دومین همایش بین المللی دانشگاه سبز، دانشگاه اصفهان، 10 و 11 اردیبهشت 1398

**یخچال جذبی-پخشی خورشیدی و مدلسازی آن به کمک نرم افزار gPROMS**

**احسان منتی پور ، بهنام مستأجران**

**1- گروه مهندسی انرژی های تجدیدپذیر، دانشکده علوم و فناوری های نوین، دانشگاه اصفهان، اصفهان**

**2- گروه مهندسی انرژی های تجدیدپذیر، دانشکده علوم و فناوری های نوین، دانشگاه اصفهان، اصفهان**

**emennati@gmail.com**

**خلاصه**

هدف از انجام پژوهش حاضر، استفاده از انرژی حرارتی خورشیدی (Solar Thermal) و تولید نمک مذاب نیترات برای تولید سرمایش در یک سیستم یخچال پخشی-جذبی DAR (Diffusion Absorption Refrigerator) با استفاده از ترکیب آب و آمونیاک به عنوان جاذب و مبرد و گاز کمکی هیدروژن می باشد و مدلسازی این سیستم به کمک نرم افزار gPROMS انجام گرفته است. استفاده از این سیستم باعث شده که برای راه اندازی یخچال از هیچ انرژی تجدید ناپذیر اعم ازهرگونه سوخت فسیلی یا انرژی الکتریکی وابسته به این نوع انرژی استفاده نشود که در نتیجه آلودگی های زیست محیطی مثل انتشار کربن دی اکسید حذف می شود. همچنین اثر حرارتی که آنتالپی گاز کمکی هیدروژن بر این سیستم می گذارد توسط مجموعه (Box) تبرید یخچال که شامل شیر فشارشکن، تبخیر کننده، مبدل حرارتی است در این پژوهش منظور و تبخیر کننده ی چند مرحله ای به جای تک مرحله ای در آن استفاده شده است.

**کلمات کلیدی:** انرژی حرارتی خورشیدی، gPROMS، یخچال DAR، مجموعه (Box) تبرید، نمک مذاب

**ABSTRACT**

The purpose of this study was to use Solar Thermal and production of molten salt nitrate to produce cooling in a Diffusion Absorption Refrigerator (DAR) using a combination of water and ammonia as adsorbent, refrigerant and gas Hydrogen inert and modeling of this system with the help of gPROMS software. The use of this system has led to the use of non renewable energy, including any fossil fuel or energy dependent on this type of energy, to run the refrigerator, thus eliminating environmental pollution such as carbon dioxide emissions. Also, the thermal effect of the enthalpy of the inert gas of hydrogen on this system is provided by the refrigeration box, which includes the compressor valve, the evaporator, the heat exchanger. In this paper, the multi-stage evaporation method rather than single-stage use Has been.

**Keywords:** solar thermal energy, gPROMS, DAR refrigerator, refrigeration box, molten salt

**1. مقدمه:**

بسیاری از صنایع برای ادامه حیات خود وابسته به انرژی هستند که در حال حاضر این انرژی از سوخت های فسیلی تأمین می شود اما این نوع انرژی محدود و رو به پایان است. وابستگی شدید جوامع صنعتی به منابع انرژی، و در نتیجه مصرف بی رویه آن ها سبب شده، این منابع رو به اتمام باشند. انرژی های فسیلی مانند نفت و زغال سنگ پایان پذیر و تجدید ناپذیر هستند. مهم ترین چالش جهانی در قرن 21 ام جایگزین کردن انرژی پاک، پایدار و مناسب است. به نظر می رسد در آینده ادغام تکنولوژی و انرژی های تجدیدپذیر را شاهد خواهیم بود که این پدیده تأثیر بسزایی بر اقتصاد خواهد گذاشت. خورشید یکی از منابع مهم تجدید پذیر انرژی است که به فناوری های پیشرفته و پر هزینه نیاز ندارد و می تواند به عنوان یک منبع مفید و تأمین کننده انرژی در بیشتر نقاط جهان به کار گرفته شود [1]. انرژی خورشیدی با نرخ $3.8×10^{23} kW$ از خورشید انتشار می یابد. از این مقدار انرژی تقریباً $1.8×10^{14} kW$ انرژی به زمین اصابت می کند، بنابراین انرژی خورشیدی فراوان ترین منبع انرژی تجدید پذیر در جهان است. همچنین راندمان خروجی این انرژی نسبت به سایر انرژی های تجدیدپذیر خوب و در حال افزایش است [2].

