



## Investigating the thermal comfort efficiency of a thrombus wall in certain conditions according to the geographical location

Mohammad Omidpanah<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Mechanical Engineering, Technical and Vocational University(TVU), Tehran, Iran

---

### ARTICLE INFO

**Article Type:**  
Original Research

---

**Received:** 09.17.2024  
**Revised:** 10.20.2024  
**Accepted:** 11.19.2024

---

**Keyword:**  
Trombe wall  
thermal comfort  
passive solar systems  
Yazd province

---

**\*Corresponding Author:**  
Mohammad Omidpanah  
**Email:** [Momidpanah@tvu.ac.ir](mailto:Momidpanah@tvu.ac.ir)

---

### ABSTRACT

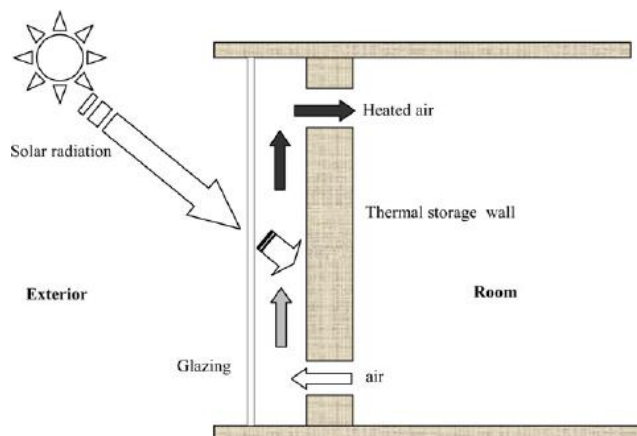
The Limitations on fossil fuel resources and air pollution are among the main human problems in today's society. Passive solar systems are one of the most effective ways to prevent air pollution and reduce fossil fuel consumption. In the present study, the thermal comfort of a south-facing thrombus wall was investigated in five locations in Yazd province, including Abarkooh, Bafgh, Meybod, Mehriz, and Yazd cities in the last three months of winter. The average energy received at earth surface, hours of sunshine, and average temperature were assessed at each study location by 3-hour synoptic data between 2015 and 2020. Followed by entering the information into the Fluent software using meteorological data and calculations performed by EES software, the energy received by Fluent was obtained in different radiations. Based on the findings, Meybod, Mehriz, Bafgh, Abarkooh, and Yazd had the best thermal comfort efficiencies, respectively. In all study areas, the ideal temperature for humans was obtained after performing the simulation.



**EXTENDED ABSTRACT**

**Introduction**

Trombe wall is a passive solar system that can be used in cold climates for static heating in the building. Also, with the ability to become a solar chimney, it has the ability to increase the natural ventilation rate and consequently reduce the temperature of the building. Therefore, it has a good ability to reduce thermal load and energy consumption in the building. The passive solar system is a system that forms parts of the external shell wall and is designed in such a way that a passive mechanism collects and stores the sun's energy in order to transfer it to the interior of the building at the right time. In buildings, there is an opportunity to preserve and survive potential energy. Because energy is needed for heating, cooling, air conditioning, etc., among which heating has a major contribution to energy consumption. By using the clean and renewable energy of the sun, it is possible to provide a large amount of the energy needed by the building for heating. In passive heating systems, a reserve of thermal energy is created in the walls and roofs of structures. The remarkable thing is the walls of the tank, which are arranged in such a way that the solar radiation passing through the glasses is absorbed on one side of these walls. By absorbing energy, the temperature of the walls increases and a time-dependent temperature gradient is created in the wall. The energy is wasted through the glass and is transferred to the room through the wall facing the room by radiation heat transfer and natural displacement. Some of these walls may have vents at the top and bottom. In this way, the cold air enters the wall through the lower vent and moves up as it heats up and decreases in density and enters the room through the upper vent, and this mechanism is repeated until the air in the room reaches the desired temperature. In figure (1) there is a view of Trombe wall.



**Figure 1: Trombe wall view**

### Methodology

In this research, first, the solar radiation outside the atmosphere was extracted in the study points, and then, using the solar radiation on the earth's surface, the fineness of the air was extracted, and finally, the solar radiation on the vertical and horizontal surfaces was obtained. Solar radiation outside the atmosphere is obtained by equation (1).

$$\bar{I}_o = \frac{24}{\pi} \cdot sc. \left[ 1 + 0.034 \cos \left( \frac{360 \cdot n}{365} \right) \right] (\cos L \cdot \cos \delta \cdot \sin H_{SR} + H_{SR} \sin L \cdot \sin \delta)$$

(1)

After calculating the radiations in the vertical and horizontal surfaces, the information can be entered into the Fluent software. In this research, a 3 × 3 room in 2D mode was simulated by Ansys Fluent 18.2 software, and networking was done by Gambit software. Networking is done linearly and includes 90861 networks. Solving the problem is based on pressure (Pressure Based) and the governing equations for solving the problem include the turbulent flow equations in the form of (k-ε) and the model (k-ε) in the standard form. Also, problem solving was done in a stable way and two materials were used in the simulation, which include air and brick wall. In the calculations, we considered air as an ideal gas. In Figure (2), you can see the view of the simulated wall with the dimensions used in it.

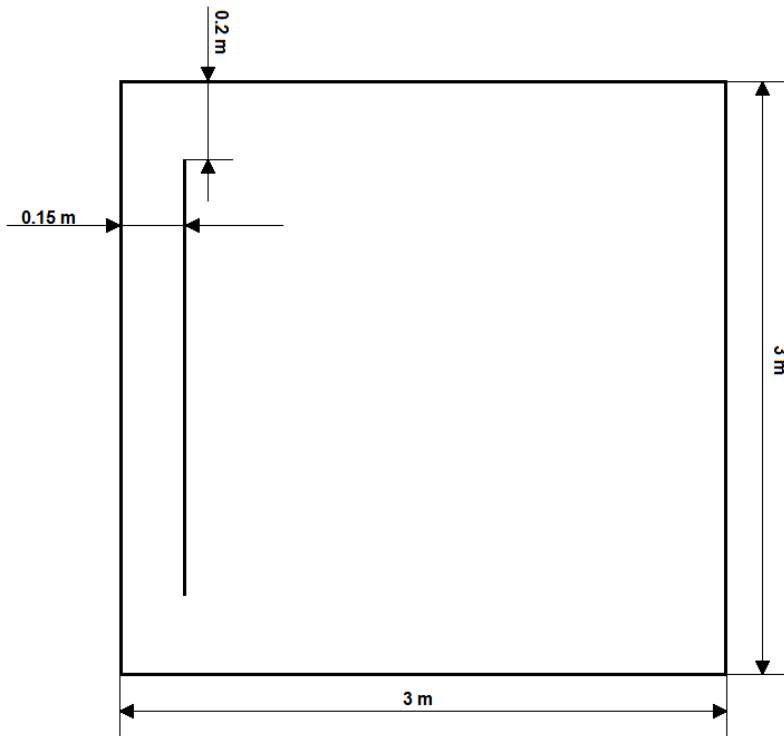


Figure 2: View of the simulated wall.

## Results and discussion

In this research, on the south-facing glass, calculations were made based on  $\theta=90^\circ$ . Radiation is applied as heat flux on the absorber and radiation on the roof is done as  $\theta=0^\circ$  and using equation (2), displacement heat transfer coefficient for vertical and horizontal surfaces has been extracted and entered into the software. (only for glass and roof). Also, the floor of the room is insulated and the wall behind the room is simulated as a constant temperature.

$$\sigma \times \epsilon \times (T_s^4 - T_\infty^4) + h(T_s - T_\infty) = q_{solar} \quad (2)$$

After performing calculations in the studied points and by entering the intensity of horizontal and vertical radiation as well as the average temperature in the Fluent software, the answer was obtained.

## Conclusion

As seen, 5 points were investigated in Yazd province and we know that Yazd province has a dry climate. This research was carried out in order to check whether thermal comfort can be achieved by using a passive solar system (Trombe wall) in the winter season when the solar radiation is below 200 watts per square meter. Heat becomes important to us when it can be used. The results showed that with a simple trombe wall with brick material, thermal comfort can be achieved in the studied points with horizontal and vertical radiation below 200 watts. In the conducted research, Maybod ranks highest and Yazd ranks lowest. But the important point of the present work was that, all the points in the cold and dry winter climate were able to reach the ideal temperature for humans with a simple Trombe wall. The next advantage of the Trombe wall, which was mentioned earlier, is the reduction of energy consumption. A trombe wall facing south starts its work from the moment of sunrise and gives thermal comfort to a person and finishes its work at sunset. Tables (2) to (6) presented sunny hours, which do not require fossil energy for thermal comfort.



