

بررسی آزمایشگاهی راندمان برودتی فن خانگی دارای لوله- های خنک کننده

سید شرف الدین حسینی*

استادیار،
دانشکده مهندسی مکانیک،
دانشگاه پیام نور، تهران

چکیده: تامین انرژی سرمایشی مورد نیاز برای مصارف ساختمان و صنعت در کنار تلاش همزمان برای کاهش آلودگی محیط زیست و کاهش مصرف برق و هزینه های مربوط به آن دغدغه ایست که سالها مورد توجه محققان قرار گرفته است. نیاز بار سرمایی در بیشتر مناطق ایران از نیاز بار گرمایی بالاتر است. در مناطق گرم و مرطوب که ناچار به استفاده از سیستم های تبرید تراکمی با میزان مصرف برق بالا هستیم، یافتن روشهای جایگزین ضروری تر به نظر می رسد. در این تحقیق طرحی جدید بصورت یک سیکل آب سرد لوله مسی که قابلیت نصب بر روی فن های خانگی را دارد و می تواند کاهش مصرف برق قابل توجه داشته باشد، پیشنهاد شده است تا بتواند در زمان گرمای متوسط هوا جایگزین کولر گازی باشد. نتایج تحقیق نشان داد که در زمان گرمای متوسط هوا می توان از این سیستم جایگزین بهره برد و شرایط سرمایی مشابهی را با کولر گازی همراه با کاهش تا ۹۰ درصدی مصرف برق ایجاد نمود. همچنین بازگشت سرمایه در این طرح حدود یکسال محاسبه گردید.

واژه های راهنما: فن سرمایشی، سیستم تبرید، صرفه جویی مصرف انرژی، بار سرمایی، تبرید تراکمی.

مقاله علمی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۲۶

S. Sh. Hosseini*
Assistant Professor,
Faculty of Mechanical
Engineering,
Payam Noor University,
Tehran

Experimental investigation of refrigeration efficiency by domestic fan with cooling pipes

Abstract: The supply of required cooling energy for building and industrial applications, along with simultaneous efforts to reduce environmental pollution and also reduce electricity consumption and related costs, are a concern that has been considered by researchers for years. Required cold load in most parts of Iran is higher than for heat load. In hot and humid areas where we have to use compression refrigeration systems with high power consumption, it seems more necessary to find alternative methods. In this research, a new design in the form of a cold water cycle in a copper pipe that can be installed on domestic fans has been proposed which can also significantly reduce power consumption and be able to replace the compression cooler in times of moderate temperature. The results showed that in times of moderate heat, this alternative system can be used and create similar cooling conditions with air conditioners and causes a reduction up to 90% in electricity consumption. Also, the return on investment in this project was calculated for about one year.

Keywords: Cooling Fan, Refrigeration System, Energy Consumption Saving, Cooling Load, Compression Refrigeration.

۱- مقدمه

بتوانیم میزان مصرف برق را کاهش دهیم. این سیستم شامل یک سیکل چرخش آب سرد است که می تواند روی فن های خانگی از نوع دیواری، ایستاده و رومیزی نصب شده و دمای هوای اتاق را متعادل نماید.

