

مدلسازی تأثیر تابش خورشیدی بر عملکرد کولرهای تبخیری مستقیم و ارزیابی اثربخشی سایبانهای رایج

دانشیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شیراز، شیراز، ایران، omidvar@sutech.ac.ir

کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شیراز، شیراز، ایران، h.shayani71@gmail.com

کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شیراز، شیراز، ایران، abbas.rezaei1995.ju@gmail.com

امیر امیدوار*

حامد شایانی

عباس رضایی

چکیده

استفاده از سایبان یکی از روشهایی است که بعضاً برای بهبود عملکرد کولرهای آبی توصیه شده است. تاکنون تحقیقات کمی در مورد نقش سایبان بر کاهش مصرف آب و افزایش راندمان کولرهای آبی انجام شده است. این پژوهشها به صورت تجربی و مطالعه موردی برای برخی اقلیمهای خاص ایران صورت گرفته است. در این مقاله یک مدل ریاضی ساده و کاربردی به منظور شبیه‌سازی عملکرد کولرهای آبی تحت شرایط غیرآدیباتیک ارائه شده است. عملکرد مدل توسعه یافته پیشنهادی در حالتی که کولر تحت تأثیر تابشهای خورشیدی است با داده‌های تجربی مقایسه و اعتبارسنجی شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که با حذف کامل اثر تابشهای خورشیدی، راندمان سرمایشی کولر حدود ۵ درصد بهبود یافته و مصرف آب نیز حداکثر تا ۶/۵ درصد کاهش خواهد یافت. در پایان، میزان اثر بخشی چهار سایبان مختلف رایج بررسی و مقایسه شد. نتایج نشان داد که استفاده از سایبانهای هم اندازه با سقف کولر تأثیر بسیار ناچیزی دارند. همچنین مشخص شد که ابعاد سایبانهای کولر حداقل باید دو برابر ابعاد سقف بوده و ترجیحاً بهتر است لبه مورب داشته باشند.

واژه‌های کلیدی: سرمایش تبخیری، کولر آبی، تابش خورشیدی، سایبان، مصرف آب، صرفه جویی انرژی.

Modeling the effect of solar radiation on the performance of direct evaporative coolers and evaluating the effectiveness of common sunshades

A. Omidvar

H. Shayani

A. Rezaei

Department of Mechanical Engineering, Shiraz University of Technology, Shiraz, Iran

Department of Mechanical Engineering, Shiraz University of Technology, Shiraz, Iran

Department of Mechanical Engineering, Shiraz University of Technology, Shiraz, Iran

Abstract

The use of sunshades is one of the methods that is sometimes recommended to improve the performance of direct evaporative coolers. So far, limited research has been done on the role of sunshades in reducing water consumption and increasing the efficiency of swamp air coolers. In this paper, a simplified practical model is presented to simulate the performance of direct evaporative air coolers under non-adiabatic conditions. The performance of the proposed model is validated against experimental data in conditions where the air cooler is affected by solar radiation. The results showed that by eliminating the effect of solar radiation, the cooling efficiency of the cooler would be improved by about 5%, and water consumption will be reduced up to 6.5%. Finally, the effectiveness of four different common sunshades was evaluated and compared. Results indicated that using the sunshades of the same size with the roof plate of the air cooler has a negligible effect. It was also found that the dimensions of the sunshades should be at least twice the dimensions of the cooler's roof plate. Sunshades with diagonal edges have much better performance.

Keywords: Evaporative cooling, Swamp cooler, Solar radiation, Sunshade, Water consumption, Energy saving.

و همکاران نشان دادند که با استفاده از مخزن آب ذخیره کننده انرژی در ساعات گرم روز می‌توان دمای خروجی از کولر را تا ۲ درجه سلسیوس کاهش داد [۴]. نادا و همکاران عملکرد انرژی و انرژی یک کولر تبخیری مستقیم را با یک نوع پد جدید (کاغذ سلولزی و کندوی زنبور عسل) بررسی کردند [۵]. کای و همکاران استفاده از فینهای داخلی را برای بهبود راندمان تبخیری کولرهای تبخیری غشایی پیشنهاد دادند [۶]. علمداری و همکاران نشان دادند که استفاده از بدنه پلی‌کربنات برای کولر می‌تواند راندمان سرمایشی را ۴/۷ درصد افزایش دهد [۷].