به طور کلی سرمایش خورشیدی به دو طریق سیکل ها با ورودی گرما و سیکل هایی با محرکه فوتوولتائیک ایجاد می گردد. سیستم های با محرکه حرارت اکثراً با اهداف تهویه و مطبوع به کار می روند و فقط انواع سیستم های جذبی هستند که جهت ایجاد دمای زیر صفر و با اهداف تبرید مورد استفاده قرار گرفته اند [3].

در دهه های اخیر، تقاضا برای دستگاه های تبرید و تهویه مطبوع در بخش های مختلف جوامع بشری افزایش یافته است. انرژی خورشیدی در دو بخش فوتوولتائیک و حرارتی (Solar Thermal) مورد استفاده قرار می گیرد. در ایران سالیانه به طور میانگین حدود 300 روز آفتابی گزارش می شود که نشان دهنده پتانسیل بسیار خوب کشور ما برای استفاده از انرژی خورشیدی می باشد. همچینین حدود 60% از مصرف انرژی در ایران برای سرمایش در کاربری های صنعتی و مسکونی می باشد که این نیاز در فصل تابستان تشدید می شود؛ که در این فصل ایران تابش خورشید بسیار خوبی دارد و می توان از طریق این نوع انرژی صرفه جویی زیادی در هزینه های تولید انرژی برای سرمایش نمود [4].

یکی از پژوهش هایی که در گذشته در این زمینه انجام شده است توسط مستأجران و همکاران، مدلسازی پایدار کلکتور خورشیدی و استفاده از حرارت آن در ژنراتور چیلر جذبی می باشد [10] و همچنین انجام تست های عملیاتی گوناگون بر روی نمک نیترات و بررسی عملی این نمک بوده است که در پژوهش حاضر نیز نمک در تانک ذخیره ساز ذوب و مورد آزمایش قرار گرفت. از دیگر فعالیت های انجام شده می توان به پژوهش سلیمیان در راستای استفاده از سرمایش خورشیدی، مدلسازی غیر تعادلی چیلر جذبی خورشیدی و آنالیز تجربی کلکتور خورشیدی برای چیلر پخشی-جذبی خورشیدی اشاره کرد [11] که در این پژوهش محفظه سرمایش (Box) که در این پژوهش طراحی شده وجود ندارد و به همین دلیل راندمان پایین تری هم نسبت به سیکل حاضر دارد.

در این پژوهش کاربرد حرارتی مورد استفاده است که به کمک انرژی حرارتی خورشیدی یک سیکل سرمایش پخشی-جذبی راه اندازی می شود. از آنجایی که تولید سرمایش و برودت یکی از نیازهای مهم بخش های صنعتی و مسکونی است، از این رو جایگزینی سیستم های سرمایش خورشیدی در این کاربری ها مزایای زیادی هم از نظر اقتصادی و هم از نظر زیست محیطی دارد. یک سیستم سرمایش که با برق کار می کند، در کل راندمان کمتری نسبت به یک سیستم سرمایش خورشیدی دارد. زیرا ایجاد یک سوخت فسیلی زمان بسیار طولانی نیاز دارد، سپس باید این انرژی به انرژی برق تبدیل شود و برق تولیدی در سیستم سرمایش استفاده شود. این روند راندمان کمتری نسبت به یک سیستم تجدیدپذیر (خورشیدی) دارد و هزینه های تولید این انرژی به مراتب کمتر از فسیلی است.

