بررسی کارایی شیشه در بهبود بازدهی تکنولوژی گرمایشی دیوار ترمب

سید حسین هاشمی [۱*]، احسان فتحعلی‌نیا [۲]، محسن فتحعلی‌نیا [۲]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، مرکز رشد شهدای هسته‌ای شیراز
۲- دانشجوی کارشناسی مهندسی معماری، مرکز رشد شهدای هسته‌ای شیراز
*پست الکترونیک نویسنده مسئول: hosseinhashmei@gmail.com

دریافت: ۱۳۹۵/۰۳/۲۸ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۱/۲۸

چکیده

امروزه سیستم گرمایشی دیوار ترمب به‌عنوان یکی از مهم‌ترین تکنولوژی کاهش مصرف شناخته شده است که با بهره‌گیری از انرژی خورشیدی سبب بهینه‌سازی مصرف انرژی شده است. در این مقاله اثرات تغییرات دمای شیشه و دمای دیوار ترمب بر عملکرد سیستم گرمایشی دیوار ترمب با توجه به‌شدت تابش خورشیدی به‌صورت عددی مورد بررسی قرارگرفته است. نتایج حاکی از افزایش بازده عملکرد سیستم گرمایشی با توجه به‌شدت تابش خورشیدی ساطع شده به منطقه مورد مطالعه است. به‌گونه‌ای که با شدت تابش W/m^2 ۴۶۶/۸۱ دمای نزدیک سطح شیشه (در کانال هوایی) تا میزان ۱۴/۴۲۲ درجه سانتی‌گراد می‌رسد؛ در حالی که با شدت تابش کمتر (W/m^2 ۳۹۴/۹۱) میزان درجه حرارت نهایی تا حدود ۱۲/۷۱ درجه سانتی‌گراد پیش می‌رود. لذا با توجه به‌شدت تابش خورشیدی بیشتر، می‌توان افزایش جریان انرژی گرمایی بیشتری را در کانال هوایی انتظار داشت. این تأثیرات زمینه‌ساز بهبود بازدهی عملکرد تکنولوژی گرمایشی دیوار ترمب می‌باشد. بر اساس نتایج این پژوهش، وابستگی تغییرات درجه حرارت شیشه به میزان شدت تابش خورشیدی قابل‌ملاحظه است. زمانی که شدت تابش حداکثری با میزان W/m^2 ۴۶۶/۸۱ مورد توجه باشد، تابش ثانویه بیشتری به شیشه ساطع می‌شود که در نتیجه درجه حرارت شیشه دارای بازه دمایی بین ۱۱/۳۲ تا ۱۲/۷۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

کلیدواژگان: دیوار ترمب، کاهش مصرف انرژی، اثر شیشه بر عملکرد دیوار ترمب، معماری پایدار

Study of Glass Performance in Improving Efficiency of Trombe Wall Heating Technology

Seyyed Hossein Hashemi [1*], Ehsan Fathalinia[2], Mohsen Fathalinia[2]

1-M.Sc. of Chemical Engineering, Nuclear Martyrs Incubator Center in Shiraz, Iran
2- B.Sc. Architectural Engineering, Nuclear Martyrs Incubator Center in Shiraz, Iran
*Corresponding author, E-mail address: hosseinhashmei@gmail.com

Received: 17.06.2016 Accepted: 17.04.2017

Abstract

The Trombe wall heating system known as one of the most important consumption reduction technology that utilizes solar energy is the energy efficiency. In this paper, the effects of temperature on system performance Trembath glass wall temperature of wall heating Trembath according to the intensity of solar radiation is investigated numerically. The results confirmed the increase in efficiency heating system with regard to solar radiation intensity emitted in the study area. With such intensity 466.281 w / m^2 close to the glass surface temperature (in air duct) up to 14.422 ° C arrives while lower-intensity radiation (394.91 w / m^2) in the final heat to about 12.71 ° C goes. Considering the solar radiation, can be expected to increase the flow of thermal energy in the air duct. The effect of improving the efficiency of the underlying performance heating technology Trembath wall. The results of this study, changes in temperature glass, to the the amount of solar radiation intensity in the relationship. When the radiation intensity maximum the amount of 466.81 w / m^2 is concerned, more secondary radiation is emitted. As a result, the glass has a temperature range between 11.32 to the 12.73 ° C.

