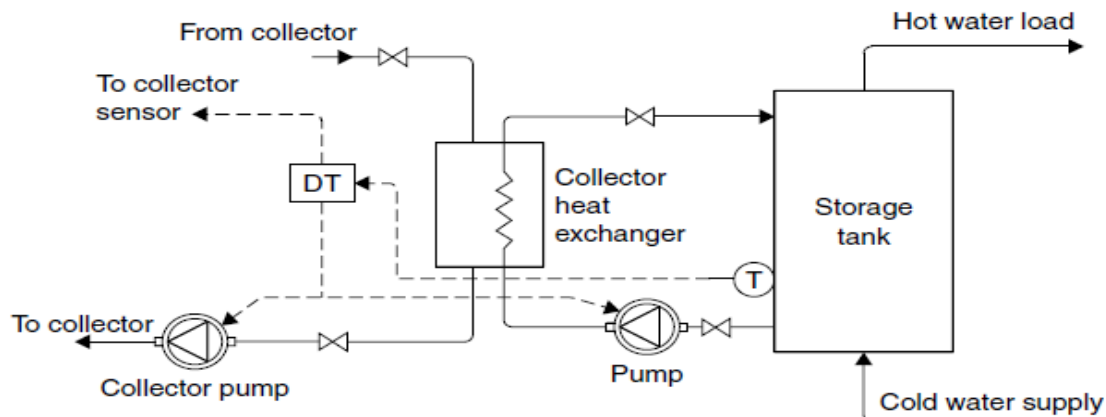
³ Tube bundle

بعضی اوقات، بخاطر حجم تانک مورد نیاز، بیش تر از یک تانک بجای یک تانک بزرگ به کار می رود ، اگر چنین تانکی در دسترس نیست. پیشنهاد تانک های اضافی، علاوه بر حجم تانک اضافی، سطح مبدل حرارتی افزایش را داده (وقتی که یک مبدل در هر تانک بکار می رود) و افت فشار در حلقه ی کلکتور را کاهش می دهد. ساختار چند تانک برای سیستم های تحت فشار در شکل ۱۸-۲ نشان داده شده است. باید توجه داشت که مبدل های حرارتی در حالت برگشت معکوس به یکدیگر متصل می شوند، تا بالانس جریان ایجاد شود.

یک مبدل حرارتی خارجی، انعطاف پذیری بیشتری را فراهم می کند، زیرا تانک و مبدل حرارتی به طور مستقل از دیگر تجهیزات می توان انتخاب کرد (شکل ۱۹-۲ را ببینید). عیب این سیستم، مصرف انرژی اضافی انرژی الکتریکی به خاطر کاربرد پمپ اضافی می باشد.



شکل ۱۸-۲- آرایش تانک ذخیره چندگانه با مبدل حرارتی داخلی [۴].

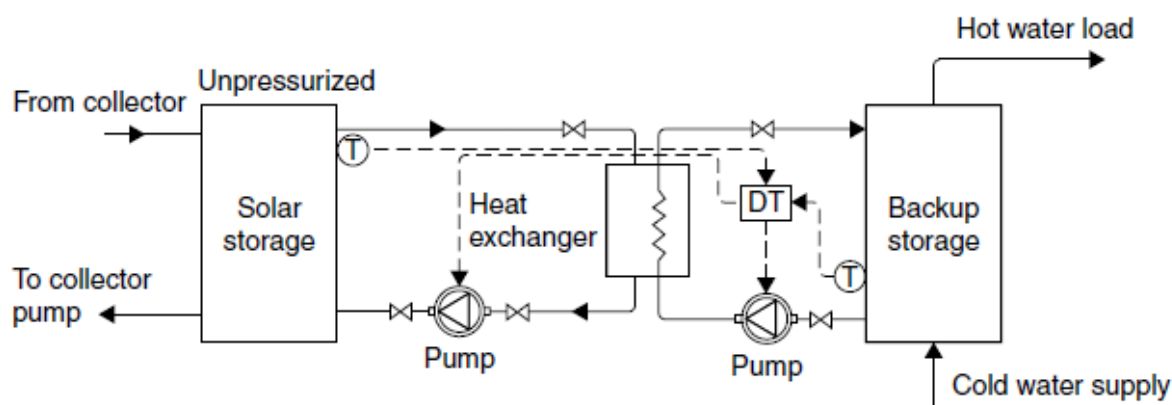


شکل ۱۹-۲- سیستم مخزن تحت فشار با مبدل حرارتی [۴].

برای سیستم‌های کوچک، یک آرایش تانک-مبدل حرارتی داخلی معمولاً بکار می‌رود که فایده‌ی این سیستم، جلوگیری از یخ زدگی آب در سمت مبدل حرارتی است. ولی، انرژی مورد نیاز برای نگهداری آب در بالای شرایط یخ زدگی از مخزن استخراج می‌شود. بنابراین، کارایی کلی سیستم کاهش می‌یابد. در این سیستم، یک کنارگذر^۱ برای منحرف کردن جریان سرد حول مبدل حرارتی تا وقتی که به یک سطح قابل قبول دمایی در حدود ۲۵ درجه سانتی گراد برسد، قرار می‌گیرد [۱۲]. وقتی که سیال انتقال حرارت تا این سطح گرم شود، می‌تواند وارد مبدل شده، بدون آنکه باعث یخ زدگی یا استخراج گرما از مخزن ذخیره شود. در صورت لزوم، این آرایش همچنین برای بهبود کارایی سیستم‌های با مبدل داخلی به کار می‌رود.

برای سیستم‌های با اندازه‌ی بزرگتر از 30 m^3 ، مخزن بدون فشار معمولاً از نظر هزینه نسبت به سیستم‌های تحت فشار موثرتر می‌باشد. این سیستم، برای سیستم‌های کلکتور صفحه تخت کوچک خانگی نیز کاربرد دارد. در این نمونه، آب جبرانی معمولاً از تانک ذخیره‌ی آب سرد که روی سیلندر آب گرم قرار می‌گیرد، فراهم می‌شود [۴].

مخزن ذخیره‌ی بدون فشار برای گرمایش آب و فضا، می‌تواند با منبع آب شهر تحت فشار ترکیب شود. این مطلب، کاربرد مبدل حرارتی در سمت بار تانک جدا کردن منبع با فشار بالای آب آشامیدنی از حلقه‌ی کلکتور با فشار پایین را می‌رساند. یک مخزن بدون فشار با یک مبدل خارجی در شکل ۲-۲۰ نشان داده شده است.



شکل ۲-۲۰- سیستم ذخیره‌ی بدون فشار با مبدل حرارتی خارجی

^۱ Bypass

در این ساختار، گرما از بالای مخزن خورشیدی استخراج شده و آب سرد به پایین تانک برمی‌گردد. به طوریکه قشربندی حرارتی از بین نمی‌رود. به همین دلیل در سمت بار مبدل حرارتی، آبی که باید گرم شود، از پایین تانک پشتیبان^۱، جایی که آب سرد وجود دارد جریان می‌یابد و آب گرم به بالای تانک برمی‌گردد. جایی که سیال انتقال حرارت در حلقه‌ی کلکتور سیرکوله می‌شود، مبدل حرارتی ممکن است، یک ساختار دو دیواره^۲ برای محافظت از آب آشامیدنی از آلودگی داشته باشد. یک کنترل دمایی دیفرانسیلی، ۲ پمپ در هر دو سمت کلکتور را کنترل می‌کند. وقتی که پمپ‌های کوچک به کار می‌روند، هر دو ممکن است با یک کنترلر کنترل شوند. مبدل حرارتی خارجی که در شکل ۲-۲۰ نشان داده شده است، انعطاف پذیری خوب سیستمی و آزادی عمل در انتخاب را فراهم می‌سازد. در بعضی نمونه‌ها، هزینه سیستم و مصرف قدرت اضافی ممکن است با مبدل حرارتی داخلی کاهش یابد.

قشر بندی حرارتی، جمع آوری آب گرم به بالای تانک ذخیره و آب سرد در پایین تانک است، که کارآیی تانک را به خاطر اینکه آب گرم‌تر برای کاربرد در دسترس بوده و آب سردتر نیز به سمت کلکتور رفته (که کلکتور را قادر می‌سازد تا در راندمان بالاتر عمل کند)، افزایش می‌دهد.

۲-۴- کلکتورهای انرژی خورشیدی

کلکتورهای انرژی خورشیدی، نوع خاصی از مبدل های حرارتی هستند که انرژی تابشی خورشید را به انرژی داخلی محیط مورد انتقال، تبدیل می‌کنند. مهمترین قسمت هر سیستم خورشیدی، کلکتور خورشیدی می‌باشد که با جذب انرژی تابشی ورودی از خورشید و تبدیل آن به حرارت، این حرارت را به سیالی که در داخل کلکتور جریان دارد انتقال می‌دهد. بنابراین انرژی خورشیدی جمع آوری شده، به وسیله سیال در گردش به طور مستقیم برای تولید آب داغ یا دستگاه های تهویه و یا مخزن ذخیره انرژی گرمایی که می‌توان از آن در شب ها یا روزهای بارانی استفاده کرد، منتقل می‌شود.

بطور اساسی دو نوع کلکتور خورشیدی غیرمتمرکز یا بدون حرکت و متمرکز وجود دارد. یک کلکتور غیر متمرکز همان سطحی را برای برخورد و جذب تابش خورشیدی دارد که یک کلکتور متمرکز ردیاب خورشیدی معمولاً به صورت یک سطح بازتابنده مقعر برای دریافت و تمرکز تابش پرتوهای خورشید به یک سطح گیرنده کوچک و در نتیجه افزایش شار تابشی، دارا می‌باشد. انواع

¹ Backup

² Double - wall

زیادی از کلکتورهای خورشیدی در بازار موجود است که لیست جامعی از آنها در جدول ۲-۲ نشان داده شده است [۱۳].

۲-۴-۱- کلکتورهای بدون حرکت (ثابت)

کلکتورهای خورشیدی بوسیله حرکت آنها، بطور مثال بدون حرکت، متحرک روی یک محور و متحرک روی دو محور و دمای عملکردشان شناسایی می‌شوند. کلکتورهای ثابت بطور دائم در موقعیتی ثابت شده‌اند و حرکت خورشید را ردگیری نمی‌کنند. این کلکتورها به سه دسته زیر تقسیم بندی می‌شوند:

- ۱- کلکتورهای صفحه تخت^۱
- ۲- کلکتورهای سهموی مرکب^۲
- ۳- کلکتورهای لوله تخلیه^۳

آنگونه که در جدول ۲-۲ مشاهده می‌کنیم، کلکتورهای خورشیدی بسته به حرکت، سه نوع ثابت، حرکت حول یک محور و حرکت حول دو محور را شامل می‌شوند. کلکتورهای ثابت شامل کلکتور صفحه تخت، لوله تخلیه و سهموی مرکب می‌باشند، که کلکتور سهموی مرکب جزء دسته حرکت حول یک محور نیز می‌شود. کلکتورهای منعکس کننده‌ی خطی فرزنل، تشتک سهموی و تشتک استوانه‌ای با جذب کننده‌های لوله‌ای جمله کلکتورهای حرکت حول یک محور هستند. کلکتورهای بشقابی سهموی و چرخ آینه‌ای دورانی یا هلیوستات نیز کلکتورهای حرکت حول دو محور با متمرکزکننده‌های نقطه‌ای می‌باشند.

¹ FPC: Flat-Plate Collector

² CC: Concentrating Collector

³ ETC: Evacuated Tube Collector

جدول ۲-۲- کلکتورهای انرژی خورشیدی [۴]

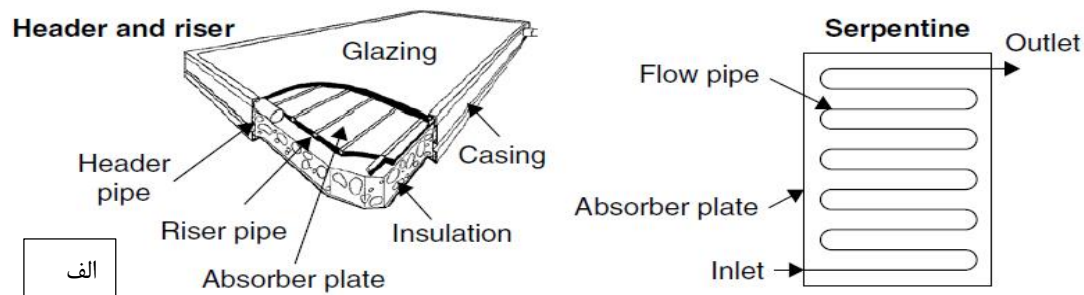
Motion	Collector type	Absorber type	Concentration ratio	Indicative temperature range (°C)
Stationary	Flat-plate collector (FPC)	Flat	1	30–80
	Evacuated tube collector (ETC)	Flat	1	50–200
	Compound parabolic collector (CPC)	Tubular	1–5	60–240
5–15			60–300	
Single-axis tracking	Linear Fresnel reflector (LFR)	Tubular	10–40	60–250
	Cylindrical trough collector (CTC)	Tubular	15–50	60–300
	Parabolic trough collector (PTC)	Tubular	10–85	60–400
	Two-axis tracking	Parabolic dish reflector (PDR)	Point	600–2000
Heliostat field collector (HFC)		Point	300–1500	150–2000
Note: Concentration ratio is defined as the aperture area divided by the receiver/absorber area of the collector.				

حال با توجه به کاربرد زیاد کلکتورهای صفحه تخت در آبگرمکن‌های خورشیدی تنها به بررسی کلکتورهای صفحه تخت می‌پردازیم.

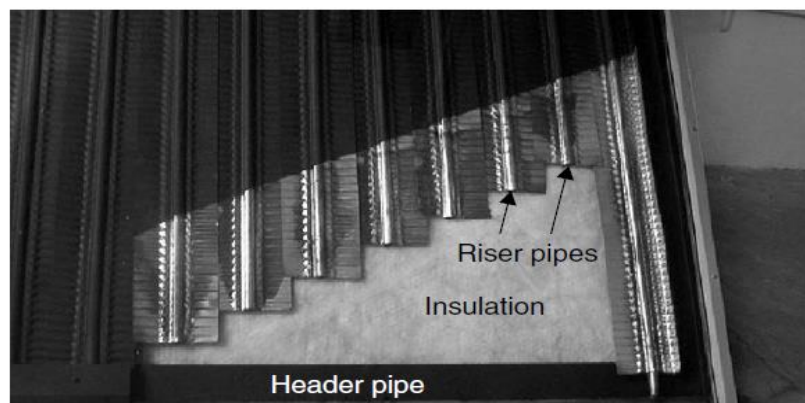
۲-۴-۲- کلکتورهای صفحه تخت

یک نمونه کلکتور خورشیدی با صفحه تخت در شکل ۲-۲۱ نشان داده شده است. هنگامی که انرژی خورشیدی از پوشش شفاف عبور می‌کند و با سطح جذب کننده سیاه با ضریب جذب بالا برخورد می‌کند، مقدار زیادی از این انرژی توسط صفحه، جذب شده و سپس به محیط انتقال دهنده انرژی منتقل می‌شود که همان لوله های حاوی سیال می‌باشند که انرژی را برای استفاده ذخیره می‌کنند. سطح زیرین صفحه جاذب و سطح لوله ها به منظور کاهش افت های حرارتی ناشی از انتقال حرارت

هدایتی، کاملاً عایق بندی شده‌اند. لوله های حاوی سیال در دو انتها به لوله اصلی با قطر بزرگتر متصل می‌باشند.



الف



ب

شکل ۲-۲۱- کلکتور صفحه تخت (الف) نمای تصویری از کلکتور تخت (ب) عکس برشی از لوله های تغذیه و اصلی کلکتور تخت [۴].

لوله های تغذیه و اصلی یک نوع طراحی برای کلکتورهای تخت خورشیدی می باشد. یک طراحی جایگزین در کلکتورهای خورشیدی، طراحی مارپیچی نشان داده شده در شکل سمت راست ۲-۲۱-الف است. کلکتورهای با طراحی لوله های تغذیه و اصلی مسئله پتانسیل توزیع جریان متغیر در لوله های تغذیه مختلف را ارائه نمی‌دهد ولی کلکتورهای مارپیچی در حالت ترموسیفون به طور مؤثر کار نمی‌کنند و برای گردش سیال عامل انتقال حرارت نیاز به پمپ دارند. صفحه جاذب می‌تواند به صورت یک ورقه یا صفحه واحد که لوله های تغذیه روی آن ثابت شده‌اند، باشد یا همانطوری که در شکل ۲-۲۱-ب نشان داده شده است، هر لوله تغذیه روی یک پره جداگانه قرار می‌گیرد.

به منظور کاهش اتلاف حرارتی از طریق جابجایی، به علت وجود لایه های هوای راکد مابین صفحه جاذب و پوشش شیشه‌ای از پوشش شفاف، استفاده می‌شود. همچنین پوشش شیشه‌ای تلفات تشعشع را کاهش می‌دهد. به دلیل اینکه شیشه به طول موج های کوتاه صادره از خورشید اجازه عبور

می‌دهد ولی در مقابل طول موج های بلند تابش گرمایی صادر کننده از صفحه جذب کننده، مات می‌باشد(اثر گلخانه‌ای).

مزیت‌های کلکتور تخت خورشیدی اینست که تولید این کلکتورها ارزان بوده و هردو تشعشع مستقیم و دیفیوز را جمع آوری می‌کند. یک کلکتور صفحه تخت معمولا بطور دائمی در یک موقعیت ثابت می‌شود و نیازی به دنبال کردن خورشید ندارد. کلکتور باید بطور مستقیم متمایل به خط استوا باشد بطوریکه در نیمکره شمالی رو به جنوب و در نیمکره جنوبی به طرف شمال باشد. بهترین زاویه شیب کلکتور برابر باعرض جغرافیایی محل با اختلاف زاویه ۱۰ تا ۱۵ درجه بسته به نوع استفاده می‌باشد.

یک کلکتور بطور عمومی دارای اجزای زیر می‌باشد که در شکل ۲-۲۲ نشان داده شده‌اند:

- ۱- **روکش** : یک یا چند صفحه شیشه‌ای یا دیگر مواد هادی پرتوهای نوری
- ۲- **مسیر سیال جاذب^۱** : لوله ها، پرها و مجراها برای هدایت یا انتقال مستقیم سیال انتقال دهنده حرارت از داخل به خارج
- ۳- **صفحه جذب کننده**: صفحات صاف، موجدار یا شیاردار که به آنها لوله‌ها، پرها و مجراها متصل شده‌اند. صفحات و لوله‌ها می‌توانند یکپارچه باشند. معمولا صفحات توسط پوششی با جذب بالا و نشر پایین دربر گرفته می‌شود.
- ۴- **لوله های اصلی و مانیفولدها^۲**: لوله ها و کانال ها برای ورود و خروج سیال
- ۵- **عایق کاری**: برای کاهش اتلاف حرارتی از پشت و اطراف کلکتور
- ۶- **محفظه و جعبه^۳**: برای محافظت از اجزای ذکر شده در برابر گرد و غبار، رطوبت و غیره.

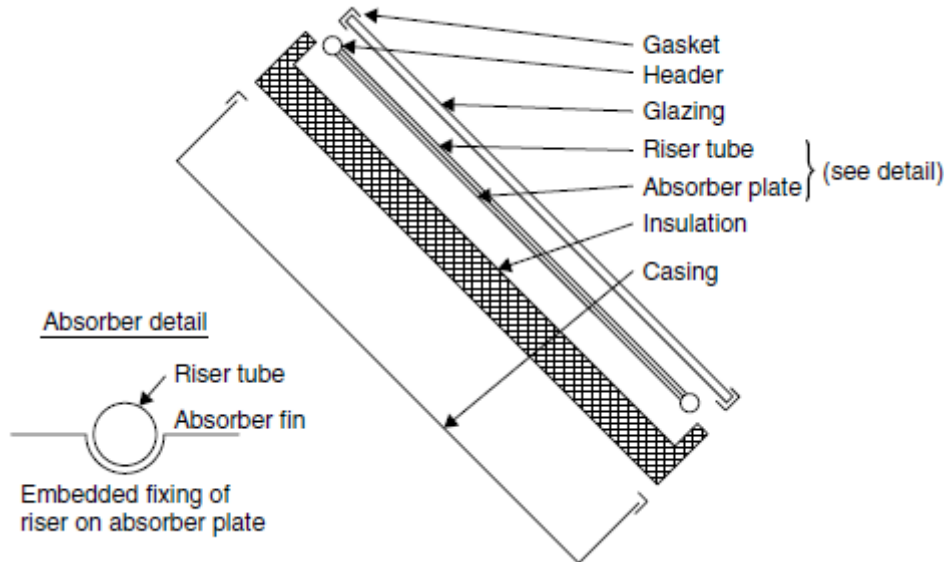
کلکتور های صفحه تخت با طرح های گوناگون و گسترده و از مواد مختلفی ساخته می‌شوند. از این کلکتورها برای گرمایش سیالاتی مانند آب، آب به اضافه مواد ضد یخ و یا هوا، استفاده می‌شود. وظیفه اصلی آنها جمع آوری هر چه بیشتر انرژی خورشیدی تا حد امکان و با حداقل هزینه ممکن می‌باشد. همچنین یک کلکتور باید با توجه به آثار مضر ماوراء بنفش خورشید، خوردگی و مسدود شدن به دلیل خواص اسیدی، قلیایی و یا سختی سیال مورد استفاده برای انتقال حرارت، یخ زدگی

¹ Heat removal fluid passageways

² Headers or manifolds

³ container

آب، نشستن غبار روی شیشه روکش دار و شکستن شیشه در اثر انبساط حرارتی، بادهای شدید و دلایل دیگر، طول عمر زیادی داشته باشد.



شکل ۲-۲۲- نمای گسترده از صفحه تخت و جزئیات صفحه جاذب

اطلاعات بیشتر در مورد مواد شیشه روکش دار و صفحات جاذب در بخش های زیر آورده شده است.

۲-۴-۱- مواد شیشه روکش دار^۱

از شیشه بطور گسترده‌ای در کلکتورهای خورشیدی با شیشه های روکش دار استفاده می‌شود. این ماده می‌تواند تا ۹۰ درصد تابش‌های با طول موج کوتاه خورشید را عبور می‌دهد ولی طول موج های بلند صادر شده از صفحات جذب کننده را عبور نمی‌دهد. شیشه با مقدار کمی آهن، ضریب عبور بالایی برای تابش خورشید (تقریباً ۰/۹-۰/۸۵ در حالت عادی) دارد، ولی ضریب عبور آن برای طول موج‌های بلند تابش گرمایی ($5-50\mu m$) صادره از صفحات گرم شده توسط خورشید ضرورتاً صفر می‌باشد.

همچنین لایه ها و صفحات پلاستیکی، ضریب عبور بالایی در طول موج های کوتاه دارند ولی به دلایل مختلف، ضریب عبورشان در بازه‌ی میانی طول موج تابش حرارتی قرار می‌گیرد. ضریب عبور

^۱ Glazing material

آنها همچنین در طول موج های بلند تا ۰/۴ نیز می رسد. پلاستیک هایی که بطور عمومی از نظر حرارتی می توانند خراب نشده و تغییر شکل ندهند، محدود هستند. تنها انواع محدودی از پلاستیک ها تحمل مقاومت در برابر اشعه ماوراء بنفش را برای مدت زمان طولانی دارند، با این حال آنها توسط تگرگ یا سنگ نمی شکنند و به صورت لایه های نازک و قابل انعطاف بوده و جرم کمی دارند.

پنجره های تجاری موجود در شیشه های گلخانه ای دارای ضریب عبور برخوردی معمولی در حدود ۰/۸۵-۰/۸۷ می باشند. با توجه به این موضوع برای تابش مستقیم، ضریب عبور به صورت قابل توجهی با تغییر زاویه برخورد، تغییر می کند [۱۴].

پوشش های ضد انعکاس و سطوح ترکیبی نیز می توانند باعث بهبود قابل توجه ضریب عبور شوند. تاثیر کثیفی و غبار بر روی شیشه کلکتور می تواند کم باشد و تاثیر پاک کنندگی باران در حالت های خاص برای ثابت کردن ضریب عبور بین ۲ تا ۴ درصد مقدار ماکزیمم آن کافی است. گردوغبار در طول تابستان وقتی بارش باران خیلی کمتر است جمع می شود ولی به خاطر بزرگی تشعشع خورشیدی در طول این دوره، گردوغبار کلکتور را از گرم شدن بیش از حد محافظت می کند.

شیشه روکش دار باید تا حد امکان اجازه عبور تابش خورشید را داده و از هدر رفتن حرارت جلوگیری کند. باوجود اینکه شیشه در مقابل تابش طول موج های بلند صادره از صفحات کلکتور، مات است، جذب دوباره این تابش باعث بالا رفتن درجه حرارت شیشه و اتلاف حرارت از اطراف شیشه به اتمسفر توسط تابش و جابجایی می شود.

نمونه های مختلفی از کلکتور صفحه تخت و کلکتور سهموی مرکب شفاف عایق بندی شده در دهه گذشته ساخته و آزمایش شده است [۱۵ و ۱۶]. قیمت پایین و مقاومت حرارتی بالای مواد شفاف عایق باعث گسترش شده است، بطوریکه این نوع کلکتورها از جنبه تجاری عملی هستند. نمونه ای از کلکتور صفحه تخت با پوشش شفاف عایق توسط بنز و همکارانش توسعه یافته است [۱۷]. به صورت تجربی ثابت شده است که راندمان این نوع کلکتور با نمونه کلکتور لوله تخلیه ای آن قابل مقایسه است، با این وجود هیچ مدل تجاری از این نوع کلکتورها در بازار موجود نیست.

۲-۴-۲- صفحات جذب کننده کلکتورها

صفحه کلکتور، تابش عبوری از شیشه روکش دار را تا حد امکان جذب می کند، در حالیکه باید حداقل انرژی حرارتی را از بالا از طریق اتمسفر و از پایین توسط پشت کلکتور هدر دهد. صفحات کلکتور، انرژی ذخیره شده را به مایع منتقل می کنند. برای ماکزیمم کردن تشعشع جمع آوری شده، جاذب

کلکتور باید پوششی با جذب بالا برای طول موج های کوتاه و نشر پایین برای بازتابش طول موج های بلند داشته باشد. ضریب جذب سطح کلکتور به طبیعت و رنگ پوشش و زاویه برخورد بستگی دارد. معمولاً رنگ سیاه استفاده می شود. رنگ های مختلف برای پوشش در مراجع [۱۸ و ۱۹ و ۲۰] به دلایل زیبایی استفاده می شود.

بوسیله الکترولیت مناسب یا واکنش شیمیایی مناسب می توان سطوحی با ضریب جذب (α) بالا و ضریب صدور (ϵ) پایین در طول موج های بلند در مقابل تابش خورشید تولید کرد. سطوح انتخابی که شامل لایه ی نازکی هستند و ضریب جذب بالایی در مقابل طول موج کوتاه تابش خورشید دارند اما بطور نسبی در مقابل تابش حرارتی طول موج های بلند شفاف هستند، ضرورتاً بروی سطوحی که ضریب انعکاس بالا و ضریب صدور پایینی در مقابل تابش با طول موج بلند دارند، قرار داده می شوند. هنگامیکه دمای سطح کلکتور از دمای هوای اطراف کلکتور بسیار بالاتر باشد، سطوح انتخابی بسیار مهم هستند. ارزانترین پوشش جاذب فلز پرداخت نشده و ناخالص سیاه رنگ است، ولی این سطح انتخابی نیست و کارایی این نوع کلکتور تولید شده مخصوصاً برای دماهای عملیاتی بیشتر از 40°C بالای دمای محیط کم است [۴].

یک کلکتور کارآمد خورشیدی باید تابش های خورشیدی را به انرژی گرمایی تبدیل کند و این انرژی گرمایی را به محیط مبدل حرارتی با حداقل تلفات در هر مرحله منتقل کند. این امکان وجود دارد که از انواع گوناگون طراحی ها و مکانیزم های فیزیکی برای ایجاد یک سطح انتخابی جاذب خورشیدی استفاده شود. جذب کننده های خورشیدی برپایه دولایه نوری مختلف عمل می کنند، که به عنوان جذب کننده های همزمان معرفی می شوند. یک پوشش نیمه هادی یا دی الکتریک با ضریب جذب بالای خورشیدی و ضریب عبور بالای اشعه مادون قرمز بر روی یک ماده ی غیر انتخابی با ضریب انعکاس بالا مانند فلز یکی از جذب کننده های همزمان را تشکیل می دهد. انتخاب دیگر پوشش ماده بسیار جاذب غیر انتخابی با یک آئینه حرارتی با ضریب عبور بالای خورشیدی و ضریب انعکاس بالای مادون قرمز، می باشد [۲۱].

امروزه جذب کننده های خورشیدی تجاری توسط آبکاری، آبکاری آندی، تبخیر، اسپاترینگ و با استفاده از رنگ های انتخابی خورشیدی، ساخته می شوند. بیشتر پیشرفت ها در سال های اخیر براساس اجرای تکنیک خلاء، برای تولید جذب کننده های پره دار می باشد که در دماهای پایین مورد استفاده قرار می گیرند. فرآیندهای شیمیایی و الکتروشیمیایی برای تجاری سازی آنها در حال حاضر در صنایع

تکمیلی فلزات مورد استفاده قرار گرفته است. امروزه تکنیک خلاء رشد کرده و به عنوان روشی ارزان و با مزیت حداقل میزان آلودگی شناخته شده است.

۲-۴-۲-۳- ساختار کلکتور

برای کلکتورها با جریان سیال گرم شونده، مجراها باید با صفحه جذب کننده پیوسته باشند و یا بسیار محکم به صفحه جذب کننده متصل شده باشند. مشکل اصلی، دستیابی به اتصال های خوب حرارتی بین لوله و صفحات جذب کننده بدون متحمل شدن هزینه اضافی برای کارگر و مواد می باشد. موادی که عموماً برای صفحات کلکتور استفاده می شوند، عبارتند از مس، آلومینیوم و فولاد ضدزنگ و از پلاستیک فشرده مقاوم (UV) برای دستگاه های با دمای پایین استفاده می شود. اگر تمام سطح کلکتور در تماس با سیال انتقال دهنده حرارت باشد، ضریب هدایت ماده بی اهمیت است. اگر فضای بین صفحه جاذب و پوشش شیشه ای بین ۴۰-۱۵ میلیمتر باشد اتلاف حرارتی جابجایی در یک کلکتور نسبتاً نامحسوس است.

شکل ۲-۲۳ تعدادی از انواع طرح های صفحات جذب کننده خورشیدی برای گرم کردن آب و هوا را نشان می دهد که در موقعیت های مختلفی مورد استفاده قرار گرفته اند [۴]. شکل ۲-۲۳-الف) طرح صفحه متصل را نشان می دهد که در آن مجراهای سیال برای اطمینان از هدایت حرارتی خوب بین فلز و سیال، با صفحه به صورت بهم پیوسته می باشند.

شکل ۲-۲۳-ب) و ۲-۲۳-ج) گرمکن سیال با لوله های جوش داده شده، لحیم شده و به هر صورت متصل به صفحات بالایی یا پایینی و یا نوارهای مسی را نشان می دهد. لوله های مسی بیشتر اوقات به دلیل مقاومت بالای آنها در مقابل خوردگی استفاده می شوند.

چسب حرارتی، گیره ها، قیدها یا سیم پیچ ها برای تحقیق در روش های ارزان قیمت استفاده می شوند. شکل ۲-۲۳-د) استفاده از لوله های مستطیلی قالب بندی شده را برای دستیابی به سطح انتقال حرارت بیشتر بین لوله و صفحه، نشان می دهد. از فشار مکانیکی، سیمان حرارتی یا لحیم ممکن است برای مونتاژ کردن استفاده شود. از لحیم نرم به دلیل دمای بالا صفحه در شرایط پایدار، نباید استفاده کرد.

هوا یا سایر گازها نیز می توانند توسط کلکتور صفحه تخت گرم شوند، بخصوص اگر بعضی از سطوح گسترده (شکل ۲-۲۳-س)) به منظور بی اثر کردن انتقال حرارت پایین بین فلز و هوا مورد استفاده قرار گیرد [۴].

شبکه های فلزی (شکل ۲-۲۳-۵) [۴] یا صفحات موجدار فلزی (شکل ۲-۲۳-۶) ممکن است همراه با سطوح انتخابی مورد استفاده در قبل یعنی هنگامیکه میزان عملکرد بالایی مورد نیاز است، استفاده شوند. نیاز اصلی، سطح تماس زیاد بین سطوح جذب کننده و هوا می باشد. موارد استفاده زیادی از کلکتورهای خورشیدی در مراجع [۲۲ تا ۲۸] گزارش شده است. مراحل طراحی برای یک سیستم گرمکن هوای خورشیدی در مرجع [۲۹] آورده شده و روش بهینه سازی جریان هوای آن در مرجع [۳۰] معرفی گردیده است.