## بررسی راندمان آسایش حرارتی یک دیوار ترومب در شرایط خاص با توجه به موقعیت جغرافیایی

محمد امیدپناه<sup>۱</sup>

۱- گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه ملی مهارت، تهران، ایران.

### چکیده

### اطلاعات مقاله

محدودیت در وجود سوخت های فسیلی و آلودگی هوا یکی از مشکلات اصلی بشر در جامعه امروزی می باشد. سیستم های غیر فعال خورشیدی یکی از موثر ترین راه کارها، برای جلوگیری از آلودگی هوا و کاهش مصرف سوخت های فسیلی است. در این پژوهش به بررسی آسایش حرارتی یک دیوار ترومب رو به جنوب در ۵ نقطه در استان یزد شامل شهرستانهای ابرکوه، بافق، میبد، مهریز و یزد در سه ماه آخر زمستان پرداخته شده است. ارزیابی میانگین انرژی دریافتی در سطح زمین و ساعات آفتابی موجود در هر نقطه و متوسط دمای هر نقطه، توسط داده های ۳ ساعته سینوپتیک بین سال های ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰ انجام شد. سپس با استفاده از داده های هواشناسی و محاسبات انجام شده توسط نرم افزار EES، اطلاعات وارد نرم افزار فلونت شد و انرژی قابل دریافت توسط فلونت در تابش های مختلف بدست آمد. بر پایه محاسبات انجام شده، به ترتیب میبد، مهریز، بافق، ابرکوه و یزد دارای بهترین راندمان آسایش حرارتی می باشند و در تمامی نقاط مورد مطالعه پس از انجام شبیه سازی، دمای ایده آل برای انسان حاصل شد.

### نوع مقاله: مقاله پژوهشی

دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۶/۲۷

بازنگری مقاله: ۱۴۰۳/۰۷/۲۹

پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۸/۲۹

### کلید واژگان:

دیوار ترومب  
آسایش حرارتی  
سیستم های غیر فعال خورشیدی  
استان یزد

\*نویسنده مسئول: محمد امیدپناه

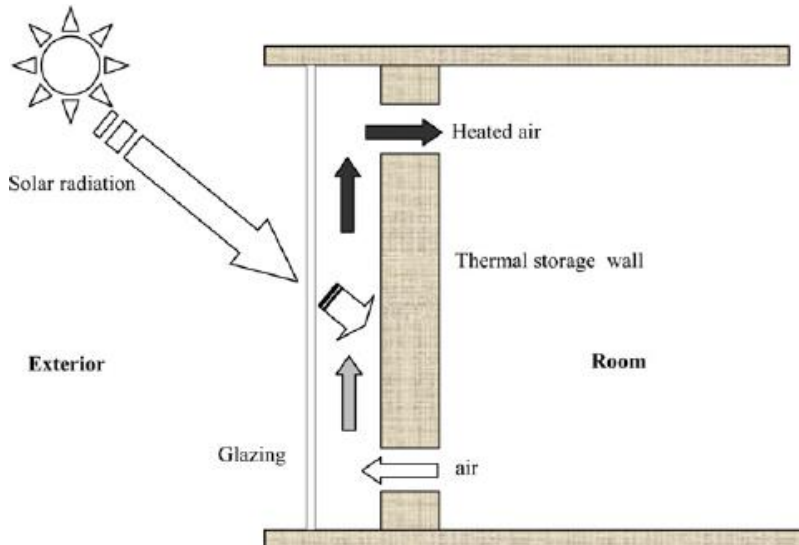
پست الکترونیکی:

[Momidpanah@tvu.ac.ir](mailto:Momidpanah@tvu.ac.ir)



## مقدمه

دیوار ترومب یک سیستم غیرفعال خورشیدی است که می تواند در اقلیم های سرد جهت گرمایش ایستا در ساختمان، مورد استفاده قرار بگیرد. هم چنین با قابلیت تبدیل شدن به دودکش خورشیدی توانایی افزایش نرخ تهویه طبیعی و به تبع آن کاهش دمای ساختمان را داراست. از این رو قابلیت مناسبی در کاهش بار حرارتی و مصرف انرژی در ساختمان دارد. سیستم غیرفعال خورشیدی سیستمی است که قسمت هایی از جداره پوسته خارجی را تشکیل می دهد و به گونه ای طراحی شده است که یک مکانیسم غیرفعال انرژی خورشید را در خود جمع آوری و ذخیره می نماید تا در زمان مناسب به فضای داخلی ساختمان منتقل گردد. در ساختمان ها فرصت حفظ و بقای انرژی بالقوه ای وجود دارد. زیرا برای گرمایش، سرمایش، تهویه هوا و غیره به انرژی نیاز است که از میان آن ها گرمایش سهم عمده ای در مصرف انرژی دارد. با استفاده از انرژی پاک و تجدیدپذیر خورشید می توان تا حد زیادی انرژی مورد نیاز ساختمان را جهت گرمایش تامین کرد [۱]. در سیستم های گرمایش غیرفعال، ذخیره ای از انرژی حرارتی در دیواره ها و سقف های سازه ای ایجاد می شود. نکته قابل توجه، دیواره های مخزن است که طوری تنظیم شده که تابش خورشیدی عبوری از شیشه ها در یک طرف از این دیواره ها جذب می شود. با جذب انرژی، دمای دیواره ها افزایش یافته و گرادیان دمایی وابسته به زمان در دیواره به وجود می آید. انرژی از طریق شیشه هدر رفته و از طریق دیوار رو به اتاق به وسیله انتقال حرارت تشعشع و جابه جایی طبیعی به اتاق منتقل می گردد. بعضی از این دیواره ها ممکن است دارای دریچه هایی در بالا و پایین باشند. به این صورت که هوای سرد از دریچه پایینی وارد دیواره شده و با گرم شدن و کاهش چگالی به سمت بالا حرکت کرده و از دریچه بالایی وارد اتاق می شود و این مکانیزم تکرار شده تا هوای اتاق به دمای مطلوب برسد [۲]. در شکل (۱) نمایی از دیوار ترومب قرار گرفته است.



شکل ۱- نمای دیوار ترومب

## پیشینه پژوهش

عامری و همکاران [۳] به بررسی نقش دیوار ترومب در بهینه سازی مصرف انرژی پرداختند. آن ها در ابتدا به بررسی سیستم های غیرفعال خورشیدی و سپس دیوار ترومب و انواع آن را مورد بررسی قرار دادند و بیان کردند دیوار ترومب

