



بررسی عملکرد سیستم تبرید جذبی تک اثره لیتیوم برماید-آب متصل به گردآورنده فتوولتائیک حرارتی

امید شهریاری زنگنه، فرامرز سرحدی*

گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

تاریخچه داوری:

دریافت: ۲۷ خرداد ۱۳۹۵
بازنگری: ۵ بهمن ۱۳۹۵
پذیرش: ۱۵ اسفند ۱۳۹۵
ارائه آنلاین: ۲۳ اسفند ۱۳۹۵

کلمات کلیدی:

سیستم تبرید جذبی خورشیدی
سیکل تک اثره لیتیوم برماید-آب
تحلیل انرژی
گردآورنده فتوولتائیک حرارتی
ضریب عملکرد

چکیده: در پژوهش حاضر به بررسی عملکرد سیستم تبرید جذبی تک اثره لیتیوم برماید-آب متصل به گردآورنده‌های فتوولتائیک حرارتی پرداخته شده است. اجزاء اصلی سیستم شامل ژنراتور گرما، اواپراتور، کندانسور، جذب‌کننده، مبدل حرارتی، پمپ، شیرهای انبساط و گردآورنده‌های PV/T می‌باشد. معادلات حاکم بر مسئله توسط نوشتن بقای جرم، غلظت و قانون اول ترمودینامیک برای اجزاء سیستم به دست آمده است و به صورت عددی حل شده است. اعتبارسنجی نتایج شبیه‌سازی با داده‌های تجربی پژوهش‌های گذشته انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد که یک تعداد مطلوبی برای گردآورنده‌های PV/T وجود دارد که مقدار آن ۵۰ عدد با مساحت سطح کل ۵/۳۸ مترمربع می‌باشد و می‌تواند یک بار سرمایشی در حدود ۵ کیلووات را تأمین نماید. در انتها تأثیر پارامترهای مختلف عملکردی بر ضریب عملکرد روزانه سیکل تبرید خورشیدی بررسی شده است. افزایش دمای ژنراتور گرما، دمای کندانسور و دمای جذب‌کننده باعث کاهش ضریب عملکرد روزانه سیستم تبرید خورشیدی می‌شود. در حالی که افزایش دمای اواپراتور افزایش ضریب عملکرد روزانه سیستم تبرید خورشیدی را به دنبال دارد. استفاده از گردآورنده‌های PV/T علاوه بر تأمین حرارت ورودی مورد نیاز در ژنراتور گرما می‌تواند توان مصرفی پمپاژ در سیکل ترکیبی و توان الکتریکی اضافه جهت سایر مصارف در اختیار گذارد.

۱- مقدمه

سیال عامل در سیستم را فراهم می‌آورد. از سوی دیگر به دلیل ترکیب مدول فتوولتائیک و گردآورنده خورشیدی در یک سیستم یکپارچه می‌توان از فضای بهینه نصب نیز بهره برد. پژوهش‌های متعددی در زمینه‌ی سیستم‌های تبرید جذبی خورشیدی انجام شده است. اولین بار سیستم سرمایش جذبی خورشیدی در نمایشگاه بین‌المللی پاریس در سال ۱۸۷۸، توسط آگوستین مویات ارائه شد که این سیستم بر اساس طرح ارائه شده توسط ادموند کاره ساخته شده بود [۲]. کوریمنس و همکاران [۳] در سال ۱۹۹۰ به بررسی عملکرد یک سیستم تبرید جذبی ترکیبی خورشیدی آب-آمونیاک و لیتیوم برماید-آب در آتن پرداختند. در سیستم مورد بررسی آن‌ها حرارت ورودی به واحد آب-آمونیاک ژنراتور گرما از خورشید و حرارت ورودی به واحد لیتیوم برماید-آب ژنراتور گرما از حرارت تولیدی توسط جذب‌کننده و کندانسور واحد آب-آمونیاک تأمین می‌شد. آن‌ها مقدار سرمایش تولیدی توسط سیستم مورد بررسی خود را در حدود ۳ گیگاژول بر مترمربع سال به دست آوردند. فلوریدس و همکاران [۴] در سال ۲۰۰۲ به شبیه‌سازی یک سیستم سرمایش جذبی خورشیدی در مقیاس خانگی پرداختند. سیکل تبرید مورد مطالعه آن‌ها یک سیستم تبرید جذبی تک اثره لیتیوم برماید-آب با ظرفیت سرمایش ۱۱ کیلووات بود. آن‌ها مقدار حرارت ورودی لازم در ژنراتور گرما را جهت تأمین بار سرمایشی ۱۱ کیلووات در اواپراتور محاسبه کردند و سپس بر مبنای آن مساحت بهینه‌ی گردآورنده‌های خورشیدی لازم را برابر با ۴۵ مترمربع به دست آوردند. اصیل‌زاده و همکاران [۵] در سال ۲۰۰۵ به شبیه‌سازی و

از آن جایی که انسان بخش عمده‌ای از وقت خود را در محیط بسته (منزل و محیط کار) سپری می‌کند لذا تأمین شرایط آسایش حرارتی یکی از نیازهای اصلی او به شمار می‌رود. آماده‌سازی این شرایط حرارتی، ذهن اندیشمندان زیادی را به خود مشغول کرده است. یکی از سیستم‌های مربوط به سرمایش و تهویه مطبوع، چیلر جذبی است. آزمایش میشل فاراده در سال ۱۸۲۴ میلادی اساس کار سیستم‌های تبرید جذبی^۱ را ایجاد کرد [۱]. وی در یک تحقیق تجربی با استفاده از کلرید نقره به عنوان جاذب آمونیاک و یک لوله ۸ شکل، متوجه شد که آن قسمت از لوله که در معرض تغییر فاز آمونیاک از مایع به بخار است سرد شده و گرمای محیط را جذب می‌کند. این پدیده باعث شکل‌گیری سیستم تبرید جذبی شد. یک سیستم تبرید جذبی برای عملکرد خود نیاز به یک منبع حرارتی ورودی دارد. می‌توان انرژی حرارتی ورودی به سیستم تبرید جذبی را از انرژی خورشیدی توسط گردآورنده‌های فتوولتائیک حرارتی^۲ تأمین کرد. گردآورنده PV/T از ترکیب گردآورنده خورشیدی معمولی و مدول فتوولتائیک حاصل می‌شود. در گردآورنده PV/T، مدول فتوولتائیک از خنک‌سازی سیال عامل بهره می‌برد لذا بازده الکتریکی آن افت نکرده و همچنین توان الکتریکی لازم برای به چرخش در آوردن

- 1 Absorption refrigeration systems
- 2 Photovoltaic/thermal (PV/T)

نویسنده عهده‌دار مکاتبات: fsarhaddi@eng.usb.ac.ir

بهینه‌سازی یک سیستم تبرید جذبی خورشیدی با استفاده از گردآورنده‌های لوله‌ای خلاء پرداختند. سیستم بهینه‌ی آن‌ها نشان می‌دهد که به ازای هر یک تن تبرید، ۳۵ مترمربع گردآورنده لوله‌ای خلاء خورشیدی مورد نیاز است. کیلیک و کاینالکی [۶] در سال ۲۰۰۷ به تحلیل قانون اول و دوم ترمودینامیک برای یک سیکل تبرید جذبی تک اثره لیتیوم برماید-آب، در حالت متغیر بودن پارامترهای عملکردی پرداختند. آن‌ها یک مدل ریاضیاتی بر پایه‌ی روش اکسرژی برای تخمین عملکرد سیستم، افت اکسرژی همهی اجزاء و افت اکسرژی کلی سیستم معرفی کردند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که اکسرژی در پمپ، شیر انبساط و مبدل‌های حرارتی به خصوص در مبدل حرارتی مبرد افت پیدا می‌کند. همچنین بیشترین افت اکسرژی صرفنظر از شرایط کاری مربوط به ژنراتور گرما است. ماتئوس و اولویرا [۷] در سال ۲۰۰۹ به تحلیل انرژی و اقتصادی یک مجموعه سرمایشی جذبی خورشیدی و گرمایش در ساختمان‌های متفاوت برای شرایط آب و هوایی مختلف پرداختند. آن‌ها بررسی‌های خود را روی ساختمان‌های مسکونی و اداری و هتل‌ها در شهرهای برلین، لیسبن و رم انجام دادند. نتایج مطالعه‌ی آن‌ها نشان داد که سیستم‌های ترکیبی سرمایش و گرمایش برای ساختمان‌ها به خصوص در مناطق جنوب اروپا، کاربردی‌تر است و استفاده از این سیستم‌ها باعث کاهش آلودگی هوا شده است و از نظر اقتصادی نیز مقرون به صرفه می‌باشد. کوشیک و آرورا [۸] در سال ۲۰۰۹ به مطالعه‌ی تأثیر دمای ژنراتور گرما، جذب‌کننده و اواپراتور بر کارایی انرژی و اکسرژی سیستم‌های جذبی پرداختند. آن‌ها تغییرات ضریب عملکرد سیستم جذبی تک اثره را بین ۰/۶ تا ۰/۷۵ و تغییرات ضریب عملکرد سیستم جذبی دو اثره را بین ۱ تا ۱/۲۸ گزارش کرده‌اند. ایولا و همکاران [۹] در سال ۲۰۱۳ به ارائه یک مدل ریاضیاتی برای شبیه‌سازی دینامیکی یک سیستم تبرید جذبی خورشیدی تک اثره لیتیوم برماید-آب پرداختند. مدل مورد بررسی آن‌ها بر پایه‌ی بالانس جرم و انرژی برای تمام اجزای سیکل انجام شده است. نتایج شبیه‌سازی مدل آن‌ها در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی از دقت مناسبی برخوردار است. به طوری که در دو روز عملیاتی نتایج شبیه‌سازی برای توان سرمایشی و ضریب عملکرد در مقایسه با داده‌های آزمایشگاهی دارای خطای ۵ درصد می‌باشد. صابری‌مهر و همکاران [۱۰] در سال ۲۰۱۳ یک سیکل تبرید گکس اجکتوری پیشنهاد کردند و سپس به مقایسه عملکرد ترمودینامیکی آن با سیکل تبرید تک اثره اجکتوری پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان می‌دهد که بازده قانون اول و دوم سیکل گکس اجکتوری به ترتیب در حدود ۲۵ و ۱۶ درصد نسبت به سیکل تبرید جذبی تک اثره اجکتوری بیشتر می‌باشد. چوگای و زید [۱۱] در سال ۲۰۱۴ به تحلیل انرژی چیلر جذبی تک اثره در یک تولیدی مواد شوینده در الجزایر پرداختند. آن‌ها از بخار مورد نیاز برای تولیدی پیش‌گفته هم به عنوان ورودی مواد پاک‌کننده و هم به عنوان انرژی حرارتی مورد نیاز برای سیستم تبرید جذبی تک اثره لیتیوم برماید-آب استفاده کردند. هدف از انجام این کار صرفه‌جویی در مصرف انرژی و حفاظت از محیط زیست بود. آن‌ها به بررسی تأثیر تغییرات درجه حرارت بر عملکرد سیستم و بار حرارتی

