بررسی تاثیر استفاده از کندانسور تبخیری به جای کندانسور هوایی در عملکرد کولرهای خانگی

ابراهیم حاجی دولو*

گروه مهندسی مکانیک، دانشکدهٔ مهندسی دانشگاه شهید چمران

(دریافت مقاله: ۸۱/۲/۱٤ – دریافت نسخه نهایی: ۸۲/٦/۱۵)

چکیده– در این مقاله ضرورت استفاده از روش سرمایش تبخیری در سیکل تبرید برای مناطق بسیار گرم برای کاهش مصرف انرژی الکتریکی مورد تاکید قرار گرفته است. بررسی تجربی و تحلیلی برای تعیین میزان تاثیر استفاده از کندانسور تبخیری به‌جای کندانسور هوایی مرسوم در کولرهای خانگی انجام گرفته شد. از آنجا که کندانسور تبخیری گرمای بیشتری را از کولر دفع می‌کند لذا در شرایط آب و هوایی بسیار گرم مانع از کاهش ظرفیت سرمایشی و افزایش توان مصرفی کولر می‌شود و در نتیجه در مصرف انرژی صرفه جویی می‌شود. برای تبدیل کندانسور هوایی به تبخیری دو طرح ارائه شد. در طرح تزریق مستقیم، آب بر روی لوله های کندانسور پاشیده می‌شود و در طرح پوشال دیواری آب بر روی دیواره پوشالی که در مسیر کندانسور تعبیه شده، پاشیده می‌شود. وضعیت ترمودینامیکی سیستم بعد از انجام هر دو طرح به‌طریق تجربی اندازه گیری شد و با وضعیت معمول آن در همان شرایط مورد مقایسه قرار گرفت. تجزیه و تحلیل نتایج تجربی به‌دست آمده نشان می‌دهد که با استفاده از این روشها ضریب عملکرد سیستم تا ۲۵ درصد قابل افزایش بوده و توان الکتریکی مصرفی کولر تا حدود ۱۳ درصد کاهش می یابد. سایر روشهای اصلاحی که به‌کمک آنها ضریب عملکرد سیکل بیشتر افزایش یافته و توان الکتریکی بیشتر کاهش می یابد معرفی شد.

واژگان کلیدی : کولر گازی-کندانسور تبخیری-ضریب عملکرد کولر-تزریق آب- کاهش انرژی

Effect of Using Evaporative Condenser Instead of Air Condenser in Window-air Conditioners

E. Hajidavalloo
Mechanical Engineering Department, Shahid Chamran University, Ahwaz, Iran

Abstract: *In this paper, the application of evaporative cooling for refrigeration cycle to reduce power consumption in hot climates is emphasized. Experimental and analytical investigations were performed in order to specify the effect of evaporative cooling condenser instead of the commonly used air cooling condenser in window-air-conditioners. Evaporative condenser can reject more heat, thereby preventing the reduction of cooling capacity and increasing power consumption of window-air-conditioners during very hot seasons. Two designs were developed for evaporative condensers. In the direct injection design, water is injected on the condenser coil directly while in the media pad design, water is injected on the media pad installed before the condenser. Thermodynamic properties of the systems after modification were measured and compared with the ordinary situation. Analysis of the results show that using these methods, the coefficient of performance increases by about 25% and power consumption decreases by about 13%. It is also anticipated that further modifications in these designs may yield better results.*

Keywords: *Window-air-conditioner, Evaporative cooler, Coefficient of Performance, Water Injection, Energy Saving*

---

* استادیار

[DOR: 20.1001.1.2251600.1382.22.2.10.1]

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

فهرست علائم

h	آنتالپی	T_{WB}	دمای حباب تر
I	جریان الکتریکی	V	ولتاژ ورودی به کمپرسور
$\dot{m}$	دبی جرمی سیکل	Wc	کار کمپرسور
Qc	ظرفیت تبرید	X	کیفیت
q_c	اثر تبرید	β	ضریب عملکرد سیکل
T_{DB}	دمای حباب خشک	Cos φ=0.93	ضریب توان کمپرسور

۱- مقدمه

ضریب عملکرد کولرهای خانگی موسوم به کولر های گازی به‌طور معکوس تابع دمای هوای محیط است و با افزایش دمای هوا مقدار آن کاهش می یابد. زیرا با افزایش دمای هوای محیط، اختلاف دمای موثر بین محیط و کندانسور کم شده و در نتیجه انتقال گرما به محیط کاهش می یابد. برای جبران این کاهش و افزایش انتقال گرما، دمای کندانسور افزایش می یابد که این افزایش به‌نوبهٔ خود سبب افزایش مصرف انرژی الکتریکی و کاهش ضریب عملکرد سیکل می‌شود. به‌طور تقریب به ازای هر درجه سانتیگراد کاهش دمای کندانسور ضریب عملکرد کولر بین ۲ تا ٤ درصد بهبود می یابد [۱]. در بسیاری از مناطق جنوبی کشور که دمای هوا برای مدت طولانی بسیار بالا می‌رود (حدود ۵۲ ^{o}C) کاهش ظرفیت کولرها سبب بروز مشکلاتی در تهویه مناطق مسکونی و افزایش مصرف انرژی الکتریکی می‌شود. از طرف دیگر در ساختمانهای چند طبقه ایجاد شده در نواحی گرم نیز مشکلاتی در زمینه کاهش ظرفیت کولرها گزارش شده است زیرا جریان هوای گرم ناشی از کولرهای طبقات پایین به طرف بالا حرکت کرده و با ایجاد میدان جریان گرم حول کندانسور کولرهای طبقات بالا سبب کاهش ظرفیت تبرید و ضریب عملکرد آنها می‌شود. معمولا ظرفیت تبرید کولرها بر طبق استانداردهای موجود مانند استاندارد BS 2852 [۲] در هوا با دمای ٤۳ ^{o}C تعریف می‌شود. در صورتی‌که دمای هوای محیط بالاتر برود فشار مبرد در کندانسور افزایش یافته و نسبت تراکم کمپرسور نیز بالا می‌رود که سبب کاهش محسوس ضریب عملکرد سیکل تبرید می‌شود. برای افزایش ضریب عملکرد و ظرفیت تبرید کولر لازم است که ظرفیت انتقال و دفع گرما در کندانسور بالا رود. این‌کار از راههای مختلفی قابل انجام است که یکی از ساده ترین آنها تغییر کندانسور هوایی به کندانسور تبخیری است. می‌توان از کندانسور آبی نیز برای افزایش ظرفیت کندانسور استفاده کرد ولی این‌کار مستلزم ایجاد تغییرات اساسی در سیکل و در نتیجه صرف هزینه های مالی بسیار زیاد است که از نظر اقتصادی قابل توجیه نیست [۱].