۲- توضیح دستگاه و روش آزمایش

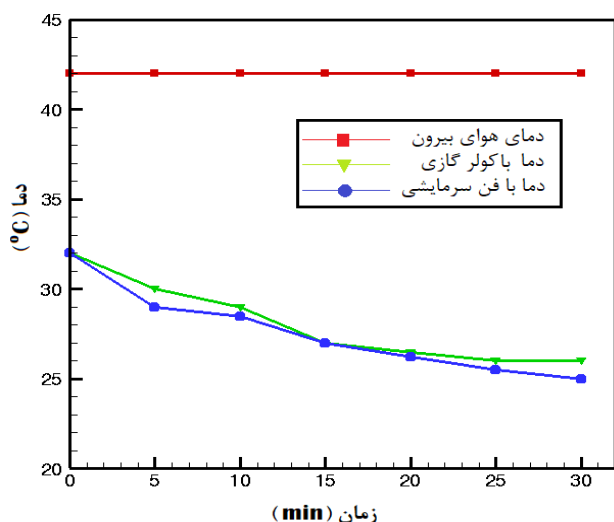
در این تحقیق تلاش شده است با مقایسه عملکرد یک سیستم تبرید تراکمی و یک سیستم تبرید پیشنهادی فن کوئلی، کارایی این دو سیستم برای ایجاد یک شرایط آسایش سنجیده شود. در سیستم پیشنهادی، یک رشته لوله مسی حاوی آب سرد در گردش در مقابل محل وزش باد پنکه قرار می گیرد و محیط را خنک می سازد. پره های محافظ پنکه های خانگی بطور معمول دارای شعاع بادهای مفید خارجی ۲۵ cm و شعاع مفید داخلی ۷ cm می باشند که هوای مکیده شده از پشت فن از این فضا به داخل اتاق وزانده می شود. در این سیستم، لوله مسی به قطر خارجی ۹/۶ mm و قطر داخلی ۶ mm و طول ۴m در ۵ دور نسبت به مرکز چرخش فن، روی حفاظ پنکه نصب می شود. یک عدد واتر پمپ که یک پمپ کولر آبی مدل الکتروژن است، آب سرد موجود در محفظه جانبی حاوی آب و یخ را توسط لوله های انعطاف پذیر درون لوله مسی ارسال نموده و از طریق خروجی لوله مسی، به محفظه آب و یخ باز می گرداند. دبی جریان واقعی آب داخل لوله ۶۰ mlilit/s است. مصرف کننده های انرژی الکتریکی در این طرح، پنکه با میزان مصرف ۵۰ w/hr با سرعت ۱۲۰۰ دور در دقیقه و حجم باد دهی ۶۲ متر مکعب در دقیقه و واتر پمپ مورد استفاده با میزان مصرف ۵۰ w/hr، سرعت ۲۴۰۰ rpm می باشند. این سیستم مانند یک فن کوئل عمل می کند و پیش بینی می شود بعلاوه اینکه آب سرد در گردش مستقیماً با جریان هوا در تماس نیست و تبخیر نمی شود برای مناطق گرم و مرطوب مناسب است. از طرفی میزان مصرف انرژی این سیستم نسبت به کولر گازی بسیار پایین تر می باشد. تامین سرمایش این سیستم با تزریق یخ به محفظه آب و یخ صورت می گیرد. این دستگاه جانبی، به صورتی منعطف طراحی شده که قابلیت نصب روی انواع مدل های پنکه های رومیزی و دیواری رایج را در ساختمان را داشته باشد. دو حجم کنترل مشابه، به ابعاد ۳۰۰ cm × ۳۵۰ cm و ارتفاع ۲۸۰ cm را در نظر می گیریم. دیوار شرقی این اتاق ها به سمت هوای خارج و سه دیوار دیگر با فضای طرح داخل مشترکند. پنجره اتاق در سمت شرقی قرار دارد. سنسور های دمایی در دو نقطه از اتاق ها به ارتفاع ۱۴۰ cm از سقف قرار می گیرند. برای اندازه گیری های دمایی از ۶ دماسنج الکلی با محدوده دمایی ۵- تا ۱۰۰ درجه سانتیگراد استفاده شده است. یک سنسور دمایی دیگر در هوای خارج از اتاق قرار گرفته و دمای هوای بیرون را در طی زمان آزمایش می سنجد. یک سنسور دمایی دیگر درون محفظه آب و یخ قرار می گیرد و دمای این محفظه را کنترل می نماید. درون اتاق شماره ۱، یک کولر گازی با ظرفیت ۹۰۰۰ کیلوکالری بر ساعت با مشخصات جدول ۱، مطابق شکل ۱ قرار دارد.

