



مؤسسه آموزش عالی غیردولتی غیرانتفاعی انرژی

عنوان

مطالعه تجربی کاهش مصرف انرژی با بکارگیری ماده تغییر فاز پیرافینی در termo wood
مصرفی داخل و خارج ساختمان

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
در رشته معماری و انرژی

نام دانشجو

مرضیه کوچک پور

استاد راهنما

دکتر مهدی ابدی

استاد مشاور

دکتر حیدر مداح

اردیبهشت ماه ۱۳۹۹



تأییدیه‌ی صحت و اصالت نتایج

باسمه تعالی

اینجانب مرضیه کوچک پور به شماره دانشجویی ۹۷۱۳۵۸۸۰۰۱۵ دانشجوی رشته معماری و انرژی مقطع تحصیلی کارشناسی ارشد تأیید می‌نمایم که کلیه‌ی نتایج این پایان‌نامه/رساله حاصل کار اینجانب و بدون هرگونه دخل و تصرف است و موارد نسخه‌برداری‌شده از آثار دیگران را با ذکر کامل مشخصات منبع ذکر کرده‌ام. در صورت اثبات خلاف مندرجات فوق، به تشخیص دانشگاه مطابق با ضوابط و مقررات حاکم (قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان و قانون ترجمه و تکثیر کتب و نشریات و آثار صوتی، ضوابط و مقررات آموزشی، پژوهشی و انضباطی ...) با اینجانب رفتار خواهد شد و حق هرگونه اعتراض درخصوص احقاق حقوق مکتسب و تشخیص و تعیین تخلف و مجازات را از خویش سلب می‌نمایم. در ضمن، مسئولیت هرگونه پاسخگویی به اشخاص اعم از حقیقی و حقوقی و مراجع ذی‌صلاح (اعم از اداری و قضایی) به عهده‌ی اینجانب خواهد بود و دانشگاه هیچ‌گونه مسئولیتی در این خصوص نخواهد داشت.

نام و نام خانوادگی: مرضیه کوچک پور

امضا و تاریخ:

مجوز بهره‌برداری از پایان‌نامه

بهره‌برداری از این پایان‌نامه در چهارچوب مقررات کتابخانه و با توجه به محدودیتی که توسط استاد راهنما به شرح زیر تعیین می‌شود، بلامانع است:

- ☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله برای همگان بلامانع است.
- ☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله با اخذ مجوز از استاد راهنما، بلامانع است.
- ☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله تا تاریخ ممنوع است.

نام استاد یا اساتید راهنما: دکتر مهدی ابدی - دکتر حیدرمداح

تاریخ:

امضا:

تقدیم به:

همسر مهربانم که حضورش همیشه گرمابخش روح من بوده است.

به پدر و مادر عزیزم به خاطر تمام زحماتی که در طول زندگی همواره
برای پیروزی و شادکامی من به جان خریدند.

تشکر و قدردانی:

از اساتید بزرگوارم

دکتر مهدی ابدی و دکتر حیدر مداح که با راهنمایی‌های دلسوزانه خودشان، من را در تکمیل این تحقیق یاری کردند، تشکر می‌کنم.

چکیده

در سال های اخیر مطالعات تجربی ، آنالیزی و عددی فراوانی در زمینه افزایش بازده انتقال حرارت دستگاه ها با رویکرد صرفه جویی اقتصادی صورت گرفته است. راهکارهای متداول برای این امر، افزایش شدت جریان سیال و افزایش سطح تماس جامد و سیال است. از طرفی ذخیره سازی انرژی گرمایی به دلیل آلودگی های زیست محیطی کمتر، یک راه مهم و عملی در نگهداری از انرژی و بهبود کارایی آن است. مواد تغییر فاز دهنده دارای بالاترین ظرفیت ذخیره سازی گرما هستند؛ اما به دلیل خاصیت هدایت حرارتی پایین کاربرد محدودی دارند. استفاده از صفحه ترموود متخلخل به همراه مواد تغییر فاز دهنده به عنوان راهکاری جهت افزایش هدایت حرارتی این مواد ارائه می شود. صفحه هات ترموود یکی از پیشرفته ترین موادی هستند که با توجه به تنوع کاربرد آن ها مورد توجه محققین و مصرف کنندگان قرار گرفته اند. این تنوع کاربرد، به واسطه ساختار سلولی است. نوع سلول آنها باز درمقایسه با سلول بسته، به واسطه ساختار مناسب، هدایت حرارتی و نفوذپذیری بالاتری دارند. در این تحقیق به آنالیز با کمک نرم افزار و آزمایشات انتقال حرارت صفحات ترموود و مواد تغییر فاز دهنده در چهار حالت مختلف به صورت تجربی مورد مطالعه قرار گرفته و سپس نتایج با یکدیگر مقایسه شده است. برای آنالیز نرم افزاری مجموعه ای با استانداردها بین المللی طراحی شده سپس با کمک نرم افزارهایی همچون رویت ، دیزاین بیلدر ، گرین هوس اتودیو ، اینسایت به بررسی حجم نمونه در موقعیت مکانی تهران پرداخته شد و حجم خام و حجم با استفاده از ترموود در این موقعیت مکانی تجزیه و تحلیل شد که نشان دهنده تاثیر حدود ۱۱۸ واحد اشربود برای ساخت مدل آزمایشگاهی مورد مطالعه از ماده تغییر فاز دهنده جنس پارافین-RT ۵۵ و دو قطعه ترموود سلول باز از استفاده شده است. نتایج بدست آمده نشان داد که اثر همزمان گرمای نهان بالای پارافین-RT ۵۵ و نسبت سطح به حجم بالای صفحه در شرایط ثابت آزمایش، باعث کاهش بیشتر دمای سطحی صفحه نسبت به سایر حالت های آزمایش می شود. صفحه فرآیند ذوب و انجماد را در مواد تغییر فاز دهنده یکنواخت تر و از طرفی فرآیند تغییر فاز را در این مواد سرعت می بخشد.

کلمات کلیدی : ترموود - انرژی - پارافین - تغییر فاز دهنده

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل ۱:.....	۱
مقدمه.....	۱
۱-۱. مقدمه.....	۲
۱-۲. بیان مسئله.....	۴
۱-۳. اهداف تحقیق.....	۵
۱-۴. سوالات اصلی تحقیق.....	۵
۱-۵. فرضیات.....	۵
فصل ۲: مروری بر منابع.....	۶
۲-۱. مقدمه.....	۷
۲-۲. تعاریف، اصول و مبانی نظری.....	۷
۲-۲-۱. تغییر فازدهنده‌ها.....	۷
۲-۲-۱-۱. خصوصیات و دسته‌بندی مواد تغییر فازدهنده.....	۱۲
۲-۲-۱-۱-۲. مواد تغییر فازدهنده آلی.....	۱۳
۲-۲-۱-۲-۲. مواد تغییر فازدهنده غیرآلی.....	۱۵
۲-۲-۱-۲. روش‌های استفاده از تغییر فازدهنده‌ها برای عملکردهای مختلف.....	۱۶
۲-۲-۱-۳. کاربرد مواد تغییر فازدهنده در عملکردها.....	۱۷
۲-۲-۲. مکانیزم‌های مختلف ذخیره‌سازی انرژی.....	۱۷
۲-۲-۲-۱. روش‌های عایق بندی ساختمان در گذشته.....	۱۸
۲-۲-۲-۲. روش شناسایی منابع اتلاف انرژی در ساختمان‌های مسکونی.....	۱۹
۲-۲-۲-۳. ذخیره‌سازی انرژی حرارتی در ساختمان‌ها.....	۲۰

۲۳	۳-۲-۲. مواد تغییر فاز دهنده در ساختمان‌ها
۲۳	۴-۲-۲. ترمو وود و مباحث پیرامون آن
۲۶	۳-۲. پیشینه پژوهش
۲۹	۴-۲ - جمع‌بندی و خلاصه فصل دوم
۳۰	فصل ۳: روش تحقیق
۳۱	۱-۳. مقدمه
۳۲	۲-۳. روش تحقیق
۳۲	۱-۲-۳. تحقیقات توصیفی _ تحلیلی
۳۳	۱-۲-۳. علت انتخاب روش
۳۳	۲-۳. روش گردآوری اطلاعات (میدانی، کتابخانه ای و غیره):
۳۳	۳-۳. ابزار گردآوری اطلاعات
۳۳	۴-۳. روش تحقیق آزمایشگاهی
۳۴	۵-۳. روش تجزیه و تحلیل اطلاعات
۳۴	۶-۳ - روند کار
۳۷	فصل ۴: نتایج و تفسیر آنها
۳۸	۱-۴. مقدمه
۴۱	۲-۴ - بارهای انرژی
۴۴	۳-۴ - بررسی ساختمان در حالت اولیه
۴۶	۴-۴ - مدل های استفاده از PCM در دیوار ساختمان
۵۲	۴-۴-۱ - داده های ورودی شبیه سازی
۵۵	۴-۵ - ارزیابی نتایج عددی
۵۵	۴-۵-۱ - سقف
۵۸	۴-۵-۲ - دیوار
۶۰	۴-۵-۳ - اثر ضخامت PCM بر دمای سقف

۴-۵-۴	تاثیر ماده ی تغییر فاز دهنده بر دمای داخلی سقف	۶۱
۴-۵-۴-۱	فصل بهار	۶۱
۴-۵-۴-۲	فصل تابستان	۶۲
۴-۵-۴-۳	فصل پاییز	۶۲
۴-۵-۴-۴	زمستان	۶۳
۴-۵-۵	اثر شرایط آب و هوایی بر دمای لایه ی PCM	۶۵
۴-۵-۶	نتایج شبیه سازی دیوار	۶۶
۴-۵-۶-۱	نتایج کاربرد PCM در شش ماهه ی اول سال	۶۶
۴-۵-۶-۲	مقایسه ی صرفه جویی حرارتی در دیوار با جهت گیری های متفاوت	۶۸
۴-۵-۶-۳	نتایج استفاده از PCM در شش ماهه ی دوم سال در دیوار	۷۰
۴-۶-۶	تحلیل اعدادی	۷۲
۴-۶-۱	نتایج دمای سطح صفحه ترموود	۷۲
۴-۶-۲	نتایج دمای خروجی از کانال هوا	۸۵
۴-۶-۳	نتایج دمای سرد سازی پارافین	۸۵
۴-۷-۷	تحلیل نمودارها	۹۳
۴-۷-۱	نمودارهای دمای سطح صفحه ترموود	۹۳
۴-۷-۷	پیشنهادهای برای ارتقاء ساختمان	۹۸
۴-۷-۷	نتیجه گیری	۱۰۲
فصل ۵:	جمع بندی و پیشنهاد ها	۱۰۳
۵-۱-۱	نتیجه گیری	۱۰۴
۵-۱-۱-۱	نتایج برنامه رویت ، اینسایت و گرین هوس بولدینگ	۱۰۵
۵-۱-۲	نتایج برنامه دیزاین بیلدر	۱۰۵
۵-۱-۲-۱	نتایج شبیه سازی سقف	۱۰۶
۵-۱-۲-۲	نتایج شبیه سازی دیوار	۱۰۶

- ۵- ۱- ۳- نتایج تجربی ۱۰۶
- ۵-۲- تهران ۱۰۷
- ۵- ۲- ۱- موقعیت جغرافیایی شهر و اطراف آن ۱۰۷
- ۵-۲-۲- آثار تاریخی شهر ۱۰۸
- ۵-۲-۳- مطالعات محیطی ۱۱۰
- ۵- ۲- ۳- ۱- عوامل طبیعی ۱۱۰
- ۵- ۲- ۳- ۲- عوامل اقلیمی ۱۱۴
- ۵- ۲- ۳- ۳- راه های ارتباطی ۱۱۹
- ۵-۲-۴- وضع فعالیت ۱۲۰
- ۵- ۱- ۴- ۱- پیش بینی نقش و روند اقتصادی تهران در آینده ۱۲۲
- ۵- ۲- ۵- مطالعات جمعیتی ۱۲۴
- ۵- ۲- ۵- ۱- وضع جمعیت در گذشته و حال ۱۲۴
- ۵-۲-۵-۲- ترکیب جنسی جمعیت ۱۲۶
- منابع ۱۲۸

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل ۱-۲: گرمای نهان بالا مواد تغییر فاز دهنده (قاسمی و پیرکندی، ۱۳۸۸).....	۹
شکل ۲-۲: آمار ارائه شده از مصرف انرژی در جهان (مجله انرژی جهان).....	۱۱
شکل ۳-۲: آمار ارائه شده از مصرف انرژی اروپا (مجله انرژی جهان).....	۱۲
شکل ۴-۲: طبقه‌بندی مواد تغییر فاز دهنده (امیدی و افلاکی، ۱۳۹۸).....	۱۶
شکل ۵-۲: مواد تغییر فاز دهنده با حالت پودری شکل ۲-۶: مواد تغییر فاز دهنده با حالت مایع.....	۲۱
شکل ۷-۲: مواد تغییر فاز دهنده با حالت خمیری.....	۲۱
شکل ۸-۲: شماتیک نحوه نصب یک سیستم ذخیره کننده حرارتی در ساختمان.....	۲۲
شکل ۱-۳: نمونه آزمایشگاهی ساخته شده.....	۳۶
شکل ۱-۴: خلاصه مشخصات ساختمان دیزاین شده.....	۳۸
شکل ۲-۴: مشخصات میزان سرما و گرمای مصرفی بخش های مختلف ساختمان.....	۳۹
شکل ۳-۴: مشخصات تجهیزات مرتبط با هوا در ساختمان دیزاین شده.....	۳۹
شکل ۴-۴: مشخصات سازه ای در ساختمان دیزاین شده.....	۴۰
شکل ۵-۴: شرایط دمایی مطلوب در اقلیم مورد نظر.....	۴۰
شکل ۶-۴: نمودار میزان مصرف انرژی الکتریکی در ساختمان دیزاین شده.....	۴۰
شکل ۷-۴: نمودار میزان بار گرمایی ماهانه در ساختمان دیزاین شده.....	۴۱
شکل ۸-۴: نمودار میزان بار سرمایی ماهانه در ساختمان دیزاین شده.....	۴۱
شکل ۹-۴: نمودار میزان انرژی الکتریکی مصرفی سالانه در ساختمان دیزاین شده.....	۴۲
شکل ۱۰-۴: نمودار میزان مصرف ماهانه سوخت و الکتریسیته در ساختمان دیزاین شده.....	۴۲
شکل ۱۱-۴: نمودار میزان هزینه انرژی برحسب دلار آمریکا در ساختمان دیزاین شده.....	۴۳
شکل ۱۲-۴: نمودار بررسی عامل نور در ساختمان دیزاین شده.....	۴۳
شکل ۱۳-۴: نمودار بررسی عامل جهت گیری در ساختمان دیزاین شده.....	۴۴

- شکل ۴-۱۴: نمودار بررسی عامل نفوذ پذیری در ساختمان دیزاین شده ۴۴
- شکل ۴-۱۵: نمودار بررسی عامل پنجره های شیشه ای در ساختمان دیزاین شده ۴۵
- شکل ۴-۱۶: نمودار بررسی عامل سازه سقف در ساختمان دیزاین شده ۴۵
- شکل ۴-۱۷: نمودار بررسی عامل سازه دیوار در ساختمان دیزاین شده ۴۶
- شکل ۴-۱۸: مقایسه ی دمای داخلی دیوار ۴۷
- شکل ۴-۱۹: مقایسه ی دمای داخلی دیوار با ضخامت های مختلف PCM ۴۷
- شکل ۴-۲۰: مقایسه ی موقعیت PCM در دیوار ۴۸
- شکل ۴-۲۱: اجزای دیوار ۴۸
- شکل ۴-۲۲: دمای دیوار بدون PCM بر حسب ضخامت دیوار ۴۹
- شکل ۴-۲۳: دمای دیوار با لایه ی PCM بر حسب ضخامت نتایج نشان دهنده ی کاهش نوسانات دمایی مخصوصا در فصل زمستان است. ۴۹
- شکل ۴-۲۴: مقایسه نتایج شبیه سازی دیوار شرقی با نرم افزار انرژی پلاس و داده های تجربی ۵۰
- شکل ۴-۲۵: مقایسه ی شار گرمایی دیوار با PCM بدون PCM ۵۰
- شکل ۴-۲۶: مقایسه ی دمای داخلی دیوار با PCM و بدون PCM ۵۱
- شکل ۴-۲۷: نوسانات دمای داخلی سقف در سه ساختار ۵۱
- شکل ۴-۲۸: مقایسه ی دمای داخلی در حالت استفاده از PCM و بدون استفاده از ۵۲
- شکل ۴-۲۹: انرژی مصرفی برای خنک سازی خانه در دو حالت با PCM و بدون PCM (دمای آسایش ۲۵ درجه سانتی گراد) ۵۲
- شکل ۴-۳۰: مقایسه ی نتایج حاصل از شبیه سازی سقف ۵۶
- شکل ۴-۳۱: شبیه سازی سقف ۱ سانت با PCM ۵۷
- شکل ۴-۳۲: شبیه سازی سقف ۳ سانت با PCM ۵۷
- شکل ۴-۳۳: مقایسه ی شبیه سازی دمای داخلی دیوار شامل PCM ۵۸
- شکل ۴-۳۴: مقایسه ی و شبیه سازی دیوار بدون PCM ۵۸
- شکل ۴-۳۵: شرایط آب و هوایی تهران در طول یکسال ۵۹
- شکل ۴-۳۶: مقایسه ی دمای داخلی سقف در تیر ماه برای ضخامت های مختلف PCM در شهر تهران ... ۶۰

- شکل ۴-۳۷: مقایسه ی دمای داخلی سقف با PCM و سقف مرجع در شهر تهران- دوره ی بهاره ۶۱
- شکل ۴-۳۸: مقایسه ی دمای داخلی سقف با PCM و سقف مرجع در دوره ی تابستانه ۶۲
- شکل ۴-۳۹: مقایسه ی دمای داخلی سقف با PCM و سقف مرجع در سه ماه پاییز ۶۳
- شکل ۴-۴۰: مقایسه ی دمای داخلی سقف با PCM و سقف مرجع در زمستان ۶۳
- شکل ۴-۴۱: مقایسه ی شارحرارتی آبی دریافتی سقف در طول تابستان ۶۴
- شکل ۴-۴۲: مقایسه ی شار حرارتی آبی دریافتی سقف در طول تابستان ۶۴
- شکل ۴-۴۳: مقایسه ی دمای خارجی سقف در سقف با PCM و سقف مرجع در خرداد ماه ۶۵
- شکل ۴-۴۴: تغییرات دمای PCM در طول سقف در ساعات مختلف ۶۶
- شکل ۴-۴۵: مقایسه ی دمای داخلی دیوار جنوبی در شش ماه ی اول سال ۶۷
- شکل ۴-۴۶: مقایسه ی دمای داخلی دیوار شرقی در شش ماه ی اول سال ۶۷
- شکل ۴-۴۷: مقایسه ی دمای داخلی دیوار شمالی در شش ماهه ی اول سال ۶۸
- شکل ۴-۴۸: ذخیره ی حرارتی استفاده از PCM در دیوار جنوبی ۶۸
- شکل ۴-۴۹: ذخیره ی حرارتی استفاده از PCM در دیوار شرقی ۶۹
- شکل ۴-۵۰: ذخیره ی حرارتی استفاده از PCM در دیوار شمالی ۶۹
- شکل ۴-۵۱: مقایسه ی دمای داخلی دیوار جنوبی در شش ماه ی دوم سال ۷۰
- شکل ۴-۵۲: مقایسه ی دمای داخلی دیوار شرقی در شش ماه ی دوم سال ۷۱
- شکل ۴-۵۳: مقایسه ی دمای داخلی دیوار شمالی در شش ماه ی دوم ۷۱
- شکل ۴-۵۴: دمای سطح نقطه ۶ صفحه ترموود نسبت به زمان در سرعت $2/5 \text{ m/s}$ جریان هوا و ۴۵ وات ۹۳
- شکل ۴-۵۵: دمای سطح نقطه ۶ صفحه ترموود نسبت به زمان در سرعت $2/5 \text{ m/s}$ جریان هوا و ۹۰ وات ۹۳
- شکل ۴-۵۶: دمای نقاط ابتدایی و انتهایی صفحه حالت اول نسبت به زمان در سرعت $2/5 \text{ m/s}$ جریان هوا و ۴۵ وات ۹۴
- شکل ۴-۵۷: دمای نقطه ۶ صفحه ترموود در حالت اول آزمایش (سرعت جریان هوا $2/5 \text{ m/s}$ جریان هوا ۹۴
- شکل ۴-۵۸: دمای سطح نقطه ۶ صفحه ترموود با سرعت های متفاوت در حالت اول آزمایش با توان ۹۰ وات ۹۵
- شکل ۴-۵۹: تغییرات دمای نقاط با تغییرات سرعت جریان هوا در حالت اول آزمایش با توان ۹۰ وات ۹۵

- شکل ۴-۶۰: سردسازی دمای نقطه ۶ صفحه ترموود با تغییرات سرعت هوا در ۹۰ وات ۹۶
- شکل ۴-۶۱: سردسازی دمای سطح با در حالت های اول و سوم در سرعت $2/5 \text{ m/s}$ جریان هوا و ۴۵ وات ۹۶
- شکل ۴-۶۲: سردسازی دمای سطح با در حالت های اول در سرعت $2/5 \text{ m/s}$ ۹۷
- شکل ۴-۶۳: تغییرات افت فشار نسبت به سرعت جریان هوا در حالت های مختلف آزمایش ۹۷
- شکل ۴-۶۴: استفاده از انرژی فتوولتائیک در ساختمان دیزاین شده ۹۸
- شکل ۴-۶۵: دوره بازگشت سرمایه در ساختمان دیزاین شده ۹۹
- شکل ۴-۶۶: تاثیر سایبان در ساختمان دیزاین شده ۹۹
- شکل ۴-۶۷: ساختار دیوار پیشنهادی در ساختمان دیزاین شده ۱۰۰
- شکل ۴-۶۸: سیستم تاسیسات پیشنهادی در ساختمان دیزاین شده ۱۰۰
- شکل ۴-۶۹: نوع پنجره پیشنهادی در ساختمان دیزاین شده ۱۰۱
- شکل ۴-۷۰: برنامه زمانی پیشنهادی در ساختمان دیزاین شده ۱۰۱
- شکل ۵-۱: نقشه آماری شهر تهران (۱۳۹۵) ۱۰۸
- شکل ۵-۲: نسبت بافت تاریخی ارزشمند (۱۳۸۵) ۱۱۰
- شکل ۵-۳: ناهمواری های استان تهران (۱۳۸۵) ۱۱۱
- شکل ۵-۴: پراکندگی گسل های منطقه تهران ۱۱۲
- شکل ۵-۵: حوضه های آبریز استان (۱۳۸۵) ۱۱۳
- شکل ۵-۶: محدوده سیلابی با دوره بازگشت صد ساله ۱۱۴
- شکل ۵-۷: تغییرات میانگین حداقل های دما در دوره سرد سال ۱۱۵
- شکل ۵-۸: تغییرات میانگین حداکثرهای دما در دوره گرم سال ۱۱۵
- شکل ۵-۹: تغییرات مکانی تعداد روزهای همراه با هوای صاف تا کمی ابری ۱۱۶
- شکل ۵-۱۰: تغییرات مکانی بارش سالانه ۱۱۶
- شکل ۵-۱۱: تغییرات مکانی تعداد روزهای همراه با بارش ۱۱۶
- شکل ۵-۱۲: میانگین سالانه میزان بارندگی هوا ایستگاه های سینوپتیک هواشناسی شهر تهران در سال ۹۰ ۱۱۷

شکل ۵-۱۳: میانگین درصد تغییرات ماهانه رطوبت نسبی کمینه و بیشینه در ایستگاه مهرآباد..... ۱۱۷

شکل ۵-۱۴: میانگین سالانه ساعات آفتابی ایستگاه های سینوپتیک هواشناسی شهر تهران در سال ۹۰... ۱۱۹

شکل ۵-۱۵: مردان و زنان در واحدهای صنعتی دوشادوش هم کار می کنند..... ۱۲۱

شکل ۵-۱۶: افراد به کار گمارده شده و تعداد فرصت های شغلی ۱۳۹۵..... ۱۲۲

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۲: مقایسه بین خصوصیات چهار ماده (امیدی نسب و همکاران، ۱۳۹۴).....	۸
جدول ۲-۲: خصوصیات مهم و تاثیرگذار مواد تغییرفازدهنده (شارما و همکاران، ۲۰۰۹).....	۱۲
جدول ۳-۲: محاسن و معایب مواد تغییرفازدهنده (سریر و اندر، ۲۰۱۲).....	۱۴
جدول ۴-۲: معایب و محاسن مواد آلی پارافینی و غیرپارافینی.....	۱۴
جدول ۱-۴: مقدار متوسط داده های ورودی برای سقف در تهران.....	۵۳
جدول ۲-۴: تابش خورشیدی بر دیوار با جهت های مختلف در تهران.....	۵۴
جدول ۳-۴: تابش خورشیدی بر دیوار با جهت های مختلف در تهران.....	۵۵
جدول ۴-۴: شاخص پراکندگی نتایج شبیه سازی از نتایج تجربی.....	۵۶
جدول ۴-۵: کلیه آزمایشات دمای نقاط صفحه ترموود.....	۷۲
جدول ۴-۶: نتایج دمای نقاط صفحه ترموود(شرایط سرعت $45,2 \text{ m/s}$ ، وات ، حالت اول).....	۷۳
جدول ۴-۷: نتایج دمای نقاط صفحه ترموود(شرایط سرعت $45, 2/5 \text{ m/s}$ ، وات ، حالت اول).....	۷۳
جدول ۴-۸: نتایج دمای نقاط صفحه ترموود(شرایط سرعت $45, 3 \text{ m/s}$ ، وات ، حالت اول).....	۷۴
جدول ۴-۹: نتایج دمای نقاط صفحه ترموود(شرایط سرعت $45, 2 \text{ m/s}$ ، وات ، حالت دوم).....	۷۴
جدول ۴-۱۰: نتایج دمای نقاط صفحه ترموود(شرایط سرعت $45, 2/5 \text{ ms}$ ، وات ، حالت دوم).....	۷۵
جدول ۴-۱۱: نتایج دمای نقاط صفحه ترموود(شرایط سرعت $45, 3 \text{ m/s}$ ، وات ، حالت دوم).....	۷۵
جدول ۴-۱۲: نتایج دمای نقاط صفحه ترموود(شرایط سرعت $45, 2 \text{ m/s}$ ، وات ، حالت سوم).....	۷۶
جدول ۴-۱۳: نتایج دمای نقاط صفحه ترموود(شرایط سرعت $45, 2/5 \text{ ms}$ ، وات ، حالت سوم).....	۷۶
جدول ۴-۱۴: نتایج دمای نقاط صفحه ترموود(شرایط سرعت $45, 3 \text{ m/s}$ ، وات ، حالت سوم).....	۷۷
جدول ۴-۱۵: نتایج دمای نقاط صفحه ترموود(شرایط سرعت $45, 2 \text{ m/s}$ ، وات ، حالت چهارم).....	۷۷
جدول ۴-۱۶: نتایج دمای نقاط صفحه ترموود(شرایط سرعت $45, 2/5 \text{ ms}$ ، وات ، حالت چهارم).....	۷۸
جدول ۴-۱۷: نتایج دمای نقاط صفحه ترموود(شرایط سرعت $45, 3 \text{ m/s}$ ، وات ، حالت چهارم).....	۷۸
جدول ۴-۱۸: نتایج دمای نقاط صفحه ترموود(شرایط سرعت $45, 2 \text{ m/s}$ ، وات ، حالت اول).....	۷۹

جدول ۴- ۱۹: نتایج دمای نقاط صفحه ترموود (شرایط سرعت ۲/۵ms ، ۹۰ وات ، حالت اول).....	۷۹
جدول ۴- ۲۰: نتایج دمای نقاط صفحه ترموود (شرایط سرعت ۳ m/s ، ۹۰ وات ، حالت اول).....	۸۰
جدول ۴- ۲۱: نتایج دمای نقاط صفحه ترموود (شرایط سرعت ۲ m/s ، ۹۰ وات ، حالت دوم).....	۸۰
جدول ۴- ۲۲: نتایج دمای نقاط صفحه ترموود (شرایط سرعت ۲/۵ms ، ۹۰ وات ، حالت دوم).....	۸۱
جدول ۴- ۲۳: نتایج دمای نقاط صفحه ترموود (شرایط سرعت ۳ m/s ، ۹۰ وات ، حالت دوم).....	۸۱
جدول ۴- ۲۴: نتایج دمای نقاط صفحه ترموود (شرایط سرعت ۲ m/s ، ۹۰ وات ، حالت سوم).....	۸۲
جدول ۴- ۲۵: نتایج دمای نقاط صفحه ترموود (شرایط سرعت ۲/۵ms ، ۹۰ وات ، حالت سوم).....	۸۲
جدول ۴- ۲۶: نتایج دمای نقاط صفحه ترموود (شرایط سرعت ۳ m/s ، ۹۰ وات ، حالت سوم).....	۸۳
جدول ۴- ۲۷: نتایج دمای نقاط صفحه ترموود (شرایط سرعت ۲ m/s ، ۹۰ وات ، حالت چهارم).....	۸۳
جدول ۴- ۲۸: نتایج دمای نقاط صفحه ترموود (شرایط سرعت ۲/۵ms ، ۹۰ وات ، حالت چهارم).....	۸۴
جدول ۴- ۲۹: نتایج دمای نقاط صفحه ترموود (شرایط سرعت ۳ m/s ، ۹۰ وات ، حالت چهارم).....	۸۴
جدول ۴- ۳۰: نتایج دمای خروجی از کانال هوا با ۴۵ وات حرارت در چهار حالت آزمایش.....	۸۵
جدول ۴- ۳۱: نتایج دمای خروجی از کانال هوا با ۹۰ وات حرارت در چهار حالت آزمایش.....	۸۵
جدول ۴- ۳۲: نتایج دمای سرد شدن پارافین (شرایط سرعت ۲ m/s ، ۴۵ وات ، حالت اول).....	۸۶
جدول ۴- ۳۳: نتایج دمای نقاط صفحه ترموود (شرایط سرعت ۲/۵ms ، ۴۵ وات ، حالت اول).....	۸۶
جدول ۴- ۳۴: نتایج دمای نقاط صفحه ترموود (شرایط سرعت ۳m/s ، ۴۵ وات ، حالت اول).....	۸۷
جدول ۴- ۳۵: نتایج دمای سرد شدن پارافین (شرایط سرعت ۲ m/s ، ۹۰ وات ، حالت اول).....	۸۷
جدول ۴- ۳۶: نتایج دمای نقاط صفحه ترموود (شرایط سرعت ۲/۵ms ، ۹۰ وات ، حالت اول).....	۸۸
جدول ۴- ۳۷: نتایج دمای نقاط صفحه ترموود (شرایط سرعت ۳ m/s ، ۹۰ وات ، حالت اول).....	۸۸
جدول ۴- ۳۸: نتایج دمای سرد شدن پارافین (شرایط سرعت ۲ m/s ، ۴۵ وات ، حالت سوم).....	۸۹
جدول ۴- ۳۹: نتایج دمای نقاط صفحه ترموود (شرایط سرعت ۲/۵ms ، ۴۵ وات ، حالت سوم).....	۸۹
جدول ۴- ۴۰: نتایج دمای نقاط صفحه ترموود (شرایط سرعت ۳ m/s ، ۴۵ وات ، حالت سوم).....	۹۰
جدول ۴- ۴۱: نتایج دمای سرد شدن پارافین (شرایط سرعت ۲m/s ، ۰۹ وات ، حالت سوم).....	۹۰
جدول ۴- ۴۲: نتایج دمای نقاط صفحه ترموود (شرایط سرعت ۲/۵ms ، ۹۰ وات ، حالت سوم).....	۹۱

- جدول ۴-۴۳: نتایج دمای نقاط صفحه ترموود (شرایط سرعت ۳m/s، ۹۰ وات، حالت سوم)..... ۹۱
- جدول ۴-۴۴: نتایج افت فشار جریان هوا..... ۹۲
- جدول ۵-۱: میانگین بلندمدت متوسط دمای روزانه ایستگاه‌های منتخب در تهران..... ۱۱۸
- جدول ۵-۲: میزان آلاینده‌گی سه نوع وسیله نقلیه..... ۱۱۸
- جدول ۵-۳: میزان انتشار آلاینده‌ها در بخش صنایع (کیلوگرم در روز)..... ۱۱۸
- جدول ۵-۴: میزان انتشار آلاینده‌ها از منابع تجاری در شهر تهران (کیلوگرم-روز)..... ۱۱۸
- جدول ۵-۵: جمعیت ۱۰ ساله و بیشتر بر حسب وضع فعالیت به تفکیک جنس..... ۱۲۱
- جدول ۵-۶: جمعیت ۱۰ ساله و بالاتر بر حسب وضع فعالیت و اشتغال ۸۵-۱۳۵۵..... ۱۲۱
- جدول ۵-۷: جمعیت تهران از دوره صفوی تا عصر حاضر..... ۱۲۴
- جدول ۵-۸: جمعیت نقاط شهری استان تهران طی سال‌های ۸۵-۱۳۳۵..... ۱۲۵
- جدول ۵-۹: جمعیت بر حسب جنس و تابعیت ۱۳۸۵-۱۳۹۵..... ۱۲۷

فصل ۱:

مقدمه

۱-۱. مقدمه

نگرش جامعه معماری نسبت به نحوه تامین آسایش انسان در داخل ساختمان از ابتدای قرن حاضر تاکنون دستخوش تغییرات چشمگیری شده است. از دهه‌های نخستین قرن، استفاده از وسایل مکانیکی گرمازا و سرمازا برای تنظیم دمای محیط داخل ساختمان مورد توجه معماران قرار گرفته است. به بیان دیگر، در عصر حاضر با توجه به آلودگی‌های زیست‌محیطی و همچنین تجدیدنپذیر بودن سوخت‌های فسیلی نیاز به استفاده از روش‌های نوین برای تهیه سوخت‌هایی پاک و تجدیدنپذیر بیشتر احساس می‌شود. یکی از مهم‌ترین روش‌های ذخیره‌سازی انرژی حرارتی استفاده از مواد تغییر فاز دهنده^۱ است و یکی از کاربردهای مواد تغییر فاز دهنده در صنعت ساختمان و جهت تامین گرما و انرژی نیاز منازل مسکونی است. مواد تغییر فاز دهنده در ساختمان‌ها به دو صورت استفاده می‌گردد؛ در دیوارها و اجزای سازنده ساختمان و دیگری برای ذخیره‌سازی گرما و سرما تولید شده توسط تجهیزات (جمشیدی و صدفی، ۱۳۹۵).

اساساً رشد جمعیت جهان، کاهش منابع انرژی و همچنین افزایش آلودگی‌های ناشی از سوخت‌های فسیلی جامعه جهانی را به سمت استفاده از انرژی‌های نو و تجدیدنپذیر سوق داده است. با توجه به گسترش استفاده از این نوع انرژی‌ها استفاده از آنها در بحث ممیزی انرژی ساختمانها در سالهای اخیر به شدت مورد توجه قرار گرفته است. هدفمند کردن مصرف انرژی متشکل است از برنامه‌ریزی (شامل: ممیزی، هدف‌گذاری، اولویت‌بندی تعریف پروژه) سازماندهی، کارگزینی، هدایت و نظارت جهت رسیدن به مصرف بهینه انرژی به طوری که سیستم از فن‌آوری‌های جدید استفاده نموده و سطح خدمات سیستم کاهش نیابد. در ضمن باعث کاهش انرژی و هزینه‌های مربوطه گردد. مدیریت مصرف انرژی و تعیین راهکارهای کاهش تلفات به معنی بررسی انواع انرژی‌های موردنیاز ساختمان (گرمایشی، سرمایشی و الکتریکی) و یافتن گلوگاه‌های مصرف و اتلاف آنها می‌باشد. همچنین، می‌تواند به عنوان یک روش، میزان انرژی واقعی مورد نیاز یک ساختمان را اندازه‌گیری نموده و سپس راهکارهایی جهت کاهش و کمینه کردن آن ارائه دهد. در این روش حیطه‌هایی که در آن انرژی بطور موثر استفاده شده یا هدر می‌رود، شناسایی می‌شوند. در حقیقت می‌توان مدیریت مصرف انرژی در ساختمان را چگونگی ارتباط اجزاء سیستم با یکدیگر و نحوه اثرگذاری محیط خارجی بر ساختمان دانست. استفاده از روش‌های جدید و انرژی‌های تجدیدنپذیر در جهت مدیریت مصرف ساختمان، یک

^۱. Phase Change Material (PCM)

مساله مهمی می‌باشد که در سالهای اخیر به شدت مورد توجه قرار گرفته است (منصوری و همکاران، ۱۳۹۴).

بطور کلی امروزه، افزایش سطح آلودگی توسط تولید گازهای گلخانه‌ای از یک طرف و افزایش چشمگیر قیمت سوخت از طرف دیگر، دلایل اصلی تلاش برای استفاده از انواع منابع انرژی تجدیدپذیر می‌باشد. در بخش‌های زیادی از جهان تابش مستقیم خورشید به عنوان یکی از اصلی‌ترین منابع تأمین انرژی آینده جهان مورد ملاحظه قرار گرفته است. همانطور که گفته شد؛ یکی از گزینه‌های موجود، توسعه تجهیزات نگهداشت انرژی است که مسلماً اهمیت این موضوع کمتر از یافتن منابع جدید انرژی نیست. از مهم‌ترین چالش‌های امروزی تکنولوژیست‌ها، ذخیره انرژی در فرم‌های مناسب که قابل تبدیل به شکل‌های موردنیاز باشد، است. ذخیره انرژی نه تنها موجب ایجاد توازن مابین عرضه و تقاضا می‌شود، بلکه سبب بهبود کارایی و قابلیت اطمینان سیستم‌های انرژی شده و نقش ویژه‌ای در صرفه‌جویی مصرف انرژی ایجاد می‌کند. این تکنولوژی می‌تواند به ذخیره سوخت‌های ارزشمند منجر شده و از طرف دیگر با کاهش هدر رفت انرژی و سرمایه، از لحاظ اقتصادی نیز بسیار مقرون به صرفه خواهد بود (خرقانی و خدائی، ۱۳۹۳).

بخش ساختمان در هر کشور بیش از یک سوم انرژی مصرفی کشور را به خود اختصاص داده، که ارزش آن، به قیمت جهانی، سالیانه بالغ بر شش میلیارد دلار می‌گردد. به علت این مشکل فرهنگی که قدر انرژی کمتر دانسته شده است، اکثر قریب به اتفاق ساختمانهای کشور فاقد ضوابط فنی شناخته شده برای جلوگیری از به هدر رفتن انرژی سرمایی یا گرمایی می‌باشد. موضوع محدودیت و کمبود ذخایر انرژی در کره زمین امروزه دیگر بر کسی پوشیده نیست. اصلی‌ترین سیاست طراحی اقلیمی ساختمان، مقابله در برابر نوسانات شدید دمایی محیط پیرامون در فصول مختلف است. ساختمان اصولی از لحاظ اقلیمی بایستی دارای این قابلیت باشد که بتواند از نفوذ گرمای تابستان به داخل و از خروج گرمای داخل به خارج در فصل زمستان جلوگیری نماید. از این طریق، با کاهش نوسانات داخلی دما می‌توان آسایش نسبی را برای ساکنین ساختمان فراهم نمود. یکی از نیازهای اساسی در سیستم‌های جمع‌آوری انرژی خورشیدی در ساختمان بحث ذخیره‌سازی انرژی جمع‌آوری‌شده در طول روز جهت استفاده در طول ساعات شب است. سهم بخش ساختمان در مصرف انرژی کشورها قابل توجه است، و به همین دلیل در چند دهه اخیر، در کشورهای صنعتی، اقدامات اساسی در زمینه اصلاح الگوی مصرف با استفاده از ابزارهای مختلف از جمله تدوین مقررات و ضوابط، صورت گرفته است. مصرف انرژی در بخش ساختمان، بخش بزرگی از مصرف انرژی را شامل می‌شود. در همین

راستا، در سال ۱۳۷۰، اولین ویرایش مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان، تحت عنوان صرفه‌جویی در مصرف انرژی تدوین گردید که بخش اعظم آن ضوابط طراحی عایق‌کاری حرارتی پوسته خارجی ساختمان بود.

فصل حاضر بدنبال مطرح کردن مقدمه‌ای از موضوع موردپژوهش، مسئله و دغدغه اصلی در حوزه تغییر فازدهنده‌ها و پیرو آن مباحث پیرامون آن، عوامل مرتبط به این مقوله می‌باشد. در ادامه نیز اهداف و فرضیات تحقیق ارائه می‌گردد.

۲-۱. بیان مسئله

دیوارهای با ضخامت بسیار بالا در ساختمانهای قدیمی، علاوه بر استحکام بخشی به ساختمان، با ایجاد جرم حرارتی بالا، به عنوان یک منبع ذخیره گرمای محسوس عمل کرده و مانع از بوجود آمدن تغییرات دمایی زیاد در طول شبانه‌روز در درون ساختمان می‌شدند. با بکارگیری دیوارهای سبک وزن در ساختمان‌ها و همچنین استفاده از پنجره‌های با مساحت بالا، این منبع ذخیره انرژی از بین رفته و نوسانات دمایی هوای بیرون از ساختمان به راحتی به درون آن منتقل شده و آسایش دمایی درون ساختمان به شدت کاهش می‌یابد. از جمله راه‌های غلبه بر این مشکل، استفاده از سامانه‌های سرمایشی/ گرمایشی است که منجر به افزایش مصرف انرژی در ساختمان می‌شوند. افزایش جرم حرارتی ساختمان، کمک شایانی به کاهش مصرف انرژی در ساختمان می‌کند. ایجاد منابع ذخیره گرمای نهان در اجزای ساختمان، باعث افزایش جرم حرارتی آن شده و در عین حال مانع از افزایش وزن چشمگیر ساختمان می‌شود. یکی از روش‌های مؤثر در ذخیره انرژی گرمایی، استفاده از مواد تغییر فاز (PCM) می‌باشد. این مواد با تغییر فاز در دمای تقریباً ثابت، مقدار زیادی انرژی را جذب یا آزاد می‌کنند. با بکارگیری مواد تغییر فاز دهنده در ساختمان، در طول روز انرژی تابشی خورشید در اجزای مختلف ساختمان ذخیره شده و با غروب خورشید و کاهش دما، این انرژی به تدریج آزاد شده و در کنترل دمای ساختمان و کاهش مصرف انرژی مؤثر واقع می‌شود.

امروزه استفاده از کامپوزیتهای چوب - پلاستیک در ساختمان سازی و مبلمان داخلی رو به افزایش است. این کامپوزیت‌ها از جرم حرارتی بسیار پایینی برخوردار هستند که وارد نمودن مواد تغییر فاز دهنده در ترکیب آنها منجر به افزایش زیاد جرم حرارتی آنها خواهد شد. لذا، با بکارگیری این کامپوزیتهای بهبودیافته در ساختمان‌ها و کاهش تغییرات دمایی هوای داخل ساختمان، به خصوص در ساختمان‌های سبک وزن، در کاهش مصرف انرژی قدم مؤثری برداشته خواهد شد.

۱-۳. اهداف تحقیق

- مدلسازی ریاضی با هدف تعیین مقدار مناسب پارامترهای ساخت.
- ساخت میکروکپسول‌های مواد تغییر فاز دهنده جهت بکارگیری در ترمووود.
- آماده‌سازی و ساخت ترمووود-PCM و بررسی و تعیین خواص مختلف آن.
- آزمایش کامپوزیت ساخته شده در یک اتاقک نمونه به منظور تعیین میزان تأثیر آن در کاهش نوسانات دمایی درون ساختمان.

۱-۴. سوالات اصلی تحقیق

- دمای ذوب مناسب مواد تغییر فاز دهنده برای شرایط محیطی مختلف چیست؟
- نحوه‌ی تأثیرگذاری درصد مواد بکار رفته در کامپوزیت بر خواص آن، چگونه می‌باشد؟
- آیا تفاوت قابل توجهی بین روش‌های مختلف تولید کامپوزیت وجود دارد؟
- کامپوزیت ساخته شده تا چه میزانی می‌تواند در بهبود شرایط آسایش دمایی درون ساختمان مؤثر باشد؟

۱-۵. فرضیات

- دمای محیط تأثیر بسزایی در انتخاب مواد تغییر فازی دارد.
- افزایش دبی هوا عبوری از سامانه سبب افزایش مدت زمان آسایش در ساختمان می‌گردد.

فصل ۲:

مروری بر منابع

۲-۱. مقدمه

تمام تلاش‌های بشر در حوزه تهویه مطبوع در راستای رقم زدن شرایط آسایش انسان در محیط زندگی می‌باشد. این تلاش‌ها با صرف هزینه‌های هنگفت و مصرف مقادیر قابل توجهی از انرژی‌های تجدیدناپذیر و سوخت‌های فسیلی همراه بوده و این مساله به نوبه خود موجب کاهش منابع انرژی و آلودگی‌های زیست‌محیطی می‌گردد. یکی از روش‌های کاهش مصرف انرژی و آلودگی‌های زیست‌محیطی، مدیریت مصرف انرژی در ساختمان‌ها می‌باشد. مواد تغییر فازدهنده و سیستم‌های ذخیره‌کننده انرژی از جمله مواردی می‌باشند که در سالهای اخیر اهمیت زیادی در مدیریت مصرف انرژی در ساختمان‌ها پیدا کرده‌اند. بهینه‌سازی انرژی در کلیه بخش‌ها اعم از؛ حمل و نقل، تولید و کشاورزی ضروری است اما به آسانی، سهولت و اهمیت بهینه‌سازی در بخش ساختمان نیست. در واقع، بهینه‌سازی یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر است، چراکه حجم و سهم مصرف انرژی در بخش ساختمان بسیار بالاست (۴۰ درصد کل مصرف انرژی کشور) و اجرای پروژه‌های بهینه‌سازی در این بخش از نظر زمان و هزینه بسیار قابل توجه و اهداف بهینه‌سازی در این بخش با هزینه کمتر و کمترین اثرات جانبی قابل تحقق است. تحقیقات گسترده‌ای در زمینه استفاده از مواد تغییر فاز دهنده در ساختمان انجام شده است اما همچنان پرداختن به این مقوله، لازم و ضروری بوده و جای بحث دارد. در این فصل سعی شده است در قالب مبانی نظری به بررسی موضوعات مرتبط با ادبیات موضوع، پرداخته شود. علاوه بر آن در ادامه این فصل، در بخشی تحت عنوان پیشینه تحقیق، به بررسی پژوهش‌های مرتبط با موضوع تحقیق پرداخته می‌شود.

۲-۲. تعاریف، اصول و مبانی نظری

۲-۲-۱. تغییر فازدهنده‌ها

ایده اولیه استفاده از مواد تغییر فاز دهنده و بکارگیری آن برای ذخیره‌سازی انرژی در سال ۱۹۴۰ مطرح گردید که در آن زمان زیاد مورد توجه قرار نگرفت. از اوایل سال ۱۹۸۰ با مطرح شدن بحران انرژی، تحقیقات گسترده‌ای بر بهینه‌سازی خواص و کاربردهای مختلف مواد تغییر فاز دهنده در سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی صورت گرفت. مطالعه بر روی مواد تغییر فازدهنده در سال ۱۹۴۹ به

وسیله تلکس و ریموند^۱ انجام شده بود که تا دهه ۷۰ به آن توجه زیادی نشد. در سال ۱۹۷۱ مطالعه‌ای بر روی طراحی سیستم حفاظت حرارتی برای آزمایشگاه و خودرو فضایی (ماهپیما) و توسط هیل^۲ و همکارانش انجام شد. در سالهای انتهایی دهه ۷۰ مطالعاتی بر روی نحوه استفاده از ذخیره‌سازی حرارتی بر مبنای مواد تغییرفازدهنده در مقیاس کوچک برای سفینه‌های فضایی و پس از آن در مقیاس بزرگ برای ساختمان‌ها و سیستم‌های انرژی خورشیدی برای مقابله با بحران انرژی در جهان انجام شده است. پس از آن مطالعات زیادی بر روی این مواد، خصوصیات و عملکردهای مورد استفاده آنها پرداخته شده است. این روش ذخیره‌سازی معایبی نیز دارد، که از آن جمله، انتقال حرارت کم، تغییر چگالی نسبتاً زیاد در حین تغییر فاز، عدم ثبات در خصوصیات در طول بازه تغییر فاز، تفکیک فازی و افت ناگهانی دما را می‌توان نام برد. بعضی این قبیل معایب را می‌توان با در نظر گرفتن تمهیدات لازم برطرف نمود. در طول ۴۰ سال گذشته مواد تغییرفازدهنده‌ای از جمله هیدرات‌های نمک، موم‌های پارافین، اسیدهای چرب، ترکیبات آلی و غیرآلی شناخته شده‌اند (امیدی‌نسب و همکاران، ۱۳۹۴). جدول ۱-۲، مقایسه بین چهار ماده را نشان می‌دهد.