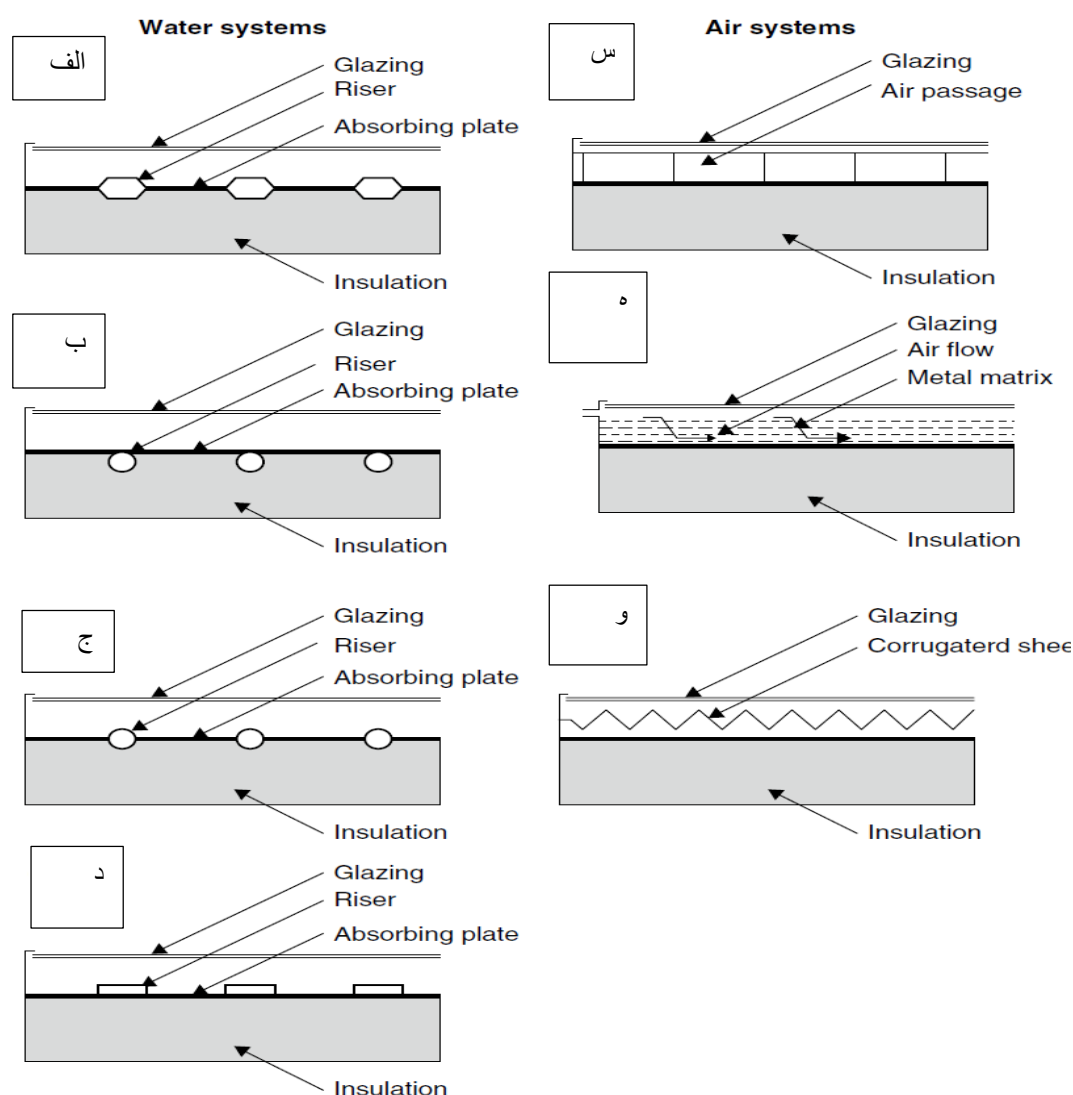
کاهش اتلاف حرارتی از جذب کننده توسط سطوح انتخابی، به منظور کاهش انتقال حرارت تابشی و یا با جلوگیری از انتقال حرارت جابجایی، انجام می شود. فرانسوا^۱ نشان داد که یک شبکه مانند شانه عسل ساخته شده از مواد شفاف که در فاصله بین شیشه روکش دار و صفحه جاذب قرار می گیرد، می تواند مفید باشد [۴].

انواع دیگر کلکتورها که در شکل ۲-۲۳ نشان داده نشده اند، کلکتورهای بدون شیشه روکش دار و بدون پوشش هستند. این نوع کلکتورها معمولاً ارزان هستند، که با هزینه های کم برای استفاده از انرژی گرمایی خورشیدی در دستگاه هایی مانند پیش گرمکن آب برای مصارف خانگی و صنعتی، گرم کردن استخرهای شنا، گرم کردن فضا و گرمایش هوا برای استفاده های صنعتی و کشاورزی، مورد استفاده قرار می گیرد. معمولاً این کلکتورها زمانی که دمای عملیاتی نزدیک به دمای محیط است، به کار می رود. این کلکتورها معمولاً کلکتورهای پانل نامیده می شوند که شامل ورقه های جاذب عریض، ساخته شده از پلاستیک، حاوی فضای بسته گذرگاه سیال است (در شکل ۲-۲۴ ببینید).

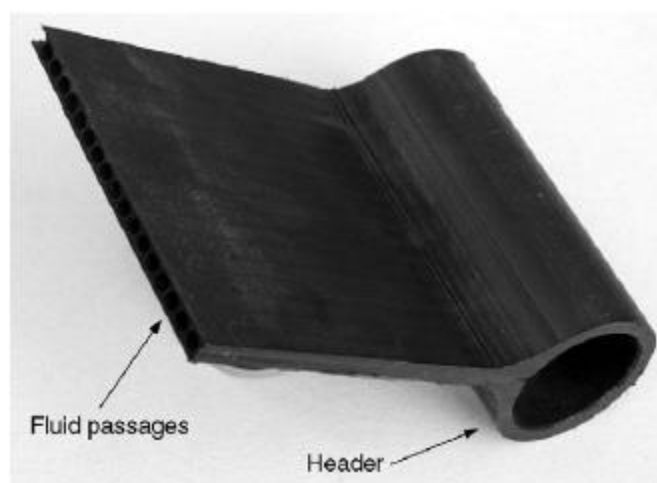
کلکتورهای صفحه تخت بیشتر از دیگر انواع کلکتورها، مورد استفاده قرار می گیرند. از کلکتورهای صفحه تخت معمولاً در دستگاه های با دمای عملکرد پایین تر از 100°C استفاده می شود، همچنین با استفاده از انواع جدید کلکتورها که از عایق خلاء و یا مواد شفاف عایق استفاده می کنند، به دماهای بالاتر نیز دست یافت [۱۷]. به دلیل استفاده از سطوح انتخابی، کلکتور صفحه تخت استاندارد واقعی می تواند به دمای ثابت بیشتر از 200°C نیز برسد. با استفاده از این نوع کلکتورها می توان به راندمان خوبی تقریباً تا 100°C دسترسی پیدا کرد.

¹ Francia

اخیراً تکنیک‌های جدیدی در صنعت ساخت، مانند استفاده از ماشین‌های جوشکاری ماوراء صوت که هم سرعت و هم کیفیت جوش را بهبود بخشیده است، معرفی شده‌اند. از این روش برای جوشکاری پره‌ها و لوله‌های تغذیه به منظور بهبود انتقال حرارت هدایتی استفاده می‌شود. بیشترین مزیت استفاده از این روش اینست که جوشکاری در دمای اتاق انجام می‌گیرد، بنابراین از تغییر شکل اجزای جوش شده جلوگیری می‌شود. این کلکتورها با روکشی انتخابی بنام کلکتور صفحه تخت پیشرفته ساخته شده است.



شکل ۲-۲۳- انواع مختلف کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت [۴].



شکل ۲-۲۴- عکس صفحه جاذب کلکتور پلاستیکی

فصل سوم:

مروری بر کارهای انجام شده (ادبیات موضوع)

۳-۱- مقدمه

همانطوری که اشاره شد، یک سیستم گرمایش آب خورشیدی (SWH) ابزاری است که انرژی خورشیدی را برای تولید آب گرم به کار می برد. سیستم گرمایش آب خورشیدی یک تکنولوژی انرژی تجدیدپذیر است و در بسیاری از کشورهای جهان استفاده می شود. این انرژی طبیعی کاملاً رایگان و منبع آن در طول روز وقتی روشنایی خورشید وجود داشته باشد نامتناهی است. کاربرد این انرژی هیچ گونه آلودگی را ایجاد نمی کند و بنابراین، رفتار دوستانه ای با محیط دارد. مصرف انرژی در ساختمان ها نیاز به بودجه انرژی زیادی دارد. بیشتر انرژی برای تولید آب گرم و گرمایش فضا بکار می رود. آب گرم نیز برای حمام کردن، توالت و شستن ظروف آشپزخانه و دیگر نیازها اهمیت دارد. آب گرم معمولاً با سوختن چوب، انرژی الکتریسیته، سوخت های فسیلی نظیر گاز طبیعی، نفت سفید، زغال سنگ، LPG و ... تأمین می شود. با ملاحظه به این موارد، مصرف انرژی خورشیدی از طریق سیستم گرمایش آب خورشیدی برای کم کردن مقدار انرژی مورد نیاز می تواند جایگزین شود [۳۱].

طراحی مناسب سیستم های گرمایش آب خورشیدی ماکزیمم سود را به کاربرها مخصوصاً در سیستم های بزرگ می رساند. در طراحی سیستم های گرمایش آب خورشیدی برای رسیدن به بیشترین راندمان و بهره وری، نیاز است تا به بهینه ترین پارامترهای طراحی دست یافته شود. بنابراین، شبیه سازی و بهینه سازی سیستم های گرمایش آب خورشیدی از مهمترین مطالعات انجام شده در این زمینه است. در ادامه، مطالعات مهمی که فصل مشترکی با این پایان نامه داشته با سه دیدگاه بهینه سازی و شبیه سازی سیستم های گرمایش آب خورشیدی و بررسی تأثیر الگوهای مصرف آب گرم روی پارامترهای طراحی آمده است.

۳-۲- مروری بر مطالعات انجام شده در سال های اخیر در حوزه آبگرمکن های

خورشیدی

۳-۲-۱- شبیه سازی سیستم های گرمایش آب خورشیدی

باکلز و کلین^۱ [۳۲] به آنالیز حرارتی آبگرمکن های خورشیدی پرداختند. در واقع آنها کارایی چند نوع متفاوت را با رهیافت شبیه سازی به مقایسه پرداختند. سیستم های آبگرمکن خورشیدی مورد مطالعه شامل سیستم های یک تانکه و دو تانکه و همینطور سیستم های مستقیم و غیر مستقیم

^۱ Backels and klein

می‌باشد. همچنین، اثر مساحت کلکتورها، اندازه‌ی تانک‌ها و توزیع بار مورد مطالعه قرار گرفته است. شبیه سازی به کمک f-chart انجام شده و نتایج آزمایشی با استانداردها مقایسه شده است.

علی‌رضا حبیب و کامران سیدکوهی [۳۳] در مقاله‌ی خود به طراحی بهینه‌ی یک سیستم گرمایش آبی خورشیدی با سیرکولاسیون اجباری برای یک واحد خانگی در شرایط آب و هوایی سرد با کمک نرم‌افزار TRNSYS پرداختند. یک سیستم گرمایش آب خورشیدی با چرخش اجباری غیر مستقیم با بکاربردن یک کلکتور تخت خورشیدی برای نیازمندی آب گرم خانگی در یک واحد خانگی در مونترال کانادا مدل شده است. تمام پارامترهای طراحی ضروری، مطالعه و مقادیر بهینه با کمک برنامه شبیه سازی TRNSYS تعیین شده است. کسر خورشیدی تمام سیستم به عنوان پارامتر بهینه سازی به کار رفته است. پارامترهایی که بهینه شده‌اند شامل: سطح کلکتور، نوع سیال، نرخ جریان جرمی کلکتور، حجم و ارتفاع تانک، کارایی مبدل حرارتی، اندازه و طول لوله‌های اتصال، مواد صفحه‌ی جاذب و ضخامت، تعداد و اندازه‌ی لوله‌های بالا رونده (رایزر) و ... می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که با بکار بردن انرژی خورشیدی، سیستم طراحی شده می‌تواند ۸۳-۹۷٪ و ۶۲-۳۰٪ تقاضای آب گرم را در تابستان و در زمستان به ترتیب فراهم کند. همچنین بدون انتخاب بهترین پوشش کلکتور ساخت محلی می‌توان حدوداً ۵۴٪ نیازمندیهای انرژی گرمایشی آبی را با انرژی خورشیدی را فراهم کرد. همانطوری که اشاره شد آنها پارامترهای زیادی را از قبیل نسبت حجم مخزن به مساحت کلکتور، ارتفاع مخزن، دبی در گردش کلکتور، درصد ضدیخ، جنس و ضخامت صفحه جاذب، قطر و تعداد و فواصل لوله های بالابرنده و کارایی مبدل را مورد بررسی قرار دادند و برای برخی پارامترها نتایج قابل تأمل و توجهی نیز به دست آوردند. اما در نقد کار آنها ذکر دو نکته لازم است. اول اینکه آنها در عین حال که برخی پارامترهای کم تأثیر را نیز مورد بررسی قرار داده‌اند اما از یکی از مهمترین پارامترهای مؤثر یعنی زاویه کلکتور غفلت کرده و مقدار آن را ثابت و برابر عرض جغرافیایی منطقه فرض نموده‌اند. ثانیاً باید توجه داشت که تغییر یک پارامتر و ثابت فرض کردن بقیه پارامترها و تکرار این کار برای همه پارامترها نیاز به سعی و خطای زیادی دارد و ممکن است دستیابی به نقطه بهینه کلی سیستم میسر نشود؛ چرا که دستیابی به این نقطه نیاز به تغییر همزمان همه پارامترهای مؤثر دارد.

زقیب و چاکر^۱ [۳۴] سیستم گرمایش آب خانگی خورشیدی را مدلسازی و شبیه‌سازی کردند. نتایج شبیه سازی بر اساس برآورد روزانه برای سیستم خورشیدی (کلکتور با سطح ۲ مترمربع و تانک با

¹ Zeghib and Chaker

ظرفیت ۲۰۰ لیتر) و در الجزایر انجام شده است. تاسیسات شامل کلکتور صفحه تخت، تانک ذخیره و یک منبع کمکی انرژی بوده است. آنها تاثیر نرخ جریان ترموسیفون و درجه‌ی قشربندی حرارتی روی کارایی سیستم گرمایش آب خورشیدی را بررسی کردند. یکی از نتایج برجسته این پژوهش این بود که لایه‌بندی حرارتی بهتر تانک‌های ذخیره باعث افزایش راندمان هیتر کمکی و کلکتورهای خورشیدی می‌شود.

حسام طاهریان و همکارانش [۳۵] به شبیه‌سازی دینامیکی کلکتور صفحه‌ی تخت در یک آبگرمکن خورشیدی ترموسیفون بسته پرداختند. شبیه‌سازی آنها برای روزهای صاف و جزئی ابری انجام شده است. انرژی مفید، دیاگرام‌های راندمان، ورودی و خروجی کلکتور، دمای مرکز جاذب و دمای مرکز پوشش شیشه‌ای در این بررسی بدست آمده است. نتیجه‌ی شبیه‌سازی با نتایج تجربی و آزمایشی در پاییز مقایسه و مطابقت خوبی مشاهده شد.

اسپار و همکارانش^۱ [۳۶] به بررسی تاثیر پروفایل مصرف آبگرم بر روی کارایی مخزن آب گرم پرداختند. آنها به کمک نرم‌افزار شبیه‌سازی TRNSYS رفتار مخزن آب گرم خانگی با مبدل حرارتی غوطه‌ور را مدل کردند. این مدل، فرایند بازیابی و تخلیه حرارتی، دینامیکی در مبدل غوطه‌ور را شبیه‌سازی و الگوی دمایی گذرا برای پروفایل مصرف DWH در مقابل دما را شبیه‌سازی کرده است. نتایج شبیه‌سازی اهمیت بازیابی مبدل غوطه‌ور بعلاوه تعداد، نوع و زمان وقوع مصرف در پروفایل روی کارایی حرارتی مخزن را نشان می‌دهد. همچنین می‌توان نتیجه گرفت پروفایل روزانه را در تست کارایی مخزن‌های حرارتی باید به کار برد.

۳-۲-۲- بهینه‌سازی سیستم‌های گرمایش آب خورشیدی

لومانس و ویسر^۲ [۳۷] کاربرد الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی سیستم‌های آبگرمکن خورشیدی بزرگ را بررسی کردند. این ابزار نتایج و هزینه‌های سیستم‌های آبگرمکن خورشیدی را برپایه‌ی داده‌های مالی و تکنیکی محاسبه می‌کند. الگوریتم ژنتیک متغیرهای جداگانه مانند نوع کلکتور، تعداد کلکتورها، جرم تانک حرارتی و سطح مبدل حرارتی را بهینه می‌کند. در این مطالعه بهینه‌سازی روی دوره‌ی بازگشت سرمایه و کاهش پراکندگی CO₂ متمرکز شده است. محدودیت‌های مسأله، مانند

¹ Spur et al

² Loomans and visser

هزینه‌های اولیه و فضای نصب مورد ملاحظه قرار گرفته است. نتایج توصیف شده در این مقاله قابلیت اجرا الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی سیستم‌های گرمایش آب خورشیدی نشان داده شد.

کریستوفر و همکارانش^۱ [۳۸] روی تأثیر نرخ جریان و درجه‌ی قشربندی حرارتی تانک بر کارایی کلکتورهای صفحه‌ی تخت تحقیقاتی انجام دادند. راندمان، کارایی و بهره‌وری حرارتی چنین سیستم‌های خورشیدی (کلکتور با سطح ۲ مترمربع و تانک با ظرفیت ۱۵۰ لیتر) برای ناحیه‌ی مدیترانه‌ای ارائه شده است. چنین سیستمی یک راندمان متوسط سالیانه حدود ۵/۵۵٪ و ۵۳٪ و بهره‌وری روزانه متوسط سالیانه ۴/۹۸ کیلووات و ۴/۷۵ کیلووات به ترتیب برای تانک قشر بندی شده^۲ حرارتی و تانک کاملاً مخلوط شده^۳ داراست. نتایج نشان می‌دهد که تانک قشر بندی شده کارایی بیشتری نسبت به تانک کاملاً مخلوط شده دارد. کاربرد مواد پلیمر وزن کلکتور را تا ۵۰٪ در مقایسه با کلکتور فلزی سنتی کاهش می‌دهد.

کولکاری و همکارانش^۴ [۳۹] برای بهینه‌سازی سیستم‌های SWH مستقیم، روش ابداعی و نسبتاً جامعی ارائه داده‌اند که نتایج خوبی داشته است. آنها با ترسیم خطوط کسر خورشیدی ثابت بر روی نمودار مساحت کلکتور بر حسب حجم ذخیره، یک فضای طراحی برای تشخیص تمام راه‌های ممکن تعیین کردند. مشاهده شد که برای یک کسر خورشیدی و مساحت کلکتور معلوم، یک حداقل و حداکثر برای حجم مخزن ذخیره و به طور مشابه برای یک کسر خورشیدی و حجم مخزن ذخیره معلوم، یک حداقل و حداکثر برای مساحت کلکتور وجود دارد. آنها در گام بعدی با استفاده از یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی با تابع هدف کمینه‌سازی هزینه سیستم SWH مرکب از خورشیدی و سوخت فسیلی، نقطه بهینه را در محدوده فضای طراحی تعیین نمودند. نتیجه کاربردی نهایی این بود که در نقاط مجاور نقطه بهینه با کاهش یا افزایش حدود ۱۰٪ کسر خورشیدی، هزینه نهایی فقط حدود ۲٪ تغییر می‌کند که این دست طراح را برای انتخاب چیدمان‌های مختلف با لحاظ کردن مسائلی چون هزینه سرمایه‌گذاری و قابلیت اطمینان سیستم باز می‌گذارد. کولکاری و همکاران نیز زاویه کلکتور را در کارشان لحاظ نکرده‌اند. احتمالاً نقطه نظر آنها این است که زاویه بهینه کلکتور می‌تواند ابتدا براساس شرایط جغرافیایی و اقلیمی منطقه تعیین شود و این زاویه به عنوان یک پارامتر ثابت در بهینه‌سازی سیستم SWH لحاظ شود که این موضوع قابل تأمل است.

¹ Cristofari et al

² Stratification

³ Fully mixed

⁴ Kulkarni et al

هنانه دگداگیو و همکارانش^۱ [۴۰] به آنالیز حرارتی و بهینه‌سازی کارایی گرمکن‌های آبی خورشیدی با کلکتورهای صفحه‌ی تخت پرداختند. در مقاله‌ی آنها فرآیند انتقال حرارت و همچنین رفتار حرارتی کلکتور صفحه تخت با محاسبه‌ی ساختار پوششی متفاوت بررسی شده است. بررسی آنها بر اساس ۲ دسته نگرش انجام شده است. اولین دسته یک مدل کامل با ملاحظه‌ی طروق مختلف انتقال حرارت در کلکتور، فرمول‌بندی و اجرا شده است. هدف، بررسی تاثیر تعداد و نوع پوشش‌ها روی اتلاف حرارتی بالایی و کارایی حرارتی وابسته می‌باشد. مدل ارائه شده همچنین، می‌تواند برای بررسی تاثیر پارامترهای متفاوت موثر روی کارایی کلکتور به کار رود. دومین دسته، یک مدل بهینه‌سازی محدود شده‌ی ۲ هدفه برای برآورد بهینگی نگرش‌های طراحی متفاوت فرمول‌بندی و اجرا شده است. هدف اینست که تصمیم گیرنده در تعریف جریان بهینه و سطح کلکتور صفحه‌ی تخت بهینه بتواند تعادل و توافقی بین راندمان کلکتور و دمای آب خروجی ایجاد کند.

آتیا و همکارانش^۲ [۴۱] در زمینه‌ی پیدا کردن اندازه‌ی بهینه‌ی سیستم گرمایش آب خورشیدی بر پایه‌ی الگوریتم ژنتیک برای یک سیستم آبی پروری تحقیقاتی انجام دادند. آنها یک مدل سیستم گرمایش آب خورشیدی اجباری برای فراهم کردن آب گرم در یک دمای معین برای یک سیستم آبی پروری ارائه کردند. اجزای اصلی سیستم آنها یک کلکتور صفحه تخت، یک تانک ذخیره و یک هیتر کمکی بیوگاز بوده است. مسئله‌ی بهینه‌سازی آنها به کمک الگوریتم ژنتیک انجام شده است. همچنین، آنها به آنالیز اقتصادی سیستم برای پیدا کردن تابع هدف مناسب پرداختند. سطح کلکتور برابر 63 m^2 و در این مقدار سطح، کسر خورشیدی به ۹۸٪ نیز رسیده است که میزان بالایی است. همچنین، آنالیز حساسیت به تغییرات تشعشع خورشیدی، تغییرات دمای هوا نیز انجام شده است.

سیلان^۳ [۴۲] آنالیز انرژی و انرژی آبریزی آبگرمکن خورشیدی دما کنترل شده را انجام داده است. هدف این مطالعه توسعه‌ی این نوع آبگرمکن یعنی TCSWH بوده است. TCSWH در دماهای 40°C ، 45°C ، 50°C ، 55°C به طور آزمایشی آنالیز و با سیستم ترموسیفون مقایسه انجام شده است. سیستم TCSWH توانست دماهای آب را در مقدار تنظیم شده با دقت $\pm 2^\circ\text{C}$ فراهم کند. در این سیستم بالاترین راندمان متوسط در دمای 40°C ، 45°C بدست آمده است. مقدار آب در TCSWH وقتی که

¹ Hanane dagdougui et al

² Atia et al

³ Ceylan

دستگاه کنترل در 45°C تنظیم شده، 84kg است و مقدار آب در همان دما در سیستم ترموسیفون 52kg می باشد. به علاوه راندمان انرژی متوسط TCSWH، 65% و در سیستم ترموسیفون 60% است.

ویلسون و همکارانش^۱ [۴۳] در مقاله‌ی خود معیارهای طراحی بهینه برای آبگرمکن‌های خورشیدی در کاربردهای خانگی و هتل‌ها را برشمردند. مدل سیستم آنها بر پایه‌ی برنامه‌ی TRNSYS است، تا تأثیر هزینه و کارایی سیستم را با تعدادی از معیارهای طراحی کلیدی مرتبط کنند. این معیارهای کلیدی شامل فاکتور یا ضریب کلکتور به مصرف‌کننده (FCC) (که براساس مترمربع سطح کلکتور به مصرف‌کننده بیان می‌شود) و ضریب کلکتور به بار (FCL) (که بر اساس مترمربع سطح کلکتور به گیگاژول بارحراتی سالیانه بیان می‌شوند) می‌باشد.

هیدالگو و همکارانش^۲ [۴۴] تأثیر مصرف آب گرم خانگی روی حجم تانک ذخیره بررسی کردند. آنها یک مدل ریاضی را با حالت آزمایشگاهی موجود مقایسه کردند و در هر حالت حجم بهینه را ارائه کردند.

۳-۲-۳- تأثیر الگوهای مصرف آب گرم روی پارامترهای طراحی

تأثیر الگوی مصرف آبگرم در بهینه سازی پارامترهای آبگرمکن‌های خورشیدی از جمله موضوعاتی است که زیاد به پرداخته نشده است. در اینجا به بررسی چند از مطالعاتی که تأثیر این مهم در شبیه‌سازی و بهینه‌سازی آبگرمکن‌های خورشیدی را مورد ملاحظه قرار دادند پرداخته شده است.

به طور مثال، چند پروفایل‌های مصرف آب گرم خانگی برای سیستم‌های گرمایش آب خورشیدی به منظور تست کردن مخزن ذخیره آب گرم خانگی بکار برده شده است [۴۵].

جردن و واژن^۳ [۴۶] چند پروفایل‌های مصرف آب گرم خانگی متفاوت را برای سیستم‌های گرمایش آب خورشیدی در مقیاس‌های زمانی متفاوت در تعیین حجم بهینه مخزن به کار بردند.

کولکاری و همکارانش [۴۷] در تعیین طراحی فضای و بهینه‌سازی سیستم‌های گرمایش آب خورشیدی تأثیر الگوی مصرف آب گرم را در این مطالعات بررسی کردند. همچنین، آنها مصرف آب گرم را در بهینه‌سازی سیستم‌های گرمایش آب خورشیدی از طریق دوباره پرکردن مخزن بررسی کردند.

¹ Wilson et al

² Hidalgo et al

³ Jordan and vajen

حبی و سیدکوهی [۳۳] پروفایل مصرف آب گرم یک واحد خانگی را برای بررسی کردن تأثیر آن روی راندمان سیستم‌های گرمایش آب خانگی در مقاله‌ی خود آوردند.

هیدالگو و همکارانش [۴۴] در مطالعه‌ی خود در مورد مصرف آب گرم خانگی در مقابل مخزن انرژی حرارتی خورشیدی، اندازه‌ی بهینه تانک ذخیره تأثیر الگوی مصرف آب گرم را مشاهده کردند.

کیم و همکارانش^۱ [۴۸] در آنالیز حرارتی و بهینه سازی آبگرمکن های خورشیدی (SWHP) با دیدگاه اقتصادی تأثیر یک الگوی مصرف را نیز بررسی کردند. آنها با استفاده از میکرو الگوریتم ژنتیک^۲ به بهینه‌سازی سیستم‌های SWHP برای تأمین آب گرم ۶۵ درجه سانتی‌گراد برای یک مصرف خانگی پرداختند.

با توجه به بررسی‌های انجام شده دیده می‌شود که در بهینه‌سازی سیستم‌های گرمایش آب خورشیدی تأثیر زوایای شیب و سمت صفحه (جهتگیری) کلکتورها بصورت مجزا از سیستم آبگرمکن و تنها با هدف ماکزیمم سازی تابش بررسی شده است. لذا بجاست تا تأثیر مصرف روی این پارامترها دیده شود و با مقدار بهینه این پارامترها در هنگام جذب حداکثری تابش مقایسه شود.

¹ Kim et al

² Micro algorithm genetic

فصل چهارم:

بررسی الگوهای مصرف

۴-۱- تقاضای آب گرم

مهمترین پارامتری که در طراحی سیستم گرمایش آب باید مورد ملاحظه قرار گیرد، تقاضای آب گرم در یک دوره‌ی معین زمانی (ساعتی، روزانه و ماهیانه) می‌باشد. اگر مصرف حجمی، V ، برای پریود زمانی مورد نیاز معلوم باشد، تقاضای انرژی، D ، مورد نیاز برای تولید آب گرم بهداشتی می‌تواند بدست آید. این انرژی مورد نیاز به دمای آب سرد تامین شده از منبع عمومی، T_m ، و دمای توزیع آب، T_w ، بستگی دارد.

$$D = V \rho_C p (T_w - T_m) \quad (۴-۱)$$

اگر دو دما در معادله‌ی (۴-۱) برای کاربردهای خاص شناخته شوند، تنها پارامتری که تقاضای انرژی به آن بستگی دارد، مصرف حجمی است. این پارامتر بر طبق دوره‌ی زمانی مورد محاسبه برآورد می‌شود. برای مثال، برای تقاضای آب ماهیانه، عبارت زیر به کار می‌رود:

$$V = N_{days} N_{persons} V_{person} \quad (۴-۲)$$

$$N_{days} = \text{تعداد روزهای یک ماه}$$

$$N_{persons} = \text{تعداد افرادی که سیستم گرمایش آب برای آنها به کار می‌رود.}$$

$$N_{person} = \text{حجم آب گرم مورد نیاز برای یک نفر}$$

مصرف حجمی، V ، به طور قابل توجه از یک نفر به یک نفر دیگر و از یک روز به روز دیگر تغییر می‌کند. این مصرف به عادات مصرف‌کنندگان، شرایط آب و هوایی محل و شرایط اقتصادی و اجتماعی مختلف وابسته است. همچنین، با ملاحظه به کاربرد آب گرم برای کاربردهای مختلف می‌توان این مصرف را برآورد کرد. باید توجه داشت برای مصارف ساعتی تعداد روزها تبدیل به تعداد دقیق می‌شود.

۴-۱-۱- منازل مسکونی

در جدول ۴-۱ مقدار مصرف آبگرم برای یک منزل مسکونی نشان داده شده است. مقادیر ارائه شده در این جدول، مقادیر حداقل برای منازل یک یا دو خانواری است.

جدول ۴-۱- مقدار آب گرم مصرفی در فعالیت های خانگی [۴۹].

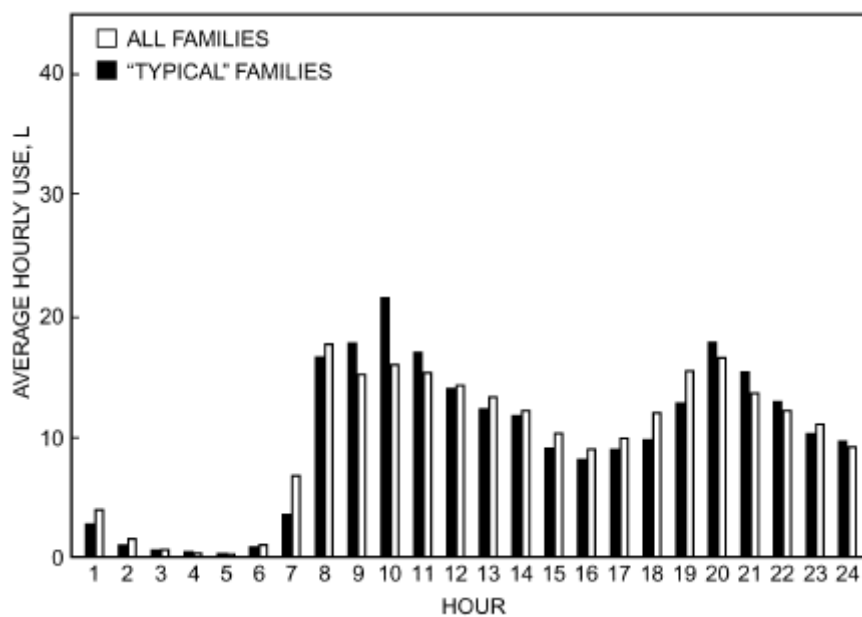
Use	High Flow, Litres/Task	Low Flow (Water Savers Used), Litres/Task	Ultralow Flow, Litres/Task
Food preparation	19	11	11
Hand dish washing	15	15	11
Automatic dishwasher	57	57	11 to 38
Clothes washer	121	80	19 to 57
Shower or bath	76	57	38 to 57
Face and hand washing	15	8	4 to 8

به دلیل متفاوت بودن تعداد افراد خانواده، سن اعضاء خانواده و سن کودکان خانواده، حجم و درجه حرارت آب گرم و سایر عوامل، الگوی مصرف آب گرم خانواده‌ها از نظر مقدار و زمان به مقدار قابل توجهی اختلاف دارد.

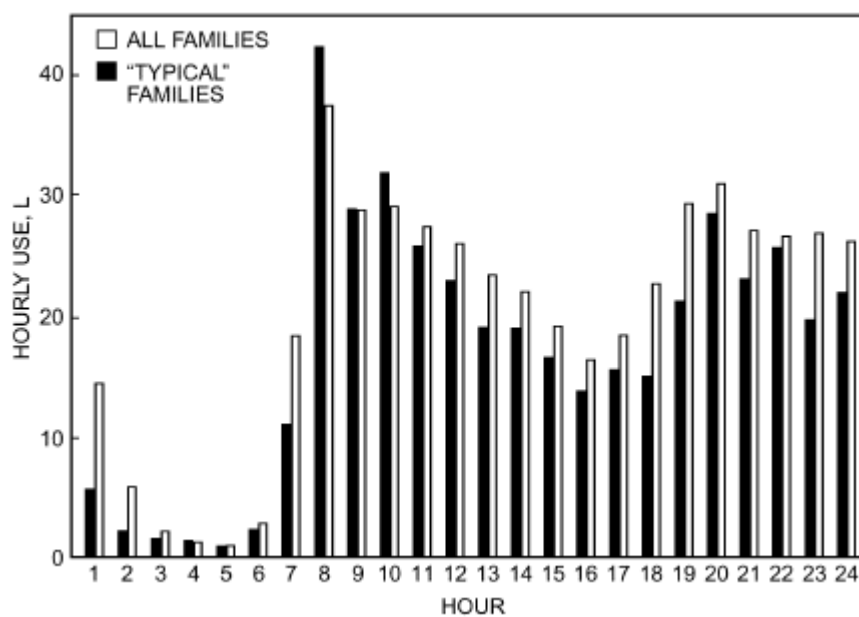
جدول ۴-۲- حجم کل و مقدار متوسط آب گرم مصرفی [۴۹].

