



Experimental Evaluation of an Energy Efficiency Improvement System in Split Air Conditioner

H. A. Ozgoli*, K. Seiedi Niaki

Department of Mechanical Engineering, Iranian Research Organization for Science and Technology (IROST), Tehran, Iran

ABSTRACT: In this study, the effect of using a wet evaporation layer in the inlet air of the condenser on the performance of split air conditioner has been investigated. Also, based on a new contribution, the drained water generated due to the ambient moisture distillation on the evaporator coil, collected and used in the evaporation layer. The temperature of passed air through the surface of the condenser is reduced before entering the condenser due to contact with the evaporation layer. Applied experimental studies and results of prototype test showed that by reducing the temperature of condenser inlet air using proposed evaporative cooling system, the average electrical energy consumption decreases more than 12% and the coefficient of performance increases about 15.1%. Also, despite the desired effects of the proposed mechanism on the coefficient of performance and system energy consumption, the results of parametric studies indicated that effectiveness of the evaporative condenser reduced due to the ambient temperature and relative humidity. So that, the system performance changes decreases with increasing ambient temperature (30.5 to 44.5 Celsius) from 18.22% to 15.05%, and also it declines from 18.14% to 6.4%, as well as reduction of the relative humidity (from 35 to 70 percent).

Review History:

Received: 08/04/2018
Revised: 28/07/2018
Accepted: 07/09/2018
Available Online: 16/09/2018

Keywords:

Split air conditioner
Drain water
Evaporative condenser
Energy consumption reduction
Coefficient of performance

1. INTRODUCTION

Split air conditioners use air condensers like many other types of condensing cooling equipment. Using this kind of condenser is more useful than other types of condensers due to its significant advantages in storage, more lifetime and more flexibility in capacity control. The efficiency of these devices is inversely related to the outside temperature, and the ambient temperature rise will lead to an efficiency loss in these systems. Some studies have shown that for every one degree of temperature rise of the condenser surface, the system performance decreases by about 3%. Also, for each degree of reduction in the condenser temperature, the system performance increases between 2 to 4% [1, 2].

One of the effective ways for inlet air cooling of the condenser and consequently reduce the condenser temperature is using a wet evaporating layer in the air entrance or spraying the water directly on the inlet air. In this case, the air temperature decreases in the entrance of the condenser after passing through the wet layer [3, 4].

In all of the previous research, the use of feed water due to persistent evaporation is essential and inevitable. Of course, in a sterner look, it can be seen that this amount of water that leads to lower energy consumption in cooling systems can reduce the water loss that is lost in the thermal power plants during the process of generating electricity. Although there is no accurate information about the average water

consumption per kilowatt hour of electrical energy, due to the major part of the country's electricity production by thermal and hydropower plants, this is about 2.5 to 4 liters [5, 6].

The presented approach in this study is using drain water from the distillation of air moisture to reduce the consumption of the same amount of water in a split air conditioner. Generally, since the coil surface temperature is lower than the dew point of the ambient air, the humidity in the air is distilled on the coil surface and is drained by the tubes to the outside. While this water can be collected and used to reduce the temperature of the inlet air by the evaporative layer of the condenser.

2. METHODOLOGY

The processes of a compression cooling cycle can be represented using thermodynamic diagrams. To analyze a compression cycle, usually, the temperature-entropy ($T-s$) and the pressure-enthalpy ($P-h$) graphs are used. Of course, the pressure-enthalpy graph is more conventional and more popular.

In order to experimentally investigate the effect of evaporative layer application on split air conditioner operation, an instance system was designed and implemented. The results were analyzed and the effect of the evaporation layer was evaluated. In this test, drainage water was collected from an air conditioner and used for evaporation. The mechanism for this study is shown in Fig. 1. The system tests

*Corresponding author's email: a.ozgoli@irost.org



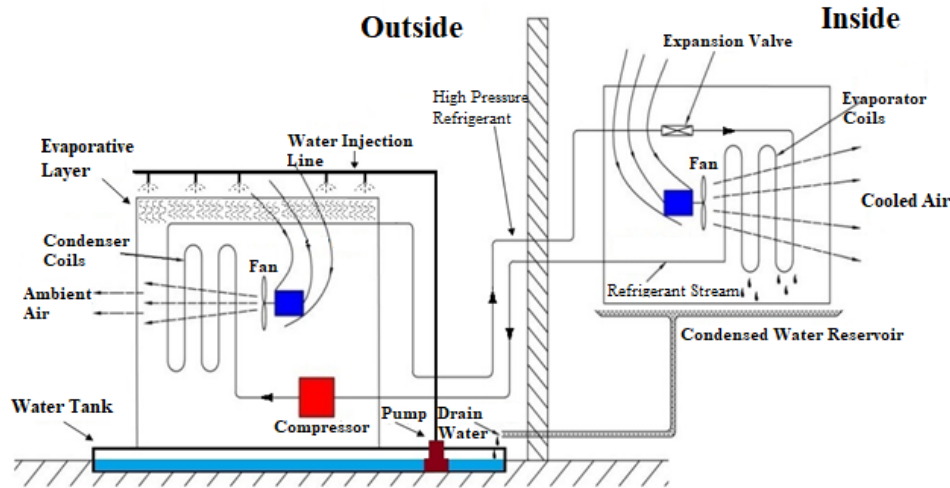


Fig. 1: Configuration of the proposed system

which are proposed in this study have been performed at the site of the center of test and research of cooling systems located in the Iranian research organization for science and technology, which has separate rooms for internal and external investigations. In addition, in order to carry out the test, a split air conditioner was used with a cooling capacity of 27000 Btu/hr. The refrigerant type in the tested device is R22.

3. DISCUSSION AND RESULTS

In order to make the energy model of the proposed system, Engineering Equation Solver (EES) software has been used. The governing equations for the considered cycle were solved in this model. Thus, according to Fig. 2, the P-H diagram as one of the most important characteristics of the system's performance was developed. Table 1 shows the values obtained from the experiment for both cases without/with using the evaporation layer.

In the presented study, the amount of drain water was 1.5 lit/hr and water consumption due to evaporation in the evaporative layer was 8 lit/hr. It should be noted that the

Table 1: Achieved results from the experimental study

Parameter (unit)	Without the evaporative layer	With the evaporative layer
Power (kW)	2.89	2.47
COP	2.15	2.54
Cooling Capacity (kJ/kg)	6.21	6.28

amount of drainage water can be affected by different factors, including the number of people in the building, the presence of factors like the humidity of plants or activities such as cooking and etc. On the other hand, the evaporation rate of water can also be related to the ambient air temperature and relative humidity of the environment.

Regarding the geographical range for using the proposed system, it can be said that the use of evaporative systems in low relative humidity regions is appropriate. In fact, the efficiency of evaporative devices is dependent on the difference between the dry and wet air conditions, and the increase in the difference between these two temperatures increases the equipment efficiency.

In order to consider the feasibility of using the presented system in this study on the air-conditioning equipment, it should be noted that all air conditioning systems can be upgraded with this mechanism. In addition, in larger systems, the amount of drain water is naturally higher and the storage tank, pipeline network, and pump circulation are required in larger scales.

4. CONCLUSIONS

In summary, the results of the present study in the form of a theoretical and experimental study are shown as follows:

- Power consumption of the compressor decreased by an average of 32.12%.
- The heat absorption capacity of the evaporator increased by about 14.5%.
- The Coefficient of Performance (COP) of the system increased by more than 15.1%.

Moreover, the results obtained from parametric analyzes

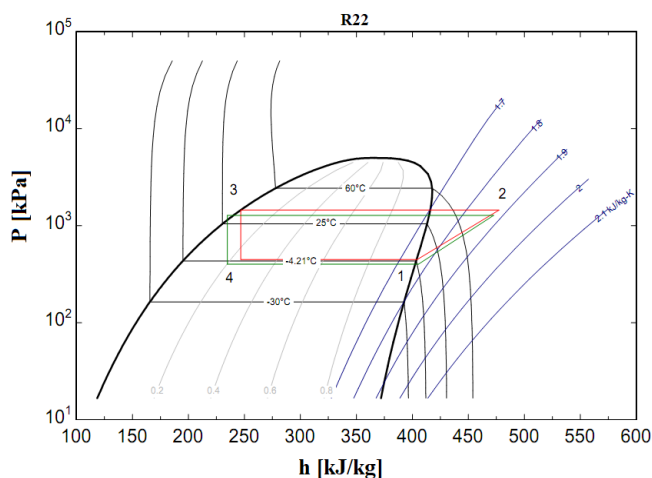
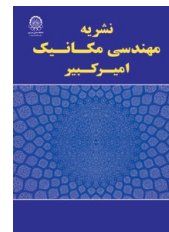


Fig. 2: The P-H diagram of the presented system with and without using the evaporative layer

in this study have shown the reduction of the effectiveness of the evaporative condenser system with increasing ambient temperature and relative humidity. However, the utilization of this mechanism under all considered conditions has had a positive effect on the rate of performance and energy consumption the split air conditioner.

REFERENCES

- [1] E. Hajidavalloo, Application of evaporative cooling on the condenser of window-air-conditioner, *Applied Thermal Engineering*, 27(11) (2007) 1937-1943.
- [2] D.P. Chainarong Chaktranond, An Experimental Evaluation of Energy Saving in a Split-type Air Conditioner with Evaporative Cooling Systems *International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies*, 1(1) (2010) 9-18.
- [3] Andrew D. Althouse, Carl H. Turnquist, Alfred F. Bracciano, Daniel C. Bracciano, Gloria M. Bracciano, *Modern Refrigeration and Air Conditioning*, Goodheart-Willcox, 2016.
- [4] Roger W. Haines, Michael E. Myers, *HVAC Systems Design Handbook*, Fifth Edition, McGraw-Hill Education, 2009.
- [5] *Annual Energy Outlook 2016*, in, U.S. Energy Information Administration (IEA), 2016.
- [6] U. Lee, Han, J., and Elgowainy, A., *Water Consumption Factors for Electricity Generation in the United States*, Argonne National Laboratory, Energy Systems Division, 2016.