جدول ۱-۲: مقایسه بین خصوصیات چهار ماده (امیدی‌نسب و همکاران، ۱۳۹۴)

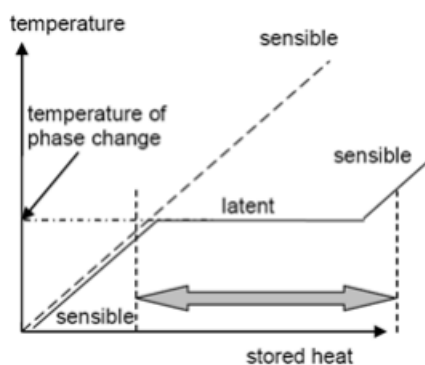
ماده	چگالی (kg/m ³)	ظرفیت گرمایی ویژه (kJ/kg)	گرمای نهان جرمی (kJ/kg)	گرمای نهان حجمی (kJ/m ³)	حجم مورد نیاز برای ذخیره ۱ مگاژول (Kg)	حجم مورد نیاز برای ذخیره ۱ مگاژول (m ³)	جرم ذخیره‌سازی نسبی	حجم ذخیره‌سازی نسبی
سنگ	۲۲۴۰	۱,۰	-	-	۶۷۰۰۰	۳۰	۱۵	۱۱
آب	۱۰۰۰	۴,۲	-	-	۱۶۰۰۰	۱۶	۴	۵
ماده تغییرفازدهنده آلی	۸۰۰	۱,۰	۱۹۰	۱۵۲	۵۳۰۰	۶,۶	۱,۲۴	۲,۵
ماده تغییرفازدهنده غیرآلی	۱۶۰۰	۲,۰	۲۳۰	۳۶۸	۴۳۵۰	۲,۷	۱	۱

¹ Telkes & Raymond

². Hale

از کاربردهای مهم مواد تغییر فاز دهنده می‌توان به استفاده از آنها در ذخیره‌سازی انرژی حرارتی خورشید و استفاده از آنها جهت تامین بارهای گرمایشی ساختمانها اشاره کرد. قابلیت ذخیره مقدار قابل توجهی از انرژی خورشیدی در حجم نسبتاً کمی از مواد تغییر فاز دهنده، کاهش مخازن ذخیره انرژی حرارتی، بالا بودن سرعت جذب و دفع انرژی گرمایی، هوشمند بودن و قیمت نسبتاً ارزان این مواد از جمله مزایای استفاده از این مواد در ساختمانها می‌باشد. این مواد قادر می‌باشند که در زمانهایی که ساختمان نیاز به گرما ندارد آن را جذب نموده و در زمان مورد نیاز آن را به محیط برگردانند. مواد با دمای ذوب حدود ۲۵ تا ۳۰ درجه سلسیوس برای استفاده در سیستم‌های گرمایشی مستقیم ساختمان و مواد با دمای ذوب حدود ۶۰ تا ۷۰ درجه سلسیوس برای تامین آب گرم بهداشتی و همچنین گرمایش غیرمستقیم ساختمان استفاده می‌شوند. بحث ذخیره‌سازی انرژی سرمایشی ناشی از تولید آب سرد دستگاه‌های مولد مانند چیلر نیز موضوع جدیدی می‌باشد که در سالهای اخیر مطرح شده است (منصوری و همکاران، ۱۳۹۴).

مواد تغییر فاز دهنده نسل جدیدی از اجرام حرارتی می‌باشند که در هنگام دریافت انرژی، با تغییر فاز آن را به صورت انرژی نهان در خود ذخیره کرده و در زمان مورد نظر با برگشت به فاز اولیه، انرژی ذخیره شده را در اختیار محیط پیرامونی خود قرار می‌دهند. در این مواد هدف استفاده از گرمای نهان ذوب در طول تغییر فاز می‌باشد. در شکل ۱-۲، گرمای نهان بالا مواد تغییر فاز دهنده‌ها ارائه شده است. ظرفیت بالای ذخیره‌سازی انرژی حرارتی باعث شده است تا امکان ساخت ذخیره‌کننده‌های کوچک فراهم گردد و بتوان آنها را بصورت فشرده تولید کرد. این ویژگی باعث می‌شود که واحدهای ذخیره‌کننده انرژی در کاربردهای تجاری که معمولاً با محدودیت ابعادی مواجه هستند، استفاده فراوانی داشته باشد (قاسمی و پیرکندی، ۱۳۸۸).



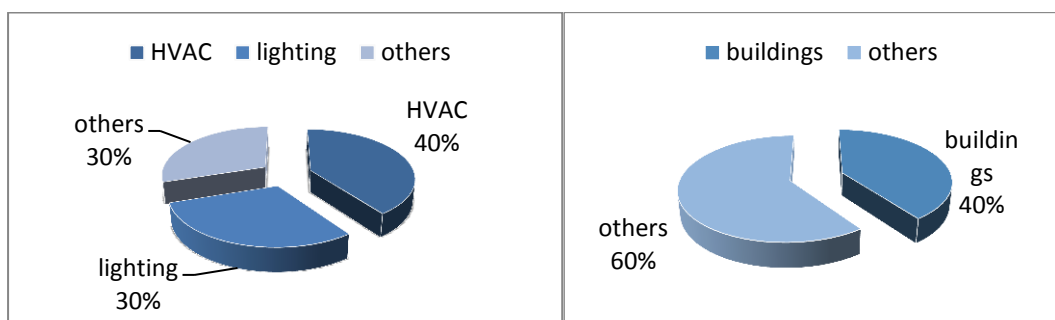
شکل ۱-۲: گرمای نهان بالا مواد تغییر فاز دهنده (قاسمی و پیرکندی، ۱۳۸۸)

مواد تغییر فاز دهنده مخلوطی از دو یا چند ماده مختلف است که اگر به نسبت مشخصی با هم مخلوط شوند، نقطه ذوب آنها پایین تر از نقطه ذوب هر یک از مواد مخلوط شده خواهد بود. با توجه به این مساله با مخلوط کردن مواد مختلف با نسبت های وزنی متفاوت، می توان به محدوده وسیعی از دماهای ذوب دست یافت که دارای کاربرد زیادی در سیستم های ذخیره کننده انرژی خورشیدی تا ذخیره سازهای سرمایشی در سیستم های تهویه مطبوع هستند. این مواد دارای قدرت بالایی در ذخیره سازی حرارتی بوده و اغلب برای کنترل دما بکار می روند. در گذشته از این گونه مواد جهت کاربردهای کاملاً تخصصی و در زمینه های خاص، مانند گرم نگهداشتن بعضی از واکنش ها در دمای بالا و یا جهت ذخیره گرما در نیروگاه ها استفاده می شد. امروزه با گسترش صنایع شیمیایی و تهیه مواد مرکب جدید از این مواد به عنوان چاه حرارتی در صنایع الکترونیک، سیستم های مخابراتی، آنتن های ماهواره ای، سیستم های حرارتی گلخانه ها، سیستم های عایق کاری و حرارتی ساختمانها و ذخیره سازهای سرمایشی در سیستم های تهویه مطبوع استفاده می شود. استفاده از مواد تغییر فاز دهنده جهت کاهش مصرف انرژی از دو دیدگاه مورد توجه می باشد. مواد تغییر فاز دهنده که در سیستم های ذخیره کننده انرژی حرارتی بکار می روند، در هنگام روز انرژی حرارتی را از سیستم های الکترونیکی، مکانیکی و همچنین منابع طبیعی از جمله خورشید جذب کرده و دمای داخلی خود را در حدود معین و ثابتی تنظیم می کنند و در هنگام شب انرژی ذخیره شده را به محیط پیرامون خود پس می دهند. از سوی دیگر می توان از این مواد جهت ذخیره انرژی سرمایشی تولید شده از مولدهای تبخیری، تراکمی و جذبی استفاده نمود. استفاده از این مواد در ساختمان به طور کلی سبب کاهش صرف انرژی و پایین آوردن ظرفیت دستگاه های تهویه مطبوع خواهد شد. از سوی دیگر با استفاده از این مواد در هزینه های تامین انرژی صرفه جویی های زیادی می شود، زیرا که کارکرد این سیستم ها فقط وجود اختلاف دما در شب و روز کافی بوده و نیازی به تامین انرژی توسط سیستم های دیگر نیست. کاربرد این نوع سیستم های ذخیره کننده انرژی در ساختمان ابتدا در استرالیا و سپس به طور گسترده در تمام کشورهای پیشرفته جهان تولید و بهره برداری شد. از مزایای این سیستم می توان ایجاد شرایط مناسب آب و هوایی، کاهش اتلافات انرژی و ذخیره سازی انرژی را در محیط مورد نظر نام برد (منصوری و جبار، ۳۸۹).

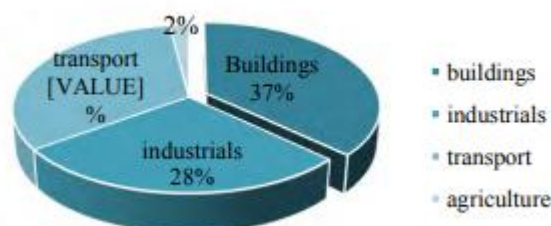
مواد تغییر فاز دهنده مورد استفاده در سیستم های ذخیره کننده انرژی باید دارای خواص حرارتی (دمای تغییر فاز متناسب با کاربرد، گرمای نهان بالا و ضریب انتقال حرارت مناسب)، فیزیکی (چگالی بالا، فشار بخار پایین، تعادل فازی مطلوب و پایین بودن تغییر حجم)، شیمیایی (پایداری شیمیایی،

سازگاری با ساختار مواد، غیرسمی و غیر قابل اشتعال)، جنبشی (نرخ کریستالیزه شده مناسب) و اقتصادی (در دسترس بودن و هزینه پایین) مناسبی باشند. از مزایای مهم مواد تغییر فازدهنده عدم فاسد شدن این مواد به دلیل ساختار و منشأ آبی آنها است که این مساله باعث می‌شود این مواد در مقایسه با سایر تکنولوژی‌های ذخیره‌ساز انرژی عمر بیشتری داشته باشند. از سوی دیگر آلودگی هوا یک مساله بسیار مهمی می‌باشد که اکثر کشورهای جهان با آن مواجه می‌باشند. کاربرد مواد تغییر فازدهنده نمونه‌ای از روش‌های کاهش آلودگی می‌باشد. این مواد بیشتر دارای ترکیبات غیرآلی بوده و خاصیت شیمیایی کمتری نسبت به سایر فرایندهای انجام شده دارند. مواد تغییر فازدهنده می‌توانند به دو صورت بسته‌بندی و باز در سیستم‌های ذخیره کننده انرژی مورد استفاده قرار گیرند. از سوی دیگر این مواد به دلیل غیر قابل احتراق بودن و فاسد نشدن به راحتی در هر محیطی و با هرگونه شرایط آب و هوایی می‌توانند نگهداری و جابجا شوند (طاهری و همکاران، ۱۳۹۱).

امروزه از بزرگترین مصرف‌کنندگان انرژی در جهان، ساختمان‌ها هستند. طبق آمار ارائه شده، حدود ۴۰ درصد از کل انرژی، در این بخش مصرف و از این میزان، ۴۵ درصد، تنها صرف گرمایش و سرمایش محیط (شکل ۲-۲) می‌شود. در سال ۱۹۹۹ کل مصرف انرژی در اروپا معادل ۱۷۸۰ میلیون تن نفت بود که ۳۱ درصد آن در بخش مسکونی (شکل ۲-۳) مورد استفاده قرار گرفت. از این آمار مشخص می‌شود که کاهش تلفات گرما در ساختمان‌ها یا به طور کلی مصرف انرژی ساختمان‌ها می‌تواند تاثیر عمده‌ای بر مصرف سوخت‌های کربنی و انتشار گازهای گلخانه‌ای داشته باشد.



شکل ۲-۲: آمار ارائه شده از مصرف انرژی در جهان (مجله انرژی جهان)



شکل ۲-۳: آمار ارائه شده از مصرف انرژی اروپا (مجله انرژی جهان)

۲-۱-۲-۲. خصوصیات و دسته‌بندی مواد تغییر فاز دهنده

برای استفاده بهینه و پرکاربردتر از این مواد بایستی به خصوصیات مانند، خصوصیات حرارتی، فیزیکی، شیمیایی، و همچنین پارامترهای اقتصادی به طور دقیق توجه کرد که در جدول ۲-۲، بیان شده است.

جدول ۲-۲: خصوصیات مهم و تاثیرگذار مواد تغییر فاز دهنده (شارما^۱ و همکاران، ۲۰۰۹)

خصوصیات	توضیحات
حرارتی	دمای ذوب مناسب و قابل تنظیم برای عملکرد موردنظر گرمای نهان بالا برای کاهش حجم سیستم ذخیره‌ساز ظرفیت گرمایی ویژه بالا برای جلوگیری از افت ناگهانی دما در زمان تغییر فاز قابلیت رسانایی گرمایی خوب و متوسط
فیزیکی	جرم حجمی بالا برای کاهش حجم سیستم ذخیره‌ساز تغییرات حجمی و فشار جزئی بخار کم برای کاهش مشکلات کنترلی در سیستم
جنبشی	عدم افت ناگهانی دما در حین انجماد کریستالیزاسیون و مناسب و کافی
شیمیایی	پایداری شیمیایی، عدم تجزیه، غیر سمی، غیر خورنده، اشتعال ناپذیر سازگاری با مصالح باعث تضمین عمر سیستم میگردد
اقتصادی	مقرون به صرفه در دسترس

در سال ۱۹۸۳ ابهت^۱ به بررسی و دسته بندی مواد ذخیره ساز گرما و انرژی پرداخته است. در مقاله زلبا^۲ و همکارانش نیز فهرستی از خصوصیات متفاوت مواد تغییر فاز دهنده مختلف (آلی و غیر آلی) از

^۱. Sharma

جمله چگالی، ظرفیت گرمایی ویژه، قابلیت رسانایی گرمایی و دمای ذوب بیان شده است. تعداد زیادی از مواد شیمیایی آلی و غیرآلی وجود دارند که از نظر دمای ذوب و گرمای نهان به عنوان مواد تغییرفازدهنده تلقی می‌شوند. برای تعیین عملکردی بودن این مواد از نظر تجاری بایستی به خصوصاتی که پیشتر بیان شد، توجه نمود. با در نظر گرفتن این نکات، تعداد زیادی از این مواد از نظر عملکردی و تجاری مناسب نمی‌باشند و از چرخه استفاده و بازار حذف می‌گردند. با توجه به اینکه هیچ ماده‌ای نمی‌تواند تمامی خصوصیات مناسب را همزمان دارا باشد، برای ارتقاء خصوصیات برخی از این مواد، می‌توان رویکردهای متفاوتی را اتخاذ نمود. به طور مثال، با استفاده از پره‌های فلزی می‌توان قابلیت رسانایی حرارتی این مواد را افزایش داد، دمای ذوب غیرهماهنگ را می‌توان با استفاده از ضخامت مناسب کاهش داد و نشت و تغییر حجم این مواد را با میکروکپسول کردن برطرف نمود. مواد تغییرفازدهنده در دو گروه اصلی آلی و غیرآلی تقسیم‌بندی می‌گردند. بطور کلی، قابلیت حجمی ذخیره‌سازی گرمای نهان در مواد آلی دو برابر مواد غیرآلی می‌باشد. به دلیل تفاوت بسیار زیاد خصوصیات این دو گروه، طراحی سیستم ذخیره‌ساز در هر کدام از گروه‌ها متفاوت می‌باشد (طاهری و همکاران، ۱۳۹۱). خصوصیات هر کدام از گروه‌ها و زیرگروه‌های آنها، در ادامه بیان شده است.

۲-۲-۱-۱-۱. مواد تغییرفازدهنده آلی

مواد تغییر فازدهنده آلی به دو دسته کلی پارافین و غیرپارافین تقسیم‌بندی می‌شوند. در مواد پارافینی، با افزایش طول زنجیره و تعداد کربن‌ها، نقطه ذوب و گرمای نهان نیز افزایش می‌یابد. علاوه بر این نیز مواد پارافینی، دارای گستره وسیعی از دمای ذوب (تا دمای ۲۵۰ درجه سانتیگراد) می‌باشند. مواد غیرپارافینی شامل گروه وسیعی از مواد هستند که دارای خصوصیات متفاوتی از یکدیگر می‌باشند. علاوه بر این، در دسته‌ای از این مواد، ماده‌هایی مثل پلی‌الکله‌ها و پلی‌اتیلن‌ها که در دمای خاص و مشخصی و با گرمای نهان زیادی تغییر فاز می‌دهند، به عنوان یک ماده تغییرفازدهنده آلی عملکردی و مناسب مورد توجه می‌باشند. در مطالعات و مقاله‌های بسیاری به بررسی خصوصیات انواع مواد تغییرفازدهنده آلی پرداخته شده است (سریر و اندر^۳، ۲۰۱۲). در جدول ۲-۳، معایب و محاسن مواد تغییرفازدهنده آلی ارائه شده است.

^۱. Abhat

^۲. Zalba

^۳. Sarier & Onder

جدول ۲-۳: محاسن و معایب مواد تغییر فاز دهنده (سریر و اندر، ۲۰۱۲)

معایب	محاسن
قابلیت رسانایی حرارتی پایین. افت ناگهانی دما در طول فرایند سرمایش. نیاز به محفظه برای جلوگیری از نشت ماده تغییر فاز دهنده.	گرمای نهان زیاد برای تامین ظرفیت ذخیره سازی حرارتی بالا. تغییر حجم کم در طول فرایند تغییر فاز. تکرارپذیری تغییر فاز. پایداری حرارتی در بازه های زیاد تغییر فاز مایع به جامد و برعکس. جرم حجمی بالا، برای کاهش حجم سیستم ذخیره ساز حرارتی. از لحاظ شیمیایی پایدار. غیرخورنده، غیر سمی و اشتعال ناپذیر. ارزان قیمت و در دسترس.

مواد آلی غیرپارافینی، تعداد زیادی از مواد با خصوصیات متفاوت را شامل می شوند. برخلاف مواد پارافینی که دارای خصوصیات مشابه هم می باشند، هرکدام از مواد قرار گرفته در این دسته، دارای خصوصیات متفاوتی از یکدیگر می باشد. دسته شامل موادی است که برای ذخیره سازی انرژی مناسب می باشند. ابهت و بودهی، تعداد گسترده ای از مواد آلی را بررسی نموده اند. جدول ۲-۴، معایب و محاسن مواد آلی پارافینی و غیرپارافینی بیان شده است.

جدول ۲-۴: معایب و محاسن مواد آلی پارافینی و غیرپارافینی

مواد تغییر فاز دهنده آلی	پارافینی	غیرپارافینی		
		اسیدهای چرب و مشتقات	پلی اتیلن گلیکول ها	پلی الکلهای و مشتقات
محاسن	<ul style="list-style-type: none"> - قابلیت ذخیره سازی گرمای نهان بالا، بین ۲۰۰ تا ۲۵۰ kJ/kg - عدم تفکیک فازی - پایداری شیمیایی - غیر خورنده - بدون بو - بیضرر برای محیط زیست - ارزان قیمت و در دسترس - تغییر حجم کم در زمان تغییر فاز - فشار بخار کم - چرخه ذوب-انجماد طولانی 	<ul style="list-style-type: none"> - حرارت بالا - گرمای نهان بین ۱۵۳ تا ۱۸۲ kJ/kg - رفتار ذوب و انجماد - تکرار شونده و متجانس - فاقد افت ناگهانی دما - در فرایند انجماد - از نظر شیمیایی و حرارتی پایدار - غیر سمی - دارای نقطه ذوب مناسب (حدوداً بین ۳۰ تا ۶۵ درجه سلسیوس) - برای تعداد زیادی از عملکردها 	<ul style="list-style-type: none"> - حرارت همجوشی بالا - فاصله کم و متوسط بین نقاط ذوب - فشار بخار کم در مرحله ذوب - از نظر شیمیایی و حرارتی پایدار - اشتعال ناپذیر - غیر سمی و غیر خورنده - دارای نقطه ذوب مناسب برای تعداد زیادی از عملکردها - ارزان 	<ul style="list-style-type: none"> - انتقال فاز جامد- جامد با انتالپی زیاد - حرارت زیاد در بازه تغییر فاز - تکرارپذیری چرخه تغییر فاز - مایع- جامد - تغییر حجم کم - بدون نشت - طول عمر زیاد - فاقد تفکیک فازی - عدم فرسایش

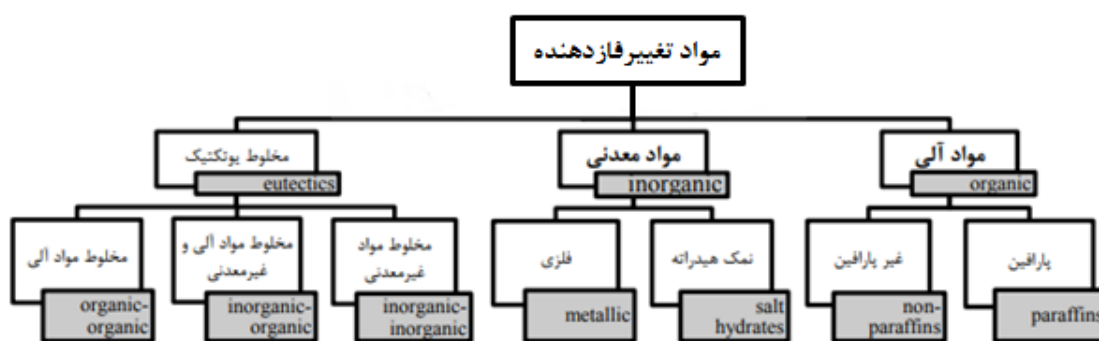
<p>- تغییر فاز در دماهای بالا (برای برطرف کردن این مشکل، از ترکیبات دو یا سه تایی از این مواد استفاده می‌شود.</p>		<p>- قیمت ۲ تا ۲,۵ برابر مواد پارافینی - تقریباً خورنده</p>	<p>- افت ناگهانی دما در طول فرایند انجماد - قابلیت رسانایی گرمایی کم (در حدود 0.2w/mk) - غیر سازگار با محفظه‌های پلاستیکی - تا حد زیادی اشتعال پذیر</p>	<p>معایب</p>
		<p>- اشتعال پذیر - قابلیت رسانایی حرارتی کم</p>	<p>لازم به توضیح است تمام این معایب را می‌توان تا حدودی با اصلاح و یا بهبود موم پارافینی و سیستم ذخیره ساز برطرف نمود.</p>	

۲-۲-۱-۱-۲. مواد تغییر فاز دهنده غیرآلی

یکی از مهمترین دسته‌های مواد غیرآلی، هیدرات‌های نمک هستند. این مواد از نظر عملکردی موادی بسیار مناسب برای سیستم‌هایی که حجم عناصر دارای اهمیت زیادی می‌باشد. این مواد دارای قابلیت ذخیره‌سازی حجمی بالا (تقریباً)، قابلیت رسانایی حرارتی نسبی تقریباً (350 MJ/m^3) قابلیت رسانایی حرارتی نسبی بالا (تقریباً 0.5 W/m.k) و دارای قیمت نسبتاً مناسب در مقایسه با مواد پارافینی می‌باشند. برای مثال نمک سدیم $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ که از سال ۱۹۵۲ مورد استفاده قرار می‌گرفته است، دارای دمای ذوب 32.4°C ، گرمای نهان بالا 254 kJ/kg (377 MJ/m^3) و نیز یکی از ارزان‌ترین مواد مورد استفاده برای ذخیره‌سازی انرژی می‌باشد. اما تمام هیدرات‌های نمک مشکلاتی مانند تفکیک فازی و افت ناگهانی دما در حین انجماد را دارا می‌باشند که باعث محدود شدن عملکردهای مورد استفاده این مواد می‌گردد. راه‌هایی برای برطرف کردن این مشکلات وجود دارد، یکی از این راه‌ها اضافه کردن عناصر ضخیم‌کننده برای جلوگیری از تفکیک فازی می‌باشد، البته این راه‌حل معایبی نیز دارد، که از آن جمله کاهش محدوده کریستالیزاسیون و نیز انتقال حرارت نمک به دلیل قابلیت رسانایی حرارتی کم این ترکیب. تلکس در مطالعات خود ماده بوراکس را برای جلوگیری از افت دمای این نمک‌ها پیشنهاد داده است. در هنگام انتخاب مواد تغییر فاز دهنده در سیستم‌های ذخیره‌کننده انرژی، بعضی نکات و مشخصات ترمودینامیکی، شیمیایی و اقتصادی زیر باید مورد توجه قرار گیرد.

- دمای نقطه ذوب ماده ذخیره‌کننده باید در محدوده عملکرد و شرایط کاری مورد نظر باشد.
- حرارت نهان ذوب ماده ذخیره‌کننده در واحد جرم، باید به اندازه کافی بزرگ باشد.
- چگالی ماده ذخیره‌کننده باید به اندازه کافی بزرگ باشد تا حجم و فضای کمتری را اشغال کند.
- ماده ذخیره‌کننده باید قابلیت هدایت حرارتی بالایی داشته باشد تا در اختلاف دماهای کوچک نیز امکان شارژ و تخلیه سیستم وجود داشته باشد.

- در هنگام فرایند تغییر فاز، باید تغییر حجم ماده ذخیره‌کننده کوچک باشد.
 - در هنگام تغییر فاز هیچگونه تغییر در ترکیب شیمیایی و ساختار ماده ذخیره‌کننده بوجود نیاید.
 - غیر قابل اشتعال، غیر سمی، غیرخورنده و غیرقابل تجزیه باشد.
 - ارزان قیمت و قابل دسترس باشد.
- به دلیل مشکلات ذاتی مواد غیرآلی استفاده از مواد آلی مانند پارافین‌ها، اسیدهای چرب و پلی‌اتیلن گلیکولها در حال فراگیر شدن است. این مواد در مقایسه با نمکهای آبدار ظرفیت ذخیره گرمایی کمتری بر واحد حجم و هزینه به مراتب بالاتری دارند (بیگانه‌طلب و سالاریان، ۱۳۹۴).
- بطور کلی در یک تقسیم‌بندی، مواد تغییرفازدهنده به شکل ۲-۴، دسته‌بندی می‌شوند.



شکل ۲-۴: طبقه‌بندی مواد تغییر فاز دهنده (امیدی و افلاکی، ۱۳۹۸)

۲-۱-۲-۲. روش‌های استفاده از تغییر فاز دهنده‌ها برای عملکردهای مختلف

همانطور که پیش‌تر گفته شد، یکی از مشکلات بسیاری از مواد تغییر فاز دهنده افت ناگهانی دما در زمان انجماد و نیز تفکیک فازی در طول تغییر فاز می‌باشد. این امر موانع و مشکلاتی در عملکرد سیستم‌های ذخیره‌ساز به وجود می‌آورد. هزینه‌های کنترل و مشکلات ناشی از آن، معایب بسیاری از مواد تغییر فاز دهنده در مطالعات ابتدایی بوده است. هاوس و فلدمن^۱ روش‌های استفاده از مواد تغییر فاز دهنده را بیان کرده‌اند که شامل استفاده مستقیم، غوطه‌وری در مواد دیگر و کپسوله کردن می‌باشد. سومین مورد را می‌توان به عنوان مهار مواد تغییر فاز دهنده به وسیله قرار دادن در کپسول‌هایی از مواد مختلف و با فرم و اندازه‌های متفاوت که برای بدست آوردن ترکیبی مناسب از این مواد با دیگر مواد انجام می‌گردد، بیان کرد. کپسوله کردن مواد تغییر فاز دهنده اثرات نامطلوب این مواد را بر مصالح ساختمانی کاهش می‌دهند. دو روش اصلی برای کپسوله کردن این مواد وجود دارد. اولین روش

¹. Hawes & Feldman

استفاده از میکروکپسول‌ها است. این روش شامل ذرات کوچک و کروی یا میل‌های شکل هستند که در یک فیلم نازک و با وزن مولکولی بالا محصور شده‌اند. ذرات مذکور می‌توانند در هر ماتریسی که با فیلم کپسوله شده سازگار باشد، گنجانده شود. دومین روش، استفاده از روش ماکروکپسوله کردن می‌باشد. این روش مواد تغییرفازدهنده را در محفظه‌هایی مانند لوله‌ها، کیسه‌ها، پانل‌ها و محفظه‌های دیگر قرار می‌دهند. این محفظه‌ها می‌توانند به طور مستقیم، به عنوان انتقال دهنده گرما، به کار روند و یا در اجزا و عملکردهای مختلف ساختمان ظاهر شوند. مطالعات و تجربیات گذشته، به علت قابلیت رسانایی کم، به دلیل استفاده از محفظه‌های حجیم از مواد تغییرفازدهنده با شکست مواجه شد. هنگامی که این مواد در حال به دست آوردن مجدد حرارت از فاز مایع هستند، مواد منجمد شده در اطراف لبه‌ها مانعی برای انتقال حرارت موثر می‌گردند. با استفاده از میکروکپسول‌ها، این ابعاد کاهش یافته‌اند، و در نتیجه، اثرات نامطلوب این امر کاهش یافته است. میکروکپسوله کردن باعث می‌شود این مواد به راحتی با مواد ساختمانی دیگر ترکیب و تلفیق شوند.

۲-۱-۳. کاربرد مواد تغییرفازدهنده در عملکردها

استفاده از قابلیت بالای ذخیره‌سازی انرژی توسط مواد تغییرفازدهنده کاربرد این مواد را در عملکردهای مختلف گسترش داده است. هدف استفاده از این مواد در عملکردهای مختلف و در نتیجه نحوه استفاده از آنها برای هر هدف متفاوت می‌باشد. این مواد در عملکردهایی همچون کاربردهای ساختمانی، نساجی، اتومبیل‌سازی و از این قبیل قابل استفاده می‌باشند. از جمله اهدافی که با بکار بردن این مواد به دست می‌آید را می‌توان ثابت نگه داشتن دما، کاهش بارهای ساختمانی در عملکرد موردنظر و از این قبیل نام برد. در هر کدام از عملکردها و اهداف ذکر شده، برای حصول بهترین بازده، انتخاب نوع ماده تغییرفازدهنده و نحوه استفاده از این مواد باید به درستی انجام گیرد.

۲-۲-۲. مکانیزم‌های مختلف ذخیره‌سازی انرژی

ذخیره‌سازی انرژی گرمایی (یا برودتی) در اجرام حرارتی به دو روش محسوس و نهان صورت می‌گیرد. در ذخیره‌سازی محسوس، انرژی گرمایی (یا سرمایشی) متناسب با ظرفیت حرارتی ماده موجب تغییر دمای آن شده و در آن ذخیره می‌گردد. آب، سنگ، آجر، خاک، ماسه، بتن، نمک و ... از جمله مواد مختلفی هستند که از روش محسوس برای ذخیره‌سازی انرژی استفاده می‌کنند. ظرفیت ذخیره‌سازی انرژی در هر یک از این مواد متفاوت بوده و بستگی به خواص فیزیکی ماده ذخیره‌کننده (مانند

ظرفیت گرمایی، دانسیته، جرم و ...) دارد. از سوی دیگر انتخاب نوع ماده ذخیره‌کننده در این روش وابسته به طول مدت ذخیره‌سازی بوده و می‌تواند به صورت کوتاه‌مدت یا بلندمدت باشد. در این روش مقدار انرژی ذخیره شده در هر لحظه متناسب با اختلاف دمای ماده ذخیره‌کننده با دمای محیط است. به طور مثال استفاده از آب به عنوان ذخیره‌کننده انرژی در کنار مزایایی مانند بالا بودن ظرفیت گرمایی، ارزان و قابل دسترس بودن دارای معایبی نیز می‌باشد. نیاز به ساخت مخازن بزرگ و عایق‌بندی شده به منظور ذخیره‌سازی آب و ذخیره‌سازی انرژی از ایرادات مهم این ماده می‌باشد. در روش نهان از فرایند تغییر فاز و حرارت انتقال یافته ناشی از آن برای ذخیره‌سازی انرژی استفاده می‌گردد. با توجه به بالا بودن ظرفیت حرارتی نهان هر ماده نسبت به ظرفیت حرارتی محسوس آن، در بسیاری از سیستم‌های ذخیره‌کننده انرژی از فرایند تغییر فاز به منظور ذخیره‌سازی انرژی استفاده می‌شود. این روش نسبت به روش محسوس، دارای ظرفیت ذخیره‌سازی بالاتری بوده و استفاده از آن باعث می‌شود که آزاد یا ذخیره‌سازی انرژی در یک دمای ثابت صورت گیرد. استفاده از این روش سبب می‌گردد که سیستم‌های ذخیره‌کننده حرارتی (یا برودتی) دارای ابعاد کمتری گردد و در ساخت و نصب آنها صرفه‌جویی اقتصادی مناسبی صورت گیرد. در این روش اغلب از مواد تغییرفازدهنده جهت ذخیره و آزاد سازی انرژی استفاده می‌گردد. توان ذخیره‌سازی این مواد ۵ تا ۱۵ برابر انواع مختلف ذخیره‌سازهای نهان می‌باشد. مواد تغییرفازدهنده در ابتدا با جذب حرارت دمایشان بالا رفته و پس از رسیدن به دمای نقطه ذوب شروع به تغییر فاز می‌دهند. در حین فرایند ذوب شدن و در دمای ثابت، این مواد انرژی زیادی را در خود ذخیره می‌نمایند. از سوی دیگر با کاهش دمای محیط این مواد انرژی جذب شده را آزاد نموده و خود منجمد می‌شوند. یخ نمونه ساده‌ای از مواد تغییر فاز دهنده می‌باشد که در دمای صفر درجه سانتیگراد عمل جذب و آزاد سازی انرژی را صورت می‌دهد. نمک‌های هیدراته، ترکیبات پلیمری، اسیدهای چرب و ... چند نمونه دیگر از مواد تغییر فاز دهنده می‌باشند (منصوری و همکاران، ۱۳۹۴).

۲-۲-۱. روش‌های عایق‌بندی ساختمان در گذشته

پیشرفت بشر در تکنولوژی و بلندمرتبه شدن ساختمان‌ها، معماران را به سمت طراحی ساختمانهایی با وزن کمتر سوق داد. از مؤلفه‌های اصلی سنگینی و سبکی وزن ساختمان، دیوارها هستند که سبک‌تر شدن وزن ساختمان، سبب کاهش حداکثری ضخامت دیوارها گردید. این موضوع، تلفات گرما و سرما را از جداره‌های خارجی به شدت افزایش داد و برای مقابله با این مشکل، استفاده از عایق‌های

حرارتی افزایش یافت (فروتنی، ۱۳۸۶). در ساختمان‌های قدیمی و سنتی، مصالحی مانند سنگ، خشت و آجر، با ظرفیت حرارتی بالا به عنوان عایق حرارتی بکار گرفته می‌شدند. این مصالح در طول ساعات روز مقداری قابل توجه از انرژی گرمایی خورشید را جذب و ذخیره می‌کردند و در ساعات سرد شب، این انرژی را به محیط برمی‌گرداندند. اما از معایب این روش‌ها، سنگین شدن ساختمان به علت استفاده زیاد از مصالح و مقرون به صرفه نبودن آن می‌باشد. از مواد دیگر عایق‌بندی در گذشته، می‌توان از پشم سنگ و حتی کاه گل نام برد. مواد عایق‌بندی سنتی به منظور دستیابی به مقاومت حرارتی اندک در لایه‌ای ضخیم و یا بصورت چند لایه استفاده می‌شوند که می‌توانند تا حدودی مصرف انرژی را کمتر کنند؛ اما جزئیات ساختاری و اجرایی پیچیده، ایجاد یک ناحیه ضخیم، عدم امکان استفاده بصورت یکپارچه در تمامی سطح مورد نظر و سنگین وزن کردن ساختمان از معایب عایق‌های سنتی بشمار می‌رود. اما برای صرفه‌جویی در مصرف ساختمان، استراتژی دیگری به دست آورده شد. روش‌های نوین عایق‌بندی ساختمان از منابع اصلی انرژی گرمایی، انرژی تجدیدپذیر تابشی خورشید می‌باشد که مورد توجه پژوهشگران جهان قرار گرفته است. اما به علت شدت و ضعف تابش نور در ساعات مختلف شبانه روز، استفاده از موادی برای ذخیره انرژی خورشید را ضروری می‌کند که از مهمترین راهکارهای استفاده از انرژی گرمایی خورشید، ذخیره این انرژی در ساعات گرم روز و استفاده از انرژی ذخیره شده، در ساعات سرد است. از روش‌های نوین ذخیره‌سازی انرژی خورشید، بهره‌گیری از مواد حرارتی با قابلیت ذخیره بالای انرژی می‌باشد و توانایی جذب، ذخیره، نگهداری و آزادسازی گرما را دارند. مواد تغییر فاز دهنده از جمله اجرام حرارتی هستند که در ساعات گرم، با دریافت و جذب انرژی گرمایی، با تغییر فاز، این انرژی را بصورت نهان بدون تغییر و افزایش دما در خود ذخیره می‌کند و در زمان مورد نیاز، انرژی ذخیره شده را آزاد می‌کند و به فاز اولیه باز می‌گردد. ظرفیت بالا ذخیره‌سازی انرژی گرمایی در این مواد به نسبت حجم کم مورد استفاده، امکان تولید ذخیره‌کننده‌های فشرده کوچکی را فراهم کرده است که هم از لحاظ اقتصادی و هم از لحاظ محدودیت ابعادی در ساختمان مقرون به صرفه باشد (پیرکندی، ۱۳۸۱).

۲-۲-۲. روش شناسایی منابع اتلاف انرژی در ساختمان‌های مسکونی

جهت شناخت منابع اتلاف انرژی در ساختمان‌های مسکونی و تجاری لازم است بررسی انرژی کلی (ممیزی انرژی) در آنها صورت گیرد و نتایج حاصل از آن را با یک الگوی نسبتاً ایده‌آل از یک نمونه کلی ساختمان مقایسه نمود. تا منابع اتلاف انرژی مشخص گردد و در جهت رفع آن اقدامات لازم

بعمل آید. بررسی انرژی اگر بصورت درست انجام شود و طبق یک دستورالعمل معین و حساب شده‌ای صورت پذیرد، می‌تواند به عنوان یک خط راهنما برای آنهایی که مسئولیت کنترل مصرف انرژی را دارند باشد و آنان را در جهت مسئولیت‌شان راهنمایی کند. برای تامین یک الگوی مناسب و نسبتاً ایده‌آل برای ساختمان‌ها از نظر مصرف انرژی، باید از تمام زوایا به ساختمان توجه نمود و نکات مهم از دید اتلاف انرژی در ساختمان‌ها را دقیقاً بررسی و مطالعه نمود، تا بتوان الگوی مورد نظر را بر مبنای این پارامترها استوار نمود (شاه‌حسینی و افلاطونیان، ۱۳۹۳).

۲-۲-۳. ذخیره‌سازی انرژی حرارتی در ساختمان‌ها

در بحث ذخیره‌سازی انرژی حرارتی در ساختمان‌ها دو دیدگاه در انتخاب مواد تغییر فاز دهنده وجود دارد. در صورتیکه هدف تامین بار گرمایشی ساختمان به صورت مستقیم باشد، استفاده از مواد با دمای ذوب ۶۰ تا ۷۰ درجه سلسیوس برای این مواد مناسب می‌باشد. موادی که به صورت مستقیم در داخل ساختمان استفاده می‌شوند، دارای دمای ذوب نزدیک به دمای آسایش ساکنین داخل ساختمان می‌باشد. با گرم شدن فضای داخل ساختمان، گرمای اضافی آن توسط مواد تغییر فاز دهنده جذب شده و این مساله سبب ذوب شدن این مواد می‌گردد. از سوی دیگر با پایین آمدن دما نیز این مواد با پس دادن انرژی ذخیره شده مجدداً منجمد گردیده و به حالت اول برمی‌گردند. به طور کلی در این مواد به جای استفاده از ظرفیت حرارتی، از گرمای نهان ذوب استفاده می‌شود. توان این مواد در ذخیره‌سازی انرژی حرارتی نسبت به سایر مصالح موجود بالا می‌باشد. با فرض اختلاف دمای ۱۵ درجه سلسیوس برای حداقل و حداکثر دمایی یک منطقه، یک کیلوگرم از این مواد حداقل معادل چهار کیلوگرم آب و یا ۲۰ کیلوگرم سنگ یا بتن می‌تواند انرژی حرارتی در خود ذخیره کند. با بکارگیری این مواد در بخش‌های مختلف ساختمان، علاوه بر کاهش مصرف انرژی، به دلیل کاهش نوسانات دمایی هوای داخل و باقیماندن دمای هوای اتاق در شرایط مطلوب، شرایط راحتی افراد فراهم می‌گردد. استفاده از مواد تغییر فاز دهنده در مناطقی که اختلاف دمای روز و شب زیاد است، کارایی بیشتری دارد. در صورتیکه هدف استفاده غیرمستقیم از این مواد باشد، باید دمای ذوب آنها به دمای سیستم‌های گرمایشی ساختمان و همچنین آب گرم بهداشتی ساختمان نزدیک باشد (جمشیدی و صدقی، ۱۳۹۵). در حال حاضر اغلب مواد تغییر فاز دهنده تجاری بکار رفته در ساختمان‌ها پارافین و نمک‌های آب‌دار می‌باشد. نمک‌های آب‌دار به دلیل ظرفیت بالای ذخیره انرژی گرمایی، ضریب انتقال حرارت بالا و هزینه‌های مناسب در مقایسه با پارافین‌ها بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. به طور کلی مواد تغییر

فازدهنده در ساختمان‌ها به دو روش فعال و غیرفعال مورد استفاده قرار می‌گیرند. در روش غیرفعال از برخی انرژی‌های تجدیدپذیر مانند خورشید استفاده شده و انرژی حاصل از آن ذخیره می‌گردد. در روش دیگر که به روش فعال معروف است از منابع گرمایشی و سرمایشی موجود در ساختمان‌ها جهت ذخیره انرژی استفاده می‌شود. در ادامه این دو روش به طور کلی توضیح داده شده است.

در سیستم‌های غیرفعال، مواد تغییر فازدهنده انرژی را به طور مستقیم از منبع گرمایی دریافت نموده و سپس با تغییر شرایط آب و هوایی بدون واسطه آن را به محیط پس می‌دهند. در این نوع سیستم‌ها مواد تغییر فازدهنده بخشهایی از جداره‌های پوسته خارجی ساختمان را تشکیل می‌دهند. این مواد در طی روز انرژی تابشی ناشی از نور خورشید را جذب و در خود ذخیره می‌نمایند و سپس در زمان مناسب با کاهش دما آن را به فضای داخل ساختمان منتقل می‌کنند. به طور کلی روش‌های مختلفی جهت ترکیب مواد تغییر فاز دهنده و مصالح ساختمانی وجود دارد. مخلوط کردن مستقیم یک نمونه از روش‌های مهمی است که در آن مواد تغییر فاز دهنده بصورت مایع، پودر یا خمیر با مواد ساختمانی مانند گچ، سیمان، بتن و ... مخلوط می‌گردد. روش دیگری که در ترکیب مواد تغییر فازدهنده و مصالح ساختمانی استفاده می‌شود، غوطه‌ورسازی می‌باشد. در این روش مصالح ساختمانی مانند گچ، آجر، سیمان و ... در مواد تغییر فازدهنده مذاب غوطه‌ور می‌شوند. مواد تغییر فازدهنده درون حفره‌های داخلی مصالح جذب می‌گردند. در شکل‌های زیر نمونه‌ای از مواد تغییر فازدهنده در حالت‌های مختلف نشان داده شده است.



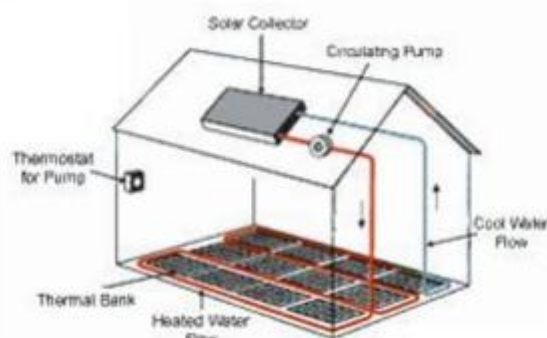
شکل ۲-۵: مواد تغییر فاز دهنده با حالت مایع شکل ۲-۶: مواد تغییر فاز دهنده با حالت پودری



شکل ۲-۷: مواد تغییر فاز دهنده با حالت خمیری

در سیستم‌های ذخیره‌سازی فعال دریافت انرژی از منابع موجود و ذخیره‌سازی آن در مواد تغییر فاز دهنده و انتقال آن به محیط به وسیله تجهیزات خارجی مناسبی (مانند پمپ، فن، لوله و...) صورت می‌گیرد. سیستم‌های گوناگونی برای ذخیره‌سازی فعال وجود دارد که از آن جمله می‌توان پمپ گرمایی خورشیدی، گرمایش، کلکتور آبی الکتریکی، آب خورشیدی و ... را نام برد.

در شکل ۸-۲، یک نمونه از سیستم‌های ذخیره‌کننده انرژی حرارتی با کاربرد گرمایش از کف، در یک ساختمان نشان داده شده است. در این سیستم مواد تغییر فاز دهنده در داخل محفظه‌های استوانه‌ای شکل و در کف ساختمان قرار داده می‌شوند. انرژی حرارتی خورشید توسط کلکتورهای حرارتی قرار گرفته در بالای ساختمان که محتوی آب می‌باشد، جذب شده و سپس آب گرم شده در آنها توسط یک پمپ به سمت محفظه‌های حاوی مواد تغییر فاز دهنده هدایت می‌گردد. حرارت موجود در آب گرم به مواد تغییر فاز دهنده منتقل شده و با ذوب این مواد در آنها ذخیره می‌شود. دمای مواد تغییر فاز دهنده در مدت زمان تغییر فاز و برای یک مدت طولانی ثابت می‌مانند. این مساله حتی در زمان خاموشی سیستم نیز برقرار خواهد بود. با فرارسیدن شب و افزایش میزان مصرف انرژی مواد تغییر فاز دهنده شروع به پس دادن انرژی حرارتی ذخیره شده در خود نموده و بخش از بار حرارتی ساختمان را تامین می‌کنند. با از پس دادن انرژی ذخیره شده به محیط این مواد کمک منجمد می‌گردند. استفاده از این سیستم سبب کاهش مصرف انرژی در ساختمان شده و این مساله از لحاظ اقتصادی بسیار مقرون به صرفه است. این فرآیند بسته به نوع مواد در نوسانات دمایی بالا و پایین ۲۱ درجه سلسیوس انجام می‌گیرد. از مزایای این سیستم می‌توان به راه‌اندازی ارزان، نصب آسان، بی‌خطر بودن و عمر طولانی اشاره کرد.



شکل ۸-۲: شماتیک نحوه نصب یک سیستم ذخیره کننده حرارتی در ساختمان

۲-۳. مواد تغییر فاز دهنده در ساختمان‌ها

دو رویکرد کلی برای استفاده از مواد تغییر فاز دهنده در ساختمان‌ها وجود دارد. رویکرد اول استفاده از گرمای طبیعی خورشید و سرمای شبانه برای گرمایش و سرمایش فضا در مواقع مورد نیاز، و دیگری استفاده از گرما و سرمای مصنوعی برای ذخیره‌سازی حرارت می‌باشد. نوع ماده تغییر فاز دهنده با توجه به نقطه ذوب، جرم حجمی، گرمای نهان و از این قبیل خصوصیات در هر عملکرد بایستی به درستی انتخاب گردد. با انتخاب درست و مناسب این مواد می‌توان حجم سیستم ذخیره‌ساز، میزان صرفه‌جویی در بارهای ساختمانی و غیره را بهینه و مطلوب نمود. به طور کلی، همانطور که پیش‌تر گفته شد؛ دو روش برای استفاده از مواد تغییر فاز دهنده در ساختمان‌ها وجود دارد. روش اول استفاده از این مواد در جداره‌های ساختمان، و روش دوم استفاده در سیستم‌های تهویه مطبوع ساختمان می‌باشد. روش اول غیرفعال و روش دوم فعال می‌باشد. تحقیقات زیادی مبنی بر استفاده از این مواد با روشهای گوناگون انجام شده است (آرامی و مختاری‌یزدی، ۱۳۹۲).

