

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی مکانیک و مکاترونیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی سیستم‌های انرژی

گرایش سیستم‌های انرژی

بررسی سیستم‌های سرمایه‌ش خورشیدی متعارف و غیرمتعارف

نگارنده: احسان الیاسی میانکوه

اساتید راهنما

دکتر محمد حسین احمدی

دکتر علی جباری مقدم

اسفند ۱۴۰۰

در این صفحه صورت جلسه دفاع را قرار دهید. لازم است پس از صحافی این صفحه مجدداً توسط دانشکده مهر گردد و استاد راهنما با امضای خود اصلاحات پایان نامه را تایید کند.

تقدیم اثر

خدای را بسی شاکرم ، مادر و پدری فداکار نصیبم ساخته که در سختی‌ها و دشواری‌های زندگی همواره
یاوری دلسوز و فداکار و پشتیبانی محکم برایم بوده‌اند.

تقدیم به وجود با ارزشتان...

که وجودشان شادی بخش و صفایشان مایه آرامش من است

تشکر و قدردانی

انجام این پروژه را مدیون زحمات اساتید محترم، جناب آقایان دکتر محمد حسین احمدی و دکتر علی جباری مقدم هستم چراکه بدون راهنمایی‌های ایشان تامین این پایان‌نامه بسیار مشکل می‌نمود. لذا از زحمات ایشان تشکر می‌نمایم و طول عمر باعزت را برایشان از خداوند مسالت می‌نمایم.

در پایان از تمام کسانی که (دوستان) در انجام این پروژه، موجب دلگرمی بنده بودند تشکر می‌نمایم.

تعمدنامه

اینجانب احسان الیاسی میانکوه دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی سیستم‌های انرژی دانشکده مهندسی مکانیک و مکاترونیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه " بررسی سیستم‌های سرمایه‌گذاری خورشیدی متعارف و غیرمتعارف " تحت راهنمایی دکتر محمد حسین احمدی و دکتر علی جباری مقدم متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان‌نامه 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 پایان‌نامه 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 می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، 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 دانشج

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 می‌باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود . استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

امروزه با توجه به مسئله گرمایش زمین و تاثیر مخرب سوخت‌های فسیلی بر روی محیط‌زیست، تامین انرژی بخش‌های مختلف جوامع از انرژی تجدیدپذیر، مورد توجه قرار گرفته است. یکی از این بخش‌ها، نیاز سرمایش در بخش‌های مسکونی و غیرمسکونی به وسیله انرژی تجدیدپذیر به ویژه انرژی خورشیدی می‌باشد. در این رابطه انواع سیستم‌های متعارف و غیرمتعارف سرمایش خورشیدی پیشنهاد شده است. در این پژوهش انواع سیستم‌های مختلف سرمایش خورشیدی را مورد بررسی و بحث قرار داده می‌شود.

کلمات کلیدی : سرمایش خورشیدی، متعارف، غیرمتعارف، سیستم خورشیدی فتوولتائیک،

سیستم خورشیدی حرارتی

فهرست مطالب

ی	فهرست اشکال
ک	فهرست جداول
۱	فصل ۱: مقدمه
۲	۱-۱ مقدمه
۳	۱-۲ سرمایه‌های متعارف خورشیدی
۳	۱-۲-۱ سیستم‌های سرمایه‌های متعارف خورشیدی با محرک حرارتی
۷	۱-۲-۲ سیستم سرمایه‌های متعارف خورشیدی با محرک الکتریکی
۹	۱-۳ سرمایه‌های غیرمتعارف خورشیدی
۹	۱-۳-۱ حفاظت از خورشید و حرارت
۱۰	۱-۳-۲ مدولاسیون حرارت
۱۱	۱-۳-۳ اتلاف حرارت
۱۳	فصل ۲: پیشینه تحقیق
۱۴	۲-۱ مقدمه
۱۴	۲-۲ سیستم‌های سرمایه‌های متعارف خورشیدی با محرک حرارتی
۱۴	۲-۲-۱ اجکتوری
۱۸	۲-۲-۲ جذبی
۲۲	۲-۲-۳ جذب سطحی
۲۷	۲-۲-۴ سیستم سرمایه‌های تبخیری بر پایه خشک‌کن‌ها
۳۲	۲-۳ سیستم‌های سرمایه‌های متعارف با محرک الکتریکی

۳۲	۲-۳-۱ ترموالکتریک
۳۵	۲-۳-۲ تراکم بخار
۳۹	۲-۴ سرمایه غیرمتعارف خورشیدی
۳۹	۲-۴-۱ حفاظت از خورشید و حرارت
۴۳	۲-۴-۲ مدولاسیون حرارت
۴۶	۲-۴-۳ اتلاف حرارت

فصل ۳: بحث و بررسی سرمایه خورشیدی متعارف و غیرمتعارف ۴۹

۵۰	۳-۱ سیستم‌های سرمایه متعارف خورشیدی با محرک حرارتی
۵۵	۳-۲ سیستم‌های سرمایه متعارف خورشیدی با محرک الکتریکی
۵۷	۳-۳ سیستم‌های سرمایه غیرمتعارف خورشیدی

مراجع ۶۱

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱. شماتیک سیستم سرمایش خورشیدی اجکتوری [۱] ۴
- شکل ۲-۱. شماتیک یک سیستم جذبی تک اثره [۲] ۵
- شکل ۳-۱. شماتیک یک سیستم سرمایش جذب سطحی [۳] ۶
- شکل ۴-۱. شماتیک یک سیستم سرمایش تبخیری بر پایه خشک کن [۴] ۷
- شکل ۵-۱. شماتیک سرمایش ترموالکتریک [۵] ۸
- شکل ۶-۱. شماتیک سیکل سرمایش تراکمی الکتریکی [۶] ۹
- شکل ۷-۱. شماتیک استفاده از حوضچه سقفی [۷] ۱۰
- شکل ۸-۱. شماتیک استفاده از مواد تغییر فاز دهنده در سقف [۸] ۱۱
- شکل ۹-۱. شماتیک سیستم دیوار ترومب جهت خنک کاری ساختمان [۹] ۱۲
- شکل ۱-۲. شماتیک سیستم سرمایش اجکتوری با کلکتور خورشیدی [۱۷] ۱۶
- شکل ۲-۲. شماتیک سیستم سرمایش اجکتوری با سیال ایزوبوتان [۲۱] ۱۷
- شکل ۳-۲. شماتیک چیلر جذبی دواثره [۲۶] ۱۹
- شکل ۴-۲. شماتیک سیستم سرمایش خورشیدی [۳۴] ۲۲
- شکل ۵-۲. شماتیک سیستم سرمایش جذب سطحی ساخته شده [۴۳] ۲۴
- شکل ۶-۲. شماتیک سیستم سرمایش جذب سطحی با بازیابی جرم و حرارت [۴۸] ۲۶
- شکل ۷-۲. شماتیک سیستم سرمایش خشک کن دو مرحله ای [۵۴] ۲۸
- شکل ۸-۲. سیستم تهویه مطبوع خشک کن دو مرحله ای چرخه خنک کننده Maisotsenko [۵۷] ۲۹
- شکل ۹-۲. سیستم سرمایش خشک کن مایع منیزیم کلرید با استفاده از انرژی خورشیدی برای گلخانه ها [۶۰] ۳۱
- شکل ۱۰-۲. شماتیک سیستم سرمایش و گرمایش ترموالکتریک با پنل فتوولتائیک [۶۵] ۳۳
- شکل ۱۱-۲. شماتیک سیستم سرمایش ترموالکتریک با پنل خورشیدی [۶۸] ۳۴
- شکل ۱۲-۲. اجزای سیستم تبرید تراکمی بخار برقی خورشیدی [۷۱] ۳۶
- شکل ۱۳-۲. شماتیک سیستم سرمایش تراکم بخار خورشیدی [۷۳] ۳۷
- شکل ۱۴-۲. شماتیک استفاده از حوضچه سقفی با تهویه مکانیکی [۸۴] ۴۱
- شکل ۱۵-۲. شماتیک ترکیب سیستم کنترلی با پرده متحرک [۹۱] ۴۳
- شکل ۱۶-۲. شماتیک نحوه قرارگیری مواد تغییر فاز دهنده در سقف [۹۳] ۴۴
- شکل ۱۷-۲. شماتیک نحوه قرارگیری مواد تغییر فاز دهنده در سقف [۹۶] ۴۵
- شکل ۱۸-۲. شماتیک سیستم دیوار ترومب با شیشه [۱۰۲] ۴۷
- شکل ۱۹-۲. شماتیک دودکش خورشیدی با پاشش آب [۱۰۵] ۴۸

فهرست جداول

- جدول ۱-۳. نتایج پژوهش‌های انجام شده در مورد سیستم سرمایش اجکتوری ۵۰
- جدول ۲-۳. نتایج پژوهش‌های انجام شده در مورد سیستم سرمایش جذبی ۵۱
- جدول ۳-۳. نتایج پژوهش‌های انجام شده در مورد سیستم سرمایش جذب سطحی ۵۲
- جدول ۴-۳. نتایج پژوهش‌های انجام شده در مورد سیستم سرمایش تبخیری بر پایه خشک‌کن‌ها ۵۳
- جدول ۵-۳. نتایج پژوهش‌های انجام شده در مورد سیستم سرمایش ترموالکتریک ۵۵
- جدول ۶-۳. نتایج پژوهش‌های انجام شده در مورد سیستم سرمایش تراکم بخار ۵۶
- جدول ۷-۳. نتایج پژوهش‌های انجام شده در روش حفاظت از خورشید و حرارت ۵۸
- جدول ۸-۳. نتایج پژوهش‌های انجام شده در روش مدولاسیون حرارت ۵۹
- جدول ۹-۳. نتایج پژوهش‌های انجام شده در روش اتلاف حرارت ۶۰

فصل ۱ : مقدمه

۱-۱ مقدمه

امروزه نیاز سرمایشی در بخش مسکونی و غیر مسکونی، بخشی از مصرف انرژی را در جهان و از جمله ایران به خود اختصاص داده است. با توجه به محدود بودن منابع فسیلی و همچنین مسائل زیست محیطی در زمینه تولید انرژی از آن، تامین انرژی از روش‌های پاک و پایدار امری حیاتی مبدل گردیده است. استفاده از انرژی خورشیدی به عنوان انرژی پاک و در دسترس در اکثر روزهای سال به خصوص در ایران، می‌تواند نیاز سرمایشی مورد نیاز را تامین نماید. سیستم‌های سرمایش خورشیدی به دو نوع متعارف و غیرمتعارف تقسیم می‌شوند. در سیستم‌های سرمایش متعارف خورشیدی با استفاده از تجهیزات سرمایشی رایج و تامین انرژی آن از طریق سیستم‌های خورشیدی، نیاز سرمایشی تامین می‌گردد. از کاربرد سیستم‌های سرمایش متعارف خورشیدی می‌توان تهویه مطبوع ساختمان، یخچال، سیستم‌های تبرید و ... را نام برد. سیستم‌های خورشیدی مورد استفاده به دو دسته الکتریکی و حرارتی تقسیم می‌گردند. سیستم‌های خورشیدی الکتریکی، تابش دریافتی از خورشید را به الکتریسیته تبدیل و از آن در راه‌اندازی سیستم‌های سرمایشی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در سیستم‌های حرارتی تابش دریافتی خورشید به حرارت تبدیل و از آن در راه‌اندازی سیستم‌های سرمایشی استفاده می‌شود. برخی از سیستم‌های حرارتی به صورت زیر می‌باشد:

- کلکتور صفحه تخت^۱
- کلکتور لوله خلا^۲
- کلکتور سهموی مرکب^۳
- کلکتور سهموی خطی^۴

^۱ Flat plate collector

^۲ Evacuated tube collector

^۳ Compound parabolic collector

^۴ Parabolic trough collector

در سیستم‌های سرمایش غیرمتعارف خورشیدی سعی بر این است که بدون استفاده از تجهیزات الکتریکی یا مکانیکی، بخشی از نیاز سرمایش به صورت طبیعی و بدون مصرف انرژی تامین گردد. کاربرد اصلی سیستم‌های سرمایش غیرمتعارف در تهویه مطبوع ساختمان‌های مسکونی و اداری می‌باشد.

۱-۲ سرمایش متعارف خورشیدی

همان‌گونه که گفته شد در سرمایش متعارف از الکتریسیته یا حرارت به دست آمده از سیستم‌های خورشیدی، در تولید سرمایش مورد استفاده قرار خواهند گرفت. محرک اولیه در سرمایش فعال به دو دسته حرارتی و الکتریکی تقسیم می‌شوند. در حالت محرک حرارتی، انرژی سیستم به صورت حرارت از کلکتورهای حرارتی خورشیدی، تامین می‌گردد. سیستم‌های با محرک حرارتی به ۴ دسته اجکتوری، جذبی، جذب سطحی و سرمایش تبخیری بر پایه خشک‌کن‌ها تقسیم می‌شوند. در حالت محرک الکتریکی، انرژی سیستم به صورت الکتریکی از پنل‌های فتوولتائیک^۱ تامین می‌گردد. سیستم‌های با محرک الکتریکی به دودسته ترموالکتریک^۲ و تراکم بخار تقسیم می‌گردند.

۱-۲-۱ سیستم‌های سرمایش متعارف خورشیدی با محرک حرارتی

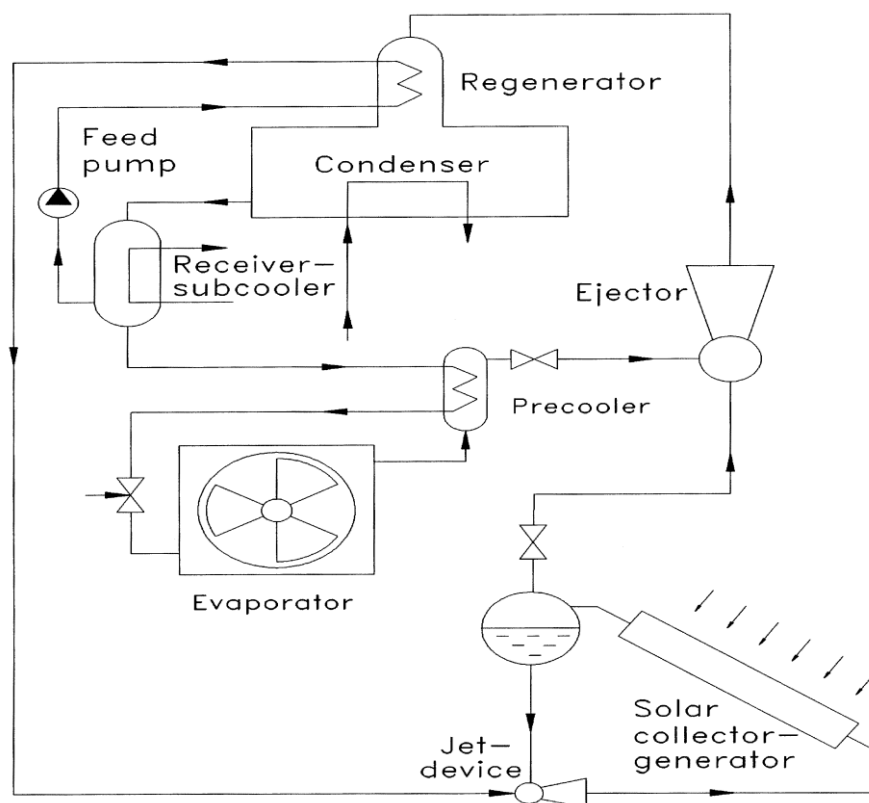
۱-۲-۱-۱ اجکتوری

اساساً سیستم‌های سرمایش اجکتوری خورشیدی همان سیستم‌های سرمایش مبتنی بر تراکم بخار^۳ هستند. تنها تفاوت آنها استفاده از یک اجکتور به جای کمپرسور مکانیکی است. اجکتور عمدتاً از یک نازل، یک محفظه اختلاط و یک دیفیوزر تشکیل شده و فاقد قطعه متحرک می‌باشد.

^۱. Photovoltaic

^۲. Thermo-electric

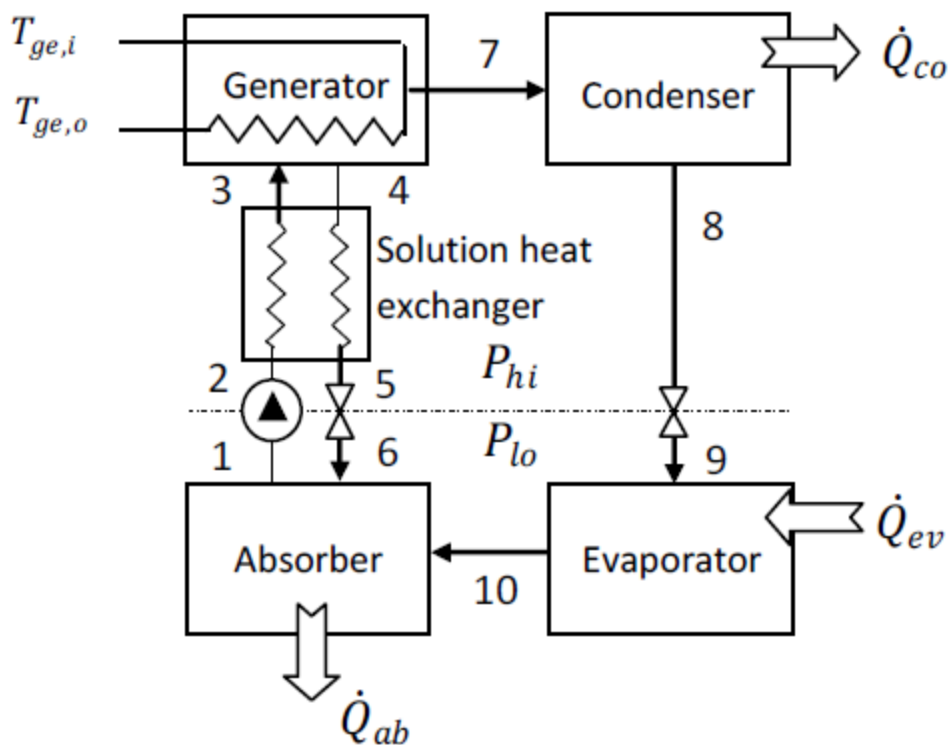
^۳. Vapor compression



شکل ۱-۱. شماتیک سیستم سرمایش خورشیدی اجکتوری [۱]

۱-۲-۱-۲ جذبی

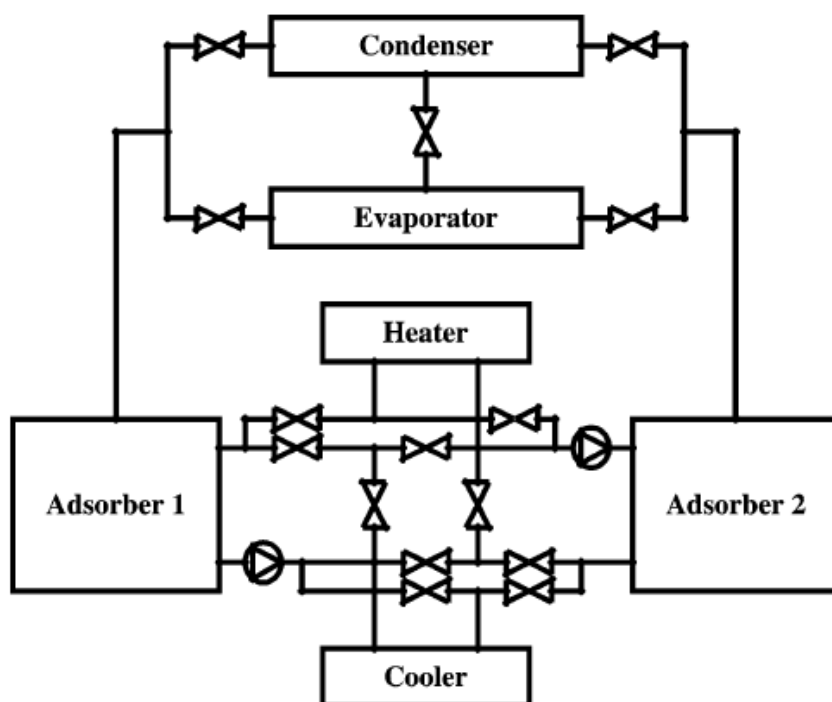
فرایند جذب در سیستم‌های جذبی به این صورت است که مولکول‌های یک گاز یا مایع به طور کامل و به صورت حجمی وارد سیال جاذب گردد. در این حالت شاهد تغییر فاز در سیال ورودی خواهیم بود. به عنوان مثال می‌توان مولکول‌های هوا را توسط آب به عنوان جاذب، جذب گردد. این سیستم در حالت معمولی متشکل از یک تبخیرکننده، چگالنده، جاذب، مبدل حرارتی و مولد حرارتی می‌باشد.



شکل ۱-۲. شماتیک یک سیستم جذبی تک اثره [۲]

۱-۲-۱-۳ جذب سطحی

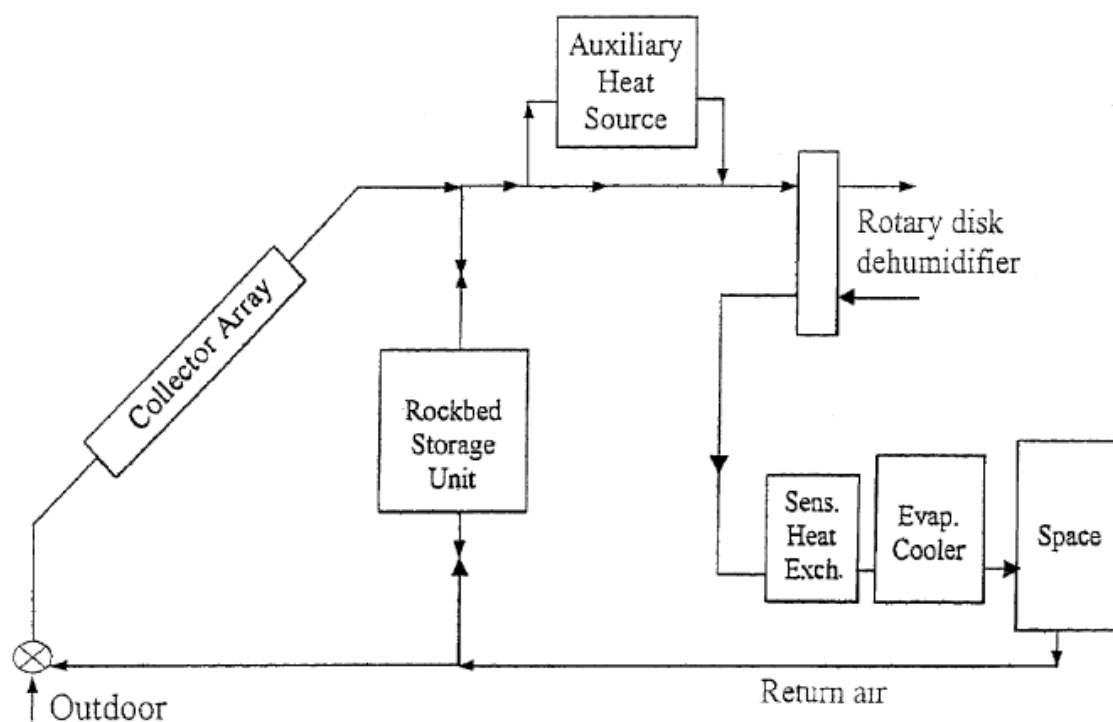
فرایند جذب در سیستم‌های جذب سطحی، به صورت جذب مولکول‌های یک گاز یا مایع در تماس با سطح جذب می‌باشد. یک سیستم جذب معمولی شامل یک تبخیرکننده، یک جاذب، یک چگالنده، یک دریچه گاز، یک بخاری و یک خنک‌کننده است. جاذب در این حالت به صورت جامد و مبرد درون تبخیرکننده به صورت گاز می‌باشد. برهم‌کنش بین جاذب و مبرد اساس عملکرد سیستم می‌باشد. عملیات جذب به دو صورت فیزیکی و شیمیایی صورت می‌گیرد. عمل جذب زمانی اتفاق می‌افتد که ماده جاذب جامد خنک و نسبتاً خشک باشد.



شکل ۱-۳. شماتیک یک سیستم سرمایش جذب سطحی [۳]

۴-۱-۲- سیستم سرمایش تبخیری بر پایه خشک‌کن‌ها

سیستم‌های سرمایش تبخیری بر پایه خشک‌کن‌ها در سیستم‌های تهویه مطبوع برای رطوبت‌زنی یا رطوبت‌زدایی استفاده می‌شوند که اساس کار آنها انتقال رطوبت از یک جریان هوا به جریان دیگر می‌باشد. این سیستم‌ها شامل بخش‌هایی از قبیل بخش رطوبت‌زنی، رطوبت‌زدایی، بازیافت حرارت و بخش حرارت ورودی که توسط کلکتور خورشیدی تامین می‌گردد، تشکیل می‌شوند.