Group	Average Hot-Water Use, L							
	Hourly		Daily		Weekly		Monthly	
	OVL	Peak	OVL	Peak	OVL	Peak	OVL	Peak
All families	9.8	17.3	236	254	1652	1873	7178	7700
“Typical” families	9.9	21.9	239	252	1673	1981	7270	7866

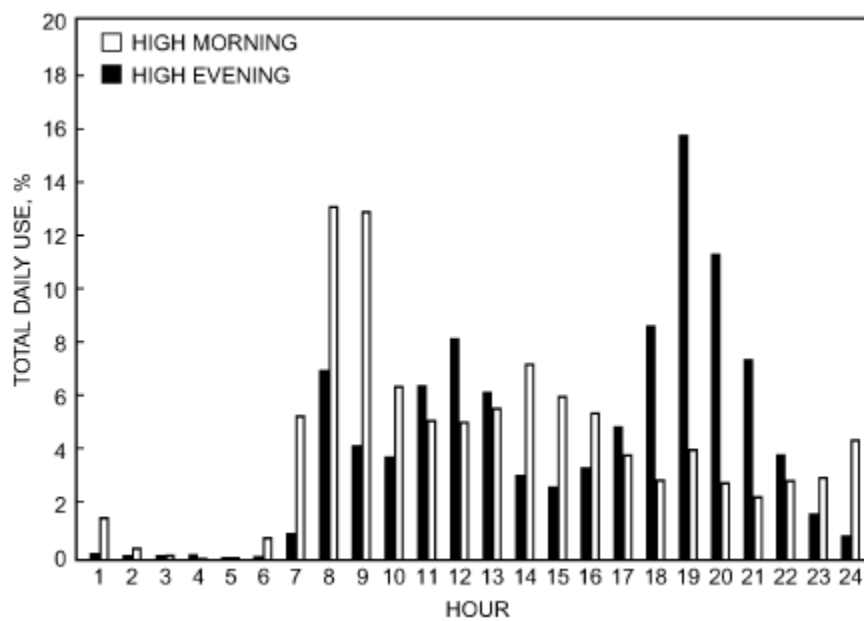
در جدول ۴-۲ حجم کل آب گرم مصرفی و مقدار متوسط آب گرم مصرفی در قله بار نشان داده شده است. پروفایل‌های الگوی مصرف متوسط ساعتی و الگوی سطح اطمینان ۹۵٪ در شکل های ۴-۱ و ۴-۲ نمایش داده شده است. نمونه‌ای از نتایج حاصل از تحلیل های مشابه در مورد مصرف آبگرم در شکل‌های ۴-۳ و ۴-۴ دیده می‌شود.



شکل ۴-۱- مقدار متوسط ساعتی مصرف آب گرم در منازل مسکونی [۴۹].

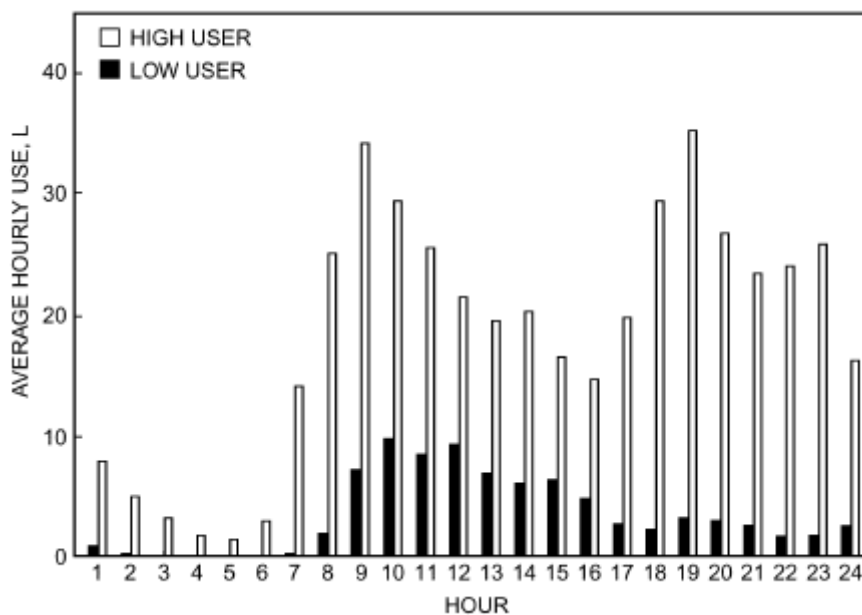


شکل ۴-۲- مقدار مصرف ساعتی آب گرم در منازل مسکونی برای سطح اطمینان ۹۵٪ [۴۹].



شکل ۳-۴- مقدار مصرف ساعتی آب گرم در مصارف صبح زود و شبانه

منازل مسکونی [۴۹].



شکل ۴-۴- مقدار مصرف ساعتی مصرف آب گرم در منازل مسکونی

بر حسب تعداد مصرف کنندگان [۴۹].

۴-۱-۲- ساختمان‌های آموزشی و تجاری

اکثر ساختمان‌های آموزشی و تجاری از آب گرم یا ولرم^۱ استفاده می‌کنند. در این بخش پیشنهاداتی در زمینه تعیین اندازه‌ی سیستم‌های ذخیره آب گرم ارائه می‌شود. همچنین، داده‌های مربوط به مصرف آب و منحنی‌های تعیین اندازه آنها در مورد خوابگاه‌ها، هتل‌ها، ساختمان‌های اداری، تاسیسات غذاخوری، آپارتمانها و مدارس ارائه خواهد شد. در هنگام کاربرد این داده‌ها در مورد ساختمان‌های کوچک باید دقت شود. در هر گروه از ساختمان‌ها ممکن است تغییرات قابل ملاحظه‌ای وجود داشته باشد.

وقتی نیازهای مزاد بر آنچه در جدول آمده است وجود دارد، طراح باید متناسب با آن، مقدار ظرفیت ذخیره و یا ظرفیت بازیافت را افزایش دهد. مثلاً، اگر در یک ساختمان اداری تاسیسات غذاخوری وجود دارد، ظرفیت‌های اضافی لازم برای ذخیره و بازیافت آب گرم را باید در هنگام تعیین اندازه‌ی سیستم گرمایش خورشیدی در نظر گرفت.

در جدول ۳-۴ مقدار حداکثر مصرف ساعتی و روزانه برای گروه‌های مختلف ساختمان‌های آموزشی و تجاری ارائه شده است. همچنین، در جدول ۳-۴ مصرف متوسط آب گرم برای این ساختمان‌ها دیده می‌شود. مقادیر متوسط در مورد مدارس و تاسیسات غذاخوری، بر مبنای تعداد روزهای واقعی بهره برداری از آنها تهیه شده است. در حالی که سایر ارقام بر اساس در نظر گرفتن تمام روزها انجام شده است. با استفاده از مقادیر متوسط می‌توان مقدار مصرف ماهیانه‌ی آب گرم را تخمین زد.

۴-۱-۳- خوابگاه‌ها

آب گرم مورد نیاز خوابگاه‌های دانشگاهی معمولاً در برگیرنده‌ی مصارف دوش، دستشویی، سینک سرویس و ماشین لباسشویی است. حداکثر مصرف در هنگام استفاده از دوش رخ می‌دهد. پروفیل‌های بار و اطلاعات مربوط به مصرف ساعتی نشان می‌دهد. پروفیل‌های بار و اطلاعات مربوط به مصرف ساعتی نشان می‌دهد که قله‌ی بار ممکن است ۱ تا ۲ ساعت طول بکشد و سپس به تدریج کاهش یابد. قله‌ی بار غالباً در غروب و حوالی نیمه شب رخ می‌دهد. در این شکل‌ها، مصرف آب گرم تاسیسات غذاخوری در نظر گرفته نشده است.

¹ Hot or Warm water

۴-۱-۴- هتل آپارتمان‌ها یا متل‌ها

مصرف کننده‌گان آب گرم بهداشتی متل‌ها عبارتند از دوش و وان، دستشویی و نظافت عمومی. مقادیر پیشنهادی بر مبنای آزمایشات انجام شده در مورد متل‌های مرتفع و کم ارتفاع در شهرها، شهرک‌ها و بزرگراه‌ها تهیه شده‌اند. قله‌ی مصرف معمولاً مربوط به استفاده از دوش است و می‌تواند ۱ تا ۲ ساعت طول بکشد و سپس شدیداً کاهش یابد. مصارف تاسیسات غذاخوری، رختشویخانه و استخر شنا در این ارقام در نظر گرفته نشده است [۴۹].

۴-۱-۵- ساختمان‌های اداری

مصرف آب گرم عمدتاً برای نظافت و استفاده از توالت توسط کارکنان و ارباب رجوع است. مصرف آب گرم تاسیسات غذاخوری در این ارقام ذکر نشده است.

۴-۱-۶- تاسیسات غذاخوری

مصرف اصلی آب گرم مربوط به شستشوی ظروف است. سایر مصارف آبگرم مربوط هستند به : آماده‌سازی غذا، نظافت ساختمان، شستشوی دیگ‌ها و ماهی‌تابه‌ها و شستشوی دست کارکنان و مشتریان. ارقام پیشنهاد شده در جدول مربوط به غذاخوری‌هایی است که در آنها غذا بر روی میز، پیشخوان، دکه‌های موقت و خودروهای پارک شده ارائه می‌شود، نیست. منظور از واژه‌ی شستشوی ظروف فقط شستن ظروفی است که در آنها غذا صرف شده است و شامل شستشوی ظروف کثیف و خاک آلود نمی‌باشد. در ارقام پیشنهادی، آب گرم مصرفی گرمکن‌های کمکی ماشین‌های ظرفشویی^۱ نیز در نظر گرفته شده است.

۴-۱-۷- آپارتمان‌ها

مقادیر ارائه شده برای آب گرم مصرفی آپارتمان‌ها، شامل آپارتمان‌های مرتفع و ویلایی است که در آنها هر آپارتمان دارای یک یا دو حمام، دوش، توالت و دستشویی، سینک سرویس، ماشین ظرفشویی، ماشین لباسشویی و آبگرم مصرفی برای نظافت عمومی است.

¹ Dishwasher booster heatre

جدول ۴-۳- مقدار مصرف آب گرم برای ساختمان‌های برای ساختمان‌های مختلف [۴۹].

Type of Building	Maximum Hourly	Maximum Daily	Average Daily
Men's dormitories	14.4 L/student	83.3 L/student	49.7 L/student
Women's dormitories	19 L/student	100 L/student	46.6 L/student
Motels: Number of units ^a			
20 or less	23 L/unit	132.6 L/unit	75.8 L/unit
60	20 L/unit	94.8 L/unit	53.1 L/unit
100 or more	15 L/unit	56.8 L/unit	37.9 L/unit
Nursing homes	17 L/bed	114 L/bed	69.7 L/bed
Office buildings	1.5 L/person	7.6 L/person	3.8 L/person
Food service establishments:			
Type A: Full-meal restaurants and cafeterias	5.7 L/max meals/h	41.7 L/max meals/day	9.1 L/average meals/day ^b
Type B: Drive-ins, grills, luncheonettes, sandwich and snack shops	2.6 L/max meals/h	22.7 L/max meals/day	2.6 L/average meals/day ^b
Apartment houses: Number of apartments			
20 or less	45.5 L/apartment	303.2 L/apartment	159.2 L/apartment
50	37.9 L/apartment	276.7 L/apartment	151.6 L/apartment
75	32.2 L/apartment	250 L/apartment	144 L/apartment
100	26.5 L/apartment	227.4 L/apartment	140.2 L/apartment
200 or more	19 L/apartment	195 L/apartment	132.7 L/apartment
Elementary schools	2.3 L/student	5.7 L/student	2.3 L/student ^b
Junior and senior high schools	3.8 L/student	13.6 L/student	6.8 L/student ^b

^aData predate modern low-flow fixtures and appliances.

^bInterpolate for intermediate values. ^cPer day of operation.

۴-۱-۸- مدارس

مصارف آب گرم مدارس مربوط به دستشویی و توالت، آشپزخانه و ماشین ظرفشویی و نظافت است، که گاهی اوقات در بعضی مدارس بخصوص در دبیرستان‌ها دوش نیز استفاده می‌شود.

مقادیری که در جدول ارائه شده‌اند، بر مبنای مصارف روزانه تعیین شده‌اند. آب گرم مورد نیاز برای فعالیت‌های اضافی‌ای چون برگزاری کلاس‌های شبانه در این مصارف منظور نشده‌اند. در صورت وجود چنین مصارفی، مقدار حداکثر مصرف ساعتی ثابت باقی خواهد ماند ولی حداکثر مصرف روزانه و مصرف متوسط روزانه افزایش می‌یابد.

۴-۱-۹- اطلاعات اضافی

رستوران‌های سریع- در این رستوران‌ها، مصارف آبگرم مربوط هستند به آماده‌سازی غذا، نظافت. در این گونه موارد مقدار آبگرم مصرفی برای شستشوی ظروف چندان اهمیتی ندارند. حداکثر تقاضا مربوط به هنگام نظافت است که عموماً در ابتدای بازگشایی و بلافاصله پس از بسته شدن رستوران رخ می‌دهد. مقدار مصرف آب گرم در بین رستوران‌های مشابه بسیار تفاوت دارد. مقدار آبگرم مصرفی رستوران‌های سریع در هر روز حدود ۲۵۰ تا ۱۰۰۰ گالن (۹۴۷ تا ۳۷۸۵ لیتر) است.

سوپرمارکت‌ها- در طراحی سوپر مارکت‌ها گرایش به آماده‌سازی و ارائه غذا وجود دارد. این موضوع باعث افزایش مصرف آب گرم خواهد شد. معمولاً حداکثر مصرف در هنگام نظافت (و غالباً در شب) رخ می‌دهد. مصرف کل آب گرم سوپر مارکت در هر روز ۳۰۰ تا ۱۰۰۰ گالن (۱۱۳۶ تا ۳۷۸۵ لیتر) است.

آپارتمان‌ها- جدول ۴-۴ با جدول ۳-۴ تفاوت دارد زیرا در آن، مقادیر مربوط به رده‌های کم، متوسط و زیاد به صورت مجزا نمایش داده شده‌اند. <<Med>> عبارتست از مقدار متوسط کل و <<Low>> نمایانگر کمترین مقدار قله‌ی مصرف است. بر اساس نتایج آمارگیری، این مقادیر مربوط به ساختمان‌های آپارتمانی‌ای است که ساکنین آنها (۱) تماماً شاغل باشند، (۲) مسن باشند، (۳) زوجها دارای یک بچه باشند، (۴) درآمد آنها متوسط باشد یا (۵) تراکم افراد در آنها زیاد باشد. مقادیر ارائه شده در سطر <<High>> مربوط به ساختمان‌هایی است که در آنها (۱) ساکنین شاغل نباشند (۲) درصد بچه‌های آنها زیاد باشد یا (۳) درآمد آنها کم باشد.

جدول ۴-۴- مقدار مصرف آب گرم در ساختمان‌های آپارتمانی (گالن بر نفر) [۴۹].

Guideline	Peak Minutes						Maximum Daily	Average Daily
	5	15	30	60	120	180		
Low	1.5	3.8	6.4	10.6	17.0	23.1	76	53
Medium	2.6	6.4	11.0	18.2	30.3	41.6	185	114
High	4.5	11.4	19.3	32.2	54.9	71.9	340	204

باید توجه داشت هر گالن معادل ۳/۷۸۵ لیتر می‌باشد.

۴-۱-۱۰- مقدار مصرف از دیدگاه لوازم مصرف^۱:

جدول ۴-۵ مصرف ساعتی محتمل آب گرم و ضرایب ذخیره و تقاضا را برای ساختمان‌های مختلف نشان می‌دهد. قابل ملاحظه است که با توجه به تعداد هر دستگاه مصرف (fixture) و بدست آوردن حداکثر تقاضای ممکن^۲ با ضرب کردن این پارامتر در ضریب تقاضا حداکثر تقاضای محتمل^۳ و با ضرب کردن حداکثر تقاضای محتمل در ضریب ذخیره ظرفیت مخزن ذخیره^۴ بدست می‌آید.

در بسیاری از ساختمان از قبیل متل، هتل و خوابگاه‌ها قله‌ی بار آب گرم معمولاً در هنگام استفاده از دوش رخ می‌دهد. در هتل‌ها، قله‌ی بار دوش ممکن است ۳ تا ۴ بار در هر روز رخ دهد. آب گرم

¹ Fixture

² Possible maximum demand

³ Probable maximum demand

⁴ storage tank capacity

مورد نیاز مثل‌ها نیز مشابه هتل‌هاست ولی ممکن است قله‌ی مصرف آنها فقط ۲ ساعت طول بکشد. در برخی از ساختمان‌ها مانند سربازخانه و خوابگاه‌ها، احتمال دارد تمام ساکنین در فاصله‌ی زمانی کوتاه دوش بگیرند. در این حالت، بهتر است قله‌ی بار را بر مبنای تعداد دوش و مقدار گذر جریان هر دوش تعیین کنید و سپس مدت زمانی که یک دوش باز است را تخمین بزنید.

مقدار گذر جریان هر دوش بستگی به نوع، اندازه‌ی دوش و فشار آب دارد. اگر فشار آب ۴۰ psi باشد، مقدار گذر جریان مخلوط آب گرم و سرد حدود ۲/۵ تا ۶ gpm (۰/۱۵۸ تا ۰/۳۷۸۵ lit/s) است. در ساختمان‌هایی که چندین دوش دارند، پیشنهاد می‌شود از شیرهای کنترل جریان^۱ برای هر دوش استفاده شود. با بکار بردن آنها، مقدار گذر جریان (بدون توجه به نوسان فشار آب) ثابت باقی خواهد ماند. معمولاً مقدار جریان را می‌توان تا ۵۰٪ کمتر از حداکثر جریان پیشنهادی سازنده در نظر گرفت بدون اینکه اثر نامطلوبی بر نحوه‌ی پاشش آب^۲ داشته باشد. شیرهای کنترل جریان عموماً دارای ظرفیت ۱/۵ تا ۴ gpm (۰/۰۹۵ تا ۰/۲۵۲ lit/s) هستند.

اگر مقدار گذر جریان پیشنهادی سازنده دوش نامشخص و از شیرهای کنترل جریان نیز استفاده نشده است، برای تعیین ظرفیت آبگرمکن می‌توان از مقادیر زیر به عنوان راهنما استفاده کرد:

سردوش‌های کوچک ۲/۵ gpm (۰/۱۵۸ lit/s)

سردوش‌های متوسط ۴/۵ gpm (۰/۲۸۳ lit/s)

سردوش‌های بزرگ ۶ gpm (۰/۳۷۸۵ lit/s)

^۱ flow control valve

^۲ Spray pattern

جدول ۴-۶- تقاضای آبگرم برای هر یک از تجهیزات در ساختمان های مختلف

(لیتر آب بر ساعت به ازای هر دستگاه مصرف در دمای نهایی 60°C) [۴۹].

	Apartment House	Club	Gymnasium	Hospital	Hotel	Industrial Plant	Office Building	Private Residence	School	YMCA
1. Basin, private lavatory	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6
2. Basin, public lavatory	15	23	30	23	30	45.5	23	—	57	30
3. Bathtub ^c	76	76	114	76	76	—	—	76	—	114
4. Dishwasher ^a	57	190-570	—	190-570	190-760	76-380	—	57	76-380	76-380
5. Foot basin	11	11	46	11	11	46	—	11	11	46
6. Kitchen sink	38	76	—	76	114	76	76	38	76	76
7. Laundry, stationary tub	76	106	—	106	106	—	—	76	—	106
8. Pantry sink	19	38	—	38	38	—	38	19	38	38
9. Shower	114	568	850	284	284	850	114	114	850	850
10. Service sink	76	76	—	76	114	76	76	57	76	76
11. Hydrotherapeutic shower				1520						
12. Hubbard bath				2270						
13. Leg bath				380						
14. Arm bath				130						
15. Sitz bath				114						
16. Continuous-flow bath				625						
17. Circular wash sink				76	76	114	76		114	
18. Semicircular wash sink				38	38	57	38		57	
19. DEMAND FACTOR	0.30	0.30	0.40	0.25	0.25	0.40	0.30	0.30	0.40	0.40
20. STORAGE CAPACITY FACTOR ^b	1.25	0.90	1.00	0.60	0.80	1.00	2.00	0.70	1.00	1.00

Note: Data sources predate low-flow fixtures and appliances.

^aDishwasher requirements should be taken from this table or from manufacturers' data for model to be used, if known.

^bRatio of storage tank capacity to probable maximum demand/h. Storage capacity may be reduced where unlimited supply of steam is available from central street steam system or large boiler plant.

^cWhirlpool baths require specific consideration based on capacity. They are not included in the bathtub category.

فصل پنجم:

مدلسازی

۵-۱- خورشید

خورشید کره‌ای از مواد گازی به شدت داغ با قطر $1/39 \times 10^9$ متر و با فاصله‌ی میانگین $1/5 \times 10^{11}$ متر از سطح زمین می‌باشد. همانطوری که از زمین مشاهده می‌شود، خورشید هر چهار هفته یکبار به دور محور خود می‌چرخد. ولی، به دور هیچ جسم جامد دیگری نمی‌چرخد؛ در استوا، هر چرخش در حدود ۲۷ روز و در نواحی قطب، هر چرخش در حدود ۳۰ روز به طول می‌انجامد.

خورشید دارای دمای جسم سیاه موثر^۱ ۵۷۷۷ کلوین می‌باشد. دمای ناحیه داخلی مرکزی در حدود 8×10^6 تا 40×10^6 کلوین تخمین زده می‌شود. در حقیقت، خورشید یک راکتور گداخت هسته‌ای پیوسته با اجزای گازی است، بطوریکه شناور محتوی گازی توسط نیروهای گرانشی نگه داشته می‌شوند. چندین واکنش گداخت برای فراهم کردن انرژی تابشی توسط خورشید رخ می‌دهد. اولین واکنش مورد بررسی و مهمترین آن، یک فرآیندی می‌باشد که در آن هیدروژن (یعنی ۴ پروتون) با هلیوم (یک هسته‌ی هلیوم) ترکیب می‌شود؛ جرم هسته‌ی هلیوم از چهار پروتون کمتر است و جرم از دست رفته در واکنش، تبدیل به انرژی می‌شود.

انرژی تولید شده در داخل کره‌ی خورشید در دمای بالای میلیون درجه، باید به خارج سطح کره منتقل و سپس به فضای اطراف تابش شود. تشعشع در هسته‌ی خورشید در محدوده‌ی طیفی اشعه‌ی X تا اشعه‌ی γ ، با طول موج‌های تشعشعی فزاینده می‌باشد، هنگامیکه دما در فاصله‌های شعاعی بزرگتر، کم می‌شود.

فرض می‌شود که ۹۰٪ انرژی در ناحیه ۰ تا $0/23 R$ (R، شعاع خورشید است) که حاوی ۴۰٪ جرم خورشید می‌باشد، تولید شده است. در یک فاصله‌ی $0/7R$ از مرکز، دمای تا حدود ۱۳۰۰۰۰ کلوین و چگالی تا حدود $70 \frac{Kg}{m^3}$ افت می‌کند؛ جایی که فرآیند جابجایی شروع می‌شود و ناحیه‌ای که در $0/7$ تا R قرار دارد، ناحیه‌ی جابجایی^۲ نامیده می‌شود. در داخل این ناحیه دما تا حدود ۵۰۰۰ کلوین و چگالی تا حدود $10^{-5} \frac{Kg}{m^3}$ افت می‌کند.

سطح خورشید به نظر می‌رسد که از دانه‌ها یا گرده‌ها^۳ (سلول‌های همرفت نامنظم)، با اندازه‌هایی از ۱۰۰۰ تا ۳۰۰۰ کیلومتر و با عمر سلول چند دقیقه تشکیل شده است. از دیگر خصیصه‌های سطح

¹ Effective blackbody temperature

² Convective zone

³ granules

خورشید، سطوح تاریک کوچکی است، که روزنه یا سوراخ^۱ نامیده می‌شود. این سوراخ‌ها هم اندازه‌ی سلول‌های همرفتی می‌باشند و نواحی تاریک بزرگتر، لکه‌های روی خورشید نامیده می‌شوند. لایه بیرونی ناحیه جابجایی، فتوسفر^۲ نامگذاری شده است. لبه‌ی فتوسفر، اساساً مات است، بطوریکه گازهای تشکیل شده‌ی آن، شدیداً یونیزه شده و قادر به جذب کردن و ساطع کردن یک طیف پیوسته تشعشع می‌باشند. فتوسفر منبع بیشتر تشعشع خورشید است. بالای فتوسفر یک لایه‌ی گازهای خنک با چند صد کیلومتر عمق با نام لایه واگردان^۳ و خارج این لایه، لایه‌ی با نام کروموسفر^۴ با عمق ۱۰۰۰۰ کیلومتر وجود دارد. این لایه، یک لایه گازی با دمایی اندکی بیشتر از دمای فتوسفر ولی با چگالی کمتر می‌باشد. باز هم دورتر و خارج تر، هاله یا تاج^۵ خورشید، ناحیه‌ای با چگالی کم و با دمای بالا (۱۰^۶K) وجود دارد.

۵-۲- ثابت خورشیدی

شکل ۵-۱ بطور شماتیک رابطه جغرافیایی زمین و خورشید را نشان می‌دهد. گریز از مرکز مدار زمین علت وجود ۱/۷٪ خطا در محاسبه‌ی فاصله‌ی زمین از خورشید است. در یک فاصله‌ی یک واحد نجومی ۱۱، 1.496×10^{11} m، فاصله‌ی میانگین زمین - خورشید، خورشید شامل زاویه‌ی ۳۲' است. تشعشع ساطع شده توسط خورشید و رابطه فاصله‌ی و فضایی با زمین، منتج به یک شدت ثابت تقریبی تشعشع خورشیدی در خارج از اتمسفر زمین شده است. ثابت خورشیدی، G_{sc} انرژی خورشیدی بر واحد زمان، دریافت شده روی مساحت واحد سطح عمود بر جهت پخش تشعشع، در فاصله‌ی میانگین زمین - خورشید، خارج از جو می‌باشد. قبل از راکت‌ها و هواپیما، برای تخمین ثابت خورشید، نیاز بوده است تا از اندازه‌گیری‌های تشعشع خورشیدی از زمین بعد از اینکه از جو زمین عبور کرده انجام شود. بنابراین، بخشی از تشعشع جذب شده و بخشی توسط اجزای اتمسفر پراکنده شده است. مطالعات اولیه توسط سی جی آبوت و همکارانش^۶ در موسسه اسمیتسونیان^۷ انجام شده است. این مطالعات و اندازه‌گیری‌های بعدی از راکت‌ها و موشک‌ها توسط جانسون در سال ۱۹۵۴

¹ pores

² photosphere

³ Reversing layer

⁴ chromosphere

⁵ corona

⁶ C. G. Abbot et al

⁷ smithsonian

خلاصه شده است؛ مقدار آبوت در مورد ثابت خورشیدی $\frac{W}{m^2}$ ۱۳۲۲ بوده که توسط جانسون به مقدار $\frac{W}{m^2}$ ۱۳۹۵ اصلاح شده است [۵۰].

قابلیت دسترسی به هواپیماهای ارتفاع بالا، بالونها و فضاپیماها اجازه‌ی اندازه‌گیری‌های مستقیم از تشعشع خورشیدی در بیشتر یا همه‌ی قسمت خارجی اتمسفر زمین را داده است. این اندازه‌گیری‌ها در ۹ برنامه‌ی مختلف انجام شده بود. که مقدار ثابت خورشیدی $\frac{W}{m^2}$ ۱۳۵۳ با یک خطای تقریبی $\pm 15\%$ را نتیجه‌گیری شده است. این مقدار استاندارد توسط ناسا^۱ و انجمن تست و مواد آمریکا پذیرفته شده است [۵۰].

تحقیقات گسترده‌ی دیگری نیز در این زمینه انجام گرفته که از پرداختن به آن خودداری شده است. در ضمن در این پایان نامه مقدار ثابت خورشیدی را $\frac{W}{m^2}$ ۱۳۶۷ [۵۰] در نظر گرفته شده است.

تغییر فاصله‌ی زمین - خورشید، منجر به تغییر شار تشعشعی خارج از جو زمین در محدوده‌ی $\pm 30\%$ منجر می‌شود. وابستگی تشعشع خارج از جو به زمان مورد نظر در سال در معادله‌ی (۱-۵) نشان داده شده است.

$$G_{on} = G_{sc} \left(1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365}\right) \quad (1-5)$$

که G_{on} ، تشعشع خارج از جو روی صفحه‌ای عمود بر راستای تابش را در هر روز از سال می‌دهد.

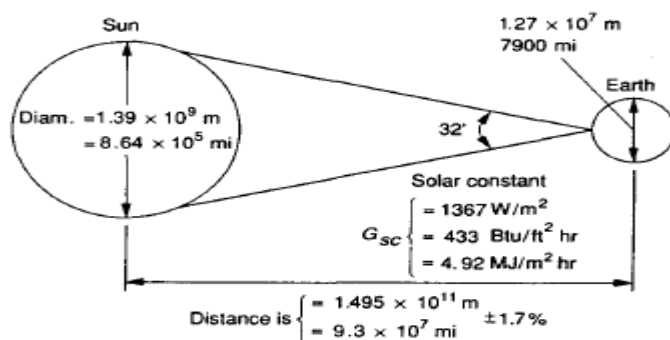


Figure 1.2.1 Sun-earth relationships.

شکل ۱-۵- روابط زمین - خورشید

¹ NASA

۵-۳- تعاریف

جند تعریف مهم برای فهم بیشتر نیاز است:

جرم هوا^۱ (m): نسبت جرم اتمسفری که تشعشع مستقیم از آن می‌گذرد به جرمی که اگر خورشید در زنیت^۲ یا سمت‌الراس (یعنی به طور مستقیم در بالای سر قرار داشته باشد) باشد، می‌گذرد. بنابراین در سطح دریا، m=۱ وقتی که خورشید در زنیت باشد و m=۲ برای زاویه زنیت (θ_z) ۶۰ درجه است. برای زوایای زنیت (سمت‌الراس) از صفر درجه تا ۷۰ درجه در سطح دریا به طور تقریبی:

$$m = \frac{1}{\cos \theta_z} \quad (۵-۲)$$

برای زوایای سمت‌الراس بزرگتر، تأثیر انحنای زمین مهم است و باید مورد محاسبه قرار گیرد.

تشعشع مستقیم: قسمتی از تشعشع خورشیدی است که بدون تغییر جهت ناشی از پراکنده شدن به وسیله‌ی جو، در سطح زمین دریافت می‌شود. این تابش می‌تواند سایه قابل تشخیص داشته باشد.

تشعشع پخشی یا دیفیوز^۳: این تابش قسمتی از تابش خورشیدی است که بعد از تغییر جهت یافتن ناشی از پراکنده شدن به وسیله‌ی جو، در سطح زمین دریافت شود.

تابش کل: مجموع تابش مستقیم و تابش پخشی را تابش کل گویند.

Irradiance: میزان انرژی تابشی که بر واحد سطح یک رویه تابیده می‌شود (انرژی لحظه‌ای بر واحد سطح) با علامت G نشان داده می‌شود و بر حسب $\frac{W}{m^2}$ است.

Irradiation یا Radiant Exposure: انرژی تابشی خورشید را که در فاصله‌ی معینی به واحد سطح رویه‌ای تابیده می‌شود، بر حسب $\frac{J}{m^2}$ بیان می‌شود. به‌طور قراردادی، چنانچه فاصله‌ی زمانی معین یک روز یا یک ساعت باشد، به ترتیب علائم H و I مورد استفاده قرار می‌گیرند.

¹ Air mass

² zenith

³ diffuse

در ضمن باید توجه داشت که علائم G, H و I می‌تواند برای نشان دادن تابش مستقیم، پخش یا کل با اندیس‌های مناسب زیر بکار برد :

الف : اندیس (O) : نشان می‌دهد که تابش به سطح خارجی جو می‌تابد (یا بر روی سطح زمین در صورت فقدان جو).

ب : اندیس (b) : نشان می‌دهد که تابش از نوع مستقیم است.

ج : اندیس (d) : نشان می‌دهد که تابش از نوع پخشی است.

د : اندیس (T) : نشان می‌دهد که تابش بر سطح شیب دار است.

ه : اندیس (n) : نشان می‌دهد که تابش بر صفحه‌ای عمود بر راستای تابش است.

و : چنانچه اندیس (T) و (n) بکار نرود، بدان معنی است که تابش بر سطح افقی می‌تابد.

زمان خورشیدی^۱ : زمان بر اساس حرکت زاویه‌ای ظاهری خورشید از میان آسمان، به طوریکه ظهر خورشیدی زمانی است که خورشید از نصف النهار شخص مشاهده کننده می‌گذرد. زمان خورشیدی زمانی است که در تمام روابط مربوط به زوایای خورشیدی به کار می‌رود؛ این زمان با زمان ساعت محلی متقارن نیست. ضروری است که زمان استاندارد را به زمان خورشیدی با بکار بردن دو تصحیح تبدیل کنیم. اول اینکه یک تصحیح ثابت برای اختلاف در طول جغرافیایی بین نصف‌النهار مشاهده کننده (طول جغرافیایی) و نصف‌النهاری که زمان استاندارد محلی بر اساس آن است. دومین تصحیح از خطای قرائت نجومی یا پس ماند زمان نجومی^۲ است، که انحراف^۳ مدار در نرخ چرخش زمین مورد ملاحظه قرار می‌گیرد. در واقع این تصحیح به خاطر طول روز یا تفاضل قطبین مدار زمین رخ می‌دهد. اختلاف در دقایق بین زمان خورشیدی و زمان استاندارد به صورت زیر است :

$$Solartime - Standardtime = 4(L_{st} - L_{loc}) + E \quad (5-3)$$

که L_{st} نصف النهار استاندارد برای منطقه جغرافیایی معین و L_{loc} طول جغرافیایی مکان در معادله است. پس ماند زمان نجومی، E بر حسب دقیقه از معادله (۵-۴-الف) تعیین می‌شود [۵۰].

¹ Solar time

² Equation of time

³ perturbations

$$E = 229.2(0.000075 + 0.001868 \cos B - 0.032077 \sin B - 0.014615 \cos 2B - 0.04089 \sin 2B) \quad (5-4 \text{ الف})$$

$$B = (n-1) \frac{360}{365} \quad (5-4 \text{ ب})$$

که $n =$ شماره روز سال ($1 \leq n \leq 365$).

5-4- جهت تابش مستقیم

روابط هندسی بین یک صفحه با هر جهتگیری خاص نسبت به زمین در هر زمان (آب و هوایی که صفحه نسبت به زمین ثابت یا متحرک است) و تشعشع خورشیدی مستقیم ورودی که موقعیت خورشید نسبت به زمین است را با چندین زاویه می‌توان توصیف کرد [۵۰].

$\emptyset$ **عرض جغرافیایی** مکان زاویه‌ای شمال یا جنوب خط استوا، شمال مثبت؛ $90^\circ \leq \emptyset \leq -90^\circ$.

δ **زاویه انحراف خورشید** موقعیت زاویه‌ای خورشید در ظهر خورشیدی نسبت به صفحه‌ی استوا، شمال مثبت؛ $23/45^\circ \leq \delta \leq -23/45^\circ$.

β **شیب** زاویه بین صفحه مورد بحث و افق؛ $0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$ (بزرگتر از صفر به این معنی است که سطح یک جز رو به پایین دارد).