۲-۴. ترمووود و مباحث پیرامون آن

بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان از جمله مباحث مهمی است که جنبه‌های مختلفی از آن با استفاده از علوم نوین و تکنولوژی‌های مدرن مورد بررسی قرار می‌گیرد. امروزه ساختمان‌ها به سمتی پیش می‌روند تا از مراحل ابتدایی یعنی از زمان طرح‌ریزی و نقشه‌کشی ساختمان گرفته تا دیزاین دکوراسیون داخلی و حتی انتخاب مصالح ساختمانی، وابسته به موضوع بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان باشند. ساده‌انگاری است که همانند گذشته که سوخت ارزشمند با استفاده از بخاری یا با استفاده از چیلرهای پرمصرف به هدر می‌رفت. امروز با درک اهمیت هرچه بیشتر انرژی و همچنین افزایش قیمت انواع انرژی، صرفه‌جویی و بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان، اهمیت بالایی پیدا کرده است. یکی از مهمترین عوامل تاثیرگذار در هدررفت انرژی در ساختمان‌ها، مصالح ساختمانی بکار رفته در ساخت ساختمان یا نمک‌کاری آن است. مصالح ساختمانی می‌توانند باعث هدر رفت انرژی شوند یا به عنوان عاملی موثر در بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان به کار آیند. در سال‌های اخیر تکنولوژی به کمک آمده تا مصالح ساختمانی نیز همانند سدی برای جلوگیری از هدر رفتن انرژی مورد استفاده قرار گیرند. تکنولوژی‌های جدید کمک می‌کنند تا مصالح ساختمانی مختلف از بتون گرفته تا آجر و حتی چوب‌های ترمووود به نحو بهینه تولید شوند. در روند ساخت مصالح ساختمانی از

تکنولوژی‌های پیشرفته‌ای استفاده می‌شود تا به عایق بودن مصالح ساختمان کمک کند. هر نوعی از مصالح ساختمانی عایق بهتری باشد، برای بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان مفیدتر است. چوب‌های ترمووود به علت فرآیندی که در این جریان طی می‌کنند دارای خصوصیات ویژه‌ای می‌شوند که آنها را به بهترین گزینه برای نمای بیرونی و داخلی ساختمان تبدیل می‌سازد. با بکارگیری روش‌های مهندسی و فراوری مناسب، می‌توان عمر و دوام چوب‌ها را افزایش داد و آنها را در برابر شرایط محیطی مقاوم‌تر ساخت.

کشور فنلاند پس از سالها تحقیقات و آزمایش در زمینه عمل‌آوری حرارتی چوب، به روش ترمووود دست یافت. در این روش، ابتدا چوب‌ها را برش داده و به اشکال مختلف در می‌آورند. سپس در داخل دستگاه ترمووود آنها را تا ۱۰۰ و سپس ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد تحت شرایط خاص گرما می‌دهند. این عمل باعث خشک‌شدن چوب و کاهش رطوبت آن می‌شود. در مرحله بعد، حرارت را تا ۱۸۰ الی ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد تحت همان شرایط بالا می‌برند و چند ساعت چوب‌ها را در این دما و شرایط نگه می‌دارند. در این حالت، صمغ و رطوبت چوب بطور کامل خارج می‌شود و تمام قسمت‌های چوب تا مرکز آن به رنگ قهوه‌ای روشن در می‌آید. در مرحله بعد، چوب را آرام آرام سرد می‌کنند تا دمای آن به ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد برسد و سپس با پاشیدن آب و بخار آب دمای آن را به دمای محیط می‌رسانند. در این مرحله، چوب رطوبت جذب کرده و رطوبت نهایی آن به ۴ تا ۶ درصد می‌رسد. در این روش، از هیچ ماده شیمیایی استفاده نشده و تمام عملیات بدون مواد افزودنی انجام می‌گیرد. با استفاده از این روش، عمده خصوصیات منفی چوب تقریباً از بین می‌روند. به دلیل دمای بالایی که چوب متحمل می‌شود، زنجیره‌های سلولزی آن شکسته شده، اسیدهای آن تجزیه شده و از هر گونه جانور میکروسکوپی و حشرات پاک می‌شود. بخش عمده رزین چوب از آن خارج می‌شود و آن قسمتی که باقی می‌ماند به شکل بلور درآمده و بی‌ضرر می‌گردد. پس از این فرایند، چوب در مقابل سرما، گرما، بارندگی، رطوبت، حشرات و هر گونه تغییر شکل در محیط‌های بیرونی و داخلی مقاوم می‌شود.

ترموچوب دارای دو روش استاندارد تولید Thermo-S و Thermo-D می‌باشد. حرف S در Thermo-S مخفف کلمه Stability یا پایداری است. محصولات این روش، بین ۶ الی ۸ درصد بسته به میزان رطوبت محیط، تغییر ابعاد یا تورم خواهند داشت. گونه‌های سوزنی این محصولات برای استفاده در اجزای داخل ساختمان، اتصالات در محیط خشک، مبلمان داخل، سونا، اجزای درب و پنجره و گونه‌های پهن برگ برای اتصالات در هر نوع آب و هوا، مبلمان، کف‌پوش، سونا، مبلمان و فضای سبز توصیه می‌شود. حرف D در Thermo-D مخفف کلمه Durability یا دوام

است. محصولات این روش، بین ۵ الی ۶ درصد بسته به میزان رطوبت محیط تغییر ابعاد یا تورم خواهند داشت. گونه‌های سوزنی این محصولات برای استفاده در نما و دیوار، درب‌های بیرونی، پشت پنجره، سونا، حمام و سرویس بهداشتی، کف پوش و مبلمان فضای سبز و گونه‌های پهن برگ برای تمام مصارف مشابه نوع S با رنگ تیره‌تر توصیه می‌گردند.

این روزها ترموود به عنوان یک متریال مقاوم در برابر گرما، رطوبت، ضربه و سایر عوامل آسیب‌زننده، استفاده فراوانی پیدا کرده است. از کف‌سازی چوبی محوطه‌های وسیع گرفته تا نرده پله و قرنیز دیوار و جزئیات دکوراسیون داخلی. می‌توان برای ساخت آلاچیق، پرگولا و مبلمان چوبی از آن استفاده کرد یا در طراحی روف‌گاردن و فلاور باکس و گلدان، از رنگ ترموود برای افزایش مقاومت آن در برابر اشعه فرابنفش استفاده می‌شود. زیرا ترموود در اثر قرار گرفتن در مقابل این اشعه، دچار تغییر رنگ شده و کم‌کم از رنگ قهوه‌ای به خاکستری تغییر می‌کند.

بطور کلی امروزه، نما یکی از مهمترین بخش‌های ساختمان می‌باشد که نه تنها عهده‌دار زیبایی خارجی ساختمان می‌باشد بلکه از لحاظ کیفیت می‌بایست از استانداردهای لازم برخوردار باشد. مقررات وضع‌شده به منظور اطمینان حاصل کردن از ایمنی، بهداشت، بهره‌دهی مناسب، آسایش و صرفه اقتصادی و همچنین به منظور تامین نیاز ساکنین و استفاده‌کنندگان به عنوان مبحث چهارم از مقررات ملی ساختمان ملاک عمل قرار می‌گیرد. چوب نما یکی از مناسب‌ترین متریال‌های مورد استفاده در ساختمان می‌باشد که تمامی ویژگیهای مورد نیاز برای نمای استاندارد را دارا می‌باشد. یکی از اصول با اهمیت که تطابق بسیاری با قوانین ملی استاندارد دارد برخورداری از ویژگی عایق حرارتی می‌باشد که همین امر منجر به جلوگیری از اتلاف انرژی خواهد بود. به عبارتی دیگر انرژی تولیدشده برای تولید سرما در تابستان و تولید گرما در زمستان به طور چشمگیری با استفاده از چوب نما کاهش می‌یابد. بنابراین، استفاده از چوب در نمای ساختمان نه تنها دارای زیبایی و گرمی جذابی می‌باشد بلکه از حیث انرژی می‌تواند صرفه‌جویی قابل توجهی انجام شود. در واقع استفاده از چوب نما یکی از تمهیداتی به منظور بهره‌برداری از تاسیسات گرمایشی و سرمایشی هر چه کمتر می‌باشد. استفاده و کاربرد چوب نما فواید بسیار زیادی در صنعت ساختمان سازی دارا می‌باشد و امروزه با توجه به آشنایی مردم با محاسن و مزایای چوب طبیعی برای استفاده در نما و سایر کاربردهای ساختمانی که با زندگی روزمره افراد عجین گشته، رشد و توسعه ی فراوانی نموده است.

در اجرای نمای چوبی ترموود شرایط محیط کارگاهی تفاوت چندانی بین ترمو و دیگر انواع الوار از نقطه نظر سمباده کاری و هموار و نرم نمودن سطوح به منظور آماده‌سازی آنها جهت نصب وجود

ندارد. و تاکنون مشکلی گزارش نشده است. حتی در اجرای نمای چوبی ترمووود بسیاری از موارد مشاهده شده است که احتیاجی به استفاده از دستگاه‌های سمباده دستی و برقی هم وجود ندارد. برای اینکه کیفیت اجرای نمای چوب به حداکثر خود برسد باید دقت شود در نصب، سطح زیرین کار شده چه از نمای چپ به راست چه از بالا به پایین متعادل باشد. محکم بودن سطح زیر اجرای نمای چوب بسیار مهم است به گونه‌ای که برای چوب درختان برگ سوزنی ۱۰۰ کیلوگرم بر مترمربع و برای درختان پهن برگ ۲۰ کیلوگرم بر متر مربع باشد. حداقل ضخامت تراز در هنگام نصب در سطح تراز باید ۳ سانتیمتر باشد. باید دقت کرد زیرسازی فلزی مشبک کاملاً سبک اجرا شود و برای برگشت‌های بیشتر از ۲۵ سانت احتیاج اساسی به آهن‌کشی می‌باشد.

طیف گسترده محصولات ترمووود به معماران و مالکین این اجازه را می‌دهد تا تصورات و رویاهای خود را در زمینه طراحی تحقق بخشند و به مرحله عمل درآورند. اصلاح چوب به روش ترمو و تبدیل آن به ترمووود رنگ بسیار زیبا و ظاهر بی‌نظیری را به آن می‌بخشد. چوب ترمو در حالی که حس گرمی و طبیعی بودن چوب را حفظ می‌کند، محصولی با دوام، مستحکم و مقاوم در برابر عوامل محیطی می‌باشد. چوب ترمو به شدت در مقابل قارچ‌زدگی، گرما و کپک مقاوم می‌باشد. ترمووود در مکان‌هایی که بسیاری از متریال‌های طبیعی دوام نمی‌آورند و از بین می‌روند مانند مکان‌هایی با رطوبت بالا، سونا، محیط باز و بر روی مکان‌های گرمایش از کف بسیار مناسب و قابل استفاده می‌باشد.

۲-۳. پیشینه پژوهش

اولین تحقیق انجام گرفته در زمینه خنک‌سازی خود به خودی ساختمان توسط ترنپنی^۱ و همکارانش در سال ۲۰۰۰ میلادی صورت گرفت. آنها در تحقیق خود لوله حرارتی را با سامانه ذخیره‌کننده انرژی که حاوی ماده تغییر فاز بود، ادغام کردند. نمک آبدار سولفات سدیم به همراه ۱/۵٪ عامل هسته زای براکس به عنوان PCM استفاده شد. این ماده تغییر فاز ۲۱ است. پس از آنکه به مدت ۹ ساعت در فرآیند جذب انرژی در معرض هوای ۱۶ قرار گرفت، کاملاً ذوب گردید. برای مطالعه کارکرد PCM در سامانه‌های سرمایش رایگان سامانه‌ای در مقیاس آزمایشگاهی توسط زلبا^۲ و همکارانش طراحی و ساخته شد. مارین^۳ و همکارانش دستگاه استفاده شده توسط زلبا و همکارانش را با قرار دادن مواد گرافیتی به همراه مواد تغییر فاز دهنده پارافینی برای افزایش انتقال حرارت، بهبود بخشیدند. به دلیل

^۱. Turnpenny

^۲. Zelba

^۳. Marin

افزودن گرافیت، رسانش افزایش یافته بدون آنکه کاهش زیادی در سیستم ذخیره انرژی رخ دهد. تاکدا^۱ و همکارانش یک سامانه ذخیره سازی انرژی گرمایی بستر ثابت را که با ماده تغییر فاز پر شده بود، برای کاهش انرژی مورد نیاز تهویه در شرایط آب و هوایی ۸ شهر ژاپن مورد مطالعه قرار دادند تا اثر تغییرات آب و هوایی بر میزان ذخیره سازی انرژی را مشخص کنند. ناگانو^۲ و همکارانش مواد تغییر فاز دهنده پارافینی را به صورت گرانول در اندازه های میلی لیتر و به طور مستقیم در کف ساختمان قرار دادند. این بستر مواد تغییر فاز دهنده دارای تخلخل بوده و بنابراین برای استفاده در سیستم های تهویه کف ساختمان مناسب می باشند. آکر و مدود^۳ تاثیر خواص حرارتی مواد تغییر فاز دهنده بر روی نتایج مدل عددی توسعه داده شده برای یک بستر ذخیره انرژی سرمایه خودبخودی را مورد مطالعه قرار دادند. مدل عددی بستر طوری طراحی شده بود که غیر یکنواختی تخلخل مواد تغییر فاز دهنده و سرعت سیال را که ناشی از نسبت کم قطر لوله به کره های PCM بود شامل شود. براساس یافته های مارین و همکارانش مبنی بر اینکه پوشش های مکعب مستطیلی نازکتر در سرمایه رایگان عملکرد بهتری دارند، دو مبدل انتقال حرارت میان مواد تغییر فاز دهنده و هوا در مقیاس واقعی توسط لازارو و همکارانش ساخته شد و مورد آزمایش قرار گرفت.

- مطالعه پارامتری برای خنک سازی فضا با استفاده از دمای شب سرد توسط تیزیواندیز^۴ و همکارانش صورت گرفت. بر طبق نتایج آنها، مهمترین پارامترهای که باید در نظر گرفته شوند عبارتند از ضخامت لایه PCM، دمای آب ورودی، مدت زمان خنک سازی و ویژگیهای مواد تغییر فاز دهنده (رسانش، گرمای تغییر فاز، آخرین حد دمای تغییر فاز).

- مصفا و همکارانش با استفاده از آنالیز اکسرژی به بررسی سامانه خنک سازی آزاد پرداختند.

- یزدان شناس و همکارانش در تحقیق خود آزمایشگاهی مطالعاتی در مورد مبدل حرارتی برای ذخیره انرژی خورشیدی انجام دادند توزیع دما در راستای طول و شعاع در نقاطی برابر در داخل کپسول و آب داخل مخزن PCM دمای ورودی و خروجی مخزن PCM تغییرات دمایی آب مصرفی دمای ورودی و خروجی کلکتور و میزان انرژی تابشی خورشیدی اندازه گیری شده تا بازده کلکتور خورشیدی و مبدل حرارتی مواد تغییر فاز دهنده را از این طریق محاسبه نمایند.

¹. Takeda

². Nagano

³. Aker & Medved

⁴. Tzivanidis

- طاهری و همکارانش در پژوهش عنوان کردند که؛ استفاده از گرمای نهان در مواد تغییر فازدهنده‌ها (PCM) گام موثری در جهت ذخیره‌سازی انرژی می‌باشد. گرمای نهان ذخیره‌شده از طریق تغییر فاز این مواد در دمای موردنظر کاربر، قابلیت تأمین یا بهبود شرایط آسایش حرارتی، کاهش بارهای ساختمانی و غیره را دارد. در معماری سنتی استفاده از قابلیت ذخیره‌سازی گرما در جدارهای ساختمانی متداول بوده است. این روشها که بر پایه گرمای محسوس هستند، با توجه به بالا بودن جرم جدارها، در معماری امروز که با رویکرد سبک‌سازی و کاهش مصرف مصالح می‌باشد، جایگاهی ندارند. همچنین، استفاده از مواد تغییر فازدهنده برای عملکردهای مختلف گسترش یافته است. استفاده از گرمای نهان این مواد در سیستم‌های گرمایش- سرمایش و تهویه مطبوع، پانل‌های بکار رفته در جداره‌های ساختمان، صنایع اتومبیل‌سازی، صنایع نساجی و از این قبیل، برخی از کاربردهای مواد تغییر فازدهنده می‌باشد. تنوع مواد تغییر فازدهنده برای عملکردهای مختلف بسیار زیاد است. تنوع در مشخصات فیزیکی و مکانیکی مواد، نظیر دمای ذوب، ضریب انبساط حرارتی، گرمای نهان ذوب و انجماد، و دوام در برابر عوامل محیطی در عملکرد این مواد در شرایط مختلف کاربرد نقشی تعیین‌کننده دارند.

- منصوری و همکارانش در پژوهشی عنوان کردند؛ درک چگونگی روند مصرف انرژی و ارائه روش‌های مختلف جهت کاهش و بهینه‌سازی آن تحت عنوان ممیزی یا مدیریت مصرف انرژی در سالهای اخیر، به شدت مورد توجه قرار گرفته است. ممیزی انرژی در ساختمان تابعی از سطح علمی، تجربه، آگاهی و شناخت ممیز از فن‌آوریهای نوین و جدیدترین روشهای بهینه‌سازی انرژی می‌باشد. انرژیهای تجدیدپذیر و نقش آنها در مساله مدیریت مصرف انرژی، مساله مهمی است که کمتر مورد توجه متخصصان این بخش قرار گرفته است. مواد تغییر فازدهنده نسل جدیدی از اجرام حرارتی می‌باشند که در هنگام دریافت انرژی، با تغییر فاز آن را به صورت انرژی نهان در خود ذخیره می‌کنند و در زمان موردنظر با برگشت به فاز اولیه، انرژی ذخیره شده را در اختیار محیط پیرامونی خود قرار می‌دهند. با توجه به متنوع بودن دمای ذوب این مواد استفاده از آنها در سیستمهای گرمایشی و سرمایشی ساختمان و همچنین تامین آب گرم بهداشتی در سالیان اخیر به شدت مورد توجه قرار گرفته است. ذخیره‌سازی انرژی گرمایی خورشید در روزهای گرم و استفاده از آن جهت تامین بار گرمایشی ساختمان در هنگام شب و همچنین ذخیره‌سازی انرژی سرمایشی تولید شده در مولدهای برودتی در ساعات غیرضروری و استفاده از آن در ساعات پرمصرف می‌تواند راهکاری مناسب در جهت کاهش نرخ هزینه‌های مربوط به مصرف انرژی در ساختمان باشد.

۲-۴ - جمع‌بندی و خلاصه فصل دوم

در این فصل به بررسی انواع مواد تغییرفازدهنده و خصوصیات و موارد استفاده آنها در عملکردهای مختلف نحوه بکارگیری و رفتار آنها در پروژه‌های ساختمانی که در کشورهای پیشرفته به اجرا درآمده‌اند پرداخته شد. شناخت مواد تغییرفازدهنده به صورت عملی، معماران را در بکارگیری این مواد که مهمترین مزیت آن ذخیره گرمای نهان است، یاری خواذ کرد. در پایان این فصل، برخی تحقیقات داخلی و خارجی انجام شده در حوزه موضوع پژوهش، بررسی گردید.

فصل ۳:

روش تحقیق

۳-۱. مقدمه

شناخت‌های بدست آمده، همیشه حقیقت ندارند زیرا زمینه شناخت مورد پژوهش نامحدود و آگاهی و روش‌ها برای کشف حقیقت محدود هستند. هدف فعالیت‌های پژوهشی حقیقت‌جویی است و پژوهشگران با صداقت به دنبال این هدف می‌باشند. اما موضوع مهم این است که، انتخاب روش تحقیق مناسب به ماهیت هدف‌ها، موضوع مورد تحقیق، و امکانات اجرایی بستگی دارد. امروزه پژوهش علمی تأثیر چشمگیری بر رشد و گسترش علوم و دانش بشری گذاشته است. هدف از پژوهش علمی شناسایی پدیده‌ها، مشخص نمودن روابط بین پدیده‌ها است و به دنبال آن در پی دستیابی به قواعد و قوانینی است که به وسیله آن بتوان تغییرات این پدیده‌ها را پیش‌بینی نمود. پژوهش علمی امری است نظام‌دار، منطقی، تجربی، تکرارپذیر و انتقال‌پذیر که از طریق ساختار علمی، داده‌ها را خلاصه نموده و به وسیله شیوه‌های تحلیل، توانایی شناسایی روابط کلی را افزایش می‌دهد. این پژوهش با نوعی مسأله یا مشکل آغاز می‌شود که با استفاده از روش علمی به دنبال یافتن جواب آن هستیم. هرچند که حصول توافق میان دانشمندان و پژوهشگران درباره تعریف پژوهش علمی چندان ساده نیست، اما یک تعریف قابل قبول در مورد آن چنین است: "پژوهش علمی عبارت است از مطالعه نظام‌دار، کنترل‌شده، تجربی و انتقادی یک یا چند قضیه فرضی در مورد روابط احتمالی میان پدیده‌های طبیعی".

در تعریفی دیگر، پژوهش فرآیندی است که از طریق آن می‌توان درباره ناشناخته‌ها به جستجو پرداخت و نسبت به آن شناخت لازم را کسب نمود. در این فرآیند از چگونگی گردآوری شواهد و تبدیل آنها به یافته‌ها تحت عنوان "روش‌شناسی" یاد می‌شود. روش علمی یا روش پژوهش علمی فرآیند جستجوی منظم برای مشخص کردن یک موقعیت نامعین است. از جمله ویژگی‌های مطالعه علمی که هدفش حقیقت‌یابی است استفاده از یک روش پژوهش مناسب می‌باشد و انتخاب روش پژوهش مناسب به هدف‌ها و ماهیت موضوع مورد پژوهش و امکانات اجرایی بستگی دارد و هدف از آن پژوهش، دسترسی دقیق و آسان به پاسخ پرسش‌های پژوهش است.

در این فصل به بررسی چگونگی گردآوری داده‌ها، تحلیل آنها جهت استفاده از داده‌های خام در راستای فرضیات تحقیق پرداخته می‌شود.

۳-۲- روش تحقیق

در هر پژوهش براساس موضوع تحقیق روش مناسبی برای انجام پژوهش برگزیده می شود. روش تحقیق مجموعه ای از قواعد، ابزار و راه های معتبر و قابل اطمینان و نظام یافته برای بررسی واقعیت ها، کشف محصولات و دستیابی به راه حل مشکلات است. در این پژوهش به بررسی عوامل صرفه جویی در مصرف انرژی در جهت بهبود وضعیت در موزه ها پرداخته می شود.

این فصل به روش پژوهش اختصاص دارد که در آن توضیحاتی درباره روش جمع آوری داده ها و ابزار جمع آوری داده ها می پردازیم

۳-۲-۱- تحقیقات توصیفی _تحلیلی

نوع تحقیق در قسمت مطالعات نظری توصیفی _تحلیلی است. تحقیق توصیفی تحلیلی عبارتست از: محقق علاوه بر تصویر سازی آنچه هست به تشریح و تبیین دلایل چگونه بودن و چرایی وضعیت مسئله و ابعاد آن می پردازد. محقق برای تبیین و توجیه دلایل نیاز به تکیه گاه استدلالی محکمی دارد. این تکیه گاه از طریق جستجو در ادبیات و مباحث نظری تحقق و تدوین گزاره ها و قضایای کلی موجود درباره آن فراهم می شود. محقق از نظر منطقی جزئیات مربوط به مسئله تحقیق خود را با گزاره های کلی مربوطه ارتباط می دهد و به نتیجه گیری می پردازد. نکته قابل توجه این است که هر کدام از تحقیقات مزبور در جای خود ارزش علمی دارد. تحقیق توصیفی را می توان به دسته های زیر تقسیم بندی کرد: ۱- تحقیق پیمایشی ۲- همبستگی ۳- اقدام پژوهی ۴- بررسی موردی ۵- تحقیق پس رویدادی

هدف دستیابی به متریکال بهینه در راستای کاهش مصرف انرژی میباشد که از طریق مطالعات و مدل سازی فرم های اولیه در نرم افزار رویت و دیزاین بیلدر سبب کمک به ارتقا و حفظ کیفیت محیط زیست از طریق ارائه متریکال در جهت طراحی پایدار میباشد.

۳-۲-۱. علت انتخاب روش

از یک منظر؛ روش‌شناسی، مطالعه منظم، منطقی و اصولی است که کاوش علمی را راهبری می‌کند. و از این دیدگاه، روش‌شناسی به عنوان شاخه‌ای از منطق و یا حتی فلسفه است. دیدگاهی دیگر؛ روش‌شناسی را شاخه‌ای از علم می‌داند. در مقابل، تالکوت پارسونز معتقد است که روش‌شناسی در اصل با روش‌های پژوهش تجربی نظیر آمارشناسی، مطالعه موردی، مصاحبه و غیره سروکار ندارد، بلکه ملاحظه زمینه‌های کلی برای اعتبار کار علمی است. روش‌شناسی نه دقیقاً یک رشته فلسفی و نه دقیقاً رشته‌ای علمی است. اندیشمندان مختلف براساس معیارهای گوناگون از قبیل هدف، زمان، ژرفایی، وسعت، کاربرد و میزان کنترل پژوهشگر تقسیم‌بندی‌هایی انجام داده و انواعی از پژوهش‌ها را در آثار خود ارائه داده‌اند.

آزمایش دقیق‌ترین و در عین حال پیچیده‌ترین شکل پژوهش علمی است. یکی از ویژگیهای عمده این روش کنترل است و با عنایت به این ویژگی است که پژوهشگر توانایی تعیین روابط علت و معلولی بین متغیرهای مورد پژوهش را دارد. به عبارت دیگر هدف آزمایش استنباط روابط علت و معلولی بین پدیده‌هایی است که مورد کنترل قرار گرفته‌اند. به همین دلیل بحث از علیت و ویژگی‌های روابط علی بین متغیرها از مباحث عمده در تحقیق آزمایشی می‌باشد.

۳-۲-۲. روش گردآوری اطلاعات (میدانی، کتابخانه‌ای و غیره):

روش گردآوری داده‌ها شامل: مطالعات کتابخانه‌ای، اسناد و مدارک موجود و کتب و سایت‌های مرتبط با طراحی معماری موزه اتومبیل و کاهش مصرف انرژی و می‌باشد.

۳-۳-۱. ابزار گردآوری اطلاعات

فیش برداری از کتابخانه، تهیه جداول، استفاده از شبکه‌های ماهواره‌ای و اینترنتی به منظور بدست آوردن اطلاعات

۳-۴- روش تحقیق آزمایشگاهی

در فرآیند پژوهش، یکی از مهمترین بخش‌ها را گردآوری داده‌ها و شیوه‌های آن تشکیل می‌دهد. قدر مسلم، ابزار گوناگونی برای گردآوری داده‌ها وجود دارد و هر پژوهشگر بنا به نوع پژوهش و ضرورت، یکی از روش‌های کلی گردآوری داده‌ها شامل: مرور بر پژوهش‌ها، پرسشنامه‌ها، مصاحبه‌ها و یا مشاهدات را انتخاب می‌کند. و از مهمترین بخش‌های یک کار پژوهشی جمع‌آوری اطلاعات می‌باشد. اگر این کار به شکل منظم و صحیح صورت پذیرد، کار تجزیه و تحلیل و نتیجه‌گیری از داده‌ها با سرعت و دقت خوبی انجام خواهد شد.

۳-۵- روش تجزیه و تحلیل اطلاعات

در روش تجزیه تحلیل از نرم افزار رویت و دیزاین بیلدر استفاده می‌شود، که برنامه‌های فوق قابلیت اندازه‌گیری و محاسبه مقدار انرژی را داراست و برنامه موفقی در زمینه ارائه راهکار مطلوب جهت خروجی مناسب می‌باشد. پس از طراحی فرم موزه به منظور تحلیل چگونگی مصرف انرژی در آن و دانستن متریکال بهینه از نرم افزار رویت و دیزاین بیلدر استفاده می‌شود.

در این پژوهش، پس از مرور پیشینه پژوهش‌های انجام شده، مدل طرح جهت انجام شبیه‌سازی‌ها تعریف شده است. ابتدا مدل اولیه (خام)، در نرم افزارها مورد شبیه‌سازی قرار گرفته و سپس مدل ثانویه (با متریکال)، در نرم افزارها مورد شبیه‌سازی قرار می‌گیرد در نهایت نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است.

نتایج بدست آمده از این نرم افزار را میتوان به عنوان پاسخ به فرضیه‌ها عملی ارائه و از آن راهکارها استفاده کرد.

نرم افزار Design Builder برای شبیه‌سازی و تحلیل اقلیمی فضاهای مختلف طراحی شده و موتور Energy Plus مورد استفاده در این نرم افزار در آزمون‌های معتبر سنجیده شده و همچنین از آن در بسیاری از مقالات علمی معتبر به عنوان معیار سنجش استفاده و نتایج اعتبار سنجی این نرم افزار در وب سایت Energy plus موجود می‌باشد.

۳- ۶- روند کار

- فعالیت ۱: مطالعات

- ۱- جستجو در منابع جهت یافتن مواد تغییر فاز دهنده مناسب برای کاربردهای ساختمانی در شرایط مختلف.
- ۲- جستجو در منابع جهت یافتن روش ساخت نانوکپسول مواد تغییر فاز دهنده.
- ۳- جستجو در منابع جهت یافتن آزمایشات و آنالیزهای لازم برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نانوکپسول‌های ساخته شده.
- ۴- بررسی روش‌های مختلف ساخت و تولید ترمووود-PCM.
- ۵- جستجو در منابع جهت یافتن آزمایشات و آنالیزهای لازم برای تعیین خصوصیات کامپوزیت ساخته شده.
- ۶- بررسی و مطالعه در مورد نحوه‌ی طراحی و ساخت اتاقک برای تعیین میزان کارایی کامپوزیت ساخته شده.
- ۷- بررسی و مطالعه‌ی سایر مقالات مرتبط با تحقیق، جهت آشنایی با کارهای انجام شده و در حال انجام.

- فعالیت ۲: تهیه تجهیزات و مواد

- ۱- سفارش و خرید مواد لازم برای ساخت نانوکپسول.
- ۲- سفارش و خرید تجهیزات لازم برای ساخت نانوکپسول.
- ۳- سفارش و خرید مواد لازم برای ساخت کامپوزیت و اتاقک.
- ۴- سفارش و خرید تجهیزات لازم برای ساخت کامپوزیت و اتاقک.

- فعالیت ۳: ساخت و بررسی نانوکپسول مواد تغییر فاز دهنده

- ۱- ساخت نانوکپسول مواد تغییر فاز دهنده.
- ۲- تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نانوکپسول.
- ۳- بررسی پارامترهای مختلف در ساخت نانوکپسول به کمک طراحی آزمایش به منظور رسیدن به کارایی بهتر نانوکپسول.

- فعالیت ۴: ساخت و بررسی کامپوزیت

- ۱- ساخت کامپوزیت به روش‌های مختلف تولید.

- ۲- اندازه‌گیری مشخصات مکانیکی کامپوزیت ساخته شده.
- ۳- بررسی تأثیر پارامترهای مختلف در ساخت کامپوزیت بر مشخصات مکانیکی آن به کمک طراحی آزمایش.

شکل ۲-۹ (نمونه آزمایشگاهی ساخته شده)



۲) تزریق پارافین در لایه میانی ترموود

۱) تزریق پارافین در لایه خارجی ترموود

- فعالیت ۵: ساخت اتاقک نمونه

- ۱- ساخت دو اتاقک نمونه؛ یکی مجهز به کامپوزیت ساخته شده و دیگری بدون آن.
- ۲- اندازه‌گیری میزان تأثیر کامپوزیت در کنترل دما در اتاقک و کاهش مصرف سوخت.
- ۳- وارد کردن اتاقک مورد نظر در برنامه رویت و دادن متریکال معمولی با توجه به جدول تناوبی این متریکال ها و ضرایب آنها
- ۴- گرفتن نتیجه تجزیه و تحلیل انرژی اتاقک معمولی با کمک نرم افزار های رویت ، Greenbuilding Studio، Insight و دیزاین بیلدر که همزمان بتوان میزان مصرف انرژی خورشیدی و فسیلی و الکترونیکی را در اتاقک فوق بدست آورد
- ۵- وارد کردن اتاقک مورد نظر در برنامه رویت و دادن متریکال پیشنهادی با توجه به جدول تناوبی این متریکال ها و ضرایب آنها
- ۶- گرفتن نتیجه تجزیه و تحلیل انرژی اتاقک پیشنهادی با کمک نرم افزار های رویت ، Greenbuilding Studio، Insight و دیزاین بیلدر که همزمان بتوان میزان مصرف انرژی خورشیدی و فسیلی و الکترونیکی را در اتاقک فوق بدست آورد

فعالیت ۶: نتیجه گیری

- ۱- بررسی و مقایسه نتایج بدست آمده از دو اتاقک
- ۲- معرفی میزان اختلاف انرژی مصرفی ۲ اتاقک

فصل ۴:

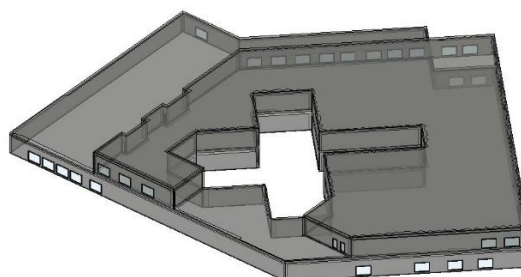
نتایج و تفسیر آنها

۴-۱- مقدمه

افزایش آلودگی محیط زیست در پی استفاده از انرژی فسیلی لزوم به کارگیری انرژی های تجدیدپذیر، مخصوصاً در بخش ساختمان که بیشتر از ۴۰ درصد از مصرف انرژی کل کشور را به خود اختصاص داده است در سالهای اخیر بیشتر نموده است. بیشک مبحث انرژی از چالش برانگیزترین مسائل قرن جاری است. با توجه به افزایش جمعیت و کاهش منابع انرژیهای تجدیدپذیر، نیاز انسان به منابع و راه های جدید تأمین انرژی افزایش مییابد. استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر در شبکه های توزیع انرژی با عنوان منابع تولید پراکنده برای بارهای مصرفی پراکنده و کم در یک منطقه می تواند راهکار مناسبی جهت کاهش هزینه های اقتصادی، کاهش آلودگی محیط زیست و افزایش بهره وری انرژی گردد. در این پژوهش، پس از مرور پیشینه پژوهش های انجام شده، مدل طرح جهت انجام شبیه سازی ها تعریف شده است. سپس مدل پیشنهادی، در نرم افزار دیزاین بیلدر مورد شبیه سازی قرار گرفته و در نهایت نتایج حاصل از شبیه سازی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. راهکارها و نتایج بدست آمده از این نرم افزار را میتوان به عنوان پاسخ به فرضیه ها عملی ارائه و از آن راهکارها استفاده کرد.

Project Summary

Location and Weather	
Project	Project Name
Address	## Street City, State Zip
Calculation Time	Sunday, June 9, 2019 9:52 PM
Report Type	Standard
Latitude	35.73°
Longitude	51.22°
Summer Dry Bulb	39 °C
Summer Wet Bulb	23 °C
Winter Dry Bulb	-3 °C
Mean Daily Range	11 °C



شکل (۴-۱) خلاصه مشخصات ساختمان دیزاین شده

همانطور که در تصویر ۴-۱ مشخص است به معرفی اطلاعات (رطوبت در زمستان و تابستان ، مساحت) ساختمان فوق می پردازد.

در تصویر فوق به معرفی نام پروژه ، روزی که بررسی انجام شده و معرفی حباب رطبی و خشکی منطقه دیزاین بنا می پردازد.

Building Summary

Inputs	
Building Type	Museum
Area (m ²)	5,854
Volume (m ³)	22,184.77
Calculated Results	
Peak Cooling Total Load (W)	374,547
Peak Cooling Month and Hour	July 3:00 PM
Peak Cooling Sensible Load (W)	282,581
Peak Cooling Latent Load (W)	91,966
Maximum Cooling Capacity (W)	374,547
Peak Cooling Airflow (L/s)	17,420.8
Peak Heating Load (W)	73,765
Peak Heating Airflow (L/s)	6,083.3
Checksums	
Cooling Load Density (W/m ²)	63.98
Cooling Flow Density (L/(s·m ²))	2.98
Cooling Flow / Load (L/(s·kW))	46.51
Cooling Area / Load (m ² /kW)	15.63
Heating Load Density (W/m ²)	12.60
Heating Flow Density (L/(s·m ²))	1.04

شکل (۴-۲) مشخصات میزان سرما و گرمای مصرفی بخش های مختلف ساختمان

در تصویر ۴ - ۲ به بررسی میزان گرما و سرمای مجموعه در کل یکسال پرداخته و در کل به نمایش می گذارد در این تصویر مساحت زیر بنا را محاسبه کرده و با توجه به دیزاین اولیه میزان اوج سرما ، گرما ، و میزان اوج جریان هوای سرد و گرم را بررسی می نماید

Base Run Air Equipment		Note: this information should not be used for sizing purposes.
① Variable Air Volume	Supply Fan Flow	3,273 LPerSec
	Annual Supply Fan Run Time	8,760 Hours
	Cooling Capacity	-468,846
	Heating Capacity	468,909
① Variable Air Volume	Supply Fan Flow	3,046 LPerSec
	Annual Supply Fan Run Time	8,760 Hours
	Cooling Capacity	-410,237
	Heating Capacity	410,295
① Variable Air Volume	Supply Fan Flow	1,867 LPerSec
	Annual Supply Fan Run Time	8,760 Hours
	Cooling Capacity	-351,646
	Heating Capacity	351,682
① Variable Air Volume	Supply Fan Flow	1,919 LPerSec
	Annual Supply Fan Run Time	8,760 Hours
	Cooling Capacity	-556,792
	Heating Capacity	556,829
① Variable Air Volume	Supply Fan Flow	184 LPerSec
	Annual Supply Fan Run Time	8,760 Hours
	Cooling Capacity	-351,678
	Heating Capacity	351,682
① Variable Air Volume	Supply Fan Flow	463 LPerSec
	Annual Supply Fan Run Time	8,760 Hours
	Cooling Capacity	-410,286
	Heating Capacity	410,295
① Variable Air Volume	Supply Fan Flow	24 LPerSec
	Annual Supply Fan Run Time	8,760 Hours
	Cooling Capacity	-58,613
	Heating Capacity	58,614
① Variable Air Volume	Supply Fan Flow	1,250 LPerSec
	Annual Supply Fan Run Time	8,760 Hours
	Cooling Capacity	-293,044
	Heating Capacity	293,068

شکل (۴-۳) مشخصات تجهیزات مرتبط با هوا در ساختمان دیزاین شده

در این تصویر برنامه به معرفی و بررسی تجهیزات گرمایشی و سرمایشی که ما در این بنا معرفی کرده ایم می پردازد و میزان گرایش و سرمایش تولید شده را معرفی مینماید

Components	Cooling		Heating	
	Loads (W)	Percentage of Total	Loads (W)	Percentage of Total
Wall	19,504	5.21%	41,068	55.67%
Window	25,026	6.68%	31,651	42.91%
Door	465	0.12%	1,046	1.42%
Roof	0	0.00%	0	0.00%
Skylight	0	0.00%	0	0.00%
Partition	0	0.00%	0	0.00%
Infiltration	0	0.00%	0	0.00%
Ventilation	0	0.00%	0	0.00%
Lighting	54,216	14.48%	0	0.00%
Power	78,859	21.05%	0	0.00%
People	190,500	50.86%	0	0.00%
Plenum	0	0.00%	0	0.00%
Fan Heat	5,977	1.60%	0	0.00%
Reheat	0	0.00%	0	0.00%
Total	374,547	100%	73,765	100%

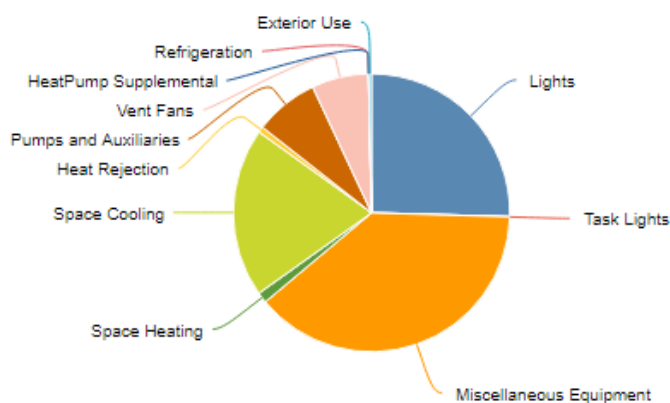
شکل (۴-۴) مشخصات سازه ای در ساختمان دیزاین شده

تصویر ۴ - ۴ میزان اتلاف انرژی بخش های مختلف سازه را به نمایش می گذارد به این صورت که میزان فضای اشغالی هر بخش را محاسبه مینماید و میزان درصدی که باعث سرما و یا گرما در ساختمان میگردد را تجزیه و تحلیل مینماید بطور مثال دیوار که ۵,۲۱٪ ایجاد سرما و ۵۵,۶۷٪ ایجاد گرما (این درصد ها بر مبنای موقعیت دیوار میباشد)

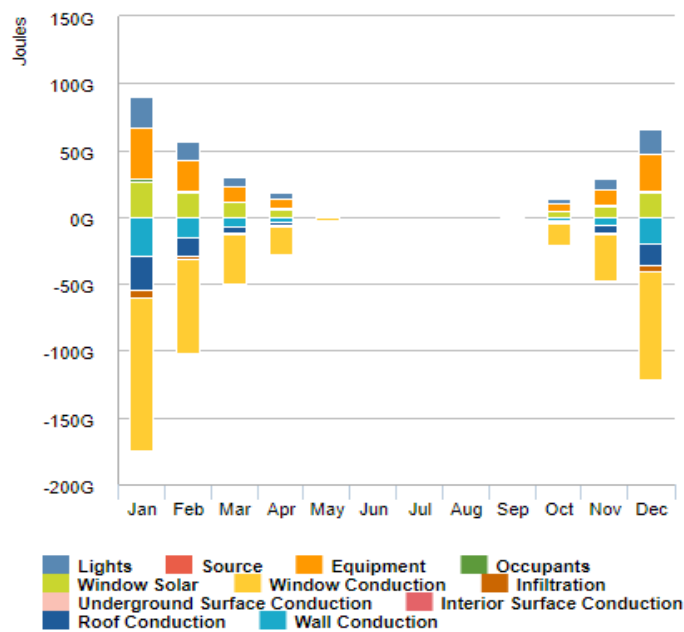
Cooling Degree Day		Heating Degree Day	
Threshold	Value	Threshold	Value
18.3 °C	1110	18.3 °C	2047
21.1 °C	657	15.6 °C	1577
23.9 °C	316	12.8 °C	1172
26.7 °C	104	10 °C	807

Annual Design Conditions				
Threshold	Cooling		Heating	
	Dry Bulb(°C)	MCWB(°C)	Dry Bulb(°C)	MCWB(°C)
0.1 %	39.2	18.1	-10.4	-11.3
0.2 %	38.8	17.9	-9.8	-11.0
0.4 %	38.4	17.9	-9.2	-10.4
0.5 %	38.2	18.0	-8.8	-9.8
1 %	37.3	17.3	-7.6	-8.9
2 %	36.4	16.9	-4.8	-6.5
2.5 %	36.0	16.7	-3.9	-5.7
5 %	34.1	15.8	-1.9	-3.7

شکل (۴-۵) شرایط دمایی مطلوب در اقلیم مورد نظر



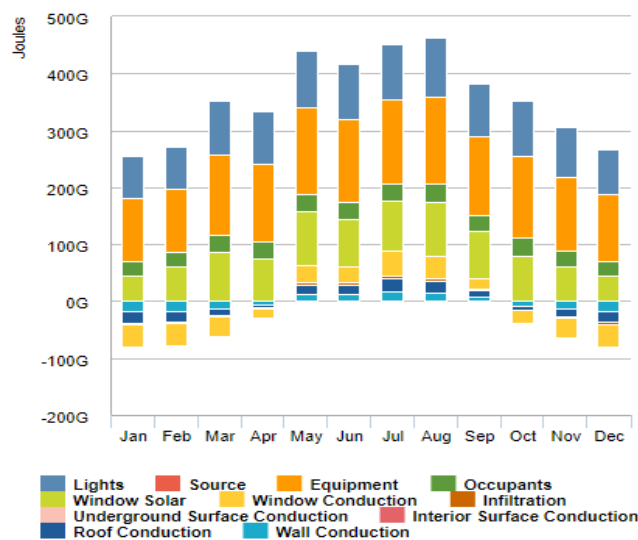
شکل (۴-۶) نمودار میزان مصرف انرژی الکتریکی در ساختمان دیزاین شده



شکل (۴-۷) نمودار میزان بار گرمایی ماهانه در ساختمان دیزاین شده

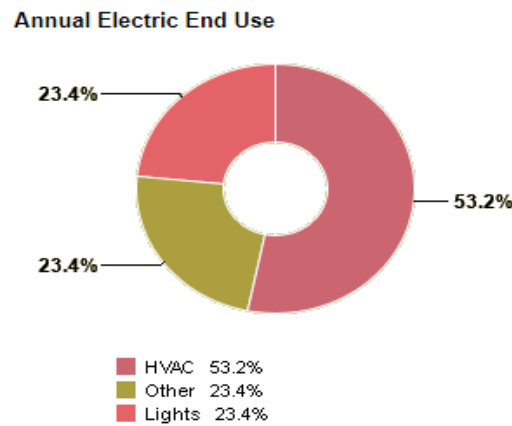
۴-۲- بارهای انرژی

در این نمودار میزان بار گرمایی که هر جسم در ساختمان در ماه های مختلف سال ایجاد مینماید را نشان میدهد به طور مثال روشنایی ها (آبی تیره) در ماه جانویه بیشترین بار گرمایی و در بین ماه های سپتامبر تا می کمترین بار گرمایی را دارد

