Journal Of Energy Conversion
Volume: 7, Issue: 3, 1399

نشریه علمی-تخصصی تبدیل انرژی (JEED)
دوره ۷، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹

بررسی تجربی تأثیر استفاده از مواد تغییر فاز دهنده PCM در عملکرد یک سیکل تبرید تراکمی خورشیدی

سیدمسلم موسوی [۱]، محمد رضا صفاریان [۲و*]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران
[۲] استادیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه شهید چمران اهواز ، اهواز، ایران

دریافت: تیر ۹۹، بازنگری: مرداد ۹۹، پذیرش: شهریور ۹۹

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1399.7.3.1.2]

چکیده

صرفه‌جویی در مصرف انرژی یکی از چالش‌های مهم جهان امروز است. کاهش مصرف انرژی الکتریکی در سیستم‌های تبرید تراکمی یکی از ضرورت‌های اساسی در طراحی این سیستم‌ها می‌باشد. هنگام استفاده از سیستم‌های تهویه مطبوع خانگی (کولر دوتکه) در مناطق بسیار گرم (خوزستان) ضریب عملکرد آن‌ها کاهش یافته و مصرف جریان الکتریکی افزایش می‌یابد. از این رو استفاده از انرژی‌های نو و تجدیدپذیر از جمله انرژی خورشیدی می‌تواند نقش بسزایی در کاهش مصرف انرژی ایفا کند. در این طرح با قرار دادن گردآورنده خورشیدی صفحه تخت که درون آن از مواد تغییر فاز (PCM) قرار دارد در مسیر پرفشار سیکل تبرید تراکمی بین کمپرسور و کندانسور و بدست آوردن پارامترهای فشار و دما در نقاط مختلف سیکل، و مقایسه آن با حالت معمولی سیکل تبرید (فاقد کلکتور) کار کمپرسور، ظرفیت سرمایش و ضریب عملکرد محاسبه و مورد بررسی قرارگرفت. از آنجایی که گرما با فشار رابطه مستقیم دارد، (افزایش گرمای مبرد در حجم ثابت باعث افزایش فشار می گردد) تأمین بخشی از فشار سیکل توسط گردآورنده خورشیدی انجام میشود. آزمایش¬های سیکل معمولی و خورشیدی بطور همزمان در سه زمان متفاوت (در ساعات ۷ صبح، ۱۵ بعدظهر و ۲۳ شب) انجام گردید. نتایج تجربی بد ست آمده ن شان می¬دهد در دمای بی شینه (ساعت ۱۵ بعدازظهر) با افزایش 6/3 (°C) دمای مبرد خروجی از کلکتور، مشخصات ترمودینامیکی سیستم بهبود یافته بطوریکه ضریب سرمایش از ۱۰/۸۲ به ۱۱/۲۵۱ و ضریب عملکرد سیکل از ۵ به ۵/۲ به ترتیب ۳/۸۳٪ و ۳/۸۴٪ افزایش و توان کمپرسور از ۲/۱۶۷ به ۲/۱۶۰ که درحدود ۰/۳۲٪ کاهش می‌یابد. ضمن اینکه بدلیل عدم وجود نور خورشید کافی و جذب گرمای مناسب توسط کلکتور در آزمایش‌های ساعت ۲۳ شب و ۷ صبح، تأثیر چندانی در مشخصات ترمودینامیکی سیکل معمولی و خورشیدی مشاهده نگردید.

* **عهده‌دار مکاتبات:** m_r_saffarian@yahoo.com

کلمات کلیدی: سیکل تبرید تراکمی، گردآورنده خورشیدی، مواد تغییر فاز دهنده(pcm).

۱- مقدمه

امروزه تهیه هوا با شرایط مطلوب و قابل کنترل برای تامین آسایش و امکان فعالیت بیهینه انسان که بیشتر وقت خود را در فضاهای بسته مانند محل سکونت، وسیله نقلیه و محل کار سپری می‌کند، از اهمیت زیادی برخوردار است. تنظیم شرایط محیط نه تنها بر بازده کاری بلکه بر رفتارهای روانی افراد اثر قابل توجه دارد. سامانه تهویه مطبوع که به عنوان قلب تپنده ساختمان شناخته می شود علاوه بر فضاهای آسایشی مانند ساختمان‌های مسکونی و بیمارستان‌ها در بسیاری از محیط های صنعتی،

تولیدی و آزمایشگاهی به عنوان یک عامل بسیار مؤثر بر کیفیت محصول شناخته می شود. اما این وسط بحث انرژی پیش می‌آید. همان‌طور که می‌دانیم، سیستم‌های تهویه مطبوع مخصوصاً در مناطق گرم وخشک انرژی زیادی مصرف می‌کنند که بیش‌تر آن هنوز از سوخت‌های فسیلی به دست می‌آید. از اینرو به هر اقدامی برای کاهش مصرف انرژی در سرمایش و گرمایش، توسط به کارگیری روش‌های حرارتی بهتر و افزایش کارآیی سیستم‌ها و تجهیزات باید دست زد.

استان خوزستان پرمصرف‌ترین انرژی الکتریکی بعد از پایتخت می‌باشد. و علت آن استفاده مردم استان از کولرهای گازی با سیکل تراکمی برای تهویه منازل و ادارات و دیگر اماکن می‌باشد. کاهش مصرف انرژی الکتریکی در سیستم های تبرید تراکمی یکی از ضرورت‌های اساسی در طراحی این سیستم‌ها می‌باشد. جایگزین کردن انرژی‌های تجدید پذیر می تواند نقش بسازی در کاهش مصرف انرژی ایجاد کند.

یکی از این انرژی های قابل تجدید، انرژی حرارتی است که در اینجا روش ذخیره سازی انرژی حرارتی بیان می شود. یکی از مهم‌ترین روش‌های ذخیره سازی انرژی حرارتی، PCM[1] یا مواد تغییر فاز دهنده است، موادی که در مواقع لزوم تغییر فاز می دهند، انرژی را در شکل‌های مختلف در خود ذخیره کرده و در مواقع لزوم آزاد می کنند. این مواد با اثراتی مانند افزایش ضریب انتقال حرارت، افزایش ظرفیت گرمایی، پایداری حرارتی و شیمیایی موجب ذخیره‌سازی انرژی حرارتی می‌شوند. پروژه‌ای که در حال بررسی و انجام می‌باشد با به کارگیری روشی برای افزایش ضریب عملکرد و ضریب سرمایش کولرهای گازی در استان می‌باشد. در این جا ابتدا شرایط استان از نظر آب و هوایی خصوصاً نسبت رطوبت و زمان به وقوع آمدن آن و یا تشدید آن که ارتباطی مستقیم با واکنش اجزای کولر دارد مورد بررسی قرار می دهیم. استان خوزستان با رطوبت ۸۸٪ در زمستان و دمای خشک ۶٫۶ و در تابستان میزان رطوبت ۳۶٫۲٪ و دمای خشک آن۴۵٫۸ جزء استان‌های گرم و خشک جلگه‌ای قرار می‌گیرد. هم‌چنین ارتفاع شهر اهواز از سطح دریا ۱۲ متر می‌باشد که مقدارارتفاع و فشار اتمسفر را نسبت به دیگر استان‌های هم‌جوار تغییر می‌دهد.