ارزیابی تجربی یک سیستم بهبوددهنده عملکرد انرژی در کولر گازی اسپلیت

حسنعلی ازگلی^{*}، کیوان سیدی نیایی

پژوهشکده مکانیک، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، تهران، ایران

تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۳۹۷/۰۱/۱۹

بازنگری: ۱۳۹۷/۰۵/۰۶

پذیرش: ۱۳۹۷/۰۶/۱۶

ارائه آنلاین: ۱۳۹۷/۰۶/۲۵

کلمات کلیدی:

کولر گازی اسپلیت

آب تخلیه

کندانسور تبخیری

کاهش مصرف انرژی

ضریب عملکرد

خلاصه: در این پژوهش، تأثیر استفاده از یک لایه تبخیری مرطوب در هوای ورودی به کندانسور، بر روی عملکرد کولر گازی اسپلیت مورد مطالعه قرار گرفته است. همچنین، با ارائه ابتکاری جدید، آب تخلیه تولید شده از تقطیر رطوبت موجود در هوای داخل، جمع آوری و در لایه تبخیری کندانسور به مصرف رسیده است. هوای عبوری از روی سطح کندانسور، پیش از ورود در اثر تماس با لایه تبخیری، کاهش دما می‌یابد. مطالعات تجربی صورت گرفته و نتایج به دست آمده از آزمایش نمونه ساخته شده نشان داد که در اثر کاهش دمای هوای ورودی به کندانسور با استفاده از این طرح سرمایش تبخیری، به طور متوسط مصرف انرژی الکتریکی بیش از ۱۲ درصد کاهش و ضریب عملکرد به مقدار ۱۵/۱ درصد افزایش داشته است. همچنین، علیرغم اثرات مطلوب مکانیزم ارائه شده در این تحقیق بر روی ضریب عملکرد و میزان مصرف انرژی سیستم، نتایج تحلیل‌های پارامتریک نشان از کاهش اثربخشی سیستم کندانسور تبخیری با افزایش دما و رطوبت نسبی محیط داشته است. بطوریکه درصد تغییرات ضریب عملکرد سیستم با افزایش دمای محیط (از ۳۰/۵ به ۴۴/۵ درجه سلسیوس) از ۱۸/۲۲٪ به ۱۵/۰۵٪ و همچنین با افزایش رطوبت نسبی محیط (از ۳۵ به ۷۰ درصد) از ۱۸/۱۴٪ به ۶/۴٪ کاهش می‌یابد.

۱- مقدمه

تغییرات ناگهانی و افزایش دمای هوا در سال‌های گذشته، افزایش سطح رفاه جامعه و به دنبال آن تمایل به استفاده از تجهیزات گران‌تر در زمینه تهویه مطبوع ساختمان‌ها، افزایش قیمت زمین و مسکن، عدم تمایل به استفاده از تجهیزات و سیستم‌های مرکزی تهویه مطبوع، در کنار واردات بی‌رویه، موجب افزایش استفاده از کولرهای گازی در سال‌های اخیر شده است. این در صورتی است که با توجه به آب و هوای نسبتاً خشک در اکثر نقاط کشور، ضرورتی به استفاده از این تجهیزات وجود ندارد و سیستم‌های تبخیری که مصرف انرژی پایین‌تری دارند، برای بسیاری از اقلیم‌های کشور مناسب است. درعین حال، با توجه به موارد یاد شده استفاده از کولرهای گازی در حال افزایش است. جدا از مسأله مصرف انرژی بالای کولرهای گازی، افزایش پیک بار شبکه در روزهای تابستان موجب بروز مشکلاتی

در شبکه توزیع گردیده است. با توجه به اینکه در حال حاضر تعداد بسیار زیادی کولر گازی در کشور وجود داشته و در حال افزایش نیز می‌باشد، ارائه راهکاری جهت کاهش میزان مصرف انرژی در این دستگاه‌ها بسیار حائز اهمیت است [۱].

کولرهای گازی مانند بسیاری دیگر از تجهیزات تبرید تراکمی از کندانسورهای هوایی استفاده می‌کنند. استفاده از این نوع کندانسور به دلیل مزایای خوب و قابل توجه در بحث نگهداری و تعمیرات، طول عمر بیشتر و همچنین انعطاف‌پذیری بیشتر در زمینه کنترل ظرفیت، نسبت به انواع دیگر کندانسورها پرکاربردتر است. راندمان این دستگاه‌ها به صورت معکوس با دمای محیط بیرونی رابطه داشته و بالا رفتن دمای محیط موجب افت راندمان در آن‌ها خواهد شد. مطالعات نشان داده است به ازای هر یک درجه افزایش دمای سطح کندانسور، ضریب عملکرد سیستم به میزان ۳٪ افت می‌کند. همچنین، به ازای هر یک درجه کاهش در دمای کندانسور ضریب عملکرد سیستم ۲ تا

^{*} نویسنده عهده‌دار مکاتبات: a.ozgoli@irost.org

۴ درصد افزایش پیدا می کند [۲ و ۳].

یکی از راهکارهای مؤثر که موجب خنک تر کردن هوای ورودی به کندانسور و در نتیجه کاهش دمای کندانسور می شود، استفاده از یک لایه تبخیری مرطوب در هوای ورودی به کندانسور و یا پاشش آب به صورت مستقیم در هوای ورودی به کندانسور است. در این حالت، دمای هوا در ورود به کندانسور پس از عبور از لایه مرطوب و تماس با آب، با تبخیر بخشی از آب و انتقال گرمای نهان تبخیر به آب، کاهش می یابد [۴ و ۵].

چاکتراند^۱ و همکاران [۲]، به بازسازی کندانسور با انواع مختلفی از سیستم های سرمایش تبخیری غیرمستقیم پرداختند. استفاده از لایه سلولزی مرطوب در هوای ورودی به کندانسور، اسپری آب در هوای ورودی و ایجاد یک غشاء آبی و ترکیب های مختلفی از این حالت ها، در قالب شش طرح مختلف بود که مورد مطالعه و مقایسه قرار گرفته و دستورالعملی برای کاهش مصرف انرژی در کولرهای گازی اسپلیت ارائه کردند. نتایج این تحقیق نشان داد در صورت استفاده از آرایش مناسبی از تزریق آب به صورت مستقیم و بر روی لایه سلولزی می توان مصرف برق سیستم را تا ۱۵٪ کاهش داده و ضریب عملکرد سیستم را تا ۴۸٪ بهبود بخشید.

وارکوپولوس^۲ و همکاران [۶]، در پژوهشی یک کندانسور تبخیری یکپارچه که در آن آب مستقیماً به داخل هوا اسپری می شد را بازسازی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد ضریب عملکرد سیستم تبرید آمیخته شده با کندانسور تبخیری تا ۲۱۱٪ قابل افزایش است و کاهش مصرف انرژی در این سیستم تا ۵۸٪ قابل دسترسی است.

گسوامی^۳ و همکاران [۷]، یک مطالعه تجربی در مورد استفاده از سرمایش تبخیری برای یک سیستم تبرید تراکمی هوا خنک با ظرفیت ۲/۵ تن را در پارک انرژی دانشگاه فلوریدا با استفاده از بستر تبخیری مرطوب انجام دادند. در این طرح، چهار بستر در اطراف کندانسور قرار داده و پمپ های کوچکی آب را از بالا به آن تزریق می کردند. نتایج این تحقیق، نشان دهنده کاهش مصرف انرژی الکتریکی به میزان ۲۰٪ بوده است. همچنین، بازگشت سرمایه هزینه های صورت گرفته به منظور بهینه سازی کندانسور، کمتر از دو سال برآورد شد.

ولی^۴ و همکاران [۸]، در تحقیقی به بررسی تأثیر پیش سرمایش هوای ورودی به کندانسور هوایی بر عملکرد واحد تهویه مطبوع پرداختند. در این تحقیق سه روش متفاوت شامل استفاده از پد خنک کننده، توری خنک کننده و قرار دادن سایه بان برای کندانسور به کار گرفته شد. این سه روش برای سه دستگاه تهویه مطبوع مشابه با ظرفیت ۲/۸ تن تبرید در شرایط اوج گرمای تابستان و دمای بین ۳۹ تا ۴۵ درجه سانتی گراد در کویت مورد استفاده قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که توان مصرفی کمپرسور بین ۸/۱ تا ۲۰/۵ درصد کاهش خواهد یافت و ظرفیت سرمایشی دستگاه از ۶/۴ تا ۷/۸ درصد افزایش پیدا خواهد کرد. همچنین، ضریب عملکرد سیستم از ۳۶٪ تا ۵۹٪ افزایش خواهد داشت.

اسماعیل جاسم^۵ [۹]، در تحقیقی به بالا بردن کارایی کندانسور کولر گازی با استفاده از سرمایش تبخیری پرداخت. این آزمایش بر روی یک کولر گازی با ظرفیت ۲ تن تبرید در آزمایشگاه مکانیک دانشگاه المستنصریه صورت پذیرفت. در این پژوهش، از دو روش مستقیم پاشش آب بر روی کندانسور و غیرمستقیم پاشش آب بر روی لایه سلولزی استفاده شد. روش مستقیم به دلیل ایجاد رسوب و خوردگی قابل علمیهاتی شدن نخواهد بود. در روش غیر مستقیم آب به وسیله پمپ کوچکی که در سینی ذخیره آب قرار گرفته بر روی یک لایه سلولزی به ضخامت ۵ سانتی متر که در پشت کندانسور و در فاصله ۲/۵ سانتی متر آن تعبیه شده، پاشیده می شود. نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از این سیستم می تواند ضریب عملکرد^۶ را تا ۷۳٪ بهبود بخشیده و توان مصرفی کمپرسور را تا ۱۸٪ کاهش دهد.

المغلانی^۷ و همکاران [۱۰]، در تحقیقی بالا بردن کارایی سیکل تبرید از طریق پاشش قطرات آب سرد پودر شده به داخل کندانسور را مورد مطالعه قرار دادند. در این مطالعه، آب سرد درون مخزن ذخیره از فضای تهویه شده داخل و بدون هیچگونه منبع خارجی تأمین شد. سپس با اندازه گیری دمای قسمت های مختلف سیستم، به بررسی میزان تغییرات ضریب عملکرد، بر حسب دماهای متفاوت طرح داخل و خارج پرداخت و نتایج را به صورت نمودارهای مقایسه ای

4 Waly

5 Ismail Jassim

6 Coefficient Of Performance (COP)

7 El-maghlany

1 Chaktranond

2 Vrachopoulos

3 Goswami

ارائه داد.