استفاده از سرمایش تبخیری به‌صورت برج خنک کن در سیستمهای سرمایشی بزرگ معمول بوده و تکنولوژی شناخته شده‌ای است [۳و٤] ولی در مورد سیستمهای سرمایشی کوچک که در منازل مورد استفاده قرار می‌گیرند معمولا از کندانسور هوایی استفاده می‌شود. زیرا هدف این است که سیستم تا حد امکان ساده بوده و به سایر تاسیسات جانبی نیاز نداشته باشد. کارایی کندانسور هوایی کولرهای گازی را می‌توان با تغییر آن به کندانسور تبخیری افزایش داد. استفاده از برج خنک کن برای کولر های گازی مناسب نیست زیرا حجم تاسیسات بزرگ می‌شود و از نظر اقتصادی قابل توجیه نیست. بنابر این بهتر است که از روشهای دیگر سرمایش تبخیری استفاده شود. با استفاده از سرمایش تبخیری دمای هوای محیط پایین آمده و در نتیجه اختلاف دمای موثر بین کندانسور و هوای محیط زیاد شده و انتقال گرما افزایش می یابد این امر به‌نوبهٔ خود سبب افزایش ضریب کارآیی سیکل و کاهش مصرف انرژی الکتریکی می‌شود.

[DOR: 20.1001.1.2251600.1382.22.2.10.1]

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

هر چند استفاده از سرمایش تبخیری برای سیستمهای تبرید با ظرفیت بالا به‌شکل استفاده از برج خنک کن مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته شده و حالتهای مختلف آن ارزیابی شده است [۵ و٦] ولی در مورد استفاده از سرمایش تبخیری برای سیستمهای کوچک و کولرهای خانگی تحقیقات چندانی صورت گرفته نشده است و میزان تاثیرات آن بر عملکرد سیکل مشخص نشده است. گسوانی و همکاران [۷] در تحقیقات خود کندانسور هوایی یک کولر دو تکه با ظرفیت ۲/۵ تن را به کندانسور تبخیری تبدیل کردند. برای این‌کار آنها چهار دیوار پوشالی که آب از بالا بر روی آنها پاشیده می‌شود را در اطراف کندانسور تعبیه کردند. هوای محیط از روی این دیوارها عبور کرده و پس از کاهش دما کندانسور را خنک کند. بر پایه نتایج گزارش شده، این طرح سبب کاهش مصرف انرژی الکتریکی به مقدار ۲۰ درصد شد. در تحقیقات مزبور دمای ماکزیمم هوای محیط در حدود ^{o}C ۳٤ گزارش شده است. به‌جز مقاله مزبور گزارش دیگری در این مورد تا کنون منتشر نشده و بسیاری از نکات مطروحه در این رابطه مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته نشده است. برای مثال چگونگی تغییرات ایجاد شده در منحنی فشار آنتالپی (P-h) و همچنین چگونگی تغییرات ایجاد شده در سیکل برای دمای محیط حدود ^{o}C ۵۰ مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفته نشده است. همچنین اثر استفاده از روشهای مختلف کندانسور تبخیری مانند روش پاشش مستقیم و سایر روشهای دیگر مورد بررسی قرار گرفته نشده است و لازم است که تحقیقات بیشتری در این موارد صورت گیرد. این تحقیق برای ارائهٔ نتایج تجربی بیشتر در این زمینه صورت گرفته شده است. در این مقاله در ابتدا دو طرح برای استفاده از روش کندانسور تبخیری پیشنهاد شده و سپس با توجه به نتایج آزمایشات تجربی به‌دست آمده به ارزیابی و تجزیه و تحلیل آنها پرداخته می‌شود.