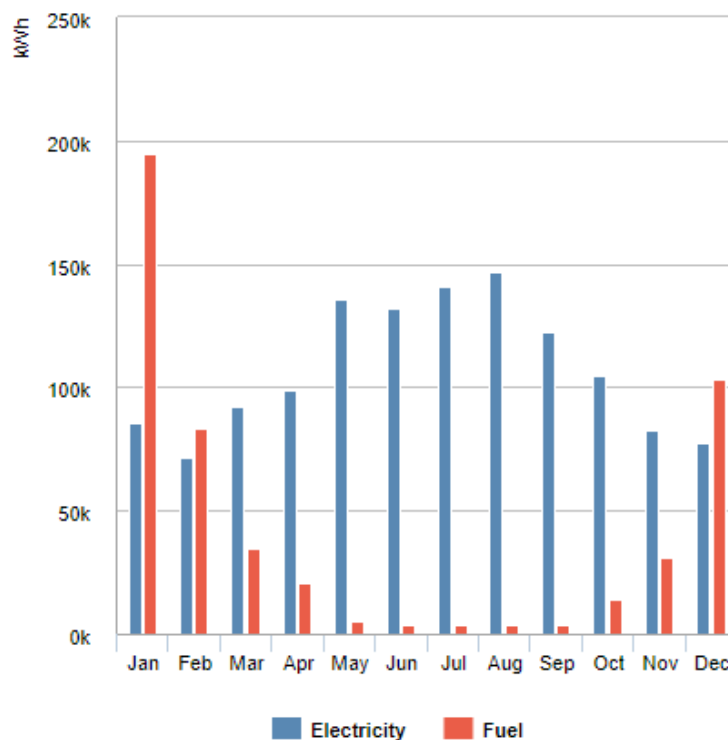


شکل (۴-۸) نمودار میزان بار سرمایی ماهانه در ساختمان دیزاین شده

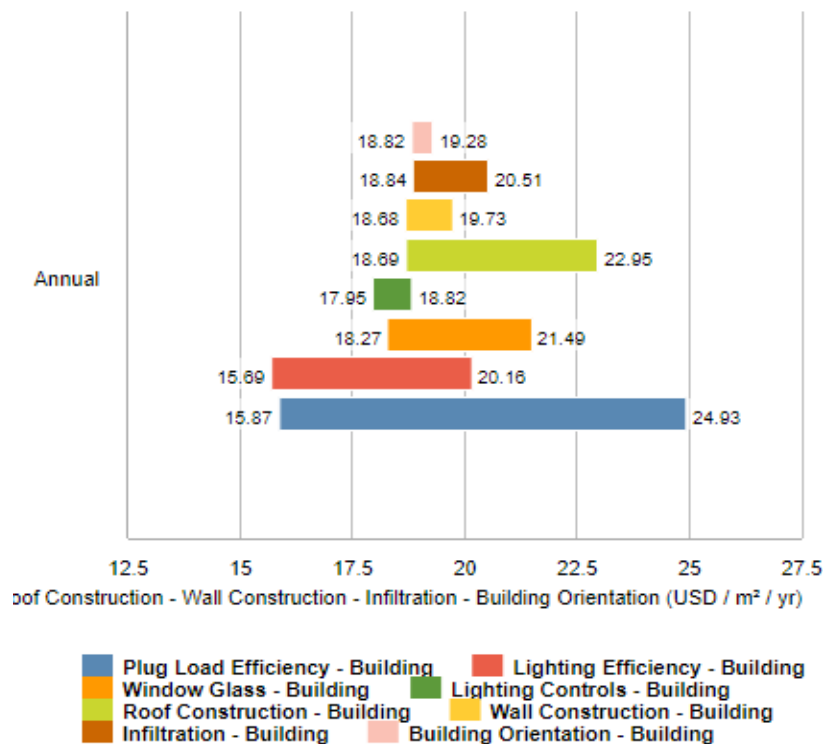
در این نمودار میزان بار سرمایی که هر جسم در ساختمان در ماه های مختلف سال ایجاد می نماید را نشان میدهد به طور مثال سقف (آبی نفتی) در ماه جولای بیشترین بار سرمایی و در بین ماه های آوریل کمترین بار سرمایی را دارد



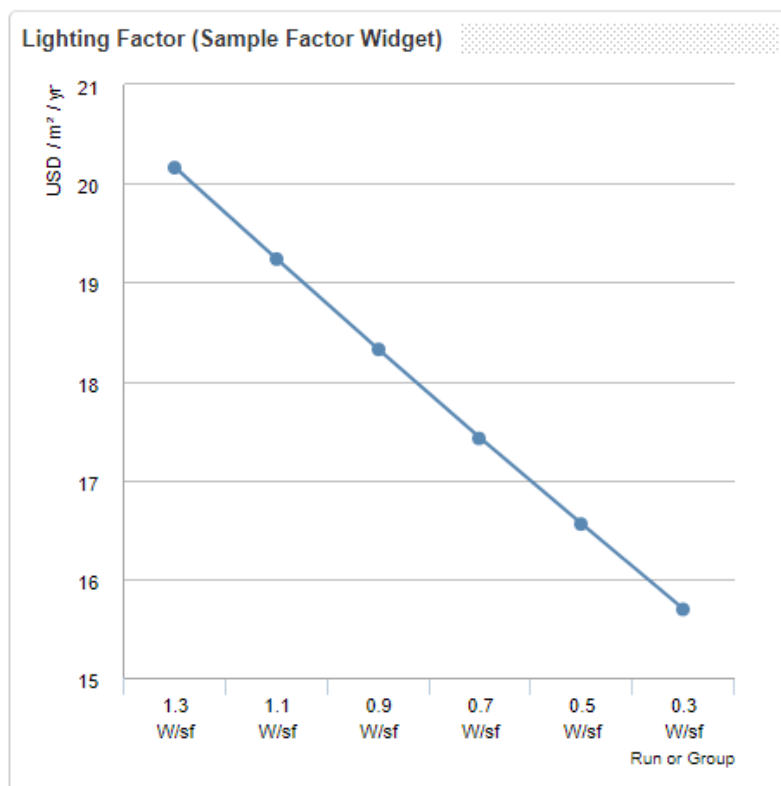
شکل (۴-۹) نمودار میزان انرژی الکتریکی مصرفی سالانه در ساختمان دیزاین شده



شکل (۴-۱۰) نمودار میزان مصرف ماهانه سوخت و الکتریسیته در ساختمان دیزاین شده

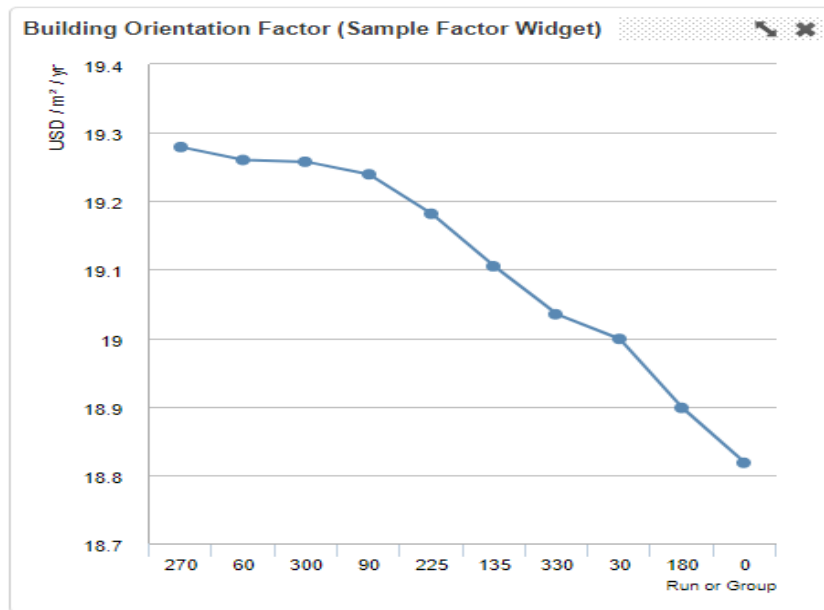


شکل (۴-۱۱) نمودار میزان هزینه انرژی بر حسب دلار آمریکا در ساختمان دیزاین شده



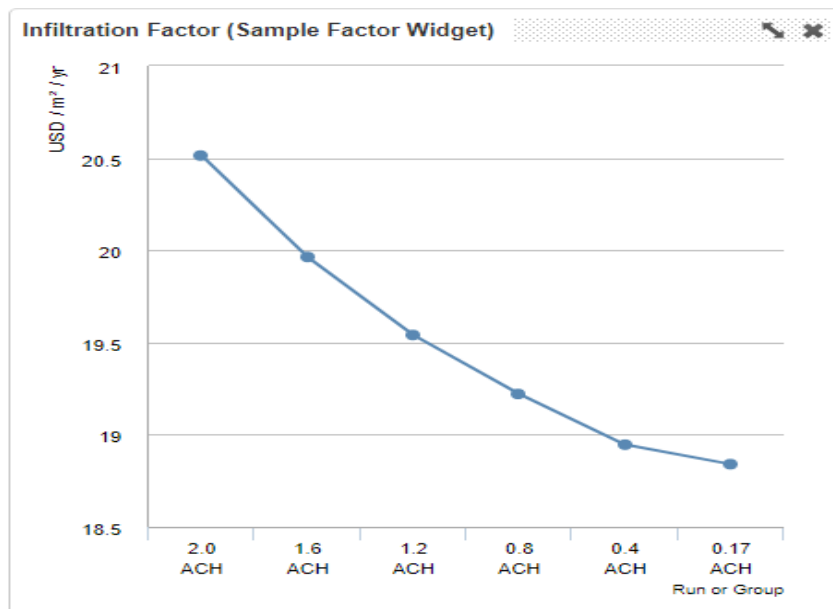
شکل (۴-۱۲) نمودار بررسی عامل نور در ساختمان دیزاین شده

۴-۳- بررسی ساختمان در حالت اولیه



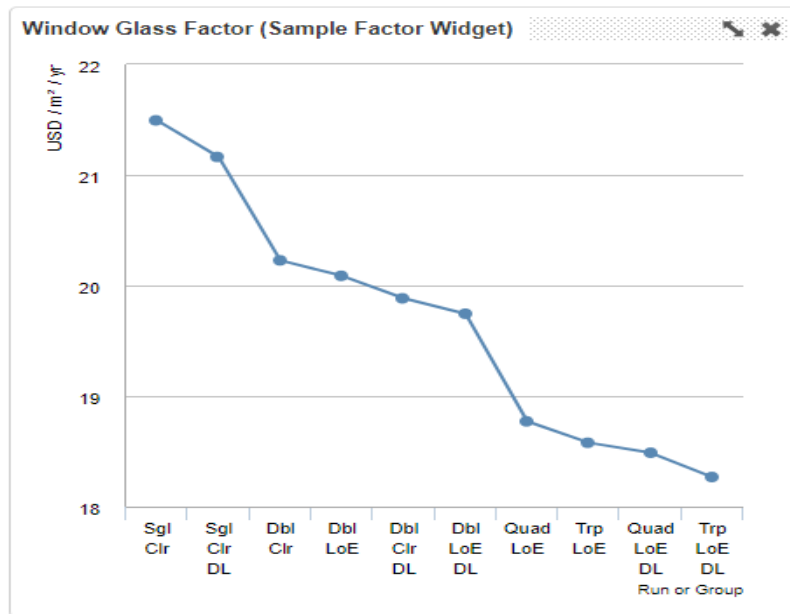
شکل (۴-۱۳) نمودار بررسی عامل جهت گیری در ساختمان دیزاین شده

میزان چرخش پیشنهادی بر مبنای نورگیرهای ساختمان در حالت دیزاین اولیه بوده که با توجه به این مقدار چرخش نورگیرهای کمتری در مناطق با شدت نور بالا خواهیم داشت.

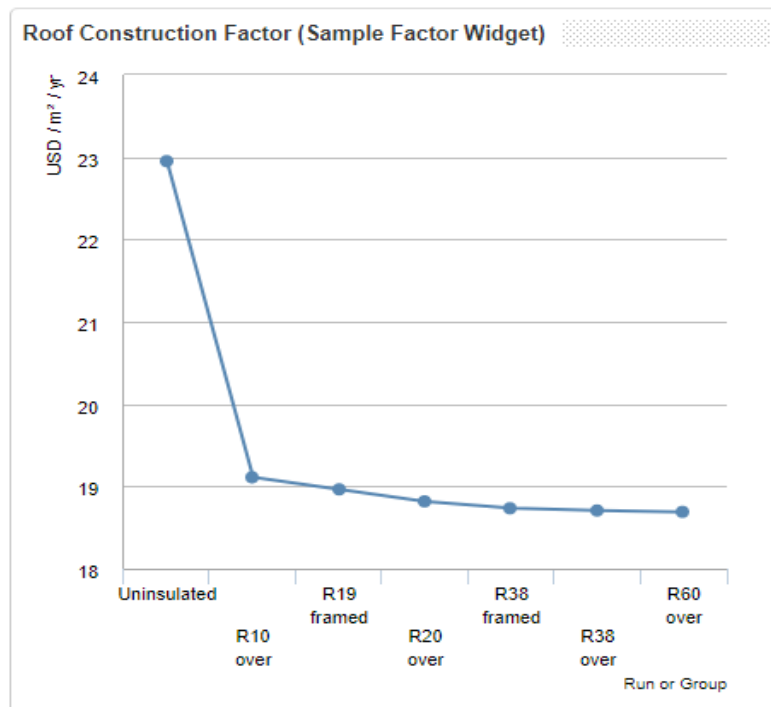


شکل (۴-۱۴) نمودار بررسی عامل نفوذ پذیری در ساختمان دیزاین شده

در هر ساختمانی مقداری فاکتورهای نفوذ پذیری داریم دما داریم و تا حدودی میتوان اینها را محدود کرد از فاکتورهای نفوذ پذیری میتوان به درز پنجره ها درز بین کانالهای هوا و داکت ها و محدوده راه پله و آسانسور اشاره کرد

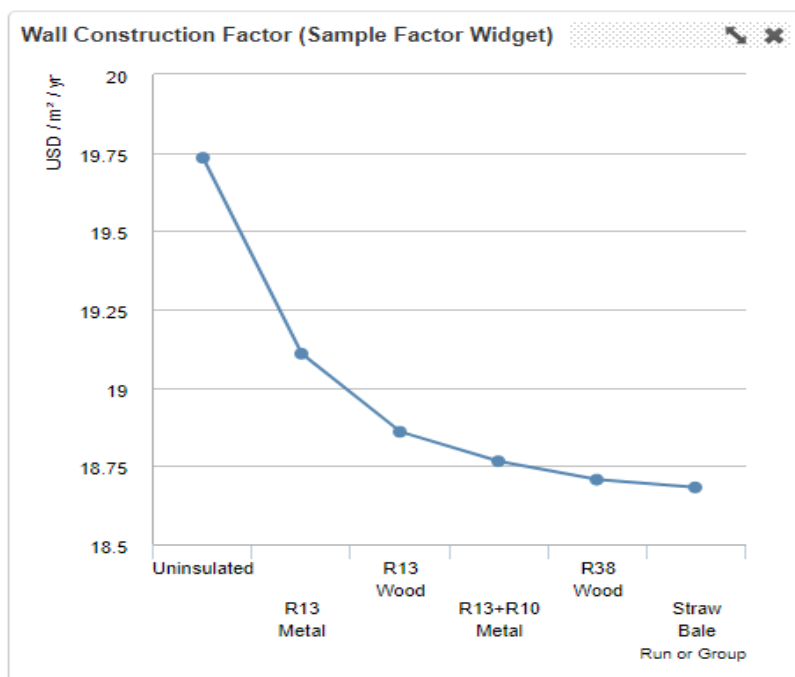


شکل (۴-۱۵) نمودار بررسی عامل پنجره های شیشه ای در ساختمان دیزاین شده



شکل (۴-۱۶) نمودار بررسی عامل سازه سقف در ساختمان دیزاین شده

در دیزاین سقف پیشنهاد ساختار R60 داده شده است که اسن ساختار سقف دارای عایق سلولزی می باشد که هم قابلیت کنترل رطوبت را دارد و هم از میزان تشعشعات پرتوهای خورشیدی میکاهد که باعث کم شدن مصرف انرژی می گردد .

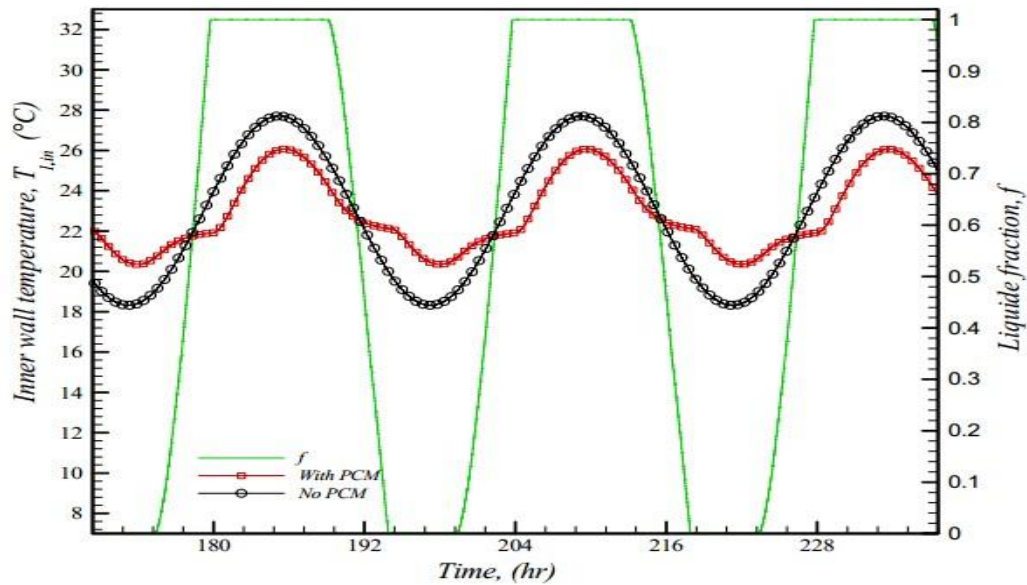


شکل (۴-۱۷) نمودار بررسی عامل سازه دیوار در ساختمان دیزاین شده

در سازه دیوار ها نیز استفاده از Staw Bale که باعث کم میزان رطوبت می گردد را پیشنهاد میدهد . طی تحقیقات انجام شده این ساختار که در مقابل آتش سوزی نیز مقاوم است باعث کاهش ۲۰٪ رطوبت میگردد .

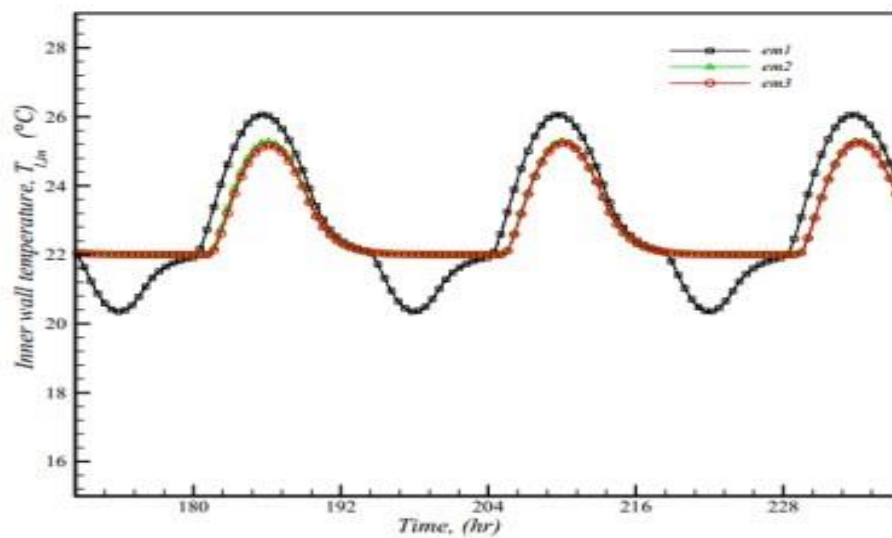
۴ - ۴ - مدل های استفاده از PCM در دیوار ساختمان

وقتی مواد تغییر فاز دهنده در دیوار ساختمان جای داده می شود، پروفایل دما را در داخل دیوار تغییر می دهد و بنابراین بر انتقال گرما از طریق دیوار تاثیر می گذارد. ممکن است با اثر بر نوسانات دمایی انتقال انرژی از طریق دیوار را کاهش دهد ، یا برق مورد نیاز را با تغییر پیک مصرف به زمان هایی که استفاده از سامانه های خنک کننده کارآمدی بیشتری دارند کم کند. از جمله مطالعات انجام شده در زمینه ی افزایش PCM به دیوار، تعیین دمای تغییر فاز بهینه برای بیشترین کارایی ، پیدا کردن محل مناسب برای قرار دادن لایه ی مواد تغییر فاز دهنده ، مطالعه ی جهت گیری های مختلف دیوار خارجی شامل PCM و بررسی انواع مختلف مواد تغییر فاز دهنده (آلی ، غیر آلی و اتکتیک) برای استفاده در دیوار خارجی است .

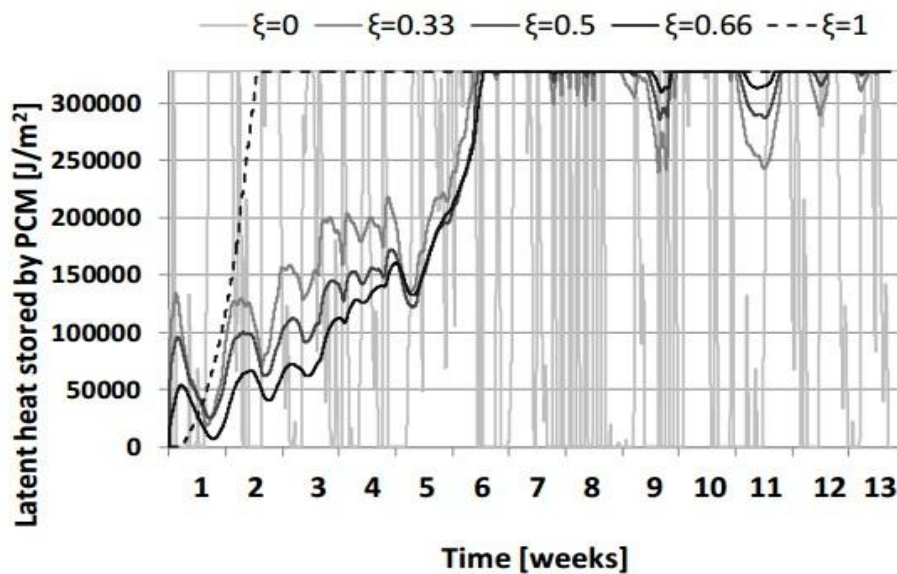


شکل (۴-۱۸) مقایسه ی دمای داخلی دیوار

بررسی ها نشان دهنده ی کارایی حرارتی بالای دیوار بتن مواد تغییر فاز دهنده است و انتخاب ضخامت مناسب PCM ، شرایط حرارتی بهتر با نوسانات دمایی کمتری را نتیجه می دهد.



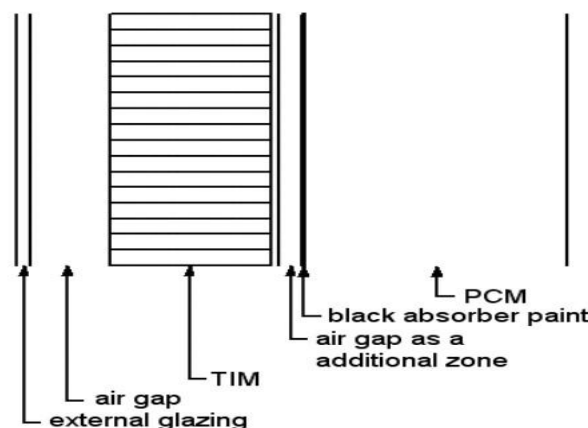
شکل (۴-۱۹) مقایسه ی دمای داخلی دیوار با ضخامت های مختلف PCM



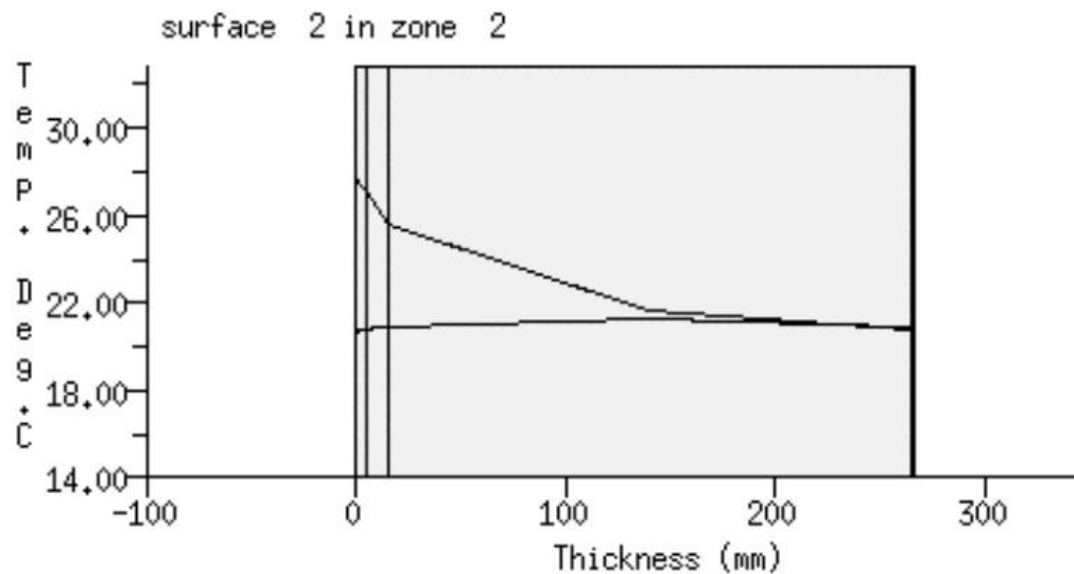
شکل (۴-۲۰) مقایسه ی موقعیت PCM در دیوار

در شکل فوق $\xi = 1$ داخلی ترین موقعیت PCM و $\xi = 0$ خارجی ترین موقعیت آن است.

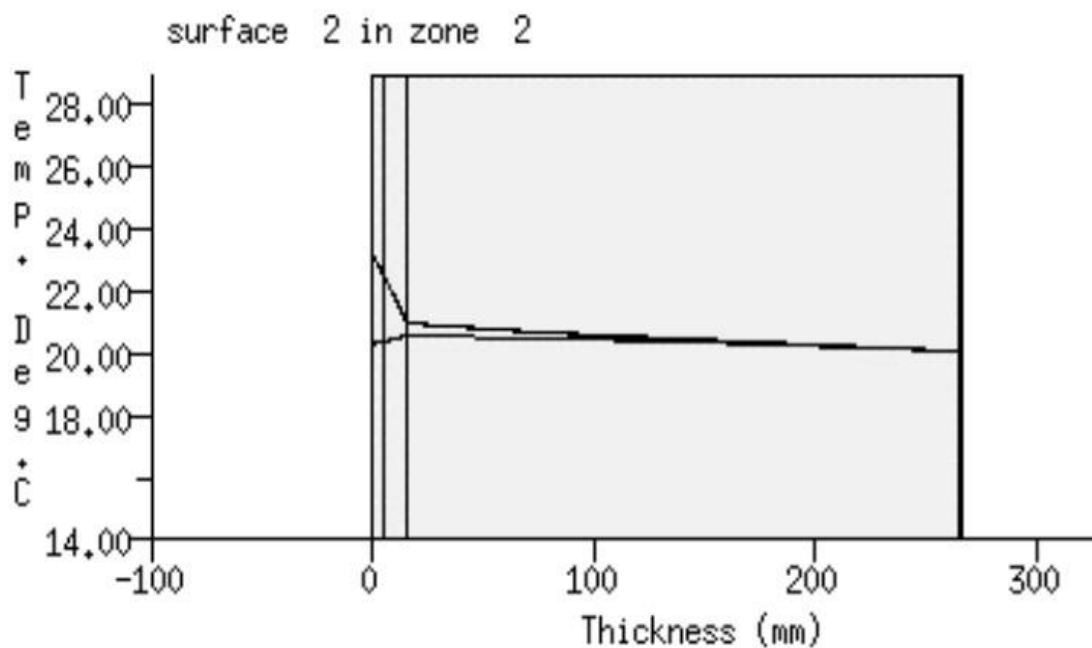
به منظور کاهش نوسانات دمایی، دیواری شامل یک لایه PCM را شبیه سازی شده است. دمای داخلی دیوار و عملکرد مواد تغییر فاز دهنده با استفاده از این مدل ارزیابی شد. سه اسید چرب متفاوت به عنوان PCM با دمای تغییر فاز بین 20 تا 40 درجه سانتی گراد به سلولز افزوده و سپس با چوب مخلوط شد. در شکل زیر TIM عایق شفاف به کار رفته در دیوار است. بررسی ها برای دیواری مشابه بدون لایه PCM انجام گرفت. نتایج دمای دیوار بر حسب ضخامت برای دیوارها در شکل ۴-۲۲ نشان داده شده است.



شکل (۴-۲۱) اجزای دیوار

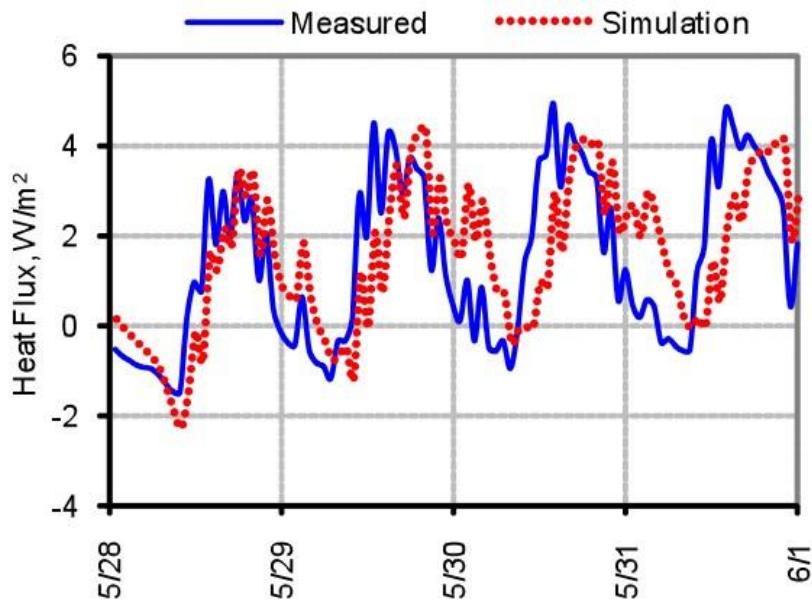


شکل (۴-۲۲) دمای دیوار بدون PCM بر حسب ضخامت دیوار



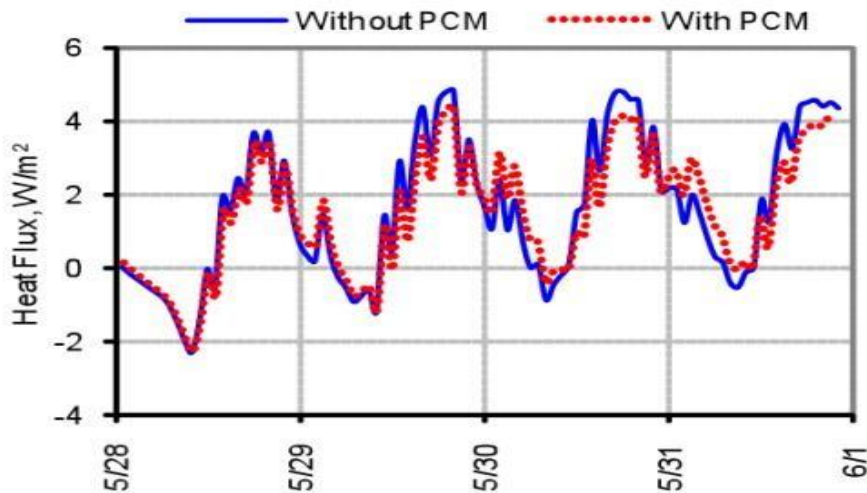
شکل (۴-۲۳) دمای دیوار با لایه PCM بر حسب ضخامت نتایج نشان دهنده ی کاهش نوسانات دمایی مخصوصا در فصل زمستان است.

. نتایج حاصل از شبیه سازی اختلاف بین ۲ تا ۱۳ درصدی را از داده های تجربی نشان میدهد

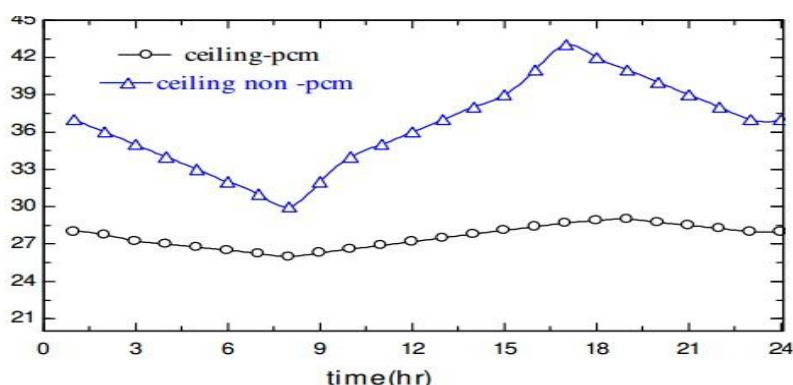


شکل (۴-۲۴) مقایسه نتایج شبیه سازی دیوار شرقی با نرم افزار انرژی پلاس و داده های تجربی

مطابق شکل ۴-۲۵ متوسط شار گرمایی برای دیواری با PCM حدود 2 W/m^2 است در حالی که برای دیوار بدون PCM 2 W/m^2 است. بنابراین استفاده از مواد تغییر فاز دهنده بار خنک کنندگی را کاهش داده است.

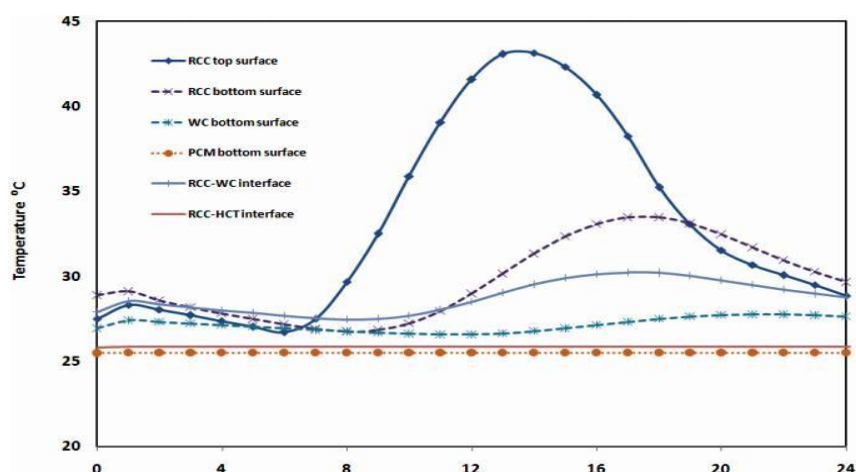


شکل (۴-۲۶) مقایسه ی شار گرمایی دیوار با PCM بدون PCM



شکل (۴-۲۶) مقایسه ی دمای داخلی دیوار با PCM و بدون PCM

از نتایج واضح است که استفاده از PCM دمای داخلی سقف و همچنین نوسانات دمایی را کاهش داده است. همچنین حرارت ورودی به ساختمان کاهش یافته و این کاهش به طور مستقیم باعث کاهش مصرف انرژی برای نگهداشتن دمای داخلی ساختمان در 25 درجه سانتی گراد شده است.

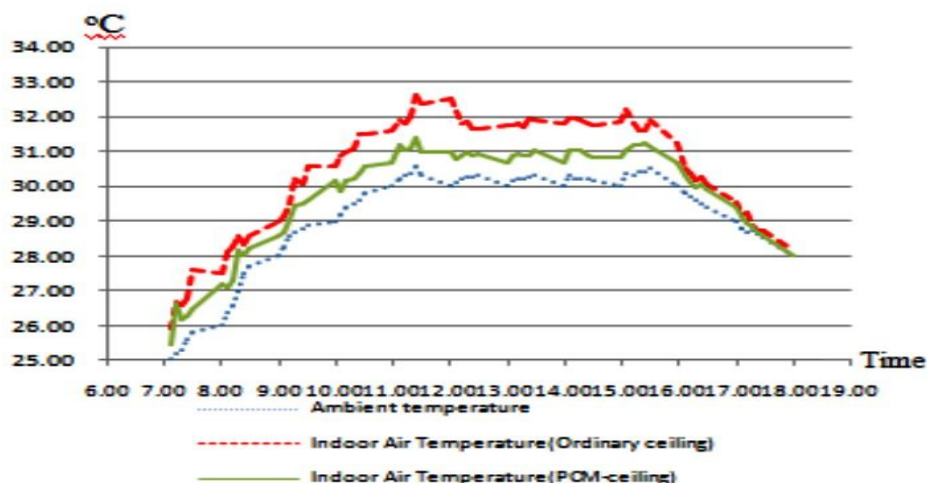


شکل (۴-۲۷) نوسانات دمای داخلی سقف در سه ساختار

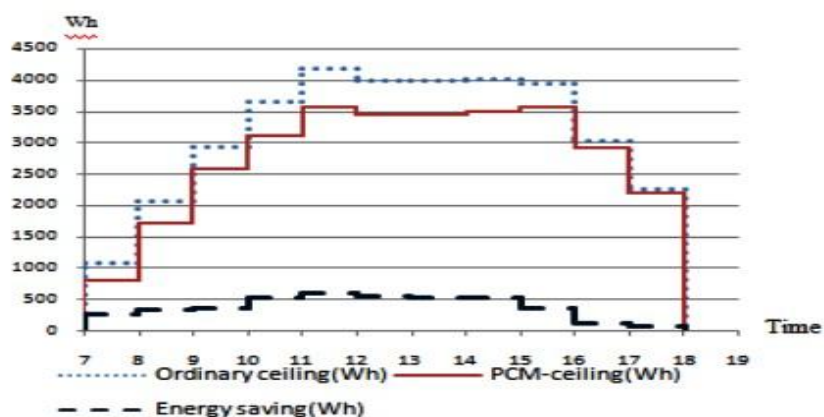
استفاده از PCM بالایی به منظور جذب حرارت خورشید در فصل تابستان و کاربرد PCM پایینی به منظور حفظ دمای اتاق در طول شبهای سرد زمستان است. نتایج نشان دهنده ی کاهش نوسانات دمایی با استفاده از PCM، ذخیره ی انرژی در فصل زمستان و کاهش ۴۰ درصدی از ورود حرارت در فصل تابستان است.

نتایج ارائه شده نشان می دهد که استفاده از مواد تغییر فاز دهنده در ساختمان، باید مورد به مورد با توجه به ویژگیهای ساختمان، ساختار آن، وسایل تهویه ی مطبوع وآب و هوای اقلیم مورد نظر، بهینه سازی شود. در نهایت افزایش اینرسی حرارتی سقف به سبب استفاده از مواد تغییر فاز دهنده،

نوسانات دمایی و پیک درجه حرارت را کاهش داده است. برای اثر گذار بودن استفاده از PCM ، مقدار بیشتری از آن در هر مرحله به کار برده شده است. استفاده از لایه ی PCM ، قبل و بعد از عایق ، با وجود سبکی چند برابر ، نتایج تقریباً مشابهی را با سقف بتنی سنگین ارایه می دهد. استفاده از PCM در لایه ی زیر عایق ، در مقایسه با بالای عایق ، نتایج مثبت تری را در کنترل دما نشان می دهد .



شکل (۴-۲۸) مقایسه ی دمای داخلی در حالت استفاده از PCM و بدون استفاده از



شکل (۴-۲۹) انرژی مصرفی برای خنک سازی خانه در دو حالت با PCM و بدون PCM (دمای آسایش 25 درجه سانتی گراد)

۴ - ۴ - ۱ - داده های ورودی شبیه سازی

داده های ورودی شبیه سازی برای سقف و دیوار، دمای هوا، تابش خورشیدی، سرعت و جهت باد و مدت تابش خورشیدی در هر ماه سال است. مقادیر متوسط این داده ها در جداول زیر ارائه شده است:

جدول ۴ - ۱ مقدار متوسط داده های ورودی برای سقف در تهران

ماه	تابش (kWh/m ² .day)	سرعت باد (m/s)	دمای هوا (C)	مدت زمان تابش خورشید (hour)
فروردین	۵,۲۴	۳,۵	۲۱	۱۱
اردیبهشت	۵,۷۳	۳,۳	۲۵	۱۲
خرداد	۶,۹۲	۳,۲	۲۸	۱۳
تیر	۷,۵۳	۳,۷	۳۰	۱۴
مرداد	۷,۰۴	۵	۳۲	۱۴
شهریور	۶,۶۲	۳,۱	۳۲	۱۳
مهر	۶,۰۸	۲,۷	۲۹	۱۲
آبان	۴,۹۹	۲,۶	۲۷	۱۲
آذر	۳,۵۷	۲,۴	۲۰	۱۱
دی	۳,۱۴	۳	۱۲	۱۰
بهمن	۳,۴۱	۳	۱۳	۱۰
اسفند	۴,۴۴	۵	۱۸	۱۱

از آن جا که دیوارها تابش خورشیدی متفاوتی نسبت به سقف دریافت می کنند، مقدار این داده برای دیوار با جهات مختلف در جدول پایین بیان شده است.

جدول ۴-۲ تابش خورشیدی بر دیوار با جهت های مختلف در تهران

ماهها	تابش بر دیوار شرقی (kWh/m ² .day)	تابش بر دیوار جنوبی (kWh/m ² .day)	تابش بر دیوار شمالی (kWh/m ² .day)
فروردین	۲,۹۰	۳,۶۲	۲,۵۰
اردیبهشت	۲,۱۳	۲,۶۶	۱,۹۸
خرداد	۱,۷۸	۲,۲۳	۱,۲۳
تیر	۱,۵۸	۱,۹۸	۱,۰۳
مرداد	۱,۶۶	۲,۰۷	۱,۱۱
شهریور	۲,۰۴	۲,۵۵	۱,۶۵
مهر	۲,۷۸	۳,۵۹	۲,۴۲
آبان	۳,۶۱	۴,۵۱	۲,۸۸
آذر	۳,۲۸	۴,۱۰	۲,۵۶
دی	۳,۳۰	۴,۱۳	۱,۹۸
بهمن	۳,۳۵	۴,۱۹	۲,۰۵
اسفند	۳,۵۴	۴,۴۳	۲,۳۷

جدول ۴-۳ - تابش خورشیدی بر دیوار با جهت های مختلف در تهران

تابش بر دیوار شمالی (kWh/m ² .day)	تابش بر دیوار جنوبی (kWh/m ² .day)	تابش بر دیوار شرقی (kWh/m ² .day)	
۲,۳۳	۳,۵۰	۲,۸۰	فروردین
۲,۰۱	۲,۸۹	۲,۳۱	اردیبهشت
۱,۶۱	۲,۵۷	۲,۰۶	خرداد
۱,۴۱	۲,۳۸	۱,۹۰	تیر
۱,۵۴	۲,۴۶	۱,۹۷	مرداد
۲,۰۵	۳,۰۲	۲,۴۲	شهریور
۲,۳۶	۴,۱۰	۳,۲۸	مهر
۲,۹۰	۴,۳۳	۳,۴۶	آبان
۲,۷۷	۴,۱۵	۳,۳۲	آذر
۱,۵۴	۳,۶۴	۲,۹۱	دی
۱,۸۵	۴,۰۲	۳,۲۲	بهمن
۲,۱۲	۳,۸۴	۳,۰۷	اسفند

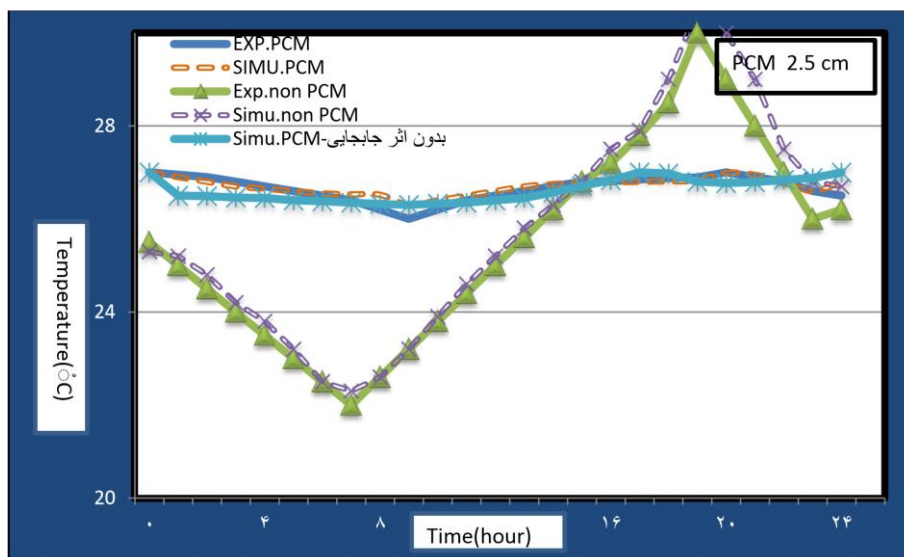
۴-۵ - ارزیابی نتایج عددی

مدل ارایه شده در مطالعات تئوری برای سقف و دیوار به منظور ارزیابی ، با نتایج تجربی به دست آمده از آزمایشات انجام شده در دو مقوله مقایسه می شود.

۴-۵-۱ - سقف

مقایسه ی نتایج تجربی و شبیه سازی سقفی شامل PCM برای ذخیره ی حرارتی در ماه سپتامبر ارایه شده است. در طول آزمایشات سقف دمای اتاق تقریباً در $27 \pm 3^{\circ}\text{C}$ قرار دارد. متغیرهایی که در تجزیه و تحلیل سقف وارد می شوند شامل تغییرات دمای محیط در طول یک روز، سرعت باد،

ضریب انتقال حرارت داخلی و خارجی، خواص تابشی سطح، خواص فیزیکی و ضخامت مواد تشکیل دهنده ی سقف هستند. نمودارها برای دو حالت یکی هنگامی که اثر جابجایی طبیعی در نظر گرفته شده و دیگری هنگامی که بدون در نظر گرفتن اثر جابجایی در مدل (بدون عبارت $h\Delta T$)، شبیه سازی انجام گرفته است در شکل ۴-۳۱ نشان داده شده است. همان گونه که در نمودار مشخص است، دمای سقف مجموعه در روز اندکی افزایش و در شب اندکی کاهش یافته است. علت این امر، اثرگذاری شرایط داخلی فضا و دیوارها در طول شب و روز بر دمای داخلی سقف است. از سوی دیگر، نوسان زیادی در دمای سقف بدون PCM مشاهده می شود چون محیط بیرون سریعاً بر دمای سقف تاثیر می گذارد. تفاوت دمایی قابل ملاحظه ای میان دمای سقف بدون PCM و سقف شامل PCM وجود دارد، این نشان دهنده ی تاثیر وجود مواد تغییر فاز دهنده در جذب حرارت ورودی به ساختمان و به خاطر ظرفیت بالای ذخیره سازی در PCM است.

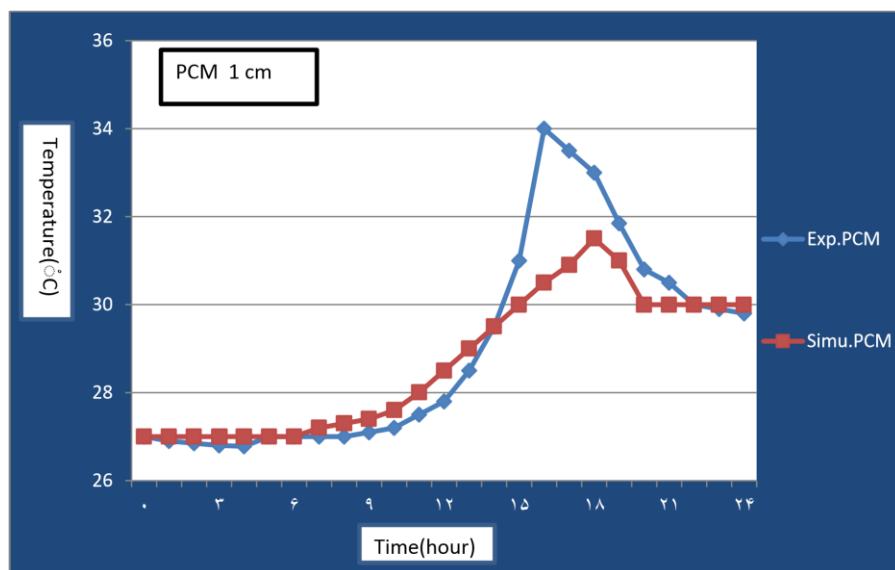


شکل (۴-۳۱) مقایسه ی نتایج حاصل از شبیه سازی سقف

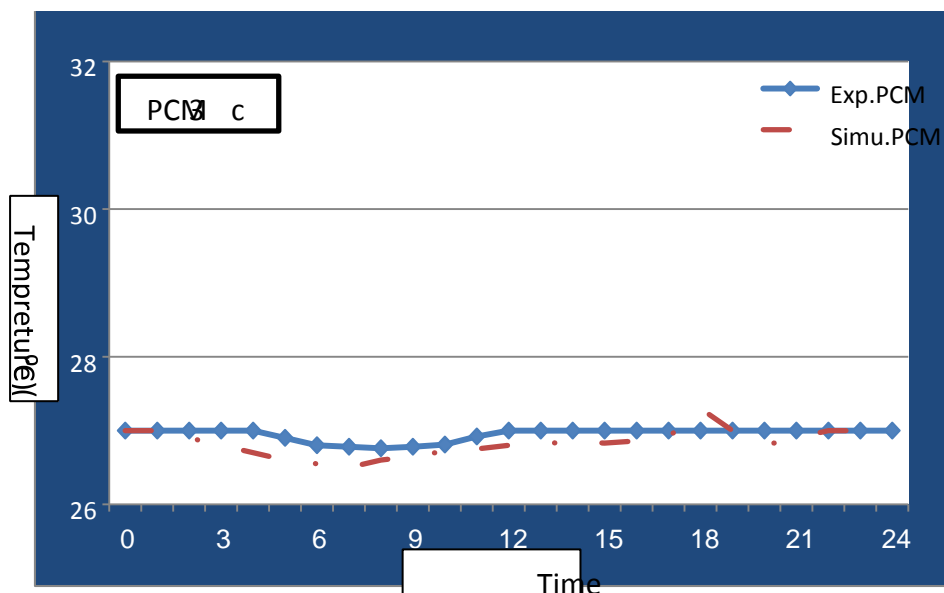
جدول ۴-۴ شاخص پراکندگی نتایج شبیه سازی از نتایج تجربی

شاخص پراکندگی	شبیه سازی
0/0165 با PCM	با اثر جابجایی
0/172 بدون PCM	
0/048 با PCM	بدون اثر جابجایی

در شکل زیر نتایج حاصل از ضخامت های ۱ و ۳ سانتیمتری PCM مقایسه شده اند. هنگامی که ضخامت ۱ سانتیمتری به کار برده شده است، دمای سقف پس از ۹ ساعت تغییر کرده است. در حالی که در ضخامت بالاتر دما عمدتاً در ۲۷ درجه نگه داشته شده است. همچنین دمای سقف در ضخامت کمتر تا حدود ۳۵ درجه سانتی گراد افزایش یافته است در حالی که در مورد دوم حداکثر دما حدود ۲۷ درجه سانتی گراد است.



