

ارزیابی کارایی دیوار ترمب در بهبود الگوی سیستم انرژی حرارتی ساختمان در شرایط اقلیمی

شیراز

سیدحسین هاشمی^۱، آرش نجفی^۲، سیدمحسن حسینی^۳

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی شیمی پیشرفته، دانشگاه محقق اردبیلی

۲- استادیار گروه مهندسی شیمی، دانشگاه محقق اردبیلی اردبیل

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی طراحی فرآیند، دانشگاه صنعتی سهند تبریز

* (اردبیل، صندوق پستی ۱۷۹، کد پستی ۵۶۱۹۹۱۳۱۳۱)، arash_najafi@hotmail.com

چکیده

انرژی خورشیدی یکی از منابع انرژی مفید با دسترسی مناسب است و استفاده از آن به فن آوری‌های پرهزینه نیاز ندارد. با توجه به افزایش بیش از حد مصرف سوخت‌های فسیلی در سیستم‌های انرژی حرارتی ساختمان، می‌توان با در نظر گرفتن تکنولوژی نوین در علم مهندسی نظیر سیستم دیوار ترمب سبب کاهش قابل توجه مصرف انرژی شد و به منظور گرمایش ساختمان در فصل سرما از آن بهره گرفت. از اجزاء مهم بکار گرفته در تکنولوژی دیوار ترمب، سیستم ذخیره کننده حرارتی و شیشه می‌باشد که الگوهای انتقال حرارت با وجود آنها در سیستم دیوار ترمب رخ خواهد داد. شیشه ایده آل برای این سیستم، باید دارای ویژگی‌های منحصر بفرد از جمله مقاومت بالا و دارای ثبات گرمایی بالا باشد. این در حالی است که دیوار ذخیره کننده مورد استفاده باید بتواند حداکثر انرژی گرمایی خورشیدی را در خود ذخیره نماید. در این تحقیق کارایی به کارگیری این سیستم در شرایط اقلیمی شیراز با توجه به موقعیت جغرافیایی آن و همچنین با نظر گرفتن پارامترهای طراحی دیوار، مطالعه شده است. نتایج این مطالعه مؤید کارآمدی و موفقیت آمیز بودن به کارگیری این تکنولوژی در شرایط اقلیمی شهر شیراز به منظور کاهش بار حرارتی ساختمان است.

کلیدواژگان

انرژی خورشیدی، دیوار ترمب، کاهش مصرف انرژی، اصلاح الگوی سیستم انرژی

Effectiveness Evaluation of Trombe Wall for Optimum Pattern of Building Heating System at Shiraz

Seyed Hossein Hashemi¹, Arash Najafi², Seyed Mohsen Hosseini³

1- Faculty Engineering and Technology, mohagheghardabili university, ardebil, iran

2- Chemical Engineering Department, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran

3- Faculty Engineering and Technology, Sahand University, tabriz, iran

* P.O.B. 5619913131, (179), Ardabil, Iran, arash_najafi@hotmail.com

Abstract

Solar energy is a valuable and available renewable energy and its charge of technology has not great. Fossil fuels consumption grows in building heating systems and it is better to manage it with practical new engineering systems similar Trombe wall that can be reduced energy consumption at winter. A major component used in Trombe wall technology, thermal storage system materials and glass and Despite the heat transfer patterns in Trmb wall system will occur. Glass is ideal for this system, should have unique features such as high strength and high thermal stability. However wall storage used to store solar thermal energy should be the maximum.. In this research, effectiveness evaluation of this system at Shiraz is studied. Results show this technology is advantageous and successful for Shiraz and offers the optimum energy system pattern.

Keywords

solar energy, Trombe wall, energy consumption reducing, optimum energy pattern

دیوار ترمب امروزه یک راهکار مقرون به صرفه و کارآمد به منظور بهره گیری مطلوب از انرژی خورشیدی برای گرمایش ساختمانها است. گزارش های موجود [۳] حاکی از اثر گذاری قابل توجه تکنولوژی دیوار ترمب در کاهش مصرف انرژی گرمایی به اندازه ۴۷٪ در موارد مسکونی است. علاوه بر این، دیوار ترمب در تابستان نیز می تواند گرمای نامطلوب دریافتی را کاهش دهد و پدیده حرارت دهی زیاد در تابستان را کنترل نماید [۴].

