نشریه علمی-تخصصی تبدیل انرژی (JEED)
دوره ۱۰، شماره ۳، پائیز۱۴۰۲، ص: ۵۷- ۷۸

J. Energy Conversion
Volume: 10, Issue: 3, 2023: 57−78

بهینه‌سازی چند هدفه در ساختمان مسکونی مجهز به ماده تغییر فاز دهنده، سقف سبز، نمای سه پوسته، پنجره سه جداره و فتوولتاییک در شرایط آب و هوایی مختلف ایران

سبحان ایزدپناه[۱]، فریور فاضل‌پور[۲،*]، محمد افتخاری یزدی[۳]

۱-گروه مکانیک، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
*۲ -گروه مهندسی سیستم انرژی، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران f_fazelpour@azad.ac.ir
۳- گروه مکانیک، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۲۲، بازنگری: ۱۴۰۲/۹/۰۲، پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۱۰

چکیده

امروزه روش‌های فعال و غیرفعال گوناگونی با هدف کاهش مصرف انرژی و در نتیجه کاهش آلودگی هوا در ساختمان معرفی و مورد استفاده قرار می‌گیرند، اجرای سقف سبز در ساختمان و استفاده توامان از پنل‌های فتوولتاییک و مواد تغییر فازدهنده به همراه این سقف و پنجره و نمای سه جداره، عامل کاهش مصرف انرژی تا بیش از ۷۰٪ می‌باشد، البته انتخاب نوع و نحوه‌ی به‌کارگیری مواد تغییر فازدهنده تابع شرایط آب و هوایی می‌باشد، لذا در این پژوهش برای نخستین مرتبه در ساختمان مجهز به فناوری‌های مذکور، بهینه‌سازی با کمک الگوریتم ژنتیک و با هدف کاهش توامان بار سرمایشی و گرمایشی مورد نیاز ساختمان، انجام گرفته و برای سه تنوع آب هوایی مستقر در ایران تکرار شده است. در نتیجه‌ی این اقدام بیشترین میزان صرفه‌جویی انرژی ۷۳/۷٪ حاصل شده است. کاهش بار سرمایشی تا ۲۴٪ و کاهش بار گرمایشی تا ۹۲/۲٪ در آب و هوای گرم و خشک کویری رویت شده و از طرفی بر اساس نتایج بهینه‌سازی‌های انجام شده، کاهش تولید کربن‌دی اکسید نیز حداکثر ۶۰/۶ ٪ و در تهران رخ داده است.

* **عهده‌دار مکاتبات:** f_fazelpour@azad.ac.ir

کلمات کلیدی: بهینه سازی مصرف انرژی؛ سقف سبز؛ ماده تغییر فازدهنده؛ نمای سه جداره؛ فتوولتاییک.

۱-مقدمه

با توجه به ماهیت مواد تغییر فازدهنده و توانایی این مواد در جابه‌جایی ساعت اوج مصرف برق در ساختمان، تحقیقات بسیاری در این زمینه انجام شده است[۱]. برای نمونه استفاده از این مواد در نماهای دوجداره تهویه شونده مشخص کرد [۲-۵] با استفاده از این مواد به طور کامل عملکرد حرارتی ساختمان بهبود و در حالت دمای کنترل شده نیز عملکرد بهتری ارائه می‌شود. استفاده از مواد تغییر فاز دهنده در سقف ساختمان به منظور افزایش آسایش حرارتی ساکنین و کاهش بار سرمایشی مورد نیاز از جمله موضوعاتی است که مورد توجه محققین بوده است [۶،۷]. برای مثال با استفاده از این مواد در لایه‌ی درونی بام تا ۵۷ ٪ بار حرارتی کم‌تری از بام معمولی تجربه خواهد شد[۸-۱۰]. با اضافه کردن ماده تغییر فازدهنده به شیشه دوجداره[۱۱]، اثر جابه‌جایی پیک بار سرمایشی و خواص عایق

نحوه استناد به این مقاله: سبحان ایزدپناه، فریور فاضل‌پور و محمد افتخاری یزدی. بهینه‌سازی چند هدفه در ساختمان مسکونی مجهز به ماده تغییر فاز دهنده، سقف سبز، نمای سه پوسته، پنجره سه جداره و فتوولتاییک در شرایط آب و هوایی مختلف ایران. مهندسی مکانیک تبدیل انرژی. ۱۴۰۲; ۱۰ (۳) :۵۷-۷۸.

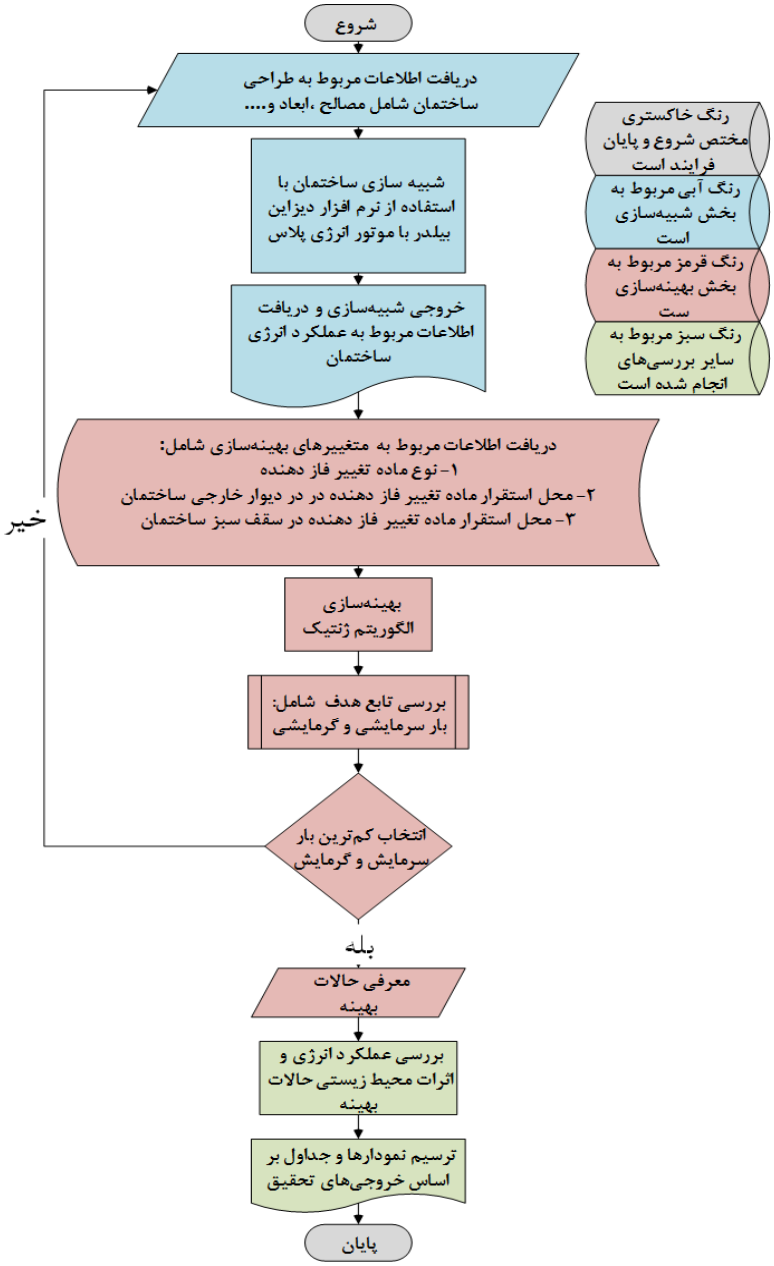
[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

حرارتی سیستم، افزایشی است و حرارت ورودی به ساختمان کاهش می‌یابد و به خصوص در تابستان اثر قابل توجهی در کاهش مصرف انرژی در ساختمان دارد [۱۲،۱۳]. ترکیب‌های فعال و غیرفعال استفاده از مواد تغییر فازدهنده در ساختمان، عملکرد حرارتی آن، شامل آسایش حرارتی در داخل ساختمان و راندمان انرژی را افزایش می‌دهند[۱۴،۱۵]. همچنین بازسازی ساختمان با استفاده از مواد تغییر فاز دهنده می‌تواند خطرات ناشی از تنش حرارتی داخلی ساختمان را به طور موثر کاهش دهد[۱۶-۱۸]. تحقیقات بسیاری بر روی استفاده از ترکیبات جدید مواد تغییر فازدهنده در ساختمان تمرکز داشته‌اند، ترکیب پارافین و برلیت بسط داده شده[۱۵] و نمک کربنات سه‌گانه به عنوان یک ماده تغییر فاز دهنده [۱۹-۲۲] ، ماکروکپسول‌های مواد تغییر فازدهنده[۲۳] و .... برخی از این ترکیبات می‌باشند. از طرفی استفاده از ماده تغییر فاز دهنده دو لایه [۲۴] نیز مصرف انرژی حرارتی را در مناطق خشک تا ۱۷/۵٪ و در مناطق مرطوب تا ۱۰/۴٪ کاهش می‌دهد. از انواع دیگر کاربرد مواد تغییر فازدهنده در ساختمان استفاده از آن‌ها در مصالح ساختمانی نظیر بتن[۲۵،۲۶] و یا به صورت کامپوزیت سیمانی می‌توان نام برد[۲۷]. سقف‌های سبز یک راه‌حل مناسب برای افزایش حفظ آب باران و بهبود عملکرد انرژی ساختمان‌ها می‌باشند. با در نظر گرفتن ساختار ساختمان‌های موجود، مزیت‌های اصلی سقف سبز صرفه‌جویی انرژی و منافع زیست‌محیطی آن‌هاست[۱۴،۲۸-۳۱]. به طوری که استفاده از این نوع بام، مصرف انرژی سرمایشی را به میزان ۳۱ تا ۳۵٪ کاهش و مصرف انرژی گرمایشی را ۲ تا ۱۰٪ کاهش می‌دهد [۳۲]. اما تاثیر حرارتی استفاده از سقف سبز در صرفه‌جویی مصرف انرژی در ساختمانی با عایق‌کاری (با کیفیت و شدت بالا) در شرایط آب و هوایی مادون قطبی پایین است[۳۳]. با این وجود می‌توان چالش‌های استفاده از بام سبز را از طریق طراحی مقرون‌به‌صرفه جدید و اتخاذ مناسب‌ترین مواد، که می‌توانند در یک دوره طولانی‌تر به طور موثرتری عمل کنند، برطرف نمود[۳۴،۳۵]. نمای شیشه‌ای و شفاف، نمای مورد علاقه بسیاری از معماران در سرتاسر دنیا است، اما استفاده از این نماها عامل افزایش مصرف انرژی می‌شود، لذا محققان در تلاش‌اند با ارائه طرح‌های مبتکرانه مصرف انرژی در ساختمان‌ها با نمای شفاف را کاهش دهند[۳۶-۳۸]. افزایش دما در سیستم‌های فتوولتائیک، راندمان تولید الکتریسیته را کاهش می‌دهد که می‌تواند با گذشت زمان، عامل افت دائمی تولید باشد [۳۹،۴۰]. در سال‌های اخیر، سیستم فتوولتائیک در ساختمان‌ها به مراتب مورد استفاده بیشتری قرار گرفته است. از طرفی در پژوهش‌های سالیان اخیر، استفاده از این سیستم‌ها در نمای خارجی ساختمان با دو کاربری تولید الکتریسیته و استفاده به عنوان سایه‌بان نیز مطرح شده است [۴۱-۴۳]. سلول‌های فتوولتاییک نیمه شفاف[1] را می‌توان بر روی نمای دو پوسته[۴۴] اعمال نمود تا از این طریق تلفیقی از روش پسیو و اکتیو به وجود آید. میزان کل صرفه‌جویی سالانه انرژی با استفاده هم‌زمان از نمای دو پوسته و سیستم فتوولتاییک تا ۱۰۶٪ نیز افزایش یافته است[۴۵،۴۶]. در تحقیقات بسیاری که در زمینه کاهش مصرف انرژی ساختمان با استفاده توامان از ترکیب روش‌های پسیو و اکتیو [۴۷] صورت گرفته تا به حال ترکیب استفاده از سقف سبز، ماده تغییر فازدهنده، نمای سه جداره و پنجره سه جداره مورد بررسی قرار نگرفته است، این تیم تحقیقاتی برای نخستین بار این ترکیب را مورد ارزیابی قرار داده است[۴۸]، هدف در تحقیق پیش رو بهینه‌سازی دو هدفه ساختمانی مسکونی با شرایط پیشنهادی بوده است، طبق بررسی انجام شده این بهینه‌سازی تاکنون مورد ارزیابی قرار نگرفته، نتایج بررسی تحقیقاتی پیشین که به بهینه‌سازی حالات استفاده از فناوری‌های پسیو و اکتیو در ساختمان پرداخته‌اند در پیوست ۱ ارائه شده است. هدف بهینه‌سازی کاهش بار سرمایشی و گرمایشی مورد نیاز ساختمان و انتخاب بهترین گزینه در بین راه‌حل‌های پیشنهادی از منظر صرفه‌جویی انرژی و