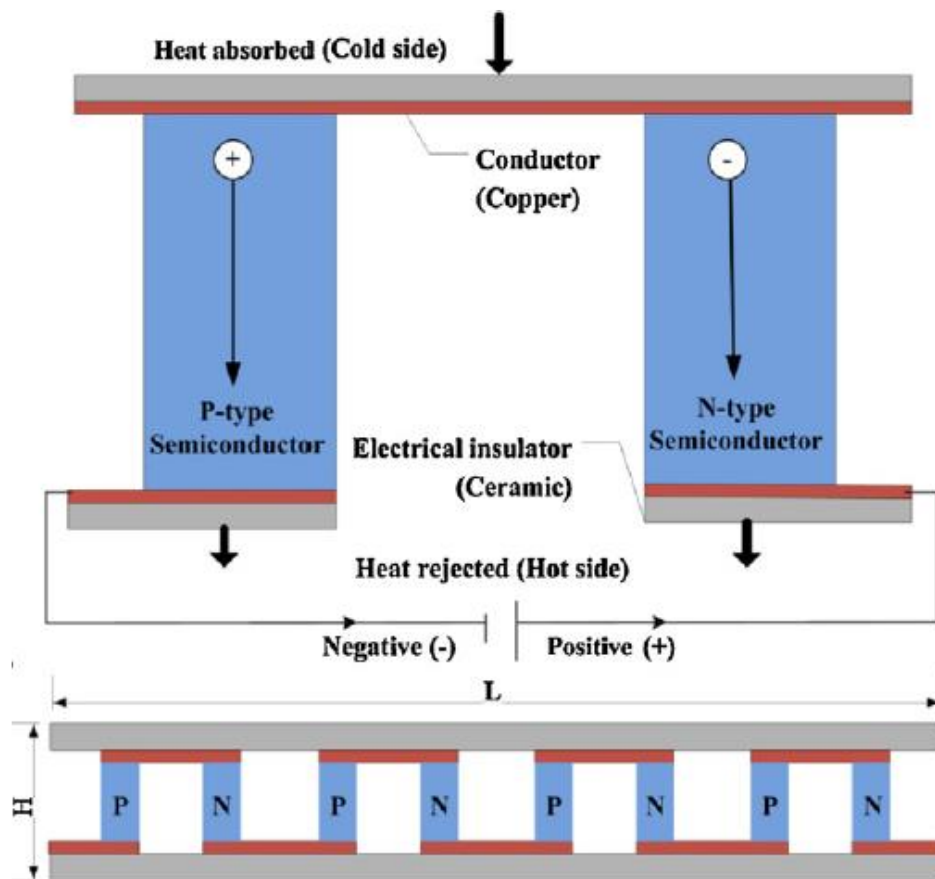
شکل ۴-۱. شماتیک یک سیستم سرمایش تبخیری بر پایه خشک کن [۴]

۱-۲-۲ سیستم سرمایش متعارف خورشیدی با محرک الکتریکی

۱-۲-۲-۱ ترموالکتریک

ترموالکتریک‌ها از دو نیمه هادی تشکیل می‌شوند. به واسطه اثر پلتیر^۱ با اتصال ترموالکتریک به منبع الکتریکی می‌توان بین دو نیمه هادی، گرادیان دما ایجاد نمود که یکی از دو نیمه هادی سرد و دیگری گرم می‌گردد. از قسمت سرد ترموالکتریک می‌توان برای سرمایش در تهویه مطبوع ساختمان‌ها نیز استفاده نمود.

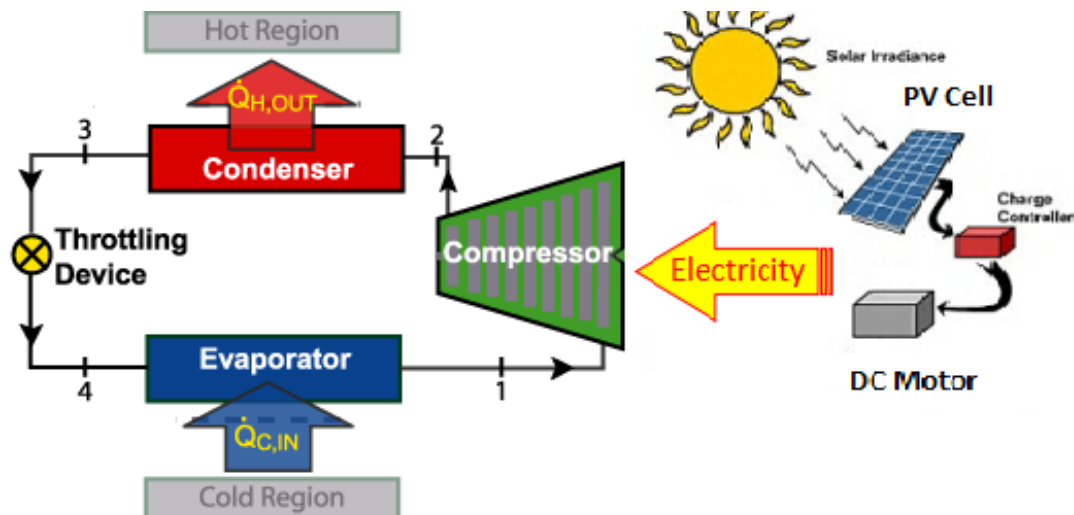
^۱. Peltier



شکل ۵-۱ شماتیک سرمایش ترموالکتریک [۵]

۱-۲-۲-۲ تراکم بخار

سیکل عملکرد سیستم تراکم بخار عکس یه سیکل رانکین می باشد و در آن بر خلاف سیکل رانکین که در آن توربین به کار می رود، در چرخه تراکمی از یک شیر انبساط استفاده می شود. در این سیستم از یک مبرد در حالت مایع در آن استفاده می شود.



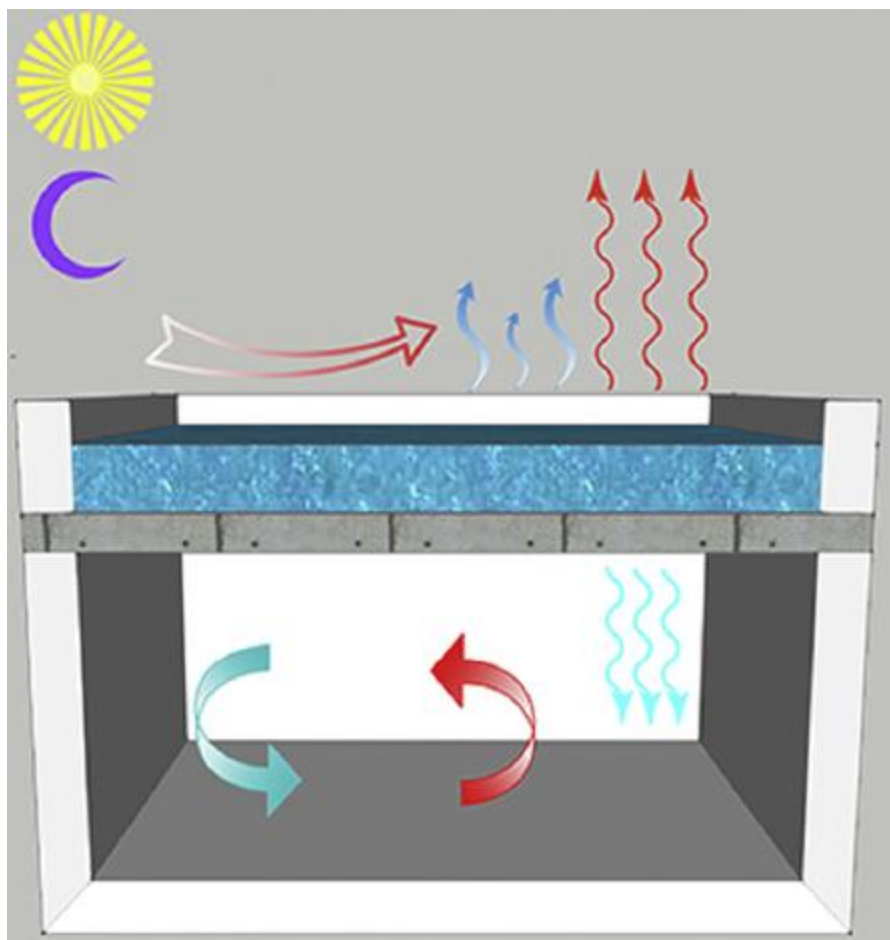
شکل ۱-۶. شماتیک سیکل سرمایش تراکمی الکتریکی [۶]

۳-۱ سرمایش غیرمتعارف خورشیدی

سیستم‌های سرمایشی غیرمتعارف خورشیدی به سه دسته اصلی حفاظت از خورشید و حرارت، مدولاسیون حرارت و اتلاف حرارت تقسیم می‌شوند.

۱-۳-۱ حفاظت از خورشید و حرارت

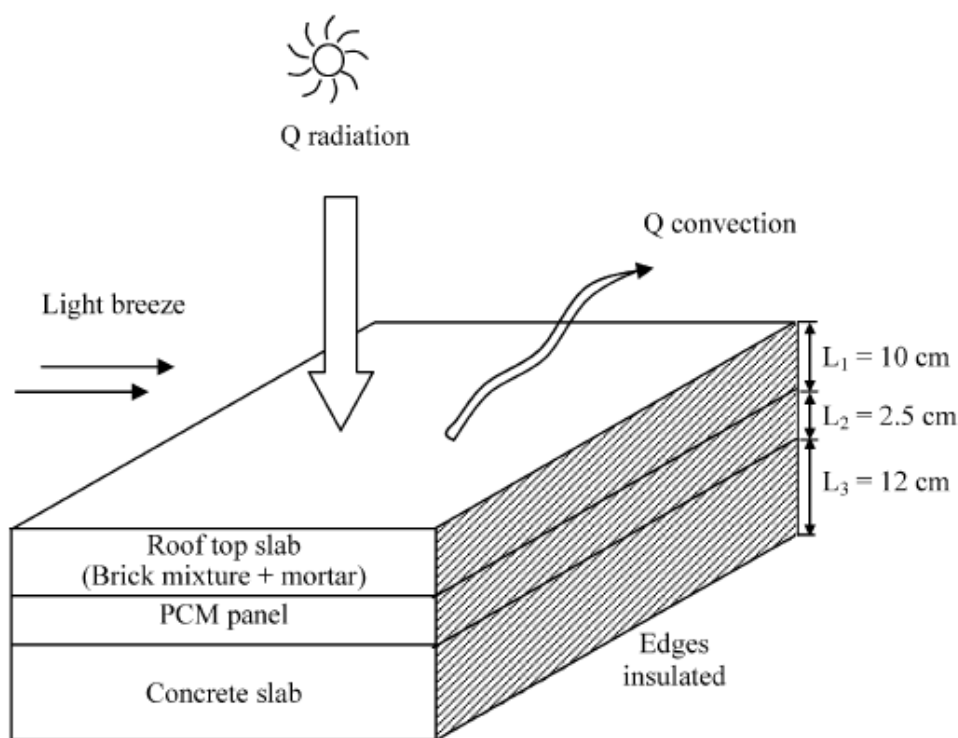
بخشی از افزایش دما ساختمان ناشی از عواملی مثل تابش مستقیم خورشید و دمای محیط می‌باشد که می‌توان با استفاده از روش‌هایی تاثیر آنها را کاهش داد. روش‌های مورد استفاده می‌توان از سایه درختان، حوضچه‌های سقفی آب، نوع و تعداد شیشه پنجره‌ها و استفاده از سایه‌بان را نام برد.



شکل ۷-۱. شماتیک استفاده از حوضچه سقفی [۷]

۲-۳-۱ مدولاسیون حرارت

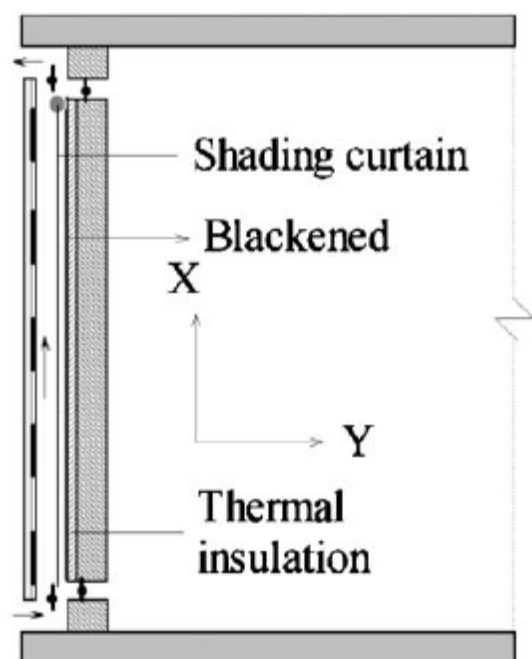
در روش مدولاسیون حرارتی گرما ساختمان به کمک اضافه نمودن یا تغییرات مصالح ساختمانی کاهش یا به حداقل می‌رساند. در این روش با استفاده از مواد تغییرفازدهنده در مصالح ساختمان سعی بر این است که با جذب تابش و ذخیره گرمای آن در مواد تغییرفازدهنده، دمای ساختمان کاهش داد. استفاده از مواد تغییرفازدهنده می‌تواند در مصالح سقف، دیواره ساختمان و پنجره صورت گیرد.



شکل ۱-۸. شماتیک استفاده از مواد تغییر فاز دهنده در سقف [۸]

۳-۳-۱ اتلاف حرارت

در این روش سرمایش غیرمتعارف، گرمای ناشی از تابش خورشید را با استفاده از روش‌هایی مثل دیوار ترومب و دودکش خورشیدی، به صورت تهویه طبیعی به محیط منتقل شده و دمای داخلی ساختمان کاهش یابد. دیوار ترومب و دودکش خورشیدی معمولاً در گرمایش خورشیدی مورد استفاده قرار می‌گیرند ولی می‌توان با ایجاد تغییراتی در آنها، به عنوان یک سیستم سرمایشی استفاده نمود.



شکل ۹-۱. شماتیک سیستم دیوار ترومب جهت خنک کاری ساختمان [۹]

فصل ۲۰ روش تحقیق

۱-۲ مقدمه

در این بخش مروری بر پیشینه پژوهش‌های صورت گرفته، در زمینه سیستم‌های سرمایه‌های متعارف و غیرمتعارف، ارائه شده است.

۲-۲ سیستم‌های سرمایه‌های متعارف خورشیدی با محرک حرارتی

۱-۲-۲ اجکتوری

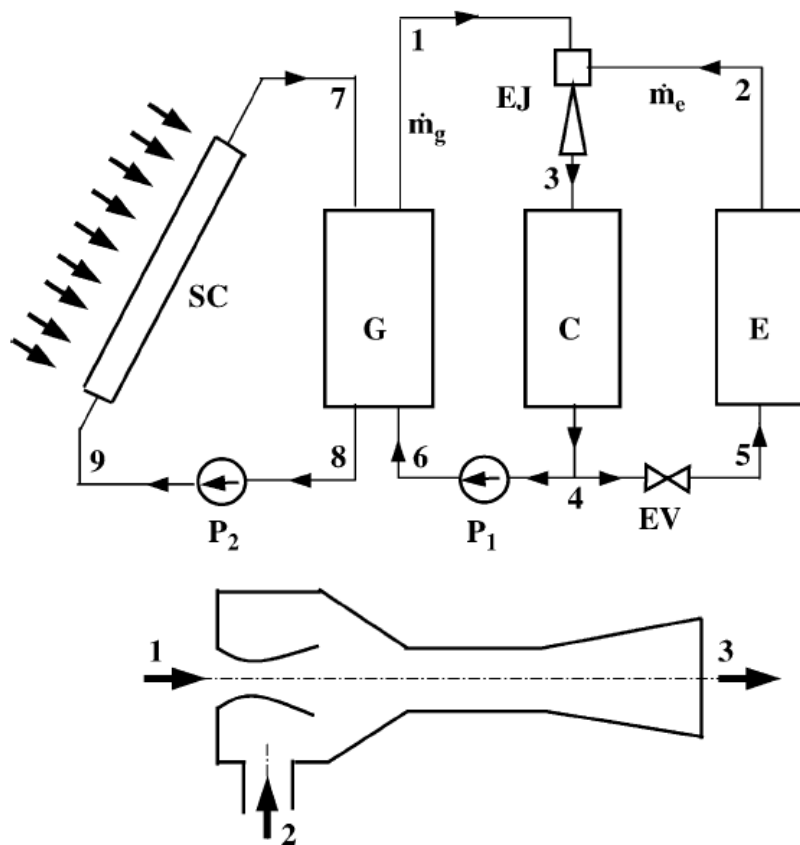
سانکارلال و مانی [۱۰] طی یک مطالعه تجربی بر روی اثرات شرایط کاری بر روی یک سیستم سرمایه‌های اجکتوری خورشیدی مشاهده کرده‌اند که با افزایش مقدار دمای ژنراتور، نسبت‌های حباب، ضریب عملکرد و ظرفیت سرمایه‌های افزایش خواهد یافت. از طرف دیگر، مقدار دمای ژنراتور بالاتر به معنی دمای بالاتر خروجی از کلکتور خورشیدی و راندمان پایین آن است. برای تامین گرما این سیستم‌ها کلکتورهای خورشیدی مختلفی پیشنهاد شده است. هانگ و همکارش [۱۱] یک سیستم سرمایه‌های اجکتوری خورشیدی با استفاده از سه کلکتور شبیه‌سازی نموده‌اند که شامل یک کلکتور صفحه تخت معمولی، یک کلکتور صفحه تخت با راندمان بالا و کلکتور لوله خلا بوده است. نتایج نشان داد که یک کلکتور صفحه تخت معمولی انتخابی بهینه می‌باشد. در این حالت ضریب عملکرد با سیال R141b برابر با ۰/۱ بوده است. نهدی و دوستان [۱۲] عملکرد تهویه مطبوع اجکتور خورشیدی با چند سیال سازگار محیط زیست بررسی کردند. با مقایسه سیالات مختلف، مشاهده نمودند که سیال R717 بهترین عملکرد را با ضریب عملکرد ۰/۴۰۸ از خود نشان داده است. در این سیستم برای بخش خورشیدی از کلکتورهای صفحه تخت استفاده گردیده است.

کلمنس پولربرگ و همکارش [۱۳] مدلی ریاضی برای بررسی سیستم سرمایه‌های اجکتوری خورشیدی در مقیاس نیروگاهی ارائه کرده‌اند. در این سیستم، سرمایه‌های دو مرحله با ظرفیت ۱۰۰ کیلووات در نظر گرفته

شده و گرمای مورد نیاز آن برای تولید بخار توسط کلکتورهای سهموی خطی به مساحت ۳۳۸ متر مربع تامین می‌شود. کلمنس پولبرگ و دوستانش [۱۴] طی یک مطالعه به صورت تجربی عملکرد یک چیلر جت اجکتوری بخار با استفاده از کلکتور سهموی خطی، با ظرفیت سرمایشی ۱ کیلووات را بررسی نموده‌اند. در این کار آنها تاثیر دمای چگالنده و دمای تبخیرکننده را بر روی ضریب عملکرد بررسی کرده‌اند. طبق نتایج آنها مقدار ضریب عملکرد با کاهش دمای چگالنده، افزایش خواهد یافت. دمای تبخیرکننده در مقایسه با دمای چگالنده تاثیر کمتری بر روی ضریب عملکرد خواهد داشت. تعدادی پژوهش نیز در مورد سیال عامل به کار گرفته شده در سیستم سرمایش اجکتوری صورت گرفته است. دورانتس و همکارانش [۱۵] شبیه‌سازی ریاضی را برای رفتار حرارتی یک سیستم سرمایش اجکتوری-تراکمی خورشیدی با سیال عامل R142b به ظرفیت تولید ۱۰۰ کیلوگرم یخ در روز ارائه نموده‌اند. این سیستم شامل یک کلکتور خورشیدی لوله خلا، یک واحد ذخیره حرارتی و یک واحد سرمایش اجکتوری-تراکمی است. طبق نتایج آنها مقادیر میانگین سالانه برای ضریب عملکرد، راندمان کلکتور و راندمان سیستم به ترتیب ۰/۲۱، ۰/۵۲ و ۰/۱۱ بوده است.

نهاد [۱۶] در یک مطالعه تجربی کارایی کلکتور سهموی خطی در یک سیستم سرمایش اجکتوری با استفاده از سیال عامل R113 ارائه نموده است. طبق نتایج آن حداکثر راندمان کلکتور در این سیستم ۲۰ درصد بوده است. همچنین این سیستم هم برای سرمایش و هم برای گرمایش قابل استفاده می‌باشد.

الکسیس و همکارش [۱۷] در یک پژوهش تئوری عملکرد یک سیستم سرمایش اجکتوری با کلکتور خورشیدی را در شهر آتن مورد بررسی قرار داده‌اند. سیال عامل مورد استفاده در سیستم، R134a بوده است. بنا بر نتایج بدست آمده، ضریب عملکرد سیستم سرمایش اجکتوری بین ۰/۳۵ تا ۰/۱۹۹ متغیر بوده است.

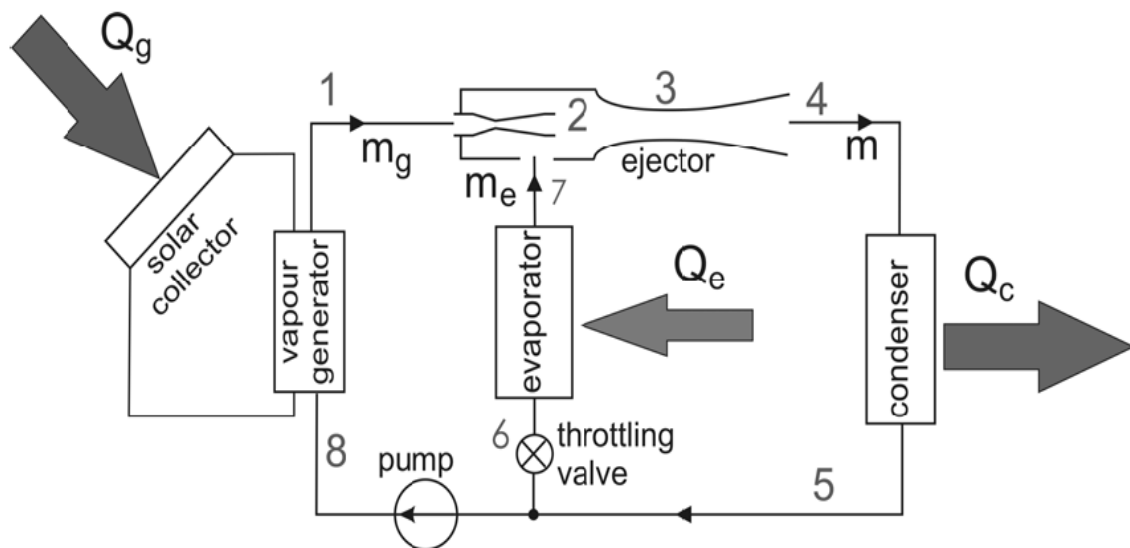


شکل ۱-۲. شماتیک سیستم سرمایش اجکتوری با کلکتور خورشیدی [۱۷]

رفت یاپیچ و همکاری [۱۸] یک سیستم سرمایش اجکتوری برای کار با آب گرم طراحی و ساخته‌اند. این سیستم سرمایش که برای مبردهای کم فشار طراحی شده، می‌تواند با استفاده از منابع انرژی مانند انرژی خورشیدی، انرژی زمین گرمایی کار کند. سیال عامل مورد استفاده در این سیستم R11 می‌باشد. بررسی آنها در محدوده‌ای از دمای مولد بخار از حدود ۹۰ تا ۱۰۲ درجه سانتیگراد، دمای تبخیرکننده از ۰ تا ۱۶ درجه سانتیگراد و فشار چگالنده از ۱۱۴ تا ۱۴۳ کیلو پاسکال انجام شده است که در آن ضریب عملکرد، ۰/۲۵ به‌دست آمده است. رفت یاپیچ [۱۹] یک سیستم سرمایش اجکتوری را با یک نوع اجکتور جدید براساس مساحت ثابت طراحی و ساخته است. سیستم سرمایش اصلاح شده با استفاده از آب گرم به عنوان سیال محرک و R123 به عنوان سیال عامل آزمایش شده است. مطابق با نتایج بدست آمده، ضریب عملکرد ۰/۳۹ برای این سیستم بدست آمده است.