شکل (۴-۳۱) و شبیه سازی سقف ۱ سانت با PCM



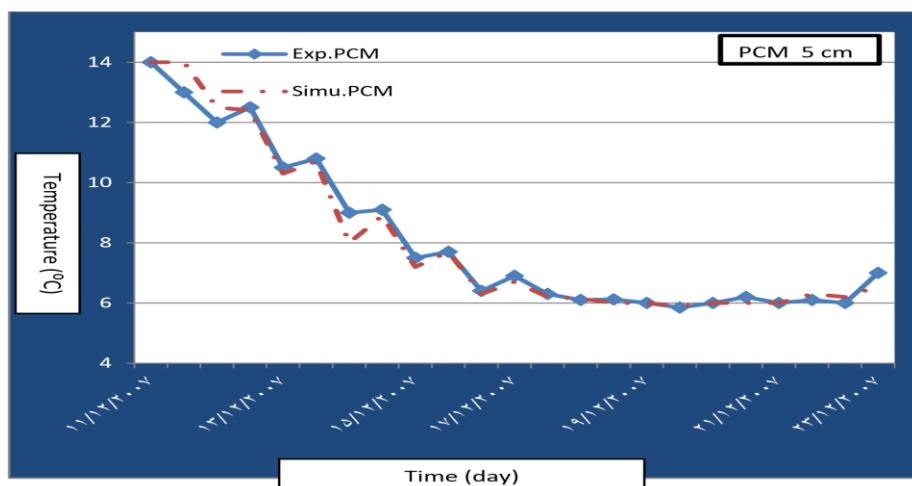
شکل (۴-۳۲) شبیه سازی سقف ۳ سانت با PCM

شاخص پراکندگی میانگین مربع فاصله ی نتایج شبیه سازی داده های شبیه سازی در نمودار اول و در نمودار دوم ۰,۳۰ است و تفاوت دمایی بین نتایج تجربی و مدل می تواند به علت موارد زیر باشد:

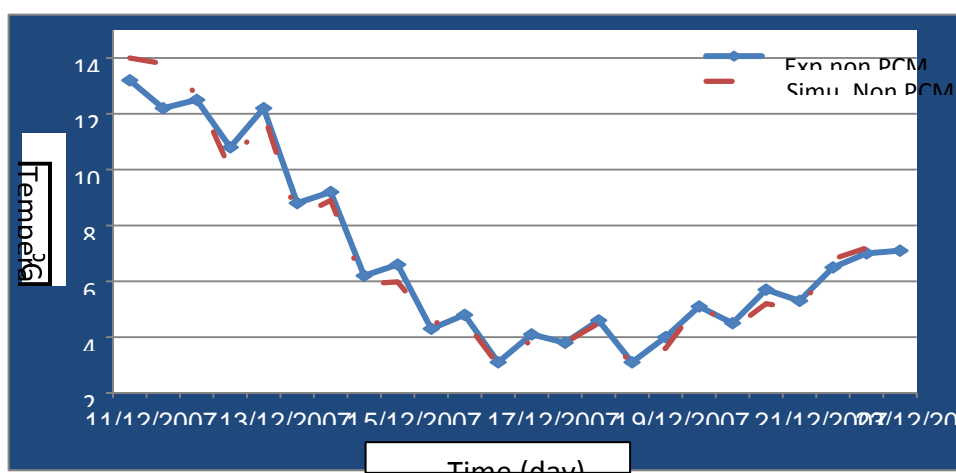
- در دمای تغییر فاز تعیین شده در شبیه سازی عددی ، ممکن است تغییر فاز واقعی رخ ندهد.
- تغییرات دمای داخلی مجموعه در شبیه سازی ، به علت اثرات عوامل دیگر بر دمای اتاق مطابق با واقعیت نیست.

۴-۵-۲ دیوار

مقایسه ی نتایج شبیه سازی با نتایج تجربی برای دوره ی زمستانی در این قسمت ارایه شده است . آزمایشات انجام گرفته در دو اتاقک ، یکی بدون PCM و دیگری با میکروکپسول های مواد تغییر فاز دهنده است که در طول دو هفته در ماه دسامبر ۲۰۰۷ انجام گرفته است .



شکل (۴-۳۳) مقایسه ی شبیه سازی دمای داخلی دیوار شامل PCM



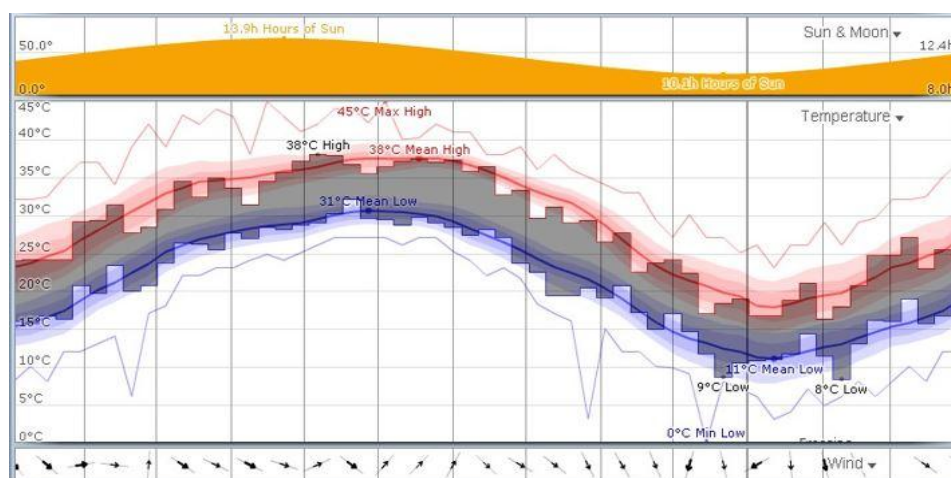
شکل (۴-۳۴) مقایسه ی و شبیه سازی دیوار بدون PCM

مقایسه ی نمودار های نشان دهنده ی تاثیر مثبت PCM در کاهش نوسانات دمایی و همچنین افزایش حداقل دمایی در ساعات سرد به علت ذخیره ی انرژی است. در مجموعه با PCM، حداقل دمایی حدود ۶ درجه ی سانتی گراد و در مجموعه دیگر حدود ۲ درجه سانتی گراد است. بنابراین استفاده از یک لایه PCM حدود ۴ درجه اختلاف در حداقل دمایی را موجب شده است. از طرف دیگر نوسان دمایی بین ساعات سرد شب و روز در مجموعه با PCM به صورت چشمگیری کاهش یافته است که در این مورد PCM به علت ضریب هدایت حرارتی کوچک مانند یک عایق عمل کرده است.

مقایسه ی نتایج شبیه سازی و تجربی نشان می دهد، شاخص پراکندگی نمودار اول ۰,۱۲۳ و نمودار دوم ۰,۲۳۸ است و با توجه به نتایج ارائه شده در نمودارهای بعدی نتایج شبیه سازی در توافق قابل قبول با نتایج تجربی هستند. از این رو از مدل ارائه شده برای شبیه سازی سقف اتاقی با داده های واقعی آب و هوایی استفاده می شود.

دمای هوا، سرعت باد و تابش خورشیدی در طول یک سال در شهر تهران به عنوان ورودی های شبیه سازی جمع آوری شده اند. داده ها مربوط به مهر ۱۳۹۸ تا مهر ماه همان سال ۱۳۹۹ است.

داده های خروجی شبیه سازی تحت دما و تابش خورشیدی، درجه حرارت در طول سقف برای ۱۵ گره مشخص شده و همچنین شار گرمایی دریافت شده یا از دست رفته در طول فصول گرم و سرد است. داده های حاصل از شبیه سازی با نتایج شبیه سازی سقفی با ماده ی تغییر فاز دهنده از نوع هیدرات نمک با دمای تغییر فاز ۷۲ درجه سانتی گراد که امکان ذوب در این شرایط آب و هوایی را نیابد، مقایسه می شود. همچنین ضخامت لایه ی PCM برای یافتن ضخامت بهینه ی مورد استفاده در سقف متغیر در نظر گرفته شده است. برای بررسی تاثیر شرایط آب و هوایی بر عملکرد PCM، با میانگین دمایی ۲۵,۸ درجه سانتی گراد ارزیابی شده اند.

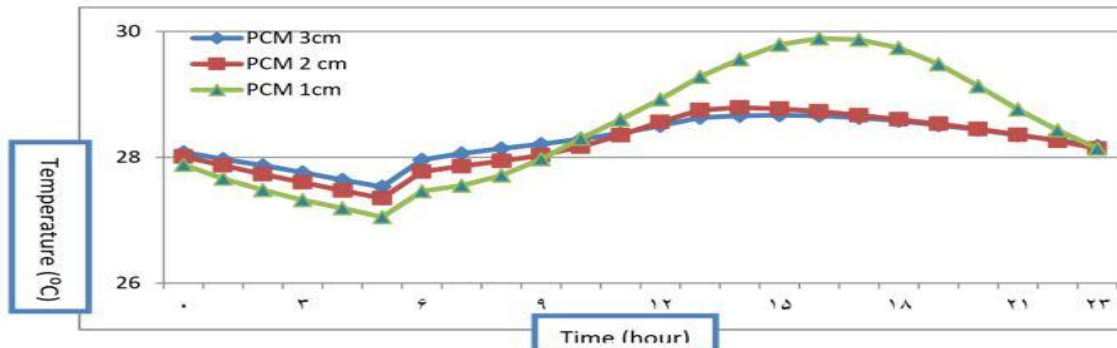


شکل (۴-۳۵) شرایط آب و هوایی تهران در طول یکسال

با توجه به داده های ورودی بیان شده، تغییرات دمای هوا در طول مواد سازنده ی سقف برای ۱۵ گره به دست می آید.

۴-۵-۳ - اثر ضخامت PCM بر دمای سقف

برای بررسی اثر ضخامت PCM بر انتقال حرارت در سقف، ضخامت های ۱، ۲ و ۳ سانتیمتری PCM در سقف شبیه سازی و نتایج برای مرداد ماه ارایه شده است. با توجه به شکل زیر با افزایش ضخامت از ۱ به ۳ سانتیمتری ماکزیمم دمای داخلی سقف کاهش و مینیمم دمایی افزایش یافته است. بنابراین نوسان دمایی کم شده است. اختلاف میان سه نمودار در ساعات تابش خورشید (۶ تا ۲۰) افزایش یافته و در ساعات شب سه نمودار به هم نزدیک شده و عملکرد نزدیک تری را نشان داده اند. از طرف دیگر ضخامت های ۲ و ۳ سانتی عملکرد مشابه تری نسبت به ضخامت ۱ سانتیمتری PCM از خود نشان داده اند به گونه ای که خصوصاً در نمودار ضخامت ۱ سانتی متری عملکرد متفاوت تری را نشان می دهد که شامل نوسان بیشتر و تاثیر پذیری بیشتر از شرایط بیرونی است. حداکثر دمایی در ضخامت ۳ سانتی متری نسبت به ضخامت یک سانتی متری ۱،۲ سانتی گراد و نسبت به ضخامت ۲ سانتی ۰،۲ سانتی گراد کاهش یافته است.



شکل (۴-۳۶) مقایسه ی دمای داخلی سقف در تیر ماه برای ضخامت های مختلف PCM در شهر تهران

در نمودار مربوط به ضخامت سه سانتی متری ۴ درجه اختلاف با دمای ضخامت ۱ سانتی متری و ۱ درجه اختلاف با دمای مربوط به ضخامت ۲ سانتی متری از خود نشان می دهد که نزدیک شدن دما به دمای آسایش و کاهش نوسانات را نتیجه می دهد. بنابراین با توجه به مقایسه ی ضخامت های ۱،۲ و ۳ سانتی متری، و عملکرد بهتر ضخامت ۳ سانتی متری از این ضخامت برای شبیه سازی سقف و دیوار استفاده می شود.

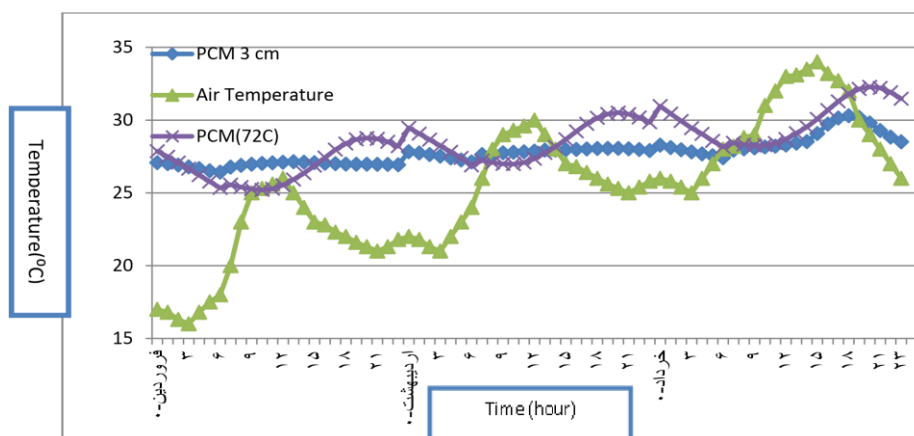
۴-۵-۴ - تاثیر ماده ی تغییر فاز دهنده بر دمای داخلی سقف

تاثیر ماده ی تغییر فاز دهنده بر دمای سطح داخلی سقف در فصول مختلف سال در این قسمت ارایه شده است.

۴-۵-۴-۱ - فصل بهار

دمای داخلی سقف در دوره ی بهار در حالتی که دمای اتاق ۲۵ درجه سانتی گراد فرض شده است در شکلشکل زیر ارایه شده است. دمای اولیه ی سقف ۲۷ درجه سانتی گراد و شرایط آب و هوایی متوسط به کار برده شده است.

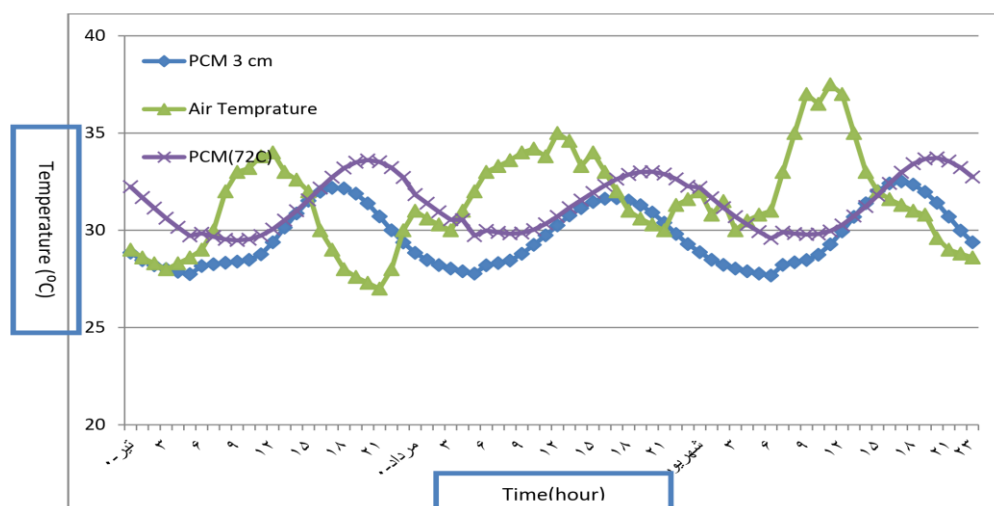
با توجه به نمودار دمای سقف در حالتی که از یک لایه ی سه سانتیمتری پارافین استفاده شده است، در طول سه ماه بهار تقریباً بین ۲۶ تا ۳۰ درجه تغییر کرده است. در مدت تابش خورشید و افزایش دمای هوای بیرون، دمای سقف اندکی افزایش یافته و هنگامی که دمای لایه ی PCM به بالاتر از دمای ذوب می رسد (در حدود ۲۸ درجه سانتی گراد) شروع به ذوب کرده و به علت بزرگ بودن ظرفیت ذخیره ی حرارتی به علت بالا بودن گرمای نهان، از افزایش دمای سقف جلوگیری کرده است. بنابراین اختلاف دمای بین شب و روز کاهش یافته و حداکثر حدود ۳ درجه ی سانتی گراد است و نوسان دمایی کمتری نسبت به سقف مرجع، مشاهده می شود. از این روز شرایط محیطی در این سه ماه تاثیر کمی بر دمای سقف با پارافین در تهران داشته است. در سقف مرجع، نوسان دمایی بزرگتر و در حدود ۵ درجه سانتی گراد اختلاف را بین حداکثر دمای روز و حداقل دمای شب شاهدیم. همچنین حداکثر دمایی در این حالت ۳۲ درجه سانتی گراد است در حالی که برای سقف با PCM، در حدود ۳۰ درجه ی سانتی گراد به دست آمده است که ۲ درجه اختلاف دمایی را نتیجه می دهد.



شکل (۴-۳۷) مقایسه ی دمای داخلی سقف با PCM و سقف مرجع در شهر تهران- دوره ی بهار

۴-۵-۴- فصل تابستان

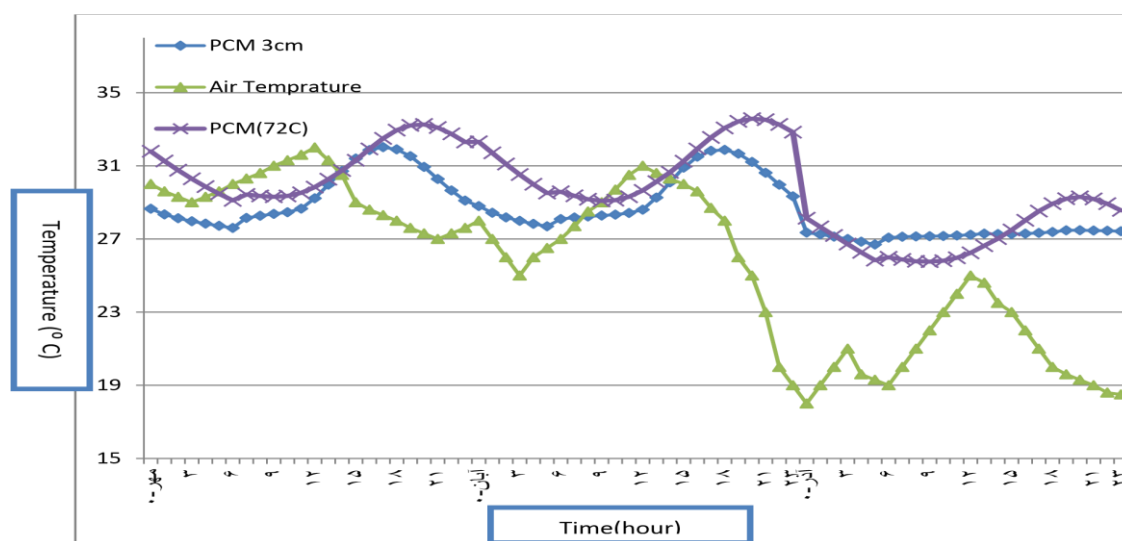
مقایسه ی دمای داخلی سقف با PCM آلی و سقف مرجع در شکل زیر در سه ماه تابستان ارایه شده است. با وجود افزایش میانگین دمای هوا در فصل تابستان نسبت به بهار، دمای داخلی سقف در حالتی که از ماده ی تغییر فاز دهنده استفاده شده است در شهر تهران بین ۲۸ تا ۳۲ درجه نوسان دارد. از آن جا که تیر و مرداد ماه گرم ترین ماه های سال هستند، ماکزیمم دمای حدود ۳۴ درجه سانتی گراد را در تیر ماه در سقف مرجع شاهدیم در حالی که ماکزیمم دمایی سقف با لایه ی PCM آلی حدود ۳۲ درجه سانتی گراد است. از طرف دیگر در سقف با پارافین در هر دو شهر در تمام ماه ها دمای پایین تری را شاهدیم و مشخص است که در تهران پیک درجه حرارت دو ساعت جا به جا شده است.



شکل (۴-۳۸) مقایسه ی دمای داخلی سقف با PCM و سقف مرجع در دوره ی تابستانه

۴-۵-۴- فصل پاییز

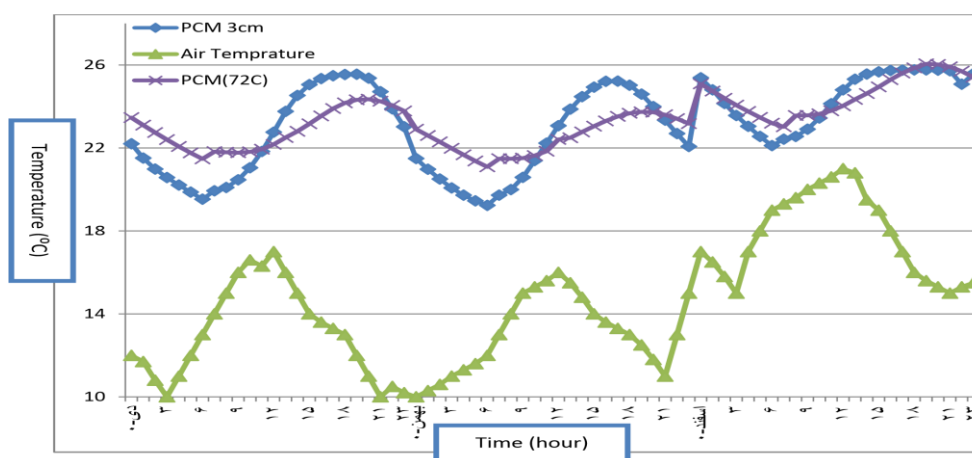
برای ارزیابی عملکرد مواد تغییر فاز دهنده در فصل پاییز، تغییرات دمای داخلی سقف در سه ماه پاییز در شکل زیر نشان داده شده است. نتایج حفظ دما در حدود ۲۷ درجه ی سانتی گراد را در شهر تهران در آذر ماه در سقف با پارافین نشان می دهد. هم چنین کاهش نوسانات و دو واحد کاهش حداکثر دمایی در این ماه مشاهده می شود. در مهر و آبان حداکثر دمایی کاهش یافته و پیک درجه حرارت دو ساعت منتقل شده است. تغییرات دمایی برای آذر ماه روی سقف با PCM کمترین نوسان را نشان می دهد که به علت کاهش دمای هوا و تابش خورشیدی نسبت به ماه های دیگر در این فصل است.



شکل (۴-۳۹) مقایسه ی دمای داخلی سقف با PCM و سقف مرجع در سه ماه پاییز

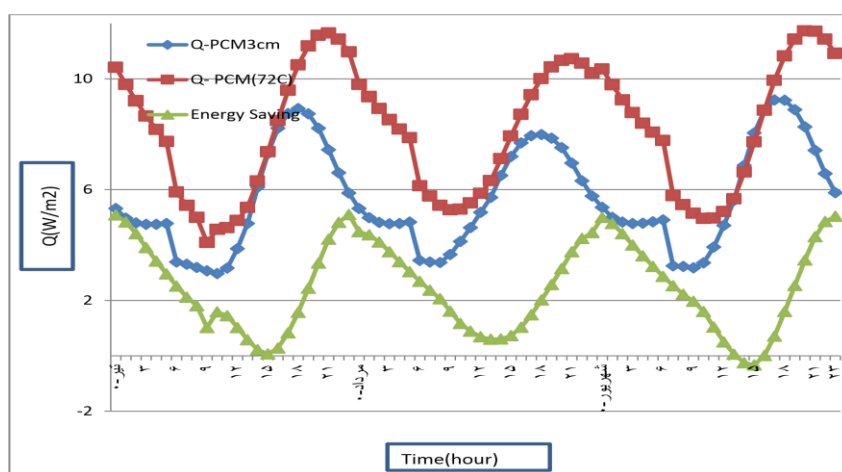
زمستان - ۴-۴-۵-۴

دمای داخلی سقف در طول زمستان در دو سقف با PCM و سقف مرجع در شکل زیر نشان داده شده است. از آن جا که در زمستان دما عمدتاً پایین تر از دمای تغییر فاز PCM قرار دارد، نوسان دمایی بیشتری نسبتاً به فصل های گذشته شاهد هستیم. وجود لایه ی مواد تغییر فاز دهنده آلی در سقف در فصل زمستان تاثیر کمتری بر تغییرات دمایی داشته است. با توجه به شکل دما در سقف با PCM آلی، نوسان بیشتری را نشان می دهد و حداقل دمایی پایین تر و حداکثر دمایی بالاتری را در تمام ماه های این فصل شاهدیم که نشان می دهد سقف با پارافین عملکرد مثبتی نسبت به سقف مرجع نداشته است.



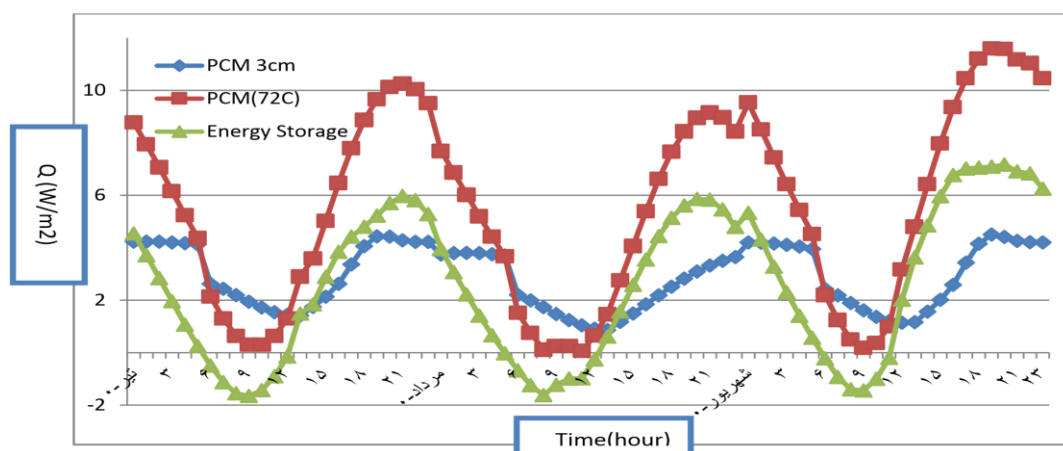
شکل (۴-۴۰) مقایسه ی دمای داخلی سقف با PCM و سقف مرجع در زمستان

در شکل زیر شار حرارت دریافتی در سقف در دو حالت با مواد تغییر فاز دهنده آلی و سقف مرجع را مقایسه می کند. حداکثر حرارت دریافتی در تابستان در سقف با مواد تغییر فاز دهنده آلی در تهران حدود $5 \text{ (W/m}^2\text{)}$ و در سقف مرجع حدود $13 \text{ (W/m}^2\text{)}$ است که ۸ واحد اختلاف را نشان می دهد. از نتایج به دست آمده کاملاً مشخص است که حرارت دریافتی در فصل گرم با به کار بردن یک لایه ۳ سانتیمتری PCM کاهش چشم گیری داشته است. علاوه بر این در محدوده ی زمانی ۶ تا ۲۰ که تابش بر سطح سقف وجود دارد، حرارت دریافتی تقریباً ثابت مانده و افزایش بسیار کمی داشته است. همچنین ذخیره ی انرژی با توجه به شکل در تیر ماه حداکثر مقدار خود را داراست.



شکل (۴-۴۱) مقایسه ی شارحرارتی آنی دریافتی سقف درطول تابستان

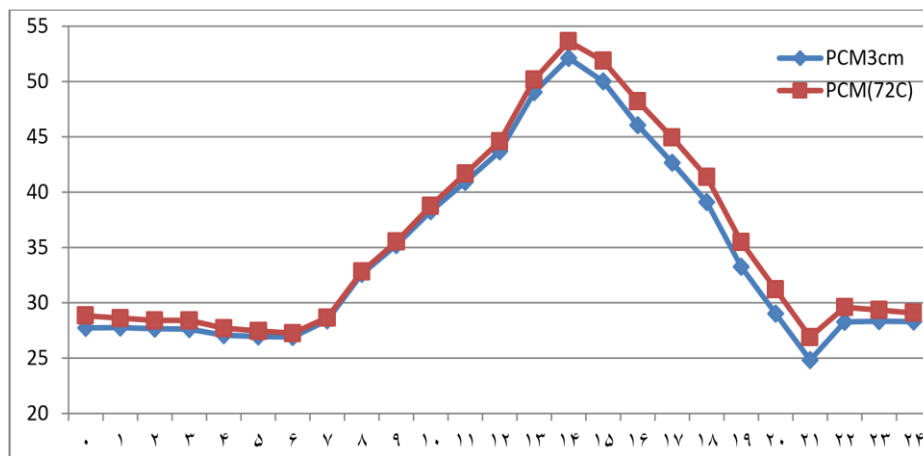
از جمله اثرات مثبت کاربرد پارافین در این فصل یکنواخت کردن مصرف انرژی بوده است که حداکثر مصرف انرژی را کاهش داده که افزایش طول عمر سامانه های سرمایشی و کاهش مصرف انرژی را موجب می شود.



شکل (۴-۴۲) مقایسه ی شار حرارتی آنی دریافتی سقف در طول تابستان

با توجه به مقادیر ارایه شده در جدول بالا ماده ی تغییر فاز دهنده با دمای تغییر فاز ۲۸ درجه سانتی گراد تا ۳۰ درصد حرارت ورودی از طریق سقف را در شهر تهران در تابستان کاهش داده است. در زمستان استفاده از پارافین نسبت به سقف مرجع تا ۸ درصد اثر منفی داشته و حرارت اتلافی را افزایش داده است. علت این امر نبودن شرایط آب و هوایی در محدوده ی دمای تغییر فاز پارافین است که قابلیت ذخیره ی حرارتی در حالت تغییر فاز را امکان پذیر ساخته و هیدرات نمک موجود در سقف مرجع به علت ضریب هدایتی پایین تر و چگالی و گرمای ویژه ی بالاتر عملکرد بهتری در کاهش حرارت اتلافی داشته است.

مقایسه میان دمای خارجی دو سقف با PCM و بدون PCM در زیر نشان داده شده است. دمای خارجی سقف با تابش خورشید شروع به افزایش کرده و در ساعات بین ۱۲ تا ۱۴ که سقف حداکثر تابش را دریافت کرده است به ماکزیمم مقدار خود رسیده است. سپس در شب با کاهش دما کاهش یافته و تا قبل از طلوع خورشید به مینیمم مقدار خود رسیده است. دمای بیرونی سقف مرجع به طور متوسط یک درجه سانتی گراد از دمای سقف شامل پارافین بالاتر است که به علت پایین بودن ضریب هدایت حرارتی PCM به کار رفته در سقف مرجع و کاهش انتقال حرارتی از خارج به داخل سقف است.

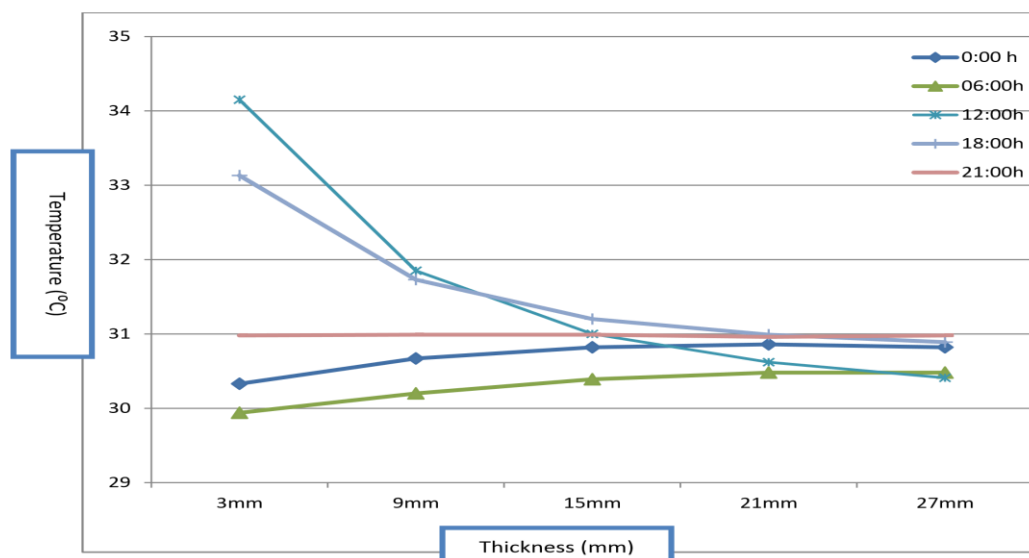


شکل (۴-۴۳) مقایسه ی دمای خارجی سقف در سقف با PCM و سقف مرجع در خرداد ماه

۴-۵-۵- اثر شرایط آب و هوایی بر دمای لایه ی PCM

دمای PCM در طول سقف در آبان ماه در شکل زیر نشان داده شده است. بارسیدن به ساعت ساعات اوج تابش، دمای ابتدای لایه ی PCM رو به افزایش قابل توجهی گذاشته اما در انتهای لایه دما تنها اندکی افزایش داشته است. با گذر از دمای 31 درجه ی سانتی گراد PCM به طور کامل

ذوب شده است و بین ساعات ۱۲ تا ۱۸، لایه ی PCM به صورت مایع در آمده است. با گذر از ساعت ۲۱ شب دما در مرز ۳۱ درجه قرار دارد و از این پس، فرآیند انجماد PCM در ساعات شب رخ می دهد.



شکل (۴-۴۴) تغییرات دمای PCM در طول سقف در ساعات مختلف

تغییرات دمایی لایه ی PCM در شکل ۴ می دهد که PCM در تمام ساعات در دمای تغییر فاز بین ۲۵ تا ۳۱ درجه سانتی گراد قرار دارد. در شب دمای ابتدای لایه با کاهش دمای بیرون تا ۲۵ درجه سانتی گراد و در روز با تابش خورشیدی به ۲۹ درجه سانتی گراد رسیده است اما انتهای لایه عمدتاً در ۲۷ درجه سانتی گراد نگه داشته شده است.

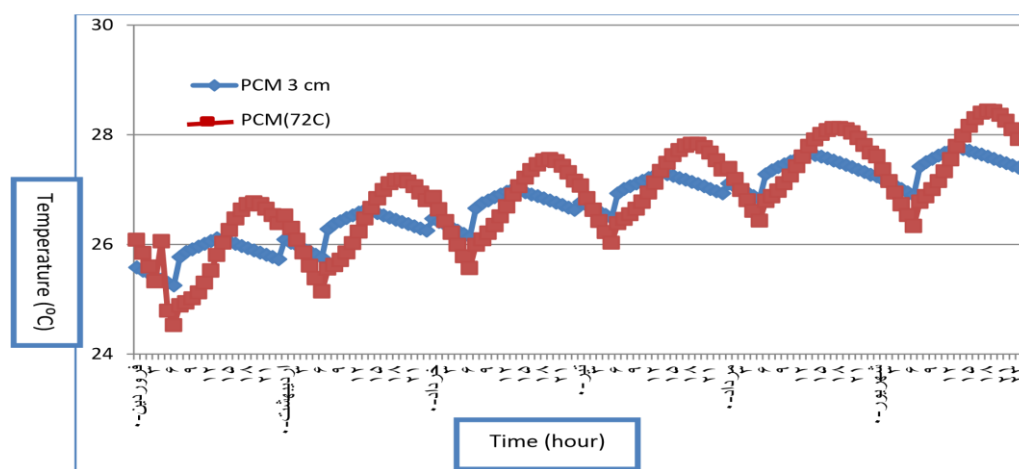
۴-۵-۶ - نتایج شبیه سازی دیوار

در این قسمت نتایج شبیه سازی دیوار، تحت شرایط آب و هوایی و تابش خورشیدی شهر تهران در سال ۱۳۹۹ ارایه می شود. خروجی های شبیه سازی، دما در عرض مواد تشکیل دهنده ی دیوار شامل ۳۰ گره و شار حرارتی اتلافی/دریافتی در هر بازه ی زمانی است. برای مقایسه ی عملکرد PCM در دیوار های با جهات مختلف، دیوار رو به شمال، رو به جنوب و رو به شرق شبیه سازی شده اند. به منظور شبیه سازی از متوسط تابش ماهیانه ی خورشیدی استفاده شده است.

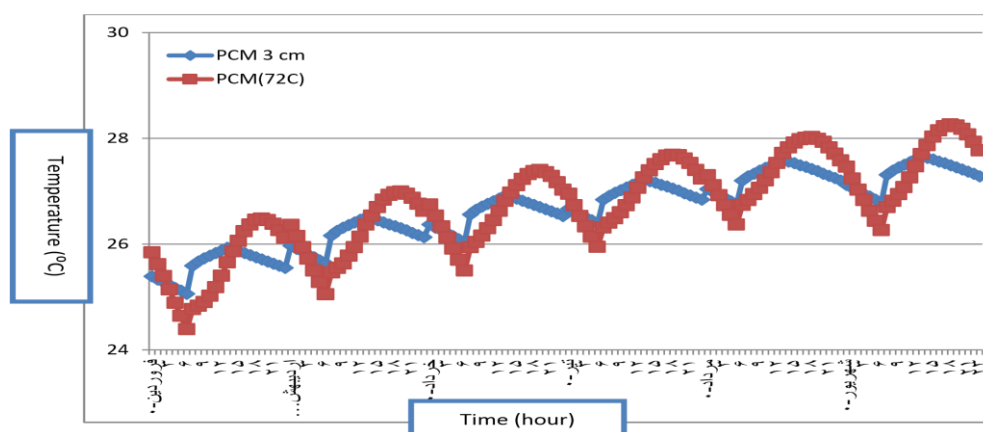
۴-۵-۶-۱ - نتایج کاربرد PCM در شش ماهه ی اول سال

دمای داخلی دیوار مجهز به پارافین در شش ماه ی اول سال ۹۹ در شکل پایین با دیوار مرجع شامل $2Na_2SiO_3 \cdot 5H_2O$ که شامل ۴ سانتیمتر عایق است مقایسه شده است. شکل ۴۷ به بعد اثر

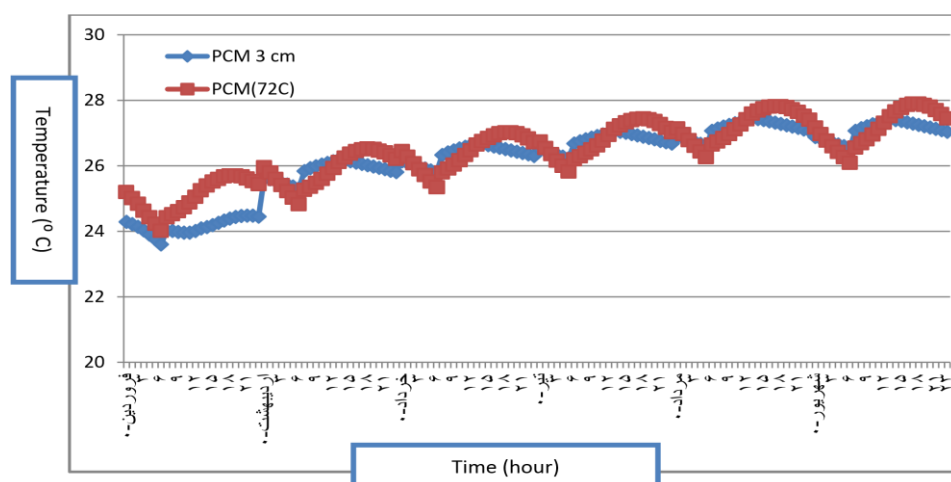
استفاده از ۳ سانتیمتر PCM آلی بر دیوار جنوبی، شمالی و شرقی را نشان داده اند. نمودارهای مربوط نشان دهنده ی اثر مثبت PCM آلی بر کاهش نوسانات و حفظ دمای داخلی دیوار در محدوده ی دمای مطلوب در دیوارهای جنوبی و شرقی هستند. دیوار شمالی اثر منفی پارافین را در فروردین ماه نشان می دهد. هر چند در سایر ماه ها عملکرد آن در این دیوار مطلوب ارزیابی می شود. به علت تابش متفاوت خورشیدی بر دیوارها با جهات مختلف، ماده ی تغییر فاز دهنده با شرایط خارجی مختلفی در دیوارها روبه روست و تحت تاثیر این شرایط تاثیرات مثبت و منفی را از خود نشان می دهد.



شکل (۴-۴۵) مقایسه ی دمای داخلی دیوار جنوبی در شش ماه ی اول سال



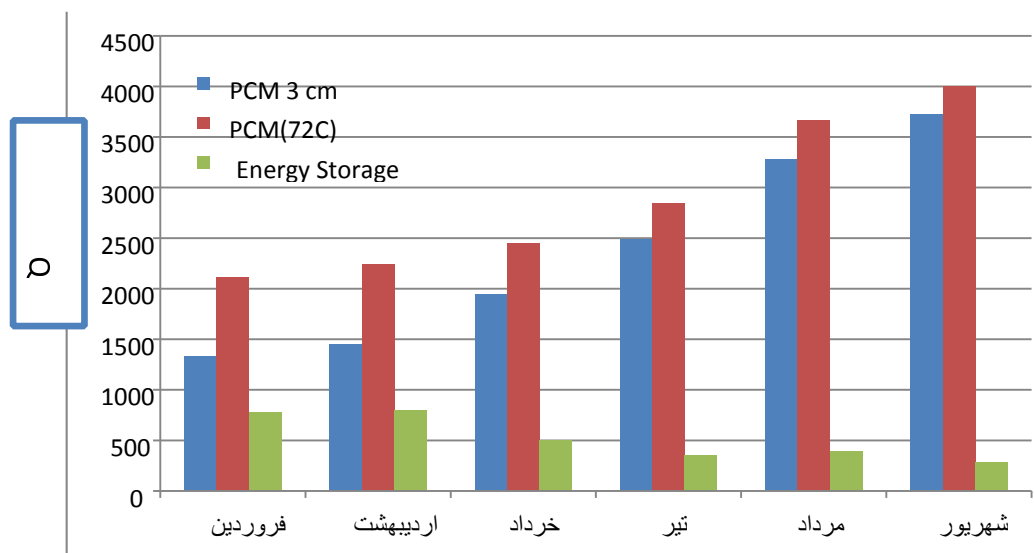
شکل (۴-۴۶) مقایسه ی دمای داخلی دیوار شرقی در شش ماه ی اول سال



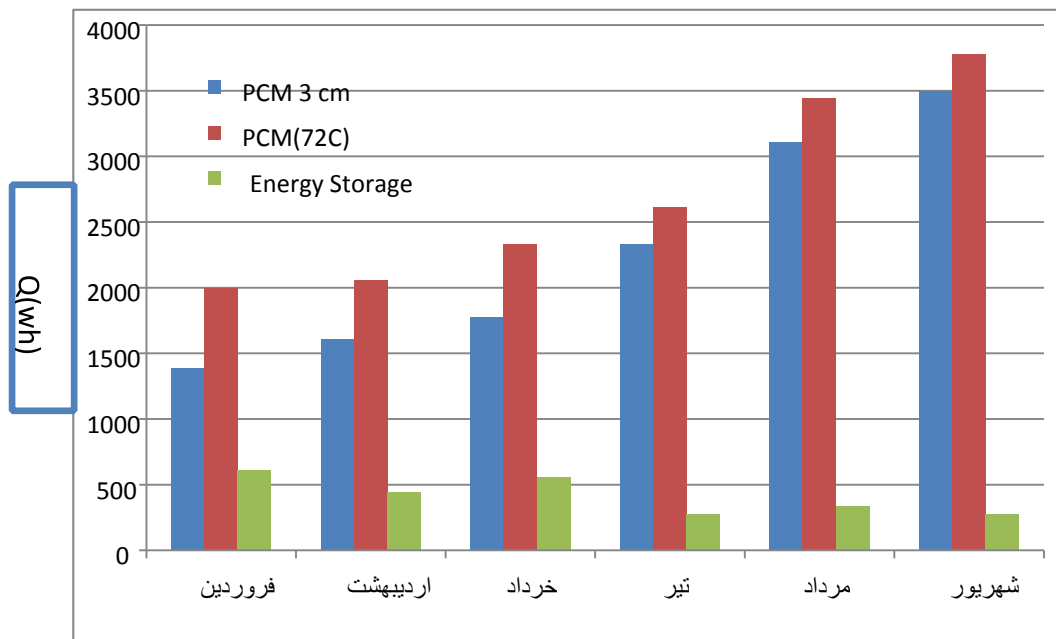
شکل (۴-۴۷) مقایسه ی دمای داخلی دیوار شمالی در شش ماهه ی اول سال

۴-۵-۶-۲- مقایسه ی صرفه جویی حرارتی در دیوار با جهت گیری های متفاوت

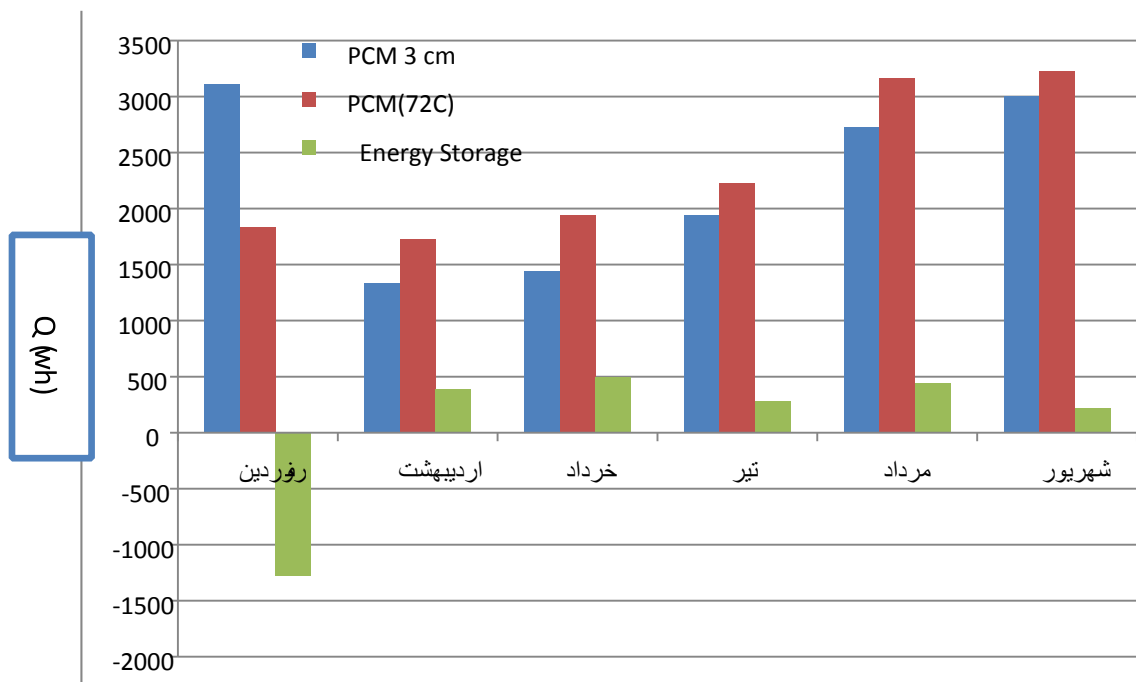
با توجه به نمودار های ارائه شده بیشترین تاثیر مثبت کاربرد PCM در تهران در شش ماهه ی اول سال، برای دیوار جنوبی در اردیبهشت ماه، برای دیوار شرقی فروردین ماه و برای دیوار شمالی خرداد ماه است.



