

تحلیل تجربی و عددی تاثیر سایز و محل دریچه های دیوار ترومب با استفاده از مواد تغییر فاز دهنده (PCM)

عبدالله خالصی دوست^{۱*}، محمد امین خانی^۲، احد عابدینی اسفهلانی^۳

۱- استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، ایلام، ایران

۳- استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران

* سمنان، ab.khalesi@yahoo.com

چکیده

از آنجاییکه بیش از یک سوم انرژی مصرفی دنیا در بخش ساختمان میباشد، ساختمان سبز و معماری پایدار تکنیک‌های جدیدی برای مقابله با بحران محیط زیست و کاهش مصرف انرژی در ساختمانها می باشند. استفاده از دیوار ترومب در ساختمانهای مسکونی، اداری و تجاری باعث کاهش مصرف انرژی گردیده و ذخیره انرژی خورشیدی توسط مواد تغییر فاز دهنده نیز اثر کار را دو چندان مینماید و این امر باعث تغییر رویکرد طراحی ساختمانها به سمت ساختمان سبز و نهایتاً محیط زیست با آلودگی کمتر خواهد شد. به همین منظور در این تحقیق به بررسی کنوکسیون طبیعی در دیوار ترومب با مواد تغییر فاز دهنده و تاثیر سایز و محل نصب دریچه های ورودی و خروجی هوای ورودی بر عملکرد دیوار مذکور پرداخته شده است. پژوهش مذکور بصورت تجربی و عددی صورت گرفته است. پس از ساخت دیوار ترومب با مواد تغییر فاز دهنده و جمع اوری داده های تجربی، شرایط فیزیکی حاکم بر مسئله در نرم افزار فلونت شبیه سازی شده و سپس نتایج آزمایشگاهی با حل عددی مقایسه شده است. نتایج تحقیق نشان میدهد تغییر سایز دریچه ها باعث افزایش ۱۶ درصدی درجه حرارت خروجی دیوار ترومب گردیده و تغییر محل دریچه ها در راستای افقی تاثیر چندانی در افزایش دمای خروجی ندارد. اختلاف ۲ درصدی نتایج حل عددی با داده های تجربی بیانگر دقت کار و تحلیل مسئله می باشد.

کلیدواژگان

دیوار ترومب، مواد تغییر فاز دهنده، نرم افزار فلونت، انرژی خورشیدی، کنوکسیون طبیعی، PCM

Experimental and numerical analysis of the impact of the size and location of Trombe wall dampers by phase-change material

Abdollah Khalesidoost^{1*}, Mohamadamin Khani², Ahad Abedini Esfahlani³

1- Department of Mechanical Engineering, Semnan Branch, Islamic Azad University, Semnan, Iran.

2- Department of Mechanical Engineering, Semnan Branch, Islamic Azad University, Semnan, Iran

3- Department of Mechanical Engineering, Semnan Branch, Islamic Azad University, Semnan, Iran.

*P.O.B. 3519697951, Semnan, Iran, a.khalesi@semnaniau.ac.ir

Abstract

Since more than one-third of the world's energy consumption is in building part, green buildings and sustainable architecture are new ways to cope with the environment and reduce energy consumption in their buildings. The use of Trombe wall in residential, commercial and official buildings has been reduced energy consumption and solar energy storage with phase change materials will double this effect. This has caused a paradigm shift towards green building design, and ultimately the environment will be less polluting. Therefore, in this study, the effect of natural Convection on performance has been investigated on Trombe wall with phase-change material by change of size and location of incoming and outgoing air intake dampers. This research has been conducted experimentally and numerically. After construction of Trombe wall with phase-change material and empirical data collection, physical conditions are simulated in FLUENT software and experimental results have been compared with numerical solutions. The results show resized Trombe wall dampers; have been increased outlet air temperature by 16 percent. The location change of dampers at the horizontal line does not increase the effect of output air temperature. 2 percent difference between the numerical results with experimental data represents the careful work and analysis.

Keywords

Trombe wall, phase-change material, Fluent software, solar energy, natural convection, PCM

بطوریکه انرژی مازاد را در طول دوره اوج جذب نموده و هنگامی که ساکنان یک ساختمان به انرژی نیاز دارند، انرژی ذخیره شده را باز پس میدهد [۳و۲]. طراحی دیوار ترومب کلاسیک مبتنی بر استفاده از مواد با ظرفیت ذخیره سازی حرارت بالا است. این مواد عبارتند از آجر، بتن، سنگ و خشت خام. سطح خارجی دیوار به رنگ سیاه برای افزایش میزان جذب است. علاوه بر این، سطح دیوار ترومب جدا دار است. فاصله هوایی بین شیشه و دیوار است. دیوار تشعشع مستقیم خورشید را در طول روز جذب می کند و در شب

۱- مقدمه

دیوار ترومب نوعی دیوار ذخیره ساز حرارتی است که از یک دیوار تیره از جنس مصالح بنایی تشکیل یافته و با شیشه های عمودی پوشانده می شود و به عنوان دیوار ذخیره ساز و دیوار گرمایش خورشیدی شناخته شده است. دیوار ترومب زمینه استفاده از انرژی خورشیدی، تهویه و تامین آسایش حرارتی در ساختمانها در مناطق مختلف آب و هوایی را فراهم می کند [۱]. کارکرد دیوار ترومب از طریق جذب اشعه خورشید و تبدیل آن به انرژی است

می توان به صورت مخزن جاذب انرژی حرارتی ساخت و مواد تغییر فاز دهنده بسته بندی شده را در آنها قرار داد که حرارت را به سیال موجود در سیستم که می تواند هوا و یا آب باشد، منتقل کند. باید بین بسته های مواد تغییر فاز دهنده فاصله باشد تا سیال مذکور به راحتی در فواصل آنها جریان یابد و تبادل انرژی حرارتی انجام شود [۷].