سیستم پرداختند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که با افزایش دمای اواپراتور و دمای ژنراتور گرما بار حرارتی سیستم کاهش و ضریب عملکرد افزایش می‌یابد. کاینالکی و همکاران [۱۲] در سال ۲۰۱۵ به تحلیل انرژی و اکسرژی یک سیکل تبرید جذبی لیتیوم برماید-آب با منابع حرارتی ورودی مختلف به سیکل (مانند آب داغ، هوای داغ و بخار) پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که اتلاف اکسرژی سیکل مورد مطالعه در هنگام به کار بردن هوای داغ و آب داغ به عنوان منبع حرارتی ورودی به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار خود را دارد. کنفی و همکاران [۱۳] در سال ۲۰۱۵ عملکرد یک سیستم سرمایش جذبی خورشیدی تک اثره لیتیوم برماید-آب را با دو نوع گردآورنده صفحه تخت و لوله‌ای خلاء بررسی کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که برای تأمین ۹۰ کیلووات حرارت ورودی به ژنراتور گرما، در صورت استفاده از گردآورنده صفحه تخت به ۲۲۵/۵ مترمربع و در صورت استفاده از گردآورنده لوله‌ای خلاء به ۱۷۵/۱ مترمربع نیاز می‌باشد. تپه‌کبودی و همکاران [۱۴] در سال ۲۰۱۵ به تحلیل ترمودینامیکی و انرژی سیکل تبرید جذبی تک اثره متصل به گردآورنده‌های صفحه تخت و سهموی خورشیدی برای شهر کیش پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان می‌دهد که گردآورنده سهموی نسبت به گردآورنده صفحه تخت با جذب بیشتر شدت تابش خورشید و تأمین توان حرارتی بیشتر در ژنراتور گرما باعث سهولت بیشتر جدایش مبرد آمونیاک از جاذب آب شده و موجب عملکرد بهتر سیکل تبرید جذبی خورشیدی می‌گردد. شیرازی و همکاران [۱۵] در سال ۲۰۱۶ به مطالعه‌ی پارامتری سیستم‌های تبرید جذبی خورشیدی تک اثره، دو اثره و سه اثره با استفاده از گردآورنده‌های خورشیدی رایج در بازار پرداختند. آن‌ها چیلر جذبی تک اثره را با گردآورنده لوله‌ای خلاء و چیلرهای جذبی دو اثره و سه اثره با گردآورنده سهموی، میکرومترکزکننده‌های فرسول و صفحه تخت خلاء مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که چیلر جذبی دو اثره ترکیب شده با گردآورنده صفحه‌ای تخت خلاء در شرایط اقلیمی مختلف، هم از نظر انرژی و هم از نظر اقتصادی عملکرد بهتری دارد.

نوآوری پژوهش حاضر:

در پژوهش‌های گذشته [۱۵-۳]، عملکرد سیستم‌های تبرید جذبی متصل به گردآورنده‌های خورشیدی معمولی بررسی شده است. ولی در تحقیق حاضر به بررسی اتصال گردآورنده‌های فتوولتائیک حرارتی به عنوان منبع حرارت ورودی به سیستم تبرید جذبی تک اثره لیتیوم برماید-آب پرداخته می‌شود. شایان ذکر است گردآورنده‌های فتوولتائیک حرارتی می‌توانند ضمن تأمین انرژی حرارتی ورودی به ژنراتور گرما، توان الکتریکی لازم جهت پمپاژ سیال عامل را در سیکل نیز فراهم آوردند.

۲- معادلات حاکم بر مسئله

در شکل ۱ سیستم تبرید جذبی تک اثره متصل به گردآورنده‌های PV/T و حجم کنترل مربوطه نشان داده شده است. مطابق با شکل ۱ اجزاء اصلی سیستم تبرید جذبی خورشیدی شامل اواپراتور، جذب‌کننده، کندانسور، ژنراتور

دائم به صورت زیر معرفی می‌شود [۱۶]:

$$\sum \dot{m}_{in} = \sum \dot{m}_{out} \quad (۱)$$

$$\sum (\dot{m}x)_{in} = \sum (\dot{m}x)_{out} \quad (۲)$$

$$\sum \dot{Q} - \sum \dot{W} = \sum (\dot{m}h)_{out} - \sum (\dot{m}h)_{in} \quad (۳)$$

در معادلات قبل پارامترهای \dot{W} و \dot{Q} ، h ، x ، \dot{m} به ترتیب دبی جرمی بر حسب kg/s ، غلظت لیتیوم برماید در محلول، آنتالپی بر حسب kJ/kg ، نرخ حرارت بر حسب W و نرخ کار بر حسب W می‌باشد. همچنین اندیس‌های in و out به ترتیب بیانگر جریان ورودی و خروجی در حجم کنترل می‌باشد. معادلات بقاء برای اجزاء مختلف سیکل تبرید مذکور به قرار زیر است [۱۱]:
 اواپراتور:

$$\dot{m}_9 = \dot{m}_{10} \quad (۴)$$

$$\dot{Q}_{eva} = \dot{m}_9(h_{10} - h_9) \quad (۵)$$

ابزوربر:

$$\dot{m}_{10} + \dot{m}_6 = \dot{m}_1 \quad (۶)$$

$$\dot{m}_1 x_{ss} = \dot{m}_6 x_{ws} \quad (۷)$$

$$\dot{Q}_{abs} = \dot{m}_1 h_1 - \dot{m}_{10} h_{10} - \dot{m}_6 h_6 \quad (۸)$$

در این جا پارامترهای x_{ws} و x_{ss} به ترتیب غلظت لیتیوم برماید در محلول غلیظ (محلولی که میزان آب بیشتری دارد) و محلول رقیق (محلولی که میزان آب کمتری دارد) می‌باشد.
 پمپ شماره ۱:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 \quad (۹)$$

$$x_1 = x_2 \quad (۱۰)$$

$$\dot{W}_{pl} = \dot{m}_1(h_1 - h_2) \quad (۱۱)$$

که در این جا \dot{W}_{pl} توان ورودی به پمپ شماره ۱ می‌باشد.
 میدل حرارتی محلول:

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_3 \quad (۱۲)$$

$$\dot{m}_4 = \dot{m}_5 \quad (۱۳)$$

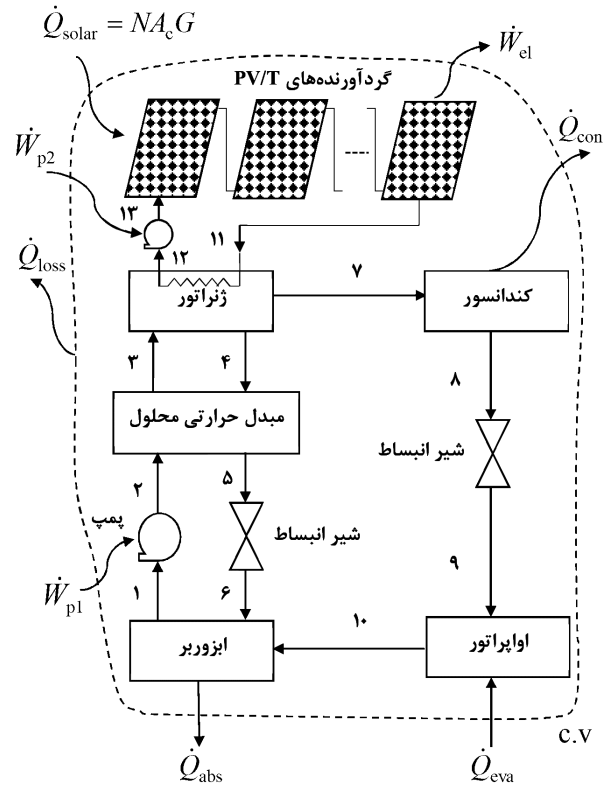


Fig. 1. Single effect absorption cooling system connected to PV/T collectors and the corresponding control volume

شکل ۱: سیستم تبرید جذبی تک اثره متصل به گردآورنده‌های PV/T و حجم کنترل مربوطه

گرما، شیر انبساط محلول، شیر انبساط میرد، پمپ و گردآورنده‌های PV/T می‌باشد. سیال جاذب-میرد در اغلب سیستم‌های تبرید جذبی لیتیوم برماید-آب است.