۲- ضرورت کاربرد سرمایش تبخیری

کشور ما به‌طور اخص و منطقه خاورمیانه به‌طور اعم دارای شرایط آب و هوایی خیلی گرم و یا گرم است. اگر به جداول مرجع ASHRAE [۸] مراجعه شود مشخص می‌شود که گرمترین شهر مهم جهان شهر آبادان ذکر شده است که دمای یک درصد ساعات گرم آن در تابستان بالاتر از ^{o}C ۴۷ است. قابل توجه است که آبادان گرمترین شهر ایران نیست و بسیاری از شهرهای کشورمان دارای دمای بیشتری از آبادان هستند. نکته مهم دیگر در این آمار آن‌است که به‌جز چند شهر واقع در خاورمیانه که دمای یک در صد ساعات گرم آن در تابستان بالاتر از ^{o}C ۴۰ هستند بقیه شهرهای مهم جهان دارای دمای یک در صد پائین‌تر از ^{o}C ۴۰ هستند. این آمار نشان دهندهٔ شرایط آب و هوایی خاص کشور ما و منطقه خاورمیانه است. لذا این ضرورت احساس می‌شود که با توجه به بالا بودن دمای هوا در منطقه از کندانسور تبخیری به‌جای کندانسور هوایی در واحدهای تبرید استفاده شود تا با استفاده از پتانسیل طبیعی موجود در فرایند سرمایش تبخیری از مصرف انرژی الکتریکی بیش از حد جلوگیری شود. در غیر این‌صورت استفاده از کندانسور هوایی سبب بالا رفتن دمای کندانسور شده و متناسب با آن فشار کندانسور بالا رفته و مصرف کار کمپرسور بیشتر می‌شود. به‌نظر می‌رسد یکی از دلایل عدم استفاده از کندانسور تبخیری در اروپا و آمریکا وجود تابستان معتدل است که ضرورت کاربرد کندانسور هوایی را توجیه پذیر می‌سازد.

سؤالی که ممکن است مطرح شود آن است که کارایی سیستم تبخیری برای روزهایی که رطوبت نسبی هوا بالاست چگونه بوده و چه مقدار تغییر خواهد کرد. در پاسخ به این سوال باید به نکات ذیل اشاره شود. اگر به پهنه بندی اقلیمی کشور برای فصل تابستان توجه شود خواهیم دید کشور به ۱۳ اقلیم مختلف تقسیم شده است که در جدول (۱) نشان داده شده است.

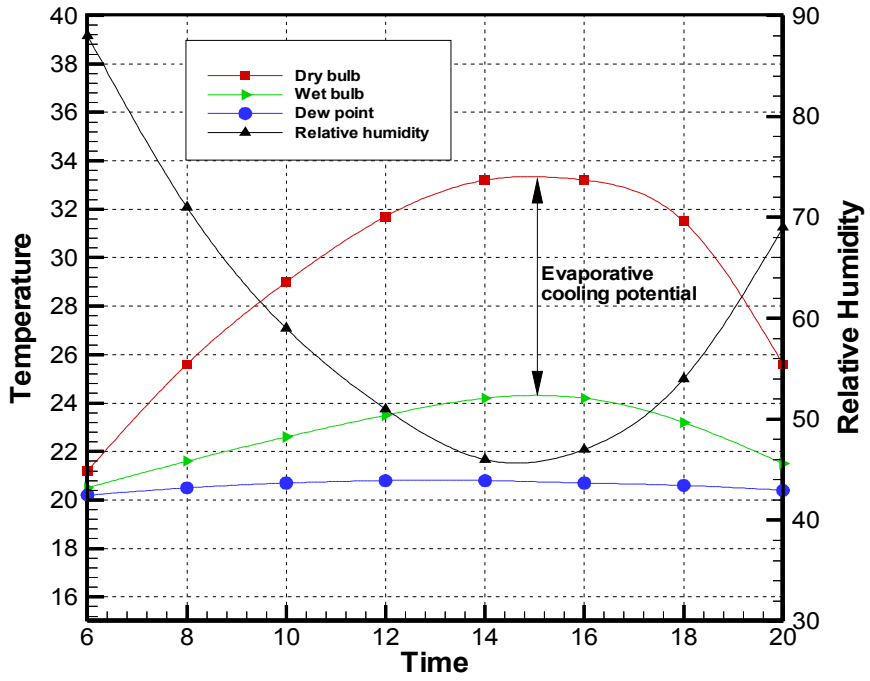
با توجه به آمارها و نتایج هواشناسی فقط شهرهای جزیره‌ای و یا شهرهای بندری که جهت وزش باد در اغلب اوقات از دریا به خشکی است در اقلیم گرم و مرطوب و یا خیلی گرم و مرطوب قرار می‌گیرند که این تعداد بسیار کمی را شامل شده و بسیاری از شهرهای کشور در ناحیه نیمه مرطوب و یا خشک قرار دارند که شامل شهرهایی مانند آبادان، اهواز و دزفول و ...

[DOR: 20.1001.1.2251600.1382.22.2.10.1]

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

جدول ۱- تقسیم‌بندی شرایط اقلیمی کشور در تابستان [۹]

۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
مناسب	معتدل	مرطوب	نیمه گرم	نیمه گرم و خشک	گرم	گرم و خشک	خیلی گرم	خیلی گرم و خشک	شدیدا گرم و خشک	شدیدا گرم و نیمه مرطوب	گرم و مرطوب	خیلی گرم و مرطوب



شکل ۱- منحنی تغییرات دمای حباب تر و خشک و رطوبت نسبی در طول روز

می‌شود. در این مناطق درصد کمی از روزها رطوبت نسبی بالاست و در نتیجه پتانسیل سرمایش تبخیری بسیار زیادی وجود دارد که از آن می‌توان استفاده کرد. از طرف دیگر حتی اگر به شهرهایی که دارای رطوبت بالا یا به‌اصطلاح شرجی اند توجه کنیم خواهیم دید که رطوبت بالا معمولا در هنگام صبح و یا در هنگام غروب و شب که دمای هوا نسبتا کم است وجود دارد و در هنگام بعدازظهر که دمای هوا بالا می‌رود میزان رطوبت به‌شدت پایین می آید زیرا هوای گرم ظرفیت پذیرش رطوبت بیشتری را دارد که این موضوع در شکل (۱) نشان داده شده است. بنابر این حتی در مناطقی که رطوبت هوا بالاست در هنگام بعدازظهر که بیشترین نیاز به کولرهای گازی است رطوبت پایین آمده و استفاده از کندانسور تبخیری تاثیر خود را در کاهش دما به اندازه دمای حباب تر، نشان خواهد داد. بنابر این می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از سرمایش تبخیری در بسیاری از نقاط کشور قابل توجیه است.

