بررسی عددی آسایش حرارتی دریک اتاق مجهز به دیوار ترومب

منوچهرجوادی‌وند1، مرتضی عبدل‌زاده‏2،

1- دانشجو کارشناسی ارشد تبدیل انرژی، دانشکده مهندسی مکانیک و مواد، گروه تبدیل و سیستم‌های انرژی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، ‏کرمان

2- دانشیار مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی مکانیک و مواد، گروه تبدیل و سیستم‌های انرژی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، ‏کرمان

****

m.abdolzadeh@kgut.ac.ir‎

# خلاصه

در این پژوهش یک اتاق مجهز به دیوار ترومب در یکی از روزهای زمستان جهت گرمایش اتاق به صورت عددی شبیه‌سازی شد. تاثیر شار ورودی خورشید بر روی جاذب در نظر گرفته شد و به واسطه‌ی گرم شدن جاذب و شتاب گرانش جریان هوا به شکل جابه‌جایی آزاد در محفظه‌ی اتاق به حرکت درآمد.وضعیت جریان هوا در اتاق با استفاده از کانتورهای دما و سرعت و بردارهای سرعت بررسی شد. همچنین تغییرات دما و سرعت در چاه‌های حرارتی (در و پنجره) ، نزدیک دیوار ذخیره‌ساز و وسط اتاق در راستای ارتفاع اتاق بررسی شد و مشخص شد که به دلیل ناکافی بودن انرژی دریافتی دیوار ترومب آسایش حرارتی در اتاق برقرار نمی شود و استفاده از سیستم گرمایش کمکی ضروری است.

**کلمات کلیدی: دیوار ترومب، جابه‌جایی آزاد، ، روش عددی، آسایش حرارتی**

**1. مقدمه**

در ساختمان‌ها ‏فرصت حفظ و بقای انرژی بالقوه‌ای وجود دارد زیرا برای ‏گرمایش، سرمایش و تهویه هوا و غیره به انرژی نیاز است ‏که از میان آن‌ها گرمایش سهم عمده‌ای در مصرف انرژی ‏دارد. با استفاده از انرژی پاک و تجدیدپذیر خورشید می‌توان تا حد زیادی انرژی مورد نیاز ساختمان را جهت گرمایش تامین کرد. یکی از این روش‌ها استفاده از روش‌ جذب غیر مستقیم به وسیله دیوار ترومب[[1]](#footnote-1) است[1]. دیوار ترومب به عنوان جزء گرمایشی غیرفعال[[2]](#footnote-2) در معماری ساختمان، جهت ذخیره‌سازی و جذب انرژی تجدیدپذیر[[3]](#footnote-3) تابشی خورشید طراحی شده است. گرمایش غیرفعال خورشیدی به گرمایش هوا بدون استفاده از ابزارهای متحرک و مصرف انرژی اطلاق می‌گردد. گرمایش توسط دیوار ترومب مبتنی بر جذب تابش خورشید توسط دیواری با ظرفیت گرمایی و ضریب جذب[[4]](#footnote-4) (گسیلمندی[[5]](#footnote-5)) تابشی بالاست. اﯾﻦ دﯾﻮار در ﭘﺸﺖ ﯾﮏ ﺟﺪاره ﺷﻔﺎف ﺷﯿﺸﻪاي در ﺿﻠﻊ ﺟﻨﻮﺑﯽ ﺳﺎﺧﺘﻤﺎن (ﺳﻤﺖ آﻓﺘﺎبﮔﯿﺮ در زﻣﺴﺘﺎن در ﻧﯿﻤﮑﺮه ﺷﻤﺎﻟﯽ) ﻗﺮار ﻣﯽﮔﯿﺮد. ﺣﺮارت ﺟﺬب ﺷﺪه ﺗﻮﺳﻂ دﯾﻮار ﺗﺮوﻣﺐ در ﻓﻀﺎي ﺑﯿﻦ دﯾﻮار و‬ ﺟﺪاره ﺷﯿﺸﻪاي ﻣﺤﺒﻮس ﺷﺪه و از ﻃﺮﯾﻖ ﭘﺪﯾﺪهﻫﺎي اﻧﺘﻘﺎل ﺣﺮارت ﻫﺪاﯾﺖ ﺣﺮارﺗﯽ، ﺟﺎﺑﺠﺎﯾﯽ و ﺗﺸﻌﺸﻊ ﺑﻪ ﻫﻮاي داﺧﻞ ﻣﻨﺘﻘﻞ‬ ﻣﯽﺷﻮد. وﺟﻮد دو درﯾﭽﻪ در ﭘﺎﯾﯿﻦ و ﺑﺎﻻي ﻣﻘﻄﻊ ارﺗﻔﺎﻋﯽ دﯾﻮار ﺑﺎﻋﺚ اﯾﺠﺎد ﺟﺮﯾﺎن ﻫﻮا ﺑﯿﻦ اﯾﻦ دو ﻣﻘﻄﻊ ﻣﯽﺷﻮد[2].‬‬‬‬‬‬‬

