ISSN: 2538-2594; Naqshejahan- Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning. 2020;10(2):153-162

The Role of Phase Change Materials in Improvement and Revitalization of Wind Tower Function; Case study: Warm & Humid Climate

ARTICLE INFO

Article Type
Original Research

Authors
Rostampour K.*[1] *PhD,*
Hekmat H.[1] *MSc,*
Zabihi M.[2] *PhD*

How to cite this article
Rostampour K, Hekmat H, Zabihi M. The Role of Phase Change Materials in Improvement and Revitalization of Wind Tower Function; Case study: Warm & Humid Climate. Naqshejahan- Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning. 2020;10(2):153-162

[1]Architecture Department, Engineering Faculty, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
[2]National Iranian South Oil Company, Ahvaz, Iran

Correspondence
Address: Shahid Chamran University of Ahvaz, Golestan Boulevard, Ahvaz, Iran. Postal code: 6135783151.
Phone: +98 (61) 33330011
Fax: +98 (61) 33336642
k.rostampour@ scu.ac.ir

Article History
Received: February 09, 2020
Accepted: March 19, 2020
ePublished: September 20, 2020

ABSTRACT

Aims In the last century of Iranian architecture, the use of passive thermal comfort methods has been forgotten and replaced by active methods, in addition to environmental constraints and crises, this process have caused high costs and sometimes reduced access to electricity; As a result, it is essential to use elements and passive methods, especially in warm climates where more electricity is consumed. One of the most important elements of Iran's traditional architecture is wind tower which is still functional due to its simplicity of operation and use of wind energy. In recent years, the use of new building technologies, such as Phase Change Materials, has also led to the revival of passive methods and significant energy savings. Therefore, the present study has attempted to use this material in the wind tower to improve its performance in passive cooling.

Methods This research was carried out in the form of modeling of airflow in the wind tower channel in Fluent Software and comparing the inlet and outlet temperature. In this regard, three models - fiberglass and two types of phase change with different melting constant temperatures as wall cover-were tested.

Findings Testing of the models showed that the cover of the phase change material was much more effective than the fiberglass cover (at least between 4.5°C until 5.5°C) in reducing the outlet temperature of the wind tower.

Conclusion This amount of cooling covers at least three months in warm season and some time of day in the warm and humid climate of Qeshm and will play a reliable role in reducing electricity consumption.

Keywords Wind Tower; Phase Change Materials; Passive Cooling; Ventilation

CITATION LINKS

[1] Principles of passive cooling systems in vernacular architectural elements of Iran [2] Passive cooling by phase change materials in construction [3] educe energy consumption in buildings by storing energy in phase change materials [4] Usage of climatic potentials in green urban design [5] Application of traditional water structures as passive energy systems case: Shushtar Kats [6] Defining sustainability characteristics for residential buildings in hot and humid climate [7] Evaluating appropriate roof shape and efficiency of wind tower and wind scoop for natural ventilation in residential buildings of Chabahar [8] The effect of solar chimney on building ventilation in different climates of Iran [9] Combination of wind catcher and chimney for more energy efficient architectural buildings [10] Wind catcher: an attractive and charming feature of Yazd City [11] nvestigation of architecture of wind-towers plan on the environmental temperature reduction [12] Wind tower, symbol of Iranian architecture [13] Analysis on typology and architecture of wind catcher and find the best type [14] Analysis of louver typologies in vernacular housing of Laft Port City [15] Architecture, cooling performance and seismic behaviour of wind towers [16] Comparative evaluation of airflow in two kinds of Yazdi and Kermani wind towers [17] Numerical modeling and experimental study of air flow in the Yazdi wind-towers [18] Evaluating the efficiency of YAZDI wind tower, an experimental study [19] Energy saving in building using phase change material [20] Typology of Loft Badgirs' (wind towers) based on Façade ornaments [21] Application of nanotechnology in thermal energy storage [22] A review on phase change materials integrated in building walls [23] Phase change humidity control material and its impact on building energy consumption [24] Study of phase change materials and its domestic application [25] Foundations of building physics 2: regulating environmental conditions

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.

نقش مواد تغییر فاز دهنده در بهبود و احیای عملکرد بادگیر؛ مطالعه موردی: اقلیم گرم و مرطوب

کاوه رستم‌پور* PhD
گروه معماری، دانشکده مهندسی، دانشگاه شهید چمران اهواز،اهواز، ایران
حسن حکمت MSc
گروه معماری، دانشکده مهندسی، دانشگاه شهید چمران اهواز،اهواز، ایران
مجتبی ذبیحی PhD
شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب، اهواز، ایران

چکیده

اهداف: در معماری سده اخیر ایران استفاده از روش‌های آسایش حرارتی ایستا فراموش شده و جای خود را به روش‌های پویا داده‌اند که در کنار محدودیت‌ها و بحران‌های زیست‌محیطی، هزینه‌های گزاف و بعضاً کاهش دسترسی به انرژی الکتریکی را موجب شده است؛ در نتیجه لزوم استفاده از عناصر و روش‌های ایستا به‌ویژه در اقلیم‌های گرم که انرژی الکتریکی بیشتری مصرف می‌شود ضروری می‌نماید. یکی از مهم‌ترین عناصر معماری سنتی ایران بادگیر است که به سبب سادگی عملکردی و استفاده از انرژی باد همچنان دارای قابلیت کارکردی است. همچنین در سالیان اخیر به‌کارگیری فناوری‌های نوین در ساختمان، همچون مواد تغییر فاز دهنده، باعث احیای روش‌های ایستا و صرفه‌جویی قابل ملاحظه در مصرف انرژی شده‌اند. لذا پژوهش حاضر تلاش نموده است تا با کاربرد این مواد در ساختار بادگیر به بهبود عملکردی آن در ایجاد سرمایش ایستا کمک نماید.

روش‌ها: پژوهش توسط مدل‌سازی جریان هوا در کانال بادگیر در نرم‌افزار فلوئنت و مقایسه دمای ورودی و خروجی آن انجام گرفته است. در این راستا سه مدل- فایبرگلاس و دو نوع مواد تغییر فاز دهنده با دمای پافشاری متفاوت به‌عنوان پوشش دیواره بادگیر- آزموده شد.

یافته‌ها: آزمون مدل‌ها نشان داد که پوشش مواد تغییر فاز دهنده بسیار بیشتر از پوشش فایبرگلاس (حداقل بین ۴/۵°C تا ۵/۵°C) در کاهش دمای خروجی بادگیر موثر بوده‌اند.

نتیجه‌گیری: این میزان از سرمایش، حداقل سه ماه از فصل گرما و مدتی از شبانه‌روز در اقلیم گرم و مرطوب قشم را پوشش می‌دهد و نقش زیادی در کاهش مصرف برق ایفا خواهد نمود.

کلیدواژه‌ها: بادگیر، مواد تغییر فاز دهنده، سرمایش ایستا، تهویه

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۲۹
*نویسنده مسئول: k.rostampour@ scu.ac.ir