در زمینه سیستم‌های تهویه مطبوع و تبرید خورشیدی مطالعه‌ها و پژوهش‌های بسیاری انجام شده است.

اقتداری [۱] در طرحی به بررسی عملکرد کندانسور تبخیری برای کولرهای گازی دو تکه[2] در شرایط بسیار گرم پرداخت. در این طرح پدهای پوشالی مجهز به سیستم پاشش آب در مسیر مکش هوای ورودی کندانسور قرار گرفته و سبب خنک شدن هوای عبوری می شوند . نتایج تجربی به دست آمده نشان می دهد که مشخصه های ترمودینامیکی سیستم به طور محسوسی بهبود یافته و توان مصرفی کمپرسور تا میزان ۸/۱۸ ٪ کاهش یافته و ضریب عملکرد سیکل نیز در حدود ۵۹٪ افزایش می‌یابد. همچنین اثر تبرید سیکل با این روش به میزان ۲۷٪ افزوده می‌شود . تأثیر افزایش دما بر ضریب عملکرد و توان مصرفی و اثر تبرید مورد بررسی قرار گرفت و معلوم شد که در طرح کندانسور تبخیری با افزایش دمای هوای محیط مشخصه های عملکرد سیکل بهتر می‌شوند. امیر بهسرشت [۴] به بررسی وجود کلکتور خورشیدی بر عملکرد سیکل گرمایش و سیکل سرمایش پرداخته که نتایج تجربی ایشان نشان می دهد که کاربرد کلکتور خورشیدی صفحه تخت بر بهبود عملکرد سیکل یاد شده در زمستان تأثیر دارد و ضریب گرمایش و ضریب عملکرد با افزایش تابش خورشید افزایش می یابد.

حاجی دولو [۷] و [۸] به بررسی تأثیر استفاده از کندانسور تبخیری به جای کندانسور هوایی در عملکرد کولرهای پنجرهای و کولرهای دوتکه پرداخت. برای تبدیل کندانسور هوایی به تبخیری دو طرح ارائه گردید. در طرح تزریق مستقیم آب بر روی لوله های کندانسور پاشیده می‌شود و در طرح دیواره پوشالی آب بر روی دیواره پوشالی که در مسیر کندانسور تعبیه شده پاشیده می‌شود. وضعیت ترمودینامیکی سیستم بعد از انجام هر دو طرح به طریق تجربی اندازه‌گیری شد و با وضعیت معمول آن در همان شرایط مورد مقایسه قرار گرفت. تجزیه و تحلیل نتایج تجربی نشان می‌دهد که با استفاده از این روش ها ضریب عملکرد سیستم تا ۲۵٪ قابل افزایش و توان الکتریکی تا حدود ۱۳٪ کاهش می یابد. بررسی‌های آزمایشگاهی نشان داد که افزایش عملکرد در طرح پاشش مستقیم بیشتر است، چون انتقال حرارت بیشتر است. این نکته نیز

[1] Phase Change Material
[2] Eplit air-conditioner

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1399.7.3.1.2]

مورد توجه قرار گرفت که طرح پاشش مستقیم از نظر امکان ایجـاد رسـوب و خـوردگی بـر روی لوله های کندانسور پتانسیل بیشتری دارد و در دراز مدت می تواند مزایای این روش را کاهش دهـد ولی با روش طرح دیواره پوشالی این مشکل تا حد زیادی کاهش می یابد.

ویسی و حاج دولو [۱۲] به مدلسازی و شبیه‌سازی سیکل تبرید تراکمی کولر گازی و ارزیابی ضریب عملکرد آن تحت شرایط محیطی مختلف پرداختند. نتایج شبیه سازی نشان می‌دهد با افزایش یک درجه دمای محیط ضریب عملکرد سیکل۳/۵ درصد کاهش می یابد و با افزایش ۱۰ درصد رطوبت نسبی محیط ضریب عملکرد به طور متوسط ۶/۵ درصد افزایش می یابد افزایش ۱۰ درصدی در دبی حجمی هوای عبوری از روی کندانسور سبب افزایش ۳/۲ درصد در ضریب عملکرد سیکل می شود. سیگلر و یمالی [۱۸] عملکرد یک پمپ حرارتی خورشیدی را به صورت تئـوری و تجربـی مورد بررسی قرار دادند. آنها برای اینکار از یک کلکتور لوله خلاء استفاده کردند. در این تحقیـق تأثیر دمای تبخیر بر ظرفیت گرمایش و ضریب عملکرد سیستم بررسی شد. طبـق نتـایج بـه دسـت آمده دمای تبخیر بین ۵/۲ تا ۲۰/۷ تغییر می‌کند و ماکزیمم ضـریب عملکـرد ایـن پمـپ حرارتـی خورشیدی حاصل از آزمایش‌های صورت گرفته، ۶/۳۸ به دست آمد. همچنین سیستم پیشنهادی در مقایسه با پمپ حرارتی غیرخورشیدی از نظر اقتصادی مورد بررسی قرار گرفت.

دیکیسی و آکبولوت [۱۹] به بررسی تجربی مشخصه‌های عملکرد و تحلیل اکسـرژی یـک پمپ حرارتی خورشیدی پرداختند. از این سیستم برای گرمایش فضای داخل اسـتفاده شـد. طبـق نتایج ارائه شده ضریب عملکرد سیستم ۳/۰۸ به دست آمد و اگر افـت اکسـرژی اواپراتـور کـاهش یابد، ضریب عملکرد سیستم افزایش می یابد.

۲-معادله های حاکم بر سیستم تهویه مطبوع مورد مطالعه

شکل۱ فرآیند مسیر سیکل مورد مطالعه می‌باشد. توجـه بـه داده‌های به دست آمده از آزمایش‌های تجربی می‌توان مشخصه‌های ترمودینامیکی مربوط به سـیکل از جمله ظرفیت سرمایش، ضریب عملکرد، و کار کمپرسور را محاسبه نمود و میزان تأثیر وجـود کلکتـور خورشـیدی همراه با مواد pcm را مشخص کرد.