Keywords: Trombe wall, Reduce energy consumption, Glass effect on the performance of trombe wall, Sustainable architecture

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]

۱- مقدمه

امروزه افزایش بی‌رویه مصرف سوخت فسیلی با توجه به بحث آلودگی آن، بیشتر از پیش مورد توجه بوده است. معماری پایدار راهکاری کارآمد با بهره‌گیری از انرژی تجدید پذیر به‌منظور راه‌حل مشکلات در زمینه جایگزین سوخت‌های مطرح شده است. یکی از محورهای مطالعاتی مهم در این زمینه تکنولوژی دیوار ترمب است که گزارش‌های متعددی از موفقیت‌آمیز بودن آن، به‌منظور بهینه‌سازی مصرف انرژی ارائه شده است [۱، ۲]. سیستم گرمایشی دیوار ترمب یک تکنولوژی غیرفعال خورشیدی است که با اجزاء استاندارد قابل طراحی آن در این سیستم مواد ذخیره کننده حرارتی و شیشه می‌باشد که الگوهای پیچیده حرارتی با وجود آن‌ها در سیستم رخ خواهد داد. شیشه ایده آل برای این سیستم، باید دارای ویژگی‌های منحصر به فرد همچون ثبات گرمایی بالا باشد [۳]. این در حالی است که دیوار ترمب مورد استفاده باید بتواند حداکثر انرژی گرمایی را در خود ذخیره نماید [۴]. بر اساس گزارش‌های موجود، در ساختمان سه‌طبقه با به‌کارگیری سیستم دیوار ترمب، می‌توان انتظار تأمین گرمای موردنیاز ساختمان را تا حدود ۲۰٪ داشت [۵]. در سیستم دیوار ترمب، دو دریچه هواکش در بالای و پایین دیوار ترمب در راستای کمک به جریان گرما نصب خواهد شد. باز و بسته شدن دریچه‌ها منجر به تغییر ضریب انتقال حرارت هوای هواکش و دیوار و شیشه خواهد شد [۶]. اندازه دریچه‌ها در طراحی تکنولوژی دیوار ترمب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۲]. با توجه به اهمیت اثرگذاری دریچه‌ها در بهبود عملکرد سیستم گرمایشی دیوار ترمب، کارایی دیوار با دریچه و بدون دریچه در ۹ منطقه خاص آب وهوایی در آمریکا توسط بالکومب و مک فارلند [۷] مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که هواکش در شرایط خاص می‌تواند منجر به کاهش بازدهی سیستم دیوار ترمب شود. این محققین برای کنترل هواکش با عایق به‌منظور جلوگیری از جریان معکوس در شب مطالعات خود را انجام دادند. بر اساس نتایج، این نحوه کنترل در شرایط اقلیمی معتدل نمی‌تواند بر عملکرد دیوار انباشتگر حرارتی اثرگذار باشد. ضخامت دیوار ترمب مطلوب در تکنولوژی گرمایشی دیوار ترمب به شرایط آب و هوایی منطقه موردنظر و عرض جغرافیایی آن بستگی دارد [۸]. ضخامت دیوار ترمب از عوامل اثرگذار در عملکرد دیوار ترمب به شمار می‌آید به‌گونه‌ای که در دیوارهای بتونی به ازای هر ۱۰ سانتی‌متر، میزان انتقال حرارت از بیرون به داخل ۱۲۰ تا ۱۵۰ دقیقه با تأخیر انجام خواهد گرفت [۶]. استفاده از شیشه مناسب یکی از عوامل اثرگذار در بهبود عملکرد گرمایشی سیستم دیوار انباشتگر حرارتی به شمار می‌آید. بر اساس گزارش‌ها شیشه‌های دوجداره یکی از مؤثرترین شیشه مورد استفاده در سیستم دیوار ترمب بوده است [۳]. ریچمان و پرسنایل [۹]. یک مدل جدید از شیشه‌کاری با به‌کارگیری فیلم روکش لوای[1] در کشور کانادا ارائه دادند. در مدل آن‌ها با توجه به کاهش پرتوافشانی، بهبود بازدهی سیستم دیوار ترمب در ساختمان محسوس بوده است.

در این مقاله کارایی شیشه در راستای بهبود راندمان گرمایش سیستم دیوار ترمب با یک مدل عددی موردمطالعه قرار می‌گیرد.

۲- مطالعه عددی

۲-۱- فرآیند انتقال حرارت پایدار در تکنولوژی دیوار ترمب

شکل ۱ سیستم گرمایشی دیوار ترمب را، به‌منظور ارائه مدل موردنظر نشان می‌دهد. دیوار انباشتگر، شیشه و جاذب حرارتی از اجزای مهم سیستم به شمار می‌آیند که عملکرد سیستم را تحت تأثیر قرار خواهند داد.