می تواند نقش اساسی در گرمایش ساختمان را ایفا کند. عبیدی و همکاران [۴] کاربرد دیوار ترومب را در خانه‌های شهر بوشهر ارزیابی کردند. آن‌ها دیوار ترومب را یکی از شیوه‌های استفاده از انرژی خورشیدی در گرمایش غیرفعال ساختمانی معرفی کردند و اشاره کردند که استفاده از دیوار ترومب می‌تواند یکی از مناسب‌ترین راهکارها برای مصرف بهینه انرژی در کشور باشد. جلیلی و رسایی [۵] به بررسی نقش دیوار ترومب در تامین انرژی گرمایی پرداختند. نتایج حاصل از پژوهش آن‌ها نشان می‌دهد که مزایای استفاده از این روش میزان صرفه‌جویی در مصرف سوخت و بهینه‌سازی در ساختمان به خصوص در اقلیم سرد می‌باشد. ابوالحسنی و ثقفی [۶] دیوار ترومب را مورد ارزیابی قرار دادند. هدف پژوهش آن‌ها طبقه‌بندی اطلاعات موجود در رابطه با دیواره ترومب است و در آخر راهکارهای بهبود کارایی دیوار ترومب را معرفی کردند. کاملی [۷] به بررسی پارامترهای موثر بر کارایی دیوار ترومب با استفاده از شبیه‌سازی دینامیک سیالات محاسباتی پرداخت. او در ابتدا یک مدل مرجع را معرفی و سپس با استفاده از این مدل مرجع به پارامترهای موثر بر کارایی دیوار ترومب اشاره کرد. ربانی و همکاران [۸] به بررسی عددی عملکرد یک دیوار ترومب در راستای بهینه‌سازی مصرف انرژی پرداختند. هدف آن‌ها بررسی اندازه بهینه سیستم (حالت دائم) برای ذخیره بیشتر انرژی و تاثیر آن بر فضای داخلی اتاق از هنگام شروع به کار سیستم تا زمانی که سیستم به حالت دائم می‌رسد، است. انباسیوگلا و همکاران [۹] به روش آزمایشگاهی به بررسی چگونگی عملکرد حرارتی یک دیوار ترومب تحت سیستم غیرفعال پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که دما در طول روز در قسمت دیوار سرد به آرامی افزایش می‌یابد و این امر باعث گردش هوا می‌شود. نواچوکوا [۱۰] به عملکرد سیستم دیوار ترومب در محل نگهداری جوجه‌ها در یک منطقه استوایی پرداخت. با توجه به تابش خورشید در طول سال در این مقاله دیوار ترومب به صورت نیم‌کره‌ای طراحی شده است. او بیان کرد که این سیستم با توجه به تغییر جهت خورشید جوابگو می‌باشد. بهبهانی و همکاران [۱۱] به بررسی بهینه‌سازی سیستم دیوار ترومب جهت افزایش انتقال حرارت پرداختند. آن‌ها انتقال حرارت جابجایی آزاد درون اتاقی تحت تاثیر دیوار ترومب به صورت سه بعدی برای جریان‌های آرام و آشفته توسط مدل عددی فلونت شبیه‌سازی کردند و هندسه بهینه کانال‌های گذر هوا را بدست آوردند. صبری و همکاران [۱۲] به بررسی تاثیر دیوارهای سبز نسبت به تقلیل تلفات حرارتی ساختمان‌ها پرداخته و دریافتند که این موضوع موجب کاهش استفاده از سامانه‌های تهویه مطبوع و در نتیجه باعث کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها می‌شود. کولیوند [۱۳] دریافت که پوشش گیاهی یکی از راهکاری مهم در جهت کاهش دمای هوا و بهبود آسایش حرارتی به خصوص در پیاده‌روها است و پوشش گیاهی در فرم‌های مختلف با سایه‌اندازی و یا سرمایش تبخیری به بهبود شرایط دمایی محیط کمک می‌کند. صفوی و همکاران [۱۴] با هدف بررسی تاثیر مکان قرارگیری بازشوها بر چگونگی توزیع جریان هوای داخلی برای آسایش حرارتی کاربران و تهویه طبیعی و نیز چگونگی توزیع فاکتور نور روز در فضا و میزان pmv، گردش هوا، سرعت باد، دمای هوا و عامل نور روز در ۱۶ طرح از قرارگیری بازشوها در یک فضای معماری مسکونی معکب شکل در اقلیم گرم و خشک شهر یزد به عنوان مدل مطالعاتی مورد بررسی قرار دادند. آنها دریافتند که قرارگیری یک بازشو در جهت وزش باد غالب و دو بازشوی دیگر در جهات کناری آن، توانسته جریان و تلاطم هوایی مطلوب را با سرعت و گردش هوایی مناسب، به منظور ایجاد شرایط آسایش حرارتی کاربران در فضا مناسب است. در پژوهش حاضر با بررسی های صورت گرفته نشان داده شد که، در فصل زمستان که تابش خورشیدی زیر ۲۰۰ وات بر مترمربع می‌باشد، می‌توان با استفاده از سیستم غیرفعال خورشیدی (دیوار ترومب) به آسایش حرارتی رسید که تابش به این میزان تاکنون مورد بررسی قرار نگرفته است. همچنین نتایج نشان داد که با یک دیوار ترومب ساده با مترتایل آجری می‌توان در نقاط مورد مطالعه با تابش‌های افقی و عمودی زیر ۲۰۰ وات به آسایش حرارتی دست یافت.

<sup>1</sup> Huseyin Onbasioglu

<sup>2</sup> Nwachukwu

## روش تحقیق

در این پژوهش ابتدا تابش خورشیدی خارج از جو در نقاط مورد مطالعه، استخراج گردید و سپس با استفاده از تابش خورشیدی بر روی سطح زمین، ضریب صافی هوا استخراج شد و در نهایت تابش خورشیدی بر سطوح عمودی و افقی بدست آمد. تابش خورشیدی خارج از جو توسط رابطه (۱) بدست می‌آید [۱۵].

در رابطه (۱)،  $SC$  نمایانگر ثابت خورشیدی و برابر  $1.37 \text{ kWh/m}^2$  است و همچنین  $n$  نمایانگر تعداد روز سال و  $L$  نشان دهنده عرض جغرافیایی مکان مدنظر است و  $\delta$  نشان دهنده انحراف معیار خورشیدی و  $H_{SR}$  زاویه طلوع اشعه خورشیدی است. از طریق رابطه (۲) می‌توان تابش خورشید به صورت افقی در سطح زمین را محاسبه کرد.

$$k_T = \frac{\bar{I}_H}{\bar{I}_o} \quad (2)$$

که در رابطه (۲)،  $k_T$  نمایانگر ضریب صافی در سطح زمین و همچنین  $\bar{I}_H$  نشان دهنده تابش افقی در سطح زمین است. از رابطه (۳) تابش پراکنده را می‌توان محاسبه کرد.

$$\frac{\bar{I}_{DH}}{\bar{I}_H} = 1.39 - 4.027k_T + 5.531k_T^2 - 3.108k_T^3 \quad (3)$$

در این پژوهش سطح دیوار ترومب همانند یک کلکتور عمودی در نظر گرفته شده است. پس می‌توان پراکندگی تشعشع را توسط رابطه (۴) محاسبه کرد.

$$\bar{I}_{DC} = \bar{I}_{DH} \left( \frac{1 + \cos\theta}{2} \right) \quad (4)$$

تشعشع منعکس شده نیز توسط رابطه (۵) محاسبه می‌شود.

$$\bar{I}_{RC} = \rho \cdot \bar{I}_H \left( \frac{1 - \cos\theta}{2} \right) \quad (5)$$

که در روابط (۴) و (۵)،  $\theta$  شیب کلکتور نسبت به افق بوده و  $\rho$  نشانگر انعکاس زمین است. همچنین پرتو تابشی در سطح افقی از رابطه (۶) محاسبه می‌شود.

$$\bar{I}_{BH} = \bar{I}_H - \bar{I}_{DH} \quad (6)$$

ضریب کجی یا شیب متوسط نیز از رابطه (۷) قابل محاسبه است.

$$\bar{R}_B = \frac{\cos(L-\theta) \cdot \cos\delta \cdot \sin H_{SRC} + H_{SRC} \cdot \sin(L-\theta) \cdot \sin\delta}{\cos L \cdot \cos\delta \cdot \sin H_{SRC} + H_{SRC} \sin L \cdot \sin\delta} \quad (7)$$

بنابراین تابش پرتو توسط رابطه (۸) و کل تشعشع در کلکتور توسط رابطه (۹) قابل محاسبه است.

$$\bar{I}_{BC} = \bar{I}_{BH} \cdot \bar{R}_B \quad (8)$$

$$\bar{I}_C = \bar{I}_{BC} + \bar{I}_{DC} + \bar{I}_{RC} \quad (9)$$

با انجام محاسبات ذکر شده می‌توان تشعشع در هر نقطه را بر روی دیوار ترومب محاسبه کرد. در جدول (۱) نقاط مورد مطالعه همراه با مشخصات جغرافیایی آن‌ها مشاهده می‌شود.

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی نقاط مورد مطالعه

نقطه	شهر	دوره آماری	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
۱	ابركوه	۱۳۹۸-۱۳۹۳	۳۱/۱۲	۵۳/۲۲
۲	بافق	۱۳۹۸-۱۳۹۳	۳۱/۶۲	۵۵/۴۲
۳	مهریز	۱۳۹۸-۱۳۹۳	۳۱/۵۹	۵۴/۴۳
۴	میبد	۱۳۹۸-۱۳۹۳	۳۲/۲۱	۵۳/۹۸

۵	یزد	۱۳۹۸-۱۳۹۳	۳۱/۹	۵۴/۲۸
---	-----	-----------	------	-------

در جدول های (۲) تا (۶) مشخصات تابشی نقاط مورد مطالعه، ارائه گردیده است.