برای این کار با استفاده از آمپر مصـرفی، ولتـاژ و ضـریب قـدرت بـه دسـت آمـده از دستگاه مولتی‌متر، ابتدا توان مصرفی سیستم از معادله (۱) محاسبه می‌شود و سپس با استفاده از معادله (۲) که مربوط به کار کمپرسور است مقدار دبی جرمی مبرد به دست می‌آید. با اسـتفاده از دبی جرمی می‌توان ظرفیت سرمایش را از معادله (۴) محاسبه کرد. مقادیر q_L ازمعادله (۳) و ضریب عملکرد سیستم هـم بـه ترتیـب بـا اسـتفاده از معادلـه‌هـای (۳-۱۲) محاسـبه می شوند.

راه دیگر بیان کارایی سیکل‌های تبرید تراکمی بیان آن بر حسب میزان توان کمپرسور (بر حسب اسب بخار) بر واحد برودت ایجاد شده (بر حسب تن تبرید) است البته در سیستم واحدهای SI این نسبت به صورت کیلووات بر حسب تن تبرید نیز بیان می‌شود. رابطه بین این واحدها در معادله (۶) آمده است. بنابر این با افزایش COP_R مقدار(HP/ton) کاهش می یابد. و در نهایت از معادله (۷) برای بازدهی انرژی که به اختصار EER نامیده می‌شود که به صورت نسبت ظرفیت سرمایش بر حسب بی تی یو بر ساعت بر توان ورودی بر حسب وات در یک نقطه کاری مشخص تعریف می شود.

$$W_{Comp} = V \times I_{in} \times \cos\varphi \quad (۱)$$

$$\dot{m}_{Cycle} = \frac{W_{Comp}}{h_2 - h_1} \quad (۲)$$

$$Q_L = \dot{m}_{Cycle} \times (h_1 - h_4) \quad (۳)$$

$$q_L = (h_1 - h_4) \quad (۴)$$

$$COP_R = \frac{Q_L}{W_{Comp}} = \frac{\dot{m}(h_1 - h_4)}{\dot{m}(h_2 - h_1)} = \frac{(h_1 - h_4)}{(h_2 - h_1)} = \frac{\text{اثرتبرید}}{\text{کار به ازای واحد جرم}} \quad (۵)$$

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1399.7.3.1.2]

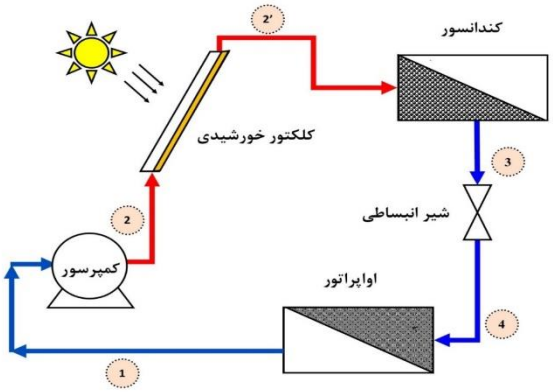
$$\frac{KW}{ton} = \frac{3/51}{COP_R} \quad (۶)$$

$$EER = 3/412\ COP_R \quad (۷)$$

$$\dot{V} = \dot{m} \times \nu \quad (۸)$$

در شکل ۱ فرآیند سیکل مورد مطالعه به طور شماتیک نشان داده شده است.

با بررسی روابط قبل می توان دریافت که کارآیی یک سیستم تبرید تابعی از دماهای تبخیر و تقطیر یا اختلاف این دو دما است. با افزایش این اختلاف میزان COP_R و EER کاهش یافته و HP/ton افزایش می یابد؛ بنابراین، در یک سیکل تبرید باید سعی شود که به منظور کاهش مصرف انرژی: یک دمای تقطیر تا حد امکان پایین باشد. دمای تبخیر تا حد امکان بالا باشد.



شکل۱: شماتیکی از سیکل حاضر

۲-۱- ذخیره سازی انرژی گرمایی با استفاده از PCM ها

یکی از بهترین و باصرفه ترین روش ها برای ذخیره سازی انرژی گرمایی استفاده از موادی است که با حجم کوچکشان نقش مناسبی در این زمینه بازی می‌کنند. موادی که به هنگام تغییر فاز جامد – مایع[۳] ، در دمای ثابت، مقدار زیادی انرژی گرمایی را به صورت گرمای نهان در خود ذخیره می‌کنند. PCM ها در ابتدا رفتاری شبیه به مواد ذخیره کننده گرمای محسوس دارند؛ هنگامی که گرما را جذب می‌کنند دمای آنها بالا رفته و بر خلاف مواد ذخیره کننده گرمای محسوس هنگامی که به دمای ذوب خود می‌رسند، شروع به تغییر فاز کرده و مقدار زیادی گرما را در یک دمای ثابت جذب می کنند PCM به جذب گرما بدون بالا رفتن دما ادامه می‌دهد تا جایی که تمام ماده به فاز مایع تبدیل شود. هنگامی که دمای محیط اطراف کاهش یابد، PCM از حالت مایع به حالت جامد تبدیل شده و انرژی ذخیره شده را رها می‌کند. [۱۰]

۲-۲- تقسیم بندی مواد تغییر فاز دهنده

مواد تغییر فاز دهنده را براساس دمای تغییر فازشان به سه دسته یوتکتیک‌ها، هیدرات نمکها و مواد آلی تقسیم بندی می‌کنند. دمای تغییر فاز یوتکتیک ها کمتر از (°C) ۰ و دمای تغییر فاز هیدرات نمک ها و مواد آلی بالای °C۰ است. دمای کاری PCMها بین (°C) ۴۰-۱۱۷ است، موادی که زیر (°C) ۱۵ ذوب می‌شو ند

[۳] ذخیره سازی گرمای نهان از طریق تغییر فاز گاز- جامد، گاز- مایع، مایع- جامد و جامد- جامد انجام پذیر است؛ با این حال تغییر فاز استفاده شده برای PCM تنها تغییر فاز جامد - مایع است؛ زیرا تغییر فاز گاز - مایع یا گاز - جامد، بعلت حجم بزرگ یا فشار بالای مورد نیاز برای ذخیره سازی گرما هنگامی که مواد در حالت فاز گاز هستند، عملی نیست. تغییر فاز جامد – جامد نیز بسیار کم رخ می دهد.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1399.7.3.1.2]

برای خنک کردن هوای اتاق مورد استفاده قرار میگیرند ، موادی که بالای (°C) ۹۰ ذوب می شوند برای کاهش دمای مناطقی که دما به صورت غیر منتظره در آنجا بالا رفته باشد و جلوگیری از آتش سوزی و انفجار به کار می‌روند و موادی که نقطه ذوب‌شان ما بین این دو دما قرار دارد برای ذخیره سازی انرژی های خورشیدی به کار می روند.