1 STPV

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

کاهش اثرات محیط زیستی است. لذا برخی از نوآوری‌های تحقیق پیش رو عبارتند از: ۱- بهینه‌سازی ساختمانی مسکونی با ترکیب پیشنهادی جدید، با هدف کاهش بار سرمایشی و گرمایش ۲- انتخاب حالت بهینه محل استقرار ماده تغییر فازدهنده در دیوار و سقف ۳- انتخاب ماده تغییر فازدهنده مناسب برای حالت بهینه ۴- تصمیم‌گیری در خصوص استفاده یا عدم استفاده از ماده تغییر فازدهنده در دیوار و سقف ساختمان مذکور



شکل۱: فلوچارت روش بهینه‌سازی مورد استفاده در تحقیق

۲-طرح مسئله

بررسی توامان استفاده از طرح‌های پسیو نظیر سقف سبز، ماده تغییر فازدهنده، پنجره سه جداره و نمای و سه پوسته برای نخستین مرتبه توسط همین تیم تحقیقاتی انجام شده است[۴۸]. لذا در این پژوهش و ادامه بررسی و تکمیل تحقیقات صورت گرفته، بهینه‌سازی چند هدفه با استفاده از الگوریتم ژنتیک به منظور انتخاب حالت بهینه انجام

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

شده است که ضمن بررسی مقالات، مشخص گردید این بهینه‌سازی تاکنون انجام نشده است، لذا جهت انجام این پژوهش، بهینه‌سازی مطابق با فلوچارت مشخص شده در شکل ۱ و با کمک الگوریتم ژنتیک انجام شده است.

۲-۱- مشخصات ساختمان

در این پژوهش یک ساختمان ۴ طبقه مسکونی با مساحت بنای ۱۱۹۵ متر مربع انتخاب شده و مشخصه‌های ساختمان شامل ابعاد ساختمان و متریال ساختمان با توجه به مصالح مرسوم ساختمان در ایران انتخاب شده و جزییات ابعاد و مصالح منتخب دیوار، سقف و کف ساختمان در جدول ۱ ارائه شده است. ساختمان مورد نظر یک ساختمان مسکونی در ایران بوده که طراحی آن در نرم افزار دیزاین بیلدر انجام پذیرفته و طراحی دو بعدی و سه بعدی انجام شده به ترتیب در شکل‌های ۲ و ۳ قابل رویت است.

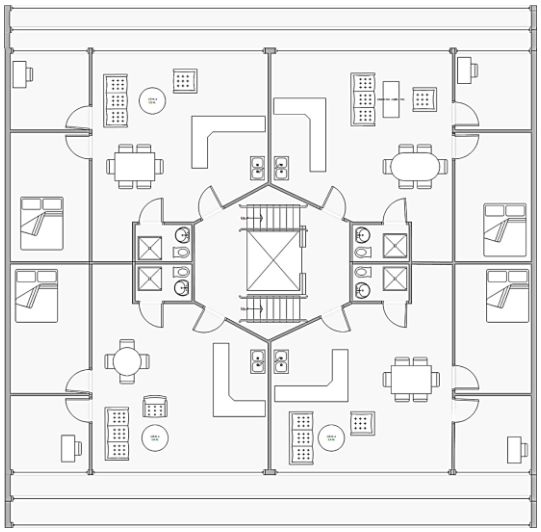
جدول۱: مشخصات مصالح به کار رفته در دیوار، بام و کف ساختمان

اجزای سازنده ساختمان	مصالح مورد استفاده	ضخامت (cm)	U (W/m^2-K)
دیوار خارجی ساختمان		۱۵/۵	۳/۱
	تراورتن	۲	۱۷۵/۴
	سیمان	۱	۱۱۴/۹
	آجر	۱۱	۹/۱
	گچ	۱	۵۰
	گچ سفیدکاری	۰/۵	۶۹/۹
بام عادی ساختمان		۳۱/۵	۰/۶
	گراول	۷	۵/۲
	قیر	۱	۱۷
	بتن سقف	۲۰	۰/۸
	سیمان	۲	۳۶
	گچ	۱/۵	۱۶/۷
کف ساختمان		۳۳/۳	۰/۲
	فوم فرمالدهید و اوره	۱۳/۳	۰/۳
	بتن ریخته‌گری	۱۰	۱۱/۳
	شمشه کف	۷	۵/۸
	کفپوش تخته‌ای	۳	۲۱۶۶۶/۷

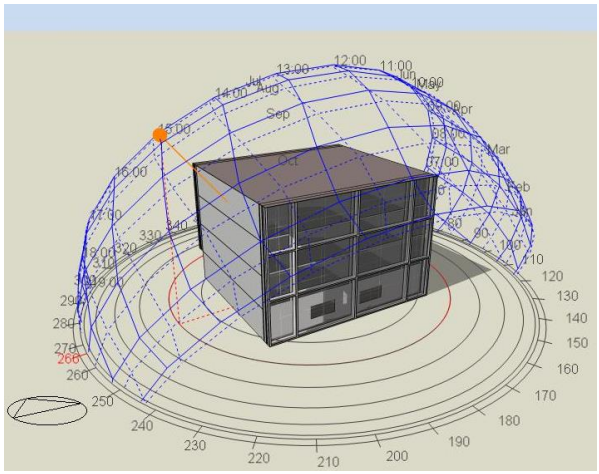
جدول ۲: اطلاعات سیستم فتوولتاییک منتخب

	Monocrystalline
Total solar transmission(SHGC)	۰/۷
Direct Solar /transmission	۰/۶
Light Transmission	۰/۷
U-Value (W/m2-K)	۱/۹

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]



شکل ۲: طرح دو بعدی طبقات ساختمان



شکل۳: طرح سه بعدی ساختمان مدنظر

جدول۳: مشخصات سقف سبز شبیه‌سازی شده[49]

مصالح مورد استفاده	ضخامت(cm)	U (W/m2-K)
سقف سبز	۵۸/۵	۰/۴
پوشش گیاهی	۲۰	۲
خاک	۱۰	۵/۲
کائوچوی طبیعی	۴	۳/۲
قیر خالص	۱	۱۷
ملات سیمانی	۲	۳۶
دال بتنی	۲۰	۰/۸
گچ	۱/۵	۲

در طراحی ساختمان، هدف بررسی سیستم‌هایی نظیر: فتوولتاییک، بام سبز و دیوار ارتقا یافته با ماده تغییر فازدهنده بوده است، در شبیه‌سازی انجام شده در این پژوهش سیستم فتوولتاییک منتخب که به صورت سیستم فتوولتاییک یکپارچه ساختمان در نظر گرفته شده است بر اساس مشخصات جدول ۲ طراحی شده است. بام سبز طراحی شده بر اساس داده‌های مورد استفاده در مرجع [49] بوده که اطلاعات آن به ترتیب در جداول ۳ و ۴ ارائه شده است. مساحت پنجره‌ها براساس نقشه یا اندازه‌گیری محلی تعیین می‌شود. در پژوهش پیش رو از پنجره‌های سه جداره با مشخصات جدول ۵ استفاده شده است.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

جدول۴: مشخصات حرارتی سقف سبز شبیه‌سازی شده[49]

LAI	۲/۷
Leaf reflectivity	۰/۲۲
Leaf emissivity	۰/۹۵
Minimum stomatal resistance (s/m)	۱۸۰
Max volumetric moisture content at saturation	۰/۵
Min residual volumetric moisture content	۰/۰۱
Initial volumetric moisture content	۰/۱۵

جدول۵: مشخصات پنجره سه جداره مورد استفاده

نوع پنجره	U-Value (W/m^2-K)	ضریب انتقال نور خورشید (SHGC)
Triple Clear 3mm/13mm ARGON gap	۱/۶۲۰	۰/۶۸۵
Single Clear 3mm	۵/۸۹۴	۰/۸۶۱

۲-۲ موقعیت جغرافیایی

شرایط طراحی بیرون براساس داده‌های هواشناسی تعیین می‌گردد. این داده‌ها می‌تواند از ایستگاه‌های هواشناسی محلی یا از مرکز ملی داده‌های اقلیمی بدست آید. شبیه‌سازی‌های انجام شده در این پژوهش برای سه شهر منتخب ایران شامل شهرهای تهران، یزد و آمل (شکل۴) که به ترتیب دارای آب و هوای گرم و خشک استپی در عرض جغرافیایی میانی، گرم و خشک کویری و معتدل و مرطوب بوده‌اند، اعمال شده است.