استفاده از سایبان خورشیدی اغلب به عنوان راهکاری برای بهبود راندمان سرمایشی و کاهش مصرف آب از سوی سازندگان این گونه سایبانها پیشنهاد شده است. حتی استفاده از سایبان برای کولرهای آبی پشت بامی چند سالی است که در دسته الزامات سازمان نظام مهندسی

۱- مقدمه

کولر آبی یکی از رایج ترین سیستمهای سرمایشی در ایران است به طوری که بیش از نیمی از خانوارهای ایرانی حداقل از یک دستگاه کولر آبی در منازل خود استفاده می‌کنند [۱]. بنابراین ارائه راهکارهایی جهت بهبود راندمان برودتی کولرهای آبی و کاهش مصرف آب در این سیستمها بسیار حائز اهمیت است. تاکنون تحقیقات زیادی در زمینه بهبود راندمان سرمایشی سیستمهای سرمایش تبخیری مستقیم انجام شده است.

بشکافی و حسینی استفاده از صفحات موجدار را برای بهبود راندمان سرمایشی سیستم تبخیری پیشنهاد دادند [۲]. جاین و هیندولیا نشان دادند که با کمک یک کولر تبخیری مستقیم بازمولد می‌توان راندمان سرمایشی را ۲۰ تا ۲۵ درصد افزایش داد [۳]. خانکی

* نویسنده مکاتبه کننده، آدرس پست الکترونیکی: omidvar@sutech.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۶/۰۲

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۹/۰۳

ساختمان نیز قرار گرفته است. اما بررسی‌های تجربی محلی در مشهد [۸] و اصفهان [۹] نشان داده است که استفاده از سایبان تأثیر ناچیزی بر عملکرد کولرهای آبی دارد.

در پژوهش حاضر برای اولین بار یک مدل محاسباتی برای پیش بینی تأثیر تابشهای خورشیدی بر عملکرد کولرهای تبخیری مستقیم ارایه و اعتبارسنجی شده است. با استفاده از مدل پیشنهادی، عملکرد چند نوع سایبان رایج ارزیابی و مقایسه شده که این مورد نیز از جمله نوآوری‌های این مقاله محسوب می‌شود.

۲- مدل‌سازی عملکرد کولر آبی تحت تابش

مدل پیشنهاد شده در این پژوهش بر پایه مدل کاربردی و معروف وو و همکاران [۱۰] استوار است. مدل وو و همکاران علیرغم سادگی ساختاری توانسته است اغلب پارامترهای ساختاری و مهم پد تبخیری را در خود جای داده و عملکرد تبخیری کولر آبی را با دقت بسیار خوبی تخمین بزند.

به طور کلی بازده سرمایشی یک کولر تبخیری در شرایطی که تحت تابش خورشیدی نباشد عبارت است از:

$$\eta = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\theta_1 - \theta_{wb,1}} \quad (1)$$

که θ_1 دمای هوای ورودی به کولر و θ_2 دمای هوای خروجی از آن است. بنابراین دمای هوای خروجی از کولر برابر است با

$$\theta_2 = \theta_1 - \eta(\theta_1 - \theta_{wb,1}) \quad (2)$$

بر اساس مدل وو و همکاران، η از رابطه زیر قابل محاسبه است [۱۰]:

$$\eta = 1 - \exp\left(-\alpha \frac{\delta}{v_{0.35}}\right) \quad (3)$$

δ ضخامت پوشال است. تأثیر نوع پوشال و راندمان آن نیز در قالب پارامتر زیر در محاسبات لحاظ می‌گردد:

$$\alpha = \frac{A \zeta}{\rho_a c_p} \quad (4)$$

در رابطه (۱)، $\theta_{wb,1}$ بیانگر دمای حباب تر هوای ورودی به کولر است که از رابطه زیر قابل محاسبه است [۱۱]:

$$\theta_{wb,1} = 2.265(1.97 + 4.3\theta_1 + 10000\omega_1)^{0.5} - 14.85 \quad (5)$$