گائو و همکارش [۲۰] مدلی برای استفاده در بررسی عملکرد یک سیستم سرمایش اجکتوری خورشیدی با استفاده از سیال R134a برای کاربرد در تهویه مطبوع برای ساختمان‌های اداری در شانگهای چین پیشنهاد کرده‌اند. نتایج آنها نشان داد که در طول زمان کار اداری، میانگین ضریب عملکرد سیستم ۰/۴۸ بوده است که در این سیستم دمای ژنراتور ۸۵ درجه سانتی‌گراد، دمای تبخیرکننده ۸۸ درجه سانتی‌گراد و دمای چگالنده نیز با دمای محیط متفاوت بوده است. همچنین مشاهده گردید که در مقایسه با سیستم تهویه مطبوع سنتی مبتنی بر کمپرسور، این سیستم می‌تواند تا ۸۰ درصد انرژی الکتریکی را با همان ظرفیت سرمایش برای ساختمان‌های اداری را ذخیره نماید.

بوتریموویچ و همکارانش [۲۱] به بررسی تجربی بر روی یک نمونه اولیه ویژه ساخته شده سیکل سرمایش اجکتوری برای بررسی سیال ایزوبوتان به عنوان سیال عامل در دمای بخار محرک زیر ۷۵ درجه سانتی‌گراد پرداخته‌اند. مقدار ضریب عملکرد بدست آمده در این حالت برابر با ۰/۱۵ بوده است.



شکل ۲-۲. شماتیک سیستم سرمایش اجکتوری با سیال ایزوبوتان [۲۱]

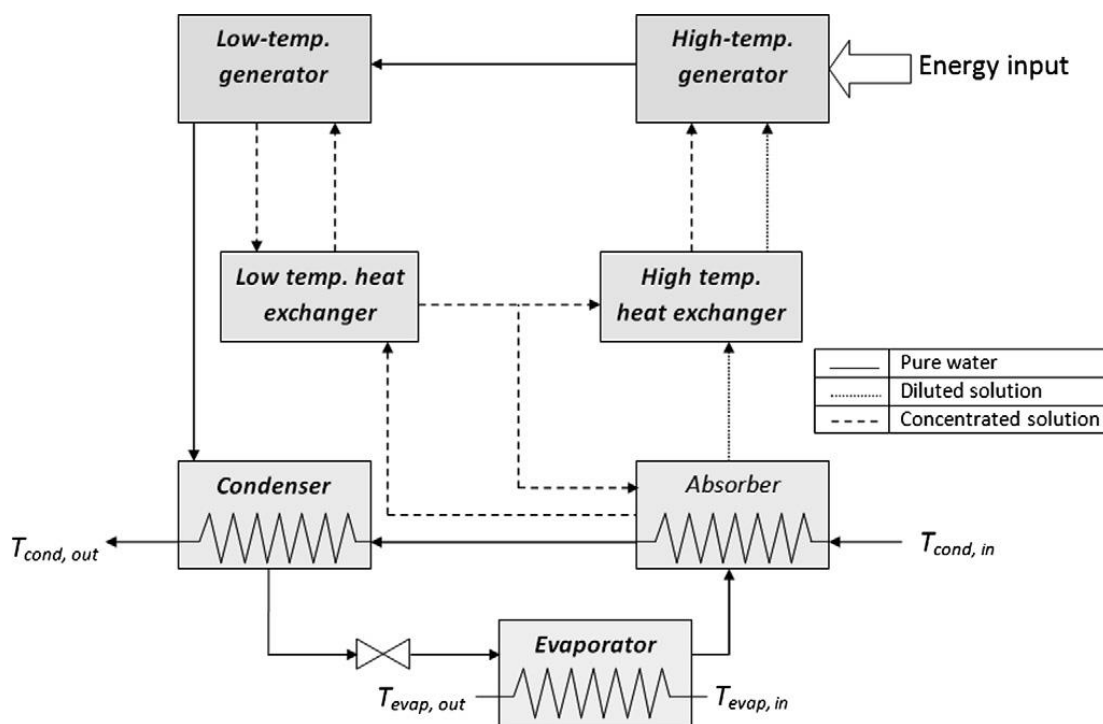
کمیل اسمیرسیو و دوستان [۲۲] به بررسی تجربی بر روی یک نمونه اولیه مخصوص تهویه مطبوع اجکتوری پرداخته‌اند که با ایزوبوتان به عنوان سیال عامل در دمای بخار محرک زیر ۷۵ درجه سانتی‌گراد کار می‌کند. در این پژوهش ضریب تلفات برای اجکتور نیز تعیین گردید. مطابق با نتایج نشان داده شده است که ضریب تلفات در مجموعه مورد بررسی، بالاتر از ۰/۷۵ است.

۲-۲-۲ جذبی

در زمینه سیستم‌های جذبی خورشیدی پژوهش‌هایی در مورد کلکتورهای خورشیدی مورد استفاده در آنها و چندانثره بودن سیستم جذبی مورد بررسی قرار گرفته است. سید و همکاران [۲۳] یک سیستم سرمایش خورشیدی متشکل از یک چیلر جذبی ۳۵ کیلوواتی لیتیوم برومید-آب که توسط ۴۹/۹ متر مربع کلکتورهای صفحه تخت انرژی آن تامین می‌شود را بررسی نمودند. حداکثر ضریب عملکرد لحظه‌ای، میانگین روزانه و میانگین دوره اندازه‌گیری شده به ترتیب ۰/۶۰، ۰/۴۲ و ۰/۳۴ و میانگین راندمان روزانه کلکتور نیز ۵۰ درصد بوده است. از طریق تجزیه و تحلیل جریان انرژی در سیستم، مشاهده کردند که این فناوری در شرایط آب و هوایی خشک و گرم بهترین عملکرد را از خود نشان می‌دهد. اصیل زاده و همکاران [۲۴] یک سیستم سرمایش خورشیدی برای مالزی و مناطق گرمسیری مشابه با استفاده از کلکتورهای خورشیدی لوله خلا و یک واحد جذبی لیتیوم برومید-آب طراحی نموده‌اند. در این سیستم برای دستیابی به عملکرد مداوم و افزایش قابلیت اطمینان سیستم ضروری است که از یک مخزن ذخیره آب گرم ۰/۸ متر مکعبی استفاده گردد. سیستم بهینه بدست آمده برای آب و هوای مالزی برای یک سیستم ۳/۵ کیلوواتی، از کلکتور خورشیدی لوله خلا به مساحت ۳۵ متر مربع با شیب ۲۰ درجه بوده است. مقدار ضریب عملکرد سیستم ۰/۶۴ تا ۰/۶۷ بوده است.

بلغوثی و همکاران [۲۵] یک پروژه تحقیقاتی با هدف ارزیابی امکان‌سنجی فناوری سرمایش جذبی با انرژی خورشیدی در شرایط محیطی کشور تونس ارائه نموده‌اند. این سیستم با استفاده از برنامه‌های

TRNSYS و EES برای پایتخت تونس، مدل سازی شده است. سیستم بهینه سازی شده برای یک ساختمان معمولی ۱۵۰ مترمربعی از یک چیلر جذبی لیتیوم برومید-آب با ظرفیت ۱۱ کیلووات، یک کلکتور خورشیدی صفحه تخت ۳۰ متر مربعی با شیب ۳۵ درجه نسبت به سطح افق و یک مخزن ذخیره آب گرم ۰/۸ مترمکعبی تشکیل شده است. مقدار ضریب عملکرد این سیستم بین ۰/۷ تا ۱/۲ متغیر بوده است. مجو و همکاران [۲۶] یک چیلر جذبی دو اثره لیتیوم برومید-آب با ظرفیت ۱۷۴ کیلوواتی گازی-خورشیدی با استفاده از ۳۵۲ متر مربع کلکتورهای فرنل متمرکز خطی در اسپانیا ارائه نموده اند. بررسی تجربی بر روی اندازه کلکتور خورشیدی، تلفات حرارتی لوله کشی و کنترل عملیات متمرکز بوده است. مطابق با نتایج آزمایشی آنها در یک روز نماینده آفتابی مشاهده شد که ۷۵ درصد از کل گرمای ورودی به چیلر توسط انرژی خورشیدی پوشش داده شده است، در حالی که میانگین راندمان روزانه کلکتور و ضریب چیلر به ترتیب ۰/۳۷ و ۱/۲ بوده است.



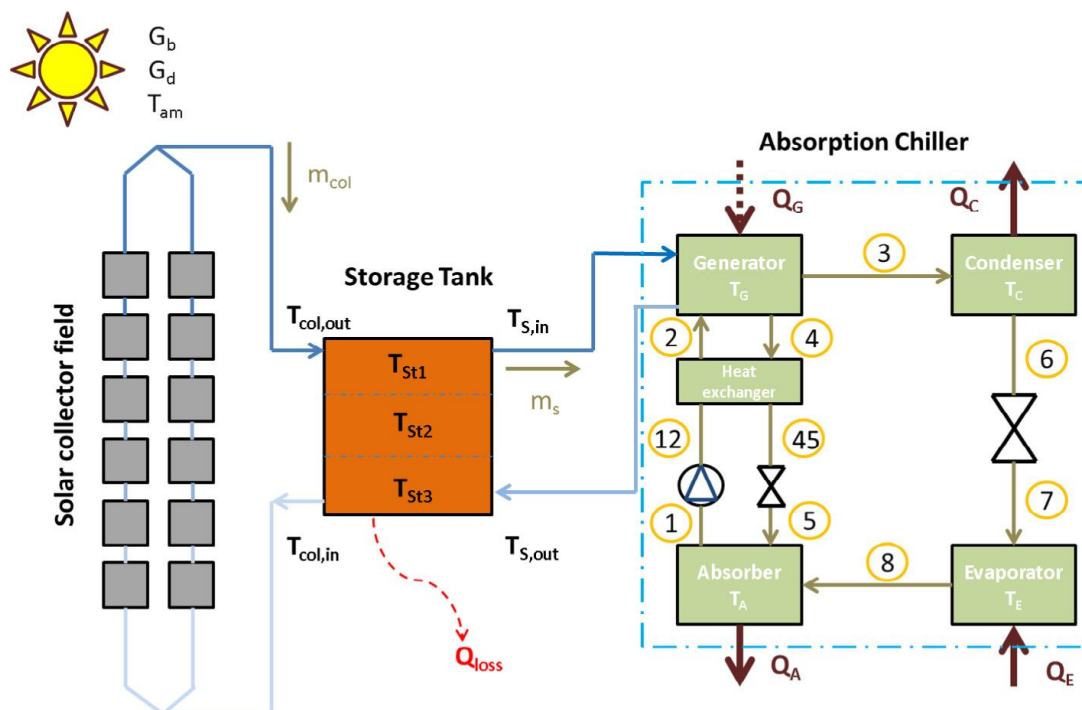
شکل ۳-۲. شماتیک چیلر جذبی دو اثره [۲۶]

ژونگ و همکاران [۲۷] یک سیستم سرمایش جذبی را در جزیره هاینان چین ارائه کرده‌اند. چیلر جذبی برای سرمایش از سیکل جذب تک‌اثره لیتیوم برومید-آب با ظرفیت ۳۱۶ کیلووات و چیلر معمولی با ظرفیت ۱۰۴۴ کیلووات استفاده کرده‌اند. موضوعاتی مانند نوع چیلر، کلکتور خورشیدی، پیکربندی سیستم مورد بحث قرار داده و همچنین تجزیه و تحلیل فنی و اقتصادی نیز انجام داده‌اند. سیستم مورد نظر در زمان عدم نیاز به تهویه مطبوع، برای تامین آب گرم مصرفی استفاده می‌شود. راندمان کلی کلکتور حدود ۴۰ درصد بوده است. بودهن و همکارانش [۲۸] به صورت عددی و تجربی یک چیلر جذبی خورشیدی تک‌اثره با ظرفیت ۵ کیلووات را با استفاده از سیال آب-آمونیاک مورد مطالعه قرار داده‌اند. ضریب عملکرد تجربی بدست آمده برای سیستم در حدود ۰/۶۵ بوده است. ایزکویردو به همراه همکارانش [۲۹] یک سیستم سرمایش جذبی خورشیدی را برای یک آزمایشگاه ۸۰ متر مربعی در اسپانیا ارائه کرده‌اند. این سیستم شامل ۴۸ متر مربع کلکتور صفحه تخت، مخزن ۱۵۰۰ لیتری برای ذخیره آب گرم و یک سیستم جذب لیتیوم برومید خنک شده با هوا در دو حالت تک‌اثره و دو اثره به ظرفیت ۴/۵ و ۷ کیلووات می‌باشد. طبق نتایج آنها مشاهده گردید که قدرت سرمایش دو اثره مشابه حالت تک‌اثره است، اما ضریب عملیات حرارتی در مقایسه با حالت تک‌اثره دو برابر شده است.

شیرازی و همکاران [۳۰] با استفاده از نرم افزار TRNSYS چند پیکربندی سیستم سرمایش جذبی خورشیدی را مدلسازی کرده‌اند. برای چیلر جذبی تک‌اثره با استفاده از کلکتورهای لوله خلا، برای چیلرهای چنداثره از کلکتورهای سهموی خطی، متمرکزکننده‌های فرنل خطی و کلکتورهای صفحه تخت را مورد بررسی قرار داده‌اند. طبق نتایج آنها در مناطق با تابش خورشیدی کمتر چیلرهای خورشیدی چنداثره موفق عمل کرده‌اند و در طیف گسترده‌ای از شرایط آب و هوایی، چیلر با اثر دوگانه و کلکتورهای صفحه تخت کارایی قابل توجهی را از خود نشان داده‌اند. درسو و همکاران [۳۱] مناسب بودن چیلر جذبی دو اثره با استفاده از کلکتورهای سهموی خطی را برای استفاده در بخش ساختمان بررسی نمودند. استفاده از کلکتورهای سهموی خطی منجر به دمای بالا تولیدی می‌شود که امکان استفاده از یک چیلر جذبی با

ضریب عملکرد بالاتر را فراهم می‌کند. از این رو، به کارگیری این سیستم‌ها در ساختمان‌هایی که بر تقریباً انرژی صفر تمرکز دارند، امکان پذیر است. مینگ لی و همکارانش [۳۲] عملکرد یک سیستم سرمایش جذبی خورشیدی تک‌اثره لیتیوم برومید-آب با ظرفیت ۲۳ کیلوواتی را بررسی نمودند. سیستم سرمایشی توسط یک کلکتور سهموی خطی با دهانه ورودی ۵۶ مترمربع، برای سرمایش اتاق جلسه‌ای به مساحت ۱۰۲ متر مربع بررسی شده است. راندمان چیلر در این سیستم از ۰/۲۵ تا ۰/۷ و ضریب عملکرد سرمایش روزانه از ۰/۱۱ تا ۰/۲۷ متغیر بوده است. کریستوس و همکارش [۳۳] عملکرد یک سیستم سرمایشی خورشیدی جذبی تک‌اثره لیتیوم برومید-آب که توسط یک کلکتور سهموی خطی به همراه یک مخزن ذخیره‌سازی را مورد بررسی قرار داده‌اند. همچنین یک مدل عددی به منظور شبیه‌سازی عملکرد دینامیکی این سیستم ارائه نموده‌اند. آنها به مقادیر بهینه برای این سیستم برای ساختمان حدود ۲۵ مترمربعی به مدت ۱۳ ساعت در روز در طول تابستان رسیده‌اند که شامل استفاده از کلکتور سهموی خطی با دهانه ورودی ۱۴ مترمربع، دبی جرمی ویژه بهینه ۰/۰۳ کیلوگرم بر ثانیه مترمربع و حجم مخزن ذخیره بهینه ۰/۳ متر مکعب می‌باشد.

بلوس و همکارانش [۳۴] یک سیستم سرمایش جذبی خورشیدی تک‌اثره لیتیوم برومید-آب با چهار نوع کلکتور برای سرمایش ۱۰۰ کیلووات در ۱۰ درجه سانتیگراد برای آتن در فصل تابستان، مورد ارزیابی انرژی و اقتصادی نموده‌اند. برای بخش خورشیدی چهار نوع کلکتور شامل کلکتورهای صفحه تخت، کلکتورهای لوله خلا، کلکتورهای سهموی مرکب و کلکتورهای سهموی خطی تحت شرایط یکسان مورد بررسی قرار داده‌اند. طبق بررسی آنها کلکتور لوله خلا از نظر اقتصادی در این سیستم سودمند می‌باشد. از سوی دیگر، سیستم با کلکتورهای سهموی خطی از نظر انرژی بهتر عمل کرده است اما مشکل آن هزینه سرمایه‌گذاری بالای است.



شکل ۲-۴. شماتیک سیستم سرمایش خورشیدی [۳۴]

سوسی و همکاران [۳۵] یک چیلر جذبی ۱۶ کیلوواتی دواثره لیتیوم برومید-آب را به صورت تئوری و تجربی برای یک ساختمان آزمایشگاهی ۱۲۶ مترمربعی در تونس ارزیابی کرده‌اند. در این سیستم از کلکتورهای سهموی خطی به ابعاد ۳ در ۱۳/۱ مترمربع استفاده شده است. بر اساس نتایج آنها، راندمان کلکتورها بین ۲۶ تا ۳۵ درصد و ضریب عملکرد آن بین ۰/۶۵ تا ۱/۲۹ بوده است.

۲-۲-۳ جذب سطحی

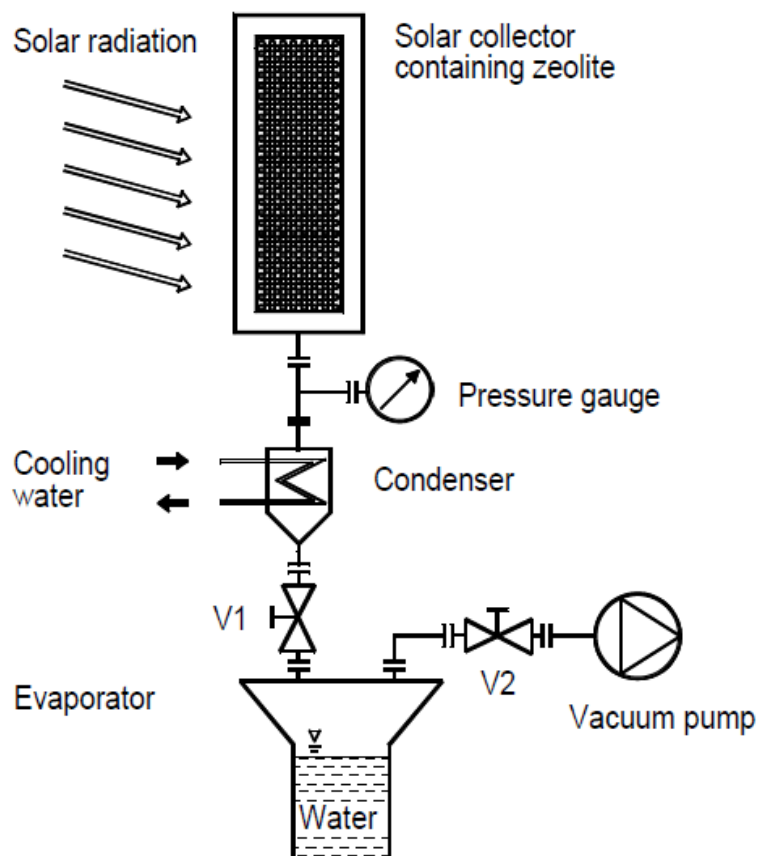
همان‌طور که گفته شده، عملیات جذب در سیستم‌های سرمایش جذب سطحی به دو صورت شیمیایی و فیزیکی صورت می‌گیرد که پژوهش‌هایی در این مورد صورت گرفته است. در زمینه جذب شیمیایی در کشور نیجریه، ایلوئه و همکاران [۳۶] عملکرد یک سیستم جذب سطحی خورشیدی را با استفاده از جاذب/مبرد، کلسیم-کلرید/آمونیاک شبیه‌سازی نموده‌اند. جاذب‌ها به صورت دانه‌ای و بسته بندی شده، در لوله‌های یک کلکتور خورشیدی صفحه تخت دو جداره در نظر گرفته شده‌اند. بخش چگالنده در جعبه عایق

پُر شده از آب غوطه‌ور شده است. پس از شبیه‌سازی، ضریب عملکرد سیستم ۰/۱۴ به دست آمده است. بانسال و همکارانش [۳۷] یک سیستم جذب سطحی خورشیدی با کلرید استرانسیم به عنوان جاذب و آمونیاک به عنوان مبرد به ظرفیت تولید سرمایش روزانه ۴/۴ مگاژول مورد ارزیابی قرار داده‌اند. با دریافت تابش خورشیدی روزانه ۲۶ مگاژول بر مترمربع، حداکثر ضریب عملکرد به دست آمده ۰/۰۸ بوده است. ارهارد و همکاران [۳۸] از استرانسیم-کلرید/آمونیاک در یک دستگاه سرمایش جذبی ساخته شده در آلمان استفاده نموده‌اند. با این حال، ضریب عملکرد آنها تنها ۰/۰۸ و دمای تبخیر در طول چرخه به ۵ درجه سانتیگراد رسیده است. ماگیو و همکاران [۳۹] یک مدل ریاضی برای ارزیابی عملکرد یک سیستم سرمایش جذب سطحی خورشیدی که با کلرید لیتیوم در منافذ سیلیکاژل (مواد کامپوزیت) به عنوان جاذب و متانول به عنوان مبرد ارائه نموده‌اند. مطابق با نتایج آنها حداکثر ضریب عملکرد خورشیدی به دست آمده ۰/۳۳ و حداکثر تولید روزانه یخ در آن ۲۰ کیلوگرم در هر مترمربع کلکتور می‌باشد.

در زمینه جذب فیزیکی وانگ و همکاران [۴۰] یک نمونه اولیه سیستم سرمایش جذب سطحی خورشیدی به همراه یک کلکتور خورشیدی ۲ مترمربعی با استفاده از کربن فعال/آب ساخته‌اند. پس از بررسی تجربی سیستم مشاهده گردید که نمونه اولیه سیستم قادر به تولید ۱۰ کیلوگرم یخ در روز و ۶۰ کیلوگرم آب گرم در دمای ۹۰ درجه سانتیگراد می‌باشد. آنیانوو و همکارش [۴۱] عملکرد ترمودینامیکی جاذب‌های مختلف را هنگام طراحی یک سیستم جذب سطحی خورشیدی ارزیابی کردند. برای اینکار سه نوع جاذب/مبرد شامل زئولیت/آب، کربن فعال/آمونیاک و کربن فعال/متانول را در نظر گرفته‌اند. طبق نتایج آنها برای کاربردهای تهویه مطبوع، زئولیت/آب بهترین جاذب/مبرد می‌باشد، در حالی که برای کاربردهای یخ‌سازی، انجماد و حفاظت از مواد غذایی کربن فعال/آمونیاک بهتر می‌باشد. حداکثر ضریب عملکرد برای زئولیت/آب، کربن فعال/آمونیاک و کربن فعال/متانول به ترتیب ۰/۳، ۰/۱۹ و ۰/۱۶ بوده است. اومیسانیا و همکارانش [۴۲] یک سیستم سرمایش جذب سطحی خورشیدی را که با زئولیت/آب و دو کلکتور خورشیدی سهموی مرکب کار می‌کند را به صورت تجربی بررسی نموده‌اند. آزمایش آنها منجر به

دمای متوسط ۱۱ درجه سانتیگراد در تبخیرکننده و حداکثر دمای ۱۱۰ درجه سانتیگراد در جاذب در طول روز گردید. میانگین ضریب عملکرد روزانه نیز بین ۰/۸ تا ۱/۵، با متوسط تابش خورشیدی روزانه ۱۴/۷ مگاژول بر مترمربع به دست آمده است.