جدول ۶: اطلاعات آب و هوایی شهرهای منتخب

شهر	نوع اقلیم آب و هوایی	Atmospheric Pressure (Pa)	Wind Direction (°)	Wind Speed (m/s)	Diffuse Horizontal Solar (kWh)	Direct Normal Solar (kWh)	Outside Dew-Point Temperature (C°)	Outside Dry-Bulb Temperature (C°)
تهران	گرم و خشک استپی در عرض جغرافیایی میانی	/۶ ۷۸۹۳۹	۱۴۵/۸	۲/۷	۱۰۵۹/۶	۱۷۹۹/۵	۱/۶	۱۷/۳
یزد	گرم و خشک کویری	/۱ ۸۷۵۸۶	۱۲۳/۹	۲/۴	۱۲۱۲/۴	۱۳۴۶/۱	-۱/۸	۱۹/۲
آمل	معتدل و مرطوب	/۸ ۹۹۵۸۶	۱۸۰/۶	۱/۲	۸۱۶/۴	۸۹۳/۱	۱۳/۵	۱۷/۱

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]



شکل ۴: موقعیت جغرافیایی شهرهای منتخب

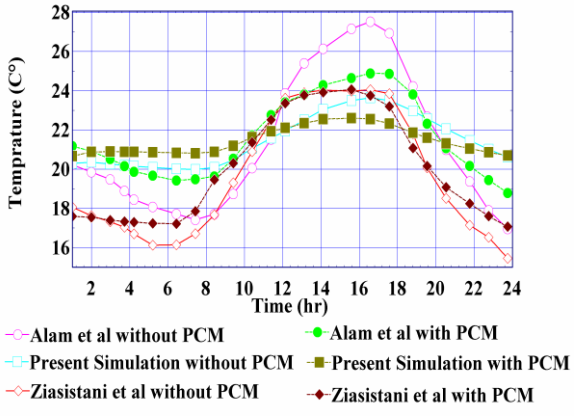
اطلاعات مربوط به داده‌های آب و هوایی ۶ شهر از شهرهای ایران در کتابخانه نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر موجود می‌باشد در مورد سایر شهرها می‌توان از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی نظیر مترونوم، کلایمت کانسلتنت، دی ویو، المنت ودر و استاتیک، استفاده نمود. این نرم‌افزارها با استخراج داده‌های آب و هوایی از نزدیک‌ترین ایستگاه آب و هوایی موجود، فایل آب و هوایی قابل استفاده در نرم افزار دیزاین بیلدر را تولید می‌کند، اطلاعات مربوط به فایل‌های آب و هوایی (به هر دو روش مذکور) پایه و اساس شبیه‌سازی‌ها در بسیاری از پروژه‌های تحقیقاتی بوده که نتایج این تحقیقات با انتشار در مجلات معتبر بین‌المللی، اعتبار داده‌های مورد استفاده را به اثبات رسانده است. در این پژوهش داده‌های مورد استفاده کتابخانه نرم‌افزار دیزاین بیلدر برای دو شهر تهران و یزد و داده‌های مستخرج از نرم‌افزار مترونوم برای آمل استفاده شده که در جدول ۶ اطلاعات آن ارائه شده است.

۳- اعتبار سنجی

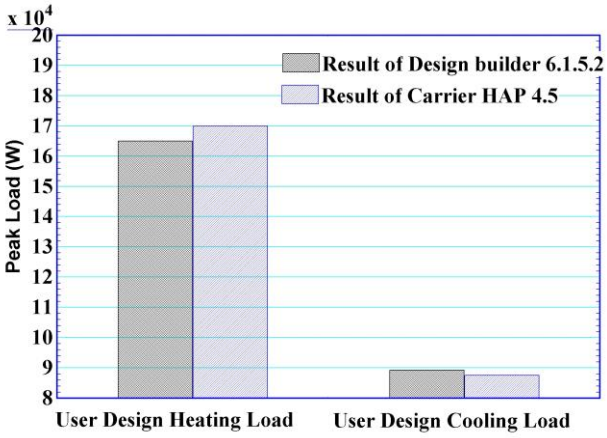
به منظور اعتبارسنجی و ارزیابی صحت شبیه‌سازی‌ها در نرم افزار دیزاین بیلدر، واحدی (اتاقی) به مساحت ۱۶ متر مربع که در مرجع شماره [۵۰] به صورت آزمایشگاهی بررسی شده و در مقاله مرجع شماره [۵۱] نیز جهت اعتبارسنجی استفاده شده، در دیزاین بیلدر شبیه‌سازی شد و نتایج آن با نتایج ارائه شده قبلی مقایسه شده و خطای بسیاری کمی از نتایج هر دو مشاهده شد لذا با استناد به این بررسی‌ها، صحت و توانایی شبیه‌سازی در دیزان بیلدر بررسی و تایید گردید و در ادامه سناریوهای مورد نظر در نرم‌افزار و ساختمان شبیه‌سازی شده اعمال و بررسی و مورد ارزیابی قرار گرفت.

به عنوان گام دوم اعتبارسنجی نتایج از نرم افزار کریر که به عنوان نرم افزار مورد استفاده در بخش مهندسی طراحی حرارتی کشور است استفاده شده و ماکزیرمم بار حرارتی و برودتی سیستم هواساز منتخب در دو نرم افزار کریر و دیزاین بیلدر با هم مقایسه و خطایی بسیار کمی مشاهده شده است نتایج در شکل ۶ قابل مشاهده است.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]



شکل۵: اعتبارسنجی



شکل۶: مقایسه نتایج شبیه‌سازی در دیزاین بیلدر و کریر

۴- انتخاب سناریوی پیشنهادی

در سال‌های اخیر کاهش تولید برق از نیروگاه‌های برق آبی (ناشی از کاهش میزان بارندگی)، افزایش میزان مصرف برق به علت ترویج استفاده از لوازم خانگی برقی و سیستم‌های تهویه مطبوع نظیر اسپیلیت و .... و افزایش دما در فصول گرم و در نتیجه افزایش میزان بارسرمایشی مورد نیاز در منازل و استفاده از دستگاه‌های تولید ارز دیجیتال در ایران، باعث شده تا این کشور با معضل خاموشی و افزایش تقاضای تولید برق مواجه شود، از طرفی بخش مسکونی تاثیر بسزایی در سرانه‌ی مصرف انرژی در این کشور دارد که این نکته اهمیت تحقیق و بررسی در خصوص بهینه‌سازی مصرف انرژی در این بخش را نشان می‌دهد.

با توجه به این که بسیاری از منازل مسکونی در ایران به صورت ساختمان‌های ۴ یا ۵ طبقه طراحی می‌شوند، لذا در این پژوهش ساختمانی مسکونی ۴طبقه برای انجام بررسی‌ها انتخاب گردید، تلاش شده که ویژگی‌های بومی ساختمان‌سازی در ایران لحاظ شود تا نتایج حاصل برای عموم مردم قابل استفاده باشد

به منظور انجام بررسی‌ها نرم افزار دیزاین بیلدر ورژن ۶,۱,۵,۲ مورد استفاده قرار گرفت، این نرم‌افزار امکان بررسی عملکرد حرارتی ساختمان در شرایط گوناگون را فراهم می‌کند و در بسیاری از مقالات نیز مورد استفاده قرار گرفته است، علاوه بر این، نرم‌افزار مذکور امکان شبیه‌سازی مواد تغییر فاز دهنده در ساختمان، سقف سبز، سیستم فتوولتاییک و .... را نیز فراهم می‌کند.

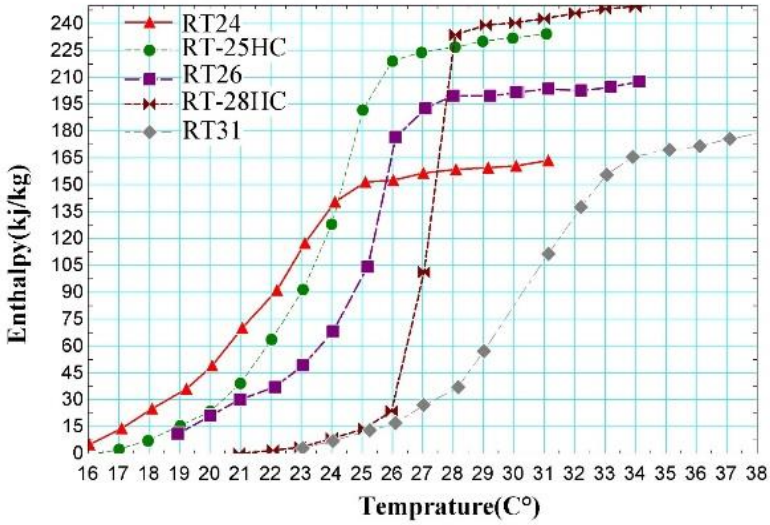
۵- بهینه‌سازی

با استناد به نتایج تحقیق گذشته [۴۸]، ساختمان یکپارچه فتوولتاییک با پنجره سه جداره، نمای سه پوسته در شمال و جنوب آن، دیوارهای خارجی مجهز به ماده تغییر فازدهنده و بام سبز، از منظر کاهش مصرف انرژی عملکرد مناسبی را داشته است لذا در این بخش بهینه‌سازی با هدف دستیابی به کمترین میزان بار سرمایشی و گرمایشی ساختمان صورت پذیرفت، متغییرهای تعریف شده در این بهینه‌سازی به شرح زیر می‌باشد:

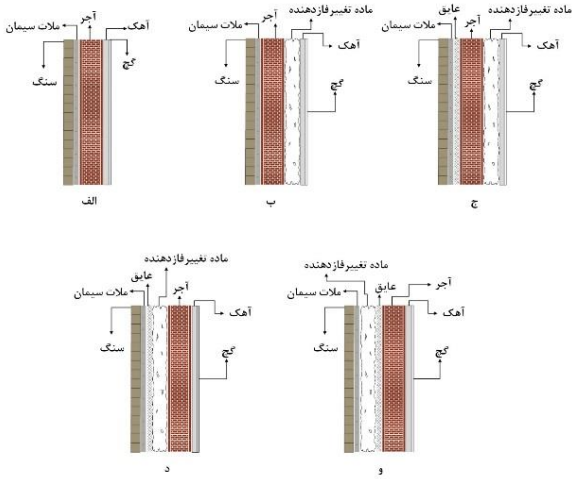
- نوع ماده تغییر فاز دهنده
- استفاده یا عدم استفاده از ماده تغییرفازدهنده در دیوار خارجی ساختمان
- محل استقرار ماده تغییر فاز دهنده در در دیوار خارجی ساختمان
- استفاده یا عدم استفاده توامان از مواد تغییرفازدهنده و عایق حرارتی در دیوار ساختمان
- محل استقرار ماده تغییر فاز دهنده در سقف سبز ساختمان

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

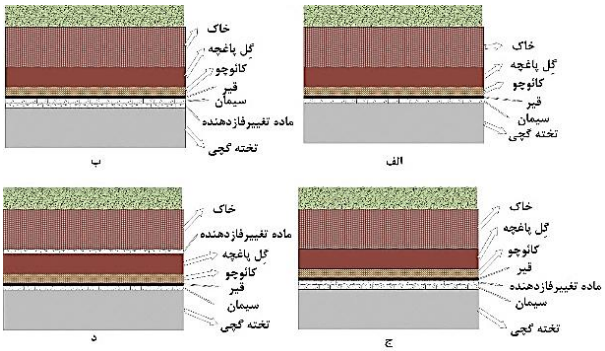
به منظور بررسی نوع ماده تغییر فازدهنده مواد تغییر فاز دهنده صنعتی که در شکل ۷ نمودار آنتالپی و دمای آن‌ها ارائه شده است مورد ارزیابی قرار گرفتند. متغییر بعدی، استفاده یا عدم استفاده از ماده تغییر فازدهنده در دیوار خارجی و محل استقرار این مواد در بین اجزای دیوار خارجی ساختمان می‌باشد، بر این اساس و به منظور ارزیابی این متغییر، چینش اجزای دیوار بر اساس ۵ طرح پیشنهادی که در شکل شماره ۸ نشان داده شده است، مورد ارزیابی قرار گرفته است. در بین گزینه‌های مطرح شده استفاده توامان از عایق و ماده تغییر فازدهنده نیز لحاظ گردیده است. بام سبز مورد استفاده در ساختمان در ۴ حالت مورد ارزیابی قرار گرفته است این حالات در شکل ۹ نشان داده شده است، در این حالات استفاده و عدم استفاده از مواد تغییر فازدهنده در سقف سبز و محل استقرار این مواد در بین اجزای سقف مدنظر بوده است.



