Archive of SID

ISSN: 2476-6909; Modares Mechanical Engineering. 2020;20(7):1709-1717

Experimental Study of Effect of Storage Phase Change Materials (PCM) on the Function of a Passive Solar Ventilator

ARTICLE INFO

Article Type
Original Research

Authors
Barghi Jahromi M.S.[1] *MSc,*
Kalantar V.*[1] *PhD,*
Abdolrezaie M.[2] *MSc*

How to cite this article
Barghi Jahromi M.S, Kalantar V, Abdolrezaie M. Experimental Study of Effect of Storage Phase Change Materials (PCM) on the Function of a Passive Solar Ventilator. Modares Mechanical Engineering. 2020;20(7):1709-1717.

ABSTRACT

In the current study, natural solar ventilation has been investigated aiming at reducing the consumption of fossil and thus, reducing greenhouse gas emissions in a hot and dry climate in which the behavior of various fluid variables (temperature, velocity, and flow rate) is considered in different conditions. Since solar radiation is not uniform throughout the day, passive solar ventilation is unstable. In this regard, the natural displacement flow in a solar ventilator with copper thermal absorber, double-glazed glass compartment to prevent thermal energy loss, as well as phase change materials for the storage of thermal energy has been investigated, experimentally. In the case of no phase change material, due to the creation of a suitable temperature difference, the panel has made the chimney effect possible for natural ventilation in some hours of the day, but in the early hours of the night, the temperature of the panel will be the same as the ambient temperature, and the chimney effect will not be available for proper ventilation. In a panel equipped with phase change materials, the system has acceptably been able to play an important role in reducing the temperature drop in the hours of the day with no solar radiation leading to a reliable air flow rate. In fact, the main purpose of using phase change materials in passive solar ventilation is the same effect, the use of excess energy in cases of energy shortages.

Keywords Solar Ventilator; Environmental Conditions; Phase Change Material; Thermal Energy Storage

[1]Faculty of Mechanical Engineering, Yazd University, Yazd, Iran
[2]Department of Engineering, Yazd Branch, Yazd University, Yazd, Iran

Correspondence
Address: Faculty of Mechanical Engineering, Yazd University, Yazd, Iran.
Postal Code: 89195741.
Phone: +98 (35) 31232492
Fax: +98 (35) 38210699
vkalantar@yazd.ac.ir

Article History
Received: November 25, 2019
Accepted: April 26, 2020
ePublished: July 20, 2020

CITATION LINKS

[1] Effects of solar drying along with air recycling system on physicochemical and sensory properties of dehydrated pistachio nuts [2] Phase change materials for smart textiles-an overview [3] Novel ventilation cooling system for reducing air conditioning in buildings [4] Preparation, thermal performance and application of shape-stabilized PCM in energy efficient buildings [5] Analytical optimization of interior PCM for energy storage in a lightweight passive solar room [6] PCM thermal storage in buildings: A state of art [7] Thermal testing and numerical simulation of gypsum wallboards incorporated with different PCMs content [8] Optimization of a phase change material wallboard for building use [9] Internal surfaces including phase change materials for passive optimal shift of solar heat gain [10] Impact of energy storage in buildings on electricity demand side management [11] Numerical modelling and thermal simulation of PCM–gypsum composites with ESP-r [12] Solar chimneys: Simulation and experiment [13] Solar chimney for enhanced stack ventilation [14] A numerical study of solar chimney for natural ventilation of buildings with heat recovery [15] A numerical investigation of combined solar chimney and water wall for building ventilation and thermal comfort [16] A new design of passive air condition integrated with solar chimney for hot arid region of Egypt [17] Induced flow for ventilation and cooling by a solar chimney [18] An experimental investigation of an inclined passive walls solar chimney for natural ventilation [19] Thermal driven natural convective flows inside the solar chimney flush-mounted with discrete heating sources: Reversal and cooperative flow dynamics [20] Effect of thermal storage on the performance of a deep bed drying system [21] Experimental study on thermal performance of a solar chimney combined with PCM [22] The center of organic matter, mineral, and chemical of iran Sodium sulfate production

Copyright© 2020, TMU Press. This open-access article is published under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License which permits Share (copy and redistribute the material in any medium or format) and Adapt (remix, transform, and build upon the material) under the Attribution-NonCommercial terms.

www.SID.ir

Archive of SID

بررسی تجربی اثر مواد ذخیره‌کننده تغییر فازدهنده بر عملکرد یک تهویه‌ساز خورشیدی غیرفعال

محمدصالح برقی جهرمی MSc
دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه یزد، یزد، ایران
ولی کلانتر* PhD
دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه یزد، یزد، ایران
مهران عبدالرضایی MSc
گروه فنی و مهندسی، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران

چکیده
در مطالعه حاضر، تهویه طبیعی خورشیدی با هدف کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و درنتیجه کاهش گازهای گلخانه‌ای، در شرایط آب‌وهوایی گرم و خشک مورد بررسی قرار گرفته است. رفتار متغیرهای مختلف سیال شامل (دما، سرعت و دبی) در حالات گوناگون اندازه‌گیری و مورد مقایسه قرار گرفته است. از آنجایی که تشعشع خورشیدی طی روز ثابت نیست تهویه خورشیدی غیرفعال ناپایا است. در این راستا جریان جابه‌جایی طبیعی در تهویه‌ساز خورشیدی دارای جاذب حرارتی مسی، محفظه شیشه‌ای دوجداره به‌منظور جلوگیری از اتلاف انرژی حرارتی و همچنین مواد تغییر فازدهنده برای ذخیره انرژی حرارتی مورد بررسی تجربی قرار گرفته است. تهویه‌ساز در وضعیت بدون مواد تغییر فازدهنده با توجه به ایجاد اختلاف دمای مناسب توانسته است پدیده دودکشی برای تهویه طبیعی را در بخشی از ساعات روز امکان‌پذیر کند، اما در ساعات اولیه شب دمای تهویه‌ساز با دمای محیط یکسان شده و پدیده دودکشی به‌منظور تهویه مناسب در دسترس نخواهد بود. در تهویه‌ساز مجهز به مواد تغییر فازدهنده سیستم توانسته است به‌طور قابل قبولی در کاهش اُفت دمایی در ساعاتی از شبانه‌روز که تشعشع خورشیدی وجود ندارد نقش مهمی را ایفا کند که به‌دنبال آن پایابودن نرخ جریان هوا را در بر خواهد داشت. در حقیقت هدف اصلی استفاده از مواد تغییر فازدهنده در تهویه خورشیدی غیرفعال همین اثر، یعنی استفاده از انرژی اضافی در موارد فقدان انرژی است.

کلیدواژه‌ها: تهویه‌ساز خورشیدی، شرایط محیطی، مواد تغییر فازدهنده، ذخیره‌کننده گرما

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۰۷
*نویسنده مسئول: vkalantar@yazd.ac.ir

مقدمه

براساس مطالعات انجام‌شده مصرف انرژی در جهان هر ۲۰ سال دو برابر می‌شود. این مساله اهمیت استفاده از منابع تجدیدپذیر و سازگار با محیط زیست را بیش از پیش روشن می‌کند. در ایران به‌دلیل زیادبودن روزهای آفتابی، رطوبت کم و پایین‌بودن ارتفاع بسیاری از مناطق، انرژی خورشیدی می‌تواند جایگزین مناسبی برای سوخت‌های فسیلی و هسته‌ای باشد[1]. حرکت‌دادن هوا از میان فضاها به‌منظور تأمین هوای مورد نیاز ساختمان و آسایش حرارتی به‌عنوان تهویه ساختمان شناخته می‌شود. ون تیلیشن (Ventilation) از کلمه ون توس (Ventus) آمده که مفهوم حرکت و جابه‌جایی است. تهویه در کنترل محیطی خانه به سه منظور تأمین هوای تازه جهت مصرف ساکنین ساختمان (تهویه بهداشتی)، افزایش از دست‌دادن حرارت و تبخیر در بدن (تهویه آسایشی) و خشک‌کردن داخل ساختمان به‌وسیله تعویض هوای گرم داخل با هوای خنک خارج (تهویه ساختمانی) انجام می‌پذیرد. تهویه ممکن است طبیعی یا اجباری باشد. در تهویه اجباری از ابزار مکانیکی مانند فن‌ها برای به جریان‌درآوردن هوا در ساختمان استفاده می‌شود. از طرف دیگر، در تهویه طبیعی ازنیروهای طبیعی مانند اختلاف چگالی ناشی از اختلاف حرارت (شناوری یا پدیده دودکشی (Stack Effect) یا باد برای القای جریان هوا استفاده می‌شود.