γ **زاویه آزمون یا سمت صفحه** انحراف تصویر عمود بر صفحه در یک سطح افقی با نصف النهار محلی، به سمت جنوب صفر، شرق منفی و غرب مثبت؛ $180^\circ \leq \gamma \leq -180^\circ$.

ω **زاویه ساعتی** جابجایی زاویه‌ای خورشید، شرق یا غرب نصف النهار محلی در نتیجه‌ی چرخش زمین روی محور خودش در 15° به ازای هر ساعت، صبح منفی و بعدازظهر مثبت.

θ **زاویه برخورد تابش مستقیم^۱** زاویه بین راستای تابش بر روی یک صفحه و راستای عمود بر آن صفحه می‌باشد.

¹ Angle of incidence

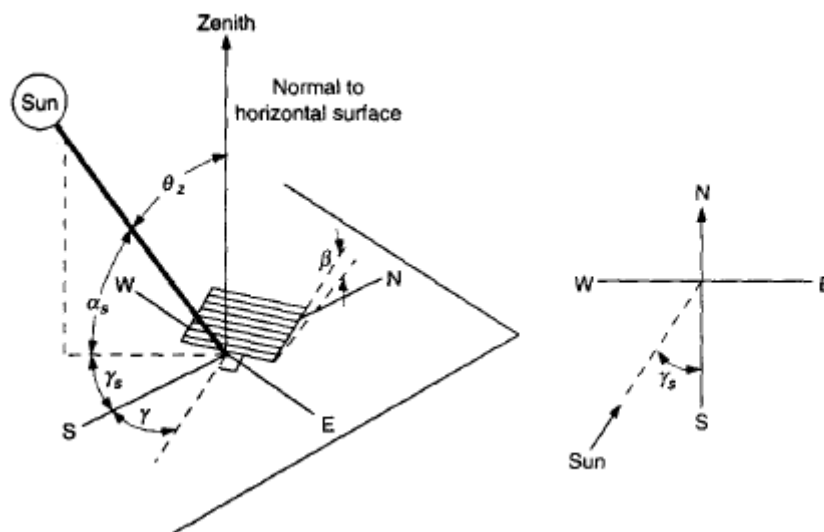
θ_z زاویه زنیت یا سمت الراس زاویه بین عمود و خط خورشیدی یعنی زاویه راستای تابش مستقیم روی سطح افق.

α_s زاویه فراز خورشیدی زاویه بین افق و خط خورشید (زاویه بین راستای تابش مستقیم و راستای افق). بنا بر تعریف: $\theta_z + \alpha_s = 90^\circ$.

γ_s زاویه آزیموت یا سمت خورشیدی جابجایی زاویه‌ای از جنوب تصویر تابش مستقیم روی سطح افق، جابجایی شرق از جنوب منفی و غرب از جنوب مثبت است.

این زوایا در شکل ۵-۲ نشان داده شده است. همانطوری که در این شکل مشخص است زوایای سمت صفحه زاویه مربوط به جهتگیری کلکتور است که پارامتر مؤثر در بهینه سازی سیستم گرمایش آب خورشیدی است که در این پایان نامه به همراه زاویه شیب و پارامترهای دیگر مورد بررسی قرار می‌گیرد.

جدول ۵-۱ تاریخ و شماره‌ی روز متوسط و مقدار زاویه انحراف خورشید در آن روز را بیان می‌کند. روز متوسط ماه روزی است که تابش در سطح خارجی جو در آن روز نزدیکترین مقدار را به متوسط ماهانه تابش در سطح خارجی جو داشته باشد.



شکل ۵-۲- زوایای خورشیدی و نمای برای نشان دادن زاویه سمت خورشیدی

زاویه انحراف، δ از معادله‌ی زیر بدست می‌آید:

$$\delta = 23.45 \sin(360 \frac{284 + n}{365}) \quad (5-5)$$

که روز سال، n به راحتی از جدول ۵-۱ بدست می‌آید. باید توجه داشت که زاویه انحراف یک تابع پیوسته از زمان است.

زاویه ساعت خورشیدی طبق فرمول (۵-۶) بدست می‌آید:

$$\omega = 15 \times (AST - 12) \quad (5-6)$$

که AST ساعت خورشیدی که طبق معادله‌ی (۵-۳) با توجه به ساعت استاندارد بدست می‌آید.

جدول ۵-۱- روز متوسط برای هر ماه و مقادیر n [۵۰].

روز سال n	مشخصات روز متوسط ماه			
	روز سال در سال میلادی	تاریخ ماه شمسی	تاریخ ماه میلادی	روز برای روز n ام سال
ژانویه	۱۷	۲۷ دی	۱۷	i
فوریه	۴۷	۲۷ بهمن	۱۶	$31+i$
مارس	۷۵	۲۵ اسفند	۱۶	$59+i$
آوریل	۱۰۵	۲۶ فروردین	۱۵	$90+i$
مه	۱۳۵	۲۵ اردیبهشت	۱۵	$120+i$
ژوئن	۱۶۲	۲۱ خرداد	۱۱	$151+i$
ژوئیه	۱۹۸	۲۶ تیر	۱۷	$181+i$
اوت	۲۲۸	۲۵ مرداد	۱۶	$212+i$
سپتامبر	۲۵۸	۲۴ شهریور	۱۵	$243+i$
اکتبر	۲۸۸	۲۳ مهر	۱۵	$273+i$
نوامبر	۳۱۸	۲۳ آبان	۱۴	$304+i$
دسامبر	۳۳۴	۱۹ آذر	۱۰	$334+i$

برای بدست آوردن زاویه ساعتی برای هر ساعت استاندارد ابتدا باید توجه شود که آیا ساعت مورد نظر بین ساعات طلوع و غروب استاندارد است یا نه؛ در صورت مثبت بودن با رابطه بالا و (۳-۵) می توان زاویه ساعتی را برای کاربردی مثل آبگرمکن خورشیدی بدست آورد.

یک مجموعه روابط مناسب بین زوایای تعریف شده وجود دارد. رابطه بین زاویه برخورد تابش مستقیم، θ را با دیگر زوایا در زیر آوردیم :

$$\begin{aligned} \cos \theta &= \sin \delta \sin \phi \cos \beta - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \gamma \\ &+ \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega + \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega \\ &+ \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega \end{aligned} \quad (۷-۵)$$

$$\cos \theta = \cos \theta_z \cos \beta + \sin \theta_z \sin \beta \cos(\gamma_s - \gamma) \quad (۸-۵)$$

برای صفحات افقی، زاویه تابش، θ زاویه زنیت یا سمت الرأس خورشید است. این مقدار وقتی خورشید بالای افق باید بین ۰ تا ۹۰ درجه باشد. برای این موقعیت، $\beta=0$ معادله ی (۷-۵) به شکل زیر می شود:

$$\cos \theta_z = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega \quad (۹-۵)$$

نتیجه می شود که ساعات طول روز به صورت زیر بدست می آید:

$$N = \frac{2}{15} \cos^{-1}(-\tan \phi \tan \delta) \quad (۱۰-۵)$$

بنابراین برای بدست آوردن ساعات طلوع و غروب استاندارد به ترتیب :

$$LST_{sr} = 12 - \frac{1}{15} \cos^{-1}(-\tan \phi \tan \delta) - \frac{ET}{60} + 4\left(\frac{L_{st} - L_{loc}}{60}\right) \quad (۱۲-۵ \text{ الف})$$

$$LST_{ss} = 12 + \frac{1}{15} \cos^{-1}(-\tan \phi \tan \delta) - \frac{ET}{60} + 4\left(\frac{L_{st} - L_{loc}}{60}\right) \quad (۱۲-۵ \text{ ب})$$

۵-۵- نسبت تشعشع مستقیم روی سطح شیب دار به سطح افقی

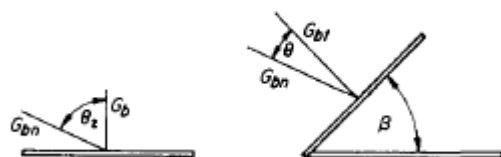
برای طراحی فرآیند خورشیدی و محاسبات کارایی، ضروری است که تشعشع ساعتی روی سطح شیب دار یک کلکتور با اندازه گیری یا تخمین تشعشع روی سطح افقی بدست آورد. داده هایی که به

طور معمول در دسترس هستند، تشعشع کلی برای یک ساعت یا یک روز روی سطح افقی می‌باشد، در حالی که تشعشع مستقیم و پخشی روی سطح کلکتور مورد نیاز است.

ضریب هندسی، R_b نسبت تشعشع مستقیم روی سطح شیب دار به تشعشع مستقیم رسیده روی سطح افقی در هر زمان می‌باشد. شکل ۵-۳ زاویه برخورد تابش مستقیم روی سطح افقی و شیب دار را نشان می‌دهد. نسبت $\frac{G_{bT}}{G_b}$ به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$R_b = \frac{G_{bT}}{G_b} = \frac{G_{b,n} \cos \theta}{G_{b,n} \cos \theta_z} = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (۵-۱۳)$$

باید توجه داشت که برای محاسبات ساعتی می‌توان از پارامتر I استفاده کرد ($R_b = \frac{I_{bT}}{I_b}$).



شکل ۵-۳- تشعشع مستقیم روی سطح افقی و شیب دار

۵-۶- تشعشع خارج از جو روی سطح افقی

در هر نقطه از زمان، تشعشع خورشیدی روی صفحه‌ی افقی خارج از جو زمین تشعشع نرمال (عمودی) خورشیدی G_{on} تقسیم بر R_b می‌باشد:

$$G_{on} = G_{sc} \left(1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365}\right) \quad (۵-۱۴)$$

که G_{sc} ، ثابت خورشیدی و n روز سال است.

در مورد محاسبات ساعتی :

$$I_{on} = 4921 \left(1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365}\right) \quad (۵-۱۵)$$

۳-۷- تخمین تشعشع آسمان صاف

تأثیر اتمسفر یا جو زمین در پراکندگی یا جذب تشعشع خورشیدی با زمان به عنوان شرایط جوی و تغییر جرم هوا متغیر است. تعریف یک استاندارد "آسمان صاف" و محاسبه‌ی تشعشعات ساعتی و روزانه که به صفحه‌ی افقی می‌رسد، تحت شرایط استاندارد بسیار مفید است.

هاتل^۱ [۵۱] در ۱۹۷۶ یک روشی برای برآورد تشعشع مستقیم منتقل شده از طریق آسمان صاف که زاویه زنیت یا سمت الراس و زاویه فراز خورشیدی را برای یک اتمسفر استاندارد و برای ۴ نوع شرایط آب و هوایی مورد ملاحظه قرار می‌دهد. عبور یا انتقال اتمسفری برای تشعشع مستقیم، τ_b می‌باشد که بصورت $\frac{G_{bn}}{G_{on}}$ یا $\left(\frac{G_{bT}}{G_{oT}}\right)$ تعریف می‌شود:

$$\tau_b = a_0 + a_1 \exp\left(\frac{-k}{\cos\theta_z}\right) \quad (۱۷-۵)$$

مقادیر ثابت a_1 ، a_0 و k را برای جو استاندارد که محدوده دید آن برابر ۲۳ کیلومتر باشد می‌توان برای ارتفاعات مختلف از سطح و یا (حداکثر تا ۲/۵ کیلومتر) به ترتیب از مقادیر a_1^* ، a_0^* و k^* که به صورت زیر ارائه گردیده اند، بدست آورد.

$$\begin{aligned} a_1 &= a_1^* \times r_1 \\ k &= k^* \times r_k \\ a_0 &= a_0^* \times r_0 \end{aligned} \quad (۱۸-۵)$$

$$\begin{aligned} a_0^* &= 0.4237 + 0.00821(6 - A)^2 \\ a_1^* &= 0.5055 + 0.00595(6.5 - A)^2 \\ k^* &= 0.2711 + 0.01858(2.5 - A)^2 \end{aligned}$$

در روابط فوق A ارتفاع نقطه مورد نظر از سطح دریا بر حسب کیلومتر می‌باشد. مقادیر a_1^* ، a_0^* و k^* را برای آنکه بتوان در شرایط آب و هوایی متفاوت مورد استفاده قرار داد، در ضرایب تصحیح r_1 ، r_k و r_0 ضرب شده‌اند که این ضرایب برای شرایط آب و هوایی مختلف در جدول ۵-۲ ارائه گردیده است.

¹ Hottel

تشعشع نرمال (عمودی) مستقیم در آسمان صاف به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$G_{cnb} = G_{on} \tau_b \quad (۱۹-۵)$$

که G_{on} توسط معادله‌ی (۱۴-۵) بدست می‌آید. تشعشع مستقیم افقی در آسمان صاف بصورت

$$G_{cb} = G_{on} \tau_b \cos \theta_z \quad (۲۰-۵)$$

تعریف می‌شود.

برای دوره‌های یک ساعته، تشعشع مستقیم افقی در آسمان صاف به شکل زیر قابل تعریف است:

$$I_{cb} = I_{on} \tau_b \cos \theta_z \quad (۲۱-۵)$$

جدول ۵-۲- ضرائب تصحیح مربوط به آب و هوا [۵۰].

نوع آب و هوا	r_0	r_1	r_k
استوایی	۰/۹۵	۰/۹۸	۱/۰۲
عرض‌های جغرافیایی متوسط - تابستان	۰/۹۷	۰/۹۹	۱/۰۲
نیمه قطبی	۰/۹۹	۰/۹۹	۱/۰۱
عرض‌های جغرافیایی متوسط - زمستان	۱/۰۳	۱/۰۱	۱

همچنین لازم است تا تشعشع پخشی آسمان صاف روی سطح افقی برای بدست آوردن تشعشع کلی تخمین زد. جردن و لیو^۱ در ۱۹۶۰ یک رابطه تجربی بین ضریب عبور برای تشعشع مستقیم و دیفیوز برای آسمان صاف توسعه دادند :

$$\tau_d = \frac{G_d}{G_o} = 0.271 - 0.294 \tau_b \quad (۲۲-۵)$$

که τ_d ، $\frac{G_d}{G_o}$ (یا $\frac{I_d}{I_o}$) نسبت تشعشع دیفیوز به تشعشع خارج از جو (مستقیم) روی صفحه‌ی افقی می‌باشد.

¹ Jordan and Liu

در ضمن باید توجه داشت G_0 به شکل زیر تعریف می‌شود:

$$G_o = G_{on} \cos \theta_z \quad (۲۳-۵)$$

۵-۸- تشعشع روی سطح شیب دار

مسئله‌ی اصلی ما محاسبه‌ی تشعشع روی سطح شیب‌دار است وقتی که تنها، تشعشع کلی روی سطح افقی معلوم و معین است. برای این مطلوب، نیاز است تا جهت‌های اجزای مستقیم و پخشی تشعشع رسیده به سطح مورد بحث شناخته شود. جهتی که تشعشع پخشی رسیده است (یعنی توزیع آن در فضای آسمان یا گنبد آسمان^۱) تابعی از شرایط ابرآلودگی و وضوح و روشنی اتمسفر که بسیار متغیر هستند می‌باشد.

شکل ۵-۴ از کالسون، پروفایلی از تشعشع دیفیوز در سرتاسر آسمان به عنوان تابعی از درجه زاویه از افق (تراز از سطح مبنا^۲) در یک صفحه‌ای شامل خورشید است. داده‌ها برای آسمان صاف و شرایط مه‌آلود می‌باشد.

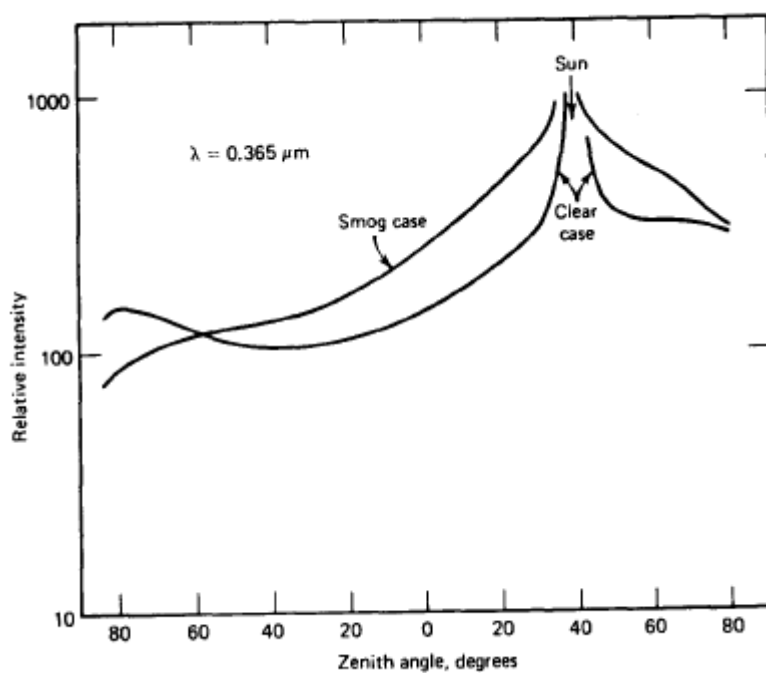
داده‌های روز با آسمان صاف در شکل ۵-۴ منجر به تشریح تشعشع دیفیوز تشکیل شده از سه قسمت شده است. اولین قسمت، بخش همگرا یا ایزوتروپیک (Isotropic) که بطور یکنواخت از آسمان دریافت شده است. دومین قسمت، دیفیوز دور خورشید گردنده (Circumsolar Diffuse) در نتیجه‌ی پراکندگی به جلو تشعشع خورشید و غلیظ شدن بخش اطراف خورشید می‌باشد. سومین بخش، درخشان شدن افق (Horizon Brightening) یا روشنایی افق که نزدیک افق متمرکز شده است و در آسمان صاف بیان می‌شود. شکل ۵-۵ به طور شماتیکی این سه بخش را نشان می‌دهد.

توزیع زاویه‌ای دیفیوز تا حدی تابع بازتاب ρ_g (توان بازتاب یا نیروی بازتابش) زمین است. بازتابش زیاد (مانند برف تازه، با ρ_g نزدیک به ۰/۷) منتج به بازتاب تشعشع خورشیدی به آسمان می‌شود.

مدل‌های آسمان، در این بحث نمایش ریاضی تشعشع دیفیوز است. وقتی که تشعشع مستقیم و بازتابی اضافه می‌شود، روش و ابزاری را برای محاسبه‌ی تشعشع روی سطح شیب دار از اندازه‌گیری‌های روی افق فراهم می‌کنند. مدل‌های آسمان زیادی به وجود آمده است.

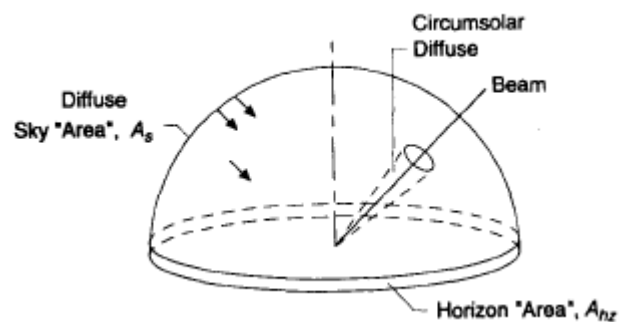
¹ Sky dome

² Angular elevation from the horizon



شکل ۵-۴- شدت نسبی تشعشع خورشید به عنوان تابعی از زاویه فراز

برای روز صاف در لس آنجلس [۵۰].



شکل ۵-۵- توزیع تشعشع دیفیوز در فضای آسمان [۵۰].

مدل‌های مختلفی وجود دارد که به مدل ایزوتروپیک و دو مدل ناهمسانگرد (Anisotropic) پرداخته شده است.

لازم است تا برآورد پدیده‌ی تابش خورشیدی روی سطح شیب‌دار مانند کلکتور صفحه‌ی تخت، پنجره‌ها و یا دریافت‌کننده‌های سیستم غیرفعال^۱ شناخته شود. پدیده‌ی تابش خورشیدی حاصل یک مجموعه تشعشعات خورشیدی شامل تشعشع مستقیم، سه قسمت از تشعشع دیفیوز یا پخشی از آسمان و تشعشع بازتابی از سطوح مختلف که توسط سطح شیب‌دار مشاهده می‌شود، است. تشعشع کلی روی این سطح به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$I_T = I_{T,b} + I_{T,d,iso} + I_{T,d,cs} + I_{T,d,hz} + I_{T,refl} \quad (25-5)$$

که زیر نویس iso، cs، hz و refl به ترتیب بیانگر isotropic، circumsolar، horizon و reflected می‌باشند.

برای یک سطح (یک کلکتور) با سطح A_c ، تشعشع کلی با توجه تشعشع مستقیم و دیفیوز روی سطح افقی و تشعشع کلی با توجه تشعشع مستقیم و دیفیوز روی سطح افقی و تشعشع کلی روی سطحی که به سطح شیب‌دار بازمی‌تاباند. بنابراین:

$$A_c I_T = A_c I_b R_b + A_s I_{d,iso} F_{s-c} + A_c I_{d,cs} R_b + A_{hz} I_{d,hz} F_{hz-c} + \sum_i A_i I_i \rho_i F_{i-c} \quad (26-5)$$

جمله‌ی اول سهم تشعشع مستقیم، جمله‌ی دوم تشعشع دیفیوز ایزوتروپیک که شامل سطح آسمان A_s (سطح تعریف نشده) و ضریب دید تشعشع از آسمان به کلکتور F_{s-c} ، جمله‌ی سوم تشعشع دیفیوز دور خورشید گردنده که بعنوان تشعشعی همراستا با تشعشع مستقیم رفتار می‌کند، جمله‌ی چهارم سهم تشعشع دیفیوز از افق با سطح تعریف نشده‌ی دیگری به نام A_{h-z} و پنجمین جمله مجموعه جریان‌های تشعشع بازتابی از ساختمان‌ها، زمین‌ها و مزارع و ... می‌باشد. علامت i به هریک از جریان‌های بازتابی اشاره دارد: I_T تشعشع خورشیدی روی i امین سطح، ρ_i بازتابش پخشی آن سطح و F_{i-c} ضریب دید از i امین سطح به سطح شیب‌دار است. فرض شده است که سطح بازتابش، بازتاب‌کننده‌هایی دیفیوز هستند؛ بازتاب‌کننده‌های طیفی به کارکردهای متفاوتی نیاز دارند. به طور کلی، محاسبه‌ی انرژی بازتابشی به صورت جزئی و به تفصیل مثلاً برای ساختمان‌ها و درختان امکانپذیر نیست. تغییر تشعشع خورشیدی روی آنها و تغییر بازتابش روی آنها از جمله مشکلات است.

¹ Passive system

عمل استاندارد اینست که فرض شود یک سطح افقی، (زمین بازتاب کننده‌ی دیفیوز با وسعت زیاد) وجود دارد. در اینصورت I_T به I و ρ_i به ρ_g تبدیل می‌شود.

معادله‌ی (۵-۲۶) را می‌توان در یک شکل ساده توسط سطوح و ضرائب دید مبادله کننده (زیرا ضریب دید نیاز به یک رابطه‌ی متقابل و معکوس مثل $A_s F_{s-c} = A_c F_{c-s}$ دارد.) دوباره نوشت. به این ترتیب سطوح تعریف نشده‌ی A_s و A_{hz} حذف شدند. بنابراین، معادله‌ای که در پایین آمده، I_T را نتیجه می‌دهد که با توجه به پارامترهایی که هم بصورت تئوری و هم بصورت تجربی تعیین می‌شوند، بدست می‌آید.

$$I_T = I_b R_b + I_{d,iso} F_{c-s} + I_{d,cs} R_b + I_{d,hz} F_{c-hz} + I \rho_g F_{c-g} \quad (۵-۲۷)$$

وقتی که I_T تعیین شده است، نسبت تشعشع کلی روی سطح شیب‌دار به تشعشع کلی روی سطح افقی را می‌توان بدست آورد. بنابراین:

$$R = \frac{\text{تشعشع کلی روی سطح شیب دار}}{\text{تشعشع کلی روی سطح افقی}} = \frac{I_T}{I}$$

مدل‌های زیادی با پیچیدگی‌های متفاوت برای محاسبه‌ی I_T توسعه یافته‌اند. تفاوت‌ها بطور گسترده به تشعشع دیفیوز مربوط است. ساده‌ترین مدل بر پایه‌ی این فرض است تشعشع مستقیم غالب و حکمفرماست و تشعشع دیفیوز (و تشعشع بازتابش از زمین^۱) به طور موثری در سطح خورشید متمرکز شده‌اند. بنابراین $R=R_b$ و تمام تشعشع به عنوان تشعشع مستقیم عمل می‌کند. البته این مدل پیشنهاد نمی‌شود و مدل‌های ترجیح داده شده در قسمت‌های بعدی آورده می‌شود.

۵-۸-۱- تشعشع روی سطح شیب‌دار – آسمان ایزوتروپیک

می‌توان فرض کرد که ترکیب تشعشع دیفیوز و بازتابش از زمین ایزوتروپیک یا همگرا و دارای خواصی مشابه است [۵۰]. با این فرض، جمع تشعشع دیفیوز از آسمان و تشعشع بازتابش از زمین روی سطح شیب‌دار همان قطع نظر از جهت‌گیری^۲ می‌باشد و تشعشع کلی روی سطح شیب‌دار مجموع سهم تشعشع مستقیم که بصورت $I_b R_b$ محاسبه شده و تشعشع دیفیوز روی سطح افقی، I_d است. یک بهبودی برای این مدل، که توسط لئو و جردن ایجاد شده، مدل isotropic diffuse است. تشعشع

¹ Ground-reflected

² Orientation

روی سطح شیب‌دار شامل سه بخش است: مستقیم، دیفیوز همگرا یا ایزوتروپیک و تشعشع خورشیدی پخشی بازتابش از زمین. سومین و چهارمین جمله در معادله‌ی (۲۷-۵) مقدار صفر را اختیار می‌کند و همه‌ی تشعشع دیفیوز، ایزوتروپیک یا همگرا فرض می‌شوند. یک سطح شیب‌دار با زاویه‌ی شیب β از افق و با ضریب دید به آسمان F_{c-s} که با عبارت $\frac{1+\cos\beta}{2}$ معین می‌شود، داریم. سطح، یک ضریب دید به زمین یعنی F_{c-g} دارد که با عبارت $\frac{1-\cos\beta}{2}$ معلوم می‌شود و اگر محیط اطراف یک بازتابش دیفیوز ρ_g برای تشعشع کلی داشته باشد، تشعشع بازتابشی از محیط اطراف به سطح به صورت $I \rho_g \frac{1-\cos\beta}{2}$ بیان می‌شود. بنابراین، معادله‌ی (۲۷-۵) برای معین کردن تشعشع کلی روی سطح شیب‌دار برای یک ساعت به شکل زیر تغییر می‌کند:

$$I_T = I_b R_b + I_d \frac{1+\cos\beta}{2} + I \rho_g \frac{1-\cos\beta}{2} \quad (28-5)$$

و با تعریف R:

$$R = \frac{I_b}{I} R_b + \frac{I_d}{I} \frac{1+\cos\beta}{2} + \rho_g \frac{1-\cos\beta}{2} \quad (29-5)$$

۵-۸-۲- تشعشع روی سطح شیب‌دار - آسمان ناهمسانگرد یا آنیزوتروپیک^۱

مدل دیفیوز ایزوتروپیک (معادله‌ی (۲۸-۵)) بسیار قابل فهم است و محاسبه‌ی تشعشع روی سطح شیب‌دار را بسیار آسان می‌سازد. ولی، مدل بهبود یافته، با توجه به اجزای horizon و brightening روی سطح توسعه یافته، که بطور شماتیکی در شکل ۵-۶ نشان داده شده است.

های و دیویز^۲ کسری از تشعشع دیفیوز را که بصورت circumsolar است برآورد کردند و ملاحظه کردند، این تشعشع دارای جهت یکسانی با تشعشع مستقیم است؛ آنها قسمت horizon brightening را در نظر نگرفتند. ریندل و همکارانش^۳ قسمت horizon brightening را به مدل های و دیویز اضافه کردند. کلاچر^۴ مدلی را به عنوان مدل HDKR ارائه کرد. اسکارتویت و اولست^۵ روشی برای تخمین توزیع تشعشع مستقیم و دیفیوز روی سطح شیب‌دار توسعه دادند که تشعشع متوسط

¹ Anisotropic

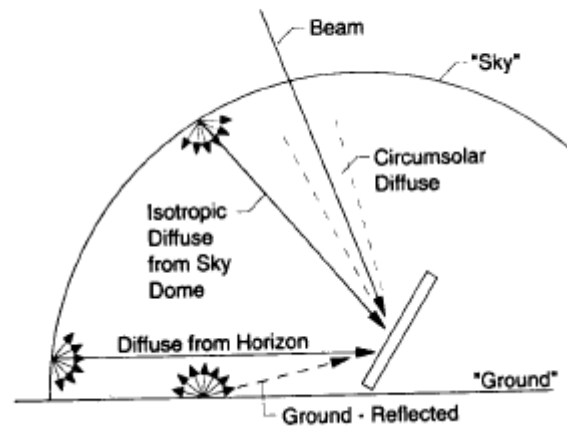
² Hay and Davies

³ Reindl et al

⁴ Klucher

⁵ Skartveit and Olseth

ماهیاره را محاسبه می‌کرد. پرز و همکارانش^۱ هردو تشعشع circumsolar و horizon brightening را با جزئیات یکسان در یک مجموعه مدل با پیچیدگی‌های متفاوت در نظر گرفتند [۵۰].



شکل ۵-۶- تشعشع مستقیم، دیفیوز و بازتاب از زمین روی سطح شیب‌دار [۵۰].

مدل‌های و دیویز بر پایه‌ی این فرض که همه‌ی تشعشع دیفیوز را می‌توان با دو قسمت ارائه کرد (circumsolar و isotropic)، استوار است. بنابراین تشعشع دیفیوز روی سطح شیب‌دار به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$I_{d,T} = I_{d,T,iso} + I_{d,T,cs} \quad (۳۰-۵)$$

و

$$I_{d,T} = I_d \left[(1 - A_i) \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) + A_i R_b \right] \quad (۳۱-۵)$$

که A_i شاخص ناهسانگردی^۲ و تابع عبور اتمسفر برای تشعشع مستقیم می‌باشد.

$$A_i = \frac{I_{bn}}{I_{on}} = \frac{I_b}{I_o} \quad (۳۲-۵)$$

^۱ Perez et al

^۲ Anisotropy index

این قسمت تابشی زاویه‌ی یکسان با تشعشع مستقیم خواهد داشت. در شرایط آسمان صاف، A_i زیاد خواهد بود. وقتی که تشعشع مستقیم نباشد، A_i صفر خواهد شد و دیفیوز محاسبه شده به طور کامل ایزوتروپیک است و معادلات مدل با معادلات (۲۸-۵) یکسان خواهد شد.

تشعشع کلی روی سطح شیبدار:

$$I_T = (I_b + I_d A_i) R_b + I_d (1 - A_i) \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + I \rho_g \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (۳۳-۵)$$

روش‌های و دیویز برای محاسبه‌ی I_T خیلی پیچیده‌تر از مدل ایزوتروپیک نیست و منجر به برآوردی به صورت ناچیز بیشتر از تشعشع روی سطح شیبدار می‌شود. ریندل و همکارانش و دیگران نشان دادند که نتایج بدست آمده از مدلشان یک بهبودی نسبت به مدل ایزوتروپیک حاصل می‌کند. اما، تشعشع مربوط به horizon brightening مورد محاسبه قرار نگرفت. تمپز و کولسون^۱، horizon brightening را در روزهای صاف با بکاربردن یک فاکتور تصحیح $[1 + \sin^3(\beta/2)]$ به دیفیوز ایزوتروپیک محاسبه کردند. کلاچر این فاکتور تصحیحی را با بکاربردن یک فاکتور تعدیل F اصلاح کردند، بطوریکه شکل $[1 + F \sin^3(\beta/2)]$ برای روزهای ابری به کار می‌رود.

ریندل و همکارانش مدل‌های و را با اضافه کردن عباراتی شبیه آنچه کلاچر به کار برد، اصلاح کردند. تشعشع دیفیوز روی سطح شیبدار به شکل زیر محاسبه می‌شود:

$$I_{d,T} = I_d \left\{ (1 - A_i) \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) [1 + f \sin^3(\beta/2)] + A_i R_b \right\} \quad (۳۴-۵)$$

که A_i با توجه به معادله‌ی (۳۵-۵) تعریف می‌شود.

$$f = \sqrt{\frac{I_b}{I}} \quad (۳۵-۵)$$

وقتی که عبارات تشعشع مستقیم و بازتابش از زمین اضافه می‌شود، مدل‌های و دیویز، مدل کلاچر، مدل ریندل (HDKR) نتیجه می‌شود. بنابراین تشعشع کلی روی سطح شیبدار به صورت زیر بیان می‌شود:

^۱ Temps and Coulson

$$I_T = (I_b + I_d A_i) R_b + I_d (1 - A_i) \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) [1 + f \sin^3(\beta/2)] + I \rho_g \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (36-5)$$

مدل پرز و همکارانش بر پایه یک آنالیز جزئی بیشتر سه قسمت تشعشع دیفیوز است. تشعشع دیفیوز روی سطح شیبدار به این شکل بیان می‌شود:

$$I_{d,T} = I_d [(1 - F_1) \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + F_1 \frac{a}{b} + F_2 \sin \beta] \quad (37-5)$$

که F_1 و F_2 ضرائب تشعشع circumsolar و horizon brightening می‌باشند و a و b عباراتی هستند که برای محاسبه‌ی زاویه تابش مخروط تشعشع circumsolar (شکل ۵-۶ را ببینید) روی سطح شیبدار و سطح افقی به کار روند. تشعشع circumsolar به شکل منبع نقطه‌ای در خورشید مورد ملاحظه قرار می‌گیرد. عبارات a و b به صورت زیر بیان می‌شود:

$$a = \max[0, \cos \theta] \\ b = \max[\cos 85, \cos \theta_z] \quad (38-5)$$

با این تعریف، $\frac{a}{b}$ برای بیشتر ساعاتی که کلکتورها خروجی مفیدی دارند، R_b می‌باشد.

ضرائب روشنایی F_1 و F_2 تابعی از سه پارامتر که شرایط آسمان را توصیف می‌کنند، هستند. این سه پارامتر عبارتند از: زاویه‌ی سمت‌الرأس θ_z ، روشنایی یا وضوح^۱ ε ، درخشندگی^۲ Δ .