شکل۷ نمودار آنتالپی به دما مواد تغییر فاز دهنده مورد استفاده



شکل۸: انواع دیوار مورد استفاده در بهینه‌سازی



شکل ۹: انواع سقف سبز مورد استفاده در بهینه‌سازی

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

۶- نتایج

هدف در این مقاله بهینه‌سازی دوهدفه به منظور دست‌یابی به کم‌ترین میزان بار سرمایشی و گرمایشی مورد نیاز بوده که برای نخستین مرتبه در یک ساختمان مسکونی مجهز به پنل فتوولتاییک، پنجره سه جداره، نمای سه جداره، دیوارها با ماده تغییر فازدهنده و بام سبز، صورت پذیرفته، در این بخش نتایج شبیه‌سازی و بهینه‌سازی‌ها ارائه شده و به بررسی بهترین راه‌حل‌های ممکن از منظر کاهش مصرف انرژی، بار سرمایشی و گرمایشی و ... پرداخته شده است. بیشترین تعداد نسل‌ها در بهینه‌سازی ۲۰ و بیشترین اندازه‌ی هر نسل در بهینه‌سازی، ۱۰۰ بوده است، فرآیند هر مرتبه بهینه‌سازی به مدت سه الی چهار روز در سیستمCore i5 با سی پی یوی ۲۴۳۰ m با رم ۴ گیگابایتی، انجام شده است. کلیه‌ی حالات شبیه‌سازی با ساختمان مسکونی با شرایط عادی مقایسه شده، در ساختمان با شرایط عادی از پنجره تک جداره استفاده شده است که مشخصات آن در جدول ۷ ارائه شده است، علاوه بر این از مواد تغییر فازدهنده و دیوار سبز استفاده‌ای نشده و پنجره‌های مورد استفاده فتوولتاییک نمی‌باشند. مطابق با فلوچارت شکل ۱ در مرحله اول شبیه‌سازی ساختمان در شرایط عادی به عنوان حالت پایه در نرم افزار دیزاین بیلدر انجام شده و نتایج این شبیه‌سازی در جدول ۷ ارائه شده است.

جدول۷: مشخصات حرارتی ساختمان مسکونی شبیه‌سازی شده (حالت پایه)

شهر	بار سرمایشی(kWh)	بار گرمایشی(kWh)	انرژی مصرفی(kWh)	تولید الکتریسیته(kWh)
تهران	۱۹۸۵۴۰/۷	۷۲۰۵۷/۸	۵۹۱۴۵۲	۶۹۱۲۲/۴
یزد	۲۱۶۸۸۶/۹	۵۸۹۳۲/۹	۵۶۳۳۹/۲	۶۲۴۱۰/۶
آمل	۱۴۹۳۷۹/۹	۶۹۳۱۱/۶	۵۲۹۶۶۹/۳	۴۶۳۶۳/۱

۶-۱ تهران

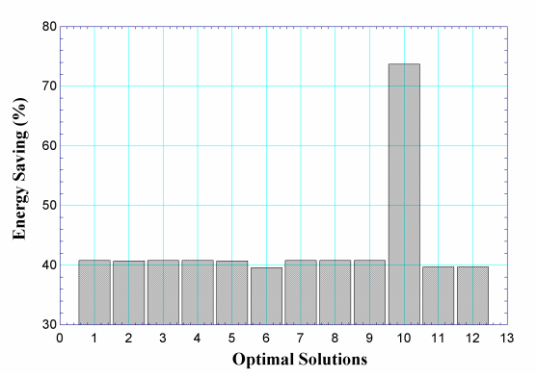
پس از انجام بهینه‌سازی مذکور برای شهر تهران با شرایط آب و هوای گرم و خشک استپی در عرض جغرافیایی میانی، به منظور انتخاب بهترین حالات از منظر کاهش بار سرمایشی و گرمایشی، دوازده نقطه‌ی بهینه پیدا شده که مشخصات، میزان بار سرمایشی و گرمایشی مورد نیاز ساختمان در این حالات و کل انرژی مصرفی ساختمان در شرایط مذکور در جدول ۸ ارائه شده است. با بررسی نقاط بهینه ارائه شده در جدول مذکور، مشاهده می‌شود که در هیچ‌کدام از نقاط استخراج شده از حالت (و) پیشنهادی برای دیوار ساختمان استفاده نشده است، لذا می‌توان اینگونه استنباط کرد که استفاده از ماده تغییر فاز دهنده در این فرم پیشنهادی (استفاده از آن در بین عایق و ملات سیمانی) از منظر کاهش بار سرمایش و گرمایش ساختمان واقع در تهران، طرح مناسبی نمی‌باشد.

جدول۸: حالات بهینه محاسبه شده برای تهران

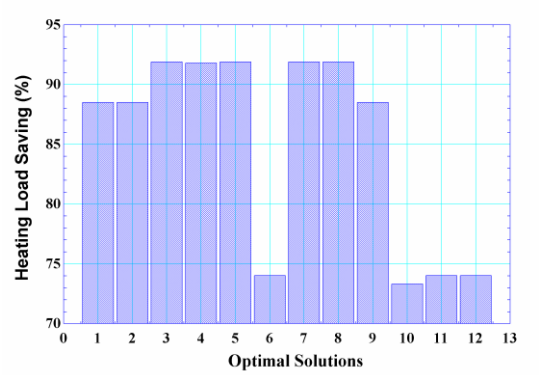
ردیف	ماده تغییر فازدهنده	بام	دیوار خارجی	بار سرمایشی (kWh)	بار گرمایشی (kWh)	انرژی مصرفی (kWh)	کربن دی‌اکسید (kg)
۱	RT-25HC	ج	ب	۵۴۰۹۲۴/۲	۸۲۶۳/۴	۳۴۹۹۹۵/۷	۱۶۵۵۵۸/۴
۲	RT31	د	ب	۵۴۱۹۸۹/۶	۸۲۵۰/۷	۳۵۰۵۷۰/۵	۱۶۵۹۱۳/۹

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

۳	RT-28HC	ج	ج	۵۴۶۸۱۷/۶	۵۸۱۸/۵	۳۵۰۱۱۰/۳	۱۶۷۰۲۰/۵
۴	RT26	ج	د	۵۴۶۷۸۵	۵۸۷۹	۳۵۰۱۷۰/۳	۱۷۶۰۲۴/۱
۵	RT-28HC	د	ج	۵۴۷۹۰۰/۹	۵۸۰۸/۲	۳۵۰۶۹۸	۱۷۶۳۸۲/۵
۶	RT24	د	الف	۵۲۹۸۷۰/۷	۱۸۷۰۰/۸	۳۵۷۱۶۵/۲	۱۶۳۸۵۸/۷
۷	RT-28HC	ب	د	۵۴۶۸۱۱/۴	۵۸۷۱/۹	۳۵۰۱۷۵/۹	۱۶۷۰۳۱/۳
۸	RT-28HC	ب	ج	۵۴۶۸۴۴/۳	۵۸۱۱/۹	۳۵۰۱۱۶/۸	۱۶۷۰۲۷/۹
۹	RT24	ب	ب	۵۴۰۹۴۹	۸۲۵۵/۶	۳۴۹۹۹۹/۶	۱۶۵۵۶۵
۱۰	RT24	الف	ج	۱۶۴۹۱۳	۱۹۲۳۸	۱۵۵۵۸۲/۲	۴۱۷۵۴/۸
۱۱	RT24	ج	الف	۵۲۸۸۶۹/۵	۱۸۷۲۱/۴	۳۵۶۶۳۵/۱	۱۶۳۵۲۶/۶
۱۲	RT24	ب	الف	۵۲۸۸۸۳/۴	۱۸۷۰۷/۴	۳۵۶۶۲۵/۵	۱۶۳۵۲۸



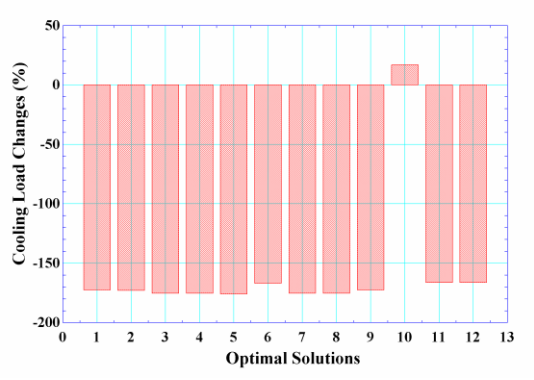
شکل۱۰: کاهش مصرف انرژی در پاسخ‌های حالات بهینه برای تهران



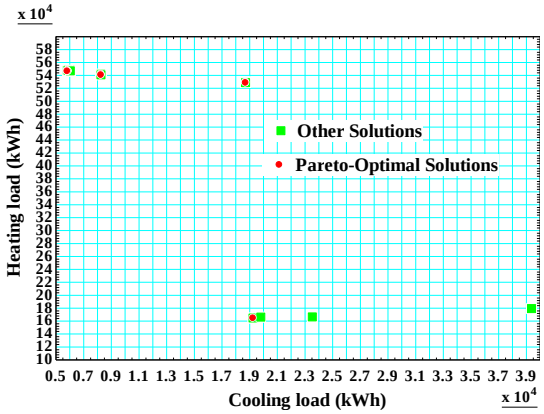
شکل۱۱: کاهش بار گرمایشی در پاسخ‌های حالات بهینه برای تهران

با عنایت به شکل ۱۰ که در واقع مقایسه درصد کاهش مصرف انرژی در بین حالات بهینه است، بهترین راه حل ممکن از نقطه نظر کاهش مصرف انرژی، جایگذاری ماده تغییر فازدهنده‌ی RT24 در بین لایه‌های نزدیک به کف سقف سبز و لایه‌های درونی‌تر دیوار فاقد عایق حرارتی می‌باشد. این راه‌حل اگرچه در مقایسه‌ی با سایر راه‌حل‌های موجود تاثیر کمتری در کاهش بار گرمایشی مورد نیاز ساختمان (شکل۱۲) دارد، تنها گزینه‌ی موجود می‌باشد که عملکرد مثبتی در کاهش بار سرمایشی ساختمان (شکل ۱۲) نشان داده است. به دلیل اثرگذاری بیشتر بار سرمایشی در مصرف انرژی ساختمان در شرایط آب و هوایی مستقر در تهران این موضوع قابل توجیه است. بررسی شکل ۱۱ نشان می‌دهد از منظر کاهش بار گرمایشی مورد نیاز ساختمان، کلیه‌ی راه‌حل‌های استخراجی از فرآیند بهینه‌سازی تاثیر مثبتی را نشان داده‌اند، این تاثیر البته در برخی حالات بیشتر بوده است، در پنج حالت تاثیرگذاری بالای ۹۰ درصد مشاهده می‌شود، البته در مقام مقایسه‌ی بین حالات بهینه، در بین این پنج حالت، تفاوت چندانی در کاهش بار گرمایشی مورد نیاز ساختمان در شهر تهران وجود ندارد.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]