مقدمه

استفاده از روش‌های ایستا (Passive) در آسایش حرارتی ابنیه، ضمن همساز نمودن معماری سنتی ایران با شرایط اقلیمی، باعث شکل‌گیری فرم‌ها و الگوهای هویت‌بخش این معماری نیز شده است. در حالی که در سده گذشته اتکا به روش‌های پویای (Active) حرارتی در کنار عواملی چون افزایش جمعیت، محدودیت منابع طبیعی، بحران‌های زیست‌محیطی چون خشکسالی- که موجب محدودیت در تولید انرژی الکتریکی برقابی به‌ویژه در اقلیم‌های گرم می‌شود- هزینه‌های گزافی را به کشور وارد نموده یا بعضاً به فقدان دسترسی به انرژی ختم شده است؛ این امر لزوم بازنگری در روش‌های آسایش حرارتی مبتنی بر روش‌های ایستا و انرژی‌های تجدیدپذیر را ضروری نموده است. مواردی از جمله ضوابط معاصر ساخت و ساز شهری، ارزش زمین و استفاده حداکثری از آن، تغییر سلیقه مردم حتی در روستاها و گرایش به سبک بناهای شهری و غیره نیز استفاده از بسیاری عناصر و روش‌های اقلیمی را غیرممکن یا دشوار ساخته و کاربرد برخی از آنها را در حد شکلی و غیرعملکردی تقلیل داده است. با این حال برخی از این عناصر همچون بادگیر به سبب سادگی عملکردی و نیز استفاده از انرژی پاک، تجدیدشونده، در دسترس و ارزان باد، همچنان قابلیت کارکردی خود را حفظ نموده و می‌تواند با بهبود عملکرد در ساخت و ساز امروزین نیز استفاده شود. با این حال متاسفانه این عنصر زیبا که شناسه معماری بسیاری از مناطق گرم و مرطوب کشور است در حال فراموشی است. از سوی دیگر در سالیان اخیر به مدد فناوری‌های نوین تا حدود زیادی کاهش مصرف انرژی و به‌کارگیری بسیاری از روش‌های ایستا در آسایش حرارتی ممکن شده است. یکی از این موارد، استفاده از مواد تغییر فاز دهنده یا Phase Change Materials (PCM) در صنعت ساختمان است که به ایجاد و حفظ سرمایش و گرمایش، کمک شایانی می‌نماید. مواد تغییر فاز دهنده، موادی هستند که مازاد انرژی حرارتی محیط اطراف خود را در زمان عدم نیاز بر پایه گرمای نهان ذوب (Latent heat of fusion) و انجماد (Latent heat of solidification) در خود ذخیره می‌کنند و در زمان نیاز، دوباره به محیط باز می‌گردانند و با این کار به‌طور کاملاً هوشمند محیط اطراف خود را مجبور می‌کنند که در درجه حرارت معینی، موسوم به دمای پافشاری (Constant Temperature) باقی بماند. از این مواد تاکنون به‌صورت استفاده در دیوارها، بخش‌هایی از ساختمان همچون سقف و کف و در نهایت در مخازن گرم و سرد مجزا برای سرمایش و گرمایش در ساختمان استفاده شده است. لذا پژوهش حاضر در تلاش است تا با استفاده از مواد تغییر فاز دهنده در ساختار بادگیر به بهبود عملکردی آن در ایجاد سرمایش ایستا کمک نماید؛ چرا که بیشتر مطالعات انجام‌شده روی بادگیر جنبه کالبدی و زیبایی‌شناسی داشته‌اند. به نظر می‌رسد عبور جریان هوا از روی مواد تغییر فاز دهنده در طول کانال بادگیر در زمانی که جهت حرکت هوا از بالا به پایین باشد باعث کاهش چشمگیر دما در خروجی کانال شود. دیواره‌های بادگیر بهترین مکان برای به‌کارگیری این مواد هستند. در صورت تایید این فرضیه می‌توان استفاده از آن را در بسیاری از مناطق گرم و مرطوب کشور در برخی از اوقات سال احیاء و به صرفه‌جویی قابل توجه در مصرف انرژی الکتریکی کمک نمود. همچنین با توسعه و تکمیل آن، می‌تواند در سایر مناطق کشور نیز مورد استفاده وسیع‌تر قرار گیرد. به‌منظور حصول هدف پژوهش پاسخ به سئوالات زیر ضروری می‌نماید:

- بادگیرها چگونه در مناطق گرم و مرطوب به‌وسیله سرمایش ایستا به آسایش حرارتی کمک می‌نمایند؟
- مواد تغییر فاز دهنده چگونه در حفظ سرمایش یا گرمایش در ساختمان عمل می‌نمایند؟

- چگونه و به چه مقدار می‌توان با استفاده از مواد تغییر فاز دهنده به بهبود عملکرد بادگیر در سرمایش ایستا کمک نمود؟

پیشینه پژوهش

الف- عملکرد بادگیر در آسایش حرارتی: به‌طور کلی روش‌های ایجاد آسایش حرارتی بر مبنای نوع انرژی استفاده‌شده به دو دسته پویا و ایستا تقسیم می‌شود. *وکیلی‌نژاد* و همکاران[1] آن را به چهار گروه فوق پویا، پویا، ایستا و فوق ایستا دسته‌بندی نمودند که قسمت عمده روش‌های پویا و کلیه انرژی در روش‌های فوق پویا را انرژی تجدیدناپذیر تشکیل می‌دهد (جدول ۱) و حدود ۴۰% از برق مصرفی در ساختمان‌های مبتنی بر این روش‌ها صرف تجهیزات پویا می‌شود[2].

جدول ۱) روش‌های ایجاد آسایش حرارتی[1]

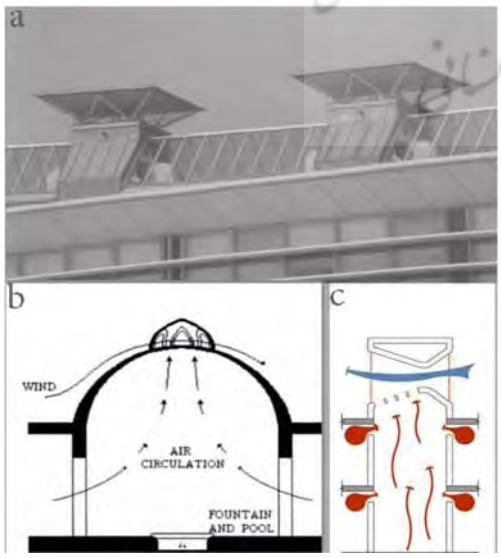
روش ایجاد آسایش	منابع انرژی مورد استفاده		نمونه	نقش معمار
	تامین انرژی	انتقال انرژی		
فوق پویا	انرژی تجدیدناپذیر		شوفاژ؛ فن‌کویل و کولر آبی	جانمایی تجهیزات و مسیر عبور اجزای سامانه
پویا	قسمت عمده انرژی تجدیدناپذیر	مقدار کمی انرژی تجدیدپذیر	کلکتورهای آب گرم خورشیدی، سیستم‌های فتوولتاییک	جانمایی هماهنگ سامانه و الحاق آن به کالبد بنا
ایستا	قسمت عمده انرژی تجدیدپذیر	مقدار کمی انرژی تجدیدناپذیر	دیوار ترومب، بام آبی، فضای گلخانه‌ای	طراحی هماهنگ سامانه و عناصر معماری بنا
فوق ایستا	انرژی تجدیدپذیر		جهت‌گیری، تناسبات، فرم، اندازه پنجره	نقش ویژه در ویژگی‌ها و راهکارهای معماری

در سرزمین ایران که بخش گسترده آن در اقلیم گرم قرار گرفته است نیاز به سرمایش فضا همواره اهمیت بسیاری داشته و از مهم‌ترین اهداف معماران شده است؛ نگاهی کوتاه به عناصر و الگوهای اقلیمی معماری گذشته ایران موید این امر است. در گذشته مردم از تجاربی که طی سال‌ها به دست آورده بودند برای دستیابی به شرایط زندگی مناسب با استفاده از منابع طبیعی و بدون استفاده از روش‌های مکانیکی استفاده می‌کردند[3]. لذا تا پیش از قرن حاضر- که انرژی الکتریکی به تامین سرمایش پویا و همه‌گیرشدن آن کمک نماید- روش‌های سرمایش در ایران بر مبنای سرمایش تمام ایستا و بعضاً ویژگی‌های خاص هر منطقه[4, 5] بوده است. از عناصر مهم اجرای این روش‌ها می‌توان بادخان، خیشخان، شناشیل، بادگیر، ساباط، شبستان، شوادان، حیاط مرکزی، گودال‌باغچه و غیره را نام برد که هر کدام از یک یا ترکیبی از چند روش سرمایشی و به‌عنوان مکمل عواملی چون جهت‌گیری بنا در اقلیم‌های گرم[6] استفاده می‌نموده است. عمده‌ترین این روش‌ها شامل سرمایش از طریق تهویه، سرمایش تبخیری، سرمایش تابشی و سرمایش با اثر جرم و سرمایش از طریق رطوبت‌زدایی است[1] (شکل ۱)[7].