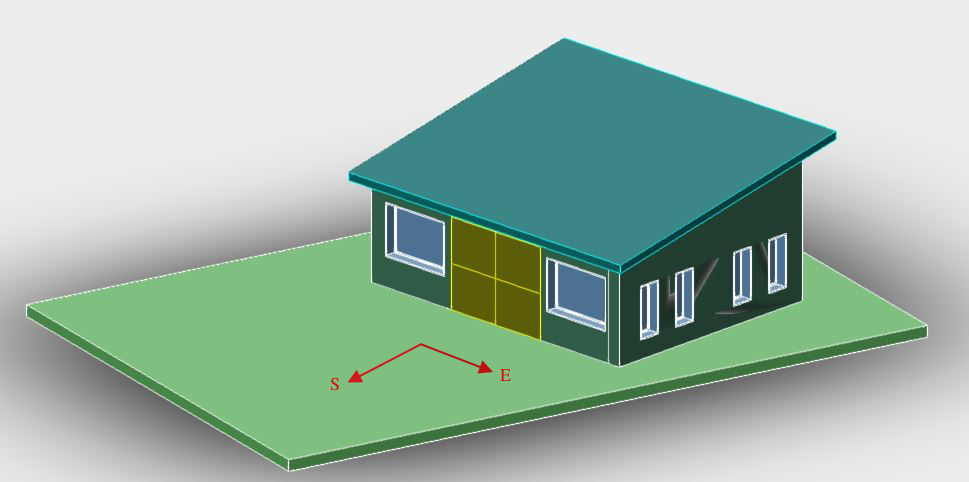
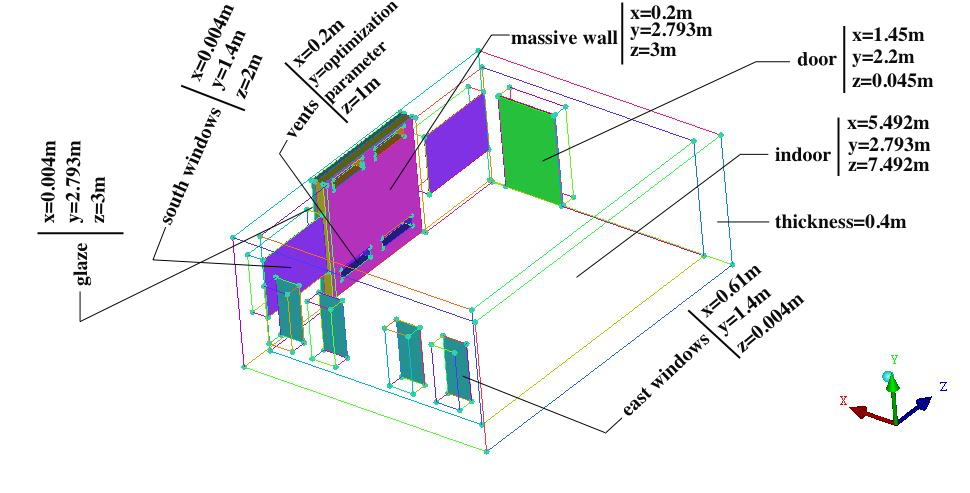
جبران و همکاران انتقال گرمای جابه‌جایی آرام بین سطوح کانال دیوار ترومب و یک نسخه ی ‏اصلاح شده دیوار ‏ترومب معمولی را ‏مورد بررسی قرار دادند. پروفیل‌های سرعت، دما و افت فشار ‏برای دیوار ترومب مورد بررسی قرار گرفت. آنها ‏نشان دادند، دمای دیوار سنگی ‏غیریکنواخت است و ‏به صورت توانی است. تغییر سرعت سیال، دما و میانگین عدد ناسلت را ‏به صورت عددی برای زاویه ‏شیب دلخواه دیوار ‏شیشه‌ای برای دیوار ترومب مورد مطالعه قرار دادند.‏‎ ‎مشخص شد که ‏شیب ‏شیشه تاثیر به سزایی بر میانگین عدد ناسلت دارد[3]. ﻫﯿﺮون ﻻب و ﻫﻤﮑﺎران ﺑﺎ راه‌اﻧﺪازي ﯾﮏ دﯾﻮار ﺗﺮوﻣﺐ ﺑﻪ ارﺗﻔﺎع 1 ﻣﺘﺮ، ﻋﻤﻠﮑﺮد دﯾﻮار ﺗﺮوﻣﺐ را در ‏ﺗﺎﺑﺶ 406 وات ﺑﺮ ﻣﺘﺮﻣﺮﺑﻊ ﺑﺎ دﻣﺎي ﻫﻮاي ورودي 28 درﺟﻪ ﺳلسیوس ﺑﻪﻣﻨﻈﻮر ﺗﺄﻣﯿﻦ ﮔﺮﻣﺎﯾﺶ ‏ﺳﺎﺧﺘﻤﺎن آﻧﺎﻟﯿﺰ ﻧﻤﻮدﻧﺪ. ﻧﺘﺎﯾﺞ آنﻫﺎ ﻧﺸﺎن داد ﮐﻪ در اﯾﻦ ﺣﺎﻟﺖ ﻫﻮا ﺑﺎ دﻣﺎي 42 درﺟﻪ ﺳلسیوس ‏دﯾﻮار را ﺗﺮك ﻣﯽﮐﻨﺪ و وارد ﺳﺎﺧﺘﻤﺎن ﻣﯽﺷﻮد، ﺑﺎ اﻓﺰاﯾﺶ ارﺗﻔﺎع دﯾﻮار و ﻋﺮض ﮐﺎﻧﺎل ﻫﻮا، دﻣﺎ اﻓﺰاﯾﺶ ‏ﻣﯽﯾﺎﺑﺪ. ﻫﻤﭽﻨﯿﻦ ﻧﺘﺎﯾﺞ آنﻫﺎ ﻧﺸﺎن داد ﮐﻪ در ﻓﺼﻮل ﺧﯿﻠﯽ ﮔﺮم، ﺗﺄﻣﯿﻦ آﺳﺎﯾﺶ ﺣﺮارﺗﯽ ﮐﺎﻣﻞ ‏ﺳﺎﮐﻨﯿﻦ ﺑﺎ ﺗﻬﻮﯾﻪ ﻃﺒﯿﻌﯽ اﻣﮑﺎنﭘﺬﯾﺮ ﻧﯿﺴﺖ وﻟﯽ دﯾﻮار ﻣﯽﺗﻮاﻧﺪ ﺑﺎر ﺳﺮﻣﺎﯾﺸﯽ ﺳﺎﺧﺘﻤﺎن را ﮐﺎﻫﺶ ‏دهد[4].چن و همکاران به صورت تجربی تاثیر استفاده دیوار ترومب بر دمای هوای اتاق را مطالعه ‏کردند. نتایج نشان داد ‏که در بخش جنوبی ‏ساختمان، افزایش درجه حرارت در اتاق تست ۳-۵ ‏درجه سانتیگراد بیشتر از اتاق مرجع است[5].