۳- مشخصه‌های دستگاه آزمایش

در جدول۱: مشخصه‌های سیستم تهویه مطبوع مورد مطالعه نشان داده شده است.

جدول ۱: مشخصه های سیکل تبرید مورد مطالعه

سرمایش	تابع	ولتاژ ۲۲۰ ولت
۷/۵(۰/۸-۲/۰)کیلو وات	ظرفیت	فرکانس:۵۰ هرتز
۲/۲۸(۲/۷۵-۰/۵)کیلو وات	ورودی	مبرد : a۴۱۰
۱۴۰۰۷۵۵۰۱۱۰۰۹۰۰۰۰۶	شماره سریال	دهش: ۴/۳ مگاپاسکال
OEM	نام برند	دمکش:۱/۱ مگاپاسکال
ROHS	استاندارد	کلکتور خورشیدی صفحه تخت
EMC-CE-CB-UL-UR-SASO-SAA-GS	گواهی	ابعاد ۱۰۰۰×۵۵۰×۸۰

۳-۱- نحوه انجام آزمایش‌ها

برای بررسی و مطالعه سیکل ترمودینامیکی حاضر و نشان دادن تأثیر وجود pcm در کلکتور خورشیدی که در فرآیند سیکل تبرید تراکمی قرار گرفته، فرآیند سرمایش در فصل تابستان مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت. جهت بررسی سیکل خورشیدی و تعیین تأثیر مواد pcm قرار گرفته درون کلکتور با حالت معمولی سه آزمایش در یک روز (۲۰ تیر) و در سه ساعت متفاوت (صبح، بعد از ظهر، شب) انجام گرفت. مشخصات زمان و دمای هوای خشک آزمایش ها به شرح زیر می باشد.

در ساعت۷ صبح دمای هوای خشک (°C) ۳۲

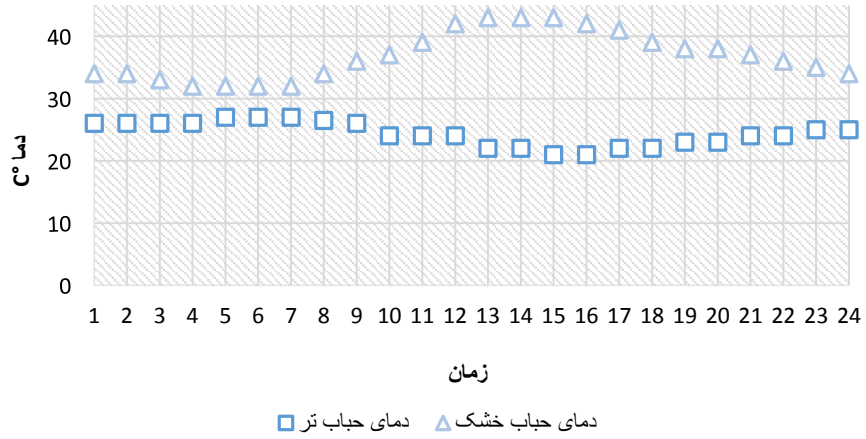
درساعت۱۵ بعدظهر دمای هوای خشک (°C) ۴۳

درساعت ۲۳ شب دمای هوای خشک (°C) ۳۶

برای انجام آزمایش‌ها و همچنین برای سهولت در داده‌برداری، بعد از فراهم شدن شرایط پایا در سیستم اقدام به داده بردای پارامترهای مختلف ترمودینامیکی شد. به این نکته مهم هم توجه شده است که برای انجام آزمایش‌ها و مقایسه آنها، شرایط آب وهوایی مانند مقدار رطوبت و دمای هوای فضای بیرون مشابه به هم باشند. تا تأثیراستفاده از مواد pcm درون کلکتور در عملکرد سیکل در سه مرحله آزمایش مشخص شود.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1399.7.3.1.2]



شکل نمودار ۲: نمودار دمای حباب خشک و دمای حباب تردر ۲۰ تیر ماه

۴- نتایج آزمایش برای دمای ۳۲ °C ساعت (۷ صبح)

نتایج مربوط به آزمایش‌های صورت گرفته برای دوحالت سیکل در کمترین دمای حباب خشک در دمای هوای ($۳۲^{\circ}C$) در جدول ۲ نشان داده شده است، در این جدول پارامترهای مختلفی برای سیکل تبرید تراکمی ارائـه شده است.

جدول۲ نتایج برای دمای ۲۲ درجه

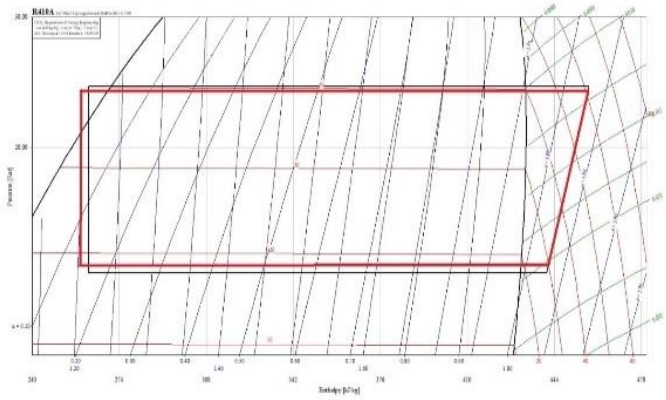
پارامتر	دیمانسیون	سیستم معمولی	سیستم خورشیدی با استفاده از pcm	تغییرات نسبت به سیستم با pcm
$\dot{W}_{Comp}$	KW	۲/۱۰۸	۲/۰۶۶	٪-۲
$\dot{m}_{Cycle}$	Kg/sec	۰/۰۷۲۶	۰/۰۷۰۵۱	٪-۳
$\dot{Q}_L$	KW	۱۲/۰۴	۱۲/۲۷	٪۱/۸۵
COP	-	۵/۸۲۰	۵/۸۲۷	٪۰/۱۲
$\frac{KW}{ton}$	-	۰/۶۰۳۱	۰/۶۰۲۳	-۰/۱۲۱
EER	-	۱۹/۸۵	۱۹/۸۸	۰/۱۵۹

به نظر می‌رسد که کلکتور خورشیدی تاثیری مفیدی برضریب سرمایش و ضریب عملکرد ندارد. بلکه در نمودار سیکل مربوط به سیستم خورشیدی (سیکل قرمز رنگ) در مقایسـه با سیستم معمولی (سیکل سیاه رنگ) تغییرات کمی ایجاد شده است. دلیل این امر می‌تواند به کارگیری مواد pcm با دمای ذوب ۵۰ درجه باشد، که به نظر می‌رسد کلکتور خورشیدی دمای مورد نیاز برای ذوب کردن pcm در دمای ۳۲ درجه را از طریق تابش خورشید بدست نیاورده است.

