

# مروری بر انواع سیستم‌های سرمایه‌های خورشیدی

مصطفی زمانی محی‌آبادی\*

عضو هیئت علمی گروه پژوهشی پیل سوختی حرارت‌بالا  
دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان

m.zamani@vru.ac.ir

مجتبی رحیمی

عضو هیئت علمی گروه فیزیک و گروه پژوهشی پیل سوختی حرارت‌بالا  
دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان

m\_rahimi@vru.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۱/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۴/۰۳

## چکیده

امروزه بشر با دو بحران بزرگ روبروست: از یک طرف جوامع صنعتی و شهرهای بزرگ با مشکل آلودگی محیط زیست مواجه‌اند و از طرف دیگر دیده می‌شود که منابع مواد اولیه و سوخت مورد نیاز به سرعت در حال اتمام است. می‌توان گفت که امروزه تقابلی میان تقاضای سرما و افزایش تابش و میزان ساعات آفتابی در تابستان وجود دارد؛ اما می‌توان با استفاده از انرژی خورشید تا حدودی نیاز به تولید برودت را برطرف ساخت. در این مقاله انواع روش‌هایی که با حرارت خورشیدی تولید سرما می‌کنند تشریح و با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

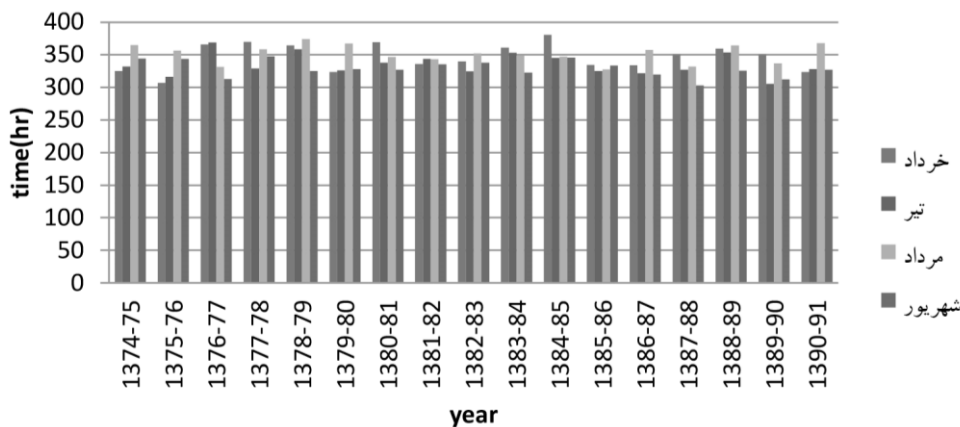
**واژگان کلیدی:** سرمایه‌های خورشیدی، سیکل جذبی، پدیده جذب سطحی، دسیکانت<sup>۱</sup>

## ۱. مقدمه

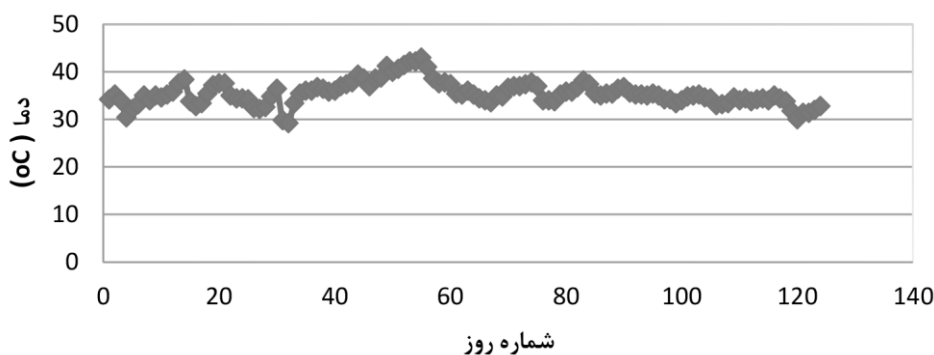
در همین ایام نیز تابش خورشید به حداکثر مقدار خود می‌رسد. در شکل‌های ۱ و ۲ ساعات آفتابی و حداکثر دمای محیط در روز رفسنجان، از ابتدای خرداد تا انتهای شهریور، مشاهده می‌شود. این شهر سالانه بیش از ۳۳۶۰ ساعت آفتاب در اختیار دارد. معمولاً میان تقاضای برودت و افزایش تابش و میزان ساعات آفتابی در تابستان تقابلی وجود دارد و با استفاده از انرژی خورشید می‌توان تا حدود زیادی نیاز به تولید برودت را برطرف کرد. برای تولید سرما توسط خورشید نیز، برخلاف تولید گرما، با عملیاتی دشوارتر و هزینه‌برتری مواجه هستیم. استفاده از انرژی خورشیدی جهت سرمایه‌های را می‌توان به دو دسته کلی تقسیم کرد:

امروزه بشر با دو بحران بزرگ روبروست؛ بحران‌هایی که هریک به‌طور وسیعی با هم در ارتباطند. از یک طرف جوامع صنعتی و کلان‌شهرها با مشکل آلودگی محیط زیست مواجه‌اند و از طرف دیگر مشاهده می‌شود که منابع مواد اولیه و سوخت مورد نیاز با شتاب چشم‌گیری در حال اتمام است. خورشید به‌عنوان یک منبع بی‌پایان انرژی می‌تواند راه‌حلی مناسب برای مشکلات موجود در ارتباط با انرژی و محیط زیست باشد [۱-۲]. تقریباً پانزده درصد از انرژی دنیا صرف تولید سرما می‌شود [۳]. در این بین، مقدار زیادی از انرژی نیز صرف تهویه مطبوع می‌شود. از جمله مواقعی که مصرف انرژی بالاست در فصل تابستان است؛





شکل ۱. ساعات آفتابی شهر رفسنجان از ابتدای خرداد ماه تا انتهای شهریورماه



شکل ۲. حداکثر دمای محیط در طول روز برای شهر رفسنجان از اول خردادماه تا ابتدای تیرماه سال ۱۳۹۱

۱. تولید الکتریسیته خورشیدی و استفاده از روش‌های

تولید سرما

۲. تولید حرارت خورشیدی و استفاده از روش‌های تولید

سرما

همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، در روش نخست، تولید الکتریسیته با استفاده از پنل‌های فتوولتاییک صورت می‌گیرد و برق مستقیم<sup>۲</sup> تولید می‌شود. در این شرایط هم می‌توان از برق مستقیم (با استفاده از سیستم‌هایی که با برق مستقیم کار می‌کنند) تولید سرما کرد و یا اینکه آن را به برق متناوب<sup>۳</sup> تبدیل کرد و تولید سرما نمود که نیازمند تجهیزات بیشتری از جمله اینورتر و جز این‌ها می‌باشد. به‌طور کلی فناوری‌های سرمایش با استفاده از این روش را می‌توان به پنج دسته اصلی تقسیم کرد:

۱. کمپرسور گاز

۲. ترموالکتریک پلتیر [۴]

۳. ترموآکوستیک [۵]

۴. استرلینگ

۵. مغناطیس [۶]

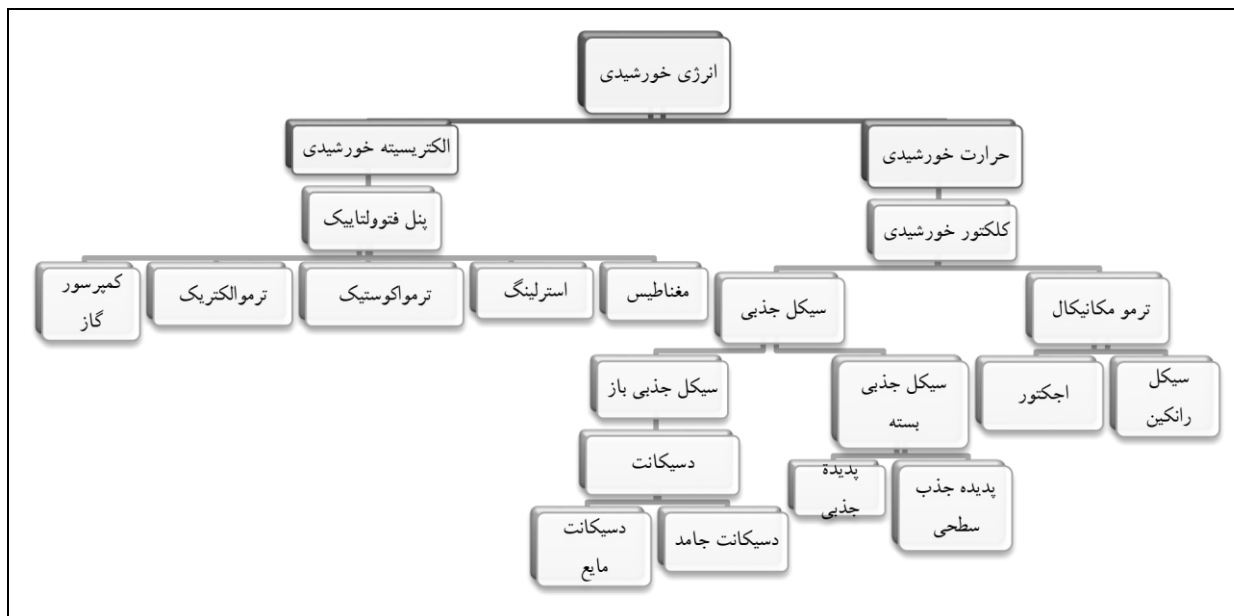
در این مقاله به سیستم‌های الکتریکی تولید سرما پرداخته نخواهد شد. در روش دوم با استفاده از انرژی خورشیدی تولید حرارت کرده، که اینکار توسط کلکتورها صورت می‌گیرد و در نهایت از حرارت موجود سرما تولید می‌شود. برای تولید سرما با استفاده از حرارت دو روش کلی وجود دارد که هر کدام به انواعی تقسیم می‌شوند (شکل ۳):

