

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و هفت، شماره سوم، خرداد ماه ۱۴۰۴ (۵۲-۳۳)

سنجش میزان اثربخشی بهینه و ذخیره‌سازی انرژی از طریق سامانه کلکتورهای فتوولتائیک و مواد تغییر فاز دهنده در اقلیم گرم و خشک (نمونه موردی بیمارستان خدادوست شهر شیراز)

سعید عظمتی^{۱*}

Saeed.azemati@iau.ac.ir

ولیه ناصر^۲

امیرحسین زند^۲

فضه احمد^۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۷/۱۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۲۶

چکیده

زمینه و هدف: امروزه بحران انرژی و پیامدهای استفاده از سوخت‌های فسیلی در قالب انتشار گازهای گلخانه‌ای و تأثیرات زیست محیطی، توجه دانشمندان را به بهینه‌سازی مصرف انرژی جلب نموده است. موادی که برای ذخیره‌سازی انرژی به کار گرفته می‌شوند PCM یا مواد تغییر فاز دهنده نامیده می‌شوند؛ این مواد عمل ذخیره‌سازی را طی فرایند تغییر فاز (تبدیل حالت از جامد به مایع یا برعکس) انجام می‌دهند و بدون افزایش دما، گرما را از محیط جذب نموده و زمانی که دما کاهش یافت، گرمای جذب شده را آزاد می‌کنند. مطالعه حاضر در شهر شیراز با هدف سنجش میزان اثربخشی بهینه و ذخیره‌سازی انرژی از طریق سامانه کلکتورهای فتوولتائیک و مواد تغییر فاز دهنده در اقلیم گرم و خشک صورت گرفته است.

روش بررسی: در ابتدا با کمک نرم افزار Climate Consultant و با استفاده از داده‌های آب و هوایی شهر شیراز، نمودار تابش سالیانه این شهر بررسی و در ادامه بر پایه مشخصات ساختمان شامل ساختار فیزیکی، کاربران و همچنین داده‌های آب و هوایی سالانه ساعت به ساعت، محل استقرار ساختمان، با در نظر گرفتن تمام شرایط، به‌ویژه صحت و اعتبار نتایج حاصل از الگوریتم‌های محاسباتی، نرم افزار Design Builder برای شبیه‌سازی انتخاب شد.

۱- گروه معماری، واحد تهران شرق، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. * (مسئول مکاتبات)

۲- دانشجوی کارشناسی معماری، واحد تهران شرق، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

یافته ها: مواد تغییر فاز دهنده میتوانند برای بهبود پتانسیل تهویه طبیعی سیستم های سرمایش غیر فعال به ویژه در اقلیم گرم و خشک استفاده شوند البته زمانی مواد تغییر فاز دهنده حداکثر بازدهی خود را دارند که نقطه ذوب این مواد متناسب با دمای آسایش در گرمترین ماه سال آن منطقه باشد. باتوجه به اقلیم مورد مطالعه مواد تغییر فاز دهنده با نقطه ذوب ۲۸ درجه سانتی گراد انتخاب شده است.

بحث و نتیجه گیری: نتایج نشان می دهد در زمان اوج مصرف برق، مواد تغییر فاز دهنده به منظور ذخیره سازی برق در قالب انرژی حرارتی گرمای نهان به وسیله منابع حرارتی، ذوب و یا منجمد می شود و در زمان مورد نیاز از آن استفاده می شود. بنابراین اگر سیستم های ذخیره سازی حرارتی گرمای نهان با سیستم های فعال مثل کلکتورهای فتوولتاییک ترکیب شوند، باعث کمک به کاهش هزینه مصرف برق می شود. طبق داده های به دست آمده از بررسی ها مجموع تبادل سطح در مواد تغییر فاز دهنده معادل $394/7\text{m}^2$ می باشد.

واژه های کلیدی : بهینه سازی انرژی، ذخیره سازی انرژی، کلکتورهای فتوولتاییک، مواد تغییر فاز دهنده، ساختمان های درمانی.

Measuring the optimal effectiveness and energy storage through the system of photovoltaic collectors and phase change materials in a hot and dry climate (case study: Khodadoost Hospital in Shiraz)

Saeed Azemati^{1*}

Saeed.azemati@iau.ac.ir

Walya Nasir²

Amirhossien Zand²

Fiza Ahmed²

Date of Acceptance: October 4, 2024

Date of Submission: February 15, 2024

Abstract

Background and objective: Today, the energy crisis and the consequences of the use of fossil fuels in the form of greenhouse gas emissions and environmental effects have drawn the attention of scientists to the optimization of energy consumption. Materials used for energy storage are called PCM or phase change materials; These materials perform the storage process during the phase change process (change from solid to liquid or vice versa) and absorb heat from the environment without increasing the temperature and release the absorbed heat when the temperature decreases. The present study was conducted in Shiraz city with the aim of measuring the optimal effectiveness and energy storage through the system of photovoltaic collectors and phase change materials in a hot and dry climate.

Materials and Methods: First, with the help of Climate Consultant software and using the weather data of Shiraz city, the annual radiation diagram of this city is checked and then based on the building specifications, including; Physical structure, users, as well as annual weather data hour by hour, the location of the building, taking into account all the conditions, especially the accuracy and validity of the results of calculation algorithms, Builder Design software for simulation Selected.

Findings: Phase change materials can be used to improve the natural ventilation potential of passive cooling systems, especially in hot and dry climates, although phase change materials have their maximum efficiency when the melting point of these materials is proportional to the comfort temperature in the hottest month. be the year of that region. According to the studied climate, phase change materials with a melting point of 28°C have been selected.

Discussion and conclusion: The results show that during peak electricity consumption, phase change materials are melted or frozen by heat sources in order to store electricity in the form of latent heat thermal energy and are used at the required time. Therefore, if latent heat thermal storage systems are combined with active systems such as photovoltaic collectors, it will help to reduce the cost of electricity consumption. According to the data obtained from the surveys, the total surface exchange in phase change materials is equal to 394.7 m².

Keywords: energy optimization, energy storage, photovoltaic collectors, phase change materials, therapeutic buildings

1- Department of Architecture, Et.c, Islamic azad University, Tehran, Iran.* (Corresponding author)

2- Bachelor of Architecture student, Department of Architecture, Et.c, Islamic azad University, Tehran, Iran.

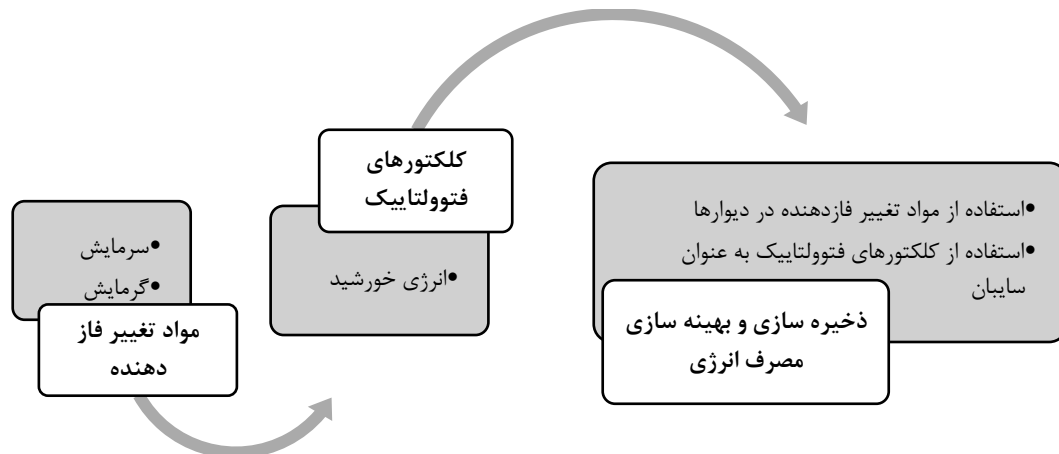
مقدمه

افزایش قیمت حامل های انرژی از طرفی و افزایش انتشار گازهای گلخانه ای از سویی دیگر از دلایل اصلی برای استفاده از سایر منابع انرژی میباشد. امروزه بحران انرژی و پیامدهای استفاده از سوخت های فسیلی در قالب انتشار گازهای گلخانه ای و تاثیرات زیست محیطی، توجه دانشمندان را به بهینه سازی مصرف انرژی جلب نموده است (۱). بهینه سازی مصرف انرژی که در ایران از پتانسیل بالایی برخوردار است. در واقع به معنای انتخاب الگوها و اتخاذ و به کارگیری روش ها و سیاست ها در مصرف درست انرژی الکتریکی است (۲). تحقیقات مختلف نشان می دهد استفاده از راهکار های بهینه سازی ۳۱٪ تا ۶۴٪ مصرف انرژی را کاهش داده است (۳). یکی از روش های بهینه سازی مصرف انرژی، استفاده از انرژی های تجدید پذیر می باشد که توجه بسیاری از محققان حوزه انرژی را به خود جلب کرده است؛ از مهم ترین اقسام انرژی تجدید پذیر، انرژی خورشید است. انرژی خورشید معمولاً به دو صورت مورد استفاده قرار می گیرد: سیستم های فتوولتائیک و سیستم های حرارتی، در سیستم های فتوولتائیک انرژی خورشید به جریان الکتریسته و در سیستم حرارتی انرژی خورشید به انرژی حرارتی تبدیل می شود (۴). موادی که برای ذخیره سازی انرژی به کار گرفته می شوند PCM یا مواد تغییر فاز دهنده نامیده می شوند؛ این مواد عمل ذخیره سازی را طی فرایند تغییر فاز (تبدیل حالت از جامد به مایع یا برعکس) انجام می دهند و بدون افزایش دما، گرما را از محیط جذب نموده و زمانی که دما کاهش یافت، گرمای جذب شده را آزاد می کنند (۵). از سویی، با نگاهی به آمار مصرف انرژی در ایران و مقایسه آن با سایر کشورهای جهان مشاهده می شود که اتلاف انرژی زیادی خصوصاً در بخش های عمومی و دولتی از جمله بیمارستان ها را شاهد هستیم (۶). بیمارستان های دولتی نیز از جمله مراکز عمومی مهم و پرمصرف در کشور می باشند، که مصرف انرژی در آنها بالاتر از استانداردهای جهانی می باشند، بیمارستان

دولتی نیز نسبت به بیمارستان های خصوصی ۲،۲۵ برابر برق بیشتر مصرف می کنند (۷).