بریتو^۱ و همکاران [۱۱]، در پژوهشی کولرهای گازی پنجره‌ای را با سیستم خنک‌کن تبخیری مورد ارزیابی قرار دادند. در این تحقیق، دو لایه پد خنک‌کننده در دو طرف کندانسور قرار داده شد. طرح ارائه شده نسبتاً جدید، با پتانسیل تجاری بالا برای استفاده در کولرهای گازی پنجره‌ای معرفی شد. نتایج این تحقیق نشان داد که کاهش مصرف انرژی به میزان ۸٪ و افزایش میزان ضریب عملکرد تا ۱۴/۲۵٪ قابل دستیابی است.

ون^۲ و همکاران [۱۲]، در تحقیقی تجربی اثر استفاده از مواد مختلف در دیواره پاشش آب را در سرمایش تبخیری بر روی کندانسورهای هوایی را مورد مطالعه تجربی قرار دادند. در این تحقیق، شش ماده مختلف برای پی بردن به مؤثرترین روش، مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که افزایش تراکم مواد مورد استفاده شده، ضمن اینکه حرارت دفع شده را افزایش می‌دهد، موجب کاهش جریان هوای عبوری خواهد شد. علاوه بر این، استفاده از تراشه‌های چوب طبیعی می‌تواند راندمان خنک‌کنندگی را به ۴۲/۷ تا ۶۶ درصد برساند و میزان دفع گرما را ۱۷/۱۷ تا ۲۴/۴۸ درصد افزایش دهد.

پرجاپاتی^۳ و همکاران [۱۳]، در تحقیقی به بازسازی کندانسور یک کولر گازی اسپلیت با استفاده از لایه سلولزی موج‌دار پرداختند. در این طرح پد خنک‌کننده در پشت دستگاه قرار گرفت و آب بر روی آن تزریق شد. نتایج این آزمایش نشان داد که از مقدار نسبت فشار در سیکل کاسته شده که به تبع آن توان مصرفی کمپرسور و مصرف برق کاهش خواهد یافت و در نهایت ضریب عملکرد سیستم بالا می‌رود. همچنین، هزینه طرح با توجه به صرفه‌جویی ایجاد شده، در کمتر از یک سال جبران خواهد شد.

العتیبی^۴ و همکاران [۱۴]، به بررسی عملکرد سیستم تهویه مطبوع هوا خنک با استفاده از پاشش آب پودر شده در کندانسور هوایی پرداختند. در این آزمایش، در دو اتاق کاملاً یکسان به لحاظ اندازه و مصالح به کار رفته، ساخته شد و در آن‌ها دو دستگاه تهویه مطبوع کوچک با ظرفیت و برند مشابه نصب گردید. آزمایش به تعداد ۹ بار و در شرایط آب و هوایی مختلف صورت پذیرفت. نتایج این

تحقیق نشان داد که مصرف برق به طور متوسط ۱۱٪ کاهش داشته و ضریب عملکرد سیستم به طور متوسط ۱۳٪ افزایش خواهد داشت. جاسم^۵ [۱۵] به بررسی عملکرد حرارتی سیستم‌های تهویه مطبوع کوچک پرداخت که در آن‌ها از پاشش آب در هوای ورودی به کندانسور استفاده می‌شد. در این تحقیق، عملکرد واقعی سیستم و عملکرد تحت پاشش آب به صورت کامپیوتری شبیه‌سازی شد و مشخص شد ظرفیت سرمایشی با استفاده از پاشش آب ۱۷/۵٪ و افزایش خواهد داشت و مصرف برق کمپرسور ۱۵/۵٪ کاهش خواهد داشت. همچنین، ضریب عملکرد سیستم تا ۳۷٪ افزایش خواهد داشت.

الفرایدی^۶ و همکاران [۱۶]، در تحقیقی به بررسی بهبود ضریب عملکرد در یک سیستم تراکم تبخیری پرداختند و اثر قرار دادن یک مکانیزم پیش خنک‌کن هوای کندانسور را به صورت تجربی مورد مطالعه قرار دادند. استفاده از این سیستم منجر به کاهش ۴ درجه‌ای هوای ورودی به کندانسور شده و در نتیجه فشار کمپرسور را کاهش داد. این امر نهایتاً موجب کاهش توان مصرفی کمپرسور به میزان ۶/۱٪ و افزایش ظرفیت برودتی سیستم شد. ضریب عملکرد دستگاه و راندمان قانون دوم سیکل نیز به ترتیب به میزان ۲۱/۴ و ۲۰/۵ درصد افزایش یافتند.

سووانت^۷ و همکاران [۱۷] در تحقیقی در سال ۲۰۱۱، به ارزیابی عملکرد کولرهای گازی پنجره‌ای با استفاده از سرمایش تبخیری پرداختند. در این پژوهش با استفاده از سرمایش تبخیری و تست نمونه تجربی، صرفه‌جویی در مصرف انرژی به میزان ۱۳٪ و افزایش ضریب عملکرد به میزان ۱۸٪ مشاهده شد.

حاجی دوالو^۸ [۲]، در تحقیقی با عنوان تأثیر آب و هوای محیط بر عملکرد کولرهای گازی اسپلیت، با به‌کارگیری کندانسور تبخیری به جای کندانسور هوایی، به بررسی تأثیرات دمای محیط، تحت دماهای مختلف و تا دمای ۴۹ درجه سانتی‌گراد پرداخت. نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش دمای محیط بیرون، میزان ضریب عملکرد سیستم نیز افزایش پیدا می‌کند. به‌علاوه، توان الکتریکی تا ۲۱٪ کاهش و ضریب عملکرد تا ۵۲٪ افزایش خواهد داشت.

5 Jassim
6 Al-Farayedhi
7 Sawant
8 Hajidavalloo

1 Britto
2 Wen
3 Prajapati
4 Alotaibi

سراج خرمی و همکاران [۱۸]، کندانسور هوایی یک دستگاه چیلر هوا خنک با ظرفیت ۱۰۰ تن تبرید را با قرار دادن لایه‌های تبخیری بهینه‌سازی کرده و به بررسی وضعیت ترمودینامیکی سیستم در دمای بین ۳۵ تا ۴۶ درجه سانتی‌گراد پرداختند. در این مطالعه، پاشش آب توسط یک پمپ بر روی چهار دیواره پوشالی که در اطراف کندانسور نصب شده بود منجر به کاهش توان مصرفی کمپرسور و فن‌ها به میزان ۲۱٪ شد. همچنین، ضریب عملکرد سیستم به میزان ۳۱٪ و اثر تبرید به میزان ۱۷/۲٪ افزایش یافتند.

حاجی دوالو [۱۹]، بررسی تجربی و تحلیلی میزان تأثیر استفاده از سرمایش تبخیری در کندانسور هوایی کولرهای خانگی را مورد ارزیابی قرار داد. در این تحقیق، برای تبدیل کندانسور هوایی به تبخیری دو طرح ارائه گردید که عبارت بودند از تزریق مستقیم آب بر روی لوله‌های کندانسور و پاشش آب بر روی دیواره پوشالی در مسیر کندانسور. نتایج بدست آمده نشان داد که هر دو طرح پیشنهاد شده در افزایش ضریب عملکرد، افزایش اثر تبرید و کاهش توان الکتریکی مصرفی کولر تا حدود ۱۰٪ مؤثر می‌باشند. همچنین، مشخص شد که با انجام اصلاحاتی در طرح‌های مذکور، می‌توان ظرفیت را تا حد بیشتری بهبود داد.

آقا رفیعی و مهربان [۲۰]، اثر نرخ پاشش آب بر عملکرد سردکننده و کندانسور تبخیری در جریان صلیبی را مورد مطالعه قرار دادند. در این تحقیق، دو مدل ریاضی برای تجزیه و تحلیل مبدل حرارتی تر بکار گرفته شد. نتایج بدست آمده برای سرد کننده نشان داد که با افزایش سرعت هوا، افت دمای آب در تمامی گذرها افزایش یافته و دمای هوا بعد از هر گذر کاهش می‌یابد. این در حالی که در کندانسورهای تبخیری، با افزایش سرعت هوا، روند تغییرات دمای هوا و به تبع آن اثرات مطلوب کاهش بار کمپرسور، با تغییرات اندکی باقی می‌ماند.

اردیتا و همکاران [۲۱]، اثر استفاده از لایه تبخیری در کندانسور هوایی را برای یک سیستم تبرید تراکمی با ظرفیت ۹۰۰۰ Btu/hr مورد بررسی تجربی قرار دادند. نتایج این تحقیق در بازه زمانی مشخصی مورد اندازه‌گیری قرار گرفت و این راهکار باعث افزایش ضریب عملکرد سیستم تا ۷٪، ظرفیت تبرید به میزان ۴٪ و همچنین میزان مصرف انرژی کمپرسور سیستم حدود ۳٪ گردید.

فوکان و همکاران [۲۲]، تأثیرات خنک‌سازی ورودی کندانسورهای

هوایی را در یک کولر گازی ۱/۵ تن تبرید را با استفاده از دو سیستم متفاوت لایه تبخیری و خنک‌سازی مستقیم مورد ارزیابی قرار دادند. در روش اول که خنک‌سازی مستقیم کندانسور با استفاده از پاشش آب بوده است، ضریب عملکرد سیستم در یک بازه ۳۰ دقیقه‌ای تا حدود ۱۷٪ افزایش یافته است. در روش دوم از یک لایه سلولزی برای پاشش آب استفاده شد که نتایج آن نشان داد که ضریب عملکرد سیستم در بازه‌ای مشابه در حدود ۶۲٪ افزایش یافت.

بر اساس مطالب بیان شده، در تمامی طرح‌های بررسی شده پیشین، استفاده از منابع آب تغذیه به دلیل تبخیر مداوم، ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. البته با نگاهی کلان‌تر می‌توان دریافت که این میزان مصرف آب که به کاهش مصرف انرژی در محل مصرف منجر می‌شود، می‌تواند باعث کاهش اتلاف آبی گردد که در نیروگاه‌های حرارتی در طی فرآیند تولید برق به هدر می‌رود. با آنکه اطلاعات دقیقی از میزان متوسط مصرف آب به ازای تولید هر کیلووات ساعت انرژی الکتریکی وجود ندارد، لکن به دلیل تولید بخش عمده برق کشور از طریق نیروگاه‌های حرارتی و برق آبی، این عدد چیزی در حدود ۲/۵ تا ۴ لیتر می‌باشد [۲۳ و ۲۴]. با آنکه مصرف آب موجب کاهش مصرف انرژی خواهد شد، اما با توجه به کمبود منابع آب به خصوص در کشورهایی با شرایط آب و هوایی مشابه ایران، ارائه راهکاری جهت استفاده از روش مذکور، بدون نیاز به تأمین آب از منبع خارجی حائز اهمیت خواهد بود. حال در صورتی که بتوان مصرف انرژی الکتریکی را کاهش داد، عملاً مصرف آب نیز کاهش پیدا کرده است.