مواد تغییر فازدهنده (Phase Change Materials; PCM) یکی از ابزارهای کارآمد برای ذخیره‌سازی انرژی حرارتی هستند. عملکرد آنها به این صورت است که با افزایش دما، تغییر فاز داده و انرژی حرارتی را در خود ذخیره می‌کنند و با کاهش دما این انرژی را آزاد می‌سازند. انرژی ذخیره‌شده از طریق گرمای نهان که با تغییر فاز ماده همراه است، به‌دلیل چگالی بالای ذخیره انرژی گرمایی از اهمیت زیادی برخوردار است[2]. اساس استفاده از مواد تغییر فازدهنده برای تهویه آزاد ساختمان‌ها دو مرحله دارد: ابتدا به هنگام شب که دمای محیط از دمای اتاق پایین‌تر است، جریان هوای خنک محیط از واحد ذخیره‌ساز انرژی عبور کرده و حرارت ماده تغییر فازدهنده در حالت مایع را گرفته و این ماده شروع به انجماد در دمای ثابت می‌کند. سپس هنگامی که در طول روز، دمای اتاق از حد مطلوب بالاتر می‌رود، هوای خنک ذخیره‌شده در ماده تغییر فازدهنده تخلیه می‌شود. به این صورت که هوای گرم از واحد ذخیره‌ساز انرژی عبور کرده، ماده تغییر فازدهنده این گرما را دریافت می‌کند و در یک دمای ثابت ذوب شده و در نهایت هوای خنک‌شده مطلوب وارد اتاق می‌شود. بهره‌وری سیستم تهویه آزاد تا حد زیادی به شرایط آب‌وهوایی محیط بستگی دارد. خواص ماده تغییر فازدهنده به‌ویژه دمای ذوب آن بسیار مهم بوده و این دما باید در محدوده تغییرات دمای روزانه باشد. جریان هوا اهمیت زیادی برای عملکرد موفق سیستم تهویه آزاد دارد و در صورتی که این جریان مناسب باشد، آنگاه انتقال حرارت موفقیت‌آمیز خواهد بود.

یکی از اولین مطالعات در زمینه سیستم تهویه آزاد توسط *تورنپنی* و همکاران[3] انجام شد، که هدف آن کاهش بار تهویه مطبوع در ساختمان‌ها بود. نمک هیدراته $Na_2SO_4.10H_2O$ با دمای ذوب ۲۱درجه سانتی‌گراد به‌عنوان ماده تغییر فازدهنده مورد استفاده قرار گرفت. نمونه اولیه این سیستم در یک دفتر معمولی نصب و آزمایش شد، که نتایج نشان می‌دهد طی ۸ساعت کار اداری ۲۷۰وات ساعت انرژی حرارتی ذخیره شد. اگر این سیستم آزمایشی جایگزین واحدهای سرمایش معمولی در ۲۰۰۰ اداره در انگلستان شود، تولید کربن‌دی‌اکسید به میزان ۴۳۰تن در سال کاهش می‌یابد. *ژانگ* و همکاران[4]، در تحقیق خود که در شرایط زمستانی شهر پکن انجام شد به این نتیجه رسیدند که دمای ذوب مناسب ماده تغییر فازدهنده باید کمی بالاتر از متوسط دمای هوای اتاقی