جدول ۲- مشخصات تابشی ابرکوه

ماه	$\bar{I}_o$ MJ/m <sup>2</sup> day	$k_T$	$\bar{I}_H$ MJ/m <sup>2</sup> day	ساعت آفتابی $h$	متوسط دما $T$ □
دی	۲۰/۴۹	۰/۱۶۷	۱۳/۹۳	۷/۴	۷
بهمن	۲۵	۰/۱۶	۱۵/۱۱	۷/۸	۸/۵
اسفند	۳۱/۱۶	۰/۱۷۳	۲۲/۹۲	۸/۶۵	۱۴

جدول ۳- مشخصات تابشی بافق

ماه	$\bar{I}_o$ MJ/m <sup>2</sup> day	$k_T$	$\bar{I}_H$ MJ/m <sup>2</sup> day	ساعت آفتابی $h$	متوسط دما $T$ □
دی	۲۰/۱۹	۰/۱۷	۱۴	۸/۲	۸
بهمن	۲۴/۷۴	۰/۱۵۶	۱۴/۰۴	۷/۱	۹/۲
اسفند	۳۰/۹۷	۰/۱۶۶	۲۰/۶۲	۸	۱۵/۵

جدول ۴- مشخصات تابشی مهریز

ماه	$\bar{I}_o$ MJ/m <sup>2</sup> day	$k_T$	$\bar{I}_H$ MJ/m <sup>2</sup> day	ساعت آفتابی $h$	متوسط دما $T$ □
دی	۲۰/۲۱	۰/۱۷	۱۴/۰۴	۷/۹	۹/۵
بهمن	۲۴/۷۶	۰/۱۶	۱۴/۸۱	۸/۵	۱۲/۰۵
اسفند	۳۱	۰/۱۷۲	۲۲/۴۲	۸/۸	۱۷/۲

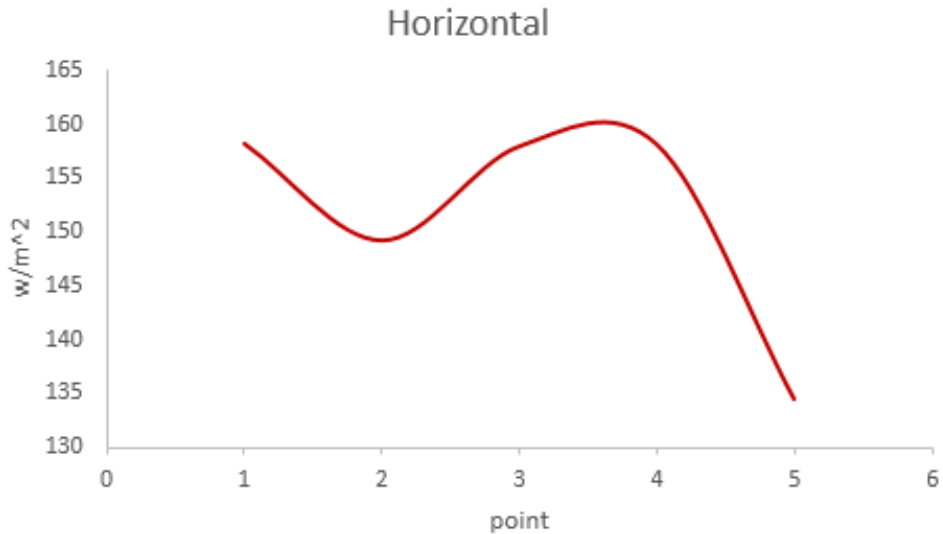
جدول ۵- مشخصات تابشی ميبید

ماه	$\bar{I}_o$ MJ/m <sup>2</sup> day	$k_T$	$\bar{I}_H$ MJ/m <sup>2</sup> day	ساعت آفتابی $h$	متوسط دما $T$ □
دی	۱۹/۸۴	۰/۱۷۲	۱۴/۴۳	۷/۸	۹/۵
بهمن	۲۴/۴۳	۰/۱۶۱	۱۴/۹۵	۸	۱۲/۳۷
اسفند	۳۰/۷۴	۰/۱۷۲	۲۲/۲۲	۸/۵	۱۸/۱

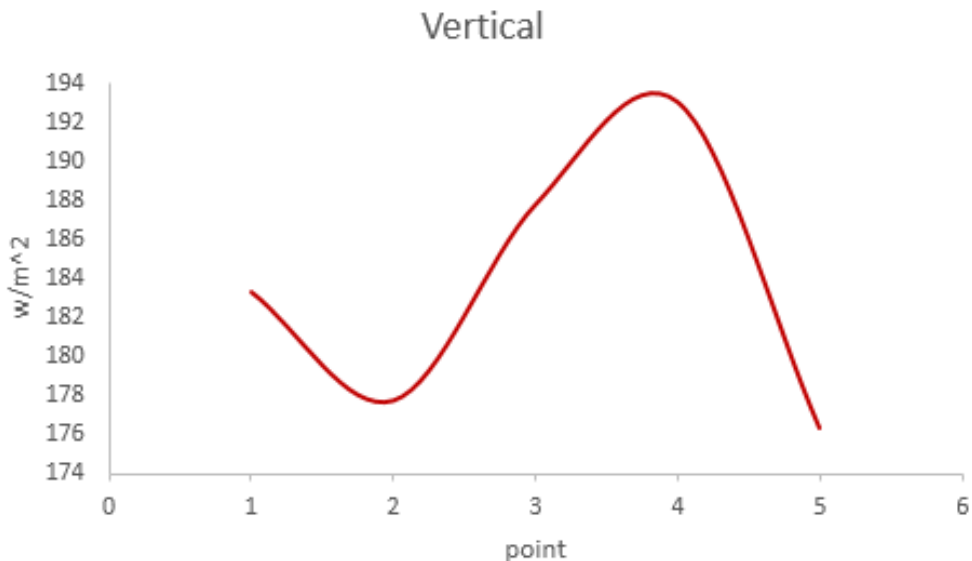
جدول ۶- مشخصات تابشی یزد

ماه	$\bar{I}_o$ MJ/m <sup>2</sup> day	$k_T$	$\bar{I}_H$ MJ/m <sup>2</sup> day	ساعت آفتابی $h$	متوسط دما $T$ □
دی	۲۰/۰۲	۰/۱۶۵	۱۳/۰۹	۷/۸	۸
بهمن	۲۴/۵۹	۰/۱۵۴	۱۳/۴۸	۸/۴	۱۱
اسفند	۳۰/۸۶	۰/۱۶۵	۲۰/۲۱	۸/۱	۱۳

با در دست داشتن اطلاعات تابشی می توان تابش بر روی سطوح عمودی (دیوار ترومب) و سطوح افقی (سقف) را وارد نرم افزار فلونت کرد و تشعشع میانگین زمستانی برای نقاط مورد مطالعه در سطوح افقی را در شکل (۲) و همچنین تابش عمودی بر شیشه را می توان در شکل (۳) مشاهده نمود.