در چند سال اخیر مطالعات [۵، ۶، ۷] بر روی دیوار ترمب، توسط محققان رشد چشمگیری داشته است. بررسی پارامترهایی از قبیل جنس و عملکرد دیوار ترمب و تأثیر فاصله هوایی کانال (فضای بین دیوار و شیشه) و غیره انجام شده اند. اوکنکوو و آکوبوآ [۸] در دانشگاه نسوکانیجریه به مدت ۵ سال مطالعه ای تجربی با محدوده دمای محیط ۱۸ - ۳۷ درجه سانتی گراد و بازه ی شدت تابش خورشیدی بین ۵/۷ - ۹۰۴ برای ارزیابی عملکرد دیوار

۱- مقدمه

امروزه بحران انرژی، با افزایش بی رويه مصرف سوخت فسیلی و محدود بودن منابع و همچنین قیمت روبه رشد آن، سبب نگرانیهایی در سطح جهانی شده است. از اینرو اتخاذ راهکارهای مناسب در زمینه مدیریت انرژی کانون توجه سازمان های مربوطه است. انرژی خورشید یکی از منابع پاک و عاری از اثرات مخرب زیست محیطی به شمار می آید که در چند دهه اخیر توجه بیشتری به آن شده است. [۱، ۲].

هدف همه سیستم های گرمایش خورشیدی ذخیره سازی گرما توسط مصالح ساختمانی و رها سازی آن در زمانهایی است که تابش خورشید وجود ندارد. هنگامیکه مصالح ساختمانی گرما را برای استفاده های بعدی ذخیره می نمایند؛ گرمایش خورشیدی فضای مطلوبی را برای داخل خانه مهیا می نماید.

۲- تکنولوژی دیوار ترمب

دیوار ترمب یک تکنولوژی غیر فعال خورشیدی پیشرفته و نوین در مهندسی ساختمانها به شمار می‌آید، که در دهه های اخیر بیشتر مورد توجه واقع شده است. این تکنولوژی می تواند به عنوان ذخیره کننده انرژی خورشیدی در ساختمان باعث کاهش مصرف سوخت فسیلی و در نتیجه منافع اقتصادی گردد [۸]. این سیستم دارای دو جزء مهم، انباشگر حرارتی و شیشه می باشد. شیشه یکی از جزء های مهم در سیستم گرمایشی دیوار ترمب محسوب می شود. مقاومت و عایق بودن شیشه تا حد زیادی به طول موج تابش عبوری از آن در ارتباط است. شیشه ایده آل برای این سیستم باید دارای شاخص های ویژه ای از جمله مقاومت بالا در برابر سایش و آب و هوا و از همه مهمتر دارای ثبات حرارتی بالا باشد. جزء قابل توجه و با ارزش دیگر، دیوار انباشگر حرارتی است که انتخاب جنس آن به خواص حرارتی و هزینه اقتصادی آن در ارتباط است. از موارد استفاده شده به عنوان انباشگر حرارتی می توان به بتن، آجر، آب، سنگ و ... اشاره کرد. به طور کلی میزان انباشگری و انتقال حرارتی دیوار ترمب به چگالی، هدایت، گرمای ویژه و ظرفیت گرمایی آن مربوط می- باشد [۱۳].

۳- مطالعات انجام شده

۳-۱- داده های هواشناسی و شرایط اقلیمی منطقه مورد مطالعه

شهر شیراز در طول جغرافیایی ۵۲ و عرض جغرافیایی ۲۹ و در منطقه کوهستانی زاگرس واقع شده است. این شهر دارای آب و هوای معتدل است و ارتفاع آن از سطح دریا بین ۱۴۸۰ تا ۱۶۷۰ متر در نقاط مختلف شهر متغیر است [۱۴]. داده های میزان شدت تابش از اداره هواشناسی استان فارس دریافت شده و در جدول ۱ آورده شده است. جدول ۲ ساعات آفتابی شهر شیراز را نشان می دهد که نشانگر پتانسیل بالای این شهر برای استفاده از انرژی خورشیدی است.

ترمب به منظور جمع آوری انرژی خورشید برای یک اتاق آزمایشگاه جهت نگهداری جوجه مرغ انجام دادند. نتایج حاکی از حفظ دمای اتاق در محدوده ۲۸ - ۳۵ درجه سانتی گراد در طول مدت دوره مطالعه بود. به همین دلیل این سیستم می تواند یک مدیریت دمای مطلوب برای عملیات پرورش حیوانات با توجه به گرم نگه داشتن آنها مورد توجه باشد.

در تحقیقی دیگر با مطالعه بر روی دیوار ترمب به تاثیر یک صفحه جاذب با فاصله متغیر نسبت به دیوار انباشگر حرارتی پرداختند. نتایج مطالعات آنها حاکی از ارتباط قابل توجه قابلیت جذب صفحه حرارتی با جذب و انتقال گرما داشت؛ به گونه ای که با افزایش قابلیت جذب صفحه جاذب، میزان جذب و انتقال حرارت در طول دیوار افزایش می یابد [۹].