دیوار ترومب کلاسیک دیوار ترومب ساده است که مخترع این نوع دیوار ادوارد مورس، یک مهندس آمریکایی است که طراحی خود را در سال ۱۸۸۱ ثبت کرده است اما با این حال، توسط فیلیپس ترومب و ژاک میشل، به ترتیب مهندس فرانسوی و یک معمار فرانسوی آن را عمومی ساختند. بنابراین این دیوار به عنوان یک دیوار ترومب شناخته شده است. دیوار ترومب دارای لوازم جانبی مختلف است که کمک به افزایش راندمان دیوار می کند. لوازم جانبی مهم عبارتند از دریچه، فن ها، عایق، اندازه، ضخامت، رنگ، مواد دیوار، مواد پوشش و جداره از ویژگی های مهم دیوار ترومب هستند که بهره وری دیوار را تحت تاثیر قرار می دهند. دیوار ترومب کلاسیک را می توان از لحاظ تهویه به دو نوع دیوار دارای تهویه و بدون تهویه طبقه بندی کرد. در دیوار ترومب تهویه دار، دو دریچه در بالا و پایین دیوار نصب شده که برای کمک کردن به گردش حرارت، در روز هوای سرد از دریچه پایینی وارد فاصله ی هوایی میشود و بعد از گرم شدن از دریچه ی بالایی به داخل اتاق منتقل می شود. در طراحی یک دیوار ترومب، اندازه دریچه یک پارامتر مهم است که در این پژوهش به بررسی آن پرداخته می شود.

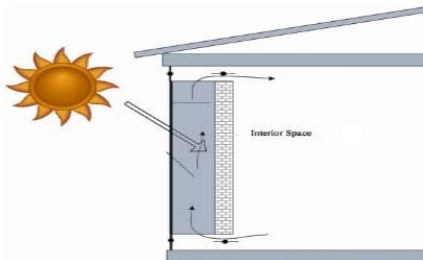
جابر و همکاران در یک خانه در اردن، عملکرد اندازه نسبت مساحت دیوار ترومب به مساحت دیوار را بررسی کردند. نتایج تحقیق آنها بیان می نماید که نسبت مساحت دیوار ترومب به مساحت دیوار دارای اثر مستقیم بر بازده حرارتی می باشد [۸]. بالکمب و مک فارلند عملکرد دیوار ترومب را با گردش حرارت دیوار ترومب دریچه دار و بدون دریچه در شرایط متفاوت آب و هوایی در آمریکا مورد مطالعه قرار دادند. مطالعه آنها نشان داد در طول شب به دلیل ایجاد جریان معکوس دریچه ها کاهش بهره وری در دیوار ترومب بوجود می آید [۹]. یک مطالعه شبیه سازی با استفاده از نرم افزار انرژی پلاس توسط گروهی از دانشمندان پرتغالی در سه منطقه مختلف آب و هوایی از پرتغال انجام شد. این مطالعه با هدف تعیین اثر دریچه ها در بهره وری دیوار ترومب بود که نتایج برای آب و هوای پرتغال مثبت است [۱۰]. سبالد و فیلیپس مطالعه شبیه سازی در بهره وری از دیوار ترومب مجهز به فن را انجام دادند. نتایج نشان داد که فن عملکرد دیوار ترومب را تا ۸٪ بهبود می بخشد [۱۱]. بوردو مطالعه تجربی دیگری در دیوار ترومب با مواد تغییر فاز دهنده انجام داده است. دیوار ترومب از ظروف پلی اتیلن در مقابل دیوارهای چوبی و دو جداره ساخته شده است. نتایج نشان داد که در طول عملیات اشباع شده گرمای نهان ذخیره می شود و یک دیوار ترومب با ذخیره سازی گرمای نهان کارآمد تر از یک دیوار بتنی است [۱۲]. گروهی از دانشمندان ژاپنی تحت رهبری اونیشی یک شبیه سازی دینامیک سیالات محاسباتی از رفتار حرارتی دیوار ترومب با مواد تغییر فاز دهنده در یک اتاق را به عهده گرفتند. این گروه سه ماده تغییر فاز دهنده را تجزیه و تحلیل کردند و ثابت شده است که استفاده از مواد تغییر فاز دهنده در دیوار ترومب برای کاهش مصرف انرژی در ساختمان ارزشمند است [۱۳].

۲- مواد و روش آزمایش

جهت بررسی عملکرد دیوار ترومب و تاثیر پارامترهای مختلف بر عملکرد دیوار، نمونه ای از دیوار در دانشگاه آزاد اسلامی واحد سمنان ساخته شد و

گرمای آن را که به وسیله دیوار به قسمت داخلی ساختمان توسط جابجایی و هدایت انتقال میدهد. شکاف بین شیشه و دیوار به طور معمول از دامنه ۳ سانتی متر تا ۱۰ سانتی متر است [۴]. گرمای ذخیره شده به تدریج بصورت جرم گرمایی منتشر می شود. دیوارهای ترومب شامل انواع مختلفی می باشند، که با توجه به شکل، مواد و نوع عملکرد آنها میتواند به صورت زیر تقسیم بندی شوند:

دیوار ترومب کلاسیک، دیوار ترومب زیگزاگ، دیوار ترومب آبی، دیوار ترانس خورشیدی، دیوار با مواد تغییر فاز دهنده، دیوار ترومب فتوولتائیک، دیوار ترومب کامپوزیت، دیوار هیبرید (ترکیبی) و دیوار طراحی شده بر پایه سیال. شکل یک طرحواره دیوار ترومب کلاسیک را نمایش می دهد.