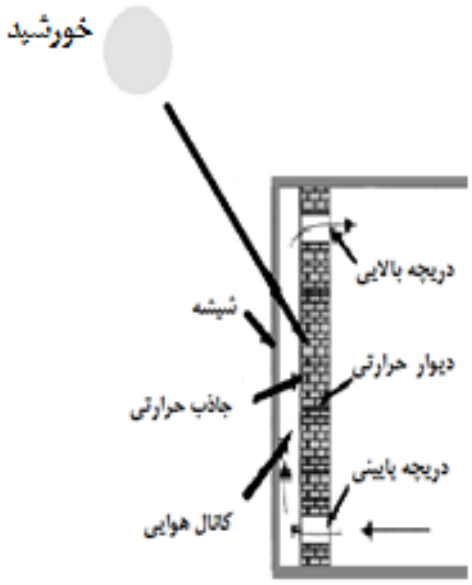
با توجه به شکل ۱، ابتدا تابش آفتاب با امواج کوتاه به دیوار ترمب برخورد می‌نماید؛ که دیوار ترمب مقداری از این شدت تابش موردنظر را دریافت نموده و مابقی آن را انعکاس می‌دهد. این در حالی است که اتلاف حرارتی شدت تابش انعکاسی کامل نخواهد بود زیرا شیشه مورد استفاده در این سیستم به‌عنوان مانعی در برابر اتلاف مطلق این میزان شدت تابش ساطع شده از طرف دیوار ترمب عمل می‌نماید.
لذا شیشه مقداری از تابش انعکاسی را به کانال هوایی (فضای بین دیوار حرارتی و شیشه) بازگشت خواهد داد و بقیه شدت تابش انعکاسی را از خود عبور و به محیط بیرون (خارج از ساختمان) ساطع می‌کند. در این پژوهش در دریچه پایینی برای کمک به حرکت بهتر جریان هوا، یک فن در نظر گرفته می‌شود.

۲-۲- مدل عددی سیستم گرمایشی دیوار ترمب

در این تحقیق بررسی عددی فرآیندهای انتقال حرارت پایدار بر مبنای پیش‌بینی عملکرد سیستم گرمایشی دیوار ترمب مورد مطالعه قرار گرفته است. در بررسی این مدل، لایه هوا

[1] Low-e

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]



شکل ۱- تکنولوژی سیستم گرمایشی دیوار ترمب

به‌وسیله سطح شیشه در یک طرف و سطح دیوار ذخیره‌ساز حرارتی در طرف دیگر محدود می‌گردد؛ که طول لایه هوایی ۲/۵ متر در نظر گرفته شده است. فرضیات حاکم در مسئله به‌صورت زیر است:

۱- حرکت هوا در فضای کانل هوایی به‌صورت اجباری است. هنگامی که انتقال حرارت از طریق جابه‌جایی به‌واسطه اختلاف فشار به وجود می‌آید در این صورت بحث حرکت اجباری جریان هوا مطرح می‌باشد که در این فرض به‌کارگیری به فن در دریچه پایینی به‌منظور جابه‌جایی اجباری هوا مدنظر است.

۲- مقاومت گرمایی سطح شیشه صفر در نظر گرفته می‌شود.

۳- دمای هوای بیرون T_e و دمای تابش احاطه‌شده T_{surr} برابر می‌باشد.

مدل موردبررسی در این مطالعه بر اساس شرایط پایا در نظر گرفته شده است که در نتیجه شرایط حاکم برای دما (T) به‌صورت $T(x,t)=T(x,0)=T(x)$ بیان می‌شود. معادلات کلی فرآیندهای انتقال حرارت پایدار در سیستم گرمایشی دیوار ترمب به‌صورت زیر بیان می‌شود[۱۱]:

$$a_\rho . Q_s . t = \varepsilon_{1-2}\,\sigma\left[\left(\frac{T_{1(x)}+273}{100}\right)^4-\left(\frac{T_{2(x)}+273}{100}\right)^4\right]+h_{c1}\left(T_{1(x)}-T_{a1(x)}\right)+h_i\left(T_{1(x)}-T_i\right) \quad (۱)$$

$$\varepsilon_{1-2}\,\sigma\left[\left(\frac{T_{1(x)}+273}{100}\right)^4-\left(\frac{T_{2(x)}+273}{100}\right)^4\right]\pm h_{c2}\left(T_{2(x)}-T_{a2(x)}\right)=h_e\left(T_{2(x)}-T_e\right)+\varepsilon_1\,\sigma\left[\left(\frac{T_{2(x)}+273}{100}\right)^4-\left(\frac{T_{surr}+273}{100}\right)^4\right] \quad (۲)$$

$$h_{c1}\left(T_{1(x)}-T_{a1(x)}\right)=\ c\,G_1\frac{dT_{a1(x)}}{dx} \quad (۳)$$

$$h_{c2}\left(T_{2(x)}-T_{a2(x)}\right)=c\,G_1\frac{dT_{a2(x)}}{dx} \quad (۴)$$

معادلات اول و دوم به ترتیب موازنه انرژی سطح دیواره فشرده و سطح شیشه را مشخص می‌نمایند. معادلات دیفرانسیل سوم و چهارم به ترتیب بر اساس موازنه حرارت هوای نزدیک سطح دیواره فشرده و سطح شیشه به دست می‌آیند.