$$\omega_1 = \frac{0.622P_{v1}}{P - P_{v1}} \quad (6)$$

که P فشار اتمسفر است. همچنین

$$P_{v1} = \phi_1 P_{sat@ \theta_1} \quad (7)$$

مقدار انتالپی هوای ورودی و خروجی از کولر به ترتیب برابر است با

$$h_1 = c_p \theta_1 + \omega_1(2501.3 + 1.82\theta_1) \quad (8)$$

$$h_2 = c_p \theta_2 + \omega_2(2501.3 + 1.82\theta_2) \quad (9)$$

با فرض سرمایش آدیباتیک ($h_2 = h_1$)، خواهیم داشت:

$$\omega_2 = \frac{h_1 - c_p \theta_2}{2501.3 + 1.82\theta_2} \quad (10)$$

مقدار مصرف آب کولر نیز برابر است با

$$WC = \dot{m}(\omega_2 - \omega_1) \quad (11)$$

در حالتی که کولر تحت تأثیر تابشهای خورشیدی قرار دارد می‌توان چنین فرض کرد که تابشهای خورشیدی بدون تغییر در محتوای رطوبت باعث افزایش انتالپی هوای خروجی خواهد شد (شکل ۱). بنابراین:

$$h_e = h_2 + h_s \quad (12)$$

در این رابطه h_e انتالپی ویژه مؤثر بعد از جذب تابش خورشیدی است. h_s نیز انتالپی ویژه ناشی از جذب تابشهاست که از فرمول زیر به دست می‌آید:

$$h_s = \frac{\alpha_s Q_{sol} A_s}{\dot{m}} \quad (13)$$

با توجه به روابط انتالپی هوا (روابط (۸) و (۹)) و با جایگزینی رابطه (۱۲) به جای انتالپی، خواهیم داشت:

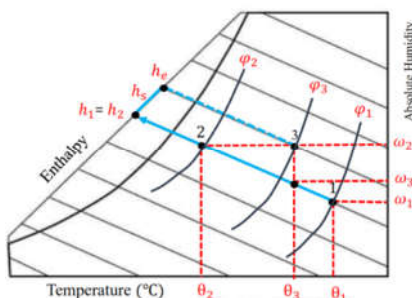
$$h_e = c_p \theta_{2,s} + \omega_2(2501.3 + 1.82\theta_{2,s}) \quad (14)$$

بنابراین، دمای هوای خروجی از کولر تحت تابش خورشید برابر است با:

$$\theta_{2,s} = \frac{h_e - 2501.3\omega_2}{c_p + 1.82\omega_2} \quad (15)$$

همانطور که از شکل ۱ نیز پیداست، مقدار θ_3 بزرگتر از θ_2 است. اگر تابش خورشیدی وجود نداشت در حالت سرمایش آدیباتیک با مصرف آب کمتری می‌شد به این دما دست یافت. مقدار رطوبت مطلق متناظر با این دما در شرایط آدیباتیک مشابه با رابطه (۱۰) برابر است با:

$$\omega_3 = \frac{h_1 - c_p \theta_3}{2501.3 + 1.82\theta_3} \quad (16)$$



شکل ۱- تأثیر تابش بر فرآیندهای سایکرومتریک

بنابراین در شرایط آدیباتیک و بدون تابش خورشیدی اگر کولر آبی بخواهد دمای خروجی برابر با $\theta_{2,s}$ داشته باشد انتظار می‌رود مصرف آب آن برابر باشد با:

$$WC = \dot{m}(\omega_3 - \omega_1) \quad (17)$$

بنابراین تغییر در مصرف آب کولر به دلیل تابش خورشیدی برابر است با:

$$\Delta WC = \dot{m}(\omega_2 - \omega_3) \quad (18)$$

لازم به ذکر است که در رابطه (۱۳) برای محاسبه تابش خورشیدی تحمیل شده به جداره‌های کولر (Q_{sol}) از نرم افزار Ecotect استفاده شده است. ضریب جذب تابشی سطوح جانبی کولر برابر ۰/۹ فرض شده است.