**2-1. یخچال پخشی-جذبی خورشیدی**

سیستم مورد استفاده در این پژوهش یخچال پخشی-جذبی خورشیدی (DAR) می باشد. در این یخچال تصمیم بر این است که به جای اینکه با یک سوخت فسیلی حرارت مورد نیاز ژنراتور تأمین شود به کمک انرژی خورشیدی انرژی مذکور تأمین گردد. از همین رو برای این مورد سیستمی طراحی شده که به سیستم یخچال متصل می شود. در این سیستم به کمک یک دریافت کننده خورشیدی، حرارت خورشید دریافت شده و به سیال عامل حرارتی سیستم که نمک نیترات می باشد و در مرکز دریافت کننده قرار دارد، منتقل می گردد. علت انتخاب این ماده به عنوان سیال عامل خصوصیات مناسب آن برای سیستم می باشد:

1- ظرفیت حرارتی بالای نمک

2- دمای ذوب مناسب با نیاز سیستم سرمایش (حدود 200 درجه سانتیگراد) و دمای جوش بالا

3- فشار بخار پایین، عدم وجود واکنش های شیمیایی خطرناک در نقاط مختلف مخزن حاوی نمک که ریسک استفاده از آن را پایین می آورد.

4- شفافیت نمک مذاب [5و6و7].

نمک نیترات مورد استفاده شامل 51% ترکیب $KNO\_{3}$ و 49% ترکیب $NaNO\_{3}$ می باشد. این نمک بعد از ذوب شدن وارد ژنراتور می گردد و انرژی مورد نیاز برای راه اندازی سیستم سرمایش را در اختیار ژنراتور قرار می دهد (که در سیستم قبلی از انرژی فسیلی در این ناحیه استفاده می کردند). در ادامه این نمک بعد از اینکه حرارت خود را از دست داد به سمت دریافت کننده خورشیدی حرکت کرده تا مجدد این سیکل پیوسته ادامه پیدا کند.

**2-2. سیکل سرمایش**

سیکل سرمایش شامل ژنراتور و پمپ حباب، رکتیفایر، کندانسور، شیر فشار شکن،تبخیر کننده (evaporator)، جاذب (absorber) و مبدل های حرارتی در طول مسیر می باشد. شروع سیکل از ژنراتور یعنی محلی که حرارت نمک مذاب دریافت شده است می باشد.

ژنراتور انرژی حرارتی را از نمک دریافت کرده و در اختیار ترکیب قوی (غلیظ) جاذب و مبرد یخچال که در این پژوهش به ترتیب آب و آمونیاک می باشند قرار می دهد که در دمای $℃$ 140 از ابزوربر و سپس مبدل حرارتی وارد ژنراتور می شوند. فشار کلی سیستم atm 25 است. دمای این ترکیب دو جزئی با دریافت حرارت افزایش پیدا کرده و وارد پمپ حباب می شود. (پمپ حباب و ژنراتور ترکیب بندی متصل به هم دارند به گونه ای که ادامه مسیر بعد از ژنراتور پمپ حباب است). پمپ حباب یک لوله گرم است که ژنراتور و مخزن بالاتر را متصل می کند. این وسیله باعث می