فرناندز گنزالس عملکرد گرمایی دیوار ترومب در ساختمان‌های مسکونی را مطالعه کردند. او ‏دریافت که دیوار با ‏‏20 سانتیمتر ضخامت ‏بتن شرایط گرمایی داخلی مناسبی فراهم می‌کند[6].ﺟﺎﺑﺮ و ﻋﺠﯿﺐ ﺑﻪ ﺑﺮرﺳﯽ ﮔﺮﻣﺎﯾﯽ، اﻗﺘﺼﺎدي و زﯾﺴﺖﻣﺤﯿﻄﯽ ﯾﮏ ﺳﯿﺴﺘﻢ دﯾﻮار ﺗﺮوﻣﺐ ﺑﺮاي ﯾﮏ ‏ﺳﺎﺧﺘﻤﺎن ﻣﺴﮑﻮﻧﯽ در ﻣﻨﻄﻘﻪ ﻣﺪﯾﺘﺮاﻧﻪ در ﻓﺼﻞ ﺳﺮﻣﺎ ﭘﺮداﺧﺘﻨﺪ. ﻧﺘﺎﯾﺞ آنﻫﺎ ﻧﺸﺎن داد ﮐﻪ ﺑﻬﯿﻨﻪﺗﺮﯾﻦ ‏ﻧﺴﺒﺖ ﺳﻄﺢ دﯾﻮار ﺗﺮوﻣﺐ ﺑﻪ ﺳﻄﺢ ﮐﻞ دﯾﻮار ﺟﻨﻮﺑﯽ، از دﯾﺪﮔﺎه اﻧﺮژي و اﻗﺘﺼﺎدي 34 ‎ﻣﯽﺑﺎﺷﺪ ﮐﻪ ﻣﯽﺗﻮاﻧﺪ 1/32 ﺗﻘﺎﺿﺎي اﻧﺮژي ﺳﺎﻟﯿﺎﻧﻪ ﺳﺎﺧﺘﻤﺎن را ﺗﺄﻣﯿﻦ ﮐﻨﺪ[7].ﺑﺎچ و ﻫﻤﮑﺎران ﺑﻪ آﻧﺎﻟﯿﺰ ‏CFD‏ ﺳﻪﺑﻌﺪي ﻣﯿﺪان دﻣﺎي دﯾﻮار ﺗﺮوﻣﺐ و اﺗﺎق ﻣﺠﺎور دﯾﻮار ‏ﺗﺮوﻣﺐ در ﺷﺮاﯾﻂ آب و ﻫﻮاﯾﯽ ﻣﺘﺪاول ﺑﻠﮕﺮاد ﺻﺮﺑﺴﺘﺎن ﭘﺮداﺧﺘﻨﺪ. در ﺷﺒﯿﻪﺳﺎزي اﻧﺠﺎمﺷﺪه ﺗﻮﺳﻂ ‏آنﻫﺎ دﯾﻮار در ﺳﻤﺖ ﺟﻨﻮﺑﯽ ﺳﺎﺧﺘﻤﺎن ﻗﺮارﮔﺮﻓﺘﻪ و ﺑﻪﻣﻨﻈﻮر ﺟﺬب اﻧﺮژي ﺧﻮرﺷﯿﺪي ﺑﯿﺸﺘﺮ ﺑﺎ ‏ﻻﯾﻪاي ﺗﯿﺮه‌رﻧﮓ ﭘﻮﺷﺶ داده ﺷﺪ. درﻧﻬﺎﯾﺖ ﻧﺘﺎﯾﺞ آنﻫﺎ ﻧﺸﺎن داد ﮐﻪ دﯾﻮار ﺗﺮوﻣﺐ ﺗﺄﺛﯿﺮ ﺑﺴﯿﺎر زﯾﺎدي ‏ﺑﺮ ﻣﯿﺪان دﻣﺎي اﺗﺎق دارد و در ﻓﺼﻞ زﻣﺴﺘﺎن ﮐﻤﮏ ﻗﺎﺑﻞﺗﻮﺟﻬﯽ ﺑﻪ ﮔﺮﻣﺎﯾﺶ اﺗﺎق ﻣﯽﮐﻨﺪ و ﻗﺎدر اﺳﺖ ‏در ﯾﮏ روز ﺳﺮد زﻣﺴﺘﺎﻧﯽ، دﻣﺎي اﺗﺎق را ﺗﺎ 7/14 درﺟﻪ ﺳﺎﻧﺘﯽﮔﺮاد اﻓﺰاﯾﺶ دﻫﺪ[8].بوجیک و همکاران بهینه‌سازی و عملکرد محیطی دیوار ترومب را مورد بررسی قرار دادند. نتایج ‏نشان داد که ساختمان‌های با ‏دیوارهای ترومب انرژی سالانه را در حدود ۲۰ درصد در طول فصل ‏گرمایش کاهش می‌دهند[9].