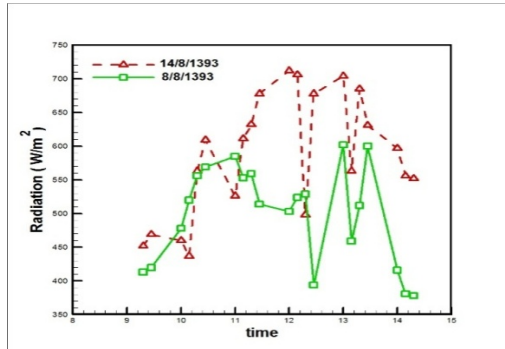
شکل ۱ طرحواره دیوار ترومب کلاسیک

انرژی حرارتی را به دو صورت انرژی گرمایی محسوس و نهان می توان در مواد ذخیره نمود. در ذخیره انرژی محسوس انرژی حرارتی با افزایش دمای جسم جامد یا مایع در آن ذخیره می شود. میزان انرژی محسوس ذخیره شده در جسم تابعی از دما، ظرفیت گرمایی ویژه و مقدار جسم می باشد. ذخیره انرژی گرمایی توسط جسم به صورت نهان به هنگام تغییر فاز جسم از حالت جامد به مایع یا مایع به گاز و یا جامد به جامد صورت می گیرد. مواد تغییر فاز دهنده انرژی را به صورت گرمای نهان ذوب ذخیره می کنند [۵]. همان طور که گفته شد ذخیره سازی گرما از سه طریق تغییر فاز صورت می گیرد، در حالت اول که تغییر فاز از جامد به جامد است به دلیل اینکه انتقال گرما بسیار آهسته و اندک می باشد مناسب نیست. در حالت دوم یعنی تغییر فاز از مایع به گاز هم به دلیل نیاز به گرما و حرارت بالا و همچنین ایجاد حجم فشار بالای گاز عملی نمی باشد. اما تغییر فاز از جامد به مایع مناسب تر است که این ویژگی در مواد تغییر فاز دهنده وجود دارد، که در دمای ثابت با جذب گرما از فاز جامد به مایع تبدیل می شوند [۶]. این مواد انرژی را تقریباً در همان دمایی که جذب می کنند، آزاد نیز می کنند. لازم به ذکر است که این مواد در دمای اتاق جامد هستند.

مواد تغییر فاز دهنده آلی را می توان به گروه پارافین ها و غیرپارافین ها مانند استرها، اسیدهای چرب، الکل ها و گلیکولیک اسیدها تقسیم بندی نمود. دی هیدرات، سولفات سدیم، هگزا هیدرات کلراید کلسیم و پارافین جز مهمترین مواد تغییر فاز دهنده ها هستند. مواد تغییر فاز دهنده را بر اساس دمای تغییر فاز، به سه دسته مهم می توان تقسیم نمود که عبارتند از: یوتکتیک، هیدرات نمک ها و مواد آلی. یوتکتیک ها نمک های محلول در آب هستند که دمای تغییر فاز آنها کمتر است و هیدرات نمک ها، نمک های خاصی هستند که دمای تغییر فاز آنها بالا است. مواد آلی نیز معمولاً از زنجیره های بلند کربن و هیدروژن تشکیل شده اند که دمای تغییر فاز آنها نیز بالا است. برای کاربردهای تجاری و صنعتی، مواد تغییر فاز دهنده برای داخل یک پوشش آب بندی شده قرار می گیرند. دمای کاری متداول ترین مواد تغییر فاز دهنده بین ۴۰- تا ۱۱۷+ درجه سانتیگراد است. این مواد را

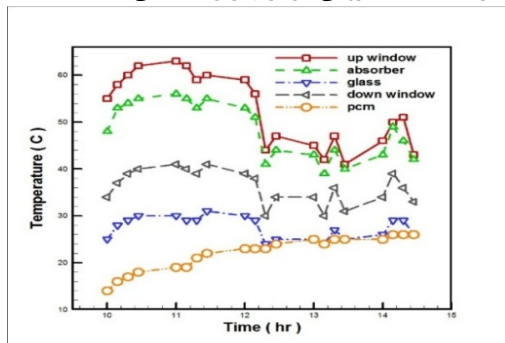
۳- نتایج به دست آمده حاصل از آزمایش

شکل ۳ میزان تشعشع خورشید را در دو روز از ساعت ۹:۳۰ تا ۱۴:۳۰ در فصل زمستان نشان می دهد. داده ها هر پانزده دقیقه یکبار توسط پیرانومتر نصب شده در محل آزمایش اندازه گیری و استخراج و ضبط شده اند. بیشترین تشعشع در بین ساعت ۱۲ تا ۱۲:۱۵ بوده که نزدیک به ظهر خورشیدی محل می باشد.

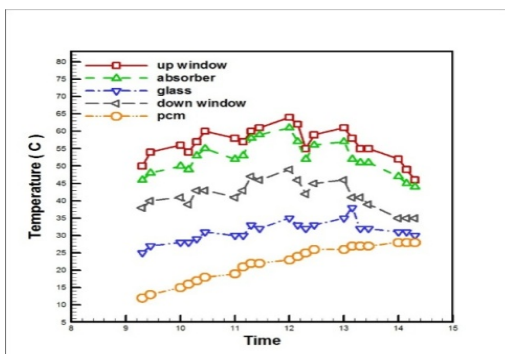


شکل ۳ نمودار تشعشع روزهای ۹۳/۱۱/۱۴ و ۹۳/۱۱/۸

شکل ۴ و ۵ بیانگر دمای نقاط مختلف دیوار ترومب در ساعت های مختلف می باشد از آنجا که تشعشع رابطه مستقیمی با دمای نقاط مختلف دارد بنابراین به طور متوسط با افزایش تشعشع میزان دماها افزایش می یابد. نکته مهم دیگر وابستگی شدید دمای خروجی با صفحه دمای جاذب می باشد. بنابراین هرچه میزان دمای صفحه جاذب افزایش می یابد، دمای خروجی نیز افزایش یافته است. همچنین با توجه به اینکه در پشت صفحه جاذب از مواد تغییر فاز دهنده استفاده شده دمای صفحه جاذب در تمامی موارد بیشترین مقدار را داشته در نتیجه دمای خروجی نیز در بهترین حالت می باشد.