راهکار ارائه شده در این مطالعه، استفاده از آب تخلیه^۱ ناشی از تقطیر رطوبت موجود در هوای داخل، جهت کاهش مصرف همین میزان آب در محل مصرف است. معمولاً در محیط‌های تهویه شونده، به دلیل اینکه دمای سطح کویل از نقطه شبنم هوای محیط پایین‌تر است، رطوبت موجود در هوای محیط بر روی سطح کویل تقطیر شده و توسط لوله‌ای به محیط خارج هدایت و دور ریخته می‌شود. در صورتی که می‌توان این آب را جمع‌آوری کرده و به منظور کاهش دمای هوای ورودی به کندانسور با لایه تبخیری مورد استفاده قرار داد. همچنین، با توجه به اینکه در برخی از روزهای معتدل استفاده از لایه تبخیری ضروری نیست، می‌توان آب تخلیه را در مخزنی ذخیره کرده و فقط در ساعات اوج گرما استفاده نمود. در حال حاضر، در فصل

۲. از افت فشار در طول لوله‌ها و اتصالات صرف نظر می‌شود [۲۶].

۳. فرآیند انبساط در شیر انبساط، آنتالپی ثابت فرض می‌شود و آنتالپی نقاط قبل و بعد از شیر انبساط مساوی در نظر گرفته می‌شود [۲۷].

۴. ضریب توان شبکه ($\cos\phi$) برای تمامی حالت‌ها، عدد ۰/۹ در نظر گرفته شد.

۵. توان مصرفی پمپ سیرکولاسیون آب در لایه تبخیری، W ۵۰ می‌باشد و لذا از آن در محاسبات مربوط به توان مصرفی کولر صرف‌نظر شده است.

بر این اساس، معادلات مربوط به کمیت‌های اصلی سیستم که در روابط (۴) الی (۱۰) ارائه شده‌اند، به منظور تحلیل عملکرد سیستم مورد استفاده قرار گرفت [۲۶ و ۲۷].

توان مصرفی سیستم:

$$W_c = \dot{m} (h_2 - h_1) \quad (4)$$

ظرفیت سرمایشی:

$$Q_c = \dot{m} (h_1 - h_3) \quad (5)$$

ضریب عملکرد:

$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (6)$$

ظرفیت اواپراتور:

$$Q_{EV} = (h_1 - h_3) \quad (7)$$

ظرفیت کندانسور:

$$Q_{CON} = (h_3 - h_2) \quad (8)$$

دبی جریانی مبرد:

$$\dot{m} = \frac{Q_c}{h_1 - h_3} \quad (9)$$

توان الکتریکی مصرفی:

$$W_c = \dot{m} (V \cdot I \cdot \cos \phi) \quad (10)$$

۳- مطالعه تجربی

به منظور بررسی تجربی تأثیر استفاده از لایه تبخیری بر روی عملکرد کولر گازی، یک سیستم مطالعاتی طراحی و ساخته شد و نتایج به دست آمده مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت و با اینکار، میزان تأثیر لایه تبخیری ارزیابی شد. در این آزمایش، آب تخلیه (درین) یک دستگاه کولر گازی جمع‌آوری و جهت استفاده در لایه تبخیری به کار

تابستان پیک بار شبکه بین ساعات ۱۲ تا ۱۶ و ۱۹ تا ۲۳ است که در ساعت ۱۲ تا ۱۶ پیک مصرف شبکه با پیک بار گرما همزمان خواهد شد. بهترین ساعت برای استفاده از مکانیزم پیشنهادی، همین ساعت است که می‌توان با فعال‌سازی لایه تبخیری، در راستای کاهش پیک بار شبکه از طریق کاهش مصرف انرژی در کولرهای گازی اقدام نمود.

۲- مطالعه نظری

اساس کارکرد سیستم‌های تبرید تراکمی بر پایه تغییر فاز سیالات و جذب و دفع گرمای نهان تبخیر و تقطیر استوار است. در واقع، سیستم‌های تراکمی عکس ماشین‌های حرارتی عمل می‌کنند. یک سیکل تبرید تراکمی از دو قسمت فشار بالا و فشار پایین و ۴ جزء اصلی شامل اواپراتور، کندانسور، کمپرسور و قسمت کاهنده فشار که می‌تواند لوله موئین یا شیر انبساط باشد، تشکیل شده است. در واقع سیکل بر اثر تبخیر، گرما را از یک محیط با دمای پایین (Q_L) گرفته و با صرف توان (W) آن را به یک منبع با فشار بالا منتقل می‌کند (Q_H). رابطه (۱) ارتباط این این سه پارامتر را طبق قانون اول ترمودینامیک بیان می‌کند [۲۵-۲۷]:

$$Q_H = W + Q_L \quad (1)$$

ضریب عملکرد سیستم (COP) از تقسیم مقدار برودت حاصل شده بر کار مصرف شده توسط سیستم، مطابق رابطه (۲) به دست می‌آید:

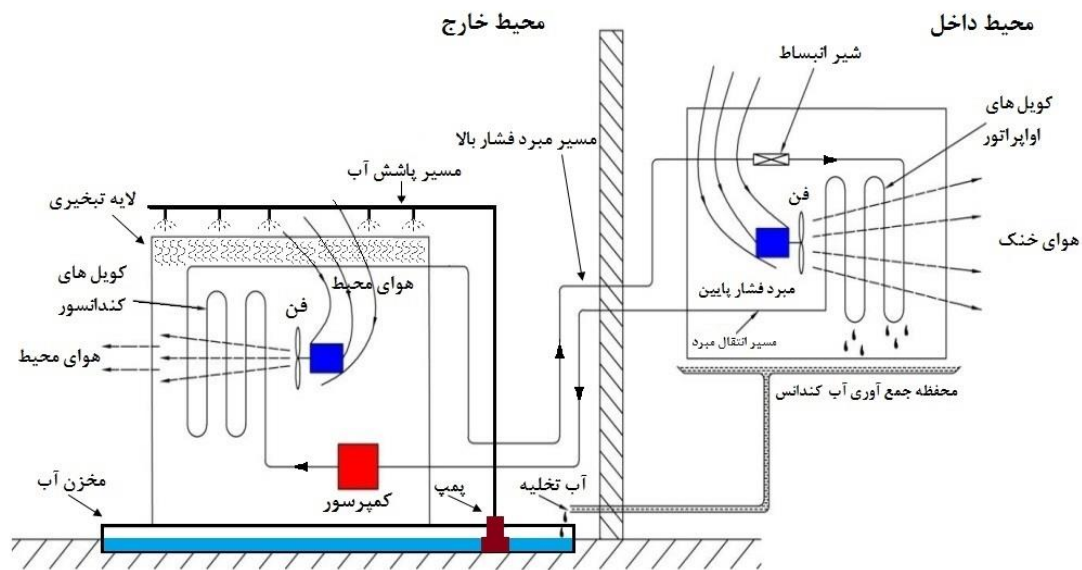
$$COP_R = \frac{Q_L}{W} \quad (2)$$

با استفاده از روابط (۱) و (۲)، مقدار ضریب عملکرد را می‌توان از رابطه (۳) محاسبه نمود:

$$COP_R = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L} \quad (3)$$

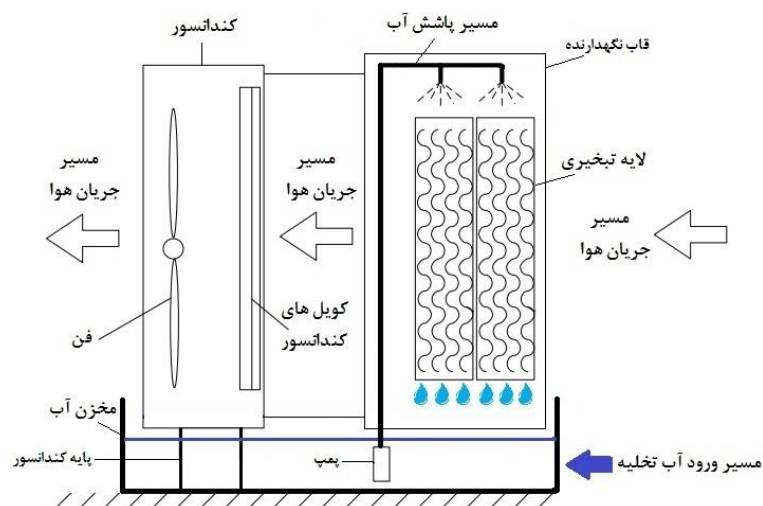
فرآیندهای یک سیکل تبرید تراکمی را می‌توان با استفاده از نمودارهای ترمودینامیکی نمایش داد. برای تحلیل یک سیکل تراکمی، معمولاً از دو نمودار دما-آنتروپی ($T-s$) و فشار-آنتالپی ($P-h$) استفاده می‌شود. البته، نمودار فشار-آنتالپی مرسوم‌تر و پرکاربردتر است. برای مدل‌سازی سیکل تبرید مورد نظر، فرضیات زیر در نظر گرفته شدند:

۱. فرآیند تقطیر در اواپراتور و تبخیر در کندانسور، فشار ثابت در نظر گرفته شده و فشار در کندانسور و اواپراتور ثابت در نظر گرفته می‌شود و از افت و تغییرات فشار در این دو قسمت صرف نظر گردید [۲۷].



شکل ۱: طرح کلی سیستم ارائه شده در مطالعه حاضر

Fig. 1: Schematic of the proposed system in the present study



شکل ۲: طرح قسمت کندانسور تبخیری در مطالعه حاضر

Fig. 2: Design of evaporative condenser section in the present study

محل پیچ‌های بدنه و بدون سوراخکاری مجدد صورت پذیرفت. شکل ۳ فریم ساخته شده و نصب شده بر روی کندانسور کولر گازی را نشان می‌دهند.