[DOR: 20.1001.1.2251600.1382.22.2.10.1]

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

۳- ارائهٔ طرح

تغییر سیستم کندانسور هوایی به تبخیری از طرق متفاوت قابل انجام است. در این پروژه با توجه به جنبه امکان‌پذیری استفاده از طرح در منازل و سادگی آن، دو طرح در نظر گرفته شده است که عبارت‌اند از:

الف- طرح پاشش مستقیم آب بر روی کندانسور

ب- طرح پاشش آب بر روی دیوار پوشالی

در کندانسور هوایی موجود در کولرهای گازی فقط از مکانیزم جابه‌جایی برای خنک کردن مبرد درون کندانسور استفاده می‌شود اما در کندانسور پیشنهادی موجود هم از فرایند جابه‌جایی و هم از فرایند تبخیر و انتقال جرم برای کاهش دمای کندانسور استفاده می‌شود. از آنجا که ضریب انتقال گرما در تحول تبخیر بسیار زیاد است لذا میتوان انتظار داشت که میزان انتقال گرما از کندانسور زیاد شود. هر کدام از این طرحها ویژه‌گیهای خاص خود را داشته و مزایا و معایب آنها متفاوت‌اند که در ذیل به تشریح هر کدام از این طرحها پرداخته می‌شود.

۳-۱- طرح پاشش مستقیم آب بر روی کندانسور

در این طرح برای کاهش دمای کندانسور، آب به‌صورت مستقیم بر روی پره های کندانسور تزریق می‌شود. تزریق آب از قسمت بالای کندانسور صورت گرفته و برای این‌کار از یک لوله مسی بقطر داخلی ۸ میلیمتر که سوراخهای متعددی (۲۷ عدد سوراخ) به‌قطر ۰/٦ میلیمتر بر روی آن انجام شده است استفاده می‌شود. آب از طریق این لوله بر روی سطح بالایی کندانسور تزریق می‌شود. این آب ضمن برخورد با لوله‌ها و پره‌های کندانسور به‌سمت پایین حرکت کرده و سایر قسمتهای کندانسور را پوشش می‌دهد. در صورتی‌که تزریق آب به‌صورت ذرات ریز و به‌شکل اسپری باشد کارایی بهتری حاصل می‌شود زیرا سطح بیشتری از کندانسور تحت تاثیر قرار گرفته و تبخیر بیشتری صورت می‌گیرد. اما انجام این‌کار نیاز به فشار بسیار زیاد دارد که لزوم استفاده از پمپهای قوی را ایجاب می‌کند که از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نخواهد بود. لذا تزریق آب توسط پمپ با فشار معمولی صورت گرفته و آب به‌صورت جت از طریق سوراخهای ایجاد شده در لولهٔ مسی بر روی لوله‌های کندانسور پاشیده می‌شود.

مزیت اساسی این روش آن است که در اثر برخورد مستقیم ذرات آب با سطح گرم کندانسور انتقال گرما بهتر صورت گرفته و کارایی سیستم بالا می رود. از طرف دیگر عیب این طرح آن است که امکان خوردگی بیش از حد لوله‌ها و پره‌های کندانسور در اثر تماس مستقیم با آب وجود دارد. همچنین ممکن است که در اثر تماس مستقیم آب با لوله ها رسوب بر روی لوله‌های کندانسور ایجاد شود. شکل (۲) طرح پاشش مستقیم آب بر روی کندانسور کولر را نشان می‌دهد.

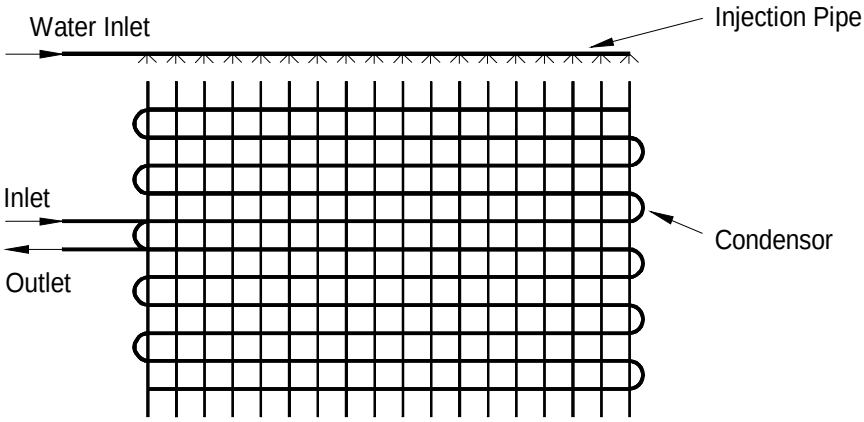
۳-۲- طرح پاشش آب بر روی دیواره پوشالی

در این طرح به‌جای پاشش مستقیم آب بر روی پره‌های کندانسور، آب بر روی یک دیواره کم عرض حاوی پوشال رشته‌ای پاشیده می‌شود. این دیواره در فاصلهٔ بین پره‌های فن و کندانسور جاسازی شده و نصب می‌شود. سطح پوشالهای درون دیواره در اثر تماس با آب مرطوب شده و هوا ضمن عبور از روی این سطح مرطوب در اثر تبخیر سطحی خنک می‌شود. سپس این هوای خنک شده از روی کندانسور عبور می‌کند و سبب انتقال گرمای بیشتر از کندانسور خواهد شد. در این طرح نیز مانند طرح قبلی از لوله مسی که سوراخهای کوچک بر روی بدنه آن نصب شده است برای پاشش آب روی دیواره استفاده می‌شود.