انرژی امروزه به عنوان یکی از مهمترین گزینه های مباحثات علمی در صنایع و ساختمان مطرح می باشد. به ویژه در مناطقی که به علت اقلیم خاص ناچار به بکارگیری سیستمهای پر مصرف انرژی هستیم، این ضرورت بیشتر به چشم می خورد. در صنعت ساختمان، تامین انرژی بیشتر با استفاده از سوخت های فسیلی صورت می گیرد. اما از طرف دیگر می دانیم افزایش سوخت های فسیلی مهمترین دلیل برای افزایش گرمای زمین است که عواقب زیست محیطی بسیار نامطلوبی از خود بجای گزارده است [۱] و ناچاریم با روش های صرفه جویی و جایگزینی، میزان مصرف سوخت های فسیلی را کاهش دهیم. روش های مختلفی برای کاهش میزان مصرف انرژی در ساختمان مورد استفاده قرار می گیرد. روش های اعمالی در دیوارها همچون استفاده از پنجره های دارای هواژل، دیوارهای ترومب، دیوارهای پوسته ای، دیوار های گرمای نهان، و همچنین روش هایی که در سقف ها موجب صرفه جویی در مصرف انرژی ساختمان می شود همچون سقف های سبز، سقف های سلول خورشیدی، سقف های سرمایش تبخیری [۲]، و در کنار آنها سیستم های سرمایش خورشیدی [۳] و نیز استفاده از ذخیره ساز های سرمایی که در زمان کم باری، سرما را ذخیره و در زمان پرباری برق، آن را مصرف می کنند [۴]، از آن جمله است. تمامی این روش ها برای کاهش مصرف سوخت های فسیلی، در برقراری سیستم های گرمایش و سرمایش ساختمان و ایجاد شرایط آسایش در محیط زندگی مورد استفاده قرار می گیرد. استانداردهای محدوده دمایی که منتج به رضایت حرارتی برای حداقل ۸۰ درصد ساکنان مستقر در یک فضا می شود بیانگر شرایط آسایش حرارتی است [۵]. در ایران بعلاوه قرار گیری در منطقه گرم، معمولاً بار سرمایشی سالیانه از مقدار بار گرمایشی سالیانه بیشتر است [۶]. بنابراین توجه به بخش سرمایش از دیدگاه مصرف انرژی باید بیشتر باشد. سیستم های سرمایشی که در مناطق اقلیمی مختلف کشور ایران مورد استفاده قرار می گیرند از سه الگوی کلی تبرید تراکمی، تبرید جذبی و تبرید تبخیری پیروی می کنند. از سیستم تبرید تبخیری بیشتر در مناطق خشک استفاده می شود. مزایای سیستم های تبخیری هزینه مصرف برق کمتر، آلایندهی پایین تر و از همه مهمتر ارزانتر بودن آن است [۷]. بعلاوه اینکه این سیستم نه تنها نمی تواند رطوبت مازاد را از محیط مورد نظر کم کند بلکه رطوبت را به حجم کنترل اضافه می کند، استفاده از این سیستم در مناطق گرم و مرطوب به هیچ وجه اجرایی نیست. سیستم های تبرید جذبی نیز بیشتر در ساختمان های با مصرف یکپارچه و بالا مورد استفاده قرار می گیرند و برای واحد های مجزا و کوچکتر کارایی مطلوب و راندمان انرژی مناسب ندارند و تنها گزینه ای که می توان روی آن تمرکز کرد، سیستم تبرید تراکمی است. مخصوصاً در مناطق گرم و مرطوب که بیشتر شامل استان های اطراف دریای خزر و همچنین خلیج فارس و دریای عمان می شود، ناچاریم جهت خنک سازی و همچنین رطوبت زدایی از هوای حجم کنترل، از سیستم سرمایش تراکمی استفاده نماییم. هزینه اولیه و هزینه جاری انرژی سیستم های تراکمی بسیار بالاست. در این تحقیق تلاش شده است با یافتن راهکاری برای جایگزینی سیستم تبرید تراکمی در زمان گرمای متوسط

می ماند تا دمای اتاق با دمای هوای بیرون نزدیک شود. میانگین دمای اتاق ها 32°C اندازه گیری شد. دمای آب و یخ نیز قبل از شروع بکار سیستم 1°C - ثبت شد. دستگاه های خنک کننده روشن شده شروع بکار می کنند. دمای هدف، دمای آسایش مطلوب بین 24°C تا 27°C درجه سانتیگراد است. دمای کولر گازی روی 22°C و دور فن متوسط تنظیم گردیده است. میزان مصرف برق دو سیستم از زمان شروع آزمایش با استفاده از ولت متر و آمپر متر به مدت 30 دقیقه اندازه گیری می شود. نتایج دمایی و مصرف انرژی ثبت می گردد.

۲- نتایج و بحث

مطابق شکل ۳، نتایج آزمایش نشان داد روند کاهش تقریباً مشابهی بین این دو سیستم برقرار می باشد. روند کاهش دما در کولر گازی کمی بیشتر از فن سرمایشی است. دمای آب سرد کننده نیز تا دمای 14°C افزایش می یابد و تقریباً ثابت می ماند. دمای لوله مسی فن سرمایشی نیز میانگین 22°C ثبت شد. بعد از 30 دقیقه دمای اتاق ها شرایط تقریباً مشابهی می یابد اما میزان مصرف برق این دو سیستم تفاوت چشمگیری دارد.