پس از اتصال قاب ساخته شده به بدنه کولر، مجموعه کولر و قاب ساخته شده در یک تشک به ابعاد 80×80 سانتی‌متر قرار داده شد. آب به وسیله یک پمپ کوچک از قسمت تشک و به وسیله شلنگ و نازل‌های مرتبط به قسمت بالای فریم ساخته شده فرستاده می‌شود و بعد از تزریق در قسمت بالایی، از طریق سوراخ‌های ایجاد شده در این قسمت به داخل بستر پوشال‌ها نفوذ کرده و کل سطح را مرطوب

گرفته شده است. مکانیزم طراحی شده در این مطالعه در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است.

جهت ساخت لایه تبخیری، ابتدا یک قاب با استفاده از ورق‌های فلزی که به صورت U شکل خم شده بودند، ساخته شد. همچنین، به منظور ایجاد بستر مرطوب، از پوشال‌های مورد استفاده در کولرهای آبی استفاده شد. در قسمت بالای قاب، سوراخ‌هایی به قطر ۵ میلی‌متر و با فاصله تقریبی ۵ سانتی‌متر از یکدیگر جهت نفوذ آب به داخل بستر ایجاد شد. قاب ساخته شده به وسیله چند عدد پیچ به بدنه کولر متصل گردید. برای جلوگیری از آسیب به بدنه کولر، اتصال قاب از



شکل ۴: تصویر دستگاه حین انجام آزمایش در اتاق آزمون داخلی آزمایشگاه

Fig. 4: Image of the device while testing in the laboratory's internal test room

توان الکتریکی مصرفی کولر گازی، جریان الکتریکی مصرفی کمپرسور به وسیله یک دستگاه آمپر متر کلمپی اندازه گیری و ثبت گردید. در حالت استفاده از لایه تبخیری، آمپر اندازه گیری شده مجموع جریان مصرفی کولر گازی و پمپ سیرکولاسیون و در حالت عدم استفاده از لایه تبخیری، جریان اندازه گیری شده، فقط جریان مصرفی کولر گازی بوده است. کلیه پارامترها در فواصل زمانی مشخص و پس از رسیدن به شرایط پایدار اندازه گیری و ثبت گردید. شکل های ۳ و ۴، سیستم را در حال آزمایش نشان می دهند.

آزمایشات در ۶ نوبت و هر بار در دو حالت، با استفاده از لایه تبخیری و بدون استفاده از لایه تبخیری صورت پذیرفت. هر آزمایش در فاصله زمانی حدود ۳۰ دقیقه صورت پذیرفت و پارامترهای مورد نظر پس از رسیدن به شرایط پایدار برداشت و ثبت گردیدند.

۴- نتایج و بحث

به منظور مدل سازی سیستم پیشنهادی، با استفاده از نرم افزار ای.ای.اس^۲، معادلات حاکم بر سیکل برای شرایط در نظر گرفته شده، حل شدند. بدین ترتیب، نمودار فشار-انتالپی به عنوان یکی از مهم ترین مشخصه های کارایی و عملکرد سیستم، با استفاده از مدل توسعه داده شده، در حالت استفاده از گاز آر-۲۲ ترسیم شد.



شکل ۳: تصویری سیستم لایه تبخیری و ملحقات نصب شده در محل آزمایش

Fig. 3: Image of the evaporative layer system and its installed attachments at the test site

می کند. آب اضافه از قسمت پایین فریم مجدداً به درون تشتک ریخته شده و توسط پمپ سیرکوله می شود. همچنین، کمبود آب به وسیله یک شناور که بر روی تشتک تعبیه شد، تأمین گردید.

آزمایش سیستم ارائه شده در طرح اختراعی حاضر، در محل مرکز ملی آزمون و تحقیقات سیستم های سرمایشی واقع در سازمان پژوهش های علمی و صنعتی ایران که دارای اتاق های مجزای آزمون داخلی و خارجی می باشد، صورت پذیرفت. بدین ترتیب، از تجهیزات اندازه گیری کالیبره شده موجود در این مرکز به منظور ارزیابی مقادیر ورودی و خروجی سیستم در این آزمایش بهره گرفته شد. همچنین، به منظور انجام آزمایش، یک دستگاه کولر گازی به ظرفیت خنک کنندگی 27000 Btu/hr مورد استفاده قرار گرفت. نوع مبرد در دستگاه مورد آزمایش، آر-۲۲^۱ می باشد.

دماهای ورود و خروج هوا به کندانسور و همچنین دماهای ورود و خروج هوا به اواپراتور به وسیله دستگاه کالیبره شده سنجش دمای محیط، اندازه گیری و ثبت گردید. از سوی دیگر، دمای سطح لوله ها نیز در محل مورد نیاز به وسیله سنسورهای تماسی جانبی دستگاه سنجش، اندازه گیری و ثبت گردید.

فشار گاز مبرد در دو نقطه مکش کمپرسور و دهش کمپرسور به وسیله یک فشارسنج عقربه ای اندازه گیری و ثبت شد. جهت بررسی

جدول ۱: نتایج اندازه‌گیری‌های انجام شده در طی یک آزمایش با مبرد آر-۲۲

Table 1: Results of measurements taken during an experiment with R22 refrigerant

پارامترها	واحد	بدون لایه تبخیری	با لایه تبخیری
درجه حرارت خشک محیط	°C	۳۲/۵	۳۲/۵
رطوبت نسبی هوای محیط	%	۳۵	۳۵
دمای گاز ورودی به کندانسور	°C	۱۰/۹	۱۰/۳
دمای گاز خروجی از کندانسور	°C	۳۵/۷۱	۲۸/۴۷
دمای گاز ورودی به اواپراتور	°C	۰/۹۹	۰/۵۵
دمای گاز خروجی از اواپراتور	°C	-۲/۷	-۲/۶
دمای هوای خروجی کندانسور	°C	۳۹/۹	۳۵/۷
دمای هوای ورودی به اواپراتور	°C	۲۵/۴	۲۵/۷
دمای هوای خروجی از اواپراتور	°C	۱۰/۲	۹
رطوبت نسبی هوای داخل	%	۲۹/۹۳	۳۰
آمپر مصرفی کمپرسور	A	۱۴/۶	۱۲/۵
فشار کندانسور	psi	۲۱۰	۱۸۵
فشار اواپراتور	psi	۶۵	۵۸
مقدار آب تخلیه جمع آوری شده	L/hr	۱/۵	۱/۵
دمای آب تخلیه	°C	۲۴	۲۴
میزان تبخیر آب	lit/hr	۸	۸
زمان آزمایش	hr	۱۲:۳۰	۱۲:۳۵

یافته است. به علاوه، در حالت بهره‌گیری از لایه تبخیری، ظرفیت سرمایشی کل به میزان ۱۳/۱ درصد افزایش یافته است. همچنین، گرمای جذب شده در اواپراتور ۶/۷ درصد افزایش داشته و گرمای دفع شده در کندانسور نیز ۹۸/۲ درصد افزایش یافته است. در نهایت، به منظور بررسی اثر استفاده از لایه تبخیری، می‌توان مشاهده نمود که میزان شدت جریان مصرفی کمپرسور نیز از ۱۴/۶ به ۱۲/۵ آمپر کاهش پیدا کرده است.

در جدول ۳، اعداد محاسبه شده برای پارامترهای دما، فشار و آنتالپی در طی سیکل تبرید، در طی یک آزمایش ارائه شده است.

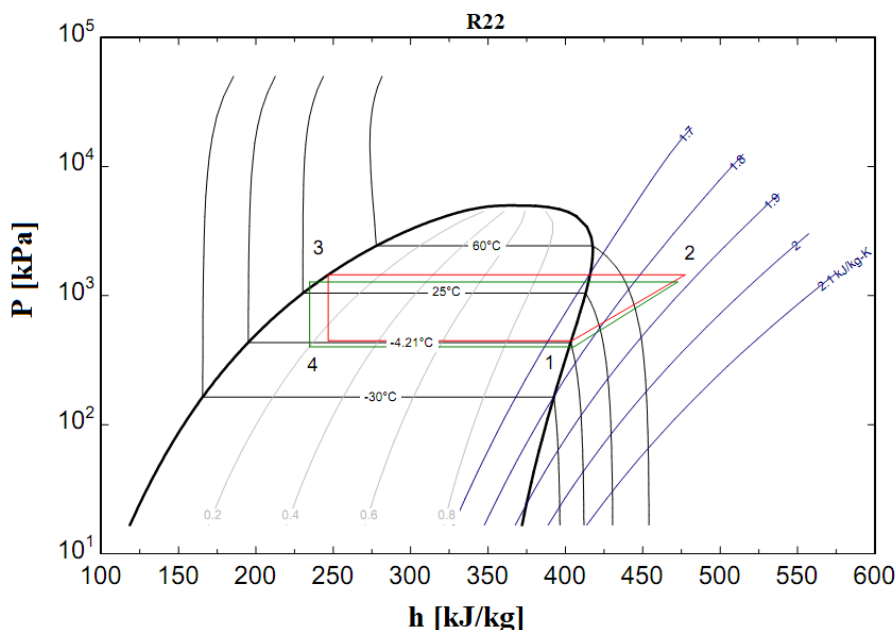
براساس مدل‌سازی صورت گرفته در تحقیق حاضر، تغییرات توان الکتریکی مصرفی سیستم کولر گازی ناشی از افزایش دمای خشک محیط در شکل ۶ برای دو حالت با و بدون استفاده از لایه تبخیری، نشان داده شده است. همانگونه که در این نمودار مشخص است، با افزایش دمای محیط، تأثیر کندانسور تبخیری در کاهش میزان توان مورد نیاز دستگاه کمتر شده است. افزایش سرعت تبخیر آب موجود در سیستم ارائه شده در درجه حرارت‌های بالاتر محیط، باعث ایجاد عدم توازن در توزیع آب در سطح لایه تبخیری می‌شود. این موضوع

برای انجام محاسبات، مقادیر دما و فشار شرایط محیطی حاصل از اندازه‌گیری‌های صورت گرفته، به عنوان ورودی‌های مدل در نظر گرفته شدند. جدول ۱، مقادیر اطلاعات حاصل شده از یک نمونه آزمایش را در تحقیق حاضر نشان می‌دهد.

همچنین، مطابق شکل ۵، مقادیر مربوط به نقاط عملکرد سیکل در نمودار فشار-آنتالپی، با بهره‌گیری از مدل محاسبه شدند. جدول ۲، مقادیر به دست آمده از آزمایش را برای هر دو حالت بدون/با استفاده از لایه تبخیری نشان می‌دهد.