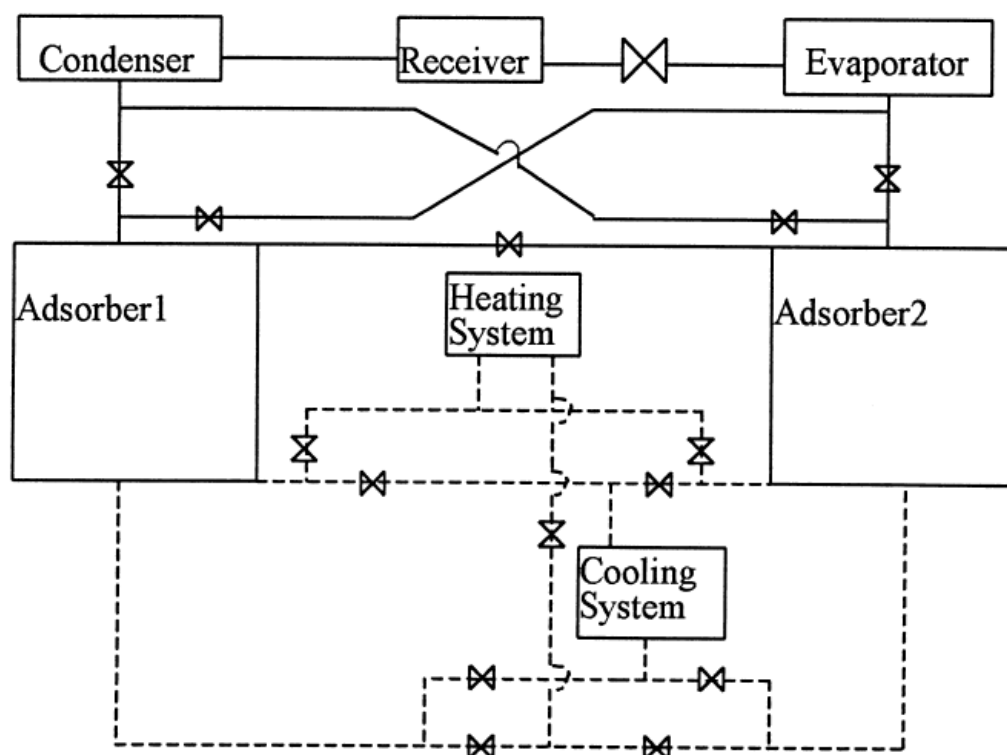
تعدادی پژوهش نیز در زمینه استفاده از کلکتورهای خورشیدی صورت گرفته است. کروسلا و بولز [۴۳] یک دستگاه آزمایشی برای مطالعه سرمایش بدست آمده با ژئولیت/آب را ساخته و مورد ارزیابی قرار داده‌اند. ژئولیت را در داخل لوله‌های خلا یک کلکتور خورشیدی ۳ متر مربعی قرار داده که توسط بازتابنده‌های سهموی و با استفاده از یک منبع نور مصنوعی گرم می‌شود. نتایج تجربی آنها نشان داد که با دمای گرمایش ۱۷۰ درجه سانتیگراد، وقتی که دمای آب در داخل مخزن تا دمای ۰ درجه سانتیگراد سرد گردد، ضریب عملکرد خورشیدی سیستم به ۰/۰۸ می‌رسد.



شکل ۵-۲. شماتیک سیستم سرمایش جذب سطحی ساخته شده [۴۳]

هنینگ و گلس [۴۴] یک سیستم سرمایش جذب سطحی آزمایشی با استفاده از سیلیکاژل/آب را طراحی نموده‌اند. این سیستم با گرمای خورشیدی تولید شده توسط کلکتورهای لوله خلاء با مساحت ۱۷۰ متر مربع تغذیه می‌گردد. بنابر نتایج بدست آمده، ضریب عملکرد گزارش شده بین ۰/۲ تا ۰/۳ متغیر بوده است. حسن و همکاران [۴۵] یک مدل شبیه‌سازی از سیستم جذب سطحی خورشیدی با استفاده از کربن-فعال/متانول در کشور کانادا ارائه کرده‌اند. برای سیستم مذکور، کلکتور خورشیدی صفحه تخت ۱ مترمربعی متشکل از چندین لوله فولادی حاوی جاذب کربن فعال در نظر گرفته شده است. نتایج بررسی آنها نشان می‌دهد که مقدار ضریب عملکرد خورشیدی برای حداکثر شدت تابش خورشیدی ۹۰۰ وات بر مترمربعی، برابر با ۰/۲۱ بوده است. پیلاتوفسکی و همکارانش [۴۶] یک سیستم سرمایش جذب سطحی با استفاده از مونومتیل‌آمین/آب همراه با یک سیستم گرمایش کمکی معمولی برای خنک کردن شیر در مناطق روستایی مکزیک که گرمای آن توسط کلکتورهای لوله خلا تامین می‌گردد را پیشنهاد کرده‌اند. نتایج آنها نشان داد که مقادیر ضریب عملکرد بین ۰/۱۵ تا ۰/۷ بدست آمده است.

لی و همکاران [۴۷] شبیه‌سازی یک سیستم جذب سطحی خورشیدی را ارائه کرده‌اند که در آن جاذب زئولیت در داخل لوله‌های خلا کلکتور خورشیدی قرار داده شده است. در این سیستم دمای جاذب می‌تواند به ۲۰۰ درجه سانتیگراد برسد و طبق بررسی آنها با مقدار ضریب عملکرد خورشیدی سیستم به بیش از ۰/۲۵ می‌رسد. همچنین تاثیر استفاده از بازیابی جرم و حرارت در سیستم‌های سرمایش جذب سطحی صورت گرفته است. کو و همکاران [۴۸] تاثیر بازیابی گرما و جرم را برای چیلر جذب سطحی، کربن فعال/متانول با استفاده از آب و روغن به عنوان سیال انتقال حرارت را مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج آنها نشان داد که فرآیند بازیابی گرما می‌تواند حدود ۳۰ درصد از کل گرمای ورودی چرخه پایه را بازیابی کند. فرآیند بازیابی جرم نیز ظرفیت سرمایش را به مقدار ۲۰ درصد نسبت به چرخه پایه بهبود بخشد. علاوه بر این، ضریب عملکرد چرخه با بازیابی همزمان جرم و گرما به ۰/۳ رسیده است.



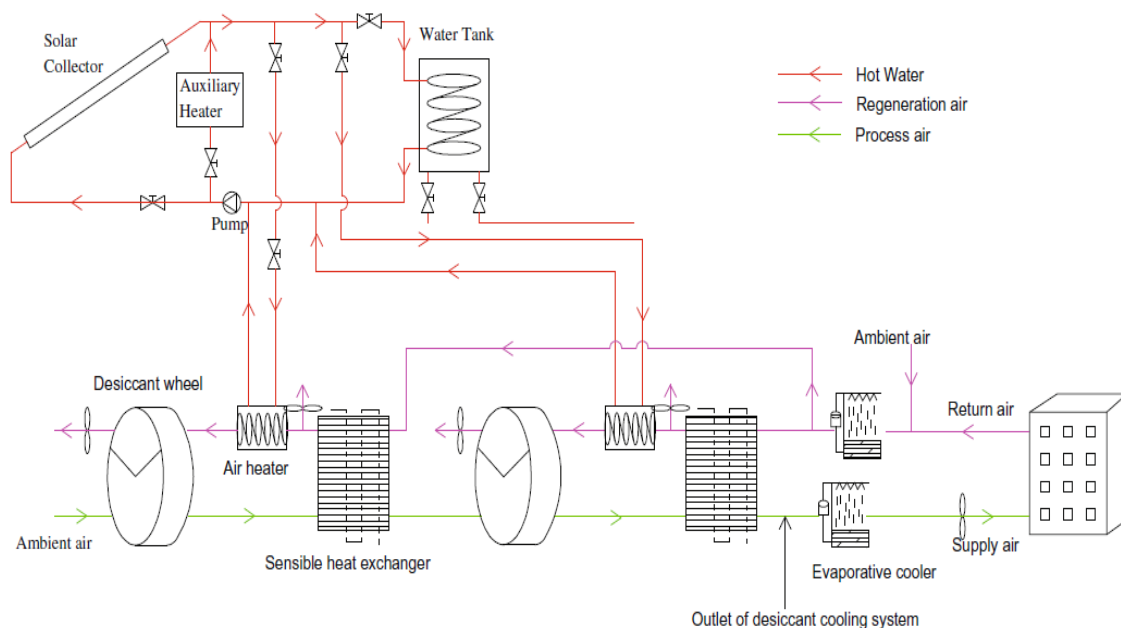
شکل ۲-۶. شماتیک سیستم سرمایش جذب سطحی با بازیابی جرم و حرارت [۴۸]

ریفل و بلو [۴۹] نیز تاثیر بازیابی گرما و جرم را برای یک چیلر جذب سطحی، کربن فعال / متانول را ارائه نموده‌اند. طبق نتایج مشاهده گردید که ضریب عملکرد و SCP^1 سیستم به ترتیب ۱۶/۲۳ درصد و ۸/۱۷ درصد بهبود یافته است. نصرالدین [۵۰] یک چیلر جذب سطحی سیلیکاژل / آب که انرژی حرارتی آن توسط سیستم خورشیدی تامین می‌گردد را برای آب و هوای گرمسیری اندونزی، شبیه‌سازی کرده‌اند. برای بهبود ظرفیت سرمایش سیستم، بازیابی جرم و حرارت نیز برای آن در نظر گرفته شده است. نتایج شبیه‌سازی آنها نشان داد که میانگین ضریب عملکرد این سیستم در طول حداکثر و حداقل تابش خورشید به ترتیب برابر با ۰/۲۶ و ۰/۱۵ بوده است.

^۱. Specific cooling power

۴-۲-۲ سیستم سرمایش تبخیری بر پایه خشک‌کن‌ها

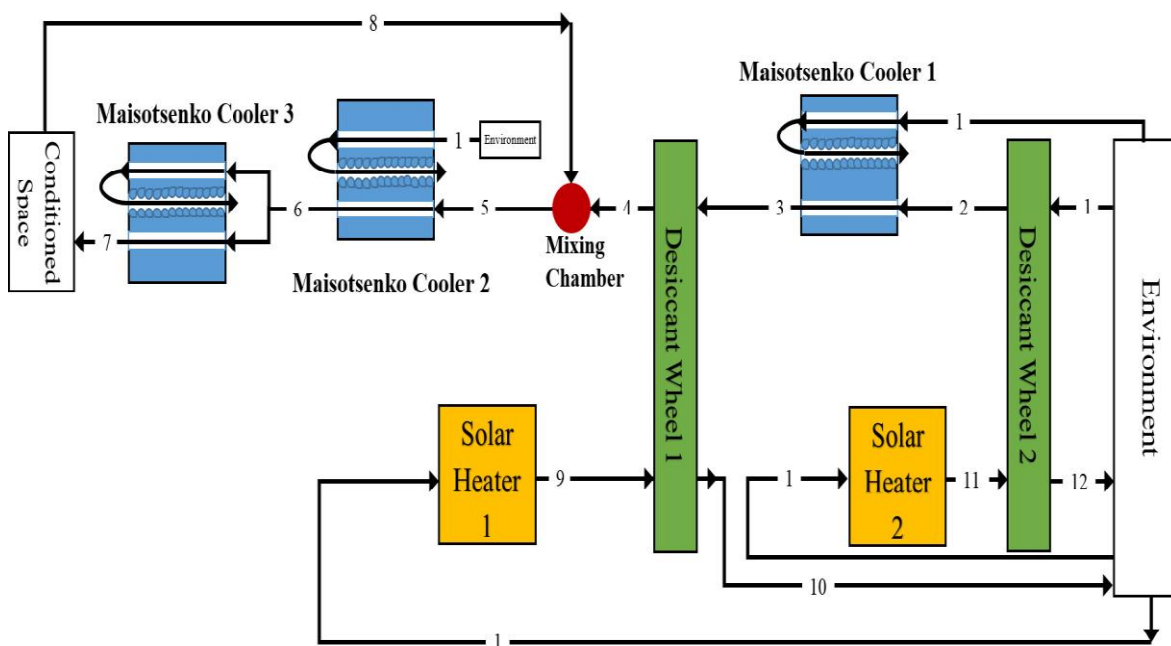
سیستم‌های سرمایش تبخیری به دو دسته جامد و مایع تقسیم می‌گردند. تعدادی پژوهش بر روی سیستم‌های سرمایش تبخیری جامد صورت گرفته است. هنینگ و همکاران [۵۱] یک سیستم سرمایش خشک‌کن خورشیدی با یک کلکتور خورشیدی صفحه تخت ۲۰ مترمربعی و یک مخزن ذخیره آب گرم ۲ مترمکعب بررسی نموده‌اند. طبق بررسی آنها، در فصل تابستان راندمان کلی کلکتور ۵۴ درصد و ضریب عملکرد سرمایشی ۰/۶ بوده است. علاوه بر این، آنها ترکیبی از یک سیستم سرمایش خشک‌کن جامد خورشیدی را با یک سرمایش تراکم بخار معمولی برای آب‌وهوای گرم و مرطوب پیشنهاد نموده‌اند و ادعا کردند که این سیستم تا ۵۰ درصد منجر به صرفه‌جویی در انرژی اولیه می‌گردد. کان اوغلو و همکاران [۵۲] روشی را برای تجزیه و تحلیل انرژی و انرژی سیستم‌های سرمایش خشک‌کن جامد ارائه نموده‌اند. پس از استفاده از این روش برای یک دستگاه آزمایشی که در حالت تهویه با ژئولیت طبیعی به عنوان ماده جاذب اعمال نموده‌اند، طبق نتایج ضریب عملکرد برابر با ۰/۳۵ و بازده انرژی ۱۱/۱ درصد به دست آمده است. اشنابه و همکاران [۵۳] یک سیستم تهویه مطبوع مستقل حرارتی خورشیدی را با استفاده از چرخه خشک‌کن جامد را که در یک ساختمان اداری در آلمان نصب شده است را معرفی کرده‌اند. در سیستم پیشنهادی از سیلیکاژل به عنوان جاذب و از یک کلکتور هوا استفاده شده است. آنها مشاهده نموده‌اند که ضریب عملکرد سیستم به شدت با شرایط عملیاتی و آب و هوایی و همچنین مشخصات طراحی مرتبط است. گی و همکاران [۵۴] از نظر تئوری یک سیستم سرمایش خشک‌کن دو مرحله‌ای مبتنی بر خورشید را با یک سیستم تراکم بخار را برای خنک کردن یک طبقه از یک ساختمان اداری با مساحت کل ۱۵۵۰ مترمربع و حجم ۶۳۰۰ مترمکعب، در شهر برلین و شانگهای مقایسه نموده‌اند. طبق نتایج بدست آمده سیستم سرمایش خشک‌کن عملکرد بهتری در هر دو شهر از خود نشان داده‌است. همچنین طبق نتایج آنها دوره بازگشت سرمایه برای سیستم سرمایش خشک‌کن در برلین و شانگهای به ترتیب ۴/۷ و ۷/۲ سال بوده است.



شکل ۲-۷. شماتیک سیستم سرمایش خشک کن دو مرحله‌ای [۵۴]

بنیونس و همکاران [۵۵] یک سیستم سرمایش خشک کن جامد خورشیدی را برای ساختمانی در راکهمپتون در دانشگاه مرکزی کوئینزلند استرالیا با استفاده از نرم افزار TRNSYS ارزیابی نموده‌اند. طبق ارزیابی آنها در سیستم سرمایشی نصب شده متشکل از کلکتورهای خورشیدی به مساحت ۱۰ مترمربع و یک مخزن آب گرم ۰/۴ مترمکعب، مقدار ضریب عملکرد به ۰/۷ رسیده است. اگر مساحت کلکتورها به ۲۰ مترمربع و حجم مخزن آب گرم ۱/۵ مترمکعب افزایش یابد، مقدار ضریب عملکرد به ۱/۲ افزایش یافته و ۶۰ درصد در مصرف انرژی صرفه جویی می‌گردد. ما و گوآن [۵۶] سیستم سرمایش تبخیری خورشیدی را با یک سیستم سنتی برای یک ساختمان اداری استاندارد در تمام شهرهای پایتخت استرالیا با استفاده از نرم‌افزار EnergyPlus مقایسه نموده‌اند. طبق نتایج آنها مزایای استفاده از سیستم مذکور شامل صرفه جویی در انرژی به میزان ۵۵۷ گیگاژول و کاهش انتشار کربن دی‌اکسید به میزان ۱۲۱ تن به صورت سالانه را نشان می‌دهد.

محمد و همکارش [۵۷] سیستم‌های تهویه مطبوع خشک‌کن جامد دو مرحله‌ای که با یک روش خشک‌کننده تجاری به نام چرخه خشک‌کننده Maisotsenko ادغام گردیده را پیشنهاد نموده‌اند. در این پژوهش، سیستم تهویه مطبوع خشک‌کن دو مرحله‌ای جدید که سیکل خشک‌کننده Maisotsenko را در خود جای داده است، برای اقلیم‌های گرم و مرطوب امارات متحده عربی بررسی شده است. متوسط نرخ گرمای ورودی مورد نیاز برای راه اندازی سیستم و متوسط بار سرمایش ساختمان به ترتیب $100/3$ کیلووات و $46/2$ کیلووات تعیین شده است. بنابراین میانگین ضریب عملکرد سیستم $0/46$ محاسبه شده است.

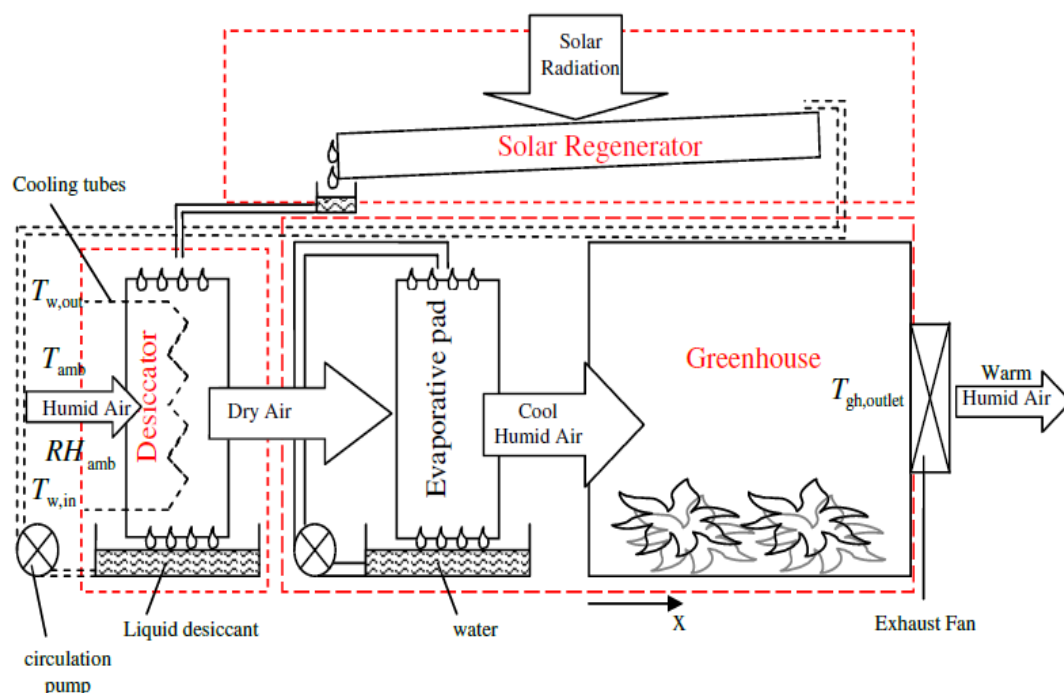


شکل ۲-۸. سیستم تهویه مطبوع خشک‌کن دو مرحله‌ای چرخه خشک‌کننده Maisotsenko [۵۷]

تعدادی پژوهش بر روی سیستم‌های سرمایش تبخیری مایع صورت گرفته است. تیموتی امیل و دوستان [۵۸] به بررسی چند جاذب از نظر اقتصادی برای یک سیستم سرمایش خشک‌کن مایع پرداخته‌اند. بهترین جاذب بدست آمده ترکیبی از دو قسمت لیتیوم کلرید و یک قسمت روی کلرید بود. به عنوان نمونه هزینه لیتیوم بروماید برای سیستمی برای خشک کردن یک ساختار مسکونی 190 مترمربعی هشت برابر بیشتر از مخلوط لیتیوم-روی کلرید می‌باشد. در صورتی که هم مخلوط لیتیوم-روی کلرید و هم محلول های لیتیوم بروماید برای قدرت پمپاژ کمتر از $0/1$ کیلووات را برآورده می‌نمایند.

کامد و گروسمن [۵۹] نمونه اولیه یک سیستم سرمایش خشک کن مایع را با کمک کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت با استفاده از لیتیم کلرید-آب به عنوان سیال کاری آن توسعه داده‌اند. از طریق مطالعه پارامتری، آنها نشان دادند که شرایط هوای محیط، پارامتر اصلی است که به طور قابل توجهی بر فرآیند رطوبت زدایی در سیستم خشک کن مایع تأثیر می‌گذارد. همچنین آنها گزارش دادند که ظرفیت رطوبت-زدایی این سیستم ۱۶ کیلووات با ضریب عملکرد حرارتی ۰/۸ می‌باشد.

لیکنوس و همکارش [۶۰] با مدل‌سازی و انجام آزمایش، عملکرد یک سیستم سرمایش خشک کن مایع منیزیم کلرید با استفاده از انرژی خورشیدی برای گلخانه‌ها را بررسی نموده‌اند. برای بررسی عملکرد سیستم نمونه‌هایی از محصولات گرمسیری معتدل، نیمه گرمسیری، گرمسیری و مقاوم به گرما به ترتیب کاهو، سویا، گوجه‌فرنگی و خیار در فصول رشد آنها، مورد ارزیابی قرار گرفته است. در مقایسه با سرمایش تبخیری معمولی، سیستم سرمایش خشک کن میانگین حداکثر دمای روزانه را در فصل گرم ۵/۵ تا ۷/۵ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌دهد که برای حفظ شرایط رشد مناسب کاهو، در طول سال کفایت می‌کند. همچنین در مورد گوجه‌فرنگی، خیار و سویا، سیستم کشت بهینه را در اکثر ماه‌های تابستان امکان پذیر می‌کند.



شکل ۲-۹. سیستم سرمایش خشک کن مایع منیزیم کلرید با استفاده از انرژی خورشیدی برای گلخانه‌ها [۶۰]

آرماناسکو و همکاران [۶۱] یک سیستم سرمایش خشک کن را با استفاده از انرژی خورشیدی به همراه بازیافت حرارتی را به صورت تجربی برای بررسی تاثیر آن بر کاهش بار روی سیستم تامین برق در شمال ایتالیا ارزیابی نموده‌اند. طبق نتایج آنها میانگین نسبت انرژی اولیه را حدود $1/6$ و شاخص صرفه جویی^۱ در انرژی اولیه ۳۰ درصد بدست آمده است. یانگ و همکارانش [۶۲] یک ماژول سرمایش خشک کن مایع را در نرم افزار SorpSim شبیه‌سازی نموده‌اند. در این سیستم با منبع گرمایی 70°C سانتیگراد، $7/8$ کیلوگرم در ساعت بخار را با ضریب عملکرد 0.64 ، رطوبت آن گرفته خواهد شد. همچنین نتایج شبیه‌سازی نشان داد که با افزایش دمای منبع گرمایی، منجر به بهبود حذف رطوبت می‌گردد، اما کاهش ضریب عملکرد و اندازه مبدل حرارتی تأثیر آن قابل توجه‌تر است.