شود که با حرارتی که ترکیب آب و آمونیاک دریافت می کنند و تفاوتی که در دانسیته آن ها وجود دارد، آب از آمونیاک جدا شده [8 و 9 ] و آمونیاک نسبتا خالص پمپ حباب را ترک و سیکل را به سمت رکتیفایر ادامه دهد. آب جدا شده هم از طریق جریان برگشتی (محلول ضعیف یا عاری از مبرد) به سمت جاذب (absorber) حرکت می کند. بخار آمونیاک وارد رکتیفایر شده که با محیط تبادل حرارتی دارد و با افت مقداری از دمای آمونیاک و تفاوت دمای میعان آب و آمونیاک، باعث شده مقدار اندکی آب که همراه آمونیاک بخار شده است از آن جدا شده و به سمت جاذب برگردد و آمونیاک عاری از آب وارد کندانسور هوایی (هوا خنک) گردد. در کندانسور آمونیاک خنک می شود. در ادامه این آمونیاک وارد شیر فشار شکن می شود که در آن عمل اختناق صورت می گیرد. در این فرآیند، فشار و دمای مبرد (آمونیاک) به شدت افت می کند و سرد می شود. این افت فشار در سیستم باید به وسیله گاز کمکی هیدروژن که وظیفه تأمین افت فشار بین جاذب و اواپراتور را دارد اصلاح شود. گاز کمکی هیدروژن هم از مسیری مجزا وارد این قسمت شده و در این عمل اختناق با آمونیاک سرد شده یک واکنش فیزیکی می دهند و ترکیب شیمیایی آمونیاک یا هیدروژن تغییری نمی کند ولی در تبادل حرارت و توازن فشار با هم قرار می گیرند. این دو سیال در ادامه وارد تبخیر کننده چند مرحله ای می شوند. حسن تبخیر کننده چند مرحله نسبت به نمونه های تک مرحله ای این است که تبادل حرارت بین مبرد سرد با محفظه سرد ساز با تلفات حرارتی کمتری همراه می شود و بازدهی سرمایش افزایش می یابد. بعد از خروج از تبخیرکننده سیال وارد مبدل حرارتی شده که ورودی آن، خروجی کندانسور و خروجی تبخیرکننده است و خروجی آن ورودی محفظه انبساط و ورودی جاذب می باشد. این طراحی که محفظه انبساط، تبخیرکننده و مبدل حرارتی در یک محفظه (Box) قرار بگیرند برای تبادل بهتر حرارت بین ورودی ها و خروجی ها و افزایش راندمان سیستم انجام شده است (شکل 2). با ورود آمونیاک و هیدروژن به جاذب (که از پایین جاذب می باشد) گاز هیدروژن که سبک است به سمت بالا حرکت کرده و از آمونیاک مایع جدا شده و آمونیاک مایع هم در تبادل جرم با آب ورودی به جاذب که از ژنراتور و رکتیفایر به سمت جاذب برگشته بود، قرار می گیرد و جذب آن می شود و مجدد محلول قوی ساخته شده و به سمت ژنراتور سیکل آغاز می شود. (شکل 1)



شکل 2 – ترکیب Box طراحی شده

شکل 1 – ساختار موتور یخچال جذبی-پخشی

**2-3. مدلسازی و کدنویسی توسط نرم افزار gPROMS**

روابط استفاده شده برای موازنه جرم و انرژی در نرم افزار به شرح زیر می باشد.

جدول 1 - معدلات موازنه جرم در حالت کلی و جزئی و موازنه انرژی

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ژنراتور | موازنه جرم کلی | $$L\_{in\\_gen}=L\_{out\\_gen}+V\_{out\\_gen}$$ |
| موازنه جرم جزئی | $$L\_{in\\_gen}\*X\_{in\_{gen}}\left(i\right)=L\_{out\_{gen}}\*X\_{out\_{gen}}\left(i\right)+ V\_{out\_{gen}}\*Y\_{out\_{gen}}\left(i\right)$$ |
| موازنه انرژی | $$Q\_{gen}=L\_{in\\_gen}\*h\_{in\_{gen}}-L\_{out\_{gen}}\*h\_{out\_{gen}}-V\_{out\_{gen}}\*h\_{out\_{gen}}$$ |
| رکتیفایر | موازنه جرم کلی2<J<NS | $$V\_{out\_{rec}}(j-1)+L\_{out\_{rec}}(j+1)=L\_{out\_{rec}}(j)+V\_{out\_{rec}}(j)$$ |
| موازنه جرم جزئی2<J<NS | $$V\_{out\_{rec}}\left(j-1\right)\*Y\_{out\_{rev}}\left(jوi\right)\*+L\_{out\_{rec}}\left(j+1\right)\*X\_{out\_{rev}}\left(jوi\right)=L\_{out\_{rec}}\left(j\right)\*X\_{out\_{rev}}\left(jوi\right)+V\_{out\_{rec}}\left(j\right)\*Y\_{out\_{rev}}\left(jوi\right)$$ |
| موازنه انرژی2<j<NS-1 | $$Q\_{rec}(j)=V\_{out\_{rec}(j-1)}\*h\_{out\_{rec}(j-1)}+L\_{out\_{rec}(j+1)}\*h\_{out\_{rec}(j+1)}-L\_{out\_{rec}(j)}\*h\_{out\_{rec}(j)}-V\_{out\_{rec}(j)}\*h\_{out\_{rec}(j)}$$ |
| کندانسور | موازنه جرم کلی | $$V\_{out\_{rec}}(NS)=L\_{out\\_cond}$$ |
| موازنه جرم جزئی | $$Y\_{out\_{rec}}\left(NSوi\right)=X\_{out\_{cond}}\left(i\right)$$ |
| موازنه انرژی | $$Q\_{cond}=V\_{out\\_rec}\*h\_{out\\_rec}-L\_{out\\_cond}\*h\_{out\\_cond}$$ |
|  شیر فشار شکن  | موازنه جرم کلی | $$L\_{out\\_cond}=L\_{out\\_exp}+V\_{out\\_exp}$$ |
| موازنه جرم جزئی | $$L\_{out\\_cond}\*X\_{out\_{cond}}=L\_{out\\_exp}\*X\_{out\\_exp}+V\_{out\\_exp} \*Y\_{out\\_exp}$$ |
| تبخیر کننده | موازنه جرم کلی2<J<NS | $$L\_{out\\_ev}\left(j\right)+V\_{out\\_ev}\left(j\right)=L\_{out\\_ev}\left(j+1\right)+V\_{out\\_ev}\left(j+1\right)$$ |
| موازنه جرم جزئی2<J<NS | $$L\_{out\\_ev}\left(j\right)\*X\_{out\\_ev}\left(jوi\right)+V\_{out\\_ev}\left(j\right)\*Y\_{out\\_ev}\left(jوi\right)=L\_{out\\_ev}\left(j+1\right)\*X\_{out\\_ev}\left(j+1وi\right)+V\_{out\\_ev}\left(j+1\right)\*Y\_{out\\_ev}\left(j+1وi\right)$$ |
| موازنه انرژی2<j<NS-1 | $$Q\_{ev(j)}=L\_{out\_{ev}}\left(j+1\right)\*h\_{out\_{ev}}\left(j+1\right)+V\_{out\_{ev}}\left(j+1\right)\*h\_{out\_{ev}}\left(j+1\right)+G\_{H2}\*h\_{GH2\left(Tout\\_ev\left(j+1\right)\right)}-L\_{out\_{ev}}\left(j\right)\*h\_{out\_{ev}}\left(j\right)-V\_{out\_{ev}}\left(j\right)\*h\_{out\_{ev}}\left(j\right)-G\_{H2}\*h\_{GH2\left(Tout\\_ev\left(j\right)\right)}$$ |
| جاذب(ابزوربر) | موازنه جرم کلی (فاز بخار)2<J<NS | $$V\_{abs}(j+1)-V\_{abs}(1)–(M(iو1) + M(iو2))=0$$ |
| موازنه جرم کلی (فاز مایع)2<J<NS | $$L\_{abs}(j-1)-L\_{abs}(i)–(M(iو1) + M(iو2))=0$$ |
| موازنه جرم جزئی(فاز بخار) 2<J<NS | $$V\_{abs}\left(j+1\right)\*Y\_{abs}(j+1و2)-V\_{abs}(j)\*Y\_{abs}(jو2)– M(iو2)=0$$$$V\_{abs}\left(j+1\right)\*Y\_{abs}(j+1و1)-V\_{abs}(j)\*Y\_{abs}(jو1)– M(iو1)=0$$ |
| موازنه جرم جزئی(فاز مایع) 2<J<NS | $$L\_{abs}\left(j-1\right)\*X\_{abs}(j-1و2)-L\_{abs}\left(j\right)\*X\_{abs}(jو2)–M(iو2)=0$$$$L\_{abs}\left(j-1\right)\*X\_{abs}(j-1و1)-L\_{abs}\left(j\right)\*X\_{abs}(jو1)–M(iو1)=0$$ |
| موازنه انرژی2<j<NS-1 | $$Q\_{out\_{L}}\left(j\right)=U\*A\_{out\_{abs}}\*(T\_{L\_{j}}-T\_{amb})$$ |