نحوه عملکرد سیستم تبرید جذبی بدین گونه است که ماده‌ی میرد در داخل اواپراتور با گرفتن گرمای محیط بخار شده و در جذب‌کننده توسط ماده‌ی جاذب جذب می‌شود. محلول به وجود آمده در ابزوربر به وسیله‌ی پمپ به ژنراتور گرما منتقل شده و در آن جا با گرفتن حرارت توسط گردآورنده‌های PV/T، بخار میرد از ماده‌ی جاذب جدا می‌گردد. ماده‌ی جاذب به جذب‌کننده بر می‌گردد و بخار میرد به منظور مایع شدن وارد کندانسور می‌شود. سپس با عبور از شیر انبساط، فشار میرد پایین می‌آید و برای تکمیل سیکل وارد اواپراتور می‌گردد. همان طور که مشخص است تنها پمپ، احتیاج به کار مکانیکی دارد که بسیار کمتر از کار کمپرسور در سیستم‌های تبرید تراکمی است. هدف از تحقیق حاضر تحلیل انرژی سیستم تبرید جذبی تک اثره لیتیوم برماید-آب متصل به گردآورنده‌های PV/T برای یک روز آفتابی نمونه در شهر زاهدان می‌باشد. بدین منظور به دما، دبی جرمی، آنتالپی، غلظت و یکسری پارامتر عملکردی دیگر در نقاط مختلف سیکل نیاز می‌باشد. روابط لازم جهت به دست آوردن پارامترهای مذکور توسط نوشتن معادلات بقای جرم، غلظت و قانون اول ترمودینامیک برای اجزاء مختلف سیکل تبرید به دست می‌آید. شکل کلی معادلات بقای جرم، غلظت و قانون اول ترمودینامیک در حالت

مجموعه گردآورنده‌های PV/T که به صورت سری به هم متصل می‌باشند تأمین می‌شود. در این جا به دلیل اختصار، جزئیات استخراج معادلات حاکم بر مجموعه گردآورنده‌های PV/T ذکر نمی‌شود [۲۰-۱۸]. نرخ حرارت مفید جذب شده توسط N گردآورنده PV/T که به صورت سری به هم متصل شده‌اند به صورت زیر محاسبه می‌شود [۲۰].

$$\dot{Q}_{gen} = NA_c F_R \left[\frac{1 - (1 - K_K)^N}{NK_K} \right] \times [h_{p1} h_{p2} (\alpha\tau)_{eff} G - U_L (T_{13} - T_a)] \quad (28)$$

$$K_K = \frac{A_c F_R U_L}{\dot{m} C_p} \quad (29)$$

$$F_R = \frac{\dot{m} C_p}{U_L A_c} \left[1 - \exp \left\{ - \frac{F' U_L A_c}{\dot{m} C_p} \right\} \right] \quad (30)$$

$$T_{out,i} = \left[\frac{h_{p1} h_{p2} (\alpha\tau)_{eff} G}{U_L} + T_a \right] \left(1 - \exp \left(- \frac{i F' A_c U_L}{\dot{m} C_p} \right) \right) + T_{13} \exp \left(- \frac{i F' A_c U_L}{\dot{m} C_p} \right) \quad (31)$$

در این جا پارامترهای G ، T_a ، $T_{out,i}$ ، N ، m ، F' ، F_R ، $(\alpha\tau)_{eff}$ ، A_c ، U_L ، i ، h_{p1} و h_{p2} به ترتیب شدت تابش خورشیدی بر حسب W/m^2 ، دمای محیط بر حسب $^{\circ}C$ ، دمای آب خروجی از گردآورنده PV/T شماره i بر حسب $^{\circ}C$ ، تعداد گردآورنده‌های PV/T، دبی جرمی در مجموعه گردآورنده‌های PV/T بر حسب kg/s ، ضریب بازده فین، ضریب برداشت گرما، مساحت سطح گردآورنده PV/T بر حسب m^2 ، ضریب جذب-انتقال مؤثر، ضریب اتلاف حرارت کلی از گردآورنده PV/T بر حسب W/m^2 ، $^{\circ}C$ ، عدد متناظر با گردآورنده PV/T شماره i و تعدادی ضرایب جرمی می‌باشند. همچنین در مرجع [۲۱] روابط لازم برای محاسبه پارامترهای دمای سیال ورودی و خروجی به مجموعه گردآورنده‌های PV/T و دبی جرمی در مجموعه گردآورنده‌های PV/T توسط روابط مبدل‌های حرارتی به صورت زیر ارائه شده است:

$$\varepsilon_{gen} = \frac{\dot{Q}_{gen}}{\dot{Q}_{gen,max}} = 1 - \exp(-NTU) \quad (32)$$

$$\dot{Q}_{gen} = \dot{m} C_p (T_{11} - T_{13}) \quad (33)$$

$$\dot{Q}_{gen,max} = \dot{m} C_p (T_{11} - T_4) \quad (34)$$

$$x_2 = x_3 \quad (14)$$

$$x_4 = x_5 \quad (15)$$

همچنین مقادیر دماهای T_3 و T_5 از روابط زیر محاسبه می‌شود [۱۷]:

$$T_3 = T_{abs} + E_L \frac{x_{ss} C_{p,4}}{x_{ws} C_{p,1}} (T_{gen} - T_{abs}) \quad (16)$$

$$T_5 = T_{gen} - E_L (T_{gen} - T_{abs}) \quad (17)$$

در این جا پارامترهای T_{gen} ، T_{abs} ، C_p و E_L به ترتیب دمای ژنراتور گرما بر حسب $^{\circ}C$ ، دمای جذب‌کننده بر حسب $^{\circ}C$ ، ظرفیت گرمایی بر حسب J/kg ، $^{\circ}C$ و بازده مؤثر مبدل حرارتی می‌باشد.

کندانسور:

$$\dot{m}_7 = \dot{m}_8 \quad (18)$$

$$\dot{Q}_{con} = \dot{m}_7 (h_8 - h_7) \quad (19)$$

شیر انبساط مبرد:

$$\dot{m}_8 = \dot{m}_9 \quad (20)$$

$$h_8 = h_9 \quad (21)$$

شیر انبساط محلول:

$$\dot{m}_5 = \dot{m}_6 \quad (22)$$

$$h_5 = h_6 \quad (23)$$

ژنراتور گرما:

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 + \dot{m}_7 \quad (24)$$

$$\dot{Q}_{gen} = \dot{m}_4 h_4 + \dot{m}_7 h_7 - \dot{m}_3 h_3 \quad (25)$$

پمپ شماره ۲:

$$\dot{m}_{11} = \dot{m}_{12} = \dot{m}_{13} = \dot{m} \quad (26)$$

$$\dot{W}_{p2} = \dot{m} (h_{12} - h_{13}) \quad (27)$$

که در این جا \dot{W}_{p2} توان ورودی به پمپ شماره ۲ می‌باشد.

مجموعه گردآورنده‌های PV/T:

در تحقیق حاضر نرخ حرارت ورودی به ژنراتور گرما (\dot{Q}_{gen}) توسط

$$COP = \frac{\dot{Q}_{eva}}{\dot{Q}_{gen}} \quad (40)$$

راندمان الکتریکی گردآورنده‌های PV/T:

راندمان الکتریکی گردآورنده‌های PV/T به صورت نسبت نرخ انرژی الکتریکی خالص خروجی از مدول‌های فتوولتائیک به نرخ انرژی خورشیدی جذب‌شده توسط آن‌ها تعریف می‌شود.

$$\eta_{el} = \frac{\dot{W}_{el} - \dot{W}_{p1} - \dot{W}_{p2}}{A_{PV} (\alpha\tau)_{eff} NG} \quad (41)$$

۳- اعتبارسنجی

معادلات حاکم بر مسئله یک دستگاه معادلات جبری را تشکیل می‌دهد. جهت حل دستگاه مذکور از نرم‌افزار حل معادلات مهندسی^۱ استفاده شده است.

الگوریتم حل معادلات حاکم بر مسئله سیکل تبرید جذبی خورشیدی مورد مطالعه به صورت زیر است:

۱. پارامترهای مفروض ورودی شامل دمای ژنراتور گرما (T_{gen}),

دمای اواپراتور (T_{eva}), دمای کندانسور (T_{con}), دمای جذب‌کننده

(T_{abs}), تعداد گردآورنده‌های PV/T (N), بازده مؤثر مبدل حرارتی

(E_L), شدت تابش خورشیدی (G), دمای محیط (T_a) و تعدادی

ضرایب انتقال حرارت مربوط به گردآورنده PV/T و مبدل حرارتی

مقداردهی می‌شوند.

۲. با توجه به داده‌های ورودی گام ۱، معادلات برای تک‌تک اجزای

سیکل حل می‌شود.

۳. پارامترهای خروجی شامل دما، فشار، آنتالپی و آنتروپی نقاط مختلف

سیکل و نرخ حرارت‌های ژنراتور گرما، کندانسور و جذب‌کننده از

حل معادلات به دست می‌آید.

۴. در نهایت ضریب عملکرد محاسبه می‌گردد.

با عنایت به این که تحقیق تجربی یا عددی منطبق بر تحقیق حاضر

یافت نشد اعتبارسنجی تحقیق عددی حاضر در طی دو بخش مجزا صورت

می‌گیرد. در بخش اول نتایج شبیه‌سازی سیستم تبرید جذبی تک اثره تحقیق

حاضر با نتایج تئوری تحقیق فلوریدس و همکاران [۴] اعتبارسنجی شده و

در بخش دوم اعتبارسنجی نتایج عددی مربوط گردآورنده PV/T با داده‌های

آزمایشگاهی دستگاه آزمایش گردآورنده PV/T مستقر در گروه مهندسی

مکانیک دانشگاه سیستان و بلوچستان صورت می‌گیرد. جهت مقایسه نتایج

عددی با داده‌های تجربی یا تئوری خطای نسبی متوسط توسط رابطه زیر

محاسبه شده است.

$$NTU = \frac{(UA)_{gen}}{\dot{m}C_p} \quad (35)$$

برای جلوگیری از پدیده کریستالیزاسیون در ژنراتور گرما باید دمای سیال خروجی از مجموعه گردآورنده‌های PV/T که به ژنراتور گرما وارد می‌شود از رابطه زیر پیروی کند [۲۲]:

$$T_{11} = T_{gen} + 18 \quad (36)$$

در روابط قبل پارامترهای ε_{gen} , $\dot{Q}_{gen,max}$, NTU و $(UA)_{gen}$ به ترتیب بازده مبدل حرارتی، ماکزیم انتقال حرارت تئوری ممکن در مبدل حرارتی بر حسب W ، تعداد واحدهای انتقال حرارت و حاصل ضرب ضریب انتقال حرارت کلی در سطح انتقال حرارت مربوط به مبدل حرارتی بر حسب $W/^\circ C$ می‌باشند.