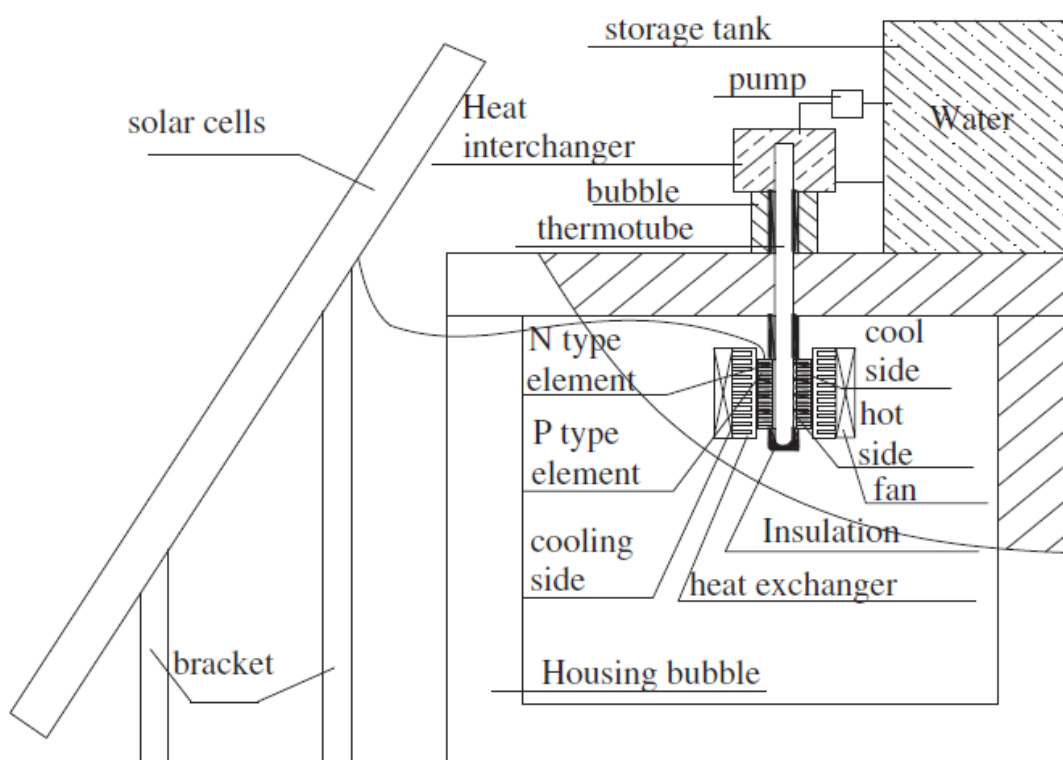
^۱. Saving index

۳-۲ سیستم‌های سرمایش متعارف با محرک الکتریکی

۱-۳-۲ ترموالکتریک

ریفت و همکاران [۶۳] عملکرد سه نوع تهویه مطبوع خانگی، یعنی تهویه مطبوع تراکمی بخار، تهویه مطبوع جذبی و تهویه مطبوع ترموالکتریک می‌پردازد. طبق بررسی آنها، اگرچه مزایای تهویه مطبوع تراکمی بخار دارای ضریب عملکرد بالا و قیمت خرید پایین است. اما استفاده از این سیستم‌ها به دلیل اثر گلخانه‌ای و تخریب لایه اوزون کمتر می‌باشد. تهویه مطبوع جذبی معمولاً حجیم، پیچیده و گران هستند اما به خاطر استفاده از انرژی حرارتی، مصرف عملیاتی آنها پایین است. تهویه مطبوع ترموالکتریک سازگار با محیط زیست، ساده و قابل اعتماد هستند اما در حال حاضر هنوز بسیار گران هستند. همچنین ضریب عملکرد پایین آنها نیز باعث محدودیت در استفاده از آنها در بخش خانگی می‌باشد. عبدالله و همکاران [۶۴] یک مطالعه تجربی بر روی عملکرد خنک‌سازی یک سیستم تهویه ترکیبی ترموالکتریک خورشیدی - جذب سطحی انجام داده‌اند. عملیات سرمایش سیستم مورد بر اساس اثر پلتیر در طول روز، با استفاده از ترموالکتریک و از طریق فرآیند جذب سطحی (کربن فعال - متانول) در طول شب، صورت می‌گیرد. با ارزیابی ضریب عملکرد، میانگین مقادیر ضریب عملکرد سیستم سرمایش ترکیبی حدود ۰/۱۵۲ برای سیستم ترموالکتریک و حدود ۰/۱۳۱ برای سیستم جذب سطحی بدست آمده است.

وی و همکاران [۶۵] یک بررسی تجربی بر روی یک سیستم سرمایش و گرمایش ترموالکتریک با پنل فتوولتائیک انجام داده‌اند. این سیستم شامل پنل فتوولتائیک، دستگاه ترموالکتریک نصب شده در اتاق مورد آزمایش، مبدل حرارتی و مخزن آب می‌باشد. آزمایش‌ها در یک اتاق با حجم ۰/۱۲۵ مترمکعب در تابستان با استفاده از پنل فتوولتائیک به مساحت ۰/۵ مترمربع، صورت گرفته است. طبق نتایج آنها ضریب عملکرد سیستم بالاتر از ۰/۴۵، بازده حرارتی سیستم ۱۲/۰۶ درصد و راندمان الکتریکی ۱۰/۲۷ درصد بدست آمده است.

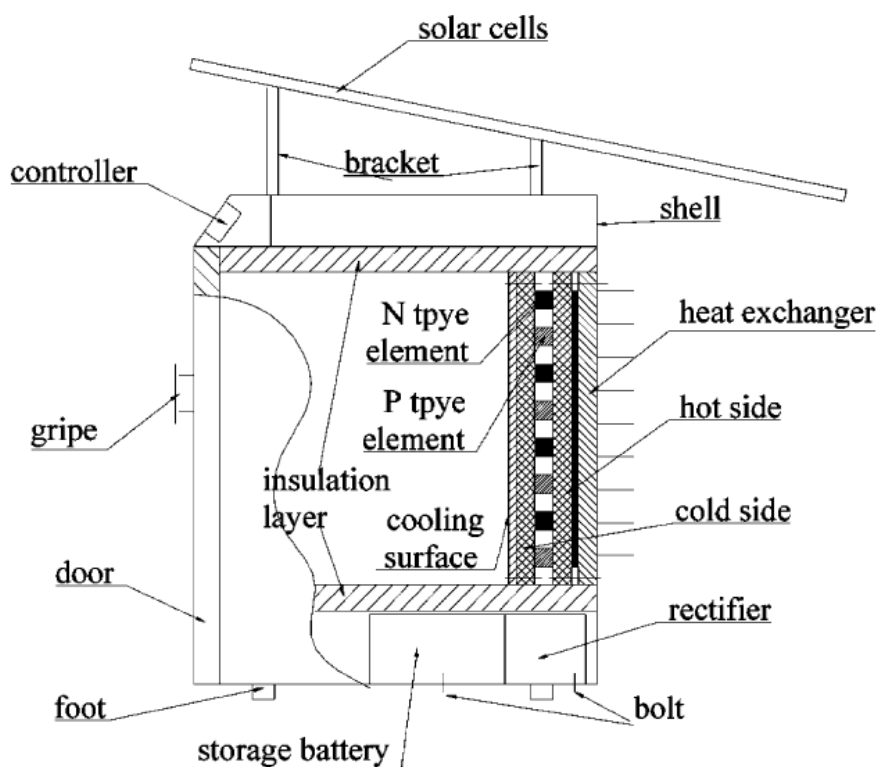


شکل ۲-۱۰. شماتیک سیستم سرمایش و گرمایش ترموالکتریک با پنل فتوولتائیک [۶۵]

لیو و دوستان [۶۶] یک سقف خنک‌شده با ترموالکتریک خورشیدی جدید همراه با سیستم تهویه جابجایی^۱ را در این مقاله پیشنهاد و بررسی کرده‌اند. در این سیستم ماژول‌های ترموالکتریک به‌عنوان منبع گرمایش به‌جای لوله‌های هیدرونیک معمولی استفاده می‌شوند و سیستم ترکیبی هوای تازه را با استفاده از یک سیستم ترموالکتریک رطوبت‌زدایی می‌کند. هر دو سقف خنک‌شده و سیستم تهویه بدون رطوبت توسط سیستم فتوولتائیک تغذیه می‌شوند. کل شار حرارتی سیستم در حالت سرمایش بالاتر از ۶۰ وات بر متر مربع است و ضریب عملکرد سیستم می‌تواند تحت ولتاژ کاری ۵ ولت به ۰/۹ برسد. در حالت گرمایش، کل شار حرارتی سیستم تحت ولتاژ کاری ۴ ولت بیش از ۱۱۰ وات بر متر مربع و ضریب عملکرد سیستم می‌تواند به ۱/۹ برسد.

^۱. Solar thermoelectric cooled ceiling combined with displacement ventilation

لیو و همکاران [۶۷] به صورت نظری و تجربی یک تهویه مطبوع ترموالکتریک خورشیدی جدید با منبع آب گرم را بررسی نموده‌اند. طبق این بررسی، ضریب عملکرد سیستم می‌تواند در حالت سرمایش ۲/۵۹ و در حالت گرمایش ۳/۰۱ باشد. دای و همکاران [۶۸] یک سیستم سرمایش ترموالکتریک با استفاده از پنل فتوولتائیک برای استفاده در سیستم تبرید را توسعه داده‌اند. در این کار آنها از دو پنل خورشیدی به مساحت ۰/۸ متر مربع استفاده شده است. طبق بررسی آنها با استفاده از ترموالکتریک می‌توان دما را در فضای مورد بررسی در محدوده ۵-۱۰ درجه سانتیگراد حفظ کرد و این سیستم دارای ضریب عملکرد حدود ۰/۳ بوده است.

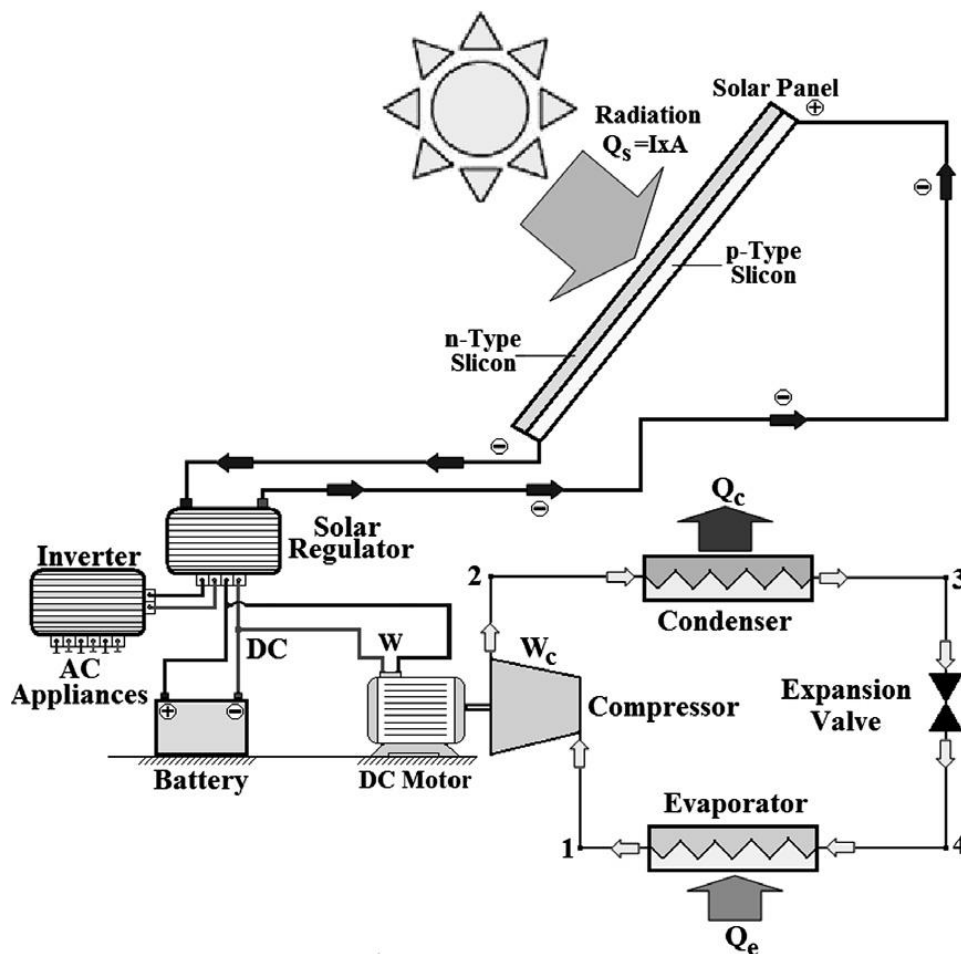


شکل ۱۱-۲. شماتیک سیستم سرمایش ترموالکتریک با پنل خورشیدی [۶۸]

عبدالوهاب و همکارانش [۶۹] طراحی و ساخت یک یخچال ترموالکتریک خورشیدی مقرون به صرفه برای مردم بادیه نشین ساکن در مناطق دور افتاده کشور عمان که در آن مناطق هنوز برق در دسترس نمی باشد را ارائه کرده اند. در این کار گرمای قسمت داغ مازول ترموالکتریک را با استفاده از سینک های حرارتی و فن، به محیط اطراف دفع می گردد. نتایج آزمایش تجربی آنها نشان داد که دمای سرمایش از ۲۷ درجه سانتیگراد به ۵ درجه سانتیگراد در حدود ۴۴ دقیقه کاهش یافت. همچنین ضریب عملکرد یخچال (COPR) در حدود ۰/۱۶ بوده است. منگتال و همکاران [۷۰] مطالعه عددی در مورد بار سرمایش و ضریب عملکرد یک یخچال ترموالکتریک تجاری با حداکثر بار سرمایش و ضریب عملکرد آن به ترتیب ۲/۳۳ وات و ۰/۵۴ انجام دادند. نتایج نشان داد که رسانایی حرارتی مبدل حرارتی و نشت گرما از طریق شکاف هوا از عوامل اصلی هستند که می توانند باعث کاهش عملکرد سیستم شود.

۲-۳-۲ تراکم بخار

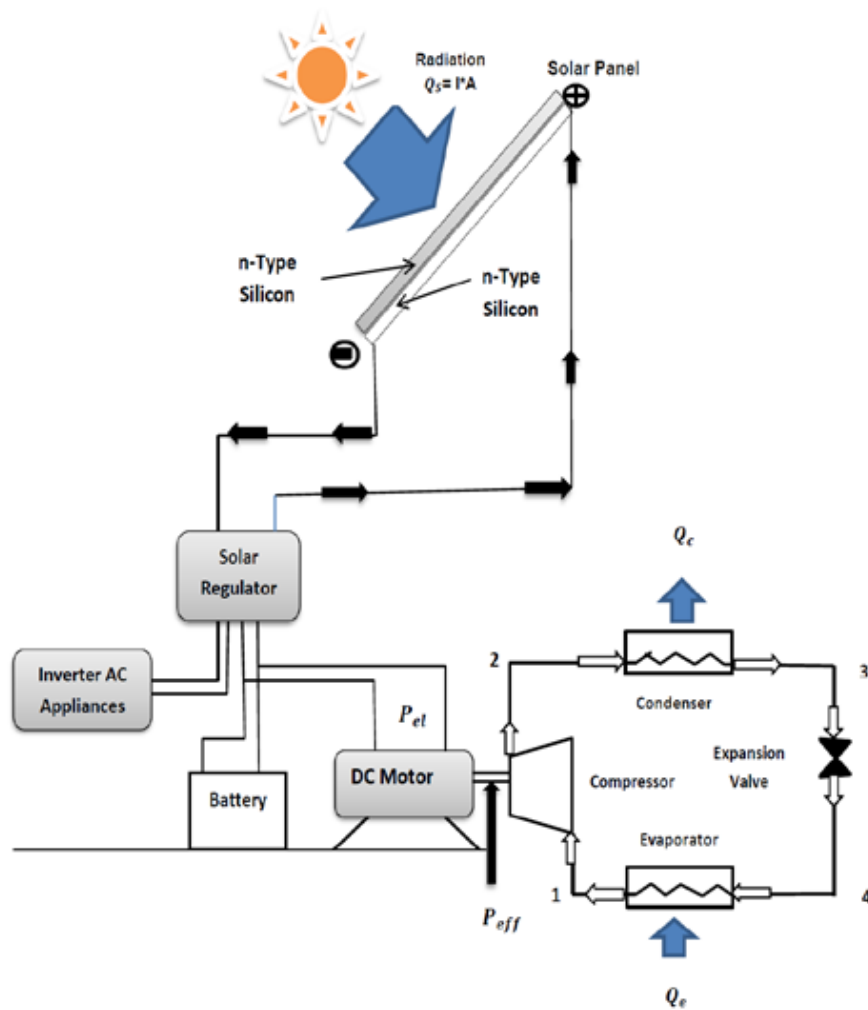
مهمت بیلگیلی [۷۱] یک سیستم سرمایش تراکم بخار برقی خورشیدی در شهر آدانا واقع در منطقه جنوبی ترکیه پیشنهاد کرده اند. در این سیستم مساحت سطح پنل فتوولتائیک مورد نیاز حدود ۳۱/۲۶ مترمربع بوده است. برای دمای تبخیر صفر درجه سانتیگراد، حداکثر توان مصرفی کمپرسور ۲/۵۳ کیلووات در ساعت ۱۵:۰۰ بعد از ظهر روز ۲۳ اوت بدست آمده است. همچنین مشخص گردید که سیستم مورد نظر می تواند برای مقاصد سرمایش خانه و یا دفتر کار در طول روز در منطقه جنوبی ترکیه مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۲-۱۲. اجزای سیستم تبرید تراکمی بخار برقی خورشیدی [۷۱]

سورکثو [۷۲] ارزیابی عملکرد یک چرخه سرمایش تراکم بخار با یک کمپرسور دوقلو دور متغیر با جریان مستقیم خورشیدی، در یک محفظه سرمایش عایق شده به ابعاد $40 \times 40 \times 50$ سانتی متر را ارائه نموده‌اند. مطابق با نتیجه بدست آمده، هنگام تغییر دمای ورودی کندانسور، ضریب عملکرد به طور معکوس پاسخ داده و بازده انرژی در دمای ورودی کندانسور از $43/5$ درجه سانتیگراد به $28/24$ درصد رسیده است. همچنین تغییر بار تبخیرکننده منجر به افزایش ضریب عملکرد می‌شود و مشاهده شد که بیشترین تخریب انرژی در کمپرسور سیستم و سپس چگالنده، شیر انبساط و در نهایت تبخیرکننده صورت می‌گیرد. در این سیستم بالاترین ضریب عملکرد سیستم در کمپرسور با 2500 دور بر دقیقه با مقدار $4/7$ بدست آمده است.

آرمند نوئل [۷۳] به ارزیابی یک سیستم سرمایش تراکم بخار خورشیدی در یک منطقه گرمسیری خشک پرداخته‌اند. نتایج نشان داد که برای دمای تبخیر صفر درجه سانتیگراد، توان موثر کمپرسور بین ۵/۳۳ کیلووات تا ۶ کیلووات، ظرفیت کندانسور بین ۲۴ تا ۲۸ کیلووات و ضریب عملکرد از ۳/۲۸ تا ۳/۷۴ متغیر است.



شکل ۲-۱۳. شماتیک سیستم سرمایش تراکم بخار خورشیدی [۷۳]

اسماء احمد و همکاران [۷۴] یک بررسی تجربی بر روی عملکرد یخچال تراکمی بخار خورشیدی از طریق آزمایش‌های داخلی و خارجی، با و بدون مخزن ذخیره‌سازی حرارتی با استفاده از مواد تغییر فازدهنده را در مناطق گرم و خشک انجام داده‌اند. اجزای اصلی سیستم شامل پنل فتوولتائیک، باتری ۱۲ ولت و یخچال

قابل حمل ۵۰ لیتری است. علاوه بر این، یک مدل نظری برای ارزیابی عملکرد یخچال در شرایط محیطی، برای اندازه‌گیری یک یخچال با ظرفیت سرمایش بزرگتر استفاده گردیده است. نتایج نشان می‌دهد که این سیستم می‌تواند در مناطق خشک دورافتاده و گرم برای سرمایش در حمل محصولات پس از برداشت مورد استفاده قرار گیرد. از نتایج در فضای باز با مواد تغییر فاز دهنده، ضریب عملکرد سیستم برابر با ۱/۲۲ بدست آمده است. اکبر حسین و دوستان [۷۵] یخچالی با کمک سیستم خورشیدی را با استفاده از عناصری مانند پنل فتوولتائیک، تبخیرکننده، شیر انبساط، کمپرسور و اینورتر و غیره تولید نموده‌اند. محدوده دمای ذخیره‌سازی هدف بین ۱۵- تا ۳۰ درجه سانتیگراد بوده است. با بررسی سیستم در محیط باز ضریب عملکرد کلی سیستم برای مبرد R600a برابر با ۴/۸۹ است. این سیستم نشان داد که می‌توان در مناطق روستایی و مناطقی که برق متصل به شبکه در دسترس نیست برای حفظ داروهای نجات دهنده اضطراری و واکسن‌ها در دمای پایین از آن استفاده نمود.

الیاس و همکاران [۷۶] روشی را برای تجزیه و تحلیل و شبیه‌سازی سیستم سرمایش تراکم بخار مبتنی بر انرژی خورشیدی با کمپرسوری با دور متغیر را پیشنهاد نموده‌اند. سیستم سرمایش خورشیدی مورد نظر شامل یک پنل فتوولتائیک است که به طور مستقیم با یک کمپرسور DC با دور متغیر متصل است. نتایج تجزیه و تحلیل و شبیه‌سازی آنها نشان داد که ضریب عملکرد سیکل سرمایش در کمپرسور با دور کم حدود ۲/۲۵ و در کمپرسور در بالاترین دور مقدار آن برابر با ۱/۸۵ است. هان و همکارانش [۷۷] یک استراتژی کنترل یکپارچه برای یک سیستم سرمایش خورشیدی که مستقیماً توسط پنل فتوولتائیک بدون باتری را پیشنهاد کرده‌اند. این استراتژی با ایجاد اختلال در فرکانس کارکرد کمپرسور، امپدانس عملیاتی بهینه آرایه پنل فتوولتائیک را مطابقت می‌دهد. علاوه بر این، آزمایش‌های مقایسه‌ای سیستم را با و بدون کنترل‌کننده برای ارزیابی عملکرد سیستم سرمایش خورشیدی انجام داده‌اند. نتایج آزمایش تحت استراتژی کنترل تطبیق امپدانس نشان داد که متوسط راندمان تبدیل فوتوالکتریک تقریباً به ۰/۱۲۹ رسیده و نسبت به سیستم بدون کنترل ۸۳/۷ درصد بهبود یافته است. ضریب عملکرد با استفاده از ذخیره ساز حرارتی یخ به

۰/۲۶۳ رسیده است که ۶۰/۴ درصد بهبود داشت. ضریب عملکرد واحد سرمایه ۲/۱ و ظرفیت سرمایه کل ۱۰۳/۵ مگاژول بوده که برای خنک کردن یک اتاق ۲۵/۵ مترمربعی به مدت ۸/۵ ساعت کافی است.

۲-۴ سرمایه غیرمتعارف خورشیدی

۱-۴-۲ حفاظت از خورشید و حرارت

یکی از راه‌های کاهش دما و کاهش بار سرمایشی ساختمان استفاده از سایه درختان می‌باشد. اکبری و همکاران [۷۸] به بررسی تاثیر افزایش دما در مصرف انرژی در بخش تهویه مطبوع و راهکار کاهش آن پرداخته‌اند. طبق تجزیه و تحلیل روند دما در چندین شهر بزرگ ایالات متحده نشان می‌دهد که از سال ۱۹۴۰، دما در مناطق شهری حدود ۰/۵-۳ درجه سانتیگراد افزایش یافته است. به طور معمول تقاضای برق در شهرها به ازای هر ۱ درجه سانتیگراد افزایش دما، ۲ تا ۴ درصد افزایش می‌یابد. طبق تخمین آنها ۵ تا ۱۰ درصد از تقاضای برق شهری فعلی صرف خنک کردن ساختمان‌ها می‌شود. با استفاده از درختان در سطح شهر و سطوح با ضریب انعکاس بالا به عنوان مثال سقف‌ها و جاده‌ها به رنگ روشن تر، می‌توان مصرف انرژی در تهویه مطبوع را تا ۲۰ درصد کاهش دهد و بیش از ۱۰ میلیارد دلار در سال در مصرف انرژی و بهبود کیفیت هوای شهری صرفه‌جویی نمود. رام پاندیت و همکارش [۷۹] تاثیر سایه درختان بر مصرف انرژی برای خنک‌کاری خانه‌ها و ساختمان‌ها در فصول گرم سال را بررسی نموده‌اند. طبق بررسی آنها سایه درختان به طور کلی با کاهش مصرف برق در تابستان مرتبط است. میزان صرفه‌جویی در انرژی در تابستان، برابر با ۱۴/۴ درصد بوده است.