مشخصات این نقاط عبارتند از:

نقطه ۱- خروج گاز از اواپراتور و ورود به کمپرسور
نقطه ۲- خروج گاز از کمپرسور و ورود به کندانسور
نقطه ۳- خروج مایع از کندانسور و ورود به شیر انبساط
نقطه ۴- خروج مایع از شیر انبساط و ورود به اواپراتور
آزمایش در دمای محیط ۳۲/۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۳۵ درصد انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد که توان الکتریکی مصرفی، با استفاده از لایه تبخیری به میزان ۵۳/۱۴ درصد کاهش یافته و ضریب عملکرد سیستم به میزان ۱۴/۱۸ درصد افزایش



شکل ۵: نمودار فشار- آنثالپی حاصل از آزمایش سیستم بدون استفاده از لایه تبخیری (قرمز رنگ) و با استفاده از لایه تبخیری (سبز رنگ)

Fig. 5: Pressure-Enthalpy diagram obtained by testing the system without using evaporative layer (red) and using evaporative layer (green)

جدول ۲: نتایج به دست آمده از آزمایش سیستم و نمایش تأثیر استفاده از لایه تبخیری

Table 2: Results of system testing and demonstrating the effect of using evaporative layer

پارامتر	واحد	بدون لایه تبخیری	با لایه تبخیری	درصد تغییرات
توان الکتریکی مصرفی	kW	۲/۸۹	۲/۴۷	-۱۴/۵۳
ضریب عملکرد	-	۲/۱۵	۲/۵۴	+۱۸/۱۴
ظرفیت سرمایشی	kJ/kg	۶/۲۱	۶/۲۸	+۱/۱۳
گرمای جذب شده در اواپراتور	kJ/kg	۱۵۷/۵	۱۷۰/۵	+۷/۶
گرمای دفع شده در کندانسور	kJ/kg	۲۳۰/۶	۲۳۷/۷	+۲/۹۸

عملکرد می‌گردد. حال آنکه در شرایط استاندارد آب و هوایی، انتظار می‌رود که با اضافه نمودن لایه تبخیری، میزان دفع گرما از کندانسور افزایش یابد که در درجه حرارت‌های بالاتر محیط، از میزان تأثیر آن کاسته می‌شود و در نهایت بر اساس رابطه ۲، باعث کاهش ضریب عملکرد سیستم خواهد شد.

شکل ۸ نشان‌دهنده میزان اثربخشی کندانسور تبخیری پیشنهادی در مطالعه حاضر بر روی ظرفیت سرمایشی کولر گازی اسپلیت می‌باشد. مطابق این نمودار، تغییرات ظرفیت سرمایشی سیستم در اثر افزایش دمای محیط در دو حالت با و بدون استفاده از لایه تبخیری، قابل بررسی می‌باشد. بنابر منحنی‌های ارائه شده در این شکل، با افزایش درجه حرارت از میزان ظرفیت سرماسازی سیستم کولر گازی

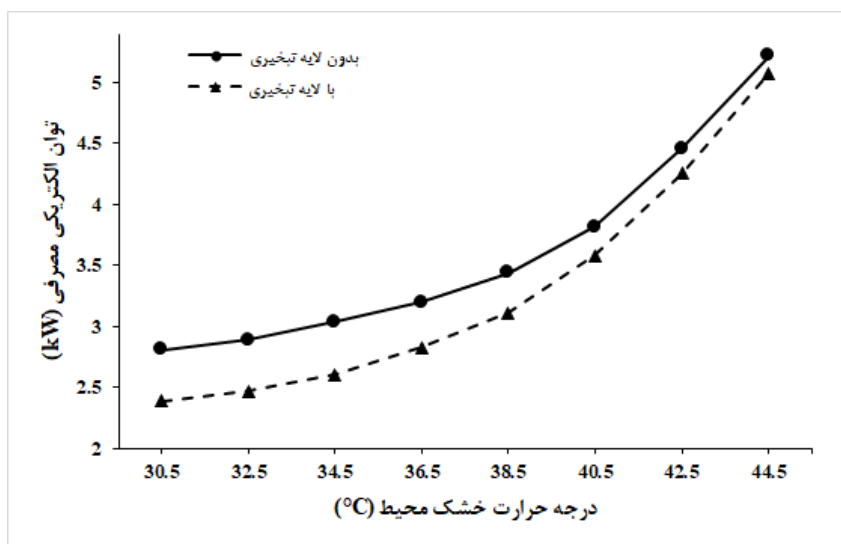
سبب افزایش دمای هوای ورودی به کندانسور که جبران آن منجر به افزایش کار کمپرسور می‌گردد. بدین ترتیب، توان مصرفی کولر گازی مجهز به سیستم پیشنهادی در مقایسه با آنچه در شرایط طراحی پیش‌بینی شده است، افزایش خواهد یافت.

در تحلیل پارامتریک دیگری، میزان بهبود ناشی از استفاده لایه تبخیری در کولر گازی اسپلیت مطابق شکل ۷ نشان داده شده است. بر این اساس تغییرات ضریب عملکرد سیستم به دلیل افزایش دمای خشک محیط در دو حالت با و بدون استفاده از لایه تبخیری، مورد مطالعه قرار گرفته است. بدین ترتیب، مشاهده می‌شود که بهبود ایجاد شده ناشی از بهره‌گیری از لایه تبخیری در کندانسور کولر گازی در دماهای پایین‌تر به صورت قابل ملاحظه‌ای باعث افزایش ضریب

جدول ۳: مقادیر ثبت شده برای دما و فشار نقاط سیکل تبرید در طی یک آزمایش

Table 3: Amounts recorded for temperature and pressure points of the refrigeration cycle during an experiment

با استفاده از لایه تبخیری				بدون استفاده از لایه تبخیری				پارامتر
۴	۳	۲	۱	۴	۳	۲	۱	
۰/۵۵	۲۸/۴۷	۱۰/۱/۳	-۲/۶	۰/۹۹	۳۵/۷۱	۱۰۹/۲	-۲/۷	دما (°C)
۳۹۹/۸۹	۱۲۷۵/۵۳	۱۲۷۵/۵۳	۳۹۹/۸۹	۴۴۸/۱۶	۱۴۴۷/۹	۱۴۴۷/۹	۴۴۸/۱۶	فشار (kPa)
۲۳۶/۴۹	۲۳۶/۴۹	۴۷۳/۰۴	۴۰۵/۲۲	۲۴۶/۸۱	۲۴۶/۸۱	۴۷۹/۵	۴۰۲/۳۴	آنتالپی (kJ/kg)



شکل ۶: نمودار تغییرات توان الکتریکی مصرفی سیستم ناشی از تغییرات دمای محیط در دو حالت با و بدون استفاده از کندانسور تبخیری

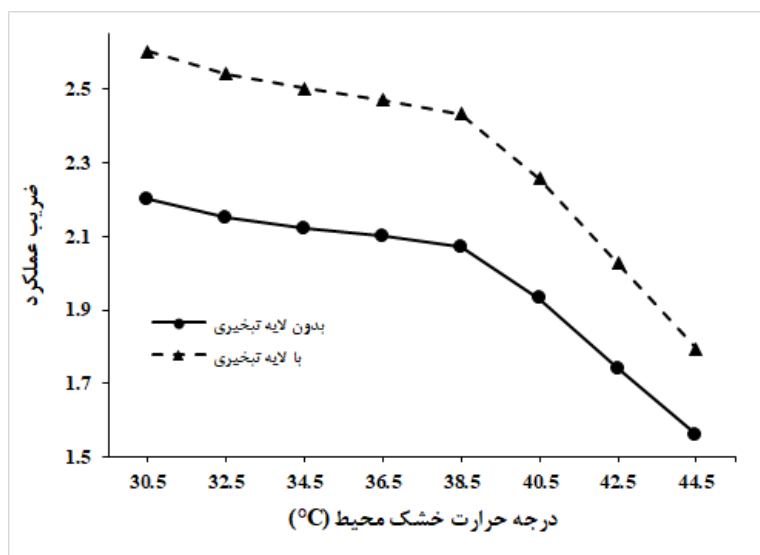
Fig. 6: Diagram of changes in power consumption of the system caused by changes in ambient temperature in two states with and without evaporative condenser

را کاهش می‌دهند و بنابراین در شرایطی با رطوبت هوای بالا، افزایش رطوبت توسط لایه تبخیری، تأثیر چندانی بر کاهش دمای هوای ورودی کندانسور نخواهد داشت که منجر به کاهش اثر خنک‌کنندگی لایه تبخیری در شرایط محیطی مرطوب می‌شود. از این‌رو، رطوبت نسبی پایین‌تر می‌تواند منجر به کاهش مصرف انرژی و به تبع آن افزایش ضریب عملکرد بیشتری در سیستم گردد.

مؤلفه دیگری که در تحلیل میزان اثربخشی سیستم کندانسور تبخیری ارائه شده در مطالعه حاضر باید مورد توجه قرار داده شود، درجه حرارت آب تخلیه ناشی از عملکرد اواپراتور کولر گازی می‌باشد. دلیل این امر ارتباط مستقیم دمای آب با میزان اثر خنک‌کنندگی هوای ورودی کندانسور استفاده کننده از لایه تبخیری می‌باشد. تأثیر افزایش دمای آب تخلیه که می‌تواند ناشی از درجه حرارت محیط و اتاق، نحوه لوله‌کشی، عایق‌کاری و غیره باشد، در نمودار شکل ۱۰ نشان داده شده است. بر اساس منحنی به دست آمده می‌توان چنین

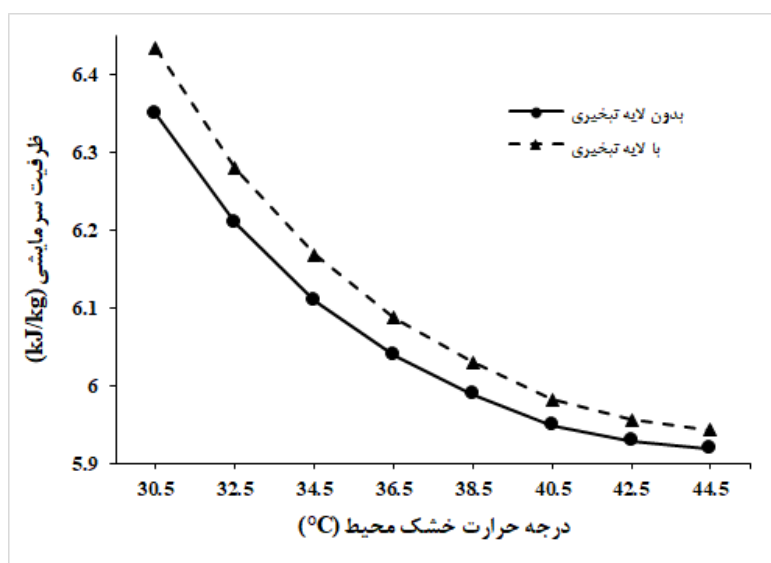
مورد بحث، در هر دو حالت کاسته می‌شود. مطابق موارد بیان شده پیشین، دلیل این موضوع کاهش نرخ جذب گرما در اواپراتور سیستم کولر گازی ناشی از افزایش نرخ تبخیر آب در سیستم طراحی شده در پژوهش حاضر می‌باشد.