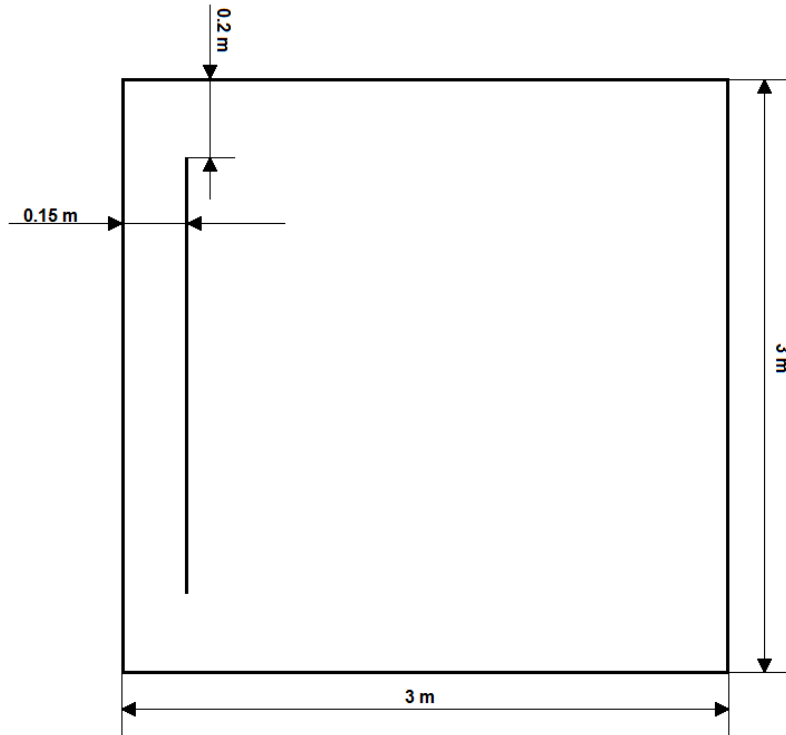
شکل ۲- میانگین تابش افقی در شهرهای ابرکوه، بافق، مهریز، میبد و یزد



شکل ۳- میانگین تابش عمودی در شهرهای ابرکوه، بافق، مهریز، میبد و یزد

پس از محاسبات تابش های موجود در سطوح عمودی و افقی می توان اطلاعات را وارد نرم افزار فلونت کرد. در این پژوهش، یک اتاق به صورت ۳ در ۳ در حالت ۲ بعدی توسط نرم افزار Ansys Fluent 18.2 شبیه سازی، و شبکه بندی

توسط نرم افزار Gambit انجام شده است. شبکه‌بندی به صورت خطی و شامل ۹۰۸۶۱ شبکه انجام شده است. حل مسئله بر اساس فشار بوده و از مدل توربولانس k-ε استاندارد استفاده شده است. همچنین حل مسئله به صورت پایا انجام شده و از دو متریکال در شبیه‌سازی استفاده گردید که شامل هوا و دیوار آجری می‌باشد. در محاسبات انجام شده هوا به صورت گاز ایده‌آل در نظر گرفته شد. در شکل (۴) می‌توان نمای دیوار شبیه‌سازی شده با ابعاد به کاربرده در آن را مشاهده نمود.



شکل ۴- نمای دیوار شبیه‌سازی شده

در این پژوهش بر روی شیشه‌ی رو به جنوب، محاسبات بر مبنای  $\theta = 90^\circ$  انجام شد. تابش به صورت شار حرارتی (*heat flux*) بر روی جاذب اعمال و تابش روی سقف نیز به صورت  $\theta = 0^\circ$  انجام و با استفاده از رابطه (۱۰)، ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی برای سطوح عمودی و افقی استخراج و وارد نرم‌افزار گردید. (فقط برای شیشه و سقف). همچنین کف اتاق به صورت عایق قرار گرفته و دیوار پشت اتاق به صورت دما ثابت شبیه‌سازی شد.

$$\sigma \times \epsilon \times (T_s^4 - T_\infty^4) + h(T_s - T_\infty) = q_{solar} \quad (10)$$

که در رابطه (۱۰)،  $\sigma$  نشانگر ضریب استفان بولتزمن است که برابر  $5.67 \times 10^{-8}$  می‌باشد و  $\epsilon$  نشانگر ضریب صدور و همچنین  $T_s$  دمای سطح و  $T_\infty$  دمای محیط اطراف می‌باشد و  $h$  ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی است که باید از روش سعی و خطا برای سطوح عمودی و افقی به صورت جداگانه محاسبه شود.

<sup>۱</sup>Pressure Based

<sup>۲</sup>Ideal gas

برای محاسبات ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی ابتدا باید رابلی را محاسبه کنیم. عدد رابلی از طریق رابطه (۱۱) محاسبه می‌شود [۱۶].

$$Ra = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\alpha\nu} \quad (11)$$

و عدد ناسلت برای سطوح عمودی توسط رابطه (۱۲) قابل حل می‌باشد.

$$Nu = \left[ 0.825 + \frac{0.387.Ra^{1/6}}{\left(1 + \left[\frac{0.492}{Pr}\right]^{9/16}\right)^{8/27}} \right]^2 \quad (12)$$

و عدد ناسلت برای سطوح افقی به صورت رابطه (۱۳) قابل محاسبه می‌باشد.

$$Nu = 0.15 \times Ra^{1/3} \quad (13)$$

همچنین ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی توسط رابطه (۱۴) محاسبه می‌شود.

$$h = Nu \times \frac{k}{L} \quad (14)$$

که در رابطه (۱۴)،  $k$  ضریب انتقال حرارت هدایتی هوا می‌باشد و  $L$  در دیواره عمودی طول دیواره و در دیواره افقی نسبت مساحت دیواره به محیط آن است.

همچنین معادلات حاکم بر جریان سیال معادلات ناویر استوکس، پیوستگی و انرژی می‌باشند. معادلات کلی حاکم بر جریان سیال در حالت دائم و دو بعدی به صورت روابط (۱۵) الی (۱۷) است.

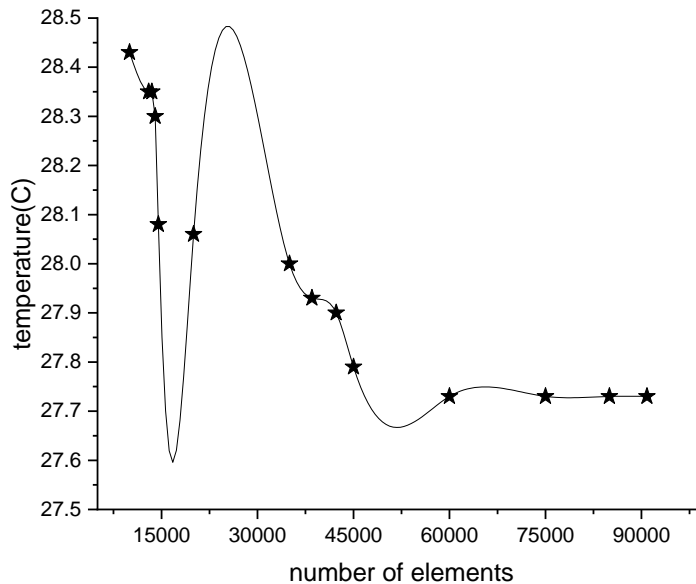
$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (15)$$

$$\frac{\partial(uu)}{\partial x} + \frac{\partial(vu)}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \nu \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \nu \frac{\partial}{\partial y} \right) \quad (16)$$

$$\frac{\partial(uv)}{\partial x} + \frac{\partial(vv)}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \nu \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \nu \frac{\partial v}{\partial y} \right) + g\beta(T - T_\infty) \quad (17)$$

### استقلال شبکه

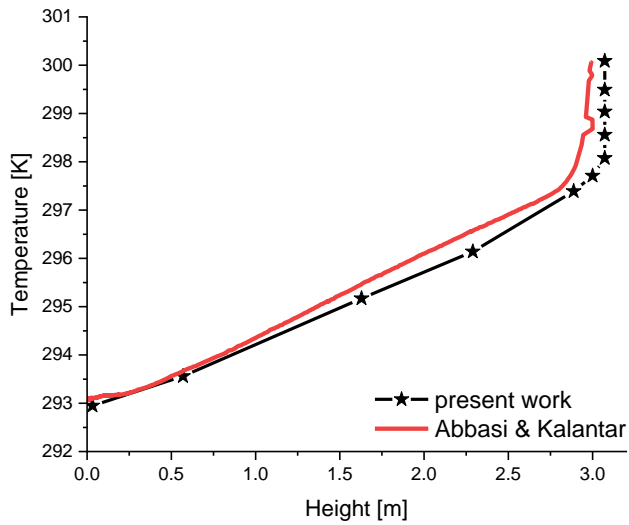
نتیجه شبیه‌سازی مقدار حداکثر دمای دیوار ترومب، با تغییر عدد سلول‌های ایجاد شده از ۱۰۰۰۰ تا ۹۰۸۶۱ سلول مورد ارزیابی قرار گرفت. اجراهای متعدد نشان می‌دهد که بعد از ۷۵۰۰۰ سلول، دیگر مقدار حداکثر دما پس از همگرایی دچار تغییر نمی‌شود. در شکل (۱۲) نمودار آزمون همگرایی قابل مشاهده است.