در این پژوهش یک اتاق مجهز به یک دیوار ترومب شبیه سازی محاسباتی و عملکرد ان در یک روز سرد زمستانی با بدست آوردن آسایش حرارتی تعیین می شود.

**2. توصیف سیستم** و معادلات حاکم

هندسه‌ی ساختمان با توجه به مطالعات قبلی ایجاد شد. ابعاد خارجی آن‏ 352/6 در 155/3 در 352/8 ‏متر است. سقف شیبدار عایق در نظر گرفته شد بنابراین تاثیر انتقال حرارت از سقف ‏در نظر گرفته نمی‌شود. نسبت دیوار ترومب به دیوار جنوبی 34‏ در نظر گرفته شد و برای ‏دریافت مستقیم تابش خورشید چهار پنجره در ضلع شرقی و دو پنجره در ظلع جنوبی قرار داده ‏شد.‏ هندسه و ابعاد ‏ساختمان در شکل 1 نشان داده شده است.‏‎‏ ‏

همه‌ی دیوارها، سقف، کف و دیوار ذخیره‌ساز از جنس بتن، پنجره‌ها و شیشه‌ی دیوار ترومب ‏تکجداره با ضخامت 4 میلیمتر و جنس در چوب در نظر گرفته شد. خواص مواد در ‏جدول 2آورده خواهد شد.‏