دمای سطح هر کدام از گردآورنده‌های PV/T در مجموعه سری از رابطه زیر محاسبه می‌گردد [۱۸].

$$T_{c,i} = \frac{U_T [h_{pl} (\alpha\tau)_{eff} G + U_{iT} T_a + U_w T_{out,i}] + (\alpha\tau)_{eff} G + U_i T_a}{(U_i + U_T)(U_{iT} + U_w) + U_i + U_T} \quad (37)$$

در این جا عبارات U ضرایب انتقال حرارت کلی بر حسب $W/m^2 \cdot ^\circ C$ می‌باشند که جزئیات محاسبه آن‌ها در مراجع [۲۰-۱۸] ذکر شده است. با عنایت به این که دمای سطح هر کدام از گردآورنده‌های PV/T در مجموعه سری با هم فرق می‌کند لذا توان الکتریکی خروجی هر کدام از آن‌ها بر حسب دمای سطح متناظرش از رابطه زیر محاسبه می‌شود [۱۸].

$$\dot{w}_{eli} = \eta_{el,ref} G A_c [1 - 0.0045(T_{c,i} - T_{a,ref})] \quad (38)$$

که در آن $T_{a,ref}$ و $\eta_{el,ref}$ به ترتیب بازده مدول فتوولتائیک در شرایط مرجع و دمای محیط بر حسب $^\circ C$ در شرایط مرجع می‌باشند.

در نهایت توان الکتریکی خروجی از مجموعه گردآورنده‌های PV/T مجموع توان الکتریکی خروجی از هر گردآورنده PV/T خواهد بود.

$$\dot{W}_{el} = \sum_{i=1}^N \dot{w}_{eli} \quad (39)$$

ضریب عملکرد سیکل تبرید:

ضریب عملکرد سیکل تبرید به صورت نسبت نرخ انرژی مطلوب مورد نظر در سیکل به نرخ انرژی خالص ورودی به سیکل تعریف می‌شود.

نرخ انرژی مطلوب خروجی از سیکل شامل بار سرمایشی در اواپراتور می‌باشد. همچنین نرخ انرژی خالص ورودی به سیکل تبرید شامل نرخ انرژی حرارت ورودی به ژنراتور گرما است که توسط گردآورنده‌های PV/T تأمین می‌شود.

در نهایت ضریب عملکرد سیکل تبرید مورد مطالعه به صورت زیر معرفی می‌گردد.

آزمایش در شکل ۲ نشان داده شده است. گردآورنده PV/T مذکور از یک مدول فتوولتائیک صنایع الکترونیک سازان سمنان، یک صفحه جاذب مسی و چهار مجاری جریان آب تشکیل شده است. ۳۶ عدد سلول خورشیدی روی سطح گردآورنده PV/T با فواصل یکسان چیده شده است. سطح کل گردآورنده 0.77 m^2 می باشد که در آن 0.55 m^2 توسط سلول های فتوولتائیک پوشیده شده است. با ترکیب پنل فتوولتائیک و گردآورنده خورشیدی از فضای نصب به نحو مطلوبی استفاده می شود.



Fig. 2. Experimental setup picture of PV/T collector located in Department of Mechanical Engineering, University of Sistan and Baluchestan

شکل ۲: تصویر دستگاه آزمایش گردآورنده PV/T مستقر در گروه مهندسی مکانیک دانشگاه سیستان و بلوچستان

پارامترهای طراحی گردآورنده PV/T مورد بررسی در جدول ۳ داده شده است.

آزمایشات مربوطه روی گردآورنده مذکور در پشت بام گروه مهندسی مکانیک دانشگاه سیستان و بلوچستان برای یک روز کاملاً آفتابی در تاریخ ۱۳۹۴/۸/۲۸ از ساعت ۹ الی ۱۵ با فواصل زمانی نیم ساعت انجام شده است. آزمایشات مربوطه تنها برای یک گردآورنده PV/T انجام شده است. این گردآورنده در حلقه باز کار می کند و به جهت این که بتوان دمای آب خروجی از آن را در ساعات مختلف با هم مقایسه کرد آب ورودی به گردآورنده PV/T از شبکه آب شهری با یک دمای تقریباً ثابت 24°C تأمین شده است.

در شکل ۳ داده های شدت تابش خورشیدی بر حسب زمان مربوط به گردآورنده PV/T داده شده است. شایان ذکر است شدت تابش خورشیدی گزارش شده کل تابش مؤثر دریافتی (تابش مستقیم و پخش) بر روی سطح گردآورنده PV/T می باشد. مطابق با این شکل، حداکثر شدت تابش خورشیدی با مقدار 775 W/m^2 در حوالی ظهر رخ داده است. در شکل ۴ مقایسه ای بین مقادیر شبیه سازی دمای سطح گردآورنده

$$Er = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{X_{sim,i} - X_{exp(the),i}}{X_{exp(the),i}} \right| \times 100 \quad (42)$$

که در آن X و n مقدار داده شبیه سازی یا تجربی (تئوری) و تعداد آزمایشات انجام شده می باشد. همچنین اندیس های exp ، the و sim به ترتیب بیانگر مقادیر تجربی، تئوری و شبیه سازی می باشند.

اعتبارسنجی سیکل تبرید جذبی:

سیکل تبرید مورد مطالعه فلوریدس و همکاران [۴] یک سیستم تبرید جذبی تک اثره لیتیوم برماید-آب با ظرفیت سرمایش ۱۱ کیلووات می باشد. هدف از تحقیق آن ها محاسبه مقدار حرارت ورودی لازم در ژنراتور گرما (\dot{Q}_{gen}) برای تأمین بار سرمایشی $\dot{Q}_{eva} = 11 \text{ kW}$ در اواپراتور می باشد. داده های ورودی در مسئله مورد تحلیل آن ها در جدول ۱ داده شده است.

جدول ۱: داده های ورودی برای تحلیل سیکل تبرید فلوریدس و همکاران [۴]

Table 1. Input data for the cooling cycle of Florides et al. [4]

پارامتر	مقدار
دمای ژنراتور گرما (T_{gen})	75°C
دمای اواپراتور (T_{eva})	6°C
دمای کندانسور (T_{con})	$31/5^\circ\text{C}$
دمای جذب کننده (T_{abs})	$34/9^\circ\text{C}$
بازده مؤثر میدل حرارتی (EL)	$0/6$
بار سرمایشی لازم در اواپراتور (\dot{Q}_{eva})	11 kW

در جدول ۲ نتایج اعتبارسنجی سیکل تبرید جذبی آورده شده است.

جدول ۲: نتایج اعتبارسنجی سیکل تبرید جذبی

Table 2. Validation results of the absorption cooling cycle

پارامتر	فلوریدس و همکاران [۴] (kW)	تحقیق حاضر (kW)	درصد خطا (%)
نرخ حرارت در جذب کننده (\dot{Q}_{abs})	$14/1$	$13/89$	$1/48$
نرخ حرارت در کندانسور (\dot{Q}_{con})	$11/8$	$11/6$	$1/69$
نرخ حرارت در ژنراتور گرما (\dot{Q}_{gen})	$14/9$	$14/43$	$3/15$

اعتبارسنجی گردآورنده PV/T:

جهت اعتبارسنجی نتایج شبیه سازی گردآورنده PV/T از داده های آزمایشگاهی دستگاه آزمایش مستقر در گروه مهندسی مکانیک دانشگاه سیستان و بلوچستان استفاده شده است. تصویری از گردآورنده PV/T مورد

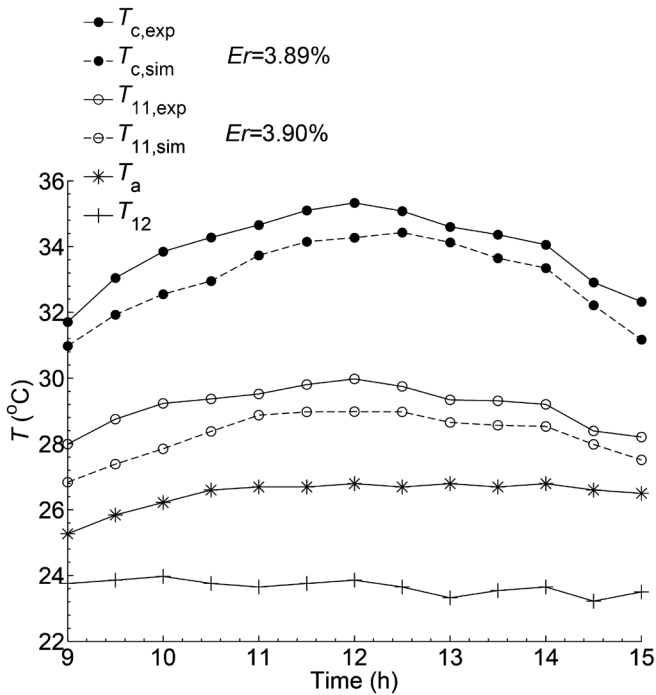


Fig. 4. Comparison between the simulated and experimental value of the various temperatures of PV/T collector

شکل ۴: مقایسه بین مقادیر شبیه‌سازی و آزمایشگاهی دماهای مختلف گردآورنده PV/T

در این شکل پارامترهای T_c ، T_a ، T_{11} و T_{12} به ترتیب دمای سطح گردآورنده PV/T، دمای محیط، دمای آب خروجی از گردآورنده PV/T، دمای آب ورودی به گردآورنده PV/T می‌باشند. همچنین اندیس‌های exp و sim به ترتیب مقادیر آزمایشگاهی و شبیه‌سازی دماها را نشان می‌دهد. با عنایت به این که آب ورودی به گردآورنده PV/T از شبکه آب شهری تأمین شده است لذا مقدار دمای آب ورودی (T_{12}) تقریباً ثابت و از دمای محیط کمتر می‌باشد. همچنین مقدار آزمایشگاهی دمای سطح گردآورنده PV/T متوسط مقادیر دمای ۳۶ سلول فتوولتائیک موجود روی سطح گردآورنده می‌باشد. خطای نسبی میان مقادیر شبیه‌سازی و آزمایشگاهی دمای سطح گردآورنده PV/T و دمای آب خروجی به ترتیب ۳/۸۹٪ و ۳/۹۰٪ می‌باشد. در شکل ۵ مقادیر شبیه‌سازی و آزمایشگاهی توان الکتریکی خروجی از گردآورنده PV/T با هم مقایسه شده است. مقدار خطای نسبی متوسط مربوطه در حدود ۵/۷۶٪ می‌باشد. با توجه به نتایج جدول ۲ و شکل‌های ۴ و ۵ می‌توان گفت که نتایج شبیه‌سازی تحقیق حاضر مطابقت خوبی با داده‌های تئوری و تجربی تحقیقات گذشته دارد.