که ε تابعی از تشعشع دیفیوز ساعتی I_d و تشعشع مستقیم I_b می‌باشد.

$$\varepsilon = \frac{\frac{I_d + I_n}{I_d} + 5.535 \times 10^{-6} \theta_z^3}{1 + 5.535 \times 10^{-6} \theta_z^3} \quad (39-5)$$

که θ_z بر حسب درجه می‌باشد و I_n به صورت $\frac{I_b}{\cos \theta_z}$ تعریف می‌شود.

$$\Delta = m \frac{I_d}{I_{on}} \quad (40-5)$$

¹ clearness

² Brightness

که m ، جرم هوا (معادله‌ی (۲-۵)) و I_{on} نیز تشعشع نرمال (عمودی) خارج از جو (معادله‌ی (۵-۱۵)) می‌باشد.

ضرائب روشنایی F_1 و F_2 تابعی ضرائب مشتق شده‌ی آماری برای محدوده‌ی متفاوت ε است؛ یک مجموعه‌ی پیشنهادی از ضرائب در جدول ۳-۵ آورده شده است. معادلات مربوط به محاسبه‌ی F_1 و F_2 به شکل زیر می‌باشد :

$$F_1 = \max[0, (f_{11} + f_{12}\Delta + \frac{\pi\theta_z}{180}f_{13})] \quad (۴۱-۵)$$

$$F_2 = (f_{21} + f_{22}\Delta + \frac{\pi\theta_z}{180}f_{23}) \quad (۴۲-۵)$$

این مجموعه معادلات اجازه‌ی محاسبه‌ی تمام سه قسمت تشعشع را روی سطح شیب‌دار می‌دهد. تشعشع کلی روی سطح شیب‌دار شامل ۵ عبارت است: تشعشع مستقیم، دیفیوز آیزوتروپیک، دیفیوز circumsolar، دیفیوز horizon brightening و تشعشع بازتابش از زمین :

$$I_T = I_b R_b + I_d (1 - F_1) \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + I_d F_1 \frac{a}{b} + IF_2 \sin \beta + I \rho_g \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (۴۳-۵)$$

جدول ۳-۵- ضرائب روشنایی برای مدل پرز و همکارانش [۵۰].

محدوده‌ی ε	f_{11}	f_{12}	f_{13}	f_{21}	f_{22}	f_{23}
$-۱/۰۶۵$	$-۰/۱۹۶$	$۱/۰۸۴$	$-۰/۰۰۶$	$-۰/۱۱۴$	$۰/۱۸۰$	$۰/۰۱۹$
$۱/۰۶۵-۱/۲۳۰$	$۰/۲۳۶$	$۰/۵۱۹$	$-۰/۱۸۰$	$-۰/۰۱۱$	$۰/۰۲۰$	$-۰/۰۳۸$
$۱/۲۳۰-۱/۵۰۰$	$۰/۴۵۴$	$۰/۳۲۱$	$-۰/۲۵۵$	$۰/۰۷۲$	$-۰/۰۹۸$	$-۰/۰۴۶$
$۱/۵۰۰-۱/۹۵۰$	$۰/۸۶۶$	$-۰/۳۸۱$	$-۰/۳۷۵$	$۰/۲۰۳$	$-۰/۴۰۳$	$-۰/۰۴۹$
$۱/۹۵۰-۲/۸۰۰$	$۱/۰۲۶$	$-۰/۷۱۱$	$-۰/۴۲۶$	$۰/۲۷۳$	$-۰/۶۰۲$	$-۰/۰۶۱$
$۲/۸۰۰-۴/۵۰۰$	$۰/۹۷۸$	$-۰/۹۸۶$	$-۰/۳۵۰$	$۰/۲۸۰$	$-۰/۹۱۵$	$-۰/۰۲۴$
$۴/۵۰۰-۶/۲۰۰$	$۰/۷۴۸$	$-۰/۹۱۳$	$-۰/۲۳۶$	$۰/۱۷۳$	$-۱/۰۴۵۰$	$۰/۰۶۵$
$۶/۲۰۰- \uparrow$	$۰/۳۱۸$	$-۰/۷۵۷$	$۰/۱۰۳$	$۰/۰۶۲$	$-۱/۶۹۸$	$۰/۲۳۶$

سوال پیش رو اینست که کدام یک از این مدل‌ها برای تشعشع کلی روی سطح شیب‌دار باید بکار برد. مدل ایزوتروپیک ساده‌ترین مدل است که تخمین محافظه‌کارانه‌ای از تشعشع روی سطح شیب‌دار

را می‌دهد و به طور گسترده بکار می‌رود. مدل HDKR تقریباً به سادگی کاربرد مدل ایزوتروپیک است و نتیجه‌ای نزدیک به مقادیر اندازه‌گیری شده حاصل می‌دهد. برای سطوح شیب‌دار به سمت جنوب، این مدل‌ها پیشنهاد می‌شود. مدل پرز پیچیده‌تر است و عموماً تشعشع کلی روی سطح شیب‌دار را به صورت ناچیز بیشتر پیش‌بینی می‌کند. این مدل بهترین تطابق را با اندازه‌گیری‌ها با اندکی تفاوت دارد. برای سطوح با γ مخالف صفر در نیمکره‌ی شمالی یا 180° در نیمکره‌ی جنوبی، مدل پرز پیشنهاد می‌شود [۵۰]. بنابراین با توجه به نیاز پایان‌نامه‌ی و محاسبه‌ی زاویه‌ی γ مناسب این مدل بهترین مدل برای به کاربردن در این پایان‌نامه می‌باشد.

۵-۹- معادلات حاکم بر سیستم‌های متداول گرمایش آب خورشیدی

۵-۹-۱- سیستم SWH مستقیم با چرخش اجباری

نمای شماتیکی این سیستم در شکل ۵-۸ قابل مشاهده است. همانطوری که اشاره شده انرژی جذب شده توسط کلکتور در هر لحظه برابر است با :

$$q_{gain}^{\square} = \eta_{col} A_c G_T \quad (۴۴-۵)$$

که راندمان کلکتور به صورت زیر تعریف می‌شود :

$$\eta_{col} = F_R (\tau\alpha) - F_R U_L \frac{(T_{ci} - T_{amb})}{G_T} \quad (۴۵-۵)$$

حال با جایگذاری معادله‌ی (۴۵-۵) در معادله‌ی (۴۴-۵) :

$$q_{gain}^{\square} = A_c [F_R (\tau\alpha) G_t - F_R U_L (T_{ci} - T_{amb})] \quad (۴۶-۵)$$

از طرفی می‌دانیم که :

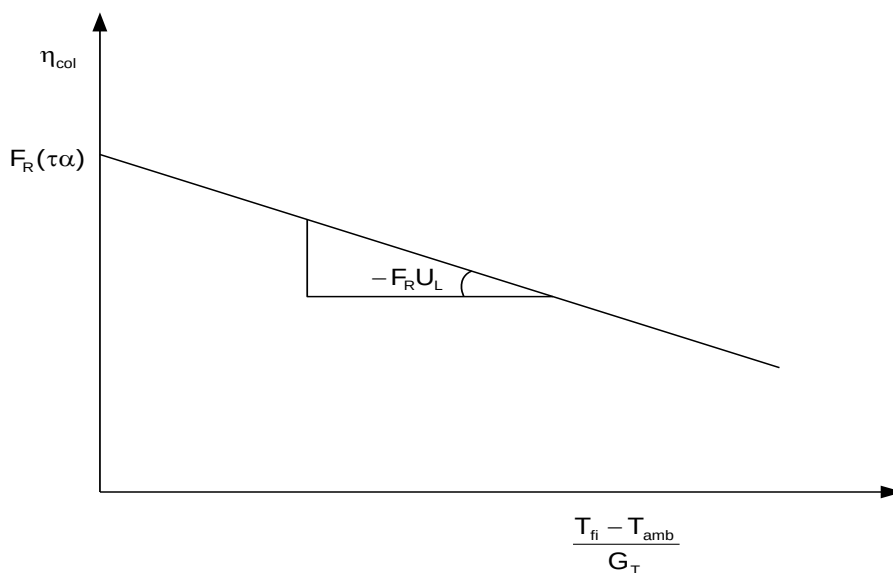
$$q_{gain}^{\square} = m_{col}^{\square} C_{col} (T_{co} - T_{ci}) \quad (۴۷-۵)$$

F_R ضریب انتقال حرارت^۱ و $(\tau\alpha)$ حاصل ضرب موثر ضریب عبور پوشش شفاف کلکتور در ضریب جذب صفحه جاذب آن است. U_L هم ضریب کلی اتلاف حرارت از کلکتور می‌باشد. اگر نمودار η_{col} بر

^۱ . Direct Forced Circulation SWH System

حسب $\left(\frac{T_{ci} - T_{amb}}{G_T} \right)$ رسم شود مطابق شکل (۷-۵) خطی به دست می‌آید که عرض از مبدأ آن برابر $F_R(\tau\alpha)$ و شیب آن برابر $-F_R U_L$ خواهد بود. برای یک کلکتور می‌توان با تست آن در شرایط استاندارد از نظر شدت و زاویه تابش و دبی سیال در گردش، این دو پارامتر را به دست آورد. بدین ترتیب که برای دو یا چند دمای ورودی T_{ci} آزمایش انجام می‌شود. سپس با استفاده از نتایج هر آزمایش ابتدا از معادله (۴۷-۵) $q_{gain}^{\square}$ محاسبه می‌شود. با جایگذاری مقدار بدست آمده در معادله (۴۴-۵) و مشخص بودن G_T و A_c ، η_{col} به دست می‌آید؛ بنابراین به ازای هر η_{col} و $\left(\frac{T_{ci} - T_{amb}}{G_T} \right)$ به دست آمده، یک نقطه بر روی نمودار شکل (۷-۵) مشخص می‌شود. سرانجام با میانگین نقاط، خط بازده رسم شده و عرض-ازمبدأ و شیب آن محاسبه می‌شود.

بدین ترتیب یک رابطه تجربی برای معادله (۴۶-۵) که به آن معادله مشخصه بازده کلکتور نیز می‌گویند به دست می‌آید. شرکت‌های معتبر سازنده کلکتور معادله مربوط به محصولات خود را در اختیار مشتریان قرار می‌دهند.



شکل ۷-۵- نمودار بازده کلکتور تخت خورشیدی

با تعریف اصلاح کننده‌ی زاویه‌ی تابش، K_{θ} معادله‌ی (۴-۱۳) به شکل زیر در می‌آید :

$$q_{gain}^{\square} = A_c [F_R(\tau\alpha)_n K_{\theta} G_t - F_R U_L (T_{ci} - T_{amb})] \quad (۴۸-۵)$$

با تساوی قراردادن معادلات (۴۷-۵) و (۴۸-۵) مقدار T_{co} را می‌توان بدست آورد.

می‌توان گفت که دمای متوسط آب داخل مخزن ذخیره در هر لحظه برابر با میانگین دمای ورودی و خروجی کلکتور است؛ یعنی:

$$T_{\text{tank}} = \frac{T_{ci} + T_{co}}{2} \quad (49-5)$$

برای تغییرات T_{tank} معادله‌ی زیر برقرار است:

$$\rho V_{\text{tank}} C_{P_w} \frac{dT_{\text{tank}}}{dt} = q_{\text{gain}} - q_{\text{use}} - q_{\text{loss}} \quad (50-5)$$

در این معادله عبارات سمت راست معادله به ترتیب از سمت چپ گرمای انتقال یافته از سیال داخل کلکتور به آب تانک، انرژی که به مصرف می‌رسد و انرژی اتلافی از تانک ذخیره می‌باشند.

$$q_{\text{use}} = m_{\text{use}} C_{P_w} (T_{\text{tank}} - T_{\text{sup}}) \quad (51-5)$$

در معادله‌ی (51-5) m_{use} ، T_{sup} به ترتیب مقدار آب گرم مصرفی یا تقاضای آب گرم و دمای آب گرم تغذیه می‌باشند.

$$q_{\text{loss}} = U_{\text{tank}} A_{\text{tank}} (T_{\text{tank}} - T_{\text{amb}}) \quad (52-5)$$

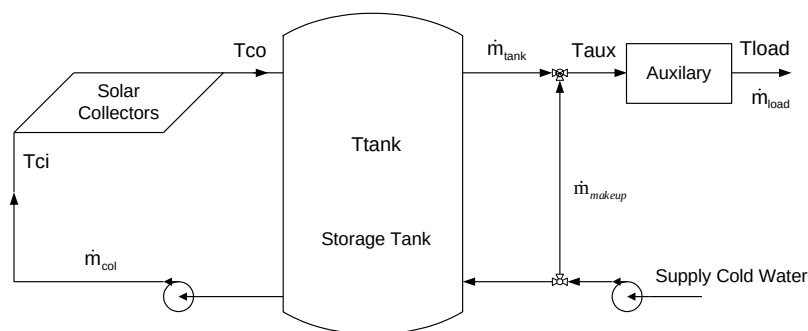
U_{tank} ضریب کلی انتقال حرارت از مخزن است. با یک فرض معقول می‌توان گفت که تنها مقاومت ایجاد شده در برابر اتلاف حرارت از مخزن مربوط به عایق است.

$$U_{\text{tank}} \approx \frac{K_{\text{ins}}}{\Delta x} \quad (53-5)$$

که در آن K_{ins} ضریب هدایت حرارتی عایق و Δx ضخامت آن می‌باشد.

A_{tank} مساحت سطح خارجی مخزن ذخیره است و از معادله زیر محاسبه می‌شود.

$$A_{\text{tank}} = 2\pi r_{\text{tank}}^2 + 2\pi r_{\text{tank}} h_{\text{tank}} \quad (54-5)$$



شکل ۵-۸- سیستم SWH با چرخش مستقیم اجباری

در این حالت دمای سیال ورودی به کلکتور ($T_{ci(1)}$) را می توان با دمای تانک برابر فرض کرد.

اگر $q_{use}^{\square}$ کمتر از بار حرارتی مورد نیاز در هر لحظه باشد مابقی انرژی حرارتی از طریق انرژی کمکی پشتیبان تأمین می شود.

$$q_{load}^{\square} = q_{use}^{\square} + q_{aux}^{\square} \quad (55-5)$$

برای بدست آوردن $q_{aux}^{\square}$ از معادله زیر می توان استفاده کرد:

$$q_{auxilliary}^{\square} = m_{load}^{\square} C_{P_w} (T_{load} - T_{aux}) \quad (56-5)$$

T_{auxi} دمای ورودی آب به سیستم کمکی است. از طرف دیگر اگر T_{tank} در یک لحظه بیش از دمای مورد نیاز مصرف در آن لحظه یعنی T_{load} باشد مقداری از آب تغذیه سرد با آن مخلوط می شود. برای اختلاط این دو جریان دو معادله موازنه جرمی و حرارتی ذیل برقرار است:

$$\dot{m}_{tank} + \dot{m}_{make up} = \dot{m}_{load} \quad (57-5)$$

$$\dot{m}_{tank} T_{tank} + \dot{m}_{make up} T_{sup} = \dot{m}_{load} \dot{m}_{tank} T_{auxi} \quad (58-5)$$

۵-۹-۲- سیستم گرمایش آب خورشیدی غیر مستقیم با چرخش اجباری

۵-۹-۲-۱- بدون مخزن تخلیه

نمای شماتیکی این سیستم در شکل ۵-۹ نشان داده شده است. در این نوع سیستم ها مخلوط اتیلن-گلیکول یا پروپیلن-گلیکول در آب در یک سیکل بسته درون کلکتورها جریان دارد و حرارت جذب شده را از طریق مبدل به آب درون مخزن ذخیره منتقل می کند. معادلات مربوط به این سیستم بسیار

شبهه به سیستم مستقیم است به همین دلیل معادلات تکراری را ارائه نمی‌شود. برای بدست آوردن دمای تانک از یک موازنه انرژی برای مخزن ذخیره استفاده می‌کنیم:

$$\rho V_{\text{tank}} C_{p_w} \frac{dT_{\text{tank}}}{dt} = q_{\text{trans}}^{\square} - q_{\text{use}}^{\square} - q_{\text{loss}}^{\square} \quad (5-59)$$

$$q_{\text{trans}}^{\square} = \text{Eff}_{\text{HX}} \times q_{\text{gain}}^{\square} \quad (5-60)$$

در معادله‌ی بالا Eff_{HX} ، ضریب کارایی مبدل است.

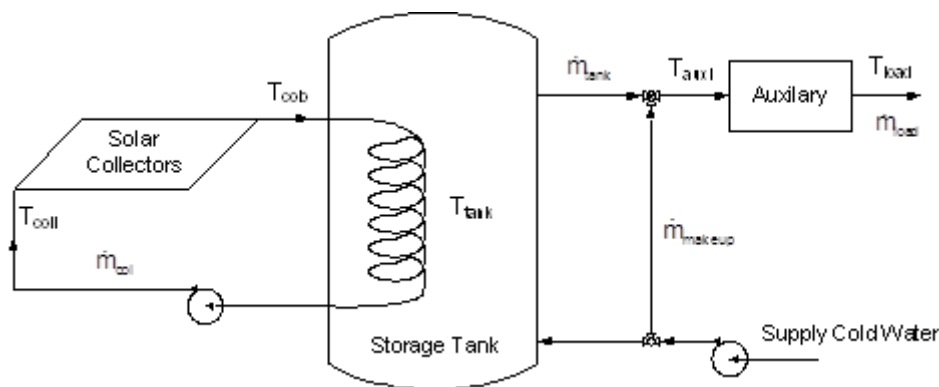
در این نوع سیستم برای اولین بازه ابتدا T_{ci} را حدس می‌زنیم یا یک عدد قابل اطمینان فرض می‌کنیم. یکی از گزینه‌ها دمای اولیه مخزن است که می‌تواند فرض شود. برای محاسبه‌ی T_{ci} در پایان مرحله دوم فرض می‌شود حرارت منتقل نشده به مخزن $[q_{\text{residual}}^{\square} = q_{\text{gain}}^{\square} - q_{\text{trans}}^{\square}]$ صرف گرم شدن سیال داخل کلکتور می‌شود.

$$M_{\text{col}} C_{p_{\text{col}}} \frac{dT_{ci}}{dt} = q_{\text{gain}}^{\square} - q_{\text{trans}}^{\square} \quad (5-61)$$

$$M_{\text{col}} \approx 2 \text{ to } 2.5 \frac{\text{kg}_{\text{fluid}}}{A_c} + \text{cte} \quad (5-62)$$

در معادلات بالا M_{col} جرم سیال انتقال حرارت در گردش درون کلکتورهاست. مقدار ثابت به مقدار اتصالات بین کلکتورها بستگی دارد و با توجه به نوع کاربری متفاوت است.

بقیه معادلات شامل معادلات (5-53) تا (5-58) مشابه هستند.



شکل ۵-۹- سیستم SWH غیرمستقیم با چرخش اجباری بدون مخزن تخلیه

۵-۹-۲-۲- با مخزن تخلیه

چون در این نوع سیستم سیکل سیال عامل کلکتورها باز است نیازی به استفاده از مخلوط آب و گلیکول نیست و آب با املاح کم نیز کافی است. شمای این سیستم را در شکل ۵-۱۰ ببینید. موازنه انرژی برای آب در گردش در کلکتورها بصورت زیر است:

$$m_{\text{drain tank}} c_{pw} \frac{dT_{\text{coli}}}{dt} = \dot{q}_{\text{gain}} - \dot{q}_{\text{trans}} - \dot{q}_{\text{lossdt}} \quad (۵-۶۳)$$

$\dot{q}_{\text{lossdt}}$ اتلاف حرارت از مخزن تخلیه می باشد.

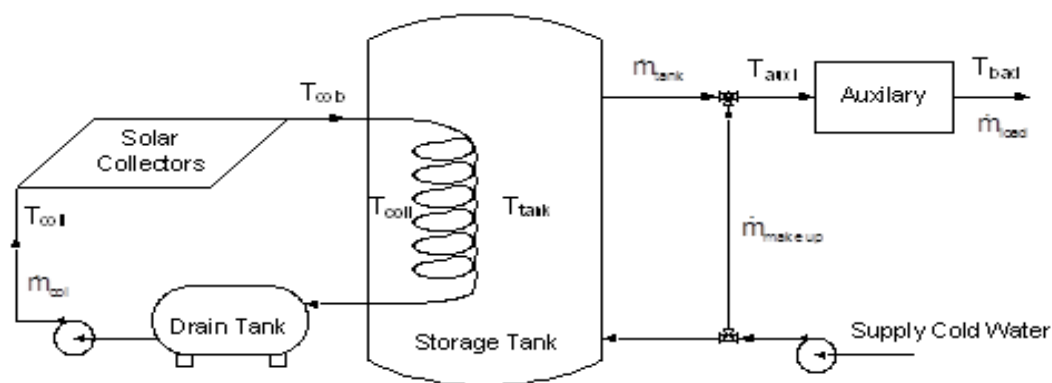
$$\dot{q}_{\text{lossdt}} = U_{\text{drain tank}} A_{\text{drain tank}} (T_{\text{amb}} - T_{ci}) \quad (۵-۶۴)$$

$U_{\text{drain tank}}$ و $A_{\text{drain tank}}$ نیز مشابه معادلات (۵-۵۳) و (۵-۵۴) محاسبه می شوند.

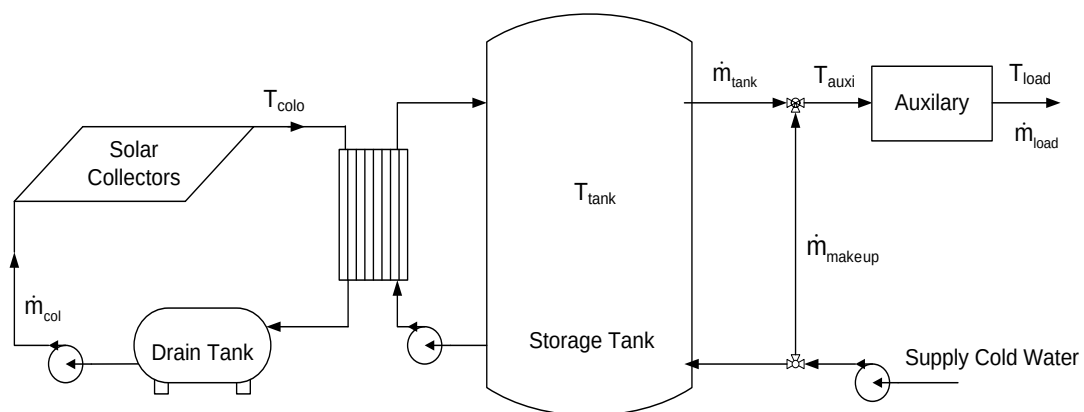
موازنه انرژی برای مخزن ذخیره مشابه معادله (۵-۵۹) است و بقیه معادلات نیز مشابه سیستم قبلی هستند.

۵-۹-۲-۳- با مخزن تخلیه با مبدل خارجی

شمای این سیستم در شکل (۴-۱۱) نشان داده شده است. تفاوت این سیستم با سیستم قبلی این که در این سیستم به جای کویل داخل مخزن، یک مبدل خارجی عمل انتقال حرارت را صورت می دهد. معادلات حاکم بر این سیستم با اختلاف کمی مشابه سیستم قبلی است.



شکل ۵-۱۰- سیستم SWH غیرمستقیم با چرخش اجباری با مخزن تخلیه



شکل ۵-۱۱- سیستم SWH غیرمستقیم با چرخش اجباری با مبدل خارجی

فصل ششم :

بهبود سازی و نتایج و بحث

۶-۱- مقدمه

در فصل ۵ قبل معادلات مربوط به تشعشع رسیده به یک مترمربع از سطح کلکتور و سپس معادلات حاکم بر کلکتورهای خورشیدی بیان شده است. در فصل چهارم نیز انواع سیستم‌های SWH و معادلات مربوط به این سیستمها ارائه شده است. در این فصل به منظور بهینه‌سازی این سیستمها، مدل‌های ریاضی تهیه شده با استفاده از معادلات ارائه شده در فصول قبل ارائه و نتایج آنها نمایش می‌شود و نتایج حل آنها مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد.

۶-۲- بهینه‌سازی ریاضی

برای بهبود عملکرد هر سیستم لازم است تا بهینه‌ترین حالت کارکرد آن سیستم را بیابیم. بدین منظور سیستم مورد نظر باید مدل شود. یکی از روش‌های معمول در مدل‌سازی، مدل‌سازی ریاضی سیستم می‌باشد. عمده‌ی مسائل واقعی که در طبیعت وجود دارند به صورت مدل‌های ریاضی غیرخطی مدل‌سازی می‌شوند. یک مدل ریاضی غیر خطی می‌تواند شامل یک تابع هدف و تعدادی محدودیت باشد. حل مسائل غیر خطی در مقایسه با مسائل خطی به دلیل دسترسی به فضای جواب پیچیده‌تر و چندبعدی‌تر مشکل‌تر و با صرف زمان بیشتر همراه هست. در حل هر مسأله غیر خطی (که می‌تواند شامل تابع هدف غیرخطی یا محدودیت‌های غیرخطی باشد) دسترسی به نقاط محلی یا local زمان و حافظه‌ی کامپیوتری کمتری را در مقایسه با نقطه عمومی یا Global شامل می‌شود. آنچه که در مسائل بهینه‌سازی واقعی بسیار مهم است دست یافتن به جواب‌های عمومی بهینه است.

مسأله موجود در این پایان نامه به دلیل ماهیت مسئله، مسئله‌ای غیرخطی و ناهموار (Non-Smooth Nonlinear) است. حل اینگونه مسائل یکی دشوارترین نوع مسائل بهینه‌سازی است. این مسأله به علت تعدد زیاد معادلات که شامل محدودیت‌های مسأله هستند و تعداد زیاد متغیرها مسأله‌ای ناهموار شناخته شده است. در ابتدا بهینه‌سازی در محیط نرم‌افزار Lingo که از قدرتمندترین نرم‌افزارها در حل مسائل خطی و غیرخطی است انجام شد. با توجه به ساختار نرم‌افزار Lingo و زیادبودن پارامترهای موجود در مدل این نرم‌افزار در بیشتر مواقع قادر به پیدا کردن جواب نبود یا اینکه زمان بسیار زیادی برای حل نیاز بود. لذا برای رسیدن به جواب و توسعه‌ی مدل در سیستم‌های مختلف از EXCEL Solver و زبان برنامه‌نویسی در ماکرو یعنی VBA (Visual Basic for Application) استفاده شده است. قسمت اعظم مسائل توسط الگوریتم SQP (Sequential Quadratic Programming) و با روش Multistart برای رسیدن به جواب Global حل شده است.

در ادامه به الگوریتم موجود در موتور LS-SQP اشاره شده است.

به شکل مسئله‌ی غیرخطی توجه شد:

Minimize $f(x)$

Subject to $h_k(x) = 0, k=1, \dots, K$

$g_j(x) = 0, j=1, \dots, J$

یک متغیر $\bar{x}$ را به عنوان solution estimate و یک گام d تعریف می‌شوند.

$$f(\bar{x} + d) = f(\bar{x}) + [\nabla f(\bar{x})]^T d + 0.5d^T \nabla^2 f(\bar{x})d + \dots$$

$$h_k(\bar{x} + d) = h_k(\bar{x}) + [\nabla h_k(\bar{x})]^T d + 0.5d^T \nabla^2 h_k(\bar{x})d + \dots$$

$$g_j(\bar{x} + d) = g_j(\bar{x}) + [\nabla g_j(\bar{x})]^T d + 0.5d^T \nabla^2 g_j(\bar{x})d + \dots$$

یک مسأله‌ی مینیمم سازی کوادراتیک / بامحدودیت‌های خطی را به صورت زیر بیان می‌شود.

Minimize $f(\bar{x}) + [\nabla f(\bar{x})]^T d + 0.5d^T \nabla^2 f(\bar{x})d$

Subject to $h_k(\bar{x}) + [\nabla h_k(\bar{x})]^T d = 0, k = 1, \dots, K$

$$g_j(\bar{x}) + [\nabla g_j(\bar{x})]^T d = 0, j = 1, \dots, J$$

الگوریتم SQP :

گام صفر: ابتدا یک متغیر X^0 انتخاب و $t=0$ قرار داده می‌شود (X^0 نیازی نیست در فضای شدنی انتخاب شود).

گام اول: مسئله با یک مسئله‌ی QP محدود شده به صورت خطی در X^t تقریب زده می‌شود.

گام دوم: مسئله برای d^t بهینه حل می‌شود.

گام سوم: اگر $d^t \approx 0$ مسئله متوقف می‌شود؛

وگرنه، $X^{t+1} = X^t + d^t$ قرار داده می‌شود. و t افزایش یافته و مسئله به گام اول برمی‌گردد.

۶-۲-۱- پارامترهای ورودی

قابل ذکر است که داده‌های ورودی برای حل مدل‌های مختلف ریاضی در این مطالعه از قرار زیر است:

(۱) مکان مورد بررسی شهر تهران با عرض جغرافیایی $35/7^{\circ}$ شمالی و با طول جغرافیایی $51/4^{\circ}$ و ارتفاع $1/149$ کیلومتر از سطح دریا.

(۲) داده‌های مربوط به دمای هوای بیرون از سایت سازمان انرژی‌های نو ایران (سانا) استخراج شده است، که برای چندین سال مختلف و در فواصل ۱۰ دقیقه‌ای موجود می‌باشد که می‌توان دمای میانگین را برای هر ساعت در روز متوسط‌ها استخراج کرد.

(۳) مخزن ذخیره به صورت استوانه‌ای و با شرط $(h/d) = 2$ (ارتفاع مخزن دو برابر قطر مخزن است) و در حالت اختلاط کامل یا Fully Mixed فرض می‌شوند.

(۴) فاکتورهای مشخصه، که از داده‌های تست استاندارد (Fanney and Kelein, 1983) استخراج

$$\text{شده‌اند [۵۳] که به صورت: } F_R(\tau\alpha)_n = 0.84 \text{ و } F_R U_L = 4.64 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

(۵) جریان جرمی کلکتور برابر $m_{col} = 0.02 \frac{kg}{sm^2}$ که از سازمان استاندارد و تحقیق صنعت ایران استخراج شده است [۵۲].

(۶) گرمای ویژه محلول اتیلن گلیکول در آب برای ایجاد رنج دمایی مطلوب مقدار $C_{p_{col}} = 4022 \frac{J}{kgK}$ یعنی بصورت ۲۰٪ اختلاط اتیلن گلیکول در آب در نظر گرفته شده است [۴۹].

(۷) جرم حجمی سیال انتقال حرارت $1 \frac{kg}{m^3}$ می‌باشد.

(۸) مقدار توان بازتاب زمین^۱ (ρ_g) برای ۱۲ ماه سال در جدول ۶-۱ آورده شده است.

(۹) دمای آب گرم مطلوب در این پایان‌نامه ۶۰ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شده است.

این داده‌ها در طول تمامی مطالعاتی ثابت در نظر گرفته شده است. هرچند این پارامترها، پارامترهایی تأثیرگذار هستند ولی تغییرات آنها در مسئله در نظر گرفته نشده است. نکته قابل توجه این است که پارامترهای طراحی مورد بررسی در این مطالعه شامل سطح کلکتورها، حجم مخزن و زوایای کلکتورهاست. پارامترهای دیگر مانند جریان جرمی یا rate انتقال حرارت با توجه به مطالعات گذشته و بررسی‌های انجام شده مشخص شده است که در مسائل بهینه سازی با افزایش هر پارامتر سرعت حل بصورت نمایی افزایش می‌یابد. بنابراین، پارامترهایی که در تحلیل حساسیت‌های انجام شده پارامترهای کم تأثیرترند به عنوان پارامترهای ثابت در نظر گرفته می‌شوند.

¹ Ground albedo

جول ۶-۱- مقدار توان بازتاب زمین در ماه‌های مختلف (میلادی) سال [۵۰].

ماه‌های سال (میلادی)	ρ_g
ژانویه	۰/۷
فوریه	۰/۷
مارس	۰/۴
آوریل	۰/۲
می	۰/۲
ژوئن	۰/۲
ژولای	۰/۲
آگوست	۰/۲
سپتامبر	۰/۲
اکتبر	۰/۲
نوامبر	۰/۲
دسامبر	۰/۴

۶-۲-۲- جذب حداکثری تشعشع

برای تعیین زاویه بهینه شامل شیب کلکتورها (β)، زاویه آن‌ها نسبت به جنوب یا به اصطلاح زاویه سمت (γ) جهت جذب بیشترین تشعشع بر اساس معیارهای مختلف مطالعات متعددی انجام شده است. در این مطالعه نیز برای جذب حداکثری تشعشع در طول سال نیز یک مدل ریاضی به صورت زیر نوشته شده است:

$$\text{Max } Q_{\text{received}}$$

$$\text{Subject to} \quad (۶-۱)$$

$$0 \leq \beta \leq 90$$

$$-180 \leq \gamma \leq 180$$

قابل توجه است که ابتدا با پیاده سازی مدل تابش هوای صاف، میزان تشعشع رسیده به یک متر مربع از سطح کلکتورها با مقدار تقریبی تجربی اختلاف قابل توجهی داشته است برای رفع این مشکل

از ضرایبی به نام ضرایب ابر و اقلیم به منظور تصحیح شدت تابش هوای صاف استفاده کردیم. برای محاسبه تابش در شرایط واقعی از ضرایب ابر و اقلیم استفاده می شود که برای شرایط آب و هوایی مختلف در کشور محاسبه شده است [۸۲]. ضرایب ابر و اقلیم مطابق رابطه زیر در تابش مستقیم ضرب می شوند A_{cl} ضریب ابر و A_E ضریب اقلیم است.

$$I_{total} = A_E (1 - A_{cl}) I_B + I_D + I_R \quad (2-6)$$

با حل مدل ریاضی مشخص می شود زاویه سمت کلکتور بهینه برای جذب حداکثری تشعشع خورشیدی در سال مقدار $0/2$ و مقدار شیب کلکتور برای جذب ماکزیمم تشعشع در طول سال برابر $34/10$ است که با نتایج بدست آمده در بررسی های انجام شده توسط مقدم و همکارانش [۸۳] تقریباً یکسان است. باید توجه داشت تابع هدف در این مدل برنامه ریزی ریاضی همان معادله ی (۴۳-۵)

۳-۲-۶- بررسی تأثیر شیفیت زمانی یک مصرف نمونه

برای درک تأثیر الگوی مصرف آب گرم روی پارامترهای طراحی بخصوص جهتگیری کلکتورها، یک الگوی نمونه ۴ ساعته ثابت آب گرم پیشنهاد شده است که مصرف ساعتی معادل ۲۰۰ لیتر (مجموعاً ۸۰۰ لیتر) را شامل می شود. این شیفیت زمانی در جدول ۶-۲ نشان داده شده است. تأثیر شیفیت زمانی ثابت این الگوی نمونه روی زاویه سمت، شیب کلکتورها و سطح کلکتورها بررسی شده است. تابع هدف در این قسمت مینیمم سازی انرژی کمکی^۱ مورد نیاز برای دست یافتن به سطح معینی از کسر خورشیدی می باشد.

