

یخچال خورشیدی ادواری

افسانه جیلاوی، مرتضی خلجی اسدی
مرکز توسعه انرژیهای نو، سازمان انرژی اتمی ایران

چکیده

یخچال خورشیدی ادواری (یا گاه‌بگاهی)^(۱) با استفاده از آمونیاک (به عنوان میزب) و آب (به عنوان جاذب)، در مرکز توسعه انرژیهای نو طراحی و ساخته شد و مورد آزمایشهای متعدد قرار گرفت. در این دستگاه با استفاده از کُلکتورهای مسطح خورشیدی بخار آمونیاک در روز از محلول ۶۰٪ آن متصاعد و در چگالنده تقطیر می‌شود و در شب عمل تبرید صورت می‌گیرد. این دستگاه را می‌توان در مناطق مناسب کشور، با توجه به شدت تابش خورشیدی، بکار برد. در این مقاله، نتایج تجربی بدست آمده با اصول نظری مقایسه و ضریب‌های کارکرد^(۲) تجربی و نظری حساب شده‌اند. محاسبه نشان می‌دهد که مقادیر متوسط این ضرایب به هم نزدیکند. ($COP = 0/485$ نظری، $COP = 0/422$ تجربی). این کیفیت نشان می‌دهد که اگر مثلاً دمای محیط $30^{\circ}C$ باشد، با راه‌اندازی این دستگاه رسیدن به دمای $10^{\circ}C$ میسر است.

۱- مقدمه

یکی از نیازهای اساسی جوامع بشری نگهداری مواد غذایی و فاسدشدنی در دماهای پائین است تا از فاسد شدن آنها در اثر رشد باکتریها جلوگیری شود. در زمانهای قدیم از یخچالهای طبیعی، یا زیر زمینها برای این منظور استفاده می‌شد. با پیشرفت فناوری، یخچالهایی که با برق یا نفت و گاز کار می‌کنند ساخته شده است. اما به علت بحران آینده انرژی، در سالهای اخیر، استفاده از منابع تجدیدپذیر مورد توجه بیشتر قرار گرفته است، از جمله بهره‌برداری از انرژی خورشیدی به ویژه در مناطق گرمسیری از اهمیت خاصی برخوردار است.

یخچال جذبی خورشیدی برای استفاده در مناطق دور افتاده و گرمسیری که دسترسی به برق یا منابع انرژی فسیلی دشوار است مناسب می‌باشد. سازوکار میزدهای جذبی در ۱۸۲۴ میلادی به توسط فارادی پایه گذاری شد: او به وسیله تبخیر آمونیاک مایع و جذب سطحی بخار آن در کلراید نقره در یک سیستم بسته، به عمل سرد کردن دست یافت. با تکمیل اصول کار این نوع سیستمها در سالهای ۲۷-۱۹۲۴ یخچالهای نفتی و گازی به بازار آمدند. این یخچالها به ویژه برای مکانهایی که به لحاظ مصرف انرژی الکتریکی در مضیقه بودند یا برای آنان که نمی‌توانستند

مبلغ گزافی برای خریداری یخچالهای خودکار برقی بپردازند ساخته شد.

در ۱۹۵۷ ترنومب و فاکس [۱] گزارشی مبنی بر ایجاد سرما با محلول آب - آمونیاک و به وسیله تابش خورشیدی ارائه دادند؛ در همین سال Williams و همکاران نیز تحقیقاتی را بر پایه مسائل نظری با استفاده از چهار نوع محلول میزده [متانول - سیلیکاژل، استون - سیلیکاژل، آمونیاک - آب، فریون (۲) - تترا اتیلن گلیکول دی اتیل اتر] انجام دادند [۲ و ۳]. در این کارهای تحقیقی از انرژی خورشیدی به عنوان منبع تولید گرما برای تبخیر استفاده شده است. Chinnapa، یخچال ادواری ساده‌ای با استفاده از کُلکتورهای مسطح در کلمبو (سری لانکا) ساخت. او توصیف کاملی از چرخه‌های نظری و عملی برای سیستم NH_3-H_2O عرضه کرد و دلایل اختلاف بین آنها را گزارش داد [۴ و ۵].