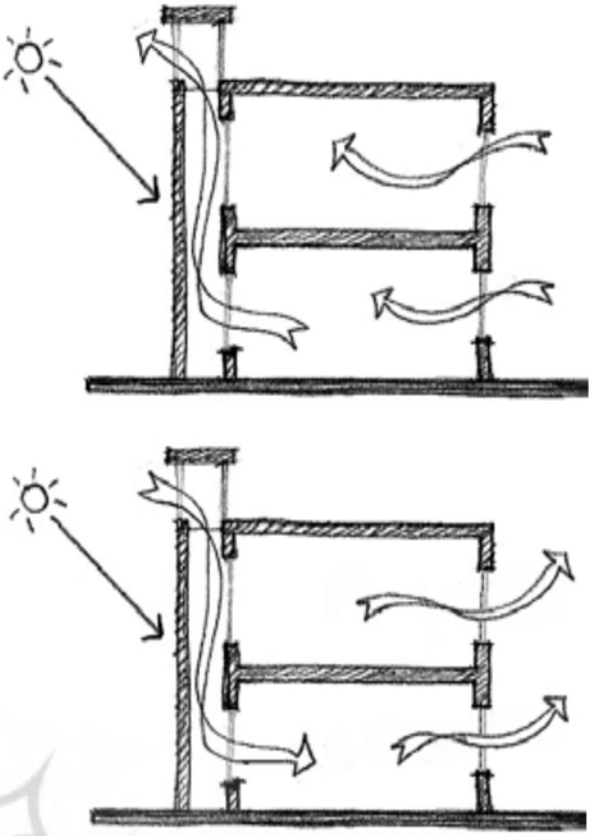
تهویه ساده‌ترین و سریع‌ترین روش سرمایشی است و "به عمل جانشین‌کردن یا جابه‌جاکردن هوا در یک فضا گفته می‌شود که به‌منظور تامین هوای تازه، خارج‌کردن هوای گرم و مرطوب و خنک‌کردن فضا و تامین آسایش حرارتی انسان انجام می‌شود"[7] و محدوده آسایش انسان را تا حد زیادی بالا می‌برد. در کاربردهای ایستا، عمل جابه‌جایی هوا یا به‌وسیله اثر دودکش (مبتنی بر حرکت هوای گرم به سمت بالا و ورود هوای سرد از پایین به‌جای آن) در دودکش‌های خورشیدی[8, 9] یا از طریق کوران هوا[7] و در سامانه‌های ترکیبی از پنکه برای کمک به جریان هوا استفاده و بدین شکل با ترکیبی از جابه‌جایی و تبخیر، سبب ایجاد سرمایش می‌شود.

این روش شامل تهویه با نیروی باد، تهویه با اثر دودکشی، کلاهک تهویه باد و روش بام دوجداره است[1].

یکی از مهم‌ترین عناصر سرمایش ایستا در معماری ایران بادگیر بوده که تهویه مطبوع را با استفاده از انرژی تجدیدپذیر باد فراهم آورده و در ضمن، یک عنصر معمارانه است که با رویکرد اقلیمی در معماری بومی مناطق گرم و خشک و گرم و مرطوب ایران احداث می‌شده است[10]. البته به‌جز در ایران در کشورهای مصر، پاکستان، افغانستان، عراق و امارات متحده عربی بادگیر دیده شده است که ساختار طراحی آن در جاهای مختلف فرق داشته و از تنوع بی‌شماری برخوردار بوده است. در سالیان اخیر پژوهش‌های فراوانی روی بادگیرها انجام شده که می‌توان آنها را در دو دسته کالبدی و عملکردی تقسیم نمود و در برخی پژوهش‌ها هر دو مورد در کنار هم دیده می‌شوند (شکل ۲)[1].



شکل ۱) بادخان و عملکرد سنتی و کاربردهای مدرن آن[7]



شکل ۲) نحوه تهویه در بادگیر[1]

مطالعات کالبدی که بخش عمده‌ای را به خود اختصاص داده‌اند روی تناسبات، تزئینات، هندسه پلان، سیما و منظر، ایستایی و غیره تمرکز نموده‌اند[10-15]. مطالعات عملکردی بادگیر در پژوهش *حجازی* و همکاران[15] به‌طور کامل تشریح شده‌اند. برخی از این مطالعات به‌دلیل ماهیت مکانیکی کارکرد بادگیر توسط دانشجویان مکانیک و بخش دیگر در راستای بهبود عملکردی آن توسط معماران انجام شده است. برخی مطالعات عملکردی نیز همراه یا مبتنی بر مطالعات کالبدی بادگیر صورت گرفته است[8, 10, 12, 16-18]. همچنین موضوع بادگیر به‌عنوان بخشی از مطالعات روی سامانه‌های سرمایشی در معماری ایران نیز مطرح است[1, 6].

کارکرد اصلی بادگیرها هدایت هوای بیرون به داخل ساختمان، خنک‌کردن نسبی و برقراری جریان طبیعی هوا در محل سکونت مردم در شهرها و نقاط مختلف بوده است[13]. این کارکرد یا با هدایت باد از بیرون به داخل یا با جریان معکوس (اثر دودکشی) انجام می‌شود (شکل ۲). در رأس بادگیر منافذی وجود دارد که عموماً عمود بر جهت وزش باد غالب ساخته می‌شوند. وقتی بادگیر در مسیر باد قرار می‌گیرد منافذ رو به باد تحت فشار مثبت قرار می‌گیرند و بالعکس، در منافذ پشت به باد فشار منفی ایجاد می‌شود. تهویه طبیعی بادگیرها هنگامی که سرعت باد چندان قابل توجه نیست براساس خاصیت دودکشی صورت می‌گیرد؛ در این حالت کل بادگیر به‌صورت یک دودکش عمل می‌کند.

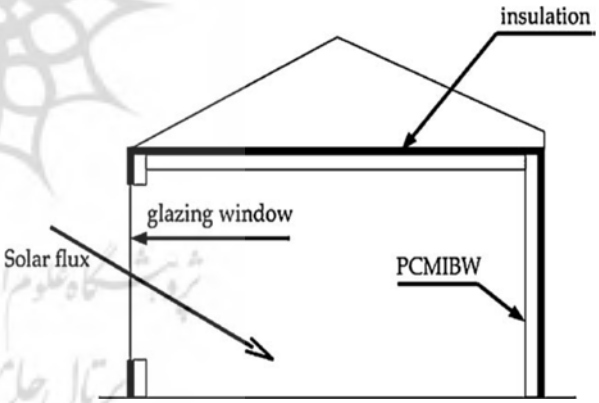
در نقاط گرم و خشک با عبور این جریان از روی آب، سرمایش تبخیری نیز به‌همراه تهویه عمل می‌نمود که این روش در مناطق گرم و مرطوب کارآیی چندانی ندارد. شهرهای این اقلیم به موازات خط ساحلی شکل گرفته‌اند و وجود دریا عامل بسیار مهمی در جهت‌گیری بادگیرهای این منطقه است. بهره‌گیری از نسیم دریا و خشکی، که در روز از سمت دریا به خشکی و در شب از خشکی به دریا وزیدن دارد، عامل اصلی جهت‌گیری بادگیرها به سمت ساحل بوده است و بادگیرها بدین جهت چهارطرفه ساخته شده‌اند تا علاوه بر نسیم ساحل و دریا از بادهای جهات دیگر نیز استفاده می‌نمایند. بادگیرها از باد کوش که در صبح از سمت شرق وزیدن دارد و باد قبله و باد بحری در هنگام ظهر و همچنین باد مطلوبی که از شمال در شب می‌وزد بهره می‌برند[12].

همه موارد مذکور به تهویه در حالت کاملاً طبیعی با استفاده از فرم و مصالح به‌کاررفته در بادگیر باز می‌گردد. در حالی که پژوهش‌هایی به‌منظور کاهش بیشتر دما و بهبود عملکرد بادگیر انجام گرفته است. به‌عنوان مثال "دو طرح اصلاح‌شده برای بادگیرها، یکی پرده‌های مرطوب آویزان داخل بادگیر و دیگری سطوح مرطوب، توسط *بهادری‌نژاد* و همکاران مورد آزمایش قرار گرفت"[14]. البته این طرح‌ها نیز تنها جایگاه آب را در سرمایش تبخیری بادگیر جابه‌جا نموده‌اند. در حالی که پژوهش حاضر سعی می‌نماید از قابلیت مواد تغییر فاز دهنده در کاهش دما و حفظ آن در بهبود عملکرد بادگیر استفاده نماید.