شکل ۴ نمودار تغییرات دمای دیوار ترومب در روز ۹۳/۱۱/۸



شکل ۵ نمودار تغییرات دمای دیوار ترومب در روز ۹۳/۱۱/۱۴

پس از انجام تستهای میدانی با مدلسازی دیوار، عملکرد آن مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. مشخصات دیوار و دریچه های بررسی شده در جدول یک و دو بیان شده است.

جدول ۱ مشخصات دیوار ترومب

اجزا ^(۹)	طول(متر)	عرض(متر)	ضخامت(سانتیمتر)	جنس
دیوار ترومب	۱	۱,۵	۱۵	ترکیبی
صفحه جاذب	۱	۱,۵	۰,۱	آلومینیوم
شیشه	۱	۱,۵	۰,۴	شیشه
صفحه پشت قاب	۱	۱,۵	۰,۱	گالوانیزه
مخزن مواد	۰,۶	۱,۵	۵	گالوانیزه

جدول ۲ مختصات دریچه ها

دریچه	طول(CM)	عرض(CM)
دریچه خروجی	۷۰	۲۰
دریچه ورودی	۷۰	۲۰

به منظور داده برداری تجربی ترموکوپل هایی در ورودی، خروجی و نیز داخل مواد تغییر فاز دهنده و بر روی صفحه جاذب و شیشه قرار داده شده است. ترموکوپل ها از نوع PT100 می باشد. از یک نمایشگر تک کاناله برای نمایش دما و یک سویچ نیز در این آزمایش استفاده شده است. از آنجا که نمایشگر تک کاناله می باشد سویچ وظیفه تغییر ترموکوپل ها را جهت خواندن دماها بعدده دارد. شکل دو اجزا و قطعات دیوار ساخته شده را نمایش می دهد.



شکل ۲ صفحه جاذب، مخزن و فضای داخلی دیوار ترومب

هدف اصلی در این پژوهش همانگونه که بیان شد آنالیز تجربی دریچه های دیوار ترومب و استفاده از مواد تغییر فاز دهنده به منظور بررسی مکانیزم انتقال حرارت و بررسی تاثیر وجود این مواد بر روی خروجی دیوار ترومب می باشد. لذا بدین منظور دستگاه ساخته شده در دو حالت زمستانی و تابستانی تست گردیده و نتایج مورد بررسی قرار گرفته است. آزمایشات صورت گرفته در موقعیت جغرافیایی سمنان (۳۵/۵۷ درجه شرقی و ۳۸/۵۳ درجه شمالی) صورت گرفته است. جدول شماره ۳ روز های انجام آزمایش را در فصول سرد و گرم نمایش می دهد.

جدول ۳ روزهای انجام آزمایش

روزهای زمستانی(سرد)	روزهای تابستانی(گرم)
۱۳۹۳/۱۱/۸	۱۳۹۴/۲/۳
۱۳۹۳/۱۱/۱۴	۱۳۹۴/۲/۴

از آنجایی که نقطه ذوب مواد تغییر فاز دهنده به کار رفته در دیوار ترومب ساخته شده ۴۰ تا ۴۵ درجه سانتی گراد است لذا مواد تغییر فاز دهنده استفاده شده در فصل زمستان به آستانه نقطه ذوب نرسیده و از حداکثر انرژی ذخیره ای (گرمای نهان) استفاده نشده است ولی در تست تابستانی مواد مذکور به نقطه ذوب رسیده و از حداکثر گرمای نهان ذوب نیز استفاده شده است. ساخت دیوار ترومب با مواد تغییر فاز دهنده تابع شدت تابش منطقه بوده و نوع مواد تغییر فاز دهنده استفاده شده در ساخت دیوار می بایست بر اساس شدت تابش و دمای حاصله انتخاب گردد تا بتوان از حداکثر انرژی گرمای نهان مواد تغییر فاز دهنده استفاده نمود.

۴- حل عددی

امروزه به دلیل هزینه های زیاد اندازه گیری های تجربی، ترجیح داده می شود. آزمایش ها بر روی مدلی با مقیاس کوچکتر از نسخه اصلی انجام پذیرد. اساسی ترین معادلات حاکم بر جریان سیال، معادلات بقا شامل معادلات بقای جرم، اندازه حرکت و انرژی است. اساس تکنیک CFD استفاده از روشهای عددی جهت حل معادلات بقا، در دامنه هندسی سیستم جریانی و پیدا کردن خصوصیات جریان شامل نیم رخدای سرعت، فشار، دما، غلظت و سایر خواص جریان می باشد. معادلات پیوستگی، مومنتم و انرژی به ترتیب به صورت معادلات ۱ الی ۳ به شرح زیر می باشند.

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \quad (1)$$

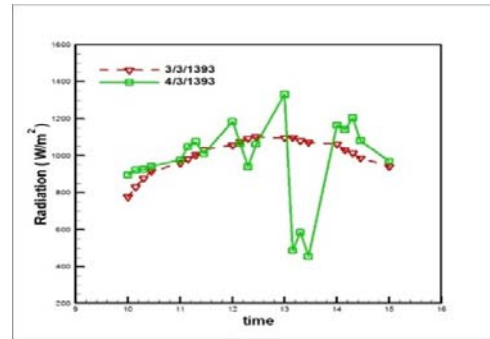
$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(2S_{ij} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho \overline{u_i' u_j'}) \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i} [u_i (\rho E + p)] = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[K_{eff} \frac{\partial T}{\partial x_j} + u_i (\tau_{ij})_{eff} \right] \quad (3)$$