**0.25m**

**(الف) (ب)**

**شکل 1 – (الف) نمای جنوبی و شرقی اتاق (ب) معرفی اجزای مختلف اتاق همراه با ابعاد آنها**

ﻣﻌﺎدﻻت ﺣﺎﮐﻢ ﺑﺮ ﺣﻞ ﻣﺴﺌﻠﻪ ﺷﺎﻣﻞ ﻣﻌﺎدﻻت ﭘﯿﻮﺳﺘﮕﯽ، ﻣﻌﺎدﻟﻪ اﻧﺪازه ﺣﺮﮐﺖ، ﻣﻌﺎدﻟﻪ اﻧﺮژي، ‏ﻣﻌﺎدﻻت‬ ﺟﺮﯾﺎن آﺷﻔﺘﻪ ﻣﺪل ‏k-‎ ‎ SST ‎low Re‏ و ﻣﻌﺎدﻟﻪ ﺗﺸﻌﺸﻊ ﻣﺪل‏‎ ‎راستاهای مجزا ‎‬‎اﺳﺖ.‏ ﺟﺮﯾﺎن ﻫﻮا، ﺑﺪون رﻃﻮﺑﺖ و ﺗﺮاﮐﻢﻧﺎﭘﺬﯾﺮ ﺑﻮده و ﺑﺮاي در ﻧﻈﺮ ﮔﺮﻓﺘﻦ اﺛﺮات اﻧﺘﻘﺎل ﺣﺮارت ‏ﺟﺎﺑﺠﺎﯾﯽ آزاد از ﻓﺮض ﺑﺎزﯾﻨﯿﺴﮏ[[6]](#footnote-6) اﺳﺘﻔﺎده ﺷﺪه اﺳﺖ.‏ وﯾﺴﮑﻮزﯾﺘﻪ و ﺿﺮﯾﺐ ﻫﺪاﯾﺖ ﺣﺮارﺗﯽ ﺳﯿﺎل ﺛﺎﺑﺖ اﺳﺖ، ﺟﺮﯾﺎن ﺳﻪ ﺑﻌﺪي، آﺷﻔﺘﻪ، و ﭘﺎﯾﺎ اﺳﺖ و‏ اﺛﺮ ﺟﺎذﺑﻪ زﻣﯿﻦ ﻟﺤﺎظ ﺷﺪه اﺳﺖ.‏ همچنین از مدل تشعشع راستاهای مجزا برای تابش خورشید استفاده ‏شد است.‏

معادلات متوسط‌گیری شده بقاء جرم، ناویر- استوکس و انرژی برای جریان آشفته در حالت پایا ‏و تراکم‌پذیر به صورت زیر ‏است.‏

|  |  |
| --- | --- |
| (1) |  |
| (2) |  |
| (3) |  |

که ‏Uj‏ سرعت متوسط، ‏T‏ دمای متوسط و ‏P‏ فشار استاتیک متوسط هستند و‎ ضریب انبساط ‏حجمی است. ‏‏ جمله‌ی چشمه مربوط به معادله‌ی انتقال تشعشعی است. در این تحقیق از مدل تشعشعی راستاهای مجزا استفاده شده است.

اختلاف دما و مقیاس هندسی سیستم‌های غیرفعال خورشیدی، محدوده‌ی عدد رایلی‌ای ‏می‌دهد که جریان آرام، همچنین جریان گذرا و کاملا متلاطم را پوشش می‌دهد. بنابراین مساله‌ی ‏فضا بسته در معادلات (1) تا (3) با رینولدز میانگیری شده قرار داده می‌شود و با معادلات ‏انتقال مدل ‏k-‎ ‎‏ که توسط کلموگروف[[7]](#footnote-7) پیشنهاد شده، حل می‌شود.‏ مدل ‏k-‎ ‏تشریح شده توسط ویلکاکس‏ در مطالعه‌ی حاضر استفاده شده است، عمدتا به ‏این دلیل که برای آشفتگی نزدیک دیوار، دارای گزینه‌ی اضافی ‏low-Re‏ است که اجازه‌ی ‏شبیه‌سازی جریان‌های گذرا را می‌دهد. در این روش، نقطه‌ی گذرا به عنوان بخشی از حل معادلات ‏حاکم مطرح می‌شود. معادلات دو انتقالی برای انرژی آشفتگی جنبشی، ‏k، و برای اضمحلال ‏مخصوص، ‏ ، به عنوان نسبت نرخ اضمحلال ‏k‏ و خود ‏k، می‌تواند از معادلات ناویر-استوکس ‏بدست آید[10].‏ شبیه سازی در نرم افزار فلوئنت انجام گردید. برای جهت تابش از محاسبه‌گر خورشیدی و شبیه سازی در طول و عرض جغرافیایی کرمان و ‏زمان 12 ظهر 22 ژانویه انجام شده است. شرایط مرزی و خواص مواد و مصالح استفاده شده در شبیه سازی حاضردر جدول 1و 2 آورده شده است.