در مدل پیوتروسکی و همکاران [۱۰] پارامتر ضریب انتقال حرارت جریان هوا به‌صورت یک عدد ثابت در نظر گرفته شده است؛ اما در مطالعه حاضر این متغیر به‌صورت رابطه‌ای وابسته به‌سرعت هوای کانال هوایی ارائه شده است. متغیر سرعت هوا در سیستم گرمایشی دیوار ترمب یکی از عوامل اثرگذار است که باید در سیستم به آن توجه کرد. به‌گونه‌ای که اگر سرعت جریان هوای کانال با روند مطلوبی همراه نباشد بتوان با به‌کارگیری مواردی هم چون فن مشکل ایجاد شده را بهبود نمود. در معادلات ۱ تا ۴، با توجه به ثبات جریان هوای در کانال هوایی، ضریب انتقال حرارت جریان هوا به‌صورت زیر فرض می‌شود:

$$h_c = h_{c1} = h_{c2} \quad (۵)$$

بنابراین برای متغیر h_c در رابطه ۵ داریم [۱۱]:

$$h_c = 68.5 + 1.4\,v \quad (۶)$$

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش با توجه به داده‌های نشان داده شده در جداول ۱ و ۲ است. داده‌های موجود در جدول ۲ با توجه به منابع [۱۰] و [۱۲] در نظر گرفته شده است.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]

جدول ۱- داده‌های شرایط اقلیمی شهر شیراز در تاریخ ۵/ ۲ /۲۰۱۴

دمای بیرون (سانتی‌گراد)	شدت تابش خورشیدی (W/m^2)	ساعت تابش خورشیدی مورد مطالعه
۱۰/۲۹	۴۶۶/۸۱	۹:۵۰
۷/۳	۳۹۴/۹۱	۱۱:۵۰
۵/۷۶	۷/۲۶	۱۳:۵۰

جدول ۲- داده‌های متغیرهای مدل

t	ρ	A_{t1}	A_{t2}	c	G_1,$G2$	h_i	h_o	T_{surr}
۱	۱/۲۰۵	۱/۰۳۲	۰/۹۶۹	۱۰۰۵/۹	۰/۰۱۱	۷/۷	۱۴	برابر دمای بیرون از ساختمان فرض می‌شود.

	T_i	w	l	ε_{1-2}	C_1	C_2	C_3	A_i,A_o
	۲۰	۱	۲/۵	۰/۸۹	۱/۵	۰/۰۵۶	۱	۰/۶۲۵

شرایط اقلیمی مورد مطالعه مربوط به شهر شیراز است که از اداره هواشناسی استان فارس دریافت شده است.

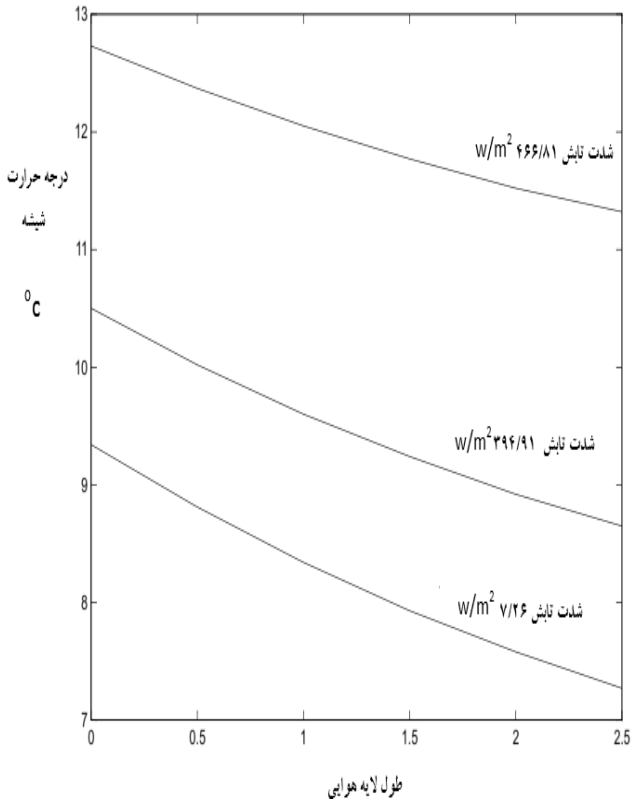
۳- بحث و تحلیل نتایج.

در شکل ۲ تغییرات دمای شیشه با توجه به سه شدت تابش مختلف ارائه شده است. با توجه به شکل ۲، وابستگی تغییرات درجه حرارت شیشه به میزان شدت تابش خورشیدی قابل ملاحظه است. زمانی که شدت تابش حداکثری با میزان ۴۶۶/۸۱ W/m^2 مورد توجه باشد، تابش ثانویه بیشتری به شیشه ساطع می‌شود که در نتیجه درجه حرارت شیشه دارای بازه دمای بین ۱۱/۳۲ تا ۱۲/ ۷۳درجه سانتی‌گراد خواهد بود. در این مقطع زمانی دمای بیرون ۱۰/۲۹ درجه سانتی‌گراد بوده است. لذا شیشه می‌تواند با توجه به بازه دمایی بالاتری که نسبت به دمای بیرون دارد، به عملکرد بهتر سیستم گرمایشی دیوار ترمب کمک نماید. در شدت تابش‌های پایین‌تر با توجه افت محسوس دمای بیرون تغییرات قابل‌توجهی مشاهده می‌شود. به‌گونه‌ای که در شدت تابش ۷/۲۶W/m^2 و با توجه به دمای بیرون (۵/۷۶ درجه سانتی‌گراد)، دمای نهایی شیشه به میزان ۷/۲۷ درجه سانتی‌گراد خواهد رسید که این اختلاف دمایی بین شیشه و محیط بیرون در راستای عملکرد بهتر سیستم گرمایشی دیوار ترمب مطلوب به نظر می‌رسد. هرچند این میزان اثرگذاری دمای شیشه نسبت به اثرات دمای بالای دیوار ترمب در فرآیند گرمایش سیستم دیوار ترمب بسیار ناچیز خواهد بود که نتایج استخراجی شکل ۶ تأکیدی بر این موضوع است.

