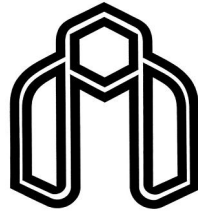


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مکانیک

گروه سیالات

بهینه سازی استفاده از انرژی خورشیدی در ساختمان‌ها با توجه به
اقلیم و الگوی مصرف بر اساس تحلیل انرژی و اکونومیک

دانشجو : محمد رضا علی خباز جورشری

استاد راهنما :

دکتر علی عباس نژاد

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

ماه و سال انتشار : بهمن ۹۲



مدیریت تحصیلات تکمیلی
فرم شماره (۶)

باسمه تعالی

شماره:
تاریخ:
ویرایش:

فرم صورت جلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) نتیجه ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای محمد رضا علی خباز جوهری رشته مکانیکگرایش مهندسی سیستم های انرژی- تحت عنوان بهینه سازی استفاده از انرژی خورشیدی در ساختمان ها با توجه به اقلیم و الگوی مصرف بر اساس تحلیل انرژی و اکونومیک که در تاریخ ۹۲/۱۱/۲۹ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه : بسیار خوب امتیاز ۱۸.۴) ☐ دفاع مجدد ☐ مردود ☐

۱- عالی (۲۰ - ۱۹) ۲- بسیار خوب (۱۸/۹۹ - ۱۸)

۳- خوب (۱۷/۹۹ - ۱۶) ۴- قابل قبول (۱۵/۹۹ - ۱۴)

۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	علی عباس نژاد	استادیار	
۲- استاد مشاور			
۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	علی جباری مقدم	استادیار	
۴- استاد ممتحن	محمود فرزانه گرد	استاد	
۵- استاد ممتحن	محمود چهارطاقی	استادیار	

رئیس دانشکده :

تقدیم

به حسین، عاطفه، امین و نسیم

و خاطره همیشگی رضا و کاظم

سپاسگزاری

تدوین این پایان نامه مدیون کمک‌های بی دریغ جناب آقای دکتر علی عباس نژاد است، سپاسگزار ایشان هستم.

لازم می‌دانم از کمک و همراهی صمیمانه دوستان عزیزم مهندس سعید محمد زاده ، مهندس محمد ذوقی و مهندس نسیم شارق‌ی که در تمام مراحل یاری رسانم بودند سپاسگزاری کنم.

همچنین از مهندس یوسف غبرائی، مهندس محمد رضا سفارودی، مهندس رضا رنجبر، مهندس محمد پاینده دوست برای کمک‌هایشان تشکر می‌کنم.

تعهد نامه

اینجانب محمدرضا علی خباز جورشری دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی سیستم‌های انرژی دانشکده مکانیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه بهینه سازی استفاده از انرژی خورشیدی در ساختمان‌ها با توجه به اقلیم و الگوی مصرف بر اساس تحلیل انرژی و اکونومیک تحت راهنمایی دکتر علی عباس نژاد متعهد می شوم .

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

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

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

* متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیر شده پایان نامه وجود داشته باشد .

چکیده

امروزه با توجه به نگرانی‌ها نسبت به آثار آلوده کننده سوخت‌های فسیلی و همچنین رو به نابودی بودن و افزون شدن قیمت آن‌ها، لزوم توجه به انرژی‌های پاک همچون خورشید بیشتر شده است و به همین منظور تحقیقات خوبی در جهان صورت گرفته است. در این پژوهش، با رویکرد بهینه سازی استفاده از خورشید در ساختمان، ابتدا آب گرمکن خورشیدی و چیلر جذبی خورشیدی، به عنوان دو وسیله که از انرژی خورشید برای تامین آب گرم استفاده می‌کنند برای پژوهش انتخاب گردید. پس از آن با کمک نرم افزار TRNSYS، این سیستم‌ها برای اقلیم تهران، بندر عباس و تبریز و برای دو الگوی مصرف آموزشی و مسکونی شبیه سازی شد و تاثیر تغییرات مساحت کلکتور صفحه تخت و حجم تانک ذخیره بر بازده انرژی در وسائل مختلف و مولفه‌های اقتصادی بررسی شد، در ادامه تاثیر الگوهای مختلف بر توابع اقتصادی و ذخیره سالیانه مورد بررسی قرار گرفت و امکان‌سنجی استفاده از این دستگاه‌ها در اقلیم‌های مختلف مورد مطالعه قرار گرفت، در این امکان‌سنجی قیمت سوخت برابر قیمت متوسط گاز صادراتی ایران در نظر گرفته شد که در مورد آبگرمکن در هر سه اقلیم ذخیره سالیانه مطلوب و بازگشت سرمایه بین ۸ تا ۱۰ سال به دست آمد، همچنین برای استفاده از آبگرمکن در ساختمان‌های مسکونی از نظر اقتصادی نقاطی بهینه برای مساحت کلکتور در حجم‌های مختلف تانک ذخیره گزارش گردید. در مورد چیلر جذبی خورشیدی هم این امکان‌سنجی انجام شد و با فرض خورشیدی کردن یک چیلر در حال کار معمولی، محاسبات اقتصادی برای ذخیره سالیانه و بازگشت سرمایه انجام گردید، نتایج حاصل نشان داد که استفاده از انرژی خورشید برای سرمایش در تهران حتی با قیمت جهانی سوخت از نظر اقتصادی به صرفه نیست، اما در مورد بندر عباس در هر دو الگوی مصرف آموزشی و مسکونی نتیجه مثبت بود و در محدوده مطالعه تابع اقتصادی توصیه به استفاده از بیشترین مساحت کلکتور و حجم تانک ذخیره داشت. در ادامه با تعریف تابع بازده انرژی برای قسمت خورشیدی چیلر جذبی، مشاهده شد که حالت بهینه بازده متناظر با کمترین مساحت کلکتور و کمترین حجم تانک ذخیره است، در نتیجه بهبود سیستم از دو منظر انرژی و اقتصاد در تضاد با هم قرار گرفتند.

کلمات کلیدی: بهینه سازی، انرژی، الگوی مصرف، آبگرمکن خورشیدی، چیلر جذبی، TRNSYS.

لیست مقالات:

تحلیل انرژی و اقتصادی آبگرمکن خورشیدی با تانک ذخیره لایه ای

ارائه شده در اولین کنفرانس و نمایشگاه بین المللی انرژی خورشیدی-دانشگاه تهران-اردیبهشت ۹۳

فهرست مطالب

فصل اول:مقدمه.....	۱
۱-۱ پیش زمینه پروژه.....	۲
۲-۱ بیان مسئله.....	۲
۳-۱ مروری بر تحقیقات گذشته.....	۳
۴-۱ هدف پروژه.....	۷
۵-۱ ساختار پایان نامه.....	۸
فصل دوم:بررسی عملکردتانک ذخیره و کلکتور از دیدگاه انرژی و اگزرژی.....	۹
۱-۲ مقدمه.....	۱۰
۲-۲ هندسه تابش خورشید.....	۱۰
۱-۲-۲ زاویه برخورد پرتوهای خورشید.....	۱۰
۲-۲-۲ زمان ظاهری خورشید.....	۱۲
۳-۲ شدت تابش خورشید.....	۱۳
۱-۳-۲ شدت تابش در جو.....	۱۳
۲-۳-۲ شدت تابش روی سطح زمین.....	۱۴
۳-۳-۲ شدت تابش روی سطح مایل.....	۱۵
۴-۲ تحلیل انرژی.....	۱۶
۱-۴-۲ کلکتور خورشیدی.....	۱۶
۱-۴-۲ ۱- مقدمه‌ای درباره کلکتور صفحه تخت.....	۱۷
۲-۴-۲ ۲- نحوه جذب تشعشع خورشیدی.....	۱۹
۳-۴-۲ ۳- محاسبه حاصل جذب-عبور موثر پوشش شیشه‌ای و صفحه جذب کننده.....	۲۰
۴-۴-۲ ۴- اتلاف انرژی در کلکتور صفحه تخت.....	۲۴
۲-۴-۲ ۲- تانک ذخیره.....	۲۵
۱-۲-۴-۲ ۱- تانک ذخیره با مدل مخلوط کامل.....	۲۵
۲-۵-۲ ۲- تانک ذخیره با مدل لایه های حرارتی.....	۲۷
۶-۲ تحلیل اگزرژی.....	۳۰
۱-۶-۲ ۱- کارکرد تحلیل‌های انرژی و اگزرژی.....	۳۱

۳۳	۲-۶-۲ تعادل جرم، انرژی و انتروپی
۳۳	۲-۶-۲-۱ تعادل مفهومی
۳۴	۲-۶-۳ اگزرژی سیستم ها و جریان ها
۳۴	۲-۶-۳-۱ اگزرژی یک سیستم بسته
۳۵	۲-۶-۳-۲ اگزرژی جریان ها
۳۷	۲-۶-۴ روند تحلیل انرژی و اگزرژی
۳۷	۲-۶-۵ مفاهیم نتایج تحلیل های اگزرژی
۳۸	۲-۶-۶ تحلیل اگزرژی کلکتور خورشیدی
۳۹	۲-۶-۷ تحلیل اگزرژی تانک ذخیره
۴۰	۲-۶-۷-۱ معادلات عمومی انرژی و اگزرژی TES لایه بندی شده
۴۰	۲-۶-۷-۲ مدل های توزیع دمایی و روابط وابسته

فصل سوم: معرفی مختصر چیلر جذبی، آبگرمکن و الگوهای مصرف ۴۳

۴۴	۳-۱ آشنایی مختصر با سیستم های سرمایش خورشیدی
۴۴	۳-۱-۱ انواع سیستم های سرمایش جذبی
۴۴	۳-۱-۲ سیستم جذبی لیتیوم بروماید و آب
۴۴	۳-۱-۳ سیستم جذبی آمونیاک و آب
۴۵	۳-۱-۴ سیستم جذبی جامد
۴۵	۳-۱-۵ سیکل جذبی لیتیوم بروماید و آب
۴۸	۳-۱-۶ مزایا و معایب سیستم جذبی لیتیوم بروماید-آب
۴۸	۳-۲ آشنایی مختصر با انواع آب گرمکن های خورشیدی
۵۱	۳-۳ مصرف آب گرم
۵۲	۳-۳-۱ مولفه های سیستم
۵۳	۳-۳-۲ دمای مورد نیاز
۵۳	۳-۳-۳ مکان آب گرمکن
۵۳	۳-۳-۴ تقاضای آب گرم و اندازه وسائل ذخیره سازی
۵۴	۳-۳-۵ بررسی الگوهای مختلف مصرف آب گرم
۵۴	۳-۳-۵-۱ مصارف خانگی
۵۹	۳-۳-۵-۲ ساختمان های آموزشی

۶۰	 ۳-۵-۳ خوابگاه‌ها
۶۰	 ۴-۵-۳ متل‌ها
۶۱	 ۵-۵-۳ خانه سالمندان
۶۱	 ۶-۵-۳ ساختمان‌های اداری
۶۱	 ۷-۵-۳ موسسات خدمات غذایی
۶۱	 ۸-۵-۳ آپارتمان‌ها
۶۲	 ۹-۵-۳ مدرسه ابتدایی
۶۲	 ۱۰-۵-۳ مدرسه متوسطه
۶۲	 ۶-۳-۳ اطلاعات اضافی
۶۲	 ۱-۶-۳ فست فودها
۶۲	 ۲-۶-۳ سوپرمارکت‌ها
۶۳	 ۳-۶-۳ آپارتمان‌ها
۶۳	 ۷-۳-۳ تانک ذخیره

۶۷ فصل چهارم: مدل سازی و نتایج

۶۸	 ۱-۴ مقدمه
۶۸	 ۲-۴ مقدمه‌ای بر نرم افزار TRNSYS
۶۹	 ۳-۴ شبیه سازی و تحلیل نتایج آبگرمکن خورشیدی با چرخش اجباری
۷۱	 ۱-۳-۴ شبیه سازی در TRNSYS
۷۱	 ۲-۳-۴ نتایج تحلیل اگزورژی
۷۳	 ۳-۳-۴ اگزورژی کلکتور
۷۶	 ۴-۳-۴ تحلیل اگزورژی تانک ذخیره
۷۷	 ۵-۳-۴ تحلیل اگزورژی کل سیستم
۷۹	 ۶-۳-۴ آنالیز اقتصادی
۸۶	 ۷-۳-۴ بررسی اثر الگوی مصرف بر تابع اقتصادی
۸۷	 ۴-۴ چیلر جذبی
۸۸	 ۱-۴-۴ کنترل سیستم
۸۹	 ۲-۴-۴ فرضیات ابتدایی
۸۹	 ۳-۴-۴ شرح هر یک از اجزا در نرم افزار TRNSYS

۴-۴-۴ بررسی تغییرات دما و نرخ انتقال حرارت در قسمت‌های مختلف سیستم سرمایش جذبی ۹۴

۴-۴-۵ معرفی تابع اقتصادی ۹۹

۴-۴-۶ نتایج شبیه سازی ۱۰۰

۴-۴-۶-۱ ساختمان آموزشی ۱۰۰

۴-۴-۶-۲ ساختمان مسکونی ۱۰۳

فصل پنجم: جمع بندی و پیشنهادات ۱۰۵

منابع ۱۰۷

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۲ زوایای ناشی از برخورد پرتو خورشید با سطوح مایل ۱۱
- شکل ۲-۲ تصویر یک نوع متداول کلکتور صفحه تخت ۱۷
- شکل ۳-۲ طرق مختلف اتصال بین لوله‌های حامل سیال و صفحه جذب کننده ۱۸
- شکل ۴-۲ زوایای برخورد و شکست تابش مستقیم گذرکننده بین دو محیط با اندیس شکست متفاوت ۲۰
- شکل ۵-۲ طرحواره تشعشع جذب شده و انرژی اتلافی در کلکتور صفحه تخت ۲۴
- شکل ۶-۲ تانک ذخیره مخلوط کامل ۲۵
- شکل ۷-۲ تانک ذخیره مدل لایه‌های حرارتی ۲۸
- شکل ۸-۲ جریان‌های ورودی و خروجی لایه حرارتی تانک ذخیره ۲۹
- شکل ۹-۲ یک انباره لایه بندی شده عمودی با توزیع دمایی خطی ۴۱
- شکل ۱-۳ طرح شماتیکی چیلر جذبی تک مرحله‌ای لیتییم بروماید و آب ۴۶
- شکل ۲-۳ مقدار متوسط ساعتی مصرف آب گرم در منازل مسکونی ۵۷
- شکل ۳-۳ مقدار متوسط ساعتی مصرف آب گرم در منازل مسکونی برای ضریب اطمینان ۹۵٪ ۵۷
- شکل ۴-۳ مقدار متوسط ساعتی مصرف آب گرم برای استفاده کنندگان پر مصرف و کم مصرف ۵۸
- شکل ۵-۳ الگوی مصرف ساعتی آب گرم برای مشترکین منتخب در صبح زود و زمان غروب ۵۸
- شکل ۶-۳ محاسبه نرخ بازیافت حرارتی بر اساس ظرفیت تانک ذخیره برای ساختمان‌های مسکونی ۶۵
- شکل ۷-۳ محاسبه نرخ بازیافت حرارتی بر اساس ظرفیت تانک ذخیره برای ساختمان‌های اداری ۶۵
- شکل ۸-۳ محاسبه نرخ بازیافت حرارتی بر اساس ظرفیت تانک ذخیره برای ساختمان‌های آموزشی ۶۶
- شکل ۱-۴ الگو واره آبگرمکن خورشیدی با چرخش اجباری ۷۰
- شکل ۲-۴ الگوی مصرف آب گرم در ساختمان مسکونی ۱۵ واحدی ۷۳
- شکل ۳-۴ تغییرات بازده انرژی کلکتور بر حسب نسبت حجم تانک ذخیره بر مساحت کلکتور برای تهران ۷۴
- شکل ۴-۴ تغییرات بازده انرژی کلکتور بر حسب نسبت حجم تانک ذخیره بر مساحت کلکتور برای تبریز ۷۵
- شکل ۵-۴ تغییرات بازده انرژی کلکتور بر حسب نسبت حجم تانک ذخیره بر مساحت کلکتور برای بندر عباس ۷۵
- شکل ۶-۴ تغییرات انرژی کلکتور بر حسب مساحت کلکتور برای تهران ۷۶
- شکل ۷-۴ تغییرات بازده انرژی کل بر حسب نسبت حجم تانک ذخیره بر مساحت کلکتور برای تهران ۷۷
- شکل ۸-۴ تغییرات بازده انرژی کل بر حسب نسبت حجم تانک ذخیره بر مساحت کلکتور برای تبریز ۷۸
- شکل ۹-۴ تغییرات بازده انرژی کل بر حسب نسبت حجم تانک ذخیره بر مساحت کلکتور برای بندر عباس ۷۸

- شکل ۴-۱۰ تغییرات سود بر حسب مساحت کلکتور ۲۰۰۰ لیتری در تهران..... ۸۱
- شکل ۴-۱۱ تغییرات سود بر حسب مساحت کلکتور ۳۰۰۰ لیتری در تهران..... ۸۲
- شکل ۴-۱۲ تغییرات سود بر حسب مساحت کلکتور ۴۰۰۰ لیتری در تهران..... ۸۲
- شکل ۴-۱۳ تغییرات سود بر حسب نسبت حجم تانک بر مساحت کلکتور برای بندر عباس ۸۳
- شکل ۴-۱۴ تغییرات سود بر حسب نسبت حجم تانک بر مساحت کلکتور برای تبریز ۸۳
- شکل ۴-۱۵ الگوی مصرف یک ساختمان آموزشی در تهران..... ۸۶
- شکل ۴-۱۶ تغییرات سود سالانه بر حسب نسبت حجم تانک ذخیره به مساحت کلکتور..... ۸۷
- شکل ۴-۱۷ تصویر شماتیکی سیستم سرمایشی جذبی خورشیدی ۸۷
- شکل ۴-۱۸ تغییرات دمای فضای مورد تهویه و دمای محیط و آب سرد ورودی و خروجی چیلر جذبی برای ۳ روز متوالی ۹۵
- شکل ۴-۱۹ تغییرات دمای ورودی و خروجی و دبی کلکتور برای ۴ روز متوالی..... ۹۶
- شکل ۴-۲۰ تغییرات دمای خروجی کلکتور و بالا و پایین تانک ذخیره برای ۴ روز متوالی ۹۷
- شکل ۴-۲۱ تغییرات دمای ورودی و خروجی و تغییرات نرخ انتقال حرارت در گرمکن کمکی ۹۷
- شکل ۴-۲۲ تغییرات نرخ انتقال حرارت کلکتور خورشیدی و چیلر جذبی و بار سرمایشی فضای مورد تهویه ۹۸
- شکل ۴-۲۳ ذخیره سالانه بر حسب مساحت کلکتور برای تانک‌های ذخیره مختلف در تهران..... ۱۰۰
- شکل ۴-۲۴ تغییرات مشخصه‌های انرژی بر حسب مساحت کلکتور در بندر عباس ۱۰۱
- شکل ۴-۲۵ ذخیره سالانه بر حسب مساحت کلکتور برای تانک‌های ذخیره مختلف در بندر عباس..... ۱۰۲
- شکل ۴-۲۶ بازده انرژی بر حسب مساحت کلکتور برای تانک‌های ذخیره مختلف در بندر عباس..... ۱۰۲
- شکل ۴-۲۷ ذخیره سالانه بر حسب مساحت کلکتور برای تانک‌های ذخیره مختلف در ساختمان مسکونی، بندر عباس..... ۱۰۳
- شکل ۴-۲۸ بازده انرژی بر حسب مساحت کلکتور در ساختمان مسکونی، بندر عباس..... ۱۰۴

فهرست جدول‌ها

جدول ۱-۳	سیستم‌های گرمایش آب خورشیدی.....	۵۰
جدول ۲-۳	دمای آب گرم مورد نیاز برای فعالیت‌های مختلف	۵۴
جدول ۳-۳	میزان مصرف آب گرم برای کارهای مختلف.....	۵۵
جدول ۴-۳	حداقل استاندارد اندازه‌ها برای خانه‌های مسکونی یک یا دو خانواری.....	۵۶
جدول ۵-۳	تقاضای بیشینه و تقاضای میانگین روزانه.....	۵۹
جدول ۱-۴	فرضیات اقتصادی.....	۸۰
جدول ۲-۴	اطلاعات بهینه سازی اقتصادی برای شهر تهران	۸۴
جدول ۳-۴	اطلاعات بهینه سازی اقتصادی برای شهر بندر عباس	۸۴
جدول ۴-۴	اطلاعات بهینه سازی اقتصادی برای شهر تبریز	۸۵

فهرست علائم

AST	زمان ظاهری خورشید
A	مساحت کلکتور، (m^2)
COP	ضریب عملکرد
C_p	گرمای ویژه، ($\frac{kJ}{kg.K}$)
D	قطر لوله حامل سیال در کلکتور
ex	انرژی ویژه، ($\frac{kJ}{kg}$)
eva	اوپراتور چیلر جذبی
EN	انرژی، (kJ)
F'	ضریب کارایی کلکتور
F_R	ضریب برداشت کلکتور
f_d	کسر تابش پراکنده روزانه
f	ضریب اصطکاک
gen	ژنراتور چیلر جذبی
h_f	ضریب انتقال حرارت داخل لوله کلکتور، ($\frac{W}{m.K}$)
h_{pc}	ضریب انتقال حرارت جابجایی بین صفحه جذب کننده و پوشش شیشه ای کلکتور، ($\frac{W}{m.K}$)
h_w	ضریب انتقال حرارت جابجایی بین پوشش شیشه ای و محیط اطراف کلکتور، ($\frac{W}{m.K}$)
k	ضریب رسانش، ($\frac{W}{m.K}$)
I	شدت تابش خورشید، ($\frac{W}{m^2}$)
LSM	نصف النهار در مکان استاندارد محل
LST	زمان استاندارد محل
LCS	ذخیره اقتصادی، ($Euro$)
n	شماره روز سال

Nu	عدد نوسلت
NTU	تعداد واحدهای انتقال
P	فشار، (kpa) و یا پمپ
Pr	عدد پرانتل
Q	انرژی حرارتی، (kJ)
R_b	فاکتور نسبت مستقیم
R_d	فاکتور نسبت پراکنده
R_r	فاکتور نسبت بازتاب
Re	عدد رینولدز
T_p	دمای صفحه جذب کننده کلکتور، $(^{\circ}C)$
T_c	دمای پوشش شیشه‌ای کلکتور، $(^{\circ}C)$
T_{sky}	دمای آسمان، $(^{\circ}C)$
T_{set}	دمای تنظیمی گرمکن کمکی، $(^{\circ}C)$
SC	کلکتور خورشیدی
shx	مبدل حرارتی محلول
s	آنتروپی، $(\frac{kJ}{kg.K})$
S	شدت تشعشع جذب شده بوسیله کلکتور، $(\frac{W}{m^2})$
t	زمان
U_L	ضریب کلی انتقال حرارت، $(\frac{W}{m^2.K})$
V	حجم تانک ذخیره، (m^3) و یا سرعت باد، $(\frac{m}{s})$
W	کار، (kW) و یا فاصله بین لوله‌ها در کلکتور
Z	قیمت ابتدایی و نگهداری تجهیزات، $(Euro)$

حروف یونانی

ε	کارآیی مبدل حرارتی
η	بازده کلکتور و یا بازده قانون دوم
θ	زاویه برخورد
φ	عرض جغرافیایی
δ	زاویه میل خورشید
ω	زاویه ساعتی خورشید و یا رطوبت نسبی
β	شیب سطح نسبت به افق
γ	زاویه جهتی صفحه
ρ	ضریب بازتاب و یا چگالی
ε	گسیلمندی

فصل اول

مقدمه

۱-۱ پیش زمینه پروژه

امروزه در جهان استفاده از انرژی خورشیدی به شدت افزایش یافته است. دلیل این امر افزایش قیمت سوخت‌های فسیلی و همچنین نگرانی نسبت به آلودگی زیست محیطی ناشی از این سوخت‌ها است. کاربرد انرژی خورشیدی همچنین، با توجه به اثر مخرب سوخت‌های فسیلی بر لایه ازن و ایجاد تغییرات آب و هوایی نامطلوب، اهمیت فراوانی یافته است. عامل دیگر روآوری به انرژی خورشید را می‌توان محدودیت و پایان پذیر بودن انرژی‌های فسیلی در آینده‌ای نزدیک دانست.

استفاده از خورشید برای گرمایش، فن‌آوری نه چندان قدیمی است، که این روزها به شدت در حال گسترش است، تامین آب گرم مصرفی، استفاده به عنوان گرمکن سیستم‌های سرمایشی، کوره‌های خورشیدی و ... از جمله مصارف این فن‌آوری است. در این میان آبگرمکن خورشیدی و چیلر جذبی خورشیدی، از پرکاربردترین ابزارهای استفاده کننده از خورشید هستند. سیستم آبگرمکن خورشیدی چه به عنوان تامین کننده مستقیم و چه به شکل سیستم جانبی شامل سه بخش کلی، کلکتور، تانک ذخیره و پمپ سیرکولاسیون است. این روزها از این دو وسیله در ساختمان‌های اداری، مسکونی، هتل‌ها، مدارس و حتی صنعت استفاده می‌کنند.

۱-۲ بیان مسئله

امروزه و با توجه به آشکار شدن مضرات زیست محیطی سوخت‌های فسیلی، سوال اصلی امکان استفاده بهینه از انرژی‌های پاک است. برای این منظور تحقیقات بسیاری برای تحلیل و بهینه سازی اقتصادی و ترمودینامیکی استفاده از خورشید برای گرمایش در ساختمان‌ها شده است، اما با توجه به ارزان بودن قیمت سوخت در ایران و همچنین گران بودن قیمت ادوات خورشیدی، ارائه رویکرد جدیدی برای این کار ضروری است.

۱-۳ مروری بر تحقیقات گذشته

در مطالعات اولیه، آبگرمکن‌های خورشیدی بیشتر از دیدگاه قانون اول ترمودینامیک (کمیت انرژی) تحلیل و بررسی شده است، اما بر اساس دانسته‌ها، در حقیقت کیفیت انرژی اهمیت بیشتری از کمیت آن دارد و همین ضرورت بررسی آبگرمکن خورشیدی از دیدگاه قانون دوم ترمودینامیک را برجسته می‌سازد [۱].

در سالیان اخیر مطالعاتی با این رویکرد صورت گرفته است. ژیاوو^۱ و هوا بن^۲ [۱]، یک الگو به نام نظریه سه فرآیندی را برای محاسبه اگزرژی و بازده آن در آبگرمکن‌های خورشیدی ارائه کرده است. بر اساس این نظریه می‌توان برگشت ناپذیری‌های سیستم و مقادیر اگزرژی در مراحل مختلف (کلکتور و تانک ذخیره) را محاسبه کرد، او همچنین، اثر ضخامت صفحه جاذب بر بازده اگزرژی را بر اساس همین تئوری مورد مطالعه قرار داده است.

گانرهان^۳ و هپباسلی^۴ [۲]، با مدل کردن یک آبگرمکن خورشیدی غیر مستقیم برای آب و هوای ازمیر ترکیه، تغییرات اگزرژی در تمام اجزای آن شامل، کلکتور، تانک ذخیره و پمپ را اندازه گرفتند، آن‌ها همچنین اثر تغییرات دمای ورودی آب به سیستم را بر بازده اگزرژی هر کدام از بخش‌ها بررسی کردند و برای کلکتور صفحه تخت بازده اگزرژی بین ۲ تا ۳/۳، برای مبدل گرمایی، ۱۶ تا ۵۱ و برای پمپ ۱۰ تا ۱۶ درصد بازده اگزرژی را گزارش کردند، آن‌ها همچنین برای بازده کل سیستم اعدادی بین ۳/۲۷ تا ۴/۳۹ درصد را بدست آوردند.

روزن^۵ و دنسر^۱ [۳] اثر تغییر پارامترهای مختلف تانک ذخیره را بر اگزرژی بررسی کردند و با آنالیز اگزرژی، زمان بهینه برای فرآیند دشارژ کردن تانک را گزارش کردند.

^۱ Xiaowu

^۲ Ben

^۳ Gunerhan

^۴ Hepbasli

^۵ Rosen

همچنین روزن و دنسر [۴]، چهار مدل برای محاسبه انرژی این تانک‌های ذخیره لایه‌ای برای آب گرمکن ارائه کردند. این مدل‌ها بر اساس رفتار دمایی تانک ذخیره تعریف شده‌اند و شامل: خطی پله ای، خطی ممتد، عمومی سه زونی. برای هر مدل، توزیع دمایی به عنوان تابعی از ارتفاع داده می شود. توزیع های دمایی فرض شده به اندازه کافی ساده هستند که اجازه دهند مقادیر انرژی و انرژی به صورت تحلیلی به دست آیند و در عین حال آنقدر پیچیده هستند که نسبتاً واقعی باشند.

روزن [۵]، با مطالعه‌ای موردی و مقایسه این چهار روش، درصد خطاهای آنان را گزارش کرده است.

استرلینگ^۲ و کولینس^۳ [۶]، با مدل سازی آب گرم کن خورشیدی در نرم افزار TRNSYS، اثر استفاده از پمپ گرمایی در بهبود عملکرد بررسی کردند و نشان دادند که استفاده از پمپ گرمایی و باعث کاهش میزان مصرف سوخت می‌شود.

دوآ آتایا^۴ و همکاران [۷]، مدلی برای بررسی اقتصادی آبگرمکن خورشیدی ارائه کردند. آن‌ها با استفاده از داده‌های حاصل از شبیه سازی در نرم افزار TRNSYS و روش بهینه سازی الگوریتم ژنتیک، مساحت کلکتور بهینه را برای نمونه موردی در قاهره یافتند.

کالیگرو^۵ [۸]، با بررسی رفتار حرارتی، اقتصادی و محیطی آب گرمکن خورشیدی از نوع ترموسیفونی، درصدی از آب گرم مصرفی خانوار که امکان فراهم شدن از انرژی خورشیدی دارد را محاسبه کرده است، او این درصد را ۷۹ گزارش کرده است، همچنین با بهینه سازی اقتصادی، مساحت بهینه را برای کلکتور به دست آورده است.

^۱ Dincer
^۲ Sterling
^۳ Collins
^۴ Atia
^۵ Kaligrou

کالکرنی^۱ و همکاران [۹]، با بررسی یک نمونه موردی، روشی برای رسیدن به یک فضای طراحی که شامل مساحت کلکتور، حجم تانک ذخیره و بهره خورشیدی می‌شود، ارائه دادند، آن‌ها همچنین محاسبات اقتصادی را بر اساس همین فضای طراحی انجام و مساحت، حجم و قیمت بهینه را گزارش کردند.

ناسپولینی^۲ و روسر^۳ [۱۰]، با بررسی یکساله عملکرد ۶۰ آبگرمکن‌های نصب شده در محل‌های فقیر نشین و کم درآمد برزیل که گرمکن کمکی شان با الکتریسیته کار می‌کرد، مشاهده کردند که می‌توان با استفاده از خورشید برای گرم کردن، به طور متوسط ۳۸ درصد در مصرف برق صرفه جویی کرد و تقاضای اوج بار را ۴۲ کاهش داد، آن‌ها همچنین محاسبات اقتصادی آب گرمکن خورشیدی را انجام دادند و برگشت سرمایه‌ای بین ۸ تا ۱۰ سال برای آن گزارش کردند.

لی^۴ و ساماسی^۵ [۱۱] در سال ۲۰۰۱ برنامه‌ای کامپیوتری برای شبیه‌سازی یک سیستم جذبی لیتیم بروماید و آب تک اثره خورشیدی نصب شده در دانشگاه هنگ کنگ ارائه دادند. این سیستم شامل کلکتور صفحه تخت به مساحت ۲۸ متر مربع، تانک ذخیره به حجم ۲/۷۵ متر مکعب و یک گرم‌کن با اتصال موازی بین چیلر و تانک ذخیره بوده و در این مدل‌سازی از داده‌های عملکرد سیستم جذبی ۴/۷ کیلووات موجود استفاده شد. همچنین دو نوع تانک ذخیره طبقه‌ای و پارتیشن بندی شده بکار گرفته شد و نتایج نشان داد که تانک پارتیشن بندی شده باعث افزایش بیشتر ضریب عملکرد چیلر جذبی می‌شود.

فلوریدس^{۱۶} و همکاران [۱۲] در سال ۲۰۰۱ یک سیستم جذبی خورشیدی را برای قبرس شبیه‌سازی کردند که بتواند بار برودتی خانه‌ای به مساحت ۱۹۶ متر مربع را تامین کند. برای شبیه‌سازی سیستم

^۱ Kulkarni

^۲ Naspolini

^۳ Rüther

^۴ Li

^۵ Sumathy

^۶ Sumathy

از نرم افزار TRNSYS و داده های آب و هوایی نیکوزیا در قبرس استفاده شد. در این شبیه سازی سه نوع کلکتور صفحه تخت، لوله خلئی و سهموی مرکب، یک تانک ذخیره آب گرم، یک بویلر کمکی گازی و یک چیلر جذبی با ظرفیت اسمی ۱۸ کیلووات با عملکرد پیوسته چیلر جذبی (روش کنترل نرخ انرژی^۲) استفاده گردید. در ادامه با استفاده از آنالیز حساسیت سنجی بهترین شیب کلکتور، بهترین دما برای روشن شدن گرمکن کمکی بهترین حجم تانک ذخیره مشخص گردید و در نهایت با استفاده از تحلیل اقتصادی بهترین مساحت کلکتور برای هر سه نوع کلکتور مشخص گردید.

اصیل زاده^۳ و همکاران [۱۳] در سال ۲۰۰۵ سیستم مشابه پیکره بندی سیستم کار فلوریدس را با استفاده از نرم افزار TRNSYS برای آب و هوای مالزی شبیه سازی کرده و با استفاده از آنالیز حساسیت سنجی نشان دادند برای هر تن تبرید در شرایط آب و هوایی مذکور به کلکتور لوله خلئی به مساحت ۳۵ متر مربع با شیب ۲۰ درجه نسبت به افق و حجم تانک ذخیره ۰/۸ متر کعب نیاز است.