تفاوت در درجه حرارت سبب ایجاد الگوهای پیچیده انتقال گرما در منطقه هوایی بین دیوار و شیشه خواهد شد. از اینرو مطالعات تجربی توسط ریتابی و همکاران [۱۰] و همچنین الشربینی و همکاران [۱۱] با توجه به اهمیت موضوع انتقال حرارت در بین دیوار و شیشه صورت گرفت. نتایج به اثرگذاری و ارتباط قابل توجه بحث انتقال حرارت در فضای هوا بین دو جسم جهت بهبود عملکرد دیوار ترمب داشت.

دیوار ترمب از جمله تکنولوژی های نوین طراحی ساختمان های سبز در مهندسی معماری می باشد [۱۲] و کاربرد دیوار ترمب در آب و هوای مدیترانه ای مطالعه شده است و نتایج نشان داده که ساختمان مسکونی با این دیوار اقتصادی است [۵]. تحقیقات تجربی نیز در این زمینه صورت پذیرفته است [۷] و در زمینه مدل سازی نیز برخی کارها انجام شده است البته بررسی بر روی کیفیت دیوار ترمب بوده است [۶].

با توجه به ضرورت و اهمیت کاربرد تکنولوژی نوین دیوار ترمب و نبود تحلیل دقیق بر ارتباط شدت تابش کافی با عملکرد سیستم گرمایشی دیوار ترمب در کار مطالعاتی محققین پیشین، در این مقاله ابتدا یک مدل عددی جهت ارزیابی تکنولوژی سیستم دیوار ترمب مطالعه خواهد شد و در ادامه، به ارزیابی و تحلیل کارایی سیستم گرمایشی دیوار ترمب با توجه به شدت تابش خورشیدی ساطع شده به شهر شیراز و اقلیم های مشابه با در نظر گرفتن مدل عددی مربوطه بررسی می شود.

جدول ۱- شدت تابش ساعات مورد مطالعه مربوط به شهر شیراز در تاریخ ۱ بهمن ۹۲ : ۲۰۱۴/۱/۲۱

ساعت و تاریخ مورد مطالعه	شدت تابش خورشیدی
21/01/2014 ۱۱:۳۰	۴۴۴/۶۶
21/01/2014 ۱۱:۴۰	۴۰۰/۴۳
21/01/2014 ۱۱:۵۰	۳۵۸/۰۶
21/01/2014 ۱۲:۰۰	۳۲۵/۳۱
21/01/2014 ۱۲:۱۰	۲۹۲/۸
21/01/2014 ۱۲:۲۰	۲۴۹/۴۴
21/01/2014 ۱۲:۳۰	۲۱۹/۲۹
21/01/2014 ۱۲:۴۰	۱۸۵/۴۲
21/01/2014 ۱۲:۵۰	۱۴۲/۰۶
21/01/2014 ۱۳:۰۰	۱۰۷/۵۷
21/01/2014 ۱۳:۱۰	۷۵
21/01/2014 ۱۳:۲۰	۴۵/۵۳
21/01/2014 ۱۳:۳۰	۱۸/۴۹

1

 $r_i + R_w$

(۵)

۴- تحلیل نتایج و بحث

داده‌های استفاده شده در این مطالعه برای مشخصات دیوار ترمب از مرجع [۱۵] و هم چنین داده‌های آماری اداره هواشناسی شهر شیراز در جدول ۲ می‌باشد. با توجه به جداول ۱ و ۲ می‌توان به این نکته اذعان کرد که شهر شیراز با توجه به ساعات آفتابی و میزان شدت تابشی که در طول سال به ویژه در فصول سرد سال (شش ماهه دوم) دارد؛ می‌تواند انتخابی مناسب جهت اجرا و کاربرد تکنولوژی دیوار ترمب باشد.