۱. ترمومکانیکال

۲. سیکل جذبی

با توجه به اینکه به‌طور همزمان می‌توان از یک کلکتور خورشیدی به‌عنوان یک سیستم گرمایشی نیز بهره برد، پس بسیاری از مشکلات در این زمینه همچون جمع‌آوری کلکتورها در تابستان و جز این‌ها را برطرف می‌نماید. در این مقاله به روش‌های سرمایه‌گذاری که با استفاده از حرارت

خورشیدی تولید سرما می‌کنند پرداخته شده است. در ابتدا با توجه به اینکه حرارت مورد نیاز توسط کلکتورهای خورشیدی تولید می‌شود به‌اجمال انواع آن تشریح و سپس به انواع سیستم‌های سرمایه‌گذاری پرداخته و در نهایت نتیجه‌گیری شده است.



شکل ۳. تقسیم‌بندی سیستم‌های سرمایه‌گذاری خورشیدی

## ۲. کلکتور

کلکتور خورشیدی از جمله اجزای اصلی و اساسی سیستم‌های گرمایش خورشیدی است و وظیفه آن جذب تابش خورشید و تبدیل آن به گرماست. کلکتورها گرما و حرارت تولیدشده را در اختیار سیال واسطی که درون لوله‌های آنها جریان دارد قرار می‌دهند. این ادوات برای جذب تابش خورشید از صفحات فلزی تیره‌ای استفاده می‌کنند. برای اینکه حرارت جذب‌شده توسط کلکتور به بیشترین حد خود برسد از یک پوشش شیشه‌ای روی صفحات جذب استفاده می‌شود تا هم بتوان از اثر گلخانه‌ای بهره گرفت و هم از اتلاف حرارت به محیط جلوگیری شود. عموماً کلکتورهای خورشیدی را می‌توان به سه گروه تقسیم‌بندی نمود: کلکتورهای صفحه‌ای تخت، کلکتورهای لوله‌ای تحت خلأ و نهایتاً کلکتورهای سهموی.

## ۱-۲. کلکتور صفحه‌ای تخت

این کلکتور ساده‌ترین و در عین حال پرکاربردترین نوع کلکتور به‌شمار می‌رود. ساختار آن به‌شکل جعبه‌ای مستطیل است که داخل آن یک صفحه جذب فلزی از جنس مس یا آلومینیوم با پوششی به رنگ‌های خاص وجود دارد. این صفحه جذب انرژی حرارتی خورشید است و زیر آن لوله‌های کوچکی قرار گرفته است که آب یا سیال انتقال حرارت در آنها جریان دارد. اطراف کلکتور به‌منظور کاهش اتلاف حرارتی عایق‌بندی شده است. روی سطح جعبه نیز از پلاستیک شفاف یا شیشه پوشیده شده است.

## ۲-۲. کلکتور لوله‌ای تحت خلأ

این کلکتور از تعدادی لوله دوجداره شفاف موازی تشکیل شده است که داخل آن یک تیوب با پوششی از ماده جذب

قرار دارد. هوا از فضای بین دو جداره خارج و خلأ ایجاد می‌شود که از اتلاف حرارت جلوگیری می‌کند. راندمان این کلکتور نسبت به کلکتور صفحه ای بیشتر است.

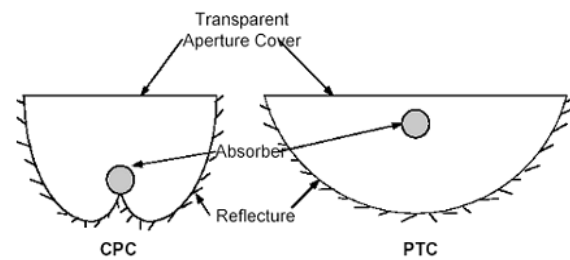
کلکتور سهموی مرکب<sup>۴</sup> که به سیستم ردیاب نیازی ندارد و به‌طور ثابت نصب می‌شود (شکل ۴) و کلکتور سهموی<sup>۵</sup> که باید حتماً با سیستم ردیاب خورشید نصب شود (شکل ۵).

### ۲-۳. کلکتور سهموی

در یک کلکتور سهموی، تابش خورشید روی لوله گیرنده منعکس و متمرکز می‌شود و انرژی تابشی توسط لوله گیرنده جذب و به سیال انتقال حرارت در لوله منتقل می‌شود. اصولاً دو نوع کلکتور سهموی خطی وجود دارد:

### ۴-۲. کلکتور سهموی بشقابی

در این کلکتور تمامی پرتوهای خورشید در یک نقطه متمرکز می‌شود و معمولاً در این نقطه از یک موتور استرلینگ استفاده می‌شود. در جدول ۱ انواع کلکتورهای خورشیدی مقایسه شده‌اند.