www.SID.ir

Archive of SID

باشد که PCM در آن به‌کار رفته است. آنها دمای ذوب ایده‌آل را حدود ۲درجه سانتی‌گراد بالاتر از متوسط دمای هوای اتاق به‌دست آورند. آنها نقطه ذوب ایده‌آل برای شهر پکن را ۲۵درجه سانتی‌گراد به‌دست آورند. *ژیائو* و همکاران[5]، در تحقیق خود پس از بررسی عملکرد گرمایی صفحات PCM در یک ساختمان، بیان کردند که دمای ذوب بهینه این مواد با متوسط دمای هوای اتاق در روزهای آفتابی زمستان برابر است و این دمای بهینه به ساختمان و اقلیم مورد بررسی وابسته است. آنها همچنین به این نتیجه رسیدند که برای یک نقطه ذوب ایده‌آل باید انرژی آزادشده و ذخیره‌شده در صفحات حاوی ماده تغییر فازدهنده در یک دوره با هم برابر باشد. *تیاگی* و *بودهی*[6] در مروری که بر تحقیقات صورت‌گرفته، انجام داده‌اند، عنوان می‌کنند که در مواد تغییر فازدهنده‌ای که دمای ذوب آنها در بازه ۲۰ تا ۳۰درجه سانتی‌گراد قرار می‌گیرند پتانسیل به‌کارگیری برای آسایش حرارتی را دارا هستند. *بورگوئرو* و همکاران[7]، به بررسی عملکرد سه نوع مختلف PCM به روش شبیه‌سازی عددی و روش تجربی پرداختند. آنها یک سطح PCM را در شرایط مرزی مشخصی قرار داده و به بررسی تأثیر تغییر هدایت حرارتی بر دمای سطح دیگر پرداختند. نتایج آنها نشان داد که افزایش هدایت حرارتی در کوتاه‌مدت به افزایش دمای سطح خارجی و افزایش نرخ شارژ و دشارژ انرژی گرمایی در ماده تغییر فازدهنده، منجر می‌شود. *کوزنیک* و همکاران[8]، به این نتیجه رسیدند که برای ضخامت‌های کم صفحه حاوی ماده تغییر فازدهنده، تغییرات مقدار انرژی ذخیره‌شده در این صفحات، متناسب با تغییرات ضخامت آن صفحه است. ولی برای ضخامت‌های زیاد، تغییر ضخامت صفحه حاوی PCM تأثیر چندانی در میزان ذخیره انرژی در آن ندارد. *آرنالت* و همکاران[9]، در تحقیق خود به بررسی تأثیر کاربرد یک لایه PCM در کف اتاقی نمونه در آب‌وهوای شهر کبک کانادا، از جهت تأثیر بر عملکرد سیستم های تهویه مطبوع به‌کاررفته در اتاق و نیز مصرف انرژی گرمایی اتاق پرداختند. آنها نشان دادند که کاربرد یک لایه نازک ماده تغییر فازدهنده در کف، عملکرد بهتری از یک لایه بتن ضخیم در کف دارد. *کورشی* و همکاران[10]، به بررسی تأثیر ذخیره انرژی گرمایی توسط PCM در ساختمان، بر میزان و نحوه مصرف انرژی الکتریکی در ساختمان‌های مسکونی پرداختند. آنها به این منظور یک اتاق نمونه در محوطه دانشگاه آلکند کشور نیوزلند ساختند. نتایج نشان داد که کاربرد ماده تغییر فازدهنده در اتاق می‌تواند تا حداکثر ۱۵۸دقیقه در زمان ماکزیمم بار گرمایی اتاق تأخیر زمانی ایجاد کند. با این تأخیر زمانی می‌توان ضمن کاهش مقدار ماکزیمم مصرف انرژی الکتریکی اتاق و یکنواخت‌ترکردن مصرف، مقدار مصرف انرژی الکتریکی را نیز کاهش داد. *هیم* و *کلارک*[11]، در تحقیق خود به این نتیجه رسیدند که مهم‌ترین پارامتر تأثیرگذار PCM در زمینه کاهش مصرف انرژی، دمای انجماد آن است آنها در تحقیق خود نشان دادند که نقطه انجماد این مواد باید بالا باشد ولی با وجود نیاز به بالابودن نقطه انجماد، این دما باید به دمای مطلوب مورد نظر برای اتاق نزدیک باشد. *افونسو* و *الیویرا*[12]، دودکش خورشیدی با جداره شیشه‌ای به‌جای دودکش خورشیدی مرسوم به‌کار بردند. آنها با انجام آزمایش و شبیه‌سازی نشان دادند که نرخ تهویه به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. *بانسال* و همکاران[13]، مدل ریاضی جهت بررسی دودکش خورشیدی فراهم آورده و آن را مورد مطالعه قرار دادند. آنها نشان دادند که دودکش از طریق تشعشع خورشیدی تهویه قابل توجهی را به‌دست می‌دهد. *گن* و *ریفات*[14]، دودکش خورشیدی با جداره شیشه‌ای برای بازیابی حرارتی در ساختمان، که به‌طور طبیعی تهویه می‌شود، به‌کار برد تا اثر آن را بر بازده بررسی کند. این بررسی به این نتیجه رسید که نصب لوله‌های گرم در مجرا اثر شناوری را کاهش می‌دهد و برای دست‌یابی به نرخ مورد نیاز جریان هوا، لازم است نیروی باد در آن لحاظ شود. *وانگ* و *لی*[15] به بررسی عددی دودکش خورشیدی و دیوار آبی برای ۹ ساختمان و آسایش حرارتی پرداختند، همچنین تأثیر پارامترهای اصلی طراحی شامل ضخامت پانل شیشه، عرض شکاف هوایی و ضخامت ستون آب با شبیه‌سازی CFD بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد که سیستم ترکیبی قادر به تهویه شبانه‌روزی با میانگین روزانه ۴/۱ تغییر هوا در ساعت و در عین حال میانگین روزانه دمای اتاق ۴/۸درجه سانتی‌گراد بالاتر از محیط است. در مطالعه *عبدالله*[16] طراحی جدیدی از وضعیت هوای غیرفعال با دودکش خورشیدی برای مناطق خشک و گرم بررسی شده است. این مطالعه با هدف بررسی عملکرد حرارتی و کیفیت هوای داخلی دودکش خورشیدی با برج خنک‌کننده غیرفعال است. آزمایش انجام‌شده برای یک خانه آزمایشی و آسایش ساکنان آن بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد که دمای هوای خروجی از برج بادی ۲۷/۳درجه سانتی‌گراد است. همچنین میانگین نظرات گرفته‌شده از افراد خانه محاسبه شده و در محدوه پیشنهادی ۰/۵ و ۰/۵- قرار دارد. این نشان می‌دهد که سرنشینان پس از استفاده از سیستم خنک‌کننده منفعل از محیط حرارتی داخلی رضایت دارند و اختلاف دمای بین فضای بیرون و داخل خانه تقریباً ۸درجه سانتی‌گراد است. *عمران* و همکاران[17]، یک مدل آزمایشی و عددی از یک دودکش خورشیدی به‌منظور پیش‌بینی عملکرد آن تحت ویژگی‌های هندسی مختلف در شرایط محیطی عراق بررسی کردند. جریان پایدار، دوبعدی و آشفته توسط همرفت طبیعی در داخل یک دودکش خورشیدی بررسی شد. نتایج مدل عددی نشان داد که زاویه بهینه شیب دودکش ۶۰درجه برای به‌دست‌آوردن حداکثر میزان تهویه بود. *خانال* و *لی*[18] در مطالعه‌ایی از یک مدل دودکش خورشیدی غیرفعال شیب‌دار با شار گرما یکنواخت روی دیواره فعال (جذب) استفاده کرده‌اند. در این طرح دامنه شار گرما ۱۰۰ تا ۵۰۰وات بر متر مربع و عرض شکاف هوایی ۰/۱متر و زاویه‌های دیواره منفعل از ۰ تا ۶درجه بررسی شده است. نتایج تجربی نشان می‌دهد که زاویه شیب دیواره غیرفعال هیچ تأثیر معنی‌داری بر توزیع دما در عرض شکاف هوایی و در امتداد ارتفاع

www.SID.ir

Archive of SID

دودکش ندارد. از طرف دیگر، سرعت متوسط جریان هوا در طول عرض شکاف هوایی به‌شدت تحت تأثیر زاویه شیب قرار می‌گیرد. نتایج تجربی همچنین نشان می‌دهد که دودکش خورشیدی غیرفعال شیب‌دار با ارتفاع جاذب ۰/۷متر و عرض شکاف هوایی ۰/۱متر در زاویه شیب ۶ و شار گرمای ورودی ۵۰۰وات بر متر مربع می‌تواند تهویه کافی را برای یک اتاق ۲۷متر مکعب براساس استانداردهای ASHREA ایجاد کند. *رن* و همکاران[19]، در پژوهشی به جریان سیال و مکانیزم انتقال گرما در یک دودکش خورشیدی ایجادشده توسط نیروی شناوری گرمایی در محدوده‌ای از اعداد رایلی با بررسی‌های عددی و تجربی پرداختند. نتایج عددی نشان می‌دهد که جریان معکوس نه تنها دبی حجم را کند می‌کند بلکه باعث افزایش تسریع جریان برگشتی ارایه‌شده در دودکش خورشیدی نیز می‌شود که عدد رایلی اگر بیش از یک مقدار مشخصی افزایش یابد، باعث می‌شود دودکش خورشیدی نقش تهویه خود را از دست بدهد. به‌منظور جلوگیری از جریان معکوس و افزایش عملکرد تهویه، یک دودکش خورشیدی با چند منبع مجزا متصل به دیوار، پیشنهاد شده است. توزیع دما در امتداد دیواره گرم‌شده برای ورودی مختلف گرما در دمای محیط، دما در دیواره گرم‌شده را به‌طور خطی افزایش نمی‌دهد و حتی در نزدیکی خروجی بالا اُفت می‌کند.

در این پژوهش سعی شده است سیستمی طراحی شود که هوا را به‌طور خودکار به گردش درآورد و برای بیان دقیق تأثیرات سیستم در روند تهویه طبیعی محیط در دسترس، دبی های ورودی و خروجی هوا، دما در مراحل و زمان های مختلف بررسی، اندازه‌گیری و ثبت می‌شود. نمودارهای مربوطه برای بیان دقیق مساله رسم شده و مساله به‌صورت تجربی مورد بررسی قرار گرفته است. تاکنون تحقیقات متنوعی در زمینه دودکش خورشیدی غیرنیروگاهی صورت پذیرفته است که به بررسی دودکش و پارامترهای موثر آن پرداخته است. نوآوری در این تحقیق تعبیه مواد تغییر فازدهنده در جداره داخلی سیستم تهویه‌ساز خورشیدی جهت تأمین انرژی مورد نیاز سیستم در شب و کاهش نوسانات دمایی در طی روز و شب است.