برحسب گزارش سازمان حفاظت محیط زیست سازمان های سلامت در هر سال ۶ میلیارد دلار در هر سال انرژی برای نیاز بیماران خود خرج می نمایند. ورود تجهیزات و تکنولوژی های پیچیده در بیمارستان ها جهت تشخیصی و درمانی باعث گردیده که مصرف انرژی الکتریکی و رشد فزاینده ای داشته باشد. در کشور ما نیز به دلیل قیمت پایین انرژی، کمترین توجهی به مقدار مصرف انرژی در بیمارستان ها صورت نپذیرفته است. (۶)

و در ساخت بیشتر بیمارستان های موجود، مسائل مربوط به بهینه سازی مصرف انرژی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در حقیقت، طی چند دهه گذشته، به دلیل کم بودن هزینه های تامین انرژی و کم توجهی به موضوع پایداری اقتصادی و زیست محیطی فعالیت های انسانی، طراحی و ساخت بیمارستان ها تنها با هدف تامین استانداردهای بهداشتی مورد نیاز و با نادیده گرفتن تاثیر کارایی انرژی بر ساختمان صورت گرفته است (۸). از این رو مطالعه حاضر در شهر شیراز با هدف سنجش میزان اثربخشی بهینه و ذخیره سازی انرژی از طریق سامانه کلکتورهای فتوولتائیک و مواد تغییر فاز دهنده در اقلیم گرم و خشک صورت گرفته است. براین اساس سوال اصلی پژوهش این گونه عنوان می شود: استفاده از سامانه کلکتورهای فتوولتائیک و مواد تغییر فاز دهنده تا چه میزان بر بهینه سازی و ذخیره سازی انرژی در اقلیم گرم و خشک موثر است؟ فرضیه پژوهش این گونه بیان می شود: به نظر می رسد، استفاده از کلکتورهای فتوولتائیک و مواد تغییر فاز دهنده بر بهینه سازی و ذخیره سازی انرژی در اقلیم گرم و خشک موثر خواهد بود.



شکل ۱- مدل مفهومی پژوهش، منبع: نگارندگان

Figure 1. conceptual model of research, source: authors

سیستم های سایه انداز فتوولتائیک برای بهینه سازی انرژی موثر بوده و پانل های فتوولتائیک برای بهینه سازی انرژی موثر بوده و پانل های فتوولتائیک نصب شده در جهت جنوب دارای پتانسیل بیشتر صرفه جویی در انرژی نسبت به پانل های نصب شده در شرق و غرب برای تمام مناطق آب و هوایی هستند (۱۲). جعفری و همکاران (۲۰۲۲)، عملکرد فتوولتائیک یکپارچه با سایبان را در بهینه سازی مصرف انرژی مورد ارزیابی قرار دادند پس از بررسی ۱۵ سناریو مختلف، مشخص کردند سیستم فتوولتائیک یکپارچه با سایبان با ۴ لوور و زاویه شیب ۴۵ درجه و آزمون صفر درجه (رو به جنوب) دارای بیشترین بازدهی با میزان بازدهی انرژی ۳۵/۵۴٪ در مقایسه با سایر سناریوها بوده است (۱۳). زو و همکارانش (۲۰۰۷)، در سال ۲۰۰۷ به صورت عددی کاربرد ماده تغییر فاز دهنده را در دیواره ی ساختمان مورد بررسی قرار دادند (۱۴). تائو و همکاران (۲۰۲۰)، در پژوهشی به بررسی چارچوب اسفنجی سه بعدی موم پارافین در مواد تغییر فاز دهنده برای ذخیره و تبدیل انرژی خورشیدی-حرارتی پرداختند. نتایج بررسی مورد مطالعه آنها نشان داد که عملکرد تبدیل انرژی حرارتی خورشیدی با مواد به کار برده شده ۸۵٪ بوده که نشان دهنده عملکرد انتقال حرارتی بالا و ثبات حرارتی خوب می باشد (۱۵).

اکثر تحقیقات در رابطه با انرژی چرخه عمر ساختمان، سهم انرژی نهفته را حدود ۱۰٪ تا ۲۰٪ از کل انرژی مصرفی ساختمان های معمولی عنوان کرده اند؛ این محققان، بطور متوسط حدود ۸۵٪ از انرژی چرخه عمر ساختمان ها را مرتبط به دوره بهره برداری از ساختمان ذکر کرده، و سهم انرژی نهفته ساختمان را نیز در کل حدود ۱۵٪ که شامل ۱۱٪ انرژی تولید مصالح، ۳٪ انرژی تعمیر و نگهداری و ۱٪ انرژی حمل و ساخت و ساز تخمین زده اند (۹). کاربونی و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی سه بیمارستان تخصصی و دو کلینیک عمومی در ایتالیا امکان سنجی اقتصادی و راهبردهای مدرن سازی در آنها را مورد ارزیابی قرار دادند. استراتژی های توصیه شده در این مقاله شامل عایق بندی بهتر دیوارها و پوشش ساختمان، افزایش تجهیزات مکانیکی و روشنایی، استفاده از انرژی های تجدید پذیر و تنظیم بهتر سیستم ها است (۹). دنگ و همکاران (۲۰۱۱)، برای مصرف انرژی در مرحله اجرا، مقدار جزئی ۰/۲ گیگاژولبر متر مربع ارائه کرده اند (۱۰). پریسیدا و همکاران (۲۰۱۶)، بازه ۱ الی ۸/۳۵ گیگاژول بر مترمربع را برای انرژی نهفته اولیه و بازی ۰/۸ الی ۱/۲ گیگاژول بر متر مربع در هرسال را برای انرژی بهره برداری ساختمان ها عنوان کرده اند (۱۱). لی ژو و همکاران (۲۰۱۷)، بر اساس شبیه سازی انجام شده مشخص کردند که زاویه شیب بهینه سالانه و ماهانه

جدول ۱- بررسی پیشینه پژوهش، منبع: نگارندگان

Table 1. review of research background, source: authors

ردیف	سال	نام متخصصین	نتیجه
۱	۲۰۰۷	زو و همکاران	مواد به صورت لایه ای عملکرد حرارتی بهتری دارند.
۲	۲۰۱۱	کلمبیت و همکاران	ارائه یک مدل مدیریت انرژی برای ساختمان های مسکونی شهری
۳	۲۰۱۲	ناسن و همکاران	نقش فراوان و بسزای طول عمر ساختمان ها در مطالعه انرژی چرخه عمر و تعیین سهم هر بخش از انرژی
۴	۲۰۱۵	کاربونی و همکاران	استفاده از استراتژی عایق بندی بهتر دیوارها و پوشش ساختمان، افزایش تجهیزات مکانیکی و روشنایی، استفاده از انرژی های تجدید پذیر و تنظیم بهتر سیستم ها
۵	۲۰۱۶	پریسیدا و همکاران	ارائه بازه ۱ تا ۸/۳۵ گیگاژول بر متر مربع، ارائه بازه ۰/۸ الی ۱/۲ گیگاژول بر متر مربع
۶	۲۰۱۷	لیژو و همکاران	عملکرد بهتر همه پانل های نصب شده در همه مناطق آب و هوایی
۷	۲۰۱۸	یوسفی و همکاران	محاسبه انرژی چرخه عمر یک ساختمان مسکونی واقعی در شهر تهران
۸	۲۰۲۰	یو و همکاران	بهترین ضخامت برای ماده ۳۰ میلیمتر است.
۹	۲۰۲۰	تائو و همکاران	عملکرد تبدیل انرژی حرارتی خورشیدی با مواد به کار برده شده ۸۵٪ بوده.
۱۰	۲۰۲۲	جعفری و همکاران	سیستم فتوولتائیک یکپارچه با سایبان با ۴ لور و زاویه شیب ۴۵ درجه و آزمون صفر درجه (رو به جنوب) دارای بیشترین بازدهی است.