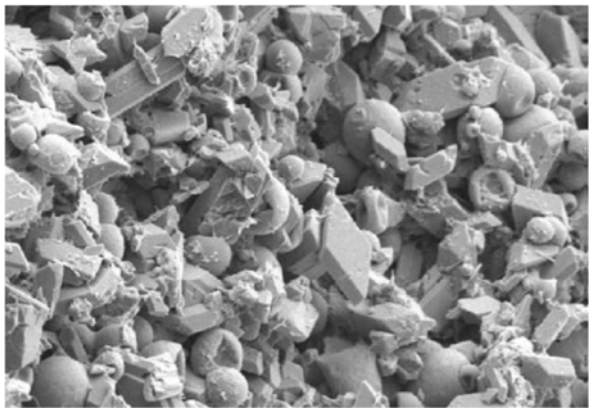
ب- مواد تغییر فاز دهنده در ساختمان: مواد تغییر فاز دهنده، موادی هستند که مازاد انرژی حرارتی محیط اطراف خود را در زمان عدم نیاز بر پایه گرمای نهان ذوب و انجماد در خود ذخیره می‌کنند و در زمان نیاز، دوباره به محیط باز می‌گردانند و با این کار به‌طور کاملاً هوشمند محیط اطراف خود را مجبور می‌کنند که در درجه حرارت معینی موسوم به دمای پافشاری باقی بماند (شکل ۳). میزان ذخیره این مواد ۵ الی ١٤ برابر انرژی است که موادی مانند آب یا سنگ می‌توانند به‌صورت محسوس در خود ذخیره نمایند[3]. روش کار این مواد برای ذخیره انرژی گرمایی به این شکل است که طی فرآیند گرم‌شدن محیط، به‌صورت موازی با محیط گرم می‌شوند تا زمانی که به دمای ذوب خود (تغییر فاز) برسند. پس از رسیدن به این دما با وجود آن که دمای محیط همچنان به روند افزایشی خود ادامه می‌دهد، دمای این مواد و البته محیط اطراف آن به‌دلیل آن که در حال تغییر فاز است ثابت مانده و در برابر افزایش مقاومت می‌نماید. در واقع طی این بازه زمانی که معمولاً چند ساعت نیز به طول می‌انجامد، ماده تغییر فاز دهنده مقادیر زیادی از گرمای محیط را به خود جذب می‌نماید ولی آن را صرف افزایش دمای خود نمی‌کند؛ بلکه گرمای جذب‌شده را صرف تغییر فاز خود از جامد به مایع نموده و طی این فرآیند دمای خود و محیط خود را ثابت نگه می‌دارد[19]. مواد تغییر فاز دهنده را براساس دمای تغییر فاز به سه دسته مهم مواد آلی، هیدرات نمک‌ها (Hydrated salts) و یوتکتیک‌ها

(Eutectic composition) می‌توان تقسیم نمود[20]. استفاده از ذرات نانو در این مواد باعث افزایش نرخ انتقال حرارت و هدایت گرمایی در این مواد شده و کاربرد گسترده آن را در حوزه‌های ذخیره‌سازی انرژی تضمین می‌کند. به‌تازگی نمونه جدیدی از این مواد با نام اختصاری PCHCM (Phase Change Humidity Control Material) مورد آزمایش قرار گرفته که علاوه بر دما، رطوبت را نیز به‌طور همزمان کنترل می‌نماید[21] (شکل ۳)[22].

امروزه این مواد کاربرد وسیعی در حفاظت در برابر آتش، ذخیره انرژی توسط سیستم‌های خورشیدی، گرم‌کننده دست در زمستان، البسه ورزشی، لوازم خواب، عایق شفاف در شیشه پنجره‌ها، آبگرمکن خورشیدی، حمل و نقل و نگهداری محصولات غذایی سرد و گرم، روکش صندلی و روکش داخلی سقف خودروها، ماهواره‌ها، گلخانه‌ها، جلیقه‌های خنک‌کننده و غیره دارند. از سال ۱۹۸۰ میلادی استفاده آنها در ساختمان مورد توجه قرار گرفت[23] که با روش‌های مختلف در دیوارها، سقف و کف، مخازن سرد و گرم و دیوار ترومب به کار گرفته می‌شوند؛ استفاده در دیوارها یکی از معمول‌ترین آنها است که در سال‌های اخیر مطالعات در این زمینه رو به افزایش بوده است[24] (شکل ۳). این مواد در بازار به سه صورت میکروکپسول‌های حاوی این مواد، پاکت‌های پلاستیکی و پانل‌های سخت‌شده از پلی‌اتیلن با چگالی بالا وجود دارند[19]. میکروکپسول‌ها به‌صورت اشباع‌شده در گچ یا بتن در دیوارهای بنا به کار می‌روند (شکل ۴)[22].



شکل ۳) کاربرد و عملکرد مواد تغییر فاز دهنده دیواری[22]



شکل ۴) تصویر میکروسکوپی از دیوار بتنی با میکروکپسول‌های PCM [22]

روش پژوهش

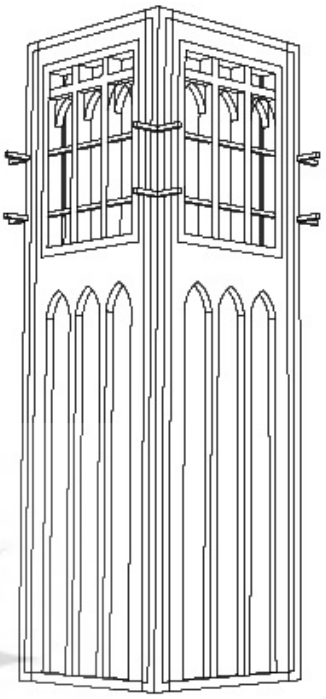
فرآیند هر پژوهش علمی دارای انتخاب‌هایی در سه سطح سامانه جست‌وجو (الگوواره یا پارادایم پژوهش)، راهبرد (روش و طرح پژوهش) و تدابیر (ابزار و فنون) است. الگوواره حاکم بر این پژوهش، کمّی و از دسته آزمایشی است که با روش مدل‌سازی انجام گرفته و از نرم‌افزار فلوئنت (Fluent) به‌عنوان ابزار شبیه‌سازی مدل‌های آزمایش موضوع پژوهش استفاده شده است. فلوئنت، نرم‌افزار مهندسی به کمک رایانه در زمینه دینامیک سیالات محاسباتی، برای مدل‌کردن جریان سیال و انتقال حرارت در هندسه‌های پیچیده است. به‌طور کلی میزان تغییر دمای هوا در ابتدا و انتهای یک کانال بادگیر عمودی که با مواد تغییر فاز دهنده پوشیده شده است مورد آزمایش قرار خواهد گرفت. در این آزمایش متغیرهای مستقل زیادی همچون دمای دهانه ورودی، ارتفاع کانال، عرض کانال، تعداد اضلاع کانال، شکل تیغه‌بندی درون کانال، نوع مواد پوشش‌دهنده دیواره‌های کانال و سرعت جریان هوا می‌توانند در نتیجه آزمایش نقش داشته باشند. لذا در ادامه به نحوه انتخاب هر یک از متغیرهای مستقل مهم در این آزمایش پرداخته خواهد شد.

الف- اقلیم منطقه: عملکرد بادگیر برای مناطق گرم و مرطوب بررسی می‌شود. لذا در این پژوهش به‌صورت موردی آب و هوای جزیره قشم به‌عنوان ملاک قرار داده شده است؛ چرا که از یک سو بندر تاریخی لافت به‌عنوان یکی از اماکن پرکاربرد بادگیر و مطالعه روی آن در این جزیره قرار دارد و می‌توان بسیاری از اطلاعات پایه را از آن برداشت نمود و از سوی دیگر این جزیره به‌عنوان مکان گردشگری در سال‌های اخیر به‌سرعت در حال توسعه بوده است که می‌تواند به‌عنوان آزمایش نمونه‌های اجرایی بادگیر اصلاح‌شده در فضاهای اقامتی مورد استفاده قرار گیرد.

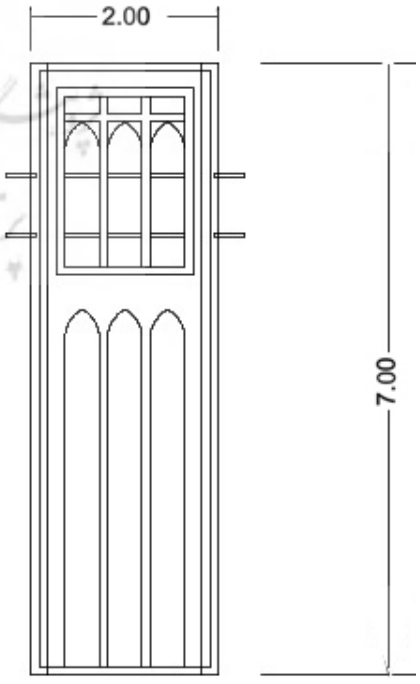
ب- دمای هوای ورودی: با توجه به آن که اقلیم جزیره قشم مبنای مطالعه است، با بررسی داده‌های آب و هوایی این جزیره، بیشینه دمای خشک تابستانی در حدود ۴۰°C به‌عنوان دمای نزدیک به حداکثر در گرم‌ترین روزهای سال[25] در نظر گرفته شده تا عملکرد بادگیر در بدترین شرایط آب و هوایی سنجیده شود.