جودی^۴ و عبدالغفور^۵ [۱۴] در سال ۲۰۰۳ بر پایه یک کار آزمایشگاهی در عراق سیستم سرمایش جذبی خورشیدی را با استفاده از کلکتور صفحه تخت، تانک ذخیره، بویلر کمکی و الگوی عملکرد پیوسته چیلر جذبی با استفاده از نرم افزار TRNSYS شبیه سازی نمودند. آنها در این تحقیق با تغییر مساحت کلکتور، حجم تانک ذخیره، ظرفیت ساختمان، رطوبت نسبی محیط و... تعداد بسیار زیادی شبیه سازی انجام داده و به وسیله نتایج بدست آمده یک چارت طراحی برای بدست آوردن سهم خورشیدی ارائه نمودند. آنها همچنین رابطه ای برای بهترین مقدار حجم تانک ذخیره بر پایه کمینه کردن اتلاف ناشی از بخار شدن آب در خروجی کلکتور نیز ارائه کردند.

^۱ Florides

^۲ Energy rate control

^۳ Assilzadeh

^۴ Joudi

^۵ Abdul-Ghafour

سن کان^۱ و همکاران [۱۵] در سال ۲۰۰۵ تحلیل انرژی و انرژی را برای یک چیلر جذبی تک مرحله-ای با در نظر گرفتن دماهای آب گرم، آب خنک و آب سرد ورودی به چیلر جذبی انجام دادند. آنها بیشترین مقدار تخریب انرژی را به ترتیب برای ابزربر، ژنراتور، مبدل گرمایی محلول، کندانسور و اواپراتور بدست آورده و در نهایت تاثیر تغییر دمای آب گرم ورودی به ژنراتور و همچنین آب سرد ورودی به اواپراتور چیلر جذبی را بر روی ضریب عملکرد و بازده انرژی چیلر بررسی نمودند.

ماتئوس^۲ و اولیویرا^۳ [۱۶] در سال ۲۰۰۹ سیستم سرمایش جذبی خورشیدی و گرمایش خورشیدی را با استفاده از نرم افزار TRNSYS و بوسیله دو کلکتور صفحه تخت و لوله خلئی و برای سه شهر مختلف در اروپا و همچنین سه نوع ساختمان خانه، هتل و اداره شبیه سازی کردند. برای شبیه سازی از دو پیکره بندی مختلف استفاده شد: یکبار دستگاه کمکی به سیستم سرمایش جذبی خورشیدی را گرمکن گازی و یکبار چیلر تراکمی الکتریکی قرار دادند و در نهایت دو سیستم را نقطه نظر انرژی و اقتصادی مورد بررسی قرار داده، حداقل ساین کلکتور وتانک ذخیره، هزینه خرید کلکتور و هزینه انرژی مصرفی برای رسیدن به سهم خورشیدی ۰/۶ را برای حالات مختلف موجود بررسی کردند.

۴-۱ هدف پروژه

تمایز این تحقیق با تحقیقات گذشته در این است که در این پروژه با ملاک قرار دادن متوسط قیمت گاز صادراتی ایران، به بررسی اقتصادی پروژه های خورشیدی در اقلیم های متفاوت و الگوهای مختلف، امکان استفاده بهینه از سیستم های آبگرمکن خورشیدی و چیلر جذبی بررسی شده است. همچنین از منظر انرژی نیز به این مسئله پرداخته شده است که از ویژگی های این تحقیق است. فهرست اهداف اصلی پروژه به صورت زیر است:

^۱ Sencan
^۲ Mateus
^۳ Oliveira

۱. امکان سنجی اقتصادی استفاده از وسائل گرمایش خورشیدی با رویکرد منافع ملی و

زیست محیطی

۲. بررسی تاثیر الگوهای مصرف در آنالیز اقتصادی و انرژی

۳. بهینه سازی عددی و پارامتری متغیرهای طراحی سیستم‌های گرمایش خورشیدی

منتخب

۱-۵ ساختار پایان نامه

این پایان نامه از ۵ فصل تشکیل شده است. فصل اول مقدمه که شامل بیان مسئله و اهداف پروژه و همچنین، مرور تحقیقات گذشته در زمینه‌های مربوط به پروژه است. در فصل دوم پس از ارائه مقدمه-ای درباره تابش خورشید، به بررسی و بیان معادلات انرژی و انرژی ابزارهای گرمایش خورشیدی استفاده شده در این تحقیق پرداخته خواهد شد. فصل سوم اختصاص به تشریح الگوهای مصرف مختلف و مولفه‌های آنان دارد. در فصل چهارم با کمک از نرم افزار TRNSYS به شبیه سازی آبگرمکن خورشیدی در اقلیم‌های مختلف و الگوهای متفاوت مصرف پرداخته می شود و پس از بررسی اقتصادی و انرژی، مقادیری بهینه برای پارامترهای خورشیدی ارائه داده خواهد شد. در ادامه این فصل چیلر جذبی خورشیدی در دو اقلیم شبیه سازی شده امکان سنجی اقتصادی آن محاسبه می گردد.. فصل آخر هم اختصاص به نتیجه گیری و بیان پیشنهادات دارد.

فصل دوم

بررسی عملکرد تانک ذخیره و کلکتور از دیدگاه انرژی و انرژی

۱-۲ مقدمه

انرژی حرارتی مورد نیاز در سیستم‌های سرمایشی جذبی و آبگرمکن توسط مجموعه‌ای شامل کلکتور خورشیدی و تانک ذخیره به تنهایی و یا در کنار سوخت فسیلی تامین می‌شود. کلکتور انرژی خورشید را دریافت کرده و به انرژی حرارتی سیال گذرنده تبدیل می‌کند و سپس این سیال در تانک، ذخیره می‌شود تا در مواقعی که انرژی موجود کمتر از مقدار انرژی مورد نیاز باشد، از انرژی ذخیره شده استفاده شود که این عمل باعث پایدار شدن عملکرد نوسانی سیستم خورشیدی می‌گردد. در این فصل به بررسی موقعیت خورشید، شار تابشی مستقیم و پراکنده، کلکتور خورشیدی و تانک ذخیره پرداخته می‌شود و تحلیل آن‌ها ابتدا از دیدگاه انرژی و سپس اقتصادی ارزیابی می‌گردد.

۲-۲ هندسه تابش خورشید

۱-۲-۲ زاویه برخورد پرتوهای خورشید

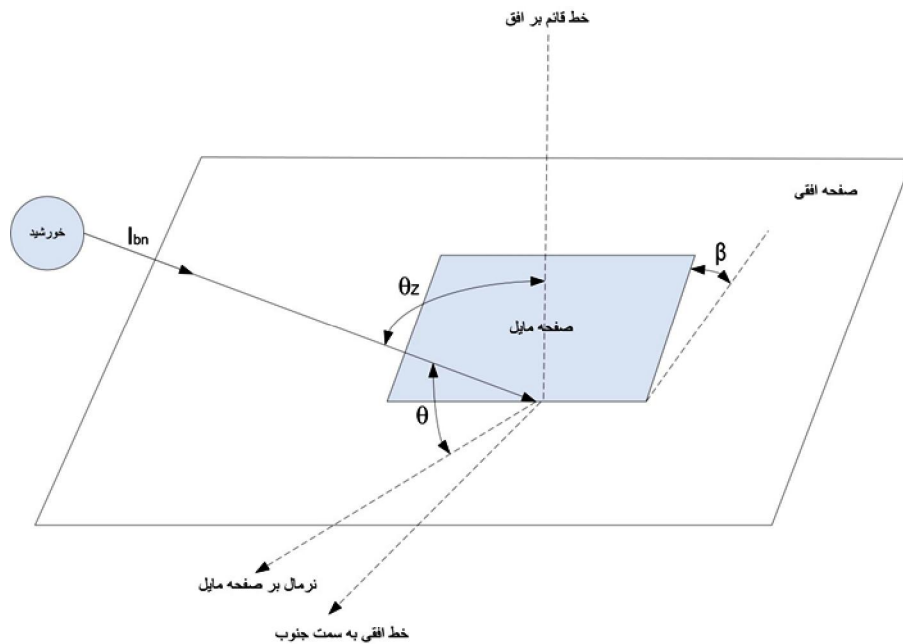
برای بدست آوردن انرژی تابش مستقیم خورشید که با سطوح در موقعیتهای مختلف برخورد می‌کند، لازم است که مقدار شار تابشی مستقیم خورشید در راستای عمود بر سطح دریافت کننده محاسبه شود. اگر θ زاویه بین پرتوهای مستقیم برخوردی و خط قائم بر سطح باشد که به آن زاویه برخورد^۱ نیز گفته می‌شود و $I_{bn}(\frac{w}{m^2})$ شار تابشی مستقیم^۲ در راستای پرتوها باشد، آنگاه $I_{bn} \cos \theta$ شار تابشی مستقیم برخوردی در راستای عمود بر سطح است. شکل (۱-۲) زاویه برخورد پرتوهای خورشید با سطح و نیز زوایای در نظر گرفته شده دیگر را نشان می‌دهد که به وضعیت سطح و خورشید نسبت به یکدیگر بستگی دارند.

زاویه برخورد را می‌توان از رابطه (۱-۲) بدست آورد:

^۱ Incidence angle

^۲ Beam radiation

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin \varphi (\sin \delta \cos \beta + \cos \delta \cos \gamma \cos \omega \sin \beta) \\ & + \cos \varphi (\cos \delta \cos \omega \cos \beta - \sin \delta \cos \gamma \sin \beta) \\ & + \cos \delta \sin \gamma \sin \omega \sin \beta \end{aligned} \quad (1-2)$$



شکل ۱-۲ زاویای ناشی از برخورد پرتو خورشید با سطوح مایل [۱۷]

در رابطه (۱-۲) :

φ زاویه عرض جغرافیایی^۱ صفحه بر حسب درجه است.

δ زاویه میل خورشیدی^۲ بوده که زاویه بین خط متصل کننده مراکز خورشید و زمین و تصویر این

خط روی صفحه استوا است و طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\delta = 23.45 \left[\frac{360}{365} (284 + n) \right] \quad (2-2)$$

n شماره روز در سال است که از روز ۱۲ دی ماه آغاز می‌شود.

^۱ Latitude angle

^۲ Declination angle

ω زاویه ساعتی خورشید نام دارد که برابر اختلاف زمان ظاهری خورشید از ظهر خورشیدی، بر حسب واحد قوسی (درجه یا رادیان) است که قبل از ظهر خورشیدی مثبت و بعد از ظهر منفی در نظر گرفته می‌شود و بر حسب درجه از رابطه (۳-۲) بدست می‌آید:

$$\omega = (12 - AST) \cdot 15 \quad (3-2)$$

که AST همان زمان ظاهری خورشیدی^۱ محل بر حسب ساعت است.

β شیب سطح دریافت کننده تابش نسبت به افق است، اگر سطح به سمت جنوب باشد، این زاویه مثبت و اگر به سمت شمال باشد، منفی در نظر گرفته می‌شود.

γ زاویه جهتی صفحه^۲ نام دارد که زاویه بین تصویر بردار قائم بر سطح و خطی به سمت جنوب روی سطح افق می‌باشد و این زاویه برای بردار قائم به سمت جنوب، صفر و برای شرق مثبت و برای غرب منفی در نظر گرفته می‌شود.

۲-۲-۲ زمان ظاهری خورشید

زمان بکار رفته برای محاسبه زاویه ساعتی در معادلات بالا، همان زمان خورشیدی ظاهری محل است و می‌توان آن را با توجه به زمان استاندارد محل از روی رابطه (۴-۲) محاسبه کرد:

$$AST = LST - \left(\frac{LSM - L}{15} \right) + E \quad (4-2)$$

که در این رابطه AST, LST به ترتیب زمان استاندارد^۳ محل و زمان خورشید ظاهری محل بر حسب ساعت هستند و LSM نصف النهار زمان استاندارد محل است (۵۲/۵ درجه برای ایران)، L طول جغرافیایی^۴ محل می‌باشد که برای نصف النهارهای واقع در شرق نصف النهار گرینویچ مثبت و برای

^۱ Local apparent time

^۲ Azimuth angle

^۳ Standard time

^۴ Longitude

نصف النهارهای واقع در غرب منفی می‌باشد و همچنین E معادله تصحیح زمان^۱ نام دارد که ناشی از انحرافات کوچک به وجود آمده در مدار زمین و سرعت دوران آن است که در طول سال تغییر می‌کند. این تصحیح زمان بر پایه مشاهدات آزمایشگاهی از رابطه (۵-۲) بدست می‌آید [۱۷]:

$$E = 229.2 \left(\frac{0.00075}{1} + \frac{0.001868}{1} \cos B - \frac{0.032077}{1} \sin B - \frac{0.01461}{1} \cos 2B - \frac{0.04089}{1} \sin 2B \right) \quad (5-2)$$

$$B = (n - 1) \frac{360}{365} \quad (6-2)$$

که n شماره روز سال است.

۳-۲ شدت تابش خورشید

۳-۲-۱ شدت تابش در جو

شدت تابش برخوردی به جو زمین در طول سال به دلیل حرکت زمین روی یک مسیر بیضی شکل به دور خورشید متغیر است و مقدار آن در خارج جو زمین بین ۱۳۰۹ تا ۱۳۹۹ بر حسب وات بر مترمربع بر روی سطح عمود بر آن تغییر می‌کند، بنابراین تغییرات مقدار آن در طول سال در حدود $\pm 3\%$ می‌باشد و می‌توان آنرا از رابطه زیر محاسبه کرد:

$$G_{on} = G_{sc} \left(1 + 0.033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right) \quad (7-2)$$

که $G_{on} \left(\frac{W}{m^2} \right)$ شدت تابش خارج جو روی سطح عمود بر آن است و G_{sc} ثابت خورشیدی است که مرکز جهانی تابش مقدار $\left(\frac{W}{m^2} \right)$ ۱۳۶۷ را برای آن پیشنهاد داده است و n نیز شماره روز در سال است.

^۱ Equation of time correction

۲-۳-۲ شدت تابش روی سطح زمین

انرژی تابشی خورشید هنگامی که از جو عبور کرده و به زمین می‌رسد، بر اثر عوامل جوی مختلفی مانند اثرات جذب و پراکنش، پوشش ابر، کدری جو و... تضعیف می‌شود و این در هر منطقه به شرایط آب و هوایی بستگی دارد.

انرژی تابشی به دو شکل تابش مستقیم و تابش پراکنده^۱ به سطح زمین می‌رسد، تابش مستقیم خورشید بیانگر تابشی است که مستقیماً از خورشید به زمین می‌رسد و شامل بخشی از تابش خورشید است که پراکنده یا منعکس نشده است. تابش پراکنده خورشید برابر با تابش‌های انعکاس یافته از سطح زمین و پراکنده شده توسط جو است که به سطح زمین می‌رسد. مجموع تابش مستقیم و تابش پراکنده خورشید را تابش کل^۲ روی سطح زمین می‌نامند.

دقیق‌ترین روش برای بدست آوردن مقدار شدت تابش خورشید روی سطح زمین، استفاده از ابزارهای اندازه‌گیری شدت تابش است و در ایران عمدتاً در ایستگاه‌های هواشناسی مقادیر شدت تابش کل خورشید روح سطح افق بصورت مقادیر کل روزانه اندازه‌گیری می‌شوند، البته روابط تئوری بسیار متنوعی برای محاسبه شدت تابش خورشید روی سطح زمین بصورت تابش کل، تابش مستقیم و یا پراکنده برای مناطق مختلف جهان ارائه شده است. دانشیار [۱۸]، مدل‌هایی برای محاسبه مقدار میانگین روزانه شدت تابش کل خورشید، شدت تابش مستقیم لحظه‌ای خورشید و شدت تابش پراکنده لحظه‌ای خورشید برای مناطق مختلف ایران ارائه داد و در محاسبات شدت تابش مستقیم و پراکنده، ضریبی تحت عنوان ضریب ابرناکی در نظر گرفته و برای ۳۰ شهر ایران مقادیر این ضریب را برای ماه‌های مختلف سال ارائه داده است و نیز مقادیر متوسط ماهیانه شدت تابش کل و شدت تابش مستقیم روی سطح افق را برای این شهرها محاسبه کرده است.

^۱ Diffuse radiation

^۲ Global radiation

۳-۳-۲ شدت تابش روی سطح مایل

اغلب وسایل اندازه‌گیری و روابط تئوری، مقدار تابش خورشید را روی سطح افق مشخص می‌کنند، با این وجود عمده تجهیزات دریافت کننده انرژی خورشیدی مانند کلکتورها، تابش خورشید را روی سطوحی جذب می‌کنند که با افق زاویه می‌سازند، بنابراین محاسبه شار تابشی روی سطح مایل الزامی است و این شار تابشی برابر با مجموع تابش‌های مستقیم، پراکنده و نیز تابش‌های منعکس شده روی این سطوح است که به کمک روابط زیر محاسبه می‌شوند.

نسبت تابش مستقیم دریافتی روی سطح شیبدار به تابش مستقیم دریافتی روی سطح افق با R_b نشان داده می‌شود که به آن فاکتور نسبت مستقیم^۱ گفته شده و از رابطه (۸-۲) محاسبه می‌شود:

$$R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (۸-۲)$$

نسبت تابش پراکنده جو روی سطح شیبدار به تابش پراکنده جو روی سطح افق با R_d نشان داده می‌شود که آنرا فاکتور نسبت پراکنده^۲ می‌نامند و با فرض اینکه چگالی شار تابش پراکنده یکسانی از نقاط مختلف به سطح مورد نظر می‌رسد، می‌توان آنرا از مدل همگن رابطه (۹-۲) بدست آورد:

$$R_d = \frac{1 + \cos \beta}{2} \quad (۹-۲)$$

که β شیب سطح دریافت کننده تابش نسبت به افق می‌باشد.

همچنین نسبت تابش بازتابی از طرف زمین روح سطح شیبدار به تابش بازتابی روی سطح افق با R_r نشان داده می‌شود که به آن فاکتور نسبت بازتاب^۳ گفته می‌شود و با فرض همگن بودن بازتاب می‌توان آنرا از رابطه (۱۰-۲) بدست آورد:

^۱ Direct ratio factor

^۲ Diffuse ratio factor

^۳ Reflected ratio factor

$$R_r = \rho \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (۱۰-۲)$$

ρ قابلیت بازتاب متوسط سطح افق می باشد.

در نهایت شار تابشی کل روی سطح مایل از رابطه (۱۱-۲) محاسبه می شود:

$$I_t = I_b R_b + I_d R_d + (I_b + I_d) R_r \quad (۱۱-۲)$$

$I_d \left(\frac{w}{m^2} \right), I_b \left(\frac{w}{m^2} \right)$ به ترتیب شار تابشی مستقیم روی سطح افق و شار تابشی پراکنده روی سطح افق می باشند.

۲-۴ تحلیل انرژی

۲-۴-۱ کلکتور خورشیدی

بخش اصلی اکثر سیستم های خورشیدی کلکتورهای خورشیدی می باشند که تابش خورشیدی را جذب کرده و آن را به انرژی گرمایی ماده گذرنده (هوا، روغن، آب و....) تبدیل می کنند.

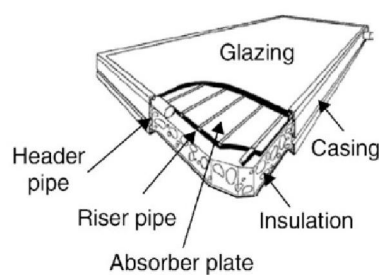
کلکتورهای خورشیدی به دو نوع عمده تقسیم می شوند: کلکتورهای تمرکزی و کلکتورهای غیرتمرکزی. در کلکتورهای غیر تمرکزی سطح برخورد کننده و سطح جذب کننده انرژی خورشیدی یکسان می باشند اما در کلکتورهای تمرکزی معمولاً یک سطح مقعر تابش مستقیم خورشیدی را به یک لوله جذب کننده که سیال داخل آن جریان دارد متمرکز می کنند و بدین وسیله شار حرارتی را افزایش می دهند. کلکتورهای تمرکزی برای تولید سیال با دمای بسیار بالا مناسب هستند.

هم چنین کلکتورهای خورشیدی به ۲ نوع ثابت و ردیاب خورشید نیز تقسیم می شوند. معروف ترین کلکتورهای ثابت کلکتور صفحه تخت و لوله خلاء بوده و معروف ترین کلکتور ردیاب خورشید کلکتور سهمی خطی می باشد.

معمولا برای سیستم‌های تهویه مطبوع جذبی تک مرحله‌ای خورشیدی که به سیال با دمای کمتر از ۱۰۰ درجه سلسیوس احتیاج است از کلکتورهای صفحه تخت و لوله خلائی استفاده می‌شود. در این تحقیق کلکتور صفحه تخت را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

۲-۴-۱-۱ مقدمه‌ای درباره کلکتور صفحه تخت

تصویر یک نوع متداول کلکتور صفحه تخت در زیر نشان داده شده است :

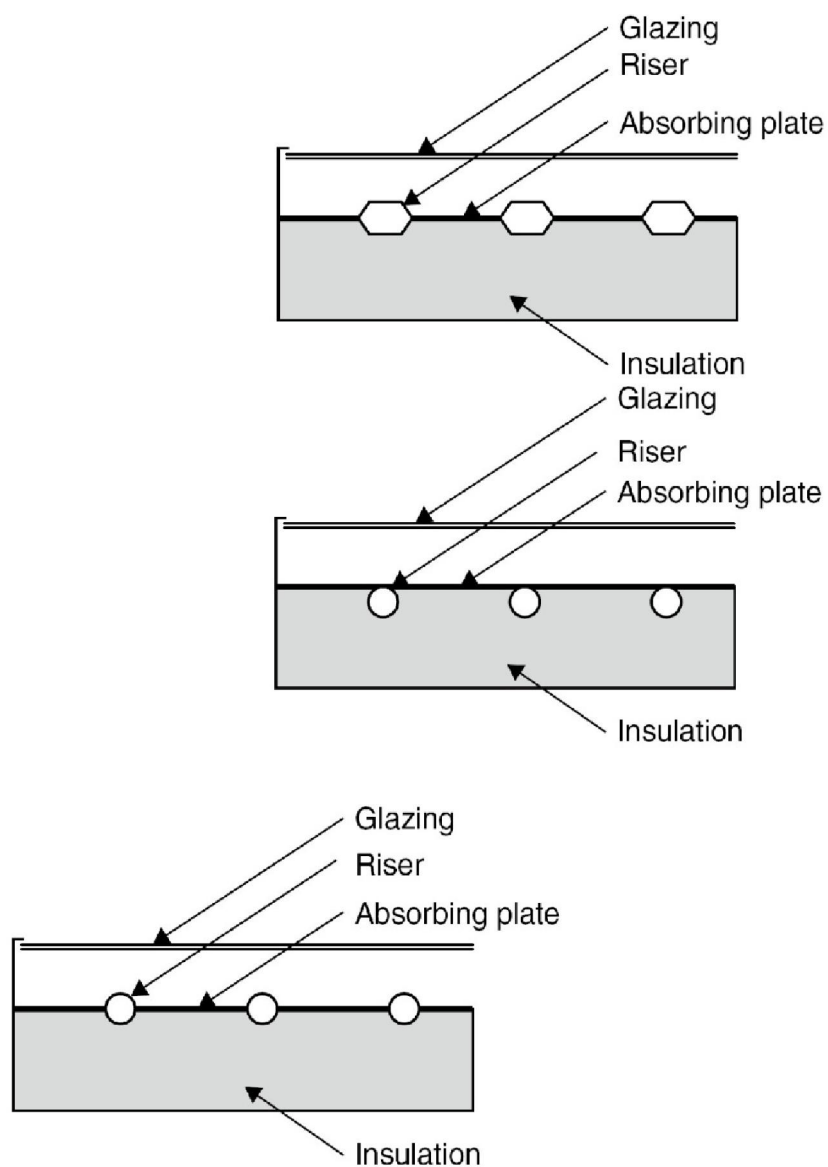


شکل ۲-۲ تصویر یک نوع متداول کلکتور صفحه تخت [۱۹]

در این نوع کلکتور تابش خورشیدی از یک پوشش^۱ (معمولا شیشه) عبور کرده و به یک صفحه^۲ تخت با قابلیت بالای جذب تابش خورشیدی برخورد می‌کند، سپس حرارت حاصله به سیال درون لوله‌های کلکتور منتقل می‌شود، این لوله‌ها به راه‌های مختلف (جوشکاری، لحیم‌کاری و...) می‌توانند به صفحه تخت جذب کننده متصل شوند. قسمت‌های غیر مطلوب اطراف صفحه جذب کننده (طرفین و پایین) به منظور کاهش اتلاف حرارت رسانشی به خوبی عایق می‌شوند. در نهایت لوله‌های حامل سیال به وسیله یک سر لوله^۳ به دو سمت متصل می‌شوند، سر لوله به منظور ورود و خروج سیال به داخل لوله‌ها بکار می‌رود.

در شکل (۲-۳) راه‌های مختلف اتصال بین صفحه جذب کننده و لوله‌های حامل سیال را ملاحظه می‌کنید:

^۱ cover
^۲ plate
^۳ header



شکل ۲-۳ طرق مختلف اتصال بین لوله‌های حامل سیال و صفحه جذب کننده [۱۹]

پوشش کلکتور از طریق حبس کردن هوای ساکن بین خود و صفحه جذب کننده باعث کاهش اتلاف حرارت جابجایی از کلکتور می‌گردد، این پوشش معمولاً شیشه‌ای با مقدار آهن کم می‌باشد، این ماده دارای ضریب عبور (τ) بالا (حدود ۰/۸۵-۰/۹۵) برای امواج با طول موج کوتاه خورشیدی است و همچنین ضریب عبور آن برای امواج با طول موج بلند که از صفحه جذب کننده کلکتور به سمت بالا ساطع می‌شود نزدیک به صفر است که این موضوع باعث کاهش اتلاف حرارتی تشعشی از کلکتور می‌گردد.

صفحه جذب کننده کلکتور معمولا از جنس مس و یا آلومینیوم بوده و وظیفه جذب بیشترین مقدار ممکن تشعشع خورشیدی (امواج با طول موج کوتاه) را دارد، به این منظور صفحه جذب کننده معمولا دارای یک لایه پوششی با ضریب جذب (α) بالا برای تشعشع خورشیدی و دارای ضریب بازتاب (ρ) کم برای امواج با طول موج بلند ساطع شونده از سطح صفحه جذب کننده است.

مزیت اصلی کلکتور صفحه تخت ارزان بودن نسبت به سایر کلکتورها، جذب تابش مستقیم و پراکنده خورشید و ثابت بودن (این نوع کلکتور نیاز به ردیاب خورشید ندارد) می باشد. بهترین جهت برای دهانه کلکتور رو به خط استوا است (در نیم کره شمالی رو به جنوب و در نیم کره جنوبی رو به شمال)، همچنین بهترین شیب کلکتور بسته به زمان استفاده از کلکتور برابر با ۱۰ تا ۱۵ درجه کمتر یا بیشتر نسبت به عرض جغرافیایی محلی است که از کلکتور استفاده می شود، اگر کاربرد سرمایشی در فصل تابستان مد نظر باشد بهترین شیب برابر عرض جغرافیایی منهای ۱۰ درجه می باشد (به وسیله تنظیم این شیب مدت زمانی که تابش مستقیم خورشید عمود بر سطح کلکتور می تابد را افزایش می دهیم) و اگر گرمایش خورشیدی در فصل زمستان مد نظر باشد بهترین شیب برابر عرض جغرافیایی بعلاوه ۱۰ درجه می باشد.

۲-۴-۱-۲ نحوه جذب تشعشع خورشیدی

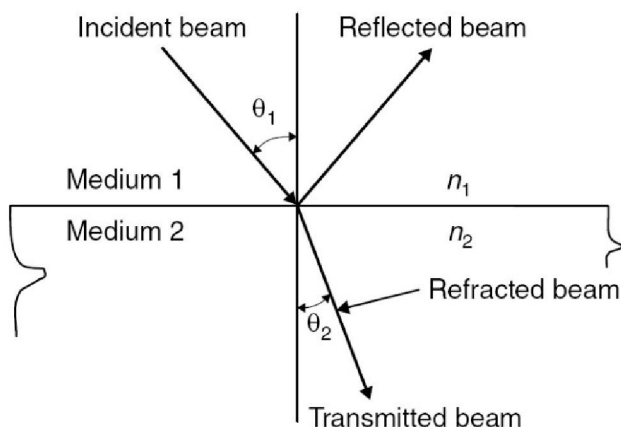
پیش بینی عملکرد کلکتور نیاز به اطلاعاتی در مورد نحوه جذب تشعشع خورشیدی به وسیله سطح جذب کننده کلکتور دارد. تشعشع خورشیدی که به سطح معمولا شیبدار کلکتور برخورد می کند از سه بخش تشکیل شده است: تابش مستقیم خورشید، تابش پراکنده خورشید و تابش پراکنده ناشی از انعکاس از سطح زمین. در این حالت جذب انرژی توسط صفحه جذب کننده کلکتور از رابطه زیر بدست می آید:

$$S = I_b R_b (\tau \alpha)_b + I_d (\tau \alpha)_d \frac{(1 + \cos \beta)}{2} + (I_b + I_d) (\tau \alpha)_g \rho_g \frac{(1 + \cos \beta)}{2} \quad (2-16)$$

در معادله (۲-۱۶) اندیس‌های g, d, b به ترتیب مربوط به تابش مستقیم، پراکنده از آسمان و تابش پراکنده ناشی از انعکاس سطح زمین می باشد. $I(\frac{w}{m^2})$ شدت تابش روی سطح افق برای سه جزء و $(\tau\alpha)$ حاصل جذب-عبور می باشد که محصول جذب موثر پوشش شیشه‌ای و صفحه جذب کننده را نمایندگی می کند. همچنین β برابر شیب کلکتور و ρ_g ضریب بازتاب سطح زمین می باشد. بخش ۲-۴-۱-۳ به نحوه محاسبه $(\tau\alpha)$ برای سه جزء مختلف تابش اختصاص دارد.

۲-۴-۱-۳ محاسبه حاصل جذب-عبور موثر پوشش شیشه‌ای و صفحه جذب کننده

مطابق شکل زیر اگر تابش مستقیم خورشید به پوشش شیشه‌ای کلکتور برخورد کند کسر کوچکی از آن بازتاب پیدا کرده و مقدار بیشتر آن دچار شکستگی (انکسار) می شود، در این حالت داریم:



شکل ۲-۴ زوایای برخورد و شکست تابش مستقیم گذرکننده بین دو محیط با اندیس شکست متفاوت [۱۹]

$$n = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} \quad (۲-۱۷)$$

که در معادله فوق n_1, n_2 برابر اندیس شکست^۱ و n برابر ضریب شکست^۲ می باشند. معمولاً ضریب شکست شیشه ۱/۵۲۶ در نظر گرفته می شود و همچنین θ_1 زاویه برخورد و θ_2 زاویه شکست^۳ هستند.

برای اجزای عمود و موازی تابش خورشیدی روابط (۱۸-۲) و (۱۹-۲) را داریم:

$$r_{\perp} = \frac{(\sin(\theta_2 - \theta_1))^2}{(\sin(\theta_2 + \theta_1))^2} \quad (18-2)$$

$$r_{\parallel} = \frac{(\tan(\theta_2 - \theta_1))^2}{(\tan(\theta_2 + \theta_1))^2} \quad (19-2)$$

خواص مختلف برای پوشش شیشه ای با محاسبه میانگین دو جزء فوق محاسبه می شوند:

$$r = \frac{1}{2}(r_{\perp} + r_{\parallel}) \quad (20-2)$$

بطور مشابه برای τ (ضریب عبور) و ρ (ضریب بازتاب) و α (ضریب جذب) پوشش شیشه ای رابطه (۲۰-۲) به روابط زیر تبدیل می شود :

$$\tau = \frac{1}{2}(\tau_{\perp} + \tau_{\parallel}) \quad (21-2)$$

$$\rho = \frac{1}{2}(\rho_{\perp} + \rho_{\parallel}) \quad (22-2)$$

^۱ Refraction indices

^۲ Refraction index

^۳ Refraction angle

$$\alpha = \frac{1}{\gamma}(\alpha_{\perp} + \alpha_{\parallel})$$

(۲۳-۲)

که برای بدست آوردن اجزای عمود و موازی خواص از روابط زیر استفاده می شود:

$$\tau_{\perp} = \frac{\tau_a(1 - r_{\perp})^2}{1 - (r_{\perp}\tau_a)^2} \quad (۲۴-۲)$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{\tau_a(1 - r_{\parallel})^2}{1 - (r_{\parallel}\tau_a)^2} \quad (۲۵-۲)$$

$$\rho_{\perp} = r_{\perp}(1 + \tau_a\tau_{\perp}) \quad (۲۶-۲)$$

$$\rho_{\parallel} = r_{\parallel}(1 + \tau_a\tau_{\parallel}) \quad (۲۷-۲)$$

$$\alpha_{\perp} = \frac{(1 - \tau_a)(1 - \tau_{\perp})}{1 - r_{\perp}\tau_a} \quad (۲۸-۲)$$

$$\alpha_{\parallel} = \frac{(1 - \tau_a)(1 - \tau_{\parallel})}{1 - r_{\parallel}\tau_a} \quad (۲۹-۲)$$

در روابط فوق ضریب عبور τ_a از رابطه زیر بدست می آید:

$$\tau_a = e^{\left(\frac{-KL}{\cos \theta_r}\right)} \quad (30-2)$$

که KL حاصلضرب ضریب کاهش نور^۱ در ضخامت پوشش شیشه‌ای می‌باشد.