در شکل ۱، تغییرات دمای دیوار با توجه به سه شدت تابش مختلف و پهنای لایه هوایی ۱ متر و طول لایه ۲/۵ متر ارائه شده است. با نظر به این‌که یکی از عوامل مهم در عملکرد دیوار ترمب، درجه حرارت آن بخصوص درجه حرارت بالای آن است؛ لذا با توجه به نتایج استخراجی از شکل ۱، می‌توان موفقیت آمیز بودن سیستم گرمایشی دیوار ترمب را، در صورت کاربرد آن در شهر شیراز انتظار داشت. شکل ۱ نشان می‌دهد در ساعت ۱۱:۳۰ صبح، شدت تابش $444/66 \text{ (w/m}^2\text{)}$ به منطقه مورد مطالعه ساطع می‌شود؛ که دیوار ترمب با توجه به این میزان شدت تابش، بهترین عملکرد را از خود نشان می‌دهد. با افزایش درجه حرارت دیوار انباشگر تا حدود ۵۰ درجه سانتی‌گراد در این شدت تابش، می‌توان گرمای مورد نیاز فضای اتاق در هنگام روز و از همه مهم‌تر زمینه سازی به منظور ذخیره انرژی کافی برای شب را فراهم آورد. این درحالی است که بعد از یک ساعت و با توجه به میزان شدت تابش $219/29 \text{ (w/m}^2\text{)}$ همان‌طور که از شکل به وضوح قابل مشاهده است؛ دمای دیوار ترمب روند کاهشی داشته است. با وجود روند کاهشی شدت تابش خورشیدی بعد از ساعت ۱۱:۳۰، می‌توان برای دمای دیوار ترمب تا رسیدن به حالت پایدار تغییرات قابل توجهی را انتظار داشت. پایداری نسبی در حدود ساعت ۱۳:۳۰ با شدت تابش $w/m^2/49$ ، در سیستم دیوار ترمب قابل مشاهده است و به تدریج بعد از ساعت ۱۳:۳۰ با توجه به کاهش حداکثری شدت تابش خورشیدی، تعادل دمایی در دیوار ترمب و درجه حرارت فضای اتاق نتیجه خواهد شد. ارتباط تغییرات دمای دیوار ترمب با عملکرد آن در فرآیند گرمایش به ویژه در هنگام شب بسیار حائز اهمیت است. به گونه‌ای که بعد از پایداری درجه حرارت داخل اتاق، دیوار ترمب با توجه به درجه حرارت درونی خود، شروع به ذخیره انرژی کافی به منظور گرمایش در شب خواهد کرد که در این بین، انتخاب جنس مناسب به عنوان دیوار انباشگر حرارتی با توجه به کیفیت حداکثری ذخیره گرما برای مدت شب، اهمیت این موضوع را دوچندان خواهد کرد. هرچند اهمیت شیشه در بهبود روند گرمایشی توسط سیستم دیوار ترمب در طول شب قابل توجه نیست ولی در طول روز برای گرمایش فضای داخل اتاق اهمیت آن، غیر قابل چشم‌پوشی است. به همین دلیل می‌توان با انتخاب شیشه‌های استاندارد از جمله شیشه‌های دو و سه جداره، سیستم گرمایشی را به منظور ثبات دمایی بهینه در روند جابه‌جایی لایه هوایی به منظور گرم نمودن فضای اتاق در طول روز، کمک قابل ملاحظه‌ای نمود. همان‌طوری که در شکل ۲ نمایان است با توجه به شدت تابش حداکثری، میزان دمای دیوار ترمب با فرض پایداری می‌تواند توزیع دمایی بین ۴۳ تا ۵۱ درجه سانتی‌گراد داشته باشد که این موضوع نشانگر مناسب بودن آن برای ذخیره سازی انرژی می‌باشد. بررسی افزایش دما با فرض دمایی میانگین هم نتایج قابل قبولی بین ۳۱ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد را می‌دهد. البته با توجه به اینکه افزایش دما بین کلیه این ساعات انجام می‌شود؛ در مجموع دمای دیوار ترمب مقدار قابل قبولی از گرما را ذخیره می‌نماید. این بررسی نشان می‌دهد در شدت تابش‌های پایین دیوار ترمب قابلیت گرمایشی مناسبی ندارد. درصد اثر میزان تابش در شدت

۳-۲- مدل مورد مطالعه برای سیستم گرمایشی تکنولوژی دیوار

ترمب

مدل مورد مطالعه توسط پایتروسکی و همکاران [۱۵] برای فرآیندهای انتقال حرارت در تکنولوژی دیوار ترمب با توجه به اهمیت لایه هوایی بین دیوار انباشگر حرارتی و شیشه ارائه شده است. مدل ریاضی ارائه شده با توجه به طرح المان گیری انتقال حرارتی به صورت زیر بیان خواهد شد:

$$a_p \cdot Q_s \cdot t = \varepsilon_{1-2} \sigma \left[\left(\frac{T_{1(x)} + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{2(x)} + 273}{100} \right)^4 \right] + h_{c1}(T_{1(x)} - T_{a1(x)}) + h_i(T_{1(x)} - T_i) \quad (1)$$

$$\varepsilon_{1-2} \sigma \left[\left(\frac{T_{1(x)} + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{2(x)} + 273}{100} \right)^4 \right] \pm h_{c2}(T_{2(x)} - T_{a2(x)}) = h_e(T_{2(x)} - T_e) + \varepsilon_1 \sigma \left[\left(\frac{T_{2(x)} + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{sur} + 273}{100} \right)^4 \right] \quad (2)$$