شکل ۴. انواع کلکتور سهموی خطی



شکل ۵. کلکتور سهموی بشقابی [۶]

جدول ۱. مشخصات انواع کلکتورهای خورشیدی [۷]

نوع حرکت	نوع کلکتور	نوع جذب‌کننده	نسبت تمرکز	محدوده دمای گزارش شده (درجه سانتی‌گراد)
ثابت	صفحه تخت	تخت	۱	۸۰ تا ۳۰
	لوله‌های خلأ	تخت	۱	۲۰۰ تا ۵۰
	سهموی مرکب	لوله‌ای	۱ تا ۵	۲۴۰ تا ۶۰
حرکت حول یک محور	منعکس‌کننده خطی	لوله‌ای	۱۰ تا ۴۰	۲۵۰ تا ۶۰
	سهموی با کانون خطی	لوله‌ای	۱۵ تا ۴۵	۳۰۰ تا ۶۰
	استوانه‌ای با کانون خطی	لوله‌ای	۱۰ تا ۵۰	۳۰۰ تا ۶۰
حرکت حول دو محور	بشقابی سهموی	نقطه‌ای	۱۰۰ تا ۱۰۰۰	۵۰۰ تا ۱۰۰
	چرخ آینه‌ای دورانی	نقطه‌ای	۱۰ تا ۱۵۰۰	۲۰۰۰ تا ۱۵۰

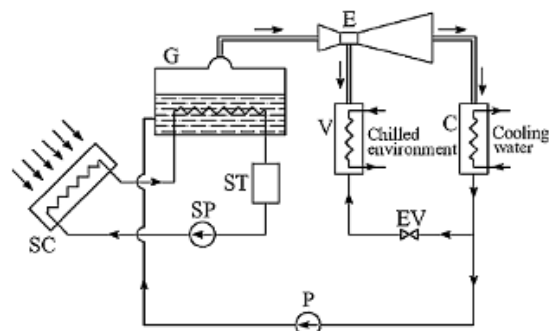
### ۳. سرمایه‌ی ترمومکانیکال خورشیدی

در این سیستم، انرژی حرارتی تولیدشده توسط کلکتورهای خورشیدی به انرژی مکانیکی تبدیل و سپس از انرژی

مکانیکی جهت تولید سرما استفاده می‌شود. این سیستم به دو روش اجکتور و سیکل رانکین تقسیم می‌شود.

### ۳-۱. اجکتور

در شکل ۶ یک سیستم ترمومکانیکال جت بخار نمایش داده شده است. در این شکل بخار تولیدشده از میان یک اجکتور جت بخار عبور داده می‌شود. در طول فرایند فشار داخل اوپراتور کاهش پیدا می‌کند و آب داخل اوپراتور با جذب گرما از آب سرد به بخار تبدیل می‌شود و دمای آب کاهش می‌یابد. در این سیستم وقتی تولید سرما مورد نیاز نباشد، می‌توان از یک توربین بخار جهت تولید برق استفاده کرد. معمولاً فشار تولیدی در این حالت بین ۰/۱ تا ۱ مگاپاسکال و دمای آن بین ۱۲۰ تا ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد [۱۰].



شکل ۶. سیستم ترمومکانیکال جت بخار [۱۱]

### ۳-۲. سیکل رانکین

در این سیستم انرژی حرارتی به‌دست آمده از خورشید به یک موتور حرارتی منتقل می‌شود و در نهایت انرژی مکانیکی حاصل روی یک کمپرسور عمل کرده و تولید سرما می‌کند. در این سیستم بازده کلکتور از رابطه ۱ به‌دست می‌آید.

$$\eta_{sol-heat} = \frac{Q_g}{I_p A_s} \quad (1)$$

به‌طوری‌که در این رابطه  $I_p$  شدت تابش خورشید و  $A_s$  مساحت کلکتور و  $Q_g$  گرمای تولیدی کلکتور است که به موتور حرارتی انتقال پیدا می‌کند. بازده یک موتور حرارتی نیز از رابطه ۲ قابل محاسبه است:

$$\eta_{heat-pow} = \frac{w}{Q_g} \quad (2)$$

به‌طوری‌که در این رابطه  $w$  کار تولیدی موتور حرارتی و  $Q_g$  گرمای جذب‌شده است و در نهایت کمپرسور گرمای  $Q_e$  را از اوپراتور و گرمای  $Q_c$  را به محیط می‌دهد. رابطه ۳ نحوه محاسبه بازده را نشان می‌دهد. در نهایت بازده کل این سیستم از رابطه ۴ به‌دست می‌آید:

$$\eta_{pow-cool} = \frac{Q_e}{w} \quad (3)$$

$$\eta_{sol-cool} = \eta_{pow-heat} \times \eta_{heat-pow} \times \eta_{pow-cool} \quad (4)$$

در ادامه سیستم‌های سرمایشی که براساس جذب یک گاز یا رطوبت عمل می‌کنند تشریح خواهند شد. این سیستم‌ها به دو نوع سیکل باز و بسته تقسیم می‌شوند. در ادامه سرمایش نوع دسیکانت که از نوع سیکل باز می‌باشد مطرح می‌شود [۱۱].