۴- بررسی نتایج

هدف از تحقیق حاضر بررسی امکان استفاده از گردآورنده‌های PV/T به عنوان منبع حرارت ورودی به ژنراتور گرما در یک سیکل تبرید جذبی تک اثره لیتیم برماید-آب می‌باشد. لذا در سیکل تبرید ترکیبی مورد مطالعه، شار

PV/T و دمای آب خروجی با مقادیر آزمایشگاهی دماهای متناظر انجام شده است.

جدول ۳: پارامترهای طراحی گردآورنده PV/T مورد بررسی [۱۸ و ۱۹]

Table 3. Design parameters of the studied PV/T collector [18, 19]

مقدار	پارامتر
منوکریستالین سیلیکون صنایع الکترونیک‌سازان	مدول فتوولتائیک
۹۰ W	توان الکتریکی اسمی ($\dot{W}_{el,nom}$)
۶۲ W	توان الکتریکی واقعی ($\dot{W}_{el,real}$)
۰/۷۷ m ²	مساحت سطح کل گردآورنده PV/T (A_c)
۰/۵۵ m ²	مساحت سطح مؤثر سلول‌های فتوولتائیک (A_{pv})
۲/۰۶ mA/°C	ضریب دمایی جریان الکتریکی (α)
-۰/۰۷۷ V/°C	ضریب دمایی ولتاژ الکتریکی (β)
۳۶	تعداد سلول‌های فتوولتائیک (N_c)
۰/۸۷۷۲	ضریب جریمه به خاطر حضور لایه فتوولتائیک (h_{p1})
۰/۹۸۴۱	ضریب جریمه به خاطر حضور صفحه جاذب و مجاری جریان (h_{p2})
۰/۸۹۵	ضریب بازده فین (F')
۰/۶۶	ضریب جذب-انتقال مؤثر ($(\alpha\tau)_{eff}$)
۸/۶ W/m ² .°C	ضریب اتلاف حرارت کلی از گردآورنده PV/T (U_L)
۴۲۰۰ J/kg.°C	ظرفیت گرمای ویژه آب (C_p)
۲۵ °C	دمای محیط در شرایط مرجع ($T_{a,ref}$)
۰/۱	راندمان الکتریکی در شرایط مرجع ($\eta_{el,ref}$)

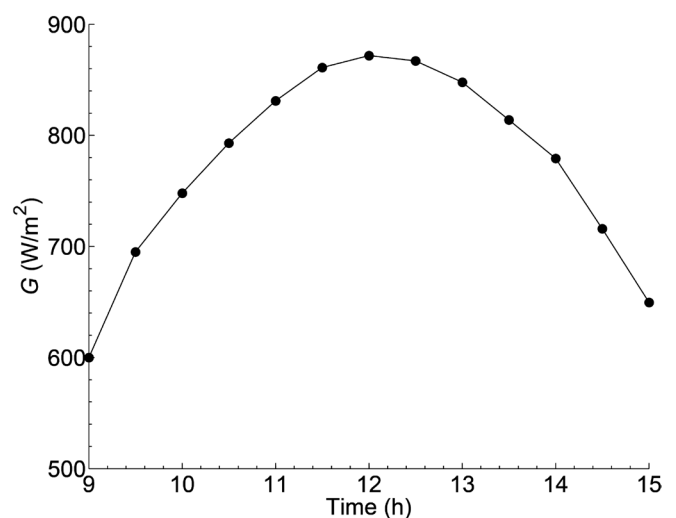


Fig. 3. Data of solar radiation intensity versus time for PV/T collector

شکل ۳: داده‌های شدت تابش خورشیدی بر حسب زمان مربوط به گردآورنده PV/T

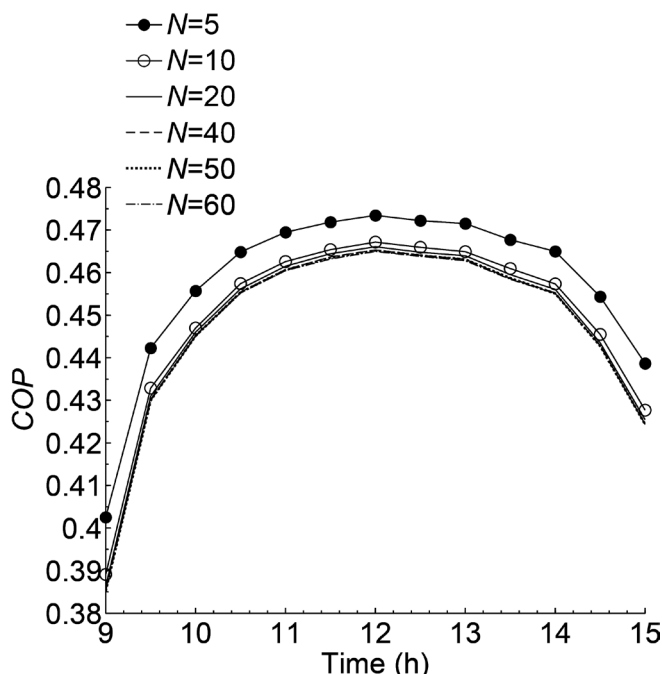


Fig. 6. Coefficient of performance of solar absorption cooling cycle versus time for various PV/T collectors number

شکل ۶: ضریب عملکرد سیکل تبرید جذبی خورشیدی بر حسب زمان به ازای تعداد مختلف گردآورنده‌های PV/T

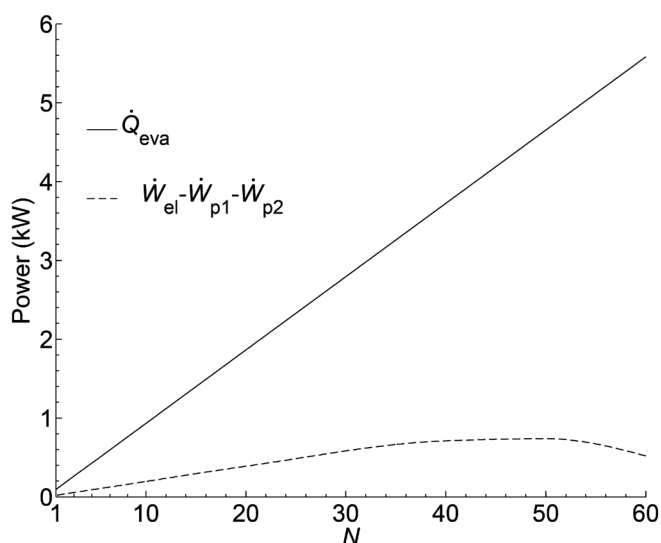


Fig. 7. Cooling load supplied by evaporator and the net output electrical power of PV/T collectors versus PV/T collectors number at 12 noon

شکل ۷: مقدار بار سرمایش قابل تأمین در اواپراتور و توان الکتریکی خالص خروجی از گردآورنده‌های PV/T در ساعت ۱۲ ظهر بر حسب تعداد گردآورنده‌های PV/T

PV/T به صورت صعودی افزایش می‌یابد. از سوی دیگر توان الکتریکی خالص خروجی با افزایش تعداد گردآورنده‌های PV/T تا ۵۰ عدد در ابتدا افزایش یافته و پس از آن به دلیل افزایش توان مصرفی پمپاژ در سیکل شروع به نزول می‌کند. لذا اگر تعداد گردآورنده‌های PV/T برابر با ۵۰ عدد انتخاب شود توان مصرفی پمپاژ در سیکل ترکیبی چشمگیر نبوده و سیستم

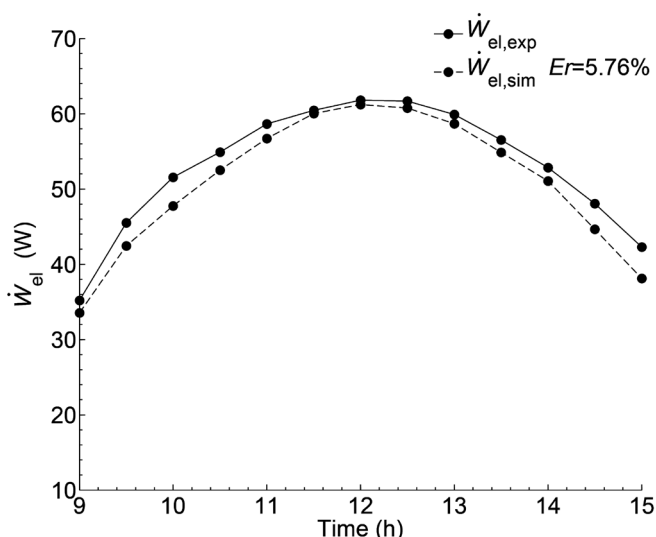


Fig. 5. Simulated and experimental values of the output electrical power of PV/T collector