مواد و روش‌ها

یک نمونه تهویه‌ساز خورشیدی با جریان جابه‌جایی طبیعی شامل چهارپایه فلزی، محفظه تهویه‌ساز خورشیدی، جداره کلکتور، لوله کشی‌های داخلی جهت تعبیه مواد تغییر فازدهنده، کمربندهای طراحی‌شده برای اتصالات شیشه‌ها، ستون‌های تعبیه‌شده برای تحمل بار فشاری کمتر روی محفظه شیشه‌ای، مهارکش‌ها و سامانه اندازه‌گیری و کنترل دما و رطوبت است.

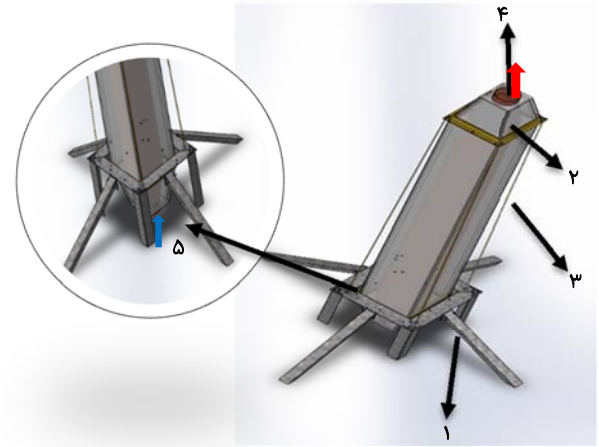
در ادامه به تشریح قسمت‌های مهم دستگاه تهویه‌ساز خورشیدی و نحوه ساخت و اندازه‌گیری‌های مربوطه پرداخته می‌شود.

شرح طراحی و ساخت دستگاه تهویه‌ساز خورشیدی و متعلقات آن

تهویه‌ساز خورشیدی که در شکل ۱ نشان داده شده است، دارای طول، عرض و ارتفاع به‌ترتیب ۳۸×۳۸×۳۵۰سانتی‌متر است که از ورق مسی ساخته شده و بر روی یک سازه به ارتفاع ۱۰سانتی‌متر قرار گرفته است.

شکل ۱) تهویه‌ساز خورشیدی و نقاط مختلف اندازه‌گیری سرعت و دما

قسمت‌های مختلف دستگاه مانند چهارپایه فلزی، محفظه تهویه‌ساز خورشیدی، جداره کلکتور و لوله کشی جهت قراردادن مواد تغییر فازدهنده انتخاب و با استفاده از نرم‌افزار سالیدورک طراحی سیستم انجام و نحوه استقرار اجزای آن مشخص و بر همین اساس ساخته شد که جزییات آن مطابق شکل ۲ به‌صورت شماتیک نشان داده شده است.



شکل۲) تصویر شماتیک اجزای سیستم تهویه‌ساز خورشیدی؛ ۱-چهارچوب فلزی، ۲- محفظه تهویه‌ساز خورشیدی، ۳- دیواره کلکتور که لوله‌های مسی در آن قرار دارد، ٤- خروجی تهویه‌ساز خورشیدی، ۵- ورودی تهویه‌ساز خورشیدی

چهارپایه از چهار نبشی آهن ۱۰ در طول ٦۵سانتی‌متر استفاده شده است. برای اتصال نبشی‌ها به سایر اجزای هندسه در انتهای یک سر نبشی قطعه Cمانند جوش داده شده و با تعبیه دو سوراخ با فواصل ٤سانتی‌متر هر نبشی به دو قسمت مجزای دیگر متصل شده است. قطعه مذکور متشکل از ورق آهنی به ضخامت

www.SID.ir

Archive of SID

۱۰میلی‌متر در قالب ذوزنقه با قاعده بزرگ، قاعده کوچک و ارتفاع ۲۰سانتی‌متر است. برای محفظه دستگاه از شیشه دوجداره با ضخامت ۴ و فضای ۸میلی‌متر استفاده شده است. هندسه این قسمت یک مکعب‌مربع در ابعاد داخلی ۳۵×۳۵×۳۰۰سانتی‌متر و طول محفظه شیشه‌ای لازم جهت هندسه ۳متر بوده است. چهارچوب نگه‌دارنده محفظه تهویه‌ساز خورشیدی از چهار تسمه ۵ که به‌صورت گونیا و در شکل مربع به هم جوش شده‌اند تشکیل شده است. در وسط هر تسمه ۵ یک تسمه ۲ به‌صورت قایم جوش خورده است که در واقع می‌توان همانند قاب پنجره از آن استفاده نمود. برای ساخت کلکتور از ورق مسی کوئل کوپر به ضخامت ۰/۵میلی‌متر استفاده شده است که این ورق طی نورد و چرخ به شکل لوله برای ایجاد محفظه مورد نظر در آمده است از لوله‌هایی به ارتفاع ٦٦٠میلی‌متر که به‌صورت اتصال نر و مادگی به هم متصل می‌شوند در نظر گرفته شده است، همچنین برای استحکام هر چه بیشتر این لوله‌ها در برابر له‌شدگی و انعطاف‌پذیری سعی شده سطح مقطع هر لوله در دو مقطع، چرخ شود که این امر در استحکام شکل لوله‌ای آن تأثیر زیادی خواهد داشت. سطح آنها برای ایجاد جذب حرارت بیشتر به رنگ کدر در آمده که این امر با رنگ پلاستیکی مشکی صورت پذیرفته است، این نوع تغییر رنگ نسبت به رنگ‌های روغنی و شفاف از بازگشت تشعشع و حرارت نیز جلوگیری می‌کند. برای قسمت‌های ورودی و خروجی هندسه کلکتور استوانه‌های مخروطی از جنس مس تعبیه شده که باز هم به شکل اتصال نر و مادگی به ورودی و خروجی محفظه اصلی کلکتور وصل می‌شوند. این دو مخروط با شعاع کوچک‌تر ۱۵۰میلی‌متر و شعاع بزرگ‌تر ۳۰۰میلی‌متر هستند که در ارتفاع ۳٦۰میلی‌متر طراحی شدند. در جداره داخلی کلکتور محفظه‌ای برای تعبیه مواد تغییر فازدهنده در نظر گرفته شده است چرا که این مواد طی تغییر دما تغییر فاز داشته و جاری می‌شوند، بنابراین لازم است که در محفظه‌ای مناسب قرار گیرند. برای این امر از یک شبکه لوله‌ای از جنس مس استفاده شده است که سعی شده این شبکه به‌صورت دایره‌ای طراحی شود تا که در قسمت داخلی کلتور در مجاورت جداره و در معرض جذب حرارت واقع شود تا بیشترین جذب حرارت و تابش را در بر گیرد. این لوله‌ها در ارتفاع ۳متر و با اتصالات زانویی و مقطعی از جنس همین لوله به‌صورت شبکه‌ای درآمده که توسط سه بست وارونه به داخل جداره کلکتور تثبیت می‌شوند. مهارکش‌هایی نیز در این طرح به‌کار رفته شده است که برای جلوگیری تغییرات ناشی از نوسانات، تحت اثر باد یا سایر عوامل محیطی تعبیه شده است.

یکی از ویژگی‌های تهویه‌ساز خورشیدی حاضر استفاده از ماده PCM در جداره کلکتور است، جداره کلکتور از جنس مس است بنابراین بیشترین جذب و انتقال گرما را دارد و ماده تغییر فازدهنده در نقطه ذوب خود شروع به تغییر فاز می‌کند.