همانگونه که پیش از این گفته شد، رطوبت نسبی محیط نیز می‌تواند از جمله عوامل مؤثر در کارایی سیستم‌های کندانسور تبخیری باشد. لذا در قالب یک مطالعه پارامتریک، میزان تغییرات ناشی از افزایش رطوبت نسبی هوای محیط در یک درجه حرارت ثابت در شکل ۹ نمایش داده شده است. این نمودار نشان می‌دهد که تأثیر تغییرات میزان رطوبت نسبی در حالت بدون استفاده از لایه تبخیری در کولر گازی، کمتر از شرایط استفاده از آن می‌باشد. بدین معنی که در شرایط وجود رطوبت بالا به صورت پیوسته، اثربخشی سیستم ارائه شده در مطالعه حاضر به صورت قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. چراکه سیستم تبخیری با رطوبت‌زنی به هوای ورودی کندانسور، دما



شکل ۷: نمودار تغییرات ضریب عملکرد کولرگازی ناشی از تغییرات دمای محیط در دو حالت با و بدون استفاده از کندانسور تبخیری

Fig. 7: Diagram of the coefficient of performance variation due to ambient temperature changes with and without evaporative condenser



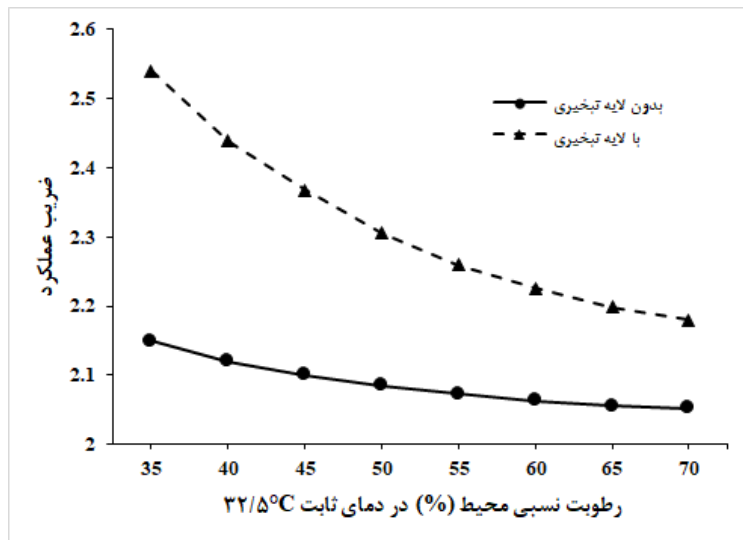
شکل ۸: نمودار تغییرات ظرفیت سرمایشی کولرگازی ناشی از تغییرات دمای محیط در دو حالت با و بدون استفاده از کندانسور تبخیری

Fig. 8: Diagram of the cooling capacity variation due to ambient temperature changes with and without evaporative condenser

شده، بهره‌گیری از راهکار پیشنهادی منجر به کاهش میزان مصرف انرژی کولرهای گازی اسپلیت در کلیه شرایط مورد بحث شده است، لکن افزایش میزان درجه حرارت و رطوبت نسبی محیط می‌تواند باعث کاهش اثربخشی آن گردد. همچنین، بررسی‌ها نشان داد که اثرات منفی افزایش تبخیر آب مورد استفاده در سیستم تبخیری ناشی از افزایش دمای محیط، بیشتر از اثرات حاصل از افزایش رطوبت

نتیجه گرفت که اثرات نامطلوب افزایش درجه حرارت آب تخلیه در دماهای بالاتر به مراتب بیشتر است که این امر به دلیل افزایش نرخ تبخیر و کاهش قدرت خنک‌کنندگی لایه تبخیری می‌باشد.

بر اساس تحلیل‌های انجام شده فوق، کیفیت عملکرد سیستم کندانسور تبخیری مورد اشاره در مطالعه حاضر به عوامل محیطی دما و رطوبت نسبی وابسته می‌باشد. هرچند که مطابق نمودارهای ارائه



شکل ۹: نمودار تغییرات ضریب عملکرد کولرگازی ناشی از تغییرات رطوبت نسبی محیط در دو حالت با و بدون استفاده از کندانسور تبخیری
Fig. 9: Diagram of the coefficient of performance variation due to relative humidity changes with and without evaporative condenser

استفاده از لایه تبخیری محدود به ساعات و دماهای خاص گردد، میزان مصرف آب تغذیه کمکی بسیار ناچیز خواهد بود. بنابراین، باتوجه به تأثیرات بسیار مطلوب محاسبه شده سیستم ارائه شده بر روی عملکرد کولرگازی، تأثیرات مثبت آن بر روی شبکه برق توجیه پذیر و منطقی می‌باشد.

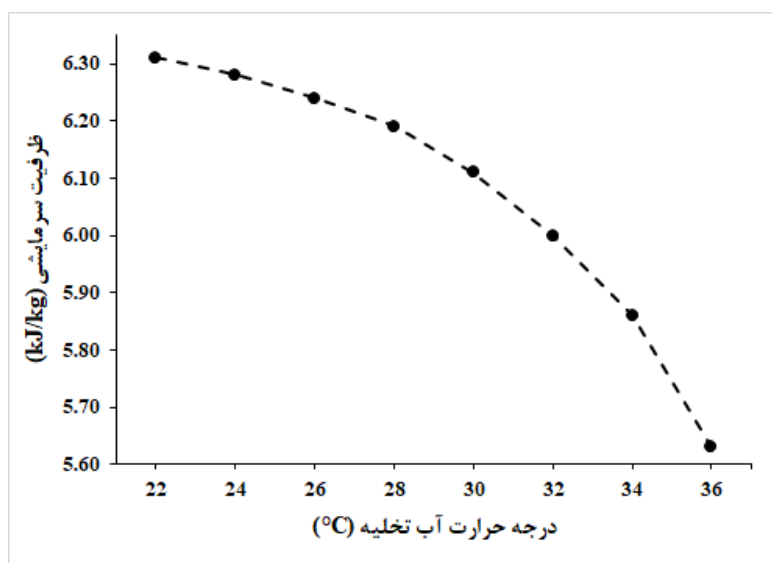
در مورد دامنه جغرافیایی استفاده سیستم حاضر می‌توان گفت که استفاده از سیستم‌های تبخیری در مناطق با آب و هوای خشک و دارای رطوبت نسبی پایین، مناسب و توجیه‌پذیر است. در واقع، راندمان دستگاه‌های تبخیری به اختلاف دمای هوای خشک و مرطوب محیط وابسته بوده و با افزایش اختلاف این دو دما راندمان آن‌ها افزایش می‌یابد. منطقه خاورمیانه که ایران در آن واقع شده است، به لحاظ آب و هوایی در منطقه گرم و یا خیلی گرم واقع شده است. همچنین، رطوبت نسبی هوا در بیشتر مناطق کشور پایین بوده و برای استفاده از سیستم تبخیری مناسب است. حتی در شهرهایی که در مناطق مرطوب واقع شده‌اند نیز، رطوبت هوا در تعداد نسبتاً کمی از روزهای سال خیلی بالاست. از طرفی، این رطوبت بالا معمولاً در هنگام صبح یا در هنگام غروب و شب که دمای هوا پایین‌تر است، وجود دارد و در ساعات ظهر و عصر که دمای هوا بیشتر است، میزان رطوبت کاهش پیدا می‌کند. از این رو و باتوجه به ساعات اوج مصرف الکتریسیته، استفاده از سیستم پیشنهادی در بیشتر شهرهای کشور

نسبی هوا در یک درجه حرارت معین می‌باشد.

این درحالی است که به دلیل کاهش کار کمپرسور می‌توان از کمپرسور کوچک‌تر و با ظرفیتی کمتر در کولرهای گازی استفاده نمود و بدین ترتیب در شرایط استفاده از لایه تبخیری، مقدار جریان جرمی مبرد نیز به میزان ۸/۳۳ درصد قابل کاهش می‌باشد.

در مطالعه حاضر، میزان آب تخلیه جمع‌آوری شده به میزان ۸ lit/hr و مصرف آب ناشی از تبخیر در لایه تبخیری، ۵/۱ lit/hr بوده است. لازم به ذکر است که مقدار آب تخلیه، می‌تواند تحت تأثیر عوامل متفاوتی از جمله تعداد افراد حاضر در ساختمان، وجود عوامل تولید رطوبت مانند گیاهان و یا فعالیت‌هایی نظیر پخت و پز و غیره تغییر یابد. از سوی دیگر، میزان تبخیر آب نیز می‌تواند تابع دمای هوای خارج و رطوبت نسبی محیط می‌تواند باشد. مطالعه انجام شده نشان داد که با این میزان تولید آب تخلیه و همچنین میزان تبخیر آب، و با استفاده از کولر بطور پیوسته و با کارکرد ۲۰ ساعت در شبانه روز، آب تخلیه جمع‌آوری شده در مدت کارکرد کولر، برای مصرف آب به مدت حدود ۴ ساعت در لایه تبخیری کافی خواهد بود. این میزان آب می‌تواند به منظور استفاده در لایه تبخیری در ساعات اوج مصرف برق (معمولاً بین ساعات ۱۲ تا ۱۶) مصرف شود که منجر به کاهش فشار بر شبکه برق سراسری می‌گردد.