$$h_{c1}(T_{1(x)} - T_{a1(x)}) = c G_1 \frac{dT_{a1(x)}}{dx} \quad (3)$$

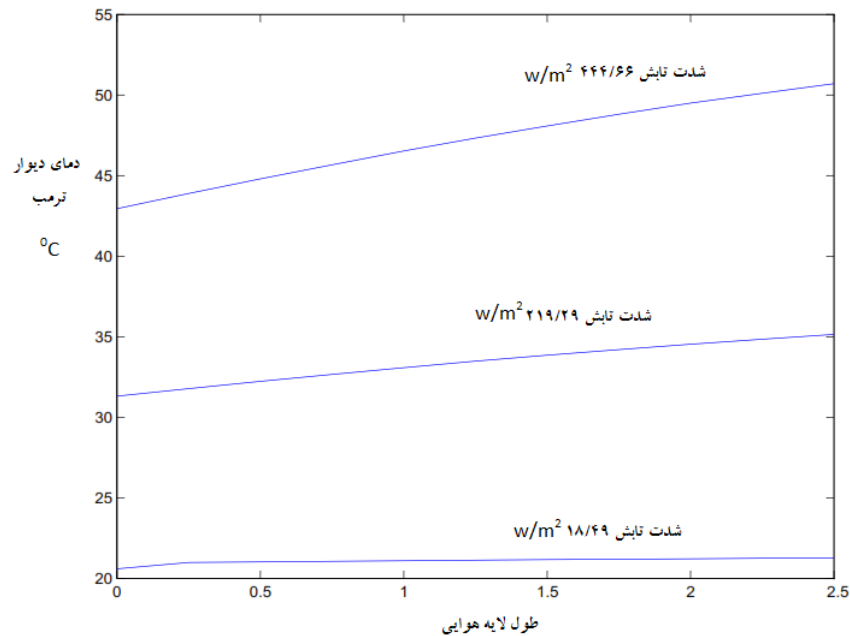
$$h_{c2}(T_{2(x)} - T_{a2(x)}) = c G_1 \frac{dT_{a2(x)}}{dx} \quad (4)$$

این مدل برخلاف مدل‌های محققان پیشین دارای تحلیل دقیق‌تری بر فرآیندهای انتقال حرارت در سیستم گرمایشی دیوار ترمب بوده است. با توجه به طرح المان گیری این سیستم، جریان تابش خورشیدی با امواج کوتاه به سطح دیوار انباشگر حرارتی برخورد می‌نماید که یک بخشی از میزان انرژی دریافت و بقیه آن با طول موج بلند به عنوان تابش ثانویه انعکاس داده می‌شود. شیشه به کار گرفته در این سیستم مانعی در برابر اتلاف کامل این میزان تابش برگشتی خواهد شد. به گونه‌ای که میزانی از این انرژی را به کانال هوایی ساطع می‌کند و مابقی تابش موجودی را از خود عبور داده و به محیط خارج از ساختمان ساطع می‌نماید. در شب با توجه به بسته بودن دریچه‌های دیوار ترمب، میزان انرژی گرمایی ذخیره شده در دیوار انباشگر سبب گرم نگه داشتن فضای اتاق خواهد شد. معادلات ۱ و ۲ به ترتیب موازنه انرژی برای دیوار انباشگر حرارتی و شیشه است. هم چنین معادلات ۳ و ۴ به موازنه حرارت هوای نزدیک سطح دو جسم اشاره دارد. همچنین در معادله ۱ متغیر h_i به صورت زیر تعریف می‌شود:

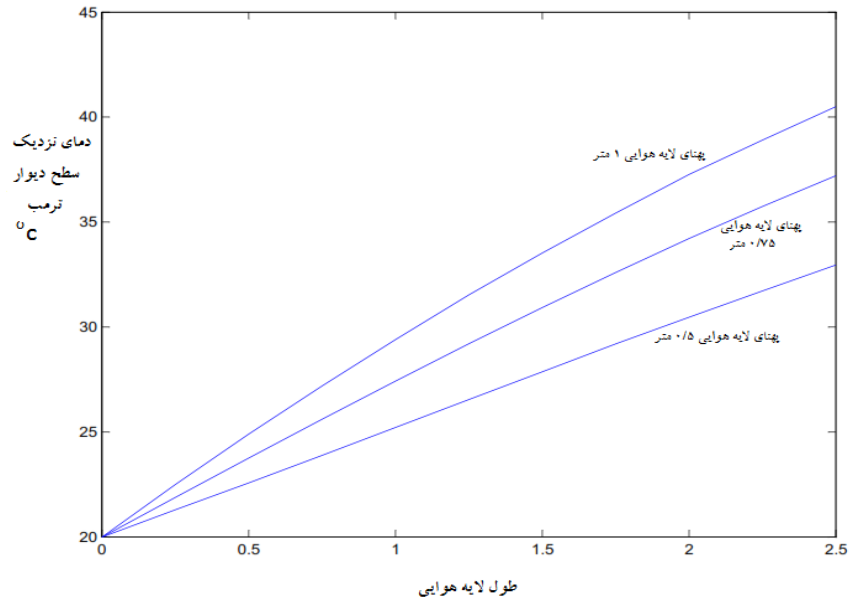
یکی از عوامل مهم و اثرگذار در عملکرد سیستم مورد توجه است. این در حالی است که شدت تابش خورشید در اثرگذاری مطلوب پهنای لایه هوایی، نقش بسزایی ایفاء خواهد کرد. به گونه‌ای که با توجه به شکل‌های ۲ و ۳، زمانی که شدت تابش $444/66 \text{ (w/m}^2\text{)}$ و پهنای لایه هوایی ۱ متر مطرح باشد، درجه حرارت نزدیک سطح دیوار ترمب تا میزان $40/5$ درجه سانتی‌گراد خواهد رسید ولی زمانی که شدت تابش $219/29 \text{ (w/m}^2\text{)}$ و پهنای لایه هوایی ۱ متر مورد توجه است، دمای نزدیک سطح دیوار ترمب تا میزان حداکثر دمایی $30/1$ درجه سانتی‌گراد خواهد رسید. همچنین شکل ۲ و ۳ نشان می‌دهد که با افزایش پهنای لایه هوا کارایی دیوار ترمب افزایش می‌یابد ولی این افزایش در مقادیر پایین بیشتر است و هر چه پهنای افزایش یابد تغییرات کارایی کمتر خواهد شد به‌عبارتی دیگر افزایش پهنای لایه هوا تا حدی باعث افزایش کارایی دیوار ترمب خواهد شد و پس از آن اثر چندانی نخواهد داشت. شکل ۴ تغییرات درجه حرارت دیوار ترمب را با توجه به مقاومت گرمایی سطح درونی دیواره فشرده و شدت تابش $444/66 \text{ (w/m}^2\text{)}$ و پهنای لایه هوایی ۱ متر نشان می‌دهد.

به مقدار 5% و در میزان شدت تابش $219/29$ به مقدار 80% و در میزان تابش $444/66$ به مقدار 125% باعث افزایش دمای دیوار ترمب می‌شود.

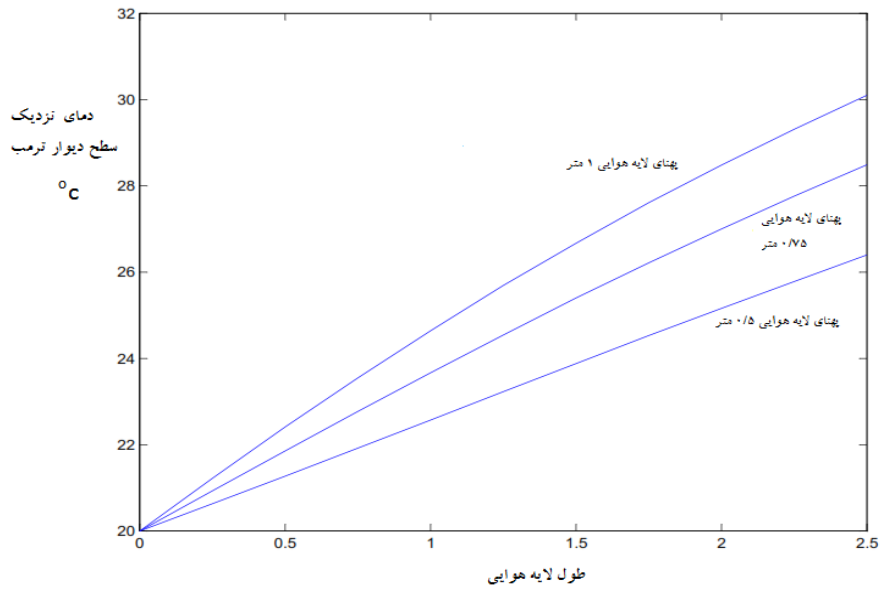
در شکل‌های ۳ و ۲ تغییرات دمای هوای نزدیک سطح دیوار انباشگر حرارتی با توجه به شدت تابش خورشیدی $444/66$ و $219/29 \text{ (w/m}^2\text{)}$ برای سه پهنای $0/5$ ، $1/5$ و $2/5$ متری از لایه هوا (کانال هوایی بین دیوار ترمب و شیشه) نشان داده شده است. همان طور از شکل قابل مشاهده است، دمای هوای نزدیک سطح دیوار ترمب با پهنای لایه هوایی ارتباط قابل توجهی دارد. به گونه‌ای که در شکل ۲ در پهنای لایه هوایی ۱ متر دما نزدیک سطح دیوار ترمب تا حدود دمای $40/5$ درجه سانتی‌گراد پیش خواهد رفت که این خود کمک شایان توجهی به روند گرمایشی فضای داخل اتاق در طول روز خواهد کرد. اما زمانی که پهنای کانال هوایی با مختصات $0/5$ متر به کارگرفته شود میزان نهایی درجه حرارت نزدیک سطح دیوار ترمب تا حدود $32/9$ درجه سانتی‌گراد خواهد رسید. به‌همین دلیل انتخاب پهنای مناسب برای کانال هوایی بین دو جسم در روند سیستم گرمایشی دیوار ترمب در طول روز، به عنوان