وسایل اندازه‌گیری

برای اندازه‌گیری دمای داخل محفظه تهویه‌ساز خورشیدی، دمای خروجی تهویه‌ساز، دمای ورودی تهویه‌ساز، دمای محیط، دمای ورودی و خروجی تهویه‌ساز و دما بدنه کلکتور از ترموکوپل‌های نوع K با محدوده دمایی ۲۰۰ تا ۱۳۵۰درجه سانتی‌گراد که از قبل کالیبره شده‌اند و برای ثبت و ذخیره آنها از دستگاه دیتالاگر ۱۶ کاناله (Hioki) استفاده شد. برای اندازه‌گیری سرعت هوا از دستگاه Testo ۴۵۴ توسط سنسور و پراب تلسکوپی با دقت ۰/۱متر بر ثانیه و محدوده اندازه‌گیری ۰/۴ تا ۶۰متر بر ثانیه استفاده شده است که در شکل ۳ نشان داده شده است. برای کمیت‌هایی چون دبی جرمی یا حجمی باید عدم قطعیت مورد بررسی قرار گیرد که در خصوص دبی جرمی هوا ضمن تکرار آزمایش در چند نوبت عدم قطعیت بررسی شده و خطای تصادفی قابل توجه نیست. هر کدام از این اندازه‌گیری‌ها چندین مرتبه تکرار شده و میانگین داده‌ها در نظر گرفته شده است. برای اندازه‌گیری شدت تابش خورشیدی از دستگاه پیرانومتر مدل ۶ KIPP&ZONEN CMP با دقت ۴وات بر متر مربع استفاده شد. مشخصات وسایل اندازه‌گیری در جدول ۱ مشاهده می‌شود.

شکل ۳) وسایل اندازه‌گیری مورد استفاده؛ ۱- دیتالاگر، ۲- پیرانومتر، ۳- ۴۵۴ testo

جدول ۱) مشخصات وسایل اندازه‌گیری

نام تجاری	سازنده دستگاه و مدل آن	دقت اندازه‌گیری
دیتالاگر ١٦ کاناله	Hioki	±۰/۱
پیرانومتر	KIPP&ZONEN	٤±وات بر متر مربع
سرعت‌سنج	CMP6	۰/۱متر بر ثانیه
ترموکوپل	Testo 454 K	۰/۳درجه سانتی‌گراد

معادلات حاکم

جریان‌های ناشی از شناوری هنگامی رخ می‌دهد که گرما به سیال اضافه می‌شود و چگالی سیال با دما تغییر کند. این اختلاف چگالی باعث القای جریان می‌شود که به جابه‌جایی طبیعی

www.SID.ir

Archive of SID

معروف است. در جابه‌جایی طبیعی خالص توان جریان ناشی از شناوری به‌وسیله عدد رایلی اندازه گرفته می‌شود.

$$R_a = \frac{g\beta\Delta T L^3 \rho}{\mu\alpha} \quad (۱)$$

که β ضریب انبساط حرارتی آن به شکل زیر تعریف می‌شود:

$$\beta = -\frac{1}{\rho}\left(\frac{\delta\rho}{\delta T}\right) \quad (۲)$$

α نفوذ گرمایی است که به شکل زیر تعریف می‌شود:

$$\alpha = \frac{K}{\rho Cp} \quad (۳)$$

اعداد رایلی کمتر از 10^8 نشان‌دهنده جریان طبیعی آرام و اعداد رایلی بین 10^8 و 10^{10} نشان‌دهنده ناحیه گذار به جریان آشفته است.

برای بسیاری از جریان‌های با جابه‌جایی طبیعی می‌توان با مدل بوزینسک به همگرایی سریع‌تری دست یافت، در این مدل چگالی سیال به‌صورت تابعی از دما بیان شده است. البته چگالی در تمام معادلات حل‌شده ثابت است، به‌جز در ترم شناوری در معادله مومنتم که به‌صورت زیر است:

$$(\rho - \rho_0)g \approx -\rho_0\beta(T - T_0)g \quad (۴)$$

در این معادله ρ_0 چگالی (ثابت) جریان، T_0 دمای کاری و β ضریب انبساط حرارتی است. انرژی کل جذب‌شده توسط PCM (سولفات سدیم) طی شارژ یا دشارژ را می‌توان به‌صورت زیر بیان کرد[20]:

$$\begin{aligned} &Q_{pcm} = m_{pcm}c_s(T_{pcm} - T_{melt}) \quad T_{pcm} < T_{melt} \\ &Q_{pcm} = 0 \; T_{pcm} = T_{melt} \\ &Q_{pcm} = m_{pcm}c_l(T_{pcm} - T_{melt}) \quad T_{pcm} > T_{melt} \end{aligned} \quad (۵)$$

$$\eta = \frac{Q_0}{Q_i = Q_0 + Q_r} \quad (۶)$$

$$Q_0 = mc_p(T_0 - T_i)$$

در این معادله Q_0 گرمای دریافتی توسط هوا، Q_r تابش دریافتی توسط شیشه و c_p ظرفیت گرمایی ویژه است[21].

انتخاب ماده PCM و طراحی محفظه نگه‌دارنده

برای آنکه کارآیی این دستگاه افزایش یابد از ذخیره‌ساز انرژی استفاده شده است و برای انتخاب ماده PCM مناسب موارد متعددی مطرح است که برخی از آنها شامل موارد زیر است:

۱- دمای ذوب و انجماد ماده PCM در محدوده دمایی که در دستگاه است، قرار گیرد.

۲- چرخه ذوب و انجماد برای یک عمر طولانی تداوم داشته باشد.

۳- در دسترس باشد و قیمت مناسب داشته باشد.

۴- اثر مخرب آن بر سیستم لوله و محفظه نگه‌دارنده حداقل باشد.

۵- خواص گرمایی مناسب داشته باشد.

ماده تغییر فازدهنده مورد استفاده در تهویه‌ساز خورشیدی سدیم‌سولفات‌کربنات $Na_2SO_4 10H_2$ Na_2 SO_4 $10H_2O$ محصول شرکت ایران اسید[22] بوده و مشخصات آن در جدول ۲ مشاهده می‌شود. برای قراردادن ماده PCM، آن را به‌صورت پودر در لوله‌های مسی‌شکل که به‌صورت شبکه‌ای درآمده ریخته می‌شود، که توسط سه بست وارونه به داخل جداره کلکتور تثبیت می‌شوند. این مراحل در شکل ۴ مشاهده می‌شود.

جدول ۲) مشخصات مواد تغییر فازدهنده[22]

مشخصات PCM	توضیح
نام تجاری	$Na_2SO_4 10H_2O$
نقطه انجماد (درجه سانتی‌گراد)	۳۰
نقطه ذوب (درجه سانتی‌گراد)	۳٤

شکل۴) ماده PCM پرشده در لوله‌های مسی‌شکل

آزمایش‌های مربوطه در یکی از منازل شهر یزد در روزهای ۱۰ و ۱۱ شهریور ماه ۱۳۹۷ انجام گرفت. آزمایشات در شرایط مشابه از لحاظ دمای محیطی و شدت تابش خورشیدی در دو روز پشت سر هم انجام شده است.

بحث و بررسی نتایج

طراحی و ساخت یک تهویه‌ساز خورشیدی مجهز به کلکتور و برای حالت‌های مختلف با ماده تغییر فازدهنده (سدیم‌سولفات‌کربنات) و بدون آن، و مقایسه سرعت هوای ورودی، پارامترهای عملکرد این تهویه‌ساز خورشیدی در شرایط آب‌وهوایی شهر یزد بررسی شد. بنابراین نتایج به‌دست‌آمده اثر استفاده از ماده ذخیره‌کننده گرما و جابه‌جایی طبیعی به‌طور مستقل و ترکیب آنها بر فرآیند تهویه‌ساز خورشیدی را نشان می‌دهد.