حال با استفاده از روابط فوق برای محاسبه حاصل جذب-عبور موثر پوشش شیشه‌ای و صفحه جذب-کننده داریم:

$$(\tau\alpha)_{prouduct} = \frac{\tau\alpha}{1 - (1 - \alpha)\rho} \quad (31-2)$$

در سمت راست رابطه فوق ρ و τ متعلق به پوشش شیشه‌ای است، همچنین α متعلق به صفحه جذب‌کننده می‌باشد و برای سه جزء تابش خورشیدی بطور جداگانه از حاصلضرب $\frac{\alpha}{\alpha_n}$ در α_n بدست می‌آید که α_n ضریب جذب صفحه جذب‌کننده با فرض تابش عمود جزء مستقیم تابش بر صفحه بوده و $\frac{\alpha}{\alpha_n}$ از رابطه (32-2) بدست می‌آید:

$$\frac{\alpha}{\alpha_n} = 1 + 2.0345 * 10^{-2} \theta_e - 1.99 * 10^{-4} \theta_e^2 + 4.324 * 10^{-6} \theta_e^3 - 4.779 * 10^{-8} \theta_e^4 \quad (32-2)$$

در رابطه (32-2) θ_e زاویه برخورد موثر نامیده می‌شود که برای جزء تابش مستقیم خورشید برابر با زاویه برخورد و برای اجزا تابش پراکنده خورشید و تابش پراکنده حاصل از بازتاب زمین از روابط (2-23) و (2-34) بدست می‌آید:

$$\theta_{e,D} = 59.68 - 0.1388\beta + 0.001497\beta^2 \quad (33-2)$$

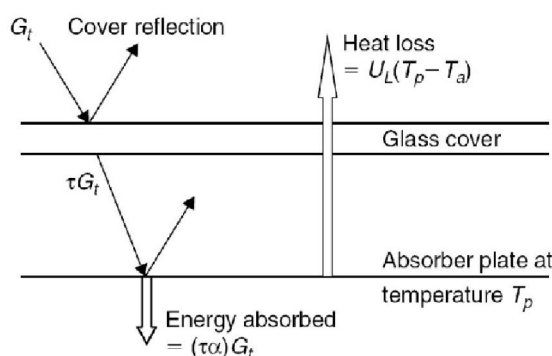
^۱ Extinction coefficient

$$\theta_{e,G} = 90 - 0.5788\beta + 0.00269\beta^2 \quad (34-2)$$

که β شیب کلکتور می باشد.

۴-۱-۴-۲ اتلاف انرژی در کلکتور صفحه تخت

در کلکتور خورشیدی انرژی جذب شده به وسیله صفحه جذب کننده مطابق شکل (۲-۵) به دو بخش انرژی مفید سیال در لوله های کلکتور و اتلاف حرارتی به سمت بالا، پایین و کناره های صفحه جذب کننده در کلکتور تقسیم می شود.



شکل ۲-۵ طرحواره تشعشع جذب شده و انرژی اتلاfi در کلکتور صفحه تخت [۱۹]

در این قسمت روابطی برای محاسبه اتلاف حرارتی در کلکتور صفحه تخت ارائه می گردد. همان طور که گفته شد اتلاف حرارتی کلکتور ناشی از اتلاف حرارتی به سمت بالا از طریق پوشش شیشه ای و اتلاف حرارتی به سمت پایین و کنار به وسیله ماده عایق می باشد. مطابق شکل فوق با این فرض که صفحه جذب کننده کلکتور در دمای T_p باشد اتلاف حرارتی کلی کلکتور از رابطه زیر بدست می آید:

$$Q_{loss} = U_L A (T_p - T_a) \quad (35-2)$$

در رابطه فوق U_L ضریب کلی انتقال حرارت، A مساحت کلکتور و T_a دمای محیط می باشند.

اتلاف حرارتی کلی مجموع اتلاف از بالا، پایین و طرفین می باشد:

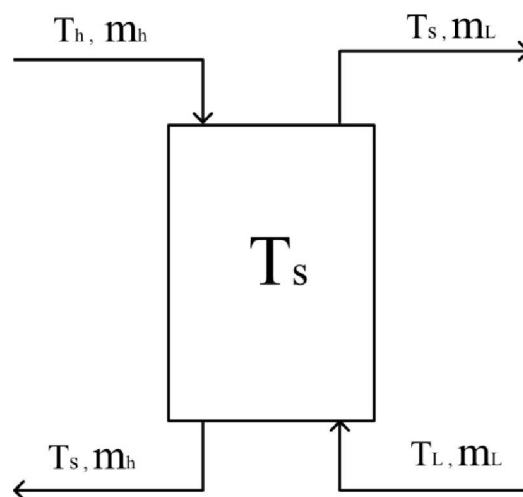
$$Q_{loss} = Q_t + Q_b + Q_e \quad (36-2)$$

۲-۴-۲ تانک ذخیره

در سیستم‌های گذرا با انرژی محرکه خورشیدی در زمان‌های مختلف ممکن است بین انرژی مورد نیاز و انرژی در دسترس خورشیدی ناهم‌هنگی وجود داشته باشد که این امر استفاده از اجزای ذخیره کننده انرژی را در این سیستم‌ها اجتناب ناپذیر می‌نماید، به عنوان مثال در سیستم‌های خورشیدی که برای گرمایش آب و یا گرمایش مکان‌ها بکار می‌روند یک تانک ذخیره حرارتی به منظور ذخیره سیال گرم برای استفاده در مواقعی که انرژی خورشیدی کافی در دسترس نیست استفاده می‌شود، به این شکل که وقتی انرژی خورشیدی جمع آوری شده در یک زمان مشخص بیش از مقدار نیاز باشد، این انرژی اضافی در تانک ذخیره جمع‌آوری می‌گردد تا در مواقعی که انرژی خورشیدی کم است به مصرف برسد. در زیر به بررسی و آنالیز حرارتی تانک ذخیره پرداخته می‌شود.

۲-۴-۲-۱ تانک ذخیره با مدل مخلوط کامل

شکل زیر تانک ذخیره حرارتی مخلوط کامل را نشان می‌دهد:



شکل ۲-۶ تانک ذخیره مخلوط کامل

در این حالت فرض می‌شود که سیال داخل تانک همیشه بصورت مخلوطی کامل و همگن است، در نتیجه در دمای یکنواخت T_s قرار دارد که فقط با زمان تغییر می‌کند و نیز انتقال حرارت بصورت یک بعدی فرض می‌شود. موازنه انرژی در تانک ذخیره بصورت معادله (۳۷-۲) است:

$$\left[(\rho V c_p)_L + (\rho V c_p)_t \right] \frac{dT_s}{dt} = \dot{q}_u - \dot{q}_{Load} - (UA)_t (T_s - T_a) \quad (37-2)$$

که $(\rho V c_p)_L$ ظرفیت حرارتی سیال داخل تانک و $(\rho V c_p)_t$ ظرفیت حرارتی ماده تشکیل دهنده بدنه تانک برحسب $\frac{kJ}{^\circ C}$ می‌باشد. $\dot{q}_u$ نرخ حرارتی مفید بدست آمده از کلکتورها و $\dot{q}_{Load}$ نرخ حرارت مورد استفاده توسط سیستم بر حسب (kW) می‌باشند. $(UA)_t$ نیز حاصلضرب سطح تانک در ضریب اتلاف حرارتی کل آن بر حسب $\frac{kW}{^\circ C}$ است.

مقدار $(\rho V c_p)_t$ برای تانک‌های با حجم کوچک مهم است اما برای تانک‌های بزرگ این مقدار در برابر $(\rho V c_p)_L$ ناچیز و قابل چشم پوشی می‌باشد. با فرض $(\rho V c_p)_e$ به عنوان مجموع دو ظرفیت حرارتی گفته شده و نیز با ثابت در نظر گرفتن $T_a, \dot{q}_{Load}, \dot{q}_u$ و با توجه به شرایط اولیه بصورت $t = 0 \rightarrow T_s = T_{si}$ انتگرال رابطه (۳۷-۲) به صورت رابطه (۳۸-۲) درمی‌آید:

$$\frac{\dot{q}_u - \dot{q}_{Load} - (UA)_t (T_s - T_a)}{\dot{q}_u - \dot{q}_{Load} - (UA)_t (T_{s,i} - T_a)} = e^{-\left(\frac{(UA)_t t}{(\rho V c_p)_e}\right)} \quad (38-2)$$

قابل گفتن است که ثابت فرض کردن $T_a, \dot{q}_{Load}, \dot{q}_u$ وقتی معتبر است که فواصل زمانی کوچک در نظر گرفته شود (یک ساعت یا کمتر)، اگر تغییرات $\dot{q}_{Load}, \dot{q}_u$ مشخص باشند آنگاه معادله (۳۸-۲) می‌تواند برای تعیین تغییر دمای T_s با زمان بکار رود. مقادیر $\dot{q}_{Load}, \dot{q}_u$ را می‌توان بر حسب دماهای ورودی و خروجی و نیز نرخ‌های جریان بصورت زیر محاسبه کرد:

$$\dot{q}_u = \dot{m}_h c_p (T_h - T_s) \quad (39-2)$$

$$\dot{q}_{Load} = \dot{m}_L c_p (T_s - T_L) \quad (40-2)$$

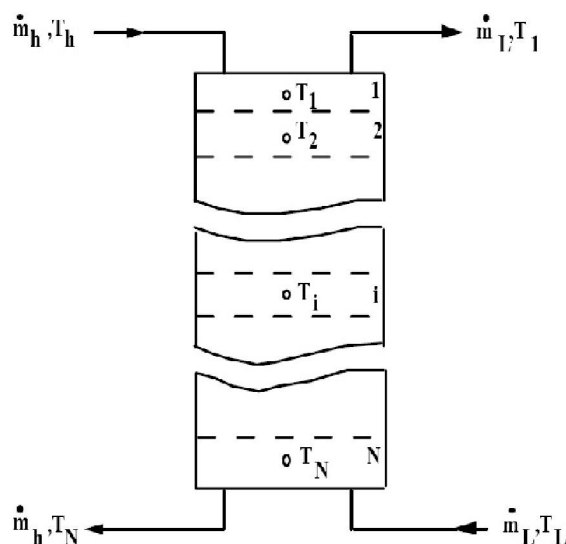
آنگاه معادله (۴۱-۲) به صورت زیر در می آید:

$$(\rho V c_p)_e \frac{dT_s}{dt} = \dot{m}_h c_p (T_h - T_s) - \dot{m}_L c_p (T_s - T_L) - (UA)_t (T_s - T_a) \quad (41-2)$$

که $\dot{m}_c$ و $\dot{m}_L$ به ترتیب نرخ‌های جریان جرم سیال از تانک به کلکتور و بار و T_h و T_L و T_a به ترتیب دمای محیط، دمای برگشتی از بار و دمای حاصله از منبع گرمایی (مثلا کلکتور خورشیدی) می‌باشند.

۲-۵-۲ تانک ذخیره با مدل لایه‌های حرارتی

تانک ذخیره با مدل لایه‌های حرارتی در شکل (۷-۲) نشان داده شده است. تحقیقات قبلی نشان داده که یک سیستم خورشیدی با تانک مدل لایه‌های حرارتی بهتر از سیستم خورشیدی با تانک مدل مخلوط کامل عمل می‌کند. در این نوع تانک آب گرم با چگالی کمتر از آب سرد به سمت بالای تانک ذخیره حرکت می‌کند و لایه بندی حرارتی به ترتیب گرمترین لایه در بالا و خنک‌ترین لایه در پایین تانک شکل می‌گیرد. عوامل اصلی بر هم زننده لایه‌بندی حرارتی در تانک، اتلاف گرما به محیط، انتقال حرارت رسانشی دو لایه مجاور بالا و پایین، اتلاف رسانشی سیال با جداره تانک و آمیزش سیال داخل تانک در اثر ورود سیال از کلکتور به تانک و خروجی سیال از تانک ذخیره می‌باشند. عوامل فوق بوسیله عایق بندی مناسب تانک، نزدیک کردن ضریب رسانش سیال با ضریب رسانش جداره تانک، ورودی آب گرم به بالای تانک و ورودی آب خنک به پایین تانک و همچنین تنظیم دبی جریان‌های ورودی و خروجی به تانک به طوری که باعث آمیزش دو لایه حرارتی مجاور داخل تانک نگردد خنثی می‌شوند.

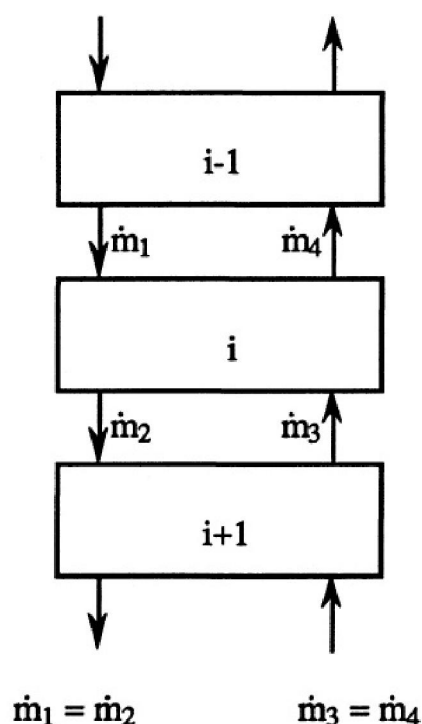


شکل ۲-۷ تانک ذخیره مدل لایه‌های حرارتی

همچنین گفتنی است که تشکیل لایه‌های حرارتی و در نتیجه خروج آب خنک از پایین تانک به سمت کلکتور علاوه بر بهبود عملکرد تانک ذخیره باعث کاهش دمای کارکرد کلکتور و در نتیجه افزایش بازده آن می‌گردد. در این نوع تانک ذخیره یک فرض منطقی این است که تغییر دما در جهت شعاعی وجود ندارد و یک مقطع عرضی در تانک دارای دمای یکسان است که از آن به عنوان یک لایه حرارتی تعبیر می‌شود. این نوع تانک معمولاً از n بخش یا لایه حرارتی تشکیل شده است که هر یک دارای دمای مشخصی بوده و به صورت مخلوط کامل هستند. درجه بندی حرارتی تانک با انتخاب مقدار n تعیین می‌شود و برای حالت خاص $n = 1$ کل تانک بصورت مخلوطی کامل مدل می‌شود که تنها از یک لایه حرارتی تشکیل شده است. در این مدل می‌توان محل ورودی‌ها به تانک را ثابت یا متغیر فرض کرد، برای حالت ثابت، همان طور که گفته شد سیال از کلکتور به قسمت بالایی تانک وارد می‌شود و نیز مسیر سیال سرد برگشتی از بار به زیر تانک وصل می‌شود و هر وارونگی دمایی ناشی از این جریانها در پایان هر بازه زمانی از آنالیز با آمیختگی قسمت‌های اختصاص داده شده برطرف می‌شود. در حالتی که مکانهای ورودی متغیر باشند، جریانها وارد بخش‌ها یا لایه‌هایی از تانک می‌شوند که با سیال موجود در آن لایه

نزدیکترین چگالی یا به عبارت دیگر نزدیکترین دما را دارند، بطوریکه هیچ وارونگی دمایی بوجود نمی‌آید و بیشترین درجه لایه بندی حرارتی ممکن برای تعداد بخش‌های در نظر گرفته شده حفظ می‌شود.

در این مدل‌سازی همچنین فرض می‌شود جریان‌های سیالی که بین بخش‌ها به سمت بالا و پایین جریان می‌یابند، قبل از اینکه وارد بخش دیگری شوند با یکدیگر جمع می‌شوند، مثلاً در شکل (۸-۲) $\dot{m}_1$ به $\dot{m}_4$ و $\dot{m}_2$ به $\dot{m}_3$ افزوده می‌شوند، بدین ترتیب قبل از اینکه در هر لایه حرارتی یک توازن انرژی انجام گیرد، یک جریان برآیند به سمت بالا یا به سمت پایین تعیین می‌شود و با این فرض جریان‌های منبع حرارتی و بار همزمان عمل می‌کنند.



شکل ۸-۲ جریان‌های ورودی و خروجی لایه حرارتی i ام تانک ذخیره

توازن انرژی برای لایه i ام تانک بصورت زیر است [۲۰]:

$$m_i c_p \frac{dT_{s,i}}{dt} = \alpha_i \dot{m}_h c_p (T_h - T_{s,i}) + \beta_i \dot{m}_L c_p (T_L - T_{s,i}) + \delta_i \gamma_i c_p (T_{s,i-1} - T_{s,i}) + (\gamma_i - \delta_i) \gamma_i c_p (T_{s,i} - T_{s,i+1}) - UA_{s,i} (T_{s,i} - T_a) \quad (42-2)$$

$$\alpha_i = \begin{cases} 1 & \text{if fluid from heat source enter node } i, \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\beta_i = \begin{cases} 1 & \text{if fluid returning from load enter node } i, \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\gamma_i = \dot{m}_h \sum_{j=1}^{i-1} \alpha_j - \dot{m}_L \sum_{j=i+1}^N \beta_j \quad (43-2)$$

$$\delta_i = \begin{cases} 1 & \text{if } \gamma_i > 0 \\ 0 & \text{if } \gamma_i \leq 0 \end{cases} \quad (44-2)$$

رابطه (42-2) مجموعه ای از معادله دیفرانسیل مرتبه اول را ارائه می دهد که با حل آنها دماهای بخش-ها یا لایه های حرارتی سیال داخل تانک ذخیره بصورت تابعی از زمان بدست می آیند.

همانطور که گفته شد در این نوع مدل سازی، نرخ های جریان سیال و حجم تانک ذخیره در تعداد لایه های حرارتی تشکیل شده، بسیار موثرند بطوری که هر چه نرخ های جریان بالاتر و حجم تانک کوچکتر شود، سیال داخل تانک ذخیره به سمت حالت مخلوط کامل میل می کند، برعکس هر چه نرخ های جریان کوچکتر و حجم تانک بزرگتر شود، تشکیل لایه های حرارتی در تانک ذخیره محسوس تر است.

۲-۶ تحلیل اگزرژی

تحلیل اگزرژی یک تکنیک تحلیل ترمودینامیک است که بر مبنای قانون دوم ترمودینامیک استوار است، که روشی روشن و شفاف دیگری برای ارزیابی و مقایسه سیستم ها به شکلی معنادار و منطقی ارائه می کند. به طور خاص، تحلیل اگزرژی میزان کارایی را در سیستم ارزیابی می کند که معیارهایی

برای دستیابی به کارکرد ایده آل سیستم به دست می‌دهد و به طور روشن‌تری تحلیل‌های انرژی، دلایل و نقاط اتلاف ترمودینامیکی را معین می‌کند. در نتیجه، تحلیل انرژی می‌تواند در بهبود و بهینه سازی طراحی به کار گرفته شود[۲۱].

در سال‌های اخیر افزایش استفاده و شناخت بیشتر فواید روش انرژی در صنعت، دولت و آموزش مشاهده شده است و انرژی به مسئله‌ای در حال رشد و جهانی درآمده است.

می‌دانیم که این از قوانین بنیادی طبیعت است که انرژی نه به وجود می‌آید و نه از بین می‌رود (قانون اول ترمودینامیک). انرژی در شکل‌های گوناگون در دسترس است و می‌تواند از شکلی به شکل دیگر تبدیل شود. به هر حال، همیشه یک محدودیت سخت وجود دارد. انرژی‌های مختلف کیفیت‌های متفاوت دارند و این نشان می‌دهد که تا چه حد در تئوری قابلیت تبدیل به کار مکانیکی را دارند. این محدودیت، که یک قانون طبیعت است، تنزل کیفیت انرژی را در هر تبدیل ایجاب می‌کند (قانون دوم ترمودینامیک).

کیفیت انرژی با مفهوم انتروپی توصیف می‌شود. انتروپی بالا معادل است با کیفیت پایین انرژی. بر اساس آنچه قانون دوم می‌گوید تبدیل تنها با افزایش انتروپی ممکن است. با معرفی انرژی، می‌توانیم انرژی و انتروپی را در یک زمان مورد بحث قرار دهیم و به اصطلاح با یک تیر دو نشان را بزنیم.

۲-۶-۱ کارکرد تحلیل‌های انرژی و انرژی

ترمودینامیک امکان توصیف رفتار، عملکرد و کارایی را برای تغییرات انرژی از یک فرم به فرم دیگر در یک سیستم به دست می‌دهد. تحلیل‌های رایج ترمودینامیک بر قانون اول ترمودینامیک استوار است، که قانون بقاء انرژی را بیان می‌کند. تحلیل انرژی یک سیستم تبدیل انرژی، در حقیقت محاسبه کننده انرژی‌های ورودی و خروجی است. انرژی خروجی به تولید و اتلاف قابل تقسیم است. کارایی‌ها معمولاً به عنوان نسبتی از کمیت‌های انرژی برآورد می‌شود و معمولاً برای ارزیابی و مقایسه سیستم-

های مختلف به کار می‌رود. نیروگاه‌ها، گرم کننده‌ها و سرد کننده‌ها و انباره‌های حرارتی، برای مثال، بر اساس میزان کارایی با هم مقایسه می‌شوند.

با این حال، کارایی انرژی معمولاً همراه کننده است زیرا که معیاری برای تقریب کارکرد سیستم برای رسیدن به حالت ایده‌آل نمی‌دهد. علاوه بر آن، تلفات ترمودینامیکی که در یک سیستم اتفاق می‌افتد، به معنای عواملی که عملکرد سیستم را از حالت ایده‌آل دور می‌کند، معمولاً با تحلیل انرژی نمی‌توانند به طور دقیق شناسایی و ارزیابی شوند. نتایج تحلیل انرژی می‌تواند عدم کارایی‌های عمده را در بخش‌های نادرست سیستم نشان دهد.

تحلیل انرژی امکان برطرف کردن بسیاری از نواقص و کمبودهای روش تحلیل انرژی را فراهم می‌کند. تحلیل انرژی بر پایه قانون دوم ترمودینامیک است و در شناسایی دلایل و نقاط اتلاف و مشخص کردن میزان ناکارایی بسیار مفید است. انرژی همراه با کمیت انرژی، فواید و کیفیت آن را ارزیابی کمی می‌کند. آنالیز انرژی می‌گوید که با وجود آنکه انرژی از بین نمی‌رود و به وجود نمی‌آید، اما می‌تواند در کیفیت تغییر سطح دهد و سرانجام به سطحی می‌رسد که در تعادل کامل با محیط اطراف است و بنابراین استفاده دیگری برای کار بیشتر نخواهد داشت.

در سیستم‌های ذخیره انرژی، برای مثال، آنالیز انرژی به فرد اجازه می‌دهد تا بیشینه مقدار پتانسیل انرژی ورودی را مشخص کند. این میزان حداکثری تنها زمانی حفظ و بازیافت می‌شود که انرژی فرایندی بازگشت پذیر را از سر بگذرانند. اتلاف پتانسیل برای بازیافت انرژی در جهان واقعی همیشه رخ می‌دهد، زیرا فرایندهای واقعی همیشه بازگشت ناپذیرند.

میزان جریان انرژی یک سیال، بیشترین میزان کاری است که در فرایند بازگشت به حالت محیط با تبادل حرارت و ماده با محیط اطراف به دست می‌آید. در اصل، تحلیل انرژی محدودیت‌های تئوریک تحمیل شونده به یک سیستم را با اشاره به اینکه هیچ سیستم واقعی نمی‌تواند انرژی را ذخیره کند و این‌که تنها بخشی از انرژی ورودی می‌تواند بازیافت شود، بیان می‌کند. همچنین، تحلیل انرژی

محدودیت های عملی را با ارائه میزان اتلاف به شکل اندازه مستقیم اتلاف انرژی به صورت کمی و عددی معلوم می کند.

۲-۶-۲ تعادل جرم، انرژی و انتروپی

۲-۶-۲-۱ تعادل مفهومی

یک تعادل عمومی برای یک میزان کمی در یک سیستم می تواند به شکل زیر نوشته شود [۲۱]:

$$\text{ورودی} + \text{تولید} - \text{خروجی} - \text{مصرف} = \text{ذخیره}$$

ورودی و خروجی به ترتیب به مقادیر وارد شده به سیستم و خارج شده از سیستم بازمی گردد. تولید و مصرف به ترتیب به مقادیر تولید شده و مصرف شده توسط سیستم مربوط است. میزان ذخیره نیز کمیت مانده را (مثبت و یا منفی) برای سیستم نشان می دهد.

نسخه‌هایی از رابطه تعادل عمومی بالا می تواند برای جرم، انرژی، انتروپی و انرژی نوشته شود. ماده و انرژی، به عنوان موضوع قوانین بقاء، نمی توانند تولید و یا مصرف شوند. در نتیجه، رابطه تعادل عمومی برای هر کدام از این کمیت ها به شکل زیر نوشته می شود:

$$\text{جرم ورودی} - \text{جرم خروجی} = \text{انباشتگی جرم}$$

$$\text{انرژی ورودی} - \text{انرژی خروجی} = \text{انباشتگی انرژی}$$

پیش از ارائه رابطه تعادل برای انرژی، خوب است که بدانیم این کمیت ها برای انتروپی به این صورت خواهد بود:

$$\text{انتروپی ورودی} + \text{انتروپی تولید شده} - \text{انتروپی خروجی} = \text{انباشتگی انتروپی}$$

انتروپی در طی روند یک فرایند بر اساس تغییرناپذیری تولید می شود، اما نمی تواند مصرف شود.

این روابط تعادل توضیح می‌دهند که در طی یک فرایند در یک سیستم بین دو لحظه از زمان چه اتفاقی می‌افتد. برای یک چرخه کامل فرایند که وضعیت آغازین و پایانی سیستم یکسان است، میزان انباشتگی برای تمام روابط تعادل صفر است.

۲-۶-۳ اگزرژی سیستم‌ها و جریان‌ها

۲-۶-۳-۱ اگزرژی یک سیستم بسته

اگزرژی یک سیستم بسته ی جرم ، یا اگزرژی غیر جریانی^۱، به این صورت می‌تواند بیان شود:

$$E \quad (۴۵-۲)$$

که در آن

$$Ex_{pot} = PE \quad (۴۶-۲)$$

$$Ex_{kin} = KE \quad (۴۷-۲)$$

$$Ex_o = \sum_i (\mu_{io} - \mu_{i00}) N_i \quad (۴۸-۲)$$

$$Ex_{non-flow} = (U - U_0) + P_0(V - V_0) - T_0(S - S_0) \quad (۴۹-۲)$$

که در آن سیستم دارای دمای T ، فشار P ، پتانسیل شیمیایی μ_i ، انترپی S ، انرژی E ، حجم V و تعداد مول N_i برای جز i است. سیستم در یک محیط فرضی در یک وضعیت پایدار با خواص شدتی T_0 ، P_0 ، S_0 ، μ_{i00} است. کمیت μ_{io} مقدار μ را در وضعیت محیطی مشخص می‌کند مفاهیم سمت راست معادله (۴۵-۲) به ترتیب نشاد هندهی بخش های فیزیکی، شیمیایی، جنبشی و پتانسیل اگزرژی بی جریان سیستم هستند.

^۱ Non-flow exergy

اگرژی Ex خاصیتی از سیستم و محیط فرضی است که می توان آن را ترکیب خواص شدتی و خواص مقداری سیستمی با خواص شدتی محیط دانست.

اگرژی فیزیکی غیر جریانی، بیشینه کار قابل دستیابی است که از سیستمی طی رسیدن به وضعیت محیطی به دست می آید (یعنی تعادل حرارتی و مکانیکی با محیط). اگرژی شیمیایی غیر جریانی بیشینه کار قابل دستیابی است که از یک سیستم طی رسیدن به میرایی به دست می آید.

۲-۳-۶-۲ اگرژی جریان ها

اگرژی گردش جریان ماده Ex_{flow} برابر است با مجموع اگرژی بی جریان و اگرژی وابسته به گردش کار جریان (با ارجاع به P) یعنی:

$$E \quad (50-2)$$

به صورت دیگر، می توان Ex_{flow} را با معادله ۲-۴۵ برای بخش های فیزیکی، شیمیایی، جنبشی و پتانسیل آن تعریف کرد [۲۱]:

$$Ex_{flow} = Ex_{ph} + Ex_o + Ex_{kin} + Ex_{pot} \quad (51-2)$$

که در اینجا:

$$Ex_{pot} = PE \quad (52-2)$$

$$Ex_{kin} = KE \quad (53-2)$$

$$Ex_o = \sum_i (\mu_{io} - \mu_{ioo}) N_i \quad (54-2)$$

$$Ex_{non-flow} = (H - H_o) - T_o (S - S_o) \quad (55-2)$$

یک جرم کنترل را در نظر بگیرید، در ابتدا در وضعیت مرده، که در حجم ثابتی در تعامل با سیستم دیگری گرم یا سرد شده است. حرارت انتقال یافته‌ی جرم کنترل Q است. جریان انرژی وابسته به انتقال گرما Q با Ex_Q نشان داده می‌شود و می‌تواند به این صورت تعریف شود [۲۱]:

$$(۵۶-۲)$$

$$E$$

که در اینجا δQ انتقال حرارت زیاد شونده، و انتگرال از حالت اولیه t تا حالت نهایی f است. این انرژی حرارتی کمینه کار مورد نیاز سیستم مرکب از جرم کنترل و محیط برای درآوردن جرم کنترل از وضعیت مرده به وضعیت نهایی است.

عموما کمیت بی‌داخل پراگنده این معادله "ضریب دمای انرژی‌ژتیک" نامیده می‌شود و τ را مشخص می‌کند:

$$(۵۷-۲)$$

$$\tau$$

$$(۵۸-۲)$$

$$E$$

انتقال انرژی‌ژتیک وابسته به کار انجام شده توسط سیستم بر اساس تغییر حجم همان کار قابل استفاده شبکه بر اساس میزان تغییر حجم است، و با W_{net} نشان داده می‌شود.

$$(W_{net})_{1,2} = W_{1,2} - P.(V_2 - V_1) \quad (۵۹-۲)$$

که در آن $W_{1,2}$ کار انجام شده توسط سیستم بر اساس تغییر حجم $(V_2 - V_1)$ است. عبارت $P.(V_2 - V_1)$ کار جابجایی لازم برای تغییر حجم در برابر فشار ثابت P اعمال شده توسط محیط است.

همانند آنچه در کار شفت وجود دارد، انرژی‌ژتیک وابسته به الکتریسیته برابر با انرژی است.

برای یک فرایند که در یک سیستم اتفاق می افتد، تفاوت بین انرژی کل که در داخل و خارج سیستم جریان دارد، منهای مقدار انباشتگی انرژی، میزان مصرف انرژی خواهد بود.

$$I \quad (۶۰-۲)$$

معادله (۶۰-۲) نشان می دهد که مصرف انرژی با میزان تولید انرژی متناسب است.

۴-۶-۲ روند تحلیل انرژی و انرژی

یک روند ساده برای انجام تحلیل های انرژی و انرژی این مراحل را شامل می شود:

- فرایند فرضی را به قسمت های کوچکتر به تعداد دلخواه، بر اساس میزان عمق جزییات و سطح اطلاعاتی که می خواهید از تحلیل بگیرید تقسیم کنید.
- قاعده توازن جرم و انرژی را بر روی فرایند اعمال کنید و تمام کمیت های مبنا (مانند کار و گرما) و ویژگی های اولیه (مانند دما و فشار) را معین کنید.
- بر اساس طبیعت فرایند، میزان پیچیدگی و دقت تحلیل و پرسش هایی که به دنبال پاسخشان هستید، یک مدل محیطی مرجع انتخاب کنید.
- به نسبت مدل محیطی مرجع، مقدار انرژی و انرژی را تخمین بزنید.
- توازن انرژی را اعمال کنید به طوری که میزان مصرف انرژی را مشخص کند.
- نتایج را تفسیر (داده پردازی) و نتیجه گیری و پیشنهادات مناسب را ارائه کنید، مانند تغییرات طراحی، اصلاحات واحد و غیره.

۵-۶-۲ مفاهیم نتایج تحلیل های انرژی

نتایج تحلیل های انرژی فرایندها و سیستم ها دلالت های مستقیمی بر روی تصمیمات کاربری و نیز بر روی جهت گیری تحقیقات و توسعه (R&D) دارد.

گذشته از آن، تحلیل های اگزرژی نسبت به تحلیل های انرژی دید بهتری برای "بهترین" جهت گیری های R&D فراهم می کند. در اینجا، "بهترین" برای "متعهدترین حالت برای به دست آوردن بهترین کارایی" به کار گرفته شده است. دو دلیل عمده برای این مطلب وجود دارد:

۱. اتلاف های اگزرژی، اتلاف های حقیقی پتانسیلی را نشان می دهد که برای تولید محصول مطلوب از ورودی محرک وجود دارد. این مسئله عموماً برای اتلاف های انرژی درست نیست. بنابراین، اگر هدف افزایش کارایی است، تمرکز بر روی اتلاف اگزرژی به R&D اجازه می دهد که بر روی کاهش اتلافی که بر هدف تاثیر می گذارد متمرکز شوند.

۲. کارایی های اگزرژی همیشه معیاری برای درک اینکه عملکرد یک سیستم چقدر به دستیابی به حالت ایده آل یا حد بالاتری از نظر تئوری نزدیک است، فراهم می کند. که این عموماً در مورد کارایی های انرژی صدق نمی کند. با تمرکز تلاش های R&D بر روی بخش هایی از سیستم یا فرآیندهایی با کارایی اگزرژی پایین تر، تلاش ها به سوی نقاطی جهت گیری می شود که بیشترین تاثیر را بر روی بهبود کارایی دارد. از طرف دیگر، با تمرکز بر روی کارایی های انرژی، ممکن است تلاش های R&D بر روی موضوعاتی گسترش یابد که حتی از نظر تئوری، تفاوت کمی در بهبود کارایی ایجاد می کنند.

۲-۶-۶ تحلیل اگزرژی کلکتور خورشیدی

برای کلکتور خورشیدی جریان اگزرژی آب ورودی و خروجی و همچنین جریان اگزرژی ورودی تشعشع خورشیدی به کلکتور و همچنین اگزرژی اتلافی از کلکتور را مورد ملاحظه قرار می دهیم. تخریب اگزرژی از رابطه زیر محاسبه می شود [۲۲]:

$$EX_{w,in} - EX_{w,out} + EX_{rad} - EX_{loss} = EX_{dest} \quad (۲-۶۲)$$

برای محاسبه اگزرژی ورودی تشعشع خورشیدی رابطه زیر را داریم:

$$EX_{rad} = A I_t \left(1 - \frac{T_a}{T_{sun}}\right) \quad (۶۳-۲)$$

و همچنین اتلاف اگزرژی متناظر با اتلاف حرارتی کلکتور از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$EX_{loss} = U_L A (T_p - T_a) \left(1 - \frac{T_a}{T_p}\right) \quad (۶۴-۲)$$

در رابطه (۶۵-۲) دمای خورشید ۴۵۰۰ درجه کلوین تخمین زده می‌شود [۲۳] و بازده اگزرژی از رابطه (۶۵-۲) محاسبه می‌شود:

$$\eta_{ex} = \frac{EX_{w,out} - EX_{w,in}}{EX_{rad}} = \frac{\dot{m} c_p ((T_o - T_i) - T_a \ln(\frac{T_o}{T_i}))}{EX_{rad}} \quad (۶۵-۲)$$

۷-۶-۲ تحلیل اگزرژی تانک ذخیره

تحلیل اگزرژی تفاوت‌ها را در دمای انباره تشخیص می‌دهد، حتی برای TES های دارای مقدار انرژی معادل و به صورت کمی میزان اتلاف را بر اساس افت دمای انباره نسبت به دمای محیط و اختلاط سیالات با دمای متفاوت معین می‌کند. این مزایای اگزرژی نسبت به روش های انرژی مشخصا برای انباره های لایه بندی شده اهمیت دارند، زیرا این انباره‌ها تغییرات دمایی درونی مقطعی از خود نشان می‌دهند. جلوگیری از اختلاط از طریق لایه بندی دمایی مناسب، مفید خواهد بود. مدیریت دقیق تزریق، بازیافت و حفظ گرما (یا سرما) به جهت پیشگیری از افت لایه بندی عملکرد بهتری در چرخه ذخیره سازی به دست می‌دهد.