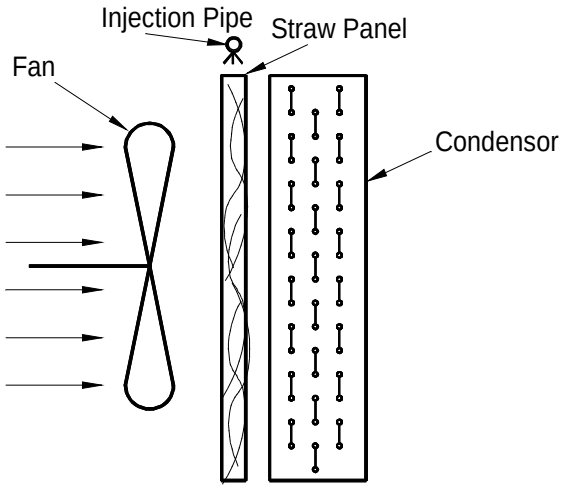
مزیت این طرح در آن است که به‌دلیل عدم تماس مستقیم آب با لوله ها و پره های کندانسور امکان خوردگی کندانسور و یا رسوب بر روی لوله‌های کندانسور کمتر می‌شود ولی از طرف دیگر باید به این مسئله توجه داشت که به‌دلیل عدم تماس مستقیم ذرات آب با سطوح کندانسور امکان کاهش مقدار انتقال گرما وجود دارد. برای اندازه گیری آمپر مصرفی از آمپرمتر قلاب دار با دقت ۱/. آمپر استفاده شد. شکل (۳) طرح پاشش آب بر روی دیواره پوشالی را نشان می‌دهد.

[DOR: 20.1001.1.2251600.1382.22.2.10.1]

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com



شکل ۲- طرح پاشش مستقیم آب بر روی کندانسور کولر



شکل ۳- طرح پاشش آب بر روی دیواره پوشالی

۴- دستگاه مورد آزمایش

برای اجرای طرح از یکدستگاه کولر گازی ساخت شرکت کولر گازی ایران مدل SF 18 استفاده شد که مشخصات آن در جدول (۲) نشان داده شده است.

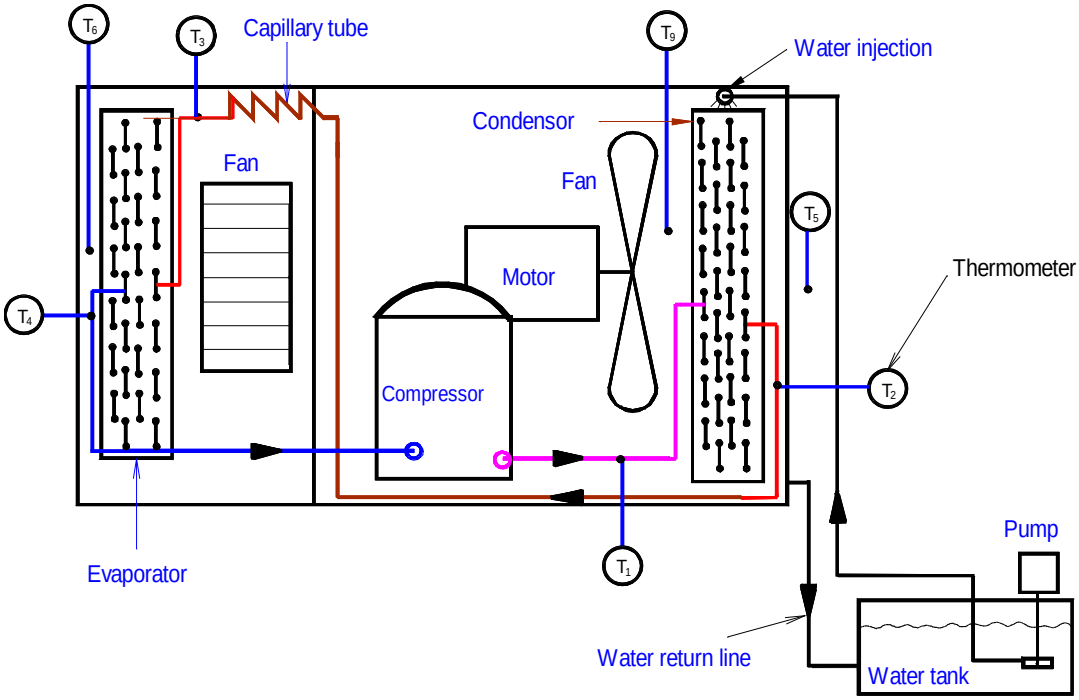
برای اندازه گیری تغییرات ایجاد شده در وضعیت ترمودینامیکی سیستم، دما سنج جیوه ای با دقت ۰/۵ درجه سانتیگراد بر روی قسمتهای مختلف سیکل نصب شد محل‌هایی که در آن دما سنج نصب شده است عبارت‌اند از: لوله خروجی کمپرسور، لوله خروجی کندانسور، انتهای لوله موئین (شیر خفقان)، لوله خروجی از اواپراتور، مسیر هوای ورودی به کندانسور، مسیر هوای خروجی از کندانسور، مسیر هوای ورودی به اواپراتور، مسیر هوای خروجی از اواپراتور. علاوه بر این دمای حباب خشک هوای محیط و دمای حباب تر هوای محیط اندازه گیری شد. برای تامین مصرف آب مورد نیاز برای پاشش در روی لوله‌ها احتیاج به مدار سیکل آب است که شامل پمپ تزریق آب، مخزن، شیر تنظیم، لوله سوراخدار، و لوله های رابط میباشد. برای تعیین مقدار مصرف آب، مخزن آب مدرج شده و تغییرات سطح آن در زمان مشخص توسط کرنومتر ثبت شده و نرخ تبخیر که در حقیقت برابر با نرخ مصرف آب میباشد محاسبه می‌شود. شکل (۴) شماتیک دستگاه آزمایش را نشان می‌دهد.