شکل ۵- نمودار آزمون همگرایی

### اعتبارسنجی

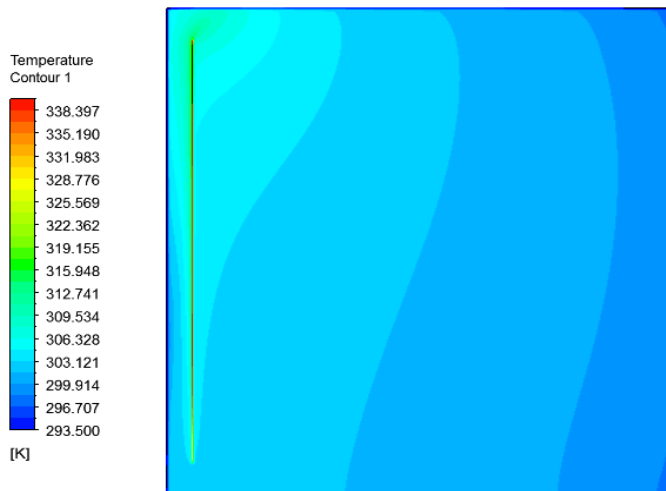
عباسی و کلانتر [۱۷] به بررسی عددی گرمایش و انتقال حرارت در هفت مدل دیوار ترومب با استفاده از نرم‌افزار کامسول پرداخته‌اند. این پژوهش نیز برای صحت‌سنجی کار خود، مرجع فوق را با استفاده از نرم‌افزار فلوئنت مورد ارزیابی عددی قرار داده و نتیجه شبیه‌سازی خود را با این مقاله بررسی و مقایسه نمود، که در انتها نتایج خوب و قابل قبولی حاصل شد. در شکل (۱۳) می‌توان نتیجه شبیه‌سازی عباسی و کلانتر را با نتیجه شبیه‌سازی جهت اعتبارسنجی در این مقاله مشاهده کرد. حداکثر میزان خطا حدود ۴ درصد می‌باشد.



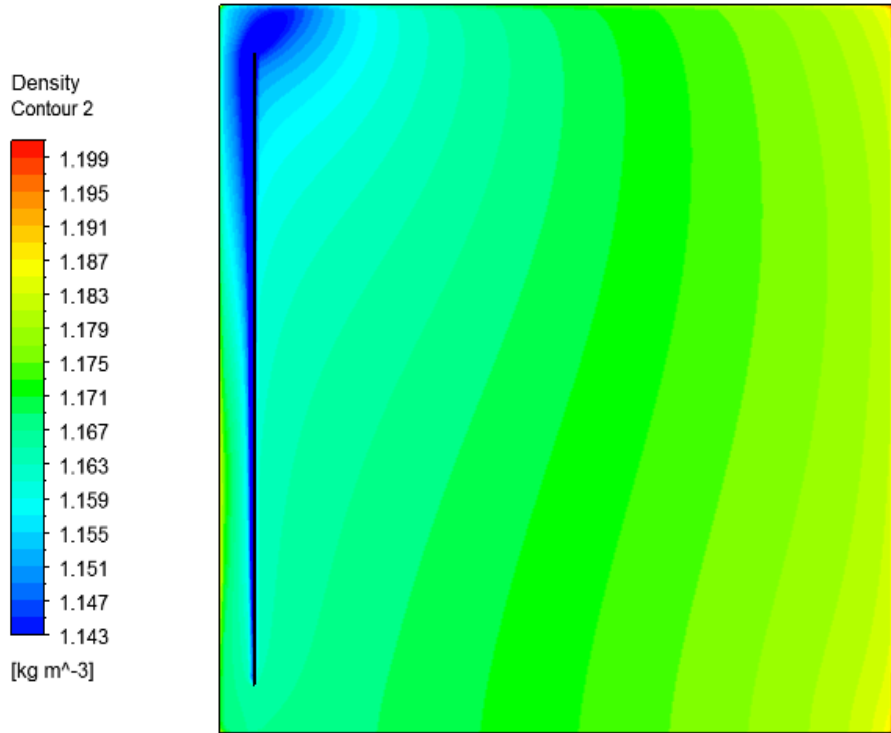
شکل ۶- اعتبارسنجی

### نتایج

پس از انجام محاسبات همانگونه که ملاحظه می گردد، در شکل های (۷) الی (۱۱) می توان کانتورهای دما، فشار، دانسیته، سرعت و چرخش هوا را در شبیه سازی مشاهده نمود.

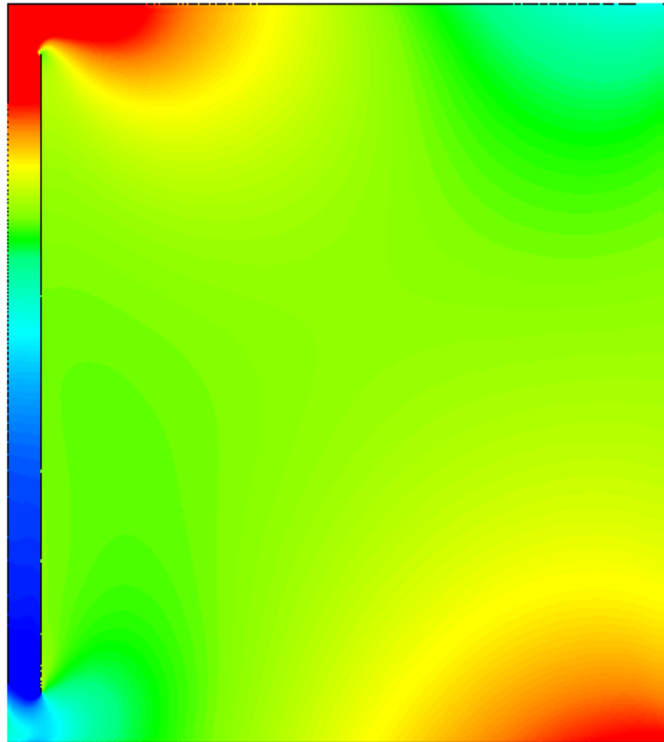
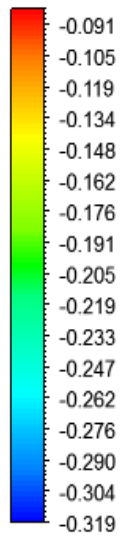