در معادله (۳) K_{eff} ضریب هدایت گرمایی موثر و $(\tau_{ij})_{eff}$ تانسور تنش موثر و H_{eff} ویسکوزیته موثر می باشد. اساس حرکت سیال در جابه جایی آزاد یا طبیعی اثر نیروی جسمی بر سیال و بوجود آمدن گرادیان چگالی است. حاصل این پدیده نیروی غوطه وری است که جریان های جابه جایی آزاد را بوجود می آورد. در اغلب اوقات گرادیان چگالی ناشی از گرادیان دما و نیروی جسمی ناشی از میدان جاذبه زمین است. چون سرعت های جریان جابه جایی آزاد عموماً کمتر از جابه جایی اجباری است، نرخ انتقال جابه جایی نیز کمتر خواهد بود. لایه مرزی جابه جایی آزاد فقط به جریان آرام ختم نمی شود. جریان جابه جایی آزاد عموماً از ناپایداری حرارتی سرچشمه می گیرد. یعنی سیال گرمتر و سبک تر نسبت به سیال سردتر و سنگین تر رو به بالا حرکت می کند. اما مانند جابه جایی اجباری، ناپایداری هیدرو دینامیکی نیز ممکن است در جریان به وجود آید. یعنی اغتشاشات کوچک در جریان ممکن است تقویت شده و جریان را از آرام به مغشوش تبدیل کند. تبدیل جریان در لایه مرزی جابه جایی آزاد بستگی به اندازه نسبی نیروی غوطه وری به نیروی لزجت در سیال دارد. معمولاً وقوع تبدیل جریان را به عدد رایلی که حاصل ضرب عدد گرافش در پرانتل است مربوط می کنند. شایان ذکر است برای اکثر فرآیندهای مهندسی عدد رایلی بسیار بزرگ است و مقداری در حدود 10^6 تا 10^8 دارد [۱۴].

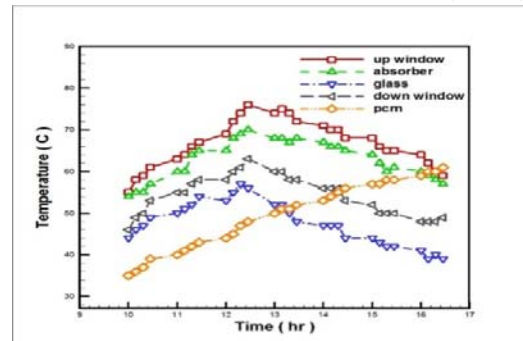
به منظور بررسی و آنالیز عددی مسئله مورد نظر لازم است که مسئله را از فضای فیزیکی به فضای هندسی و سپس عددی برد. لذا بدین منظور هندسه مورد نظر در نرم افزار گمیت (شکل ۹) کشیده شده است و پس از اعمال شرایط مرزی مسئله مورد نظر شبکه بندی شده است (شکل ۱۰).

شکل ۶ نمودار تشعشع در روزهای گرم سوم و چهارم خرداد ماه را از ساعت ۱۰ الی ۱۶:۴۵ نشان می دهد. بیشترین تشعشع روز سوم در ساعت ۱۳:۱۵ و بیشترین تشعشع روز چهارم در ساعت ۱۳ می باشد.



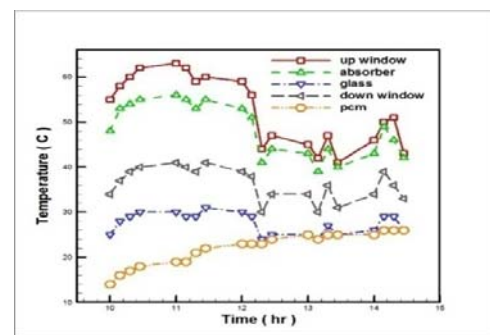
شکل ۶ نمودار تشعشع ۹۴/۳/۳ و ۹۴/۳/۴

شکل ۷ نیز تغییرات دما در روز ۹۴/۳/۳ را نشان می دهد. این تغییرات از ساعت ۱۰ تا ساعت ۱۶:۴۵ هر ۱۵ دقیقه یک بار با استفاده از ۵ ترموکوپل نصب شده در قسمت های مختلف دستگاه ضبط شده است. دمای مواد تغییر فاز دهنده از ۳۵ درجه سانتیگراد به ۶۱ درجه سانتیگراد افزایش یافته است. یعنی ۳۴ درجه سانتی گراد افزایش دما داشته است. دمای ذوب مواد تغییر فاز دهنده که در این آزمایش بررسی شده بین ۴۰ تا ۴۵ درجه سانتی گراد است. مواد تغییر فاز دهنده در دمای ۶۱ درجه سانتی گراد بیشترین انرژی را در خود ذخیره کرده است و بیشترین درجه حرارت خروجی برابر با ۷۵ درجه سانتی گراد می باشد.

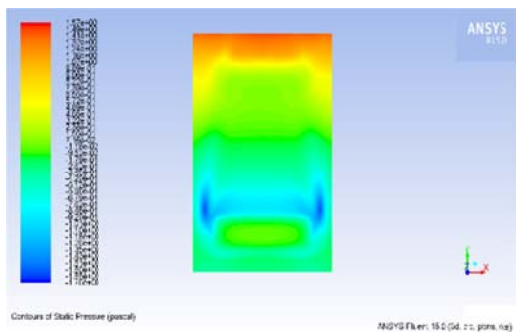


شکل ۷ نمودار تغییرات دما روز ۹۴/۳/۳

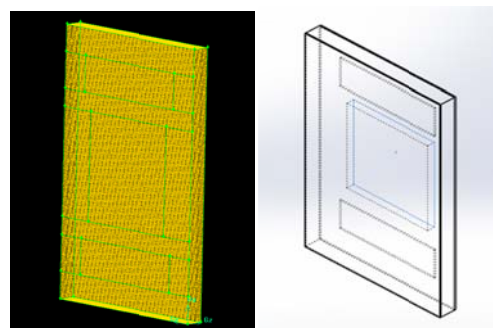
شکل ۸ تغییرات دمایی در روز ۱۳۹۴/۳/۴ را نشان می دهد. دمای مواد تغییر فاز دهنده در ساعت ۱۰:۳۰ برابر با ۳۶ درجه سانتی گراد و در ساعت ۱۵ برابر با ۵۲ درجه سانتی گراد می باشد. بیشترین درجه حرارت خروجی در ساعت ۱۳ که بیشترین تشعشع را داراست برابر با ۷۴ درجه سانتی گراد بوده است.