شکل ۵: مقادیر شبیه‌سازی و آزمایشگاهی توان الکتریکی خروجی از گردآورنده PV/T

حرارتی خورشیدی از طریق گردآورنده‌های PV/T جذب و به ژنراتور گرما وارد می‌شود و مقدار بار سرمایش قابل تأمین در اواپراتور و توان الکتریکی خروجی از گردآورنده‌های PV/T به عنوان پارامترهای مطلوب خروجی از سیستم ترکیبی محاسبه می‌گردد. پارامترهای طراحی و عملکردی لازم برای شبیه‌سازی سیکل تبرید و گردآورنده‌های PV/T از جدول ۱ و مراجع [۱۸ و ۱۹] اخذ شده است. داده‌های شدت تابش خورشیدی و دمای محیط برای محاسبات سیکل ترکیبی از شکل‌های ۳ و ۴ برداشته شده است. در شکل ۶ ضریب عملکرد سیکل تبرید جذبی خورشیدی بر حسب زمان به ازای تعداد مختلف گردآورنده‌های PV/T ترسیم شده است. با توجه به شکل ۶ بیشترین مقدار ضریب عملکرد سیکل تبرید جذبی خورشیدی در حدود ۰/۴۷ بوده و مربوط به حوالی ظهر می‌باشد. چون بیشترین تابش خورشیدی در حوالی ظهر رخ داده است. شایان ذکر است که منبع تأمین حرارت ورودی به ژنراتور گرما، تابش خورشیدی جذب شده توسط گردآورنده‌های PV/T می‌باشد.

همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود با افزایش تعداد گردآورنده‌های PV/T ضریب عملکرد قدری کاهش یافته و از $N=50$ به بعد تغییرات آن چندان محسوس نیست. با افزایش تعداد گردآورنده‌های PV/T بار سرمایش قابل تأمین در اواپراتور افزایش می‌یابد. ولی به طور همزمان به دلیل افزایش مساحت سطح گردآورنده‌های PV/T نرخ انرژی حرارت ورودی به ژنراتور گرما که توسط گردآورنده‌های PV/T تأمین می‌شود نیز افزایش می‌یابد. افزایش این دو پارامتر در صورت و مخرج رابطه ضریب عملکرد هم مرتبه بوده و لذا در ضریب عملکرد تغییر محسوسی مشاهده نمی‌شود.

در شکل ۷ مقدار بار سرمایش قابل تأمین در اواپراتور و توان الکتریکی خالص خروجی از گردآورنده‌های PV/T در ساعت ۱۲ ظهر بر حسب تعداد گردآورنده‌های PV/T ترسیم شده است. همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود بار سرمایش قابل تأمین در اواپراتور با افزایش تعداد گردآورنده‌های

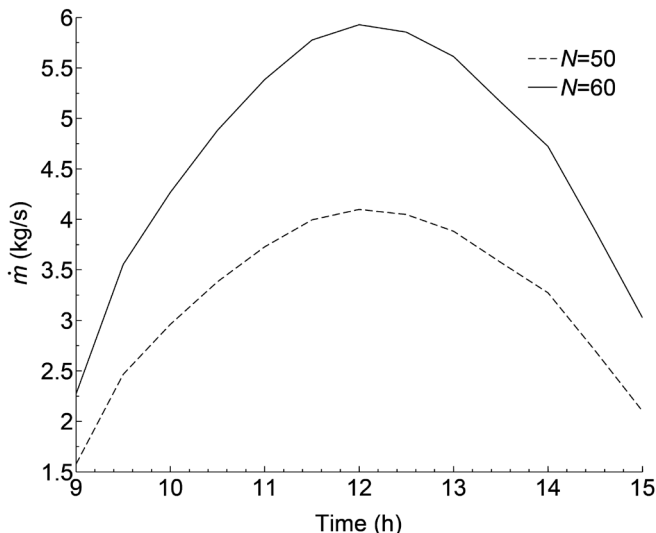


Fig. 9. Mass flow rate in PV/T collectors collection versus time

شکل ۹: دبی جریان جرمی در مجموعه گردآورنده‌های PV/T بر حسب زمان

نحوی که با افزایش این تعداد از عدد ۵۰ به بعد، دبی جریان جرمی و توان مصرفی پمپاژ به گونه‌ای زیاد شده که باعث کاهش توان الکتریکی خالص خروجی از سیستم تبرید می‌گردد.

در ادامه به بررسی اثر تغییر سایر پارامترهای عملکردی شامل دمای ژنراتور گرما (T_{gen})، دمای اواپراتور (T_{eva})، دمای کندانسور (T_{con}) و دمای جذب‌کننده (T_{abs}) بر ضریب عملکرد روزانه سیستم تبرید جذبی خورشیدی پرداخته شده است. محاسبات بعدی به ازای تعداد گردآورنده $N=50$ ، شدت تابش خورشیدی و دمای محیط آورده شده در شکل‌های ۳ و ۴ انجام شده است. در شکل ۱۰ ضریب عملکرد سیستم تبرید جذبی بر حسب زمان به ازای مقادیر مختلف دمای ژنراتور گرما ترسیم شده است.

همان طور که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود با افزایش ۲۰ درصدی دمای ژنراتور گرما، ضریب عملکرد سیستم به طور متوسط در حدود ۴۴ درصد کاهش می‌یابد. افزایش دمای ژنراتور گرما منجر به کاهش نرخ انتقال حرارت ژنراتور گرما و در نتیجه کاهش نرخ سرمایش قابل تأمین در اواپراتور می‌گردد. از سوی دیگر با بالا رفتن دمای ژنراتور گرما، دمای سیال ورودی به گردآورنده‌های PV/T نیز بالا می‌رود که این موضوع باعث کاهش خنک‌کاری مدول‌های PV و در نتیجه کاهش توان الکتریکی خروجی از گردآورنده‌های PV/T می‌گردد. تأثیر توأم دو موضوع فوق باعث کاهش ضریب عملکرد سیستم در تمام ساعات روز شده است.

در شکل ۱۱ تأثیر تغییر دمای اواپراتور بر ضریب عملکرد سیستم تبرید جذبی بر حسب زمان بررسی شده است.

مطابق با شکل ۱۱ با افزایش دمای اواپراتور از 5°C تا 15°C ضریب عملکرد سیستم تبرید جذبی در کلیه ساعات روز افزایش می‌یابد. هر چند که این افزایش به دلیل افزایش نرخ انتقال حرارت ژنراتور گرما بواسطه تابش خورشیدی بیشتر در حوالی ظهر مشهودتر است. به نحوی که در ساعت ۱۲

تبرید جذبی خورشیدی می‌تواند در محدوده نزدیک به ضریب عملکرد حداکثر کار می‌کند. همچنین سیستم تبرید مورد مطالعه با تعداد گردآورنده $N=50$ در آفتابی‌ترین ساعت روز می‌تواند یک بار سرمایشی در حدود ۵ kW را تأمین نماید. مساحت سطح مربوط به تعداد ۵۰ عدد گردآورنده PV/T برابر با $38/5$ مترمربع است. ۷۱ درصد سطح مذکور با مساحت سطح $27/33$ مترمربع توسط سلول‌های فتوولتائیک پوشیده شده است. شایان ذکر است افزایش دمای سلول‌های فتوولتائیک باعث کاهش توان الکتریکی تولیدی می‌شود. لذا در گردآورنده‌های PV/T حرارت جذب‌شده توسط سلول‌های فتوولتائیک نیز به سیال عامل منتقل شده است و جهت تأمین انرژی حرارتی لازم در ژنراتور گرما سیکل تبرید استفاده شده است.

در شکل ۸ راندمان الکتریکی گردآورنده‌های PV/T بر حسب زمان برای $N=50$ ترسیم شده است.

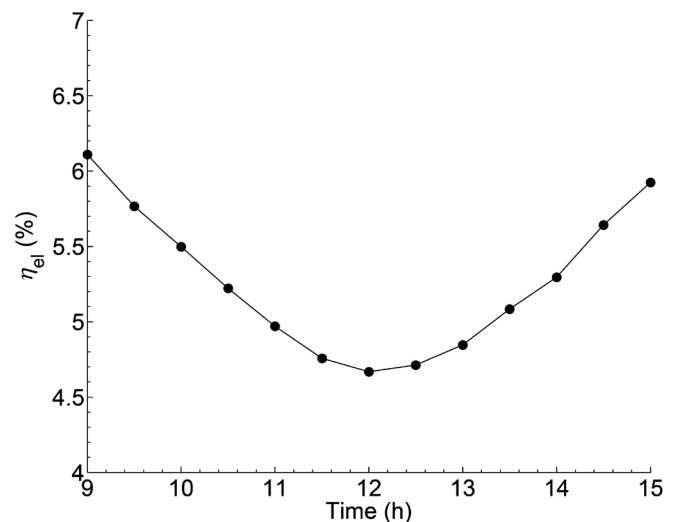


Fig. 8. Electrical efficiency of PV/T collectors versus time for $N=50$

شکل ۸: راندمان الکتریکی گردآورنده‌های PV/T بر حسب زمان برای $N=50$

همان طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود در حوالی ظهر راندمان الکتریکی کاهش محسوسی دارد. در حوالی ظهر نسبت به سایر ساعات روز دبی جریان جرمی در مجموعه گردآورنده‌های PV/T افزایش محسوسی دارد. این موضوع باعث افزایش توان مصرفی پمپاژ می‌شود. لذا توان الکتریکی خالص خروجی از گردآورنده‌های PV/T در حوالی ظهر کاهش یافته و منجر به کاهش راندمان الکتریکی در ساعات مربوطه می‌گردد. جهت بهتر روشن شدن موضوع در شکل ۹ دبی جریان جرمی در مجموعه گردآورنده‌های PV/T بر حسب زمان رسم شده است.