تحلیل نظری انتقال گرما و ویژگیهای جریان کُلکتورها به عنوان مولد^(۳) در سیستمهای یخچال خورشیدی به توسط Moore و Farber [۶] و ارزیابی کارکرد این سیستمها با استفاده از

۱- Intermittente

۲- Coefficient of Performance یا علامت اختصاری COP

۳- generator



شکل ۱- یخچال خورشیدی ادواری جذبی با کلکتور خورشیدی مسطح

انرژی حرارتی خورشید در آنها می توان به طور قابل ملاحظه ای در سوخت نیز صرفه جویی کرد.

مرکز تحقیقات و کاربرد انرژی های نو، در سازمان انرژی اتمی ایران، بر روی طرح یخچال خورشیدی ادواری جذبی کارهای قابل توجهی انجام داده است [۱۳ و ۱۴] و هم اکنون نیز طراحی و ساخت دستگاهی با صفحه مسطح کلکتور خورشیدی به مساحت $2/5 \text{ m}^2$ صورت گرفت (شکل ۱) که می تواند درون محفظه ای به حجم ۸۵ لیتر را در دمای 30°C محیط، تا دمای زیر 10°C درجه سانتی گراد سرد کند. در این دستگاه از 15 Kg محلول ۶۰٪ آمونیاک و آب استفاده شده است.

۲- بحث نظری چرخه جذب در یخچال ادواری

در شکل (۲) دو نوع چرخه نظری جذبی نشان داده شده است: یکی چرخه نظری جذب با فشار ثابت که با اعداد ۱-۲-۳-۴ در شکل مشخص شده، و دیگری چرخه نظری

معادلات رایانه ای [۷] مورد بررسی قرار گرفت [۵]. Muradov و Shadiev از خاصیت جذب کلراید کلسیوم (جاذب جامد) به جای آب استفاده کردند. آنان یک سیستم یخچال خورشیدی ادواری با استفاده از آمونیاک - سدیم کلراید ساختند در حالیکه Worsqe-Schmidt جاذب جامد متخلخل کلسیوم کلراید همراه با کلکتورهای مسطح خورشیدی را طراحی و آزمایش کرد [۱۰ و ۱۱]. تهویه مطبوع با استفاده از انرژی خورشیدی توسط Duffie با سیال لیتیوم برمید-آب ساخته شد و از آن برای سرد کردن بخشی از آزمایشگاه انرژی خورشیدی دانشگاه Wisconsin طی تابستان ۱۹۶۲ مورد استفاده قرار گرفت [۸ و ۹]. یخچال کوچک ساده ای با استفاده از محلول آب و آمونیاک نیز در داکا^(۴) با متمرکزکننده های خورشیدی برای تولید بخار آمونیاک ساخته شد. آزمایش نشان داد که از 2 Kg محلول آب و آمونیاک به غلظت ۵۳ درصد، 0.25 Kg آمونیاک می تواند تقطیر شود [۱۲].

نمونه های پیش گفته نشان دهنده توجه شایان به دستگاههای سردکننده جذبی خورشیدی است که به دلیل امکان استفاده از

۴- Dhaka یا Dacca پایتخت بنگلادش



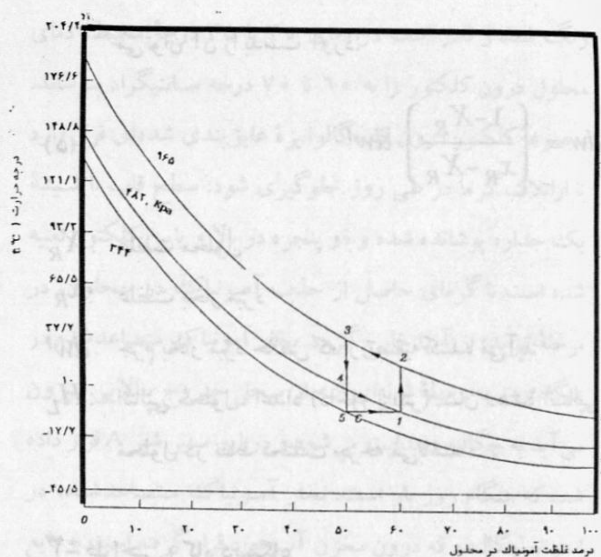
تا این که دمای سرد کننده (آمونیاک مایع) به ۱۴ برسد. بعد از آن هم این کنترل در مرحله ۱-۴ برای جذب بخار آمونیاک در محلول موجود در مولد نیز ادامه می یابد، در صورتیکه چرخه جذب با دمای ثابت پس از پایان عمل گرمادهی و شروع عمل سرد شدن بی دروی آمونیاک مایع، محلول موجود در کلکتور (که اینک به صورت جذب کننده گرما عمل می کند) سریعاً به دمای محیط می رسد و دمای کلکتور به هنگام عمل سرد کردن مؤثر تا پایان کار (مرحله ۱-۵) ثابت می ماند.