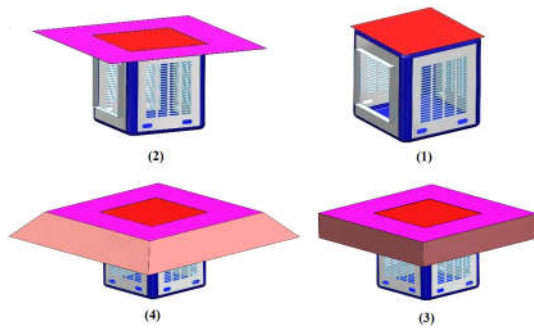
۳- اعتبارسنجی مدل پیشنهادی

در ابتدا مقادیر تابش خورشیدی محاسبه شده نرم افزار Ecotect با نتایج پژوهش تجربی محمدی و خراسانی‌زاده [۱۲] برای شهر شیراز مقایسه شد. همانطور که در شکل ۲ دیده می‌شود، نتایج هماهنگی بسیار خوبی با یکدیگر دارند.

شبیه‌سازی‌ها مشخصات ساختاری پوشالها مشابه با پد استاندارد CELdek7090 در نظر گرفته شده است که مشخصات کامل آن در مرجع [۱۰] ذکر شده است.

جدول ۲- مشخصات سیستم سرمایش تبخیری مورد بررسی

پارامتر	مقدار	واحد
ظرفیت هوادهی	۱/۶۵۱	متر مکعب بر ثانیه
ضخامت پد (δ)	۰/۰۵	متر
ارتفاع پد	۱	متر
عرض پد	۰/۸۷	متر
مساحت سطح خیس (ζ)	۴۴۰	متر مربع بر متر مکعب



شکل ۳- طرحواره سایبان‌های مورد بررسی

(۱) در اندازه سقف (۲) گسترش یافته ساده (۳) گسترش یافته با لبه عمودی (۴) گسترش یافته با لبه شیبدار ۴۵ درجه

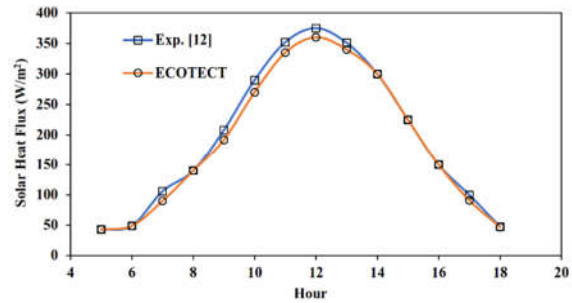
در این پژوهش به بررسی اثر چند نوع سایبان رایج از جمله سایبان در اندازه سقف، سایبان گسترش یافته ساده، سایبان گسترش یافته با لبه عمودی و سایبان گسترش یافته با لبه شیبدار (با زاویه شیب ۴۵ درجه) پرداخته شده که طرحواره و ابعاد سایبان‌ها به ترتیب در شکل ۳ و جدول ۳ آورده شده است. تمامی سایبان‌ها با لحاظ یک فاصله یکسان از سقف کولر (۱۰ سانتی متر) در نظر گرفته شده‌اند.

جدول ۳- مشخصات سایبان‌های مورد بررسی

سایبان	نوع	عرض (متر)	طول (متر)	لبه (متر)
(۱)	در اندازه سقف	۰/۸۷	۰/۸۷	۰
(۲)	گسترش یافته ساده	۱/۸۷	۱/۸۷	۰
(۳)	گسترش یافته با لبه عمودی	۱/۸۷	۱/۸۷	۰/۴۰
(۴)	گسترش یافته با لبه ۴۵ درجه	۱/۸۷	۱/۸۷	۰/۴۰

۵- نتایج

در این تحقیق در ابتدا تأثیر تابش خورشیدی بر عملکرد کولرهای آبی شبیه سازی و مطالعه خواهد شد و سپس عملکرد چند سایبان رایج مورد مقایسه و ارزیابی قرار خواهد گرفت. بدین منظور شبیه‌سازی برای کولری با مشخصات مندرج در جدول ۲، در تیرماه و در شرایط آب و هوایی شهر شیراز انجام شده است. برای شرایط دما و رطوبت محیط