آسایش حرارتی

طبق استاندارد اشری آسایش حرارتی هر شخص، شرایط ذهنی است که میزان رضایتمندی وی از محیط دمایی را بیان میکند. در تعریف، اصطلاح آسایش حرارتی تعابیر متفاوتی دارد. اشری آسایش حرارتی را شرایط ذهنی میدانند که بیان کننده میزان رضایت افراد از حرارت محیط است (۱۶). آسایش حرارتی در عین وابستگی به ویژگی های فیزیولوژیک انسان، متأثر از مجموع عوامل اقلیمی همچون درجه حرارت، رطوبت نسبی، جریان هوا و ... است. مصرف انرژی در ساختمان ها با دماهای تعریف شده به عنوان حد پایین و بالای آسایش ارتباط

مستقیم داشته و بر این اساس، در فرایند توسعه همگام با محیط زیست، به منظور کاهش مصرف انرژی در تأمین گرمایش و سرمایش بناها، ارزیابی آسایش حرارتی به صورتی بومی ضروری است. بررسی ها نشان می دهد آزمایش ها و مطالعات اندکی وجود دارد که مشخص کننده شرایط مطلوب آسایش از نظر دما و رطوبت باشند (۱۷) با این وجود که برقراری آسایش حرارتی تأثیر مستقیم بر سلامت، آسایش، بازدهی و عملکرد افراد و ساکنان محیط دارد. (۱۸) (مواردی که تأثیر و اهمیت بالایی در یک فضای درمانی دارند.)

جدول ۲- روش های ایجاد آسایش حرارتی (۱۸)

Table 2. methods of creating thermal comfort (18)

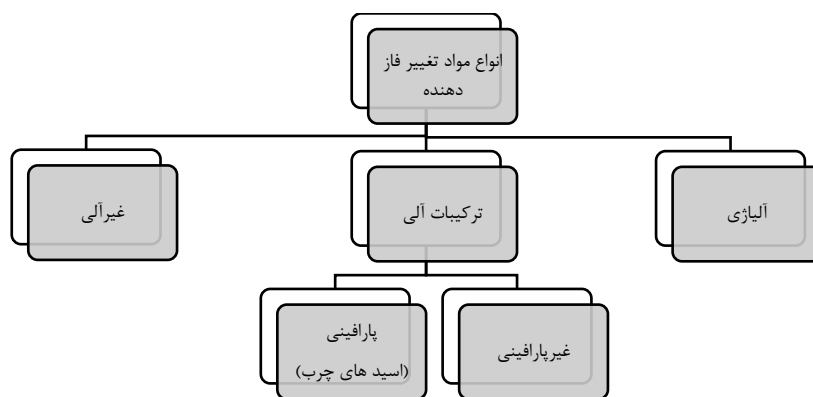
روش ایجاد آسایش	منابع انرژی مورد استفاده		نمونه	نقش معمار
	تامین انرژی	انتقال انرژی		
فوق پویا	انرژی تجدیدناپذیر		شوفاز؛ فنکویل و کولر آبی	جانمایی تجهیزات و مسیر عبور اجزای سامانه
پویا	قسمت عمده انرژی تجدیدناپذیر	مقدار کمی انرژی تجدیدپذیر	کلکتورهای آب گرم خورشیدی، سیستم های فتوولتائیک	جانمایی هماهنگ سامانه و الحاق آن به کالبد بنا
ایستا	قسمت عمده انرژی تجدیدپذیر	مقدار کمی انرژی تجدیدناپذیر	دیوار ترومب، بام آبی، فضای گلخانه ای	طراحی هماهنگ سامانه و عناصر معماری بنا
فوق ایستا نقش	انرژی تجدیدپذیر		جهت گیری، تناسب، فرم، اندازه پنجره	ویژه در ویژگی ها و راهکارهای معماری

مواد تغییر فاز دهنده (pcm)

مواد تغییر فاز دهنده دارای قابلیت تغییر فاز و عمدتاً به صورت تغییر فاز از جامد به مایع و برعکس در یک دامنه دمایی تقریباً ثابت هستند. این مواد به هنگام تغییر فاز، گرما را از محیط جذب نموده و یا به محیط پس می‌دهند (۱۹). مواد تغییر فاز دهنده موادی هستند که به صورت طبیعی، خاصیت جذب و حفظ دمای محیط اطراف را در خود دارند. زمانیکه دمای محیط اطراف با دمای ذوب یا انجماد این مواد مطابقت پیدا می‌کند، مواد تغییر فاز دهنده، با عمل تغییر فاز این دما را به گرمای نهان تبدیل می‌کنند و پس از بازدهی از ساعت، گرمای نهان را از خود پخش می‌کنند. عمل تغییر فاز در اقلیم گرم، از جامد به مایع و در اقلیم سرد، از مایع به جامد صورت می‌گیرد. مواد تغییر فاز دهنده با عمل تغییر فاز به طور کاملاً هوشمند دمای محیط را در دمایی معین ثابت نگه می‌دارند. از این رو این مواد در جهت بهینه سازی مصرف انرژی استفاده می‌شوند.

انواع مواد تغییر فاز دهنده

دسته بندی‌های زیادی بر اساس خواص فیزیکی و شیمیایی مواد تغییر فاز دهنده صورت گرفته است. رایج ترین طبقه‌بندی برای مواد تغییر فاز دهنده، دسته‌بندی بر اساس ساختمان ماده تغییر فاز دهنده می باشد که در آن به مواد دارای ترکیبات آلی غیر آلی و آلیاژی تقسیم می‌شوند که در شکل آورده شده است (۲۰). PCM های آلی را می‌توان به گروه پارافین ها و غیرپارافین ها قسیم‌بندی نمود. دی هیدرات، سولفات سدیم، هگزا هیدرات کلراید کلسیم و پارافین جز مهم ترین PCM ها هستند (۲۱). PCM ها را بر اساس دمای تغییر فاز، به سه دسته مهم می‌توان تقسیم نمود که عبارتند از: یوتکتیک، هیدرات نمک ها و مواد آلی. یوتکتیک ها نمک های محلول در آب هستند که دمای تغییر فاز آن ها کمتر از است و هیدرات نمک ها، نمک های خاصی هستند که دمای تغییر فاز آن ها بالای است. مواد آلی نیز معمولاً از زنجیره های بلند کربن و هیدروژن تشکیل شده اند که دمای تغییر فاز آن ها نیز بالای است (۲۲).



شکل ۲- انواع مواد تغییر فاز دهنده بر اساس روش دسته بندی زالبا و همکاران

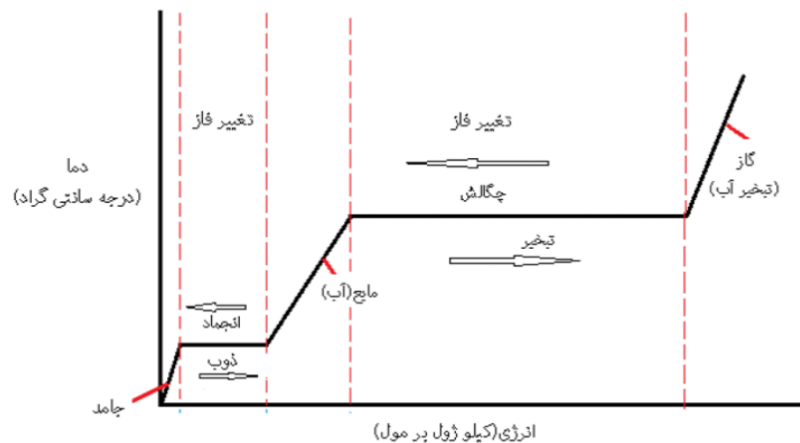
Figure 2. types of phase change materials based on the classification method of Zalba et al

موازی با محیط گرم میشوند تا زمانی که به دمای ذوب خود (تغییر فاز) برسند. پس از رسیدن به این دما علیرغم دمای محیط همچنان به روند افزایشی خود ادامه میدهد، دمای این مواد و البته محیط اطراف آن به دلیل این که در حال تغییر فاز است، ثابت مانده و در برابر افزایش مقاومت می نماید(۲۳). این فرایند می تواند چند ساعت به طول می انجامد و گرمای محیط را به جای صرف در افزایش دمای خود، صرف تغییر فاز از جامد به مایع نموده و طی این فرایند دمای خود و محیط پیرامون خود را در محدوده ثابتی نگاه دارد (۲۴). این فرایند در نمودار ۳ که از رایج ترین نمودارها برای نشان دادن عملکرد این مواد می باشد، نشان داده شده است. نقطه ذوب مواد تغییر فاز دهنده مختلف دامنه دمایی پهنای از ۳۰ - تا ۹۰ درجه سانتی گراد را پوشش میدهد که مواد تغییر فاز دهنده ای که نقطه ذوبشان در بازه دمایی ۲۰ تا ۳۲ درجه سانتی گراد است، ظرفیت بهتری برای بکارگیری در ساختمان و تامین آسایش حرارتی دارند.

با توجه به معایب، محاسن و حوزه استفاده می توان از انواع این مواد تغییر فاز دهنده بهره برد. (در خصوص عایق یندی ساختمان)، مواد تغییر فاز دهنده پارافینی همه فاکتورهای مهم برای کاربرد در ساختمان را دارا هستند از جمله ایمنی، گرمای نهان بالا، تغییر حجم کم هنگام ذوب، فشار بخار پایین در حالت مذاب غیرخورنده و نسبتا ارزان بودن این مواد. از آن جایی که سطوح احاطه شده ره وسیله پارافین به عنوان یک سطح با شار حرارتی بالا رفتار می کنند؛ بنابراین کاربرد این مواد پارافینی به علت هدایت حرارتی کم pcm ها، موجب افزایش بازده این مواد می شود. این مواد در کنار ویژگی های مفید خود برخی ویژگی های منفی همچون، نسبتا قابل اشتعال و ناسازگار با پلاستیک را نیز دارند (۲۲).