شکل (۴-۴۸) ذخیره ی حرارتی استفاده از PCM در دیوار جنوبی



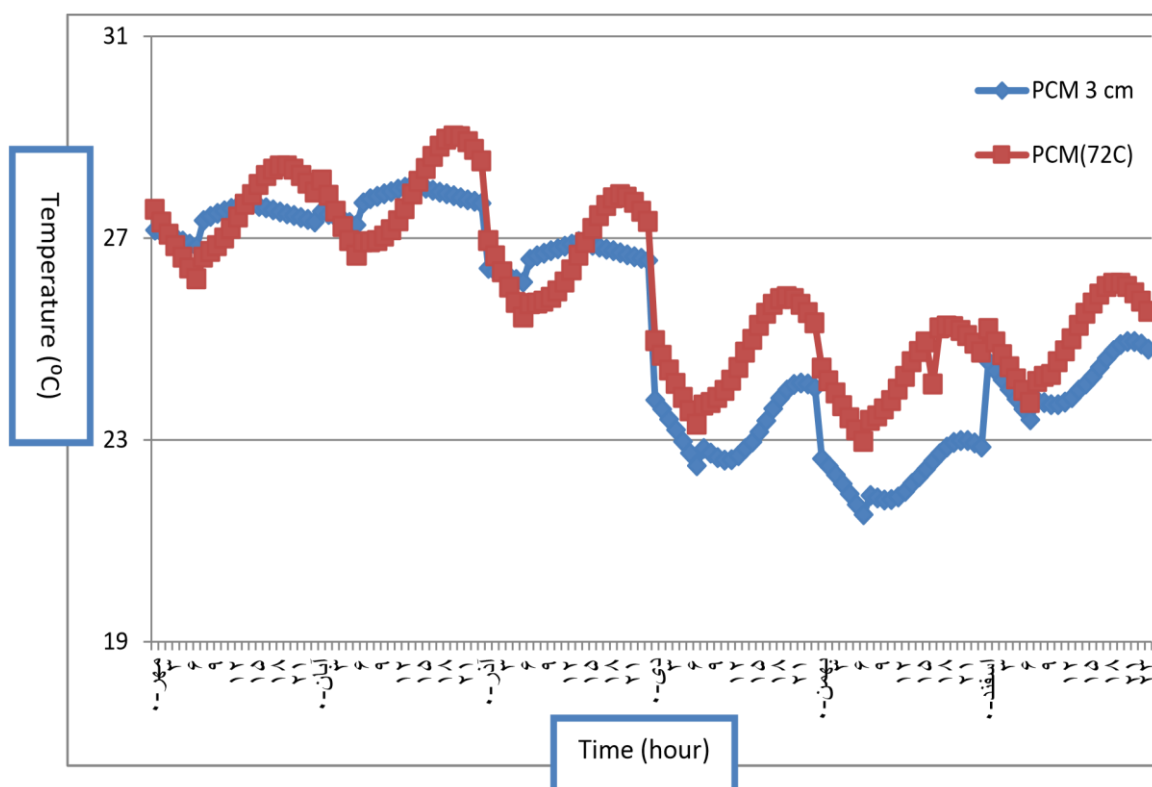
شکل (۴-۴۹) ذخیره ی حرارتی استفاده از PCM در دیوار شرقی



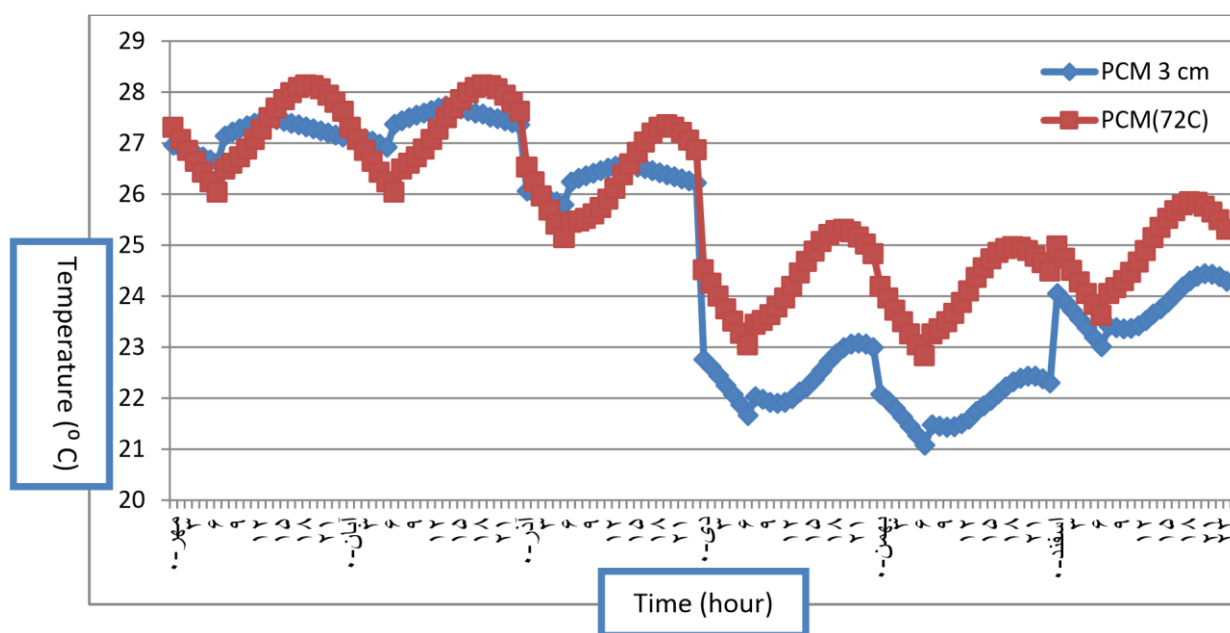
شکل (۴-۵۰) ذخیره ی حرارتی استفاده از PCM در دیوار شمالی

۴-۵-۶-۳ - نتایج استفاده از PCM در شش ماهه ی دوم سال در دیوار

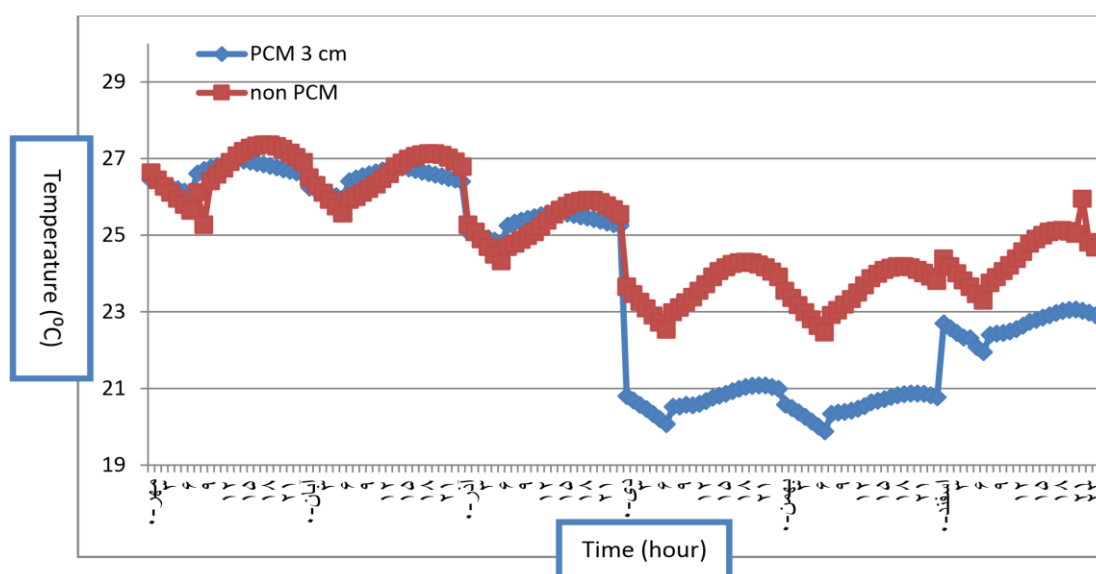
در این قسمت دمای داخلی دیوار مجهز به ۳ سانتیمتر PCM با دیوار مرجع(شامل $2\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) در جهات مختلف مورد بررسی قرار داده ایم . با توجه به نتایج ارایه شده ، PCM در سه ماه مهر، آبان و آذر تاثیر مثبت بر دمای داخلی دیوار داشته است. نوسانات نسبت به دیوار مرجع کاهش یافته و دما در محدوده ی دمای مطلوب و نزدیک به دمای داخلی (۲۵) درجه سانتی گراد) حفظ شده است . هر چند دو دیوار عملکرد نزدیکی را نشان می دهند اما دیوار شامل پارافین اثر محسوسی بر دمای داخلی داشته است. از طرف دیگر در سه ماه آخر سال مواد تغییر فاز دهنده آلی عمدتا اثر نامطلوب بر دمای داخلی دیوار داشته است ، هر چند نوسان کمتری را شاهدیم اما دما فاصله ی بیشتری را با دمای داخلی اتاق نشان می دهد. این فاصله در اسفند ماه به حداقل رسیده است. همچنین واضح است که مواد تغییر فاز دهنده آلی مطلوب ترین عملکرد را در دیوار جنوبی داراست. از آن جا که برای استفاده از تغییر فاز ماده ی تغییر فاز دهنده برای کارایی بهتر، دمای ذوب بایستی در محدوده ی دمای کاری باشد، کارایی بهتر PCM و استفاده از گرمای نهان بالای آن برای ذخیره سازی حرارتی (علاوه بر نقش عایق بودن آن) در ماه هایی که دمای هوا دور از دمای ذوب PCM است فراهم نمی شود.



شکل (۴-۵۱) مقایسه ی دمای داخلی دیوار جنوبی در شش ماه ی دوم سال



شکل (۴-۵۲) مقایسه ی دمای داخلی دیوار شرقی درشش ماه ی دوم سال



شکل (۴-۵۳) مقایسه ی دمای داخلی دیوار شمالی درشش ماهه ی دوم

نتایج به دست آمده نشان می دهد که کارایی PCM استفاده شده در ساختمان به عوامل مختلفی بستگی دارد و PCM انتخاب شده با دمای ذوب متناسب با یک شرایط آب و هوایی، برای آب و هوای دیگر مناسب نخواهد بود. از این رو PCM، با دمای ذوب ۲۸ درجه سانتی گراد که با توجه به آب و هوای گرم و مرطوب تهران انتخاب شده است

۴-۶- تحلیل اعدادی

۴-۶-۱- نتایج دمای سطح صفحه ترموود

جدول ۴-۲ کلیه نتایج اندازه گیری شده مربوط به دمای سطحی را نشان می دهد. جدول های ۴-۳ تا ۴-۲۶ داده های به دست آمده از کل نتایج با بررسی تغییر سرعت جریان هوا و تغییر وات تولیدی را نشان می دهد، که این نتایج در قسمت بعدی با ترسیم نمودار به بررسی و تحلیل آن ها پرداخته شده است.

جدول ۴-۵. کلیه آزمایشات دمای نقاط صفحه ترموود

ردیف	حالت آزمایش	سرعت جریان هوا (m/s)	توان (وات)	ردیف	حالت آزمایش	سرعت جریان هوا (m/s)	توان (وات)
۱	اول	۲	۴۵	۱۳	اول	۲	۹۰
۲	اول	۲,۵	۴۵	۱۴	اول	۲,۵	۹۰
۳	اول	۳	۴۵	۱۵	اول	۳	۹۰
۴	دوم	۲	۴۵	۱۶	دوم	۲	۹۰
۵	دوم	۲,۵	۴۵	۱۷	دوم	۲,۵	۹۰
۶	دوم	۳	۴۵	۱۸	دوم	۳	۹۰
۷	سوم	۲	۴۵	۱۹	سوم	۲	۹۰
۸	سوم	۲,۵	۴۵	۲۰	سوم	۲,۵	۹۰
۹	سوم	۳	۴۵	۲۱	سوم	۳	۹۰
۱۰	چهارم	۲	۴۵	۲۲	چهارم	۲	۹۰
۱۱	چهارم	۲,۵	۴۵	۲۳	چهارم	۲,۵	۹۰
۱۲	چهارم	۳	۴۵	۲۴	چهارم	۳	۹۰

جدول ۴-۶ نتایج دمای نقاط صفحه ترموود (شرایط سرعت ۲.۴۵m/s وات ، حالت اول)

t (min)	1- T (°C)	2- T (°C)	3- T (°C)	4- T (°C)	5- T (°C)	6- T (°C)
0	20	22	21	20	19.2	18.7
5	41.1	42	43.8	45.4	46.3	47.9
10	47.7	48.6	50.5	52.3	53.2	54.4
15	52.8	53.7	55.6	57.4	58.3	59.5
20	55.2	56.1	58	59.8	60.7	61.9
25	56	56.8	58.9	60.3	61.5	62.7
30	57.8	58.5	60.6	62	63.2	64.4
35	58	58.6	60.7	62.3	63.3	64.8
40	58.1	58.9	60.8	62.4	63.6	65
45	59	59.7	61.5	63.1	64.3	65.8
50	60.3	60.9	62.7	64.3	65.6	67
55	61.8	62.2	64	65.7	66.8	68.4
60	64.1	64.9	66.1	67.8	69	70.5

جدول ۴-۷ نتایج دمای نقاط صفحه ترموود (شرایط سرعت ۲/۵ m/s ، ۴۵ وات ، حالت اول)

t (min)	1- T (°C)	2- T (°C)	3- T (°C)	4- T (°C)	5- T (°C)	6- T (°C)
0	19.5	18.7	19.4	19	18.7	18.7
5	39.1	40.9	42.3	44.1	45.6	45.8
10	47.2	49	50.4	51.9	53.5	53.9
15	51.3	53.3	54.5	56	57.4	58
20	54.6	56.4	57.5	59.1	60.9	61.3
25	55.7	57.6	58.7	60.1	62	62.4
30	56.6	58.5	59.5	61	62.7	63.3
35	57.1	58.9	59.8	61.4	63.2	63.8
40	57.2	59	60	61.5	63.3	63.9
45	57.4	59.2	60.1	61.8	63.5	64.1
50	58.1	59.9	61	62.6	64.3	64.8
55	59.5	61.4	62.6	63.8	65.5	66.2
60	63	64.3	65.7	66.9	68.5	69.5

جدول ۴- ۸ نتایج دمای نقاط صفحه ترموود (شرایط سرعت ۳ m/s، ۴۵ وات، حالت اول)

t (min)	1- T (°C)	2- T (°C)	3- T (°C)	4- T (°C)	5- T (°C)	6- T (°C)
0	20.2	20	18.7	19.7	19	18.7
5	37.8	38.4	39.7	40.9	41.3	42.9
10	46.7	47.3	48.6	49.8	50.2	51.8
15	51	52.5	54	55.4	55.5	57
20	52.2	53.8	55.3	56.8	57	58.4
25	54	55.6	57	58.5	59	60.2
30	55.3	57	58.5	60	60.4	61.8
35	56.6	58.3	59.7	61.2	61.8	63
40	56.8	58.4	59.8	61.3	62	63.2
45	57	58.6	60.1	61.6	62.2	63.5
50	58.1	59.5	61	62.7	63.2	64.6
55	59.4	61	62.4	64	64.8	66.1
60	61.1	62.7	64.1	65.6	66.6	67.8

جدول ۴- ۹ نتایج دمای نقاط صفحه ترموود (شرایط سرعت ۲ m/s، ۴۵ وات، حالت دوم)

t (min)	1- T (°C)	2- T (°C)	3- T (°C)	4- T (°C)	5- T (°C)	6- T (°C)
0	21.9	22.1	22.7	23.1	22.9	23.6
5	41.8	42.7	43.9	43.4	44.3	46.9
10	46.9	50.6	51.9	52.5	53.2	54.4
15	58.5	59.2	60.1	61.7	62.3	62.8
20	62.3	63.1	64.8	65.9	66.4	66.6
25	67.1	68.1	68.7	69.4	70.2	70.9
30	69.4	70.2	70.6	70.4	71.1	71.6
35	70.1	70.7	71	71	71.8	72.6
40	70.8	70.2	71.3	71.5	72.2	72.8
45	71.2	72.4	71.7	72.2	73	73.8
50	71.8	72.8	73.1	74.2	74.9	75.2
55	74.1	75.2	75.9	76.3	77	77.9
60	76.9	77.6	78.3	78.8	79.8	80.5

جدول ۴- ۱۰ نتایج دمای نقاط صفحه ترموود (شرایط سرعت ۲/۵ms ، ۴۵ وات ، حالت دوم)

t (min)	1- T (°C)	2- T (°C)	3- T (°C)	4- T (°C)	5- T (°C)	6- T (°C)
0	19.6	22.7	20.9	19.9	18.9	21.5
5	39.1	41.9	42.3	44.1	42.7	43.2
10	48.2	49.9	51.9	52.9	53.6	53.9
15	57.1	58.7	59.4	59.9	60.8	61.8
20	61.1	62.8	63.9	64.6	65.1	65.3
25	66.1	67.6	68.4	68.5	69.1	69.9
30	69.1	70.2	70.5	71	70.9	71.2
35	69.9	70.8	71.3	71.6	71.3	71.8
40	70.4	71.4	71.8	72.7	71.9	72.6
45	70.9	72.2	72.5	73.1	72.9	73.4
50	71.4	72.7	73.2	74.2	74.9	75.2
55	73.5	73.9	75.4	76.1	77.8	78.1
60	76.4	77.1	77.9	78.4	79.2	80.1

جدول ۴- ۸- نتایج دمای نقاط صفحه ترموود (شرایط سرعت ۳m/s ، ۴۵ وات ، حالت دوم)

t (min)	1- T (°C)	2- T (°C)	3- T (°C)	4- T (°C)	5- T (°C)	6- T (°C)
0	22.5	22.7	23.1	22.2	21.3	20.5
5	42.5	42.8	42.5	41.9	42.6	42.9
10	51.1	51.5	53.1	52.4	52.1	53.2
15	55.4	57	58.7	59.8	60.1	61.1
20	60.1	61.2	63.5	64.3	65.7	64.8
25	64.5	65.2	67	67.8	69.3	69.6
30	66.1	66.9	68.3	69.2	70.6	70.9
35	66.6	67.4	68.8	69.7	70.9	71.3
40	67.1	68	69.4	70.1	71.2	72.3
45	67.9	68.8	70.1	70.9	71.8	73.9
50	70.4	71.1	72.4	73.1	73.6	75.6
55	72.2	73.1	74.4	75	77	77.2
60	74.6	75.5	76.9	77.5	78.4	79.4

جدول ۴- ۱۲ نتایج دمای نقاط صفحه ترموود (شرایط سرعت ۲ m/s، ۴۵ وات، حالت سوم)

t (min)	1- T (°C)	2- T (°C)	3- T (°C)	4- T (°C)	5- T (°C)	6- T (°C)
0	20.9	22.2	21	23.4	22.6	21.7
5	41.1	42	43.8	45.4	44.3	43.2
10	47.7	48.6	50.5	52.3	53.2	54.4
15	57.1	58.2	61.4	62.7	61.8	62.6
20	61.7	63.8	64.2	66.9	68.2	68.9
25	66.7	68.5	68.9	70.1	72	71.6
30	69.5	71.4	71.7	73.4	74.7	73.9
35	70.1	71.7	73.1	74.5	75.1	74.9
40	71.3	72.4	74	74.8	76	75.7
45	72	72.8	74.3	75	76.5	76.5
50	72.5	73	74.5	75.8	76.8	77.2
55	72.8	73.6	75	76.1	77.2	77.8
60	72.9	73.9	75.1	76.2	77.2	78.3

جدول ۴- ۱۳ نتایج دمای نقاط صفحه ترموود (شرایط سرعت ۲/۵ms، ۴۵ وات، حالت سوم)

t (min)	1- T (°C)	2- T (°C)	3- T (°C)	4- T (°C)	5- T (°C)	6- T (°C)
0	23.2	24.7	22.9	24.6	22.7	23.6
5	41.6	44.9	42.3	43.1	42.6	40.1
10	47.2	49	48.8	51.9	53.5	52.9
15	52.6	55.6	54.9	56	57.4	60.5
20	58.2	60.8	60.3	62.1	63.2	66.4
25	63.1	62.7	64.2	67	66.8	70.7
30	66.8	65.6	66.2	68.4	70.1	72.5
35	68.4	69.7	69.5	70.1	71.6	73.8
40	68.7	71	71.1	72.7	73.1	74.9
45	69.6	71.5	72	73.6	74.2	75.5
50	70	71.7	72.6	74.1	74.8	76.1
55	70.5	72.2	73.2	74.2	75.1	76.5
60	70.8	72.2	73.6	74.4	75.3	76.8

جدول ۴- ۱۴ نتایج دمای نقاط صفحه ترموود (شرایط سرعت ۳ m/s، ۴۵ وات، حالت سوم)

t (min)	1- T (°C)	2- T (°C)	3- T (°C)	4- T (°C)	5- T (°C)	6- T (°C)
0	20.9	22.2	21	23.4	22.6	21.7
5	41.1	42	43.8	45.4	44.3	43.2
10	47.7	48.6	50.5	52.3	53.2	54.4
15	57.1	58.2	61.4	62.7	61.8	62.6
20	61.7	63.8	64.2	66.9	68.2	68.9
25	66.7	68.5	68.9	70.1	72	71.6
30	69.5	71.4	71.7	73.4	74.7	73.9
35	70.1	71.7	73.1	74.5	75.1	74.9
40	71.3	72.4	74	74.8	76	75.7
45	72	72.8	74.3	75	76.5	76.5
50	72.5	73	74.5	75.8	76.8	77.2
55	72.8	73.6	75	76.1	77.2	77.8
60	72.9	73.9	75.1	76.2	77.2	78.3

جدول ۴- ۱۵ نتایج دمای نقاط صفحه ترموود (شرایط سرعت ۲ m/s، ۴۵ وات، حالت چهارم)

t (min)	1- T (°C)	2- T (°C)	3- T (°C)	4- T (°C)	5- T (°C)	6- T (°C)
0	20.6	22.7	21.8	20.1	22.6	23.1
5	41.1	42	43.8	42.4	45.3	45.3
10	50.8	50.9	51.6	52.3	54.2	55.6
15	59.6	60.9	61.5	62.2	63.2	64
20	66.2	66.9	67.4	68.1	68.1	69.5
25	75.2	75.1	75.8	76.5	77.2	77.9
30	77.9	78.6	79.6	80.9	81.2	81.9
35	83.6	83.8	84.1	84.7	85.2	84.6
40	85.4	85.5	86.4	87.1	87.4	86.2
45	86.2	86.6	87.2	87.5	88	87.2
50	86.8	87.2	87.7	88.1	88.4	88
55	87	87.5	87.9	88.4	88.7	88.6
60	87.2	87.7	88.1	88.5	88.8	89.2

جدول ۴- ۱۶ نتایج دمای نقاط صفحه ترموود (شرایط سرعت ۲/۵ms ، ۴۵وات ، حالت چهارم)

t (min)	1- T (°C)	2- T (°C)	3- T (°C)	4- T (°C)	5- T (°C)	6- T (°C)
0	20.6	22.7	21.8	20.1	22.6	23.1
5	41.1	42	43.8	42.4	45.3	45.3
10	50.8	50.9	51.6	52.3	54.2	55.6
15	59.6	60.9	61.5	62.2	63.2	64
20	66.2	66.9	67.4	68.1	68.1	69.5
25	75.2	75.1	75.8	76.5	77.2	77.9
30	77.9	78.6	79.6	80.9	81.2	81.9
35	83.6	83.8	84.1	84.7	85.2	84.6
40	85.4	85.5	86.4	87.1	87.4	86.2
45	86.2	86.6	87.2	87.5	88	87.2
50	86.8	87.2	87.7	88.1	88.4	88
55	87	87.5	87.9	88.4	88.7	88.6
60	87.2	87.7	88.1	88.5	88.8	89.2

جدول ۴- ۱۷ نتایج دمای نقاط صفحه ترموود (شرایط سرعت ۳m/s ، ۴۵وات ، حالت چهارم)

t (min)	1- T (°C)	2- T (°C)	3- T (°C)	4- T (°C)	5- T (°C)	6- T (°C)
0	22.5	21.9	22.6	23.2	22.2	21.9
5	38.8	39.9	40.1	40.9	41.3	42.9
10	46.9	47.3	48.8	49.9	50.6	51.8
15	58.9	59.8	60.1	60.6	61.1	60.9
20	65.1	65.4	66.8	66.6	67.1	66.9
25	73.2	73.6	74.1	73.9	74.6	75.1
30	78.1	78.4	78.6	78.9	79.5	80.1
35	82.5	82.8	82.5	82.8	83.2	83.1
40	83.2	83.1	84.2	84.5	84.6	84.2
45	83.6	83.5	84.5	85	85.3	85.4
50	83.9	84	84.8	85.3	85.6	85.8
55	84.3	84.4	85	85.5	86	86.2
60	84.4	84.6	85.3	85.7	86.2	86.5

جدول ۴- ۱۸ نتایج دمای نقاط صفحه ترموود (شرایط سرعت ۲ m/s ، ۹۰ وات ، حالت اول)

t (min)	1- T (°C)	2- T (°C)	3- T (°C)	4- T (°C)	5- T (°C)	6- T (°C)
0	21.4	21.8	23.6	22.2	21.3	22.1
5	57.9	58.2	59	59.4	60	60.8
10	68.4	69	69.7	70.1	70.6	71.1
15	75.1	75.7	76.4	76.7	77	77.9
20	80.8	81.4	81.9	82.4	83.1	83.7
25	84.4	85	85.8	86	86.6	87.2
30	86.8	87.2	88.9	88.1	88.5	89.2
35	88.2	88.9	89.4	89.7	90.1	90.8
40	89.1	89.6	90.1	90.6	90.8	91.5
45	89.9	90.2	90.8	91.1	91.6	92.1
50	90.9	91.3	91.7	91.9	92.4	93.1
55	92	92.6	93.3	93.5	94	94.7
60	93.8	94.5	95.6	96	96.3	96.6

جدول ۴- ۱۹ نتایج دمای نقاط صفحه ترموود (شرایط سرعت ۲/۵ms ، ۹۰ وات ، حالت اول)

t (min)	1- T (°C)	2- T (°C)	3- T (°C)	4- T (°C)	5- T (°C)	6- T (°C)
0	21.6	22.4	23.9	22	21.8	22.6
5	52.6	54.2	53.9	54.6	55.6	56
10	63.4	64	64.4	63.9	65	65.5
15	70.2	71.3	71.1	71.5	72.1	73.1
20	75.9	77.6	78.3	78.4	78.9	79.8
25	81.1	81.9	82.4	83.1	83.7	84.6
30	84.1	884.8	85.3	86.1	86.9	87.8
35	85.6	86.1	86.9	87.9	88.8	89.3
40	87.2	87.9	88.4	89.4	89.4	90.6
45	88.3	88.4	88.8	90.2	90	91.1
50	88.7	89.3	89.9	90.9	91.2	92
55	89.9	90.9	91.3	92.6	92.8	93.4
60	91.6	92.7	93.8	94.1	94.6	95.6

جدول ۴-۲۰ نتایج دمای نقاط صفحه ترموود (شرایط سرعت ۳m/s، ۹۰ وات، حالت اول)

t (min)	1- T (°C)	2- T (°C)	3- T (°C)	4- T (°C)	5- T (°C)	6- T (°C)
0	21.4	21.8	22	22	21.6	22.4
5	49.1	49.7	50.6	51.1	52.3	53.4
10	57.8	58.5	59.8	60.7	61.2	62.3
15	65.1	66.2	67	67.7	68.6	69.8
20	72.7	73.3	74	74.5	75.4	76.6
25	78.1	78.8	79.9	80.7	81.6	82.4
30	80.8	81.6	82.9	83.3	84.4	85.9
35	82.5	83.9	84.8	85.6	86.4	87.6
40	83.8	84.6	85.9	86.8	87.7	88.6
45	84.6	85.8	86.6	87.8	88.9	89.7
50	85.7	86.5	87.6	88.7	89.6	90.4
55	87.9	88.7	89.8	90.9	91.7	92.8
60	89.6	90.9	91.8	92.6	93.8	94.6

جدول ۴-۲۱ نتایج دمای نقاط صفحه ترموود (شرایط سرعت ۲m/s، ۹۰ وات، حالت دوم)

t (min)	1- T (°C)	2- T (°C)	3- T (°C)	4- T (°C)	5- T (°C)	6- T (°C)
0	22.4	21.8	21.6	23.2	23.3	23.1
5	61.6	62.3	64.1	64.9	64.8	65.8
10	71.6	72.4	74.9	76.1	75.9	76.7
15	85.5	86.8	86.6	87.4	87.2	87.7
20	87.7	88.8	89.9	91.4	91.1	91.9
25	92.5	92.2	92.5	94.8	94.5	95.2
30	95.7	95.6	95.3	97.4	97.5	98
35	96.3	96.1	96.5	98.6	98.8	99.8
40	96.7	97.3	97.4	99.5	100.4	100.5
45	97.2	97.6	97.9	100.2	100.8	101
50	98.6	98.3	98.4	100.8	101.5	102.1
55	99.6	100.4	100.1	102.6	103.1	103.6
60	101.2	102.6	103.9	104.6	105.3	105.9

جدول ۴- ۲۲ نتایج دمای نقاط صفحه ترموود (شرایط سرعت ۲/۵ms ، ۹۰ وات ، حالت دوم)

t (min)	1- T (°C)	2- T (°C)	3- T (°C)	4- T (°C)	5- T (°C)	6- T (°C)
0	21.6	22.4	21.9	22.3	21.9	22.3
5	65.6	66.3	65.5	65.1	64.2	64.5
10	75.5	75.2	74.8	75.5	76.1	75.5
15	80.8	81.9	82.4	83.6	84.1	83.1
20	84.9	86.9	87.6	88.4	88.9	89.6
25	90.7	91.9	91.3	92.9	93.8	94.4
30	92.6	95.6	95.7	96.5	97.5	97.8
35	93.1	95.8	96.1	97.2	98.6	99.1
40	93.7	96.5	96.8	98.5	99.9	100.2
45	94.4	97.1	97.4	99.1	100.4	100.7
50	94.6	97.4	98.1	99.8	100.8	101.5
55	97.5	99.9	100.2	101.5	102.5	103
60	100.8	102.1	103.1	103.9	104.7	105.1

جدول ۴- ۲۳ نتایج دمای نقاط صفحه ترموود (شرایط سرعت ۳m/s ، ۹۰ وات ، حالت دوم)

0	22.6	23.6	22.4	23.1	23.5	22.4
5	62.1	62.4	62.1	62.5	62.3	61.9
10	72.9	73.5	73.1	72.9	73.6	73.4
15	82.1	82.8	82.5	83.9	83.6	84.6
20	88.4	88.5	88.6	89.1	89.4	89.7
25	92.6	93.1	92.9	93.5	93.1	93.3
30	94.8	94.6	94.9	95.4	96	96.7
35	95.2	95.1	95.5	96.1	96.4	97.3
40	95.4	95.6	96.1	96.4	96.6	97.8
45	95.9	97.4	98.1	98.6	98.8	99.1
50	96.4	97.8	98.3	99.1	99.5	100
55	98.8	99.1	99.4	100.3	101.1	102.6
60	100.2	101	101.7	102.5	103.6	104.4

جدول ۴- ۲۴ نتایج دمای نقاط صفحه ترموود (شرایط سرعت ۲m/s، ۹۰ وات، حالت سوم)

t (min)	1- T (°C)	2- T (°C)	3- T (°C)	4- T (°C)	5- T (°C)	6- T (°C)
0	22.8	21.4	23.7	21.8	22.9	24.1
5	61.6	60.8	62.3	60.6	63.6	64.5
10	71.7	71.8	70.6	71.6	72.1	73.1
15	77.4	78.5	80.9	81.6	81.4	81.9
20	82.6	83.1	84.5	84.9	85.9	85.7
25	85.1	86.4	88.8	89.9	91.5	92.1
30	92.4	93.1	94.3	94.1	95.6	96.5
35	96.1	97.1	97.8	97.7	98.5	99.1
40	96.4	97.4	98.1	98.6	99.4	99.9
45	96.8	97.4	98.3	99.1	99.6	100.6
50	97.1	97.5	98.6	99.4	100.1	100.9
55	97.3	97.8	98.8	99.5	100.4	101.2
60	97.4	98.1	98.8	99.7	100.5	101.4

جدول ۴- ۲۵ نتایج دمای نقاط صفحه ترموود (شرایط سرعت ۲/۵ms، ۹۰ وات، حالت سوم)

t (min)	1- T (°C)	2- T (°C)	3- T (°C)	4- T (°C)	5- T (°C)	6- T (°C)
0	22.9	22.4	23.6	22.5	21.8	22.4
5	55.6	55.1	55.1	56.6	55.5	56.1
10	64.1	67	67.7	68.4	68.4	69.1
15	73.6	74.3	74.9	73.2	75.7	74.3
20	78.1	80.6	81.1	82.1	81.4	80.6
25	84.1	83.3	85.5	86.6	87.3	88.1
30	90.1	87.9	90.8	91.3	91.7	91.5
35	90.9	92.1	94.1	95	95.2	95.1
40	91.5	92.8	94.7	95.7	95.9	96.2
45	92.1	93.5	95.1	95.9	96.8	97.3
50	92.5	94.1	95.5	96.4	97.3	97.9
55	92.6	94.3	95.9	96.7	97.6	98.1
60	92.8	94.4	96.1	96.9	97.7	98.4

جدول ۴- ۲۶ نتایج دمای نقاط صفحه ترموود (شرایط سرعت ۳m/s، ۹۰ وات، حالت سوم)

t (min)	1- T (°C)	2- T (°C)	3- T (°C)	4- T (°C)	5- T (°C)	6- T (°C)
0	21.4	22.6	21.8	22.5	21.6	22.4
5	51.8	52.9	52.1	53.9	54.8	55.5
10	66.8	68.8	69.6	70.6	71.5	72.4
15	74.6	75.6	74.6	75.4	76.6	78.6
20	81.6	81.8	82.2	82.1	82.4	83.1
25	85.1	86.1	86.9	87.6	87.4	88.8
30	86.4	89.5	89.5	89.9	90.5	91.8
35	87.5	88.8	91.1	91.5	92.1	94.4
40	88.5	91.4	92.1	92.9	93.8	95.1
45	89.2	91.5	92.6	93.6	94.6	95.8
50	89.6	92.1	92.8	94.1	95.1	95.9
55	89.9	92.1	93.3	94.5	95.4	96.3
60	90.2	92.4	93.5	94.8	95.4	96.3

جدول ۴- ۲۷ نتایج دمای نقاط صفحه ترموود (شرایط سرعت ۲m/s، ۹۰ وات، حالت چهارم)

t (min)	1- T (°C)	2- T (°C)	3- T (°C)	4- T (°C)	5- T (°C)	6- T (°C)
0	21.4	22.8	23.6	22.7	22.8	22.1
5	73.2	74.2	74.1	73.5	75.4	76.1
10	86.1	87.2	86.6	88.5	87.7	88
15	93.4	93.9	94.3	95.8	95.2	94.6
20	99.8	100.3	100.2	100.5	101.1	100.2
25	102.1	102.9	103.5	104.6	103.9	104.1
30	103.6	104.1	105.4	106.1	105.9	106.4
35	107.6	108.1	108.8	108.1	107.9	108.6
40	108.8	109	109.7	108.9	109.6	110.1
45	109.4	109.4	110.2	109.5	110.1	110.5
50	109.9	109.7	110.8	110.8	111.4	111.8
55	110.1	110.3	111.1	111.1	111.8	112.1
60	110.1	110.5	111.1	111.4	111.9	112.3

جدول ۴- ۲۸ نتایج دمای نقاط صفحه ترموود (شرایط سرعت ۲/۵ms ، ۹۰ وات ، حالت چهارم)

t (min)	1- T (°C)	2- T (°C)	3- T (°C)	4- T (°C)	5- T (°C)	6- T (°C)
0	21.6	21.8	24.1	22.3	23.6	22.4
5	72.3	70.5	72.3	70.6	72.1	71.4
10	81.5	83.3	85.1	84.1	84.5	83.6
15	88.8	89.8	92.4	90.9	91.8	91.6
20	96.1	97.6	99.1	98.9	99.4	98.4
25	102.1	100.1	101.9	102.6	103.3	103.2
30	102.9	103.1	104.4	105	105.6	105.9
35	103.9	104.3	105.7	106.3	106.8	107.1
40	104.6	105.2	106.9	107.5	108.2	108.3
45	105.1	105.7	107.3	108.2	108.6	108.9
50	105.7	106.1	107.7	108.7	109.1	109.7
55	105.7	106.5	108.1	108.8	109.7	110.3
60	105.8	106.5	108.2	109	109.8	110.6

جدول ۴- ۲۹ نتایج دمای نقاط صفحه ترموود (شرایط سرعت ۳m/s ، ۹۰ وات ، حالت چهارم)

t (min)	1- T (°C)	2- T (°C)	3- T (°C)	4- T (°C)	5- T (°C)	6- T (°C)
0	21.7	21.8	22.3	22	21.6	22.4
5	68.9	69.9	70.9	70.6	71.1	70.1
10	83.1	82.4	83.3	83.2	84.6	85.4
15	92.2	91.2	91.1	90.9	92.1	91.5
20	94.3	93.9	94.1	94.3	95.1	94.6
25	95.6	95.4	96.1	96.7	96.1	96.4
30	96.8	96.9	97.7	98.1	99.1	98.6
35	100.1	101.6	101.1	101.9	102.1	102.4
40	100.5	101.1	102.4	103.3	104.1	104.5
45	102.2	102.1	103.3	104.3	105.7	106.4
50	102.6	102.6	104.5	105.1	106.2	107.1
55	103.1	103.4	104.7	105.5	106.6	107.5
60	103.1	103.6	104.8	105.6	106.8	107.9

۴-۶-۲ - نتایج دمای خروجی از کانال هوا

جداول زیر، دمای خروجی جریان هوا از کانال مدل آزمایشگاهی را نشان می دهد. گفتنی است نتایج دمایی این جدول به وسیله حسگر حرارتی سرعت سنج سیال هوا اندازه گیری شده است و نمودارهای این نتایج در قسمت بعدی گزارش شده است. دقت اندازه گیری حسگر حرارتی 0.1°C است.

جدول ۴-۳۰ نتایج دمای خروجی از کانال هوا با ۴۵ وات حرارت در چهار حالت آزمایش

Velocity (m/s)	حالت اول Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	حالت دوم Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	حالت سوم Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	حالت چهارم Temperature ($^{\circ}\text{C}$)
2	33.9	32.1	34.6	40.4
2.5	32.7	31.6	33.5	39.6
3	31.8	31.1	32.7	38.2

جدول ۴-۳۱ نتایج دمای خروجی از کانال هوا با ۹۰ وات حرارت در چهار حالت آزمایش

Velocity (m/s)	حالت اول Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	حالت دوم Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	حالت سوم Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	حالت چهارم Temperature ($^{\circ}\text{C}$)
2	38.6	34.6	40.1	44.1
2.5	37.9	33.9	39.5	42.9
3	36.9	33.6	38.7	41.3

۴-۶-۳ - نتایج دمای سرد سازی پارافین

برای به دست آوردن دماهای موردنظر، در حالت های اول و سوم پس از گذشت ۳۹ دقیقه از شروع تست خاموش گردید تا در دقایق بعدی دمای سرد شدن پارافین مایع اندازه گیری گردد. این نتایج در جدول زیر ارائه شده است.

جدول ۴- ۳۲ نتایج دمای سرد شدن پارافین (شرایط سرعت ۲ m/s ، ۴۵ وات ، حالت اول)

t (min)	1- T (°C)	2- T (°C)	3- T (°C)	4- T (°C)	5- T (°C)	6- T (°C)
0	20	22	21	20	19.2	18.7
5	41.1	42	43.8	45.4	46.3	47.9
10	47.7	48.6	50.5	52.3	53.2	54.4
15	52.8	53.7	55.6	57.4	58.3	59.5
20	55.2	56.1	58	59.8	60.7	61.9
25	56	56.8	58.9	60.3	61.5	62.7
30	57.8	58.5	60.6	62	63.2	64.4
35	46.5	47.1	49.9	51	52.2	53.6
40	40	40.2	42.3	44.1	44.8	45.4
45	37.1	37.8	39.1	40	40.9	41.3
50	36.1	36.2	37.5	37.9	38.6	39.8
55	33.7	33.9	34.3	35	35.4	36.1
60	31.5	31.9	32.6	33.2	33.7	34.6

جدول ۴- ۳۳ نتایج دمای نقاط صفحه ترموود (شرایط سرعت ۲/۵ms ، ۴۵ وات ، حالت اول)

t (min)	1- T (°C)	2- T (°C)	3- T (°C)	4- T (°C)	5- T (°C)	6- T (°C)
0	19.5	18.7	19.4	19	18.7	18.7
5	39.1	40.9	42.3	44.1	45.6	45.8
10	47.2	49	50.4	51.9	53.5	53.9
15	51.3	53.3	54.5	56	57.4	58
20	54.6	56.4	57.5	59.1	60.9	61.3
25	55.7	57.6	58.7	60.1	62	62.4
30	56.6	58.5	59.5	61	62.7	63.3
35	46	47.9	48.9	50.2	52	52.7
40	37	39	39.7	42	43.3	44.1
45	33.8	34.6	35.6	37	37.9	39.1
50	33.1	33.9	34.3	35.3	36.1	36.8
55	32.7	33	33.2	33.4	34.2	34.6
60	31.6	32.3	32.5	32.6	32.9	33.1

جدول ۴- ۳۴ نتایج دمای نقاط صفحه ترموود (شرایط سرعت ۳ m/s، ۴۵ وات، حالت اول)

t (min)	1- T (°C)	2- T (°C)	3- T (°C)	4- T (°C)	5- T (°C)	6- T (°C)
0	20.2	20	18.7	19.7	19	18.7
5	37.8	38.4	39.7	40.9	41.3	42.9
10	46.7	47.3	48.6	49.8	50.2	51.8
15	51	52.5	54	55.4	55.5	57
20	52.2	53.8	55.3	56.8	57	58.4
25	54	55.6	57	58.5	59	60.2
30	55.3	57	58.5	60	60.4	61.8
35	44.3	45.8	47.1	48.7	49.6	50.2
40	39.6	40.6	41.9	42.2	43.1	44.6
45	36.1	36.8	37.8	38.3	39.4	40.1
50	32.6	33.2	33.9	34.8	35.4	36
55	31.9	32.7	33.2	33.8	34.2	34.6
60	31.1	31.5	31.6	32.4	32.9	33.2

جدول ۴- ۳۵ نتایج دمای سرد شدن پارافین (شرایط سرعت ۲ m/s، ۹۰ وات، حالت اول)

t (min)	1- T (°C)	2- T (°C)	3- T (°C)	4- T (°C)	5- T (°C)	6- T (°C)
0	21.4	21.8	23.6	22.2	21.3	22.1
5	57.9	58.2	59	59.4	60	60.8
10	68.4	69	69.7	70.1	70.6	71.1
15	75.1	75.7	76.4	76.7	77	77.9
20	80.8	81.4	81.9	82.4	83.1	83.7
25	84.4	85	85.8	86	86.6	87.2
30	86.8	87.2	88.9	88.1	88.5	89.2
35	72.3	72.6	72.1	73.1	72.5	72.8
40	55	55.4	55.8	56.1	55.4	56.4
45	44.6	45.1	46.3	45.9	47.1	46.8
50	41.5	41.9	42.8	43.6	42.5	42.6
55	37.4	37.8	38.1	38.2	38.8	39.2
60	33.9	34.6	35.1	35.8	36.1	36.4

جدول ۴- ۳۷ نتایج دمای نقاط صفحه ترموود (شرایط سرعت ۲/۵ms ، ۹۰ وات ، حالت اول)

t (min)	1- T (°C)	2- T (°C)	3- T (°C)	4- T (°C)	5- T (°C)	6- T (°C)
0	21.6	22.4	23.9	22	21.8	22.6
5	52.6	54.2	53.9	54.6	55.6	56
10	63.4	64	64.4	63.9	65	65.5
15	70.2	71.3	71.1	71.5	72.1	73.1
20	75.9	77.6	78.3	78.4	78.9	79.8
25	81.1	81.9	82.4	83.1	83.7	84.6
30	84.1	884.8	85.3	86.1	86.9	87.8
35	68.8	70.1	69.5	69.8	71.3	70.5
40	51.9	51.6	52.4	53.6	52.5	53.2
45	42.6	42.5	42.9	43.1	42.4	44.5
50	37.8	37.4	37.5	38.6	38.8	39.1
55	34.9	35.6	35.8	35.9	36.3	36.1
60	34	33.6	34.7	34.8	35.1	35.5

جدول ۴- ۳۸ نتایج دمای نقاط صفحه ترموود (شرایط سرعت ۳m/s ، ۹۰ وات ، حالت اول)

t (min)	1- T (°C)	2- T (°C)	3- T (°C)	4- T (°C)	5- T (°C)	6- T (°C)
0	21.4	21.8	22	22	21.6	22.4
5	49.1	49.7	50.6	51.1	52.3	53.4
10	57.8	58.5	59.8	60.7	61.2	62.3
15	65.1	66.2	67	67.7	68.6	69.8
20	72.7	73.3	74	74.5	75.4	76.6
25	78.1	78.8	79.9	80.7	81.6	82.4
30	80.8	81.6	82.9	83.3	84.4	85.9
35	66.1	66.3	67.2	66.5	67.1	67.6
40	52.1	51.9	53.2	52.8	52.1	52.4
45	42.5	43.3	43.1	42.8	43.5	45.5
50	36.2	37.4	36.5	38.1	37.9	37.6
55	34.1	34.9	35.4	34.9	35.2	35.3
60	32.5	33.6	33.3	34.1	34.6	34.3

جدول ۴- ۳۸ نتایج دمای سرد شدن پارافین (شرایط سرعت ۲ m/s ، ۴۵ وات ، حالت سوم)

t (min)	1- T (°C)	2- T (°C)	3- T (°C)	4- T (°C)	5- T (°C)	6- T (°C)
0	20.9	22.2	21	23.4	22.6	21.7
5	41.1	42	43.8	45.4	44.3	43.2
10	47.7	48.6	50.5	52.3	53.2	54.4
15	57.1	58.2	61.4	62.7	61.8	62.6
20	61.7	63.8	64.2	66.9	68.2	68.9
25	66.7	68.5	68.9	70.1	72	71.6
30	69.5	71.4	71.7	73.4	74.7	73.9
35	64.6	64.4	65.5	66.6	68.1	67.8
40	59.9	60.2	60.5	61.8	63.4	62.4
45	54.6	55.9	56.4	57.1	58.8	59.1
50	52.9	53.1	53.3	54.4	55.5	56.4
55	49.9	50.5	50.2	51.1	52.6	52.3
60	48.1	48.5	49.8	49.9	51.1	50.1

جدول ۴- ۳۹ نتایج دمای نقاط صفحه ترموود (شرایط سرعت ۲/۵ms ، ۴۵ وات ، حالت سوم)

t (min)	1- T (°C)	2- T (°C)	3- T (°C)	4- T (°C)	5- T (°C)	6- T (°C)
0	23.2	24.7	22.9	24.6	22.7	23.6
5	41.6	44.9	42.3	43.1	42.6	40.1
10	47.2	49	48.8	51.9	53.5	52.9
15	52.6	55.6	54.9	56	57.4	60.5
20	58.2	60.8	60.3	62.1	63.2	66.4
25	63.1	62.7	64.2	67	66.8	70.7
30	66.8	65.6	66.2	68.4	70.1	72.5
35	59.5	60.4	61.5	64.3	65.4	66.1
40	56.1	57.1	58.1	60.1	61.3	61.8
45	53.6	54.2	55.5	54.9	55.4	57.4
50	50.2	51.6	52.1	52.3	52.8	53.2
55	46.4	47.4	48.6	49.3	49.9	50.6
60	42.6	43.3	44.4	45.4	46.2	47.2

جدول ۴-۴۰ نتایج دمای نقاط صفحه ترموود (شرایط سرعت ۳ m/s، ۴۵ وات، حالت سوم)

t (min)	1- T (°C)	2- T (°C)	3- T (°C)	4- T (°C)	5- T (°C)	6- T (°C)
0	23.6	22.4	21.3	23.2	21.5	22.9
5	37.8	38.4	39.7	38.8	38.9	39.6
10	46.7	47.3	48.6	50.6	50.2	52.1
15	52.6	53.9	55.9	56.6	57.6	58.8
20	58.6	59.8	60.6	62.6	65.2	66.6
25	63.2	64.3	65.8	67.2	68.2	69.4
30	65.2	66.6	69.1	69.5	70.2	71.9
35	57.3	58.8	61.1	62.1	63.8	64.4
40	50.1	53.3	56.6	57.2	58.7	59.5
45	47.7	49.4	52.1	53.1	54.6	55.5
50	44.4	46.6	47.4	48.8	50.1	51.3
55	42.8	44.1	45.3	47.2	48.3	49.6
60	41.2	42.7	44.1	45.1	45.4	46.6

جدول ۴-۴۱ نتایج دمای سرد شدن پارافین (شرایط سرعت ۲ m/s، ۰۹ وات، حالت سوم)

t (min)	1- T (°C)	2- T (°C)	3- T (°C)	4- T (°C)	5- T (°C)	6- T (°C)
0	22.8	21.4	23.7	21.8	22.9	24.1
5	61.6	60.8	62.3	60.6	63.6	64.5
10	71.7	71.8	70.6	71.6	72.1	73.1
15	77.4	78.5	80.9	81.6	81.4	81.9
20	82.6	83.1	84.5	84.9	85.9	85.7
25	85.1	86.4	88.8	89.9	91.5	92.1
30	92.4	93.1	94.3	94.1	95.6	96.5
35	78.4	78.6	78.1	79.9	80.4	81.9
40	64.1	63.6	64.5	65.4	66.6	67.9
45	55.9	56.6	57.1	58.7	59.8	60.6
50	51.8	52.5	53.3	54.4	56.1	55.9
55	47.6	48.9	48.6	49.8	50.4	52.1
60	45.8	45.5	46.1	47.5	48.5	49.9

جدول ۴-۴۲ نتایج دمای نقاط صفحه ترموود (شرایط سرعت ۲/۵ms ، ۹۰ وات ، حالت سوم)

t (min)	1- T (°C)	2- T (°C)	3- T (°C)	4- T (°C)	5- T (°C)	6- T (°C)
0	22.9	22.4	23.6	22.5	21.8	22.4
5	55.6	55.1	55.1	56.6	55.5	56.1
10	64.1	67	67.7	68.4	68.4	69.1
15	73.6	74.3	74.9	73.2	75.7	74.3
20	78.1	80.6	81.1	82.1	81.4	80.6
25	84.1	83.3	85.5	86.6	87.3	88.1
30	90.1	87.9	90.8	91.3	91.7	91.5
35	73.6	74.5	76.1	75.8	77.5	78.1
40	62.6	63.6	64.7	65.1	66.5	65.3
45	55.2	56.6	57.1	57.7	59.1	58.7
50	49.9	51.1	50.5	51.1	52.1	52.7
55	43.8	45.5	44.9	45.6	47.5	48.3
60	41.6	42.2	43.1	44.4	45.3	46.5

جدول ۴-۴۳ نتایج دمای نقاط صفحه ترموود (شرایط سرعت ۳ m/s ، ۹۰ وات ، حالت سوم)

t (min)	1- T (°C)	2- T (°C)	3- T (°C)	4- T (°C)	5- T (°C)	6- T (°C)
0	21.4	22.6	21.8	22.5	21.6	22.4
5	51.8	52.9	52.1	53.9	54.8	55.5
10	66.8	68.8	69.6	70.6	71.5	72.4
15	74.6	75.6	74.6	75.4	76.6	78.6
20	81.6	81.8	82.2	82.1	82.4	83.1
25	85.1	86.1	86.9	87.6	87.4	88.8
30	86.4	89.5	89.5	89.9	90.5	91.8
35	71.1	72.9	72.6	73.2	74.8	75.4
40	60.8	61.1	60.8	60.5	61.5	62.3
45	52.1	53.1	52.4	54.6	53.6	54.4
50	46.6	47.6	47.1	48.1	47.1	47.7
55	43.3	44.2	44.9	46.1	45.1	44.4
60	41.8	42.1	43.1	43.8	44.6	43.3

۴-۶-۴- نتایج افت فشار جریان هوا

محاسبات برحسب میلی متر آب اندازه گیری می شود؛ اما با توجه به اینکه در حالت های دوم و چهارم در مسیر جریان هوا مانعی وجود ندارد، افت فشار بسیار ناچیز است که قابل صرف نظر است؛ اما در حالت های اول و سوم که به طور مشابه فومدر مقابل جریان هوا قرار دارد، افت فشار یکسانی دارند که اطلاعات آن در جدول زیر می توان مشاهده نمود.