ج- هندسه افقی و عمودی کانال: در این بخش چهار عامل ارتفاع، ابعاد افقی، تعداد اضلاع و تیغه‌بندی داخلی بادگیر انتخاب می‌شوند. با توجه به پایین‌بودن نسیم خنک دریا، ارتفاع بادگیرها در اقلیم گرم و مرطوب بین ۵/۸۵متر و ۱۲/۴۳متر بوده که البته ارتفاع موثر ستون بادگیر حدوداً بین ۳متر تا ۱۰متر در نظر گرفته می‌شده است. بنابراین متوسط ارتفاع موثر ستون بادگیر حدود ۷متر است که در این مدل به‌عنوان ارتفاع کانال لحاظ شده‌است (شکل‌های ۵ و ۶). با توجه به این که فرم غالب بادگیرهای لافت مربع است[13]، در اینجا نیز مقطع افقی کانال به‌صورت مربع و ابعاد آن با توجه به ابعاد حداقل بادگیرهای لافت، ۲×۲متر است[13] (شکل ۷). اندازه حداقل از این جهت انتخاب شده است که طبق اثر برنولی، عبور هوا از مسیرهای باریک‌تر باعث افزایش سرعت جریان هوا می‌شود؛ لذا سعی شده تا ابعاد کوچک‌تری برای کانال تعبیه شود.

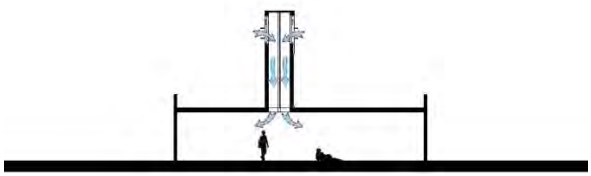
از آنجا که اکثر بادگیرهای این منطقه به‌صورت چهارطرفه عمل می‌نمایند تیغه‌بندی داخلی آنها به‌صورت ضربدری است. به همین جهت مقطع این کانال نیز به‌صورت ضربدری به چهار قسمت تقسیم شده تا ضمن رعایت الگوی غالب منطقه، کانال را برای تسریع حرکت باد به بخش‌های کوچک‌تری تقسیم نماید (شکل ۸). در مدل‌سازی نیز یکی از این مقاطع مثلثی مورد آزمایش واقع شده است.



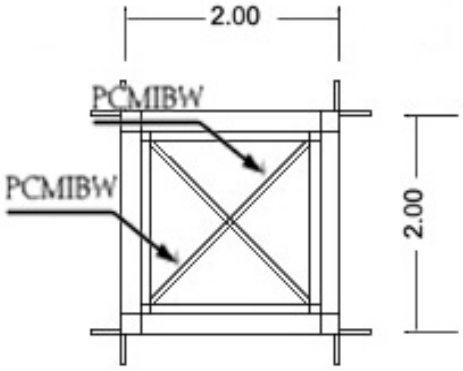
شکل ۵) ابعاد و نمونه بادگیر مدل‌شده در فرآیند آزمایش



شکل ۶) ابعاد و نمای بادگیر مدل‌شده در فرآیند آزمایش



شکل ۷) برش ارتفاعی بادگیر مدل‌شده در فرآیند آزمایش



شکل ۸) برش عرضی بادگیر چهارطرفه مدل‌شده و استفاده از مواد تغییر فاز دهنده در تیغه‌های متقاطع در ساختار بادگیر

د- سرعت جریان باد: از آنجا که تهویه هواکشی تنها زمانی موثر است که سرعت باد بیش از ۲/۵متر بر ثانیه باشد، لذا سرعت حرکت باد در این مدل نیز به همین مقدار لحاظ می‌شود. این جریان را می‌توان به‌وسیله فن‌های الکتریکی نیز به‌صورت دائمی ایجاد نمود.

ه- نوع مواد استفاده‌شده: به‌منظور آزمایش از یک نوع ماده ثابت به‌عنوان ملاک و دو نوع ماده تغییر فاز دهنده با دمای پافشاری متفاوت برای مقایسه استفاده شده است. لذا آزمایش روی سه مدل با مشخصات ثابت مورد اشاره در بالا و مواد پوشش دهنده کانال به‌وسیله فایبرگلاس، مواد تغییر فاز دهنده با دمای پافشاری ۲۱°C (PCM1) و دیگری مواد با دمای پافشاری ۲٤°C (PCM2) به‌صورت پانل با ضخامت یک‌سانتی‌متر اجرا شده روی جداره داخلی بادگیر انجام گرفته است.

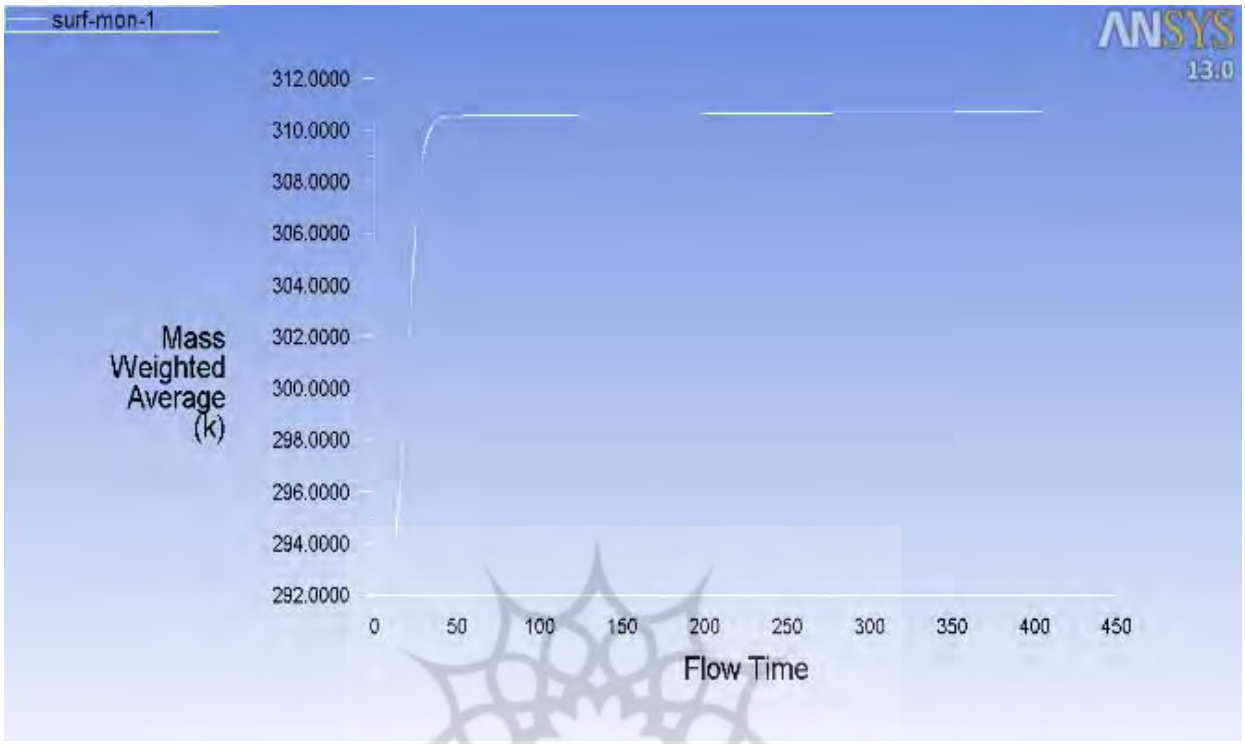
یافته‌های پژوهش

در این بخش نتایج آزمایش انجام‌شده روی سه مدل انتخابی ارایه و با هم مقایسه خواهد شد.