در چرخه جذب با دمای ثابت که به سبب عملی بودن آن مورد نظر ما می باشد، محلول غلیظ آمونیاک با غلظت $x_1 = 60\%$ در آغاز مرحله ۲-۱ (نقطه ۱) داخل مولد یا کلکتور است. با تابش خورشید فشار و دمای درون مولد افزایش می یابد تا به فشار اشباع بخار آمونیاک متناظر با دمای تقطیر برسد. با ادامه گرما گرفتن در فشار ثابت، دمای محلول داخل کلکتور به بیشینه مقدار خود، یعنی ۱۲ می رسد. پس از عمل تقطیر، مایع درون چگالنده در حالت ۳* قرار می گیرد و ارتباط بین مولد و چگالنده قطع می شود. از حالت های ۳ تا ۵ محلول رقیق درون کلکتور به تدریج سرد می شود تا به دمای محیط برسد، در حالیکه فشار آن نیز کاهش می یابد. در این حالت محلول در وضعیت ۵ قرار دارد و کلکتور اینک می تواند به صورت جذب کننده عمل کند. در جریان مرحله ۶-۳ ماده سرد کننده (آمونیاک) که به حالت مایع در آمده است به طور بی دروی سرد می شود و سردکنندگی مؤثر در مرحله ۱-۶ انجام می گیرد، یعنی مرحله ای که گرمای اطراف تبخیرکننده (اوپراتور^(۵)) گرفته می شود و مایع آمونیاک در دمای ثابت به بخار تبدیل و جذب محلول رقیق درون کلکتور می گردد. برای محاسبه ضریب کارایی در یک چرخه با دمای ثابت، باید گرمای دریافت شده توسط محلول و گرمای گرفته شده از محیط سردشونده را حساب کنیم:

این ضریب از روابط زیر بدست می آید:

$$COP = \frac{Q_e}{Q_g} \quad (1)$$

۵- Evaporator



شکل ۲- چرخه نظری سیستم $NH_3 - H_2O$

جذب با دمای ثابت که با اعداد ۱-۲-۳-۵-۶-۱ نشان داده شده است.

در چرخه جذب با فشار ثابت، محلول در دو مرحله ۱-۲ و ۲-۳ گرما می گیرد و عمل تبرید در دو مرحله ۳-۴ و ۴-۱ صورت می گیرد. در مرحله ۳-۴ ماده سردکننده (NH_3) که به حالت مایع درمی آمد به طور بی دروی سرد می شود؛ سردکنندگی مؤثر در مرحله ۴-۱ انجام می گیرد. در چرخه جذب با دمای ثابت، محلول در مراحل ۱-۲ و ۲-۳ گرما می گیرد و در مرحله سرد شدن بی دروی آمونیاک، (مرحله ۳-۵)، محلول تا دمای ۱۵ (برابر با ۱۲، یعنی دمای محیطی که محلول در آن قرار دارد) سرد می شود و سردکنندگی مؤثر در مرحله ۱-۶ انجام می گیرد. اعداد ستاره دار سمت راست این شکل، شرایط ترمودینامیکی آمونیاک مایع را همزمان با شرایط ترمودینامیکی محلول، که در وسط شکل نمایش داده شده است، نشان می دهند.

چرخه جذب با فشار ثابت، بازدهی بهتری نسبت به چرخه جذب با دمای ثابت دارد زیرا مقدار کمتری از آمونیاک صرف سرد کردن بی دروی خودش می شود و بیشتر آن صرف سردکنندگی مؤثر می گردد؛ اما چرخه جذب با فشار ثابت عملاً به آسانی صورت نمی گیرد و اشکال اساسی آن در نحوه سرد کردن و کنترل منظم محلول رقیق شده طی مرحله ۳-۴ است