همان طور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود با افزایش ۲۰ درصدی در تعداد گردآورنده‌های PV/T، دبی جریان جرمی در مجموعه گردآورنده‌های PV/T در حدود ۵۰ درصد افزایش می‌یابد. این موضوع اهمیت انتخاب تعداد مطلوب گردآورنده‌های PV/T را به خوبی نشان می‌دهد. تعداد گردآورنده‌های PV/T برابر با ۵۰ عدد یک مقدار مطلوب برای تعداد گردآورنده‌ها می‌باشد به

ظهر افزایش ۲۰۰ درصدی دمای اواپراتور، افزایش در حدود ۱۳ درصدی در ضریب عملکرد سیکل را به دنبال دارد. افزایش دمای اواپراتور افزایش آنتالپی جریان خروجی از اواپراتور و در نتیجه افزایش نرخ سرمایش قابل تأمین در اواپراتور را به دنبال خواهد داشت و باعث افزایش ضریب عملکرد سیستم تبرید می‌شود.

در شکل ۱۲ به بررسی اثر تغییر دمای کندانسور بر ضریب عملکرد سیستم تبرید جذبی بر حسب زمان پرداخته شده است.

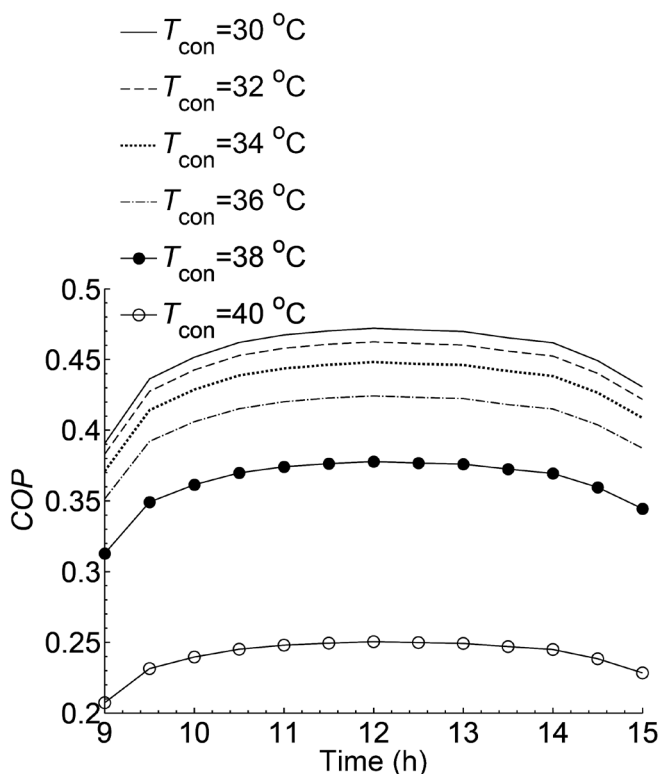


Fig. 12. Investigation of condenser temperature variations on coefficient of performance of absorption cooling system versus time

شکل ۱۲: بررسی اثر تغییر دمای کندانسور بر ضریب عملکرد سیستم تبرید جذبی بر حسب زمان

همان طور که در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود با افزایش دمای کندانسور از ۳۰ °C تا ۴۰ °C ضریب عملکرد سیستم تبرید جذبی برای کلیه ساعات روز کاهش می‌یابد. به نحوی که در ساعت ۱۲ ظهر افزایش ۳۳ درصدی دمای کندانسور موجب کاهش ۴۴ درصدی ضریب عملکرد می‌شود. با افزایش دمای کندانسور، سیال عامل با دمای بالاتری از کندانسور خارج و به اواپراتور وارد می‌شود و در نتیجه سیال عامل با دمای بالاتر از توانایی تیخیر کمتری در اواپراتور برخوردار است که این موضوع باعث کاهش بار سرمایشی قابل تأمین در اواپراتور و کاهش ضریب عملکرد سیستم تبرید می‌گردد.

در شکل ۱۳ ضریب عملکرد سیستم تبرید جذبی بر حسب زمان روز به ازای مقادیر مختلف دمای جذب‌کننده نشان داده شده است. مطابق این شکل با افزایش دمای جذب‌کننده از ۳۰ °C تا ۴۰ °C ضریب عملکرد سیستم تبرید جذبی در کلیه ساعات روز کاهش می‌یابد. به نحوی که در ساعت ۱۲

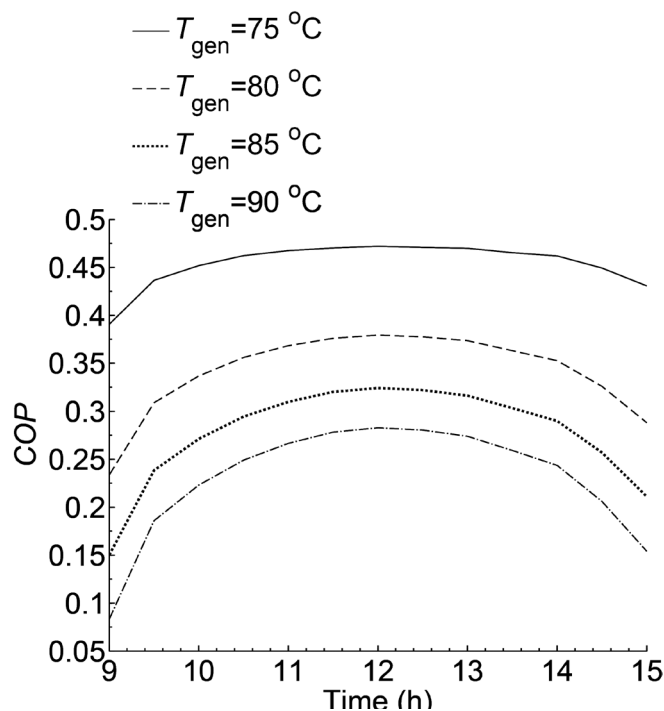


Fig. 10. Coefficient of performance of absorption cooling system versus time for the various values of heat generator temperature

شکل ۱۰: ضریب عملکرد سیستم تبرید جذبی بر حسب زمان به ازای مقادیر مختلف دمای ژنراتور گرما

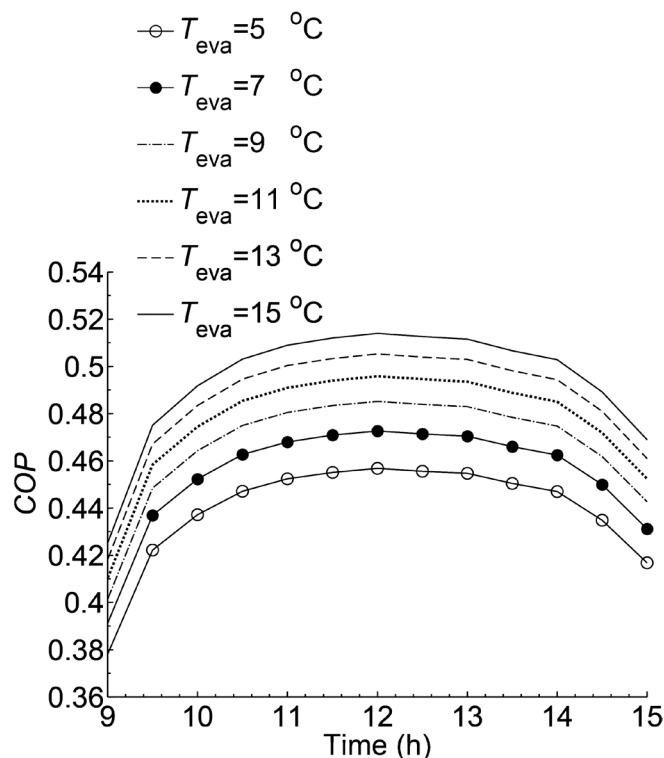


Fig. 11. Effect of evaporator temperature on coefficient of performance of absorption cooling system versus time

شکل ۱۱: تأثیر تغییر دمای اواپراتور بر ضریب عملکرد سیستم تبرید جذبی بر حسب زمان

تأمین نماید؛ در حالی که توان مصرفی پمپاژ در سیکل ترکیبی چشمگیر نباشد.

- به دلیل عدم وجود تابش خورشیدی در تمام ساعات شبانه‌روز و روزهای ابری، می‌توان سیکل مربوطه را به صورت سیکل کمکی در کنار سیکل‌های تبرید متداول در ساعات آفتابی روز استفاده کرد.
- با افزایش تعداد گردآورنده‌های PV/T ضریب عملکرد سیستم تبرید خورشیدی به دلیل افزایش افت فشار در سیستم و بالا رفتن توان مصرفی پمپاژ کاهش می‌یابد.