شکل ۳ تغییرات شیشه را، با توجه به تغییرات ضریب انتقال حرارت سطح بیرونی شیشه نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۳ زمانی که ضریب انتقال حرارت سطح بیرونی شیشه ۱۲W/m^2K است، شیشه دمای نسبتاً بالاتری نسبت به ضریب انتقال حرارت ۱۴ و ۱۶ دارد. البته این تغییرات بسیار ناچیز است به‌گونه‌ای که حداکثر دمای موردتوجه در ضریب انتقال حرارت ۱۲، ۱۴ و ۱۶ برای سطح بیرونی شیشه، به ترتیب ۱۱/۴۸، ۱۱/۳۲ و ۱۱/۲۱۲ نتیجه می‌شود که این اختلافات بسیار ناچیز نمی‌تواند کمک شایان توجهی به سیستم گرمایشی کند. به همین دلیل تغییرات ضریب انتقال حرارت سطح بیرونی شیشه در طراحی سیستم دیوار ترمب چندان موردتوجه نیست.

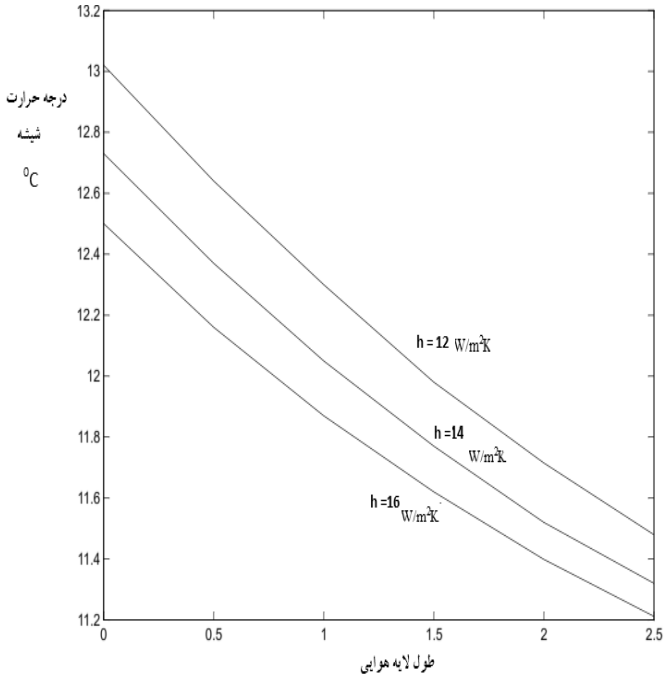
در شکل ۴ تغییرات دمای نزدیک سطح دیوار ترمب با توجه به دو شدت تابش متفاوت نشان داده شده است. با توجه به شکل ۴ زمانی که شدت تابش ساطع شده موردنظر W/m^2 ۴۶۶/۸۱ باشد این شدت تابش با میزان قابل‌توجهی که دارد سبب انتقال انرژی گرمایی بیشتر به کانال هوایی (فضای بین دیوار ترمب و شیشه) خواهد شد که در نتیجه با توجه به حرکت جریان هوای کانال، دمای نزدیک سطح دیوار ترمب می‌تواند به میزان مطلوبی حرارت دریافت نماید. در این شدت تابش، درجه حرارت نزدیک سطح دیوار ترمب تا میزان ۴۱/۵ درجه سانتی‌گراد خواهد رسید.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]