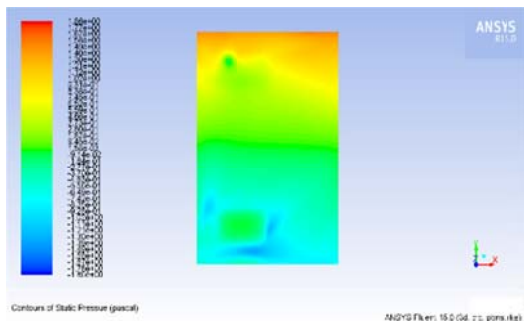
شکل ۸ نمودار تغییرات دمایی روز ۹۴/۳/۴



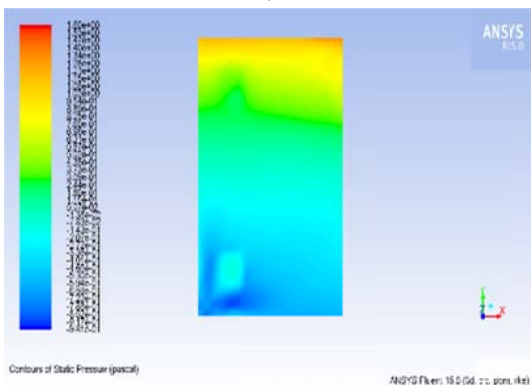
الف



شکل ۹ هندسه دستگاہ شکل ۱۰ شبکه بندی ایجاد شده



ب



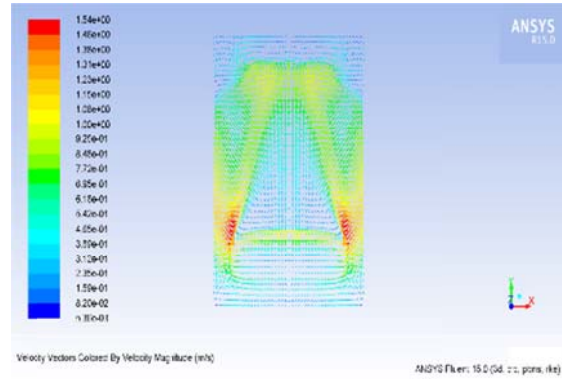
ج

شکل ۱۱ کانتورهای دمای استاتیک (الف) ۷۰ سانتی متر، (ب) ۳۵ سانتی متر، (ج) ۱۷٫۵ سانتی متر

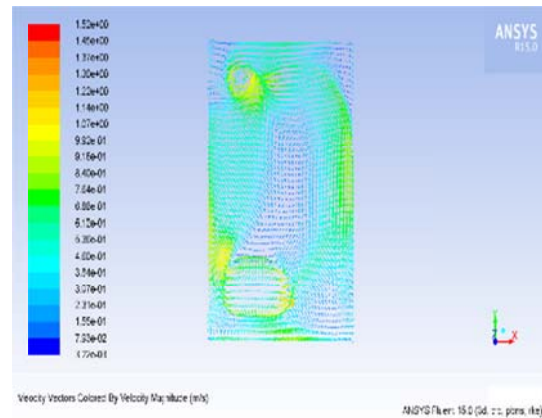
شکل ۱۲ نشان دهنده بردارهای سرعت در دیوار ترومب در سه سایز مختلف دریچه می باشد. نتایج شکل نشان می دهد وجود مواد تغییر فاز دهنده باعث افزایش سرعت در این ناحیه و در نتیجه انتقال حرارت بهتر شده است که تمامی این عوامل منجر به افزایش درجه حرارت سیال خروجی شده است. لازم به ذکر است کاهش اندازه دریچه باعث کاهش مینیمم سرعت گردابه ها شده است، که این امر خود می تواند دلیلی بر افزایش درجه حرارت خروجی در دریچه های کوچکتر باشد.

با توجه به اینکه مسئله مورد بررسی مذکور تحلیل انتقال حرارت در حالت جریان طبیعی می باشد، لذا برای ورودی شرط مرزی فشار ورودی و برای خروجی شرط مرزی فشار خروجی در نظر گرفته شده است. در پژوهش حاضر عدد رایلی برابر $10^8 \times 53$ می باشد لذا جریان توربولانس بوده بنابراین از مدل k-e realizable استفاده شده است. از آنجا که در هر آنالیز عددی بررسی استقلال از شبکه امری بدیهی و لازم است بنابراین در ابتدا مسئله برای تعداد مختلف شبکه رسم شده است و در نهایت تعداد شبکه ۱۶۷۵۴۶ جهت ادامه حل انتخاب شده است. پس از ایجاد هندسه و شبکه بندی و نیز اعمال شرایط مرزی بر سطوح هندسی در نرم افزار گمبیت شبکه ایجاد شده در نرم افزار فلوئنت ۱۵ فراخوانی شده است و باتوجه به معادلات حاکم (۱) الی (۳) و اعمال شرایط مسئله و انتخاب معادلات بوزیسنک مسئله حل شده است. باتوجه به اینکه در این پژوهش آنالیز عددی دیوار ترومب در شرایط بدون در نظر گرفتن زمان است و فقط هدف بررسی نحوه حرکت جریان و تاثیر مواد تغییر فاز دهنده در دیوار می باشد. لذا فقط شرایط داده شده یعنی ساعت ۱۱:۴۵ روز ۹۳/۱۱/۱۴ به عنوان پایه حل عددی قرار گرفته است. شکل ۱۱ نشان دهنده کانتورهای دمای استاتیک در سه سایز مختلف دریچه می باشد. خواص استاتیک مستقل از سرعت ناظر هستند.