شکل ۲- اعتبارسنجی محاسبه شار خورشیدی

در ادامه به منظور صحت سنجی مدل پیشنهادی در پیش بینی راندمان و مصرف آب کولر آبی تحت تأثیر تابش خورشیدی، آزمایشات متعددی بر روی یک دستگاه کولر آبی با بدنه فلزی و حداکثر ظرفیت هوادهی ۱۲۰۰ CFM در شرایط کارکرد در معرض تابش مستقیم خورشیدی و در سایه کامل انجام شد. کولر مورد بررسی از نوع بغل زن بود که از سه طرف دارای پوشال است.

در شروع هر آزمایش پوشالها کاملاً خیس شد تا خطای ناشی از تجمع آب در پوشالها به حداقل برسد. آزمایشها در شرایط اقلیمی شهر شیراز و در تیرماه انجام شد. برای حذف خطای ذاتی (به دلیل ماهیت نقاط برداشت داده)، مقادیر دمای خروجی از کولر در پنج نقطه متفاوت اندازه‌گیری شد. همچنین برای اطمینان بیشتر، دمای هوای خروجی بر روی خط محوری دهانه کولر با دیتالاگر یونیتی UT333S (با دقت ۰/۰۱ درجه سلسیوس) اندازه‌گیری شد. میزان آب مصرفی کولرها (در سایه و در معرض آفتاب) از روش حجمی استفاده شد. در این روش مخزن آب کولرها در ابتدا تا حد سرریز کاملاً پر شده و در پایان آزمایش مقدار آب مورد نیاز برای پر کردن مجدد مخزن با کمک یک ظرف مدرج با دقت ۰/۱ لیتر اندازه‌گیری و ثبت شد. جهت اطمینان از تکرارپذیری داده‌های تجربی، آزمایشها ۱۱ مرتبه تکرار شد و میانگین آنها مد نظر قرار گرفت.

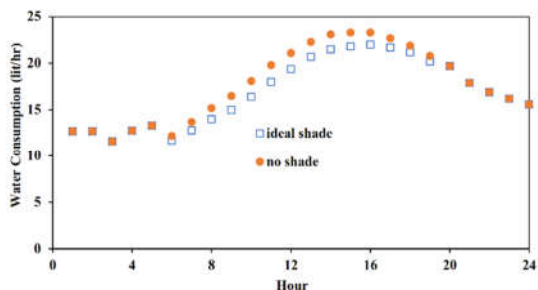
در جدول ۱ نتایج حاصل از مدلسازی با داده‌های تجربی به دست آمده مقایسه شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود هماهنگی و تطابق بسیار خوبی بین نتایج مدل با مقادیر اندازه‌گیری شده در آزمایش وجود دارد. لازم به ذکر است که در محاسبات از مشخصات پد استاندارد CELdek7090 استفاده گردید.

جدول ۱- اعتبارسنجی مدل پیشنهادی با داده های تجربی

کمیت	آزمایش	مدل	خطا (%)
دمای هوای خروجی (°C)	۲۵/۴۰ ± ۱	۲۵/۹۴	۲/۲
مصرف آب در سایه (lit/h)	۸/۲ ± ۱	۸/۰۵	۱/۸
مصرف آب در آفتاب (lit/h)	۸/۸ ± ۱	۸/۷۱	۱/۷

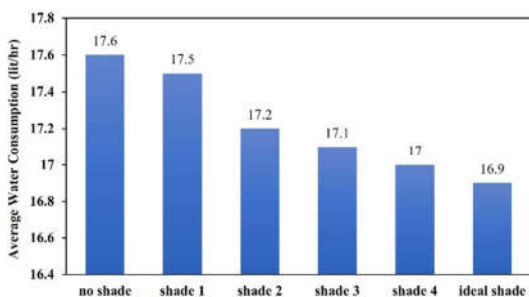
۴- مشخصات کولر و هندسه سایبانهای مورد بررسی