همانطور که از ارزیابی شـکل ۵-۲ مشخص می شود، در نمودار سیکل مربوط به سیستم خورشیدی (سیکل قرمزرنگ) در مقایسـه با سیستم معمولی (سیکل سیاه رنگ) تغییراتی ایجاد شده است. آن چـه کـه تـأثیر وجـود کلکتـور خورشیدی همراه با مواد pcm را در شکل۳ نشان می‌دهد خط مربوط به انبساط در سیستم خورشیدی است که به سـمت چپ انتقال یافته و موجب افزایش اندک ظرفیت سرمایش از ۱۲/۰۴ kW به ۱۲/۲۷ kW و در نتیجه منجـر بـه افزایش اندک ضریب عملکرد از ۵/۸۲ kW به ۵/۸۲۷ kW مـی‌شـود.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1399.7.3.1.2]



شکل ۳: دیاگرام p-h دردمای ۳۲ °C

۴-۲- نتایج آزمایش برای دمای۴۳ °C ساعت ۱۵

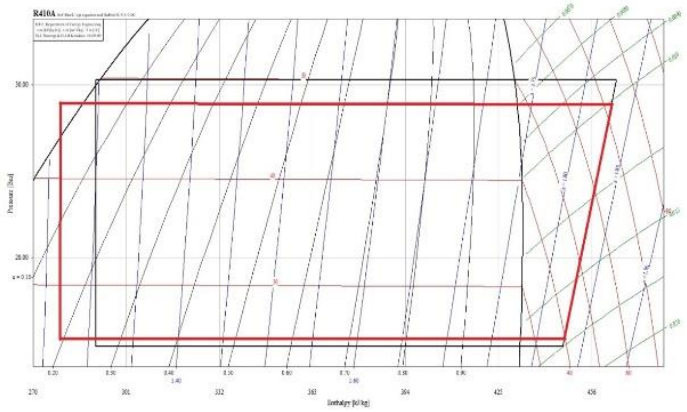
با مقایسه بین پارامترهای مربوط به سیستم خورشیدی نسبت به سیستم معمولی مشاهده می‌شود. دمای تقطیر کاهش پیدا می‌کند و خروجی کندانسور در منطقه مادون سرد می‌باشد. بدلیل اینکه بخار پس از عبور از پنل خورشیدی به گاز سوپرهیت با فشار بالا تبدیل شده و در کندانسور مبرد بهتر و بیشتر تغییر فاز داده و از گاز به مایع تبدیل می‌شود اما در سیکل تبرید تراکمی معمولی چون دما و فشار گاز پایین‌تر است تغییر فاز به خوبی صورت نگرفته و خروجی کندانسور بخار اشباع شده می‌باشد. بنابراین در سیکل تبرید تراکمی خورشیدی مایع با فشار بیشتری به موئینگی رسیده و سرمایش بیشتری ایجاد می‌کند یا به ازای سرمایش یکسان راندمان سیستم خورشیدی بهتر می شود. در نتیجه ظرفیت سرمایش و ضریب عملکرد در حالت خورشیدی نسبت به حالت معمولی به ترتیب ۳/۸۳٪ و۳/۸۴٪ افزایش می‌یابد. این تغییرات همانطور که قبلاً بیان شد نشان دهنده تأثیر وجود کلکتور خورشیدی همراه با مواد pcm است. در نمودار سیکل مربوط به سیستم خورشیدی (سیکل قرمز رنگ) در مقایسه با سیستم معمولی (سیکل سیاه رنگ) تغییراتی ایجاد شده است. آن چه که تأثیر وجود کلکتور خورشیدی همراه با مواد pcm را در شکل۴ شان می‌دهد خط مربوط به انبساط در سیستم خورشیدی است که به سمت چپ انتقال یافته و موجب افزایش ظرفیت سرمایش از ۱۰/۸۲ kW به ۱۱/۲۵۱ kWو در نتیجه منجر به افزایش ضریب عملکرد از ۵ kW به ۵/۲ kW می‌شود.

جدول۳ نتایج برای دمای ۴۳ درجه

پارامتر	دیمانسیون	سیستم معمولی	سیستم خورشیدی با استفاده از pcm	تغییرات نسبت به سیستم با pcm
$\dot{W}_{Comp}$	KW	۲/۱۶۷	۲/۱۶۰	٪-۰/۳۲
$\dot{m}_{Cycle}$	Kg/sec	۰/۰۷۰	۰/۰۷۰	٪۰/۱۴۲
$\dot{Q}_L$	KW	۱۰/۸۲	۱۱/۲۵۱	٪۳/۸۳
COP	-	۵	۵/۲	۳/۸۴۶
$\frac{KW}{ton}$	-	۰/۷۰۲	۰/۶۷۵	-۴
EER	-	۱۷/۰۶	۱۷/۷۴۲۴	۳/۸۴۶

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1399.7.3.1.2]



شکل۴: دیاگرام p-h دردمای ۴۳ °C

۴-۳- نتایج آزمایش برای دمای۳۶ °C ساعت ۲۳

همانطور که از ارزیابی شـکل ۵-۵ مشخص می‌شود، به نظر می‌رسد که کلکتور خورشیدی تاثیری مفیدی برضریب سرمایش و ضریب عملکرد ندارد. بلکه در نمودار سیکل مربوط به سیستم خورشیدی (سیکل قرمز رنگ) در مقایسـه با سیستم معمولی (سیکل سیاه رنگ) تغییرات کمی ایجاد شده است. دلیل این امر می تواند به کار گیری مواد pcm با دمای ذوب ۵۰ درجه باشد، که به نظر می‌رسد کلکتور خورشیدی دمای مورد نیاز برای ذوب کردن pcm و انتقال گرما به مبرد را در دمای ۳۶ درجه از طریق تابش خورشید بدست نیاورده است. همانطور که از ارزیابی شـکل ۵ مشخص می شود، در نمودار سیکل مربوط به سیستم خورشیدی (سیکل قرمزرنگ) در مقایسـه با سیستم معمولی (سیکل سیاه رنگ) تغییراتی ایجاد شده است.