عملکرد مواد تغییر فاز دهنده

روش کار مواد تغییر فاز دهنده برای ذخیره انرژی گرمایی به این صورت است که طی فرایند گرم شدن محیط، به صورت



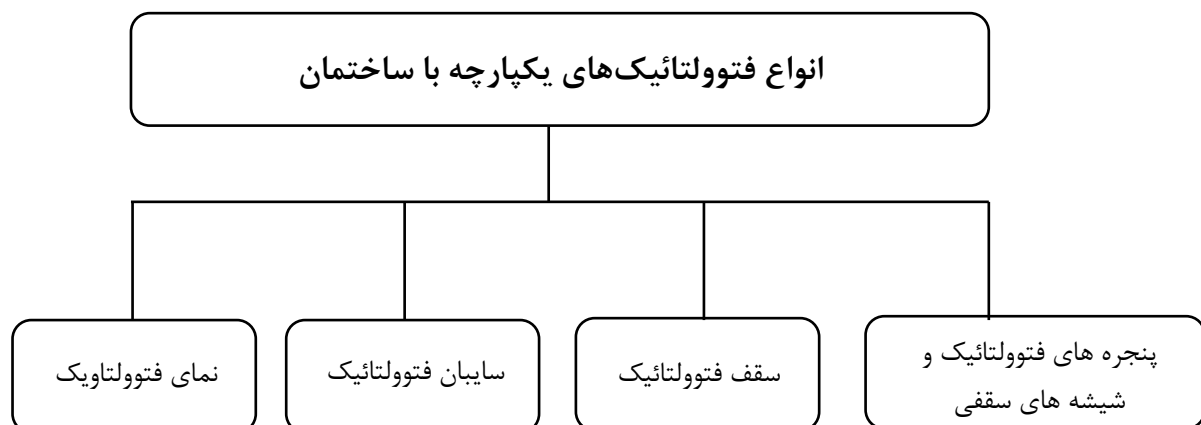
شکل ۳- نمودار تغییر فاز ماده تغییر فاز دهنده (۲۳)

Figure 3. phase change diagram of phase change material (23)

کلکتورهای فتوولتائیک

جایگزینی پوشش ساختمان فتوولتائیک را نشان می‌دهد (25). به طور کلی، بیشتر سطوح ساختمان امکان ادغام مدول‌های فتوولتائیک را دارا هستند که می‌توان در چهار دسته کلی دسته بندی کرد: ۱) نمای فتوولتائیک (شامل جداره، دیوار، شیشه و ...، ۲) سقف فتوولتائیک (۳)، پنجره‌های فتوولتائیک (۴)، سایبان فتوولتائیک (۲۶)

کلکتورهای فتوولتائیک (به انگلیسی: photovoltaic cell)، یک قطعه الکترونیکی است که به کمک اثر فوتوولتائیک، انرژی نور خورشید را مستقیماً به الکتریسیته تبدیل می‌کند. سیستم فتوولتائیک یکپارچه با ساختمان و به کار رفته در ساختمان دو نوع اصلی از این نوع سیستم‌ها هستند. سیستم‌های فتوولتائیک به کار رفته در ساختمان برای اشاره به فتوولتائیک‌هایی به کار می‌روند که پس از تکمیل ساخت ساختمان در آن نصب می‌شوند؛ درحالی‌که سیستم فتوولتائیک یکپارچه مفهوم



شکل ۴- انواع فتوولتائیک‌های یکپارچه با ساختمان (۲۶)

Figure 4. types of photovoltaics integrated with the building (26)

سیستم سایبان خوانده می‌شود این سیستم‌ها می‌توانند باعث کاهش بار حرارتی داخلی شده و به عنوان یک مولد برق در

از جمله این سیستم‌ها عناصر چندمنظوره‌ای هستند که به عنوان سایبان نیز ایفای نقش می‌کنند و فتوولتائیک یکپارچه با

راستای دستیابی به ساختمان‌های انرژی صفر عمل کنند (۲۷). انواع مختلف سلول‌های خورشیدی و روش‌های کاربردی برای سیستم فتوولتائیک مانند سلول‌های خورشیدی کریستالی، سلول‌های خورشیدی با لایه نازک و فتوولتائیک‌های یکپارچه با ساختمان به عنوان بازشو، سیستم‌های سایه انداز، نمای دوپوسته و غیره ساخته شده است که از علاوه بر کارایی صفحه پانل خورشیدی، در کاهش بار گرمایش و سرمایش ساختمان کاربرد دارند (۲۸).

روش تحقیق

در این پژوهش به منظور تحلیل میزان اثربخشی بهینه و ذخیره‌سازی انرژی از طریق سامانه کلکتورهای فتوولتائیک و مواد تغییر فاز دهنده در اقلیم گرم و خشک، ساختمان بیمارستان خدادوست در شهر شیراز انتخاب شده است. در ابتدا با کمک نرم افزار Climate Consultant و با استفاده از داده‌های آب و هوایی شهر شیراز، نمودار تابش سالیانه این شهر بررسی و در ادامه بر پایه مشخصات ساختمان شامل؛ ساختار فیزیکی، کاربران و همچنین داده‌های آب و هوایی سالانه ساعت به ساعت، محل استقرار ساختمان، با در نظر گرفتن تمام شرایط، به‌ویژه صحت و اعتبار نتایج حاصل از الگوریتم‌های محاسباتی، نرم افزار Design Builder برای شبیه‌سازی انتخاب شد. با استفاده از نرم افزار گفته شده و به کمک موتور انرژی پلاس ۸ می‌توان میزان هدر رفت انرژی را به منظور حفظ صرفه جویی در بنا محاسبه کرد و میزان انرژی دریافتی فضاهای ساختمان را بر اساس مشخصات ساختمان و فاکتورهایی چون، سلول‌های فتوولتائیک و مواد تغییر فاز دهنده آن و شرایط آب و هوایی محل، استقرار ساختمان، در هر زمان سال پیشبینی نماید شیوه تحلیل داده‌ها بر مبنای تحلیل

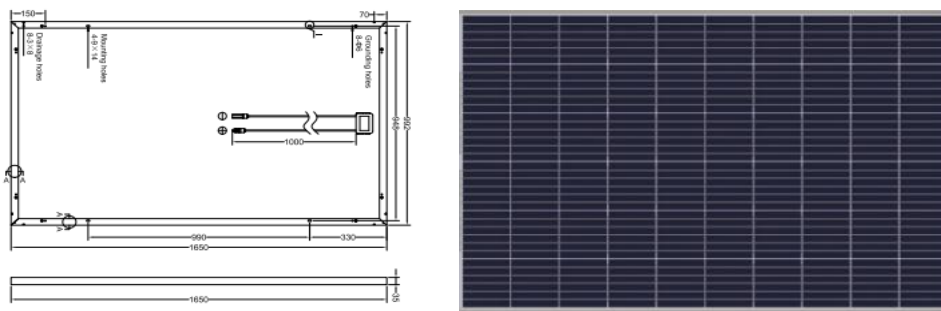
عددی بر اساس استانداردها انجام گرفته است و سپس بر مبنای استدلال استقرایی نتایج به‌دست آمده تعمیم داده شده و به صورت اصول کلی عوامل کالبدی معماری که ارتباط مستقیمی با دریافت نور روز در فضا ارائه گردیده و راهکارهایی در جهت اصلاح آن و یا عدم تکرار آن در موارد طراحی مشابه ارائه گردیده است؛ بنابراین روش تحقیق در این مقاله توصیفی-تحلیلی و نیز استفاده از مدل سازی رایانه ای بر پایه پژوهش موردی است.

معرفی نمونه موردی

بیمارستان دکتر خدادوست در منطقه ۱ شیراز که بخش عمده‌ای از شمال، مرکز و شمال غرب را پوشش می‌دهد. این منطقه از جنوب با منطقه ۴، از شرق با مناطق ۸، ۲، ۳ و از شمال غرب با منطقه ۶ شیراز هم‌جوار می‌باشد. مرزهای منطقه از جنوب به خیابان هنگ و بلوار پاسداران، چهارراه گاز و همت جنوبی، از غرب به مرزهای جبل دراک تا فلکه احسان و محورمعالی‌آباد، از شرق به خیابان حر، خیابان سعدی و بخشی از خیابان زند و خیابان انقلاب تا باسکول نادر و از شمال به محدوده‌ای خدماتی طرح تفصیلی ۷۴ محدود می‌گردد.

مشخصات کلکتور فتوولتائیک مورد استفاده در پژوهش

در این پژوهش به منظور بررسی میزان مصرف انرژی در ساختمان‌های درمانی در شبیه‌سازی انرژی از سلول‌های فتوولتائیک استفاده شده است. باتوجه به ابعاد موجود در بازار و با مراجعه به کاتالوگ‌های شرکت‌های ایرانی در ادامه به معرفی کامل سلول فتوولتائیک استفاده شده در این پژوهش پرداخته می‌شود.