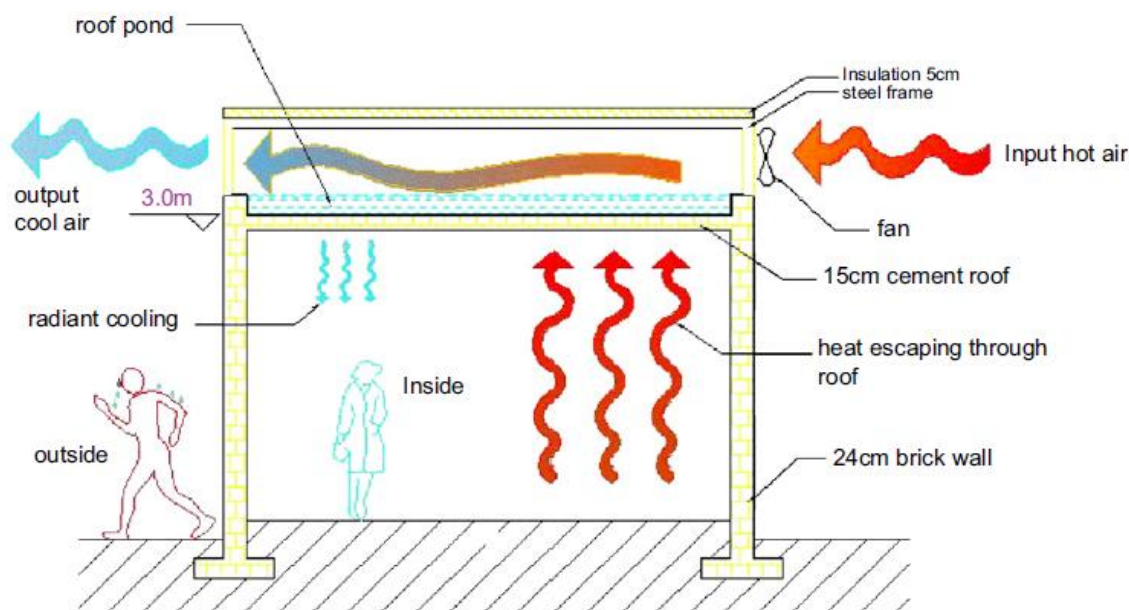
محد فیروز شهیدان و همکارش [۸۰] در مطالعه خود به اثر خنک‌کنندگی بهینه درختان با اصلاح مواد در محوطه ساختمان در کاهش مصرف انرژی ساختمان در آب و هوای گرمسیری پرداخته‌اند. طبق بررسی آنها با تراکم بالا پوشش درختان و استفاده در از مواد منعکس‌کننده تابش خورشید در محوطه ساختمان

می‌تواند تا ۲۹ درصد باعث کاهش بالقوه بار سرمایش ساختمان گردد. روان بری و دوستان [۸۱] تاثیر سایه درختان بلند آنگوفرا^۱، درختان کوچکتر فراکسینوس^۲ و بدون استفاده از سایه درخت را بر روی دمای سطح دیوار خارجی و دمای هوای بیرون یک ساختمان را مورد بررسی قرار داده‌اند. طبق بررسی آنها سایه درختان بلند، دمای سطح دیوار خارجی را تا ۹ درجه سانتیگراد و دمای هوای بیرون را تا ۱ درجه سانتیگراد کاهش داده است. درختان کوچک‌تر در کاهش دمای سطح دیوار خارجی عملکرد مطلوبی نداشته و دورتر کردن درختان بلند از دیوار ساختمان نیز مزایای خنک‌کنندگی آنها کم می‌نماید.

چان مینگ و همکاران [۸۲] اثر خنک‌کنندگی درختان اطراف ساختمان‌ها بر کاهش بار سرمایش ساختمان با استفاده از شبیه‌سازی در نرم‌افزار EnergyPlus در شهر ناینجینگ چین را مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که سایه درختان، مصرف انرژی ساختمان را تا ۱۰/۳ درصد کاهش می‌دهد. روش دیگر برای خنک‌سازی ساختمان‌ها استفاده از سایه‌بان و حوضچه بر روی سقف ساختمان می‌باشد. در این رابطه سونا رئیسی و همکارش [۸۳] مدلی برای پیش‌بینی عملکرد حرارتی یک ساختمان با سایه‌بان و حوضچه‌های سقفی ارائه کرده‌اند. اثربخشی گزینه‌های مختلف سقف برای خنک‌کننده غیرفعال بررسی شده است. نتایج اثربخشی گزینه‌های مختلف سقف برای سرمایش نشان داد که برای یک خانه مورد مطالعه در شهر شیراز بار سرمایشی با استفاده از سقف‌های حوضچه‌دار با سایه‌بان، حوضچه‌دار و سقف‌های سایه‌بان‌دار به ترتیب ۷۹، ۵۸/۱ و ۴۳/۶ درصد کاهش خواهد یافت. خروفا و همکارش [۸۴] تاثیر استفاده از یک سایه‌بان بر روی سقف و قرار دادن حوضچه سقفی با تهویه مکانیکی بین سایه‌بان و سقف را در یک ساختمان در آب و هوای بغداد عراق در فصل تابستان را مورد ارزیابی قرار داده‌اند. نتایج آنها ۶/۵ درجه سانتیگراد کاهش دمای داخلی ساختمان را نشان داده است.

^۱. Angophora

^۲. Fraxinus



شکل ۲-۱۴. شماتیک استفاده از حوضچه سقفی با تهویه مکانیکی [۸۴]

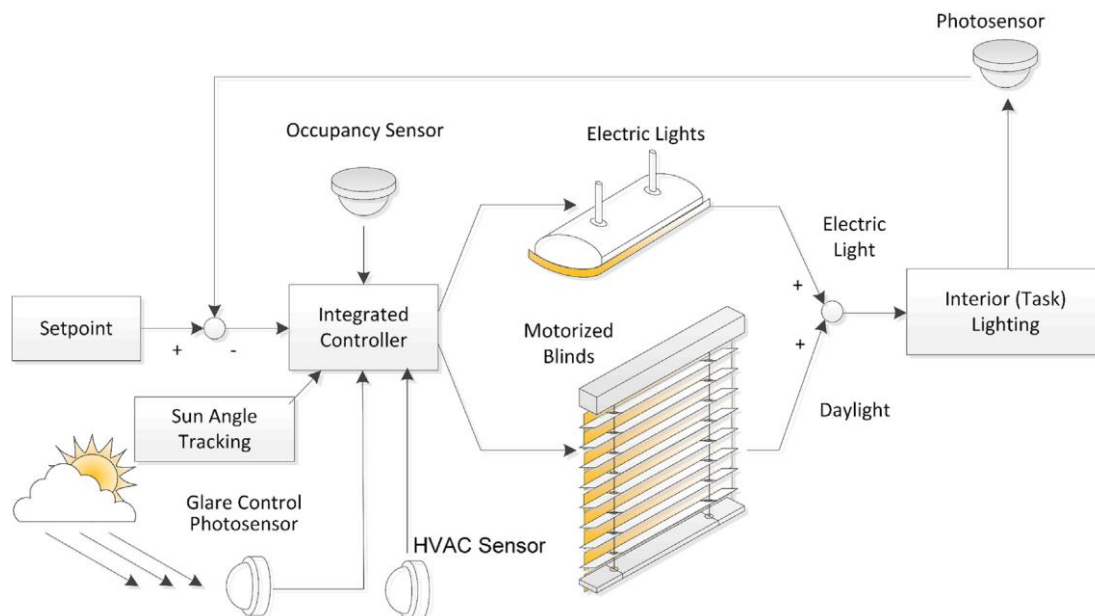
از روش‌های دیگر خنک‌سازی ساختمان تعداد جداره شیشه پنجره و سایه‌بان برای پنجره می‌باشد. محمد مهدی طهماسبی و همکارانش [۸۵] با استفاده از نرم‌افزار BIM تاثیر تعداد جداره شیشه بر کاهش مصرف انرژی در یک خانه با مساحت ۵۶/۲۵ مترمربعی در کوالالامپور مالزی را بررسی نموده‌اند. در مقایسه بین شیشه سه‌جداره با دو جداره، ۵/۵-۸/۵ درصد باعث صرفه‌جویی انرژی گشته است. صدرزاده و همکاران [۸۶] با استفاده از نرم‌افزار IES^۱ به مقایسه شیشه سه‌جداره با شیشه تک‌جداره شفاف در یک ساختمان اداری در مالزی پرداخته‌اند. طبق نتایج بدست آمده، شیشه سه‌جداره منجر به صرفه‌جویی ۶/۳ درصد در مصرف انرژی ساختمان گردیده است.

جیان و همکارش [۸۷] با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی ساختمان DEST، سه نوع پنجره دوجداره ترموتروپیک، دوجداره و دو جداره رنگی را برای یک اتاق رو به غرب در کشور چین، با یکدیگر مقایسه نموده‌اند. پنجره‌های دوجداره ترموتروپیک می‌توانند در مقایسه با پنجره‌های دو جداره، ۱۹ درصد از نیاز برق سرمایش در اتاق‌های رو به غرب را کاهش دهند و شرایط روشنایی مناسبی در داخل خانه را فراهم

^۱. Integrated Environmental Solution

کنند. وانگ و همکارش [۸۸] در یک بررسی تجربی تاثیر استفاده از سایه‌بان افقی پنجره را بر روی بار سرمایشی یک ساختمان مسکونی واقع در کشور سنگاپور، مورد بررسی قرار داده‌اند. طبق بررسی آنها با استفاده از ۰/۳ تا ۰/۹ متر سایه‌بان افقی، ۲/۶۲-۱۰/۱۳ درصد بار سرمایشی مورد نیاز را کاهش می‌دهد. آتاناسیوس و همکارش [۸۹] با استفاده از نرم‌افزار EnergyPlus به بررسی تاثیر استفاده از یک سایه‌بان غلتکی متحرک بر کاهش مصرف انرژی یک ساختمان اداری پرداخته‌اند. در این سیستم با استفاده از سایه‌بان مذکور میزان تابش خورشید ورودی به درون ساختمان کنترل می‌گردد. همچنین در این سیستم نیاز روشنایی مورد نیاز ساختمان نیز در نظر گرفته شده است. با استفاده از سایه‌بان غلطکی متحرک تقاضای انرژی سالانه به میزان ۱۲ درصد کاهش پیدا کرده است.

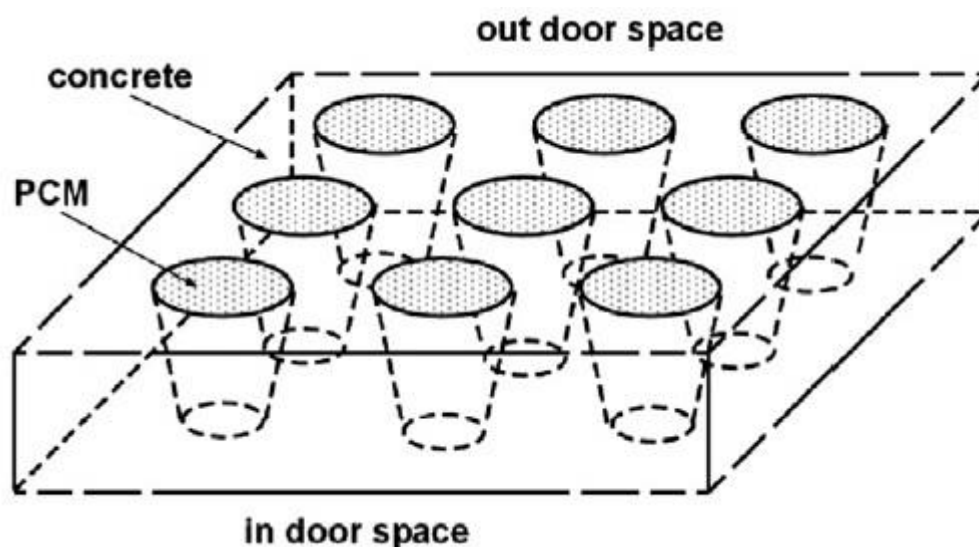
عمیر و همکارش [۹۰] به بررسی تاثیر نوع شیشه و سایه‌بان استفاده شده برای پنجره در منازل مسکونی دویی پرداخته‌اند. طبق بررسی آنها بهینه‌ترین حالت استفاده از پنجره سه‌جداره و ترکیب سایه‌بان افقی و عمودی با برآمدگی ۶۰ سانتی‌متر بوده است. در این حالت ۱۰ درصد بار سرمایشی سالانه و ۶ درصد مصرف انرژی سالانه کاهش پیدا خواهد کرد. اریک شن و همکارانش [۹۱] به صورت تئوری به بررسی تاثیر استفاده از پرده متحرک و استفاده از یک سیستم کنترلی برای آن در سه شهر بالتیمور، لندن و دویی پرداخته‌اند. طبق بررسی آنها با استفاده از سیستم کنترلی در پرده متحرک برای کنترل میزان تابش ورودی به درون ساختمان و کاهش دمای آن، می‌توان در سه شهر مذکور ۱/۶ تا ۳۲ درصد در مصرف انرژی صرفه‌جویی نمود.



شکل ۲-۱۵. شماتیک ترکیب سیستم کنترلی با پرده متحرک [۹۱]

۲-۴-۲ مدولاسیون حرارت

عصام [۹۲] به بررسی تاثیر استفاده از آجر با استوانه‌هایی در درون آن حاوی ماده تغییر فاز دهنده پارافین در دیواره ساختمان را مورد بررسی قرار داده است. طبق نتایج بدست آمده، با استفاده از آجر در دیواره ساختمان شار حرارتی از دیوار به درون ساختمان ۱۷/۵ درصد کاهش پیدا خواهد کرد. عصام و همکارش [۹۳] مدلی را برای سقف بتنی یک ساختمان که حفره‌های مخروطی در آن در نظر گرفته شده و درون آنها با مواد تغییر فاز دهنده پر شده است را ارائه کرده‌اند. برای بررسی این مدل سه نوع تغییر فاز دهنده پارافین P116، n-Octadecane و n-Eicosane مورد بررسی قرار داده‌اند. بهترین عملکرد در تغییر فاز دهنده n-Eicosane با کاهش شار حرارتی در سطح داخلی سقف به میزان ۳۹ درصد مشاهده گردیده که منجر به کاهش بار سرمایشی ساختمان و دمای آن می‌گردد.

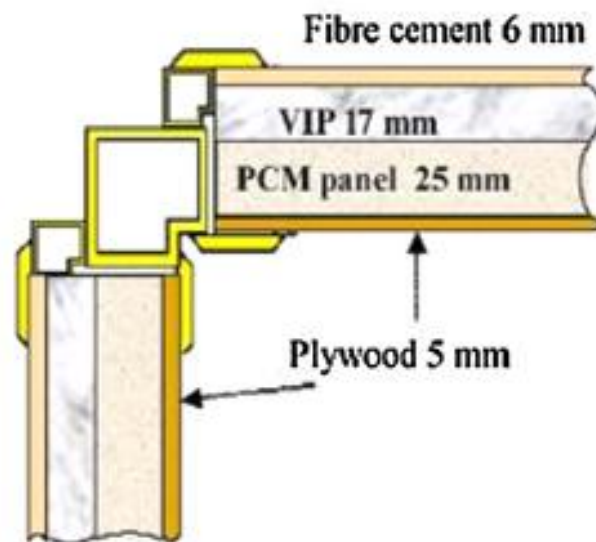


شکل ۲-۱۶. شماتیک نحوه قرارگیری مواد تغییر فازدهنده در سقف [۹۳]

جان کوشنی و دوستان [۹۴] در شرایط آب و هوایی شرق تنسی ایالات متحده، یک سقف خورشیدی آزمایشی با استفاده از ورقه‌های سیلیکونی آمورف ادغام شده با پنل‌های سقف فلزی را مورد ارزیابی قرار داده‌اند. به منظور کاهش بار حرارتی تولید شده از سقف در بخش سقف این سیستم از مواد تغییر فازدهنده به عنوان یک هیت‌سینک استفاده شده است. طبق این سیستم در طول زمستان، این سقف آزمایشی به عنوان یک کلکتور خورشیدی غیرفعال کار می‌کند که گرمای خورشیدی جذب شده در طول روز را ذخیره و دمای کلی هوای اتاق زیر شیروانی را در طول شب افزایش می‌دهد. در طول تابستان مواد تغییر فازدهنده به عنوان یک هیت‌سینک عمل کرده و گرمای بدست آمده توسط اتاق زیر شیروانی را کاهش و در نتیجه بار سرمایشی ساختمان را کاهش می‌دهد. طبق بررسی انجام شده این سیستم منجر به کاهش حدود ۳۰ درصد بار گرمایش و ۵۰ درصد بار سرمایش می‌گردد.

پیسلو و همکاران [۹۵] تأثیر استفاده از مواد تغییر فازدهنده را در دو نوع پوشش سقفی پلی اورتان و قیر را برای خنک‌کاری ساختمان بررسی نموده‌اند. طبق بررسی آنها در حالت ترکیب پوشش سقفی پلی اورتان و قیر با مواد تغییر فازدهنده به ترتیب ۱۰/۴ و ۱۲/۶ درصد در مصرف انرژی صرفه‌جویی گردیده است.

آمیته‌ایالات و همکاران[۹۶] تاثیر استفاده از مواد تغییرفازدهنده در سقف را بر روی کاهش بار حرارتی و سرمایشی در یک ساختمان واقع در ملبورن استرالیا را بررسی نموده‌اند. مطابق با نتایج بدست آمده با استفاده از مواد تغییر فازدهنده بار سرمایشی سالانه ۳۹ درصد و بار گرمایشی ۱۲ درصد کاهش پیدا کرده است.



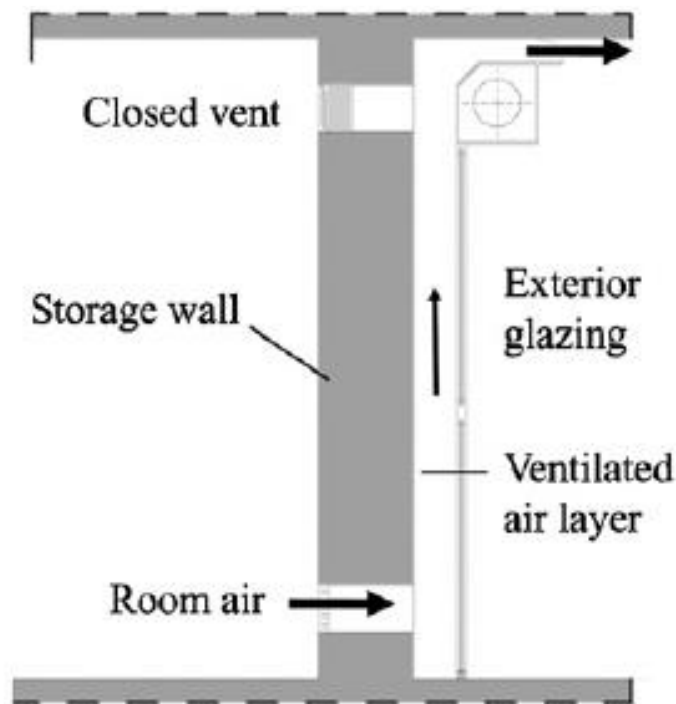
شکل ۲-۱۷. شماتیک نحوه قرارگیری مواد تغییرفازدهنده در سقف [۹۶]

نگانا و همکارش[۹۷] به صورت تئوری و تجربی تاثیر استفاده از ماده تغییرفازدهنده پارافین در دیواره ساختمان را مورد ارزیابی قرار داده‌اند. طبق نتایج مواد تغییرفازدهنده با کنترل تغییرات دمای اتاق، دمای داخلی و دمای سطح دیوار را به ترتیب $1/4$ و $2/7$ درجه سانتیگراد کاهش داده است. هو و هایزلبورگ[۹۸] عملکرد یک پنجره مجهز به ماده تغییرفازدهنده را در ماه‌های تابستان کپنهاگ بررسی کرده‌اند. طبق بررسی آنها مشخص گردید که وقتی ضخامت صفحه حاوی مواد تغییرفازدهنده در داخل پنجره به مقدار ۱۰ میلی‌متر استفاده شود، اثر سرمایشی تا دمای $6/5$ درجه سانتیگراد و با صرفه‌جویی کل انرژی $3/19$ مگاژول در روز را فراهم می‌کند. شوهانگلی و همکاران[۹۹] سه نوع پنجره سه‌جداره، سه‌جداره با مواد تغییر فازدهنده و دوجداره با مواد تغییرفازدهنده را با یکدیگر مقایسه نموده‌اند. در این بررسی از پارافین به عنوان ماده تغییرفازدهنده استفاده شده است. پس از بررسی سه سیستم، پنجره سه‌جداره با تغییرفازدهنده در

مقایسه با پنجره سه‌جداره و دوجداره با تغییرفازدهنده به ترتیب $32/8$ و $21/3$ درصد مصرف انرژی سرمایشی را کاهش داده است.

۳-۴-۲ اتلاف حرارت

یانگ و همکاران [۱۰۰] یک پنل فتوولتائیک را در مقابل یک دیوار ترومب قرار داده و بین پنل و دیوار فاصله‌ای برای جریان هوا در نظر گرفته‌اند. با مدلسازی سیستم بار سرمایشی آن در مقایسه با دیوارهای معمولی برای سه شهر هنگ کنگ، شانگهای و پکن با یکدیگر مقایسه گردیده است. طبق نتایج بدست آمده، دیوار ترومب با پنل فتوولتائیک در مقایسه با دیوار معمولی، بار سرمایشی در سه شهر یاد شده به میزان 33 تا 50 درصد کاهش یافته است. فرانچسکا استازی و همکارش [۱۰۱] طی یک مطالعه تجربی بر روی رفتار یک دیوار ترومب با کرکره غلتکی برای ایجاد سایه بر روی آن در شرایط آب و هوایی مدیترانه را مورد بررسی قرار داده‌اند. طبق نتایج آنها کرکره‌های غلتکی دمای سطح داخلی دیوار را به میزان $1/4$ درجه سانتیگراد کاهش می‌دهد. همچنین در مقایسه با دیوار ترومب بدون محافظ، با استفاده از کرکره‌های غلتکی برای دیوار ترومب در تابستان، می‌توان نیاز به انرژی برای سرمایش را در ساختمان های با عایق کاری کم و زیاد به ترتیب $72/9$ و 63 درصد کاهش داد. فرانچسکا استازی و همکاران [۱۰۲] در یک بررسی تجربی به بررسی تاثیر شیشه تک‌جداره و دوجداره به همراه دیوار ترومب، بر کاهش بار سرمایشی پرداخته‌اند. طبق نتایج آنها در فصل تابستان شیشه تک‌جداره به میزان 42 درصد و شیشه دوجداره به میزان 48 درصد بار سرمایشی را کاهش داده‌اند.

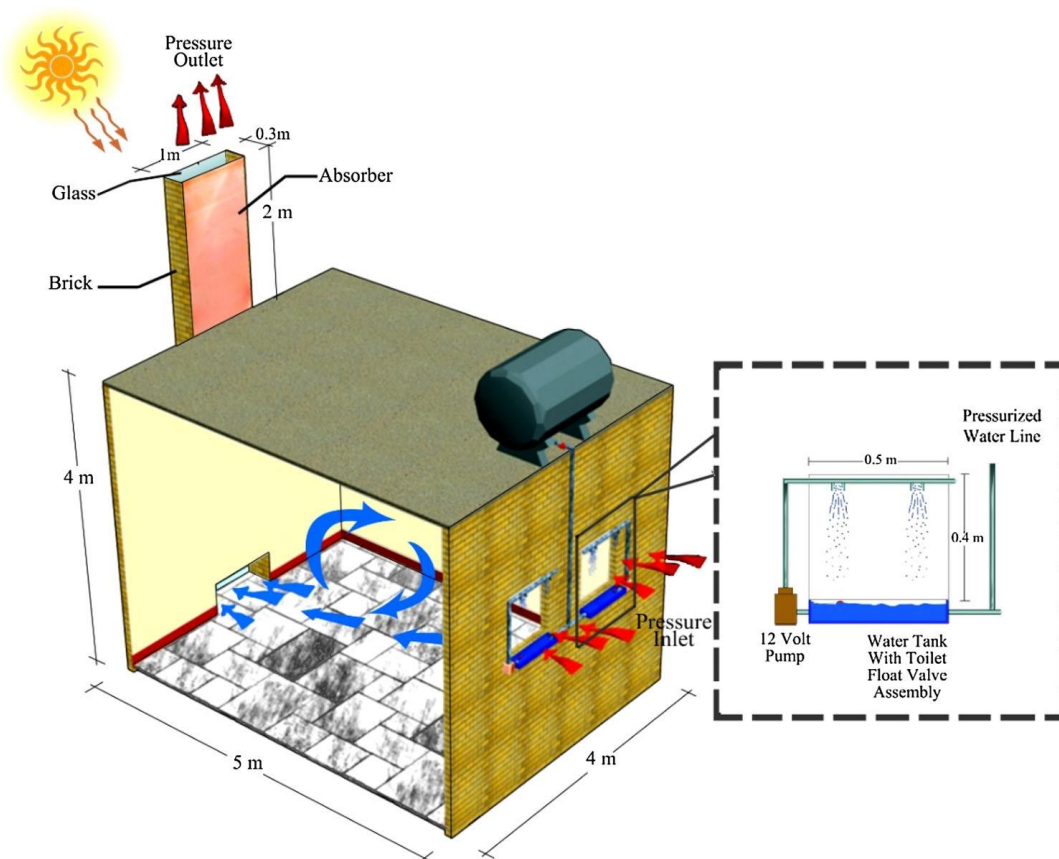


شکل ۲-۱۸. شماتیک سیستم دیوار ترومب با شیشه [۱۰۲]

جوزف خدري و همكارش [۱۰۳] يك سيستم دودكش خورشیدی را با يك ديوار ترومب تركيب کرده و به صورت تجربی تأثير آن را بر کاهش بار سرمايش يك اتاق ۲۵ مترمکعبی که از يك سيستم تهويه اسپيلت با ظرفيت اسمی ۱ تن استفاده می کند، در شهر بانکوک مورد بررسی قرار داده اند. برای بخش دودكش خورشیدی، از کاشی های بتی در قسمت بالایی و با ۱۴ سانتی متر شکاف هوایی در نظر گرفته شده برای آن، از يك تخته گچی زیر آن استفاده شده است. برای ديوار ترومب نیز در فاصله ۱۴ سانتی متری آن از يك تخته گچی استفاده شده است. این سيستم در مقایسه با يك اتاق معمولی ۳۰ درصد میانگین مصرف برق روزانه را کاهش می دهد.