می توان آن را بدست آورد:

$$dw = \left(\frac{1 - X_R}{X_R - X_R'} \right) dw' \quad (5)$$

X_R : غلظت محلول

X_R' : غلظت بخار میرد

dw : جرم بخار میرد خالص که از تصفیه کننده می آید

H_L : انتالپی محلول، اعداد (داخل پرانتز) نشان دهنده انتالپی

محلول در نقاط مختلف چرخه می باشند

۳- طراحی و کار دستگاه

شکل (۳)، طرح ساده دستگاه یخچال خورشیدی ساخته شده را نشان می دهد. این دستگاه از ۳ جزء اصلی: کلکتور خورشیدی، چگالنده و تبخیرکننده تشکیل شده است و ۳ شیر A و B و C این اجزاء را به هم ارتباط می دهند. کلکتور خورشیدی که به صورت مولد در روز و جاذب در شب عمل می کند، از ورقه جاذب مسی، به ضخامت ۱ mm، و لوله های فولادی تشکیل شده است و حاوی محلول ۶۰٪ آمونیاک می باشد. ورقه مسی با رنگ سیاه مات

$$Q_e = W_6' \times L_m \quad (2)$$

$$\frac{W_6'}{W_3'} = e^{\frac{H_6' - H_3'}{L_m}} \quad (3)$$

$$Q_g = W_3 H_L (3) - W_1 H_L (1) + \int_{W_3}^{W_1} H_V dw \quad (4)$$

که نمادها به صورت زیراند:

Cop : ضریب کارایی

Q_e : گرمای گرفته شده از محیط

Q_g : گرمای دریافت شده توسط محلول در وقت عمل

حرارت دهی

W' : جرم میرد تقطیر شده

H' : انتالپی میرد در نقاط ۳* و ۶*

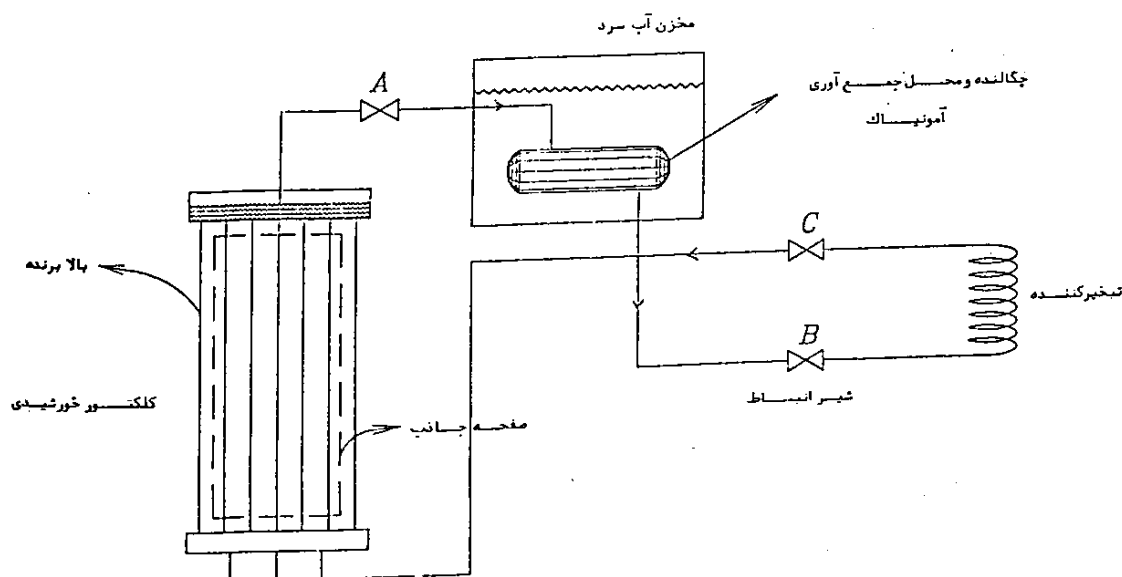
L_m : گرمای نهان متوسط میرد

W : وزن محلول و زیرنویس های آن نشان دهنده

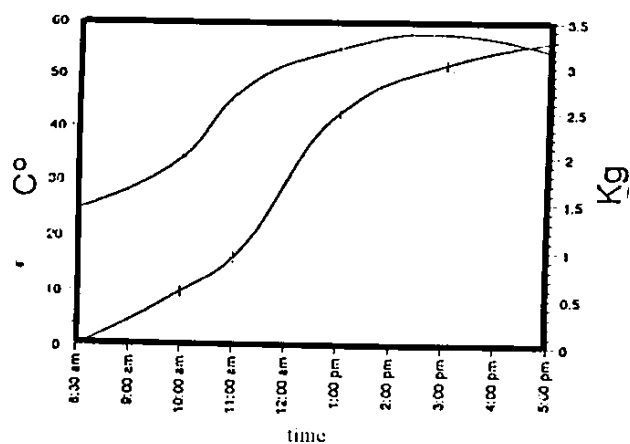
وزن محلول در آن نقاط می باشد

H_V : انتالپی بخار در دمایی که مقدار dw آن تبخیر می شود

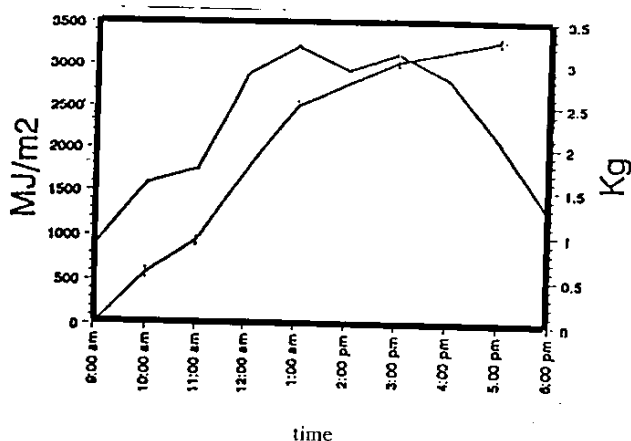
dw : وزن بخاری که از محلول بیرون می آید و از رابطه زیر



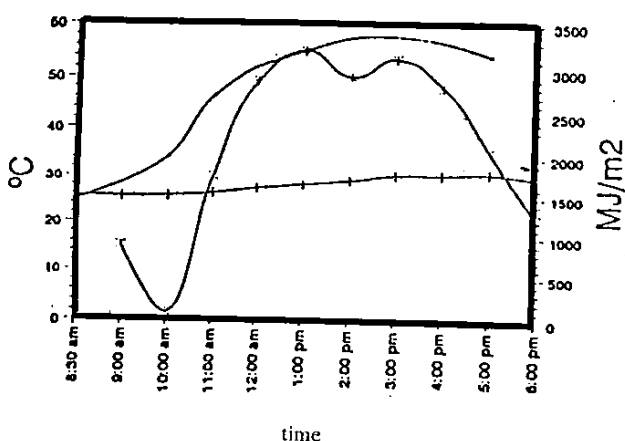
شکل ۳- طرح ساده ای از یخچال خورشیدی ادواری



—•— Solution Temp. + Mass of Distillate
Date: 20.07.98



—•— Total Incident Radiation on Collector
+ Mass of Distillate Date: 20.07.98



• Total Incident Radiation on Collector
—•— Solution temp. + Ambient temp

شکل‌های ۴ و ۵ و ۶- نتایج آزمایش‌های یخچال خورشیدی در مرحله «بازتولید»

۶- Regeneration

رنگ شده و قادر است در دمای ۳۰ تا ۳۵ درجه محیط، دمای محلول درون کلکتور را به ۶۰ تا ۷۰ درجه سانتیگراد برساند. مجموعه کلکتور درون قاب گالوانیزه عایق‌بندی شده‌ای قرار دارد تا از اتلاف گرما در طی روز جلوگیری شود. سطح قاب با شیشه یک جداره پوشانده شده و دو پنجره در بالا و پایین کلکتور تعبیه شده است تا گرمای حاصل از جذب آمونیاک در محلول، در مرحله تبرید، از آنها خارج گردد. بخار آمونیاک متصاعد شده در هنگام روز به وسیله لوله‌ای که از محل خروج بالایی بیرون می‌آید به چگالنده هدایت می‌شود و در این مسیر شیر A قرار داده شده که هنگام روز باز است. بخار آمونیاک متصاعد شده، در استوانه چگالنده که درون مخزن آب سرد قرار گرفته است به مایع تبدیل می‌شود و مقدار آن از طریق شیشه تعبیه شده بر روی استوانه قابل رؤیت است.