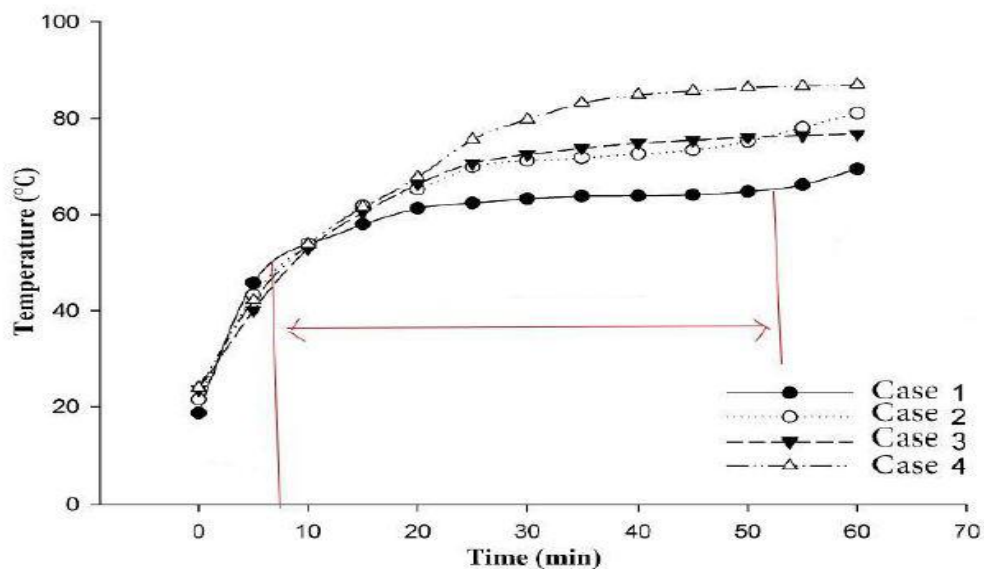
البته می توان برای درک بیشتر اطلاعات را به Pa تبدیل کرد. برای این منظور باید فشار خروجی دستگاه را در عدد $9/89638$ ضرب نمود تا فشار برحسب Pa محاسبه گردد.

جدول ۴-۴۱- نتایج افت فشار جریان هوا

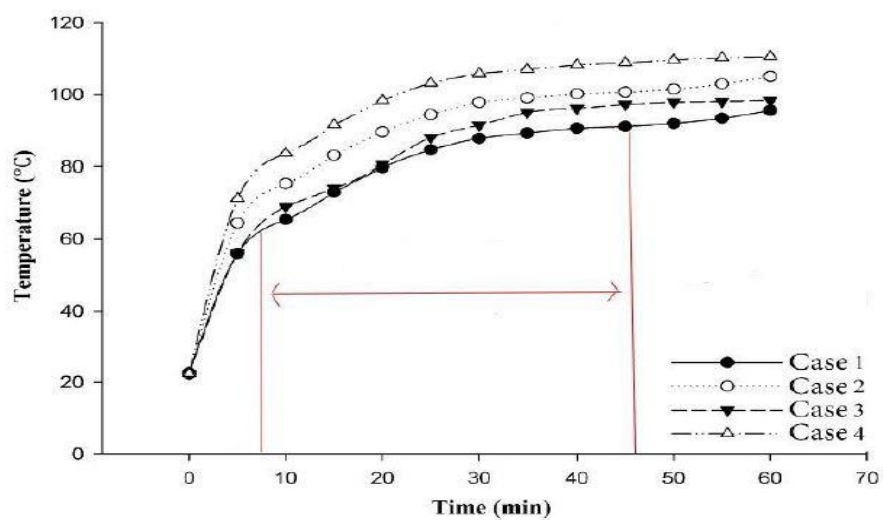
Air Velocity (m/s)	Pressure Drop (mmH ₂ O)	Pressure Drop (Pa)
0	0	0
0.2	2	20
0.4	4	39
0.6	6	59
0.8	8	78
1.0	12	118
1.2	14	137
1.4	16	157
1.6	20	196
1.8	26	255
2.0	32	314
2.2	37	363
2.4	43	422
2.6	50	490
2.8	58	569
3.0	65	637
3.2	73	716
3.4	78	765

۴-۷- تحلیل نمودارها

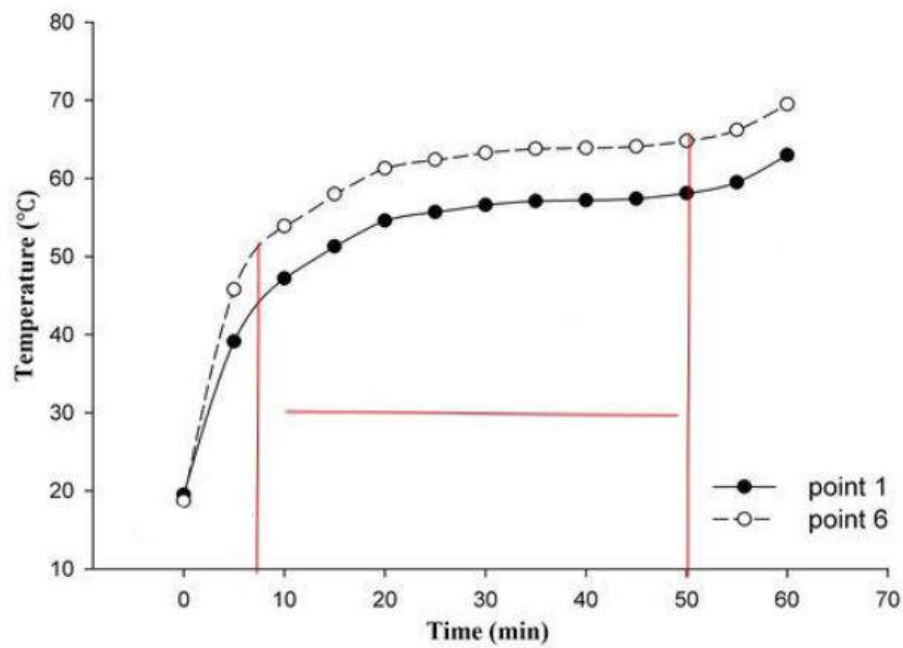
۴-۷-۱- نمودارهای دمای سطح صفحه ترموود



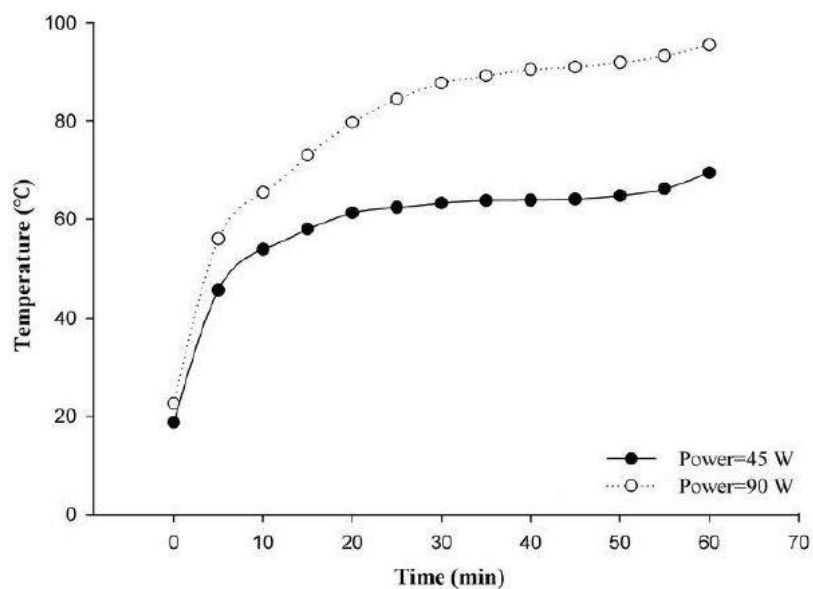
شکل (۴-۵۴) دمای سطح نقطه ۶ صفحه ترموود نسبت به زمان در سرعت ۲/۵ m/s جریان هوا و ۴۵ وات



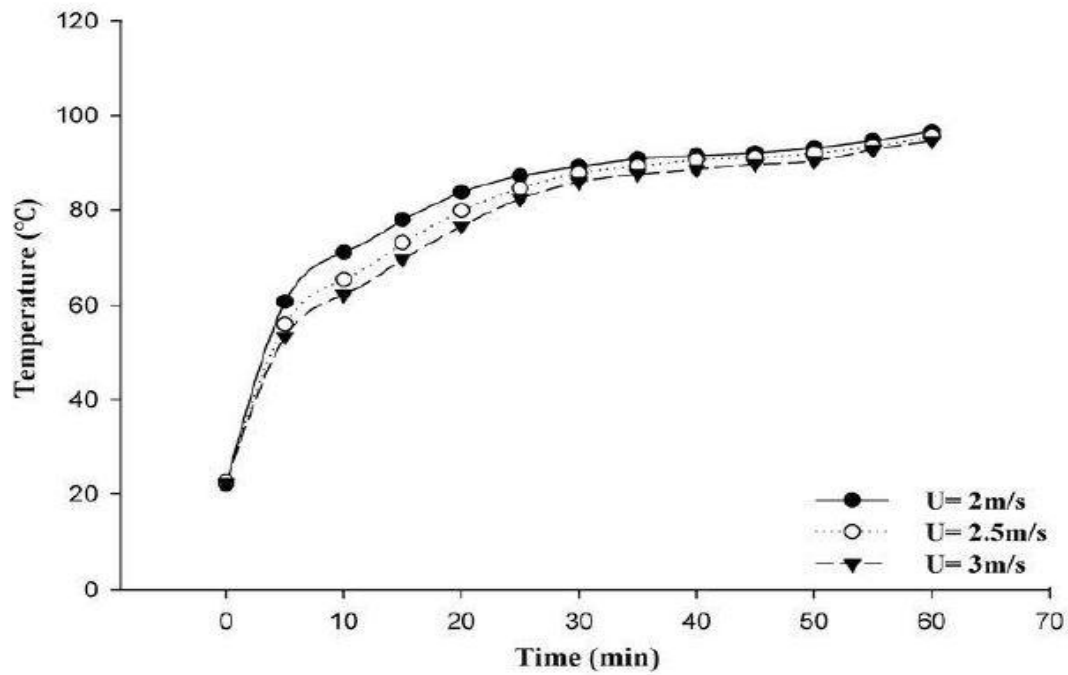
شکل (۴-۵۵) دمای سطح نقطه ۶ صفحه ترموود نسبت به زمان در سرعت ۲/۵ m/s جریان هوا و ۹۰ وات



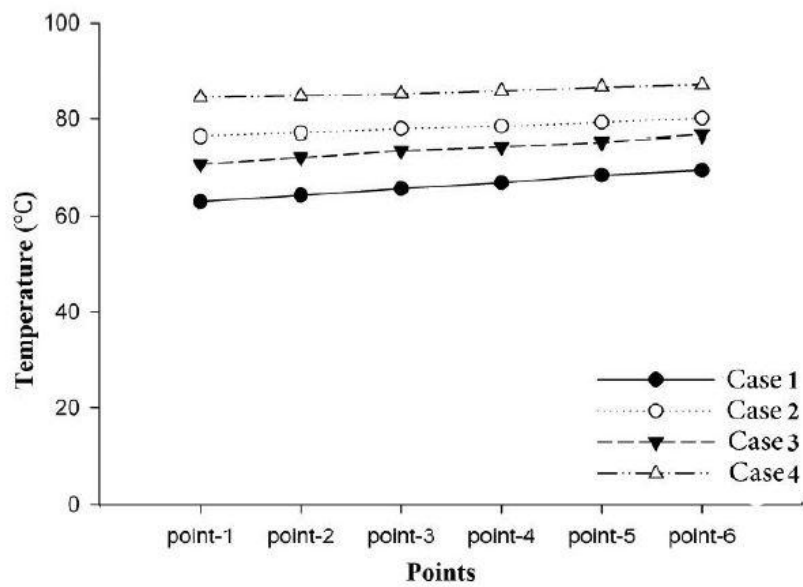
شکل (۴-۵۶) دمای نقاط ابتدایی و انتهایی صفحه حالت اول نسبت به زمان در سرعت $2/5 \text{ m/s}$ جریان هوا و 45 W وات



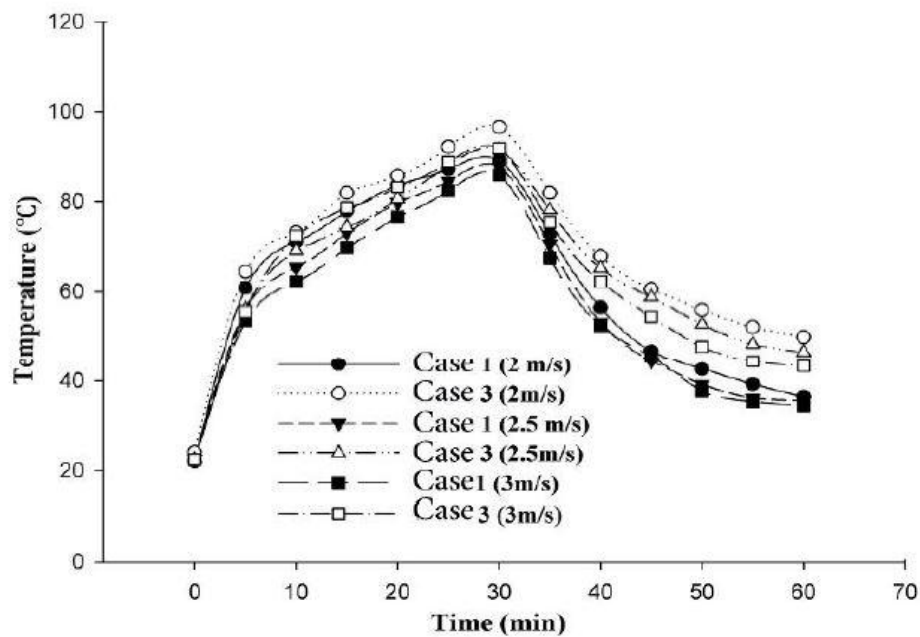
شکل (۴-۵۷) دمای نقطه ۶ صفحه ترموود در حالت اول آزمایش (سرعت جریان هوا $2/5 \text{ m/s}$ جریان هوا



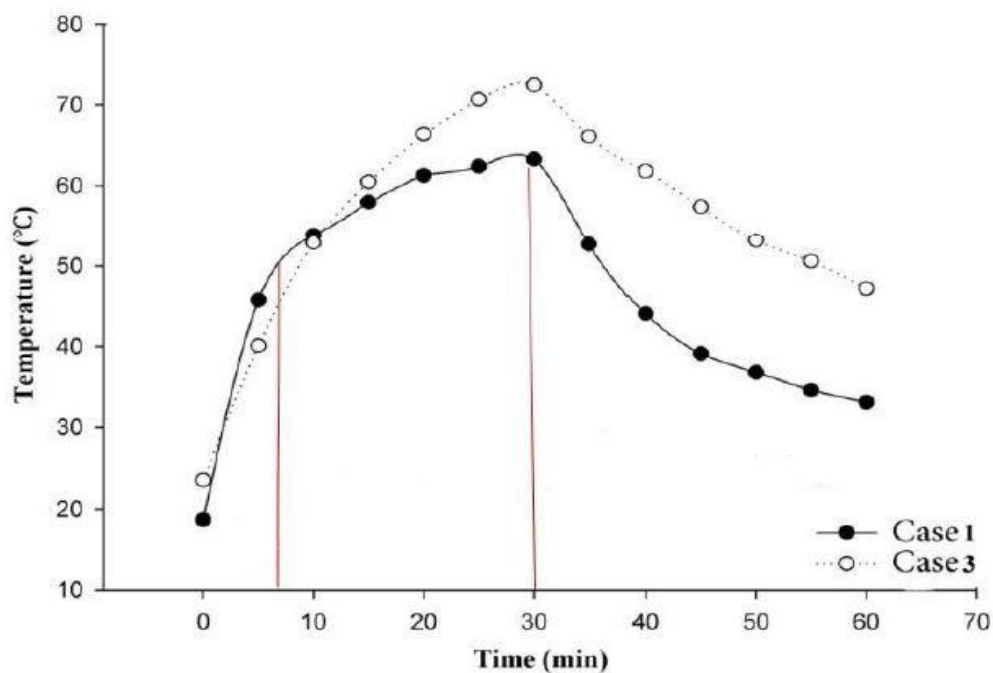
شکل (۴-۵۸) دمای سطح نقطه ۶ صفحه ترموود با سرعت های متفاوت در حالت اول آزمایش با توان ۹۰ وات



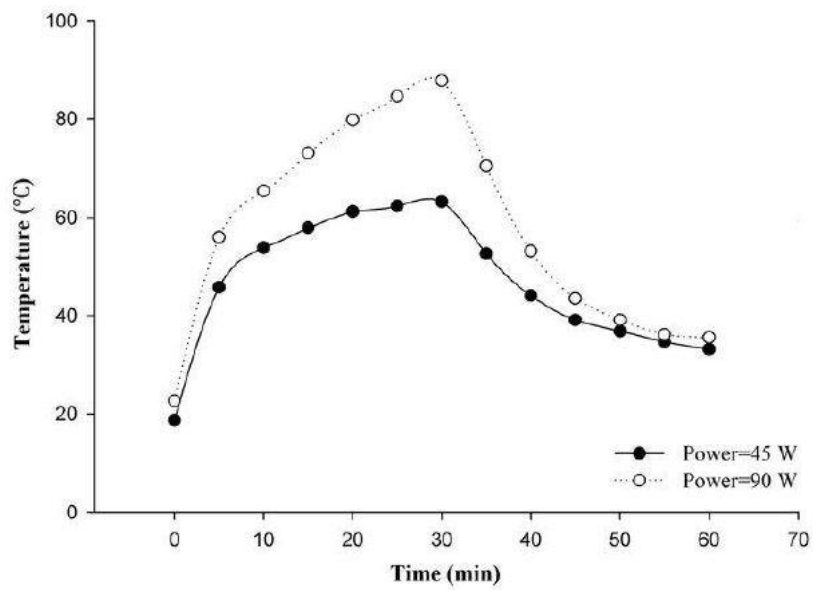
شکل (۴-۵۹) تغییرات دمای نقاط با تغییرات سرعت جریان هوا در حالت اول آزمایش با توان ۹۰ وات



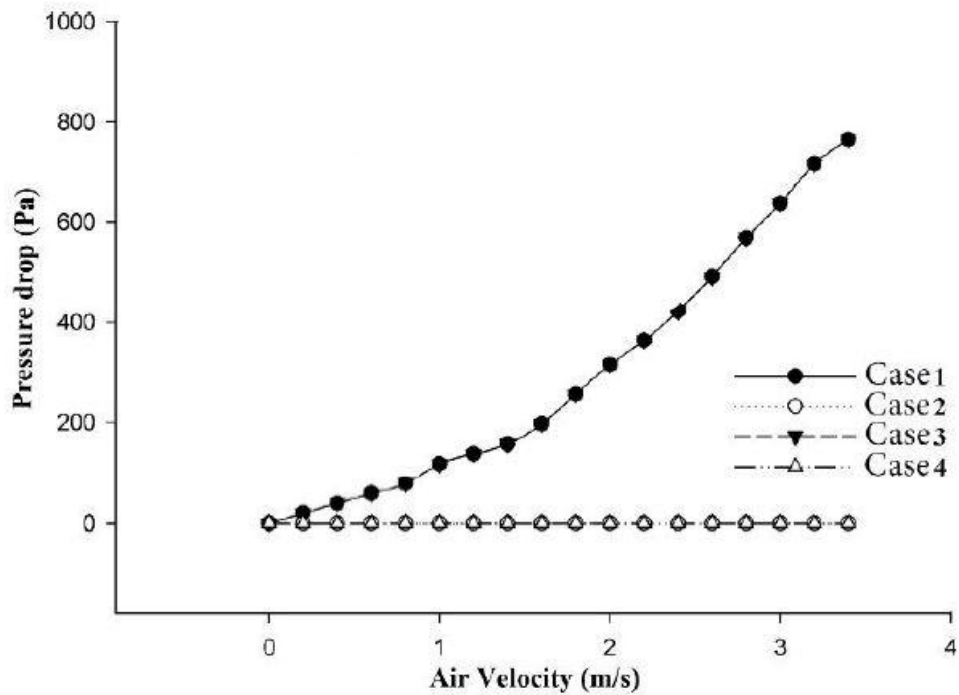
شکل (۴-۶) سردسازی دمای نقطه ۶ صفحه ترموود با تغییرات سرعت هوا در ۹۰ وات



شکل (۴-۶۱) سردسازی دمای سطح با در حالت های اول و سوم در سرعت ۲/۵ m/s جریان هوا و ۴۵ وات

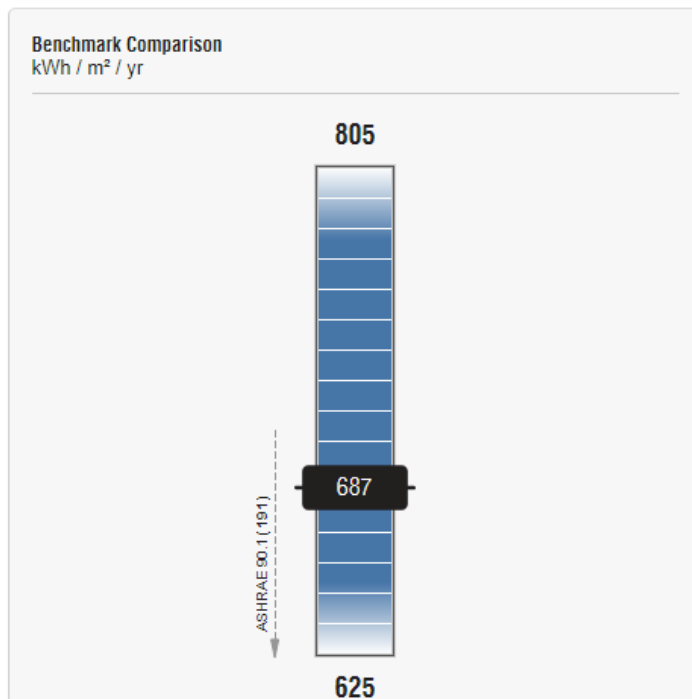
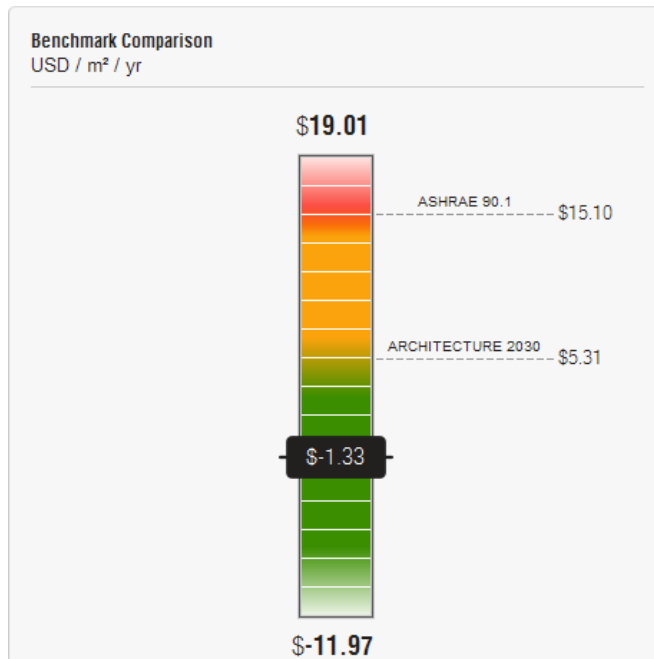


شکل (۴-۶۲) سردسازی دمای سطح با در حالت های اول در سرعت ۲/۵ m/s



شکل (۴-۶۳) تغییرات افت فشار نسبت به سرعت جریان هوا در حالت های مختلف آزمایش

۴-۷- پیشنهادات برای ارتقاء ساختمان

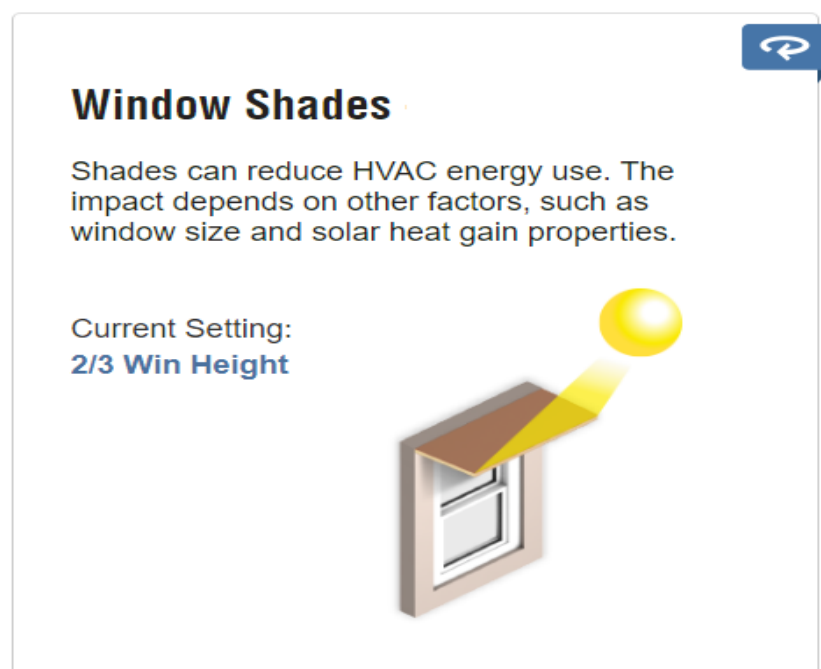


شکل (۴-۶۴) استفاده از انرژی فتوولتاییک در ساختمان دیزاین شده



شکل (۴-۶۵) دوره بازگشت سرمایه در ساختمان دیزاین شده

بطور یقین زمانی که بنای ایجاد شده را با پیشنهادات جدید نرم افزار بسازیم میزان هزینه ساخت افزایش پیدا مینماید در این تصویر مقدار زمان بازگشت سرمایه اضافی ما بررسی کرده و نشان میدهد ای بازگشت سرمایه بر مبنای اختلاف هزینه آب و برق و پس از تغییرات و قبل از تغییرات می باشد



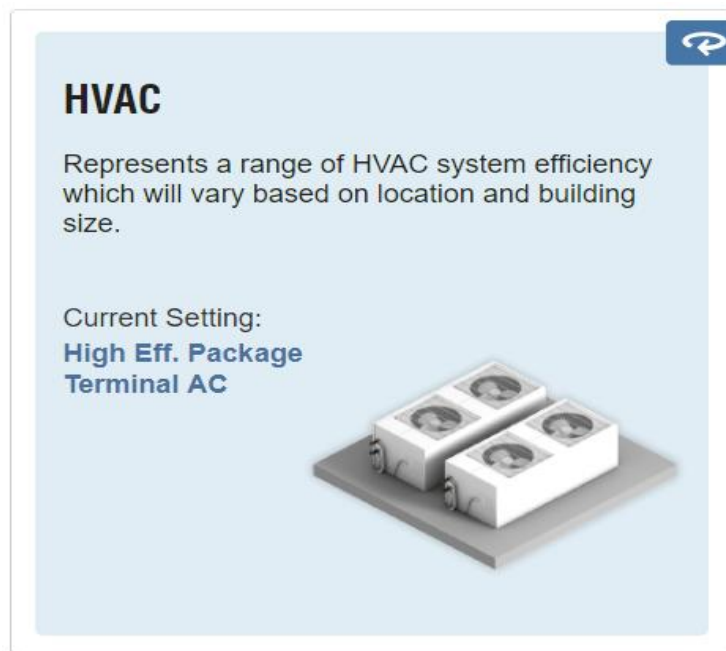
شکل (۴-۶۶) تاثیر سایبان در ساختمان دیزاین شده

در اینجا به ما پیشنهاد میدهد که از سایبان برای پنجره ها استفاده کنیم که طول هر سایبان ۳/۲ طول پنجره باشد که هم نور خوبی به داخل هدایت گردد و عین حال افزایش گرما نداشته باشیم



شکل (۴-۶۷) ساختار دیوار پیشنهادی در ساختمان دیزاین شده

پیشنهاد نرم افزار استفاده از دیوارهای r13 و r10 می باشد که دارای عایق های فایبرگلاس به ضخامت ۲ اینچ در r13 و زوارهای آلومینومی در r10 می باشد



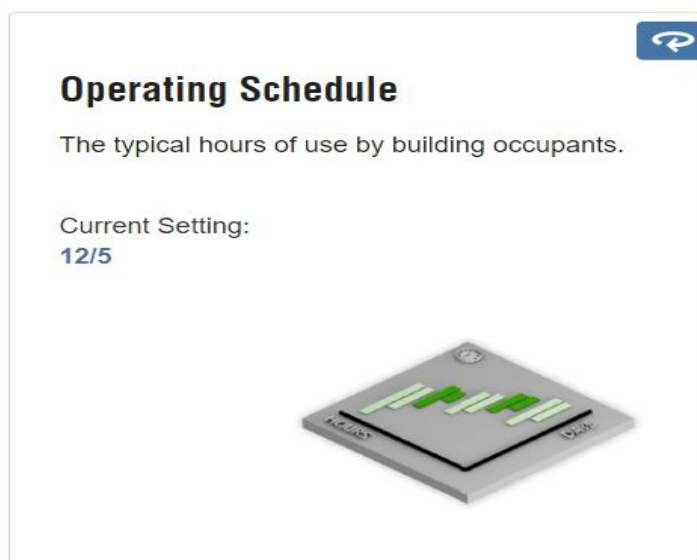
شکل (۴-۶۸) سیستم تاسیسات پیشنهادی در ساختمان دیزاین شده

سیستم سرمایش گرمایش پیشنهادی مطابق با شرایط هوایی تهران می باشد که در عین کاهش هزینه مصرف انرژی عمر متناسبی را دارا باشد



شکل (۴-۶۹) نوع پنجره پیشنهادی در ساختمان دیزاین شده

پنجره پیشنهادی سه جداره از نوع LOE می باشد که بر روی شیشه خارجی پوششی از اکسید قلع یا نقره است که با چشم غیر مسلح قابل رویت نیست و فقط بازتاب نور خورشید را وارد محیط می کنند که باعث کاهش مصرف انرژی می گردد .



شکل (۴-۷۰) برنامه زمانی پیشنهادی در ساختمان دیزاین شده

در این تصویر مشخص می نماید که این تجزیه و تحلیل برای عملکرد ۱۲ ساعت در روز ۵ روز در هفته می باشد پس اگر زمان کاری مجموعه کمتر یا بیشتر گردد نتایج بدست آمده متفاوت خواهد بود .

۴-۷- نتیجه گیری

نتایج گرفته شده از تحقیق حاضر به شرح زیر است:

نتایج تجربی حاصل از فرآیند انتقال حرارت در ماده تغییر فاز دهنده پارافین RT-55 در نمودار ها ارائه شد که با نتایج مطالعات قبلی مطابقت قابل قبولی داشت. در نمودارهای این تحقیق و همچنین مطالعات قبلی دو تغییر زاویه نمودار مربوط به آغاز و پایان فرآیند ذوب پارافین RT-55 قابل مشاهده است .

برای دو حالت بدون پارافین RT-55، دمای سطح صفحه ترموود به یک مقدار تقریباً ثابت می رسيد و شیب نمودار به سمت صفر میل می نماید.

تفاوت حالت های اول و دوم در استفاده در مسیر جریان سیال هواست. ساختار متخلخل، سطح تماس جریان هوا را افزایش می دهد. بنابراین تحت شرایط ثابت در حالت اول، دمای کلیه نقاط صفحه ترموود مقدار کمتری را نسبت به حالت دوم دارند.

در حالت هایی که پارافین RT-55 حضور دارد، پارافین باعث جذب حرارت در موقع روشن بودن و آزادسازی انرژی در زمان خاموش شدن می شود. درواقع حضور پارافین، حرارت تولیدی را جذب و مانع انتقال حرارت به سمت بالا میشود و درنتیجه تأثیرگذاری سرعت در فرآیند خنک سازی به حداقل مقدار خود می رسد.

در حالت اول به علت گرمای نهان پارافین RT-55 گرمای تولیدی جذب و صرف ذوب پیرافین می شود و در نتیجه گرمای کمتری در مسیر جریان انتقال می یابد که باعث کاهش دمای خروجی کانال هوا می شود.

نتایج حاصل نشان داد که با افزایش سرعت سیال هوا دمای صفحه ترموود کاهش می یابد. البته میزان تأثیر تغییرات سرعت بر دمای سطح صفحه ترموود در سرعت های بالا نسبت به سرعت هیی پایین کمتر است.

نتایج نشان داد که رفتار نمودارهای چهار حالت آزمایش در سرعت های یکسان جریان هوا در توان های مختلف ۴۵ و ۹۰ وات مشابه هم هستند.

به طورکلی افت فشار به واسطه رابطه مستقیم با ویسکوزیته و دانسیته سیال در اثر افزایش دما کاهش می یابد که البته مقدار این تغییرات در شرایط این آزمایشات بسیار ناچیز و قابل صرف نظر است.

فصل ۵:

جمع بندی و پیشنهاد ها

۵-۱- نتیجه گیری

۵-۱-۱- نتایج برنامه رویت ، اینسایت و گرین هوس بولدینگ

همه عوامل استفاده شده در این پژوهش، عواملی بودند که با توجه به شرایط اقتصادی ایران راهکارهای ارزان و ساده برای اجرا می باشند. همانگونه که دیده میشود با روش های ساده عایق بندی و طراحی معماری می توان مصرف انرژی را تا حد زیادی کاهش دهد. بنابراین می توان نتیجه گرفت که با تدوین معیارها و ضوابط معماری برای مناطق مختلف اقلیمی ایران و نیز بکارگیری این ضوابط در طراحی آنها می توان به کاهش عمده ای در مصرف انرژی ساختمانها و بهره وری انرژی دست یافت. کاهش مصرف انرژی ساختمان ها با طراحی معماری باعث می گردد که این شیوه از بهره وری انرژی در ساختمان ها، تناسب زیادی با شرایط اقتصادی، فرهنگی و اجتماعی ایران داشته و در اجرا از موفقیت بالایی برخوردار باشد.

به واسطه اثر زیاد طراحی معماری بر میزان مصرف انرژی ساختمان ها، یافتن عوامل معماری کاهش دهنده مصرف انرژی و بکارگیری آنها در طراحی ساختمان ها، ضروری بوده و باعث کاهش قابل توجه مصرف انرژی ساختمان ها می شود.

با توجه به جزیه و تحلیل های انجام شده به این نتیجه دست می یابیم که استفاده از سایبان با طول ۳/۲ پنجره ، استفاده از پنجره های سه جداره با روکش قلع (tri Loe) ، کمک گرفتن از فایبرگلاس و زوارهای آلومینومی (r10وr13) و Sraw bale برای دیوارها ، بهره بردن از عایق های سلولزی (R60) در سقف و مهمتر از همه موقعیت قرار گیری ساختمان در سایت باعث مقدار قابل توجهی در مصرف انرژی می شود .

۵- ۱- ۲- نتایج برنامه دیزاین بیلدر

هنگامی که دمای ذوب PCM در محدوده ی دمای کاری اقلیم مورد نظر باشد ، اثر مطلوبی بر کاهش دمای داخلی سقف و دیوار ، کاهش نوسانات و صرفه جویی حرارتی در طول یک سال خواهد داشت.

PCM انتخابی برای یک شرایط آب و هوایی ، مناسب شرایط آب و هوایی دیگر نیست و انتخاب PCM بایستی باید با توجه به شرایط آب و هوایی ، جهت گیری ساختمان و دمای داخلی ساختمان انجام گیرد.

۵- ۱- ۲- ۱- نتایج شبیه سازی سقف

از نتیجه ی مطالعات انجام شده در مورد سقف می توان دریافت که:

۱. نتایج شبیه سازی در توافق خوب و منطقی با نتایج تجربی است.
۲. ضخامت ۳ سانتی متری PCM نسبت به ضخامت های ۱ و ۲ سانتی متری عملکرد حرارتی بهتری در کاهش نوسانات دمایی از خود نشان می دهد . همچنین دما مدت طولانی تری در محدوده ی نزدیک تری به دمای آسایش حفظ شده است که بهبود شرایط آسایش را موجب می گردد.
۳. در فصل بهار استفاده از PCM در تهران حداکثر دمایی را تا ۲ درجه سانتی گراد کاهش می دهد. همچنین تاثیر مثبت بر کاهش نوسانات دمایی و حفظ دمای داخلی داشته است. □ دمای خارجی سقف شامل لایه ی PCM به طور متوسط ۱ درجه سانتی گراد کمتر از دمای سقف مرجع است.
۴. استفاده از PCM در فصل تابستان نتایج مثبت در پی داشته است. کاهش نوسانات دمایی ، حفظ دمای داخلی در حدود ۲۸ درجه سانتی گراد ، و کاهش شار حرارتی ورودی از نتایج کاربرد PCM در این فصل است. همچنین حداکثر دمایی تا ۲ الی ۴ درجه سانتی گراد در کاهش یافته است
۵. در فصل پاییز حداکثر دمایی ۲ درجه سانتی گراد کاهش یافته است
۶. مقایسه ی صرفه جویی حرارتی در سقف نشان می دهد که ماده ی تغییر فاز دهنده با دمای تغییر فاز ۲۸ درجه سانتی گراد حرارت ورودی از طریق سقف را تا ۳۰ الی ۴۷ درصد کاهش داده است.

۷. سقف مرجع در زمستان حرارت اتلافی از طریق سقف را نسبت به سقف شامل پارافین ۸ درصد بیشتر کاهش می دهد.

۵- ۱- ۲- نتایج شبیه سازی دیوار

۱. استفاده از مواد تغییر فاز دهنده آلی در دیوار ، تاثیر منفی بر حفظ دمای داخلی و کاهش نوسانات در ماه های فروردین ، اردیبهشت ، دی ، بهمن و اسفند دارد.
۲. دیوار مجهز به PCM آلی نوسانات دمایی کمتری را نسبت به دیوار دیگر نشان می دهد
۳. کاربرد مواد تغییر فاز دهنده آلی در شش ماه اول در دیوار جنوبی به طور متوسط یک درجه اختلاف درجه حرارت را با دیوار بدون PCM نشان می دهد. دیوار جنوبی بهترین شرایط را برای کاربرد PCM آلی داراست و بیشترین صرفه جویی حرارتی مربوط به ای دیوار است.

۵- ۱- ۳- نتایج تجربی

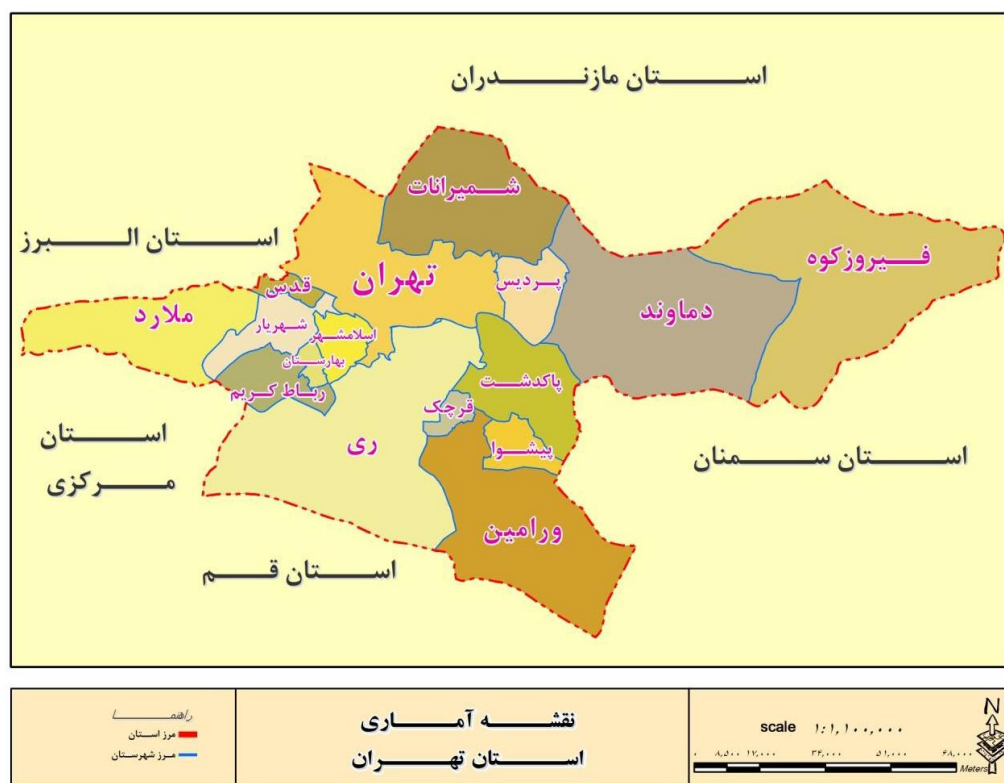
۱. نتایج تجربی حاصل از فرآیند انتقال حرارت در ماده تغییر فاز دهنده پارافین-RT ۵۵ در نمودارهای فصل چهارم ارائه شد که با نتایج مطالعات قبلی مطابقت قابل قبولی داشت. در نمودارهای این تحقیق و همچنین مطالعات قبلی دو تغییر زاویه نمودار مربوط به آغاز و پایان فرآیند ذوب پارافین-RT ۵۵ قابل مشاهده اسیت. برای دو حالت بدون پارافین-RT ۵۵ ، دمای صفحه به یک مقدار تقریباً ثابت می رسید و شیب نمودار به سمت صفر میل می نماید.
۲. تفاوت حالت های اول و دوم در استفاده از صفحه در مسیر جریان سیال هواست. ساختار متخلخل صفحه، سطح تماس جریان هوا را افزایش می دهد. بنابراین تحت شرایط ثابت در حالت اول، دمای کلیه نقاط صفحه مقدار کمتری را نسبت به حالت دوم دارند.
۳. در حالت هایی که پارافین RT-55 حضور دارد، پارافین باعث جذب حرارت در موقع افزایش دما و آزادسازی انرژی در زمان خاموش شدن می شود. درواقع حضور پارافین، حرارت تولیدی را جذب و مانع انتقال حرارت به سمت بالا می شود و درنتیجه تأثیرگذاری سرعت در فرآیند خنک سازی به حداقل مقدار خود می رسد.
۴. در حالت اول به علت گرمای نهان پارافین RT-55 گرمای تولیدی جذب و صرف ذوب پیارافین می شود و در نتیجه گرمای کمتری به صفحه در مسیر جریان انتقال می یابد که باعث کاهش دمای خروجی می شود.

۵. نتایج حاصل از آزمایش ها نشان داد که با افزایش سرعت سیال هوا دمای صفحه کاهش می یابد. البته میزان تأثیر تغییرات سرعت بر دمای سطح صفحه در سرعت های بالا نسبت به سرعت های پایین کمتر است.
۶. نتایج نشان داد که رفتار نمودارهای چهار حالت آزمایش در سرعت های یکسان جریان هوا در توان های مختلف ۴۵ و ۹۰ وات مشابه هم هستند.
۷. افت فشار هم با سرعت رابطه ای مستقیم دارد. در سرعت های پایین به واسطه تغییرات سرعت، تغییرات افت فشار کم است. این در حالی است که در سرعت های بالا تغییرات افت فشار بالاتر است.
۸. به طور کلی افت فشار به واسطه رابطه مستقیم با ویسکوزیته و دانسیته سیال در اثر افزایش دما کاهش می یابد که البته مقدار این تغییرات در شرایط این آزمایشات بسیار ناچیز و قابل صرف نظر است.