[DOR: 20.1001.1.2251600.1382.22.2.10.1]

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

جدول ۲- مشخصات کولر گازی مورد استفاده

	Capacity	Indoor Condition		Outdoor Condition	
1	17500 BTU/HR	T_{DB}=27 °C	T_{WB}=19 °C	T_{DB}=35 °C	T_{WB}=24 °C
2	19000 BTU/HR	T_{DB}=32 °C	T_{WB}=23 °C	T_{DB}=43 °C	T_{WB}=26 °C



شکل ٤- شکل شماتیک دستگاه آزمایش برای طرح تزریق مستقیم

۵- روش آزمایش

آزمایشات انجام شده برای سه حالت عادی، پاشش مستقیم و پاشش روی دیواره پوشالی صورت گرفت. این آزمایشات در شرایطی واقعی مانند حالتی که کولر در منازل مورد استفاده قرار می‌گیرد انجام می‌شود. اتاق آزمایشگاه به ابعاد ۳/۵×٤/۷×۵ متر است. همانند شرایط معمولی هوای داخل اتاق از روی کویلهای اواپراتور عبور کرده و پس از سرد شدن از طریق دریچه ورودی وارد اتاق می‌شود. برای خنک کردن کندانسور از هوای محیط بیرون استفاده می‌شود. شکل (۵) وضعیت کولر در هنگام آزمایش را نشان می‌دهد.

۶- نتایج آزمایشات

آزمایشات متعددی بر روی کولر گازی در شرایط مختلف صورت گرفت که نتایج یک نمونه از آزمایشات در جدول (۳) ارائه شده است. لازم به‌تذکر است که نتایج سایر آزمایشات به‌دلیل مشابهت ارائه نشده است.

۷- بررسی نتایج آزمایش

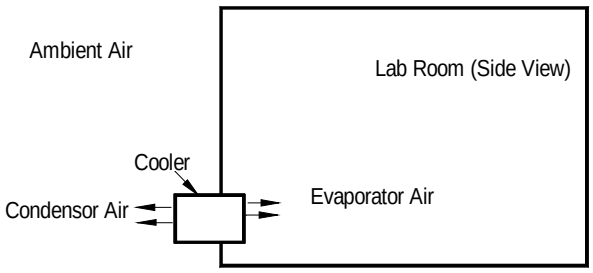
بررسی نتایج آزمایش نشان می‌دهد که در سه حالت عادی، پاشش مستقیم و دیواره پوشالی تغییرات قابل توجهی در مقدار آمپر مصرفی، دمای مبرد و همچنین دمای هوای جریانی صورت

[DOR: 20.1001.1.2251600.1382.22.2.10.1]

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

جدول ۳- نتایج آزمایشات تجربی

	پارامتر آزمایش	واحد	تاریخ- ۱۳۸۰/٦/۲۹		
			عادی	پاشش مستقیم	پاشش بر پوشال
۲	حالت کندانسور	-			
۳	دمای هوای حباب خشک محیط T_7	°C	45.0	45.0	45.0
٤	دمای هوای حباب تر محیط T_6	°C	24.0	24.0	24.0
٥	دمای مبرد خروجی از کمپرسور T_1	°C	110.0	97.0	99.0
٦	دمای مبرد خروجی از کندانسور T_2	°C	57.0	48.0	49.0
۷	دمای مبرد خروجی از لوله موئین T_3	°C	12.0	9.0	10.0
۸	دمای مبرد خروجی از اواپراتور T_4	°C	21.0	20.0	20.0
۹	دمای هوای خروجی از کندانسور T_5	°C	64.0	55.0	56.0
۱۰	دمای هوای خروجی از اواپراتور T_6	°C	15.0	14.0	14.0
۱۱	دمای هوای ورودی به کندانسور T_9	°C	45.0	42.0	31.0
۱۲	دمای هوای ورودی به اواپراتور T_{10}	°C	25.0	24.0	24.0
۱۳	جریان مصرفی کولر آمپر	A	11.5	10.0	10.5
۱٤	دبی آب گردشی	cm^3/min	_	400	400
۱٥	دبی تبخیر آب	cm^3/min	_	64.0	58.2