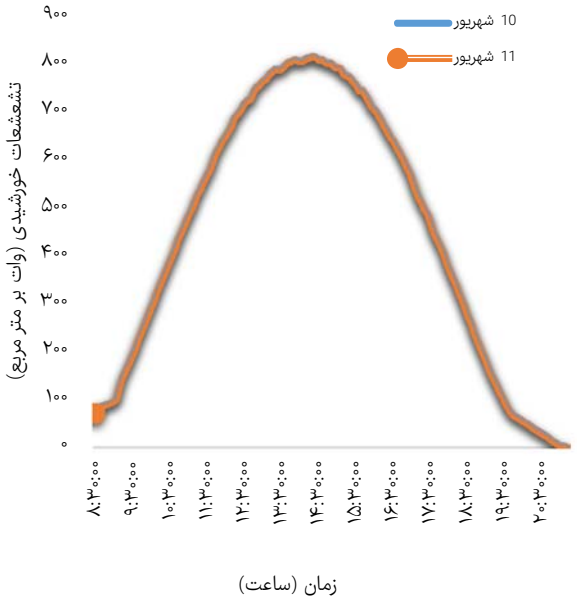
آزمایش در روز ۱۰ شهریور انجام شده است. انتخاب دهم شهریورماه در حالی است که دمای هوای محیط به ۲۸درجه سانتی‌گراد رسیده و تشعشع خورشید تقریباً در حد متوسط خود در طول سال است. بنابراین روز انتخاب‌شده از جهتی می‌تواند وضعیتی میانگین برای تهویه در طول روزهای سال باشد. در این روز میزان انرژی تابشی رسیده از خورشید طبق نمودار ۱، نشان می‌دهد که بیشترین میزان شدت تابش در حدود ساعت ۱۴:۴۵ به مقدار ۸۴۴وات بر متر، این روند از ابتدای صبح تا ساعت ۱۵:۱۰ صعودی است و از این ساعت به بعد سیر نزولی می‌گیرد.

تشعشع خورشیدی می‌تواند توسط مواد ذخیره‌ساز طی روز جذب شده تا بار حرارتی لازم را برای به‌دست‌آوردن شرط مطلوب تحویل دهد. به هر حال در طول شب زمانی که تشعشع خورشیدی از بین می‌رود دمای محیط تا ۲۸درجه سانتی‌گراد پایین می‌آید که طی این مدت زمان نمی توان بار حرارتی مورد نیاز را به تهویه‌ساز تحویل داد. بنابراین به‌طور طبیعی دمای محفظه کلکتور کاهش خواهد یافت.

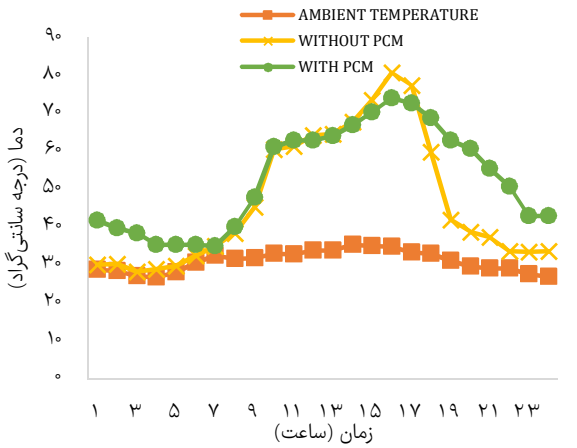
www.SID.ir

Archive of SID

دمای تهویه‌ساز خورشیدی بدون مواد تغییر فازدهنده در طی شبانه‌روز در نمودار ۲ نشان داده شده است. آشکار است که در این بازه زمانی دمای تهویه‌ساز به ۸۲درجه رسیده در حالی که دمای محیط تنها ۳۴درجه است که این خود تأثیر مواد جاذب و عایق‌بندی مناسب بوده است، که این تغییرات دمایی برای گردش هوا به خودی خود کافی است. منتهی همان طور که از نمودار برداشت می‌شود، این اختلاف دما تنها مربوط به بخشی از ساعات روز است، لذا در ساعات اولیه شب دمای تهویه‌ساز تقریباً با دمای محیط یکسان شده و پدیده دودکشی جهت تهویه امکان‌پذیر نخواهد بود. همچنین بدون استفاده از مواد تغییر فاز دهنده در جمع کننده خورشیدی تغییرات دما طی شبانه‌روز به‌طور قابل توجهی بیشتر است، که این خود عیب دیگری از طراحی تهویه‌ساز خورشیدی را نشان می‌دهد که تنش حرارتی اعمال‌شده بر آن در کل ساعات شبانه‌روز وجود دارد.



نمودار ۱) شدت تابش خورشیدی در روزهای انجام آزمایشات



نمودار ۲) تغییرات دمای تهویه‌ساز خورشیدی با و بدون مواد تغییر فازدهنده در روز دهم شهریور ۱۳۹۷

دمای تهویه‌ساز خورشیدی مجهز به مواد تغییر فاز پدهنده در نمودار ۲ را نشان می‌دهد. از دقت به نمودار می‌توان به این مهم پی برد که تعبیه این مواد در سیستم توانسته است به‌طور قابل قبولی در اُفت دمای تهویه‌ساز در ساعاتی از شبانه‌روز که تشعشع خورشیدی وجود ندارد نقش مهمی داشته باشند. هر چند دمای تهویه‌ساز در ساعات ظهر و بیشینه حضور تشعشع خورشیدی نسبت به دمای تهویه‌ساز در غیاب مواد تغییر فازدهنده کمی کمتر است، که این مقدار انرژی همان طور که به نظر می‌رسد صرف گرم و در نهایت ذوب‌شدن مواد تغییر فازدهنده می‌شود. این مطلب به این معنا است که استفاده از مواد تغییر فازدهنده به نوعی موجب کاهش دمای بیشینه می‌شود. در عین حال این امر امکان داشتن یک سیستم تهویه طبیعی که ملزم به تابش یکنواخت و پیوسته خورشید نباشد را فراهم می‌سازد. همان گونه که از نمودار برداشت می‌شود اختلاف دمای بین محیط و سیستم به مقدار قابل نیاز افزایش یافته که خود تأثیر مواد تغییر فازدهنده را به خوبی نشان می‌دهد. در حقیقت هدف اصلی استفاده از مواد تغییر فازدهنده در تهویه خورشیدی غیرفعال همین اثر، یعنی استفاده از انرژی اضافی در موارد فقدان انرژی است.

همین طور که مشاهده شد، دمای تهویه‌ساز با و بدون مواد تغییر فازدهنده در ساعت ۶ صبح به هم نزدیک شده و این امر به این دلیل بوده که گرمای ذخیره‌شده در مواد تغییر فازدهنده از دست رفته و اکثر آنها به‌صورت جامد در آمده‌اند. از این رو، دمای تهویه‌ساز در هر دو حالت به دمای محیط نزدیک شده است. همچنین این نکته حایز اهمیت است که دمای تهویه‌ساز در حالت وجود مواد تغییر فازدهنده از ۳ بامداد تا ۸ صبح برخلاف دمای محیط و دمای متوسط تهویه‌ساز بدون مواد تغییر فازدهنده اُفت می‌کند. از انجا که خورشید حدود ساعت ۶ طلوع می‌کند دمای محیط و تهویه‌ساز بدون مواد تغییر فازدهنده کمی بیشتر شده ولی دمای تهویه‌ساز مجهز به مواد تغییر فازدهنده با داشتن ظرفیت گرمایی بیشتر کمی دیرتر افزایش می‌یابد. دمای متوسط تهویه‌ساز با و بدون مواد تغییر فازدهنده تقریباً به حالت متقارن نسبت به ساعت ۱۵ ظهر با هم برابر می‌شوند. با مقایسه نمودار نوسانات دمای تهویه‌ساز شیب نمودار بدون مواد تغییر فازدهنده بیشتر از تهویه‌ساز حاوی مواد تغییر فازدهنده است.