شکل۱۲: تاثیر پاسخ‌های حالات بهینه بر روی بار سرمایشی مورد نیاز در شهر تهران



شکل۱۳: نمودار پراکندگی بهینه‌سازی در تهران

در حالی که کلیه‌ی حالات بهینه تاثیر مثبتی در کاهش بار گرمایشی مورد نیاز ساختمان در شهر تهران با آب و هوای گرم و خشک استپی در عرض جغرافیایی میانی نشان داده‌اند، اما این اثر در بار سرمایشی (شکل ۱۲) غالباً منفی بوده و در کلیه‌ی حالات بار سرمایشی مورد نیاز ساختمان ۱/۵ برابر شده است، تنها راه‌حلی که اثر مثبتی در کاهش بار سرمایشی ساختمان داشته، در نهایت منجر به کم‌ترین میزان صرفه‌جوی انرژی شده است. در شکل ۱۳ پراکندگی نقاط مذکور و سایر راه‌حل‌های ممکن، از منظر تغییرات بار سرمایشی و گرمایشی نمایش داده شده است.

۶-۲- یزد

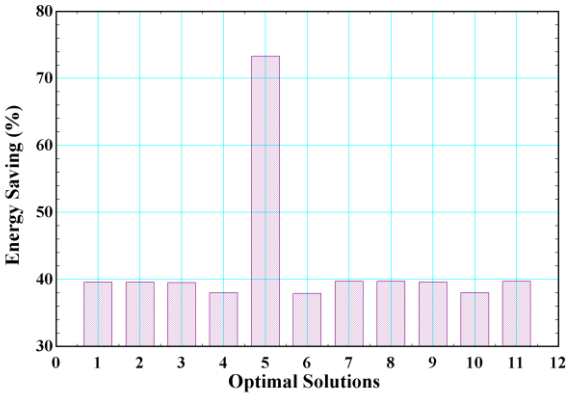
جدول۹: حالات بهینه محاسبه شده برای یزد

ردیف	ماده تغییر فازدهنده	سقف	دیوار خارجی	بار سرمایشی (kWh)	بار گرمایشی (kWh)	انرژی مصرفی (kWh)	کربن دی‌اکسید (kg)
۱	RT-28HC	ب	ب	۵۲۸۰۰۹/۶	۶۴۹۰/۱	۳۴۰۳۱۷/۱	۱۶۴۸۰۸/۲
۲	RT-28HC	ج	ب	۵۲۷۹۹۶/۱	۶۴۹۷/۹	۳۴۰۳۱۹/۴	۱۶۴۸۰۵/۵
۳	RT-25HC	د	ب	۵۲۹۱۱۷/۴	۶۴۸۵/۵	۳۴۰۹۲۶/۳	۱۶۵۱۸۰
۴	RT31	ب	الف	۵۲۴۱۵۸/۷	۱۴۹۵۷	۳۴۹۰۸۸/۹	۱۶۵۱۲۹/۵
۵	RT26	الف	ج	۱۶۴۹۲۴	۱۵۵۹۶	۱۵۰۶۰۴/۸	۴۴۸۸۳/۹
۶	RT-25HC	د	الف	۵۲۵۲۱۵/۴	۱۴۹۵۲	۳۴۹۶۶۸/۴	۱۶۵۴۸۳/۹
۷	RT26	ج	ج	۵۳۱۴۱۴/۱	۴۶۲۴/۱	۳۳۹۷۸۸/۲	۱۶۵۵۶۳/۸
۸	RT31	ب	ج	۵۳۱۴۲۷/۱	۴۶۱۷/۳	۳۳۹۷۸۶/۷	۱۶۵۵۶۶/۵
۹	RT-25HC	د	ج	۵۳۲۵۵۲/۹	۴۶۱۳/۴	۳۴۰۴۰۶/۶	۱۶۵۹۴۴/۵
۱۰	RT-25HC	ج	الف	۵۲۴۱۴۵/۲	۱۴۹۷۲	۳۴۹۰۹۹/۴	۱۶۵۱۲۸/۴
۱۱	RT-25HC	ج	د	۵۳۱۴۱۴	۴۶۸۶/۶	۳۳۹۸۶۹	۱۶۵۵۷۸/۹

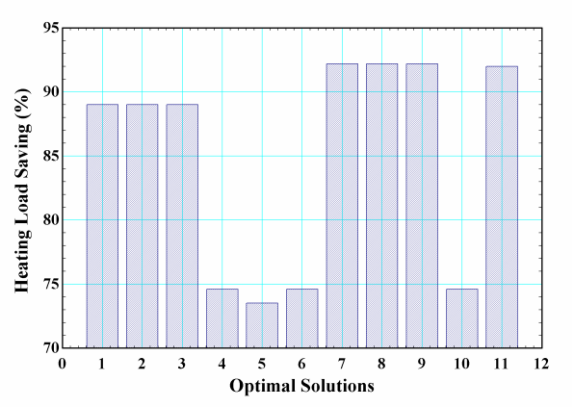
شهر یزد با آب و هوای گرم و خشک کویری، اقلیم جغرافیایی دیگری بود که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت، بهینه‌سازی ساختمان مسکونی معرفی شده در این شهر با هدف کاهش بار سرمایشی و گرمایشی مورد نیاز ساختمان منجر به استخراج ۱۱ راه‌حل بهینه گردید که مشخصات این نقاط در جدول ۹ ارائه شده است. جایگذاری مواد تغییر فازدهنده در بین لایه‌های ملات سیمانی و عایق حرارتی در دیوارهای خارجی ساختمان در بین هیچ یک

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

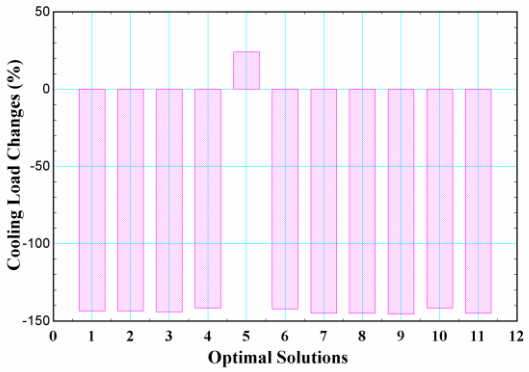
از راه‌حل‌های مستخرج برای این شهر مشاهده نمی‌شود لذا همانند تهران می‌توان اینگونه استنباط کرد که این طرح پیشنهادی از دیوار خارجی ساختمان، مناسب شرایط آب و هوایی گرم و خشک کویری در ساختمان با شرایط معرفی شده در این پژوهش نمی‌باشد (ساختمان با پنجره سه جداره، نمای سه پوسته، فتوولتاییک، سقف سبز و مواد تغییر فازدهنده).



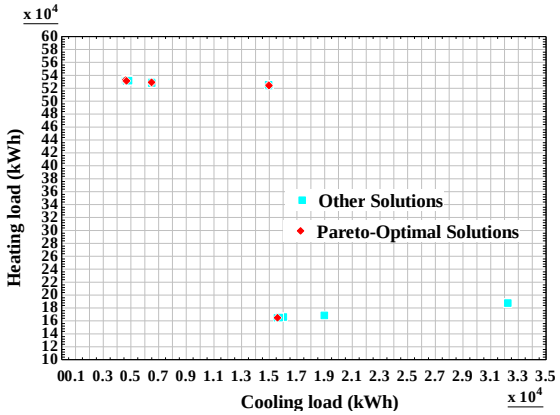
شکل۱۴: میزان صرفه‌جویی مصرف انرژی در پاسخ‌های حالات بهینه یزد



شکل۱۵: میزان کاهش بار گرمایشی در پاسخ‌های حالات بهینه یزد



شکل۱۶: تاثیر پاسخ‌های حالات بهینه بر روی بار سرمایشی مورد نیاز در شهر یزد



شکل۱۷: نمودار پراکندگی بهینه‌سازی در یزد

در خصوص مواد تغییر فازدهنده مورد بررسی،RT24 که محدوده‌ی دمایی تغییر فاز کم‌تری نسبت به سایر مواد پیشنهادی دارد در بین یازده راه‌حل پیشنهادی مستخرج وجود ندارد که نشان می‌دهد در این شرایط، استفاده از این ماده مناسب نخواهد بود، علاوه بر این، تنوع مواد تغییر فازدهنده پیشنهاد شده در بین پاسخ‌های مستخرج، تاکیدی بر این نکته است که انتخاب ماده تغییر فازدهنده مناسب، به شرایط ساختمان، محل جایگذاری ماده تغییر فازدهنده در سقف یا دیوار و هدف بهینه‌سازی و ... وابسته است. در شکل ۱۴ در بین ۱۱ پاسخ مستخرج از فرایند بهینه‌سازی بیشترین میزان صرفه‌جویی انرژی در بین گزینه‌های موجود بیش از ٪۷۰ بوده که این مقدار صرفه‌جویی انرژی در هنگام استفاده از ماده تغییر فازدهنده RT26 در درونی‌ترین لایه دیوار ساختمان و استفاده از سقف سبز معمولی، رخ داده است. استفاده از شرایط مذکور منجر به بیشترین تاثیرگذاری مثبت در کاهش بار سرمایشی (شکل ۱۶) نیز شده است، اما از منظر بار گرمایشی (شکل ۱۵) در مقایسه با سایر راه‌حل‌های مستخرج این شرایط تاثیرگذاری کمتری

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

داشته است. با توجه به نتایج فوق، می‌توان گفت، استفاده یا عدم استفاده از ماده تغییر فازدهنده در سقف ساختمان تابع شرایط ساختمان (نظیر متریال به کار رفته در دیوار، پنجره‌ها، نماها و ...) و شرایط آب و هوایی محل استقرار ساختمان می‌باشد. در شکل ۱۵، مشاهده می‌شود که همه‌ی گزینه‌های موجود تاثیر مثبتی در کاهش بار گرمایشی ساختمان داشته اند که در چهار حالت نیز این کاهش بیش از ۹۰٪ بوده است، اما شهر یزد دارای آب و هوای گرم و خشک کویری می‌باشد لذا توجه به کاهش بار سرمایشی بیشتر مدنظر می‌باشد این موضوع با نگاه به نمودار شکل ۱۶ و شکل ۱۴ (کاهش مصرف انرژی) قابل اثبات است، از بین همه‌ی گزینه‌های موجود، فقط در یک حالت کاهش بار سرمایشی مشاهده شده که این موضوع باعث کاهش بیش از ۷۰٪ مصرف انرژی گشته است، باید توجه شود که در این پژوهش هدف کاهش همزمان بار سرمایش و گرمایشی مورد نیاز ساختمان بوده است، لذا ممکن است در شرایطی که هدف فقط کاهش مصرف انرژی باشد یا فقط کاهش بار سرمایشی باشد، پاسخ‌های دیگری یافت شود. پراکندگی نقاط بهینه و سایر راه‌حل‌های پیشنهادی در شکل ۱۷ نشان داده شده است.