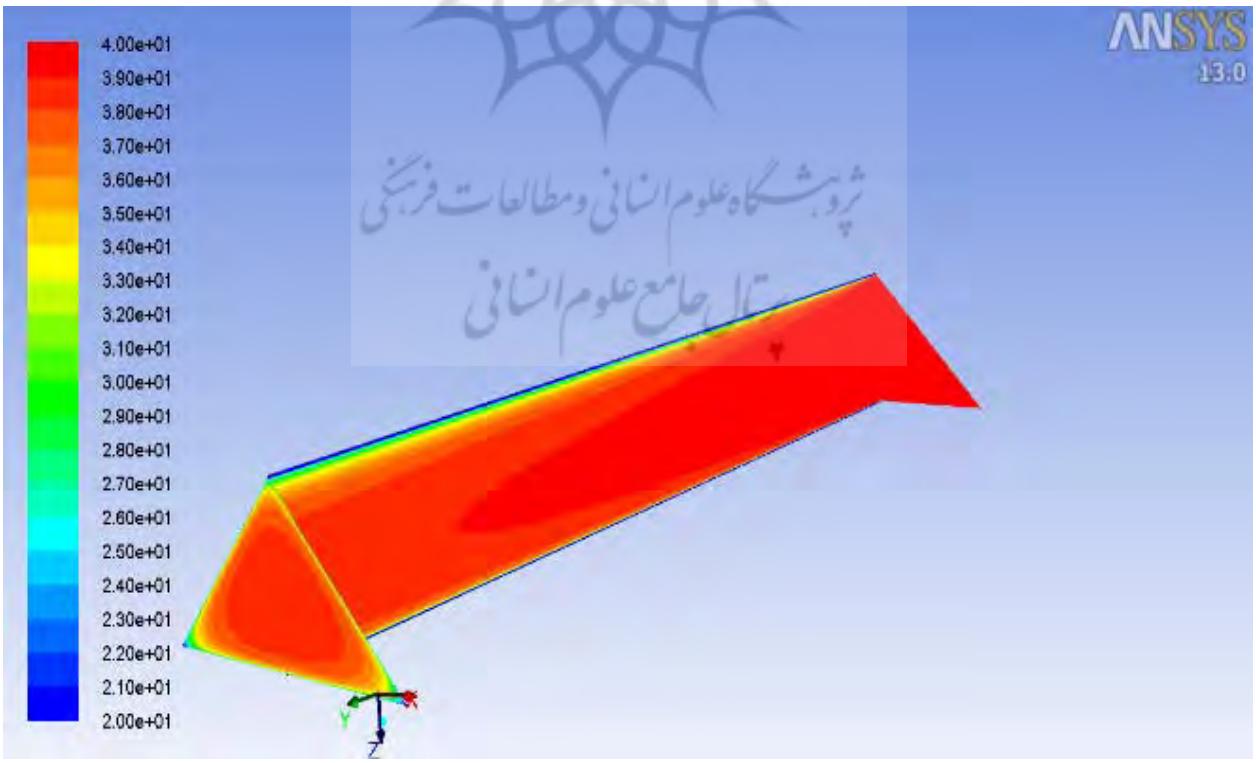
الف- مدل ۱ (دیواره با جنس فایبرگلاس): با انجام آزمایش، دمای خروجی کانال به ۳۱۰/۵ کلوین برابر با ۳۷/۵°C رسید. کانتورهای دمایی کانال نشان می‌دهد که از مرکز به سمت دیواره‌های کانال، دمای هوا روند کاهشی دارد (نمودارهای ۱ و ۲).

ب- مدل ۲ (دیواره پوشیده‌شده از مواد با دمای پافشاری ۲۱°C): دمای هوا در انتهای کانال در این آزمایش به ۳۰۷/۵ درجه کلوین برابر با ۳٤/۵°C رسیده و باز هم از مرکز به سمت دیواره‌ها روند کاهشی داشته که در بخش‌هایی از آن دمای حدود ۳۱°C نیز قابل مشاهده است. همچنین در مدت‌زمان ۱۲۰ ثانیه در حدود ۰/۰۰٤ از مواد تغییر فاز دهنده ذوب شده است (نمودارهای ۳ و ٤).

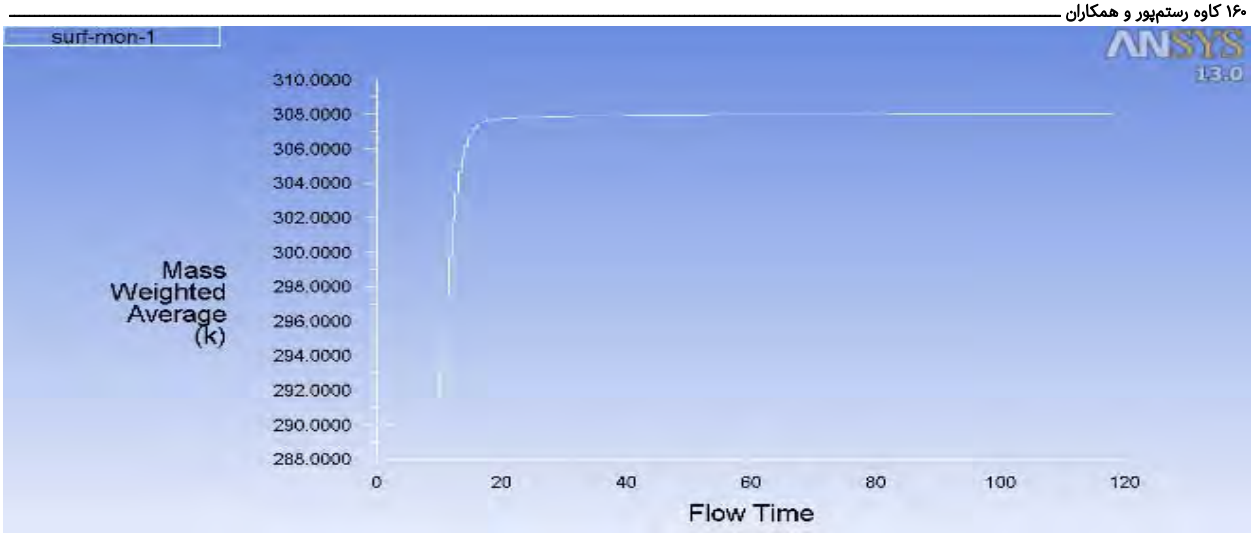
ج- مدل ۳ (دیواره پوشیده‌شده از مواد با دمای پافشاری ۲٤°C): در این مدل دما در انتهای کانال به ۳۰۸/۵ درجه کلوین برابر با ۳۵/۵°C رسیده و مطابق مدل‌های پیشین از مرکز به سمت جداره‌ها کاهش دما مشاهده می‌شود. میزان ذوب مواد در مدت‌زمان ۱۲۰ ثانیه معادل ۰/۰۰۳ بوده است (نمودارهای ۵ و ٦ و شکل ۷).



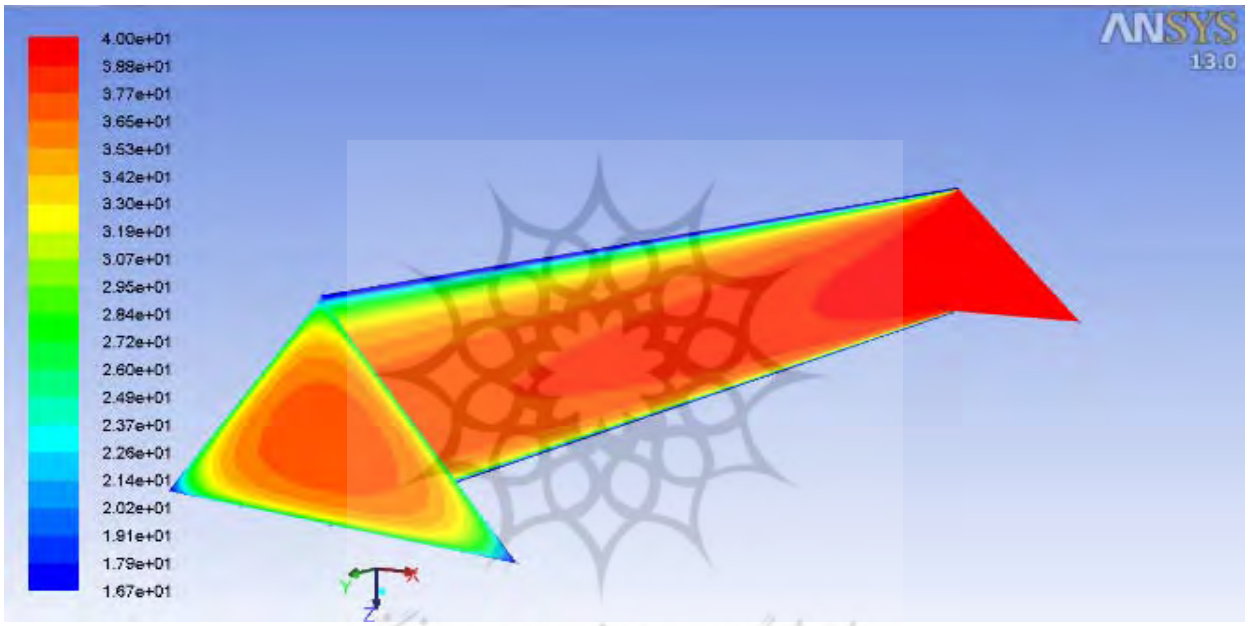
نمودار ۱) دمای میانگین وزنی جرم- زمان هوا در انتهای کانال برای فایبرگلاس