سرعت جریان هوا در ورودی تهویه‌ساز بدون مواد تغییر فازدهنده در نمودار ۳ نشان داده شده است. نتیجه بیانگر این است که سیستم مذکور توانسته است در بخشی از ساعات مشهود در نمودار موجب جابه‌جایی طبیعی هوا باشد، که بخش بیشینه آن مربوط به ساعات ۲ تا ۴ بعداظهر و مقدار کمینه آن به ساعات اولیه صبح و ساعات اولیه شب باز می‌شود و این گویای رابطه مستقیم تشعشع خورشیدی و مقدار سرعت جریان هوا برای تهویه طبیعی سیستم است، که در این ساعات سرعت به صفر رسید هوا عملاً جریانی در سیستم به جهت اختلاف دما وجود نخواهد داشت. همچنین با توجه به اندازه‌گیری‌های انجام‌شده نتیجه می‌شود که

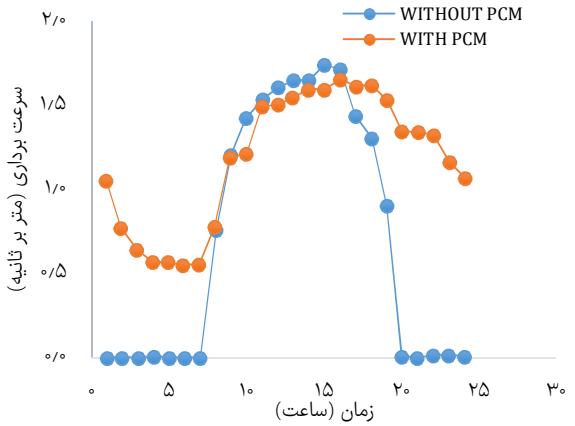
www.SID.ir

Archive of SID

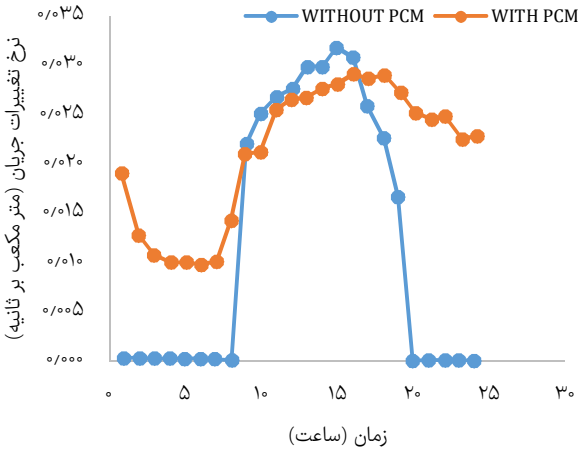
بیشترین سرعت گردش هوا در مجاورت محفظه داخلی کلکتور جایی که بیشترین تفاوت دمایی به وجود می‌آید، است. به هر حال این مقدار سرعت به خودی خود نقش مهمی در تعویض هوای محیط در دسترس را خواهد داشت.

در نمودار ۳ به تأثیر مواد تغییر فازدهنده در سرعت جریان هوا در سیستم پرداخته است، آن چه از نمودار استنتاج می‌شود این است که تقریباً کمیت سرعت در طول شبانه‌روز دارای مقدار است و همواره جریان وجود خواهد داشت لذا از این حیث اهمیت ذخیره‌سازی انرژی قابل توجه و مشهود است.

از نمودار ۴ ملاحظه می‌شود که نرخ جریان هوا در حالت تهویه‌ساز خورشیدی بدون مواد تغییر فازدهنده دارای بیشینه و کمینه به‌ترتیب ۱۱۵ و ۶۱/۲متر مکعب بر ساعت و همچنین نرخ جریان هوا در حالت مجهز به مواد تغییر فازدهنده دارای بیشینه و کمینه به‌ترتیب ۱۰۸ و ۳۲/۷۶متر مکعب بر ساعت است. چنان چه انتظار می‌رود نرخ جریان هوای ایجادشده در حالت مجهز به مواد تغییر فازدهنده به نسبت تغییرات کمتری دارد. همچنین ملاحظه می‌شود که نرخ جریان هوا در وضعیت همراه با مواد تغییر فازدهنده دیرتر از حالت دیگر رخ می‌دهد.



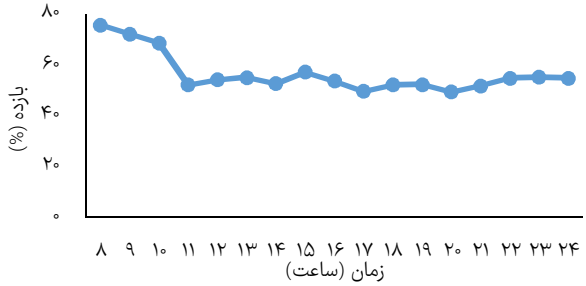
نمودار ۳) تغییرات سرعت جریان هوای ورودی به تهویه‌ساز خورشیدی با و بدون مواد تغییر فازدهنده در روز دهم شهریور ۱۳۹۷



نمودار ۴) نرخ تغییرات جریان تهویه‌ساز خورشیدی در حالت با و بدون مواد تغییر فازدهنده در روز دهم شهریور ۱۳۹۷

با مقایسه نتایج مربوط به دمای محیط، دمای تهویه‌ساز خورشیدی و نرخ جریان هوا در تهویه‌ساز خورشیدی، می‌توان این طور نتیجه‌گیری کرد که با وجود بالاتربودن دمای بیشینه تهویه‌ساز در وضعیت فاقد مواد تغییر فازدهنده و همچنین بیشتربودن بیشینه نرخ جریان در این وضعیت نسبت به وضعیت همراه با مواد تغییر فازدهنده در اکثر ساعات شبانه‌روز دمای متوسط تهویه‌ساز در وضعیت مجهز به مواد تغییر فازدهنده بالاتر است.

همان طور که در نمودار ۴ نرخ تغییرات جریان در حضور مواد تغییر فازدهنده مشاهده شد، با مقایسه هر دو حالت شاهد اهمیت مساله از نوع دوم خواهیم بود. با توجه به نمودار ۵، بازده خورشیدی در روز ۱۰ شهریور در حضور ماده PCM در محدوده ۵۵ تا ۷۵% قرار می‌گیرد که برای این ماه سال مناسب است.



نمودار ۵) بازده تهویه‌ساز خورشیدی در روز دهم شهریور ۱۳۹۷

نتیجه‌گیری

تهویه مکان‌ها امری ضروری است که اگر به‌صورت طبیعی انجام گیرد آلودگی محیط زیست را به همراه نداشته و اقتصادی است. بر این اساس دستگاهی طراحی و ساخته شده که در آن سعی شده است تلفات انرژی به حداقل برسد و بالاترین کارآیی را داشته باشد. از این رو، سطح شفاف برای عبور نور دو جداره بوده و این قابلیت فراهم شده که از همگی جهات بتواند تابش خورشید را دریافت نماید. علی‌رغم وجود سایه در محل مورد استفاده، در روزی نظیر ۱۰ شهریور دبی حجمی هوا در یک ساعت به‌طور متوسط به ۹۵متر مکعب رسیده است که می‌تواند فضایی به ابعاد ۳×۴×۳ را ۲/۶ دفعه تعویض هوا نماید (ACH=۲/۶)، این نتیجه در حضور ماده PCM است. عدد محاسبه‌شده با توجه به ابعاد و اندازه دستگاه در مقایسه با سایر موارد بررسی‌شده عدد نسبتاً خوبی است، اگر چه در ماه‌های گرم سال این عدد بیشتر خواهد شد. همچنین طبق نتایج به‌دست‌آمده در طول شب نیز عمل تهویه با شدت نسبتاً خوبی می‌تواند ادامه یابد.