### ۴. سیکل جذبی باز

#### ۴-۱. سرمایش دسیکانت خورشیدی

در طراحی این سیستم‌ها از مواد جاذب رطوبت به نام دسیکانت<sup>۶</sup> - که با محیط زیست سازگارند و به‌فوق در دسترس‌اند - استفاده می‌شود. اگر رطوبت هوای محیط گرفته شود، حدود ۲۵ درصد در سیستم‌های سرمایشی کاهش مصرف انرژی را به‌دنبال دارد. بر روی این سیستم‌ها تحقیقات متعددی انجام شده که چند نمونه آن در ادامه ذکر خواهد شد. مدل‌سازی‌های بسیاری از چرخ‌های دوار و محاسبه میزان انتقال جرم و حرارت در آنها توسط ژنگ و ورک [۱۲] و سان [۱۳] ارائه شده است. سان تأثیر هدایت حرارتی دیواره دسیکانت را مورد بررسی قرار داد و در مدل ژنگ یک سرعت گردش بهینه برای چرخ تعیین شد. سیستم دسیکانت دارای دو نوع جامد و مایع است که در ادامه توضیح داده خواهند شد.

#### ۴-۱-۱. سیستم دسیکانت جامد

چرخ دسیکانت جامد تشکیل شده از چرخ دسیکانت، مبدل حرارتی دوار، فن هوای ورودی و خروجی، منبع حرارتی و منبع سرمایشی. فرایند این‌گونه است که پس از عبور هوا از

روی چرخ دسیکانت خشک شده، به خاطر گرمای چرخ و گرمای جذب دمای آن بالا می‌رود. این جریان هوا در یک مبدل حرارتی با هوای بازگشتی از فضای تهویه پیش سرد شده و پس از ایجاد سرمایش نهایی برای تهویه به کار می‌رود. هوای بازگشتی نیز پس از پیش‌سرد کردن هوای ورودی توسط منبع حرارتی خورشیدی برای احیاء چرخ دسیکانت گرم می‌شود.

#### ۴-۱-۲. سیستم دسیکانت مایع

سیستم‌های دسیکانت مایع توانایی حذف ۵ تا ۲۵ درصد بار رطوبتی نهان را دارد. در این سیستم عامل اصلی انتقال رطوبت بین دسیکانت و هوا، وجود اختلاف فشار بخار آب است. تغییر در غلظت و دمای دسیکانت سبب تغییر در فشار بخار می‌شود. بنابراین هر دسیکانت مایع در غلظت خاصی بهترین کارایی را دارد. سیستم از دو قسمت اصلی، رطوبت‌زدایی هوا و بازیابی تشکیل شده است. در رطوبت‌زدایی هوا با دسیکانت غلیظ و خنک تماس داشته و رطوبت آن جذب و دمای آن کاهش می‌یابد. در بازیابی در اثر تماس هوا با دسیکانت گرم، رطوبت به هوا منتقل می‌شود. غلظت‌های کاربردی در جدول ۳ مشخص شده‌اند.

جدول ۳. انواع دسیکانت مایع و غلظت [۱۴]

غلظت عملیاتی (درصد)	نوع دسیکانت
۴۵ تا ۶۵	<i>LiBr</i>
۳۰ تا ۴۵	<i>LiCl</i>
۳۵ تا ۴۵	<i>CaCl<sub>2</sub></i>
۹۰ تا ۹۸	<i>TEG</i>

#### ۵. سیکل جذبی بسته

در سیستم‌های جذبی از یک ماده جذب و یک مبرد استفاده می‌شود. فرایند بدین صورت انجام می‌گیرد که ماده مبرد با دریافت انرژی حرارتی به دست آمده از خورشید از ماده جذب جدا شده و در اواپراتور سیستم تولید سرما

می‌کند و سپس توسط ماده جذب جذب شده که به این صورت چرخه سیکل مورد نظر تکرار می‌گردد. دو روش در سرمایش خورشیدی براساس سیستم‌های جذبی سیکل بسته وجود دارد که یکی براساس پدیده جذب سطحی انجام می‌گردد و دیگری براساس پدیده جذبی. در ادامه دو روش فوق تشریح خواهد شد.