سوداپورن چونگلو و همكارش [۱۰۴] عملکرد يك سيستم دودكش خورشیدی با پاشش آب بر روی سقف را بررسی نموده اند. نتایج تجربی بدست آمده نشان داد که استفاده از پاشش آب روی سقف همراه با دودكش خورشیدی در آب و هوای گرم و مرطوب دمای اتاق آزمایش شده را به ۲-۶/۲ درجه سانتی گراد پایین تر از دمای هوای محیط می رساند.

ربانی و همکاران [۱۰۵] در یک پژوهش تئوری تاثیر خنک کاری یک اتاق با استفاده از دودکش خورشیدی و سیستم پاشش آب در دریچه های ورودی اتاق در شهر یزد، به صورت عددی شبیه سازی شده است. برای محاسبه حداقل میزان آب مصرفی در سیستم پاشش برای تنظیم رطوبت نسبی کمتر از ۶۵ درصد هوای داخل با استفاده از روش آزمون و خطا بدست آورده اند. نتایج شبیه سازی آنها نشان داد که این سیستم پیشنهادی میانگین دمای هوای اتاق را بین ۹ تا ۱۴ درجه سانتیگراد کاهش و رطوبت نسبی اتاق را حدود ۲۸ تا ۴۵ درصد افزایش می دهد.



شکل ۲-۱۹. شماتیک دودکش خورشیدی با پاشش آب [۱۰۵]

فصل ۳: بحث و بررسی سرملیش خورشیدی

متعارف و غیر متعارف

۱-۳ سیستم‌های سرمایش متعارف خورشیدی با محرک

حرارتی

در سیستم‌های سرمایش اجکتوری مطابق با جدول ۱-۳، در مقایسه بین سیستم‌های مذکور سیستم اجکتوری با سیال R134a بالاترین ضریب عملکرد با مقدار ۰/۴۸ را دارا می‌باشد.

جدول ۱-۳. نتایج پژوهش‌های انجام شده در مورد سیستم سرمایش اجکتوری

مرجع	توضیحات	سیال	ضریب عملکرد
[۱۱]	* سیستم سرمایش اجکتوری خورشیدی با کلکتور صفحه تخت	R141b	۰/۱
[۱۲]	* تهویه مطبوع اجکتور خورشیدی با چند سیال سازگار با محیط زیست	R717	۰/۴۰۸
[۱۵]	* سیستم سرمایش اجکتوری-تراکمی خورشیدی * ظرفیت تولید ۱۰۰ کیلوگرم یخ در روز	R142b	۰/۲۱
[۱۷]	سیستم سرمایش اجکتوری با کلکتور خورشیدی	R134a	۰/۱۹۹ - ۰/۰۳۵
[۱۸]	* محدوده دمای مولد بخار از حدود ۹۰ تا ۱۰۲ درجه سانتیگراد * محدوده دمای تبخیرکننده از ۰ تا ۱۶ درجه سانتیگراد	R11	۰/۲۵
[۱۹]	* سیستم سرمایش اصلاح شده با استفاده از آب گرم به عنوان سیال محرک	R123	۰/۳۹
[۲۰]	* دمای ژنراتور ۸۵ درجه سانتیگراد * دمای تبخیرکننده ۸۸ درجه سانتیگراد	R134a	۰/۴۸
[۲۱]	* دمای بخار محرک زیر ۷۵ درجه سانتیگراد	Isobutane	۰/۱۵

در مورد سیستم‌های جذبی مطابق با جدول ۲-۳، عملکرد سیستم سرمایش جذبی دواثره در مقایسه با تک‌اثره بهتر می‌باشد. در سیستم‌های جذبی خورشیدی در صورت نیاز به حرارت بیشتر، استفاده از کلکتور-های سهموی خطی نسبت به سایر کلکتورهای خورشیدی عملکرد سیستم منطقی‌تر است. طبق جدول ۲-۳ بهترین عملکرد از نظر ضریب عملکرد در حالت سیستم چذب دواثره با کلکتور سهموی خطی بدست آمده است.

جدول ۳-۲. نتایج پژوهش‌های انجام شده در مورد سیستم سرمایش جذبی

مرجع	توضیحات	سیال	ضریب عملکرد
[۲۳]	* کلکتور صفحه تخت * ظرفیت سرمایش ۳۵ کیلووات	لیتیوم برومید-آب	۰/۴۲
[۲۴]	* کلکتور لوله خلا * ظرفیت سرمایش ۳/۵ کیلووات	لیتیوم برومید-آب	۰/۶۴ - ۰/۶۷
[۲۵]	* کلکتور صفحه تخت * ظرفیت سرمایش ۱۱ کیلووات	لیتیوم برومید-آب	۱/۲ - ۰/۷
[۲۶]	* سیستم جذبی دو اثره گازی-خورشیدی * ظرفیت سرمایش ۱۷۴ کیلووات	لیتیوم برومید-آب	۱/۲
[۲۸]	* چیلر جذبی خورشیدی تک‌اثره * ظرفیت سرمایش ۵ کیلووات	آب-آمونیاک	۰/۶۵
[۳۲]	* چیلر جذبی خورشیدی تک‌اثره * کلکتور سهموی خطی	لیتیوم برومید-آب	۰/۲۷ - ۰/۱۱
[۳۵]	* چیلر جذبی خورشیدی دو‌اثره * ظرفیت سرمایش ۱۶ کیلووات * کلکتور سهموی خطی	لیتیوم برومید-آب	۱/۲۹ - ۰/۶۵

همان‌طور که در جدول ۳-۳ مشاهده می‌شود، ضریب عملکرد اکثر سیستم‌های مذکور پایین و در محدوده ۰/۱ تا ۰/۳ بوده است. فقط در دو مورد مقدار ضریب عملکرد بدست آمده بالا بوده است. یکی با استفاده کلکتور لوله خلا با سیستم گرمایش کمکی و دیگری با استفاده از کلکتور سهموی مرکب که مقدار آن به ترتیب برابر با ۰/۷ و ۱/۵ می‌باشد.

جدول ۳-۳. نتایج پژوهش‌های انجام شده در مورد سیستم سرمایش جذب سطحی

مرجع	توضیحات	جاذب/مبرد	ضریب عملکرد
[۳۶]	* کلکتور خورشیدی صفحه تخت دو جداره * جاذب‌ها به صورت دانه‌ای و بسته بندی شده	کلسیم-کلرید/آمونیاک	۰/۱۴
[۳۷]	* ظرفیت سرمایش ۴/۴ مگاژول	استرانسیم /آمونیاک	۰/۰۸
[۳۸]	* بررسی سیستم سرمایش جذب سطحی	استرانسیم-کلرید/آمونیاک	۰/۰۸
[۳۹]	* بررسی سیستم سرمایش جذب سطحی خورشیدی	کلرید لیتیوم/ متانول	۰/۳۳
[۴۱]	* بررسی سه نوع جاذب/مبرد * کربن فعال/آمونیاک با بهترین عملکرد	کربن فعال/آمونیاک	۰/۱۹
[۴۲]	* دو کلکتور خورشیدی سهموی مرکب	زئولیت/آب	۱/۵ - ۰/۸
[۴۳]	* بازتابنده سهموی با لوله خلا	زئولیت/آب	۰/۰۸
[۴۴]	* کلکتور خورشیدی لوله خلا	سیلیکاژل/آب	۰/۳ - ۰/۲
[۴۵]	* کلکتور خورشیدی صفحه تخت	کربن فعال/متانول	۰/۲۱
[۴۶]	* کلکتور خورشیدی لوله خلا * سیستم گرمایشی کمکی	مونو متیل آمین/آب	۰/۷ - ۰/۱۵
[۴۸]	* تاثیر بازیابی گرما و جرم	کربن فعال/متانول	۰/۳
[۵۰]	* تاثیر بازیابی گرما و جرم	سیلیکاژل/آب	۰/۲۶ - ۰/۱۵

مطابق با جدول ۳-۴، ضریب عملکرد سیستم‌های سرمایشی خشک‌کن جامد و مایع ارائه شده است. در سیستم سرمایشی خشک‌کن جامد بهترین حالت در ۲۰ مترمربع مساحت کلکتور خورشیدی و ۱/۵ مترمکعب حجم مخزن با ضریب عملکرد ۱/۲ بوده است. در سیستم سرمایشی خشک‌کن مایع بهترین حالت با استفاده از کلکتور صفحه تخت با ضریب عملکرد ۰/۸ بدست آمده است.

جدول ۳-۴. نتایج پژوهش‌های انجام شده در مورد سیستم سرمایش تبخیری بر پایه خشک‌کن‌ها

مرجع	توضیحات	نوع سیستم	ضریب عملکرد
[۵۱]	* کلکتور خورشیدی صفحه تخت	جامد	۰/۶
[۵۲]	* زئولیت طبیعی به عنوان ماده جاذب	جامد	۰/۳۵
[۵۵]	* بررسی تاثیر مساحت کلکتور خورشیدی و مخزن آب گرم	جامد	۱/۲
	* بهترین حالت ۲۰ متر مربع مساحت کلکتور و ۱/۵ مترمکعب حجم مخزن		
[۵۷]	* سیستم‌های تهویه مطبوع خشک‌کن جامد دو مرحله‌ای ادغام شده با Maisotsenko	جامد	۰/۴۶
[۵۹]	* کلکتور خورشیدی صفحه تخت	مایع	۰/۸
	* لیتیم کلرید به عنوان سیال کاری		
	* ظرفیت سرمایش ۱۶ کیلووات		
[۶۲]	* با منبع گرمایی ۷۰ درجه سانتیگراد	مایع	۰/۶۴

سیستم‌های سرمایش اجکتوری را سیستم‌های سرمایش ترمومکانیکی نیز می‌نامند. سیستم‌های سرمایش ترمومکانیکی به دلیل توانایی آنها در استفاده از طیف وسیعی از دماها، دارای مزایای خاصی نسبت به سایر تکنیک‌های سرمایشی حرارتی می‌باشند. در حال حاضر، سرمایش جذبی تکنولوژی غالب در سرمایش خورشیدی می‌باشند. با این حال، محدودیت‌های موجود در چیلرهای جذبی و مبردهای جدید سازگار با محیط‌زیست که برای سیکل‌های سرمایش ترمومکانیکی پیشنهاد شده‌اند، فناوری‌های سرمایش ترمو-مکانیکی را برای بررسی جذاب‌تر می‌کند. سیکل‌های سرمایش اجکتور خورشیدی نیز برای استفاده از انرژی خورشیدی با کلکتورهای دمای پایین و برآورده ساختن نیازهای سرمایشی ساختمان گزینه مناسبی هستند. علاوه بر این، سرمایش ترمومکانیکی خورشیدی هیبریدی با سیستم‌های سرمایش معمولی پتانسیل زیادی برای کاهش تقاضای انرژی برای ساختمان‌ها ارائه می‌دهد. در مورد سیستم سرمایش جذبی، در میان سیال‌های عامل متعددی که در چرخه‌های جذب استفاده می‌شوند، لیتیوم برومید-آب (LiBr-H₂O) و آب-آمونیاک (H₂O-NH₃) رایج‌ترین سیال می‌باشند. لیتیوم برومید-آب عمدتاً برای کاربردهای تهویه

مطبوع استفاده می شوند، در حالی که آب-آمونیاک به دلیل توانایی آمونیاک برای دستیابی به دمای زیر صفر، متداول ترین سیال کاری است که برای مقاصد تبرید استفاده می شود. ماشین‌های جذب مبتنی بر آب-آمونیاک معمولاً به دماهای بالاتری در ژنراتورهای خود نیاز دارند و ضریب عملکرد کمتری نسبت به دستگاه‌هایی دارند که از لیتیوم برومید-آب به عنوان سیال کاری استفاده می‌کنند. اکثر چیلرهای جذبی خورشیدی مورد استفاده مبتنی بر چیلرهای تک‌اثره و کلکتورهای حرارتی خورشیدی با دمای پایین هستند، در حالی که تاکید کمتری بر ترکیب کلکتورهای حرارتی خورشیدی با دمای بالا و چیلرهای جذبی چند اثره شده است. دلیل آن این است هر چند این سیستم‌ها عملکرد خوبی از خود نشان می‌دهند اما نیاز است که هزینه سیستم‌های چیلر جذبی با انرژی خورشیدی به منظور بهبود قابلیت اقتصادی این فناوری، کاهش یابد.

در مورد سیستم های سرمایش جذب سطحی می توان آنها را در دماهای کمتر منبع گرمایی نسبت به سرمایش جذبی به کار گرفت، اما مشکل آن این است که ضریب عملکرد آن نیز نسبت به سیستم جذبی کمتر است. به همین خاطر بر اساس ضریب عملکرد، سیستم های سرمایش جذبی به سیستم های سرمایش جذب سطحی ترجیح داده می شوند و مسائل مرتبط با دمای مورد نیاز بالاتر را می توان به راحتی با سیستم های خورشیدی کنترل نمود. از سیستم سرمایش جذب سطحی با استفاده از انرژی خورشیدی را می توان برای رفع نیازهای تبرید، تهویه مطبوع و یخ سازی برای حفظ کالاهای مختلف (داروها، مواد غذایی)، برای استفاده در مناطق دورافتاده استفاده نمود. همچنین در مورد جاذب/مبرد مورد استفاده در سیستم‌های سرمایش جذب سطحی باید گفت که معمولاً از جاذب‌های فیزیکی استفاده می‌شود. جاذب‌هایی مانند سیلیکاژل، کربن فعال و زئولیت، جاذب های فیزیکی با ساختارهای بسیار متخلخل می‌باشند که هنگامی که اشباع می شوند، می توان آنها را به سادگی با حرارت دادن بازسازی نمود. اما جاذب‌های شیمیایی برای بازسازی آن، نیاز به انرژی بیشتری دارند. سیستم‌های سرمایش خشک‌کن در مناطق گرم و مرطوب نسبت به سیستم‌های سرمایش سنتی عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهند. همچنین کارایی آنها در سیستم های

سرمایش هیبریدی به طور چشمگیری بهبود می‌یابد. همان‌طور که گفته شد سیستم‌های سرمایش خشک-کن به دو دسته مایع و جامد تقسیم می‌شوند. ضریب عملکرد سیستم‌های خشک‌کن مایع نسبت به سیستم‌های خشک‌کن جامد بیشتر می‌باشد. به همین خاطر بر اساس ضریب عملکرد، سیستم خشک‌کن مایع به سیستم خشک‌کن جامد ترجیح داده می‌شوند. در این سیستم‌ها مواد خشک‌کن که می‌توانند خود را در دماهای پایین‌تر بازسازی نمایند، میزان کاربرد سرمایش خشک‌کن خورشیدی را افزایش می‌دهند.

۲-۳ سیستم‌های سرمایش متعارف خورشیدی با محرک الکتریکی

طبق جدول ۳-۵، سیستم‌های ترموالکتریک مرتبط با تهویه مطبوع، عملکرد مناسب داشته‌اند. در مقایسه با سایر کارهای صورت گرفته، حالت تهویه مطبوع ترموالکتریک خورشیدی با منبع آب گرم با ضریب عملکرد ۲/۵۹ بهترین عملکرد را داشته است. در زمینه استفاده از ترموالکتریک با کاربرد یخچال، در حالت استفاده از ۰/۸ مترمربع پنل فتوولتائیک با ضریب عملکرد ۰/۳ بهترین حالت بوده است.

جدول ۳-۵. نتایج پژوهش‌های انجام شده در مورد سیستم سرمایش ترموالکتریک

مرجع	توضیحات	کاربرد	ضریب عملکرد
[۶۴]	* سیستم تهویه ترکیبی ترموالکتریک خورشیدی - جذب سطحی * کربن فعال - متانول به عنوان جاذب	تهویه مطبوع	۰/۱۵۲
[۶۵]	* پنل فتوولتائیک به مساحت ۰/۵ متر مربع	تهویه مطبوع	۰/۴۵
[۶۶]	* سقف خنک‌شده با ترموالکتریک خورشیدی جدید همراه با سیستم تهویه جابجایی	تهویه مطبوع	۰/۹
[۶۷]	* تهویه مطبوع ترموالکتریک خورشیدی با منبع آب گرم	تهویه مطبوع	۲/۵۹
[۶۸]	* دو پنل خورشیدی به مساحت ۰/۸ متر مربع	یخچال	۰/۳
[۶۹]	* استفاده از سینک‌های حرارتی و فن	یخچال	۰/۱۶

سیستم‌های سرمایش ترموالکتریک خورشیدی را می‌توان با توجه به مزیت قابل اعتماد بودن، نگهداری آسان، بی صدا بودن آنها و سازگاری با محیط زیست ترموالکتریک‌ها، به راحتی در تهویه مطبوع ساختمان‌ها استفاده نمود. اما در حال حاضر با توجه به هزینه بالا و ضریب عملکرد کم ترموالکتریک‌ها که برای جبران آن نیاز به استفاده از تعداد زیادی از آنها است، باعث محدودیت در استفاده از آنها در تهویه مطبوع ساختمان گردیده است. هرچند با توجه به قابلیت‌های این سیستم که منجر به کاهش مصرف سوخت فسیلی و انتشار گاز کربن خواهد شد، در آینده نزدیک و با پیشرفت در مازول‌های ترموالکتریک، می‌تواند به عنوان یک تکنولوژی مفید از آن نام برد.

مطابق با جدول ۳-۶، در سیستم سرمایش تراکم بخار در زمینه یخچال، سیستم سرمایش تراکم بخار از یک کمپرسور دوقلو دور متغیر با ضریب عملکرد ۴/۷ بهترین عملکرد را در مقایسه با سایر پژوهش‌ها داشته است. طبق جدول مذکور با توجه به ضریب عملکرد بالای سیستم‌های تراکمی بخار، استفاده از آنها با تامین انرژی توسط پنل فتوولتائیک را می‌توان به عنوان یک روش کارآمد معرفی نمود.

جدول ۳-۶. نتایج پژوهش‌های انجام شده در مورد سیستم سرمایش تراکم بخار

مرجع	توضیحات	کاربرد	ضریب عملکرد
[۷۲]	* سرمایش تراکم بخار با یک کمپرسور دوقلو دور متغیر با جریان مستقیم خورشیدی * کمپرسور با ۲۵۰۰ دور بر دقیقه	یخچال	۴/۷
[۷۳]	* سیستم سرمایش تراکم بخار خورشیدی در یک منطقه گرمسیری خشک	یخچال	۳/۷۴ - ۳/۲۸
[۷۴]	* سیستم سرمایش تراکمی بخار خورشیدی * مناطق خشک دورافتاده و گرم	یخچال	۱/۲۲
[۷۵]	* محدوده دمای ذخیره سازی هدف بین ۱۵- تا ۳۰ درجه سانتی گراد * برای استفاده در مناطق روستایی	نگهداری و انتقال دارو	۴/۸۹
[۷۶]	* سیستم سرمایش تراکم بخار مبتنی بر انرژی خورشیدی با کمپرسوری با دور متغیر	یخچال	۲/۲۵ - ۱/۸۵
[۷۷]	* استراتژی کنترل تطبیق امپدانس	تهویه مطبوع	۲/۱

۳-۳ سیستم‌های سرمایش غیرمتعارف خورشیدی

در روش حفاظت از خورشید و حرارت، اساس کار کنترل تابش خورشید به درون یا سطح بیرونی ساختمان جهت کاهش دما در آن می‌باشد که طبق بخش پیشینه تحقیق تمامی روش‌های گفته شده تأثیر مثبتی در دستیابی به کاهش بار سرمایش ساختمان و دمای داخلی را دارند. در روش‌های استفاده سایه درختان و حوضچه سقفی به شرایط آب و هوایی محلی بستگی دارند که معمولاً روش حوض سقفی در شرایط آب و هوایی گرم و خشک بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. در بحث سایه درختان، ارتفاع و تراکم پوشش درختان دو عامل مهم و تاثیرگذار بر بار سرمایش ساختمان می‌باشند. در خصوص حوضچه‌های سقفی استفاده از سایه‌بان بر روی آن عملکرد سرمایشی سیستم را افزایش می‌دهد از نظر تعداد جداره پنجره طبق جدول ۳-۷، افزایش جداره تأثیر بسزایی بر صرفه‌جویی انرژی را از خود نشان می‌دهد. همچنین در خصوص استفاده از سایه‌بان پنجره، باید نیاز روشنایی ساختمان در نظر گرفته شود. به همین خاطر استفاده از سیستم کنترلی برای آن می‌تواند عملکرد سیستم را بهبود و نیاز روشنایی ساختمان نیز بهتر تامین گردد.

جدول ۳-۷. نتایج پژوهش‌های انجام شده در روش حفاظت از خورشید و حرارت

مرجع	توضیحات	یا مقدار کاهش دما داخلی ساختمان (°C) صرفه‌جویی انرژی (%)
[۹۴]	* تاثیر سایه درختان	۲۰٪
[۹۵]	* تاثیر سایه درختان	۱۴/۴٪
[۹۶]	* تاثیر تراکم درختان	۲۹٪
	* استفاده از مواد منعکس کننده در محوطه ساختمان	
[۹۷]	* تاثیر سایه درختان	۹ °C
[۹۸]	* تاثیر سایه درختان	۱۰/۳٪
[۹۹]	* مقایسه سقف‌های حوضچه‌دار با سایه‌بان، حوضچه‌دار و سقف‌های سایه‌بان‌دار	۷۹٪
	* سقف حوضچه‌دار با سایه‌بان بهترین عملکرد را از خود نشان داد.	
[۱۰۰]	* استفاده از سایه‌بان و حوضچه سقفی	۶/۵ °C
[۱۰۱]	* مقایسه پنجره سه‌جداره با پنجره دوجداره	۸/۵-۵/۵٪
	* عملکرد بهتر پنجره سه‌جداره	
[۱۰۲]	* مقایسه پنجره سه‌جداره با پنجره تک جداره شفاف	۶/۳٪
	* عملکرد بهتر پنجره سه‌جداره	
[۱۰۳]	* پنجره دوجداره ترموتروپیک، دوجداره و دو جداره رنگی	۱۹٪
	* عملکرد بهتر پنجره دوجداره ترموتروپیک	
[۱۰۴]	* تاثیر استفاده از سایه‌بان افقی پنجره	۱۰/۱۳-۲/۶۲٪
[۱۰۵]	* تاثیر استفاده از یک سایه‌بان غلتکی متحرک	۱۲٪
[۱۰۶]	* بهینه ترین حالت استفاده از پنجره سه‌جداره و ترکیب سایه‌بان افقی و عمودی	۶٪
[۱۰۷]	* استفاده از پرده متحرک و استفاده از یک سیستم کنترلی	۳۲-۱/۶٪

مطابق با جدول ۳-۸، در حالت‌های استفاده از مواد تغییرفازدهنده در بخش‌های مختلف ساختمان، استفاده از مواد تغییرفازدهنده در سقف ساختمان عملکرد بهتری نسبت به روش‌های دیگر مشاهده می‌شود. نکات کلیدی مورد نیاز در استفاده از این تکنیک، روش‌های تهیه مناسب ترکیب مواد تغییر فازدهنده با مصالح ساختمانی، پایداری مواد تغییرفازدهنده در داخل سازه ساختمان و جلوگیری از نشت مواد تغییر فازدهنده مایع به داخل سازه ساختمان می‌باشد.