شکل ۵- مشخصات سلول فتوولتائیک استفاده شده در پژوهش، منبع: نگارندگان

Figure 5. Specifications of the photovoltaic cell used in the research, source: authors

جدول ۳- مشخصات سلول فتوولتائیک استفاده شده در پژوهش، منبع: نگارندگان

Typical electrical characteristics		
Models	YLxxxP-29b (xxx=Pmax)	
Power tolerance (%)	±۵	±۵
Max. Power (pmax) (w)	۱۰	۱۲
Optimum operating voltage (vmp/v)	۱۸/۹۲	۲۰/۱۲
Optimum operating current (imp/a)	۰/۶۱	۰/۷۳
Open-circuit voltage (voc/v)	۲۱/۶۰	—
Short-circuit current (isc/a)	۰/۷۱	۰/۷۷
Cells efficiency (%)	۱۸/۳	۲۰/۰۱

Table 3. Specifications of the photovoltaic cell used in the research

یافته های پژوهش

مدل سازی شبیه سازی مسئله

یکی از ظرفیت های مواد تغییرفازدهنده برای ذخیره انرژی خورشیدی در ساختمان هایی است که قابلیت جمع آوری انرژی خورشیدی با استفاده از گردآورنده های خورشیدی را دارا هستند. در صورت استفاده از مواد تغییرفازدهنده در چنین سیستم هایی، میتوان حجم بالایی از انرژی خورشیدی را در طول ساعات روز ذخیره نموده و در طول ساعات شب از همین انرژی برای گرمایش استفاده نمود. با توجه به تحقیقات گسترده صورت گرفته بر روی مواد تغییرفازدهنده در ساختمان طی دهه های اخیر، مدل سازی ریاضی این گونه سیستم ها نیز در موارد گوناگون انجام شده است. مدل سازی ریاضی سیستم های ذخیره انرژی از طریق ماده تغییر فازدهنده با هدف

انتخاب بهترین نوع ماده یاد شده و طراحی بهینه سیستم صورت میگیرد. در یک مقاله مروری که توسط ورما و همکارانش ارائه گردید، یک جمع بندی و مرور کلی بر روی روش های شبیه سازی و مدل سازی سیستم های حاوی مواد تغییر فاز دهنده ارائه شده است.

انرژی ذخیره شده مورد نیاز از سیستم به همراه جرم PCM مورد نیاز و ظرفیت گرمای نهان از PCM از معادله زیر محاسبه می گردد (۲۹):

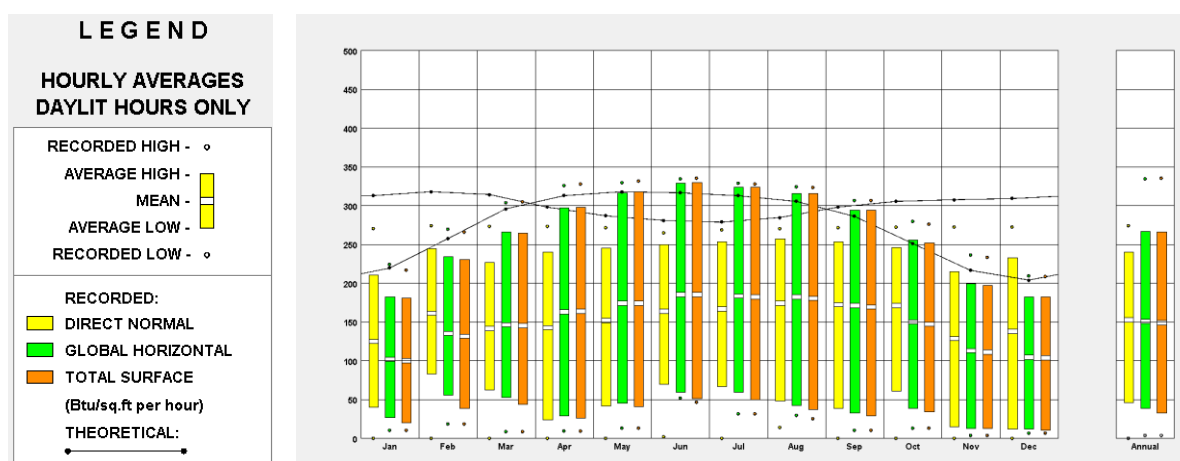
$$E_{PCM} = V_{PCM} \cdot \rho_{PCM}$$

شرح سیستم پیشنهادی

با توجه به کاربرد PCM ها در ایجاد شرایط آسایش حرارتی، میتوان از PCM هایی که دارای نقطه ذوب متناسب با دمای

با نقطه ذوب ۲۸ درجه سانتی گراد دمای اتاق را از ۵/۳۸ درجه سانتی گراد به ۲/۳۷ کاهش داده است. بیشترین ویژگی PCM ها برای بهبود آسایش حرارتی در ساختمان؛ دمای ذوب محدوده دمای انتقال و گرمای نهان است. طبق شکل ۲ همان طور که محدوده میانگین دمای روزانه شهر شیراز ۱۷ تا ۳۰ درجه سانتی گراد میباشد همچنین میانگین دمای روز گرم ترین ماه سال در این اقلیم ۳۰ درجه سانتی گراد میباشد.

اقلیم شهرها، که در محدوده بین ۱۸ تا ۳۴ درجه سانتی گراد هستند را استفاده نمود. از این رو مواد تغییر فاز دهنده میتوانند برای بهبود پتانسیل تهویه طبیعی سیستم های سرمایش غیر فعال به ویژه در اقلیم گرم و خشک استفاده شوند البته زمانی مواد تغییر فاز دهنده حداکثر بازدهی خود را دارند که نقطه ذوب این مواد متناسب با دمای آسایش در گرمترین ماه سال آن منطقه باشد. در تحقیقی نیز بیان شده که PCM



شکل ۶- نمودار تابش سالانه شهر شیراز مستخرج از نرم افزار Climate Consultant، منبع: نگارندگان

Figure 6. The annual radiation diagram of Shiraz city extracted from Climate Consultant software, source: authors

این زمینه نقش مؤثری را ایفا میکنند، دست یابد. در جدول ۴ انواع PCM های مورد استفاده در سرمایش ساختمانی آورده شده است.

سیستم های سرمایشی میتوانند باهدف کاهش، تعادل و پراکندگی گرما در ساختمان ها استفاده شوند با کمک فناوریهای بروز همچون استفاده از مواد تغییر فاز دهنده که در

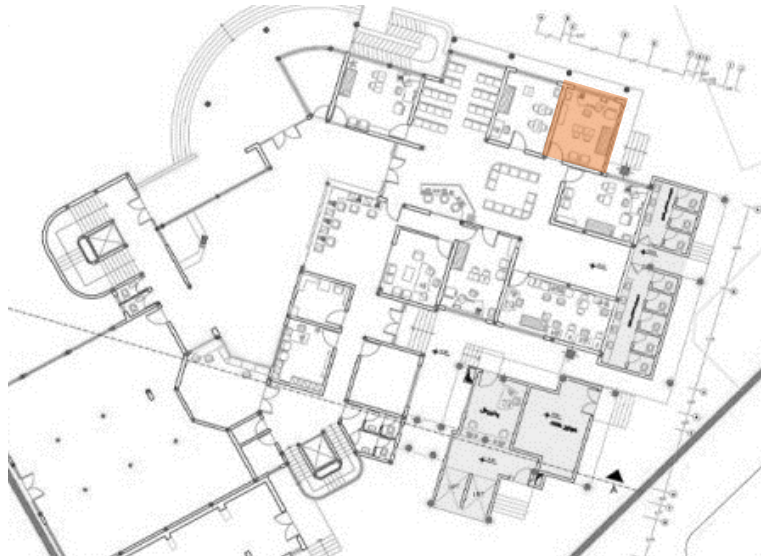
جدول ۴- مشخصات انواع PCM های مورد استفاده در پژوهش

Table 4. Specifications of PCM types used in the research

دمای نهان (سانتی گراد)	نقطه ذوب (سانتی گراد)	مواد تغییر فاز دهنده	مولفه
۱۹۸	۲۱	هیدرات نمک	Na2SO4.10H2O
۱۷۲	۲۰-۲۲	پارافین	RT20
۱۸۰	۲۷	ترکیب شده	SP 27 A 8

مدل پایه انتخاب شده است که در شکل ۷ نشان داده شده است.