شکل ۷- کانتور دما در شهرهای ابرکوه، بافق، مهریز، میبد و یزد

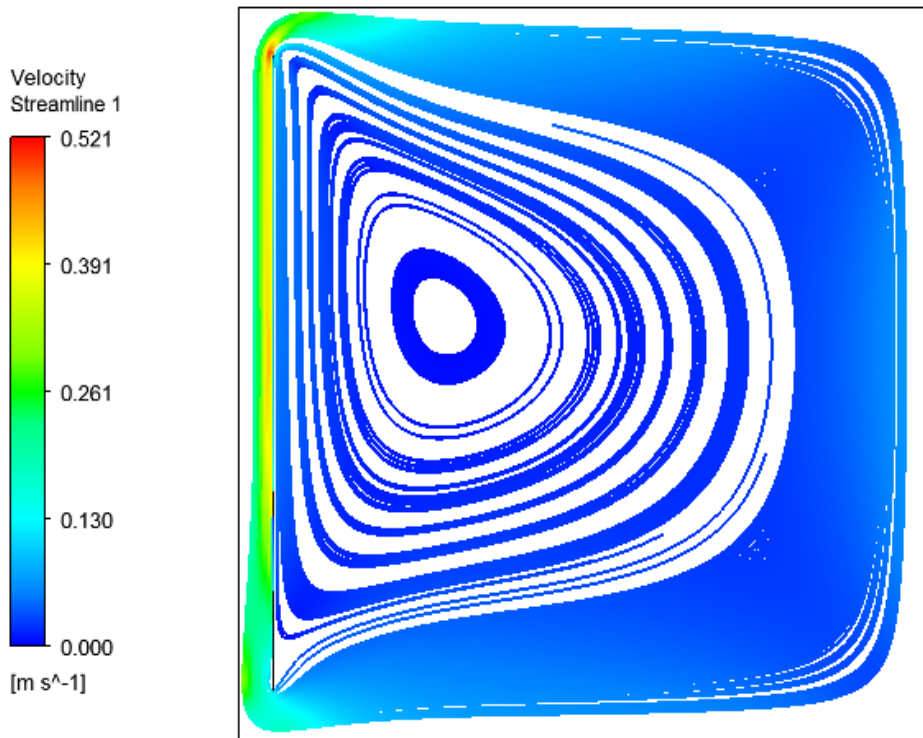


شکل ۸- کانتور دانسیته در شهرهای ابرکوه، بافق، مهریز، میبد و یزد

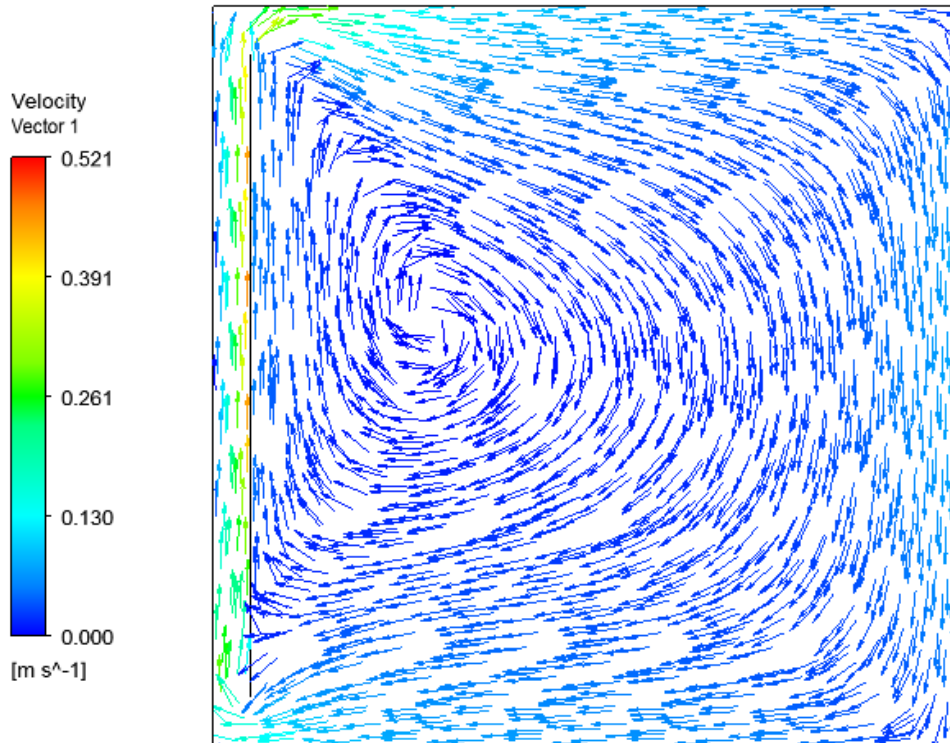
Pressure  
Contour 4



شکل ۹- کانتور فشار در شهرهای ابرکوه، بافق، مهریز، میبد و یزد

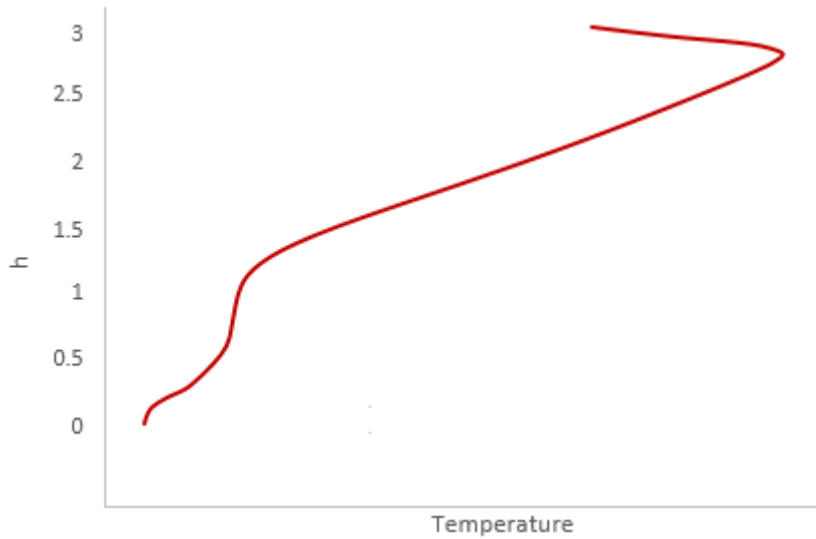


شکل ۱۰- کانتور جریان در شهرهای ابرکوه، بافق، مهریز، میبد و یزد



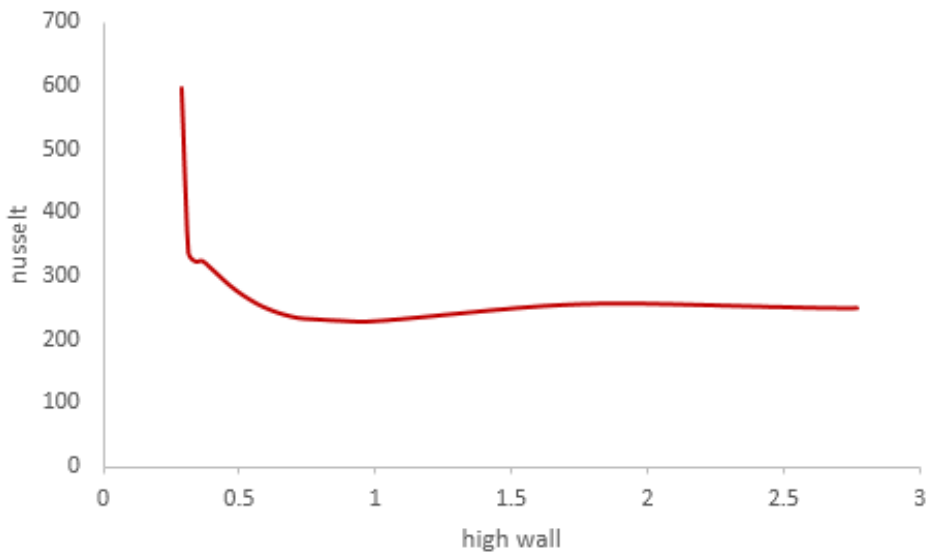
شکل ۱۱- کانتور سرعت در شهرهای ابرکوه، بافق، مهریز، میبد و یزد

همانطور که در شکل (۷) مشاهده می‌شود، جریان هوای سرد از دریچه پایینی اتاق وارد محفظه بین شیشه و جاذب شده و با گرم شدن هوا و کم شدن دانسیته که در شکل (۸) آورده شده به سمت بالا به حرکت در می‌آید و از طریق دریچه بالایی وارد اتاق می‌گردد. در شکل (۱۰) می‌توان جریان در حال گذر در اتاق را کاملاً مشاهده نمود و می‌توان در شکل (۱۱) جهت جریان سرعت را در نقاط مختلف اتاق دید. همانطور که در شکل (۱۱) مشاهده می‌شود جریان هوا در نقاط دارای حرارت به سمت بالا در حرکت می‌باشد و در نقاط سرد جهت جریان به سمت پایین است. در شکل (۱۲) می‌توان نمودار افزایش دما بین شیشه و جاذب را در راستای عمود مشاهده کرد.



شکل ۱۲- نمودار افزایش دما با افزایش ارتفاع

در شکل (۱۳) می‌توان تغییرات عدد ناسلت در راستای دیوار جاذب را مشاهده کرد.



شکل ۱۳- تغییرات ناسلت در راستای عمودی دیوار جاذب

پس از انجام محاسبات در نقاط مورد مطالعه و با وارد کردن شدت تابش افقی و عمودی و همچنین میانگین دما در نرم افزار فلوئنت جواب شبیه سازی و جمع بندی ها در جدول (۷) قابل مشاهده است.