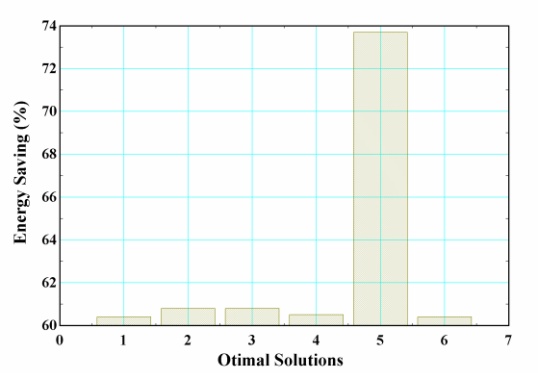
۶-۳- آمل

شهر آمل واقع در استان مازندران با شرایط آب و هوایی معتدل و مرطوب به عنوان سومین تنوع آب و هوایی در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت، بهینه‌سازی ساختمان یکپارچه فتوولتائیک با پنجره سه جداره، نمای سه پوسته، دیوارهای خارجی مجهز به ماده تغییر فازدهنده و بام سبز، منجر به استخراج شش پاسخ حالت بهینه (با هدف کاهش بار سرمایشی و گرمایشی) شده است، پاسخ‌های مستخرج در جدول۱۰ نشان داده شده‌اند، در بین کلیه‌ی حالات بهینه پیشنهادی دیوارهایی مورد استفاده قرار گرفته‌اند که ماده تغییر فازدهنده در لایه‌های درونی نزدیک به محیط داخلی ساختمان جانمایی شده، لذا می‌توان گفت استقرار این مواد در لایه‌های درونی دیوار ساختمان در شرایط آب و هوایی معتدل و مرطوب مناسب‌تر می‌باشد. هم‌چنین مواد تغییر فازدهنده معرفی شده در پاسخ‌ها، نیز نسبت به سایرین محدوده دمای تغییر فاز بالاتری دارند. به طوری کلی با بررسی کلیه‌ی پاسخ‌ها، مشخص می‌شود که انتخاب ماده تغییر فازدهنده مناسب و استفاده یا عدم استفاده از آن، به طور محسوسی تابع شرایط آب و هوایی محل استقرار ساختمان می‌باشد. با عنایت به شکل ۱۸ بیشترین میزان صرفه جویی انرژی مشاهد شده ۷۳٪ بوده است، این صرفه‌جویی انرژی در شرایط استفاده از ماده تغییر فازدهنده‌ی RT-28HC در دیوار خارجی ساختمان یکپارچه فتوولتاییک با سقف سبز معمولی، نمای سه پوسته و پنجره سه جداره رخ داده است، در مقایسه با سایر حالات پیشنهادی این حالت تاثیر کمتری در کاهش بار گرمایشی داشته، اما بر روی کاهش بار سرمایشی تاثیر مثبتی داشته است.

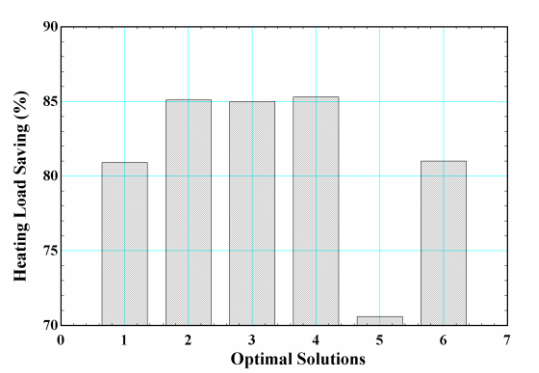
جدول۱۰: حالات بهینه محاسبه شده برای آمل

ردیف	ماده تغییر فازدهنده	بام	دیوار خارجی	بار سرمایشی (kWh)	بار گرمایشی (kWh)	انرژی مصرفی (kWh)	کربن دی‌اکسید (kg)
۱	RT26	ج	ب	۲۷۶۶۱۵	۱۳۲۳۹/۴	۲۰۹۷۶۴/۵	۹۱۶۱۰/۷
۲	RT26	ب	ج	۲۷۹۳۷۸	۱۰۳۰۴/۱	۲۰۷۵۸۳/۶	۹۱۸۸۱/۹
۳	RT31	ج	ج	۲۷۹۳۵۱/۹	۱۰۳۶۳/۴	۲۰۷۶۳۳/۳	۹۱۸۸۵/۲
۴	RT-28HC	د	ج	۲۸۲۹۹۶/۲	۱۰۱۷۸/۹	۲۰۹۴۱۳	۹۳۰۶۶/۲
۵	RT-28HC	الف	ج	۱۳۲۶۱۵/۵	۲۰۳۵۰/۱	۱۳۹۲۱۵/۸	۴۴۹۴۱/۵
۶	RT-28HC	ب	ب	۲۷۶۶۲۶/۷	۱۳۱۷۴/۲	۲۰۹۶۹۹/۹	۹۱۶۰۱/۳

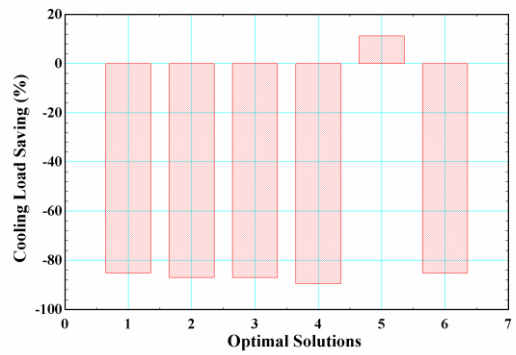
[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]



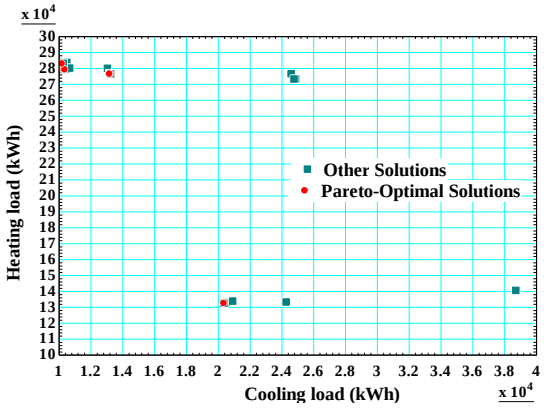
شکل ۱۸: میزان صرفه جویی مصرف انرژی در پاسخ‌های حالات بهینه آمل



شکل۱۹: میزان کاهش بار گرمایشی در پاسخ‌های حالات بهینه آمل



شکل۲۰: تاثیر پاسخ‌های حالات بهینه بر روی بار سرمایشی مورد نیاز در شهر آمل

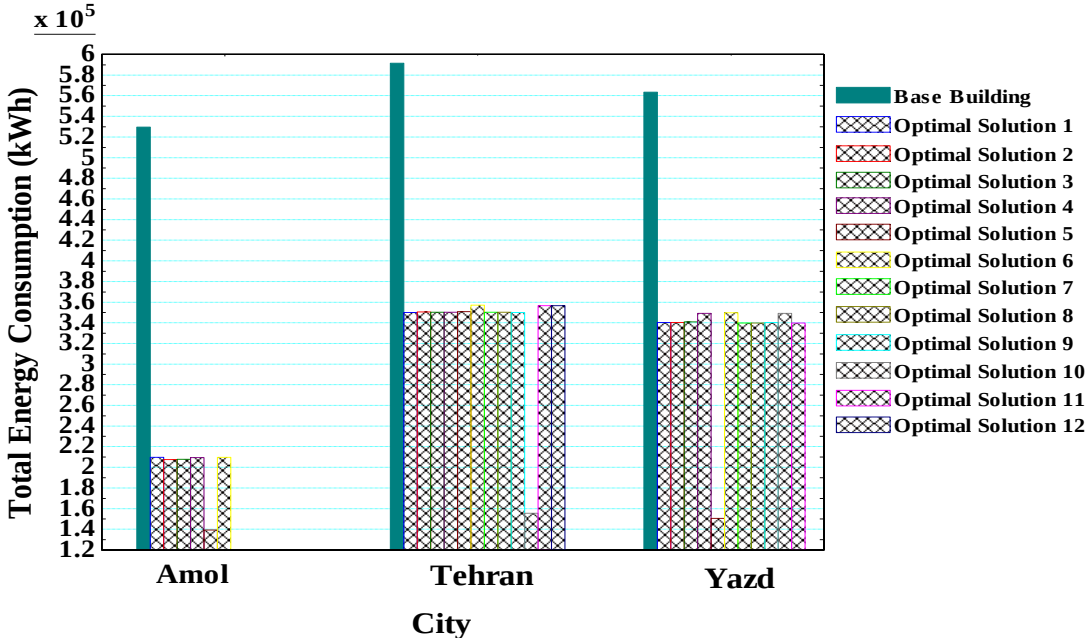


شکل۲۱: نمودار سرمایش و گرمایش بهینه‌سازی در آمل

با مقایسه‌ی نتایج مشاهده می‌شود در بین حالات بهینه در کلیه‌ی شهرهای مورد بررسی، در صورتی که پاسخ بهینه تاثیر مثبتی در کاهش بار سرمایشی داشته باشد، میزان اثرگذاری مثبت این پاسخ بر روی صرفه‌جویی مصرف کلی انرژی ساختمان بیشتر می‌باشد. لذا اهمیت کاهش بار سرمایشی ساختمان به منظور صرفه‌جویی بیشتر است (شکل۲۰). اگر فقط از منظر کاهش بار گرمایشی ساختمان به پاسخ‌های بهینه توجه شود، با عنایت به شکل ۱۹ سه گزینه مناسب وجود خواهد داشته که بالای ۸۵٪ کاهش بار گرمایشی را ایجاد می‌کنند. البته این گزینه‌ها تا ۸۰ درصد بار سرمایشی مورد نیاز ساختمان را بیشتر کرده‌اند (شکل۲۰). با توجه به شکل ۲۰ در بین پاسخ‌های حالات بهینه، کلیه‌ی پاسخ‌های به غیر از یک حالت رفتار مشابهی در کاهش بار سرمایشی مورد نیاز ساختمان داشته‌اند و همگی موجب افزایش بیش از ۸۰٪ بار سرمایشی مورد نیاز ساختمان شده‌اند.

شکل ۲۱ پراگندگی پاسخ‌های بهینه را در نمودار بار سرمایشی و گرمایشی نشان می‌دهد، در این شکل، مشاهده می‌شود که پاسخ‌های حالات بهینه لزوماً مقادیر بار سرمایشی و گرمایشی تقریباً برابر با هم نداشته‌اند. البته گاهاً کلیه‌ی پاسخ‌ها در مقادیر بسیار نزدیک به هم حاصل شده‌اند، لذا این گونه برداشت می‌شود که اثرگذاری المان‌های مورد بررسی شامل استفاده یا عدم استفاده از ماده تغییر فاز دهنده در دیوار و سقف سبز و نوع این مواد گاهاً بسیار ناچیز بوده و پاسخ‌هایی نزدیک به هم حاصل شده است.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]



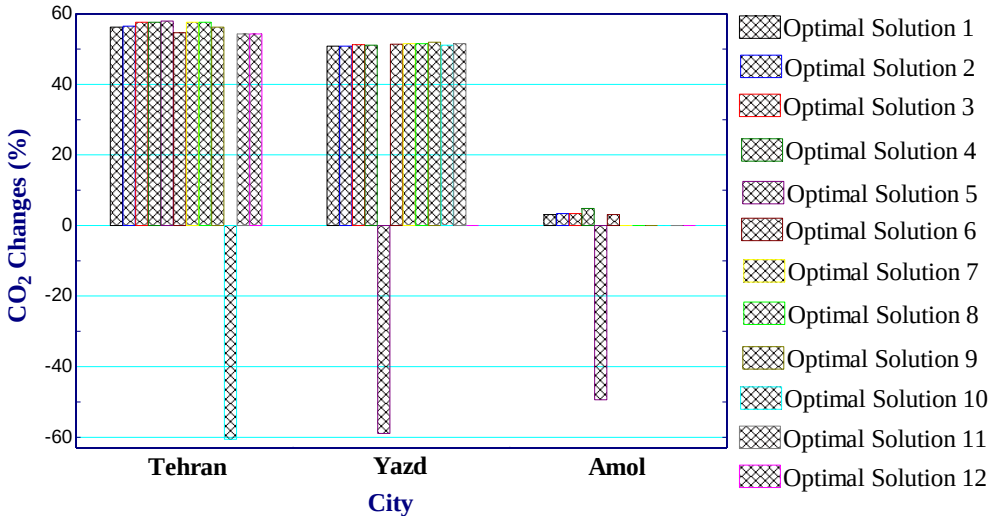
شکل۲۲: شکل مقایسه انرژی مصرفی سالانه حالات بهینه

با عنایت به شکل ۲۲ و بررسی تاثیر حالات بهینه بر کاهش مصرف انرژی سالانه ساختمان در هریک از شرایط آب و هوایی مورد بررسی در اقلیم‌های جغرافیایی مستقر در کشور ایران، مشاهده می‌شود کلیه پاسخ‌های حالات بهینه تاثیر قابل توجهی در کاهش مصرف انرژی ساختمان تعریف شده، دارند که گاهاً کاهش بیش از ۷۰٪ را نشان می‌دهند، البته از نظر مقدار کاهش مصرف انرژی با توجه به شکل۲۲ می‌توان گفت این مقدار در خصوص شرایط آب و هوایی معتدل و مرطوب بیش از سایر شرایط آب و هوایی است، تاثیر بهینه‌سازی کاهش بار سرمایش و گرمایش در نقاطی که بار سرمایشی و گرمایشی مصرفی ساختمان دارای اهمیت تقریباً یکسانی هستند، بیشتر خواهد بود مشابه تاثیری که در شرایط آب و هوایی معتدل و مرطوب، حاصل شده است، این نکته در اعمال و اجرای طرح‌های غیرفعال پیشنهادی، نظیر نمای سه پوسته، سقف سبز و .... در ایران می‌تواند قابل استفاده و بهره‌برداری باشد.

۶-۴- اثرات محیط زیستی

تاثیر استفاده از پاسخ‌های حالات بهینه بر تولید کربن دی اکسید به عنوان شاخص بررسی اثرات محیط زیستی، مورد بررسی قرار گرفت که نتایج در جداول ۸، ۹ و ۱۰ ارائه شده است. در مقام مقایسه کم‌ترین میزان تولید کربن دی اکسید در بازه‌ی زمانی یکساله در شرایط آب و هوایی مستقر در تهران تجربه شد. با عنایت به شکل ۲۳ مشاهده می‌شود اکثر پاسخ‌های بهینه در هر سه شرایط آب و هوایی عامل افزایش تولید کربن‌دی اکسید شده اند تنها یک حالت از حالات بهینه که در واقع گزینه‌هایی با بیشترین میزان صرفه‌جویی انرژی هستند عامل کاهش تولید این گاز شده‌اند، این تاثیر مثبت در شرایط آب و هوایی تهران و یزد که شرایط آب و هوایی گرم و خشک دارند، بیش از شرایط آب و هوایی معتدل و مرطوب بوده است، این گونه استنباط می‌شود که میزان اثرگذاری بر تولید گاز کربن‌دی اکسید و کاهش مصرف انرژی در شرایط تعریف شده در این مقاله نسبت مستقیمی دارند.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]



شکل ۲۳: میزان اثرگذاری هریک از راه‌حل‌های بهینه بر تولید گاز مخرب کربن‌دی اکسید

۷- بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش برای نخستین مرتبه بهینه‌سازی ساختمان یکپارچه فتووالتاییک با پنجره سه جداره، نمای سه پوسته در شمال و جنوب آن، دیوارهای خارجی مجهز به ماده تغییر فازدهنده و بام سبز با هدف کاهش بار سرمایشی و گرمایشی مورد نیاز، انجام پذیرفت. کلیه‌ی مراحل شبیه‌سازی و بهینه‌سازی طرح پیشنهادی با استفاده از نرم‌افزار دیزاین بیلدر بر پایه انرژی پلاس انجام شده است، متغییرهای مورد بررسی در تحقیق عبارتند از نوع ماده تغییر فازدهنده و محل استقرار آن در دیوار خارجی و سقف سبز، استفاده یا عدم استفاده از این مواد و استفاده یا عدم استفاده توامان از این مواد به همراه عایق در دیوار ساختمان، بوده است، نتایج بررسی‌های انجام شده از منظر ارزیابی عملکرد انرژی و اثرات محیط زیستی قابل بحث می‌باشد، از منظر عملکرد انرژی، میزان اثرگذاری در کاهش بار سرمایشی و گرمایشی مورد نیاز ساختمان در یک دوره یک ساله و صرفه‌جویی مصرف انرژی مدنظر قرار گرفته و در خصوص اثرات محیط زیستی اثر گذاری بر میزان تولید کربن‌دی اکسید سالانه منزل مسکونی، در نظر گرفته شده است.

شبیه‌سازی و بهینه‌سازی ساختمان برای سه شهر منتخب در ایران با شرایط آب و هوایی متفاوت تکرار شده است. برای شهرهای مورد بررسی شامل تهران، یزد و آمل به ترتیب دوازده، یازده و شش نقطه بهینه عملکردی استخراج شد، به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت:

- شرایط آب و هوایی در انتخاب نوع ماده تغییر فازدهنده، استفاده یا عدم استفاده از این مواد و محل استقرار آن‌ها بسیار اثرگذار است.
- انتخاب نوع ماده تغییر فازدهنده پیشنهادی وابسته به سایر متغییرها نظیر محل استقرار و شرایط آب و هوایی می‌باشد.
- معمولا در بین حالات بهینه فاکتور میزان اثرگذاری بر کاهش بار سرمایشی تاثیر بیشتری در صرفه‌جویی کلی انرژی در ساختمان دارد.
- به طور کلی تاثیر متغییرهای تعریف شده در کاهش بار سرمایشی در بعضی موارد بسیار نزدیک به هم است.
- بهینه‌سازی با هدف کاهش بار سرمایشی و گرمایشی در شرایط آب و هوایی معتدل و مرطوب نتایج مطلوب‌تری از منظر صرفه‌جویی مصرف انرژی داشته است.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

- ارتباط میان کاهش مصرف انرژی و کاهش دی اکسید کربن تولیدی، ارتباطی مستقیم است.

۸- فهرست علایم و اختصارات

علائم اتگلیسی	
جهت وزش باد، °	Direction
بار حرارتی و برودتی، kWh	L
فشار، Pa	P
ماده تغییر فاز دهنده	PCM
میزان صرفه‌جویی، ٪	Saving
ضریب انتقال نور خورشید	SHGC
دما، C°	T
ساعت در طول یک شبانه روز، hr	Time
ضریب انتقال حرارت، W/m^2-K	U

مراجع

[1] J. V. Frédéric Kuznik, Experimental assessment of a phase change material for wall building use, Applied Energy, 86,(2009), 2038-2046.

[2] J. D. Yilin Li, Georgios Kokogiannakis, Heat transfer analysis of an integrated double skin façade and phase change material blind system, Building and Environment, 2017),

[3] L. N. Alvaro de Gracia, Albert Castell, Álvaro Ruiz-Pardob, Servando Alvárez, and L. F. Cabeza, Experimental study of a ventilated facade with PCM during winter period, energy and buildings, 58,(2013), 324-332.

[4] L. N. Alvaro de Graciaa, Albert Castell, Álvaro Ruiz-Pardob, and L. F. C. Servando Álvarez, Thermal analysis of a ventilated facade with PCM for cooling applications, energy and buildings, 65,(2013), 508-515.

[5] L. N. Alvaro de Gracia, Albert Castell, Dieter Boer, Luisa F. Cabeza, Life cycle assessment of a ventilated facade with PCM in its air chamber, Solar Energy, 104,(2014), 115-123.

[6] Q. Y. Jinghua Yu, Hong Ye, Yongqiang Luo, Junchao Huang, Xinhua Xu, Wenjie Gang, Jinbo Wang, Thermal performance evaluation and optimal design of building roof with outer-layer shape-stabilized PCM, Renewable Energy, 145,(2020), 2538-2549.

[7] V. L. C. Anna Laura Pisello, Franco Cotana, Dynamic thermal-energy performance analysis of a prototype building with integrated phase change materials, Energy Procedia, 81,(2015), 82-88.

[8] A. R.-A. J. Xamán, I. Zavala-Guillén, I. Hernández-Pérez, J. Arce, D. and Sauceda, Thermal performance analysis of a roof with a PCM-layer under Mexican weather conditions, Renewable Energy, 149,(2020), 773-785.

[9] F. M. Stfephane Guichard, Dimitri Bigot, Bruno Malet-Damour, Karim Beddiar, Harry Boyer, A complex roof incorporating phase change material for improving thermal comfort in a dedicated test cell, Renewable Energy, 101,(2017), 450-461.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[10] J. P. Pere Llorach-Massana, Joan Rieradevall, J. Ignacio Montero, Analysis of the technical, environmental and economic potential of phase change materials (PCM) for root zone heating in Mediterranean greenhouses, Renewable Energy, 103,(2017), 570-581.

[11] S. L. Kecheng Zhong, Gaofeng Sun, Shanshan Li, Xiaosong Zhang, Simulation study on dynamic heat transfer performance of PCM-filledglass window with different thermophysical parameters of phasechange material, energy and buildings, 106,(2015), 87-95.

[12] G. S. Shuhong Li, Kaikai Zou, Xiaosong Zhang, Experimental research on the dynamic thermal performance of anovel triple-pane building window filled with PCM, Sustainable Cities and Society, 27,(2016), 15-22.

[13] Y. W. Changyu Liu, Yongjian Zhu, Dong Li, Lingyong Ma, Experimental investigation of optical and thermal performance of aPCM-glazed unit for building applications, energy and buildings, 158,(2018), 794-800.

[14] Y. W. Wan Iman Wan Mohd Nazi, Haisheng Chen, Xinjing Zhang, Anthony Paul Roskilly, Passive Cooling Using Phase Change Material and Insulation for High rise Office Building Tropical Climate, Energy Procedia, 142,(2017), 2295-2302.

[15] P. J. Xiangfei Kong, Chengqiang Yao, Yun Liu, Experimental study on thermal performance of phase change material passive and active combined using for building application in winter, Applied Energy, 206,(2017), 293-302.

[16] X. W. sayanthan Ramakrishnan, Jay Sanjayan, John Wilson, Thermal performance of buildings integrated with phase change materials to reduce heat stress risks during extreme heatwave events, Applied Energy, 2017),

[17] M. B. Sajith Wijesuriya, Paulo Cesar Tabares-Velasco, Parametric analysis of a residential building with phase change material (PCM)-enhanced drywall, precooling, and variable electric rates in a hot and dry climate, Applied Energy, 222,(2018), 497-514.

[18] U. B. Ji Hun Park, Seong Jin Chang, Seunghwan Wi, Yujin Kang, Sumin Kim, Energy retrofit of PCM-applied apartment buildings considering building orientation and height, Energy, 222,(2021), 119877.

[19] L. D. Heqing Tian, Xiaolan Wei, Suyan Deng, Weilong Wang, Jing Ding, Enhanced thermal conductivity of ternary carbonate salt phase change material with Mg particles for solar thermal energy storage, Applied Energy, 204,(2017), 525-530.

[20] Y. W. Zongtao Li, Baoshan Zhuang, Xuezhi Zhao, Yong Tang, Xinrui Ding, and K. Chen, Preparation of novel copper-powder-sintered frame/paraffin form-stable phase change materials with extremely high thermal conductivity, Applied Energy, 2017),

[21] Y. W. Haiyue Yang, Qianqian Yu, Guoliang Cao, Rue Yang, Jiaona Ke, Xin Di, Feng Liu, Wenbo Zhang, Chengyu Wang, Composite phase change materials with good reversible thermochromic ability in delignified wood substrate for thermal energy storage, Applied Energy, 212,(2018), 455-464.

[22] G. Q. Guanghui Leng, Zhu Jiang, Guizhi Xu, Yue Qin, Chun Chang, Yulong Ding, Micro encapsulated & form-stable phase change materials for high temperature thermal energy storage, Applied Energy, 217,(2018), 212-220.

[23] S. K. S. Pushpendra Kumar Singh Rathore, An experimental evaluation of thermal behavior of the building envelope using macroencapsulated PCM for energy savings, Renewable Energy, 149,(2020), 1300-1313.

[24] M. M. Mohamad Ahangari, An innovative PCM system for thermal comfort improvement and energy demand reduction in building under different climate conditions, sustainable Cities and Society, 2018),

[25] A. L. P. Antonella D'Alessandro, Claudia Fabiani, Filippo Ubertini, Luisa F. Cabeza, Franco Cotana, Multifunctional smart concretes with novel phase change materials: Mechanical and thermo-energy investigation, Applied Energy, 212,(2018), 1448-1461.

[26] N. M. Amine Laaouatni, Rachid Bennacer, Mohamed El Omari, Mohammed El Ganaoui, Phase change materials for improving the building thermal inertia, Energy Procedia, 139,(2017), 744-749.

[27] X. W. Sayanthan Ramakrishnan, Jay Sanjayan, John Wilson, Thermal performance assessment of phase change material integrated cementitious composites in buildings: Experimental and numerical approach, Applied Energy, 2017),

[28] A. M. Hossein Goudarzi, Energy saving evaluation of passive systems for residential buildings in hot and dry regions, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 68,(2017), 432-446.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[29] X. Z. Mingfang Tang, Experimental study of the thermal performance of an extensive green roof on sunny summer days, Applied Energy, 242,(2019), 1010-1021.

[30] F. C. Stefano Cascone, Antonio Gagliano, Gaetano Sciuto, A comprehensive study on green roof performance for retrofitting existing buildings, Building and Environment, 136,(2018), 227-239.

[31] X. H. Qingwei Xing , Yaolin Lin , Hang Tan , Ke Yang, Experimental Investigation on the Thermal Performance of a Vertical Greening System with Green Roof in Wet and Cold Climates during Winter, energy and buildings, 183,(2019), 105-117.

[32] X. Y. Lilliana L.H. Peng , Yunfei He , Zhenyu Hu , and Z. J. Tianjing Xu , Lingye Yao, Thermal and energy performance of two distinct green roofs:

temporal pattern and underlying factors in a subtropical climate, 185,(2019), 247-258.

[33] S. L. Jutta Schade, Joel Lönnqvis, The thermal performance of a green roof on a highly insulated building in a sub-arctic climate, Energy and buildings, 241,(2021), 110961.

[34] X. L. Muhammad Shafique, Jian Zuo, Photovoltaic-green roofs: A review of benefits, limitations, and trends, Solar Energy, 202,(2020), 485–497.

[35] R. B. Piero Bevilacqua, Natale Arcuri, Green roofs in a Mediterranean climate: Energy performances based on in-situ experimental data, Renewable Energy, 152,(2020), 1414-1430.

[36] C. O. Rotana Hay, Life cycle assessment (LCA) of double-skin façade (DSF) system with fiber-reinforced concrete for sustainable and energy-efficient buildings in the tropics, Building and Environment, 2018),

[37] L. Z. Yongqiang Luo, Xiliang Wang, Lei Xie, Zhongbing Liu, Jing Wu, Yelin Zhang, Xihua He, A comparative study on thermal performance evaluation of a new double skin façade system integrated with photovoltaic blinds, Applied Energy, 199,(2017), 281-293.

[38] H. L. Chao Chen, Zhiqiang (John) Zhai, Yin Li, Fengguang Yang, Fengtao Han, Shen Wei, Thermal performance of an active-passive ventilation wall with phase change material in solar greenhouses, Applied Energy, 216,(2018), 602-612.

[39] L. M. S. Sharma, W. Chang, A.A Tahir, K.S. Reddy, T.K. Mallick, Nano-enhanced Phase Change Material for thermal management of BICPV, Applied Energy, 2017),

[40] Z. L. Wei Lu, Jan-Frederik Flor, Yupeng Wu, Mo Yang, Investigation on designed fins-enhanced phase change materials system for thermal management of a novel building integrated concentrating PV, Applied Energy, 225,(2018), 696-709.

[41] L. A. S. M.M. Fouad, A.H. Mohamed, Modeling and Analysis of Building Attached Photovoltaic Integrated Shading Systems (BAPVIS) Aiming for Zero Energy Buildings in Hot Regions, energy and buildings, 21,(2018), 18-27.

[42] Q. L. Li Zhu, Mengdong Chen, Kaiyue Cao, Yong Sun, A simplified mathematical model for power output predicting of Building Integrated Photovoltaic under partial shading conditions, Energy Conversion and Management, 18,(2019), 831-843.

[43] J. P. Xue Li, Nianping Li, Yupeng Wu, Yueping Fang, Tao Li, Meng and C. W. Wang, Optimal design of photovoltaic shading systems for multi-story buildings, Cleaner Production, 220,(2019), 1024-1038.

[44] J. S. P. Seung Woo Lee, Evaluating thermal performance of double-skin facade using response factor, energy and buildings, 209,(2020), 109657.

[45] E.-D. R. Zisis Ioannidis, Andreas Athienitis , Ted Stathopoulos, Double skin façade integrating semi-transparent photovoltaics: Experimental study on forced convection and heat recovery, Applied Energy, 278,(2020), 115647.

[46] A. C. Siliang Yang, Aldo Di Carlo, Deo Prasad, Alistair Sproul, Francesco Fiorito, Performance assessment of BIPV/T double-skin façade for various climate zones in Australia: Effects on energy consumption, Solar Energy, 199,(2020), 377–399.

[47] S. P. Manoj Kumar Sharma, Jyotirmay Mathur, Amartya Chowdhury, Sanjay Mathur, Exploring the advantages of photo-voltaic triple skin façade in hot summer conditions, Solar Energy, 217,(2021), 317–327.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[48] S. Izadpanah, F. Fazelpour and M. Eftekhari Yazdi, Comparative study of simultaneous use of a double or a triple skin facade with phase change materials, green roof, and photovoltaics in residential buildings of Iran, Environmental Progress & Sustainable Energy, 42,(2023), e13935.

[49] A. K. Ivan Andric, Sami G. Al-Ghamdi Efficiency of green roofs and green walls as climate change mitigation measures in extremely hot and dry climate: Case study of Qatar, Energy Reports, 6,(2020), 2476–2489.

[50] H. J. Morshed Alam, Jay Sanjayan, John Wilson, Energy saving potential of phase change materials in major Australian cities, Energy and Buildings, 78,(2014), 192–201.

[51] F. F. Niloufar Ziasistani, Comparative study of DSF, PV-DSF and PV-DSF/PCM building energy performance considering multiple parameters, Solar Energy, 187,(2019), 115-128.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

چکیده انگلیسی:

Multi objective optimization of a residential buildings equipped with triple skin façade, triple glazed windows, phase change materials, green roof, and photovoltaics in different climate conditions of Iran

Sobhan. Izadpanah[1], Farivar. Fazelpour [2,*], Mohammad. eftekhari yazdi[3]

1- Department of Mechanical Engineering, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2-Department of Energy Systems Engineering, Faculty of Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
3- Department of Mechanical Engineering, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Received: August 2023, Accepted: December 2023

Abstract

Nowadays different kind of active and passive methods used in order to reduce energy consumption and air pollution in buildings. Simultaneous use of phase-change material (PCM) and green roofs with triple-skin facades (TSF) and triple glazed windows (TGW) in residential buildings equipped with Building-integrated photovoltaics (BIPV) can lead to 70% annual energy saving. On the other hand, PCM type and applying methods in different climate conditions impacts energy saving in these conditions. So for the first time, in this research Multi objective optimization of a residential buildings equipped with above technologies was done by the help of genetic algorithm. Reduction of required heating and cooling loads was chosen as optimization's objectives and three climate conditions of Iran was selected. Results indicate that maximum energy saving is 73.3%. Maximum Cooling load reduction is 92.2% which is happened in biome-dry tropical climate conditions. In addition, Maximum reduce in Co2 emission is 60.6% for Tehran.

Key words: Magnetic nanofluid, Quarter-circle cavity, Free convection, 3D solution, Lorentz force.

*corresponding author: **f_fazelpour@azad.ac.ir**

Cite this article as: Sobhan. Izadpanah, Farivar. fazelpour, Mohammad. eftekhari yazdi, Multi objective optimization of a residential buildings equipped with triple skin façade, triple glazed windows, phase change materials, green roof, and photovoltaics in different climate conditions of Iran. Journal of Energy Conversion, 2023, 10(3), 57-78.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]