باتوجه به مطالب گفته شده، در ادامه به شبیه سازی در نرم افزار دیزاین بیلدر پرداخته می شود، باتوجه به بیمارستان انتخابی در شهر شیراز و باتوجه به محدودیت های آنالیز در نرم افزار برای بررسی یک اتاق از اتاق های بیمارستان به عنوان

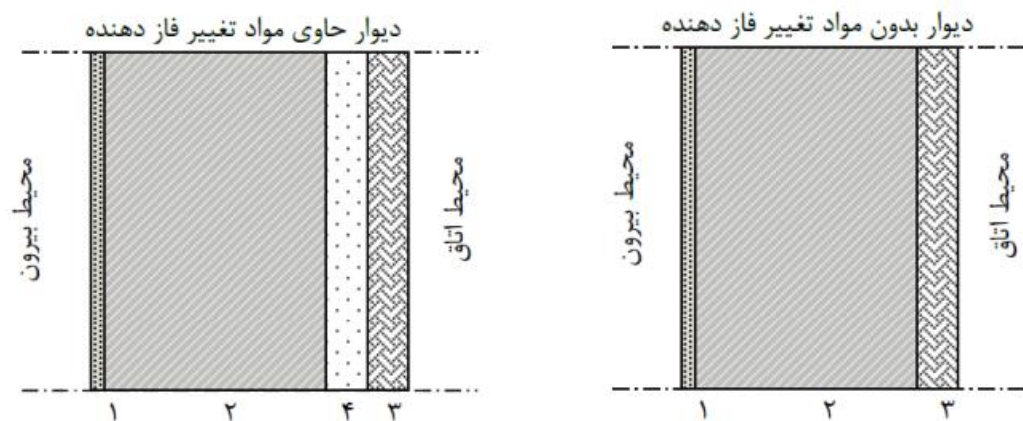


شکل ۷- پلان طبقه همکف بیمارستان خدادوست، انتخاب مدل پایه جهت بررسی و آنالیز

Figure 7. Ground floor plan of Khodadoost Hospital, selection of basic model for review and analysis

حالت بدون مواد تغییر فاز دهنده و با مواد تغییر فاز دهنده نشان می‌دهد. این الگو در ادامه توسط نرم افزار دیزاین بیلدر شبیه سازی شده و در هر دو حالت بررسی شده است.

با توجه به کاربرد ها در ایجاد شرایط آسایش حرارتی، می‌توان از PCM هایی که دارای نقطه ذوب متناسب با دمای اقلیم شهر مورد مطالعه، که در محدوده بین ۱۷ تا ۳۰ درجه سانتی گراد هستند، استفاده نمود. شکل ۸ جزئیات دیوار را در دو

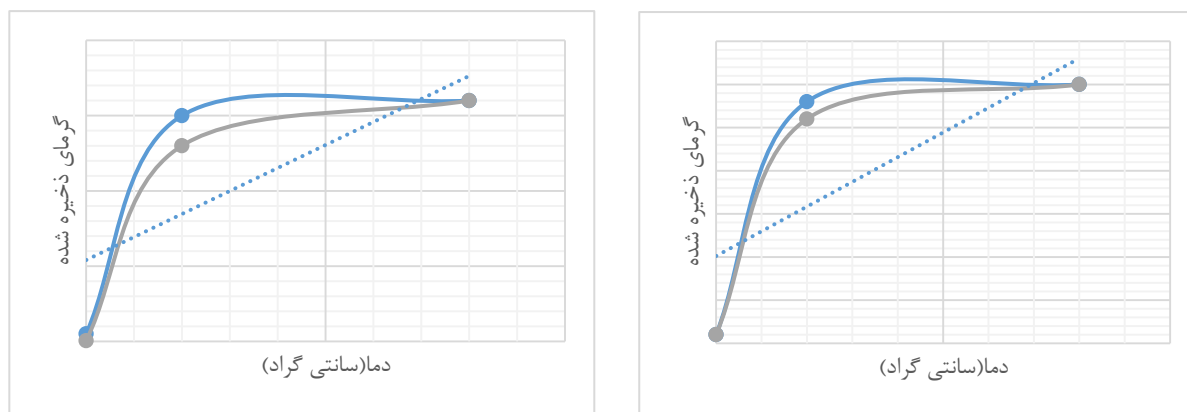


شکل ۸- جزئیات اجرایی دیوارها (۲۹)

Figure 8. Details of the implementation of the walls (29)

دمای آسایش در گرم ترین ماه سال آن منطقه باشد (شکل ۹). آنتالپی مناسب برای مواد تغییر فاز دهنده در اقلیم مورد مطالعه).

از این رو مواد تغییر فاز دهنده می‌توانند برای بهبود پتانسیل تهویه طبیعی سیستم های سرمایش غیرفعال به ویژه در اقلیم گرم و خشک استفاده شوند. البته زمانی مواد تغییر فاز دهنده حداکثر بازدهی خود را دارند که نقطه ذوب این مواد متناسب با

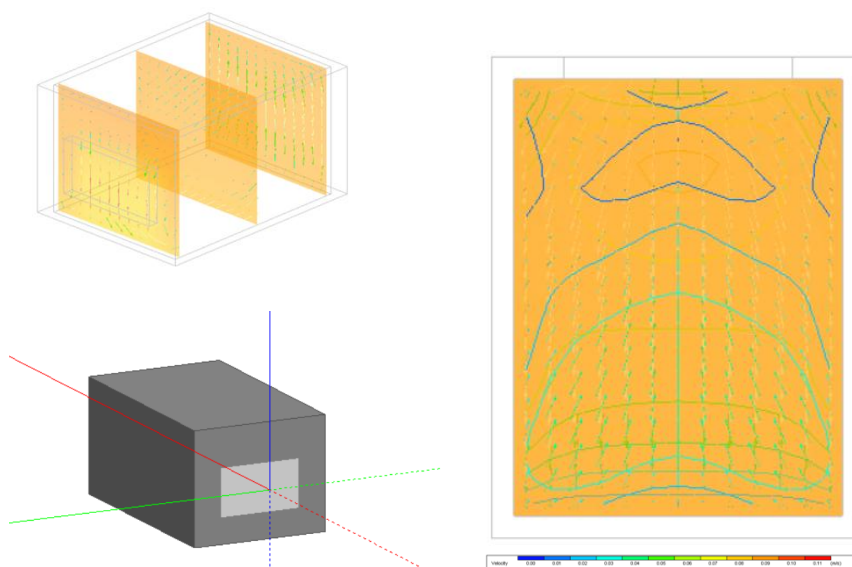


شکل ۹- نمودار آنتالپی برای PCM با نقطه ذوب ۲۴ و ۲۸، منبع: نگارندگان

Figure 9. Enthalpy diagram for PCM with melting point 24 and 28, source: authors

مشخص است میزان نور دریافتی و حرارت داخل اتاق مطابق آنالیز برنامه هرچه به رنگ زرد و قرمز نزدیک تر شود بیش از بازه آسایش حرارتی است.

شکل ۱۰ مدل پایه را بدون در نظر داشتن مواد تغییر فاز دهنده نشان می دهد. همچنین در شکل ۱۰ مدل پایه با پنجره و بدون سایبان فتوولتاییک در نظر گرفته شده است. همان طور که



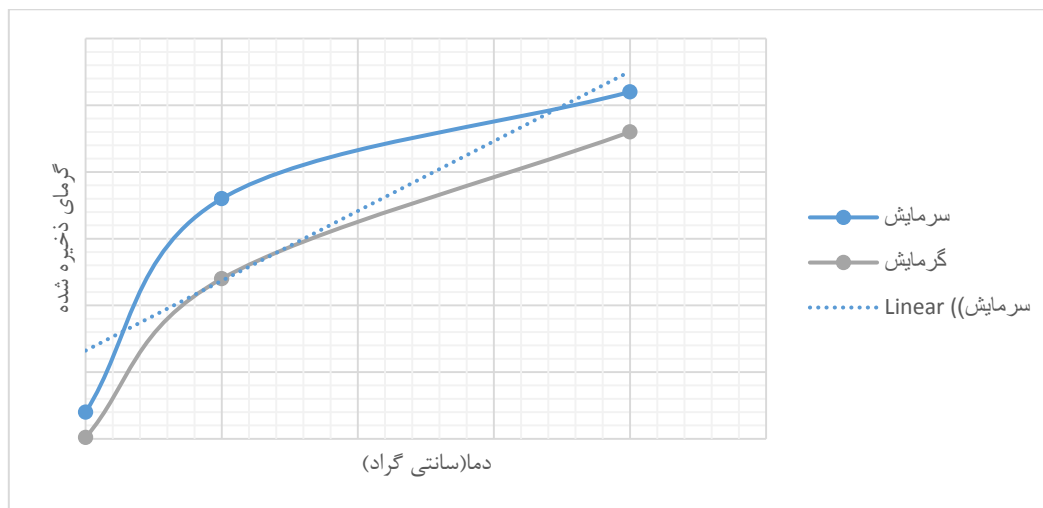
شکل ۱۰- آنالیز مدل پایه براساس اطلاعات اقلیمی شهر شیراز، بدون در نظر داشتن مواد تغییر فاز دهنده و سلول

فتوولتاییک، منبع: نگارندگان

Figure 10. Analysis of the basic model based on the climatic data of Shiraz city, without considering phase change materials and photovoltaic cells, source: authors

سیستم های خنک کننده استفاده کرد که باتوجه به کاربری درمانی فضا و فعالیت دائمی آن هزینه زیادی را در بر می گیرد. از این رو در ادامه باتوجه به مشخصات گفته شده در رابطه با فتوولتاییک ها و مواد PCM به شبیه سازی مدل پایه با فاکتورهای مورد نظر پرداخته می شود.