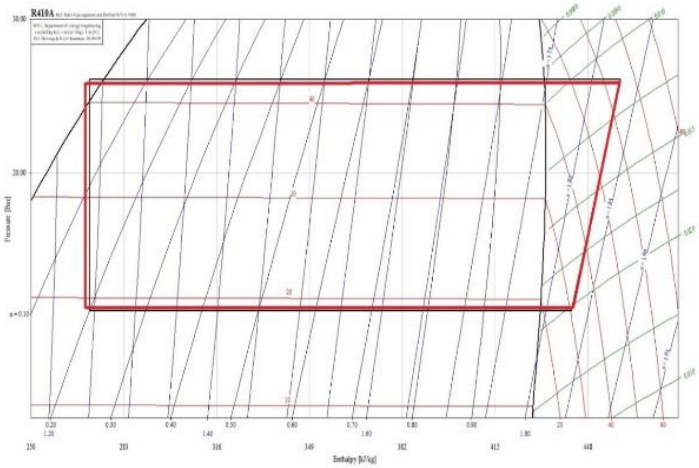
جدول۲ نتایج برای دمای ۳۶ درجه

پارامتر	دیمانسیون	سیستم معمولی	سیستم خورشیدی با استفاده از pcm	تغییرات نسبت به سیستم با pcm
$\dot{W}_{Comp}$	KW	۲/۰۷۳	۲/۰۴۸	٪-۱/۲۲
$\dot{m}_{Cycle}$	Kg/sec	۰/۰۷۱	۰/۰۷۰	٪-۱/۴۲
$\dot{Q}_L$	KW	۱۱/۷۳	۱۱/۶۲	-۰/۹۴
COP	-	۵/۶۶	۵/۶۹	٪۰/۵۲
$\frac{KW}{ton}$	-	۰/۶۲	۰/۶۱۶۸	٪-۰/۵۱
EER	-	۱۹/۳۱۱	۱۹/۴۱	٪۰/۵۱

آن‌چـه کـه تـأثیر وجـود کلکتـور خورشیدی همراه با مواد pcm را نشان می‌دهد خط مربوط به انبساط در سیستم خورشیدی است که به سـمت چپ انتقال یافته و موجب افزایش ظرفیت سرمایش‌از ۱۱/۶۲ kW به ۱۱/۷۳ kW و در نتیجه منجـر بـه افزایش ضریب عملکرد از ۵/۶۶ kW به ۵/۶۹ kW مـی شـود.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1399.7.3.1.2]

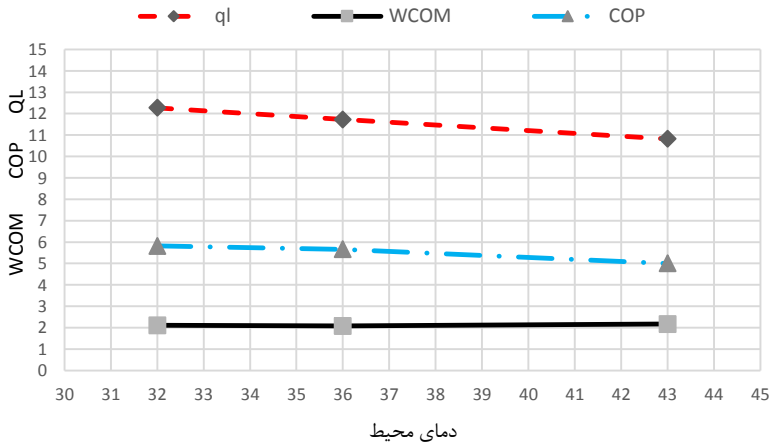


شکل ۵ : دیاگرام p-h دردمای ۳۶ °C

۵- بحث و بررسی نتایج

نمودارهای ۶ و ۷ تغییرات ضریب عملکرد، ضریب سرمایش و کارکمپرسور نسبت به دمای محیط را در سه آزمایش انجام شده در دماهای(°C) ۳۲ ساعت ۷صبح، (°C) ۴۳، ساعت ۱۵بعدظهر ، (°C) ۳۶، ساعت ۲۳ شب برای حالت سیکل معمولی و سیکل خورشیدی نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می شود در دماهای صبح و شب تغییرات چندانی در عملکرد سیکل در حالت معمولی و خورشید ایجاد نشده است. بنظر می‌رسد کلکتورخورشیدی در زمان‌های فوق گرمای کافی برای رسیدن به دمای ذوب pcm را از نور خورشید جذب نمی‌کند. دلیل آن کمتر بودن تابش مستقیم آفتاب می باشد. از اینرو به بررسی آزمایش در ساعت ۱۵ (°C)۴۳ که تغییرات بیشتری نسبت به دو آزمایش دیگر داشته است می‌پردازیم.

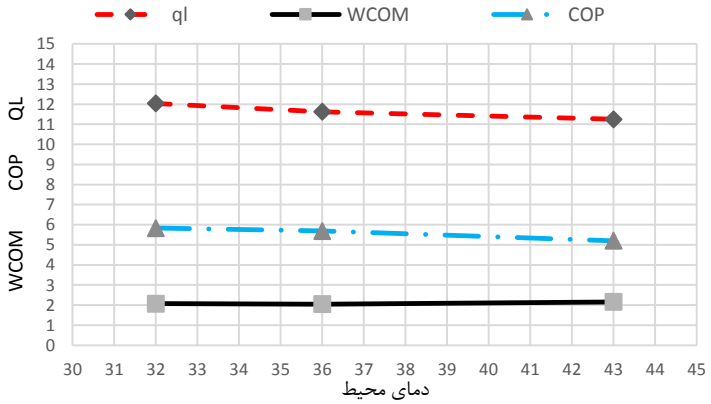
با افزایش دمای هوا، ضریب عملکرد و ضریب سرمایش روند نزولی و کار کمپرسور تقریباً ثابت می‌باشد. ولی طبق نتایجی که در نمودار ۸ نشان داده شده است شیب ضریب عملکرد و ضریب سرمایش در سیستم خورشیدی در مقایسه با سیستم معمولی در دمای(°C)۴۳ کمتر نزول یافته و در سطح بالاتری نگه داشته می‌شود که دلیل آن افزایش ضریب عملکرد و ضریب سرمایش در سیستم خورشیدی نسبت به سیستم معمولی است.