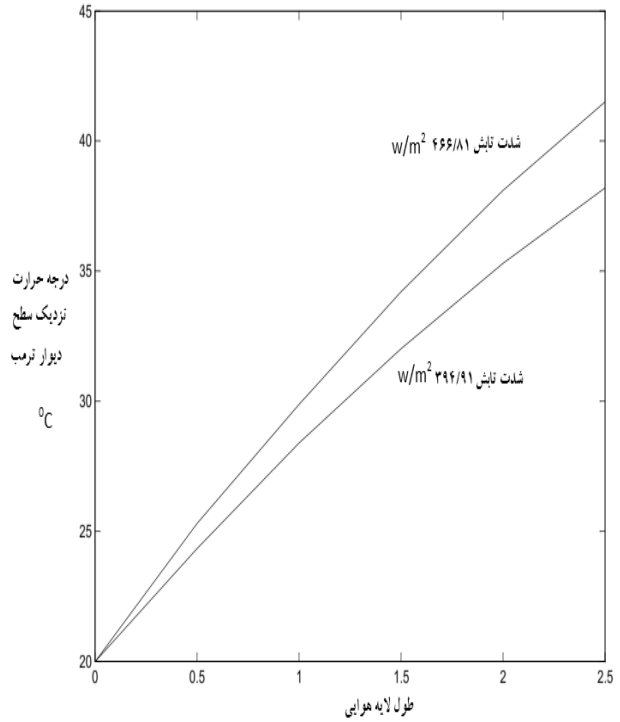


شکل ۲- تغییرات درجه حرارت شیشه با توجه به سه شدت تابش مختلف

این در حالی است که در شدت تابش ۳۹۴/۹۱ W/m^2 با توجه به انرژی گرمایی کمتر نسبت به‌شدت تابش W/m^2 ۴۶۶/۸۱، درجه حرارت نزدیک سطح دیوار ترمب تا میزان ۳۸/۲ درجه سانتی‌گراد خواهد رسید. این شرایط برای دمای نزدیک سطح شیشه به همین ترتیب با توجه به میزان شدت تابش ۴۶۶/۸۱ و ۳۹۴/۹۱ صادق است؛ که نتایج ارائه شده در شکل ۵ این موضوع را تأیید می‌کند. در شکل ۵ با شدت تابش ۴۶۶/۸۱W/m^2 دمای نزدیک سطح شیشه تا میزان ۱۴/۴۲۲ درجه سانتی‌گراد خواهد رسید در حالی که با شدت تابش کمتر (۳۹۴/۹۱ W/m^2) میزان درجه حرارت نهایی تا حدود ۱۲/۷۱ درجه سانتی‌گراد پیش خواهد رفت. لذا با توجه به شکل‌های ۴ و ۵ می‌توان با توجه به‌شدت تابش خورشیدی بیشتر، افزایش جریان انرژی گرمایی بیشتری را در کانال هوایی انتظار داشت، که این تأثیرات به‌نوعی زمینه‌ساز بهبود راندمان عملکرد سیستم گرمایشی دیوار ترمب خواهد بود. در شکل ۶ تغییرات درجه حرارت دمای دیوار ترمب با توجه به دو شدت تابش متفاوت نشان داده شده است. با توجه به شکل ۶، با شدت تابش ساطع شده به میزان ۴۶۶/۸۱W/m^2 دیوار ترمب می‌تواند انرژی گرمایی بیشتری دریافت نموده و درنتیجه ذخیره بیشتری از انرژی خورشیدی نماید.

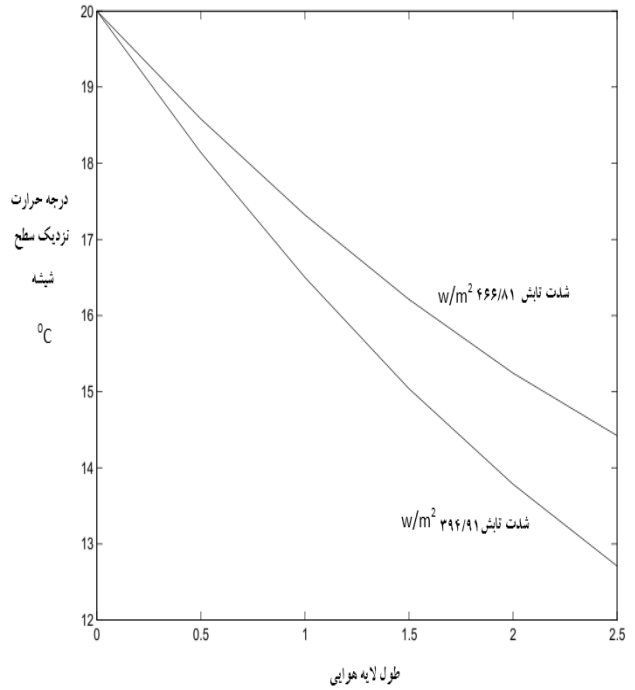


شکل ۳- تغییرات درجه حرارت شیشه با توجه به سه ضریب انتقال حرارت متفاوت برای سطح بیرونی شیشه (شدت تابش مورد مطالعه ۴۶۶/۸۱ W/m^2)