شکل ۳ تغییرات دمایی حجم کنترل

حداقل اختلاف دما بین منبع سرد و گرم در مبدل های حرارتی نقطه پینچ نامیده می شود [۸]. مطابق شکل ۳، در مبدل فن سرمایشی اختلاف دما منبع سرمایش و هوای پایدار محیط $12/5$ درجه سانتیگراد اندازه گیری شده است. هر چه نقطه پینچ در یک مبدل بالاتر باشد، راندمان آن بیشتر و هزینه های آن کمتر خواهد بود. در مبدل های حرارتی معمولاً عدد پینچ باید بالاتر از 8 باشد [۹] که در این تحقیق این مقدار 50 درصد بالاتر از حداقل مقدار بدست آمده است.

از طرف دیگر میزان مصرف برق اندازه گیری شده در سیستم فن سرمایشی، شامل ترکیب فن و پمپ آب، 105 W/hr اندازه گیری شد. این میزان در هنگام شروع سیستم کولر گازی 1500 W/hr و در هنگام کار سیستم 980 W/hr ثبت گردید. برای یک دوره گرمایشی از ابتدای خرداد تا انتهای شهریور برای یک اتاق اداری مانند دفتر کار، با 5 روز کار در هفته و هر روز 8



شکل ۱ پنل کولر گازی ۹۰۰۰ استفاده شده در آزمایش

جدول ۱ مشخصات سیستم تبرید تراکمی آزمایش

Power source		220-240V-50Hz, 1Ph	
Standard rating conditions	Cooling	Current	4.6A
		Input	859W
	Heating	Current	4.2A
		Input	845W
Rated current		7.6 A	
Rated input		1450W	
Outdoor unit resistance class		IP 24	
Cooling capacity		9000 Btu/h	
Heating capacity		10000 Btu/h	
Refrigerant		R22/540g	
Excessive operating pressure	Discharge	2.6 MPa	
	Suction	1.0 MPa	
Weight	Indoor	7 kg	
	Outdoor	23 kg	

در اتاق شماره ۲ سیستم تهویه پیشنهادی این تحقیق مطابق شکل ۲ قرار داده شده است.



شکل ۲ سیستم ابداعی سیکل آب سرد در فن سرمایشی

کولر گازی و سیستم تهویه آزمایش، در سمت دیوار شرقی قرار گرفته اند و جهت وزش باد به سمت دیوار غربی اتاق می باشد. آزمایش در زمان اوج گرما و ساعت 13 در ماه مرداد در منطقه گرم و مرطوب در شهر ساری انجام گرفته است. دمای بیرون 30°C اندازه گیری شد. ابتدا پنجره این اتاق به مدت 30 دقیقه باز

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق مقایسه ای آزمایشگاهی از لحاظ کارایی سرمایشی و انرژی مصرفی بین دو سیستم کولر گازی و سیستم ابداعی فن سرمایشی که شامل یک سیکل آب سرد داخل لوله مسی دوار نصب شده روی فن خانگی است، برای فصل گرم در منطقه گرم و مرطوب شهرستان ساری انجام پذیرفت. نتایج آزمایشگاهی نشان داد که سیستم فن سرمایشی برای ایجاد شرایط آسایش در زمان گرمای متوسط هوا کارایی مشابهی با کولر گازی دارد و مصرف برق آن بسیار پایین تر از کولر گازی و حدود ۷ تا ۱۰ درصد است. با توجه به هزینه ایجاد سیکل چرخش آب سرد و اختلاف هزینه برق بها دو سیستم خنک سازی، بازگشت سرمایه متوسط یکساله قابل پیش بینی می باشد.

فهرست علائم و اختصارات

علائم انگلیسی

W	وات
hr	درجه سانتیگراد
°C	سانتیمتر
cm	لیتر
lit	ثانیه
s	دور بر دقیقه
rp	m
m	متر
mm	میلیمتر

مراجع

- [1] Gani, A., Fossil fuel energy and environmental performance in an extended STIRPAT model, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 297, PP. 1-11, (2021).
- [2] Jamei, M., Ahmadianfar, I., Olumegbon, I. A., Karbasi, M., Asadi, A., On the assessment of specific heat capacity of nanofluids for solar energy applications: Application of Gaussian process regression (GPR) approach, *Journal of Energy Storage*, Vol. 33, pp. 1-16, (2021).
- [3] Subramanian, K., Krishna, B. V., Rao, T. N., Construction and characterization of a solar refrigeration system based on nano-graphene, *Journal of Physics*, Vol. 1950, pp. 1-7, (2021).
- [4] MirMohammadi, A., Rahimi, S., Technology of cold storage systems in air conditioning of buildings and examining its efficiency in a building, *mechanical Engineering*, Vol. 28, No. 126, pp. 3-9, (2019). (in Persian)