در این بخش به مفاهیم اگزرژی انباره‌های لایه بندی پرداخته می‌شود.

۲-۶-۷-۱ معادلات عمومی انرژی و انرژی TES لایه بندی شده

انرژی E_x در یک TES می تواند با انتگرال از کل جرم m سیال-انباره در TES به دست آید:

$$E \quad (۶۶-۲)$$

که در اینجا e_x انرژی مخصوص است. برای یک مایع ایده آل، e_x فقط تابعی از دماست و می توانند به این شکل بیان شود:

$$e \quad (۶۷-۲)$$

دنسر [۳] در ادامه برای محاسبه انرژی تانک ذخیره لایه ای معادله زیر را پیشنهاد داده است:

$$E_x - E_{x_m} = mc_p T \ln(T_m/T_e) \quad (۶۸-۲)$$

E_x, E_{x_m} به ترتیب انرژی میانگین تانک و انرژی تعداد تانک بر حسب KJ هستند و T_m, T_e دمای تعادل و میانگین هستند.

دمای تعادل به دمایی گفته می شود که در آن تانک ذخیره مخلوط شده، به اندازه تانک طبقه ای شده، انرژی دارد. در حالتی که تانک ذخیره کاملاً مخلوط شده باشد، دمای میانگین و تعادل با هم برابرند. برای محاسبه دمای میانگین و تعادل چندین مدل بر اساس توزیع های دمایی مختلف وجود دارد. در این پژوهش از روش توزیع دمای خطی استفاده شده است.

۲-۶-۷-۲ مدل های توزیع دمایی و روابط وابسته

چهار مدل توزیع دمایی لایه بندی شده در نظر گرفته می شود: خطی (که با بالا نویس L مشخص می شود)، پله ای (S)، خطی ممتد (C)، عمومی سه زونی (T). برای هر مدل، توزیع دمایی به عنوان تابعی از ارتفاع داده می شود و روابط برای T_m و T_e به دست می آید. توزیع های دمایی فرض شده به اندازه کافی ساده هستند که اجازه دهند مقادیر انرژی و انرژی به صورت تحلیلی به دست آیند و در

عین حال آنقدر پیچیده هستند که نسبتاً واقعی باشند. شکل ۲-۹ یک انباره لایه بندی شده عمودی با توزیع دمایی خطی را نشان می‌دهد. در این تحقیق برای این منظور از رابطه خطی دمایی استفاده شده است، که بر آن اساس این دماها از فرمول‌های زیر بدست می‌آیند [۳]:

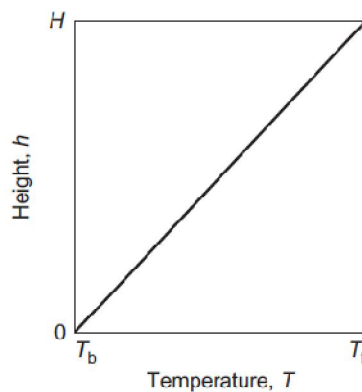
$$T_m = \frac{T_t + T_b}{2} \quad (2-69)$$

$$T \quad (2-70)$$

T_t دمای بالای تانک و T_b دمای پایین تانک بر حسب K هستند.

که در نهایت بازده اگزرژی سیستم بعد از تانک ذخیره (بازده سیستم خورشیدی)، به صورت زیر تعریف می‌شود [۱]:

$$\eta \quad (2-71)$$



شکل ۲-۹ یک انباره لایه بندی شده عمودی با توزیع دمایی خطی [۲۱]

فصل سوم

معرفی مختصر چیلر جذبی، آبگرمکن و الگوهای مصرف

۳-۱-۱ آشنایی مختصر با سیستم‌های سرمایش خورشیدی

۳-۱-۱-۱ انواع سیستم‌های سرمایش جذبی

سیستم‌های سرمایشی جذبی بر اساس جذب و نگهداری رطوبت به وسیله ماده‌ای به نام نمک عمل می‌کنند. نمک‌ها مواد جاذبی هستند که توانایی جذب و نگهداری گازها و مایعات دیگر را دارند. در ذیل انواع سیستم‌های سرمایش جذبی بطور مختصر معرفی می‌شوند.

۳-۱-۲ سیستم جذبی لیتییم بروماید و آب

در این سیستم لیتییم بروماید ماده جاذب آب است و آب ماده مبرد می‌باشد. لیتییم بروماید نمکی است که قابلیت بسیار زیادی در جذب و دفع بخار آب دارد. سیستم جذبی لیتییم بروماید و آب در سال ۱۹۴۵ وارد بازار گردید و در سال ۱۹۸۱ کریدر^۱ و کریت^۲ سیستم جذبی لیتییم بروماید خورشیدی را معرفی کردند [۱۷]. از آنجایی که در این سیستم ماده مبرد آب است باید فشار نقاط مختلف به مقدار زیادی پایین بیاید تا آب در دمای پایین تبخیر شود. این سیستم برای استفاده در یخچال‌ها که به دمای بسیار پایین نیاز دارند مناسب نیست و همچنین به دلیل بالا بودن گرمای نهان آب که در فشارهای پایین بیشتر است، برای ایجاد بار برودتی بالا مناسب می‌باشد، به همین دلیل این سیستم برای استفاده در تهویه مطبوع ساختمان‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. این سیستم‌ها با انرژی گرمایی در محدوده حدودی ۷۵ تا ۹۵ درجه سلسیوس برای سیستم‌های تک اثره کار می‌کنند که در این صورت استفاده از کلکتورهای خورشیدی برای تحریک آنها مناسب می‌باشد [۱۱].

۳-۱-۳ سیستم جذبی آمونیاک و آب

در این سیستم آمونیاک سیال مبرد و آب ماده جاذب می‌باشد، به دلیل اینکه آب قابلیت جذب خوبی را برای آمونیک دارا می‌باشد. آمونیاک به دلیل داشتن فشار بخار بالا در مواردی که به دمای زیر صفر درجه احتیاج است مورد استفاده قرار می‌گیرد. سیستم تبرید جذبی آمونیاک و آب توسط فردیناند

^۱ Creder

^۲ Criet

کاری^۱ فرانسوی برای اولین بار معرفی شد، در عرض چند سال ماشین‌هایی بر مبنای سیکل جذبی آمونیاک و آب در ایالات متحده ساخته شدند که عمدتاً در یخ سازی و نگه داری مواد غذایی بکار می‌رفتند، این سیستم‌ها برای جلوگیری از ورود آب به تبخیر کننده نیاز به یکسو کننده دارند و هم چنین دمای مورد نیاز ژنراتور بالاست که استفاده از کلکتورهای خورشیدی رایج را برای تحریک این نوع سیستم جذبی محدود می‌سازد.

۳-۱-۴ سیستم جذبی جامد

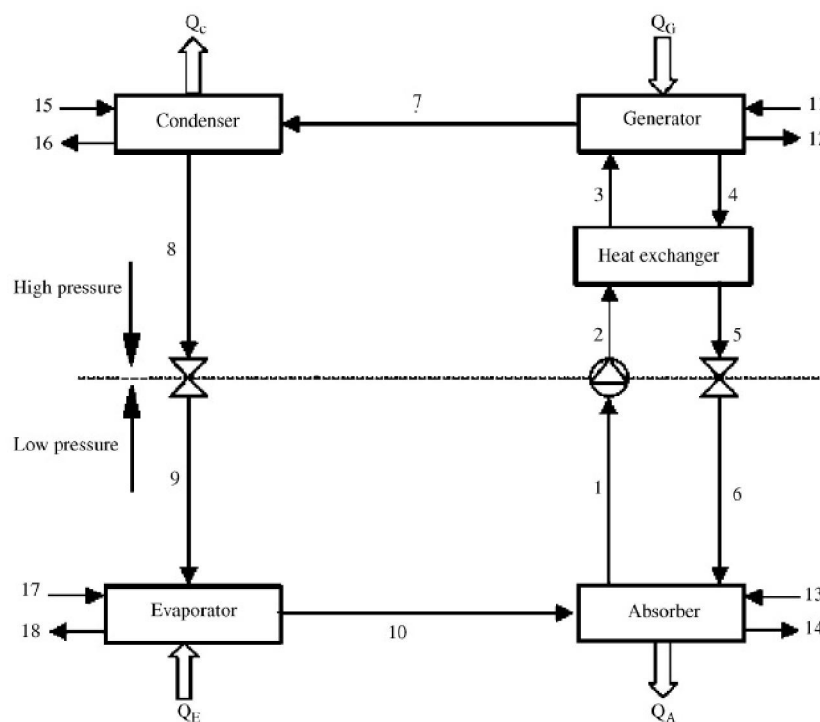
در این سیستم ماده جاذب بصورت جامد است. ساختار این سیستم کمی با دو سیستم قبلی متفاوت است بدین صورت که در این سیستم ماده جاذب در دو قسمت جداگانه قرار داده می‌شود، در یکی از آنها با عمل حرارت دادن ماده مبرد جذب شده آزاد می‌شود و در قسمت دوم ضمن از دست دادن حرارت ماده مبرد جذب ماده جاذب می‌گردد. مواد جاذب تنها می‌توانند مقادیر معینی ماده مبرد را در خود نگه دارند و پس از مدتی قسمت جذب کننده از مبرد اشباع می‌شود و قسمت آزاد کننده از مبرد خالی می‌شود. با توجه به این الگو بایستی در مدت زمان‌های مشخص جای این دو قسمت با هم عوض شود تا امکان ادامه عملیات وجود داشته باشد.

از میان موارد فوق دو سیستم جذبی لیتییم بروماید و آمونیاک متداول هستند. در این تحقیق سیستم جذبی لیتییم بروماید و آب مورد بررسی قرار می‌گیرد، البته دو سیستم جذبی دیگر عملکردی بسیار مشابه با این سیستم دارند و اختلاف عمده در نوع مواد جاذب و جذب کننده است.

۳-۱-۵ سیکل جذبی لیتییم بروماید و آب

در زیر تصویر شماتیکی سیستم جذبی تک اثره لیتییم بروماید و آب نشان داده شده است [۲۴]:

^۱ Ferdinand Cari



شکل ۱-۳ طرح شماتیکی چیلر جذبی تک مرحله‌ای لیتییم بروماید و آب

مطابق شکل ۱-۳ سیستم از چهار جز اصلی اواپراتور، ایزربر، ژنراتور و کندانسور تشکیل شده است که مبادلات حرارتی با خارج در آنها صورت می‌گیرد و معمولاً یک مبدل حرارتی بین محلول غلیظ دما بالای خروجی از ژنراتور و محلول رقیق دما پایین ورودی به ژنراتور تعبیه می‌شود، در این مبدل حرارت از محلول غلیظ به محلول رقیق منتقل شده و باعث بهبود عملکرد سیستم می‌شود. با توجه به شکل ۱-۳ در نقطه ۱ محلول از لحاظ مبرد قوی است و پمپ در نقطه ۲ محلول لیتییم بروماید و آب را پس از عبور از مبدل حرارتی در نقطه ۳ به ژنراتور می‌فرستد، در ژنراتور انرژی گرمایی به محلول داده می‌شود و مبرد (آب) با جوشیدن از محلول لیتییم بروماید و آب جدا می‌شود و بر اثر افزایش حجم آن، فشار مبرد و در نتیجه فشار ژنراتور بالا می‌رود. بخار آب در نقطه ۷ به کندانسور جریان می‌یابد که در آنجا بوسیله تقطیر مبرد گرما به محیط دفع می‌شود، مایع تقطیر شده در نقطه ۸ از یک شیر انبساط عبور کرده، دچار کاهش فشار شده و در نقطه ۹ به اواپراتور وارد می‌شود، در اواپراتور مبرد گرما را از محیط دریافت می‌کند (تولید برودت) و تبخیر می‌شود و سپس این بخار وارد جذب کننده می‌شود و سیکل ادامه پیدا می‌کند. در نقطه ۳ محلول خروجی از ژنراتور که در اثر گرما مبرد از

دست داده وارد مبدل حرارتی شده و با دفع حرارت به محلول رقیق کاهش دما پیدا کرده و بعد از عبور از یک شیر انبساط جریان، فشار آن کاهش پیدا کرده و وارد ابرزبر می شود تا مجددا بخار مبرد را جذب کند و بدین ترتیب سیکل جذبی کامل می شود [۲۵].

در این سیستم دو سیال بکار می رود که لیتییم بروماید سیال جاذب و آب سیال مبرد می باشد. در سیکل جذبی وقتی ماده جاذب، بخار مبرد را در ابرزبر جذب می کند باعث بالا رفتن دمای محلول می شود که این حرارت توسط یک آب خنک (معمولا با استفاده از برج خنک کن) دفع می گردد. در سیستم های جذبی پمپ تنها بخشی است که احتیاج به کار مکانیکی دارد و پس از جذب حجم زیادی از مبرد در جذب کننده فشار محلول توسط پمپ بالا رفته و وارد ژنراتور می شود. چون مبرد در این سیستم ها آب است بنا براین فشار اواپراتور باید آنقدر پایین باشد تا آب در دماهای پایین تبخیر شود.

هر یک از اجزای چیلر جذبی به عنوان یک مبدل حرارتی در نظر گرفته می شوند، کندانسور معمولا متشکل از مجموعه لوله افقی است که آب خنک ورودی از برج خنک کن داخل لوله جریان دارد و بخار آب ورودی از ژنراتور در سطح خارجی لوله تقطیر می شود. ژنراتور نیز مجموعه لوله افقی است که آب گرم ورودی محرک چیلر جذبی داخل لوله جریان داشته و محلول لیتییم بروماید و آب در سطح خارجی لوله ها جریان دارند و مبرد با گرفتن گرما از آب گرم تبخیر می شود. همچنین مبدل حرارتی محلول به صورت دو لوله هم مرکز بوده که محلول سرد درون لوله داخلی و محلول گرم در فضای بین دو لوله جریان دارد. ابرزبر به صورت مجموعه لوله عمودی است که در داخل لوله آب خنک ورودی از برج خنک کن جریان داشته و فیلم محلول لیتییم بروماید و آب بر سطح خارجی لوله به سمت پایین حرکت می کند و بخار ورودی از اواپراتور را جذب می نماید. اواپراتور نیز به صورت مجموعه لوله عمودی است که آب ورودی از کندانسور در سطح خارجی لوله تبخیر شده و گرما را از آب داخل لوله می گیرد و آب سرد تولید شده در لوله برای تولید برودت بکار گرفته می شود [۲۶].

۳-۱-۶ مزایا و معایب سیستم جذبی لیتیم بروماید-آب

مزایا و معایب این سیستم‌ها را می‌توان به صورت زیر جمع بندی کرد [۲۷]:

مزایا:

۱. ماده مبرد آنها ارزان، فراوان و بی اثر است.

۲. گرمای نهان تبخیر ماده مبرد بالا است، از اینرو می‌تواند مقدار قابل توجهی برودت تامین کند.

۳. ماده جاذب آنها تبخیر شدنی نیست، از اینرو دیگر نیاز به جداسازی ماده مبرد از ماده جاذب

نیست.

معایب:

۱. این دستگاه‌ها در سیستمهای تبرید (دماهای زیر صفر درجه سلسیوس) قابل استفاده نیستند.

۲. در این دستگاه‌ها پدیده کریستالیزاسیون مشکل ساز است، به دلیل مشکلاتی که این پدیده

ایجاد می‌کند بایستی از اپراتورهای با تجربه و متخصص برای بهره برداری از این سیستم‌ها استفاده

کرد که موجب افزایش هزینه می‌گردد.

۳. این دستگاه‌ها تحت خلاء کار می‌کنند، از اینرو امکان دارد به مرور زمان هوا وارد این سیستم‌ها

شود که سبب بالا رفتن فشار سیستم و در نتیجه پایین آمدن کارایی آن می‌گردد، بنابراین ضمن نیاز

به تکنولوژی ساخت پیشرفته باید به تجهیزات تخلیه هوا نیز مجهز باشند.

۳-۲ آشنایی مختصر با انواع آب گرمکن‌های خورشیدی

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^۱، هوا) که از میان کلکتورها می‌گذرد، جذب می‌شود. این گرما می‌تواند ذخیره شود یا بطور مستقیم به کار رود. چون بخش‌های اصلی سیستم انرژی انرژی خورشیدی در معرض شرایط آب و هوایی قرار دارد، این بخش‌ها باید از یخ‌زدگی^۲ و گرم شدن بیش از حد^۳ 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^۴، که در آن آب آشامیدنی به طور مستقیم در کلکتورها گرم می‌شود.

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

سیستم‌ها همچنین با توجه به روش انتقال حرارت متفاوتند:

- سیستم‌های طبیعی (یا غیر فعال^۶)
- سیستم‌های گردش اجباری (یا فعال^۷)

^۱ Non – freezing liquid

^۲ freezing

^۳ overheating

^۴ Open loop systems

^۵ Closed loop systems

^۶ Passive system

^۷ Active system

جدول ۳-۱- سیستم‌های گرمایش آب خورشیدی [۱۹]

سیستم‌های غیر فعال	سیستم‌های فعال
ترموسیفون (مستقیم یا غیر مستقیم) سیستم‌های یکپارچه کلکتوری ذخیره ساز (انفعالی)	سیستم‌های گردش مستقیم (یا فعال حلقه باز) سیستم‌های گردش غیر مستقیم (یا فعال حلقه بسته)، مبدل حرارتی داخلی و خارجی سیستم‌های هوایی سیستم‌های پمپ حرارتی سیستم‌های گرمایش استخر^۱

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 ترموستات‌های دیفرانسیلی، کنترل می‌شوند. بعضی از سیستم‌ها همچنین یک مبدل حرارتی سمت بار^۲ را بین جریان آب آشامیدنی و تانک آب گرم به کار می‌برند.

^۱ Pool heating system

^۲ Load – side heat exchanger

هفت نوع سیستم انرژی خورشیدی برای گرمایش آب گرم مورد نیاز در کاربردهای خانگی و سیستم-های سرویس دهنده^۱، همانطوری که در جدول ۳-۱ نشان داده شده است، به کار می‌روند. سیستم-های 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^۲، تخلیه از پایین^۳ برای سیستم‌های گرمایش آب خورشیدی مستقیم و تخلیه از پشت^۴ برای سیستم‌های گرمایش آب خورشیدی 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.

۳-۳ مصرف آب گرم

در اغلب مکان‌ها گرمایش آب دومین مورد پر مصرف از نظر انرژی است، حتی در بعضی از عملکردها در مناطق آب و هوایی خاصی، گرم کردن آب بیشترین مصرف انرژی در ساختمان را داراست. علاوه بر این دسترسی سریع به مقدار مناسب از آب گرم یکی از عوامل اصلی رضایتمندی ساکنان است. پس میزان مصرف آب و اتلاف انرژی هر دو تاثیر مهمی بر طراحی سیستم‌های تامین آب گرم دارند و طراحی صحیح سیستم و استراتژی مصرف می‌تواند باعث کاهش هزینه‌های اولیه و جاری شود.

^۱ Service hot water

^۲ recirculating

^۳ Drain - down

^۴ Drain - back

۳-۳-۱ مولفه‌های سیستم

یک سیستم آب گرم دارای مولفه‌های زیر است [۲۸]:

۱. یک یا چند منبع انرژی

۲. ابزارهای انتقال حرارت

۳. سیستم توزیع

۴. وسائل مصرف آب گرم

منابع انرژی می‌توانند به صورت زیر باشند:

۱. سوخت‌های فسیلی

۲. انرژی الکتریکی

۳. انرژی خورشیدی

۴. زمین گرمایی

۵. انرژی بازیافتی از سیستم‌هایی مثل تهویه مطبوع، سیکل‌های تبرید و

ابزارهای انتقال حرارت به سه دسته، مستقیم، غیر مستقیم و یا ترکیبی از هر دو این‌ها تقسیم می‌شود. ابزارهای مستقیم، حرارت خود را از احتراق سوخت یا تبدیل مستقیم انرژی الکتریکی به حرارتی دریافت می‌کنند. برای سیستم‌های غیر مستقیم، انرژی از بویلر، جمع‌آوری انرژی خورشیدی، انرژی زمین گرمایی یا سایر شکل‌های انرژی طبیعی تامین می‌شود و سپس به وسیله ابزارهایی به آب منتقل می‌شود. تانک ذخیره یکی از این ابزارهاست.

سیستم توزیع، آب گرم تولید شده توسط وسائل گرمایشی را به وسائل مصرف آن می‌رساند.

وسائل مصرف همانطور که از اسمشان پیداست، مصرف کننده آب گرم هستند که بسته به نوع عملکرد و الگوی مصرف، رفتار مصرفی متفاوتی دارند.

۳-۳-۲ دمای مورد نیاز

دمای مورد نیاز برای برخی از مصارف در جدول ۳-۱ آمده است. دمای آب ۶۰ ، غلظت دود را در وسائل حداقل می سازد.

۳-۳-۳ مکان آب گرمکن

بسیاری از آب گرمکن در سال‌های پایانی عمر مفید خود، شروع بخ نشت کردن می‌کنند، آن‌ها باید در مکانی قرار بگیرند که این نشت احتمالی باعث خسارت نشود، از طرف دیگر انوعی که نیازی به هوای احتراق ندارند یافتن مکان مناسب برای آن‌ها جز در مورد ایمن بودن شیر تخلیه، سخت نخواهد بود. اما در صورت نیاز به هوای احتراق، باید جایشان در مکانی انتخاب شود دسترسی کافی به هوا داشته باشد.

۳-۳-۴ تقاضای آب گرم و اندازه وسائل ذخیره سازی

روش‌های متنوعی برای تعیین اندازه مقادیر ذخیره سازی آب گرم وجود دارد، همه این روش‌ها با صلاحدید طراح آب گرم لازم را برای شرایط پیش بینی نشده فراهم می‌سازند. بزرگترین مشکل زراعی سیستم‌های آب گرم ناشی از مشخص نبودن میزان بار طراحی آب گرم است، این مشکل به خصوص برای ساختمان‌هایی که هنوز ساخته نشده اند، وجود دارد. برای تعیین این مورد باید مقادیر مصرف و تعداد وسائلی که در ساختمان به آب گرم نیاز دارند را بدانیم. در ادامه این موارد را برای مصارف مختلف بررسی می‌کنیم.

جدول ۳-۲ دمای آب گرم مورد نیاز برای فعالیت‌های مختلف [۲۸]

کاربرد	دما
روشویی	
شستن دست	۴۰
اصلاح صورت	۴۵
دوش‌ها و وان‌ها	۴۳
استخر شنای سر پوشیده برای مصارف درمانی	۳۵
رختشوی خانه صنعتی یا تجاری	تا ۸۲
رختشویی و ظرفشویی خانگی	۶۰
تمیز کاری بعد جراحی	۴۳
ظرفشویی های پاششی تجاری	
مدل ثابت یک یا چند تانکه	
شستشو	۶۵ دقیقه
آب کشی نهایی	۸۲ تا ۹۰
یک تانکه قابل حمل	
شستشو	۷۱ دقیقه
آب کشی نهایی	۸۲ تا ۹۰
چند تانکه قابل حمل	
شستشو	۶۵ دقیقه
آب کشی نهایی	۸۲ تا ۹۰

۳-۳-۵ بررسی الگوهای مختلف مصرف آب گرم

۳-۳-۵-۱ مصارف خانگی

جدول ۳-۳ موارد مصرف آب گرم و مقادیر هر کدام از آن‌ها را در کاربری مسکونی نشان می‌دهد.

مقادیر ارائه شده در این جدول، مقادیر حداقل برای منازل یک یا دو خانواری است.

جدول ۳-۳ میزان مصرف آب گرم برای کارهای مختلف [۲۸]

کاربرد	جریان زیاد (لیتر بر کار)	جریان کم (لیتر بر کار)	جریان بسیار کم (لیتر بر کار)
آماده کردن غذا	۱۹	۱۱	۱۱
ظرفشویی دستی	۱۵	۱۵	۱۱
ظرفشویی ماشینی	۵۷	۵۷	۱۱ تا ۳۸
لباس شستن	۱۲۱	۸۰	۱۹ تا ۵۷
حمام کردن	۷۶	۵۷	۳۸ تا ۵۷
شستن دست و صورت	۱۵	۸	۴ تا ۸

همچنین، واحد مسکن و شهرسازی آمریکا^۱، حداقل استاندارد اندازه‌ها برای خانه‌های مسکونی را برای یک ساعت دریافت کردن آب گرم مورد نیاز را به صورت اعداد جدول ۳-۳ گزارش کرده است. نرخ اولین ساعت^۲، بیشینه مقدار آب گرمی است که یک آبگرمکن می‌تواند طی یک ساعت در شرایط آزمایش تامین کند. ارقام جدول ۳-۳ برای منازل یک یا دو خانواری گزارش شده است. عامل موثر دیگر بر حجم و اندازه وسائل آبگرمکن، دمای تنظیم^۳ شده است، تعیین دمای تنظیم در حدود ۵۰ درجه سلسیوس، علاوه بر موارد فوق باعث کاهش آسیب احتمالی سوختگی ناشی از آب گرم هم می‌شود. کاهش این دما عموماً باعث افزایش بهره‌وری آبگرمکن و کاهش تلفات می‌شود و البته موجب کاهش میزان آبگرم آماده هم می‌شود.

علاوه بر این، ساختار خانواده و سبک زندگی آن، (مثل تعداد اعضای آن، سن و سال آن‌ها، وجود کودکان و سن آن‌ها و میزان آبگرم و دمای تعیین آن) موجب شکل گرفتن الگوی مصرف آبگرم و متغیر بودن آن در طول زمان هستند. شکل‌های ۲-۳ و ۳-۳ الگوی مصرف آبگرم برای همه خانوارها و خانوار نمونه را بطور میانگین و برای ضریب اطمینان ۹۵٪ نشان می‌دهند. همچنین شکل ۳-۳ الگوی

^۱ U.S Department of Housing and Urban Development

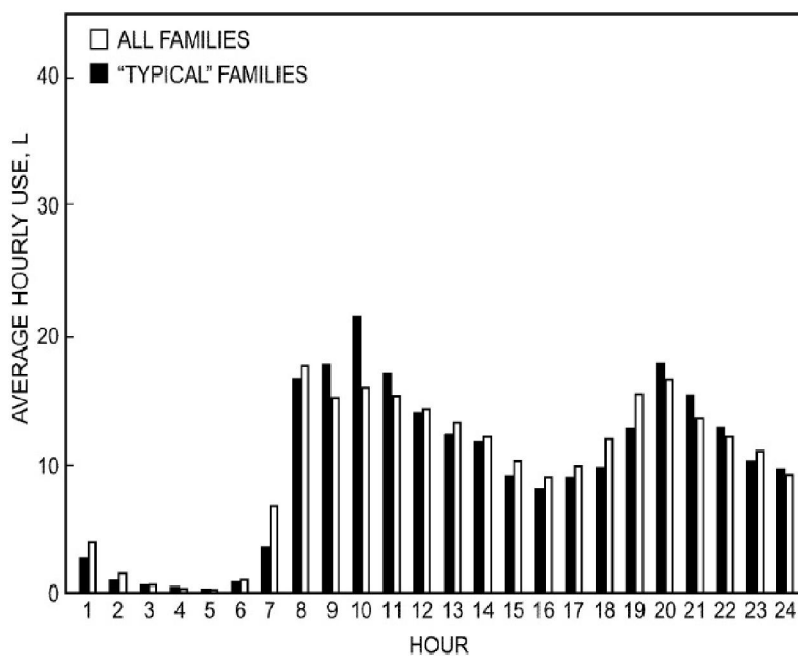
^۲ The first-hour rating (FHR)

^۳ Set Point Temperature

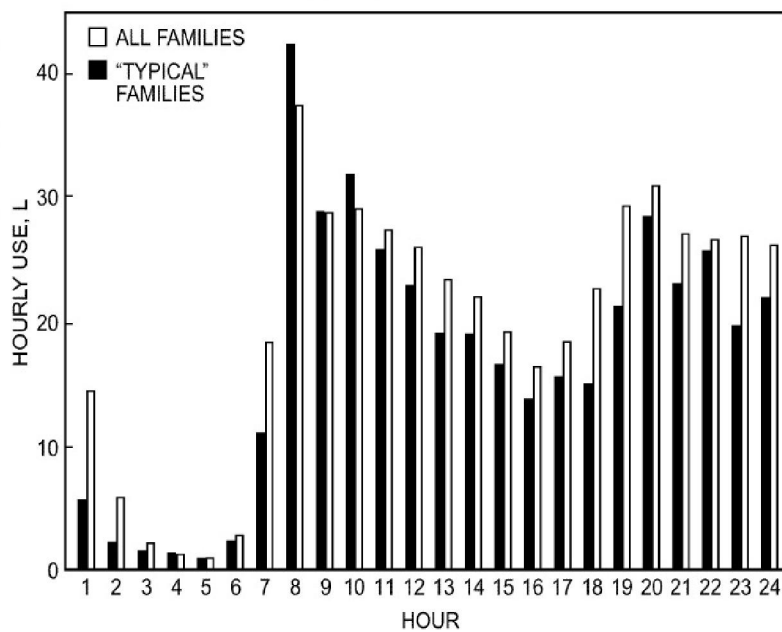
مصرف مربوط به میزان مصرف (کم مصرف و پر مصرف) و شکل ۳-۵ الگوی مصرف برای استفاده کنندگان صبحگاهی و شامگاهی را نشان می‌دهد.

جدول ۳-۴ حداقل استاندارد اندازه‌ها برای خانه‌های مسکونی یک یا دو خانواری [۲۸]

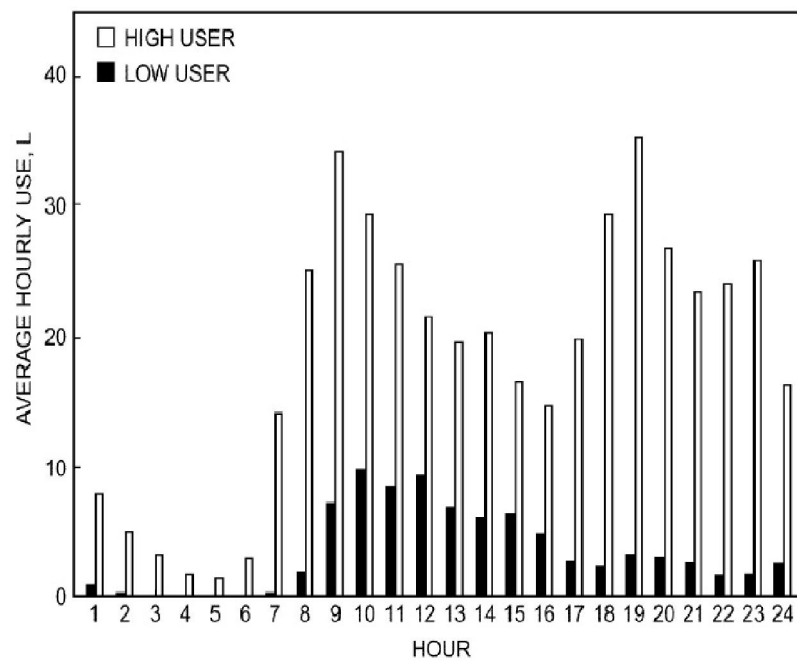
تعداد حمام				۱ تا ۱/۵				۲ تا ۲/۵				۳ تا ۳/۵			
تعداد اتاق خواب				۱	۲	۳		۲	۳	۴	۵	۳	۴	۵	۶
گاز															
تانک L				۷۶	۱۱۴	۱۱۴		۱۱۴	۱۵۰	۱۵۰	۱۹۰	۱۵۰	۱۹۰	۱۹۰	
kW ورودی				۷/۹	۱۰/۵	۱۰/۵		۱۰/۵	۱۱/۱	۱۳/۸	۱۴/۶	۱۱/۱	۱۴/۶	۱۴/۶	
درخواست برای یک L				۱۶۳	۲۲۷	۲۲۷		۲۲۷	۲۶۵	۲۷۳	۳۴۱	۲۷۳	۳۵۰	۳۵۰	
ساعت،															
بازیافت mL/s				۲۴	۳۲	۳۲		۳۲	۳۶	۴۲	۴۴	۳۴	۴۴	۴۴	
الکتریسیته															
تانک L				۷۶	۱۱۴	۱۵۰		۱۵۰	۱۹۰	۱۹۰	۲۵۰	۱۹۰	۲۵۰	۲۵۰	۳۰۰
kW ورودی				۲/۵	۳/۵	۴/۵		۴/۵	۵/۵	۵/۵	۵/۵	۵/۵	۵/۵	۵/۵	
درخواست برای یک L				۱۱/۴	۱۶۷	۲۲۰		۲۲۰	۲۷۳	۳۳۴	۳۳۴	۲۷۳	۳۳۴	۳۸۷	
ساعت،															
بازیافت mL/s				۱۰	۱۵	۱۹		۱۹	۲۳	۲۳	۲۳	۲۳	۲۳	۲۳	
نفت															
تانک L				۱۱۴	۱۱۴	۱۱۴		۱۱۴	۱۱۴	۱۱۴	۱۱۴	۱۱۴	۱۱۴	۱۱۴	
kW ورودی				۲۰/۵	۲۰/۵	۲۰/۵		۲۰/۵	۲۰/۵	۲۰/۵	۲۰/۵	۲۰/۵	۲۰/۵	۲۰/۵	
درخواست برای یک L				۳۳۷	۳۳۷	۳۳۷		۳۳۷	۳۳۷	۳۳۷	۳۳۷	۳۳۷	۳۳۷	۳۳۷	
ساعت،															
بازیافت mL/s				۶۲	۶۲	۶۲		۶۲	۶۲	۶۲	۶۲	۶۲	۶۲	۶۲	



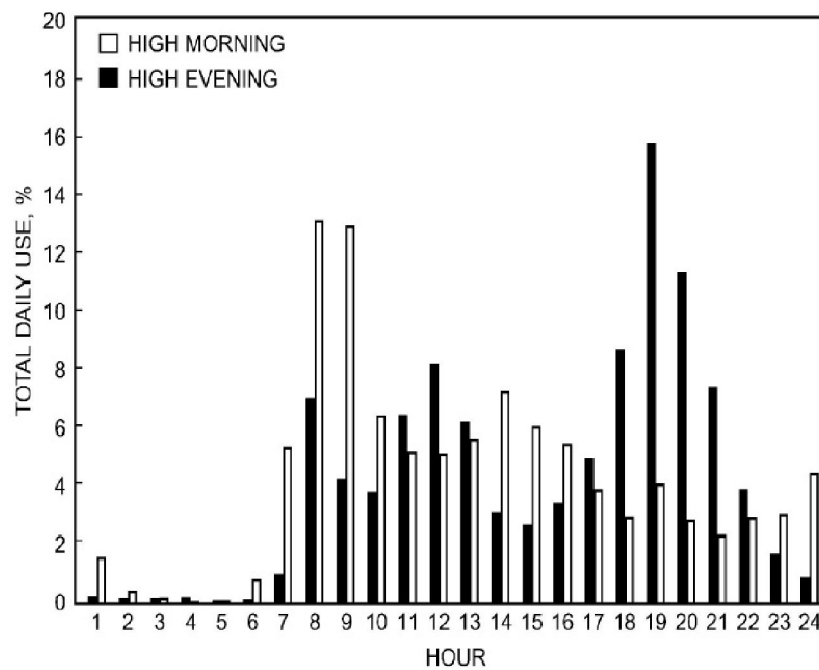
شکل ۳-۲ مقدار متوسط ساعتی مصرف آب گرم در منازل مسکونی [۲۸]



شکل ۳-۳ مقدار متوسط ساعتی مصرف آب گرم در منازل مسکونی برای ضریب اطمینان ۹۵٪ [۲۸]



شکل ۳-۴ مقدار متوسط ساعتی مصرف آب گرم برای استفاده کنندگان پر مصرف و کم مصرف [۲۸]



شکل ۳-۵ الگوی مصرف ساعتی آب گرم برای مشترکین منتخب در صبح زود و زمان غروب [۲۸]

۳-۵-۲ ساختمان های آموزشی، دولتی و بنگاه های تجاری

اغلب مراکز آموزشی، دولتی و بنگاه های تجاری، آب گرم و نیمه گرم مصرف می کنند. میزان آب گرم درخواستی آن ها بر اساس حجم نهایی، دبی جریان، طول مدت اوج مصرف و دما متغیر خواهد بود.