برای ارزیابی تأثیر تابش خورشیدی بر عملکرد کولر آبی و همچنین مقایسه میزان اثربخشی سایبانهای رایج، شبیه‌سازی‌ها برای یک کولر با ظرفیت هوادهی متوسط (۳۵۰۰ CFM) انجام شده است. مشخصات کولر آبی مورد بررسی در جدول ۲ آورده شده است. فشار هوای محیط نیز برابر ۸۵ کیلوپاسکال در نظر گرفته شده است. در



شکل ۶- تأثیر تابش خورشید بر مصرف آب کولر

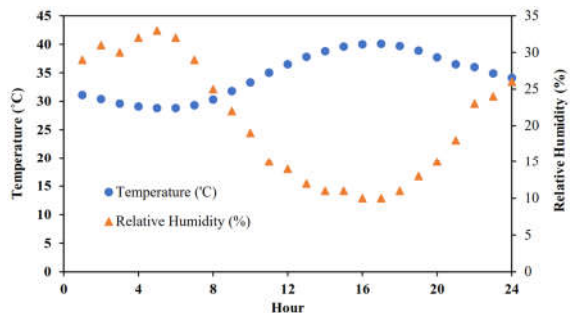
نتایج نشان داد که سایبان اگرچه مصرف آب کولر را تا حدی کاهش می‌دهد اما تأثیر آن بر کاهش دمای خروجی از کولر قابل صرف‌نظر کردن است. در ادامه به بررسی میزان اثربخشی سایبانهای مختلف در کاهش مصرف آب خواهیم پرداخت. در شکل ۷، میانگین مصرف آب کولر با سایبانهای مختلف مقایسه شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود، سایبان با ابعاد برابر با سقف کولر (سایبان ۱) اثر بخشی بسیار ناچیزی (کمتر از ۰/۱۶ درصد) در کاهش مصرف آب دارد. سایبانهای گسترش یافته ساده (سایبان ۲) و گسترش یافته با لبه‌های قائم و مورب به ترتیب عملکرد بهتری دارند. نتایج نشان می‌دهد که سایبان گسترش یافته با لبه مورب (سایبان ۴) عملکردی نزدیک به سایبان ایده‌آل از خود نشان می‌دهد.



شکل ۷- تأثیر سایبانهای مختلف بر میزان مصرف آب کولر

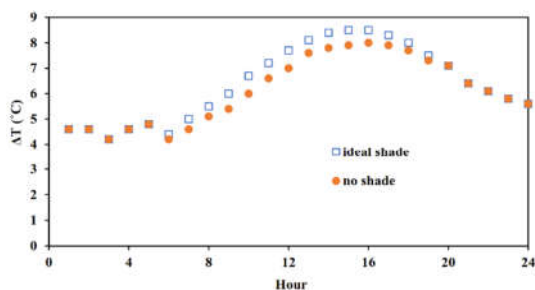
بطور کلی نتایج بررسی انجام شده بر روی یک کولر CFM ۳۵۰۰ نشان داد که حذف تابشهای مستقیم خورشیدی تأثیر بسیار ناچیزی بر عملکرد سرمایشی کولر دارد و به طور متوسط باعث صرفه جویی حدود ۱۷ لیتر در شبانه روز در مصرف آب خواهد شد. با فرض اینکه چنین کولری در طی یک دوره ۴ ماهه در سال به طور مداوم روشن باشد، جمعاً در طی یک دوره فصل گرم ۲ متر مکعب به خاطر وجود سایبان در مصرف آب صرفه‌جویی می‌شود. حتی با احتساب قیمت واقعی آب یعنی ۷۸۰ تومان برای هر متر مکعب، کل مبلغ صرفه جویی شده در طی یک فصل گرم بسیار ناچیز خواهد بود. با در نظر گرفتن قیمت متوسط هر سایبان برابر با ۱۵۰ هزار تومان، حتی بدون احتساب سود بانکی دوره بازگشت سرمایه حدود ۱۰۰ سال خواهد شد که نشان از غیر اقتصادی بودن استفاده از سایبان دارد. اما با این حال اگر بر اساس الزامات سازمان نظام مهندسی قرار بر استفاده از سایبان برای کولرهای پشت بامی باشد، لازم است سایبان حداقل به اندازه نصف ابعاد سقف کولر از طرفین بیرون زدگی داشته باشد. بعلاوه بهتر است علاوه بر

بیرون مقادیر متوسط ۱۰ سال گذشته در نرم افزار Meteonorm بررسی شد و شرایط اقلیمی گرمترین روز این دوره به عنوان مبنای محاسبات قرار گرفت. در شکل ۴ مقادیر ساعت به ساعت دما و رطوبت نسبی محیط در طی بازه زمانی ۲۴ ساعته مورد بررسی رسم شده است.