با مرور معادلات مربوط به کلکتورها و SWH حال مدل برنامه ریزی ریاضی را برای بررسی تأثیر شیفیت مصرف بیان می کنیم.

$$\begin{aligned} \min Q_{aux} \\ SF = 0.7 \\ 0 \leq \beta \leq 90 \\ -180 \leq \gamma \leq 180 \\ A_c \geq 0 \\ T(1,1) = \frac{1}{m_{tank} C_{P_w}} [q_{trans} - q_{use} - q_{loss}] + T(\text{last interval}) \end{aligned} \quad (3-6)$$

در مدل برنامه ریزی ریاضی بالا تابع هدف همان معادله ی (۵۶-۵) می باشد.

¹ Auxilliary energy

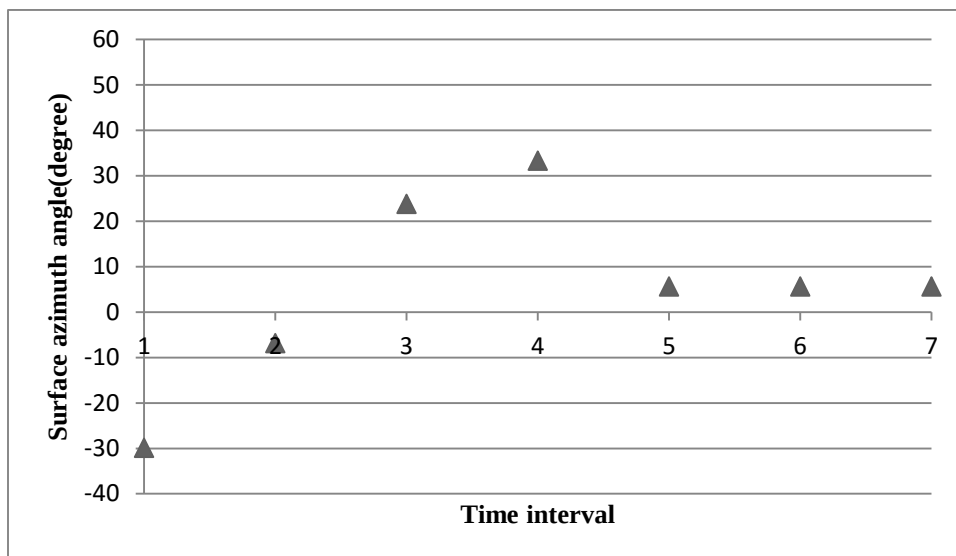
T(۱،۱) دمای تانک در بازه‌ی زمانی اول و T(last interval) دمای تانک در بازه‌ی زمانی انتهایی می‌باشد.

در این قسمت به بررسی تأثیر شیفیت یک مصرف ثابت آب گرم ۴ ساعته روی پارامترهای طراحی یعنی زاویه سمت صفحه، زاویه شیب، سطح کلکتورها، و دمای اولیه تانک در $\frac{V_c}{A_c} = 0.05(m)$ (یک قانون کلی برای پیروی کردن اینست که حجم مخزن ذخیره بین ۳۵ تا ۷۰ لیتر به ازای هر متر مربع از سطح کلکتور است [۴]). پرداخته شده است. ضمناً سیستم مورد بررسی در این مطالعه سیستم غیر مستقیم بدون مخزن تخلیه است.

جدول ۶-۲- بازه زمانی مصرف آب گرم برای مشاهده تأثیر پارامترهای طراحی

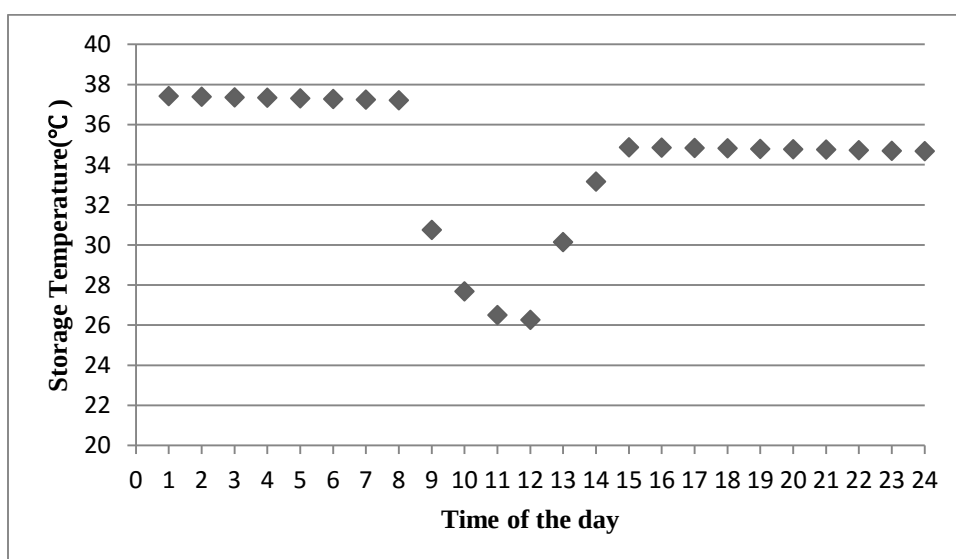
شماره	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
بازه زمانی	۸-۱۲	۱۰-۱۴	۱۲-۱۶	۱۴-۱۸	۱۶-۲۰	۱۸-۲۲	۲۰-۲۴

تغییرات زاویه سمت (γ) در بازه‌های زمانی معین در شکل ۶-۱ نشان داده شده است. همانطوری که مشاهده می‌شود زاویه سمت یا گاما با تغییر زمانی الگوها تغییر می‌کند. مقدار زاویه سمت (γ) از ۲۹/۹- تا ۵/۶ درجه متغیر است. همانطوری که در شکل ۶-۱ مشاهده می‌شود، اگر مصرف آب گرم در ساعات صبح باشد، زاویه سمت صفحه منفی خواهد بود، یعنی کلکتورها به سمت شرق متمایل می‌شوند. اما در بازه‌های زمانی بعدازظهر این زاویه مثبت است و کلکتورها به سمت غرب متمایل می‌شوند. برای ساعاتی که تشعشع خورشیدی دیگر موجود نیست (ساعاتی که خورشیدی غروب می‌کند) زاویه سمت صفحه یا جهتگیری کلکتورها نزدیک به مقدار بهینه زاویه گاما برای جذب حداکثری تشعشع خورشیدی است. یکی از دلایل این مقدار تفاوت جهتگیری کلکتورها برای جبران اتلاف حرارتی در آبگرمکن‌های خورشیدی می‌باشد. با همزمانی مصرف آب گرم و جذب تشعشع خورشیدی، دمای تانک ذخیره کاهش می‌یابد. بنابراین، راندمان کلکتورها افزایش می‌یابد. شکل‌های ۶-۲ و ۶-۳ پروفایل دمایی تانک ذخیره را برای جهتگیری کلکتورها به منظور دریافت حداکثری تشعشع خورشیدی روی سطح کلکتورها در ماه‌های اول و نهم میلادی نشان می‌دهد. پروفایل دمایی برای جهتگیری بهینه کلکتورها در ماه‌های اول و نهم میلادی نیز در شکل‌های ۶-۴ و ۶-۵ به ترتیب نشان داده شده است. مقایسه‌ی شکل‌های ۶-۲ و ۶-۴ در ماه ژانویه و ۶-۳ و ۶-۵ در ماه

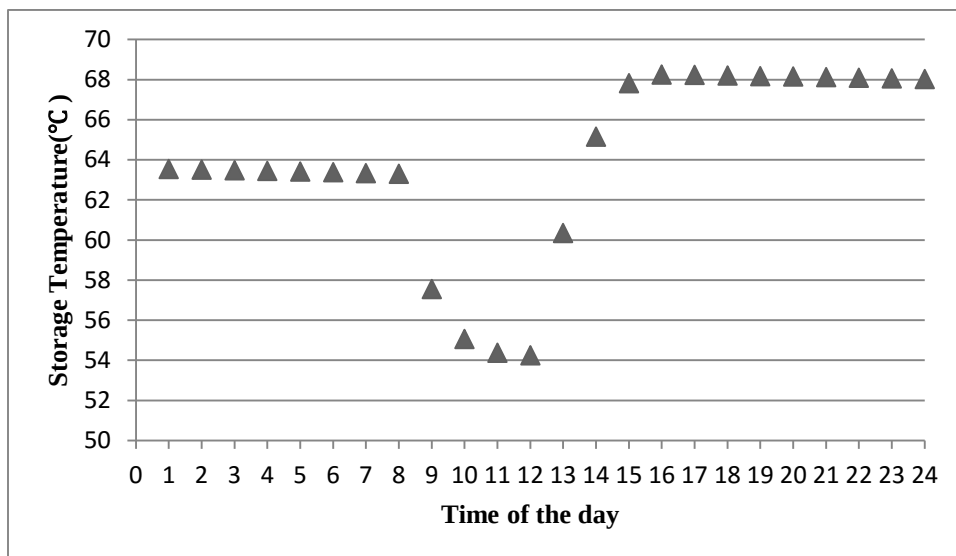


شکل ۶-۱- تغییرات زاویه سمت در بازه‌ی زمانی مصرف مختلف

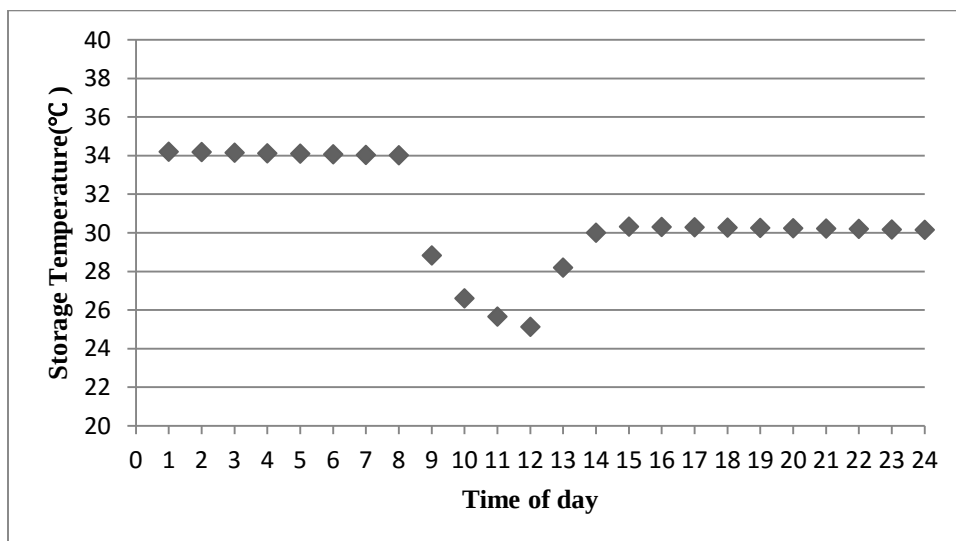
آگوست نشان می‌دهد با همزمانی مصرف آب گرم و جذب خورشیدی و با جهتگیری کلکتورها دمای تانک کاهش می‌یابد. با کاهش دمای تانک ذخیره، راندمان کلکتورها افزایش می‌یابد. شکل ۵-۶ راندمان ماهیانه کلکتورها را برای دو حالت (۱) جهتگیری بهینه‌ی کلکتورها با توجه به مصرف و (۲) جهتگیری بهینه برای دریافت ماکزیمم تشعشع روی یک متر مربع از سطح کلکتورها ارائه می‌کند. مطابق انتظار، راندمان کلکتورها با کاهش دمای تانک ذخیره در حالت جهتگیری بهینه با توجه به مصرف آب گرم، افزایش می‌یابد.



شکل ۶-۲- تغییرات دمای تانک ذخیره در حالت دریافت حداکثری تشعشع در ماه ژانویه

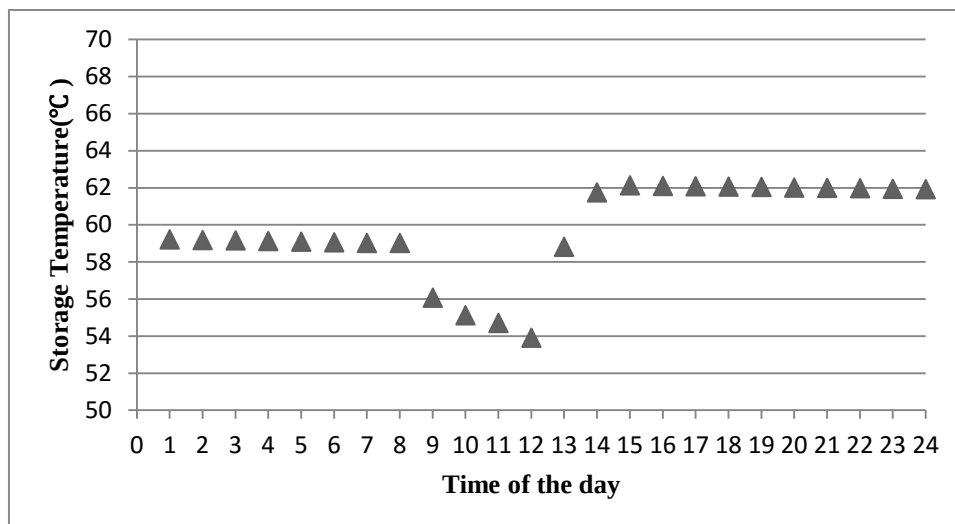


شکل ۶-۳- تغییرات دمای تانک ذخیره در حالت دریافت حداکثری تشعشع در ماه آگوست

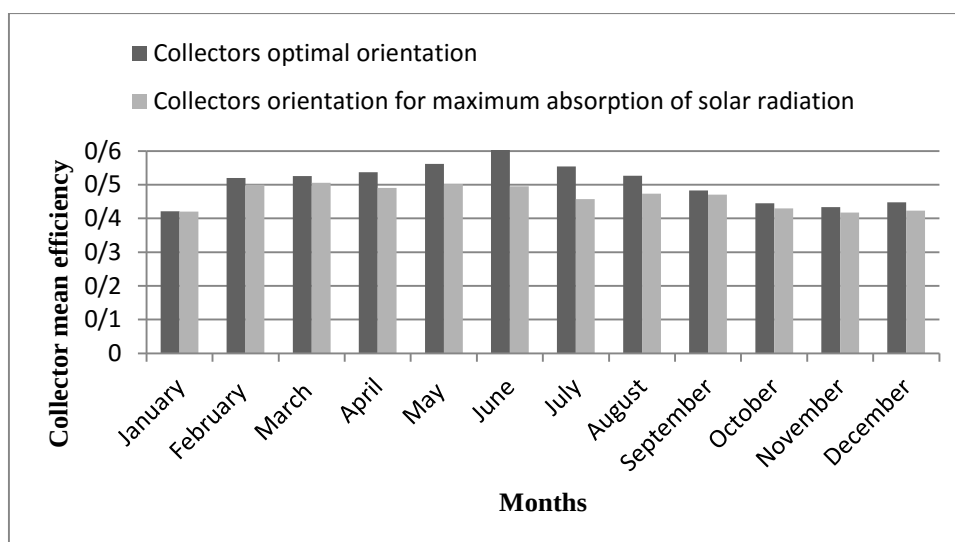


شکل ۶-۴- تغییرات دمای تانک ذخیره در حالت جهتگیری بهینه با توجه به مصرف در ماه ژانویه

برای بررسی بیشتر مسئله، تأثیر تغییر زوایا روی دمای تانک و راندمان کلکتورها ملاحظه شده است. وقتی آب گرم مصرف می‌شود، دمای تانک حتی در ساعات آفتابی کاهش می‌یابد. همانطوری که در شکل ۶-۴ نشان داده شده است با وجود تابش به دلیل مصرف در ساعات ۸ تا ۱۲ صبح دمای تانک کاهش می‌یابد و بنابراین کارایی حرارتی در کویل یا مبدل افزایش می‌یابد. دمای سیال کار در کلکتورها کاهش می‌یابد و بنابراین چون راندمان کلکتورها که به دمای سیال ورودی وابسته است افزایش می‌یابد.



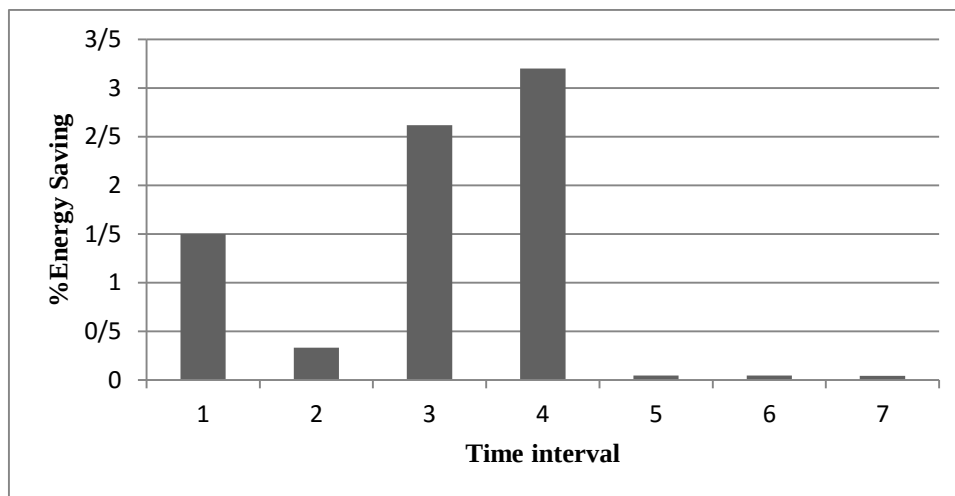
شکل ۶-۵- تغییرات دمای تانک ذخیره در حالت جهتگیری بهینه با توجه به مصرف در ماه آگوست



شکل ۶-۶- راندمان ماهیانه کلکتورها برای جهتگیری کلکتورها در دو حالت بیان شده

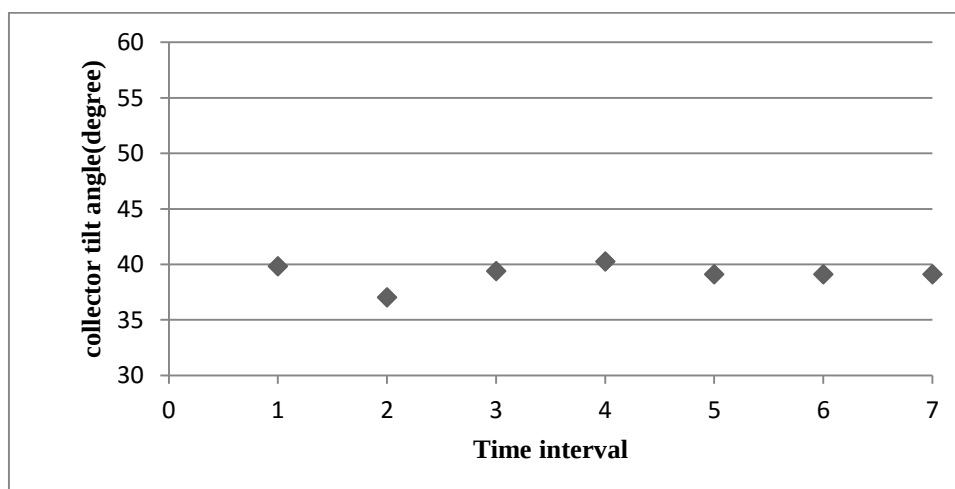
شکل ۶-۷ درصد صرفه جویی انرژی به خاطر جهتگیری بهینه کلکتورها با تأثیر مصرف را در مقایسه با جهتگیری کلکتورها در جذب حداکثری تشعشع در هر بازه‌ی زمانی مصرف را نشان می‌دهد. تغییرات مصرف انرژی سالیانه بین دو حالت بیان شده مورد بررسی قرار گرفته است. در بازه‌های زمانی مصرف دوم، پنجم، ششم و هفتم به دلیل تفاوت ناچیز زوایا در دو حالت مقایسه شده، مقدار این صرفه جویی بسیار ناچیز است. همانطوری که مشاهده می‌شود تنها با تغییر جهتگیری کلکتورها در

حالت سالیانه میزان صرفه جویی انرژی تا مرز ۳/۵٪ در سال نیز می‌رسد. حال قابل توجه است که اگر تغییر زاویه در هر ماه صورت گیرد میزان این تغییر نیز به طور حتم بیشتر خواهد شد.



شکل ۶-۷- درصد صرفه‌جویی انرژی به جهت بهینه شدن جهتگیری با توجه به مصرف آب گرم

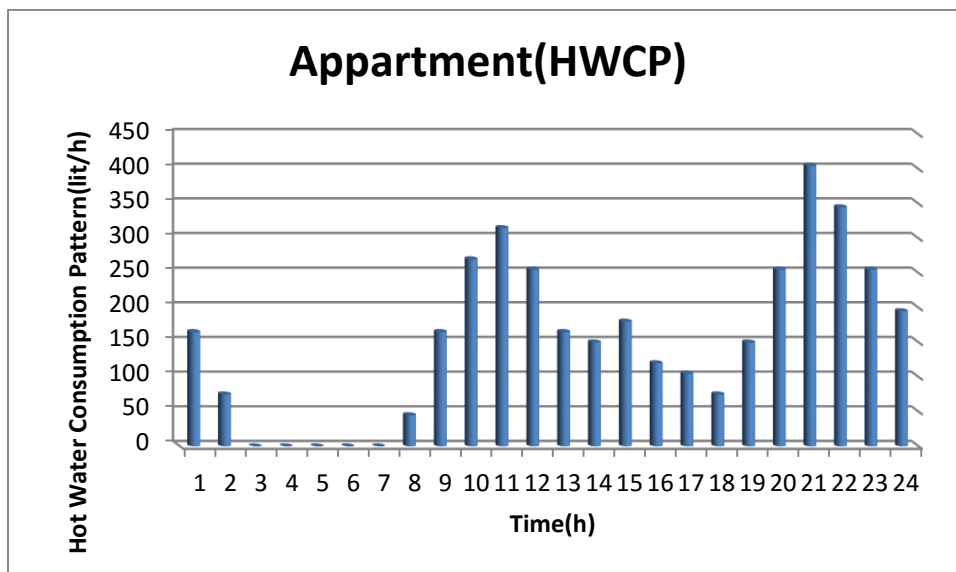
شکل ۶-۸ تغییرات زاویه‌ی شیب کلکتورها را با تغییر بازه‌ی زمانی مصرف نشان می‌دهد. مشاهده شده است که کمترین زاویه شیب ۳۷/۰۳ درجه در بازه‌ی زمانی دوم (۱۰ تا ۱۴) است. درحالی که، بیشترین زاویه شیب در بازه‌ی زمانی چهارم (۱۴ تا ۱۶) بیشترین مقدار را با ۴۰/۲۶ درجه دارد. زاویه شیب کلکتورها در همه‌ی بازه‌های زمانی تقریباً به هم نزدیک است و تفاوت بین این زاویه و زاویه‌ی جذب حداکثری تشعشع نیز به دلیل تأثیرات مصرف آب گرم روی زوایای بهینه و بهینه‌سازی همزمان زوایا با توجه به مصرف است.



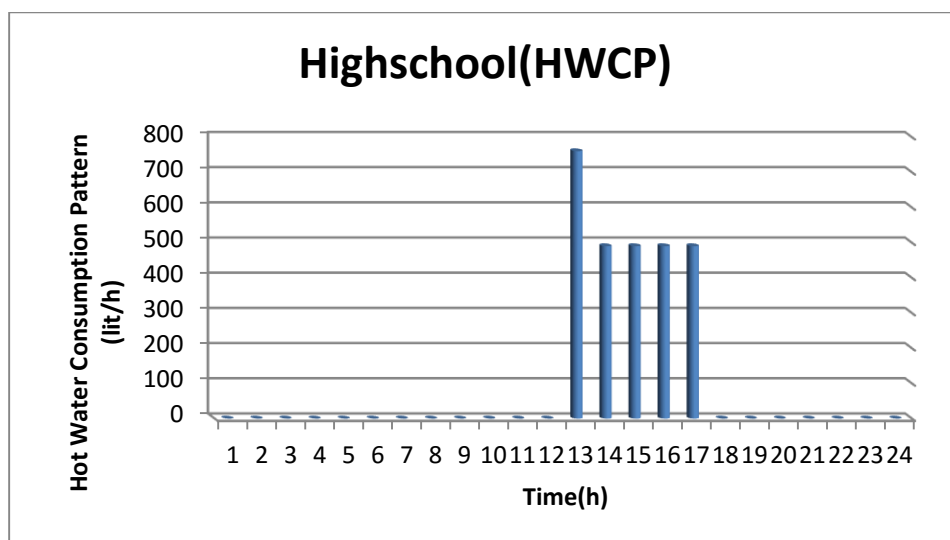
شکل ۶-۸- تغییرات زاویه شیب کلکتور در بازه‌های زمانی مصرف

۴-۲-۶- تأثیر الگوهای مصرف کاربردی بر روی پارامترهای طراحی بهینه

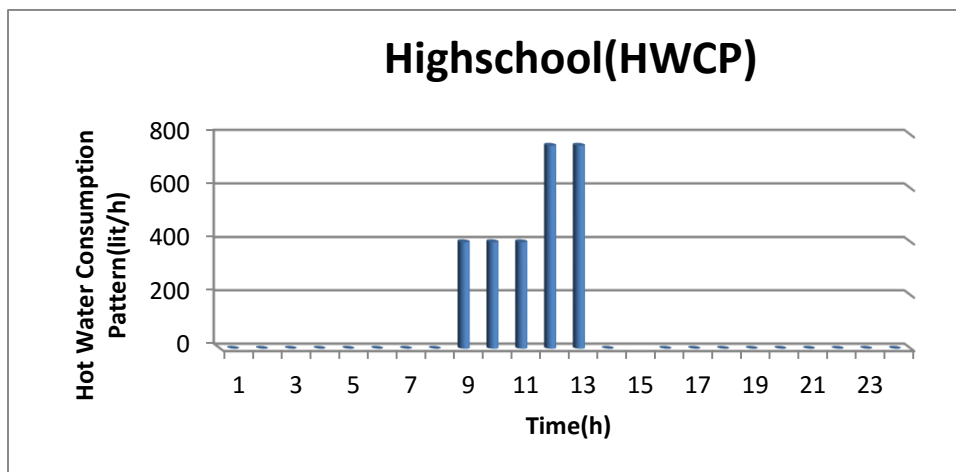
شکل‌های ۸-۶ تا ۱۲-۶ الگوهای مصرف آب گرم (HWCP) مختلف را نمایش می‌دهند. همانطور که مشخص است شکل ۸-۵ الگوی مصرف آب گرم یک آپارتمان ۱۵ واحدی در شهر تهران، شکل ۹-۵ الگوی مصرف یک مدرسه‌ی شیفت عصر، شکل ۱۰-۶ الگوی مصرف یک مدرسه‌ی شیفت صبح، شکل ۱۱-۶ نیز الگوی مربوط به یک واحد تجاری و شکل ۱۲-۶ الگوی مصرف آب گرم یک واحد اداری در شهر تهران را به نمایش می‌گذارد.



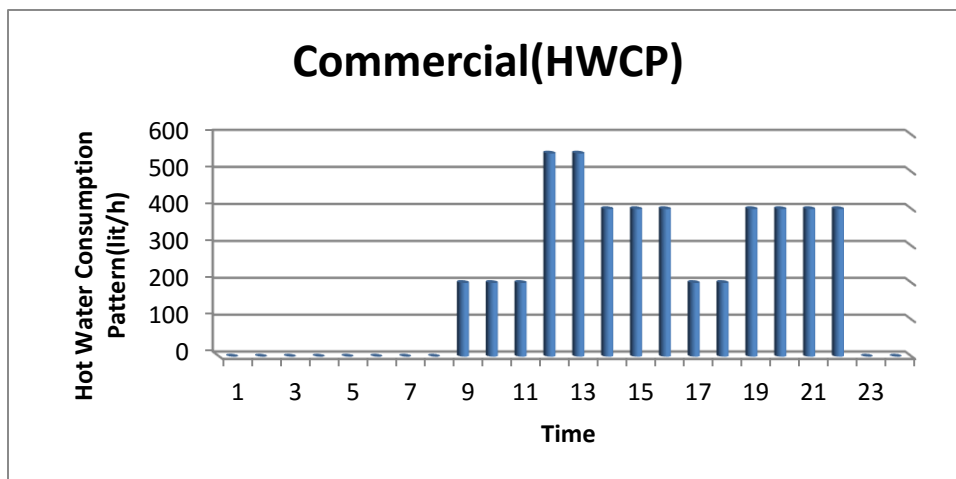
شکل ۸-۶- الگوی مصرف آب گرم یک واحد آپارتمانی ۱۵ واحد.



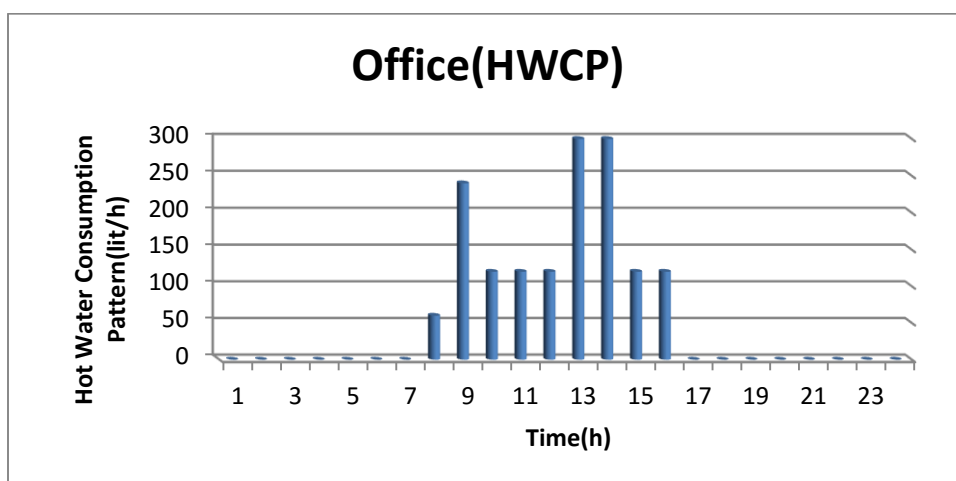
شکل ۹-۶- الگوی مصرف آب گرم یک مدرسه نوبت عصر.



شکل ۶-۱۰- الگوی مصرف آب گرم یک مدرسه نوبت صبح.



شکل ۶-۱۱- الگوی مصرف آب گرم یک واحد تجاری.



شکل ۶-۱۲- الگوی مصرف آب گرم یک واحد اداری.

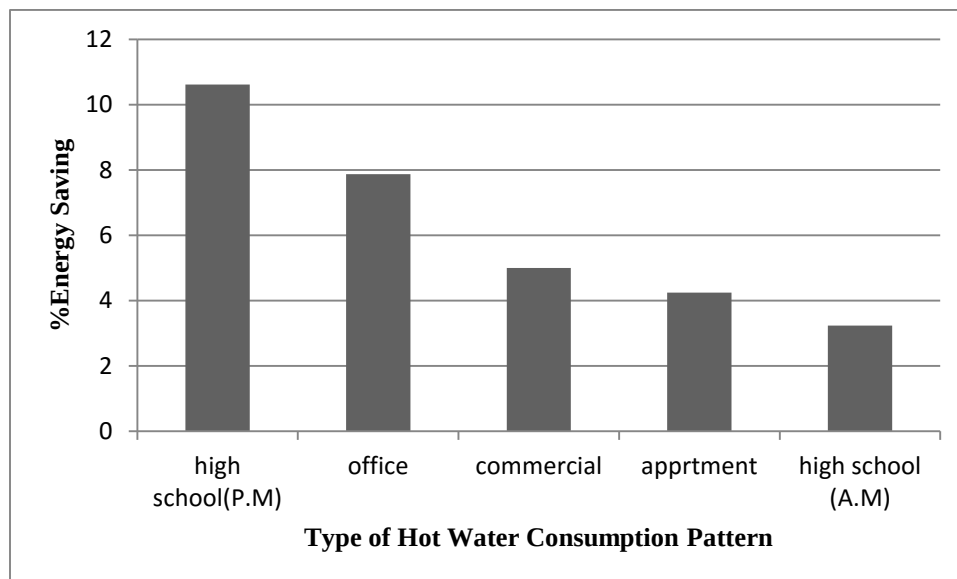
در این مرحله نیز تابع هدف و محدودیت ها به مانند مرحله ی قبل می باشد. در این مرحله پارامترهای بهینه سازی شامل زاویه سمت صفحه، زاویه شیب کلکتور و سطح کلکتور است. در این مرحله نیز مانند مرحله شیفیت مصرف برای تعیین تأثیر زوایای بهینه حجم مخزن را بصورت $\frac{V_c}{A_c} = \Delta (m)$ در نظر می گیریم. نتایج شامل مقدار پارامترهای بهینه در جدول ۳-۶ آمده است. همانگونه که در جدول ۳-۶ مشخص است در اغلب الگوهای مصرف شامل واحد آپارتمانی، واحد تجاری و اداری و مدرسه نوبت عصر، کلکتورها به سمت غرب جهت گیری می کنند و الگوی مصرف مدرسه در نوبت صبح که به طور واضح مصرفشان در صبح می باشد، کلکتورها باید به سمت شرق جهت گیری کنند.

جدول ۵-۳- پارامترهای بهینه برای انواع الگوهای مصرف.