جدول ۳-۵ تقاضای بیشینه و تقاضای میانگین روزانه [۲۸]

نوع ساختمان	حداکثر ساعتی	حداکثر روزانه	میانگین روزانه
خوابگاه مردان	۱۴ / ۴ لیتر بر دانشجو	۸۳ / ۳ لیتر بر دانشجو	۴۹ / ۷ لیتر بر دانشجو
خوابگاه زنان	۱۹ لیتر بر دانشجو	۱۰۰ لیتر بر دانشجو	۴۶ / ۶ لیتر بر دانشجو
متل: تعداد واحدها			
۲۰ یا کمتر	۲۳ لیتر بر واحد	۱۳۲ / ۶ لیتر بر واحد	۷۵ / ۸ لیتر بر واحد
۶۰	۲۰ لیتر بر واحد	۹۴ / ۸ لیتر بر واحد	۵۳ / ۱ لیتر بر واحد
۱۰۰ یا بیشتر	۱۵ لیتر بر واحد	۵۶ / ۸ لیتر بر واحد	۳۷ / ۹ لیتر بر واحد
خانه سالمندان	۱۷ لیتر بر تعداد تخت	۱۱۴ لیتر بر تعداد تخت	۶۹ / ۷ لیتر بر تعداد تخت
اداری	۱ / ۵ لیتر بر نفر	۷ / ۶ لیتر بر نفر	۳ / ۸ لیتر بر نفر
آپارتمان مسکونی: تعداد			
آپارتمان			
۲۰ یا کمتر	۴۵ / ۵ لیتر بر آپارتمان	۳۰۳ / ۲ لیتر بر آپارتمان	۱۵۹ / ۲ لیتر بر آپارتمان
۵۰	۳۷ / ۹ لیتر بر آپارتمان	۲۷۶ / ۷ لیتر بر آپارتمان	۱۵۱ / ۶ لیتر بر آپارتمان
۷۵	۳۲ / ۲ لیتر بر آپارتمان	۲۵۰ لیتر بر آپارتمان	۱۴۴ لیتر بر آپارتمان
۱۰۰	۲۶ / ۵ لیتر بر آپارتمان	۲۲۷ / ۴ لیتر بر آپارتمان	۱۴۰ / ۲ لیتر بر آپارتمان
۲۰۰ یا بیشتر	۱۹ لیتر بر آپارتمان	۱۹۵ لیتر بر آپارتمان	۱۳۲ / ۷ لیتر بر آپارتمان
مدرسه ابتدایی	۲ / ۳ لیتر بر دانش آموز	۵ / ۷ لیتر بر دانش آموز	۲ / ۳ لیتر بر دانش آموز
مدرسه متوسطه	۳ / ۸ لیتر بر دانش آموز	۱۳ / ۶ لیتر بر دانش آموز	۶ / ۸ لیتر بر دانش آموز

آبگرمکن و سیستم آن باید بر اساس این درخواست ها انتخاب گردد. در این بخش پیشنهاداتی برای سیستم گرمایش مرکزی آب گرم ارائه می شود، همچنین اندازه های پیشنهادی برای خوابگاه ها، متل ها، خانه های سالمندان، ساختمان های اداری، سلف سرویس ها، آپارتمان ها و ساختمان های آموزشی ارائه می گردد. البته در کاربرد این پیشنهادات برای ساختمان های کوچک باید جانب احتیاط را رعایت کرد،

همچنین هر دسته پیشنهادی می‌تواند نوسانات موثری داشته باشد، به طور مثال هتل‌ها بر اساس درجه بندی و ستاره‌های آن، می‌تواند از الگوهای متفاوتی پیروی کند.

همچنین زمانی که درخواست آبگرم اضافی وجود دارد، به طور بدیهی ظرفیت بازیافت و ذخیره سازی افزایش می‌یابد، برای مثال اگر در یک ساختمان اداری سلف سرویس وجود دارد، مقدار آب گرم آن به مقدار پیشنهادی ساختمان اداری افزوده خواهد شد.

تقاضای اوج مصرف و تقاضای روزانه، برای ساختمان‌های مختلف در جدول ۳-۵ ارائه شده است. اعداد ارائه شده برای ساختمان‌های آموزشی و سلف سرویس‌ها بر اساس روزهای واقعی فعالیت آن و باقی بر اساس کل روزهای سال ارائه شده است.

۳-۳-۵-۳ خوابگاه‌ها

آب گرم مورد نیاز در خوابگاه‌های دانشجویی عموماً برای مصارفی شامل حمام، دستشویی، آشپزخانه و شستن لباس هاست و اوج مصرف معمولاً از کارکرد دوش حمام ناشی می‌شود. اطلاعات نمودار بار و الگوی مصرف ساعتی نشان می‌دهد که اوج بار ممکن است ۱ تا ۲ ساعت به طول بینجامد و اوج اکثراً در غروب و حدود نیمه شب اتفاق می‌افتد. در شکل‌های ارائه شده برای مصرف آب گرم در خوابگاه‌ها، مصرف آن در قسمت تاسیسات غذایی لحاظ نشده است.

۳-۳-۵-۴ متل‌ها

درخواست آب گرم در متل‌ها مربوط به وان‌ها، دوش‌ها و وسائل مربوط به نظافت عمومی است. مقادیر پیشنهادی برای این ساختمان‌ها بر اساس آزمایشات انجام شده در متل‌های مرتفع و کم ارتفاع در مناطق شهری، حومه آن، روستایی، بزرگراه‌ها و مکان‌های تفریحی بدست آمده است. اوج مصرف، معمولاً ناشی از دوش گرفتن و حدود ۱ تا ۲ ساعت است و بعد از آن به طور آشکاری کاهش می‌یابد. درخواست آبگرم برای سلف سرویس، لباسشویی و استخر شنا در این پیشنهادات گنجانده نشده است.

۳-۳-۵-۵ خانه سالمندان

در این نوع ساختمان‌ها آب گرم برای دوش‌ها، وان‌ها، لکن‌ها شستشو، وسائل آشپزخانه و نظافت عمومی لازم است. در شکل‌های مربوط به خانه سالمندان، مقادیر آب گرم استفاده شده در آشپزخانه هم در نظر گرفته شده است، اما زمانی که سایر لوازم مثل لباسشویی، وسائل آب درمانی به کار گرفته می‌شوند، مقدار آب گرم لازم برای آنان باید به مقدار پیشنهادی اضافه شود.

۳-۳-۵-۶ ساختمان‌های اداری

مصرف آب گرم در این ساختمان‌ها بیشتر برای مصارفی چون نظافت و دستشویی توسط کارمندان و مراجعان است. آب گرم مصرفی در بخش غذایی در این اعداد نیامده است.

۳-۳-۵-۷ موسسات خدمات غذایی

مصرف عمده‌ی آب گرم در این موسسات (مثل صنعتی، رستوران‌ها، تالارها و...) برای شستن ظرف‌هاست. بقیه مصارف، شامل آماده‌سازی غذا، شست و شوی دیگ‌ها، ماهی‌تابه‌ها و زمین و شستن دست‌ها توسط کارکنان و مشتریان است. ارقام پیشنهادی برای مکان‌هایی است که غذا را بر روی میز، پیشخوان، داخل ماشین پاک شده، غرغه ارائه می‌دهند. غذاخوری‌هایی که از ظروف دور ریختنی استفاده می‌کنند در جدول نیامده‌اند. منظور از واژه‌ی شستشوی ظروف فقط شستن ظروفی است که در آنها غذا صرف شده است و شامل شستشوی ظروف کثیف و خاک گرفته که بطور متناوب و یکسره باعث کارکردن ماشین ظرف شویی می‌شود، نمی‌باشد. در ارقام پیشنهادی، آب گرم مصرفی گرمکن‌های کمکی ماشین‌های ظرفشویی^۱ نیز در نظر گرفته شده است.

۳-۳-۵-۸ آپارتمان‌ها

آب گرم در آپارتمان‌ها، در هر دو نوع آن، ویلایی و مرتفع و دارای یک یا دو حمام، در مواردی مثل دوش‌ها، وان‌ها، سینک آشپزخانه، دستشویی‌ها، شستن ظرف‌ها، شست و شوی لباس‌ها و نظافت

^۱ Dishwasher booster heater

عمومی ساختمان در جدول آمده است. شستن لباس‌ها هم در شکل لباسشویی عمومی و هم انفرادی در هر کدام از واحدها فرض شود. این اطلاعات فقط برای سیستم آبگرمکن مرکزی است.

۳-۳-۵-۹ مدرسه ابتدایی

آب گرم در این نوع از ساختمان‌ها در دست شویی‌ها، آشپزخانه و سلف سرویس مصرف می‌شود. زمانی که دوش هم استفاده گردد، مصرف آب گرم آن باید به مقادیر پیشنهادی اضافه گردد. این مقادیر شامل تقاضای آب گرم برای شستن ظرف‌ها، جز در مواقع فوق برنامه مثل کلاس‌های عصر، هم هست.

۳-۳-۵-۱۰ مدرسه متوسطه

الگوی مصرف آب گرم در مدارس متوسطه فاقد دوش مانند مدارس ابتدایی است در غیر این صورت از الگوی دیگری پیروی می‌کنند (مثل هنرستان‌ها)، مقادیر پیشنهادی برای ساعت‌های فعالیت در روز است و فعالیتهای نوبت عصر یا دوره شبانه در آن لحاظ نشده است.

۳-۳-۶ اطلاعات اضافی

۳-۳-۶-۱ فست فودها

آب گرم برای آماده سازی غذا، نظافت و دستشویی‌ها استفاده می‌شود. شستن ظرف‌ها معمولا بار آب گرم موثری ندارد و در بیشتر موارد اوج مصرف در زمان نظافت اتفاق می‌افتد که معمولا زمان آن کمی پیش از شروع به کار یا کمی پیش از تعطیل کردن فست فود است. هر واحد فست فود معمولا بین ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ لیتر آب مصرف می‌کند.

۳-۳-۶-۲ سوپرمارکت‌ها

در طراحی سوپر مارکت‌ها گرایش به یکی کردن آماده‌سازی و ارائه غذا وجود دارد. این موضوع باعث افزایش مصرف آب گرم خواهد شد. معمولا حداکثر مصرف در هنگام نظافت (و غالبا در شب) رخ می‌دهد. مصرف کل آب گرم سوپر مارکت روزانه ۱۱۰۰ تا ۳۸۰۰ لیتر است.

۳-۳-۳ آپارتمان‌ها

نتایج نشان می‌دهد ساکنان ساختمان‌ها وقتی که هزینه آب گرم را همراه با کرایه منزل پرداخت می‌-

کنند نسبت به زمانی که آن را به طور مستقیم پرداخت می‌کنند، آب گرم بیشتری مصرف می‌کنند.

الگوی کم مصرف در ساختمان‌ها، معمولاً دارای ویژگی‌های جمعیتی زیر است:

۱. تمام ساکنان شاغلند

۲. سالمندند

۳. زوج‌های جوانند

۴. درآمد متوسط دارند

۵. تراکم جمعیتی بالایی دارند

الگوی مصرف متوسط در ساختمان‌ها، معمولاً برای خانواده‌هایی با ویژگی‌های جمعیتی زیر است:

۱. خانواده کامل

۲. افراد مجرد

۳. خانواده‌های که یکی از والدین حضور ندارند.

در مورد الگوی پر مصرف، با خانواده‌هایی مواجه هستیم که دارای یکی از ویژگی‌های زیرند:

۱. تعداد زیاد کودکان

۲. درآمد اندک

۳. بیکار

۴. خانواده‌های که یکی از والدین حضور ندارند.

۳-۳-۷ تانک ذخیره

برای محاسبه حجم تانک ذخیره از جدول استفاده می‌کنیم و رابطه‌ی زیر استفاده می‌کنیم [۲۸]:

(۱-۳)

تعداد نفرات*آب گرم درخواستی برای هر

$$V = \text{نفر}$$

با سیستم ذخیره سازی ۶۰ تا ۸۰٪ آب گرم موجود در تانک تا پیش از سرد شدن توسط آب سرد امکان استفاده دارد، طراحی خوب این رقم را می‌تواند تا ۹۰٪ افزایش دهد. بیشینه آب گرم قابل دسترس در یک تانک ذخیره از فرمول زیر بدست می‌آید [۲۸]:

$$V \quad (۲-۳)$$

که در آن:

$$= \text{آب گرم در دسترس، } L$$

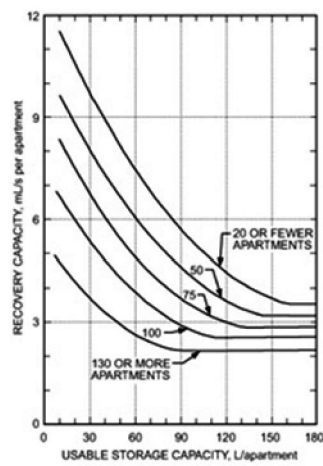
$$: \text{ نرخ بازیافت حرارتی در دمای خواسته شده، } L/s$$

$$: \text{ مدت زمان اوج تقاضای آب گرم، } S$$

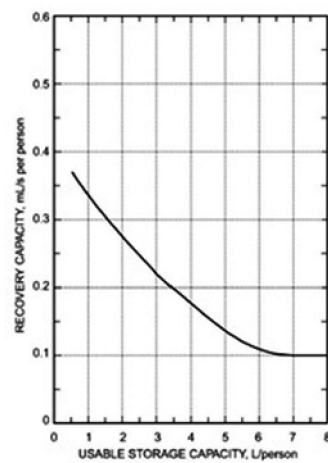
$$= \text{نسب آب گرم قابل استفاده به ظرفیت تانک}$$

$$= \text{ظرفیت ذخیره سازی تانک، } L$$

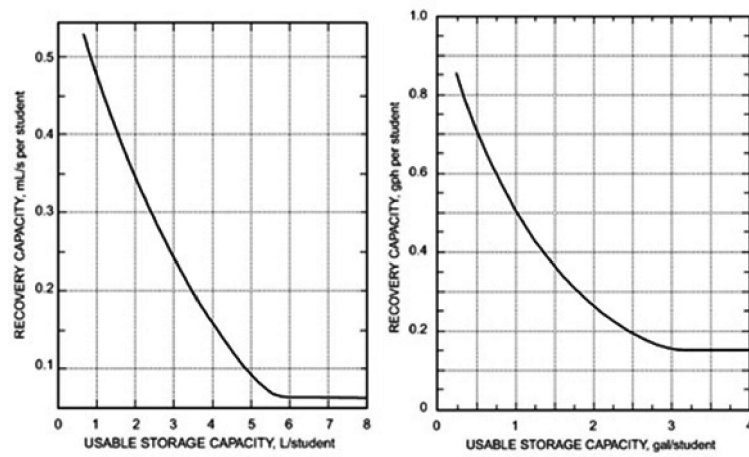
جدول‌های ۳-۶ تا ۳-۷ برای محاسبه نرخ بازیافت حرارتی بر اساس ظرفیت تانک ذخیره برای ساختمان‌های مسکونی، اداری و آموزشی ارائه شده‌اند:



شکل ۳-۶ محاسبه نرخ بازیافت حرارتی بر اساس ظرفیت تانک ذخیره برای ساختمان‌های مسکونی [۲۸]



شکل ۳-۷ محاسبه نرخ بازیافت حرارتی بر اساس ظرفیت تانک ذخیره برای ساختمان‌های اداری [۲۸]



شکل ۳-۸ محاسبه نرخ بازیافت حرارتی بر اساس ظرفیت تانک ذخیره برای ساختمان‌های آموزشی، ابتدایی و

متوسطه [۲۸]

فصل چهارم

مدل سازی و نتایج

در این بخش ابتدا نتایج شبیه سازی برای آبگرمکن خورشیدی در اقلیم‌های مختلف و دو الگوی مصرف مسکونی و آموزشی و سپس نتایج برای چیلر جذبی خورشیدی ارائه می‌شود.

۴-۲- مقدمه‌ای بر نرم افزار TRNSYS

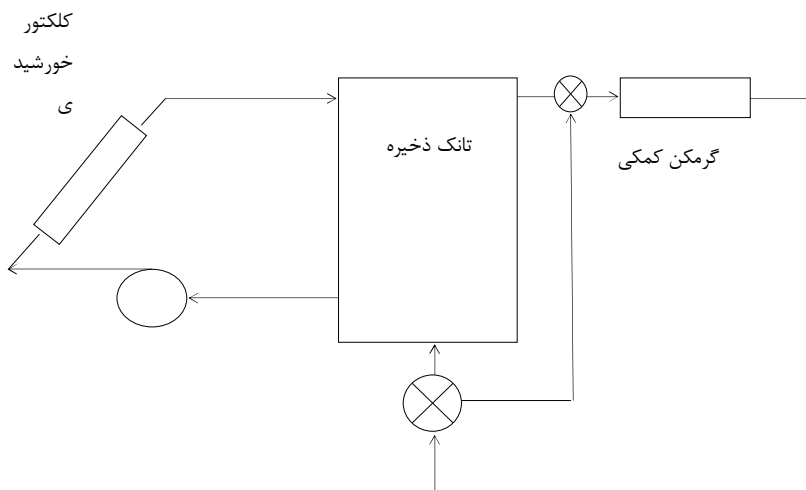
TRNSYS توسط اعضای لابراتوار خورشیدی دانشگاه ویسکانسین^۱ آمریکا برای طراحی دینامیکی سیستم‌های تهویه مطبوع در زبان برنامه نویسی FORTRAN نوشته شده است [27, 29]. این نرم افزار از دهه ۱۹۷۰ میلادی بطور گسترده‌ای در صنعت و دانشگاه مورد استفاده قرار گرفته و اکنون به عنوان یک ابزار دقیق و قابل اطمینان برای شبیه‌سازی سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی (خصوصاً اگر انرژی خورشیدی نیز مورد استفاده قرار بگیرد) به شمار می‌آید، در واقع این نرم افزار شامل تعداد بسیار زیادی از زیر مجموعه‌های مختلف می‌باشد که اجزای متداول سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی و خورشیدی را شبیه‌سازی می‌کنند و این اجزا به وسیله اطلاعات آزمایشگاهی گوناگون و همچنین اطلاعات حاصل از کارخانه‌های سازنده تجهیزات تهویه مطبوع و تجهیزات خورشیدی معتبر سازی^۲ شده‌اند. در انتها قابل ذکر است که این نرم افزار شامل اجزای مختلف سیستم‌های خورشیدی و تهویه مطبوع مانند کلکتورهای خورشیدی، کنترل‌کننده‌های مختلف، بارهای سرمایشی و گرمایشی، پمپ‌ها، تانک‌های ذخیره، گرمکن‌ها و چیلرهای متنوع و... بوده که قابلیت کنار هم قرار دادن اجزای مختلف را به طرق مختلف برای کاربر فراهم می‌کند، کاربر می‌تواند با استفاده از این نرم‌افزار سیستم خورشیدی را برای یک بازه زمانی مشخص شبیه‌سازی کرده و انرژی مصرف شده یا ذخیره شده به وسیله اجزای مختلف سیستم را ارزیابی کند و سپس با تغییر پارامترهای طراحی سیستم مورد مطالعه را از جهات مختلف بهبود بخشد.

^۱ Wisconsin

^۲ Validate

۳-۴- شبیه سازی و تحلیل نتایج آبگرمکن خورشیدی با چرخش اجباری

الگوواره سیستم آب گرمکن در شکل ۴-۱ نشان داده شده است. این سیستم شامل یک کلکتور صفحه تخت، یک تانک ذخیره لایه‌ای، یک پمپ، یک شیر دمایی، یک سه راهی و یک کنترل کننده است. جریان با دمای ۶ درجه سانتیگراد از طریق شیر گرمایی وارد تانک ذخیره می‌شود و از سمت پایین طرف دیگر تانک به سمت کلکتور پمپاژ می‌گردد و پس عبور از کلکتور و گرم‌تر شدن وارد بالای تانک ذخیره می‌شود، در تانک ذخیره لایه‌ای پس از شارژ کامل و کاملاً مخلوط شدن، آب گرم از سمت مقابل و بالای تانک ذخیره خارج می‌شود و وارد سه راهی می‌شود، در این جا اگر جریان کمبود دبی داشته باشد یا دمایش بالاتر از دمای تعیین شده باشد، آب تامین از طریق شیر دمایی به آن اضافه می‌گردد و جریان پس از این به سمت گرمکن کمکی رفته و در صورت اختلاف دمایی با دمای آب گرم تامین، گرمکن عمل خواهد کرد و به سیال گرما داده می‌شود. وظیفه کنترل کننده این است که وقتی دمای آب گرم خروجی از کلکتور ۵ درجه بیشتر از دمای پایین تانک ذخیره شود، پمپ را روشن و در غیر این صورت آن را خاموش کند [۶]. 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. یک ترموستات ویژه برای عمل کردن پمپ وقتی که دما به زیر دمایی خاص افت می‌کند، در این نمونه‌ها به کار می‌رود. این چنین 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 [۱۹].



شکل ۴-۱ الگو واره آبگرمکن خورشیدی با چرخش اجباری [۹]

فرض‌های اولیه عبارتند از:

۱. مکان‌های شبیه سازی شده توسط نرم افزار، تهران با طول جغرافیایی ۵۱ درجه و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه که ارتفاع آن در بلندترین نقاط شمال به ۲۰۰۰ متر و در جنوبی‌ترین نقاط به ۱۰۵۰ متر از سطح دریا می‌رسد. تبریز، با طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۳۸ عرض درجه، که ارتفاع تقریبی آن از سطح دریا، ۱۳۵۰ متر می‌باشد و بندر عباس با طول جغرافیایی ۵۶ درجه و ۲۷ عرض درجه، که ارتفاع آن از سطح دریا، ۱۰ متر است.

۲. نسبت دبی عبوری از کلکتور بخش بر مساحت کلکتور ثابت و برابر $50 \frac{kg}{hr.m^2}$ می‌باشد، به دلیل اینکه بیشتر شدن دبی عبوری از کلکتور نسبت به مقدار مذکور و به تبع آن افزایش دبی آب ورودی به تانک ذخیره باعث بر هم خوردن لایه بندی حرارتی تانک ناشی از افزایش آمیزش لایه‌های مختلف می‌گردد. آنتانوپولوس [۳۰] این بر هم خوردن لایه بندی حرارتی و رابطه بهینه برای نسبت دبی عبوری از کلکتور به دبی خروجی از تانک را بررسی کرده است. همچنین با کاهش دبی گرمای حاصله از کلکتور بیشتر صرف افزایش دمای خروجی از کلکتور می‌شود و با افزایش دمای خروجی از کلکتور دمای لایه بالایی تانک ذخیره و به تبع آن کیفیت ترمودینامیکی آب خروجی از تانک ذخیره به چیلر جذبی افزایش می‌یابد که این امر باعث افزایش ضریب عملکرد چیلر جذبی می‌شود (مربوط به بخش بعدی) و مورد دیگر

اینکه کاهش دبی منجر به کاهش هزینه های مربوط به آن از جمله لوله کشی آب و هزینه پمپ آب می-

گردد. با توجه به موارد گفته شده دبی $50 \frac{kg}{(hr.m^2)}$ برای کلکتور انتخاب می شود [۲۷، ۲۴، ۱۴].

۳. حداکثر توان گرمکن کمکی، ۹ کیلووات و سوخت آن گاز طبیعی است.

۴. سیال عامل آب و چگالی و ظرفیت گرمایی آن به ترتیب $1000 \frac{kg}{m^3}$ و $4.19 \frac{kJ}{kg.K}$ است.

۴-۳-۱ شبیه سازی در TRNSYS

شرایط آب و هوایی: برای اطلاعات آب و هوایی از type ۱۰۹ استفاده می کنیم. از داده های هواشناسی، بانک اطلاعاتی ملی تابش خورشیدی آمریکا^۱ برای تهیه فایل راهنمای این type استفاده شده است [۲۹].

کلکتور صفحه تخت: برای شبیه سازی کلکتور از type ۱ استفاده می گردد. این type بر اساس نتایج

حاصل از تست کلکتور صفحه تخت طبق استانداردهای ASHRAE نوشته شده است [۲۸].

تانک ذخیره: برای شبیه سازی تانک ذخیره مدل لایه های حرارتی از type ۴ استفاده می شود. آب موجود در تانک ذخیره براساس اختلاف دما و به تبع آن اختلاف چگالی لایه بندی می شود و به ترتیب از بالا به پایین گرم ترین و خنک ترین لایه قرار دارد، ورود آب گرم خروجی از کلکتور به بالای تانک و آب گرم کاهش دما یافته خروجی از ژنراتور چیلر جذبی به پایین تانک به لایه بندی حرارتی آن کمک می کند. این تانک با این فرض اساسی که از N زیرقسمت با حجم مساوی و مخلوط کامل تشکیل شده است شبیه سازی می شود که N تعداد لایه های حرارتی تانک می باشد و توازن انرژی برای هر لایه نوشته می- شود، همچنین این type دارای موارد انتخابی، سائز غیر یکسان هر لایه حرارتی، ورودی های ثابت و متغیر جریان سیال به تانک (در حالت متغیر جریان سیال به لایه حرارتی که کمترین اختلاف دما نسبت به آن را دارد وارد می شود) و همچنین فرض اتلاف حرارتی غیر یکنواخت (اتلاف حرارتی تانک معمولاً در لایه های ورودی و خروجی جریان سیال و هم چنین بالاترین لایه حرارتی که بیشترین سطح تماس

^۱ National Solar Radiation Data Base

با محیط را دارد بیشتر است) می‌باشد. در تحقیق حاضر برای سادگی ۶ لایه حرارتی با سایز یکسان، ورودی‌های ثابت و اتلاف حرارتی یکنواخت در طول تانک در نظر گرفته می‌شود، نسبت طول به قطر معادل برابر ۲ [۲۰] و ضریب اتلاف حرارتی برابر $\frac{kJ}{(hr.m^2.k)}$ ۳ در نظر گرفته می‌شود که در محدوده توصیه شده بین ۱/۸ تا ۳/۲۴ [۳۱، ۳۲] بر حسب واحد مذکور قرار دارد.

گرمکن کمکی گازی: برای شبیه‌سازی گرمکن کمکی از type۶ استفاده می‌شود. از گرمکن برای بالا بردن دمای آب خروجی از تانک ذخیره و با کمک کنترلر داخلی استفاده می‌کنیم، بدین صورت که در صورت اختلاف دمایی با دمای آب گرم تامین، گرمکن عمل خواهد کرد و به سیال گرما داده می‌شود. دمای آب گرم خروجی در این تحقیق ۵۵ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شده است [۶].

بازده بویلر گازی برابر ۰/۸ و دمای محیط بویلر ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته می‌شود [۳۳].

۳۴]

۴-۳-۲ نتایج تحلیل اگزرژی

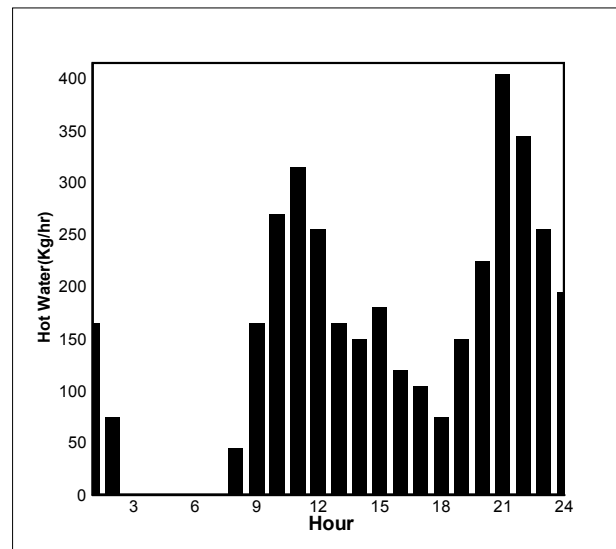
برای بررسی تاثیر تغییر حجم تانک ذخیره و مساحت کلکتور بر بازده اگزرژی، تعداد زیادی شبیه‌سازی توسط TRNSYS انجام می‌شود. فاصله زمانی داخل شبیه‌سازی برابر ۳ دقیقه در نظر گرفته می‌شود، این فاصله زمانی برای بدست آوردن دمای واقعی نقاط و همگرایی مناسب دما در تانک ذخیره ضروری است [۳۵]. شبیه‌سازی برای تانک‌های ذخیره مختلف، در نقاط، ۷۰، ۵۰، ۶۰، ۵۰،

$$\frac{V_{ST}}{A_C} = 35, 40$$

انجام شده است [۱۹].

این شبیه‌سازی ابتدا برای ساختمان مسکونی ۱۵ واحدی انجام شده است. شکل ۴-۲ الگوی مصرف آب گرم در این ساختمان را نشان می‌دهد. طبق ضوابط مبحث شانزدهم مقررات ملی ساختمان، حداقل حجم تانک ذخیره معادل حجم مصرف دوازده ساعت آب گرم در ساختمان است، بر همین

اساس در این تحقیق برای ساختمان مسکونی حداقل حجم تانک ذخیره، ۲۰۰۰ لیتر است که با پیشنهاد های ASHRAE که در فصل سوم به آن پرداخته شد مطابقت دارد.



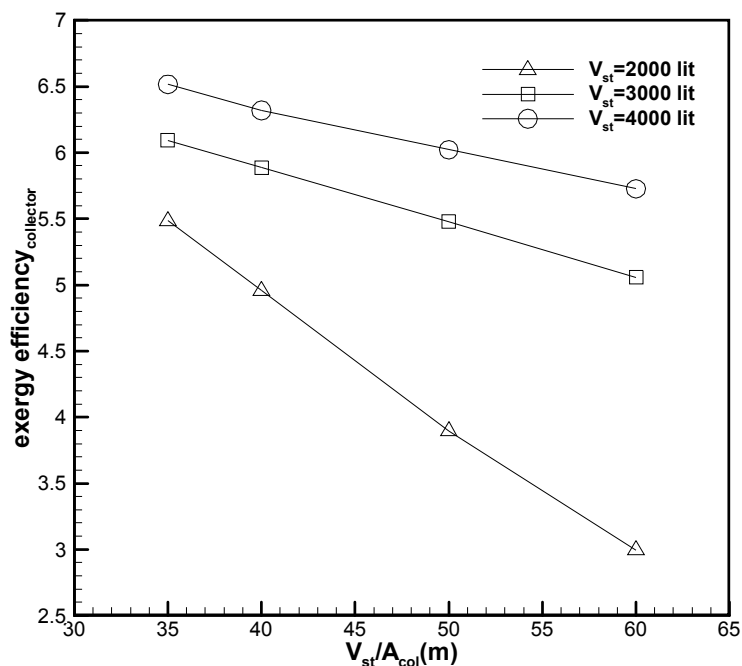
شکل ۴-۲ الگوی مصرف آب گرم در ساختمان مسکونی ۱۵ واحدی

همچنین محاسبات در حجم های ۳۰۰۰ لیتر و ۴۰۰۰ لیتر هم انجام شده است. علت انتخاب نکردن تانک ذخیره ای با حجم بیشتر را می توان در سه مورد برشمرد، اول اینکه برای این میزان آب گرم درخواستی، تانک حجیم تر تلفات زیادی خواهد داشت [۱۹]، دوم اینکه با توجه به الگوی مصرف، در تانک ذخیره بزرگتر که حجم آن با حجم آب گرم درخواستی تفاوت زیادی دارد، به علت عدم مصرف، امکان ماندگی آب و فاسد شدن آن وجود دارد و سوم این که با قرار دادن تانک ذخیره در داخل ساختمان، محدودیت های سازه ای ساختمان هم بر موارد قبلی افزوده می شود. حال به بررسی نتایج اگزرژی و اقتصادی حاصل از شبیه سازی می پردازیم.