ساعت کار، محاسبه اختلاف میزان مصرف انرژی برای ۸۰ روز کار ۸ ساعته برابر با ۶۴۰ (روز ساعت) × ۸۷۵ (وات بر ساعت اختلاف مصرف) = ۵۶۰ kW/hr خواهد بود. متوسط این میزان مصرف برای هر ماه ۱۶۰ kW/hr است. هزینه این اختلاف مصرف برای کاربری های مختلف طبق جدول ۲ می باشد. هزینه تجهیزات افزوده شده روی فن حدوداً ۴۰۰۰۰۰۰ ریال بوده است. برای مصرف خانگی و تجاری مقدار متوسط ۳۰۰ تا ۴۰۰ کیلو وات ساعت در ماه و برای مصارف اداری و آموزشی، هزینه زمان میان باری برای محاسبه در نظر گرفته شده است. پیش بینی زمان بازگشت سرمایه طبق میزان اختلاف هزینه انرژی مصرفی که در جدول ۲ آورده شده است نیز قابل محاسبه است. اشکال سیستم فن سرمایشی تعریق رطوبت هوا روی لوله های مسی است. با توجه محل ریزش قطرات آب در پایین فن، می توان با قرار دادن یک ناودان کوچک و انتقال آب جمع آوری شده به مخزن آب و یخ این مشکل را برطرف نمود. نتیجه اینکه با جایگزینی سیستم فن سرمایشی بجای کولر گازی در زمان های با گرمای متوسط (و نه الزاماً اوج گرما)، می توان کاهش قابل ملاحظه ای در میزان مصرف برق و بهای برق برای مشترکین ایجاد نمود.

جدول ۲ میزان برق بها در منطقه ۴ گرمسیری از تاریخ ۱۴۰۰/۳/۱ [۱۰]

نوع مصرف	خانگی	تجاری	اداری	آموزشی	اختلاف هزینه دو سیستم برای هر ماه (ریال)
۰ تا ۱۰۰	۷۳۱	۱۳۱۰	۲۸۳۴	۵۲۵	
۱۰۰ تا ۲۰۰	۸۵۱	۱۴۱۹	۵۶۶۸	۱۰۵۰	
۲۰۰ تا ۳۰۰	۱۵۱۹	۱۷۴۵	۱۴۱۷	۲۶۲۵	
۳۰۰ تا ۴۰۰	۲۴۲	۲۱۸			
۴۰۰ تا ۵۰۰	۳۴۹۴	۲۴۰۱			
۵۰۰ تا ۶۰۰	۴۵۵	۲۶۱			
بیش از ۶۰۰	۵۴۶۹	۲۲۷۳			
	۳۸۸۴۸۰	۳۴۹۷۸۰			

- [8] Wang, B., Klemes, J., Gai, L., Varbanov, P. S., Liang, Y., A Heat and Power Pinch for Process Integration targeting in hybrid energy systems, *Journal of Environmental Management*, Vol. 287, pp. 1-5, (2021).
- [9] Jin, Y., Gao, N., and Wang, T., Influence of heat exchanger pinch point on the control strategy of Organic Rankine cycle (ORC), *Energy*, Vol. 207, pp.1-46, (2020).
- [10] Electricity tariffs and their general conditions from May 2021, based on the approvals of the Council of Ministers from 2018 to 2020, prepared in the Ministry of Energy, pp. 1-12, (2020).
- [5] Moalemi, N., Marefat, M., Introduction to Thermal Comfort, *mechanical Engineering*, Vol. 23, No. 96, pp. 31-38, (2014). (in Persian فارسی)
- [6] Basere, A. A., AghaNajafi, S., Performance of hybrid geothermal heat pump with cooling tower in Iranian climates, *mechanical Engineering*, Vol. 24, No. 100, pp. 46-57, (2015). (in Persian فارسی)
- [7] Sohani, A., and Sayyaadi, H., Thermal comfort based resources consumption and economic analysis of a two-stage direct-indirect evaporative cooler with diverse water to electricity tariff conditions, *Energy Conversion and Management*, Vol. 172, pp.248-264, (2018).