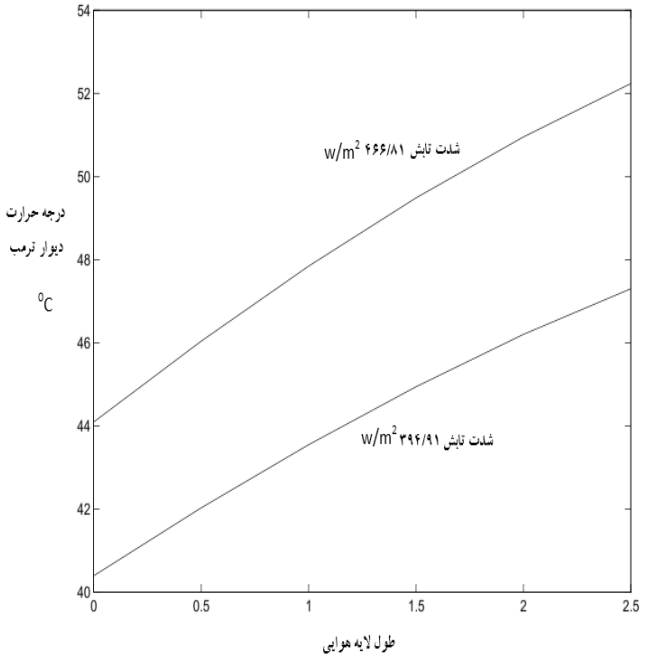


شکل ۴- تغییرات دمای نزدیک سطح دیوار ترمب با توجه به دو شدت تابش متفاوت

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]

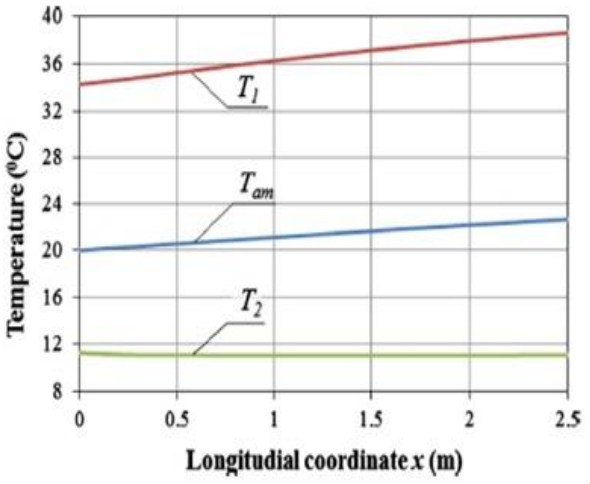


شکل ۵- تغییرات دمای نزدیک سطح شیشه با توجه دو شدت تابش متفاوت



شکل ۶- تغییرات دمای دیوار ترمب با توجه به دو شدت تابش متفاوت

این ذخیره حرارتی می‌تواند سبب افزایش بار گرمایشی فضای اتاق شود. میزان دمای مطلوب و بهینه با این میزان شدت تابش ۵۲/۲۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد؛ که نسبت به زمانی که شدت تابش W/m^2 ۳۹۴/۹۱ است به میزان ۵ درجه سانتی‌گراد بیشتر می‌شود. لذا شدت تابش ساطع شده بیشتر می‌تواند زمینه ذخیره و تابش ثانویه بیشتری را فراهم کند؛



شکل ۷- تغییرات دما در دیوار ترمب (T_1)، شیشه (T_2) و نزدیکی سطوح آن‌ها در طول لایه هوایی[۱۰]

که این امر تأمین انرژی گرمایی بیشتر برای جریان هوا کانال هوایی را به همراه دارد. در شکل ۷ نتایج پژوهش صورت گرفته توسط پیوتروسکی و همکاران [۱۰] نشان داده شده است. بر اساس این شکل با حرکت جریان هوا در کانال هوایی، دمای سطح دیوار ترمب با روند افزایشی همراه بوده است. این در حالی است که تغییرات درجه حرارت شیشه، روند نزولی به همراه داشته است. با توجه به شکل ۷ می‌توان به صحت نتایج مدل ارائه شده در شکل ۴ تا شکل ۶ تأکید نمود. نتایج استخراجی از مدل اصلاح شده در این مطالعه (در راستای بهینه‌سازی تغییرات سرعت و ضریب انتقال حرارت جریان هوای در طول کانال هوایی) با توجه به‌شدت تابش کافی، حاکی از افزایش دمای دیوار ترمب و کاهش دمای شیشه در طول کانال هوایی است. روند داده‌ها نشان می‌دهد مطالعه اخیر روند مشابه قابل ملاحظه‌ای با نتایج پیشین دارد.

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش به‌منظور بهبود عملکرد سیستم دیوار ترمب، اثرگذاری شدت تابش خورشیدی بر روی تغییرات دمای دیوار ترمب، دمای نزدیک دیوار ترمب، دمای شیشه و دمای نزدیک سطح شیشه موردمطالعه قرار گرفت. نتایج این بررسی نشان داد که با شدت تابش بیشتر، در بازه دمایی دیوار ترمب، دمای نزدیک سطح دیوار ترمب، دمای شیشه و دمای نزدیک سطح شیشه تغییرات بیشتری دیده می‌شود که در نتیجه حداکثر دمای مطلوب‌تری حاصل خواهد شد. هرچند این تغییرات در دیوار ترمب نسبت به شیشه بیشتر محسوس است. بر اساس این نتایج با افزایش مناسب و کافی درجه

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]

حرارت دیوار ترمب و شیشه می‌توان افزایش راندمان کیفیت گرمایش سیستم دیوار ترمب را انتظار داشت. هم‌چنین در این مطالعه تغییرات ضریب انتقال حرارت سطح بیرونی شیشه بر عملکرد سیستم گرمایشی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تغییرات ضریب انتقال حرارت سطح بیرونی شیشه بر روی بهبود عملکرد سیستم گرمایشی دیوار ترمب اثر بسیار ناچیزی دارد.