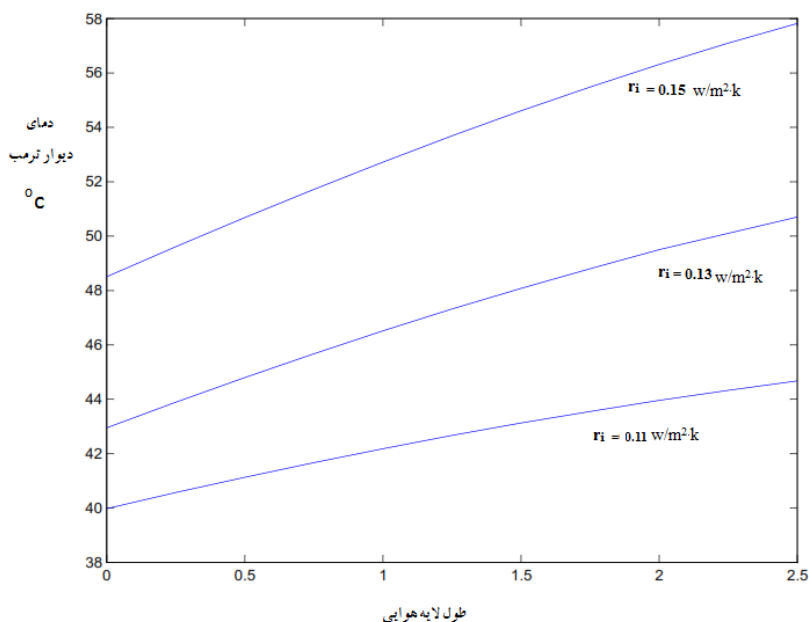
شکل ۱- تغییرات دمای دیوار با توجه به سه شدت تابش مختلف و پهنای لایه هوایی ۱ متر و طول لایه ۲/۵ متر



شکل ۲- تغییرات دمای هوای نزدیک سطح دیوار ترمب با توجه به پهنای لایه های هوای مختلف و شدت تابش $444/66 (w/m^2)$



شکل ۳- تغییرات درجه حرارت نزدیک سطح دیوار ترمب با توجه به پهنای لایه هوایی مختلف و شدت تابش $219/29 (w/m^2)$



شکل ۴- تغییرات درجه حرارت دیوار ترمب با توجه به سه مقاومت گرمایی متفاوت برای سطح درونی دیواره فشرده (شدت تابش $444/66 (w/m^2)$ و پهنای لایه هوایی ۱ متر)

دیوار انباشگر، روند تغییرات درجه حرارت دیوار انباشگر حرارتی تا درجه حرارت $57/82$ درجه سانتی‌گراد خواهد رسید. درصد اثر میزان تابش در شدت $18/49$ به مقدار 5% و در میزان شدت تابش $219/29$ به مقدار 80% و در میزان تابش $444/66$ به مقدار 135% باعث افزایش دمای دیوار ترمب می‌باشد.

براساس نتایج شکل ۴، زمانی که مقاومت گرمایی سطح درونی دیواره ترمب مورد استفاده $0/11 w/m^2.k$ باشد، حداکثر درجه حرارت حدود $44/68$ درجه سانتی‌گراد خواهد بود ولی در صورت استفاده از جسمی با مقاومت گرمایی $0/15 w/m^2.k$ به عنوان دیوار انباشگر، روند تغییرات درجه حرارت دیوار انباشگر تا درجه حرارت $57/82$

درجه سانتی‌گراد خواهد رسید. لذا انتخاب یک جسم جامد با مقاومت گرمایی مطلوب می‌تواند به بهبود عملکرد گرمایی دیوار ترمب کمک قابل توجهی نماید. افزایش کیفیت جاذب انرژی دیوار ترمب اثر قابل توجهی در کارایی دیوار ترمب خواهد داشت به طوری که افزایش 18% در r_i باعث افزایش 6 درجه سانتی‌گراد در طول $2/5$ متر و افزایش 36% در r_i باعث 14 درجه افزایش دمای دیوار ترمب خواهد شد. به همین دلیل پیشنهاد می‌شود روی کیفیت جذب دیوار ترمب کار شود.