جدول ۳-۸. نتایج پژوهش‌های انجام شده در روش مدولاسیون حرارت

مرجع	توضیحات	محل قرارگیری	نتیجه
[۹۲]	* استفاده از آجر با استوانه‌هایی در درون * پر نمودن استوانه‌ها با مواد تغییر فازدهنده پارافین	دیواره ساختمان	کاهش ۱۷/۵ درصدی شار حرارتی از دیوار به درون ساختمان
[۹۳]	* سقف بتنی با حفره‌های مخروطی * پر نمودن حفره‌ها با مواد تغییر فازدهنده * بهترین عملکرد پارافین n-Eicosane	سقف ساختمان	کاهش شار حرارتی در سطح داخلی سقف به میزان ۳۹ درصد
[۹۴]	* استفاده از مواد تغییر فازدهنده به عنوان هیت سینک	سقف ساختمان	کاهش ۵۰ درصدی بار سرمایشی
[۹۵]	* مقایسه دو نوع پوشش پلی اورتان و قیر ترکیب شده با مواد تغییر فازدهنده * بهترین عملکرد پوشش قیر با مواد تغییر فازدهنده	سقف ساختمان	۱۲/۶ درصد صرفه‌جویی انرژی
[۹۶]	* استفاده از مواد تغییر فازدهنده * در شرایط آب و هوایی ملبورن استرالیا	سقف ساختمان	۱۹ درصد کاهش بار سرمایشی
[۹۷]	* استفاده از مواد تغییر فازدهنده	دیواره ساختمان	کاهش ۱/۴ و ۲/۷ درجه سانتی-گراد دمای داخلی و دمای سطح دیوار
[۹۸]	* ضخامت ۱۰ میلی‌متری صفحه حاوی مواد تغییر فازدهنده	پنجره ساختمان	اثر سرمایشی به میزان ۶/۵ درجه سانتی‌گراد
[۹۹]	* مقایسه پنجره سه‌جداره و دوجداره با استفاده از پارافین و پنجره سه‌جداره معمولی بهترین عملکرد مقایسه پنجره سه‌جداره با استفاده از پارافین	پنجره ساختمان	کاهش مصرف انرژی سرمایشی به میزان ۲۱/۳ و ۳۲/۸ نسبت به پنجره دوجداره با پارافین و سه‌جداره معمولی

همان‌طور که در جدول ۳-۹ مشاهده می‌شود، دیوار ترومب در مقایسه با دودکش خورشیدی عملکرد بهتری از خود نشان داده است. در حالت دودکش خورشیدی با پاشش آب در دریچه ورودی اتاق، هر چند دمای به مقدار خوبی کاهش پیدا کرده اما پاشش آب سبب افزایش رطوبت نیز می‌گردد.

جدول ۳-۹. نتایج پژوهش‌های انجام شده در روش اتلاف حرارت

مرجع	توضیحات	نوع	نتیجه
[۱۰۰]	*قرار دادن پنل فتوولتائیک در مقابل دیوار *بررسی بار سرمایشی در سه شهر هنگ کنگ، شانگهای و پکن	دیوار ترومب	۳۳ تا ۵۰ درصد کاهش بار سرمایشی
[۱۰۱]	*استفاده از کرکره غلتکی در مقابل دیوار *مقایسه با دیوار ترومب بدون محافظ	دیوار ترومب	۶۳ تا ۷۲/۹ درصد کاهش انرژی سرمایشی در مقایسه با دیوار ترومب بدون محافظ
[۱۰۲]	*بررسی تاثیر قرارگیری شیشه دوجداره و تک-جداره در مقابل دیوار	دیوار ترومب	در حالت تک‌جداره ۴۲ درصد و در حالت دوجداره ۴۸ درصد کاهش بار سرمایشی ساختمان
[۱۰۳]	*بررسی بر روی یک اتاق ۲۵ مترمکعبی با تهویه اسپیلت به ظرفیت ۱ تن	ترکیب دیوار ترومب و دودکش خورشیدی	کاهش ۳۰ درصدی میانگین مصرف برق روزانه
[۱۰۴]	*پاشش آب بر روی سقف	دودکش خورشیدی	دمای داخلی ۲-۶/۲ درجه سانتی‌گراد پایین‌تر از دمای محیط
[۱۰۵]	*پاشش آب در دریچه ورودی اتاق	دودکش خورشیدی	۹-۱۴ درجه سانتی‌گراد کاهش دمای اتاق

در رابطه با مدولاسیون حرارت و اتلاف حرارت به صورت سرمایش غیرمتعارف خورشیدی پژوهش‌های کمی صورت گرفته که نیاز است بررسی‌های بیشتری بر روی آنها صورت گیرد. در مورد استفاده از سیستم‌های سرمایش غیرمتعارف خورشیدی این نکته حایز اهمیت است که بهتر است برای کاهش هزینه و عملکرد بهتر سیستم‌ها در هنگام ساخت یک ساختمان برای آن در نظر گرفته شود. چرا که استفاده از اکثراً روش‌های گفته شده بر روی ساختمان ساخته شده، سبب افزایش هزینه می‌گردد.

مرجع

1. Huang, B., et al., *A solar ejector cooling system using refrigerant R141b*. Solar Energy, 1998. **64**(4-6): p. 223-226.
2. Prasartkaew, B., *Performance test of a small size LiBr-H₂O absorption chiller*. Energy Procedia, 2014. **56**: p. 487-497.
3. Sumathy, K., K. Yeung, and L. Yong, *Technology development in the solar adsorption refrigeration systems*. Progress in energy and combustion science, 2003. **29**(4): p. 301-327.
4. Joudi, K.A. and N.S. Dhaidan, *Application of solar assisted heating and desiccant cooling systems for a domestic building*. Energy conversion and management, 2001. **42**(8): p. 995-1022.
5. Shen, L., et al., *Investigation of a novel thermoelectric radiant air-conditioning system*. Energy and buildings, 2013. **59**: p. 123-132.
6. Alazazmeh, A.J. and E.M. Mokheimer, *Review of solar cooling technologies*. J. Appl. Mech. Eng, 2015. **4**(5): p. 180.
7. Sharifi, A. and Y. Yamagata, *Roof ponds as passive heating and cooling systems: A systematic review*. Applied energy, 2015. **160**: p. 336-357.
8. Pasupathy, A. and R. Velraj, *Effect of double layer phase change material in building roof for year round thermal management*. Energy and Buildings, 2008. **40**(3): p. 193-203.
9. Ji, J., et al., *PV-Trombe wall design for buildings in composite climates*. 2007.
10. Sankarlal, T. and A. Mani, *Experimental investigations on ejector refrigeration system with ammonia*. Renewable Energy, 2007. **32**(8): p. 1403-1413.
11. Huang, B., et al., *Collector selection for solar ejector cooling system*. Solar Energy, 2001. **71**(4): p. 269-274.
12. Nehdi, E., L. Kairouani, and M. Elakhdar, *A solar ejector air-conditioning system using environment-friendly working fluids*. International Journal of Energy Research, 2008. **32**(13): p. 1194-1201.
13. Pollerberg, C., A. Heinzl, and E. Weidner, *Model of a solar driven steam jet ejector chiller and investigation of its dynamic operational behaviour*. Solar Energy, 2009. **83**(5): p. 732-742.
14. Pollerberg, C., A.H.H. Ali, and C. Dötsch, *Experimental study on the performance of a solar driven steam jet ejector chiller*. Energy Conversion and Management, 2008. **49**(11): p. 3318-3325.
15. Dorantes, R., C. Estrada, and I. Pilatowsky, *Mathematical simulation of a solar ejector-compression refrigeration system*. Applied thermal engineering, 1996. **16**(8-9): p. 669-675.
16. Al-Khalidy, N., *Experimental investigation of solar concentrating collectors in a refrigerant ejector refrigeration machine*. International journal of energy research, 1997. **21**(12): p. 1123-1131.
17. Alexis, G. and E. Karayiannis, *A solar ejector cooling system using refrigerant R134a in the Athens area*. Renewable Energy, 2005. **30**(9): p. 1457-1469.

18. Yapıcı, R. and C. Yetişen, *Experimental study on ejector refrigeration system powered by low grade heat*. Energy Conversion and Management, 2007. **48**(5): p. 1560-1568.
19. Yapıcı, R., *Experimental investigation of performance of vapor ejector refrigeration system using refrigerant R123*. Energy Conversion and Management, 2008. **49**(5): p. 953-961.
20. Guo, J. and H. Shen, *Modeling solar-driven ejector refrigeration system offering air conditioning for office buildings*. Energy and Buildings, 2009. **41**(2): p. 175-181.
21. Butrymowicz, D., et al., *Experimental investigations of low-temperature driven ejection refrigeration cycle operating with isobutane*. International journal of refrigeration, 2014. **39**: p. 196-209.
22. Śmierciew, K., et al., *Experimental investigations of solar driven ejector air-conditioning system*. Energy and buildings, 2014. **80**: p. 260-267.
23. Syed, A., et al., *A novel experimental investigation of a solar cooling system in Madrid*. International Journal of refrigeration, 2005. **28**(6): p. 859-871.
24. Assilzadeh, F., et al., *Simulation and optimization of a LiBr solar absorption cooling system with evacuated tube collectors*. Renewable energy, 2005. **30**(8): p. 1143-1159.
25. Balghouthi, M., M. Chahbani, and A. Guizani, *Feasibility of solar absorption air conditioning in Tunisia*. Building and environment, 2008. **43**(9): p. 1459-1470.
26. Bermejo, P., F.J. Pino, and F. Rosa, *Solar absorption cooling plant in Seville*. Solar Energy, 2010. **84**(8): p. 1503-1512.
27. Zhong, L., et al., *Application of solar cooling system in a campus library in Hainan, China*. Energy Procedia, 2012. **30**: p. 730-737.
28. Boudéhen, F., et al., *Development of a 5 kW cooling capacity ammonia-water absorption chiller for solar cooling applications*. Energy Procedia, 2012. **30**: p. 35-43.
29. Izquierdo, M., A. González-Gil, and E. Palacios, *Solar-powered single-and double-effect directly air-cooled LiBr–H₂O absorption prototype built as a single unit*. Applied energy, 2014. **130**: p. 7-19.
30. Shirazi, A., et al., *A systematic parametric study and feasibility assessment of solar-assisted single-effect, double-effect, and triple-effect absorption chillers for heating and cooling applications*. Energy conversion and management, 2016. **114**: p. 258-277.
31. Drosou, V., P. Kosmopoulos, and A. Papadopoulos, *Solar cooling system using concentrating collectors for office buildings: A case study for Greece*. Renewable Energy, 2016. **97**: p. 697-708.
32. Li, M., et al., *Experimental investigation on the performance of a solar powered lithium bromide–water absorption cooling system*. International journal of refrigeration, 2016. **71**: p. 46-59.
33. Tzivanidis, C. and E. Bellos, *The use of parabolic trough collectors for solar cooling—A case study for Athens climate*. Case Studies in Thermal Engineering, 2016. **8**: p. 403-413.
34. Bellos, E., C. Tzivanidis, and K.A. Antonopoulos, *Exergetic, energetic and financial evaluation of a solar driven absorption cooling system with various collector types*. Applied Thermal Engineering, 2016. **102**: p. 749-759.

35. Soussi, M., et al., *Model performance assessment and experimental analysis of a solar assisted cooling system*. Solar Energy, 2017. **143**: p. 43-62.
36. Iløje, O., A. Ndili, and S. Enibe, *Computer simulation of a CaCl₂ solid-adsorption solar refrigerator*. Energy, 1995. **20**(11): p. 1141-1151.
37. Bansal, N., et al., *Performance testing and evaluation of solid absorption solar cooling unit*. Solar Energy, 1997. **61**(2): p. 127-140.
38. Erhard, A., K. Spindler, and E. Hahne, *Test and simulation of a solar powered solid sorption cooling machine*. International journal of refrigeration, 1998. **21**(2): p. 133-141.
39. Maggio, G., et al., *Simulation of a solid sorption ice-maker based on the novel composite sorbent "lithium chloride in silica gel pores"*. Applied Thermal Engineering, 2009. **29**(8-9): p. 1714-1720.
40. Wang, R., et al., *An energy efficient hybrid system of solar powered water heater and adsorption ice maker*. Solar energy, 2000. **68**(2): p. 189-195.
41. Anyanwu, E. and N. Ogueke, *Thermodynamic design procedure for solid adsorption solar refrigerator*. Renewable energy, 2005. **30**(1): p. 81-96.
42. Omisanya, N., et al., *Performance of a zeolite–water adsorption refrigerator*. Advances in Applied Science Research, 2012. **3**(6): p. 3737-3745.
43. Kreussler, S. and D. Bolz, *Experiments on solar adsorption refrigeration using zeolite and water*. Laboratory for Solar Energy, University of Applied Sciences Lubeck, 2000.
44. Li, C., R. Wang, and Y. Dai, *Simulation and economic analysis of a solar-powered adsorption refrigerator using an evacuated tube for thermal insulation*. Renewable energy, 2003. **28**(2): p. 249-269.
45. Hassan, H., A. Mohamad, and R. Bennacer, *Simulation of an adsorption solar cooling system*. Energy, 2011. **36**(1): p. 530-537.
46. Pilatowsky, I., W. Rivera, and J. Romero, *Performance evaluation of a monomethylamine–water solar absorption refrigeration system for milk cooling purposes*. Applied thermal engineering, 2004. **24**(7): p. 1103-1115.
47. Henning, H. and H. Glaser, *Solar assisted adsorption system for a laboratory of the University Freiburg*. 2015.
48. Qu, T., R. Wang, and W. Wang, *Study on heat and mass recovery in adsorption refrigeration cycles*. Applied Thermal Engineering, 2001. **21**(4): p. 439-452.
49. Riffel, D.B., F.A. Belo, and A.P.F. Leite. *Heat and mass recovery in an activated carbon-methanol adsorptive chiller*. in *Proceedings of COBEM*. 2009.
50. Alhamid, M.I., *Numerical simulation of a two-bed solar-driven Adsorption chiller in a tropical climate*. International Journal of Technology, 2015. **6**(4): p. 594-603.
51. Henning, H., et al., *The potential of solar energy use in desiccant cooling cycles*. International journal of Refrigeration, 2001. **24**(3): p. 220-229.
52. Kanoğlu, M., M.Ö. Çarpınlioğlu, and M. Yıldırım, *Energy and exergy analyses of an experimental open-cycle desiccant cooling system*. Applied Thermal Engineering, 2004. **24**(5-6): p. 919-932.
53. Schnabel, L., C. Hindenburg, and T. Geucke, *Detailed monitoring results of the first thermally solar autonomous air conditioning system in Germany*. 2004.
54. Ge, T., et al., *Performance comparison between a solar driven rotary desiccant cooling system and conventional vapor compression system (performance study of desiccant cooling)*. Applied Thermal Engineering, 2010. **30**(6-7): p. 724-731.

55. Baniyounes, A.M., et al., *Analysis of solar desiccant cooling system for an institutional building in subtropical Queensland, Australia*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2012. **16**(8): p. 6423-6431.
56. Ma, Y. and L. Guan, *Performance analysis of solar desiccant-evaporative cooling for a commercial building under different Australian climates*. Procedia Engineering, 2015. **121**: p. 528-535.
57. Gadalla, M. and M. Saghafifar, *Performance assessment and transient optimization of air precooling in multi-stage solid desiccant air conditioning systems*. Energy conversion and management, 2016. **119**: p. 187-202.
58. Ameer, T.A., K.G. Gee, and B.D. Wood, *Performance predictions of alternative, low cost absorbents for open-cycle absorption solar cooling*. Solar energy, 1995. **54**(2): p. 65-73.
59. Gommed, K. and G. Grossman, *Experimental investigation of a liquid desiccant system for solar cooling and dehumidification*. Solar energy, 2007. **81**(1): p. 131-138.
60. Lychnos, G. and P.A. Davies, *Modelling and experimental verification of a solar-powered liquid desiccant cooling system for greenhouse food production in hot climates*. Energy, 2012. **40**(1): p. 116-130.
61. Armanasco, F., et al., *Performance analysis of a solar cooling plant based on a liquid desiccant evaporative cooler*. International Journal of Refrigeration, 2015. **53**: p. 163-176.
62. Yang, Z., et al., *Development and case study of the liquid desiccant system module in sorption system simulation program (SorpSim)*. Applied Thermal Engineering, 2019. **162**: p. 114261.
63. Riffat, S. and G. Qiu, *Comparative investigation of thermoelectric air-conditioners versus vapour compression and absorption air-conditioners*. Applied Thermal Engineering, 2004. **24**(14-15): p. 1979-1993.
64. Abdullah, M., et al., *Cooling performance of a combined solar thermoelectric-adsorption cooling system: an experimental study*. Energy & fuels, 2009. **23**(11): p. 5677-5683.
65. He, W., et al., *Theoretical and experimental investigation on a thermoelectric cooling and heating system driven by solar*. Applied energy, 2013. **107**: p. 89-97.
66. Liu, Z., L. Zhang, and G. Gong, *Experimental evaluation of a solar thermoelectric cooled ceiling combined with displacement ventilation system*. Energy Conversion and Management, 2014. **87**: p. 559-565.
67. Liu, Z.B., et al., *Experimental study and performance analysis of a solar thermoelectric air conditioner with hot water supply*. Energy and buildings, 2015. **86**: p. 619-625.
68. Dai, Y., R. Wang, and L. Ni, *Experimental investigation on a thermoelectric refrigerator driven by solar cells*. Renewable energy, 2003. **28**(6): p. 949-959.
69. Abdul-Wahab, S.A., et al., *Design and experimental investigation of portable solar thermoelectric refrigerator*. Renewable Energy, 2009. **34**(1): p. 30-34.
70. Meng, F., L. Chen, and F. Sun, *Performance Prediction and Irreversibility Analysis of a Thermoelectric Refrigerator with Finned Heat Exchanger*. Acta Physica Polonica, A., 2011. **120**(3).
71. Bilgili, M., *Hourly simulation and performance of solar electric-vapor compression refrigeration system*. Solar Energy, 2011. **85**(11): p. 2720-2731.

72. Atrooshi, S.A., *Experimental Investigation and Exergy Analysis of Solar Powered DC Vapor Compression Refrigeration*.
73. Chedop, A.N., N. Djongyang, and Z. Abdelouahab, *Modeling of the performance of a solar electric vapor compression refrigeration system in dry tropical regions*. International journal of Science and Research, 2014. **3**(11): p. 1066-1076.
74. El-Bahloul, A.A.M., A.H.H. Ali, and S. Ookawara, *Performance and sizing of solar driven dc motor vapor compression refrigerator with thermal storage in hot arid remote areas*. Energy Procedia, 2015. **70**: p. 634-643.
75. Hossain, A., et al. *Low power consuming solar assisted vapor compression refrigerator to preserve emergency medicines and vaccines in rural areas*. in 2019 1st International Conference on Advances in Science, Engineering and Robotics Technology (ICASERT). 2019. IEEE.
76. Salilih, E.M. and Y.T. Birhane, *Modelling and performance analysis of directly coupled vapor compression solar refrigeration system*. Solar Energy, 2019. **190**: p. 228-238.
77. Han, Y., et al., *Impedance matching control strategy for a solar cooling system directly driven by distributed photovoltaics*. Energy, 2019. **168**: p. 953-965.
78. Akbari, H., M. Pomerantz, and H. Taha, *Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas*. Solar energy, 2001. **70**(3): p. 295-310.
79. Pandit, R. and D.N. Laband, *Energy savings from tree shade*. Ecological Economics, 2010. **69**(6): p. 1324-1329.
80. Shahidan, M.F., et al., *An evaluation of outdoor and building environment cooling achieved through combination modification of trees with ground materials*. Building and Environment, 2012. **58**: p. 245-257.
81. Berry, R., S.J. Livesley, and L. Aye, *Tree canopy shade impacts on solar irradiance received by building walls and their surface temperature*. Building and environment, 2013. **69**: p. 91-100.
82. Hsieh, C.-M., et al., *Effects of tree shading and transpiration on building cooling energy use*. Energy and Buildings, 2018. **159**: p. 382-397.
83. Raeissi, S. and M. Taheri, *Cooling load reduction of buildings using passive roof options*. Renewable energy, 1996. **7**(3): p. 301-313.
84. Kharrufa, S.N. and Y. Adil, *Roof pond cooling of buildings in hot arid climates*. Building and Environment, 2008. **43**(1): p. 82-89.
85. Tahmasebi, M.M., S. Banihashemi, and M.S. Hassanabadi, *Assessment of the variation impacts of window on energy consumption and carbon footprint*. Procedia engineering, 2011. **21**: p. 820-828.
86. Sadrzadehrafiei, S., K. Sopian, and C. Lim. *Potential energy and emission reduction through application of triple glazing*. in *Proceedings of the 6th International Conference on Energy and Development—Environment—Biomedicine (EDEB'12), Athens, Greece*. 2012.
87. Yao, J. and N. Zhu, *Evaluation of indoor thermal environmental, energy and daylighting performance of thermotropic windows*. Building and Environment, 2012. **49**: p. 283-290.
88. Wong, N. and S. Li, *A study of the effectiveness of passive climate control in naturally ventilated residential buildings in Singapore*. Building and environment, 2007. **42**(3): p. 1395-1405.

89. Tzempelikos, A. and A.K. Athienitis, *The impact of shading design and control on building cooling and lighting demand*. Solar energy, 2007. **81**(3): p. 369-382.
90. Awadh, O. and B. Abuhijleh. *The impact of external shading and windows' glazing and frame on thermal performance of residential house in Abu-Dhabi*. in *Sustainable Building Conference*. 2013.
91. Shen, E., J. Hu, and M. Patel, *Energy and visual comfort analysis of lighting and daylight control strategies*. Building and Environment, 2014. **78**: p. 155-170.
92. Alawadhi, E.M., *Thermal analysis of a building brick containing phase change material*. Energy and Buildings, 2008. **40**(3): p. 351-357.
93. Alawadhi, E.M. and H.J. Alqallaf, *Building roof with conical holes containing PCM to reduce the cooling load: Numerical study*. Energy Conversion and Management, 2011. **52**(8-9): p. 2958-2964.
94. Kośny, J., et al., *Field thermal performance of naturally ventilated solar roof with PCM heat sink*. Solar Energy, 2012. **86**(9): p. 2504-2514.
95. Pisello, A.L., V.L. Castaldo, and F. Cotana, *Dynamic thermal-energy performance analysis of a prototype building with integrated phase change materials*. Energy Procedia, 2015. **81**: p. 82-88.
96. Jayalath, A., et al., *Effects of phase change material roof layers on thermal performance of a residential building in Melbourne and Sydney*. Energy and Buildings, 2016. **121**: p. 152-158.
97. Nghana, B. and F. Tariku, *Phase change material's (PCM) impacts on the energy performance and thermal comfort of buildings in a mild climate*. Building and Environment, 2016. **99**: p. 221-238.
98. Hu, Y. and P.K. Heiselberg, *A new ventilated window with PCM heat exchanger—Performance analysis and design optimization*. Energy and Buildings, 2018. **169**: p. 185-194.
99. Li, S., et al., *Simulation research on the dynamic thermal performance of a novel triple-glazed window filled with PCM*. Sustainable cities and society, 2018. **40**: p. 266-273.
100. Yang, H., J. Burnett, and J. Ji, *Simple approach to cooling load component calculation through PV walls*. Energy and buildings, 2000. **31**(3): p. 285-290.
101. Stazi, F., A. Mastrucci, and C. di Perna, *Trombe wall management in summer conditions: An experimental study*. Solar Energy, 2012. **86**(9): p. 2839-2851.
102. Stazi, F., A. Mastrucci, and C. di Perna, *The behaviour of solar walls in residential buildings with different insulation levels: an experimental and numerical study*. Energy and Buildings, 2012. **47**: p. 217-229.
103. Khedari, J., N. Rachapradit, and J. Hirunlabh, *Field study of performance of solar chimney with air-conditioned building*. Energy, 2003. **28**(11): p. 1099-1114.
104. Chungloo, S. and B. Limmeechokchai, *Application of passive cooling systems in the hot and humid climate: The case study of solar chimney and wetted roof in Thailand*. Building and Environment, 2007. **42**(9): p. 3341-3351.
105. Rabani, R., et al., *Numerical simulation of an innovated building cooling system with combination of solar chimney and water spraying system*. Heat and Mass Transfer, 2014. **50**(11): p. 1609-1625.

Abstract

Today, due to the issue of global warming and the destructive impact of fossil fuels on the environment, the supply of energy to various sectors of society from renewable energy, has been considered. One of these sectors is the need for cooling in residential and non-residential sectors by renewable energy, especially solar energy. In this regard, various conventional and non-conventional solar cooling systems have been proposed. In this research, different types of solar cooling systems are studied and discussed.

Keywords: Solar cooling, conventional, unconventional, solar photovoltaic system, solar thermal system



**Shahrood University of
Technology**

Faculty of Mechanical and Mechatronics Engineering

M.Sc. Thesis in Energy Systems Engineering

Review Of Conventional And unconventional solar cooling systems

By: Ehsan Elyasi Miankuh

Supervisor:

Dr. Mohammad Hossein ahamdi

Dr. Ali Jabari moghadam

February, 2022