#### ۵-۱. پدیده جذب سطحی

در این سیستم از کربن فعال، آب و کلرید کلسیم به عنوان ماده جذب و از متانول، آمونیاک به عنوان سیال مبرد استفاده می‌شود. فرایند به این صورت است که سیال مبرد بر اثر تابش خورشید در طول روز بخار شده و از ماده جذب جدا می‌شود و سپس با عبور از چگالنده، درون اواپراتور در حالت مایع ذخیره می‌گردد. در طول شب با قطع تابش خورشید ماده جذب کم‌کم سرد شده، بخار موجود در ژنراتور را جذب می‌نماید که سبب ایجاد یک خلأ نسبی می‌گردد. به دلیل اختلاف فشار ایجاد شده سیال عامل در اواپراتور شروع به تبخیر نموده و گرمای مورد نیاز را از آب اطراف خود تأمین می‌کند. ضریب عملکرد کلی دستگاه بسیار پایین و در حدود ۰/۰۶ می‌باشد [۱۵].

#### ۵-۲. پدیده جذبی

همان‌طور که توضیح داده شد در سیستم‌های جذبی از یک ماده جذب و یک مبرد استفاده می‌شود در این میان از زوج جذب لیتیم بروماید و آب و همین‌طور آب و آمونیاک استفاده بیشتری شده است. البته سایر زوج‌های جذب و مبرد که می‌توانند مورد بررسی قرار گیرند، عبارت‌اند از:

۱. آمونیاک و نمک امیل آمین و نمک‌ها

۲. الکل‌ها و نمک‌ها آمونیاک و محلول‌های آلی

۳. دی اکسید گوگرد و محلول‌های آلی

۴. هیدروکربن‌های هالوژنه و محلول‌های آلی

برخی از این مواد دارای برخی ویژگی‌های مناسب مانند عدم متبلور شدن در چرخه سرمایش جذبی هستند اما در



برخی، موارد دیگر همچون پایداری، خوردگی و ایمنی شرایط چندان خوبی ندارند. در حال حاضر زوج‌های لیتیوم بروماید آب و آب آمونیاک مناسب ترین زوج‌های مورد استفاده در سیستم‌های سرمایش جذبی هستند و بر همین اساس می‌توان سیستم‌های سرمایش جذبی را از نظر نوع ماده جاذب و مبرد در دو گروه لیتیوم بروماید آب و آب آمونیاک طبقه‌بندی نمود.

### ۵-۲-۱. سیستم سرمایش جذبی با مبرد آب و ماده جاذب لیتیوم بروماید

در این سیستم‌ها بنا به خواص فیزیکی و شیمیایی مبرد آب امکان سردسازی زیر صفر درجه سانتی‌گراد را ندارند و به همین دلیل برای سرمایش آب تا ۵ درجه سانتی‌گراد و بیشتر به کار گرفته می‌شوند. برای رسیدن به دماهای پایین‌تر از صفر درجه سانتی‌گراد باید از پدیده جاذبی با مبرد آمونیاک و جاذب آب استفاده کرد. سیستم‌های جذبی لیتیومی شامل انواع مختلف تک‌اثره، دو اثره و سه‌اثره می‌باشند. در جدول ۴ انواع این سیستم‌ها و دمای منبع حرارتی مورد نیاز و همچنین ضریب عملکرد هر کدام آورده شده است.

جدول ۴: انواع سیستم‌های جذبی لیتیومی و مشخصات آنها [۱۱]

سیستم جذبی لیتیوم بروماید	ضریب عملکرد	دمای مورد نیاز منبع حرارتی (سانتی‌گراد)
تک‌اثره	۰/۷	۸۵
دو اثره	۱/۲	۱۳۰
سه‌اثره	۱/۷	۲۲۰

دمای تبخیر آب با کاهش فشار، کم و با افزایش فشار زیاد می‌شود و همین خاصیت مبنای استفاده از آن به‌عنوان ماده مبرد در سیستم‌های جذبی لیتیومی است و در عین حال به دلیل خاصیت ترکیبی شدید و قدرت جذب بالای آمونیاک از آن در چیلرهای جذبی آمونیاکی به‌عنوان ماده جاذب

استفاده می‌شود. لیتیوم بروماید نمکی است که خاصیت جذب آب آن بسیار بالاست. در صورت سرد شدن، امکان متبلور شدن لیتیوم بروماید زیاد است و در مجاورت حرارت بر میزان خوردگی آن افزوده می‌شود.