ذخیره‌سازی انرژی به‌علت ظرفیت گرمایی بیشتر طی تغییر فاز مواد تغییر فازدهنده به‌کار گرفته شد. با این کاربرد با استفاده از فضای کمتر انرژی قابل ملاحظه‌ای ذخیره می‌شود. محیطی که با تهویه‌ساز خورشیدی برای گردش هوا و گرمایش یک‌پارچه شده جهت نمایش تأثیر مواد تغییر فازدهنده در گرمایش غیرفعال در نظر گرفته شده است. هندسه این طرح در دو وضعیت با و بدون استفاده از مواد تغییر فازدهنده در تهویه‌ساز خورشیدی مورد

www.SID.ir

Archive of SID

تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که:

۱- با استفاده از مواد تغییر فازدهنده به‌عنوان سیستم نگه‌دارنده انرژی حرارتی دمای محیط مربوطه را طی شبانه‌روز می‌توان یکنواخت نگاه داشته در حالی که بدون استفاده از این مواد نوسانات دمایی خواهیم داشت.

۲- مواد تغییر فازدهنده به‌طور قابل ملاحظه‌ای موجب یکنواخت‌شدن دمای تهویه‌ساز خورشیدی و همچنین کاهش دمای بیشینه آن می‌شوند. این امر سیستمی با قابلیت اطمینان بالاتر را نتیجه می‌دهد.

۳- استفاده از تهویه‌ساز خورشیدی مجهز به مواد تغییر فازدهنده برای تهویه، دمای محیط مورد نظر را به دمای آسایش نزدیک‌تر کرده و کاهش مصرف انرژی را در بر دارد.

از دیدگاه اقتصادی با توجه به استفاده از ماده PCM در دستگاه تهویه خورشیدی کارآیی را افزایش داده و در زمستان می‌تواند با طراحی مسیر مناسب گردش هوا یک اتاق به ابعاد ۳×۴×۳ را گرم نگه دارد. این دستگاه در مقابل تابش خورشید حساس بوده و با مصالح انتخاب‌شده کارآیی خوبی دارد و پایداری و چرخه ذوب و انجماد ماده PCM در آزمایش‌های مکرر محرز شده است. بنابراین از دیدگاه زیست‌محیطی و محدودیت‌های استفاده از سوخت‌های فسیلی و تأمین هزینه آنها، استفاده از این دستگاه با در نظرگرفتن تمامی جوانب توصیه می‌شود. هزینه ساخت دستگاه در شرایط عادی ایران پایین است.

تشکر و قدردانی: نویسندگان بر خود لازم می‌دانند، به‌واسطه حمایت مادی و معنوی از کار پژوهشی انجام‌شده، مراتب تشکر و قدردانی خود را اعلام نمایند.

تاییدیه اخلاقی: نویسندگان متعهد هستند که مطالب این مقاله را در هیچ مجله دیگری به چاپ نرسانده‌اند.

تعارض منافع : موردی توسط نویسندگان ذکر نشده است.

سهم نویسندگان: محمدصالح برقی‌جهرمی (نویسنده اول)، نگارنده مقدمه/پژوهشگر کمکی/تحلیلگر آماری (۴۰%)؛ ولی کلانتر (نویسنده دوم)، روش‌شناس/پژوهشگراصلی/تحلیلگر آماری/نگارنده بحث (۴۰%)؛ مهران عبدالرضایی (نویسنده سوم)، نگارنده مقدمه/پژوهشگر کمکی/تحلیلگر آماری (۲۰%).

منابع مالی: موردی توسط نویسندگان ذکر نشده است.

منابع

1- Mokhtarian M, Tavakolipour H, Kalbasi Ashtari A. Effects of solar drying along with air recycling system on physicochemical and sensory properties of dehydrated pistachio nuts. LWT-Food Science and Technology. 2017;75:202-209.

2- Mondal S. Phase change materials for smart textiles-an overview. Applied Thermal Engineering. 2008;28(11-12):1536-1550.

3- Turnpenny JR, Etheridge DW, Reay DA. Novel ventilation cooling system for reducing air conditioning in buildings. Applied Thermal Engineering. 2000;20(11):1019-1037.

4.- Zhang YP, Lin KP, Yang R, Di HF, Jiang Y. Preparation, thermal performance and application of shape-stabilized PCM in energy efficient buildings. Energy and Buildings. 2006;38(10):1262-1269.

5- Xiao W, Wang X, Zhang Y. Analytical optimization of interior PCM for energy storage in a lightweight passive solar room. Applied Energy. 2009;86(10):2013-2018.

6- Tyagi VV, Buddhi D. PCM thermal storage in buildings: A state of art. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2007;11(6):1146-1166.

7- Borreguero AM, Luz Sánchez M, Valverde JL, Carmona M, Rodríguez JF. Thermal testing and numerical simulation of gypsum wallboards incorporated with different PCMs content. Applied Energy. 2011;88(3):930-937.

8- Kuznik F, Virgone J, Noel J. Optimization of a phase change material wallboard for building use. Applied Thermal Engineering. 2008;28(11-12):1291-1298.

9- Arnault A, Mathieu-Potvin F, Gosselin L. Internal surfaces including phase change materials for passive optimal shift of solar heat gain. International Journal Thermal Sciences. 2010;49(11):2148-2156.

10- Qureshi WA, Nair N-KC, Farid MM. Impact of energy storage in buildings on electricity demand side management. Energy Conversion Management. 2011;52(5):2110-2120.

11- Heim D, Clarke JA. Numerical modelling and thermal simulation of PCM–gypsum composites with ESP-r. Energy and Buildings. 2004;36(8):795-805.

12- Afonso C, Oliveira A. Solar chimneys: Simulation and experiment. Energy and Buildings. 2000;32(1):71-79.

13- Bansal NK, Mathur R, Bhandari MS. Solar chimney for enhanced stack ventilation. Building and Environment. 1993;28(3):373-377.

14- Gan G, Riffat SB. A numerical study of solar chimney for natural ventilation of buildings with heat recovery. Applied Thermal Engineering. 1998;18(12):1171-1187.

15- Wang H, Lei C. A numerical investigation of combined solar chimney and water wall for building ventilation and thermal comfort. Building and Environment. 2020;171:106616.

16- Abdallah ASH. A new design of passive air condition integrated with solar chimney for hot arid region of Egypt. International Journal of Environmental Science and Technology. 2019;16(6):2611-2618.

17- Imran AA, Jalil JM, Ahmed ST. Induced flow for ventilation and cooling by a solar chimney. Renewable Energy. 2015;78:236-244.

18- Khanal R, Lei C. An experimental investigation of an inclined passive walls solar chimney for natural ventilation. Solar Energy. 2014;107:461-474.

19- Ren X-H, Liu R-Z, Wang Y-H, Wang L, Zhao F-Y. Thermal driven natural convective flows inside the solar chimney flush-mounted with discrete heating sources: Reversal and cooperative flow dynamics. Renewable energy. 2019;138:354-367.

20- Goyal RK, Tiwari GN. Effect of thermal storage on the performance of a deep bed drying system. International Journal Ambient Energy. 1999;20(3):125-136.

21- Li Y, Liu S. Experimental study on thermal performance of a solar chimney combined with PCM. Applied Energy. 2014;114:172-178.

22- Iran acid. The center of organic matter, mineral, and chemical of iran Sodium sulfate production [Internet]. Tehran: Iran Acid; 2019 [cited 2019 October 26]. Available from: http://iran-asid.ir/Sodium- sulfate-production/

www.SID.ir