فهرست علائم

A	مساحت، m^2
C_p	گرمای ویژه در فشار ثابت، $kJ/kg.K$
COP	ضریب عملکرد
E_L	بازده مبدل حرارتی
Er	خطای نسبی
F_R	ضریب برداشت گرما
F'	ضریب بازده فین
G	شدت تابش خورشید، W/m^2
h	آنتالپی، kJ/kg
h_{p1}	ضریب جریمه به خاطر حضور مواد سلول‌های خورشیدی، شیشه و ماده EVA
h_{p2}	ضریب جریمه به خاطر حضور مرز بین تدار و سیال عامل
K_K	پارامتر کمکی
m	دبی جرمی، kg/s
n	تعداد آزمایشات انجام شده
N	تعداد گردآورنده‌های PV/T
NTU	تعداد واحدهای انتقال حرارت
Q	نرخ انتقال حرارت، W
T	دما، $^{\circ}C$
U	ضریب انتقال حرارت کلی، $W/m^2.K$
U_L	ضریب اتلاف حرارت کلی از گردآورنده، $W/m^2.K$
W	توان، W
w	توان الکتریکی، W
x	غلظت لیتیوم-برماید در محلول
X	مقدار داده

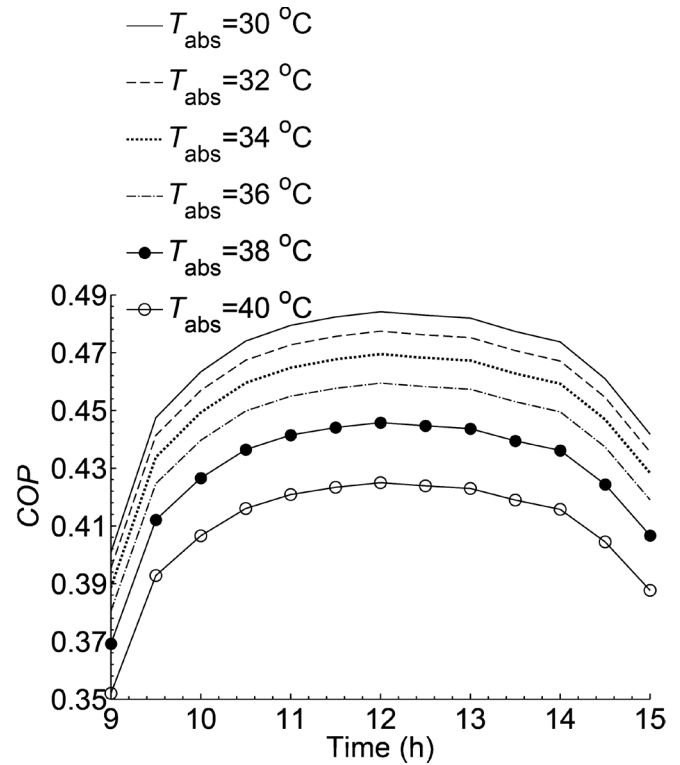


Fig. 13. Coefficient of performance of absorption cooling system versus time for the various values of absorber temperature

شکل ۱۳: ضریب عملکرد سیستم تبرید جذبی بر حسب زمان به ازای مقادیر مختلف دمای جذب‌کننده

ظهر افزایش ۳۳ درصدی در دمای جذب‌کننده، منجر به کاهش ۱۲ درصدی در ضریب عملکرد می‌گردد. با افزایش دمای جذب‌کننده، غلظت محلول لیتیوم برماید-آب خروجی از جذب‌کننده افزایش می‌یابد. در نتیجه براساس معادلات غلظت و بقای جرم، دبی جریان ورودی به اواپراتور کاهش و در نهایت نرخ سرمایش در اواپراتور کاهش می‌یابد.

۵- نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر به بررسی عملکرد یک سیستم تبرید جذبی تک اثره لیتیوم برماید-آب به منظور امکان استفاده از گردآورنده‌های PV/T به عنوان منبع حرارت ورودی به ژنراتور پرداخته شد. تأثیر پارامترهای مختلف عملکردی و طراحی بر ضریب عملکرد سیستم ترکیبی برای یک روز نمونه بررسی شد. نتایج کلی به دست آمده از تحقیق حاضر به شرح زیر می‌باشد:

- نتایج شبیه‌سازی انجام شده برای سیستم تبرید جذبی و گردآورنده PV/T مطابقت خوبی با داده‌های تئوری و تجربی تحقیقات گذشته داشته به نحوی که حداکثر خطای نسبی مشاهده شده در اعتبارسنجی کمتر از ۶ درصد می‌باشد.
- تعداد مطلوبی برای گردآورنده‌های PV/T در سیستم ترکیبی وجود دارد که مقدار آن ۵۰ عدد با مساحت سطح کل ۳۸/۵ مترمربع می‌باشد. این تعداد گردآورنده‌ها ضمن داشتن ضریب عملکرد مناسب، می‌تواند یک بار سرمایشی در حدود ۵ kW را

منابع

- [1] H. Sharifi Bidgoli, *Refrigeration and Design of Refrigeration Systems and Cold Storage*, 1st edition, Jihad Publishing Institution, 2001. (In Persian)
- [2] H.M. Henning, *Solar-assisted Air Conditioning in Buildings: A Handbook for Planners*, 2nd edition, Springer Vienna Architecture 2007.
- [3] D.A. Kouremenos, K.A. Antonopoulos, E. Rogdakis, Performance of a solar driven compound NH₃/H₂O & LiBr/H₂O absorption refrigeration system in Athens, *Solar & Wind Technology*, 7 (1990) 685-697.
- [4] G.A. Florides, S.A. Kalogirou, S.A. Tassou, L.C. Wrobel, Modelling, simulation and warming impact assessment of a domestic-size absorption solar cooling system, *Applied Thermal Engineering*, 22 (2002) 1313-1325.
- [5] F. Assilzadeh, S.A. Kalogirou, Y. Ali, K. Sopian, Simulation and optimization of a LiBr solar absorption cooling system with evacuated tube collectors, *Renewable Energy*, 30 (2005) 1143-1159.
- [6] M. Kilic, O. Kaynakli, Second law-based thermodynamic analysis of water-lithium bromide absorption refrigeration system, *Energy*, 32 (2007) 1505-1512.
- [7] T. Mateus, A. Oliveira, Energy and economic analysis of an integrated solar absorption cooling and heating system in different building types and climates, *Applied Energy*, 86 (2009) 949-957.
- [8] S.C. Kaushik, A. Arora, Energy and exergy analysis of single effect and series flow double effect water-lithium bromide absorption refrigeration systems, *International Journal of Refrigeration*, 32 (2009) 1247-1258.
- [9] G. Evola, N. Le Pierres, F. Boudehenn, P. Papillon, Proposal and validation of a model for the dynamic simulation of a solar-assisted single-stage LiBr/water absorption chiller, *International Journal of Refrigeration*, 36 (2013) 1015-1028.
- [10] A. Saberi Mehr, A. Sorouraddin, S.M. Seyed Mahmoudi, Energy and exergy analysis of a combined GAX-ejector absorption refrigeration cycle, specific ejector geometry, *Modares Mechanical Engineering*, 13(11) (2014) 122-138. (In Persian)
- [11] M.L. Chougui, S. Zid, Energy analysis of single effect absorption chiller (LiBr/H₂O) in an industrial manufacturing of detergent, *Energy Procedia*, 50 (2014) 105-112.
- [12] O. Kaynakli, K. Saka, F. Kaynakli, Energy and exergy analysis of a double effect absorption refrigeration system based on different heat sources, *Energy Conversion and Management*, 106 (2015) 21-30.

علامت یونانی

α	ضریب جذب، ضریب دمایی جریان، mA/°C
β	ضریب دمایی ولتاژ، V/°C
$(\alpha\tau)_{eff}$	ضریب جذب-انتقال مؤثر
ε	بازده مبدل حرارتی
η	بازده مدول فتوولتائیک
τ	ضریب عبور

زیرنویس

a	محیط
abs	ابزوربر
c	گردآورنده
con	کندانسور
el	الکتریکی
eva	اواپراتور
exp	تجربی
gen	ژنراتور
i	شماره گردآورنده
in	ورودی به حجم کنترل
nom	اسمی
max	ماکزیمم
p	پمپ
PV	فتوولتائیک
out	خروجی از حجم کنترل
real	واقعی
ref	مرجع
t	بالای گردآورنده
T	تدلار
tT	تدلار به بالای گردآورنده
the	تئوری
ss	محللول قوی
sim	شبیه سازی
solar	خورشیدی
w	آب
ws	محللول ضعیف

- Deep Space Network Progress Report* 42-32, NASA, 42 (32) (1978) 247-257.
- [18] A. Tiwari, M.S. Sodha, Performance evaluation of solar PV/T system: An experimental validation, *Solar Energy*, 80 (2006) 751-759.
- [19] J. Yazdanpanahi, F. Sarhaddi, M. Mahdavi Adeli, Experimental investigation of exergy efficiency of a solar photovoltaic thermal (PVT) water collector based on exergy losses, *Solar Energy*, 118 (2015) 197-208.
- [20] S. Dubey, G.N. Tiwari, Analysis of different configurations of flat plate water collectors connected in series, *International Journal of Energy Research*, 32 (2008) 1362-1372.
- [21] J.C. Martinez, P.J. Martinez, L.A. Bujedo, Development and experimental validation of a simulation model to reproduce the performance of a 17.6 kW LiBr-water absorption chiller, *Renewable Energy*, 86 (2016) 473-482.
- [22] L. Garousi Farshi, S.M. Seyed Mahmoudi, M.A. Rosen, Analysis of crystallization risk in double effect absorption refrigeration systems, *Applied Thermal Engineering*, 31 (2011) 1712-1717.
- [13] O. Ketfi, M. Merzouk, N.K. Merzouk, S.E. Metenan, Performance of a Single Effect Solar Absorption Cooling System (LiBr-H₂O), *Energy Procedia*, 74 (2015) 130-138.
- [14] R. Tapeh Kaboudy, E. Suori, S.A. Seyed Shams Taleghani, Investigation of thermodynamic analysis and exergy of a single effect solar absorption refrigeration cycle with parabolic collectors and the agent fluid of water and ammonia, 1st *International Conference on Mechanical Engineering and Aerospace*, University of Tehran, Tehran, Iran 2016. (In Persian)
- [15] A. Shirazi, R.A. Taylor, S.D. White, G.L. Morrison, 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*, 114 (2016) 258-277.
- [16] R.E. Sonntag, G.J. Van Wylen, C. Borgnakke, *Fundamentals of Thermodynamics*, 7th Edition, John Wiley & Sons, Inc. 2009.
- [17] F.L. Lansing, Computer modeling of a single-stage lithium bromide/water absorption refrigeration unit, *JPL*

Please cite this article using:

O. Shahryari Zanganeh and F. Sarhaddi, Performance Investigation of a Single Effect (LiBr-H₂O) Absorption Cooling System connected to Photovoltaic Thermal Collectors, *Amirkabir J. Mech. Eng.*, 50(6) (2018) 1375-1388.
DOI: 10.22060/mej.2017.11728.5168

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:



