J. Energy Conversion (JEED)
Volume: 12, Issue:1, 2025: 23-42

نشریه علمی-تخصصی تبدیل انرژی

دوره ۱۲، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، ص: ۴۲-۲۳

بررسی اثر دیوار ترومب حاوی مواد تغییر فاز دهنده بر میزان کاهش مصارف انرژی (مطالعه موردی: یک ساختمان نمونه در شرایط اقلیمی مختلف)

سمانه اسلامیان کوپائی[۱]، جواد دیواندری[۲*]، محمد نظیفی‌فرد[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد معماری وانرژی، پژوهشکده انرژی، دانشگاه کاشان، samaneh.eslamian@grad.kashanu.ac.ir
*۲- عضو هیئت علمی، دانشکده‌ی معماری و هنر، دانشگاه کاشان، j.divandari@ kashanu.ac.ir
۳- عضو هیئت علمی، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه کاشان، nazifi@kashanu.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۱۵، بازنگری: ۱۴۰۴/۱/۲۷، پذیرش: ۱۴۰۴/۲/۱۳

چکیده

طی چند دهه اخیر، بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر نظیر انرژی خورشیدی به‌عنوان راه حلی برای رفع نیازهای روزافزون به منابع جدید انرژی و پاسخ به ضرورت‌های مقابله با آلودگی‌های زیست‌محیطی در بخش ساختمان مطرح می‌شود. در این میان یکی از روش‌ها برای تأمین گرمایش ساختمان و بهره‌گیری از تکنیک‌های ذخیره‌سازی حرارتی دیوار ترومب می‌باشد. در مقاله حاضر یک دیوار ترومب حاوی مواد تغییر فازدهنده با استفاده از نرم‌افزار دیزاین بیلدر مدل‌سازی و تأثیر جهت‌گیری ساختمان در میزان مصرف انرژی در یک ساختمان موجود، در چهار اقلیم مختلف با توجه به سه نمونه مواد تغییر فازدهنده موجود در بازارهای ایران و هم‌چنین متناسب با دمای آسایش اقلیم مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد تأثیر مواد تغییر فازدهنده در هر سه نمونه‌ی مورد آزمایش یکسان بوده لکن در بررسی میزان مصرف انرژی، بیش‌ترین میزان ۲۲۳ کیلووات بر ساعت در اقلیم گرم و مرطوب و کم‌ترین میزان۱۵۲ کیلووات بر ساعت در اقلیم سرد و در زاویه ۹۰° نشان داده شده است. با توجه به قیمت‌های حامل‌های انرژی، هزینه انرژی مصرفی ساختمان در اقلیم سرد به‌گونه‌ای است که امکان بازگشت سرمایه‌گذاری برای مواد تغییر فازدهنده در دیوار ترومب را در طول یک‌سال فراهم می‌کند و می‌توان نتیجه گرفت اجرای دیوار ترومب حاوی مواد تغییر فازدهنده هر یک از نمونه‌های موجود در بازار ایران در اقلیم سرد مقرون‌به‌صرفه می‌باشد.

* **عهده‌دار مکاتبات:** j.divandari@ kashanu.ac.ir

کلمات کلیدی: دیوار ترومب، مواد تغییر فاز دهنده، کاهش مصرف انرژی، شبیه‌سازی، دیزاین بیلدر

نحوه استناد به این مقاله سمانه اسلامیان کوپایی, جواد دیواندری، محمد نظیفی‌فرد. بررسی اثر دیوار ترومب حاوی مواد تغییر فاز دهنده بر میزان کاهش مصارف انرژی(مطالعه موردی: یک ساختمان نمونه در شرایط اقلیمی مختلف). **مهندسی مکانیک تبدیل انرژی. ۱۴۰۴; ۱۲ (۱) : ۲۳-۴۲.**

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-06-25]

[DOI: 10.82377/jeed.2025.1.485]

۱- مقدمه

روند مصرف انرژی در جهان یک نگرانی فزاینده است و طبق اعلام شورای جهانی انرژی، تقاضای انرژی اولیه تا سال ۲۰۵۰ به بیش از دو برابر خواهد رسید [۱]. آمارهای انرژی نشان می‌دهند ساختمان‌ها و بخش ساخت‌وساز به‌طور مستقیم منجر به مصرف ۳۶ درصد مصرف جهانی انرژی و ۴۰ درصد از کل انتشار مستقیم و غیرمستقیم گاز دی‌اکسید کربن می‌باشد که در این میان مصرف انرژی سیستم‌های تهویه مطبوع بخش قابل‌توجهی از مصرف انرژی ساختمان را به خود اختصاص می‌دهد. با توجه به این ضرورت، راهبرد کاهش مصرف انرژی سیستم‌های تهویه مطبوع، می‌تواند سهم مؤثری در کاهش انتشار کربن ساختمان و مصارف حامل‌های انرژی داشته است. دیوار ترومب یک راهکار معماری شناخته‌شده در میان سامانه‌های خورشیدی غیرفعال مانند دودکش‌های خورشیدی [۲] و سقف‌های خورشیدی [۳] است که برای اولین بار در سال ۱۸۸۱ ارائه شد [۴]. تاکنون، دیوار ترومب به‌دلیل ساختار ساده، کارایی بالا و هزینه عملیات کم، از طریق تحقیقات تئوری و تجربی به‌طور گسترده مورد مطالعه قرارگرفته است [۵ و ۶]. نتایج مطالعات پیشین نشان می‌دهد کارایی دیوار ترومب با مساحت آن رابطه مستقیمی دارد، اما زمانی که نسبت مساحت دیوار ترومب به مساحت کل دیوار از ۳۷ درصد فراتر رود، افزایش کارایی دیوار محدود خواهد شد [۷]. بریگاسا و همکاران [۸] دریافتند که وقتی یک دیوار ترومب به پوشش ساختمان اضافه می‌شود، صرفه‌جویی در گرمایش انرژی به ۱۶/۳۶ درصد می‌رسد. علاوه بر این، بویلاکوا و همکاران [۹] دریافتند که دیوار ترومب تقاضای الکتریکی برای تهویه مطبوع را تا ۱۰/۵ درصد در مقایسه با پیکربندی سنتی کاهش می‌دهد. با این‌حال، عملکرد انرژی یک دیوار ترومب همیشه به دلیل بازده حرارتی کم و اینرسی حرارتی بالا محدود می‌شود. علاوه بر این، دیوار ترومب در طول روز کارایی دارد زیرا صرفاً توسط انرژی خورشیدی هدایت می‌شود [۱۰]. برای غلبه بر این معایب و افزایش عملکرد انرژی دیوار ترومب، اخیراً مطالعات متعددی با تمرکز بر بهبود دیوار سنتی ترومب انجام شده است. اخیراً طراحی دیوار ترومب به‌صورت یکپارچه با PCM[1] (مواد تغییر فاز دهنده) پیشنهاد شده که می‌تواند انرژی خورشیدی را در طول روز ذخیره کند و انرژی حرارتی را در زمان شب آزاد کند [۱۱]. چنین موادی با تغییر گرمای نهان فاز به ذخیره‌سازی حرارتی کمک می‌کنند، یعنی در حین ذوب شدن انرژی را جذب و در حین جامد شدن انرژی را آزاد می‌کنند. پیاده‌سازی PCM در سیستم‌های حرارتی یک راه کارآمد و ارزان در بهبود کارایی سیستم یک سیستم حرارتی خورشیدی ازجمله دیوار ترومب می‌باشد. این مواد علاوه بر ظرفیت ذخیره‌سازی حرارتی خود می‌توانند دارای استحکام بالا، حجم کم و دمای تغییر فاز پایین باشند. مواد تغییر فازدهنده معمولاً جامد و متراکم هستند و می‌توانند به روش‌های مختلف با مصالح ساختمانی ترکیب شوند تا مصرف انرژی ساختمان را کاهش دهند و عملکرد ذخیره‌سازی گرما را بهبود بخشند. علاوه بر این، این مواد به اندازه کافی انعطاف‌پذیر هستند و قابل یکپارچه‌سازی با اجزای ساختمان هستند. در مطالعه‌ای که توسط جین و همکارانش [۱۲] انجام گرفت مواد تغییر فاز دهنده را از طریق دولایه فویل آلومینیومی محافظ در دیوارها گنجانده‌اند به‌گونه‌ای که این سیستم قادر بود اتاق آزمایش را ۲ ساعت بیش‌تر از دیوار ترومب معمولی گرم نگه دارد. دوان و همکاران [۱۳] یک مطالعه تجربی بر روی دیوار PCM Trombe یکپارچه در مقیاس کوچک انجام داد و نتیجه پیشنهاد کرد که برای PCM با دمای ذوب مناسب، طیف وسیعی از دمای تغییر فاز و گرمای نهان بالا باید انتخاب شود.

نوشین ابوالحسنی و همکاران [۱۴] در مقاله بهسازی حرارتی جدار ساختمان‌های موجود در اقلیم سرد در ایران با بهره‌گیری از ویژگی‌های دیوار ترومب برای سنجش کارایی این دیوار با استفاده از نرم‌افزار انرژی پلاس رفتار حرارتی یک ساختمان واقعی موجود در اقلیم سرد را با جزئیات پیشنهادی در سه حالت بدون عایق، با عایق و با دیوار ترومب به‌دست آوردند نتایج نشان‌دهنده کارایی بهتر دیوار ترومب نسبت به حالت‌های دیگر بود

در پژوهش حاضر ابتدا دیوار ترومب و مواد تغییر فازدهنده مورد مطالعه قرارگرفته و سپس میزان مصرف انرژی ساختمان دارای دیوار ترومب با در نظر گرفتن انواع مواد تغییر فازدهنده و جهت قرارگیری ساختمان در اقلیم‌های مختلف با استفاده از

[1] Phase Change Material

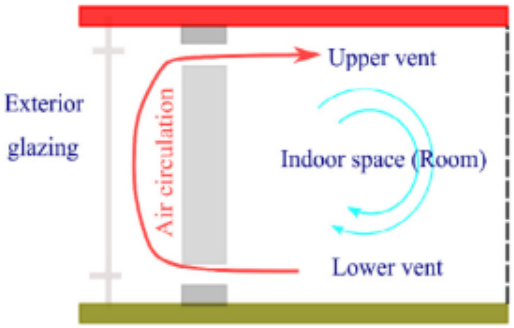
[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-06-25]

[DOI: 10.82377/jeed.2025.1.485]

نرم‌افزار دیزاین بیلدر به‌دست آمده تا مناسب‌ترین اقلیم برای دیوار ترومب دارای مواد تغییر فازدهنده و جهت‌گیری ساختمان جهت کاهش مصرف انرژی مشخص شود.

۲- دیوار ترومب

دیوار ترومب یک سیستم خورشیدی ایستا و غیرفعال است که معمولاً از مصالح ساختمانی تیره‌رنگ ساخته‌شده و با شیشه عمودی پوشانده شده که به‌موجب آن هوای تهویه شده می‌تواند بین دیوار و شیشه گردش کند. دریچه‌ها در بالا و پایین دیوار قرار دارند تا به هوا اجازه ورود به داخل را بدهند [۱۵]. شکل (۱) یک نمایش شماتیک از دیوار ترومب را نشان می‌دهد. دیوار ترومب با جذب پرتوهای خورشید به‌عنوان انرژی خورشیدی و تبدیل آن‌ها به انرژی گرمایی عمل می‌کند، به‌گونه‌ای که نور خورشید از طریق شیشه به دیوار تاریک می‌تابد و آن را گرم می‌کند و گرمای ذخیره‌شده به‌تدریج از طریق دیوار با رسانایی و همرفت در شب، بدون نیاز به فن یا پمپ به سطح داخلی می‌رسد [۱۶,۱۵].



شکل ۱: دیوار ترومب کلاسیک [۱۶]

دیوار کلاسیک ترومب که در شکل (۱) نشان داده شده است عمدتاً با همرفت طبیعی کار می‌کند زیرا دیوار مستقیماً رو به فضای موردنظر برای گرمایش است. دیوار شار گرمای خورشید را از طریق شیشه جذب و پس از آن، دمای هوای کانال را افزایش می‌دهد و به‌دلیل همرفت طبیعی و پدیده‌های ترموسیفون، هوا از دریچه بالایی وارد اتاق می‌شود. بخشی از شار گرمای خورشید از طریق گردش هوا به اتاق منتقل می‌شود. بستن دریچه‌ها در شب از برگشت و خروج گرما از فضا جلوگیری می‌کند. پدیده ترموسیفون معکوس در برخی از شب‌ها و در زمستان مشاهده می‌شود. درواقع هنگامی‌که دمای دیوار نسبت به اتاق سردتر و گردش هوا در کانال از بالا به پایین خواهد بود و دمای اتاق را کاهش می‌دهد. ساخت دیوار کلاسیک ترومب براساس استفاده از مواد ذخیره‌سازی گرما ازجمله آجر، بتن، سنگ و خشت خام است. برای افزایش جذب انرژی خورشیدی، سطح بیرونی آن سیاه و معمولاً فاصله هوا بین دیوار و شیشه از ۳ تا ۱۰ سانتی‌متر متغیر می‌باشد [۱۷].

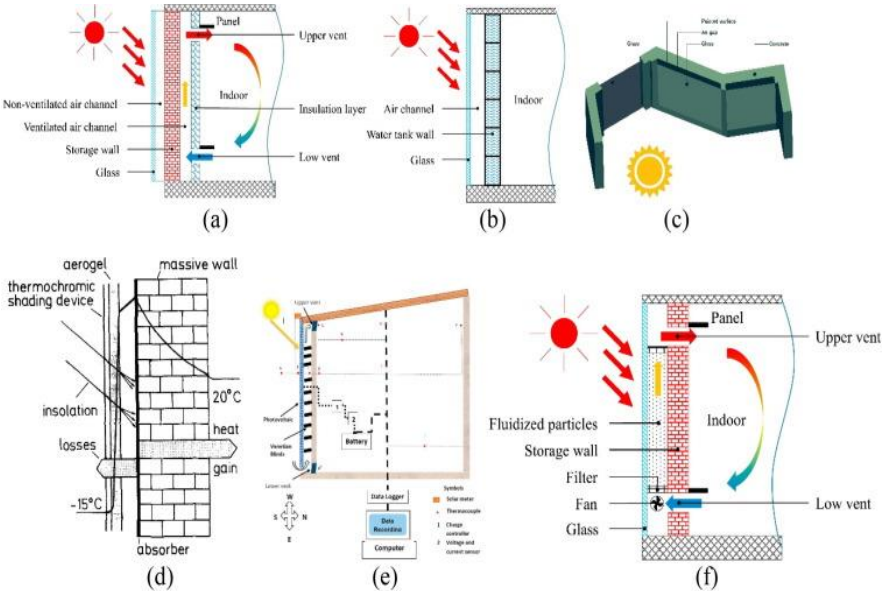
علاوه بر این، دیوار ترومب باید به‌گونه‌ای طراحی شود تا با عرض‌های جغرافیایی مختلف مطابقت داشته باشد. برای این منظور طرح‌های متعددی از دیوارهای ترومب ارائه‌شده که براساس شکل، جنس و نوع عملکرد به شرح زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

- دیوار کلاسیک ترومب (CTW[1])
- دیوار ترومب-میشل (TMW[2]) هم‌چنین به‌عنوان دیوار ترومب مرکب شناخته می‌شود): عایق به پشت دیوار اضافه می‌شود تا از اتلاف گرما به سمت خارج جلوگیری شود.
- دیوار ترومب حاوی آب (TWT[3]): ظروف آب در دیوار قرار می‌گیرند تا به‌عنوان یک محیط ذخیره گرما عمل کنند.

[1] Classic Trombe wall
[2] Trombe Michel wall
[3] Water Trombe wall

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-06-25]
[DOI: 10.82377/jeed.2025.1.485]

- دیوار زیگزاگ ترومب (ZTW[1]): دیوار از بخش‌های مختلف ساخته شده است که پشت‌سرهم به‌شکل زیگزاگ قرارگرفته‌اند تا از تابش خورشید در دوره‌های اوج آفتابی بکاهند.
- دیوار ترموکرومیک (TTW[2]) یک پوشش ترموکرومیک به دیوار تعبیه شده است.
- دیوار ترومب سیال شده (FTW[3]): ذرات سیال با جذب بالا در فضای خالی بین دیوار و لعاب خارجی قرار می‌گیرند.
- ماده تغییر فازدهنده - دیوار ترومب (PCMTW[4]): یک PCM به‌عنوان یک محیط ذخیره حرارت در دیوار گنجانده‌شده است.
- دیوار ترومب فتوولتائیک (PVTW[5]): سلول‌های خورشیدی فتوولتائیک به دیوار تعبیه شده‌اند.



شکل ۲: پیکربندی‌های مختلف دیوار ترومب: (الف) TW کامپوزیت [۱۹]، (ب) TW آب [۲۰]، (ج) TW زیگزاگ، (د) TW ترموکرومیک [۲۱]. TW (ح) فتوولتائیک [۲۲] وTW (ع) سیال شده [۱۹].

۲-۱- محاسن دیوار ترومب

از محاسن دیوار ترومب می‌توان به سطح بالای آسایش حرارتی که ایجاد می‌کند، ترکیب مناسب با دریافت مستقیم در صورت نیاز برای محدود نمودن روشنایی، همین‌طور سهولت اجرای آن بر دیوار موجود که همراه با هزینه متعادلی خواهد بود و همچنین می‌توان به مناسب بودن آن برای بارهای گرمایشی بزرگ اشاره کرد. مزایای دیگر آن عبارت‌اند از: ایجاد پوسته‌ای مقاوم‌تر در مقابل آب‌وهوا، ایجاد عایق حرارتی بهتر و نمایی جذاب‌تر برای ساختمان.

۲-۲- معایب دیوار ترومب

اصولاً طراحی دیوار ترومب گران‌تر بودن از دریافت مستقیم انرژی خورشیدی است. از طرفی در طراحی ساختمان ممکن است منجر به عدم روشنایی و دید نامناسب می‌گردد. در واقع این راهکار گرمایش با این‌که راهکاری نسبتاً ارزان می‌باشد، اما در

[1] Zigzag Trombe wall
[2] Thermochromic Trombe wall
[3] Fluidized Trombe wall
[4] Phase Change Material Trombe wall
[5] Photovoltaic Trombe wall

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-06-25]
[DOI: 10.82377/jeed.2025.1.485]

مجموع از روش دریافت مستقیم گران‌تر می‌باشد، اگر قرار باشد مهم‌ترین عیب آن را نام ببریم، باید به عدم آسایش بصری که توسط آن ایجاد می‌شود اشاره کرد. دیوار ترومب، مسیر ورود نور به اتاق را خواهد بست و به‌همین ترتیب از میزان سطح روشنایی اتاق کاسته خواهد شد. در صورتی کارایی این راهکار در حداکثر میزان خود خواهد بود که آسمان آفتابی باشد و نور خورشید به‌صورت مستقیم به این فضا بتابد، اما درصورتی‌که آب‌وهوای منطقه‌ای ابری باشد، استفاده از آن توصیه نمی‌شود [۲۳].

۳- مواد تغییر فازدهنده

ذخیره انرژی حرارتی یک نوآوری است که انرژی حرارتی را با گرم کردن یا سرد کردن یک محیط، ذخیره می‌کند تا اطمینان حاصل شود که انرژی ذخیره شده می‌تواند در زمان بعدی برای اهداف گرمایش و سرمایش استفاده شود. این سیستم‌ها شامل سه مرحله اصلی هستند، یعنی شارژ حرارتی، ذخیره‌سازی و تخلیه TES[1] از دو روش ذخیره‌سازی، یعنی فیزیکی (ذخیره گرمای محسوس و نهان) و شیمیایی استفاده می‌کند. ذخیره گرمای محسوس با افزایش دمای محیط، گرما را ذخیره می‌کند. ظرفیت ذخیره‌سازی مواد مورداستفاده در این نوع ذخیره‌سازی به میزان تغییر دمای موردنیاز در شرایط اعمال‌شده و حجم مواد مورد استفاده بستگی دارد [۲۴].

مواد تغییر فازدهنده، موادی هستند که مازاد انرژی حرارتی محیط اطراف خود را در زمان عدم نیاز بر پایه گرمای نهان ذوب و انجماد در خود ذخیره می‌کنند و در زمان نیاز، دوباره به محیط بازمی‌گردانند و با این عمل به‌طور کاملاً هوشمند محیط اطراف خود را مجبور می‌کند که در درجه حرارت معینی موسوم به دمای پافشاری باقی بماند میزان ذخیره این مواد ۵ الی ۱۴برابر انرژی است که موادی مانند آب یا سنگ می‌توانند به‌صورت محسوس در خود ذخیره نمایند. روش کار این مواد برای ذخیره انرژی گرمایی به این شکل می‌باشد که طی فرآیند گرم شدن محیط، به‌صورت موازی با محیط گرم می‌شوند تا زمانی‌که به دمای ذوب خود (تغییر فاز) برسند. پس از رسیدن به این دما باوجود آن‌که دمای محیط هم‌چنان به روند افزایشی خود ادامه می‌دهد، دمای این مواد و البته محیط اطراف آن به‌دلیل آن‌که در حال تغییر فاز است، ثابت مانده و در برابر افزایش دما مقاومت می‌نماید. درواقع طی این بازه زمانی که معمولاً چند ساعت نیز به طول می‌انجامد، ماده تغییر فازدهنده مقادیر زیادی از گرمای محیط را به خود جذب می‌نماید ولی آن را صرف افزایش دمای خود نمی‌کند؛ بلکه گرمای جذب‌شده را صرف تغییر فاز خود از جامد به مایع نموده و طی این فرآیند دمای خود و محیط خود را ثابت نگه می‌دارد. مواد تغییر فازدهنده را براساس دمای تغییر فاز به سه دسته مهم مواد آلی، هیدرات نمک‌ها و یوتکتیک‌ها می‌توان تقسیم نمود. امروزه این مواد کاربرد وسیعی در حفاظت در برابر آتش، ذخیره انرژی توسط سیستم‌های خورشیدی، گرم‌کننده دست در زمستان، البسه ورزشی، لوازم خواب، عایق شفاف در شیشه پنجره‌ها، آبگرمکن خورشیدی، حمل‌ونقل و نگه‌داری محصولات غذایی سرد و گرم، روکش صندلی و روکش داخلی سقف خودروها، ماهواره‌ها، گلخانه‌ها، جلیقه‌های خنک‌کننده و غیره دارند. از سال ۱۹۸۰میلادی استفاده آن‌ها در ساختمان موردتوجه قرار گرفت که با روش‌های مختلف در دیوارها، سقف،کف، مخازن سرد و گرم و دیوار ترومب به کار گرفته می‌شوند [۲۵].

۳-۱- مشخصات مواد تغییر فاز دهنده در دیوار ترومب

ویلای دشت چهل در چهار اقلیم مختلف ایران با استفاده از نرم‌افزار دیزاین بیلدر با مواد تغییر فازدهنده متنوع در دیوار ترومب شبیه‌سازی شده است. مواد تغییر فازدهنده موجود در بازار ایران در این شبیه‌سازی عبارت‌اند از بیو پی سی‌ام[2] که نمونه‌ای از مواد تغییر فازدهنده است که از سویا و نخل روغن‌های زیستی تولید می‌شود، این مواد مجموعه‌ای از سلول‌های جداگانه کوچک هستند، که به‌صورت رول از یک ورق تشکیل می‌شوند و دارای روکشی از جنس پلاستیک بادوام در مقابل آتش‌سوزی است [۲۶].

[1] Thermal Energy Storage

[2] Biopcm

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-06-25]

[DOI: 10.82377/jeed.2025.1.485]

جدول ۱: مشخصات مواد تغییر فاز دهنده بیو پی‌سی‌ام [۲۶]

نوع ماده تغییر فازدهنده	رسانایی W/M-K	گرمایی ویژه J/Kg-k	چگالی kg/m^3	ضخامت m
BioPCM® M182/Q21	۰/۲	۱۹۷۰	۲۳۵	۰/۰۷
BioPCM® M182/Q23	۰/۲	۱۹۷۰	۲۳۵	۰/۰۷
BioPCM® M182/Q25	۰/۲	۱۹۷۰	۲۳۵	۰/۰۷

شکل ۳: مواد تغییر فاز دهنده بیو پی سی‌ام[۲۶]

Infinite R™ یک نمونه از مواد تغییر فازدهنده است که برای یخزدن و ذوب‌شدن در دمای آسایش طراحی شده تا فضاهای زندگی را بدون استفاده از منابع انرژی معمولی به دمای موردنظر نزدیک‌تر کند [۲۷].

جدول ۲: مشخصات مواد تغییر فاز دهنده Infinite R ™ [۲۷]

نوع ماده تغییر فاز دهنده	رسانایی W/M-K	گرمایی ویژهJ/Kg-k	چگالی kg/m^3	ضخامت m
InfiniteRPCM21C	۰/۸	۳۱۴۰	۹۲۹	۰/۰۷
InfiniteRPCM23C	۰/۸	۳۱۴۰	۹۲۹	۰/۰۷

شکل ۴: مواد تغییر فازدهنده Infinite R ™ [۲۷]

فناوری‌های وینکو نمونه‌ای از مواد تغییر فاز دهنده است که ذخیره و توزیع مجدد انرژی‌های طبیعی را با استفاده از محصولات تغییر فاز ساخته شده از موم گیاهی امکان‌پذیر می‌کند. به لطف میکروکپسول‌های توسعه‌یافته توسطMCI Technologies، پوشش Enerciel عملکرد حرارتی منحصربه‌فردی (۱۸۴ j/g) را در طول عمر ساختمان ارائه می‌دهد و پیک‌های گرما و سرما را تا ۶ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌دهد درحالی‌که در تابستان انرژی حرارتی ایجاد شده توسط تابش خورشید در گچ محبوس می‌شود [۲۸].

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-06-25]

[DOI: 10.82377/jeed.2025.1.485]

جدول ۳: مشخصات مواد تغییر فاز دهنده Winco Technologies [۳۱]

نوع ماده تغییر فاز دهنده	رسانایی W/M-K	گرمایی ویژه J/Kg-k	چگالی kg/m^3	ضخامت m
WINCO TECHNOLOGIES ENERCIEL 21	۰/۱	۲۵۰۰	۸۳۲	۰/۰۷
WINCO TECHNOLOGIES ENERCIEL 23	۰/۱	۲۵۰۰	۸۳۲	۰/۰۷

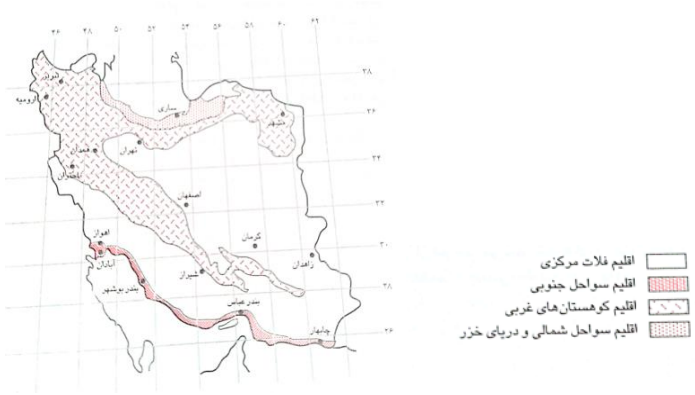
شکل ۵: مواد تغییر فازدهنده Winco Technologies [۲۸]

جهت به‌دست آوردن مناسب‌ترین ماده تغییر فازدهنده در دیوار ترومب و کاهش مصرف انرژی از کم‌ترین و بیش‌ترین هرکدام از مواد تغییر فازدهنده آن مدل برای شبیه‌سازی در نظر گرفته شده است.

۳-۲- تقسیمات اقلیمی ایران

براساس تقسیمات کوپن ایران دارای تقسیم‌بندی‌های اقلیمی متنوعی است که به‌صورت چهار اقلیم زیر دسته‌بندی می‌شود:

- اقلیم معتدل و مرطوب (سواحل جنوبی دریای خزر)
- اقلیم سرد و کوهستانی (کوهستان‌های غربی)
- اقلیم گرم و خشک (فلات مرکزی)
- اقلیم گرم و مرطوب (سواحل جنوبی) [۲۹]



شکل ۶: حدود تقسیمات چهارگانه‌ی اقلیمی ایران [۲۹]

۳-۳- مشخصات جغرافیایی و اقلیمی

در جدول (۴) مشخصات اقلیمی و جغرافیایی چهار شهر نمونه با اقلیم مختلف قرار داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌کنید طبق مقرارت ملی ساختمان مبحث ۱۹ نیاز غالب انرژی شهرهای اصفهان، تبریز و رشت گرمایش می‌باشد بنابراین انتظار می‌رود که دیوار ترومب دارای مواد تغییر فازدهنده به دلیل ماهیت ذخیره‌سازی در این شهرها موجب کاهش مصرف انرژی در ساختمان شود.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-06-25]

[DOI: 10.82377/jeed.2025.1.485]

جدول ۴: مشخصات جغرافیایی و اقلیمی شهرهای مختلف ایران [۳۰]

شهر	اقلیم	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا	مصرف انرژی	نیاز غالب
اصفهان	گرم و خشک	°۳۷°-۳۲	°۴۰°-۵۱	۱۵۹۰	متوسط	گرمایش
تبریز	سرد	°۸°-۳۸	°۱۵°-۴۶	۱۳۴۹	زیاد	گرمایش
رشت	معتدل و مرطوب	°۱۹°-۳۷	°۳۶°-۴۹	-۷	کم	گرمایش
بندرعباس	گرم و مرطوب	°۱۳°-۲۷	°۲۲°-۵۶	۱۰	زیاد	سرمایش

۳-۴- تعیین دمای آسایش براساس متوسط دمای محیط

رابطه‌ای که در آن دمای آسایش براساس متوسط دمای خارجی بوده و اکثریت افراد نه احساس گرما می‌کنند و نه سرما, عبارت است از:

$$t_c = ۰/۳۱ t_m + ۱۷/۶°C \quad (۱)$$

tc که در آن دمای آسایش برحسب درجه سانتی‌گراد و tm متوسط دمای محیط برحسب درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

رابطه (۱) به شرطی صحیح است که ۱۸/۵ < tc <۲۸/۵ باشد [۳۱].

در جدول زیر دمای آسایش هر شهر براساس متوسط دمای محیط به جهت انتخاب مواد تغییر فازدهنده متناسب با اقلیم به دست آمده است.

جدول ۵: دمای آسایش شهرهای مختلف بر حسب سیلسیوس

شهر	بندرعباس	رشت	اصفهان	تبریز
دمای آسایش	۲۵/۸۱°C	۲۲/۴۹°C	۲۲/۵۶°C	۲۱/۴۹°C

۴- شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار دیزاین بیلدر

نرم‌افزار دیزاین بیلدر که در سال ۲۰۰۵ وارد بازار شده است، نرم‌افزار تخصصی شبیه‌سازی انرژی، از پرکاربردترین، به‌روزترین و دقیق‌ترین نرم‌افزارهای موجود در زمینه انرژی در تمامی دنیا می‌باشد.

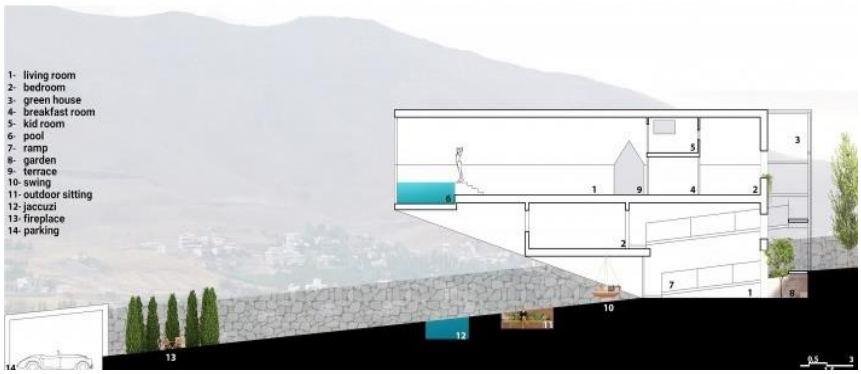
از خصوصیات مهم این نرم‌افزار، استفاده از موتور مدل‌سازی انرژی پلاس است براساس ترکیبی از برنامه‌های DOE و BLAST عمل می‌کند. اساس کار این نرم‌افزار تأسیساتی بر مبنای شرایط اقلیمی بوده و می‌توان با استفاده از آن انرژی مصرفی را برای گرمایش، سرمایش، تهویه و روشنایی در ساختمان‌ها شبیه‌سازی نمود [۳۲].

۴-۱- اطلاعات ورودی

ویلای دشت چهل دماوند که اخیراً با زیربنای حدود۴۴۰ مترمربع در دماوند ساخته شده است به‌عنوان نمونه موردی جهت بررسی و تحلیل داده ها مورد ارزیابی قرار گرفت. این ساختمان که در مسابقات معماری رتبه دوم جایز معماری در بخش مسکونی تک‌واحدی را نیز کسب کرده است به جهت داشتن دیوار ترومب کلاسیک در نمای جنوبی ساختمان، به‌عنوان نمونه جهت استفاده در شبیه‌سازی توسط نرم‌افزار دیزاین بیلدر انتخاب گردید. در شروع طراحی به‌واسطه کشیدگی زمین در راستای شمالی جنوبی (طول ۵۰ در عرض ۲۰ متر) این امکان فراهم بود که برای ایجاد احساس نزدیکی بیش‌تر با منظر شمالی، لکه‌گذاری ساختمان در همین راستا گسترش یابد. در ادامه با ایجاد برش موربی در طول ساختمان علاوه بر آن‌که دید به منظر شمالی به عمق ساختمان رسید سقفی بروی سایت شکل گرفت که حضور فیزیکی انسان در زمان بارش برف و باران یا استفاده از گرمای مطبوع میانه‌ی روز را (در عین محفوظ بودن از تابش مستقیم خورشید) محدود به داخل ساختمان نکند و تا عمق بیش‌تری از سایت، امکان این حضور فراهم شود [۳۳].

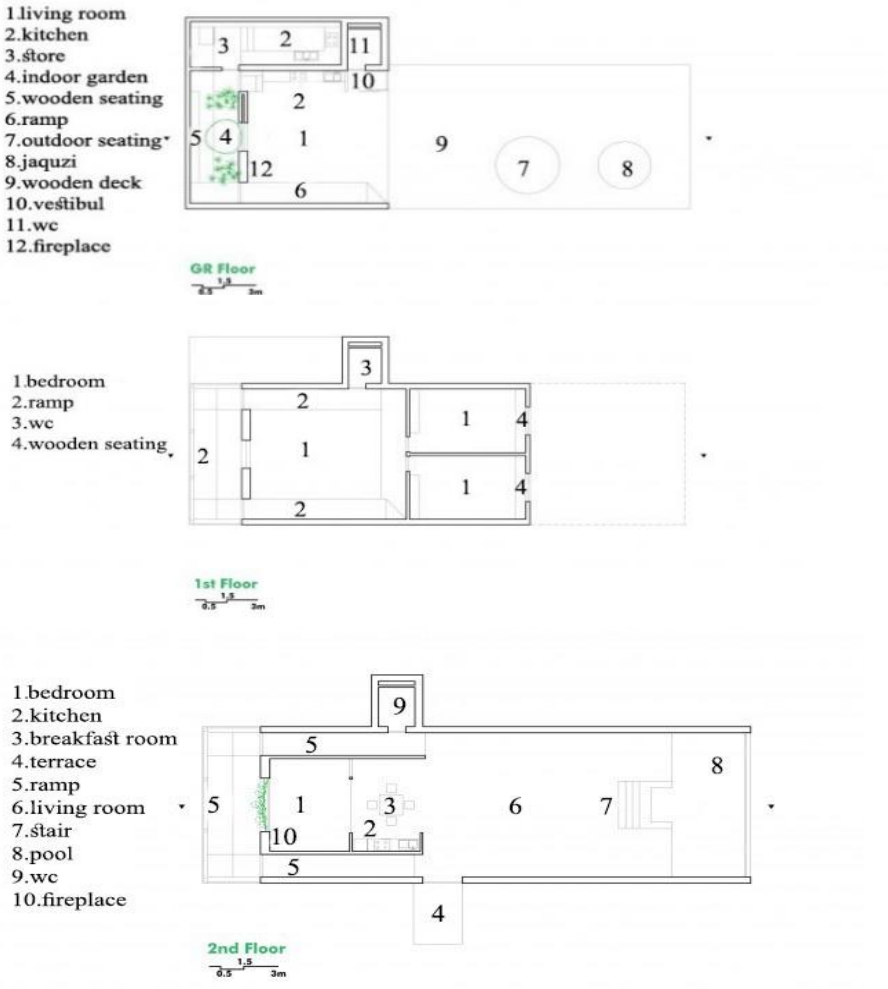
[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-06-25]

[DOI: 10.82377/jeed.2025.1.485]



شکل ۷: مقطع طولی ویلای دشت چهل[۳۳]

در قسمت جنوبی حجم ساختمان نیز با ایجاد محفظه‌ای شیشه‌ای، قرار گرفتن دیوار سنگی ضخیم در پشت آن و بازشوهایی در بالا و پایین (راهکار معروف به دیوار ترومب) می‌توان انرژی حرارتی تابیده‌شده در طول روز را ذخیره و برای گرم‌کردن ساختمان در شب مورداستفاده قرارداد. در انتها نیز با پرهیز از تسطیح یا پله‌ای کردن سایت (برخورد معمول در مواجهه با زمین‌های شیب‌دار) مسیرهای دسترسی افقی و عمودی به‌صورت رمپ درآمدند تا با ایجاد حرکتی نرم و راحت در تمام پروژه امکان رسیدن به احساس آزادی بیشتر تقویت شود [۳۳].



شکل ۸: پلان‌های ویلای دشت چهل[۳۳]

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-06-25]

[DOI: 10.82377/jeed.2025.1.485]

شکل ۹: نمای شمالی ویلای دشت چهل [۳۳]

شکل ۱۰: پرسپکتیو ویلای دشت چهل [۳۳]

شکل ۱۱: دیوار ترومب در ویلای دشت چهل [۳۳]

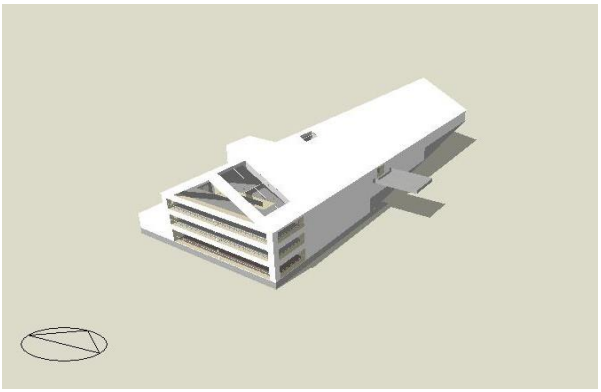
۴-۲- مدل‌سازی

پس از معرفی ویلای دشت چهل به‌عنوان نمونه موردی با در نظر گرفتن سیستم تهویه مطبوع و مواد تغییر فازدهنده متناسب با اقلیم‌های چهارگانه در چهار منطقه ساختمان که دارای سه طبقه، فضاهای متنوع و دیوار ترومب در جبهه جنوبی ساختمان بود، در نرم‌افزار دیزاین بیلدر مدل‌سازی و شبیه‌سازی شد. در طی فرایند شبیه‌سازی شرایط اقلیم‌های مختلف بر ساختمان اعمال شد سپس برای صحه‌گذاری بر نتایج دیوار ترومب دارای مواد تغییر فاز دهنده به‌عنوان متغیر در میزان مصرف انرژی ساختمان در چهار اقلیم مختلف ایران مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. شکل (۱۲) نمای ایزومتریک را در نرم افزار دیزاین بیلدر نشان می‌دهد.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-06-25]

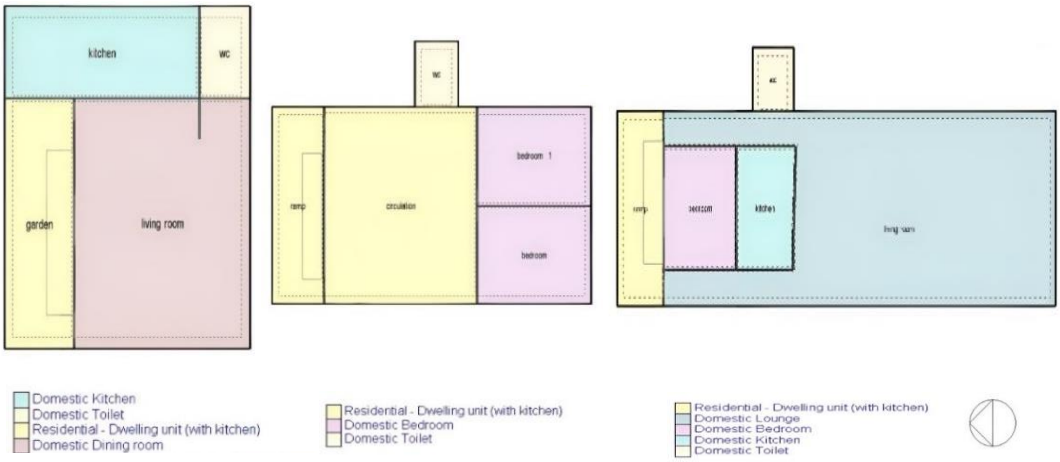
[DOI: 10.82377/jeed.2025.1.485]

شکل ۱۲: نمای ایزومتریک ویلای دشت چهل

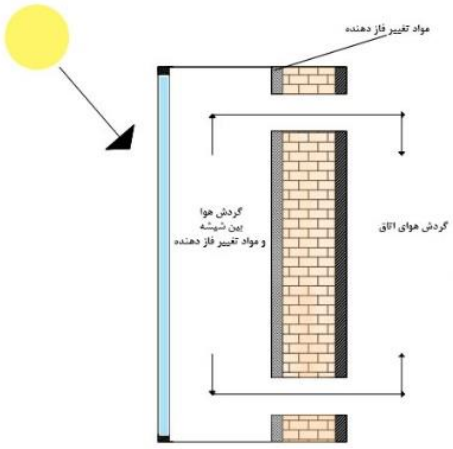


در شکل (۱۳) پلان طبقات ویلای دشت چهل در نرم‌افزار دیزاین، از نظر شرایط آسایش حرارتی تفکیک بندی شده است.

شکل ۱۳: پلان ویلای دشت چهل در نرم‌افزار دیزاین بیلدر



در شکل (۱۴) دیوار ترومب دارای مواد تغییر فازدهنده در نمای جنوبی ساختمان و فرایند گردش هوا بین فضای داخل و خارج نشان داده شده‌است.



شکل ۱۴: طرح شماتیک دیوار ترومب

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-06-25]

[DOI: 10.82377/jeed.2025.1.485]

۶- تحلیل داده‌ها

جدول (۶) داده‌های اقلیمی چهارگانه هر شهر را که براساس جدیدترین داده‌های هواشناسی استخراج و در نرم‌افزار دیزاین بیلدر بارگذاری شده است را نشان می‌دهد.

جدول ۶: داده‌های اقلیمی

شهر	دمای حباب خشک برحسب سانتی‌گراد	دمای نقطه شبنم برحسب سانتی‌گراد	جهت باد	سرعت باد m/s	فشار اتمسفر pa	تابش مستقیم خورشید kWh
بندرعباس	۲۷	۱۹	۱۱۵	۳	۱۰۰۰۰۰	۱۰۰۰
اصفهان	۱۶	-۱	۱۰۰	۲	۸۴۰۰۰	۱۱۰۰
رشت	۱۶	۱۲	۲۱۲	۱	۱۰۰۰۰۰	۱۰۹۰
تبریز	۱۲	۱	۹۹	۳	۸۰۰۰۰	۸۰۰

ساختمان با در نظرگرفتن طرح پلان مذکور و رعایت نمونه اولیه مواد تغییر فازدهنده در جداره‌ها و تنظیم شرایط محیطی متناسب با داده‌های اقلیم چهارگانه ایران به صورت جداگانه شبیه‌سازی شد.

مطابق با جدول (۷) میزان پرت حرارتی برای شهر اصفهان با اقلیم گرم و خشک و شهر تبریز با اقلیم سرد که با توجه به شرایط تنظیم حرارتی نیاز به عایق‌بندی حرارتی جداره‌ها بیش‌تر دیده می‌شود kw ۷ است در حالی‌که در بندر عباس با اقلیم گرم و مرطوب و رشت با اقلیم معتدل و مرطوب که نیاز به تهویه طبیعی و باز بودن جداره‌ها دیده می‌شود و اختلاف دما بین شب و روز کم است این میزان به kw ۱ کاهش پیدا می‌کند.

جدول ۷: میزان پرت حرارتی در جداره‌های مختلف بر حسب kwh

	شیشه‌ها	دیوارها	کف	سقف	نفوذ هوا
بندرعباس	-۱	۰/۴	۰/۱	۰/۵	۰/۸
اصفهان	-۳	-۱	-۰/۳	-۱	-۲
رشت	-۱	۰/۳	۰/۱	۰/۴	۰/۷
تبریز	-۳	-۱	-۰/۳	-۱	-۲

۷- میزان مصرف انرژی ساختمان

مطابق با جدول (۸) میزان مصرف انرژی ساختمان بر حسب kw/m^2 بر اساس چهار اقلیم و سیستم تهویه مطبوع متناسب با اقلیم هر منطقه در سه حالت بدون دیوار ترومب، با دیوار ترومب و بدون مواد تغییر فازدهنده و در سومین حالت با دیوار ترومب و در نظر گرفتن مواد تغییر فازدهنده متناسب با دمای آسایش اقلیم هر منطقه مورد بررسی قرار گرفته است.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-06-25]

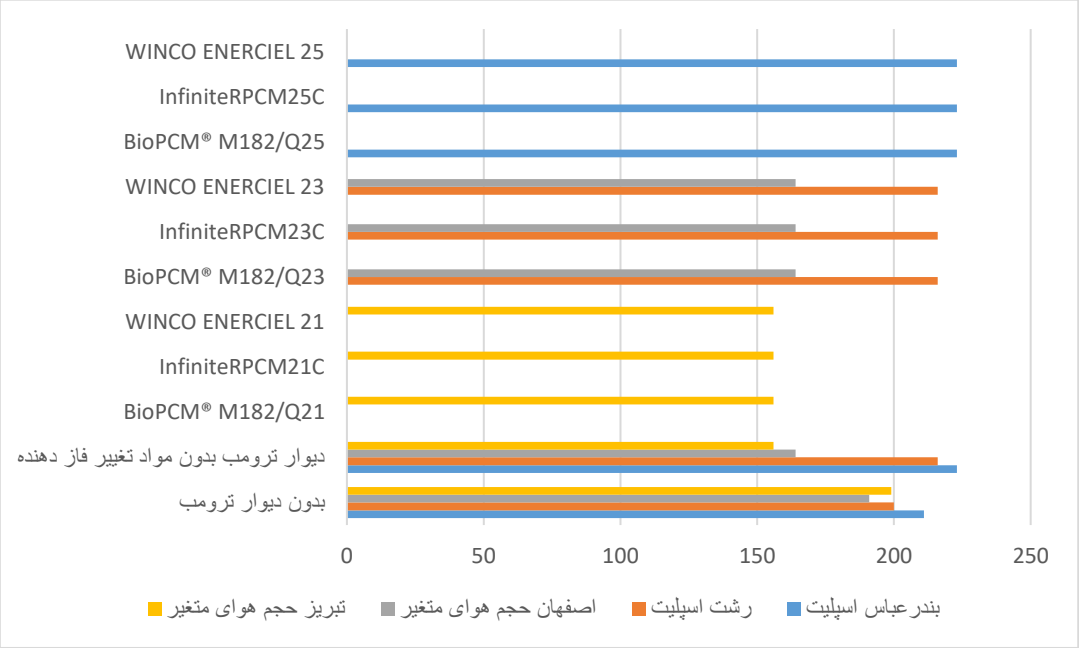
[DOI: 10.82377/jeed.2025.1.485]

جدول ۸: میزان مصرف انرژی ساختمان بر حسب kw/m^2

شهر	بندرعباس	رشت	اصفهان	تبریز
سیستم تهویه مطبوع	اسپلیت	اسپلیت	حجم هوای متغیر	حجم هوای متغیر
بدون دیوار ترومب	۲۱۱	۲۰۰	۱۹۱	۱۹۹
دیوار ترومب بدون مواد تغییر فاز دهنده	۲۲۳	۲۱۶	۱۶۴	۱۵۶
BioPCM® M182/Q21				۱۵۶
InfiniteRPCM21C				۱۵۶
WINCO ENERCIEL 21				۱۵۶
BioPCM® M182/Q23		۲۱۶	۱۶۴	
InfiniteRPCM23C		۲۱۶	۱۶۴	
WINCO ENERCIEL 23		۲۱۶	۱۶۴	
BioPCM® M182/Q25	۲۲۳			
InfiniteRPCM25C	۲۲۳			
WINCO ENERCIEL 25	۲۲۳			

مطابق با شکل (۱۵) میزان مصرف انرژی ساختمان در حالتی که دیوار ترومب بدون مواد تغییر فازدهنده می‌باشد در شهر تبریز از سایر شهرها بیش‌تر و در حالتی که دیوار ترومب دارای مواد تغییر فازدهنده می‌شود در سه نوع مواد تغییر فازدهنده شهر تبریز کم‌ترین میزان مصرف انرژی از شهرهای رشت و بندرعباس، اصفهان دارا می‌باشد.

شکل ۱۵: نمودار میزان مصرف انرژی ساختمان بر حسب kw/m^2



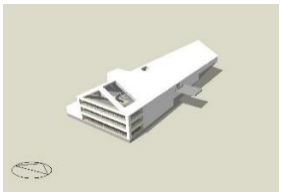
[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-06-25]

[DOI: 10.82377/jeed.2025.1.485]

۷-۱- ارزیابی میزان مصرف انرژی ساختمان در نرم‌افزار ریویت

برای ارزیابی دقیق‌تر مصرف انرژی ساختمان دارای سیستم حجم هوای متغیر در شهر تبریز، که بر اساس تحلیل نرم‌افزار دیزاین بیلدر کم‌ترین میزان مصرف انرژی را داشت، ساختمان نمونه مجدداً مورد شبیه‌سازی در نرم‌افزار ریویت قرار گرفت. نرم‌افزار ریویت، ابزارهایی پیشرفته برای مدل‌سازی و تحلیل انرژی ساختمان از طریق پلاگین اینسایت ۳۶۰[1] فراهم می‌کند. بر اساس نتایج ارائه شده در جدول شماره (۹) مشخص شد که میزان انرژی مصرفی محاسبه شده در نرم‌افزار ریویت با نتایج حاصل از نرم‌افزار دیزاین بیلدر تقریبا تطابق دارد و استفاده از دیوار ترومب در اقلیم سرد می‌تواند تأثیر مطلوبی بر میزان مصرف انرژی ساختمان داشته باشد.

جدول ۹: مقایسه میزان مصرف انرژی ساختمان بر حسب kw/m^2

شهر تبریز	نرم‌افزار دیزاین بیلدر	نرم‌افزار ریویت
تصویر مدلسازی		
سیستم تهویه مطبوع	حجم هوای متغیر	حجم هوای متغیر
بدون دیوار ترومب	۱۹۹	۲۰۰
دیوار ترومب بدون مواد تغییر فاز دهنده	۱۵۶	۱۵۰

۸- میزان مصرف انرژی ساختمان در جهت‌های مختلف

مطابق با جدول (۱۰) با در نظر گرفتن دیوار ترومب دارای مواد تغییر فازدهنده در شهر تبریز و جهت‌های مختلف ساختمان شبیه‌سازی شد. نتایج نشان می‌دهد که میزان مصرف انرژی از زاویه ۰ درجه رو به کاهش و از زاویه ۱۲۰ درجه تا ۲۴۰ درجه رو به افزایش می‌باشد و کم‌ترین میزان مصرف انرژی در زاویه ۹۰ درجه و بیش‌ترین میزان در زاویه ۲۱۰ درجه اتفاق می‌افتد.

جدول ۱۰: میزان مصرف انرژی ساختمان در جهت‌گیری‌های مختلف بر حسب kw/m^2

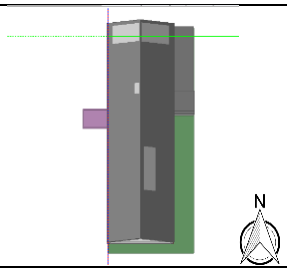
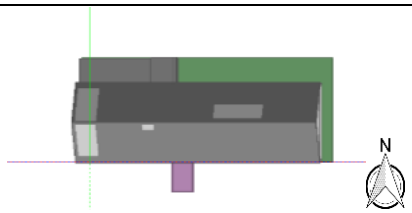
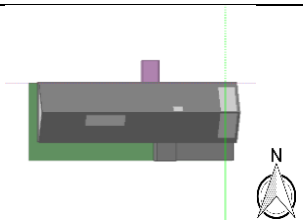
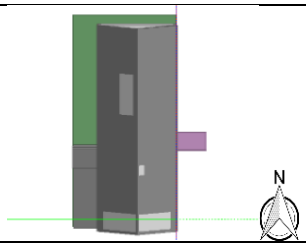
زاویه	۰	۳۰	۶۰	۹۰	۱۲۰	۱۵۰	۱۸۰	۲۱۰	۲۴۰	۲۷۰	۳۰۰	۳۳۰
انرژی ساختمان	۱۵۵	۱۵۴	۱۵۳	۱۵۲	۱۵۴	۱۵۶	۱۵۷	۱۵۸	۱۵۸	۱۵۵	۱۵۶	۱۵۶

[1] Insight 360

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-06-25]

[DOI: 10.82377/jeed.2025.1.485]

جدول ۱۱: موقعیت قرارگیری ساختمان در زاویه‌های اصلی

ساختمان در زاویه صفر درجه	ساختمان در زاویه ۹۰°
	
ساختمان در زاویه ۱۸۰°	**ساختمان در زاویه ۲۷۰°**
	

۹- میزان مصرف انرژی ساختمان با سیستم تهویه مطبوع متناسب با اقلیم

با توجه به جدول (۱۲) میزان مصرف انرژی سیستم تهویه مطبوع بر حسب kwh براساس چهار اقلیم اصلی در سه حالت بدون دیوار ترومب، دیوار ترومب بدون مواد تغییر فاز دهنده و دیوار ترومب دارای مواد تغییر فاز دهنده متناسب با دمای آسایش اقلیم هر منطقه مورد بررسی قرار گرفت نتایج نشان می‌دهند که در شهر رشت، اصفهان و تبریز کم‌ترین و در شهر بندرعباس بیش‌ترین میزان مصرف انرژی تهویه مطبوع با در نظر گرفتن دیوار ترومب مواد تغییر فازدهنده وجود دارد.

جدول ۱۲: میزان مصرف انرژی سیستم تهویه مطبوع بر حسب kwh

شهر	بندرعباس	رشت	اصفهان	تبریز
بدون دیوار ترومب	-۶۹۸۲۷	-۴۴۱۲۷	-۳۶۸۱۸	-۲۴۹۵۴
دیوار ترومب بدون مواد تغییر فاز دهنده	-۷۰۸۳۶	-۵۲۰۲۷	-۳۳۶۶۷	-۲۹۷۲۴
BioPCM® M182/Q21				-۲۹۵۶۲
InfiniteRPCM21C				-۲۹۵۹۸
WINCO ENERCIEL 21				-۲۹۷۱۴
BioPCM® M182/Q23		-۵۱۸۰۷	-۳۳۵۵۴	
InfiniteRPCM23C		-۵۱۸۹۴	-۳۳۵۸۲	
WINCO ENERCIEL 23		-۵۱۹۷۲	-۳۳۶۶۱	
BioPCM® M182/Q25	-۷۰۴۵۸			
InfiniteRPCM25C	-۷۰۶۳۷			
WINCO ENERCIEL 25	-۷۰۷۷۲			

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-06-25]

[DOI: 10.82377/jeed.2025.1.485]

۱۰- بررسی میزان هزینه مواد تغییر فازدهنده در دیوار ترومب

جدول (۱۳) میزان هزینه نمونه‌های مواد تغییر فازدهنده برحسب تومان در مساحت دیوار ترومب با استفاده از کاتالوگ شرکت سازنده به‌دست آمده است. نتایج نشان می‌دهد کم‌ترین میزان هزینه زمانی اتفاق می‌افتد که در شهرهای رشت، اصفهان و تبریز از مواد تغییر فاز دهنده InfiniteRPCM و در شهر بندرعباس از مواد تغییر فازدهنده Bio PCM استفاده شود.

جدول ۱۳: مقایسه هزینه کل دیوار ساختمان بر حسب تومان

شهر	بندرعباس	رشت	اصفهان	تبریز
BioPCM® M182/Q21				۹۱۷۳۵۰
InfiniteRPCM21C				۷۳۳۸۸۰
WINCO ENERCIEL 21				۱۲۸۴۲۹۱
BioPCM® M182/Q23		۱۲۸۴۲۹۱	۱۲۸۴۲۹۱	
InfiniteRPCM23C		۷۳۳۸۸۰	۷۳۳۸۸۰	
WINCO ENERCIEL 23		۱۲۸۴۲۹۱	۱۲۸۴۲۹۱	
BioPCM® M182/Q25	۷۳۳۸۸۰			
InfiniteRPCM25C	۹۱۷۳۵۰			
WINCO ENERCIEL 25	۱۲۸۴۲۹۰			

در جدول (۱۴) میزان هزینه کل دیوار ساختمان با استفاده از نرم‌افزار دیزاین بیلدر و کاتالوگ مواد تغییر فازدهنده در دو حالت با مواد تغییر فازدهنده و بدون این مواد محاسبه شده است.

جدول ۱۴: میزان هزینه مواد تغییر فاز دهنده در دیوار ترومب بر حسب تومان

شهر	دیوار ترومب بدون مواد تغییر فازدهنده	دیوار ترومب با مواد تغییر فازدهنده	اختلاف هزینه
بندرعباس	۲۸۴۰۸۳۳۲۶	۲۸۴۲۲۶۵۳۶	۱۴۳۲۱۰
رشت	۲۸۴۰۸۳۳۲۶	۲۸۴۲۲۶۵۳۶	۱۴۳۲۱۰
اصفهان	۲۸۴۰۸۳۳۲۶	۲۸۴۲۲۶۵۳۶	۱۴۳۲۱۰
تبریز	۲۸۴۰۸۳۳۲۶	۲۸۴۲۲۶۵۳۶	۱۴۳۲۱۰

۱۱- نتایج اقتصادی

در جدول (۱۵) میزان هزینه مصرفی انرژی ساختمان به‌صورت سالیانه با در نظر گرفتن دو حالت در ساختمان (دیوار ترومب حاوی مواد تغییر فازدهنده WINCO ENERCIEL 21 و دیوار ترومب بدون مواد تغییر فازدهنده) با استفاده از نرم‌افزار دیزاین بیلدر در اقلیم سرد به‌دست آمده است. نتایج نشان می‌دهد که علاوه بر بازگشت سرمایه, در طول یکسال ۳۴۵۴۹۰۹ تومان نیز سود دهی دارد.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-06-25]

[DOI: 10.82377/jeed.2025.1.485]

جدول ۱۵: میزان هزینه انرژی ساختمان بر حسب تومان

هزینه انرژی مصرفی ساختمان (دیوار ترومب بدون مواد تغییر فاز دهنده)	هزینه انرژی مصرفی ساختمان (دیوار ترومب حاوی مواد تغییر فاز دهنده)	اختلاف هزینه
۲۲۵۹۵۸۲۰	۱۷۷۱۳۴۱۰	۴۸۸۲۴۱۰

۱۲- نتیجه‌گیری

کاهش منابع انرژی منجر به افزایش درخواست استفاده از انرژی تجدیدپذیر به‌عنوان یک جایگزین مناسب برای سوخت‌های فسیلی شده است. برای مقابله با این مشکل، گنجاندن روش‌های جدید و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در مدیریت سیستم‌های انرژی ساختمان پیشنهاد می‌شود که در سال‌های اخیر توجه بسیاری را به خود جلب کرده است و بسیاری از محققان در چند سال گذشته تحقیقات خود را بر روی آن متمرکز کرده‌اند.

در این مقاله، به‌منظور کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها دیوار ترومب دارای مواد تغییر فازدهنده برای اقلیم‌های مختلف ایران پیشنهاد شد که در جزئیات آن سه نمونه ماده تغییر فازدهنده در دیوار ترومب ویلای دشت چهل با استفاده از نرم‌افزار دیزاین بیلدر در نظر گرفته شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که میزان مصرف انرژی ساختمان در اقلیم سرد با نیاز غالب گرمایش و مصرف انرژی زیاد ۴۳ کیلووات بر مترمربع و در اقلیم گرم و خشک با نیاز غالب گرمایش و مصرف انرژی متوسط ۲۷ کیلووات بر مترمربع کاهش داشته در حالی‌که این میزان در اقلیم گرم و مرطوب با نیاز غالب سرمایش و مصرف انرژی زیاد ۱۲ کیلووات بر مترمربع و در اقلیم معتدل و مرطوب با نیاز غالب گرمایش و مصرف انرژی کم ۱۶ کیلووات بر مترمربع افزایش داشته است. هم‌چنین، بررسی مجدد میزان مصرف انرژی ساختمان با استفاده از نرم‌افزار ریویت در اقلیم سرد دقت و صحت نتایج شبیه‌سازی را تأیید می‌کند. در این میان جهت قرارگیری ساختمان در اقلیم سرد که دارای کم‌ترین میزان مصرف انرژی ساختمان است نیز مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج نشان داد که قرار دادن ساختمان در زاویه ۹۰° منجر به کاهش ۴ کیلووات بر مترمربع انرژی می‌شود. افزون بر این، هزینه انرژی مصرفی ساختمان در اقلیم سرد به‌گونه‌ای برآورد شده که نه‌تنها سرمایه اولیه در طول یک سال باز می‌گردد، بلکه سودی معادل ۳,۴۵۴,۹۰۹ تومان نیز فراهم می‌کند. بنابراین می‌توان نتایج زیر را بدست آورد:

- بیش‌ترین میزان مصرف انرژی در اقلیم گرم و مرطوب با نیاز غالب سرمایش و کم‌ترین میزان در اقلیم سرد با نیاز غالب گرمایش اتفاق می‌افتد.
- استفاده از مدل‌های مختلف مواد تغییر فازدهنده در دیوار ترومب تأثیر یکسانی بر میزان مصرف انرژی ساختمان دارد.
- دیوار ترومب کلاسیک در اقلیم‌های گرم و مرطوب و معتدل تاثیر کم‌تری نسبت به سایر اشکال استفاده از دیوار ترومب و کاهش مصرف انرژی دارد.
- استفاده از سیستم تهویه مطبوع متناسب با شرایط اقلیمی، موجب کاهش مصرف انرژی و رسیدن به شرایط مطلوب واقعی می‌گردد.
- اجرای دیوار ترومب حاوی مواد تغییر فازدهنده در اقلیم سرد مقرون‌به‌صرفه است.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-06-25]

[DOI: 10.82377/jeed.2025.1.485]

مراجع

[1] F. Abbassi., N, Dimassi., L, Dehmani, Energetic study of a Trombe wall system under different Tunisian building configurations, Energy and buildings, 80 (2014) 302-308.

[2] YW, Liu., W, Feng, Integrating passive cooling and solar techniques into the existing building in South China, Advanced Materials Research, 20 (2012) 368-371.

[3] XQ, Zhai., ZP, Song., RZ, Wang, A review for the applications of solar chimneys in buildings, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15 (2011) 3757-3767.

[4] D, Fiaschi., A, Bertolli., Design and exergy analysis of solar roofs: A viable solution with esthetic appeal to collect solar heat, Renewable Energy, 46(2012) 60-71.

[5] ES, Morse, Warming and ventilating apartments by Sun's rays, Renewable and Sustainable United States patent US, (1881) 246-626.

[6] Z, Hu., W, He., J, Ji., S, Zhang, A review on the application of Trombe wall system in buildings, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 70 (2017) 976-987.

[7] O, Saadatian., K, Sopian., CH, Lim., N, Asim., MY, Sulaiman, Trombe walls: A review of opportunities and challenges in research and development, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16 (2012) 6340-6351.

[8] A, Briga-Sá., A, Martins., J, Boaventura-Cunha., JC, Lanzinha., A, Paiva, Energy performance of Trombe walls: Adaptation of ISO, Energy and Buildings, 74 (2014) 111-119.

[9] P, Bevilacqua., R, Bruno., J, Szyszka., D, Cirone., A, Rollo, Summer and winter performance of an innovative concept of Trombe wall for residential buildings, Energy, 258 (2022)1247-1298.

[10] K, Saadatian., K, Sopian., Y, Jiang, a review of the current work potential of a trombe wall, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 130(2020) 1099-1047.

[11] X. Jin., M. Medina., X. Zhang, On the importance of the location of PCMs in building walls for enhanced thermal performance, Energy, 106(2013) 72–78.

[12] A.A.M. Omara., A.A.A. Abuelnuor, Trombe walls with phase change materials: A review, Energy Storage, 2 (2022).

[13] J. Llovera., X. Potau., M. Medrano., L.F. Cabeza, Design and performance of energy efficient solar residential house in Andorra, Applied Energy, 88(2011) 1343–1353.

[14] A. Noushin, M. Behrouz, F. Rima, thermal improvement of the walls of existing buildings in the cold climate of Iran using the properties of Trombe walls. 2016.

[15] B.K. Koyunbaba., Z. Yilmaz., K. Ulgen, an approach for energy modeling of a building integrated photovoltaic (BIPV) Trombe wall system, Energy and Buildings, 12(2013) 680–688.

[16] H.-Y. Chan., S.B. Riffat., J. Zhu, Review of passive solar heating and cooling technologies, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14 (2010)781–789.

[17] G. Quesada., D. Rousse., Y. Dutil., M. Badache and S. Hallé, A comprehensive review of solar facades, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16(2012) 2820–2832.

[18] V.V. Tyagi., D. Buddhi, PCM thermal storage in buildings: a state of art, Renewable and sustainable energy reviews, 11(2007) 1146-1166.

[19] D. Wang., L. Hu., H.u. Du., Y. Liu., J. Huang., Y. Xu., J. Liu, modeling methods and evaluation metrics of Trombe walls, Renewable and Sustainable Energy Reviews 124(2020).

[20] A. Mohamad., J. Taler., P. Ocłon, Trombe Wall Utilization for Cold and Hot Climate Conditions, Energies, 12 (2019) 285.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-06-25]

[DOI: 10.82377/jeed.2025.1.485]

[21] A. Beck., T. Hoffmann., W. Körner., J. & Fricke, Thermochromic gels for control of insolation, Solar energy, 50(51993 407-414.

[22] N. Islam., K. Irshad., M.H. Zahir., S. Islam, Numerical and experimental study on the performance of a Photovoltaic Trombe wall system with Venetian blinds, Energy,218 (2021).

[23] N. Lechner, Heating, cooling, lighting: Sustainable design methods for architects, John wiley & sons, 2014.

[24] A. Omara., A. Abuelnuor, Trombe walls with phase change materials: A review, Energy Storage, 2(2020) e123.

[25] K, Rostampour., H, Hekmat., M, Zabihi, The Role of Phase Change Materials in Improvement and Revitalization of Wind Tower Function; Case study: Warm & Humid Climate. Naqshejahan-Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning, 10(2020).

[26] Building green. BioPCM. http://www.buildinggreen.com.

[27] Environmental Technology Solutions. Infinite-R™ Phase Change Material. http://www.etsprojects.com.au.

[28] Winco-Tech. Winco Technolgies Enerciel. http://www.winco-tech.com.

[29] Kasmai, M. Ahmadinejad, M. Architectura Climate. Khak Publishing House, second edition, 2003

[30] Office of National Building Regulations. Subject 19 of National Building Regulations (Energy Saving). 2019.

[31] Dr. Zahra, Qiyabaklou, Thermal Comfort Range Estimation Methods, Fine arts 10. 2002.

[32] A. Fathaliyan., K. Sharif Abad, Investigation of the effect of different energy optimization strategies in building energy classification using Design Builder software (case study: office building). Environmental Science and Technology Quarterly, 2019.

[33] Aghaei, M. Dasht Chihl Villa. http://www.caoi.ir/fa/projects/item, 2020.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-06-25]

[DOI: 10.82377/jeed.2025.1.485]

Investigating the effect of thrombus wall containing phase change materials on the reduction of energy consumption (Case study: a model building in different climatic conditions)

Samaneh Eslamian Koupaei [1], Javad Divandari [2*], Mohammad Nazififard [3]

[1] Master's student of Architecture and Energy, Energy Research Institute, University of Kashan, Tehran, Iran
[2] Faculty member, Faculty of Architecture and Art, University of Kashan, Kashan, Iran
[3] Faculty member, Faculty of Mechanical Engineering, University of Kashan, Kashan, Iran

Received: Winter 2025 Accept: Spring 2025

Abstract

During the last few decades, the use of renewable energy such as solar energy is proposed as a solution to meet the growing needs for new energy sources and respond to the needs of dealing with environmental pollution in the building sector. Among these, one of the methods for providing heating of the building and using thermal storage techniques is Trombe wall. In this article, a Trombe wall containing phase change materials was modeled using Design Builder software and the effect of building orientation on the amount of energy consumption in an existing building, in four different climates according to three samples of phase change materials available in Iranian markets and also It has been evaluated according to the comfort temperature of the climate. The simulation results show that the effect of phase change materials is the same in all three tested samples, but in the examination of the amount of energy consumption, the highest amount is 223 kilowatts per hour in hot and humid climates and the lowest amount is 152 kilowatts per hour in cold climates and at an angle of 90°. According to the prices of energy carriers, the cost of building energy consumption in cold climates is such that it allows the return of investment for phase change materials in the Trombe wall during one year, and it can be concluded that the implementation of the Trombe wall containing phase change materials of any of the examples in The Iranian market is affordable in the cold climate.

Key words: Trombe Wall, Phase Change Materials, Energy Consumption Reduction, Simulation, Design Builder.
*corresponding author: j.divandari@kashanu.ac.ir

Cite this article as: Samaneh Eslamian Koupaei, Javad Divandari, Mohammad Nazififard, Investigating the effect of thrombus wall containing phase change materials on the reduction of energy consumption (Case study: a model building in different climatic condition. **Journal of Energy Conversion, 2025, 12(1), 23-42**.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-06-25]

[DOI: 10.82377/jeed.2025.1.485]