**جدول 1- شرایط مرزی‏‏ استفاده شده در کار حاضر**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | نوع شرط مرزی | مقدار | تابش | صدور داخلی |
| سقف | شار | 0 | جسم خاکستری | 0.3[8] |
| کف | دما | -5.8 | جسم خاکستری | 0.3 |
| دیوارها | جابه‌جایی | h=8 [12]  T=18.3 | جسم خاکستری | 0.3 |
| شیشه و پنجره‌ها | جابه‌جایی | h=8  T=18.3 | جسم شفاف  تابش مستقیم=1004[11]  تابش پخش=75 | 1[8] |
| جاذب | کوپل | - | - | 1 |

**جدول2- خواص مصالح ساختمان[8]**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ماده | چگالی ‎[kg/m3] | ظرفیت حرارتی  [J/kgK] | ضریب هدایت  [W/mK] | ضریب جذب  [1/m] | Refractive index  [-] |
| هوا | باسینیک 1.16 | 1006.43 | 0.0242 | 0 | 1 |
| بتن | 2100 | 960 | 1.5 | 1.7 | 0 |
| شیشه | 2500 | 840 | 0.81 | 0 | 1.5 |
| چوب | 700 | 2310 | 0.173 | 0.4 | 0 |

در کار حاضر،شبکه محاسباتی به صورت ساختاریافته و با نرخ رشد یکنواخت از ‏دیوار به سمت مرکز محفظه ‏استفاده ‏شد. با این روش، به ‏دلیل چگالی بیشتر دانه‌بندی در لایه مرزی حرارتی که ‏قرار است ‏ضریب انتقال ‏حرارت در آنجا محاسبه شود؛ ‏همگرایی بهتر است. پارامتری که درستی حل ناحیه ‏لزج را ‏کنترل ‏می‌کند ‏y+‎‏ است. برای مطمئن شدن از حل درست ‏داخل لایه مرزی، ضروری است ‏که حداقل دو ‏گره در ‏ناحیه لزج داشته باشیم و نرخ رشد ‏ به سمت مرکز باید بین %10-5 باشد. ‏بنایراین با توجه به ‏مدل توربولانس انتخاب شده ‏y+‎‏ باید نزدیک به یک باشد.‏ روند رسیدن به استقلال از شبکه دنبال و تعداد المان 2174064 برای محاسبات استفاده شد.

**3. نتایج و بحث**

تغییرات دما و سرعت در ارتفاع‌های مختلف گپ هوا بین دیوار ذخیره‌ساز و و شیشه به ضخامت 10 سانتیمتر در شکل 2 آورده شده است.

|  |  |
| --- | --- |
| zerotempgap | zerovelgap |
| **(الف** | **(ب)** |
| **شکل2- (الف)تغییرات دما (ب)تغیرات سرعت در ضخامت گپ از شیشه تا دیوار ذخیره‌ساز در ارتفاع‌های مختلف**  **(m2/1****، m6/1****، m2****، m4/2****، m 8/2****)** | |