باتوجه به آنالیز مدل پایه و توضیحات گفته شده شکل ۱۱ محدوده دمایی در این شبیه سازی را نشان می دهد. طبق این نمودار اتاق به صورت عادی و بدون در نظر داشتن مواد تغییر فاز دهنده تمام گرما را به داخل فضا انتقال داده است. این در حالی است که برای رسیدن به سرمایش مورد نیاز باید از

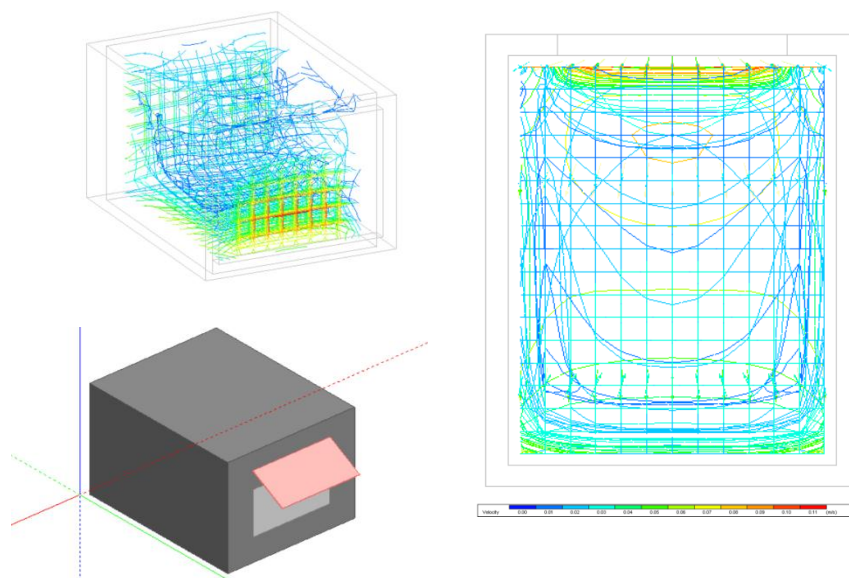


شکل ۱۱- محدوده دما سرمایش و گرمایش، منبع: نگارندگان

Figure 11. Temperature range of cooling and heating, source: authors

زرد و قرمز به طور قابل ملاحظه ای کاهش یافته است. این نشان می دهد مواد تغییر فاز دهنده در هنگام برخورد با گرمای وارد شده باتوجه به اقلیم مورد مطالعه و نوع PCM انتخابی که در نقطه ۲۸ درجه ذوب می شود، ذوب شده و مانع از افزایش بیش از حد دمای داخلی اتاق می شود. از این رو نیاز به تامین سرمایش تا حد قابل توجهی کاهش یافته است.

در این مرحله مدل پایه براساس مشخصات جدول ۳ و ۴ مجدد شبیه سازی شد. همان طور که در شکل ۶ مشخص است، در نظر داشتن سایبانی از جنس فتوولتائیک و همچنین در نظر داشتن PCM ها باعث جریال کامل و یکسان گرمایش و از طرفی کاهش دمای بیش از حد اتاق شده است. همان طور که مشخص است بر خلاف شکل ۱۰ در این تحلیل میزان رنگ های



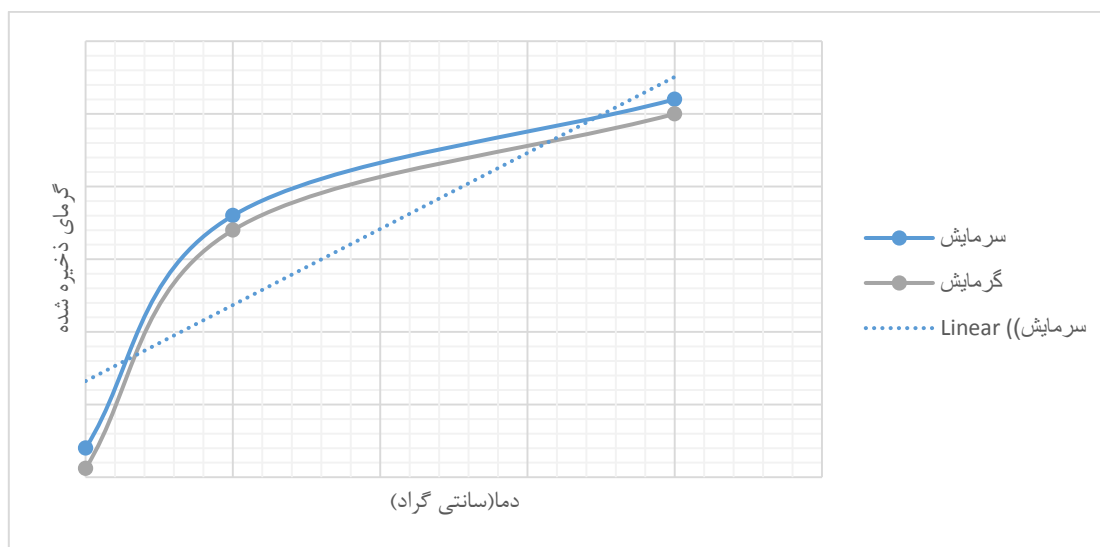
شکل ۱۲- آنالیز مدل پایه براساس اطلاعات اقلیمی شهر شیراز، با در نظر داشتن مواد تغییر فاز دهنده و سلول فتوولتائیک،

منبع: نگارندگان

Figure 12. Analysis of the basic model based on the climatic data of Shiraz city, considering phase change materials and photovoltaic cells, source: authors

های زرد و قرمز به طور قابل ملاحظه ای کاهش یافته است. این نشان می دهد مواد تغییر فاز دهنده در هنگام برخورد با گرمای وارد شده باتوجه به اقلیم مورد مطالعه و نوع PCM انتخابی که در نقطه ۲۸ درجه ذوب می شود، ذوب شده و مانع از افزایش بیش از حد دمای داخلی اتاق می شود. از این رو نیاز به تامین سرمایش تا حد قابل توجهی کاهش یافته است.

در این مرحله مدل پایه براساس مشخصات جدول ۳ و ۴ مجدد شبیه سازی شد. همان طور که در شکل ۱۲ مشخص است، در نظر داشتن سایبانی از جنس فتوولتاییک و همچنین در نظر داشتن PCM ها باعث جریال کامل و یکسان گرمایش و از طرفی کاهش دمای بیش از حد اتاق شده است. همان طور که مشخص است بر خلاف شکل ۱۰ در این تحلیل میزان رنگ



شکل ۱۳- محدوده دما سرمایش و گرمایش، منبع: نگارندگان

Figure 13. Temperature range of cooling and heating, source: authors

کرده و در زمانی که دما از ۲۱ درجه سانتی گراد پایین تر باشد، آن را به محیط پس میدهد. به این شکل دمای محیط را در محدوده آسایش حرارتی در روزهای گرم سال نگه میدارد و به بهبود تهویه طبیعی نیز کمک مینماید (نمودار ۸). در آخر مولفه های به دست آمده از نرم افزار برای ذخیره سازی انرژی توسط مواد تغییر فاز دهنده در جدول ۵ خلاصه شده است.

همان طور که مشخص است PCM با دمای ذوب ۲۸ درجه سانتی گراد که گزینه مناسبتری برای ایجاد شرایط آسایش و تهویه طبیعی میباشد (Neshatsafavi et al. 1399)، با بررسی رفتار و منحنی آنتالپی آن از نظر عملی نیز این نتیجه تأیید شده است. درواقع رفتار این نوع از PCM به PCM ایده آل نزدیکتر میباشد. به طوری که در دمای بالاتر از ۲۸ درجه سانتی گراد تغییر فاز داده و گرمای اضافه را در خود ذخیره

جدول ۵- مولفه های به دست آمده برای ذخیره سازی انرژی، منبع: نگارندگان

Table 5. Components obtained for energy storage, source: authors

مقدار	مولفه
63/38Kw	انتقال حرارت
791kWh	انرژی ذخیره شده
6351kg	جرم PCM
1000kg/m ³	چگالی PCM
361kJ/kg	ظرفیت گرمای نهان PCM
%73/02	VPCM / Vtank
0°C	دمای PCM
394/7m ²	مجموع تبادل سطح

نتیجه گیری

هدف اصلی پژوهش حاضر این بود که از طریق سامانه کلکتورهای فتوولتائیک و مواد تغییر فاز دهنده در اقلیم گرم و خشک میزان اثربخشی بهینه و ذخیره‌سازی انرژی مشخص شود (بهمن ۱۴۰۲). یکی از سیاست مهم بخش انرژی در کشور جایگزینی سوخت های فسیلی با منابع تجدیدپذیر و استفاده از سوخت های با صرفه و مطابق با استانداردهای محیط زیست است. در این مقاله تلاش شده است تا با استفاده از مواد تغییر فاز دهنده در دیوار ها و همچنین بهره مندی از کلکتورهای فتوولتائیک به عنوان سایبان در کاربری درمانی که جز دسته کاربری های دائمی است به میزان قابل توجهی در ذخیره سازی و صرفه جویی انرژی کوشید. در این تحقیق، پس از معرفی مواد تغییر فاز دهنده و چگونگی عملکرد آنها، به نکاتی در ارتباط با چگونگی کاربرد آن در ساختمان و نتایج موثر آن در کاهش مصرف انرژی سرمایش و گرمایش ساختمان پرداخته شده است. نتایج نشان می دهد در زمان اوج مصرف برق، مواد تغییر فاز دهنده به منظور ذخیره سازی برق در قالب انرژی حرارتی گرمای نهان به وسیله منابع حرارتی، ذوب و یا منجمد میشود و در زمان مورد نیاز از آن استفاده میشود. بنابراین اگر سیستم های ذخیره سازی حرارتی گرمای نهان با سیستم های فعال مثل کلکتورهای فتوولتائیک ترکیب شوند، باعث کمک به کاهش اوج بار و کاهش هزینه مصرف برق میشود. فتوولتائیک