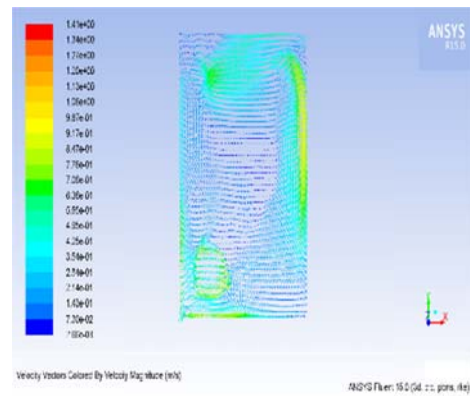
سرعت ناشی از این امر باعث سرعت بخشیدن به گردابه ها شده که موجب تسریع در امر انتقال حرارت می باشد. همچنین لازم به ذکر است درجه حرارت خروجی دیوار در دو حالت تجربی و عددی در شکل ۱۳ مقایسه گردیده و خطای دو درصدی نتایج عددی بیانگر صحت محاسبات و مدل سازی مورد نظر می باشد. همچنین در شرایط یکسان که دریچه حالت مربعی دارد از سمت راست به چپ یا برعکس جا بجا شود (شکل ۱۵ ج و د) تأثیری در دمای خروجی نخواهد داشت. به طوری که در این حالت دمای خروجی برای دریچه راست برابر ۳۳۲/۵۵ کلوین و برای دریچه چپ برابر ۳۳۲/۷۴ کلوین است.



الف

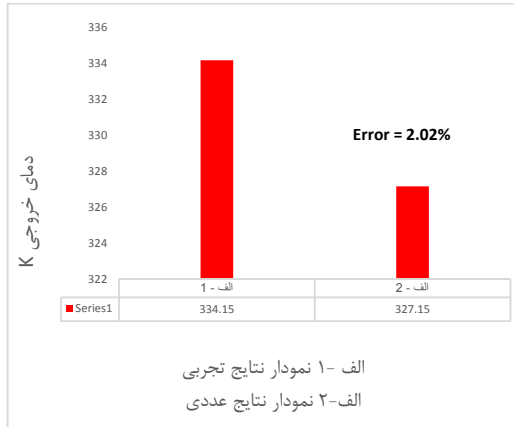


ب

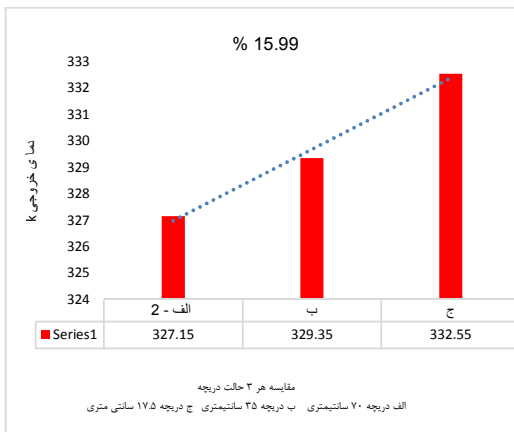


ج

شکل ۱۲ بردار سرعت الف (۷۰ سانتی متر، ب) ۳۵ سانتی متر، ج) ۱۷٫۵ سانتی متر



شکل ۱۳ مقایسه نتایج تجربی و عددی



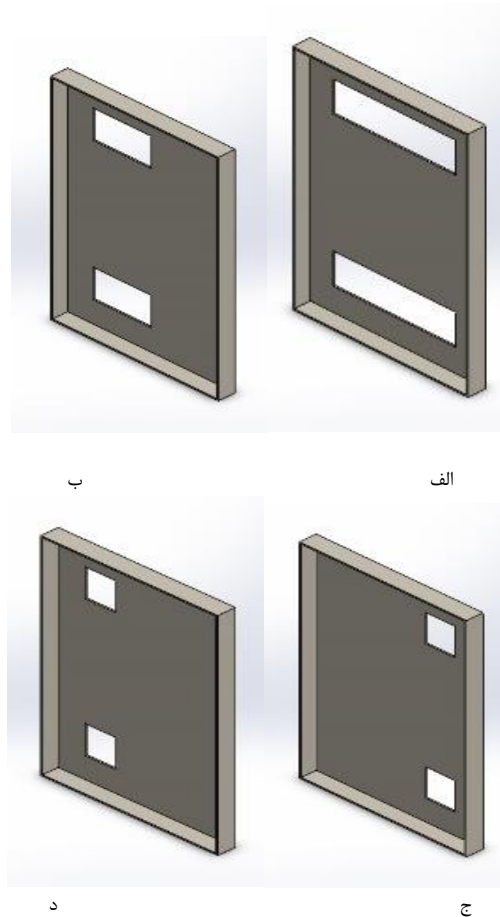
شکل ۱۴ نمودار نتایج عددی تأثیر تغییر سایز دریچه ها در دمای خروجی

شکل ۱۳ و ۱۴ و ۱۵ تأثیر اندازه دریچه خروجی و ورودی را نشان می دهد، به نحوی که هر دو دریچه در دو حالت به یک اندازه کوچکتر شده اند. در حالت آزمایشگاهی طول دریچه ورودی و خروجی ۷۰ سانتی متر میباشد. در دو حالت بعدی یک بار طول ۳۵ سانتی متر و بار دیگر ۱۷/۵ سانتیمتر می باشد. در همه حالات عرض ثابت و برابر ۲۰ سانتیمتر است. همانگونه که قابل مشاهده است با کوچکتر شدن دریچه خروجی دمای بیشتری را نشان می دهد. البته این میزان افزایش دما از حالت الف به ب برابر ۶/۳۷ درصد و از حالت ب به ج برابر ۹/۶۲ درصد می باشد. دلیل این امر را افزایش سطح مقطع صفحه جاذب کاهش فشار در مقطع خروجی است. همچنین افزایش