۵- نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج بدست آمده در این مقاله، می‌توان با وجود شرایط اقلیمی مناسب شهر شیراز از طرح سیستم پیشرفته دیوار ترمب بهره گرفت. با توجه به شدت حداکثری تابش خورشید، میزان دمای دیوار ترمب با فرض پایا می‌تواند توزیع دمایی بین 43 تا 51 درجه به همراه داشته باشد که این موضوع، نشانگر مناسب بودن آن برای ذخیره سازی انرژی می‌باشد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد برای طراحی دیوار ترمب نیاز به بهینه کردن پارامترهای طراحی می‌باشد چرا که با افزایش پهنای لایه هوا کارایی دیوار ترمب افزایش می‌یابد ولی این افزایش در مقادیر پایین بیشتر است. علاوه بر آن زمانی که مقاومت گرمایی سطح درونی دیواره ترمب مورد استفاده $0/11 w/m^2.k$ باشد، حداکثر درجه حرارت حدود $44/68$ درجه سانتی‌گراد خواهد بود ولی در صورت استفاده از جسمی با مقاومت گرمایی $0/15 w/m^2.k$ به عنوان

فهرست علائم

به ترتیب ضریب دمای دیواره فشرده و سطح صیقلی، بدون بعد	A_{t1}, A_{t2}
جذب پذیری خورشیدی، بدون بعد	a_p
پهنای لایه هوا (m)	B
گرمای ویژه هوا ($J/kg K$)	C
جریان هوای توده ای نزدیک دیواره فشرده و سطح صیقلی، (kg/s)	$G1, G2$
ضریب جابجایی نزدیک سطح خارجی دیواره فشرده و سطح صیقلی (W/m^2K)	hc_1, hc_2
جریان انرژی خورشید (W/m^2)	Q_s
دمای سطح خارجی دیواره فشرده و سطح صیقلی ($^{\circ}C$)	$T1, T2$
دمای هوای نزدیک سطح خارجی دیواره فشرده و سطح صیقلی ($^{\circ}C$)	T_{a1}, T_{a2}
دمای هوای داخل و خارج اتاق ($^{\circ}C$)	T_i, T_e
دمای تابش احاطه شده ($^{\circ}C$)	T_{sur}

انتقال پذیری سطح صیقلی، بدون بعد	T
ضریب انتقال حرارت سطح صیقلی بیرونی (W/m ² K)	h_e
ثابت استفان-بولتزمن (W m ⁻² K ⁻⁴)	σ

۷-مراجع

- [1] www.ifco.ir
- [2] www.sun.org.ir
- [3] ELLIS P. G., *DEVELOPMENT AND VALIDATION OF THE UNVENTED TROMBE WALL MODEL IN ENERGYPLUS*, MSc Thesis, University of Illinois. 2003.
- [4] Stazi F, Mastrucci A, di Perna C, Trombe wall management in summer conditions: An experimental study *Solar Energy* 86, 2839-2851.2012.
- [5] Jaber S., Ajib S., *Optimum design of Trombe wall system in Mediterranean region*, *Solar Energy* 85, 1891-1898.2011.
- [6] Jie J., Hua Y., Wei H., Gang P., Jianping L., Bin J. *Modeling of a novel Trombe wall with PV cells* *Building and Environment* 42, 1544-1552.2007.
- [7] Torcellini P and Pless S, Trombe Walls in Low-energy Buildings: Practical Experiences the World Renewable Energy Congress VIII and Expo Denver, Colorado August 29-September 3, 2004.
- [8] Okonkwo.W.I and Akubuo.C.O. , Trombe Wall System for Poultry Brooding. *International Journal of Poultry Science* 6 (2): 125-130.2007.
- [9] Nwosu P. Nwachukwu and Wilfred I. Okonkwo, *Effect of an absorptive coating on .solar energy storage in a trombe wall system*", *Energy and Buildings*, Vol.40, pp.371-374.2008.
- [10] Raithby, G. D.; Hollands, K. G. T.; and Unny, T. E. "Analysis of Heat Transfer by Natural Convection across Vertical Fluid Layers", *Journal of Heat Transfer*, Vol. 99, pp. 287-293.1977.
- [11] ElSherbiny, S. M.; Raithby, G. D.; and Hollands, K. G. T. , "Heat Transfer by Natural Convection across Vertical and Inclined Air Layers", *Journal of Heat Transfer*, Vol. 104, pp. 96-102.1982.
- [12] Saadatian O., Sopian K. Lim,C.H., Asim N. , Sulaiman M.Y., *Trombe walls: A review of opportunities and challenges in research and development* *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16,6340-6351.2012.
- [13] Wilson A. *Thermal storage wall design manual*. New Mexico Solar Energy Association.1979.
- [14] <http://portal.farstr.ir/portal/show.aspx?page=17212>
- [15] Piotrowski. J.Z., Story. A., Olenets.M. Mathematical modelling of the steady state heat transfer processes in the convective elements of passive solar heating systems, *archives of civil and mechanical engineering* 13, 394-400. 2013.