ها باعث ذخیره انرژی خورشید شده و کاهش نیاز به روشنایی های مصنوعی که باعث افزایش هزینه های برق می شود بسیار موثر است. مواد تغییر فاز دهنده هم بر اثر دریافت زیاد حرارت ذوب شده و در شرایطی که نیاز به حفظ آسایش حرارتی در داخل فضاست میتواند به میزان قابل توجهی مصرف برق و استفاده از سیستم های خنک کننده را کاهش دهد. فرآیند تغییر فاز در این گونه مواد معمولاً همراه با تبادل حجم بالایی از انرژی است که بدان گرمای نهان تغییر فاز اطلاق می شود. تبادل این حجم بالای گرما به صورت همساز با طبیعت و به طور خودکار و هوشمندانه، مطابق با تغییرات دمای محیط صورت می پذیرد. با توجه به ویژگی های عنوان شده، این مواد به یکی از ظرفیت های خاص ذخیره انرژی در مصارف گوناگون تبدیل شده اند. پژوهش حاضر کوشیده است تا با پاسخ دهی به سوال اصلی خود؛ استفاده از سامانه کلکتورهای فتوولتائیک و مواد تغییر فاز دهنده تا چه میزان بر بهینه سازی و ذخیره سازی انرژی در اقلیم گرم و خشک موثر است؟ به کاربرد هر چه بهتر و مناسب تر مواد تغییر فاز دهنده برای بهبود عملکرد ساختمان کمک کرده و سبب کاهش تقاضای بار سرمایشی، مصرف انرژی، انتشار کربن دی اکسید شده و نیز در فراهم آوردن آسایش حرارتی ساکنین کمک قابل توجه نماید. در صورت انتخاب نوع صحیح این ماده براساس اقلیم منطقه،

7. Ferreira A. Demajorovic J. Hospital Activities: Environmental Impact and Ecoefficiency Strategies. A journal on Intergrated Management of occupational health and the environment. Available at: <http://www.interacehs.sp.senac.br/images/artigos>. [cited 2009 Feb 10]
8. F. Ascione, N. Bianco, C. De Stasio, G. M. Mauro, and G. P. Vanoli, "Multi-stage and multi-objective optimization for energy retrofitting a developed hospital reference building: A new approach to assess cost-optimality," *Appl. Energy*, vol. 174, pp. 37–68, 2016, doi: 10.1016/j.apenergy.2016.04.078.
9. Carbonari, R. Fioretti, M. Lemma, and P. Principi. 2015 "Managing energy retrofit of acute hospitals and community clinics through EPC contracting: The MARTE project.," *Energy*.
10. Deng, W. Prasad, D. Osmond, P. and Li, F. (2011). Quantifying life cycle energy and carbon footprints of China's residential small district. *Journal of Green Building*, 6(4), 96-111
11. Praseeda, K. Venkatarama Reddy, B. and Mani, M. (2016). Embodied and operational energy of urban residential buildings in India. *Energy and Buildings*, 110, 211-216.
12. x. Li, J. Peng, N. Li, M. Wang, C. Wang, Study on Optimum Tilt Angles of Photovoltaic Shading Systems in Different Climatic Regions of China, *Procedia Engineering*, Vol.205, pp. 1157–1164, 2017.
13. Leila Jafari, Seyedeh Mamak Salavatian. (2022). Evaluation of photovoltaic performance integrated

تغییرات دمایی منطقه و متناسب با فصل، می‌توان بدون استفاده از تجهیزات مکانیکی و تنها با استفاده از قابلیت‌های فیزیکی این مواد، کاهشی ۲۰ درصدی در انرژی مصرفی ساختمان داشت.

References

1. Jafarian, Mustafa, Omid, Mahmoud, Khanali, Majid, Mokhtari, Mozafar. (1401). Investigating copper and aluminum oxide nanoparticles on the ability to store thermal energy in the phase change material. *Engineering and energy management*. (In Persian)
2. Rezaei, Moradi (1400). Optimizing electrical energy consumption based on the behavior patterns of residents in a smart home using a data mining algorithm using a smart grid system and renewable energy sources. *Computational basin in electrical engineering*, year 12, numbers two. (In Persian)
3. Soleimani et al. (2019). Optimizing the energy consumption of educational buildings. (In Persian)
4. Santbergen, A., C.C.M Rindt., H.A.Zondag, R.J.Ch. van Zolingen. "Detailed analysis of the energy yield of systems with covered sheet-and-tube PVT collectors." *Solar Energy* 84 (2010):867–878.
5. Demirbas, M. F., "Thermal Energy Storage and Phase Change Materials: an Overview", *Energy Sources, Part B Econ. Planning, Policy*, Vol. 1, No. 1, pp. 85–95, 2006.
6. Riahi, Hajinabi, Agha Mohammadi 2010. The relationship between hospital bed indicators and the amount of electrical energy (electricity) consumption in the hospitals of Alou Medical University in Hamedan

19. Parsons, Ken. Human Thermal Enviroments, Boca Raton, 2014.
20. B. Zalba, B. Sanchez-valverde, J. Marin, An experimental study of thermal energy storage with phase change materials by design of experiments, Journal of Applied Statistics, Vol. 32, pp. 321- 332, 2005.
21. Pohekar, S.D & M. Ramachandran. "Application of Multi-criteria Decision Making to Sustainable Energy Planning - A Review", in Renew. Sustain. Energy Rev., Vol. 8, No. 4 (2004), pp 365-381.
22. Ruya, E. & G. Augenbroe. "Exploring Thermal Comfort Acceptance Criteria in Energy Modeling", in Building Performance Analysis Conference and SimBuild Co organized by ASHRAE and IBPSA-USA Chicago, IL, 2018, pp. 258-265.
23. Kamali, S. Review of free cooling system using phase change Material for building. Energy and Buildings, 80, 131-136, 2014.
24. Mondal, S. Phase change materials for smart textiles–An overview. Applied thermal engineering, 28, 1536-1550, 2008.
25. P. Reddy, M. V. N. Surendra Gupta, S. Nundy, A. Karthick, A.Ghosh, Status of BIPV and BAPV System for Less Energy- Hungry Building in India-Review, Applied Sciences, Vol. 10, No. 7, 2020.
26. Stamatakis, M. Mandalaki, T. Tsoutsos, Multi-criteria analysis for PV integrated in shading devices for Mediterranean region Energy and Buildings, Vol.117, pp. 128–137, 2016.
27. L. Maturi, J. Adami, Building Integrated Photovoltaic (BIPV) in with shading system in optimizing building energy consumption in hot arid climates, 74.
14. Guobing Zhou, Yinping Zhang, Xin Wang, Kunping Lin, Wei Xiao, 2007, "An assessment of mixed type PCMgypsum and shape- stabilized PCM plates in a building for passive solar heating", Solar Energy 81, 1351–1360.
15. Zhang Tao, Xiao Chen, Mu Yang, Xiaoliang Xu, Yan Sun, Yaqiong Li, Jingjing Wang, Ge Wang, Three-dimensional rGO@sponge framework/paraffin wax composite shape-stabilized phase change materials for solar-thermal energy conversion and storage, Solar Energy Materials and Solar Cells, Vol. 215, 110600, 2020.
16. K. Bawaneh, F. G. Nezami, M. Rasheduzzaman, and B. Deken, "Energy consumption analysis and characterization of healthcare facilities in the United States," Energies, 2019, doi: 10.3390/en12193775..(۱۲)
C.Stetiu and H.Feustel, 1998, "Phase change wallboard and mechanical night ventilation in commercial buildings", Lawrence Berkeley National laboratory.
17. Khayavi, Zulfaqari, Marafet, 1397. A review of thermal comfort models, Iranian Journal of Mechanical Engineers Association, year 27, number 120, pages 25-33)
18. Niemelä, T. & R. Kosonen & J. Jokisalo. "Cost-optimal Energy Performance Renovation Measures of Educational Buildings in Cold Climate", in Applied Energy, 183 (1) (2016), pp. 1005-1020.

29. L. Antoine, N. M. Kuehnera, A. T. D. Silvia Coccoloa, N. Pereraa Mohajerla, Jean-Louis Scartezzinia, Extending building integrated photovoltaics (BiPV) using distributed energy hubs. A case study in Cartigny, Switzerland, in International Conference – Future Buildings & Districts – Energy Efficiency from Nano to Urban Scale, CISBAT, Lausanne, Switzerland, 2017.
30. Yoo, S.H., Simulation for an optimal application of BIPV through parameter variation. Solar Energy, Vol.85, No.7, pp.1291-1301, 2011.
- Trentino Alto Adige, Green Energy and Technology, Springer International Publishing, 2018
28. L. Antoine, N. M. Kuehnera, A. T. D. Silvia Coccoloa, N. Pereraa Mohajerla, Jean-Louis Scartezzinia, Extending building integrated photovoltaics (BiPV) using distributed energy hubs. A case study in Cartigny, Switzerland, in International Conference – Future Buildings & Districts – Energy Efficiency from Nano to Urban Scale, CISBAT, Lausanne, Switzerland, 2017.