نمودار ۲) کانتورهای دمایی کانال برای فایبرگلاس

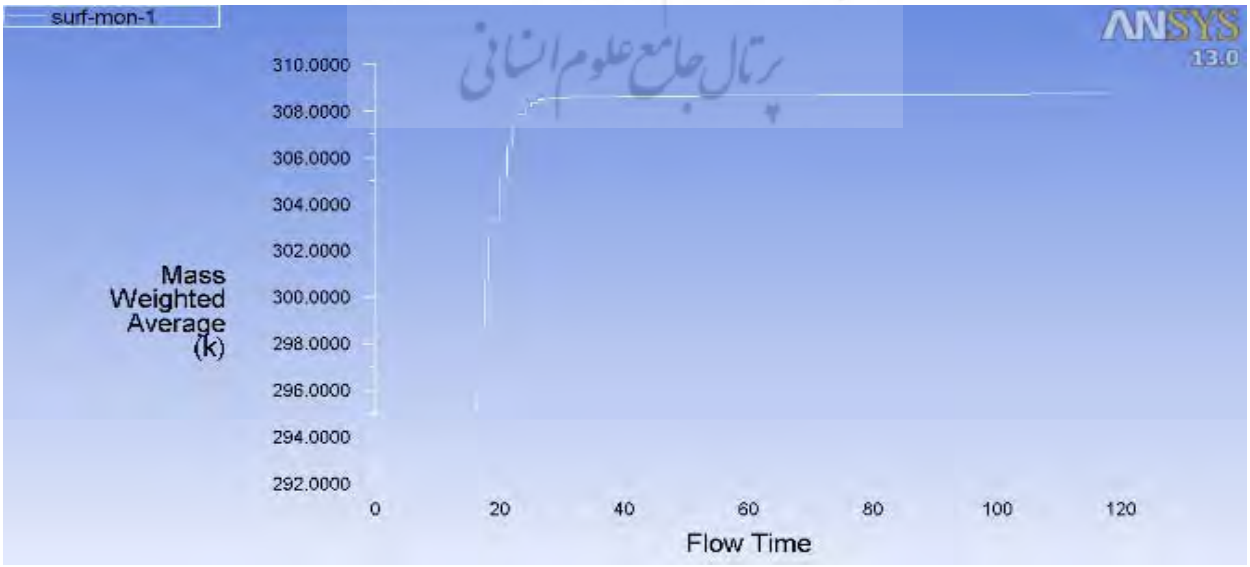


نمودار ۳) دمای میانگین وزنی جرم- زمان هوا در انتهای کانال برای PCM1

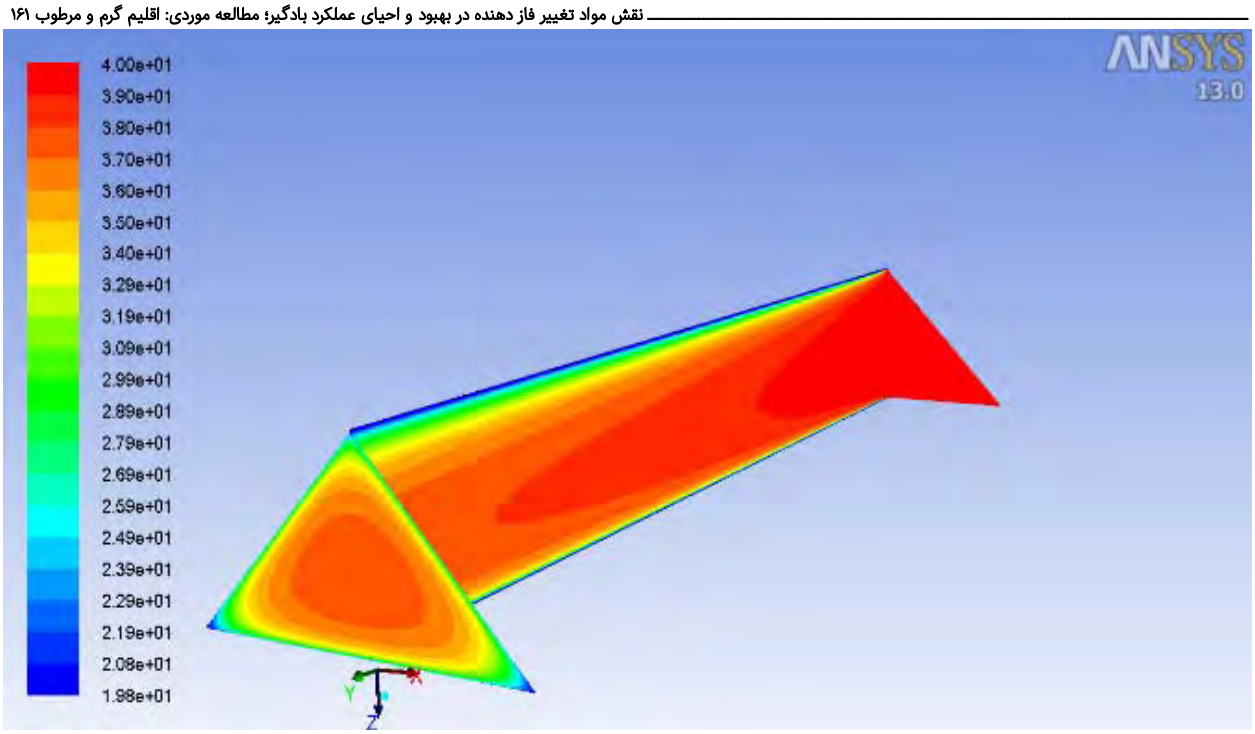


نمودار ٤) کانتورهای دمایی کانال برای PCM1

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



نمودار ۵) دمای میانگین وزنی جرم- زمان هوا در انتهای کانال برای PCM2



نمودار ٦) کانتورهای دمایی کانال برای PCM2

بحث و نتیجه‌گیری

بادگیر و عملکرد ساده آن نقش مهمی در تهویه و سرمایش ایستا داشته است که امروزه نیز می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. لذا هدف از پژوهش حاضر مداخله در ساختار بادگیر به‌منظور بهبود عملکرد آن توسط مواد تغییر فاز دهنده بوده است. در این راستا سه نوع بادگیر با مشخصات نسبتاً ثابت و با تغییر در مواد به‌کاررفته در دیواره‌های آن در نرم‌افزار فلوئنت مدل‌سازی شد؛ دو نوع مواد تغییر فاز دهنده با دمای پافشاری متفاوت و دیگری استفاده از فایبرگلاس به‌عنوان ماده‌ای با خاصیت ثابت برای مقایسه با مواد تغییر فاز دهنده. با توجه به این که میزان دمای خروجی کانال و تفاوت آن با دمای ورودی (۴۰°C) متغیر وابسته پژوهش بوده است، در ادامه به نتایج به‌دست‌آمده در سه مدل ارزیابی‌شده خواهیم پرداخت.

نمودار دما- زمان حاصل از مدل‌سازی توسط نرم‌افزار فلوئنت نشان می‌دهد دمای هوا پس از عبور از کانال و در تماس با فایبرگلاس از ۴۰°C به ۳۷/۵°C رسیده و ۲/۵°C کاهش داشته است. این میزان در مدل شماره ۲ (PCM با دمای پافشاری ۲۱°C) معادل ۵/۵°C و در مدل شماره ۳ (PCM با دمای پافشاری ۲۴°C) معادل ۴/۵°C بوده است. بررسی مقطع کانال‌ها در کانتورهای حاصله نشان می‌دهد با دورشدن از دیواره‌های کانال (پوشیده‌شده با فایبرگلاس) و نزدیک‌شدن به مرکز، دمای هوا به‌سرعت افزایش می‌یابد. کاهش دما بیشتر در لایه‌های هوای نزدیک به دیواره کانال دیده می‌شود. این افزایش دما در هر دو مدل دیگر نیز از دیواره‌ها به سمت مرکز به‌تدریج اتفاق می‌افتد و در مجاورت دیواره به حدود دمای پافشاری مواد تغییر فاز دهنده می‌رسد. در مرکز کانال که سرعت جریان هوا بیشتر و مدت‌زمان کمتری هوا با ماده در تماس است میزان کاهش دما کمتر و نزدیک دیواره‌ها که سرعت جریان هوا کمتر و مدت‌زمان بیشتری هوا با ماده در تماس است، میزان کاهش دما بیشتر است. براساس نمودار میانگین وزنی جرم- زمان، در مدت‌زمان ۱۲۰ ثانیه حدود ۰/۰۰٤ از مواد مدل ۲ ذوب شده است. با توجه به شیب نمودار می‌توان انتظار داشت طی حدود ۸ ساعت و ۲۰ دقیقه تمام ماده تغییر فاز دهنده به‌کاررفته در دیواره‌ها در تماس با هوای ٤۰°C ذوب شود.