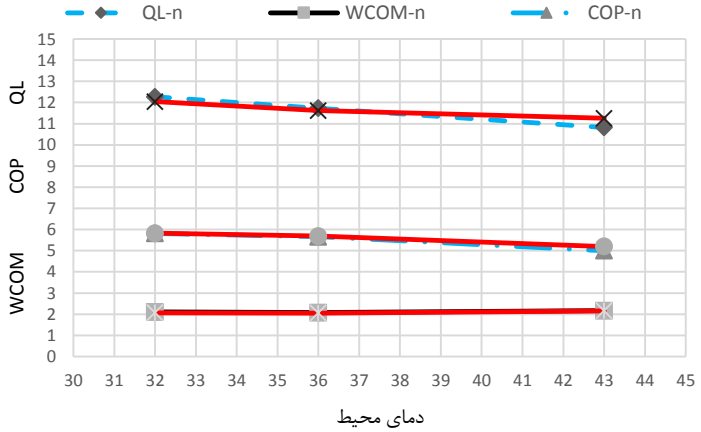
شکل۶: تغیرات سیکل معمولی بر حسب دمای محیط

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1399.7.3.1.2]



شکل نمودار۷: تغییرات سیکل خورشیدی برحسب دمای محیط



شکل نمودار۸: مقایسه تغییرات سیکل خورشیدی و معمولی برحسب دمای محیط

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله به بررسی تجربی تأثیر استفاده از مواد تغییر فاز دهنده pcm در عملکرد یک سیکل تبرید تراکمی خورشیدی پرداخته شد. بررسی نتایج داده‌های تجربی‌درساعت ۱۵(بیشینه دما) نشان می‌دهد که با استفاده از کلکتور خورشیدی همراه با pcm در سیستم خورشیدی نسبت به سیستم معمولی ظرفیت سرمایش نسبت به حالت سیکل معمولی افزایش یافته و در نهایت این موضوع باعث افزایش ضریب عملکرد سیکل می‌شود ولی تاثیر چندانی در توان مصرفی کمپرسور ایجاد نمی‌کند. از طرفی نتایج آزمایشات بدست آمده در ساعت ۷ صبح و ۲۳شب (کمینه دما) نشان می‌دهد که کلکتور خورشیدی تأثیر چندانی در کارکرد و عملکرد سیستم نخواهد داشت.

۶-۱- جمع‌بندی

در این مقاله تأثیر استفاده از مواد تغییر فاز دهنده pcm در عملکرد یک سیکل تبرید تراکمی خورشیدی مورد بررسی قرار گرفت که نتایج به‌دست آمده در این تحقیق در ساعت ۱۵ به طور خلاصه به صورت زیر بیان می‌شوند.

۱) ضریب عملکرد سیستم معمولی در مقایسه با سیستم خورشیدی با افزایش دمای مبرد در خروجی کمپرسور از ۵ به ۵/۲ (در حدود ۳/۸۴۶٪) افزایش می‌یابد.

۲) ضریب سرمایش سیستم معمولی در مقایسه با سیستم خورشیدی با افزایش دمای مبرد در خروجی کمپرسور از۱۰/۸۲ به۱۱/۲۵۱ (حدود ۳/۸۳٪) افزایش می‌یابد.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1399.7.3.1.2]

۳) کار کمپرسور سیستم معمولی در مقایسه با سیستم خورشیدی بـا افزایش دمای مبرد در خروجی کمپرسور از ۲/۱۶۷ به ۲/۱۶ (حدود ۰/۳۲٪) کاهش می یابد.

مراجع

۱- اقتداری، هاشم، طراحی، ساخت و ارزیابی عملکرد کندانسور تبخیری برای کولرهای گـازی دو تکه، پایان نامه کارشناسی‌ارشد، گروه مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه شهید چمـران اهواز، شهریور۸۷

۲- بخشی‌پور و همکاران، بررسی عملکرد سیکل تبرید تراکمی با استفاده از مواد تغییرفازدهنده(pcm)، پنجمین کنفرانس بین المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی

۳- بازوند، ا.، بررسی پارامترهای عملکـردی سـایکلون‌هـای جداکننـده گـازی، پایان نامـه کارشناسی ارشد، گروه مکانیک،دانشکده مهندسی، دانشگاه شهید چمران اهواز،مهر ۹۰

۴- بهسرشت، ا.، تحلیل تجربی عملکرد یک سیستم تهویه مطبوع هیبریدی خورشیدی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه چمران، مهر ۹۱

۵- جعفر کاظمی، ف.،۱۳۸۸،کتاب تبرید و اصول و روش ها، چاپ اول، انتشارات دانشگاه ازاد اسلامی واحد تهران جنوب

۶- حاج سقطی، ا.، جعفری، ا.، اصول تبرید، طراحی و محاسبات سیسـتم هـای سردکننده، تألیف، روی. جی.دوسات، چـاپ هشـتم، تهـران، انتشـارات دانشـگاه علـم وصنعت ایران، ۱۳۸۸

۷- حاجی دولو، ا.، ارزیابی سرمایش تبخیری برای انتقـال گرمـا در کندانسـور کولرهـای گازی، نشریه مهندسی دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، سال ۲۵، شمار ۱، اسفند۸۵

۸- حاجی دولو، ا.، بررسی تأثیر استفاده از کندانسور تبخیری به جای کندانسور هـوایی در عملکرد کولرهای گازی، نشریه مهندسـی دانشـگاه صـنعتی اصـفهان، اصـفهان، سـال۲۲، شماره ۲، اسفند۸۲

۹- فاطمه، جعفری، ذخیره سازی انرژی با استفاده از مواد (pcm)، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه شیمی، دانشکده مهندسی، دانشگاه سمنان، مهر ۹۰

۱۰- مسعودی و همکاران، مروری بر مواد تغییر فاز دهنده(pcm) به عنوان منبع ارزشمند انرژی، پنجمین کنفرانس انرژیهای تجدید پذیر، پاک و کارآمد، اسفند۹۲

۱۱- مقیمان، م.، مهندسی تهویه مطبـوع و حـرارت مرکـزی، چـاپ سـوم، مشـهد، انتشـارات دانشگاه فردوسی مشهد،۱۳۸۵