جدول ۷- تابش افقی، عمودی و دمای داخل اتاق

نقطه	شهر	میانگین تابش افقی $w/m^2$	میانگین تابش عمودی $w/m^2$	میانگین دما $\square$	دمای داخل اتاق $k$
۱	ابركوه	۱۵۸/۲	۱۸۲	۹/۸	۲۹۹
۲	یافق	۱۴۹/۲	۱۷۷	۱۱	۳۰۱
۳	مهریز	۱۵۷/۹	۱۸۷	۱۳	۳۰۳
۴	میبد	۱۵۸/۱	۱۹۲	۱۳/۵	۳۰۴
۵	یزد	۱۳۴/۵	۱۸۰	۹	۲۹۸

### نتیجه گیری

همانطور که مشاهده شد در استان یزد ۵ نقطه مورد بررسی قرار گرفت و می دانیم که استان یزد دارای آب و هوای خشک می باشد. این پژوهش به منظور بررسی این که، آیا در فصل زمستان که تابش خورشیدی زیر ۲۰۰ وات بر مترمربع می باشد، می توان با استفاده از سیستم غیرفعال خورشیدی (دیوار ترومب) به آسایش حرارتی رسید، انجام شد. حرارت و گرما زمانی برای ما مهم واقع می شود که بتوان از آن استفاده کرد. نتایج نشان داد که با یک دیوار ترومب ساده با مترتال آجری می توان در نقاط مورد مطالعه با تابش های افقی و عمودی زیر ۲۰۰ وات به آسایش حرارتی دست یافت. در پژوهش انجام شده، در بالاترین رده میبد و کمترین رده یزد قرار دارد. اما نکته مهم کار حاضر این بود که، تمامی نقاط در آب و هوای سرد و خشک زمستانی توانستند با یک دیوار ترومب ساده به دمای ایده آل برای انسان برسند. مزیت بعدی دیوار ترومب که قبلا نیز اشاره شد کاهش مصرف انرژی است. یک دیوار ترومب رو به جنوب از لحظه طلوع آفتاب کار خود را شروع و به انسان آسایش حرارتی می دهد و کار خود را در هنگام غروب تمام می کند. در جدول های (۲) الی (۶) ساعت آفتابی ارائه گردید که در این ساعات نیاز به انرژی فسیلی برای آسایش حرارتی نیست.

### References

- [1] Kameli, N. Z. S. (2018). *Investigating the effect of Trombe wall system and solar chimney on the thermal comfort of buildings in Yazd city*. The fourth international conference on new technologies in civil engineering, architecture and urban planning, Tehran. (in Persian). <https://civilica.com/doc/703002>
- [2] Heidari, S., & Ghafari, S. (2010). Comparing the Performance of Buildings Equipped with Active and Passive Solar Systems. *Iranian Journal of Energy*, 13(3), 1-14. (in Persian). <https://necjournals.ir/article-1-196-en.html>
- [3] H. Ameri Siahooee, F. A. S., and H. Hassanzadeh Ebrahimabadi. (2015). *The role of Trombe wall in optimizing energy consumption*. The second national conference of

- new horizons in the empowerment and sustainable development of architecture, civil engineering, tourism, energy and urban and rural environment, Hamedan. (in Persian). <https://civilica.com/doc/408055>
- [4] Obeidi, A. T., and d. Cabinet. (2014). *Application of trombe wall in the architecture of Bushehr houses*. The National conference on optimization of energy consumption in science and engineering, Babol. (in Persian). <https://civilica.com/doc/300099>
- [5] Rasaaei, T. J. a. R. (2016). *The role of Trombe wall in providing thermal energy*. The International Conference on Urban Planning, Civil Engineering, Architecture, Qom. (in Persian). <https://civilica.com/doc/523940>
- [6] Thaghafi, N. A. a. M. J. (2014). *Trump Wall*. The The second international congress of structure, architecture and urban development, Tabriz. (in Persian). <https://civilica.com/doc/353477>
- [7] kameli, h. (2015). Investigation of Trombe wall performance by CFD simulation, a Parameter study [Research]. *Iranian Journal of Energy*, 17(4), 0–0. (in Persian). <http://necjournals.ir/article-1-599-en.html>
- [8] Rabbani, M., Kalantar, V., & Banikarimi, A. (2011). Numerical Analysis of Performance a Trombe Wall in Dry Climate. *Iranian Journal of Energy*, 14(3), 101–118. (in Persian). <http://necjournals.ir/article-1-268-en.html>
- [9] Onbasioglu, H., & Egrican, A. N. (2002). Experimental approach to the thermal response of passive systems. *Energy conversion and management*, 43(15), 2053–2065. [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(01\)00138-8](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(01)00138-8)
- [10] Nwosu, N. P. (2010). Trombe wall redesign for a poultry chick brooding application in the equatorial region—analysis of the thermal performance of the system using the Galerkin finite elements. *International Journal of Sustainable Energy*, 29(1), 37–47. <https://doi.org/10.1080/14786450903295861>
- [11] P. Mohseni Behbahani, R. B. K., H. Daavar, and M. R. Asari. (2013). *Optimizing the thrombus wall system to increase heat transfer*. The National conference of applied researches in science and engineering, Takestan. (in Persian). <https://civilica.com/doc/290698>
- [12] Sabri, R., Rostami, R., & Mozaffari Qhadikolaei, F. (2024). Thermal Performance of Double-Layer Green Walls in Optimizing Energy Consumption in a Typical Commercial Office Building in Tehran. *Karafan Quarterly Scientific Journal*, 20(4), 179–194. (in Persian). <https://doi.org/10.48301/kssa.2023.388810.2473>
- [13] Koulivand, T. (2023). Comparison of Thermal Performance of Broadleaf and Coniferous Trees in Urban Canyons (Case Study: City of Isfahan). *Karafan Quarterly Scientific Journal*, 19(4), 373–404. (in Persian). <https://doi.org/10.48301/kssa.2022.298183.1650>
- [14] Neshat Safavi, S. H., Zolfagharzadeh, H., Mafi, M., & Esfandiari, A. (2022). Optimization the Position of the Windows for Improved Natural Ventilation, Thermal Comfort and Daylight in Yazd City. *Karafan Quarterly Scientific Journal*, 18(4), 395–410. (in Persian). <https://doi.org/10.48301/kssa.2021.278122.1437>
- [15] Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (1980). *Solar engineering of thermal processes*. Wiley New York. <https://doi.org/10.1002/9781118671603>
- [16] Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2014). *Heat and Mass Transfer (in SI Units)*. In: McGraw-Hill Education-Europe, London. <https://doi.org/10.4236/oalib.1104271>

- [17] Kalantar, M. A. a. V. (2022). *Numerical investigation of heating and heat transfer in seven Trombe wall models*. The fifth national conference of applied mechanical engineering, Shahrekord. (in Persian). <https://civilica.com/doc/1567419/>

### فهرست نمادهای انگلیسی

- ۱-  $h$ : ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی
- ۲-  $H_{SR}$ : زاویه طلوع اشعه خورشیدی
- ۳-  $\bar{I}_{BC}$ : تابش پرتو
- ۴-  $\bar{I}_{BH}$ : پرتو تابشی در سطح افقی
- ۵-  $\bar{I}_C$ : کل تشعشع در کلکتور
- ۶-  $\bar{I}_{DC}$ : پراکندگی تشعشع
- ۷-  $\bar{I}_H$ : تابش افقی در سطح زمین
- ۸-  $\bar{I}_O$ : تابش خورشیدی خارج از جو
- ۹-  $\bar{I}_{RC}$ : تشعشع منعکس شده
- ۱۰-  $k$ : ضریب انتقال حرارت هدایتی هوا
- ۱۱-  $k_T$ : ضریب صافی در سطح زمین
- ۱۲-  $L$ : عرض جغرافیایی
- ۱۳-  $n$ : تعداد روز سال
- ۱۴-  $Nu$ : عدد ناسلت
- ۱۵-  $q_{solar}$ : ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی برای سطوح عمودی و افقی
- ۱۶-  $\bar{R}_B$ : ضریب کجی یا شیب متوسط
- ۱۷-  $sc$ : ثابت خورشیدی

۱۸-  $T_s$ : دمای سطح

۱۹-  $T_{\infty}$ : دمای محیط اطراف

۲۰- فهرست نمادهای یونانی

۲۱-  $\delta$ : انحراف معیار خورشیدی

۲۲-  $\varepsilon$ : ضریب صدور

۲۳-  $\theta$ : شیب کلکتور نسبت به افق

۲۴-  $\rho$ : انعکاس زمین

۲۵-  $\sigma$ : ضریب استفان بولتزمن