از آنجایی که ٤۰°C حداکثر دمای هوا در اقلیم گرم و مرطوب است و دمای هوا در طول شبانه‌روز بعضاً کمتر از ٤۰°C است، حجم ماده به‌کاررفته در دیواره‌ها برای ایجاد سرمایش در طول شبانه‌روز کافی است تا آن که مجدداً با پایین‌آمدن دما در شب تبادلات گرمایی لازم انجام شود تا ماده به حالت اولیه باز گردد. در مدل ۳ در مدت‌زمان ۱۲۰ ثانیه حدود ۰/۰۰۳ از مواد ذوب شده است که می‌توان انتظار داشت طی حدود ۱۱ ساعت و ۵ دقیقه تمام ماده تغییر فاز دهنده به‌کاررفته در دیواره‌ها در تماس با هوای ٤۰°C ذوب شود. از این رو حجم این مواد نیز برای تبادل حرارت کافی به نظر می‌رسد.

با توجه به نتایج حاصل برای مدل ۲ و ۳ و بررسی داده‌های بیست‌ساله دمایی سازمان هواشناسی کشور و با توجه به این که تابستان اقلیم گرم و مرطوب از اسفندماه شروع و تا آخر ماه آبان فصل گرم محسوب می‌شود، می‌توان نتیجه گرفت که برای جزیره قشم سامانه پیشنهادی با شرایط مذکور، در زمانی که حداکثر دما کمتر از ۳٤°C باشد پاسخگوی نیازهای سرمایشی منطقه است. این میزان حداقل سه ماه از فصل گرما و مدتی از شبانه‌روز را به‌راحتی پوشش خواهد داد و نقش زیادی در کاهش مصرف برق ایفا خواهد نمود؛ لذا فرضیه پژوهش مورد تایید قرار می‌گیرد. همچنین در

مطالعات آینده می‌توان با تغییر سایر متغیرهای موثر به نتایج دیگری به‌منظور بهبود و اصلاح عملکرد سیستم دست یافت.

تشکر و قدردانی: موردی از سوی نویسندگان گزارش نشده است.

تاییدیه اخلاقی: این مقاله حاصل کار مشترک نویسندگان مقاله است.

تعارض منافع: نویسندگان اعلام می‌دارند هیچ گونه تعارض منافعی وجود ندارد.

سهم نویسندگان: کاوه رستم‌پور (نویسنده اول)، نگارنده مقاله/پژوهشگر اصلی (۵۰%)؛ حسن حکمت (نویسنده دوم)، نگارنده مقاله/پژوهشگر اصلی (۳۰%)؛ مجتبی ذبیحی (نویسنده سوم)، نگارنده مقاله/پژوهشگر کمکی (۲۰%)

منابع مالی: هزینه‌های مرتبط با این پژوهش بر عهده نویسندگان مقاله بوده است.

منابع

1- Vakilinezhad R, Mehdizadeh Seradj F, Mofidi Shemirani SM. Principles of passive cooling systems in vernacular architectural elements of Iran. Iranian Archit Urban. 2013;4(5):147-59. [Persian]

2- Muthuvel S, Saravanasankar S, Sudhakarapandian R, Muthukannan M. Passive cooling by phase change materials in construction. J Build Serv Eng Res Technol. 2015;36(4):411-21.

3- Haghshenas Kashani S. Reduce energy consumption in buildings by storing energy in phase change materials. In: Proceedings of the First International Conference on Heating, Cooling, and Air Conditioning; 2010 May 25-26; Building and Housing Research Center, Tehran, Iran. Civilica; 2010. [Persian]

4- Mahdavinejad M, Ghasempourabadi M, Mirzaei F, Asgari A. Usage of climatic potentials in green urban design(case: rearrangement of Shushtar touristic pathway).

5- Mahdavinejad M, Mirzaei F, Ghasempourabadi M. Application of traditional water structures as passive energy systems case: Shushtar Kats. Energy Environ Eng. 2013;1(3):111-7.

6- Attarian K, SafarAli Najar B. Defining sustainability characteristics for residential buildings in hot and humid climate (case study: triditional houses of Ahwaz). Naqshejahan. 2018;8(3):161-70. Persian]

7- Ahadi A, Alirezaei Vernosfaderani B. Evaluating appropriate roof shape and efficiency of wind tower and wind scoop for natural ventilation in residential buildings of Chabahar. J Housing Rural Environ. 2015;33(148):33-44. [Persian]

8- Saghafi MJ, Fakhari M. The effect of solar chimney on building ventilation in different climates of Iran. Naqshejahan. 2012;2(2):43-54. [Persian]

9- Mahdavinejad MJ, Khazforoosh S. Combination of wind catcher and chimney for more energy efficient architectural buildings. Sustain Energy. 2014;2(1):35-8.

10- Mahmoudi M. Wind catcher: an attractive and charming feature of Yazd City. Bagh- e Nazar. 2006;3(5):91-9. [Persian]

11- Mahmoudi M, Mofidi SM. Investigation of architecture of wind-towers plan on the environmental temperature reduction. J Environ Sci Technol. 2011;13(1):83-91. [Persian]

12- Mahmoudi M. Wind tower, symbol of Iranian architecture. 1st Edition. Tehran: Yazda Publication; 2010. [Persian]

13- Mahmoudi M, Mofidi SM. Analysis on typology and architecture of wind catcher and find the best type. Honar-haye Ziba. 2009;(36):27-36. [Persian]

14- Yari Boroujeni N, Marahemi S, Saedvandi M. Analysis of louver typologies in vernacular housing of Laft Port City. J Housing Rural Environ. 2017;36(157):37-52. [Persian]

15- Hejazi M, Hejazi B, Hejazi S. Architecture, cooling performance and seismic behaviour of wind towers. J Housing Rural Environ. 2017;36(157):21-34. [Persian]

16- Mahdavinejad MJ, Javanroudi K. Comparative evaluation of airflow in two kinds of Yazdi and Kermani wind towers. Honar-haye Ziba Memari-Va-Shahrsazi. 2011;3(4):69-80. [Persian]

17- Mahdavinejad MJ, Ghasempoorabadi M, Javanroudi K. Numerical modeling and experimental study of air flow in the Yazdi wind-towers. Int J Archit Urban Plann. 2013;23(1):17-22.

18- Mahdavinejad MJ, Javanroudi K, Ghasempoorabadi MH, Bemanian M. Evaluating the efficiency of YAZDI wind tower, an experimental study. Int J Archit Eng Urban Plann. 2013;23(1 and 2):17-22.

19- Arami H, Mokhtari M. Energy saving in building using phase change material. Iran J Energy. 2013;16(1):89-109. [Persian]

20- Morahemi S, Yari N, Saedvandi M. Typology of Loft Badgirs' (wind towers) based on Façade ornaments. J Housing Rural Environ. 2017;36(159):19-34. [Persian]

21- Sheikh Jaberi F, Shariati Niasar M. Application of nanotechnology in thermal energy storage. Iran Nanotechnol. 2011;10(4):16-19. [Persian]

22- Kuznik F, David D, Johannes K, Roux J. A review on phase change materials integrated in building walls. Renew Sustain Energy Rev. 2011;15(1):379-91.

23- Wu Z, Qin M, Zhang M. Phase change humidity control material and its impact on building energy consumption. J Energy Build. 2018;174:254-9.

24- Vadhera J, Sura A, Nandan G, Dwived G. Study of phase change materials and its domestic application. J Mater Today. 2018;5(2):3411-7.

25- Ghiabaklou Z. Foundations of building physics 2: regulating environmental conditions. Theran: Jahad-e Daneshgahi Press; 2012. [Persian]