۱۲- ویسی، ف.. ا.، حاجی دولو، دل سازی و شبیه سازی سیکل تبرید تراکمی کولر گازی و ارزیابی ضریب عملکرد آن تحت شرایط محیط مختلف، مجله علمی و پژوهشی مهندسی مکانیک مدرس، اردیبهشت۱۳۹۱

13- Alexis, G.K., Karayiannis, E.K., "A solar ejector cooling system using refrigerant 134a in the Athens", Technical Note, Renewable Energy, Vol. 30,2005, pp. 1457-1469

14- Andrén L.,Solenergi Praktiska tillämpningar i bebyggelse, 2nded.,Stockholm, 2001: AB Svensk Byggtjäns ISBN 91-7332-967-3

15- Bergander, M., Butrymowicz, D., Karwacki, J., Wojciechowski, J., "application of two phase ejector as second stage compressor in refrigeration cycles", World conference on experimental heat transfer, Fluid mechanics and thermodynamics, Krakow, Poland, No. 7, 2009,2237-2244

16- Badescu, V., "Model of a solar-assisted heat-pump system for space heating integrating a thermal energy storage unit", Energy and Buildings, Vol.34, 2002, pp. 715-726

17- Badescu, V., "First and second law analysis of a solar assisted heat pump based heating system", Energy Conversion and Management, Vol. 43, 2002,pp.2539-2552

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1399.7.3.1.2]

18- Caglar, A., Yamali, C., "Performance analysis of a solar-assisted heat pump with an evacuated tubular collector for domestic heating", Energy and Buildings, Vol. 54, 2012, pp. 22-28
19- Dikici,A.,Akbulut, A.,"Performance characteristics and energy-exergy analysis of olar-assisted heat pump system", Building and invironment, Vol. 43, 2008, pp.1961-1972
20- Duffie, j, w, Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes,Printed in The United States of America, 2006
21- Ersoy, H.K., Yalcin, S., Yapici, R., Ozgoren, M., "Performance of a solar ejector cooling-systemin the southern region of Turkey", Applied Energy, Vol. 84, 2007, pp. 971-983
22- Guo, J., Shen, H.G., "Modeling solar-driven ejector refrigeration system offering air conditioning for office buildings", Energy and Buildings, Vol. 41, 2009, pp. 175-181
23- Hernández, J.I., Best, R., Dorantes, R.J. and Estrada, C.A., "Study of a Solar Booster Assisted Ejector Refrigeration System With R134a", Journal of Solar Energy Engineering, Transactions of the ASME, Vol. 127, 2005, pp. 53-59
24- Hernández, J.I., Dorantes, R.J., Best, R., Estrada, C.A., "The behavior of ahybrid compressor and ejector refrigeration system with refrigerants 134a and 142b", Applied Thermal Engineering, Vol. 24, 2004, pp. 1765-1783
25- Huang, B.J., Wu, J.H., Hsu, H.Y., Wang, J.H., "Development of hybrid solar-assisted cooling/heating system", Energy Conversion and Management, Vol.51, 2010, pp. 1643-1650
26- Hugh, W., Coleman, W., Glenn, S., Experimentation, validation and uncertainty analysis for engineers, 3rd Ed., Jhon wiley & sons, new jersy, 2009
27- Kim, D.S.,Infante Ferreira, C.A.,"Solar refrigeration options–a state-of-the-art review" International Journal of Refrigeration, Vol. 31, 2008, pp. 3-15
28- Kaygusuz, K., "Experimental and theoretical investigation of a solar heating system with heat pump", Renewable energy, Vol. 21, 2000, pp. 79-102
29- Kuang, Y.H., Wang, R.Z., "Performance of a multi-functional direct-expansion solar assisted heat pump system", Solar Energy, Vol. 80, 2006, pp.795-803
30- Khalaji Assadi,. M, Gilani, Design Solar Hybrid Air Conditioning Compressor System Article in MATEC Web of Conferences, January 2016
31- Norton, B., "Solar Energy Thermal Technology", Springer Verlag, Germany, 1992
32- Pridasawas, W.,Solar-driven refrigeration systems with focus on the ejector cycle, Dctoral
Thesis, Royal Institute of Technology, Stokholm, 2006
33- Rona, N.,Solar Air- Conditioning Systems Focus on components and their working principles, Ebook-Edition, Göteborg, Sweden, Chalmers University of Technology, 2004
34- Rabl, A., "Active solar collectors and their applications", Oxford University Press Inc, USA,1985
35- Twidell, J., Weir, T., "Renewable Energy Resources", Great Britain, E&FN Spon, 1998
36- https://www.tges.ir
37- https://www.solarkar.ir

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1399.7.3.1.2]

چکیده انگلیسی:

Experimental investigation on the effect of phase change materils (PCM) in solar compression refrigeration cycle efficiency

Seyed Moslem Moosavi[1], MohammadReza Saffarian[2]*

1Department of Mechanical Engineering, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran
2 Department of Mechanical Engineering, Chamran University, Ahvaz, Iran

Received: August 2020, Accepted: September 2020

Abstract

Saving energy is one of the most important challenges of todaychr('39')s world. Reducing electrical energy consumption in compressed air systems is one of the essential requirements for designing these systems. When using domestic air conditioners (dual air conditioners) in very hot areas (Khuzestan) their performance decreases and electric current consumption increases. Therefore, the use of new and renewable energies such as solar energy can play a significant role in reducing energy consumption. In this plan, the plane plate solar collector, which contains PCM, is placed in the compressed air compression and condenser refrigeration compression cycle, and by obtaining the parameters of pressure and temperature at different points of the cycle, and comparing it with the ordinary mode The refrigeration cycle (no collector), compressor work, cooling capacity and performance factor are calculated and investigated. In the same way, the data is synchronized in the normal state and in the solar system at three different times (at 7 am, 15 ochr('39')clock, and 23 ochr('39')clock). The experimental results show that at the maximum temperature (at 15 ochr('39')clock), with a rise (6.3° C), the refrigerant temperature of the collector output, the thermodynamic characteristics of the improved system, such that the cooling coefficient from 10.82 to 11.21 and the coefficient of cycle performance From 5 to 5.2 was increased by %3.83 and %3.84 and the compressor power was from 167.2 to 160.2 which decreased by about 0.32%. Moreover, due to the lack of adequate sunlight and proper collector heat absorption in the experiments at 23 ochr('39')clock and 7 ochr('39')clock, there was little effect on the thermodynamic characteristics of the conventional and solar cycles.

Key words: Condensation refrigeration cycle solar collector, phase change material (pcm)
*corresponding author: moslem_mousavi@yahoo.com

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1399.7.3.1.2]