این قسمت از چرخه که «باز تولید بخار»^(۶) نامیده می‌شود در طی روز عمل می‌کند. در پایان این مرحله، شیر A بسته و پنجره کلکتور باز می‌شود تا این که محلول رقیق درون کلکتور سرد شود و دمای آن به درجه حرارت محیط برسد و فشارش کاهش یابد. در هنگام شب شیرهای B و C باز می‌شوند، با کاهش فشار محلول درون جذب کننده، امکان بخار شدن مایع آمونیاک درون تبخیرکننده فراهم شده و به بخار آمونیاک تبدیل می‌شود (آمونیاک مایع درون چگالنده با باز شدن شیر B به طرف لوله‌های تبخیرکننده به حرکت درمی‌آید). این بخار می‌تواند از راه ورودیهای مربوط وارد محلول سرد و رقیق درون کلکتور شده و جذب گردد و به این ترتیب چرخه سرد شدن به پایان می‌رسد و محلول برای شروع چرخه در صبح روز بعد آماده می‌باشد. نتایج حاصل از آزمایش‌های انجام گرفته که نشانگر کارکرد دستگاه در جدول ۱ درج شده‌اند.

نمودارهای تغییرات روزانه دمای دستگاه، دمای محیط، تابش رسیده به سطح کلکتور و جرم آمونیاک چگالیده و همچنین افت دمای تبخیرکننده از مرحله شروع تبرید و مقایسه آن با تغییرات دمای محیط در شب برای تاریخ ۷۷/۰۴/۲۹ ترسیم شده‌اند (شکل‌های ۴ و ۵ و ۶ و ۷).

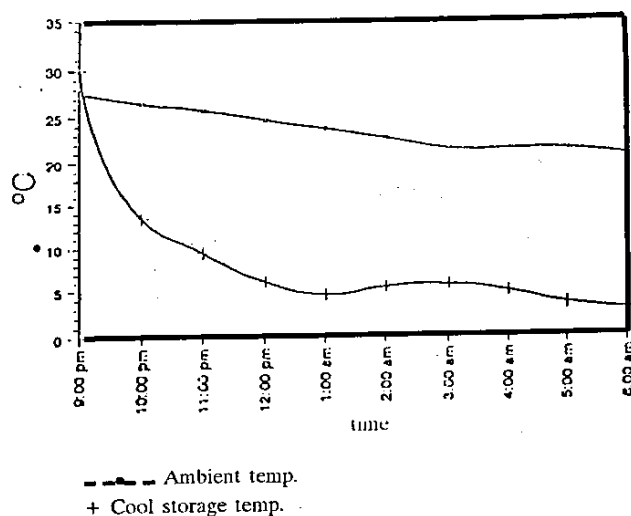


ماکزیموم دمای محلول، غلظت کمتری از محلول آب و آمونیاک مورد نیاز است؛ در نتیجه، جذب آمونیاک در آن آسان تر انجام می گیرد و دستیابی به دماهای پائین تر در تبخیرکننده امکان پذیر است.

۳- دمای بخار مبردی که به چگالنده می رود بالاتر از دمای آب اطراف آن است و این تفاوت دما برای انتقال گرما لازم است. اما این خلاف فرض اولیه ما می باشد که دمای بخار مبرد را برابر دمای آب فرض کرده ایم، این مسأله سبب می شود که فشار واقعی مرحله «باز تولید» بخار در مدت روز بالاتر از فشار نظری، متناظر با فرض اولیه، بشود. در نتیجه ما دو چرخه واقعی و نظری و دو COP خواهیم داشت و اختلاف بین COP نظری و واقعی بدین سبب است.

۴- در تمام قسمتها فرض شده است که آب به داخل چگالنده و تبخیرکننده منتقل نمی شود؛ ولی در عمل نمی توان از انتقال آب به داخل چگالنده جلوگیری کرد و این سبب می شود که اولاً، حداقل دمای مبرد افزایش یابد، در نتیجه سردسازی مؤثر کاهش یافته و COP کمتری بدست آید. ثانیاً در هر چرخه که پیموده می شود به علت باقی ماندن مقداری آب در تبخیرکننده غلظت محلول درون کلکتور بیشتر از مقدار واقعی آن بشود. برای رفع این اشکال لازم است در طراحی دستگاه تدابیری اندیشه شود که آب باقی مانده در تبخیرکننده به سوی کلکتور روانه گردد.

۵- نرخ سرد کردن محلول درون کلکتور به هنگام عمل سردسازی باید متناسب با نرخ جذب آمونیاک داخل محلول رقیق درون آن باشد تا بازدهی دستگاه افزایش یابد.



شکل ۷- نتایج آزمایشها در مرحله سردسازی

۴- بحث و نتیجه گیری

- ۱- آزمایش نشان می دهد که امکان استفاده از انرژی خورشیدی برای سرد کردن و یخ سازی در بسیاری از نقاط ایران که از شدت تابش خورشیدی بالایی برخوردارند وجود دارد.
- ۲- با اتخاذ تدابیری همچون استفاده از پوشش گزینشی سیاه رنگ برای صفحه جاذب کلکتور و یا استفاده از آینه های منعکس کننده نور خورشید بر صفحه جاذب کلکتور، می توان دمای محلول را در طی روز بالاتر برد، این کیفیت سبب می شود که مقدار آمونیاک بیشتری (با ثابت ماندن دمای چگالنده و غلظت اولیه) چگالیده شود و در نهایت، عمل سرد کردن مؤثرتر باشد. علت این است که با بالارفتن



تاریخ انجام آزمایشها	۷۷/۰۴/۲۸	۷۷/۰۴/۲۹	۷۷/۰۴/۳۰	۷۷/۰۵/۰۴	۷۷/۰۶/۲۹	۷۸/۰۳/۰۴	۷۸/۰۵/۰۹	۷۸/۰۶/۲۰
مشخصات و شرایط کارکرد دستگاه								
۱- غلظت اولیه %	۶۱	۶۱	۶۱	۵۹/۵	۵۹/۵	۵۸	۵۵/۵	۵۵/۵
۲- جرم اولیه محلول (Kg)	۱۵	۱۵	۱۵	۱۴/۷۷۸	۱۴/۷۷۸	۱۴/۵۶	۱۴/۰۱۸	۱۴/۱۸
۳- دمای محیط (°C)	۳۴	۳۱	۳۰/۸	۳۰/۳	۳۰/۳	۲۹/۵	۲۵/۹	۲۳/۲
۴- بیشترین دمای محلول (°C)	۶۱/۷	۵۷/۸	۶۲/۳	۶۵/۸	۶۳/۵	۶۲/۵	۷۲/۱	۶۹/۳
۵- بیشترین فشار محلول (PSI)	۱۲۸	۱۲۳	۱۵۳	۱۵۸	۱۵۹	۱۲۲	۱۷۶	۱۵۰
۶- غلظت نهایی %	۵۱/۵	۵۳	۵۳/۵	۵۳	۵۲/۵	۵۱	۵۱	۴۹
۷- متوسط دمای آب چگالنده (°C)	۲۲	۲۲/۶	۲۷	۳۰	۲۷	۲۴	۳۱	۲۴
۸- تابش کل رسیده به سطح کلکتور (MJ.m ^۲)	۴۱/۵	۲۲/۵	۲۱/۴	۲۰/۵	۲۳/۰۷	۲۳/۲	۲۲/۲	۱۹/۳۹
۹- جرم آمونیاک چگالنده (Kg)	۳/۴	۳/۰۳	۲/۲۲	۱/۸۶۸	۱/۶۲	۲/۰۸	۱/۳	۱/۸۰۸
۱۰- گرمای دریافت شده توسط محلول تجربی (KJ)	۶۷۳۱/۵	۶۰۸۰/۳	۵۸۸۲/۸	۵۲۸۷/۱۸	۲۸۴۲/۷۶	۵۷۱۱/۱۹	۴۶۷۷/۰۱	۲۹۲۴/۱۸
۱۱- گرمای دریافت شده توسط محلول نظری (KJ)	۷۱۶۲/۹۲۷	۶۴۲۰/۱۲۳	۶۶۳۲/۳۷	۵۶۶۰/۹۷۷	۵۹۹۳/۷۷	۶۲۳۲/۴۲	۵۳۷۲/۶۹	۵۸۳۲/۱۴۶
مرحله سردسازی (Refrigeration)								
۱- کمترین دمای محیط در شب (°C)	۲۲/۶	۲۰/۳	۲۲/۶	۲۲/۲	۲۱/۵	۲۱/۹	۲۷/۶	۲۴/۹
۲- کمترین دمای محفظه یخچال (°C)	۵/۸	۲/۸	۸/۲	۸/۹	۵	۶/۴	۱۲/۶	۸/۱
۳- سردسازی مؤثر واقعی (KJ)	۲۸۳۳/۶۹	۳۳۲۷/۸۷	۲۶۸۵/۱۶	۲۰۶۰/۲۶	۱۷۷۶/۰۱	۲۳۳۲/۷	۱۴۰۶/۳۲	۱۹۰۹/۸۱
۴- سردسازی مؤثر نظری (KJ)	۲۲۴۸/۸۹	۳۷۱۵/۰۲	۳۴۱۶/۸۷	۲۴۱۲/۲۷	۲۸۱۹/۸۸	۲۸۵۲/۷۱۳	۱۹۶۰/۸۲	۲۷۸۳/۹۳
۵- ضریب کارکرد واقعی (COP)	۰/۵۶۹	۰/۵۶۲	۰/۴۵۶	۰/۳۸۹	۰/۳۶۶	۰/۴۲۶	۰/۳	۰/۳۸۷
۶- ضریب کارکرد نظری (COP)	۰/۵۹۳	۰/۵۷۸	۰/۵۱۵	۰/۴۲۶	۰/۴۷	۰/۴۵۷	۰/۳۶۵	۰/۳۷۷

$$PSI = \frac{\text{پوند}}{\text{اینچ مربع}} = \frac{۱}{۶/۹} \text{ Pascal}$$

References

1. F. Trombe and M. Foex, "The production of cold by means of solar radiation" *Solar Energy* 1-1 (1957).
2. R.E. Critoph, "Towards a one tonne per day solar ice maker". *Renewable Energy* V.9, No. 1-4, P.626-631, (Sep-Dec 1996).
3. D.A. Williams, R.Löf, Chung, G.O.G, D.A., Fester and J. A.Duffie "Intermittent Absorption cooling systems with solar regeneration" paper No. S7-A-60, A.S.M.E (1957).
4. J.C.V., Chinppa, "Experimental study of the intermittent vapour absorption refrigeration cycle employing the refrigerant-absorbent systems of ammonia - water and ammonia - Lithium nitrate" *Solar Energy*, S: 1-18. (1961).
5. J.C.V. Chinnapa, "Performance of an intermittent refrigerator operated by a flat-plate collector", *Solar Energy* Vol.6. PP. 143-150 (1962).
6. G.I. Moore and E.A. Farber, "Combining the Collector and generator of a solar refrigeration system" paper 67-WA/solar. American Society of Mechanical Engineers, New York (1967).
7. EL-Sharrawi, M.A.I: Al-Nimr, MA, "Equations for use with computers to evaluate the performance of NH₃-H₂O intermittent solar refrigerator" *Energy Conversion and Managment*, V.30, No. 3, P.315-327 (1990).
8. J.A. Duffie et al. "A study of solar air conditioner", *Mech. Eng.* Vol.85, P.31-35 (August 1963).



9. M.A. Hammad, M.S. Audi. "Performance of a solar LiBr-Water absorption refrigeration system", *Renewable Energy* Vol.2, No.3, P.275-282 (June 1992).
10. P. Schmidt, Worsqe, "Solar refrigeration by means of a solide-absorption process". Report F.30-78.01 Technical University of Denmark (1978).
11. O.C. LLoeje, A.N, Ndili, S.O, Enibe "Computer simulation of a CaCl₂ solid adsorption solar refrigerator". *Energy (Oxford)*. Vol.20, No.11, P.1141-1151 (Nov.1995).
12. De Sa, Valentine, "Experiments with solar energy utilization at dacca". *Solar Energy* 8, 83-90 (1964).

- ۱۳ - مبرد خورشیدی ، سید حمید روانشید، مرکز تحقیقات و کاربردهای انرژی های نو، سازمان انرژی اتمی ایران، (بهمن ماه ۱۳۶۴).
- ۱۴ - مبرد آمونیاکی، سید حمید روانشید، مرکز تحقیقات و کاربردهای انرژی های نو، سازمان انرژی اتمی ایران، (اردیبهشت ماه ۱۳۶۱).

Intermittent solar refrigeration system

A. Jilavi, M. Khalagi Asadi

Center for renewable energy research and application,
AEOI, P.O. Box 14155-1339, Tehran-Iran

Abstract

An intermittent solar refrigeration system using ammonia as refrigerant and water as absorbent, is fabricated and tested in the Center for Renewable Energy Research and Application. In this system, using solar flat plate collectors, ammonia is separated from the water - ammonia solution with quality 60% , during the day and its cooling effect happens during the night time. The system can be used in areas with high solar intensity in Iran.

A comparison between the theoretical and experimental results shows that the average amount of coefficient of performance (COP) are close ($COP_{the} = 0.485$, $COP_{exp} = 0.432$). This result represents the potential accessibility to temperature below 10°C, while the ambient temperature is about 30°C.