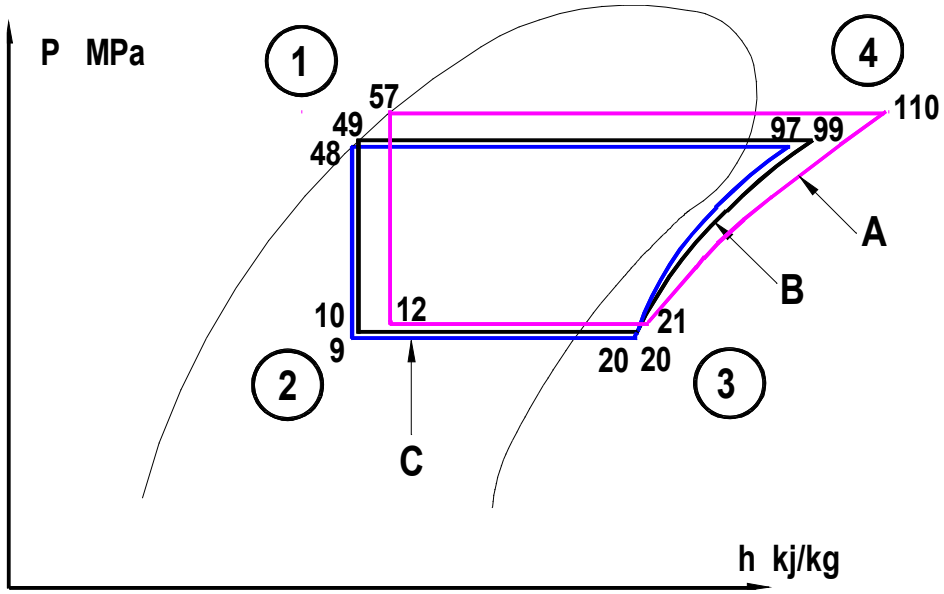


شکل ٥- موقعیت کولر در هنگام آزمایش در وضعیت واقعی

می‌گیرد. آمپر مصرفی در کمپرسور در حدود ۱/٥ آمپر کمتر از آمپر مصرفی در حالت عادی است لذا توان مصرفی کمپرسور کاهش می‌یابد. دمای مبرد خروجی از کمپرسور در حدود ۱۰ درجه و دمای مبرد خروجی از کندانسور در حدود ۸ درجه کاهش می یابد در صورتی‌که دمای خروجی از لوله موئین در حدود ۲ درجه و دمای خروجی از اواپراتور در حدود یک درجه کاهش را نشان می‌دهد. از طرف دیگر تغییرات دمای هوای خروجی از کندانسور حدود ۹ درجه کاهش را نشان می‌دهد ولی تغییرات دمای هوای خروجی از اواپراتور تقریبا ناچیز می‌باشد. به‌عبارت دیگر این تغییرات نشان می‌دهند که دمای تقطیر سیکل تا حد قابل ملاحظه‌ای پایین آمده ولی دمای تبخیر تغییری چندانی نداشته است که این خود نشانگر آن است که مقدار کار مورد نیاز برای کمپرسور به‌طور قابل ملاحظه‌ای کمتر می‌شود. از طرف دیگر چون کاهش دمای خروجی از لوله موئین بیشتر از کاهش دما در خروجی اواپراتور است لذا می‌توان نتیجه گرفت که میزان اثر تبرید سیکل نیز افزایش می یابد. برای اینکه میزان تغییرات سیکل به‌صورت مقایسه‌ای مشخص شود منحنی هر سه حالت در شکل (۶) نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشخص است مقدار کاهش

[DOR: 20.1001.1.2251600.1382.22.2.10.1]

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com



شکل ۶ – مقایسه تغییرات سیکل برای حالتهای مختلف: A حالت عادی، B حالت دیوار پوشالی، C حالت تزریق مستقیم.

از کاهش دمای تبخیر است که نمایشگر کاهش کار مصرفی سیکل است. از طرف دیگر ضریب عملکرد سیکل نیز بهبود می‌یابد زیرا از یک طرف ظرفیت تبرید افزایش یافته و از طرف دیگر مقدار کار کمپرسور کاهش می یابد. می‌توان انتظار داشت که درصد افزایش ضریب عملکرد سیکل از درصد افزایش کار کمپرسور بیشتر باشد.

۸- محاسبات مربوط به سیکل

با توجه به نتایج به‌دست آمده در آزمایشات تجربی می‌توان تغییرات انجام شده در توان مصرفی کمپرسور، ظرفیت تبرید، اثر تبرید و ضریب عملکرد را محاسبه کرد. برای اینکه بتوان این محاسبات را انجام داد لازم است که پاره ای فرضیات در نظر گرفته شود که عبارت‌اند از:

از افت فشار در مسیر لوله ها و کندانسور و اواپراتور صرف‌نظر می شود.

دمای قرائت شده توسط ترمومترها با تقریب قابل قبولی نشان دهنده دمای مبرد درون لوله ها ست.

راندمان حجمی کمپرسور ثابت است و در محدودهٔ آزمایش تغییر قابل ملاحظه ای ندارد.

مادون سرد شدن در سیکل در نظر گرفته نمی‌شود. لازم به تذکر است که محاسبات با در نظر گرفتن اثر مادون سرد شدن نیز نشان می‌دهد که اختلاف قابل ملاحظه ای در نتایج به‌وجود نمی آید.

برای انجام محاسبات در ابتدا خواص ترمودینامیکی مبرد R-22 در شرایط مختلف سیکل با توجه به نتایج ازمایشگاهی و با استفاده از جداول ترمودینامیکی و برنامه‌های رایانه‌ای مربوطه استخراج شد و با استفاده از معادلات (۱)تا (۵) مقادیر کار کمپرسور، دبی جرمی، ظرفیت تبرید و ضریب عملکرد محاسبه شد که نتایج آن در جدول (۴) آورده شده است. لازم به ذکر است که در علائم به‌کار رفته زیرنویس (۱) مربوط به خروج کندانسور، زیرنویس (۲) مربوط به خروج از لوله موئین، زیرنویس (۳) مربوط به خروج از اواپراتور و زیرنویس (۴) مربوط به خروج از کمپرسور است.