در شکل 3 مختصات صفحات و خطوط برای نمایش توزیع دما و سرعت آورده شده است. ‏در صفحه‌ی 4 که ‏در فاصله‌ی 5 سانتیمتری پنجره ‏است، جهت جریان از بالا ‏به پایین است. به طور کلی دما در سیستم دیوار ترومب ‏مانند رادیاتور ‏لایه لایه است‏ و از دمای ‏پایین در کف شروع شده و در نزدیکی سقف بیشترین دما را داریم‎ ‎و از ‏این نظر ‏آسایش حرارتی ‏نداریم. به طور کلی در همه‌ی صفحات دمای متوسط تقریبا 16 درجه‌ی ‏سلسیوس است و دما ‏یکنواخت ‏است. فقط در صفحات 9 و 10 که از کف ‏به سمت سقف حرکت می‌کنیم دمای متوسط ‏‏19 و 20 درجه سانتی گراد است. در صفحه‌ی‏‏3 که از دریچه‌های دیوار ذخیره‌ساز عبور می‌کند گردابه‌ای ‏در نزدیک سقف ایجاد ‏می‌شود. در صفحات 6 و 7 در شرق و غرب اتاق در ‏نزدیکی سقف دو گردابه‌ی بزرگ ‏ایجاد شده است که در وسط اتاق با هم طلاقی دارند. همچنین ‏گردابه‌های کوچکی در نزدیکی کف ‏ایجاد شده است. در صفحه‌ی 8 در فاصله‌ی 60 ‏سانتیمتری کف دو گردابه در نزدیکی در و ‏پنجره‌های شرقی روبه‌روی در ایجاد شده و همچنین ‏جریانی از سمت دو پنجره‌ی شرقی انتهای ‏اتاق و دیوار روبه‌روی آنها به سمت دیوار ذخیره‌ساز ‏ایجاد شده است. در صفحات 9 و 10 دو ‏گردابه‌ی بزرگ، یکی در نزدیکی ‏در و دیگری نزدیک پنجره‌های شرقی ایجاد شده است و فضای ‏مابین این گردابه‌ها که روبه‌روی ‏دیوار ذخیره‌ساز می‌شود، جریان ضعیفی برقرار است. صفحه‌ی ‏‏9 در ‏وسط ارتفاع اتاق است و صفحه‌ی 10 در فاصله‌ی یک متری سقف قرار دارد.‏

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| **(الف)** | **(ب)** |
| **شکل 3- (الف)صفحات (ب)خطوط برای نمایش توزیع دما و سرعت در اتاق مورد مطالعه** | |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| :Plane3‎ |  |  |
| Plane4‎ |  |  |
| Plane6 |  |  |
| Plane7 |  |  |
| Plane8‎ |  |  |
| Plane9‎ |  |  |
| Plane10 |  |  |

**شکل 5- توزیع‌های دما، سرعت و بردار سرعت در صفحات 1 تا 10 ‏‏**

با توجه به شکل 5 دمای اتاق به طور عمده دمای متوسط 16 درجه را دارا می باشد که 6 درجه تا دمای آسایش که 22 درجه در نظر گرفته شده است، فاصله دارد. فقط در صفحات 9 و 10 که از کف به سمت سقف حرکت می‌کنیم، دماهای 19 و 20 درجه سانتی گراد وجود دارد که همین گرادیان دما از سقف به کف آسایش حرارتی را سلب می‌کند.

در شکل 6 تغییرات دما و سرعت در راستای ارتفاع اتاق آورده شده است. همانطور که ‏مشاهده می‌شود در تمام خطوط دما از 5 درجه سلسیوس از کف شروع می‌شود و به 21 درجه سلسیوس در ‏نزدیکی سقف می‌رسد که این گرادیان دمای بالا که در واقع لایه‌لایه بودن دما در اتاق را نشان ‏می‌دهد از معیار آسایش حرارتی که باید دما در کف در نزدیکی پای ساکنین دما زیاد باشد و در سقف در نزدیکی سر ساکنین دما کم باشد، فاصله دارد. سرعت در خط 1 که در نزدیکی در و پنجره‌ی جنوبی است در نزدیکی سقف سرعت 2/0 متر بر ثانیه است و در نزدیکی کف سرعت تفریبا صفر است. در خط 2 که در نزدیکی پنجره‌ی شرقی و جنوبی است، سرعت در نزدیکی کف 12/0 متر بر ثانیه و در نزدیکی سقف02/0 است. در خط 4 که در نزدیکی دریچه‌های دیوارذخیره‌ساز و خط 5 که در وسط اتاق است سرعت در کف 03/0 متر بر ثانیه و در نزدیکی سقف تفریبا صفر است و این نشان دهنده‌ی آن است که جریان ضعیفی در روبه‌روی دیوارذخیره‌ساز برقرار است. در خط 6 در گوشه‌ی اتاق در ضلع غربی جریان تقریبا مانند خط 1 در نزدیکی در و پنجره‌ی جنوبی است و در نزدیکی سقف جریان نسبتا قوی‌ای برقرار است اما ‏سرعت آن نصف خط 1 است. در خط 7 در گوشه‌ی اتاق در نزدیکی پنجره‌های شرقی جریان ‏نسبتا یکنواختی از کف تا سقف با سرعت 1/0 متر بر ثانیه برقرار است.‏ در نزدیکی در و پنجره‌ی جنوبی است و در نزدیکی سقف جریان نسبتا قوی‌ای برقرار است اما ‏سرعت آن نصف خط 1 است. در خط 7 در گوشه‌ی اتاق در نزدیکی پنجره‌های شرقی جریان ‏نسبتا یکنواختی از کف تا سقف با سرعت 1/0 متر بر ثانیه برقرار است.‏

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

**شکل 6- دما و سرعت در راستای ارتفاع اتاق (m098/3-m305/0=Y) در خطوط 1 تا 7**

**4. نتیجه‌گیری**

در تحقیق حاضر شبیه‌سازی محاسباتی یک اتاق تجهیز شده به یک دیوار ترومب انجام و چگونگی تامین آسایش حرارتی با استفاده از این دیوار بررسی شد.