متر و بار دیگر ۱۷/۵ سانتیمتر میباشد در همه حالات طول ثابت و برابر همان ۲۰ سانتیمتر بوده است. با کوچکتر شدن دریچه خروجی دمای بیشتری را نشان میدهد. البته این میزان افزایش دما از حالت الف به ب برابر ۶/۳۷ درصد و از حالت ب به ج برابر ۹/۶۲ درصد می باشد. در شرایط یکسان که دریچه حالت مربعی دارد از سمت راست به چپ یا برعکس جابجا شود، تاثیری در دمای خروجی نخواهد داشت. به طوری که در این حالت دمای خروجی برای دریچه راست برابر ۳۳۲/۵۵ کلوین و برای دریچه چپ برابر ۳۳۲/۷۴ کلوین است.

۶- مراجع

- [1] Zamora B, Kaiser A, Thermal and dynamic optimization of the convective flow in trombe wall shaped channels by numerical investigation, *Heat and Mass Transfer* 2009; 45:1393-407
- [2] Llovera J, Potau X, Medrano M, Cabeza LF. Design and performance of energy-efficient solar residential house in Andorra. *Applied Energy* 2011; 88:1343-5
- [3] Koyunbaba BK, Yilmaz Z, Ulgen K. An approach for energy modeling of a building integrated photovoltaic (BIPV) trombe wall system. *Energy and Buildings*. 2011
- [4] Hordeski MF. *Dictionary of energy efficiency technologies*. Fairmont Press; 2004.
- [5] S. Haghshenas Kashani, Reduce energy consumption in buildings with energy storage in the phase-change material, *The first International Conference on heating, cooling and ventilation systems*, Tehran, Iran, 2009. (In Persian)
- [6] M.Fazilati, A.alam Rajabi, Energy and exergy performance of solar water heaters using phase change materials, *solar energy*, 2009.
- [7] F. Sheikh Jaber, The use of nanotechnology in thermal energy storage, *Nanotechnology journal*, Issue 4, 2011. (In Persian).
- [8] Jaber S, Ajib S. Optimum design of trombe wall system in mediterranean region. *Solar Energy* 2011; 85:1891-8.
- [9] Balcomb JD, McFarland RD. Simple empirical method for estimating the performance of a passive solar heated building of the thermal storage wall. *National Passive Solar Conference*. LA-UR-78-1159. Philadelphia PA, March 16-18, 1978
- [10] Ferreira J, Pinheiro M. In search of better energy performance in the Portuguese buildings the case of the Portuguese regulation. *Energy Policy* 2011; 39:7666-83.
- [11] Sebald AV, Clinton JR, Langenbacher F. Performance effects of trombe wall control strategies. *Solar Energy* 1997; 23:479-87.
- [12] Bourdeau LE. Study of two passive solar systems containing phase change materials for thermal storage. *Fifth Natl passive solar conference*.
- [13] Onishi J, Soeda H, Mizuno M. Numerical study on a low energy architecture based upon distributed heat storage system. *Renewable Energy* 2001; 22:61-6.
- [14] Donald L. Turcotte; Gerald Schubert, Geodynamics. Cambridge University. 2002, ISBN 978-0-521-66624-4.



شکل ۱۵ هندسه حل عددی (الف) ۷۰ سانتی متر، (ب) ۲۵ سانتی متر، (ج) ۱۷٫۵ سانتی متر سمت راست دیوار (د) ۱۷٫۵ سانتی متر سمت چپ دیوار

۵- نتیجه گیری

هدف اصلی در این پژوهش آنالیز تجربی و عددی دریچه های دیوار ترومب با استفاده از مواد تغییر فاز دهنده به منظور بررسی مکانیزم انتقال حرارت و بررسی تاثیر وجود مواد تغییر فاز دهنده بر روی درجه حرارت خروجی دیوار ترومب می باشد. نتایج بیانگر آن است. از آنجا که تشعشع رابطه مستقیمی با درجه حرارت دارد. بنابراین افزایش تشعشع باعث افزایش درجه حرارت کلیه نقاط دیوار ترومب و مواد تغییر فاز دهنده می گردد. نکته مهم دیگر وابستگی شدید دمای صفحه جاذب با دمای خروجی می باشد. بنابراین هرچه میزان دمای صفحه جاذب افزایش یابد دمای خروجی نیز افزایش می یابد و نیز با توجه به اینکه در پشت صفحه جاذب از مواد تغییر فاز دهنده استفاده شده است، دمای صفحه جاذب در تمامی موارد بیشترین مقدار را داشته در نتیجه دمای خروجی نیز در بهترین حالت می باشد. ساخت دیوار ترومب با مواد تغییر فاز دهنده تابع شدت تابش منطقه بوده و نوع مواد تغییر فاز دهنده استفاده شده در ساخت دیوار می بایست بر اساس شدت تابش و دمای حاصله انتخاب گردد تا از حداکثر انرژی گرمای نهان مواد تغییر فاز دهنده استفاده گردد. وجود مواد تغییر فاز دهنده باعث افزایش سرعت و قدرت گردابه در این ناحیه و در نتیجه انتقال حرارت بهتر شده است که تمامی این عوامل منجر به بهبود دمای خروجی می گردد. در حالت آزمایشگاهی طول دریچه ورودی و خروجی ۷۰ سانتی متر میباشد، در دو حالت بعدی یک بار طول ۳۵ سانتی