شکل ۴- شرایط اقلیمی محیط در بازه زمانی مورد بررسی

بر اساس داده‌های شکل ۴ به همراه مقادیر ساعت به ساعت شار خورشیدی جذب شده توسط بدنه کولر که از نرم افزار Ecotect به دست آمده، مقادیر پارامترهای عملکردی کولر در ساعات مختلف محاسبه شده است. در شکل ۵، میزان اختلاف دمای بین هوای محیط بیرون و هوای خروجی از کولر در دو حالت کولر در سایه (سایبان ایده‌آل) و کولر در معرض آفتاب در طی یک شبانه روز مقایسه شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود در بازه زمانی بین ۶ صبح تا ۷ عصر که اثرات تابش خورشیدی وجود دارد نتایج با هم اختلاف دارند. این اختلاف در حدود ساعت ۳ بعد از ظهر به حداکثر خود می‌رسد. حذف تابشهای مستقیم خورشیدی می‌تواند دمای خروجی از کولر را حداکثر ۰/۱۶ درجه سلسیوس کاهش دهد. در شکل ۶، میزان مصرف آب کولر در شرایط کارکرد در سایه (سایبان ایده‌آل) با کولر در معرض آفتاب مقایسه شده است. همانطور که در شکل ۶ پیداست، حذف کامل اثرات تابش خورشیدی می‌تواند حداکثر ۱/۵ لیتر در ساعت (معادل ۶/۵ درصد) در مصرف آب کولر صرفه جویی نماید. نتیجه مدلسازی حاضر با آنچه به صورت تجربی در مرجع [۹] گزارش شده هماهنگی بسیار خوبی دارد.



شکل ۵- تأثیر تابش خورشید بر اختلاف دمای هوای خروجی

گسترش یافتگی عرضی به همان اندازه نیز لبه قائم یا مورب داشته باشد.

۶- نتیجه گیری

نتایج این پژوهش را می توان در قالب موارد زیر خلاصه نمود:

- در این مقاله مدل کاربردی ارائه شده توسط وو و همکاران برای حالت سرمایش غیرآباتیک (مانند وقتی کولر تأثیر تابشهای خورشیدی قرار دارد) ارتقاء داده شد و اعتبارسنجی گردید. بعلاوه، روشی برای برآورد تأثیر تابش خورشید بر مصرف آب کولر ارائه شد.
- نتایج نشان داد که با سایه اندازی کامل بر روی کولر دمای هوای خروجی از کولر حداکثر ۰/۶ درجه سلسیوس و مصرف آب آن حداکثر ۶/۵ درصد کاهش می یابد.
- استفاده از سایبانهای با اندازه برابر با سقف کولر که اغلب برای برآورده کردن الزام نظام مهندسی از سوی سازندگان ساختمان استفاده می شود تأثیر بسیار ناچیزی (کمتر از ۰/۶ درصد) بر مصرف آب دارند.
- با توجه به اثر بخشی ناچیز سایبان کولر، استفاده از آن نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست. اما اگر بر اساس الزامات سازمان نظام مهندسی قرار بر استفاده از سایبان برای کولرهای پشت بامی باشد، استفاده از سایبان گسترش یافته که حداقل به اندازه نصف ابعاد سقف کولر از طرفین بیرون زدگی دارد پیشنهاد می شود. سایبان گسترش یافته اگر لبه دار بوده و لبه مورب با شیب ۴۵ درجه باشد عملکردی بسیار نزدیک به سایبان ایده آل دارد.