***4. تست های انجام گرفته:***

*دستگاه یخچال پخشی – جذبی در دانشگاه اصفهان، دانشکده علوم و فناوری های نوین، گروه انرژی های تجدید پذیر ساخته شد. این دستگاه شامل یک مخزن ذخیره ساز نمک نیترات به همراه تعدادی هیتر برای ذوب کردن نمک جامد می باشد. در این نمونه به دلیل اینکه تست در محیط آزمایشگاهی انجام می گیرد الگوی حرارت دهی به نمک و ذوب کردن آن مشابه به شرایطی است که انرژی حرارتی خورشید توسط یک دریافت کننده نمک جامد را ذوب کند. همچنین یک موتور یخچال DAR نیز به این سیستم انرژی رسانی ترکیب شده است که در شکل 3 مشخص می باشد. با راه اندازی و تست این مجموعه و ذوب شدن نمک، نمک مذاب به وسیله یک پمپ که برای هدایت بهتر نمک مذاب به سمت ژنراتور در مسیر بین مخزن و ژنراتور یخچال تعبیه شده است باید پمپ می شد. نمک مذابی که در مخزن به دست آمد کاملاً شفاف بود و حین ذوب شدن آن هیچ گونه خطری ایجاد نکرد. همچنین در فشار اتمسفریک هم این عمل انجام شد و نیازی به کنترل فشار در این قسمت نیست که مسلماً یک فاکتور مساعد برای کار کردن می باشد. اما حین تست این پمپ با ایراد مواجه شد و نتوانست نمک مذاب را به ژنراتور انتقال دهد و اصطلاحاً پمپ جام کرد. اقدامات گوناگونی برای رفع عیب این پمپ انجام شد مانند: حرارت دهی به پمپ به وسیله انواع هیتر و شعله آتش، باز کردن موتور پمپ و بررسی شفت پمپ و ... که به دلیل مناسب نبودن پمپ، دستگاه راه اندازی نشد.*

**

شکل 3 – پیکربندی دستگاه

***5.نتیجه گیری:***

*با توجه به نیاز محیط های صنعتی و مسکونی و آموزشی مثل دانشگاه ها به سرمایش خصوصا در فصول گرم سال و قیمت بالای تولید و مصرف انرژی فسیلی، بکار بردن این سیستم و استفاده از انرژی تجدیدپذیر (خورشیدی) که برای تولید آن هزینه ای نمی شود و هزینه فقط مربوط به تبدیل انرژی حرارتی خورشید به سرمایش است که به مراتب این هزینه کمتر از تولید سرمایش توسط سیستم های سرمایش برقی معمول می باشد. این سیستم هزینه های تولید را کاسته و در عین حال به پاک بودن و عدم انتشار آلاینده ناشی از استفاده از سوخت فسیلی به محیط زیست کمک زیادی می کند. سیستم مذکور در قسمت پمپ نیاز به اصلاحاتی دارد که مستلزم مساعدت های مالی می باشد. در اینصورت می توان سیستم را به طور کامل راه اندازی کرد و نتایج مطلوبی بدست آورد.*

***مراجع:***

1. N.S. Lewis, Toward cost-effective solar energy use, science, 311(2117) .811-72

2. Kannan, N., Vakeesan, D., Solar energy future world:-A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 62, pp. 1092\_1105, 2016.

 . 3W. Pridasawas, Solar-Driven Refrigeration Systems, PhD Thesis, School of Industrial Engineering and Management, Royal Institute of Technology, KTH,Stockholm, October 2006.

گلی، کنفرانس انرژی های تجدیدپذیر عليرضا و همکاران، مدل سازی و بهينه سازی سيکل جذبی پخشی در يخچال خورشيدی، نهمين -4

پاک و كارآمد، ششم خرداد 1395

 .5C. Renault, M. Hron, R. Konings, D.E. Holcomb, GIF Symposium, Paris, France,September 9–10, 2009, p. 1.

6. C. Le Brun, Journal of Nuclear Materials 360 (2007) 1–5.

7. C.W. Forsberg, P.F. Peterson, D.F. Williams, Proceedings of 2005 InternationalConference on Advances in Nuclear Power Plants (ICAPP’05), Seoul, Korea,May 15–19, 2005, p. 1.

8. Wallis, G.B. One-dimensional two-phase flow. New York: McGraw-Hill, New York, 1969.

9. J.G. Collier and J.R. Thome, Convective Boiling and Condensation. McGraw-Hill, New York, 1996.

10. Mostajeran goortani.B,Babaei.F, Alemrajabi.A.A,Mostajaboddavatti.M,Direct Effects of Solar Irradiance on a Concentrated Solar Powered Water-Ammonia Absorption Refrigerator,accepted.

11. سلیمیان، ط.، (1396)، "مدلسازی غیر تعادلی چیلر جذبی خورشیدی و آنالیز تجربی کلکتور خورشیدی برای این چیلر" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه زاهدان، زاهدان.