$$W_c = VI\cos\varphi \qquad (۱)$$

$$\dot{m} = \frac{W_c}{h_4 - h_3} \qquad (۲)$$

$$q_c = (h_3 - h_1) \qquad (۳)$$

$$Q_c = \dot{m}(h_3 - h_1) \qquad (۴)$$

[DOR: 20.1001.1.2251600.1382.22.2.10.1]

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

جدول ۴- نتایج محاسبات مربوط به وضعیت واقعی

	واحد	حالت عادی	پاشش مستقیم	در صد تغییرات	دیوار پوشالی	در صد تغییرات
Wc	Watt	2566	2232	-13%	2298	-10.4%
$\dot{m}$	gr/sec	47.88	48.40	1%	48.08	1%
q_c	Kj/kg	143.2	156.3	8%	154.5	7.8%
Qc	Watt	6856	7566	10%	7430	8%
β	-	2.67	3.39	26%	3.23	21%

$$\beta = \frac{h_3 - h_1}{h_4 - h_3} \qquad (۵)$$

۹- نتیجه گیری نهایی

در مناطقی که دمای هوای محیط در تابستان بسیار گرم می‌شود استفاده از سرمایش تبخیری در سیکل تبرید تراکمی سبب صرفه جویی قابل توجه در مصرف انرژی الکتریکی و افزایش ظرفیت تبرید می‌شود. روشهای مختلفی برای اعمال سرمایش تبخیری در سیکل تبرید قابل اجراست که دو طرح پاشش مستقیم و دیواره پوشالی از جمله این طرحها هستند. بررسی نتایج آزمایشگاهی نشان می‌دهد که اگرچه استفاده از این دو طرح سبب افزایش ضریب عملکرد سیکل می‌شوند ولی میزان افزایش ضریب عملکرد در طرح تزریق مستقیم بیشتر است. این نتیجه دور از انتظار نیست زیرا که در طرح پاشش مستقیم انتقال گرمای بیشتری صورت می‌گردد. از طرف دیگر باید به این نکته توجه داشت که طرح پاشش مستقیم از نظر امکان ایجاد رسوب و خوردگی بر روی لوله های کندانسور پتانسیل بیشتری دارد و در دراز مدت می‌تواند مزایای این روش را کاهش دهد. در صورتی‌که در طرح دیواره پوشالی به‌دلیل عدم تماس مستقیم آب با بدنهٔ کندانسور این مشکل کمتر وجود خواهد داشت. لذا می‌توان نتیجه گرفت که هر چند استفاده از روش تزریق مستقیم سبب عملکرد بهتر سیستم می‌شود ولی با توجه به مشکل خوردگی و رسوب و عواقب ناشی از آن در دراز مدت، بهتر است که از طرح دیواره پوشالی واسطه استفاده شود.

همچنین در صورتی‌که در طرح دیواره پوشالی اصلاحاتی صورت گیرد می‌توان انتظار داشت که میزان درصد صرفه جویی افزایش یابد. برای مثال با افزایش عرض دیوار پوشالی و یا افزایش تعداد سوراخهای تزریق آب و یا افزایش دبی آب گردشی توسط پمپ می توان انتظار داشت که کارایی سیستم افزایش یابد. زیرا این تغییرات سبب می‌شود که دمای خروجی از دیواره پوشالی به دمای حباب تر نزدیک شده و میزان انتقال گرما در کندانسور بیشتر شود.

ارزیابیهای انجام شده نشان میدهد که تجهیز کولرها به این سیستم از نظر اقتصادی گران نیست و افزایش هزینه ها در حدود ۳درصد کل هزینه کولر است. بنابراین با انجام تغییرات بسیار کم و هزینه ناچیز می‌توان سیستمهای مورد نیاز را به این وسیله کمکی تجهیز کرد و از افزایش مصرف انرژی الکتریکی در فصل تابستان به‌مقدار قابل توجهی کاست.

سپاسگزاری

نویسنده مراتب تشکر خود را از سازمان مدیریت و برنامه ریزی استان خوزستان برای اختصاص اعتبار مالی به منظور تامین بخشی از هزینه های این پروژه را اعلام می‌دارد.

[DOR: 20.1001.1.2251600.1382.22.2.10.1]

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

مراجع

1. Cengel, Y. A., and Boles, M. A., *Thermodynamics, An Engineering Approach*, 3rd Ed., McGraw-Hill, Boston, 1998.
2. BS 2852: Part 1: 1982, Testing for Rating of Room Air-Conditioners, British Standard Institution.
3. Dossat, Roy J., *Principal of Refrigeration*, Prentic Hall, New Jersey, 1991.
4. Ballaney, P. L., *Refrigeration and Air Conditioning*, Khanna Publishers, Delhi, 1997.
5. Brown, W. K., "Fundamental Concepts Integrating Evaporative Techniques in HVAC systems," *ASHRAE Transactions*, Vol 96, Part 1, pp.1227-1235, 1990.
6. Mekler, G., "Evaporative Cooling: A Versatile Tool for HVAC Design," *Consulting/Specifying Engineer* pp.90-96, Oct. 1990.
7. Goswami, D. Y., Mathur, G. D., Kulkarni, S. M., "Experimental Investigation of Performance of a Residential Air Conditioning System with an Evaporatively Cooled Condensor," *Journal of Solar Energy Engineering*, Vol. 115, pp. 206-211, Nov. 1993
8. ASHREA Handbook, "Fundamental," American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta, Georgia,USA, 1977.

۹. کسمایی، ف.،"پهنه بندی اقلیمی ایران، مسکن و محیطهای مسکونی،" مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۷۱.

[DOR: 20.1001.1.2251600.1382.22.2.10.1]

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com