### ۵-۲-۲. سیستم سرمایش جذبی با مبرد آمونیاک و ماده جاذب آب

استفاده از آمونیاک و آب به‌عنوان ماده مبرد و جاذب نسبت به زوج لیتیوم بروماید و آب قدمتی دیرینه‌تر دارد. به طوری که نخستین واحد جذبی ساخته شده در سال ۱۸۵۹ م توسط فردینان دکاره از این نوع بود. سیستم‌های جذبی آمونیاکی امروزه به‌طور خاص برای سیستم‌های برودتی کم‌ظرفیت محلی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در سیستم‌های آمونیاکی، ماده جاذب آب و ماده مبرد آمونیاک است. آمونیاک ترکیبی است از نیتروژن و هیدروژن که در فشار جو به‌صورت گازی بی‌رنگ وجود دارد. نقطه جوش این ماده ۲۸- درجه فارنهایت در فشار جو است. چنین نقطه جوش پایینی این امکان را می‌دهد که سیستم‌های سرمایشی بدون کاهش فشار اواپراتور تا زیر فشار جو امکان سردسازی در دماهای کمتر از صفر را داشته باشند.

به‌طور معمول کندانسور واحدهای آمونیاکی با آب خنک می‌شوند، اما در ظرفیت‌های پایین امکان استفاده از هوای خنک نیز وجود دارد. در چرخه جاذبی آمونیاکی، آب تحت دما و فشار معمولی آمونیاک را جذب می‌کند و سپس خود با گرما احیا و آمونیاک از آن جدا می‌شود. گرمای نهان تبخیر زیاد آمونیاک این امکان را فراهم می‌آورد تا به‌هنگام تبخیر، گرمای زیادی را جذب نماید و سبب سردسازی در اواپراتور شود. چرخه تبرید جذبی آمونیاکی بسیار مشابه چرخه سیستم‌های لیتیومی است. در این سیستم‌ها نیز چهار بخش اصلی اواپراتور، ایزوربر، ژنراتور و کندانسور وجود دارد. آمونیاک در محفظه اواپراتور تبخیر و جذب آب در محفظه ایزوربر می‌شود. این محلول به ژنراتور فرستاده می‌شود و در مجاورت گرمای حاصل از شعله مستقیم و یا

سیال گرم، آب از آمونیاک جدا می‌شود. آب به‌عنوان ماده‌ی جاذب به ابزوربر و آمونیاک هم پس از تقطیر در کندانسور به اوپراتور بازمی‌گردند و بار دیگر چرخه از سر گرفته می‌شود. در سیستم‌های جذبی آمونیاکی کوچک، که فاقد پمپ محلول هستند، برای ایجاد تعادل در بین دو بخش فشار ضعیف (اوپراتور و ابزوربر) و فشار قوی (ژنراتور و کندانسور) از گاز سوم هیدروژن استفاده می‌شود. بنابراین در نقاط کم‌فشاری که هیدروژن حضور دارد، مایع مبرد یا آمونیاک مایع تبخیر می‌شود. بخار آمونیاک در کندانسور گرمای خود را از دست داده و پس از تبدیل‌شدن به مایع به‌سمت اوپراتور سرازیر می‌شود. فشار جذبی هیدروژن موجود در اوپراتور کمتر از کندانسور است. بنابراین مایع آمونیاک تحت فشار کمتری قرار گرفته و شروع به تبخیر می‌کند و گرمای لازم برای بخارشدن را از محیط می‌گیرد سپس مخلوط گازی آمونیاک و هیدروژن وارد ابزوربر می‌شود و هیدروژن به دلیل سبک‌بودن بار دیگر به اوپراتور باز می‌گردد. آب درون ابزوربر موجب جذب بخار آمونیاک می‌شود و محلول آب و آمونیاک وارد ژنراتور می‌شوند تا چرخه بار دیگر از سر گرفته شود. دامنه‌ی دمایی مورد نیاز ژنراتور سیستم‌های آمونیاکی در حالتی که از کندانسور و ابزوربر هواخنک استفاده کنند بین ۱۲۵ تا ۱۷۰ درجه

## ۷. مأخذ

- [۱] زمانی محی‌آبادی، مصطفی، سید علی اکبر صفوی. "بهینه‌سازی ضرایب کنترل‌کننده PID نیروگاه ۲۵۰ کیلوواتی خورشیدی شیراز توسط الگوریتم ژنتیک." بیست و هشتمین کنفرانس بین‌المللی برق. تهران، ۱۳۹۲.
- [۲] زمانی محی‌آبادی، مصطفی، سید علی اکبر صفوی. "طراحی کنترل‌کننده فازی برای دمای روغن خروجی از مزرعه کلکتور نیروگاه ۲۵۰ کیلوواتی خورشیدی شیراز." بیست و هشتمین کنفرانس بین‌المللی برق. تهران، ۱۳۹۲.
- [3] Gschneidne, K., V. Pecharsky. "Thirty years of near room temperature magnetic cooling." where we are today and future prospects, (2008): 31, 945-961.
- [4] vella, G. J. I. bharris, H. J. Goldsmid. "A solar thermoelectric refrigerator." *Solar Energy*, (1976):4, pp. 355-359.
- [5] Matthew, E., W. M. Poese, M. W. Smith, W. M. Robert, "Thermoacoustic refrigeration for icecream sales", 2014.