۳-۳-۴ اگزرژی کلکتور

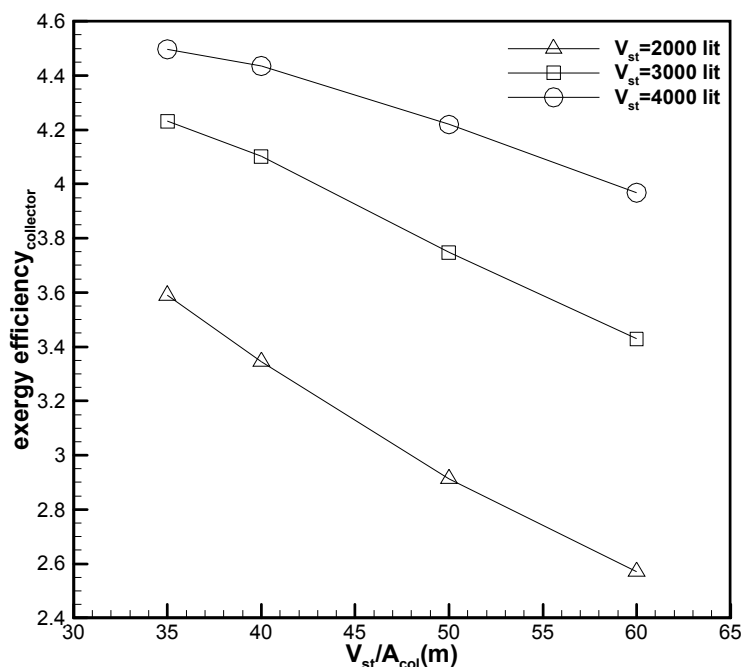
شکل ۴-۳ نمودار تغییرات بازده اگزرژی کلکتور بر حسب نسبت حجم تانک ذخیره بر مساحت کلکتور است، روند نزولی نمودار نشان دهنده این است که در حجم تانک ذخیره ثابت، هر چه مساحت کلکتور بیشتر شود، بازده بیشتر می شود، یعنی میزان اگزرژی سیال بیشتر از افزایش اگزرژی ورودی از

خورشید است و از طرف دیگر با افزایش حجم تانک، آب ورودی به کلکتور دمای بیشتر و خروجی آن
اگررزی زیادتری دارد.

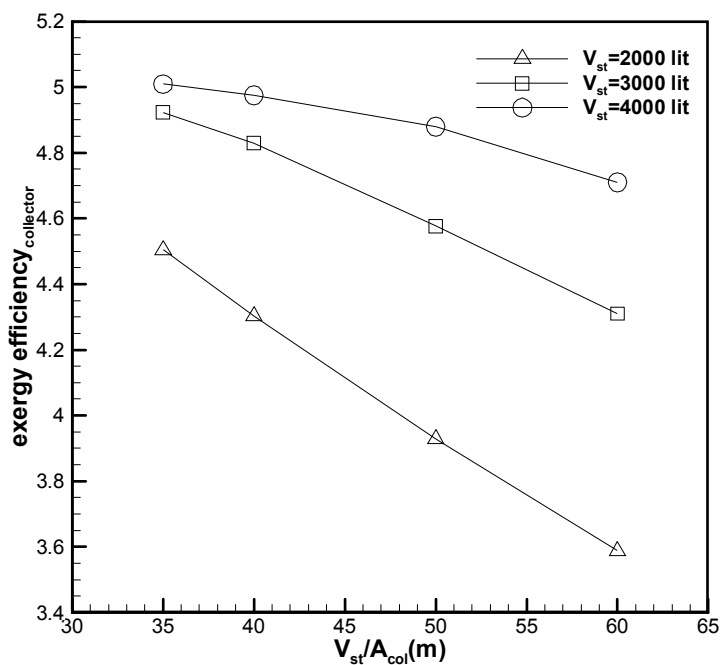


شکل ۳-۴ تغییرات بازده اگررزی کلکتور بر حسب نسبت حجم تانک ذخیره بر مساحت کلکتور برای تهران

شکل های ۴-۴ تا ۵-۴ تغییرات بازده اگررزی کلکتور بر حسب نسبت حجم تانک ذخیره بر مساحت کلکتور برای بندر عباس و تبریز را نشان می دهد. تغییرات بازده اگررزی در اقلیم های مختلف به دلیل شدت متفاوت تابش در لحظه محاسبه اگررزی است، همان طور که پیداست این تفاوت بر رابطه ای
اگررزی بسیار



شکل ۴-۴ تغییرات بازده اگزرژی کلکتور بر حسب نسبت حجم تانک ذخیره بر مساحت کلکتور برای تبریز



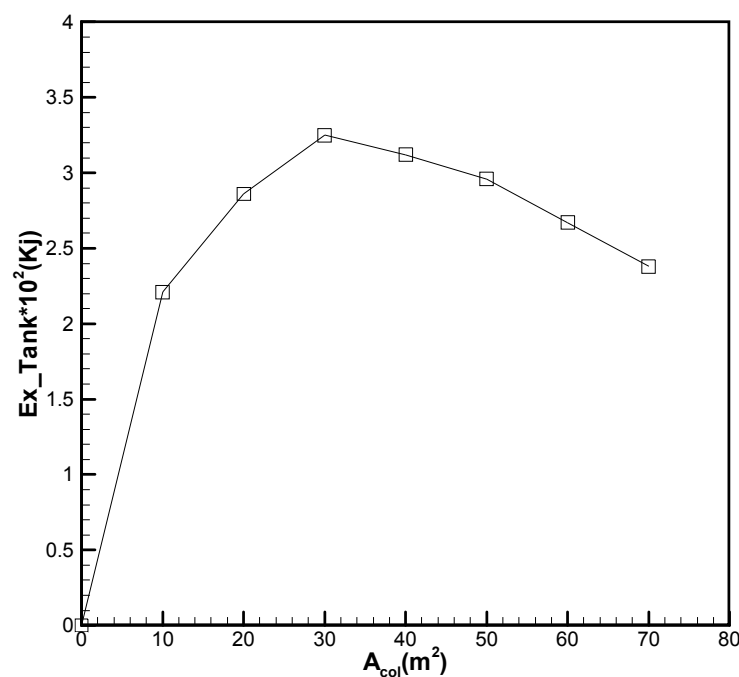
شکل ۴-۵ تغییرات بازده اگزرژی کلکتور بر حسب نسبت حجم تانک ذخیره بر مساحت کلکتور برای بندر عباس
تاثیر گذار است، همچنین چون در مخرج رابطه بر خلاف صورت که دمای مبنا ملاک قرار می‌گیرد، از
دمای محیط استفاده می‌شود، تفاوت این دما هم در تفاوت بازده اگزرژی تاثیر گذار است. روند صعودی یا

نزولی بازده به شدت به دبی عبوری از کلکتور و حجم تانک ذخیره و لایه بندی آن بستگی دارد. اما بازه-
ی بدست آمده با گزارش منابع مطابقت دارد [۳۶، ۱].

۴-۳-۴ تحلیل اگزرژی تانک ذخیره

برای بررسی اثر تغییرات مساحت کلکتور بر اگزرژی تانک ذخیره، نمودار تغییرات آن را در یک زمان
مشخص و برای تانک ذخیره با حجم ۲۰۰۰ لیتر در شهر تهران رسم کرده ایم، شکل ۴-۶ نشان دهنده

این تغییرات



شکل ۴-۶ تغییرات اگزرژی تانک ذخیره بر حسب مساحت کلکتور برای تهران

است. این شکل نشان می دهد که با افزایش مساحت کلکتور، مقدار اگزرژی تولید شده در تانک افزایش
می یابد، این روند تا جایی ادامه دارد و پس از آن اثر تلفات غالب می گردد و از آن جا به بعد، مقدار
اگزرژی تولید شده کاهش می یابد و در واقع تلفات افزایش می یابد. بدیهی است که با افزایش حجم تانک
روند تغییرات در سطح بالاتری از لحاظ مقداری قرار می گیرد ولی روند کلی همیشه یکسان و مثل شکل
۴-۶ است.

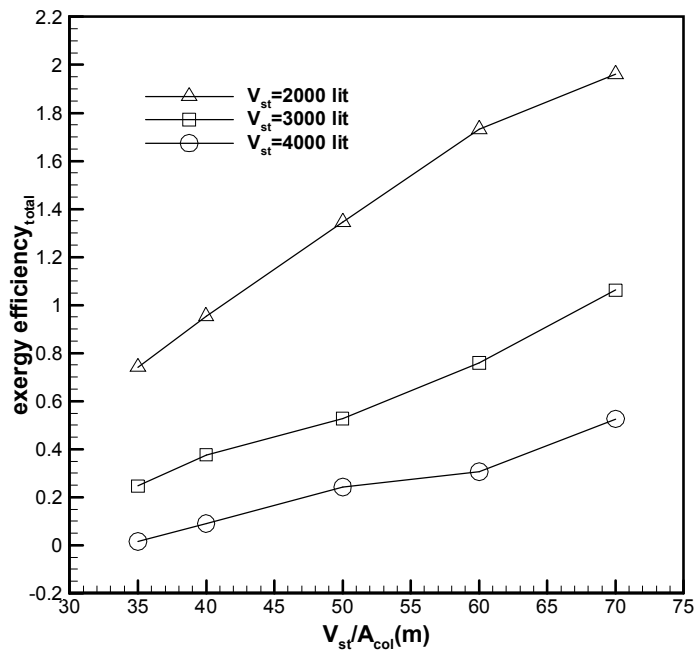
۵-۳-۴ تحلیل انرژی کل سیستم

شکل ۷-۴ نشان دهنده روند تغییرات بازده انرژی کل بر حسب نسبت حجم تانک ذخیره بر مساحت کلکتور در تهران است.

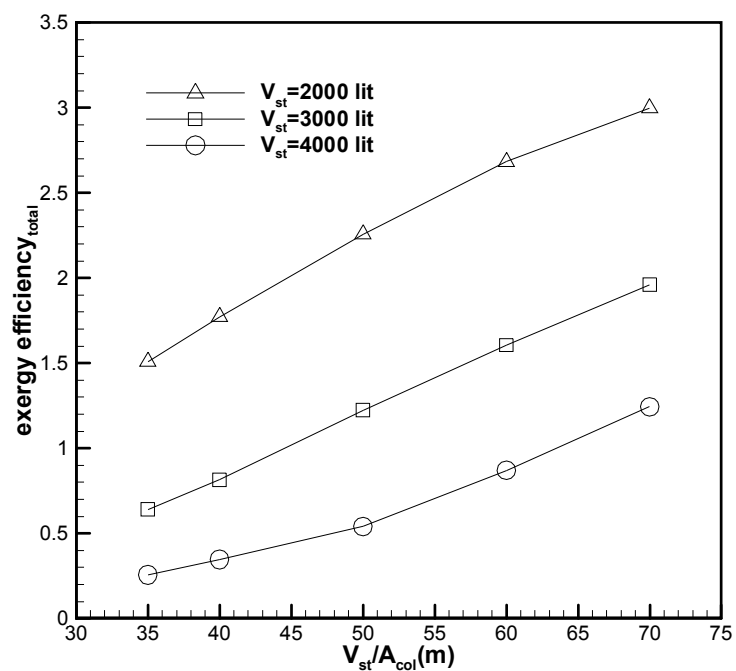
برای محاسبه بازده انرژی کل از رابطه‌ی زیر استفاده شده است:

$$\eta \quad (۱-۴)$$

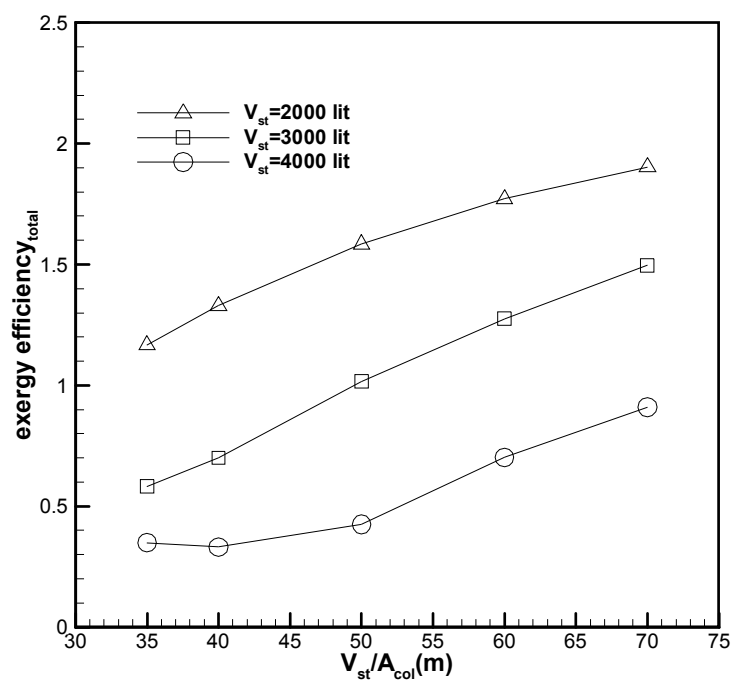
که در این رابطه ΔEx_{f-h} تغییر انرژی سیال عبوری از گرمکن و $\dot{Q}_{ex-h}$ انرژی داده شده به سیال از طرف گرمکن است.



شکل ۷-۴ تغییرات بازده انرژی کل بر حسب نسبت حجم تانک ذخیره بر مساحت کلکتور برای تهران همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش این نسبت بازده روند صعودی می‌گیرد، در واقع هر چه مساحت کلکتور کمتر می‌گردد، بازده انرژی کل هم بیشتر می‌شود، علت این امر آن است که با افزایش مساحت



شکل ۴-۸ تغییرات بازده انرژی کل بر حسب نسبت حجم تانک ذخیره بر مساحت کلکتور برای تبریز



شکل ۴-۹ تغییرات بازده انرژی کل بر حسب نسبت حجم تانک ذخیره بر مساحت کلکتور برای بندر عباس

کلکتور، سهم گرمکن کمکی در گرمایش بیشتر شده و از آن جا که بازده اگزرژی سوخت‌های فسیلی بالاست، بازده اگزرژی کل بیشتر می‌شود. علت زیادتر بودن بازده اگزرژی تانک ذخیره ۲۰۰۰ لیتری هم سهم خورشیدی کمتر آن است.

شکل‌های ۴-۸ و ۴-۹ تغییرات بازده اگزرژی کل بر حسب نسبت حجم تانک ذخیره بر مساحت کلکتور را برای تبریز و بندر عباس را نشان می‌دهد که آن‌ها هم با روند پیش‌تر گفته شده مطابقت دارد. نتیجه حاصل از آنالیز اگزرژی بر استفاده کمتر از انرژی خورشیدی دلالت دارد که قابل انتظار بود.

۴-۳-۶ آنالیز اقتصادی

در این بخش، با معرفی توابع لازم برای محاسبه‌ی اقتصادی آب گرمکن، تاثیر تغییرات مساحت کلکتور و حجم تانک ذخیره بر آن را بررسی می‌کنیم و نقطه‌ای بهینه برای این متغیرها از نقطه نظر اقتصادی گزارش می‌کنیم. رابطه ۵-۱ بیان کننده هزینه‌ها برای هر یک از بخش‌های سیستم خورشیدی هستند [۷]:

$$C_S = C_a A + CM\&O - CI + A_{st} C_{st} \quad (۲-۴)$$

$$C_{aux} = I + F + V \quad (۳-۴)$$

$$TC = C_S + C_{aux} \quad (۴-۴)$$

که C_S هزینه سیستم خورشیدی بر حسب ریال، C_a قیمت کلکتور بر حسب ریال بر متر مربع، A مساحت کلکتور بر حسب متر مربع، $CM\&O$ هزینه تعمیر و نگهداری شامل دو درصد هزینه کلکتور، C_S ، هزینه اسقاطی، شامل ۲۰ درصد هزینه کلکتور، A_{st} ، مساحت جانبی تانک، C_{st} ، هزینه تانک بر حسب کیلووات بر ریال، C_{aux} هزینه گرمکن کمکی، I هزینه اولیه گرمکن، F هزینه ثابت گرمکن، V هزینه متغیر بر حسب مگاوات ساعت مصرف و در نهایت TC هزینه کل سیستم است. در نهایت هزینه سالانه به صورت زیر محاسبه می‌شود [۷]:

$$TCA = CRF(C_S + C_{aux}) + \dot{c}_{aux}Q_{aux} \quad (5-4)$$

$$CRF = \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \quad (6-4)$$

که CRF ضریب بازیافت سرمایه، r نرخ بهره و n سال‌های عملکرد است. $\dot{c}_{aux}$ هزینه سوخت برحسب بر ریال متر مکعب و Q_{aux} انرژی مصرفی بر حسب kW است. از هزینه‌های برق پمپ صرفه نظر شده است.

برای بدست آوردن میزان پول صرفه جویی شده از طرح، ابتدا فرض می‌کنیم که ساختمان شبیه سازی شده از سیستم گرمایش غیر خورشیدی و سوخت فسیلی برای تامین آب گرم استفاده می‌کند، هزینه سوخت مصرفی برای این کار را L فرض می‌کنیم، حال از رابطه زیر برای بدست آوردن سود استفاده می‌کنیم:

$$(7-4)$$

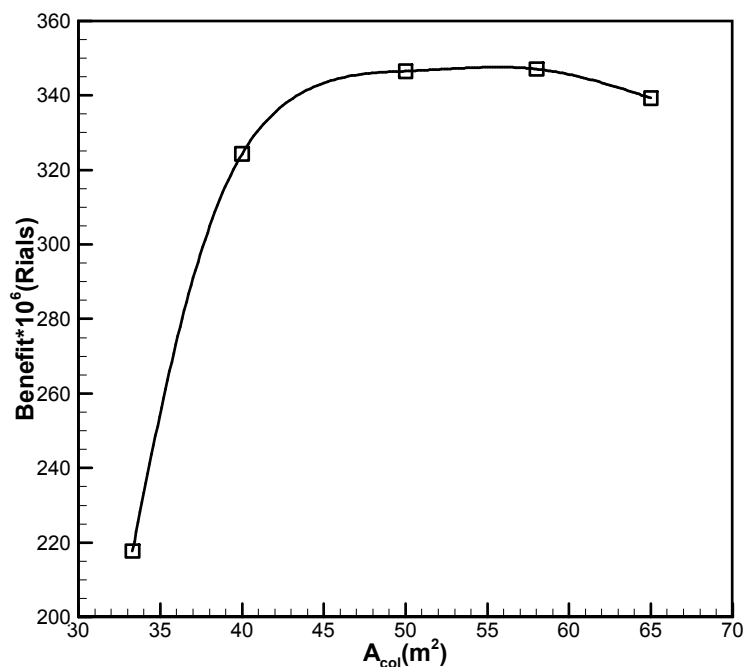
جدول ۴-۱ فرضیات اقتصادی

نوع	مقدار
هزینه صفحات کلکتور (ریال بر متر مربع)	۳۵۰۰۰۰۰
هزینه مخزن ذخیره (ریال بر متر مربع)	۵۰۰۰۰۰۰
هزینه سیستم پشتیبان (ریال بر کیلووات)	۴۰۰۰۰۰
هزینه انرژی کمکی (ریال بر متر مکعب)	۷۵۰۰
طول عمر مفید سیستم (سال)	۲۰
نرخ بهره (درصد)	۱۲

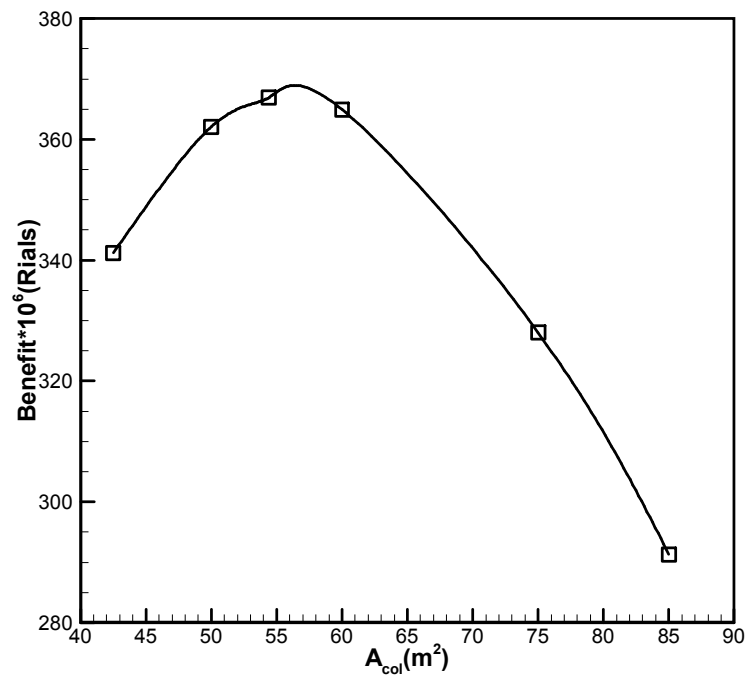
در این تحقیق، قیمت سوخت، متوسط بهای گاز صادراتی ایران در نظر گرفته شده است.

فرضیات لازم برای محاسبه تابع اقتصادی در جدول ۴-۱ آمده است.

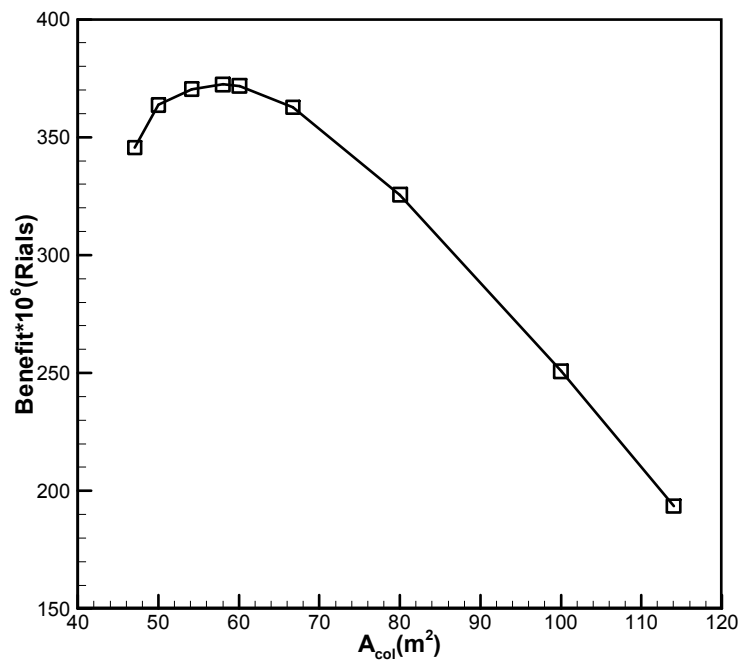
حال روند تغییرات را بررسی می‌کنیم، شکل ۴-۹ مقدار سود را بر حسب مساحت کلکتور در شهر تهران و در حجم ۲۰۰۰ لیتر نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش مساحت کلکتور سود رفتارهای متفاوتی از خود نشان می‌دهد، ابتدا آهنگ افزایش صرفه جویی اقتصادی ناشی از کاهش مصرف سوخت بیشتر از آهنگ رشد هزینه‌های اولیه مربوط به کلکتور است که باعث صعودی شدن سود می‌شود، ولی از نقطه بیشینه به بعد، مقادیر صرفه جویی کمتر از هزینه‌های کلکتور است، در نتیجه تابع نزولی می‌شود. نقطه بیشینه را می‌توان به عنوان مساحت بهینه کلکتور از دیدگاه اقتصادی برای تانک ذخیره ۲۰۰۰ لیتر در نظر گرفت. شکل‌های ۴-۱۱ و ۴-۱۲ تغییرات سود بر حسب مساحت کلکتور برای حجم‌های مختلف تانک ذخیره را، در شهر تهران نشان می‌دهد.



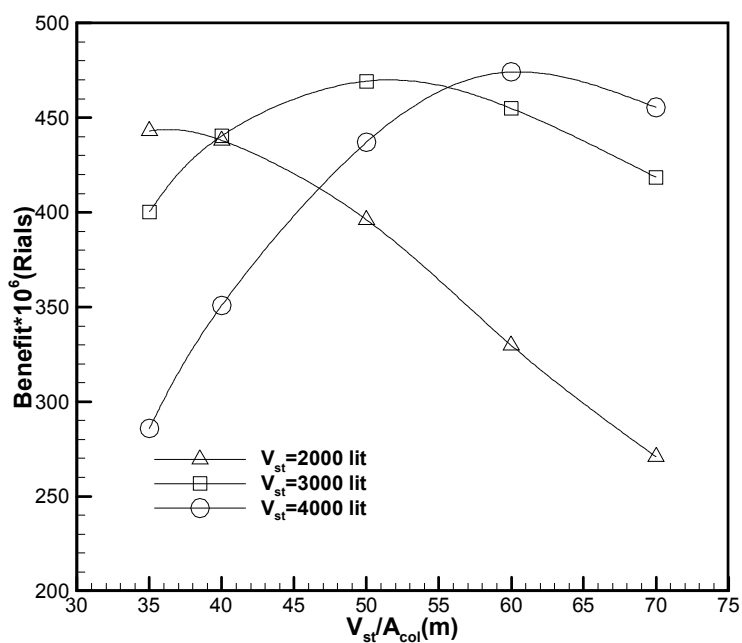
شکل ۴-۱۰ تغییرات سود بر حسب مساحت کلکتور ۲۰۰۰ لیتری در تهران



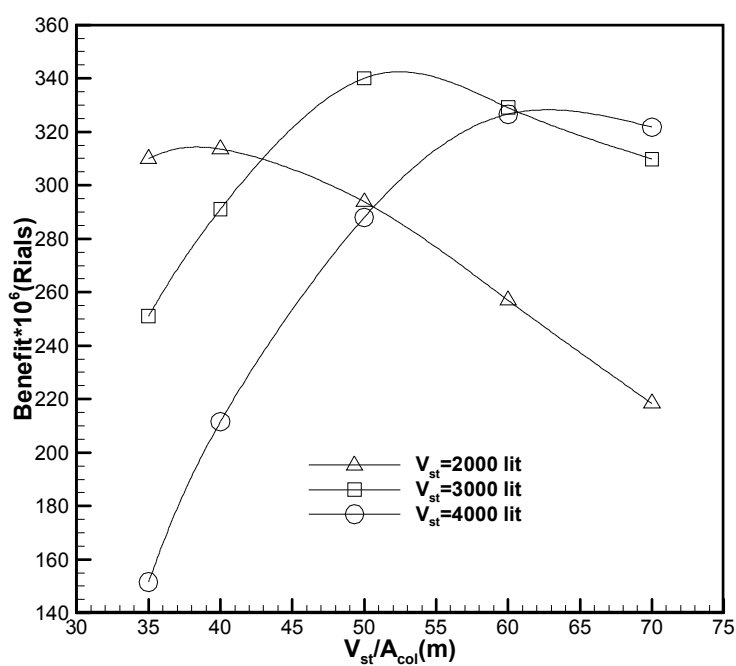
شکل ۴-۱۱ تغییرات سود بر حسب مساحت کلکتور ۳۰۰۰ لیتری در تهران



شکل ۴-۱۲ تغییرات سود بر حسب مساحت کلکتور ۴۰۰۰ لیتری در تهران



شکل ۱۳-۴ تغییرات سود بر حسب نسبت حجم تانک بر مساحت کلکتور برای بندر عباس



شکل ۱۴-۴ تغییرات سود بر حسب نسبت حجم تانک بر مساحت کلکتور برای تبریز

در شکل‌های ۱۳-۴ و ۱۴-۴ تغییرات سود بر حسب نسبت حجم تانک بر مساحت کلکتور برای شهرهای تبریز و بندر عباس نشان داده شده است. روند تغییرات در این شهرها هم مانند تهران است.

جدول ۲-۴، ۳-۴ و ۴-۵ مساحت بهینه برای تانک‌های ذخیره مختلف در شهرهای مختلف را ارائه می‌دهد.

جدول ۲-۴ اطلاعات بهینه سازی اقتصادی برای شهر تهران

حجم تانک ذخیره	مساحت بهینه کلکتور	سود	بازگشت
(لیتر)	(متر مربع)	(میلیون ریال)	سرمایه (سال)
۲۰۰۰	۵۳	۳۴۷	۸/۵۳
۳۰۰۰	۵۴	۳۶۶	۹/۲۳
۴۰۰۰	۵۸	۳۷۲	۹/۳۶

جدول ۳-۴ اطلاعات بهینه سازی اقتصادی برای شهر بندر عباس

حجم تانک ذخیره	مساحت بهینه کلکتور	سود	بازگشت
(لیتر)	(متر مربع)	(میلیون ریال)	سرمایه (سال)
۲۰۰۰	۵۸	۴۴۳	۸/۲
۳۰۰۰	۶۱	۴۶۹	۸/۵۹
۴۰۰۰	۶۳	۴۷۷	۹/۰۸

جدول ۴-۴ اطلاعات بهینه سازی اقتصادی برای شهر تبریز

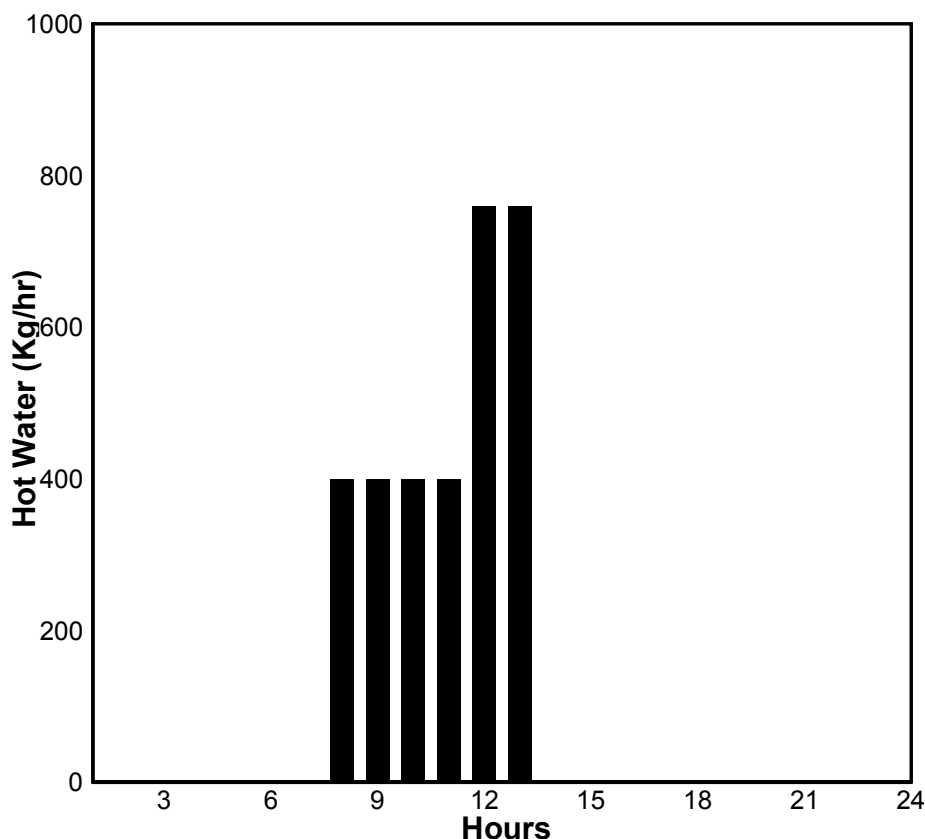
حجم تانک ذخیره	مساحت بهینه کلکتور	سود	بازگشت
(لیتر)	(متر مربع)	(میلیون ریال)	سرمایه (سال)
۲۰۰۰	۵۱	۳۰۹	۹/۶۹
۳۰۰۰	۵۳	۳۲۹	۹/۶۲
۴۰۰۰	۵۷	۳۲۲	۱۰/۴

نتایج حاصل از این محاسبات، امکان استفاده با توجیه اقتصادی، از آبگرمکن خورشیدی در شهرهای مختلف ایران را نشان می‌دهد، البته همان‌طور که انتظار می‌رفت بیشترین سود مربوط به شهر بندرعباس است، همچنین مساحت‌های بهینه کلکتور برای این بیشتر است که چون، با شدت تابش بالاتر این شهر، آهنگ افزایش سود تا مساحت بیشتری از آهنگ افزایش هزینه‌ها بیشتر می‌شود.

اثر افزایش حجم تانک ذخیره بر سود اقتصادی مترادف نقطه بهینه هم در این شهرها متفاوت، در تهران و بندرعباس، زیادتر می‌شود و در تبریز به علت کم بودن تابش، تلفات زیادتر تانک ذخیره بر روی سود اثر بیشتری دارد. در تمام موارد برگشت سرمایه بین ۸ تا ۱۰ سال است که برای آبگرمکن خورشیدی عددی قابل قبول است [۱۰]. همچنین میزان صرفه جویی گاز برای تهران، تبریز، بندرعباس، به ترتیب بین ۴۴۹۰ تا ۴۶۰۸، ۴۲۶۱ تا ۴۴۶۹، ۵۱۴۸ تا ۵۳۵۹ متر مکعب به دست آمد، همچنین به ازای این صرفه جویی، به ترتیب، از ورود حدود ۹، ۸/۵ و ۸/۸ تن دی اکسید کربن به جو جلوگیری شده است. لازم به ذکر است هر ۱۰۰۰ متر مکعب گاز طبیعی، حدود ۲ تن دی اکسید کربن تولید می‌کند [۳۷].