با توجه به نتایج بدست آمده مشخص شد که به دلیل لایه‌ای بودن دما از کف به سمت سقف گرادیان دما زیادی ایجاد می‌شود که باعث عدم آسایش حرارتی برای ساکنین می‌شود. همچنین کمترین دما در پاها و بیشترین دما در سر ایجاد می‌شود که مغایر آسایش حرارتی است. همچنین مشخص شد جابه‌جایی آزاد هوا می‌تواند اتاقی با عمق 8 متر را پوشش دهد. نتایج نشان می دهد، در کنار دیوار ترومب باید سیستم گرمایش کمکی نیز برای تامین آسایش حرارتی وجود داشته باشد.

**ABSTRACT**

In the present study, a room equipped with Tromb wall utilized to heat a room was simulated in the winter. Effect of the sun heat flux on the wall absorber was considered and due to the gravitational acceleration a naturally flow ventilated in the room. The velocity and temperature of the flow was studied using the temperature contour and velocity vector. In addition, the temperature variations and velocity in the thermal sinks (doors and windows), adjacent to the Tromb wall was studied. Results showed that due to non enough input energy of the Tromb wall, the thermal comfort condition were not satisfied and taking in to account an auxiliary heating system is essential.

**Keywords**: Trombe wall, free convection, numerical method, thermal comfort.

1. KAZEROONI, R., P. BEHBAHANI, and H. DAVAR, *OPTIMIZATION OF GEOMETRY ON TROMBE WALL TO TRANSMIT EXCESSIVE HEAT.* 2010.
2. kameli, h., *Investigation of Trombe wall performance by CFD simulation, a Parameter study.* 2, 2015. **17**(4): p. 0-0.
3. Jubran, B., M. Hamdan, and W. Manfalouti, *Modelling free convection in a Trombe wall.* Renewable energy, 1991. **1**(3-4): p. 351-360.
4. Hirunlabh, J., et al., *Study of natural ventilation of houses by a metallic solar wall under tropical climate.* Renewable Energy, 1999. **18**(1): p. 109-119.
5. Chen, B., et al., *The effect of Trombe wall on indoor humid climate in Dalian, China.* Renewable Energy, 2006. **31**(3): p. 333-343.
6. Fernández-González, A., *Analysis of the thermal performance and comfort conditions produced by five different passive solar heating strategies in the United States Midwest.* Solar Energy, 2007. **81**(5): p. 581-593.
7. Jaber, S. and S. Ajib, *Optimum design of Trombe wall system in mediterranean region.* Solar Energy, 2011. **85**(9): p. 1891-1898.
8. Bajc, T., M.N. Todorović, and J. Svorcan, *CFD analyses for passive house with Trombe wall and impact to energy demand.* Energy and Buildings, 2015. **98**: p. 39-44.
9. Bojić, M., K. Johannes, and F. Kuznik, *Optimizing energy and environmental performance of passive Trombe wall.* Energy and Buildings, 2014. **70**: p. 279-286.
10. Zamora, B. and A.S. Kaiser, *Thermal and dynamic optimization of the convective flow in Trombe Wall shaped channels by numerical investigation.* Heat and Mass Transfer, 2009. **45**(11): p. 1393-1407.
11. Remund, J., R. Lang, and S. Kunz, *Meteonorm software v4. 0.* Bern-Switzerland: Meteotest, 1999.
12. Gerlich, V. *Modelling Of Heat Transfer In Buildings*. in *ECMS*. 2011.

1. Trombe wall [↑](#footnote-ref-1)
2. Passive [↑](#footnote-ref-2)
3. Renewable energy [↑](#footnote-ref-3)
4. Absorption Coefficient [↑](#footnote-ref-4)
5. Emissivity Coefficient [↑](#footnote-ref-5)
6. Boussinesq approximation [↑](#footnote-ref-6)
7. Kolmogorov [↑](#footnote-ref-7)