سانتی‌گراد است و این مقدار در صورت استفاده از کندانسور و ابزوربر آب خنک شود، بین ۸۰ تا ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد است. ضریب کارایی این نوع سیستم‌ها بین ۰/۵ تا ۰/۶ است. در سیستم‌های آمونیاکی نیازی به تامین خلأ و کاهش فشار وجود ندارد، بلکه برعکس فشار سیستم به اندازه قابل توجهی بالاست. بنابراین استفاده از مصالحی که مقاومت کافی در مقابل این مقدار فشار را داشته باشند بسیار ضروری است.

## ۶. جمع‌بندی

امروزه بشر با دو بحران آلودگی محیط زیست و پایان‌یافتن منابع مواد اولیه و سوخت مواجه است. در این بین، میان تقاضای برودت و افزایش تابش و میزان ساعات آفتابی در تابستان تقابلی وجود دارد. با استفاده از انرژی خورشید می‌توان تا نیاز به تولید سرما را برطرف کرد. در این مقاله انواع روش‌هایی که با حرارت خورشیدی تولید سرما می‌کنند تشریح و مقایسه شده‌اند. برای دسترسی به برودت روش‌هایی ارائه شده و نیز با توجه به محدوده دمایی مورد نیاز ژنراتور هر سیستم، کلکتور مورد نیاز انتخاب می‌شود و در نهایت با توجه به ضریب عملکرد ذکرشده برای هر سیستم می‌توان بهترین مورد را انتخاب کرد.





- [6] Silva, D.J, J. Ventura, J. P. Araújo, A. M. Pereira. "Maximizing the temperature span of a solid state active magnetic regenerative refrigerator." *Journal of Applied Energy*, (2014):1149-1154.
- [7] فلاحتکار، امیر، حمیدرضا اخوان ارمکی. "طراحی یک سیستم چیلر جذبی خورشیدی در شهر تهران و بررسی عملکرد این سیستم در مقایسه با چیلرهای جذبی رایج." نشریه انرژی ایران، ۱۳۹۰.
- [8] زمانی محی‌آبادی، مصطفی، سید علی اکبر صفوی، سید وحید نقوی، سید محمد حسام محمدی. "طراحی و توسعه یک محیط شبیه‌ساز جهت نیروگاه ۲۵۰ کیلووات خورشیدی شیراز بر پایه مدل‌سازی ترکیبی." نشریه انرژی ایران، ۱۳۹۱.
- [9] Lafta Rashid, F., I. Kaittan Fayyadh, A. Hashim, Z. Omran Muse, Z. Zouher. "Liquid paraffin wax solar absorption refrigerator system." *Elixir Elec. Eng.* (2012): 9607-9611.
- [10] Badawy, M. T. "Cycle analysis for solar ejector refrigeration and distillation system." *World Renewable Energy Congress.* (1998):2076-2079.
- [11] Sarbu, I., C. Sebarchievici. "Review of solar refrigeration and cooling systems." *Journal of Energy and Buildings.* (2013): 286-297.
- [12] Zheng, W., W. Worek. "Numerical Simulation of Combined Heat and Mass Transfer Processes in a Rotary Dehumidifier." *Numerical Heat Transfer, Part A.*, 1993): 211-232.
- [13] Yang San, J., S. CHSIAU. "Effect of Axial Solid Heat Conduction and Mass Diffusion in a Rotary Heat and Mass Regenerators." *Int. J. Heat Mass Transfer*, (1993): 2051-2059.
- [14] Yin, Y., X. Zhang, Z. Chen. "Experimental study on dehumidifier and regenerator of liquid desiccant cooling air conditioning system." *International Journal of Refrigeration*, (2007): 861-872.
- [۱۵] اژتایان، مجتبی، منصور کیانپور راد، علیخانی فریدون. "مروری بر شیوه‌های سرمایه‌های خورشیدی." همایش ملی اصلاح الگوی تولید و مصرف، کرمان، ۱۳۹۰.

---

1. Desiccant

2. DC

3. AC

4. Compound Parabolic Concentrating

5. Parabolic-Trough Concentrating

۶ ماده خشک‌کن یا دسیکانت به موادی گفته می‌شود که برای جذب بخار آب موجود در یک محیط بسته به‌کار می‌روند. این مواد ممکن است به‌صورت غیرجامد و مثلاً به‌حالت مایع باشند. خشک‌کن‌های مایع معمولاً از تری‌اتیلن گلیکول یا نمک‌هایی مانند کلرید کلسیم یا لیتیوم کلرید حل‌شده در آب بهره می‌برند و هرچه محلول خشک‌کن غلیظ‌تر و فشار بخار آن کمتر باشد، قدرت جذب بخار آب از هوای محیط در آن بیشتر خواهد بود. قدرت جذب رطوبت در مواد خشک‌کن با گذشت زمان تغییر می‌کند. برخی از مواد زودتر قدرت جذب خود را از دست می‌دهند [ویراستار].