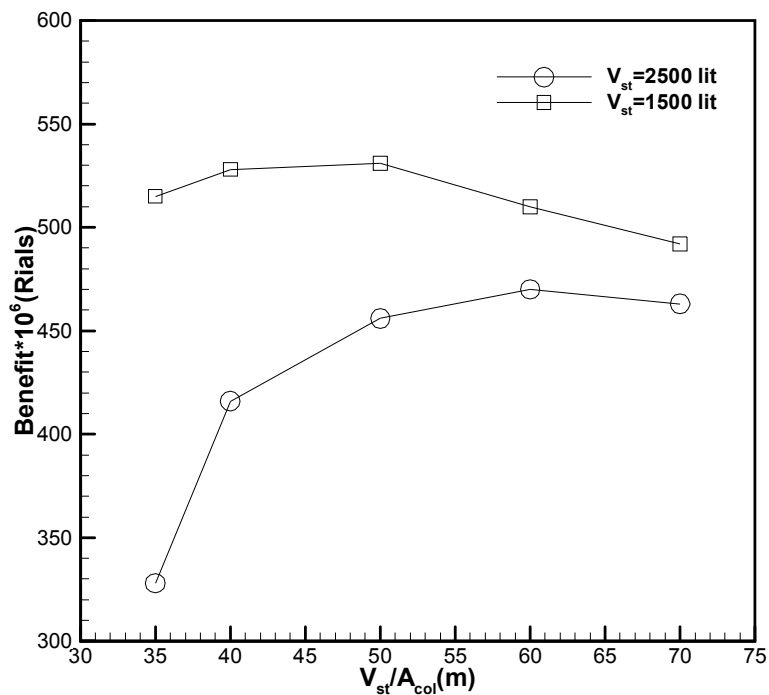
۷-۳-۴ بررسی اثر الگوی مصرف بر تابع اقتصادی

برای بررسی تاثیر الگوی مصرف، بر حساسیت پارامترهای طراحی، یک واحد آموزشی را در شهر تهران مدل سازی می کنیم. شکل ۴-۱۵ الگوی مصرف، این ساختمان را نشان می دهد.



شکل ۴-۱۵ الگوی مصرف یک ساختمان آموزشی در تهران

شبیه سازی آبگرمکن خورشیدی برای تانک ذخیره با حجم ۱۵۰۰ و ۲۵۰۰ انجام شده است. شکل ۴-۱۶ نشان دهنده نمودار تغییرات سود سالانه بر حسب نسبت حجم تانک ذخیره به مساحت کلکتور است. رفتار نمودار، شبیه رفتار الگوی قبلی است، اما میزان سود در سطح بالاتری رخ می دهد، زیرا محدوده کاری این الگو روز است و استفاده از خورشید به حداکثر مقدار خود می رسد. از طرف دیگر نتایج نشان داده است که تانک ذخیره بزرگتر سود کمتری دارد و این هم به علت بازه کاری این الگوی مصرف است که اثر تانک ذخیره در گرمایش در شب در آن تاثیری ندارد.

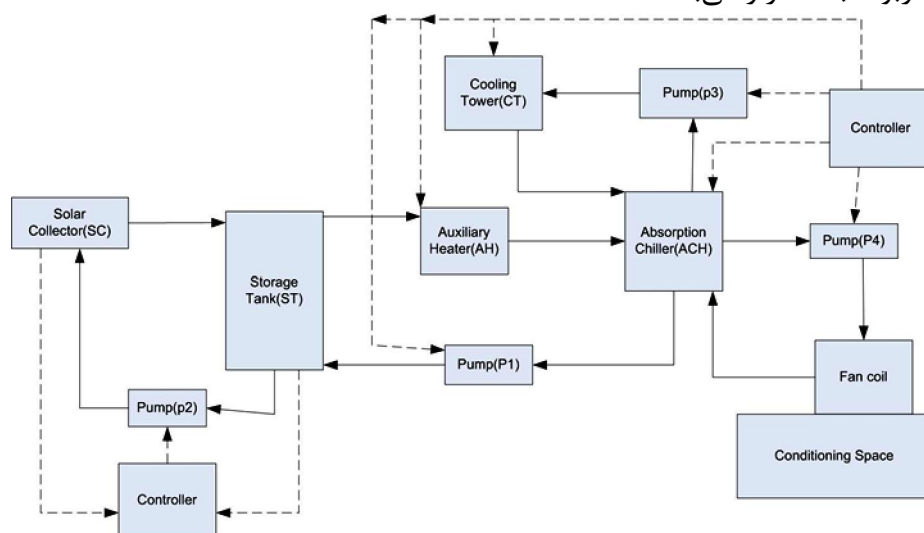


شکل ۴-۱۶ تغییرات سود سالانه بر حسب نسبت حجم تانک ذخیره به مساحت کلکتور

۴-۴ چیلر جذبی

در ابتدا سیستم سرمایش جذبی شبیه‌سازی شده بوسیله نرم افزار TRNSYS را به طور کلی شرح می‌دهیم و سپس به بررسی تک تک اجزاء به کار گرفته شده و نحوه شبیه سازی این اجزا خواهیم پرداخت.

در زیر تصویر شماتیکی سیستم سرمایشی خورشیدی را ملاحظه می کنید (خط پر اطلاعات جریان و خط چین مربوط به کنترل می باشد):



شکل ۴-۱۷ تصویر شماتیکی سیستم سرمایشی جذبی خورشیدی

در فصل گرما با تابش خورشید بر روی سطح کلکتور دمای آب داخل کلکتور بالا می‌رود که می‌توان از این آب گرم برای تغذیه ژنراتور چیلر جذبی استفاده کرد، ولی به دلیل نوسان زیاد دمای آب خروجی از کلکتور و محدودیت بازه دمایی ورودی به چیلر جذبی و ذخیره آب گرم برای مواقعی که انرژی خورشیدی کافی موجود نیست از یک تانک ذخیره آب گرم استفاده می‌نماییم، همچنین استفاده از یک گرمکن کمکی گاز طبیعی برای پایداری بیشتر سیستم و تامین حرارت مورد نیاز ژنراتور چیلر جذبی وقتی که حلقه خورشیدی (کلکتور و تانک ذخیره) قادر به تامین آن نیستند مناسب به نظر می‌رسد، از سوی دیگر استفاده از یک دستگاه کمکی در کنار حلقه خورشیدی از نظر اقتصادی نیز بسیار مفید است [۳۸]. همچنین برج خنک‌کن برای خنک کردن ابربر و کندانسور چیلر جذبی به کار می‌رود و در انتها آب سرد تولید شده به وسیله اواپراتور چیلر جذبی به واحد فن کویل رفته و در آنجا هوای سرد مورد نیاز برای سرمایش ساختمان تامین می‌شود، گفتنی است که آب گرم کاهش دما یافته و خروجی از ژنراتور چیلر جذبی به انتهای تانک ذخیره لایه های حرارتی و پس از آن به کلکتور می‌رود تا افزایش دمای مجدد پیدا کند. در این شبیه‌سازی از اتلاف حرارتی در اجزای انتقال دهنده سیال (لوله‌ها) صرف‌نظر شده است.

۴-۴-۱ کنترل سیستم

۱. برای جلوگیری از اتلاف انرژی توسط کلکتور وقتی تابش خورشیدی کافی فراهم نیست کنترلر حلقه خورشیدی پمپ p^2 را خاموش می‌کند، پمپ تا وقتی که اختلاف دمای خروجی کلکتور و کف تانک ذخیره برابر $0/5$ درجه سلسیوس باشد روشن می‌ماند و در صورت خاموش شدن هنگامی روشن می‌شود که این اختلاف دما به 3 درجه برسد [۱۳].

۲. سیستم سرمایشی با کنترلر خاموش-روشن کنترل می‌شود تا دمای متوسط فضای مورد تهویه حدود 24 درجه سلسیوس باقی بماند. این کنترلر به p^1 و CT و AH و p^3 و p^4 و ACH متصل است و آنها را روشن می‌کند وقتی دمای ساختمان به $24+1$ درجه برسد و خاموش می‌کند وقتی

دمای سیستم به ۱-۲۴ درجه برسد. کالیسه برای کنترل دمای فضایی با بار سرمایشی ماکزیمم ۱۶۰ کیلووات از این سیستم کنترلی استفاده نموده است [۲۷, ۳۳, ۳۵].

۳. برای فضای آموزشی مورد تهویه کلیه دستگاه‌ها از ساعت ۸ صبح تا ساعت ۷ بعدازظهر روشن بوده و برای بقیه ساعت‌ها که فضای آموزشی خالی از دانش‌آموزان است دستگاه‌ها خاموش می‌شوند و برای محیط مسکونی تهویه تمام مدت روشن در نظر گرفته شده است.

۲-۴-۴ فرضیات ابتدایی

همچنین برای این شبیه‌سازی به یک سری فرض‌های اساسی احتیاج داریم، این فرض‌ها بر اساس تحقیقات تجربی و آزمایشگاهی منتشر شده در گذشته می‌باشند که عبارتند از :

۱. تانک ذخیره آب گرم در فصل تابستان بهتر است خارج از فضای مورد تهویه قرار گیرد، به دلیل اینکه دمای متوسط روزانه محیط خارج از دمای متوسط روزانه فضای مورد تهویه بالاتر است و این موضوع اتلاف حرارتی تانک را کاهش می‌دهد [۱۴].

۲. یک تعدیل کننده فشار در خروجی کلکتور به منظور جلوگیری از بخار شدن آب خروجی کلکتور قرار داده می‌شود، این دستگاه هنگامی کار می‌کند که دمای آب به ۹۸ درجه سلسیوس برسد [۲۴].

۳. نسبت دبی عبوری از کلکتور بخش بر مساحت کلکتور ثابت و برابر $50 \frac{kg}{(hr.m^2)}$ می‌باشد، دلیل این امر پیش از این و در بخش مدل سازی آبرگرمکن گفته شده است.

۳-۴-۴ شرح هر یک از اجزا در نرم افزار TRNSYS

۱. ساختمان : برای شبیه‌سازی ساختمان از type ۱۲ استفاده می‌شود، در این حالت ابتدا با استفاده از type ۱۲b و الگوی کنترل نرخ انرژی بار برودتی مورد نیاز برای ثابت ماندن دمای ساختمان در ۲۴

درجه سلسیوس محاسبه می‌شود. گفتنی است که موارد ورودی به type ۱۲ ظرفیت دمایی ساختمان، مجموع ضریب کلی انتقال گرما برای سطوح انتقال دهنده حرارت و بار حرارتی داخلی ساختمان می‌باشند، سپس با استفاده از type ۱۲c و کنترلر و الگوی کنترل دمایی خانه شبیه‌سازی انجام می‌گیرد. در این حالت دمایی متوسط ساختمان T_B با استفاده از حالت غیر یکنواخت موازنه انرژی از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\rho c V \frac{dT_B}{dt} = \dot{Q}_{coil} + \dot{Q}_{gain} - U_B A_B (T_B - T_a) \quad (7-5)$$

که $\rho c V$ ظرفیت دمایی ساختمان، $\dot{Q}_{coil}$ نرخ انرژی ورودی به ساختمان در اثر تهویه مکانیکی، $\dot{Q}_{gain}$ مجموع بار داخلی ساختمان و $U_B A_B$ ضریب کلی انتقال گرما برای ساختمان و T_a دمایی محیط می‌باشند. در مورد حاضر ابتدا این موارد فضای آموزشی در دو اقلیم تهران و بندر عباس محاسبه می‌گردد، نرخ انرژی حاصل از افراد و تجهیزات و روشنایی و نفوذ (مجموعاً برابر با بار داخلی) برای فضای آموزشی به مجموع مساحت ۱۶۰۰ متر مربع و ارتفاع ۴ متر برابر ۸۵ کیلووات [۳۹] بوده (این بار از ساعت ۸ صبح تا ساعت ۷ بعدازظهر به ساختمان اعمال می‌شود) و حرارت حاصل از تابش خورشید توسط سطوح انتقال دهنده آن به فضای داخل ساختمان وارد می‌گردد، در نهایت برای ثابت نگه داشتن دمایی ساختمان از ساعت ۸ صبح تا ساعت ۷ بعدازظهر در ۲۴ درجه سلسیوس بار ماکزیمم برای تهران ۲۲۰ کیلووات و بندر عباس ۳۲۰ کیلو وات محاسبه می‌شود. همچنین این مدل سازی برای ساختمان مسکونی ۱۵ واحدی در بندر عباس هم انجام شده است، مساحت هر یک از واحد های ساختمان ۸۰ متر مربع در نظر گرفته شده است و ارتفاع آن ۲/۹ متر فرض شده است، در نهایت بار بیشینه برای ساختمان ۱۰۵ کیلووات محاسبه شده است. فصل سرمایش برای تهران از نیمه اردیبهشت تا پایان تابستان و برای بندر عباس از اردیبهشت تا پایان آبان ماه در نظر گرفته شده است.

۲. فرض‌های مربوط به مشخصات کلکتور صفحه تخت، شرایط آب و هوایی و تانک ذخیره مانند

قسمت آبگرمکن خورشیدی است.

۵. گرمکن کمکی گازی: برای شبیه‌سازی گرمکن کمکی از type^۶ استفاده می‌شود. از گرمکن برای بالا بردن دمای آب خروجی از تانک ذخیره و با کمک کنترلر داخلی و خارجی استفاده می‌کنیم. در این مورد با فرمان گرفتن از کنترل تنظیم کننده دمای ساختمان (کنترلر خارجی) گرمکن مانند یک کوره عمل می‌کند به طوریکه نرخ حرارتی $\dot{Q}_{AH,max}$ را به جریان سیال می‌دهد تا وقتیکه دمای سیال از T_{set} تجاوز نکند و اگر دمای ورودی به گرمکن از تانک از T_{set} بزرگتر باشد کنترلر داخلی گرمکن را غیر فعال می‌کند. بازده بویلر گازی برابر ۰/۸ در نظر گرفته می‌شود.

۶. چیلر جذبی: برای شبیه‌سازی چیلر جذبی تک مرحله ای با محرک آب گرم لیتیوم بروماید و آب از type^{۱۰۷} استفاده می‌کنیم. این type یک فایل ورودی داده بر اساس کاتالوگ‌های چیلر جذبی دریافت می‌کند که پارامترهای ورودی چیلر جذبی را به پارامترهای عملکرد آن مربوط می‌نماید. این فرآیند بدین صورت است که چیلر پس از دریافت سیگنال روشن از کنترلر ابتدا نرخ حرارتی $\dot{Q}_{remove}$ را محاسبه می‌کند که برابر نرخ حرارت متناظر با کاهش دمای آب سرد ورودی به چیلر از فن کوئل تا دمای تنظیمی آب سرد خروجی از چیلر جذبی $T_{chw,set}$ می‌باشد، سپس به وسیله این نرخ و ظرفیت اسمی چیلر جذبی $\dot{Q}_{ACH,n}$ نسبت $f_{Design load}$ محاسبه می‌شود و بعد به وسیله چهار پارامتر دمای آب گرم ورودی به ژنراتور چیلر جذبی $(T_{hw,in})$ ، دمای آب خنک ورودی به کندانسور و ابزبر چیلر جذبی $(T_{cw,in})$ ، دمای تنظیم شده آب سرد خروجی $(T_{chw,set})$ و $f_{Design load}$ دو پارامتر عملکرد چیلر جذبی $(f_{Full load}, f_{Design energy input})$ از فایل ورودی چیلر جذبی خوانده می‌شود. معادلات حاکم برای بدست آوردن ظرفیت واقعی، ضریب عملکرد واقعی و دماهای خروجی آب گرم ژنراتور، آب خنک ابزبر و کندانسور و آب سرد مطلوب خروجی از چیلر جذبی به شرح زیر می‌باشد [27, 29]:

$$\dot{Q}_{remove} = \dot{m}_{chw} c_{p,chw} (T_{chw,in} - T_{chw,set}) \quad (9-4)$$

$$f_{Design\ load} = \frac{\dot{Q}_{remove}}{\dot{Q}_{ACH,n}} \quad (۱۰-۴)$$

$$capacity = f_{Full\ load} \dot{Q}_{ACH,n} \quad (۱۱-۴)$$

$$\dot{Q}_{hw} = \frac{\dot{Q}_{ACH,n}}{COP_{ACH,n}} f_{Design\ energy\ input} \quad (۱۲-۴)$$

$$T_{hw,out} = T_{hw,in} - \frac{\dot{Q}_{hw}}{\dot{m}_{hw} c_{p,hw}} \quad (۱۳-۴)$$

$$T_{chw,out} = T_{chw,in} - \frac{\min(\dot{Q}_{remove}, capacity)}{\dot{m}_{chw} c_{p,chw}} \quad (۱۴-۴)$$

$$\dot{Q}_{cw} = \dot{Q}_{chw} + \dot{Q}_{hw} \quad (۱۵-۴)$$

$$COP = \frac{\dot{Q}_{chw}}{\dot{Q}_{hw}} \quad (۱۶-۴)$$

که $capacity, COP$ به ترتیب ضریب عملکرد و ظرفیت واقعی چیلر جذبی می‌باشند و اندیس-های hw, chw, cw به ترتیب متعلق به آب گرم ژنراتور، سرد اواپراتور و خنک ابزبر و کندانسور چیلر جذبی هستند.

در تحقیق حاضر فایل ورودی پیش فرض نرم افزار TRNSYS به کمک کاتالوگ‌های چیلر جذبی شرکت yazaki تصحیح می‌شود [۲۷، ۴۰]، با استفاده از کاتالوگ چیلر جذبی دمای ورودی به ژنراتور چیلردر رنج ۷۵-۹۵ درجه سلسیوس (حد بالایی آب گرم برای جلوگیری از بیش از حد غلیظ شدن محلول لیتییم بروماید در ژنراتور و در نتیجه افزایش امکان کریستالیزاسیون می‌باشد [۲۴] و آب

خنک تنظیمی در رنج ۷-۱۲ درجه سلسیوس در نظر گرفته می‌شود، همچنین گفتنی است که در تحقیق پیش رو دمای آب سرد خروجی تنظیمی برابر ۷ درجه سلسیوس و ضریب عملکرد اسمی چیلر برابر ۰/۷ در نظر گرفته می‌شود و دمای آب گرم ورودی به ژنراتور و آب خنک ورودی به ابزربر و کندانسور متغیر با شرایط محیطی می‌باشند که سعی می‌شود با فرضیات و تدابیر کنترلی در رنج فوق ذکر قرار گیرند.

در نهایت ظرفیت اسمی چیلر و دبی آب گرم، آب خنک و آب سرد چیلر جذبی به کمک روابط زیر تعیین می‌شوند [۳۳]:

$$\dot{Q}_{ACH,n} = \dot{Q}_{max,cooling,building} \quad (۱۷-۴)$$

$$\dot{m}_{p۴} = \frac{\dot{Q}_{max,cooling,building}}{c_{p,chw}\Delta t_n}, \Delta t_n = 5^{\circ}\text{C} \quad (۱۸-۴)$$

$$\dot{m}_{p۱} = \frac{\dot{m}_{p۴}}{COP_{ACH,n}} \quad (۱۹-۴)$$

$$\dot{m}_{p۳} = \dot{m}_{p۴} \left(1 + \frac{1}{COP_{ACH,n}} \right) \quad (۲۰-۴)$$

قابل ذکر است که کالیه از ۱۰۷ type برای تامین ظرفیت حداکثر ۳۰۰ کیلووات استفاده کرده است [۳۸].

۷. فن کوئل: برای شبیه‌سازی فن کوئل سرمایشی از type ۳۲ استفاده می‌کنیم. این مدل بر اساس روابط تجربی استخراجی از ASHRAE نوشته شده است، برای بدست آوردن خواص خروجی روابط زیر داریم [۲۷]:

$$\dot{Q}_{FC} = \dot{m}_w c_{p,w} (T_{w,o} - T_{w,i}) \quad (۲۱-۴)$$

$$\dot{Q}_{FC} = \dot{H}_{a,i} - \dot{H}_{a,o} \quad (22-4)$$

که اندیس‌های w, a به ترتیب مربوط به هوای مرطوب و آب می‌باشند. نرخ حرارت مبادله شده بر مبنای روابط تجربی از فرمول زیر بدست می‌آید:

$$\dot{Q}_{FC} = N_{row} \cdot A_f \cdot BRCW \cdot WSF \cdot LMTD \quad (23-4)$$

که N_{row} تعداد ردیف لوله‌های آب در فن کوئل، A_f مساحت سطح جانبی فن کوئل و $LMTD$ اختلاف دمای میان لگاریتمی بین جریان آب و هوا می‌باشد، همچنین $BRCW, WSF$ در رابطه فوق ثوابتی هستند که از روابط تجربی بدست می‌آیند. با حل همزمان معادلات (4-17) تا (4-19) به روش تکرار و به کمک نمودار سایکرومتریک خواص خروجی آب و هوا محاسبه می‌شوند.

۸. برج خنک‌کن: برای شبیه سازی برج خنک‌کن از type ۵۱ استفاده می‌شود، این type بر اساس مدل کارآیی مبدل حرارتی نوشته شده که در فصل ۲ شرح داده شد. مقادیر ورودی توان و ضریب انتقال جرم و دبی ورودی هوا و آب بوده که دبی آب از رابطه (4-۱۶) محاسبه می‌شود و بقیه به شرح زیر می‌باشند [۲۷]:

$$c = 2.3$$

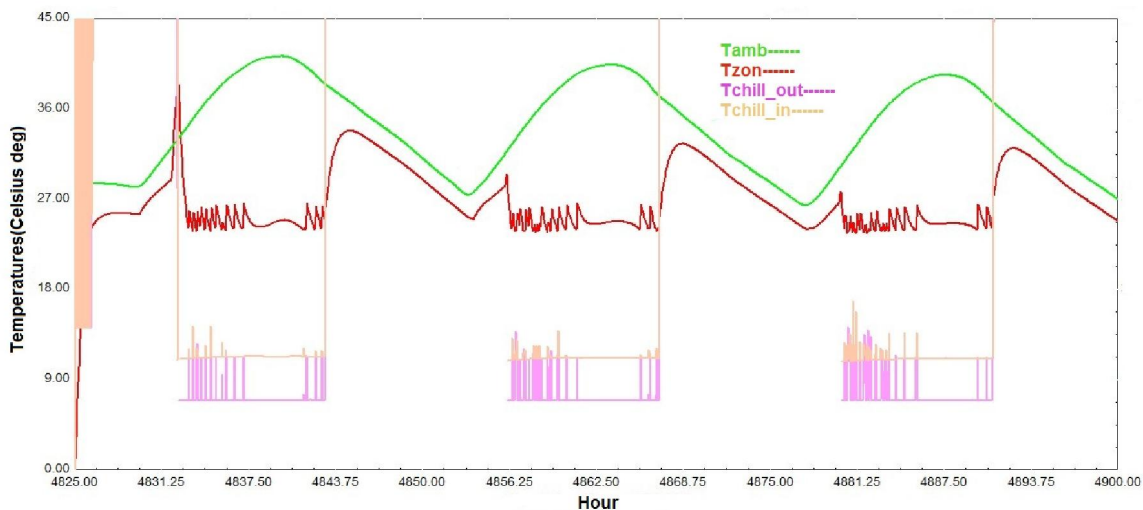
$$n = -0.72$$

$$\dot{m}_{air,CT} = 2 \dot{m}_{p3} \quad (24-4)$$

۴-۴-۴ بررسی تغییرات دما و نرخ انتقال حرارت در قسمتهای مختلف سیستم سرمایش جذبی

در شکل (4-۱۸) دمای فضای مورد تهویه، دمای محیط و دمای آب سرد خروجی و ورودی به اواپراتور چیلر جذبی برای ۳ روز در فصل تابستان برای ساختمان آموزشی و در اقلیم تهران نشان داده شده

است، همانطور که ملاحظه می‌شود دمای فضای آموزشی از ساعت ۸ صبح تا ۷ بعد از ظهر بوسیله کنترلر و خاموش-روشن کردن چیلر جذبی بین ۲۳ تا ۲۶ درجه سلسیوس نگه داشته می‌شود، همچنین همانطور که از شکل پیداست در ساعات انتهایی روز که فضا مورد تهویه قرار نمی‌گیرد دما متناظر با دمای محیط افزایش پیدا می‌کند.



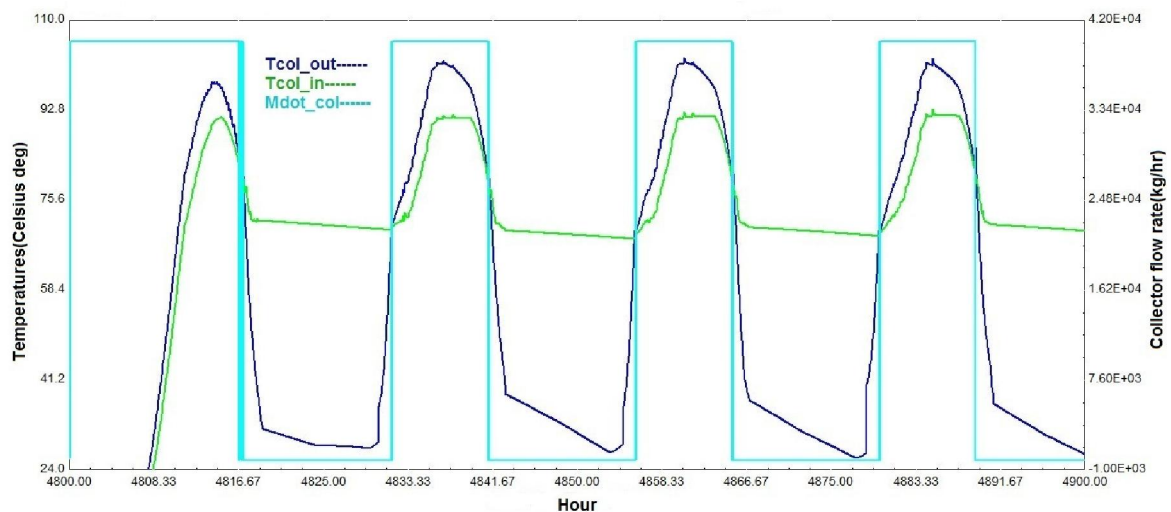
شکل ۴-۱۸ تغییرات دمای فضای مورد تهویه و دمای محیط و آب سرد ورودی و خروجی چیلر جذبی برای ۳ روز متوالی همچنین آب سرد خروجی از اواپراتور چیلر جذبی در زمانهایی که چیلر جذبی روشن است تقریباً ثابت و برابر ۷ درجه سلسیوس یعنی همان دمای تنظیمی خروجی اواپراتور چیلر جذبی است و اختلاف دمای آب سرد ورودی و خروجی اواپراتور تقریباً ۵ درجه سلسیوس می‌باشد. نوسانات دمای آب سرد خروجی مربوط به کنترلر و خاموش-روشن شدن چیلر جذبی برای تنظیم دمای فضای مورد تهویه است که در ساعات اولیه صبح تعداد خاموش-روشن چیلر جذبی بیشتر بوده و در ساعات نزدیک به ظهر و اوج بار تعداد خاموش-روشن چیلر کمتر می‌گردد.

در شکل (۴-۱۹) دمای ورودی و خروجی به کلکتور و دبی عبوری از کلکتور برای ۴ روز در فصل تابستان برای ساختمان آموزشی و در اقلیم تهران نشان داده شده است. همانطور که گفته شد کنترلر حلقه خورشیدی با خاموش-روشن کردن کلکتور از اتلاف حرارتی در کلکتور جلوگیری می‌کند.

همانطور که از شکل نیز پیداست هنگامی که اختلاف بین دمای ورودی و خروجی کلکتور به مقدار مجاز رسید پمپ حلقه خورشیدی روشن می‌شود و وقتی که این اختلاف دما به پایینتر از حد مجاز رسید پمپ حلقه خورشیدی خاموش می‌گردد. همچنین دمای کلکتور هنگامی که پمپ خاموش است دمای سکون نامیده می‌شود و از رابطه زیر به دست می‌آید:

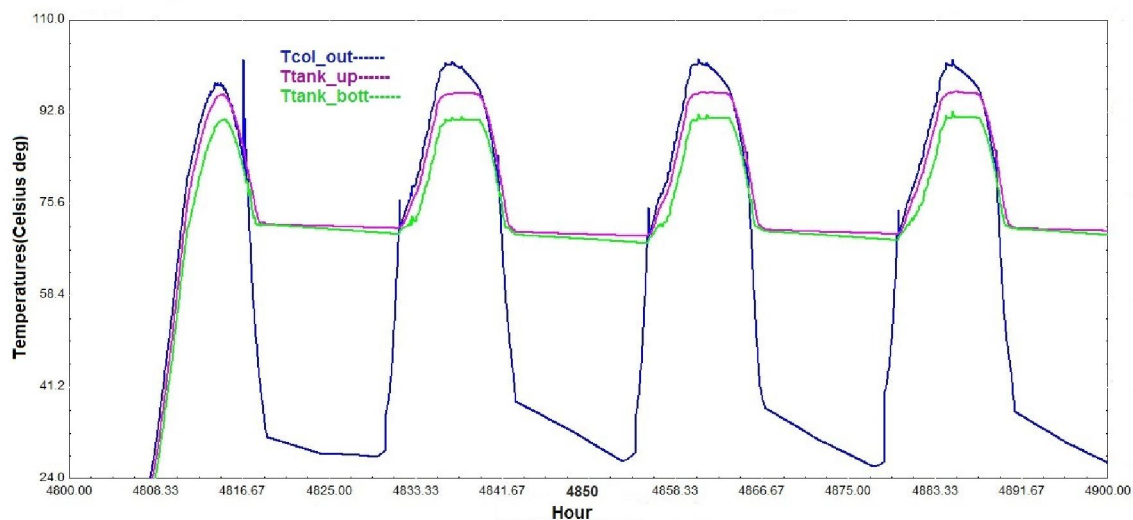
$$T_{stagnation} = T_a + \frac{I_t(\tau\alpha)_n}{U_L} \quad (۲۵-۴)$$

واضح است که این مقدار شب‌ها که تابش خورشیدی وجود ندارد تقریباً برابر با دمای محیط می‌گردد.



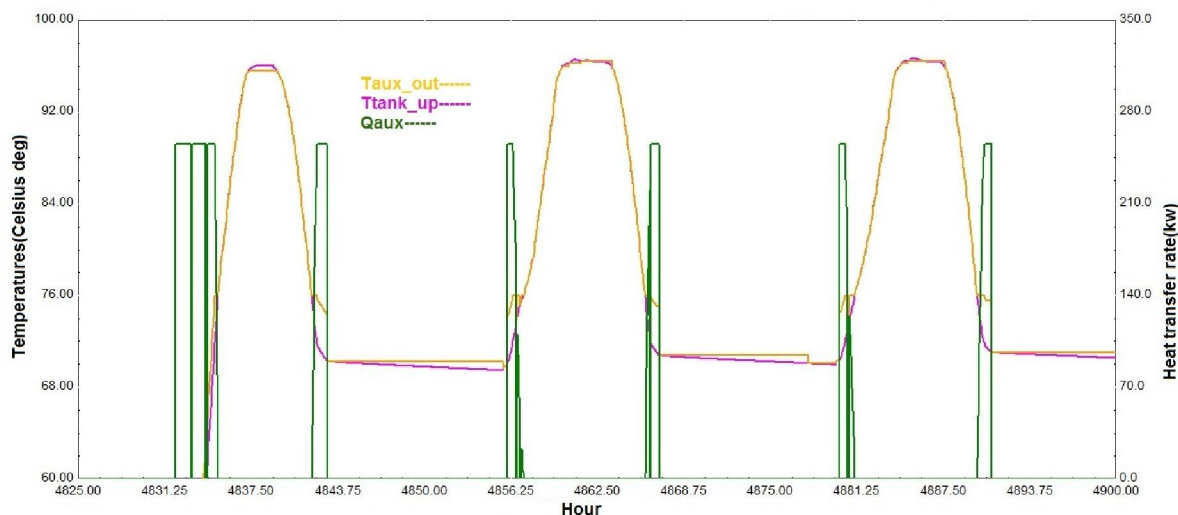
شکل ۴-۱۹ تغییرات دمای ورودی و خروجی و دبی کلکتور برای ۴ روز متوالی

در شکل (۴-۲۰) دمای خروجی کلکتور و همچنین دمای بالاترین لایه و پایین‌ترین لایه تانک ذخیره لایه‌های حرارتی را مشاهده می‌کنید، همانطور که از شکل مشخص است دمای خروجی از کلکتور در طول روز نوسان زیادی دارد و به دلیل اینکه دمای ورودی به چیلر جذبی دارای یک رنج مجاز است استفاده از یک تانک ذخیره برای کاهش نوسانات دمای خروجی از کلکتور ضروری به نظر می‌رسد، همچنین لایه‌بندی تانک همانطور که گفته شد باعث می‌شود آب پایین‌ترین لایه تانک با دمای کمتر به کلکتور جریان پیدا کند که این امر باعث افزایش بازده کلکتور می‌شود.

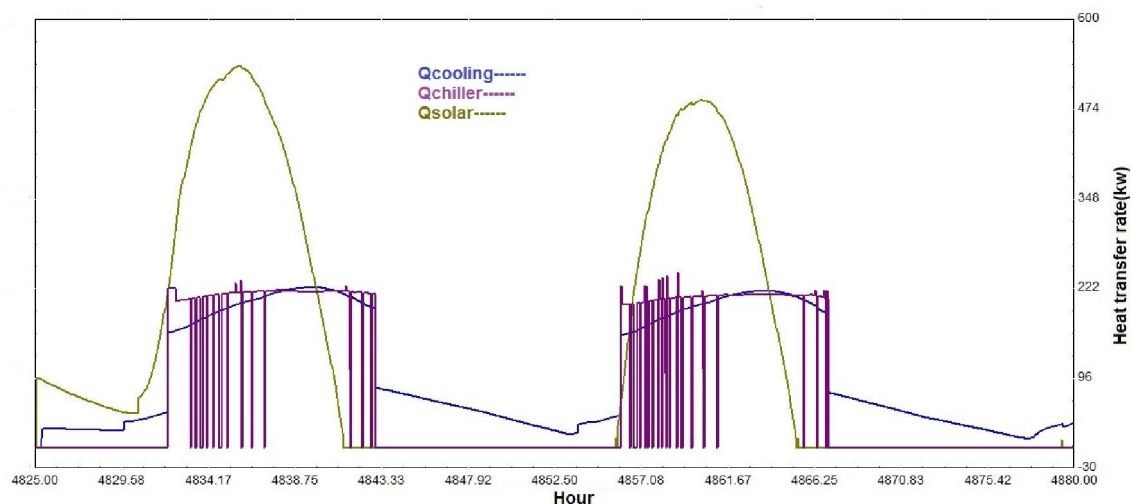


شکل ۴-۲۰ تغییرات دمای خروجی کلکتور و بالا و پایین تانک ذخیره برای ۴ روز متوالی

در شکل (۴-۲۱) دمای بالاترین لایه تانک ذخیره که دمای ورودی به گرمکن کمکی است و دمای خروجی از گرمکن کمکی و نرخ انتقال حرارت در گرمکن کمکی را ملاحظه می‌کنید، همانطور که قبلا



شکل ۴-۲۱ تغییرات دمای ورودی و خروجی و تغییرات نرخ انتقال حرارت در گرمکن کمکی



شکل ۴-۲۲ تغییرات نرخ انتقال حرارت کلکتور خورشیدی و چیلر جذبی و بار سرمایشی فضای مورد تهویه

گفته شد دمای تنظیمی گرمکن کمکی برابر ۷۶ درجه سلسیوس در نظر گرفته می‌شود، در نظر گرفتن این دما بدین معنی است که اگر دمای ورودی به گرمکن کمکی بالای ۷۶ باشد گرمکن کمکی خاموش می‌گردد و اگر دمای ورودی به گرمکن کمتر از ۷۶ باشد نرخ حرارت اسمی گرمکن به جریان سیال داده می‌شود به طوریکه دمای آن از دمای تنظیمی ۷۶ تجاوز نکند. همانطور که از شکل (۴-۲۱) پیداست تنها در ساعات ابتدایی و انتهایی کارکرد سیستم تهویه که انرژی خورشیدی کافی فراهم نیست گرمکن کمکی روشن بوده و حداقل دمای مجاز ورودی به ژنراتور چیلر جذبی را تامین می‌کند و در بقیه ساعات گرمکن کمکی معمولاً خاموش است.