۷- نمادها

A	ثابت پد
A_s	مساحت سطوح تحت تابش (m^2)
c_p	گرمای ویژه ($\frac{J}{kg K}$)
h	انتالپی بر واحد جرم هوای خشک ($\frac{J}{kg}$)
h_s	انتالپی ویژه جذب شده ناشی از تابش ($\frac{J}{kg}$)
\dot{m}	دبی جرمی هوا ($\frac{kg}{s}$)
P_v	فشار جزئی بخار آب (Pa)
Q_{sol}	شار خورشیدی ($\frac{W}{m^2}$)
V	سرعت هوا روی پد ($\frac{m}{s}$)
α	ضریب وابسته به مشخصات پد
α_s	ضریب جذب تابش خورشیدی روی جداره های کولر
ζ	ضریب تخلخل پد ($\frac{m^2}{m^3}$)
ω	رطوبت مخصوص ($\frac{kg \text{ water vapor}}{kg \text{ dry air}}$)
ρ	چگالی ($\frac{kg}{m^3}$)
ϕ	رطوبت نسبی
θ	دما ($^{\circ}C$)

اندیس ها

a هوای خشک

wb حباب تر
 sat حالت اشباع

۸- مراجع

- [۱] امیدوار ا. و شایق ا.، بررسی تحلیلی اقتصادی میزان سرمایش و گرمایش ساختمان های خانوارهای شهری با استفاده از اطلاعات و داده های مرکز آمار ایران، اولین کنفرانس بین المللی تپهویه مطبوع و تأسیسات حرارتی و برودتی، تهران، ایران، ۱۳۹۴.
- [2] Beshkani A. and Hosseini R., Numerical modeling of rigid media evaporative cooler. *Applied thermal engineering*, Vol. 26, pp. 636-643, 2006.
- [3] Jain J. and Hindoliya D., Development and testing of regenerative evaporative cooler. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, Vol. 3, No. 6, pp. 694-697, 2012.
- [۴] خانکی م.، مافی م. و آجرلو ح.، بهبود عملکرد سیستم سرمایش تبخیری مستقیم با استفاده از مخزن آب ذخیره کننده انرژی، *مجله مهندسی مکانیک دانشگاه تبریز*، دوره ۴۸، شماره ۱، صص ۱۶۷-۱۵۹، ۱۳۹۷.
- [5] Nada S. A., Fouda A., Mahmoud M. A. and Elattar H. F., Experimental investigation of energy and exergy performance of a direct evaporative cooler using a new pad type, *Energy and Buildings*, Vol. 203, pp. 109449, 2019.
- [6] Cui X., Yan W., Chen X., Wan Y. and Chua K. J., Parametric study of a membrane-based semi-direct evaporative cooling system, *Energy and Buildings*, Vol. 228, pp. 110439, 2020.
- [7] Alamdari P., Saedodin S. and Rejvani M., Do non-metallic material and radiation shields affect the operation of direct evaporative cooling systems?, *International Journal of Refrigeration*, Vol. 114, pp. 98-105, 2020.
- [۸] ولایتی س.، رسولی م. ب.، فشایی م.، زینلی م. و سمیعی دلویی م. ج.، تعیین اختلاف تلفات آب مصرفی کولرهای آبی در معرض آفتاب و در زیر سایه بان، تحقیقات منابع آب ایران، سال ۷، شماره ۳، صص ۸۸-۸۵، ۱۳۹۰.
- [۹] رحمت پناه ع.، ملاباشی آ. و شرافتی ع.، بررسی موردی تأثیر سایبان کولرهای آبی بر میزان مصرف آب و شاخص بازده انرژی، اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدر رفت آب، تهران، ۱۳۹۶.
- [10] Wu J., Huang X. and Zhang H., Theoretical analysis on heat and mass transfer in a direct evaporative cooler. *Applied Thermal Engineering*, Vol. 29, pp. 980-984, 2009.
- [11] Fouda A. and Melikyan Z., A simplified model for analysis of heat and mass transfer in a direct evaporative cooler. *Applied Thermal Engineering*, Vol. 31, pp. 932-936, 2011.
- [12] Mohammadi K. and Khorasanizadeh H., A review of solar radiation on vertically mounted solar surfaces and proper azimuth angles in six Iranian major cities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 47, pp. 504-518, 2015.