فهرست علائم

A_{t1},A_{t2}	به ترتیب ضریب دمای دیواره فشرده و سطح شیشه، بدون بعد
G1,G2	جریان هوای توده‌ای نزدیک دیواره فشرده و سطح شیشه، *(kg/s)*
hc_1,hc_2	ضریب جابجایی نزدیک سطح خارجی دیواره فشرده و سطح شیشه (W/m^2K)
T1,T2	دمای سطح خارجی دیواره فشرده و سطح شیشه (°C)
T_{a1},T_{a2}	دمای هوای نزدیک سطح خارجی دیواره فشرده و سطح شیشه (°C)
Ti,Te	دمای هوای داخل و خارج اتاق (°C)
a_ρ	جذب پذیری خورشیدی، بدون بعد
B	پهنای لایه هوا (m)
C	گرمای ویژه هوا (J/kg K)
Qs	جریان انرژی خورشید (W/m^2)
Tsur	دمای تابش احاطه شده (°C)
t	انتقال‌پذیری سطح شیشه، بدون بعد
h_e	ضریب انتقال حرارت سطح شیشه بیرونی (W/m^2K)
σ	ثابت استفان-بولتزمن $(W\ m^{-2}K^{-4})$
C_1	ضریب کاهش فشار ورودی کانال هوایی
C_2	ضریب اصطکاک برای دو طرف (سطوح دیوار ترمب و شیشه) کانال هوایی
C_3	ضریب کاهش فشار خروجی کانال هوایی
l	طول مشخصه کانال هوایی
μ	ضریب اصطکاک $(kgm^{-1}s^{-1})$
ϱ	چگالی جریان هوا (kgm^{-3})
Δp	افت فشار کل در کانال هوایی
A_c	مساحت کانال هوایی
ε	انتشار پذیری، بدون بعد
z	فاصله بین ورودی در بالا و پایین دیوار حرارتی (متر)
A_i	مساحت دریچه پایینی دیوار (ناحیه ورودی هوا)
A_o	مساحت دریچه بالایی دیوار (ناحیه خروجی هوا)
A_c	مساحت کانال هوایی
w	پهنای لایه هوا (عرض کانال هوایی) (m)

منابع

[1] F. Trombe, J. F. Robert, M. Cabanat, B. Sesolis, Concrete walls to collect and hold heat, *Solar Age*, Vol. 2, No. 8, pp. 13-19, 1977.

[2] J. D. Balcomb, 1992. *Passive solar buildings*, (ed.), Cambridge, MA: MIT Press. pp. 1-37. 1992.

[3] L. Zalewski, S. Lassue, B. Duthoit, M. Butez, Study of solar walls validating a simulation model. *Building and Environment*, Vol. 37, No. 1, pp. 109–121, 2002.

[4] S. H. Hashemi, S. M. Hosseini, Factors *Affecting the Stable Heat Transfer Process in Tromb Wall Technology*, 2nd International Congress on Structural Engineering, Architecture and Urban Development, Tabriz, 2014.

[5] J. Llovera, X. Potau, M. Medrano, L. F. Cabeza, Design and performance of energy-efficient solar residential house in Andorra. *Applied Energy*, Vol. 88, No. 4, pp. 1343–1353, 2010.

[6] B. Agrawal, G. N. Tiwari, Building integrated photovoltaic thermal systems: for sustainable developments*, Delhi: Royal Society of Chemistry,* 2011.

[7] J. D. Balcomb, R. D. McFarland, Simple empirical method for estimating the performance of a passive solar heated building of the thermal storage wall type, 1978.

[8] M. F. Hordeski, *New technologies for energy efficiency New York*, The Fairmont Press, 2011.

[9] R. C. Richman, K. D. Pressnail, A more sustainable curtain wall system: analytical modeling of the solar dynamic buffer zone (SDBZ) curtain wall, *Building and Environment*, Vol. 44, No. 1, pp. 1–10, 2009.

[10] J. Z. Piotrowski, A. Story, M. Olenets, Mathematical modelling of the steady state heat transfer processes in the convectional elements of passive solar heating systems. *Archives of Civil and Mechanical Engineering, Vol.* 13, No. 3, pp. 394–400, 2013.

[11] A. Akbarzadeh, W. W. S. Charters, D. A. Lesslie, Thermo circulation characteristics of a Trombe wall passive test cell, *Solar Energy*, Vol. 28, No. 6, pp. 461–468, 1982.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]

[12] Z. D. Chen, P. Bandopadhayay, J. Halldorsson, C. Byrjalsen, P. Heiselberg, Y. Li, An experimental investigation of a solar chimney model with uniform wall heat flux, *Building and Environment*, Vol. 38, No. 7, pp. 893-906, 2003.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]