همچنین در شکل (۴-۲۲) برودت تولید شده بوسیله اواپراتور چیلر جذبی و نیاز سرمایشی ساختمان و انرژی موجود خورشیدی در ۲ روز متوالی فصل تابستان نشان داده شده است. همانطور که قبلاً گفته شد این برودت بین ساعات ۸ صبح تا ۷ بعد از ظهر به داخل فضای آموزشی اعمال می‌شود و همانطور در

شکل دیده می‌شود هماهنگی خوبی بین آب گرم تولید شده به وسیله کلکتور (انرژی خورشیدی موجود) و نیاز فضای مورد تهویه به برودت وجود دارد. نوسانات نیز مربوط به کنترلر خاموش-روشن

می‌باشد و همانطور که از شکل مشخص است تعداد نوسانات در ساعات صبح بیشتر و در ساعات ظهر متناظر با ماکزیمم بار مورد نیاز ساختمان دقایق روشن بودن متوالی چیلر جذبی بیشتر است.

۵-۴-۴ معرفی تابع اقتصادی

در این بخش هم مانند آبگرمکن خورشیدی فرض می‌کنیم برای گرمایش آب ورودی به چیلری غیر خورشیدی از سیستم خورشیدی بهره گرفته می‌شود. کالیه [۴۱]، برای محاسبات اقتصادی چیلر بر اساس ظرفیت اسمی توابعی پیشنهاد داده است، که تبدیل و تصحیح شده این روابط به صورت زیر است:

$$J_i \quad (26-4)$$

$$J \quad (27-4)$$

که در آن J_{TK} و J_{SC} به ترتیب هزینه اولیه کلکتور خورشیدی و تانک ذخیره بر حسب ریال است و A_{SC} مساحت کلکتور بر حسب متر مربع و V_{TK} حجم تانک ذخیره بر حسب متر مکعب است. برای نرخ تنزیل و هزینه سوخت از رابطه‌ی ۴-۶ و جدول ۴-۱ استفاده شده است. در بررسی قسمت اقتصادی، ملاک سود حاصل از اختلاف میان هزینه‌های اولیه سالیانه و هزینه صرفه جویی در سوخت است.

بازده اگزرژی سیستم از معادله زیر بدست می‌آید [۲۷]:

$$\eta \quad (28-4)$$

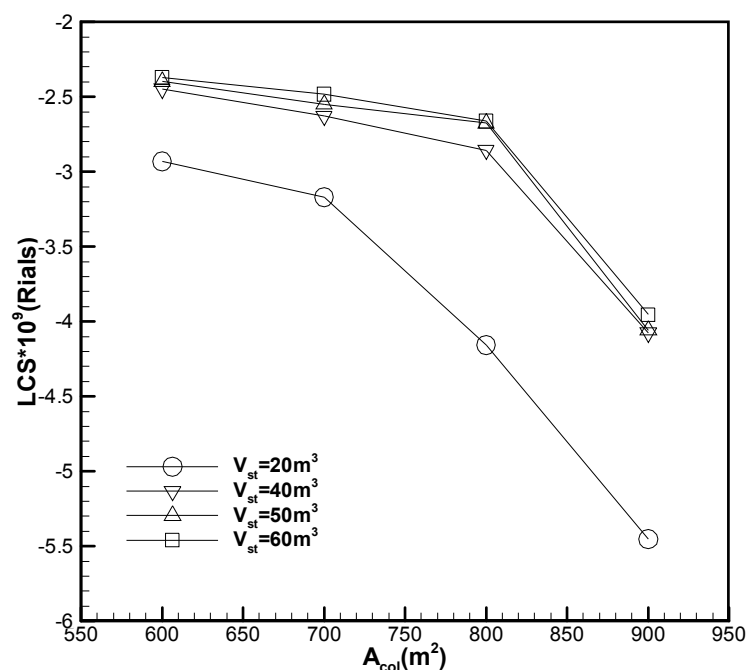
که در آن $(\dot{E}_p)_{CS}$ نرخ تغییرات اگزرژی آب سرد ورودی و خروجی از چیلر و $\dot{E}_{X_{solar}}$ اگزرژی ورودی به کلکتور از طرف خورشید است. برای مطالعه اثر تانک ذخیره می‌توان به مخرج کسر، اگزرژی گرمکن کمی را نیز اضافه کرد.

۴-۴-۶ نتایج شبیه سازی

برای تحلیل حساسیت سنجی تغییرات مساحت کلکتور و حجم تانک ذخیره بر مولفه‌های اقتصادی و انرژی، پیشنهاد شده است که محاسبات برای محدوده نسبت حجم تانک ذخیره به مساحت کلکتور بین ۴۰ تا ۱۱۰ انجام شود [۳۵]، در این تحقیق محاسبات بین حجم‌های تانک ذخیره ۲۰ تا ۶۰ متر مکعب انجام شده است که فرض مطلوبی است.

۴-۴-۶-۱ ساختمان آموزشی

شکل ۴-۲۳ نمودار سود سالانه بر حسب مساحت کلکتور را برپا شهر تهران نشان می‌دهد، همانطور که دیده می‌شود استفاده از چیلر خورشیدی برای شهر تهران از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست، همچنین این نمودار به سمت مساحت کمتر کلکتور و تانک ذخیره بزرگتر کوچکتر توصیه می‌کند.

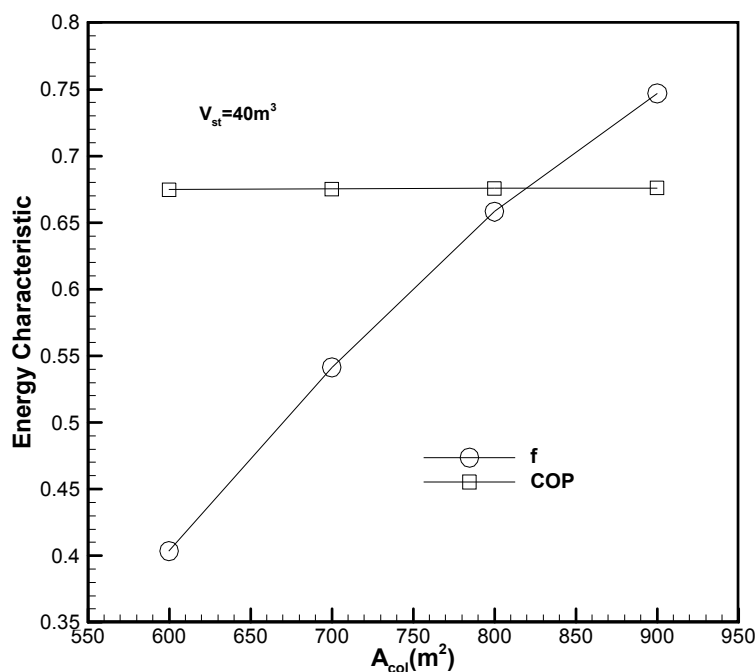


شکل ۴-۲۳ ذخیره سالانه بر حسب مساحت کلکتور برای تانک‌های ذخیره مختلف در تهران

در شکل ۴-۲۴ تغییرات مشخصه‌های انرژی بر حسب تغییر مساحت کلکتور برای شهر بندر عباس رسم شده است. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش مساحت کلکتور ضریب عملکرد چیلر جذبی اندکی افزایش می‌یابد، چون با افزایش مساحت کلکتور گرمای مفید جذب شده توسط کلکتور افزایش

یافته که باعث افزایش دمای آب خروجی از کلکتور می‌شود، دمای بالای تانک ذخیره افزایش پیدا می‌کند و در نتیجه دمای آب گرم ورودی به چیلر جذبی نیز افزایش می‌یابد که باعث افزایش ضریب عملکرد آن می‌شود.

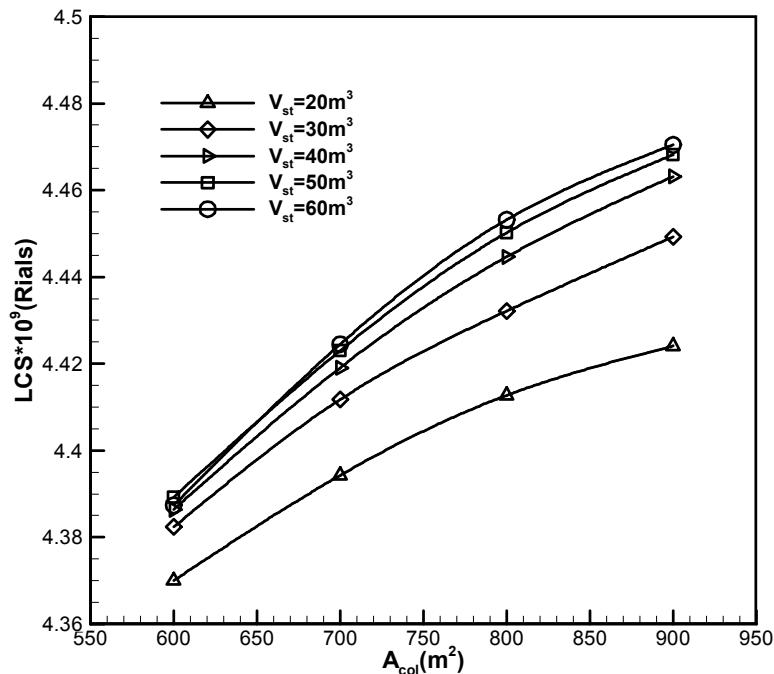
همچنین همانطور که پیداست افزایش مساحت کلکتور تاثیر مثبت بسیار واضحی بر روی f دارد، این موضوع در نتیجه افزایش گرمای مفید حاصل از کلکتور در اثر افزایش مساحت آن و در نتیجه کاهش استفاده از انرژی گرمکن کمکی حاصل می‌گردد.



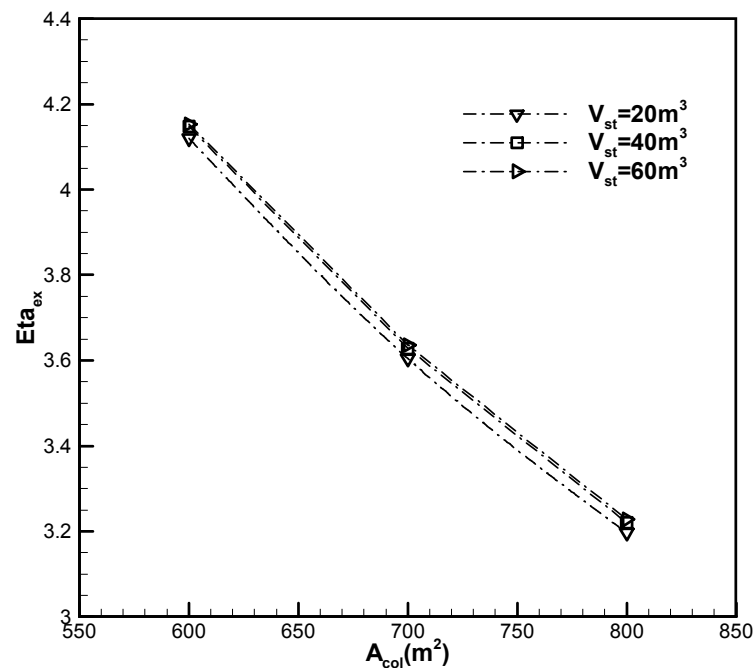
شکل ۴-۲۴ تغییرات مشخصه‌های انرژی بر حسب مساحت کلکتور در بندر عباس

در شکل ۴-۲۵ ذخیره سالانه بر حسب مساحت کلکتور برای تانک‌های ذخیره مختلف در بندر عباس را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش مساحت کلکتور، ذخیره سالیانه افزایش پیدا می‌کند، علت آن این است که آهنگ هزینه صرفه جویی شده ناشی از کاهش مصرف سوخت سریع‌تر از آهنگ هزینه‌های اولیه و قیمت سوخت مصرفی حرکت می‌کند، این مسئله نشان دهنده این است که از دیدگاه ذخیره سالیانه، بیشینه مساحت کلکتور مطلوب است. همچنین در مساحت کلکتور ثابت، با افزایش حجم تانک ذخیره، ذخیره سالانه بیشتر می‌شود، البته در نقطه کمینه تانک ذخیره ۶۰۰۰ لیتری

به علت بر هم خوردن لایه‌های حرارتی ناشی از دبی پایین کلکتور، این فائده نقض می‌شود. این نمودار نشان دهنده بازدهی اقتصادی استفاده از چیلر خورشیدی در شهر بندر عباس است، در واقع به علت مدت زمان تقاضای سرمایش طولانی و همچنین شدت تابش بندر عباس این امکان محقق شده است.



شکل ۴-۲۵ ذخیره سالانه بر حسب مساحت کلکتور برای تانک‌های ذخیره مختلف در بندر عباس

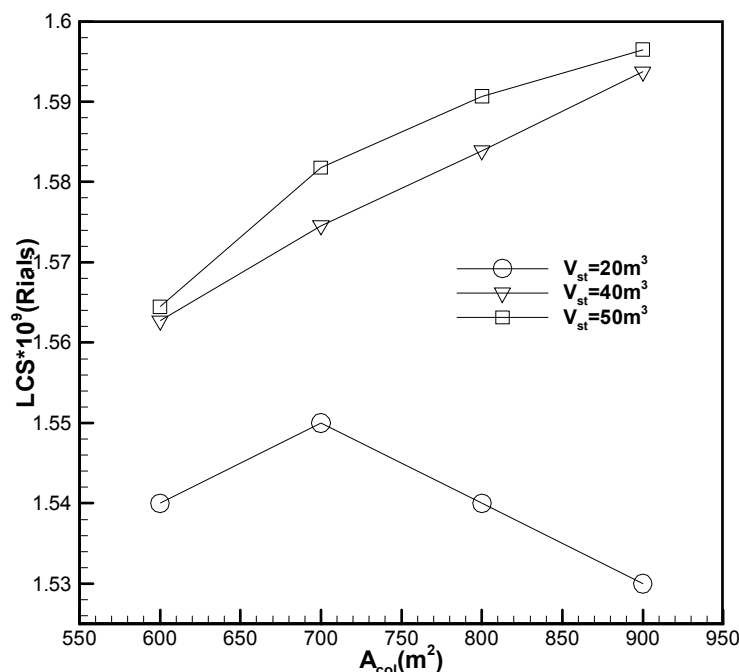


شکل ۴-۲۶ بازده اگزرژی بر حسب مساحت کلکتور برای تانک‌های ذخیره مختلف در بندر عباس

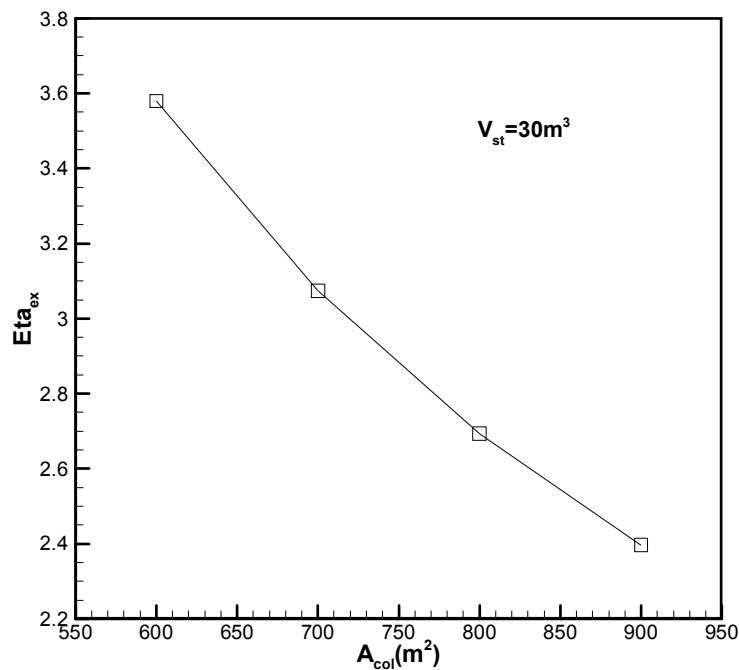
شکل ۴-۲۶ نمودار بازده انرژی سیستم بر حسب تغییرات مساحت کلکتور را نشان می‌دهد، بازده انرژی چیلر جذبی خورشیدی با افزایش مساحت کلکتور، کاهش می‌یابد، علت این است که با افزایش مساحت کلکتور شدت تابش ورودی به آن افزایش می‌یابد و این باعث کاهش بازده می‌شود، از طرف دیگر همان‌طور که مشاهده می‌شود، اثر افزایش حجم تانک ذخیره بر بازده انرژی اندک است و این دو در بهینه سازی پارامتری در تضاد قرار می‌گیرند.

۴-۶-۲ ساختمان مسکونی

شکل ۴-۲۷ نمودار تغییرات ذخیره سالانه بر حسب مساحت کلکتور ۱ برای ساختمان ۱۵ واحدی در بندر عباس نشان می‌دهد، همان‌طور که مشاهده می‌شود رفتار نمودار به کلی متفاوت از ساختمان آموزشی است، در تانک ذخیره با حجم ۲۰۰۰ متر مکعب، ابتدا نمودار صعود می‌کند، یعنی سود حاصل از صرفه جویی بیشتر از هزینه ادوات خورشیدی است، اما از جایی به بعد این هزینه است که از سود پیشی می‌گیرد، همچنین به علت این که ساعات سرمایش در این الگو در شب بیشتر از الگوی آموزشی است، نقش تانک ذخیره بر جسته‌تر است و در کل می‌توان نتیجه گرفت تابع اقتصادی به شدت به الگوی مصرف وابسته است. در بقیه حجم‌های تانک، وضعیت مثل حالت الگوی آموزشی است.



شکل ۴-۲۷ ذخیره سالانه بر حسب مساحت کلکتور برای تانک‌های ذخیره مختلف در ساختمان مسکونی، بندر عباس



شکل ۲۸-۴ بازده اگزرژی بر حسب مساحت کلکتور در ساختمان مسکونی، بندر عباس

شکل ۲۸-۴ نشان دهنده تغییرات بازده اگزرژی است که برای ساختمان مسکونی هم مثل ساختمان آموزشی نزولی است، یعنی با افزایش مساحت کلکتور، تفاوت دمای آب ورودی و خروجی اواپراتور ثابت می ماند ولی مخرج کسر یعنی اگزرژی ورودی افزایش می یابد که این باعث کاهش بازده می شود. اما در نهایت می توان نتیجه گرفت، که در بازه ی شبیه سازی برای کمترین تانک ذخیره، مساحت کلکتور هم ارز با بیشینه سود، نقطه بهینه است، اما در سایر حجم ها مثل بخش قبل، حالت بهینه، مترادف بالاترین مساحت کلکتور و حجم تانک ذخیره است که این با پیشنهاد بازده اگزرژی که کمترین مساحت و کمترین حجم است، در تضاد است.

فصل پنجم

جمع بندی و پیشنهادات

ایده مرکزی این پژوهش امکان سنجی استفاده از خورشید در ساختمان برای گرمایش آب گرم و سرمایه‌های محیط با قیمت جهانی گاز و همچنین تحلیل انرژی این فرآیند بود و در کنار آن بهینه‌سازی پارامترهای طراحی سیستم خورشیدی هم مد نظر بود. نتایج تحقیق نشان داد که این امکان برای اقلیم و الگوهای مصرف مختلف، متفاوت است و به طور مثال برای آبگرمکن محاسبات در همه اقلیم‌ها نتیجه مثبت حاصل شد.

البته برای این کار قیمت متوسط جهانی گاز صادراتی ایران ملاک قرار گرفت و توجه آن امکان صادرات گاز طبیعی صرفه جویی شده در مقابل پرداخت هزینه‌های طرح‌های خورشیدی از طرف دولت است. در واقع با این رویکرد هم می‌توان در مصرف انرژی صرفه جویی کرد و هم با توصیه به تبدیل مناسب‌تر سوخت فسیلی، گامی در راستای کاهش آلودگی برداشت.

از طرف دیگر با تحلیل انرژی این ابزارها، هم روند تخریب انرژی بررسی شد و هم این نتیجه گرفته شد که برای طراحی تنها توجه به یکی از فاکتورهای ترمودینامیکی یا اقتصادی می‌تواند باعث خطا در تصمیم‌گیری شود.

در پایان علاوه بر پیشنهاد به دولت، برای ادامه کار پیشنهادها زیر را ارائه می‌شود:

۱. بررسی امکان سنجی اقتصادی در اقلیم‌ها و الگوهای مصرف دیگر و گزارش نتایج بهینه
۲. تهیه نقشه‌ای جامع برای استفاده از خورشید در کشور
۳. بررسی آبگرمکن و چیلر خورشیدی از دیدگاه انرژی-اقتصادی
۴. بررسی استفاده از انواع دیگر تانک‌های ذخیره و کلکتور و مقایسه ترمودینامیکی و اقتصادی میان

آنها

- [١] W. Xiaowu, H. Ben, Exergy analysis of domestic-scale solar water heaters, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. ٩, No. ٦, pp. ٦٣٨-٦٤٥, ٢٠٠٥ .
- [٢] H. Gunerhan, A. Hepbasli, Exergetic modeling and performance evaluation of solar water heating systems for building applications, *Energy and Buildings*, Vol. ٣٩, No. ٥, pp. ٥٠٩-٥١٦, ٢٠٠٧ .
- [٣] M. A. Rosen, I. Dincer, Exergy methods for assessing and comparing thermal storage systems, *International Journal of Energy Research*, Vol. ٢٧, No. ٤, pp. ٤١٥-٤٣٠, ٢٠٠٣ .
- [٤] M. A. Rosen, I. Dincer, Exergy as the confluence of energy, environment and sustainable development, *Exergy, An International Journal*, Vol. ١, No. ١, pp. ٣-١٣, ٢٠٠١ .
- [٥] M. A. Rosen, The exergy of stratified thermal energy storages, *Solar Energy*, Vol. ٧١, No. ٣, pp. ١٧٣-١٨٥, ٢٠٠١ .
- [٦] S. J. Sterling, M. R. Collins, Feasibility analysis of an indirect heat pump assisted solar domestic hot water system, *Applied Energy*, Vol. ٩٣, No. ١, pp. ١١-١٧, ٢٠١٢ .
- [٧] D. M. Atia ,F. H. Fahmy, N. M. Ahmed, H. T. Dorrah, Optimal sizing of a solar water heating system based on a genetic algorithm for an aquaculture system, *Mathematical and Computer Modelling*, Vol. ٥٥, No. ٣-٤, pp. ١٤٣٦-١٤٤٩, ٢٠١٢ .
- [٨] S. Kalogirou, Thermal performance, economic and environmental life cycle analysis of thermosiphon solar water heaters, *Solar Energy*, Vol. ٨٣, No. ١, pp. ٣٩-٤٨, ٢٠٠٩ .
- [٩] G. N. Kulkarni, S. B. Kedare, S. Bandyopadhyay, Determination of design space and optimization of solar water heating systems, *Solar Energy*, Vol. ٨١, No. ٨, pp. ٩٥٨-٩٦٨, ٢٠٠٧ .
- [١٠] H. F. Naspolini, R. Rüther, Assessing the technical and economic viability of low-cost domestic solar hot water systems (DSHWS) in low-income residential dwellings in Brazil, *Renewable Energy*, Vol. ٤٨, No. ١, pp. ٩٢-٩٩, ٢٠١٢ .
- [١١] Z. F. Li, K. Sumathy, Simulation of a solar absorption air conditioning system, *Energy Conversion and Management*, Vol. ٤٢, No. ٣, pp. ٣١٣-٣٢٧, ٢٠٠١ .
- [١٢] G. A. Florides, S. A. Kalogirou ,S. A. Tassou, L. C. Wrobel, Modelling and simulation of an absorption solar cooling system for Cyprus, *Solar Energy*, Vol. ٧٢, No. ١, pp. ٤٣-٥١, ٢٠٠٢ .
- [١٣] F. Assilzadeh, S. A. Kalogirou, Y. Ali, K. Sopian, Simulation and optimization of a LiBr solar absorption cooling system with

- evacuated tube collectors, *Renewable Energy*, Vol. ۳۰, No. ۸, pp. ۱۱۴۳-۱۱۵۹, ۲۰۰۵.
- [۱۴] K. A. Joudi, Q. J. Abdul-Ghafour, Development of design charts for solar cooling systems. Part I: computer simulation for a solar cooling system and development of solar cooling design charts, *Energy Conversion and Management*, Vol. ۴۴, No. ۲, pp. ۳۱۳-۳۳۹, ۱//, ۲۰۰۳.
- [۱۵] A. Şencan, K. A. Yakut, S. A. Kalogirou, Exergy analysis of lithium bromide/water absorption systems, *Renewable Energy*, Vol. ۳۰, No. ۵, pp. ۶۴۵-۶۵۷, ۲۰۰۵.
- [۱۶] T. Mateus, A. C. Oliveira, Energy and economic analysis of an integrated solar absorption cooling and heating system in different building types and climates, *Applied Energy*, Vol. ۸۶, No. ۶, pp. ۹۴۹-۹۵۰, ۲۰۰۹, ۷.
- [۱۷] م.مظلومی, بررسی عملکرد یک سیستم سرمایشی جذبی خورشیدی در ظرفیت خانگی در اقلیم ایران, پایان نامه کارشناسی ارشد, دانشکده فنی, دانشگاه گیلان, ۱۳۸۵.
- [۱۸] M. Daneshyar, Solar radiation statistics for Iran, *Solar Energy*, Vol. ۲۱, No. ۴, pp. ۳۴۵-۳۴۹, ۱۹۷۸.
- [۱۹] S. A. Kalogirou, *Solar Energy Engineering Processes and Systems*, 1st ed., pp. ۸۵۰: Elsevier, ۲۰۰۹.
- [۲۰] E. M. Kleinbach, W. A. Beckman, S. A. Klein, Performance study of one-dimensional models for stratified thermal storage tanks, *Solar Energy*, Vol. ۵۰, No. ۲, pp. ۱۵۵-۱۶۶, ۱۹۹۳.
- [۲۱] I. D. M. A. Rosen, *EXERGY: Energy, Environment and Sustainable Development*, Oxford: Elsevier, ۲۰۱۲.
- [۲۲] S. Farahat, F. Sarhaddi, H. Ajam, Exergetic optimization of flat plate solar collectors, *Renewable Energy*, Vol. ۳۴, No. ۴, pp. ۱۱۶۹-۱۱۷۴, ۲۰۰۹.
- [۲۳] F. Jafarkazemi, E. Ahmadifard, Energetic and exergetic evaluation of flat plate solar collectors, *Renewable Energy*, Vol. ۵۶, No. ۰, pp. ۵۵-۶۳, ۲۰۱۳.
- [۲۴] M. Balghouthi, M. H. Chahbani, A. Guizani, Feasibility of solar absorption air conditioning in Tunisia, *Building and Environment*, Vol. ۴۳, No. ۹, pp. ۱۴۵۹-۱۴۷۰, ۲۰۰۸.
- [۲۵] G. A. Florides, S. A. Kalogirou, S. A. Tassou, L. C. Wrobel, Design and construction of a LiBr-water absorption machine, *Energy Conversion and Management*, Vol. ۴۴, No. ۱۵, pp. ۲۴۸۳-۲۵۰۸, ۲۰۰۳.
- [۲۶] L. Garousi Farshi, S. M. S. Mahmoudi, M. A. Rosen, Exergoeconomic comparison of double effect and combined ejector-double effect absorption refrigeration systems, *Applied Energy*, Vol. ۱۰۳, No. ۰, pp. ۷۰۰-۷۱۱, ۲۰۱۳.

- [۲۷] م. ذوقی، تحلیل انرژی-اقتصادی و بهینه‌سازی سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی با مشارکت انرژی خورشیدی (مورد مطالعاتی: ساختمان جدید دانشکده مهندسی مکانیک)، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه گیلان، ۱۳۹۱.
- [۲۸] ASHRAE, Handbook of HVAC Application, ASHRAE, ۲۰۰۷.
- [۲۹] S.A.Klien, *TRNSYS.A transient simulation program*: University of Wisconsin, Madison: Solar Energy Laboratory, ۲۰۰۶.
- [۳۰] K. A. Antonopoulos, E. D. Rogdakis, A correlation for the optimum collector flow rate in one tank forced circulation solar water heaters, *Renewable Energy*, Vol. ۱, No. ۳-۴, pp. ۳۷۳-۳۷۹, ۱۹۹۱.
- [۳۱] N. Molero-Villar, J. M. Cejudo-López, F. Domínguez-Muñoz, A. Carrillo-Andrés, A comparison of solar absorption system configurations, *Solar Energy*, Vol. ۸۶, No. ۱, pp. ۲۴۲-۲۵۲, ۲۰۱۲.
- [۳۲] A. Syed, M. Izquierdo, P. Rodríguez, G. Maidment, J. Missenden, A. Lecuona, R. Tozer, A novel experimental investigation of a solar cooling system in Madrid, *International Journal of Refrigeration*, Vol. ۲۸, No. ۶, pp. ۸۵۹-۸۷۱, ۲۰۰۵.
- [۳۳] F. Calise, M. Dentice d'Accadia, A. Palombo, Transient analysis and energy optimization of solar heating and cooling systems in various configurations, *Solar Energy*, Vol. ۸۴, No. ۳, pp. ۴۳۲-۴۴۹, ۲۰۱۰.
- [۳۴] A. Hepbasli, Low exergy (LowEx) heating and cooling systems for sustainable buildings and societies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. ۱۶, No. ۱, pp. ۷۳-۱۰۴, ۲۰۱۲.
- [۳۵] F. Calise, A. Palombo, L. Vanoli, Maximization of primary energy savings of solar heating and cooling systems by transient simulations and computer design of experiments, *Applied Energy*, Vol. ۸۷, No. ۲, pp. ۵۲۴-۵۴۰, ۲۰۱۰.
- [۳۶] A. Koca, H. F. Oztop, T. Koyun, Y. Varol, Energy and exergy analysis of a latent heat storage system with phase change material for a solar collector, *Renewable Energy*, Vol. ۳۳, No. ۴, pp. ۵۶۷-۵۷۴, ۲۰۰۸.
- [۳۷] K. Kulkarni, P. K. Sahoo, M. Mishra, Optimization of cooling load for a lecture theatre in a composite climate in India, *Energy and Buildings*, Vol. ۴۳, No. ۷, pp. ۱۵۷۳-۱۵۷۹, ۲۰۱۱.
- [۳۸] F. Calise, Thermoeconomic analysis and optimization of high efficiency solar heating and cooling systems for different Italian school buildings and climates, *Energy and Buildings*, Vol. ۴۲, No. ۷, pp. ۹۹۲-۱۰۰۳, ۲۰۱۰.
- [۳۹] ASHRAE, Fundamental, ASHRAE, ۲۰۰۱.
- [۴۰] <http://www.yazakienergy.com>, Accessed .
- [۴۱] F. Calise, M. D. d'Accadia, L. Vanoli, Thermoeconomic optimization of Solar Heating and Cooling systems, *Energy Conversion and Management*, Vol. ۵۲, No. ۲, pp. ۱۵۶۲-۱۵۷۳, ۲۰۱۱.

Abstract

Nowadays, due to concerns over polluting effects of fossil fuels, declining resources and increasing prices the necessity of greater attention to clean energies as the sun is clear and for this purpose there has been extensive research all over the world. In this study, focusing on optimizing the use of solar energy in the building, at first solar water heater and solar absorption chiller were selected as the two devices that use solar energy for hot water supply. Then these systems were simulated with software TRNSYS in Tehran, Bandar Abbas and Tabriz Climate, for both educational and residential consumption patterns and the impact of the flat plate collector area and storage tank volume Changes on the exergy efficiency of the various devices and economic factors was examined. Also, the impact of different patterns on economic functions and annual saving was assessed and feasibility of applying each of these devices in different climates was evaluated. In this process, fuel prices, were considered equivalent to the average price of Iran gas exporting. For water heater in each climatic zone annual saving was desirable and pay back was calculated between 8 to 10 years. Also for using water heater in residential buildings, economic optimum points of the collector area for storage tanks in different volumes were reported. The feasibility also was evaluated for solar chiller and annual saving and payback was calculated. The results showed that using solar energy for cooling in Tehran, even with the global price of fuel is not economical. But in Bandar Abbas results were positive for both educational and residential consumption patterns and economic function suggested the greatest area for collector surface and the greatest volume for storage tank. Defining exergy efficiency function for the solar part of the chiller, optimum efficiency was observed for the minimum collector area and minimum size of the storage tank. This means that improvement of the system in terms of exergy and economics were at odds with each other.

Keywords:Optimizing, Exergy, Consumption pattern, Solar water heater, absorption chiller, TRNSYS.