در صورتی‌که مطابق با سیستم پیشنهادی در این پژوهش،



شکل ۱۰: نمودار تغییرات ظرفیت سرمایشی کولرگازی ناشی از تغییرات درجه حرارت آب تخلیه در حالت استفاده از کندانسور تبخیری

Fig. 10: Diagram of the cooling capacity variation due to drain water temperature changes with evaporative condenser

مناسب و امکان پذیر می باشد.

شده در این پژوهش، می توان تمام یا بخشی از آب مورد نیاز را از آب تخلیه کولر گازی که از فرآیند تقطیر رطوبت موجود در هوا بر روی کویل اواپراتور تولید می شود، تأمین نمود. طرح ارائه شده در این مطالعه، قابلیت استفاده در کلیه تجهیزات برودتی و تهویه مطبوع که از کندانسور هوایی استفاده می کنند، دارا می باشد. بطور خلاصه، نتایج به دست آمده از تحقیق حاضر در قالب یک مطالعه نظری و تجربی، به صورت زیر بیان می گردد:

- توان مصرفی کمپرسور به طور میانگین ۱۲/۳۲ درصد کاهش یافت.
- ظرفیت جذب گرما در اواپراتور به طور میانگین ۵/۱۴ درصد افزایش داشته است.
- مقدار ضریب عملکرد سیستم به طور متوسط ۱۵/۱ درصد افزایش یافته است.
- ظرفیت کندانسور به طور میانگین ۰/۹۷ درصد افزایش داشته است.

- دمای هوای خروجی از کندانسور به طور میانگین ۶/۱۷ درجه سانتی گراد کاهش پیدا کرده است.
- دمای هوای خروجی از اواپراتور به طور متوسط ۱/۴۵ درجه سانتی گراد کاهش پیدا کرده است.
- علاوه بر این، نتایج به دست آمده حاصل از تحلیل های پارامتریک

در خصوص امکان استفاده از سیستم ارائه شده در این مطالعه در سایر تجهیزات تهویه مطبوع، باید به این نکته اشاره کرد که کلیه سیستم های تبرید تراکمی دارای کندانسور هوایی، قابلیت بهسازی با این مکانیزم را دارا می باشند. علاوه بر این، در سیستم های بزرگتر، طبیعتاً مقدار آب تخلیه جمع آوری شده نیز بیشتر بوده و مخزن ذخیره و شبکه لوله کشی و پمپ سیرکولاسیون در مقیاس بزرگتری مورد نیاز است. همچنین، در صورتی که طراحی سیستم تبرید، از ابتدا با استفاده از لایه تبخیری انجام شده باشد، کاهش ابعاد کندانسور و هزینه های اولیه را در پی خواهد داشت. در مواردی که میزان تبخیر آب در لایه تبخیری با توجه به ابعاد سیستم تبرید افزایش می یابد، می توان آب مصرفی را از منابع غیر قابل شرب دیگر، نظیر پساب های تصفیه شده و یا آب های سطحی در دسترس تأمین نمود.

۵- نتیجه گیری

استفاده از یک لایه تبخیری مرطوب بر روی هوای ورودی به کندانسور کولر گازی اسپلیت، موجب کاهش دمای مؤثر بر روی دستگاه می شود که منجر به کاهش مصرف انرژی الکتریکی و افزایش ضریب عملکرد دستگاه می گردد. استفاده از لایه تبخیری ارائه شده در مطالعات پیشین، نیازمند مصرف آب می باشد که با طرح ارائه

- International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies, 1(1) (2010) 9-18.
- [4] Andrew D. Althouse, Carl H. Turnquist, Alfred F. Bracciano, Daniel C. Bracciano, Gloria M. Bracciano, Modern Refrigeration and Air Conditioning, Goodheart-Willcox, 2016.
- [5] Roger W. Haines, Michael E. Myers, HVAC Systems Design Handbook, Fifth Edition, McGraw-Hill Education, 2009.
- [6] M.G. Vrachopoulos, A.E. Filios, G.T. Kotsiovelos, E.D. Kravvaritis, Incorporated evaporative condenser, Applied Thermal Engineering, 27(5) (2007) 823-828.
- [7] D.Y. Goswami, G.D. Mathur, S.M. Kulkarni, Experimental Investigation of Performance of a Residential Air Conditioning System with an Evaporatively Cooled Condenser, Journal of Solar Energy Engineering, 115(4) (1993) 206-211.
- [8] M. Waly, W. Chakroun, N.K. Al-Mutawa, Effect of pre-cooling of inlet air to condensers of air-conditioning units, International Journal of Energy Research, 29(8) (2005) 781-794.
- [9] I. Jassim, Enhancement the performance of condenser of split type air conditioning system by using evaporative cooling, Al Mustansiriyah University, Mechanical Engineering Department, 2011.
- [10] Wael M. El-Maghlany, E. Eid, Mohamed A. Teamah, S. Mansour, Enhancement of a Refrigeration Cycle by Bled Water Atomization from the Conditioned Space into the Condenser Cooling Air, International Journal of Advances Science and Technical Research, 5(2) (2012) 291-303.
- [11] J Jerold John Britto, A. Vasanathanathan, Performance evaluation of window air conditioner by incorporating evaporative cooling system on the condenser, in: International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability (ICEETS), Nagercoil, India, 2013
- [12] Mao-Yu Wen, Ching-Yen Ho, Kuang-Jang Jang, Cheng-Hsiung Yeh, Experimental study on the

در این مطالعه، کاهش اثربخشی سیستم کندانسور تبخیری با افزایش دما و رطوبت نسبی محیط را نشان داده است. این در حالی است که بهره‌گیری از مکانیزم ارائه شده در پژوهش حاضر، تحت کلیه شرایط بررسی شده، دارای اثرات مثبتی در میزان ضریب عملکرد و میزان مصرف انرژی کولر گازی بوده است.

فهرست علائم

COP	ضریب عملکرد سیستم برودتی
$Cos \phi$	ضریب توان
h_1	آنتالپی مبرد در نقطه خروجی از اواپراتور و ورودی به کمپرسور، kJ/kg
h_2	آنتالپی مبرد در نقطه خروجی از کمپرسور و ورودی به کندانسور، kJ/kg
h_3	آنتالپی مبرد در نقطه خروجی از کندانسور و ورودی به شیر انبساط، kJ/kg
h_4	آنتالپی مبرد در نقطه خروجی از شیر انبساط و ورودی به اواپراتور، kJ/kg
I	شدت جریان الکتریکی، A
Q_c	ظرفیت سرمایشی، kJ
Q_{con}	گرمای دفع شده در کندانسور، kJ/kg
Q_{ev}	گرمای جذب شده در اواپراتور، kJ/kg
V	اختلاف پتانسیل الکتریکی، V
W_c	توان مصرفی کمپرسور واحد برودتی، kW

مراجع

- [1] E. Hajidavalloo, Application of evaporative cooling on the condenser of window-air-conditioner, Applied Thermal Engineering, 27(11) (2007) 1937-1943.
- [2] E. Hajidavalloo, H. Eghtedari, Performance improvement of air-cooled refrigeration system by using evaporatively cooled air condenser, International Journal of Refrigeration, 33(5) (2010) 982-988.
- [3] D.P. Chainarong Chaktranond, An Experimental Evaluation of Energy Saving in a Split-type Air Conditioner with Evaporative Cooling Systems

- Optimization in Building, Tehran, Iran 2003.
- [20] M Agharafiei, M.A. Mehrabian Study of the effect of water spray on the performance of coolant and evaporative condenser during crucifixion, in: 3rd National Conference of Thermal Power plants, Tehran, Iran 2011.
- [21] I.N. Ardita, I.W.A. Subagia, The application of condensate water as an additional cooling media intermittently in condenser of a split air conditioning, in: 2nd International Joint Conference on Science and technology –IJCST 2017, Nusa Dua Bali, Indonesia, 2017.
- [22] B.J. Phukan, S.K. Deb, Performance Improvement of Split Air Conditioner Using Evaporative Cooling Method in the Climatic Condition of GUWAHATI, ASSAM, International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 5(2) (2018) 321-328.
- [23] Annual Energy Outlook 2016, in, U.S. Energy Information Administration (IEA), 2016.
- [24] U. Lee, Han, J., and Elgowainy, A., Water Consumption Factors for Electricity Generation in the United States, Argonne National Laboratory, Energy Systems Division, 2016.
- [25] W. Leidenfrost, B. Korenic, Analysis of evaporative cooling and enhancement of condenser efficiency and of coefficient of performance, Heat and Mass Transfer, 12(1) (1979) 5–23.
- [26] J. Watt, W. Brown Evaporative air conditioning handbook, Third ed., Fairmont Press Inc., Lilburn, Georgia, USA, 1997.
- [27] ASHRAE Handbook Heating, Ventilating, and Air Conditioning Systems and Equipment, ASHRAE, 2012.
- evaporative cooling of an air-cooled condenser with humidifying air, Heat and Mass Transfer, 50(2) (2014) 225–233.
- [13] Manoj K. Prajapati, A. Choube, Enhancement the Performance of Condenser of Split type Air Conditioning System by using Evaporative Cooling: A Review, International Journal of Engineering Sciences & Research Technology, 3(7) (2014) 398-403.
- [14] A.S. Alotaibi, Performance of air conditioning system using air cooled condenser with water atomization, Mansoura University, 2016
- [15] N.A. Jassim, Thermal performance evaluation of water mist assisted air conditioner, University of Baghdad, 2014.
- [16] A.A. Al-Farayedhi, N.I. Ibrahim, P. Gandhidasan, A Novel Technique for Reducing Cooling Load of an Air Conditioning System Operating in Hot and Humid Climates, in, 2013.
- [17] A.P. Sawant, N. Agrawal, P. Nanda, Performance assessment of an evaporative cooling-assisted window air conditioner, International Journal of Low-Carbon Technologies, 7(2) (2011) 128-136.
- [18] M. Seraj Khorami, E. Hajidavalloo, Investigating the effect of using evaporative condenser instead of air condenser on chiller power consumption, in: The First National Conference on the Development of the Civil Engineering, Architecture, Electrical and Mechanical Engineering of Iran, Gorgan, Iran, 2014.
- [19] E. Hajidavalloo, Application of evaporative cooling in the air condenser of domestic air conditioners and its role in reducing energy consumption, in: the 2nd International Conference on Fuel Consumption