Optimization Parameters	Type of Hot Water Consumption Pattern				
	Apartment	Office	High school(aft)	High school(mor)	commercial
γ	۷	۱۲/۷۶	۱۴/۶	-۹/۶	۱۰/۸
β	۴۴/۰.۸	۴۴/۳۱	۵۰/۱۹	۴۸/۳۶	۴۳/۷۷
$A_c(m^2)$	۱۰۶/۳۲۸	۴۱/۸۳	۸۳/۳۱۲	۸۰/۵۱	۱۳۶/۵۴۸

برای جذب ماکزیمم تشعشع خورشیدی روی سطح کلکتورها در مکان مورد نظر (تهران) کلکتورها متمایل به سمت جنوب هستند. با توجه به جدول ۳-۶ زاویه سمت صفحه (جهت گیری کلکتورها) از مقدار صفر یا جهت گیری به سمت جنوب فاصله دارد. شکل ۳-۶ ۱۳ درصد صرفه جویی انرژی به دلیل جهت گیری بهینه کلکتورها با در نظر گرفتن تأثیر الگوی مصرف آب گرم در مقایسه با حالت رو به جنوب نشان می دهد. همانطوریکه در شکل ۳-۶ نشان داده شده است، مدرسه ی شیفیت عصر بیشترین صرفه جویی و مدرسه ی شیفیت صبح کمترین صرفه جویی را در این حالت داشته اند. مشابه شکل ۷-۶ در الگوهای مصرف که کلکتورها به سمت غرب جهت گیری می کنند صرفه جویی انرژی در

مقایسه با الگوهای مصرفی که در آنها کلکتورها به سمت شرق جهتگیری می‌کنند به دلیل افزایش بیشتر دمای تانک، بیشتر است.



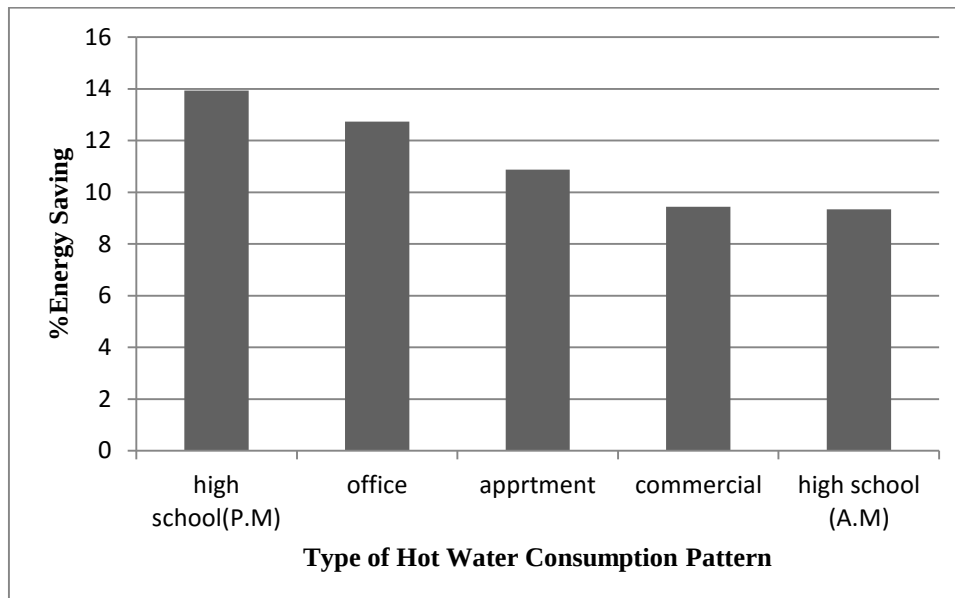
شکل ۶-۱۳- درصد صرفه جویی انرژی به دلیل جهتگیری بهینه کلکتورها در مصارف مختلف.

برای جذب ماکزیمم تشعشع خورشیدی روی سطح کلکتورها، زاویه‌ی شیب سالیانه برای عرض‌های مختلف جغرافیایی در ایران با رابطه زیر که توسط مقدم و همکارانش [۸۳] ارائه شده است بیان می‌شود.

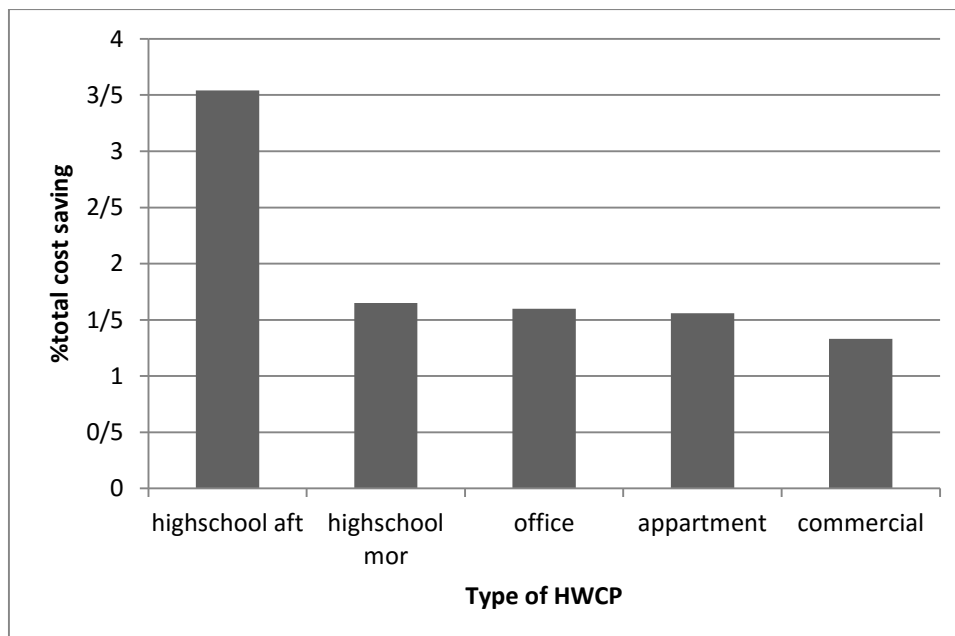
$$\beta_{opt} = 0.917\phi + 0.321 \quad (۴-۶)$$

مقدار زوایای شیب در الگوهای مختلف مصرف و مقدار این زاویه که با رابطه‌ی (۴-۶) بدست آمده است متفاوت می‌باشد و این تفاوت نیز به دلیل تأثیر الگوی مصرف و همزمانی بهینه‌سازی این زوایا با توجه به مصرف آب گرم می‌باشد. تفاوت بین زوایای بهینه (β و γ) که در جدول ۶-۳ آمده است بت مقادیر این زاویه برای جذب حداکثری تشعشع در طول سال سبب می‌شود تا در مقدار انرژی مصرفی نیز اختلافی ایجاد شود. شکل ۶-۱۴ مقدار انرژی صرفه‌جویی شده بر حسب درصد به دلیل بهینه‌سازی همزمان زوایای شیب و سمت صفحه نسبت به حالت جذب حداکثری تشعشع در طول سال روی یک متر مربع از سطح کلکتور ایجاد شده است را نشان می‌دهد.

شکل ۶-۱۵ نیز درصد صرفه‌جویی ایجاد شده در معادل حال حاضر کل هزینه به دلیل بهینه‌سازی همزمان جهت‌گیری و شیب کلکتورها را در مقایسه با حالت جذب حداکثری نشان می‌دهد. که مقدار این صرفه‌جویی تا مرز ۳/۵ درصد می‌رسد.



شکل ۶-۱۴ درصد صرفه‌جویی انرژی به دلیل بهینه‌سازی همزمان جهت‌گیری و شیب در مصارف مختلف.

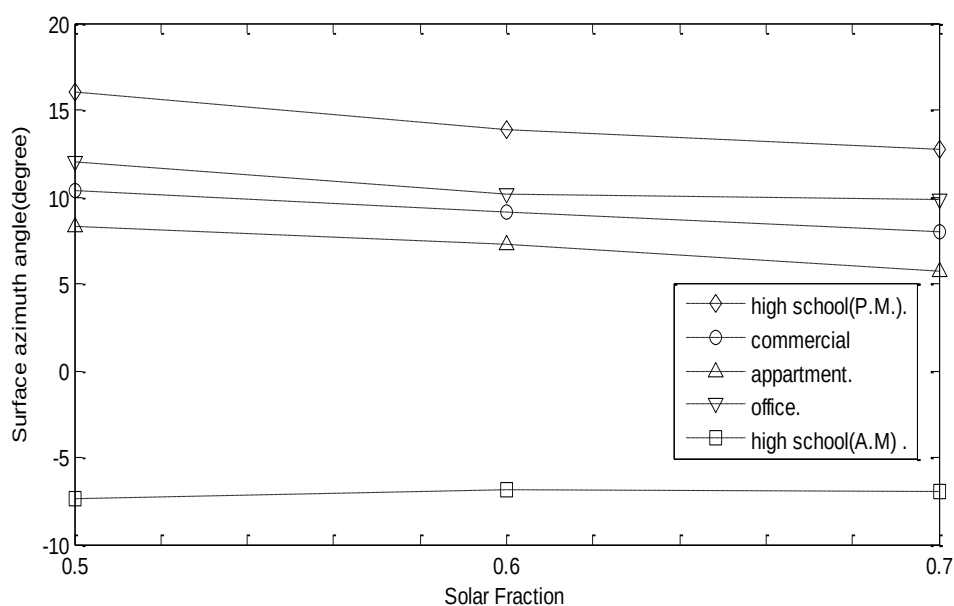


شکل ۶-۱۵ - درصد صرفه‌جویی معادل حال حاضر کل هزینه (NPV) به دلیل بهینه‌سازی همزمان جهت‌گیری و شیب در مصارف مختلف.

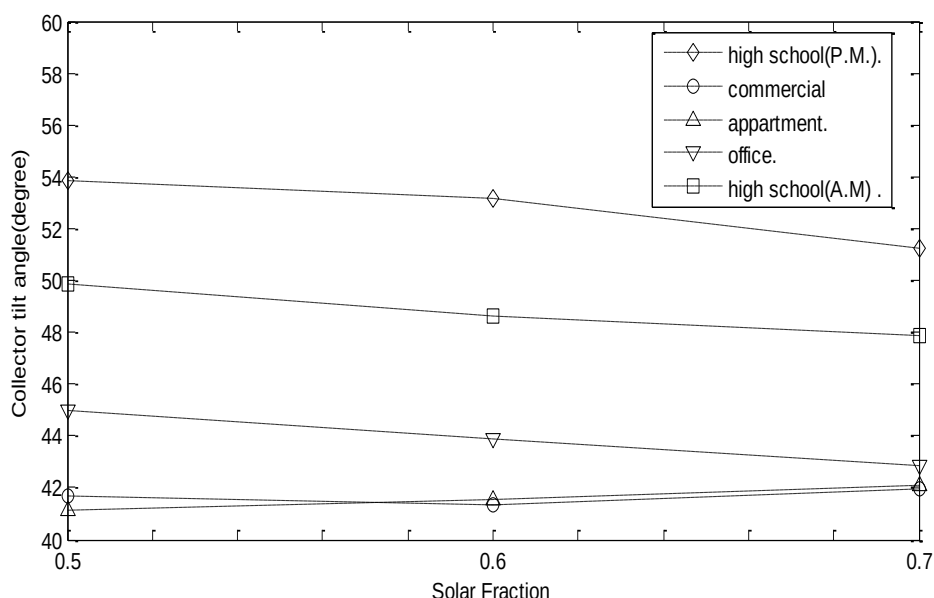
۶-۲-۴-۱- بررسی تغییرات زوایای بهینه (سمت صفحه و زاویه شیب) با کسر خورشیدی

برای رسیدن به هر کسر خورشیدی معین یک مجموعه زاویه بهینه داریم. شکل ۶-۱۶ تغییرات زاویه سمت صفحه را با کسر خورشیدی نشان می‌دهد. ضمناً کسرهای خورشیدی بررسی شده شامل مقدارهای ۰/۵، ۰/۶ و ۰/۷ است. آنچه ما در این شکل می‌بینیم حاکی از این است که برای رسیدن به یک سطح معین از کسر خورشیدی (افزایش یا کاهش از یک کسر به کسر خورشیدی دیگر) زاویه سمت صفحه در واقع پارامتری با تأثیر ناچیز است. می‌توان دریافت که برای مینیمم سازی Q_{aux} و دست یافتن به یک سطح معین از کسر خورشیدی به طور همزمان، جهتگیری کلکتورها تأثیر چندانی روی دمای تانک ذخیره ندارد و سطح کلکتورها پارامتری مؤثر برای رسیدن به این منظور است.

شکل ۶-۱۷ نیز تغییرات زاویه شیب کلکتور را با کسر خورشیدی بیان می‌کند. این تغییرات نیز بسیار مشابه تغییرات مربوط به جهتگیری کلکتورها است و بیانگر این است که تغییرات زاویه شیب با تغییر کسر خورشیدی ناچیز است.



شکل ۶-۱۶- تغییرات زاویه سمت صفحه با تغییر کسر خورشیدی



شکل ۶-۱۷ - تغییرات زاویه سمت صفحه با تغییر کسر خورشیدی

۶-۲-۴-۲- تأثیر حجم مخزن بر روی زوایای بهینه (سمت صفحه، شیب)

برای بررسی تأثیر حجم مخزن بر روی زوایای سمت صفحه و زاویه شیب کلکتور، ۵ حجم مختلف معین بررسی می‌شود که شامل: $(\frac{Lit}{m^2})$ ۳۵، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰ $(\frac{V_c}{A_c})$ می‌باشد.

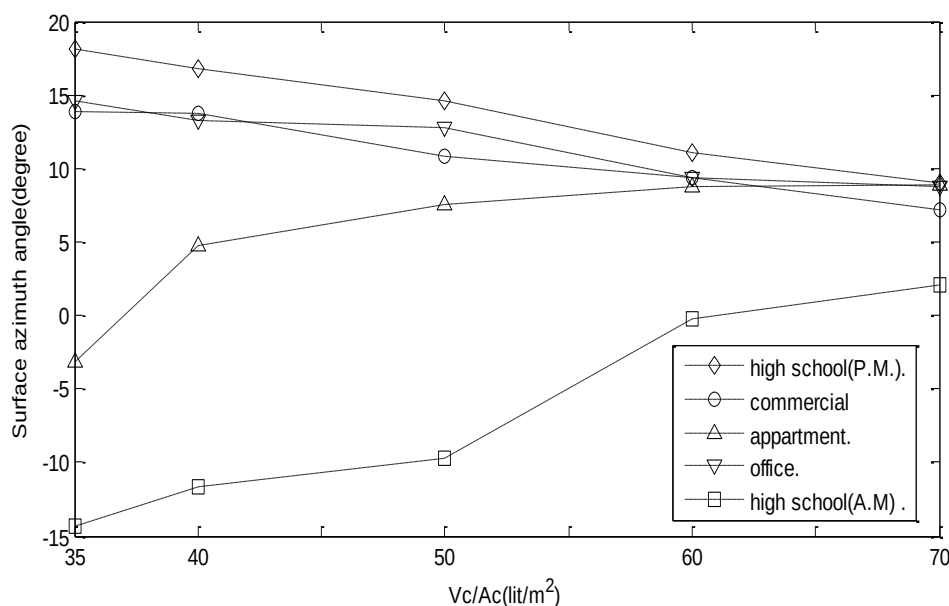
شکل ۶-۱۸ تغییرات زاویه سمت صفحه (گاما) را با حجم‌های مختلف نشان می‌دهد. آنگونه که مشاهده می‌شود برای الگوهای مصرف مدرسه نوبت عصر و واحد اداری و واحد تجاری که غالب مصرف آنها در بعدازظهر است با افزایش حجم مخزن زاویه سمت صفحه کاهش یافته و در واقع از غرب به سمت جنوب متمایل می‌شود. با افزایش حجم مخزن برای رسیدن به شرایط بهینه مقدار سطح کلکتور نیز افزایش یافته و این از تأثیر این زاویه می‌کاهد. الگوهای دیگر نیز با افزایش حجم مخزن افزایش یافته و از شرق به جنوب متمایل می‌شوند. می‌توان گفت با افزایش حجم مخزن و بنابراین افزایش سطح، جهتگیری کلکتورها تأثیر کمتری را دارا می‌باشند.

شکل ۶-۱۹ نیز تغییرات زاویه‌ی شیب را با تغییرات حجم مخزن نشان خواهد داد. این تغییرات بسیار ناچیز هستند. برای الگوهای مصرف مربوط به مدرسه‌ها که مصارفی صرفاً در قبل و بعدازظهر دارند زاویه‌ی شیب بیشتر از الگوهای مصرفی است که در طول روز پراکنده هستند. بنابراین، تأثیر جهتگیری کلکتور برخلاف ثابت بودن شیب کلکتور در تمام حجم‌ها در حجم‌های پایین بسیار بیشتر

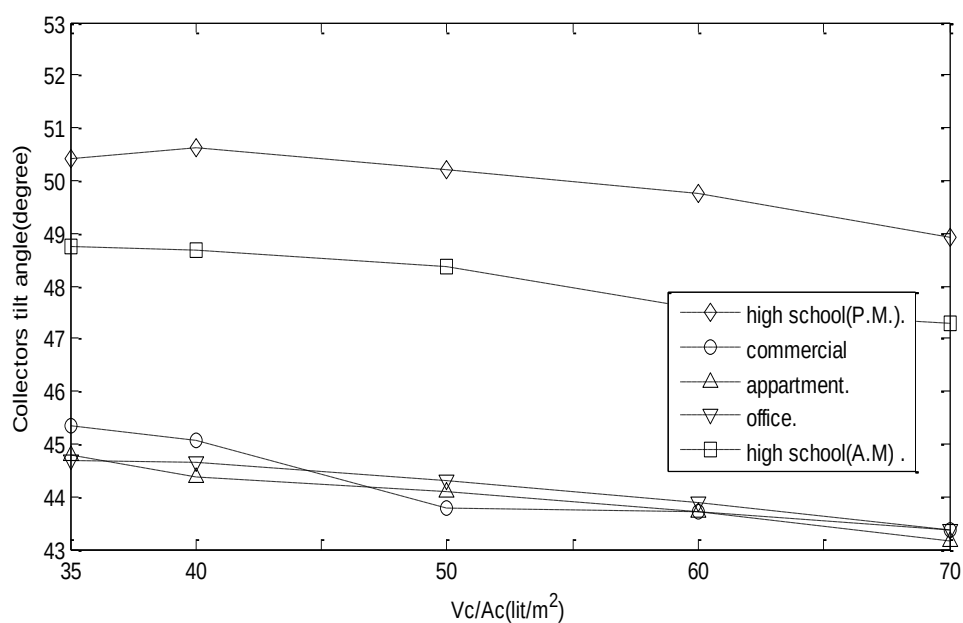
از حجم‌های بالاتر می‌باشد. بنابراین در می‌یابیم که حجم نیز پارامتر بسیار مهم و تأثیر گذار در انتخاب پارامترهای دیگر طراحی می‌باشد. بنابراین اهمیت بهینه‌سازی همزمان پارامترها در اینجا مشهود است.

۶-۲-۴-۳- تأثیر افزایش یا کاهش مصرف روی جهتگیری کلکتورها

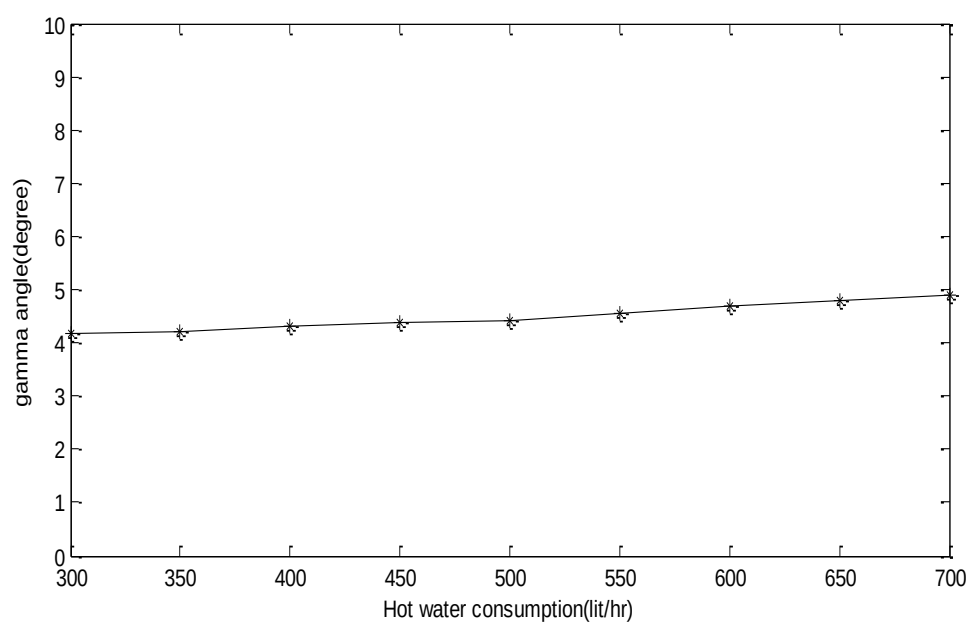
یک مصرف صنعتی با الگوی مصرف ثابت ۵۰۰ لیتر در هر ساعت را در نظر می‌گیریم. می‌خواهیم تأثیر افزایش یا کاهش مصرف را روی زوایای بهینه کلکتور مشاهده کنیم. یک بار مصرف را به ۳۰۰ لیتر در هر ساعت کاهش و بار دیگر مصرف را تا ۷۰۰ لیتر در هر ساعت افزایش می‌دهیم. شکل ۵-۲۰ تغییرات زاویه سمت صفحه را با افزایش و کاهش مصرف نشان می‌دهد. بیشترین تغییر در زاویه گاما ۰/۷ درجه می‌باشد، بنابراین آنگونه که مشاهده می‌کنیم تغییرات یکنواخت مصرف تأثیری روی جهتگیری کلکتورها ندارند. شکل ۶-۲۱ نیز تغییرات زاویه شیب کلکتورها را تغییرات یکنواخت مصرف نشان می‌دهد. این زاویه این تغییرات بسیار ناچیزی را با مصرف می‌کند. بیشترین تغییر در این زاویه ۰/۰۶ مشاهده می‌شود.



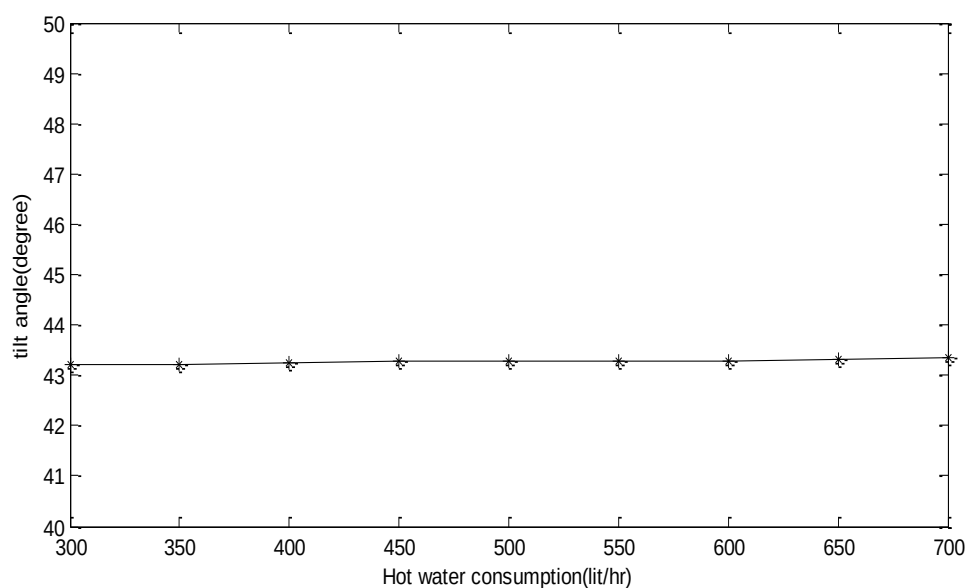
شکل ۶-۱۸- تغییرات زاویه سمت صفحه با حجم مخزن ذخیره



شکل ۶-۱۹- تغییرات زاویه شیب کلکتور با حجم مخزن ذخیره



شکل ۶-۲۰- تغییرات زاویه سمت صفحه با افزایش و کاهش مصرف



شکل ۶-۲۱- تغییرات زاویه شیب کلکتور با مصرف ساعتی آب گرم

۵-۲-۶- بهینه‌سازی همزمان پارامترها

برای بهینه‌سازی سیستم‌های گرمایش آب خورشیدی با دیدگاه تأثیر الگوهای مصرف مختلف بر روی پارامترهای طراحی از نظرگاه اقتصادی به بهینه‌سازی این سیستم‌ها می‌پردازیم. برای بالانس مزایای اقتصادی صرفه‌جویی‌های انرژی و سرمایه‌گذاری ثابت، یک تابع هدف اقتصادی بر پایه هزینه سیکل زندگی سالیانه^۱ یا ALCC برای آنالیز انتخاب شده است. تابع هدف به عنوان هزینه سالیانه کلی^۲ یا TAC فرمول بندی شده است:

$$TCA = (C_c A_c + C_{st} A_{st} + C_R R) CRF + C_{aux} Q_{aux} \quad (۵-۶)$$

ضریب بازافت سرمایه^۳ طبق معادله زیر محاسبه می‌شود.

$$CRF = \frac{r(1+r^n)}{(1+r)^n - 1} \quad (۶-۶)$$

C_c = هزینه هر مترمربع کلکتور

¹ Annualized Life Cycle Cost (ALCC)

² Total Annual Cost (TAC)

³ Capital recovery factor

$$A_c = \text{مساحت کلکتور}$$

$$C_{st} = \text{هزینه مخزن به ازای هر مترمربع سطح آن}$$

$$A_{st} = \text{مساحت جانبی مخزن ذخیره}$$

$$C_R = \text{هزینه سیستم پشتیبان به ازای هر کیلووات}$$

$$R = \text{ماکزیمم توان گرمکن کمکی بر حسب کیلووات}$$

$$C_{aux} = \text{هزینه انرژی به ازای هر کیلووات ساعت}$$

$$Q_{aux} = \text{انرژی کمکی مورد نیاز بر حسب کیلووات ساعت.}$$

بعلاوه در محاسبه‌ی ضریب بازیافت سرمایه، r نرخ بهره بر حسب در صد و n طول عمر مفید سیستم بر حسب سال می‌باشند. ضرائب هزینه برپایه‌ی روندهای بازار موجود در ایران محاسبه می‌شود. ضرائب هزینه و دیگر پارامترها برای بهینه‌سازی در جدول ۴-۶ آمده است. باید توجه داشت که ضریب هزینه برای تانک ذخیره با توجه به مساحت سطح آن بیان می‌شود. بعلاوه، نرخ توانی گرمکن کمکی (R) توسط ماکزیمم توان مورد نیاز در طول سال بر حسب کیلووات تعیین می‌شود.

جدول ۴-۶- داده‌های ورودی برای بهینه‌سازی سیستم [۵۴].

هزینه صفحات کلکتور (تومان بر متر مربع)	۳۰۰۰۰۰
هزینه مخزن ذخیره (تومان بر متر مربع)	۵۰۰۰۰
هزینه سیستم پشتیبان (تومان بر کیلووات)	۴۰۰۰۰۰
هزینه انرژی کمکی (تومان بر کیلووات ساعت)	۱۵۰
طول عمر مفید سیستم (سال)	۲۰
نرخ بهره (درصد)	۱۲

در حالت این حالت همان سیستم غیرمستقیم بدون مخزن تخلیه در نظر گرفته شده است و به بهینه‌سازی همزمان پارامترهای طراحی شامل سطح کلکتورها، حجم مخزن و زوایای سمت صفحه و شیب کلکتورها پرداخته شده است. جدول ۵-۵ مقدار بهینه‌ی پارامترهای طراحی را برای ۴ الگوی مصرف نشان می‌دهد. آنگونه که در جدول ۵-۵ نشان داده شده است، زاویه‌ی سمت صفحه برای الگوی مصرف مربوط به آپارتمان مسکونی مقدار نزدیک به دریافت حداکثری تشعشع را دارد که این دلیل وجود مصرف در ساعات بعد غروب خورشید و نبود همزمانی مصرف و جذب می‌باشد. برای مصارف دیگر مقدار زاویه گاما مثبت است، یعنی کلکتورها باید به سمت غرب جهتگیری کنند که این

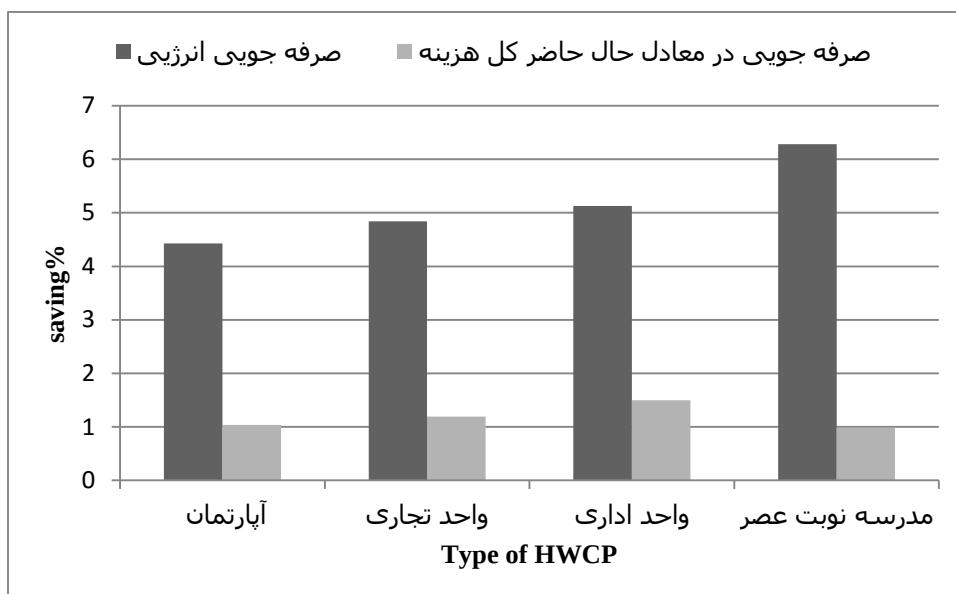
در الگوهای تجاری و مدرسه بیشتر است و این به دلیل همزمانی مصرف و جذب می‌باشد که به دلیل این همزمانی، کلکتورها به سمت زاویه‌ای جهتگیری می‌کنند که با پایین آمدن دمای مخزن راندمان کلکتور را حداکثر سازد. بنابراین، می‌توان گفت که برای اغلب واحدها باید به سمت غرب جهتگیری شوند. ضمناً شیب کلکتورها همانگونه که مشاهده می‌شود به عدد ۴۵ نزدیک است. بنابراین می‌توان گفت که تأثیر مصرف در تمامی الگوها به گونه‌ای است که کلکتورها به زاویه ۴۵ درجه نزدیک می‌شوند.

شکل ۶-۲۲ میزان صرفه‌جویی‌های انرژی و معادل حال حاضر کل هزینه در طی عمر مفید^۱ را در مقایسه با حالتی که زوایای گاما و بتا (شیب) در مقدار دریافت حداکثری تشعشع قرار دارند نشان می‌دهد. همانطوری که در شکل ۶-۲۲ نشان می‌دهد میزان صرفه‌جویی انرژی سالیانه در الگوهای مصرف مختلف تا مرز ۷٪ نیز می‌رسد که بیانگر اهمیت بهینه‌سازی همزمان زوایای مربوط به کلکتورهاست که کمتر مشاهده شده است. میزان صرفه‌جویی اقتصادی (معادل حال حاضر کل هزینه) نیز تا مرز ۱/۵٪ می‌رسد که این میزان نیز با تغییر دو زاویه بسیار چشمگیر است.

جدول ۶-۵- پارامترهای بهینه برای انواع الگوهای مصرف.

پارامترهای بهینه سازی	انواع الگوهای مصرف آب گرم			
	واحد تجاری	مدرسه نوبت عصر	واحد اداری	آپارتمان
γ	۱۶	۱۸	۳/۷۶	-۰/۲۷
β	۴۳/۷۷	۴۶/۱۹	۴۳/۳۱	۴۳/۱۸
$A_c(m^2)$	۱۲۷/۲۳	۹۵/۲۱	۴۸/۶۲	۱۱۲/۶۸
$V_{tank}(lit)$	۳۲۴۹	۳۲۲۸	۱۷۶۱	۳۳۳۱

¹ Net present value

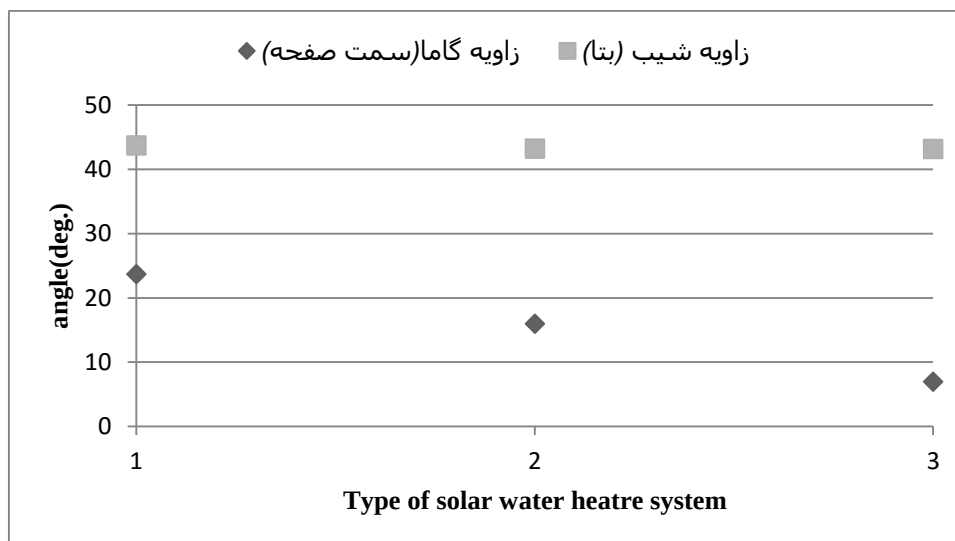


شکل ۶-۲۲- درصد صرفه جویی انرژی و معادل حال حاضر کل هزینه برای انواع الگوها

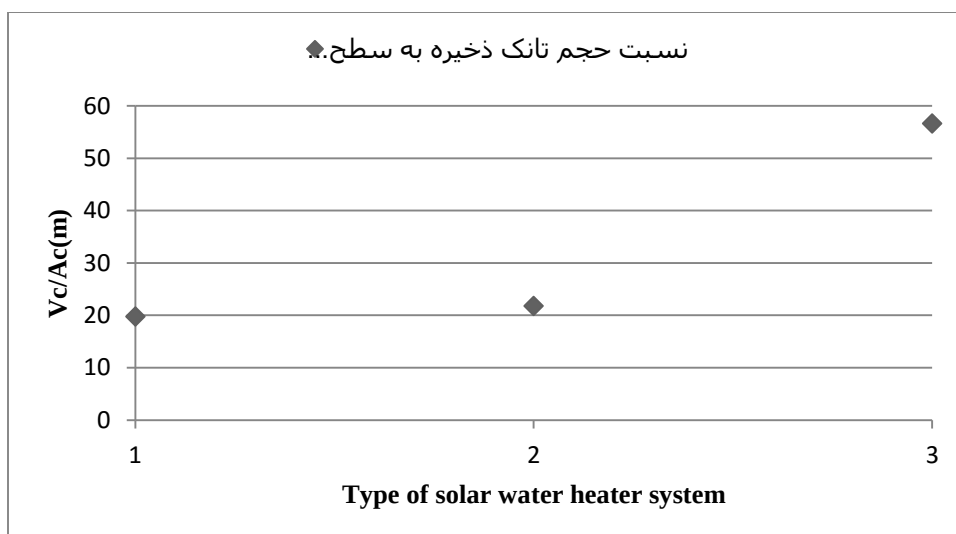
۵-۲-۶- مقایسه ی پارامترهای طراحی سیستم های مختلف گرمایش آب خورشیدی

برای مقایسه سیستم های مختلف گرمایش آب خورشیدی، به ترتیب سیستم غیرمستقیم با مخزن تخلیه، غیر مستقیم بدون مخزن تخلیه و سیستم مستقیم با شماره های ۱، ۲ و ۳ نشان داده شده است. شکل ۶-۲۳ تغییرات زوایای سمت صفحه (γ) و شیب کلکتور (β) را با توجه به نوع سیستم نشان می دهد. در شکل ۶-۲۳ مشخص است که زاویه ی γ در سیستم غیر مستقیم با مخزن بیشترین مقدار و در سیستم مستقیم کمترین مقدار را دارد. یکی از دلایلی که باعث جهت گیری زیاد کلکتورها در سیستم غیر مستقیم با مخزن شده اتلافات حرارتی زیاد این نوع سیستم است و کلکتورها با جهت گیری سعی در جبران این تلفات داشته تا در ساعات مصرف بیشترین جذب را داشته و در ساعات نبود تشعشع نیز بیشترین راندمان را داشته باشند. زاویه شیب کلکتورها در تمامی این سیستم ها مقدار نزدیکی به هم دارند. شکل ۶-۲۴ میزان تغییرات نسبت حجم مخزن به سطح کلکتورها را نشان می دهد. با توجه به شکل ۶-۲۴ مقدار این نسبت از ۱۹ تا ۵۷ تغییر می کند. باز هم می توان گفت که سیستم غیرمستقیم با مخزن تخلیه بدلیل اتلاف حرارتی بیشتر نسبت به بقیه سیستم ها، حجم مخزن ذخیره ی کمتری را دارا می باشد. شکل های ۶-۲۵ تا ۶-۲۷ تغییرات دمایی مخزن ذخیره در ماه های نهم و اول به ترتیب برای سیستم های مستقیم، غیر مستقیم بدون مخزن و با مخزن تخلیه نشان می دهد. شکل های ۶-۲۸ و ۶-۲۹ نیز دماهای اولیه تانک در ماه های مختلف سال را به ترتیب برای دو سیستم مستقیم و غیر مستقیم نشان می دهد. با مقایسه شکل های ۶-۲۸ و ۶-۲۹ در می یابیم که دماهای اولیه در تانک ذخیره در تمامی ماه ها کمتر در سیستم غیر مستقیم کمتر از دماهای تانک در سیستم مستقیم است که علت این موضوع را می توان با کاهش دمایی بیشتر در طی ساعات مصرف به

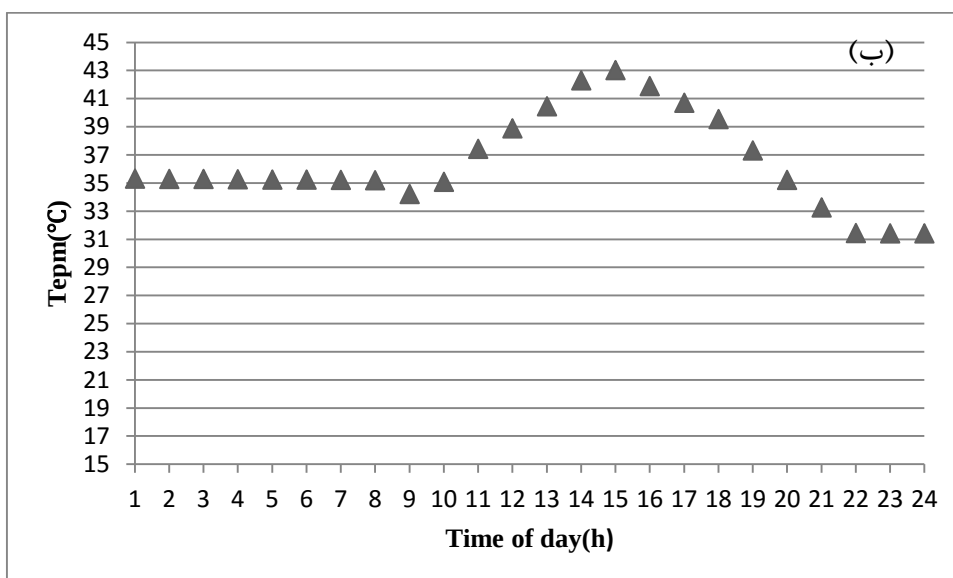
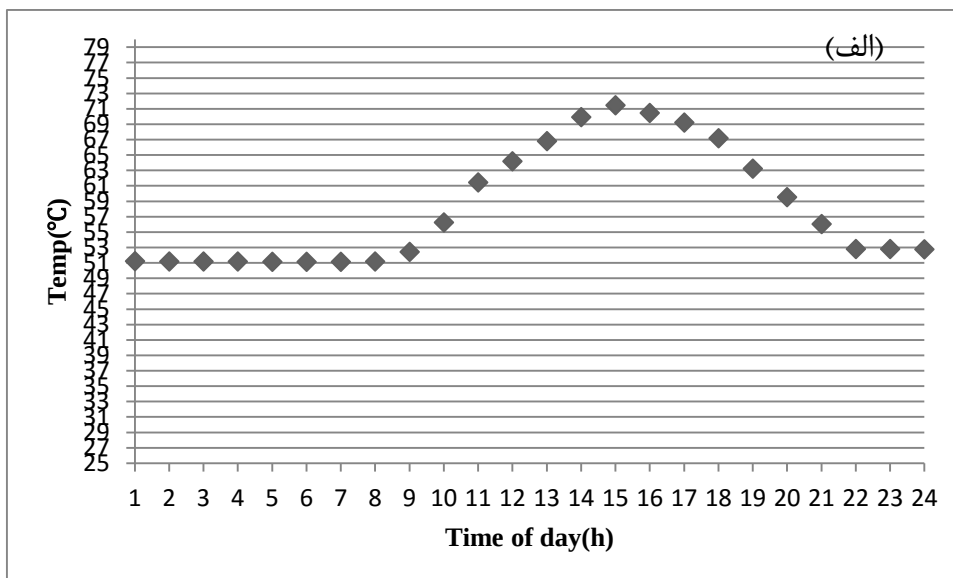
دلیل تلفات بیشتر مرتبط دانست. با مشاهده‌ی شکل های ۶-۲۵ تا ۶-۲۷ نیز می‌توان دریافت که روند افزایش و کاهش دمایی در سیستم غیر مستقیم بسیار تندتر از سیستم مستقیم است. در واقع در سیستم غیر مستقیم برای رسیدن به ماکزیمم دما و سطح معین از کسر خورشیدی کلکتورها با جهتگیری بیشتر و کاهش میزان حجم سعی در رسیدن به این مطلوب دارند. ولی، در سیستم مستقیم چون روند تغییرات دمایی یکنواخت تر است بنابراین برای رسیدن به پارامترهای بهینه از جمله کسر خورشیدی معین تأثیر جهتگیری کلکتورها کمتر و میزان حجم بیشتری از آب به ازای هر متر مربع از سطح کلکتور قابلیت گرم شدن دارد.



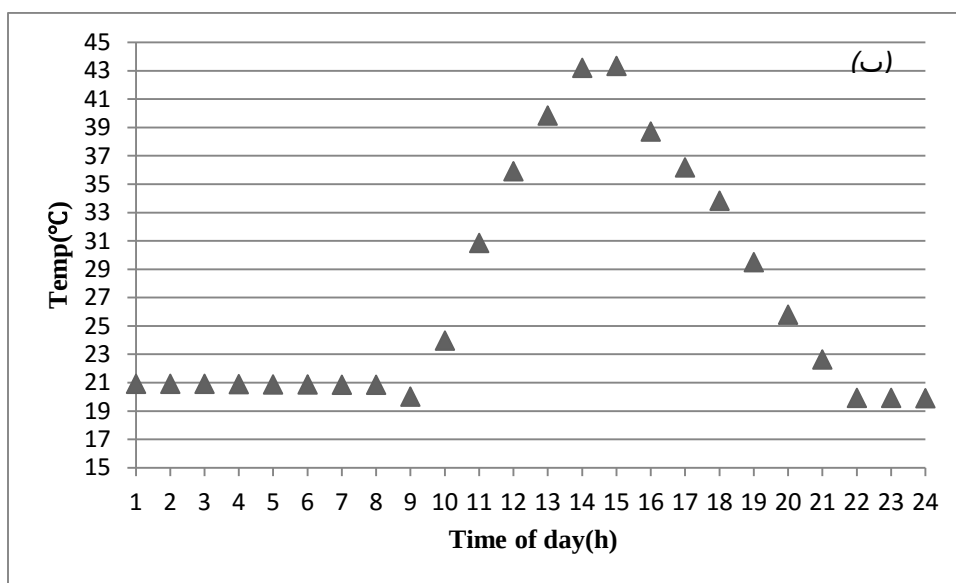
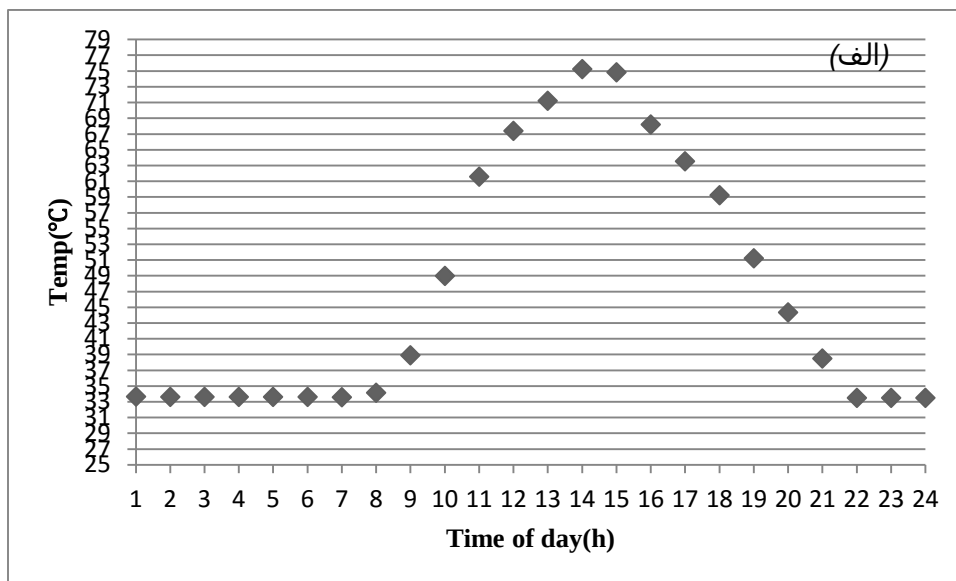
شکل ۶-۲۳- تغییرات زوایای سمت صفحه و شیب کلکتورها در انواع سیستم‌های گرمایش آب خورشیدی



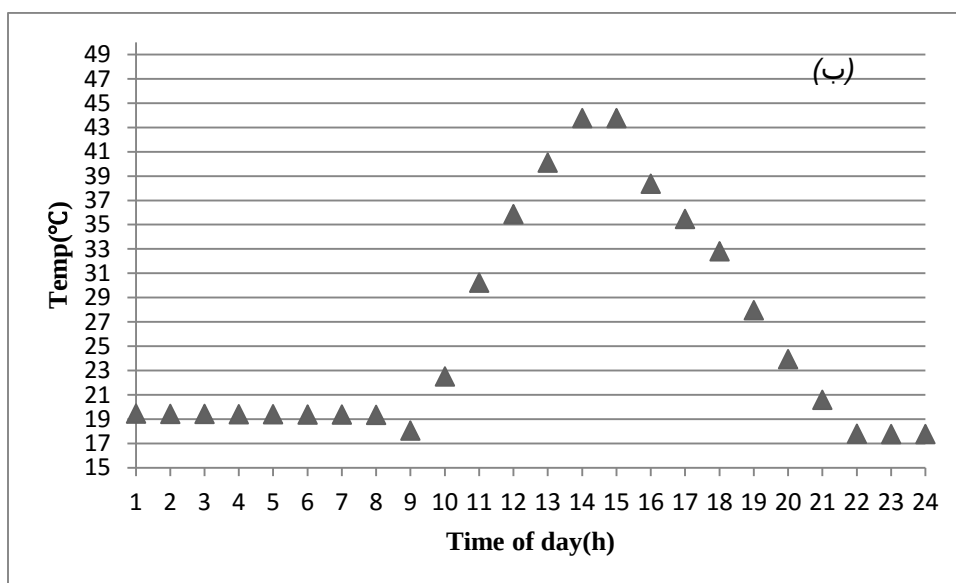
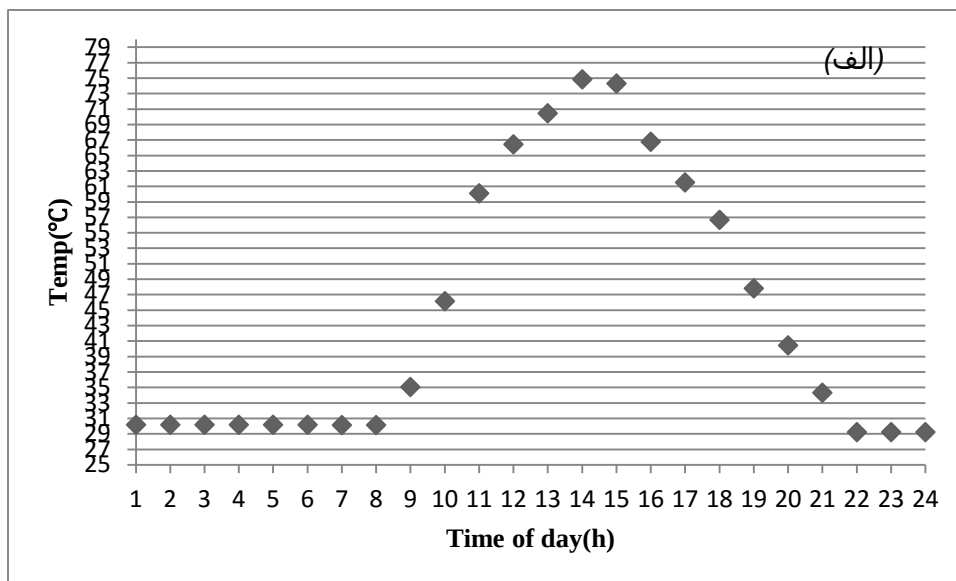
شکل ۶-۲۴- تغییرات نسبت حجم مخزن ذخیره به سطح کلکتورها در انواع سیستم‌های گرمایش آب خورشید



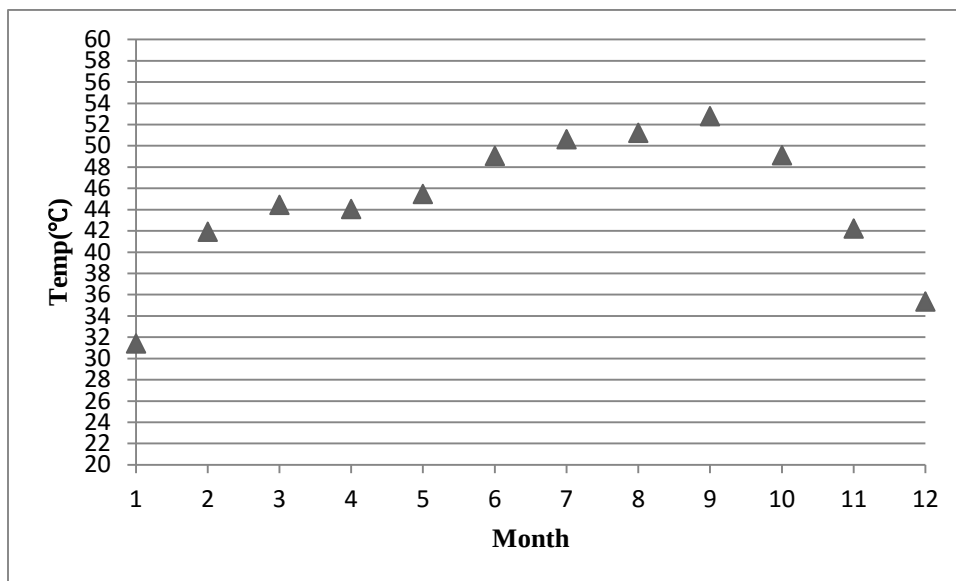
شکل ۶-۲۵- تغییرات دمایی تانک ذخیره الف) ماه نهم ب) ماه اول در سیستم مستقیم



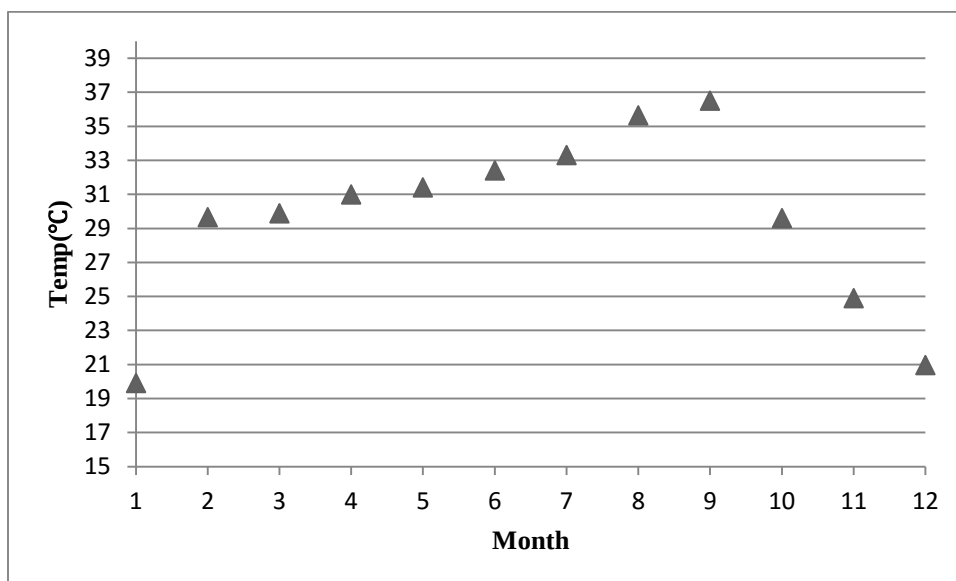
شکل ۶-۲۶- تغییرات دمایی تانک ذخیره الف) ماه نهم ب) ماه اول در سیستم غیر مستقیم بدون مخزن تخلیه



شکل ۶-۲۷- تغییرات دمایی تانک ذخیره الف) ماه نهم ب) ماه اول در سیستم غیر مستقیم با مخزن تخلیه



شکل ۶-۲۸- تغییرات دمای اولیه تانک ذخیره در ماه های مختلف در سیستم مستقیم



شکل ۶-۲۹- تغییرات دمای اولیه تانک ذخیره در ماه های مختلف در سیستم غیرمستقیم

فصل ششم:

نتیجه گیری

با دقت در کارهای پیشین انجام شده و نرم افزارهای موجود در دنیا برای بهینه سازی سیستم های گرمایش آب خورشیدی دریافت شده است که نوع و نحوه مصرف آب گرم و تأثیر آن روی پارامترهای طراحی بخصوص روی جهت گیری کلکتورها موضوعاتی می باشند که بسیار کم به آنها توجه شده است. با توجه به نتایج گرفته شده می توان دریافت که تأثیر الگوهای مصرف مختلف روی جهت گیری و شیب کلکتورها بسیار چشمگیر بوده است. بطوریکه در مقایسه با حالتی که زوایا مقدار دریافت حداکثری تشعشع را دارا هستند تا مرز ۱۴٪ نیز صرفه جویی انرژی را شامل شده است. همچنین، با درک اهمیت تأثیر نوع و نحوه مصرف روی زوایای بهینه با انجام بهینه سازی همزمان پارامترهای طراحی نیز میزان تأثیر زوایای بهینه مشخص است. بنابراین می توان گفت که یکی از مهمترین فاکتورهایی که کمتر در نرم افزارهای طراحی مورد توجه قرار گرفته است و با توجه به میزان صرفه جویی اقتصادی و انرژی که حاصل شده باید لحاظ شود، تأثیر الگوهای مصرف آب گرم روی پارامترهای طراحی بخصوص جهت گیری و زاویه ی شیب کلکتور است.

در بررسی سیستم های مختلف گرمایش آب خورشیدی نیز این نتیجه حاصل شده است که در سیستم های مختلف، جهت گیری کلکتورها و حجم مخزن پارامترهایی هستند که بسیار متأثر از میزان تلفات و پروفایل دمایی مخزن در طول روز و در ماه های مختلف می باشند. بطوریکه، میزان جهت گیری کلکتورها در دو سیستم مختلف تا ۱۵ درجه نیز اختلاف داشته است. تأثیر نوع و نحوه مصرف در انواع سیستم های گرمایش آب خورشیدی نیز بسیار مشهود و مشخص است.

مطالعاتی که در آینده می توان انجام داد شامل:

- تأثیر لایه بندی حرارتی (stratification) روی پارامترهای طراحی بخصوص جهت گیری کلکتورها
- بررسی تأثیر نوع و نحوه مصرف در سیستم های ترموسیفون
- بررسی تأثیر پارامترهای طراحی روی چیدمان کلکتورها و تعدد مخازن

- ایجاد بسته‌ی نرم‌افزاری که شامل فاکتورهایی باشد که تاکنون کمتر مورد توجه قرار گرفته است.
 - بررسی تأثیر مصارف هفتگی و آخر هفته (weekend) و روزهای تعطیل در کاربردهای خانگی روی پارامترهای بهینه‌ی طراحی
 - تأثیر نقطه‌پینچ در مبدل‌های حرارتی موجود در سیستم‌های غیر مستقیم بخصوص در سیستم‌های گرمایش آب خورشیدی بزرگ
 - بررسی زوایای کلکتورها در دو حالت حداکثری جذب بر اساس دو معیار (۱) جذب حداکثری سالیانه (۲) جذب حداکثری بر اساس سردترین روز سال و مقایسه این زوایا با حالت بهینه سازی همزمان پارامترهای طراحی.
 - تعیین حجم بهینه‌ی مخزن تخلیه برای سیستم‌های بزرگ گرمایش آب خورشیدی با توجه به پارامترهای دیگر طراحی.
 - مقایسه چندین الگوریتم متفاوت بهینه سازی شامل ژنتیک، جستجوی ممنوع، برش متقاطع و میکروژنتیک و چندین الگوریتم دیگر برای رسیدن به جواب بهینه‌ی عمومی در بهینه‌سازی همزمان پارامترهای طراحی سیستم‌های گرمایش آب خورشیدی.
- و چندین موضوع دیگر.....

منابع و مراجع

- [۱] ریاحی، عبدالله، طاهریان، حسام، "انواع سیستمهای آبگرمکن خورشیدی بکار گرفته شده در ایران"، گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه مازندران
- [2] Turkenburg, Y., SoulioTis, M., Nousia, T., 2002. CPC type integrated collector storage system. *Solar Energy* 72 (4), 327-350.
- [3] Philibert, C., 2005. The Present Future Use of Solar Thermal Energy as a Primary Source of Energy. International Energy Agency Paris, France.
- [4] Kalogirou, S., "Solar Energy Engineering: Processes and Systems", Elsevier Inc., 2009.
- [5] Norton, B., Probert, S.D., 1983. Achieving thermal stratification in natural-circulation solar-energy water heaters. *Applied Energy* 14 (3), 211-225.
- [6] Morrison, G.I., 2001. Solar Water Heating. In: Gordon, J. (Ed.), *Solar Energy: The State of the Art*. James and James, pp. 223-289.
- [7] Morrison, G.L., Braun, J.E., 1985. System modeling and operation characteristics of thermosyphnoe solar water heaters. *Solar Energy* 34 (4-5), 398-405.
- [8] Xinian, J., Zhen, T., Junshenf, L., 1994. Theoretical and expremental studies on sequential freezing solar water heaters. *Solar Energy* 53 (2), 139-146.
- [9] Duff, W.S., 1996. Advanced Solar Domestic Hot Water Systems, Internatonal Energy Agency, Task 14. Final Report.
- [10] Charters, W.W.S., de Forest, L., Dixon, C.W.S., Taylor, L.E., 1980. Design and performance of some solar booster heat pumps. In: ANZ Solar Energy Society Annual Conference, Melbourne, Australia.
- [۱۱] سایت شرکت تولیدی صنعتی سنگر کار، <http://sangarkar.com/>
- [12] Kalogirou, S., 2004. Solar thermal collector and applications. *Prog, Energy Combust. Sci*, 30(3), 231-295.
- [13] Kalogirou S. The potential of solar industrial process heat applications. *Appl Energy* 2003; 76:337-61.
- [14] ASHRAE. Handbook of HVAC Applications, Atlanta; 1995[chapter30].
- [15] Spate F, Hafner B, Schwarzer K. A system for solar process heat for decentralized application in developing countries. *Proceeding of ISES Solar World Congress, Jerusalem, Israel on CD-ROM*; 1999.
- [16] Schweiger H. Optimazation of solar thermal absorber element with transparent insulation. Thesis, Universitat Politecnica de Catalunya, Terrassa, Barcelona, Spain; 1997.
- [17] Benz N, Hasler W, Hetfleish J, Tratzky S, Klein B. Flat-plate solar collector with glass Tl. *Proceeding of Eurosun 98 Conference on CD-ROM, Portoroz, Slovenia*; 1998.
- [18] Tripanagnostopoulos Y, Souliotis M, Nousia Th. Solar collector with colored absorber. *Solar Energy* 2000;68:343-56.

- [19] Wazwaz J, Salmi H, Hallak R. Solar thermal performance of a nickel-pigmented aluminum oxide selective absorber. *Renewable Energy* 2002;27:277-92.
- [20] Orel ZC, Gunde MK, Hutchins MG. Spectrally selective solar absorption in different non-black colours. *Proceeding of WREC VII, Cologne on CD-ROM*:2002.
- [21] Wackelgard E, Niklasson GA, Granqvist CG. Selective solar absorber coatings. In: Gordon J, editor. *Solar Energy: the state of the art*. Germany: ISES: 2001.p.109-44.
- [22] Close DJ. Solar air heaters. For low and moderate temperature applications. *Solar Energy* 1963;11(7)-24.
- [23] Gupta CL, Garg HP, Performance studies on solar air heaters, *Solar Energy* 1967;11(1):25-31.
- [24] Wijeydundera NE, Lee LAh, Tjioe lek, Thermal performance study of two pass solar air heaters. *Solar Energy* 1982: 28(5):363-70.
- [25] Samuel TD. Heat withdrawal from multi-layer thermal trap collectors. *Solar Energy* 1983;30(3):261-70.
- [26] Biondi P, Cicala L, Fariana G. Performance analysis of solar air heaters of convectional design. *Solar Energy* 1988;41(1):101-7.
- [27] Parker BF, Lindley MR, Colliver DG, Murphy WE. Thermal performance of three solar air heaters. *Solar Energy* 1993;51(6):467-79.
- [28] Kolb A, Winter ERF, Viskanta R, Experimental studies on a solar air collector with metal matrix absorber. *Solar Energy* 1999;65(2):91-8.
- [29] Klein SA, Beckman WA, Duffie JA. A design procedure for solar air heating systems. *Solar Energy* 1977;19:509-12.
- [30] Hollands KGT, Shewen EC. Optimization of flow passage geometry for air-heating, plate-type solar collectors. *Solar Energy Engng* 1981;103:323-30.
- [31] Bin Ramli, A. A., "Theoretical analysis of solar water heating system", Thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the award of the degree of Bachelore of Mechanical Engineering, 2010.
- [32] Buckles, W.E., Klein, S.A., 1980. Analysis of solar domestic hot water heater. *Solar Energy* 25 (5), 417-424.
- [33] Hobbi, A., Sidiqi, K., 2009. Optimal design of a forced circulation solar water heating system for a residential unit in cold climate using TRNSYS. *Solar Energy* 83, 700-714.
- [34] Zeghib, I., Chaker, A., 2011. Simulation of a solar domestic water heating system. *Energy Procedia* 6, 292-301.
- [35] Taherian, H., Rezaei, A., Sadeghi, S., Ganji, D.D., 2011. Experimental validation of dynamic simulation of the flat plate collector in a closed thermosyphon solar water heater. *Energy Conversion and Management* 52, 301-307.

- [36] Spur R., Fiala D., Nevrala, D., and Probert, D., 2006. Influence of the domestic hot-water daily draw-off profile on the performance of a hot-water store. *Applied Energy* 83, 749-773.
- [37] Loomans, M., Visser, H., 2002. Application of the Genetic algorithm for optimization of large solar hot water system. *Solar Energy* 72 (5), 427-439.
- [38] Cristofari, C., Notton, G., Poggi, P., Louche, A., 2003. Influence of the flow rate and tank stratification degree on the performance of a solar flat-plate collector. *International Journal of Thermal Science* 42, 455-469.
- [39] Kulkarni, G.N., Kedare, A.B., Bandyopadhyay, S., 2007. Determination of design space and optimization of solar water heating systems. *Solar Energy* 81, 958-968.
- [40] Dagdougui, H., Ouammi, A., Robba, M., Sacile, R., 2011. Thermal analysis and performance optimization of a solar water heater flat plate collector: Application to Tetouan (Morocco). *Renewable and sustainable Energy Reviews* 15, 630-638.
- [41] Atia, D.M., Fahmy, F.H., Ahmed, N.M., Dorrah, H.T., 2012. Optimal sizing of a solar water heating system based on a genetic algorithm for an aquaculture system. *Mathematical and computer Modeling* 55, 1436-1449.
- [42] Ceylan, I., 2012. Energy and Exergy analyses of a temperature controlled solar water heater. *Energy and Buildings* 47, 630-635.
- [43] Wilson, K., Kumar, S., 2005. Forced circulation solar water heater collector performance prediction by TRNSYS and ANN. *International Journal of Sustainable Energy* 24(2), 69-86.
- [44] Rodriguez-Hidalgo, M.C., Rodriguez-Aumente, P.A., Lecuona, A., Legrand, M., Ventas, R., 2012. Domestic hot water consumption vs. solar thermal energy storage: The optimum size of the storage tank. *Applied Energy* 31, 2394-404.
- [45] EN 12977-2. Thermal-solar systems and component: custom-built systems, test methods. Brussels: CEN; 2001.
- [46] Jordan, U., Vajen, K., 2000. Influence of the DHW load profile on the fractional energy saving: a case study of solar combi-system with TRNSYS simulation. *Proceeding of Euro- sun'2000 on Copenhagen, Denmark; 2000.*
- [47] Kulkarni, G.N., Kedare, S.B., Bandyopadhyay, S., 2009. Optimization of solar water heating system through water replenishment. *Energy Conversion and Management* 50, 837-846.
- [48] Kim, Y.D., Thu, K., Bhatia, H.K., Bhatia, S.C., Ng, K.C., 2012. Thermal analysis and performance of a solar hot water plant with economic evaluation. *Solar Energy* 86, 1378-1395.
- [49] ASRAE, 2007. Handbook of HVAC Application. ASHRAE, Atlanta, GA.
- [50] Duffie, J.A., Beckman, W.A., *Solar Engineering of Thermal Process*. 3rd Edition, John Wiley & Sons, 2006.
- [51] Hottel, H.C., *Solar Energy*, 18, 129 (1976). "A Simple Model for Estimating the Transmittance of Direct Solar Radiation through Clear Atmospheres."

[52] Funney, A.H., Klein, S.A., 1983. Performance of solar domestic hot water at the national bureau of standards-measurements and prediction. ASME Journal of Solar Energy Engineering 105, 311-321.

[۵۳] سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱-۷۱۲۹. روشهای آزمون کلکتورهای خورشیدی، چاپ اول.

[۵۴] دپارتمان آب و انرژی، پژوهشکده صنایع شیمیایی جهاد دانشگاهی، ۱۳۹۱.

Abstract

One of the subjects in solar water heater design is considering distribution of hot water consumption during the day. For example, each of the household, commercial, office, school, and industrial consumptions have a particular distribution of hot water consumption named *pattern* in this article. In solar computation principles, the effect of longitude, latitude, and altitude on collector angle has been clearly presented. However, the effect of consumption patterns especially on the collector orientation has been rarely investigated. The aim of the current study is to survey the effect of various consumption patterns on the collector's orientation and tilt angle and so calculation of related energy saving. So, five common patterns including office building, commercial building, afternoon and morning shift high school and a 15-unit apartment have been studied and optimal surface azimuth angle and tilt angle determined. It has been observed that 11 to 14 % energy saving can be archived by selecting the optimal angles with respect to hot water consumption pattern in comparison to a state that collectors are orientated for maximum reception of solar energy. Also effect of solar fraction, storage volume and amount of hot water consumption are studied and discussed.

With comparison to direct and indirect solar water heating systems in simultaneity optimization of design parameters including collectors' area, storage volume, tilt angles, and collectors' orientation has been delineate that in indirect systems, collectors' orientation with respect to type of consumption because of variations of storage temperature, have more variations than maximum energy absorption and reach to 17 centigrade.

Keywords

Solar Water Heater; Consumption Pattern; Collector orientation; tilt angle; Azimuth angle



Shahrood University of Technology

Faculty of Mechanic Engineering

Energy System Engineering

**Effect of type and Pattern of daily hot water consumption on optimal
orientation of collector on solar water heater**

Abbas Rajabi Khanghahi

Supervisors:

Dr.Ali Abbas nejad

Dr. Majid Amidpour

February 2013