۵-۲- تهران

۵-۲-۱ - موقعیت جغرافیایی شهر و اطراف آن

تهران به لحاظ موقعیت جغرافیایی از جایگاه ویژه ای برخوردار است. استقرار در دامنه های جنوبی رشته کوه های البرز، منابع سرشار و غنی آب و شرایط آب و هوایی معتدلی را به ارمغان آورده است. دامنه ها و دره های کوهپایه ای البرز شرایط ویژه ای را برای گریز از گرما و خشکی بیابان های جنوبی در اختیار قرارداده است. دشت های جنوبی به جز مناطق شوره زار و کویری، بستر مناسبی برای استقرار کشاورزی و انواع فعالیت های این بخش به شمار می آید. از نظر موقعیت مکانی با توجه به شرایط و ساختگاه تهران برای استقرار جمعیت، نوعی مرکزیت مکانی برای دسترسی و مدیریت سرزمین را در اختیار دارد. نگاهی به جغرافیای سرزمین ایران و توزیع فضایی جمعیت و الگوی سکونت، این موقعیت ویژه و ممتاز را به خوبی نشان می دهد. مشکلات متعدد زیست محیطی موجود مانند آلودگی های مختلف در محدوده تهران بیش از آن که ناشی از شرایط نامناسب مکانی باشد، از فشار مفرط و عدم توجه به توان های محیطی این بخش از سرزمین بوده است.



شکل (۵-۱) نقشه آماری شهر تهران (۱۳۹۵)

ماخذ : اطلس کلانشهر تهران

۵-۲-۲- آثار تاریخی شهر

تهران از آغاز انتخاب به عنوان پایتخت کشور و به خصوص از آغاز سده نوزدهم (با شروع حکومت فتحعلی شاه)، بستر اتفاقات و تغییرات کالبدی - فضایی گسترده ای بوده که به طور معمول یک پایتخت به آن ها نیازمند است. تغییرات و دگرگونی های اقتصادی که تحت سلطه، فشار و خواست نیروهای خارجی و به حالتی برون زا شکل می گیرند، در بیان کالبدی - فضایی خویش تحت تأثیر نیروهای فرهنگی و هنری بومی و خودی قرار دارند. از نظر گونه شناسی بافت در دوران های تاریخی، تهران در چند مقطع قابل مطالعه و بررسی است. مهمترین بافت های تاریخی و با ارزش در مناطق را می توان بدین ترتیب بر شمرد:

• منطقه تهران قدیم

این منطقه که درون تهران ناصری تعریف شده، محدوده تاریخی تهران طهماسبی را نیز دربرگرفته است. محدوده تهران قدیم، بیشترین بناهای ارزشمند شهر را در خود داشته و هویت تاریخی شهر تهران به شمار می آید. این محدوده تقریباً بر باروی تهران ناصری منطبق است و بسیاری از ساختمان های مهم دوره رضاشاهی نیز در همین محدوده قرار گرفته اند که برخی از آن ها به خوبی حفاظت نیز شده اند (محدوده باغ ملی). عملکردهای اصلی در تهران قدیم، به طور عمده شامل عملکردهای

حاکمیتی و دولتی مانند مجلس شورای اسلامی در میدان بهارستان، بیت رهبری و کاخ ریاست جمهوری در محدوده ولیعصر- پاستور- امام خمینی و دانشکده افسری در جنوب آن و پادگان حر در میدان حر، عملکرد مذهبی و فرهنگی مسجد و مدرسه سپهسالار در بهارستان، وزارت ارشاد و سازمان مدیریت و برنامه ریزی جنب باغ نگارستان، خانه امیرکبیر در خیابان اکباتان، عمارت مسعودیه، مجموعه تاریخی ارگ سلطنتی، مجموعه ساختمانهای وزارت امور خارجه در باغ ملی و وزارت دفاع در خیابان سرهنگ سخائی است. دیگر بناهای مهم این منطقه، وزارت دادگستری و ثبت اسناد کشور و شهرداری تهران است. ارزش میراثی محدوده در کنار بافت ارزشمند بازار تهران، چهار میدان تاریخی امام خمینی (سپه سابق)، ارگ، سبزه میدان و بهارستان است که بنای تاریخی شمسالعماره در کنار دیگر بناهای تاریخی متعلق به دورههای قرون اخیر نظیر کتابخانه ملی، موزه پست و موزه ایران باستان و موزه آبگینه آن را تکمیل میکند.

• تهران تاریخی (طهماسبی)

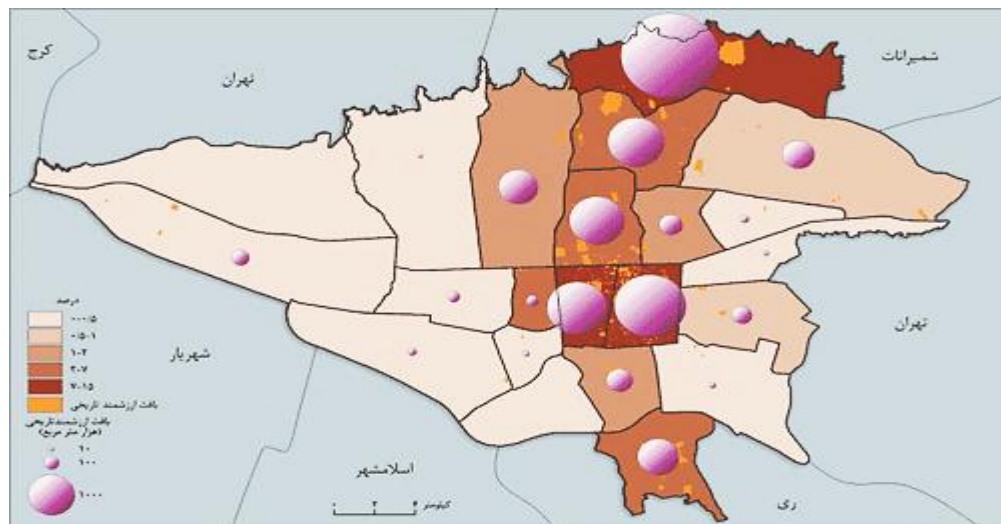
هسته اصلی شهر تهران است. محلات آن شامل سنگلج، بازار، عودلاجان، امامزاده یحیی و چاله میدان هستند.

• منطقه تاریخی / مذهبی ری

محدوده ری قدیم که علاوه بر نقش تاریخی، از اهمیت فرهنگی - مذهبی نیز برخوردار بوده و دارای وجه زیارتی است. شهرری که در محل شهر باستانی راگا قرار دارد، مکان استقرار سکونت و فعالیت از چند هزاره پیش از میلاد است. این مکان بر لایه هایی از شهرهای باستانی پیشین ساخته شده و کماکان بسیاری از محدوده های آن نیازمند مداخله حفاظتی از جنبه میراثی است. در قرون اخیر نیز این مکان زیارتگاه و یکی از مراکز تجاری کشور بوده است. هر چند پس از توسعه تهران در عهد ناصری و تغییرات ساختاری سیاسی و اقتصادی اهمیت خود را به عنوان یک مکان مرکزی به تدریج از دست داده اما به دلیل وجود مرکز زیارتی و سیاحتی بودن از سکونت و فعالیتهای اقتصادی و اشتغال تهی نگشته و توانسته موقعیت خود را حفظ کند.

حوزه بلافصل این منطقه در کنار کوه بی بی شهربانو و چشمه علی، از موقعیت باثباتی برخوردار است و در حال حاضر، شامل کاربری مذهبی نظیر امامزاده عبدالله، گورستان ابن بابویه، حرم حضرت عبدالعظیم، کاربری فرهنگی نظیر مجموعه فرهنگی برج طغرل، کاربری درمانی نظیر بیمارستان فیروزآبادی، کاربری پذیرایی نظیر مجموعه های جهانگردی - پذیرایی در شرق و جنوب حرم عبدالعظیم، فضای سبز نظیر پارک سلمان فارسی، پارک و تپه رشکان (شامل فرهنگسرای صفائیه) و سایر کاربری های خدماتی همچون ایستگاه مترو و پایانه شرق حرم و نیز پایانه شرق شهرری است. هسته مرکزی این محدوده از شمال به خیابان زکریای رازی و میدان عبدالعظیم، از غرب به خیابان

کمیل، از جنوب به پارک سلمان فارسی و از شرق به پایانه و مجموعه جهانگردی-پذیرایی شرق حرم محدود می باشد.



شکل (۵-۲) نسبت بافت تاریخی ارزشمند (۱۳۸۵)

ماخذ : اطلس کلانشهر تهران

۵-۲-۳- مطالعات محیطی

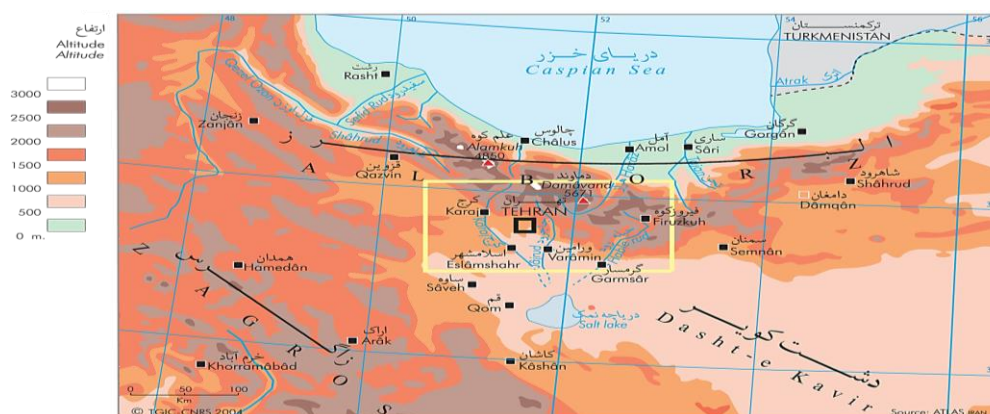
۵-۲-۱- عوامل طبیعی

• ناهمواری ها

منطقه کلانشهر تهران از سه بخش کوهستانی، کوهپایه و دشت تشکیل می شود.

مناطق کوهستانی، ارتفاعات بالای ۱۸۰۰ متر را دربرمی گیرد. به دلیل ارتفاع زیاد و محدودیت های قانونی، ساخت و ساز و سکونت در این محدوده وجود ندارد. از این رو توسعه فیزیکی تهران عمدتاً در منطقه کوهپایه و دشت در دامنه های جنوبی البرز صورت گرفته است. بخش های جنوبی شهر در دشت وسیع و همواری رشد کرده است. ارتفاعات شمالی و شرقی، توسعه شهر را در این سمت با محدودیت مواجه نموده و شرایط جغرافیایی خاص بیابانی جنوب و بالابودن سطح آب های زیرزمینی نیز توسعه را در این منطقه محدود کرده است. به همین دلیل بخش غربی شهر به واسطه برخورداری از شرایط نسبتاً مساعد جغرافیایی، مناسب ترین محدوده برای توسعه تلقی می شود. شهرک ها و شهرهای جدید نیز عمدتاً این سوی شکل گرفته و توسعه یافته اند. شرایط توپوگرافی شهر بر بافت کالبدی و فضایی شهر به ویژه در قسمت های شمالی شهر تأثیر مستقیم دارد. اختلاف ارتفاع در برخی قسمت های شهر، سیمای خاصی به شهر تهران داده به گونه ای که نمای تهران از شمال شهر و چشم انداز کوهستانی از جنوب شهر در مورفولوژی شهری موثر بوده است. چشم گیرترین موضوع در تهران

با توجه به جهت ناهمواری جهت شمالی و جنوبی ناهمواری ها می باشد. از سمت جنوب به شمال، ارتفاع زمین افزایش می یابد به طوری که اختلاف ارتفاع بین قسمت های پست حدود ۹۰۰ متر و قسمت های مرتفع تا ۱۸۰۰ متر دیده می شود. اختلاف ارتفاع ۹۰۰ متری باعث تعدیل آب و هوا، پوشش گیاهی مناسب تر و ایجاد مناطق ییلاقی زیبای شمال تهران شده است. از منظر شمال به جنوب تقریباً تمام تهران در افق دید قرار دارد. با حرکت از جنوب به شمال، تغییرات بسیار چشمگیر هم در شرایط محیط طبیعی و هم شرایط اجتماعی، ارزش مکانی، دسترسی به خدمات و سرویس های خاص قابل مشاهده است به نحوی که می توان گفت شیب جغرافیایی و شیب اجتماعی تهران بر یکدیگر منطبق است. یا به عبارتی توپوگرافی شهر به نوعی انعکاسی از توپوگرافی اقتصادی- اجتماعی آن است.



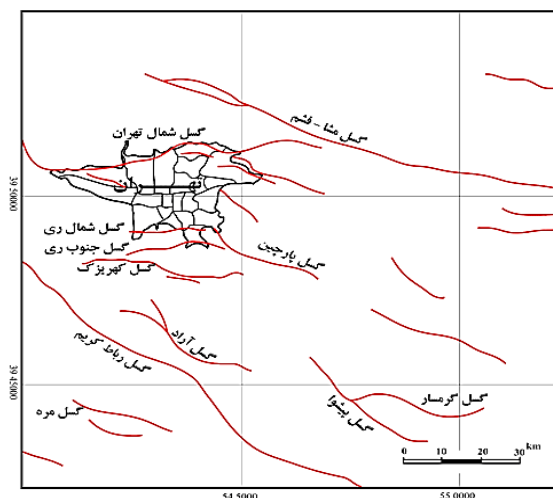
شکل (۵-۳) ناهمواری های استان تهران (۱۳۸۵)

ماخذ : اطلس کلانشهر تهران

• زلزله خیزی تهران

براساس داده های موجود تاکنون حدود ۱۰۰۰ زلزله کوچک و بزرگ در شعاع ۱۰۰ کیلومتری مرکز تهران روی داده است. فهرست زلزله های کاتالوگ شده با بزرگای بین ۰ تا ۵ نشان می دهد بیشترین فراوانی، مربوط به زلزله هایی با بزرگایی کمتر از ۳/۵ بوده است. بر پایه این داده ها، فعالیت های ریز لرزه ای در منطقه تهران عمدتاً در اطراف نقاط زیر روی داده است:

- جنوب شرقی تهران
- جنوب تهران، نزدیک گسل شمال ری و گسل جنوب ری
- منتهی الیه شرق تهران، در امتداد گسل مشا- فشم



شکل (۴-۵) پراکندگی گسل‌های منطقه تهران

ماخذ : اطلس کلانشهر تهران

• منابع آب

منابع آب استان تهران را می‌توان به دو دسته منابع آب زیرزمینی و سطحی طبقه‌بندی کرد. منابع آب زیرزمینی و زیرسطحی از طریق چشمه‌ها، قنات‌ها و چاه‌ها مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد.

تا سال ۱۳۰۶ آب شهر تهران توسط قنات‌ها و چشمه‌های متعددی که عمدتاً از ارتفاعات شمالی منشاء می‌گرفتند، تأمین می‌شد. علاوه بر قنات‌ها، چشمه‌های متعددی نیز در تهران وجود داشت که برای شرب و یا کشاورزی استفاده می‌شدند. در سال ۱۳۰۶ عملیات احداث کانال انتقال آب رودخانه کرج به تهران آغاز شد. این کانال ۵۳ کیلومتر طول داشت و روستای بیلقان کرج را به جمشیدآباد متصل می‌کرد. ۲۰ کیلومتر کانال سرپوشیده و بقیه آن روباز بود. از طریق این کانال نزدیک به ۱۱۰ سنگ (معادل ۱۶۰۰ لیتر بر ثانیه) آب منتقل و سپس توسط جوی‌هایی به آب‌انبارها و منازل انتقال می‌یافت. طرح اولیه لوله‌کشی آب تهران برای جمعیتی حدود ۹۰۰ هزار نفر به مرحله اجرا درآمد و دو خط آب‌رسانی لوله فولادی به ظرفیت ۲۴۲ هزار مترمکعب در شبانه‌روز برای انتقال آب از آبگیر بیلقان به اولین تصفیه‌خانه تهران (جلالیه) در نظر گرفته شد. بهره‌برداری از این خطوط لوله و تصفیه‌خانه جلالیه در سال ۱۳۳۱ آغاز شد.

در سال ۱۳۳۳ به منظور مهار بارش‌های جوی، مطالعات ساخت سد امیرکبیر آغاز و عملیات ساختمانی آن از سال ۱۳۳۷ شروع شد و در سال ۱۳۴۲ به پایان رسید و مورد بهره‌برداری قرار گرفت. با توجه به رشد جمعیت شهر تهران و نیاز فزاینده برای تأمین آب مورد نیاز، سدهای لتیان و لار احداث شدند. در عین حال به دلیل محدودیت منابع سطح‌الارضی در تأمین نیازهای آبی شهر تهران، از سال ۱۳۴۲ استفاده از منابع آب زیرزمینی تهران آغاز شد و امروز بخش قابل توجهی از نیاز

آبی شهر به ویژه آبیاری فضاهای سبز و باغات، کشاورزی و نیز شرب از طریق چاه های حفر شده در داخل و یا خارج از شهر تأمین می شود.

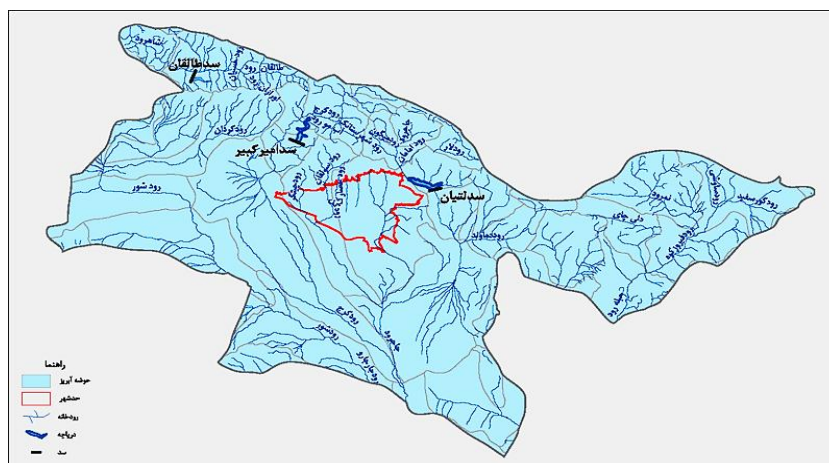
– حوزه های آبریز مورد مطالعه

براساس تقسیم بندی جاماب کل کشور به ۱۲ حوزه عمده تقسیم می شود. استان تهران تحت پوشش بخش هایی از چهار حوزه سفیدرود، ساحلی خزر، دریاچه نمک و کویر مرکزی قرار می گیرد.

با این حال بیشترین محدوده استان در حوزه دریاچه نمک (۶۹ درصد مساحت استان) واقع شده است. هر یک از این حوزه ها دارای خصوصیات خاص خود می باشند.

– رودخانه های مهم استان

ارتفاعات البرز در شمال استان شرایط مساعدی را برای بارش و شکل گیری رودخانه های دائمی و پرآب فراهم نموده است. رودخانه های دائمی و فصلی متعددی در استان وجود دارد که برای مشروب شدن دشت و استحصال آن برای کشاورزی، شرب و صنعت مورد بهره برداری قرار می گیرند. حبله رود، رود شور یا ابهر رود، رود لار، جاجرود، رود طالقان (شاهرود) و رودخانه کرج از مهمترین جریانات سطح الارضی استان به شمار می روند. در این بین این رودخانه یکی از پر آب ترین رودخانه های استان است که از ضلع جنوبی کوهستان البرز و ۴۰ کیلومتری غرب تهران، از کانون آب گیر خرسنگ کوه سرچشمه می گیرد. سد بزرگ امیرکبیر بر روی این رودخانه در کنار جاده چالوس، ساخته شده است و سواحل این رودخانه زیبا محلی برای گذران اوقات فراغت ساکنین تهران و کرج می باشد.



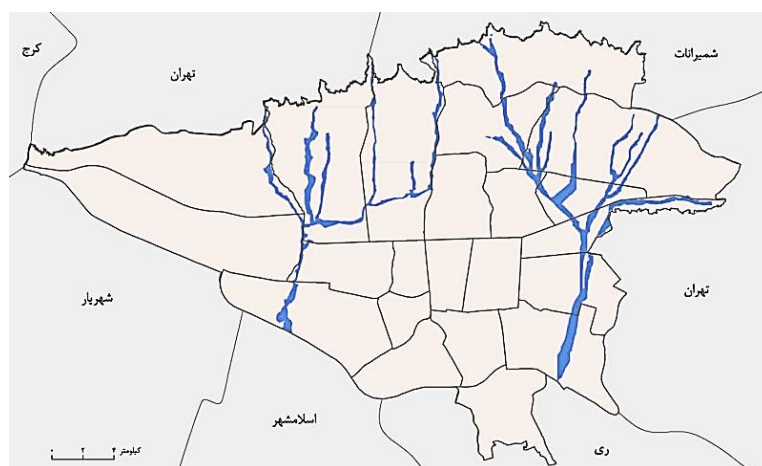
شکل (۵-۵) حوزه های آبریز استان (۱۳۸۵)

ماخذ : اطلس کلانشهر تهران

• سیل خیزی و آب گرفتگی معابر تهران

تهران در دامنه رشته کوه های البرز گسترش یافته که دارای بارندگی قابل توجهی است. رودخانه های متعددی آب حاصل از بارش را زهکش کرده و به دشت های پایین دست منتقل می کنند. وسعت حوزه زهکش کوهستان شمال، شمال شرق و شرق تهران بیش از ۶۰۰ کیلومترمربع می باشد. جهت عمومی رودخانه ها و مسیل ها، عمدتاً به سمت محدوده شهری است. این موضوع باعث شده که در اثر بارش های رگباری، آب گرفتگی معابر شهر تهران و در صورت شدت رگبارها و تداوم بارش، وقوع سیل را شاهد باشیم.

در عین حال، محدوده شهری تهران مسیر عبور مسیل ها و رودخانه های متعددی است که آب زهکش حوزه های بالادست و همچنین جمع آوری آب حاصل از بارش در محدوده شهری تهران را برعهده دارند. در برخی از قسمت های شهر که ارزش مکانی زمین بالا است، بستر رودخانه ها و مسیل های داخل شهر مورد تعرض قرار گرفته و سطح مقطع آن ها کاهش و محدود شده است. این موضوع می تواند بر رژیم طبیعی رودخانه و مسیل عبوری جریان، تأثیر گذاشته و در صورت وقوع بارش های رگباری شدید، خسارت های جبران ناپذیری را وارد سازد.



شکل (۵-۶) محدوده سیلابی با دوره بازگشت صد ساله

ماخذ : اطلس کلانشهر تهران

۵-۲-۳- عوامل اقلیمی

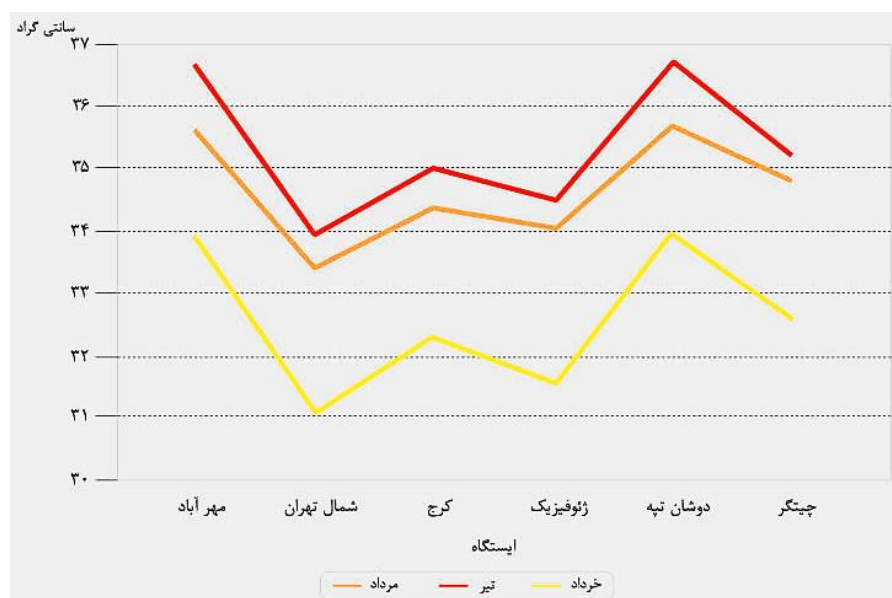
• دما

در محدوده کلان شهر تهران، دمای سالانه بین ۱۵ تا ۱۸ درجه متغیر بوده و با توجه به ناهموار بودن محدوده شهر، میانگین سالانه در مناطق مختلف آن حدود ۳ درجه سانتیگراد اختلاف دما

دارند. این اختلاف در مورد میانگین دماهای حداقل دوره سرد سال و حداکثر دوره گرم سال نیز کم و بیش حفظ می شود.



شکل (۷-۵) تغییرات میانگین حداقل های دما در دوره سرد سال



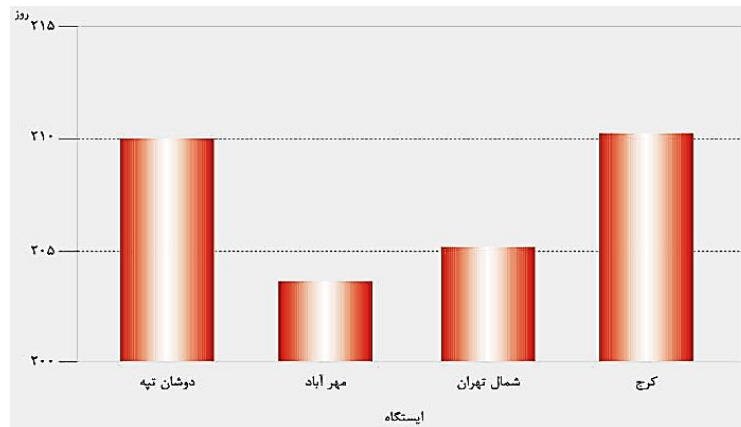
شکل (۸-۵) تغییرات میانگین حداکثرهای دما در دوره گرم سال

ماخذ : اطلس کلانشهر تهران

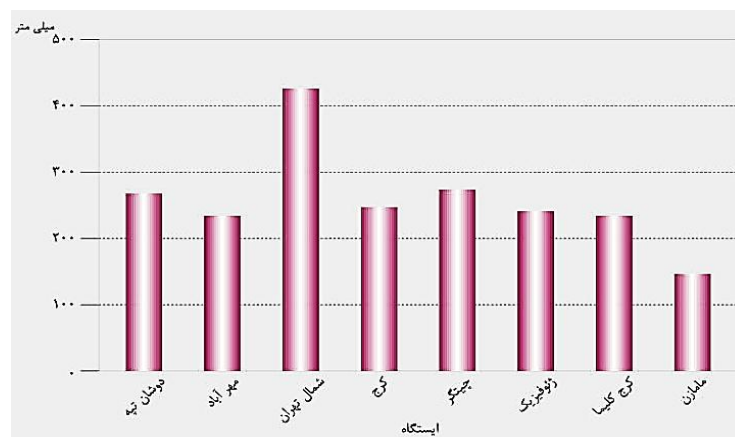
• بارش

بارش سالانه در محدوده تهران عمدتاً متأثر از تغییرات ارتفاعی محدوده شهر بوده و بین حداکثر ۴۲۲ میلیمتر در شمال تهران تا ۱۴۵ میلیمتر در جنوب شرق تهران متغیر است. تعداد روزهای

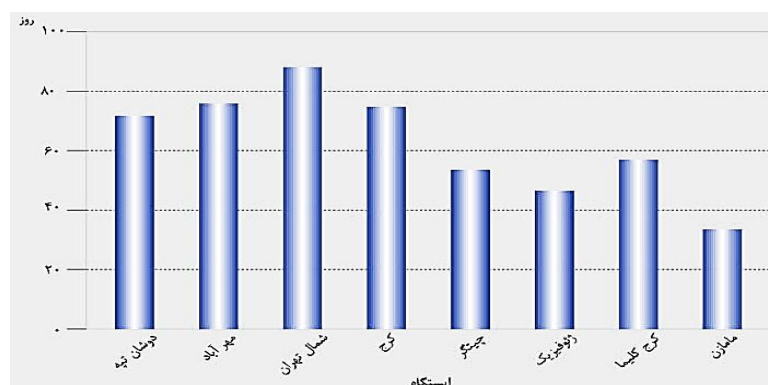
همراه با بارش نیز از همین الگو تبعیت کرده و بین حدود ۸۹ روز در شمال تهران تا ۳۳ روز در جنوب شهر تهران تفاوت می‌کند. همچنین در محدوده تهران بین ۲۰۵ تا ۲۱۳ روز هوای صاف تا کمی ابری وجود دارد.



شکل (۵-۹) تغییرات مکانی تعداد روزهای همراه با هوای صاف تا کمی ابری

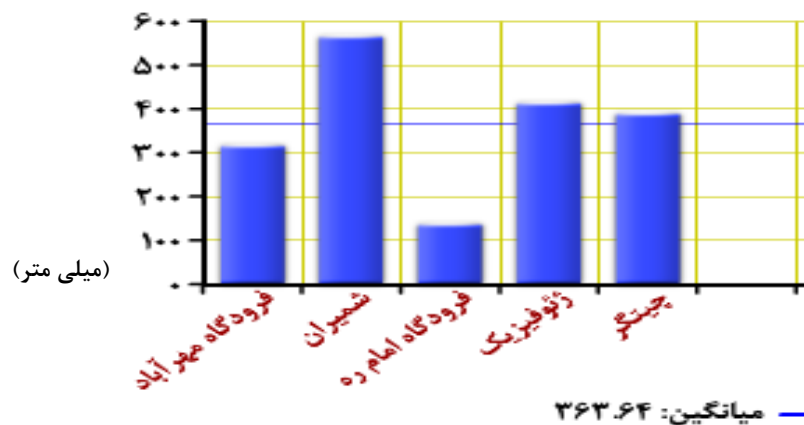


شکل (۵-۱۰) تغییرات مکانی بارش سالانه



شکل (۵-۱۱) تغییرات مکانی تعداد روزهای همراه با بارش

ماخذ : اطلس کلانشهر تهران

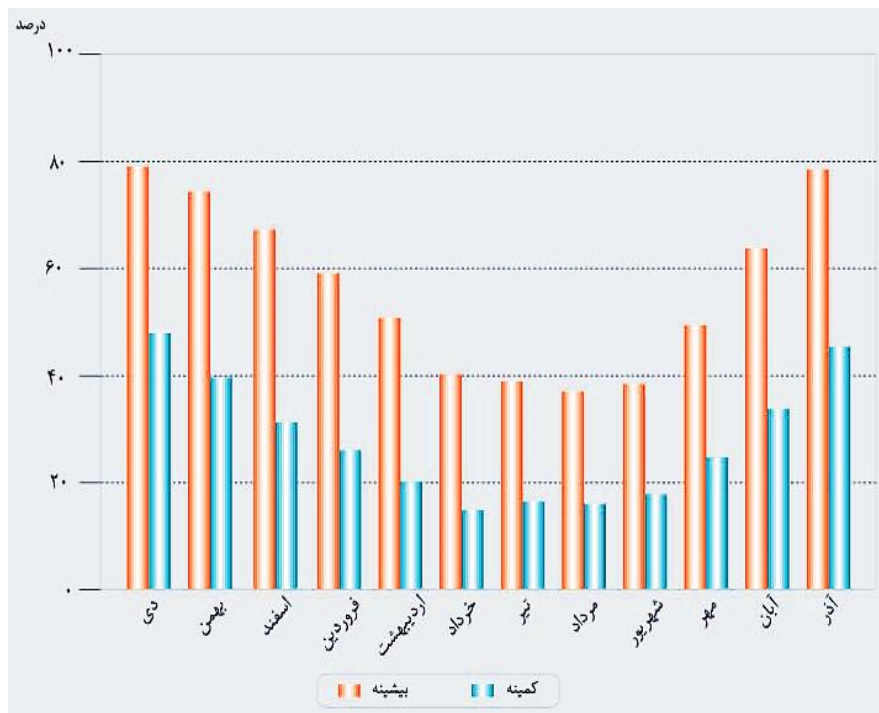


شکل (۵-۱۲) میانگین سالانه میزان بارندگی هوا ایستگاه های سینوپتیک هواشناسی شهر تهران در سال ۹۰

ماخذ : آمار و اطلاعات شهرداری تهران

• رطوبت

میانگین تغییرات ماهانه رطوبت نسبی کمینه و بیشینه در ایستگاه مهرآباد تهران نشان می دهد رطوبت نسبی در ایام صبحگاهی بین حداقل ۳۸ درصد تا حداکثر ۷۹ درصد به ترتیب در ماه های تیر و دی نوسان دارد. این تغییرات در مورد رطوبت نسبی نیمروزی بین ۱۵ درصد در خردادماه تا ۴۷ درصد در دی ماه متغیر است.



شکل (۵-۱۳) میانگین درصد تغییرات ماهانه رطوبت نسبی کمینه و بیشینه در ایستگاه مهرآباد

ماخذ : اطلس کلانشهر تهران

• آلودگی

آلودگی هوای تهران یکی از معضلات اساسی این کلانشهر است. تهران بزرگترین قطب صنعتی و تجاری کشور محسوب می شود و با جمعیتی حدود ۷/۷ میلیون نفر، یکی از کلانشهرهای بزرگ دنیا است.

عوامل طبیعی، فرم ساخت شهری وجود بیش از ۲ میلیون خودرو فعال و ۵۰۰ هزار موتورسیکلت، ۵ هزار واحد صنعتی (معادل ۲۵٪ صنایع کل کشور) با مصرف حدود ۲۰ درصد کل انرژی کشور، تمرکز ۷۰ درصد خدمات و ۸۰ درصد متخصصین، این شهر را به یکی از آلوده‌ترین شهرهای جهان تبدیل کرده است (سازمان حفاظت محیط زیست، ۱۳۷۶). به طوری که در برهه‌ای از زمان به عنوان آلوده ترین شهر بعد از دهلی نو شناخته شد.

جدول (۱-۵) میانگین بلندمدت متوسط دمای روزانه ایستگاه‌های منتخب در تهران

نام ایستگاه	مهرآباد	شمال تهران	کرج	ژئوفیزیک	دوشان تپه	چیتگر
میانگین دما (سانتیگراد)	۱۷/۳	۱۵/۴	۱۴/۹	۱۶/۹	۱۷/۸	۱۷/۴

ماخذ: اطلس کلانشهر تهران

جدول (۲-۵) میزان آلاینده‌گی سه نوع وسیله نقلیه

نوع آلاینده	مواد تولیدشده در هر کیلومتر	مقدار تولیدی در روز (گرم)		
		وانت	سواری شخصی	مسافربر
مونواکسید کربن	۵۰ گرم	۴۲۵۰	۲۱۵۰	۲۳۰۰
نیدروکربورهای نسوخته	۷ گرم	۵۹۵	۳۰۱	۴۶۲
اکسیدهای ازت	۳ گرم	۲۵۵	۱۲۹	۱۹۸
ذرات معلق ۰/۲-۱۷ گرم	۱۷ گرم	۸/۶	۱۳/۲	۱۰

ماخذ: شرکت کنترل کیفیت هوا، مجله هوای پاک، سال ۱۳۸۵

جدول (۳-۵) میزان انتشار آلاینده‌ها در بخش صنایع (کیلوگرم در روز)

منبع آلاینده	ذرات معلق	دی‌اکسید گوگرد	مونواکسید کربن	هیدروکربن ها	اکسیدهای ازت
صنایع	۳۴۵۲	۴۶۰۶۸	۳۸۷	۳۸۷	۱۳۷۲۱
درصد	۳،۹	۶۳	۰/۸۲	۰/۰۸	۹/۱

ماخذ: شرکت کنترل کیفیت هوا، مجله هوای پاک، سال ۱۳۸۵

جدول (۴-۵) میزان انتشار آلاینده‌ها از منابع تجاری در شهر تهران (کیلوگرم-روز)

منبع آلاینده	ذرات معلق	دی‌اکسید گوگرد	مونواکسید کربن	هیدروکربن ها	اکسیدهای ازت
تجاری	۵۶۳	۵۳۸۱	۱۵۶	۱۰۹	۳۰۰۳

ماخذ: سازمان حفاظت محیط زیست، ۱۳۸۵



شکل (۵-۱۴) میانگین سالانه ساعات آفتابی ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی شهر تهران در سال ۹۰

ماخذ : آمار و اطلاعات شهرداری تهران

۵-۲-۳-۳- راه‌های ارتباطی

در حال حاضر، کلانشهر تهران با جمعیت ساکنین نزدیک به ۷/۸ میلیون نفر و با احتساب سفرهای دروازه‌ای که جمعیت شناور آن را به بیش از ۸/۵ میلیون نفر در روز می‌رساند، بزرگترین کلانشهر در کشور و خاورمیانه است که با مشکلات جدی و عدیده‌ای در سیستم حمل و نقل خود مواجه است. طی ۱۰ ساله اخیر با افزایش مالکیت خودرو و افزایش رفاه نسبی، نرخ سفر از ۱/۵ سفر سواره به ازاء هر سفر فراتر رفته است به طوری که قریب به ۱۵ میلیون سفر سواره روزانه در شبکه معابر شهری تهران جریان دارد و بیش از ۲ میلیون خودرو در کلانشهر تهران در تردد هستند. ۵۰ درصد از خانوارهای ساکن در کلانشهر تهران دارای خودروی سبک اعم از سواری و وانت بوده‌اند. این میزان در مناطق شمالی شهر تهران بیشتر از سایر مناطق بوده است. منطقه ۳ با ۷۰ درصد و پس از آن مناطق ۲ و ۱ با ۶۸ درصد در رتبه‌های بعدی قرار دارند. با توجه به این مطلب که بیشترین زمان وسایل نقلیه در حالت پارک است، می‌توان گفت کمبود فضای شهری و اشغال سطح سواره رو به منظور پارک وسیله نقلیه، یکی از معضلات ترافیک شهر تهران به شمار می‌آید و تأمین فضا برای پارک وسیله نقلیه اهمیت بالاتری نسبت به تأمین فضا برای حرکت وسیله نقلیه دارد. در تحلیل فضایی شبکه انواع خدمات شهری تهران، شبکه‌های منسجم و سلسله‌مراتبی قابل مشاهده است که تکیه‌گاه اصلی آن بر شبکه بزرگراه‌های شهری موجود است. شبکه بزرگراه‌ها نیز که خود شبکه پیونددهنده فضاهای شهری گوناگون را تشکیل می‌دهند، امکان دسترسی به مراکز انواع خدمات شهری را فراهم می‌سازند. همچنین شعاع عملکرد هر یک از مراکز خدمات شهری بر اساس استقرار آن در کنار بزرگراه تعریف می‌شود.

سیستم اتوبوسرانی تهران سالانه حدود یک میلیارد مسافر و سیستم مترو سالیانه حدود ۲۵۰ میلیون مسافر را جابجا می کنند که این ارقام نیز در حال افزایش هستند. تمامی این آمارها نشان از گستردگی مسائل و مشکلات کلانشهر تهران در بخش حمل و نقل دارد که نیازمند عزم و ابزاری کارآمد برای کاهش مشکلات و بهبود وضعیت آن است. امروزه مسائل تردد و ترافیک شهر تهران به صورت کلاف پیچیده و سردرگمی درآمده است که ارائه راهکارهایی برای تقلیل یا رفع معضل ناشی از آن، جز بر پایه مطالعه و تحقیق میسر نمی باشد. سابقه بحث و گفتگو درباره احداث قطار شهری در تهران ۱۱۰ سال قبل باز می گردد. تاسیس تراموای شهری از جمله نکات پیش بینی شده در امتیاز نامه ای بود که در عهد ناصرالدین شاه با بارون ژولیوس دو رویتر روی کاغذ آمد. طی همین سال ها یک خط آهن روزمینی که به «واگن اسبی» معروف شد، بین دروازه شهر ری (حضرت عبدالعظیم) و میدان باغ شاه احداث گردید. اولین خط مترو در سال ۱۳۷۷ افتتاح و بهره برداری از قطار سریع السیر تهران - کرج صورت گرفت.

الف) لند فرم هزار دره در شمال تهران (آبرفت های مرحله اول)

۵-۲-۴-وضع فعالیت

• جمعیت فعال

جمعیت بالقوه فعال مشتمل بر تعداد افرادی که با قرارگرفتن در گروه سنی ۱۵ تا ۶۴ سال، علاوه بر این که به جهت دارابودن پتانسیل لازم و قدرت باروی، اصلی ترین گروه را در ترکیب سنی جمعیتی تشکیل می دهند، از نظر امکان پذیری و توانایی انجام فعالیت، مهمترین نقش را در ساختار فعالیت اقتصادی ایفا می کنند.

این گروه بر حسب نوع فعالیت به گروه های شاغل، بیکار در جستجوی کار، افراد دارای درآمد بدون کار، زنان خانه دار و محصلین دسته بندی می شوند.

این شاخص که از تقسیم تعداد جمعیت واقع در گروه سنی یادشده بر تعداد کل جمعیت حاصل می شود، طی سال های گذشته تغییرات زیادی را در جمعیت شهر تهران شاهد بوده است.

طی سال ۱۳۷۵، درصد جمعیت بالقوه فعال شهر تهران از حداقل ۵۶ تا حداکثر ۷۱ درصد در نوسان بوده که با رشدی فزاینده، به ۷۰ تا ۸۴ درصد طی سال ۱۳۸۵ رسیده است.

الگوی فضایی این شاخص نیز طی این دو دوره زمانی تغییرات زیادی داشته به گونه ای که پایین ترین میزان طی سال ۱۳۷۵ در قسمت هایی از مناطق ۱، ۴، ۱۲، ۱۵، ۱۸ و ۲۲ قابل مشاهده است در حالی که ده سال بعد، این وضعیت عمدتاً در مناطق ۱۲، ۱۵، ۱۶، ۱۸، ۱۹ و ۲۰ دیده می شود.

این نحوه از توزیع فضایی به صورتی است که تا اندازه زیادی شهر تهران را به دو نیمه گسترده تر شمالی با وجه غالب نسبت بالای جمعیت بالقوه فعال و نیمه کم وسعت جنوبی با غلبه نسبت پایین این شاخص تقسیم می کند.

جدول (۵-۵) جمعیت ۱۰ ساله و بیشتر بر حسب وضع فعالیت به تفکیک جنس

۱۳۸۵			۱۳۷۵			آخرین محل اقامت قبلی
زن	مرد	مرد وزن	زن	مرد	مرد وزن	
۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	جمع
۱۳/۷۱	۶۱/۸۳	۳۸/۲۸	۸/۰۶	۵۵/۵۱	۳۲/۴۴	شاغل
۲/۲۴	۴/۰۶	۳/۱۷	-/۵۵	۳/۳۹	۲/۰۱	بیکار (جویای کار)
۲۲/۵۳	۱۹/۴	۲۰/۹۳	۲۹/۵۷	۲۸/۰۲	۲۸/۷۷	محصل
۴/۹۵	۹/۲	۷/۱۲	۱/۶۴	۷/۱۷	۴/۴۸	دارای درآمد بدون کار
۵۱/۴۳	-/۲۱	۲۵/۲۷	۵۶/۶۴	-/۵۴	۲۷/۸۲	خانه دار
۴/۴۷	۴/۷۱	۴/۵۹	۲/۳۷	۳/۶۷	۳/۰۴	سایر
-/۶۸	-/۵۹	-/۶۴	۱/۱۷	۱/۷	۱/۴۴	اظهار نشده

ماخذ : اطلس کلانشهر تهران

جدول (۶-۵) جمعیت ۱۰ ساله و بالاتر بر حسب وضع فعالیت و اشتغال ۸۵-۱۳۵۵

شهر تهران	استان تهران	ایران	شاخص
۶۸۶۳۱۱۵	۱۱۵۸۲۴۶۷	۵۹۵۲۲۷۴۷	جمعیت ده ساله و بالاتر
۴۱/۴	۴۰/۵	۳۹/۴	میزان ویژه فعالیت
۹۲/۴	۹۱/۶	۸۷/۳	میزان اشتغال
۷/۶	۸/۴	۱۲/۷	میزان بیکاری

ماخذ : اطلس کلانشهر تهران



شکل (۵-۱۵) مردان و زنان در واحدهای صنعتی دوشادوش هم کار می کنند

ماخذ : اطلس کلانشهر تهران

از ۲۶۲۹۱۰۶ نفر جمعیت شاغل ۱۰ ساله و بیشتر شهر تهران، ۰/۴۲ درصد را کارکنان ماهر کشاورزی، جنگلداری و ماهیگیری، ۱۸/۲ درصد را صنعتگران و کارکنان مشاغل مربوط و ۱۶/۲ درصد

را گروه های تخصصی تشکیل می دادند. از مجموع جمعیت شاغل شهر تهران، ۵/۰ درصد در گروه-های عمده «کشاورزی، شیلات، جنگلداری و شکار»، ۵/۱۹ درصد در گروه عمده «عمده-فروشی، خرده-فروشی و تعمیر وسایل نقلیه موتوری و کالاهای شخصی و خانگی»، ۴/۲۰ درصد در گروه عمده «صنعت و استخراج معادن» و ۶/۵۹ درصد نیز در سایر گروه های عمده فعالیت های اقتصادی به کار اشتغال داشته-اند.

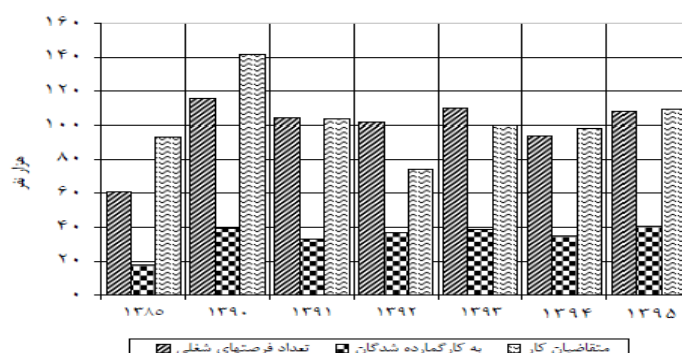
شهر تهران از نظر توزیع فعالیت-ها، شکل ویژه ای به خود می-گیرد. مناطق جنوبی شهر تهران بیشتر فعالیت-هایی مانند مونتاژ کاری، حمل و نقل و فعالیت در بخش صنعت را به خود اختصاص داده اند. بهداشت و مددکاری نیز بیشترین تعداد شاغلان را در بخش-های جنوبی شهر تهران در اختیار دارد با توجه به عمومیت-یابی فعالیت در بخش دولتی و حقوق-بگیری، فعالیت هایی مانند تکنسین ها و دستیاران، متخصصان، قانونگذاران و مدیران و به طور کلی حقوق بگیران در مناطق شمالی شهر تهران و از محور انقلاب به سمت شمال سکونت دارند.

• جمعیت غیر فعال

طی سال ۱۳۷۵، به طور متوسط حدود ۶۳ درصد از جمعیت شهر تهران جزو جمعیت غیرفعال محسوب می شدند که از نظر پراکندگی فضایی میان مناطق مختلف شهری به گونه ای ناهمسان توزیع شده اند.

توزیع این بخش از جمعیت طی سال ۱۳۸۵ با حدود متوسط ۵۱ درصد و در میان مناطق واقع در نیمه شمالی، الگوی خاصی را به دست نمی دهد.

طی این سال برخی از نواحی واقع در مناطق ۱۱، ۱۲ و ۱۴ شهری، واجد کمترین نسبت جمعیت غیرفعال بودند در حالی که تعدادی از نواحی واقع در محدوده مناطق ۱، ۲، ۳ و ۶ بالاترین نسبت جمعیت غیرفعال را در خود جای داده اند.



شکل (۵-۱۶) افراد به کار گمارده شده و تعداد فرصت های شغلی ۱۳۹۵

ماخذ: مرکز آمار ایران

۵-۱-۴-۱ - پیش بینی نقش و روند اقتصادی تهران در آینده

در هر جامعه‌ای تعداد افراد در جست‌وجوی کار به اندازه و ترکیب جمعیت آن کشور بستگی دارد. در میان عوامل متعددی که رشد جمعیت را به رشد نیروی کار مرتبط می‌سازد، عوامل مربوط به زاد و ولد و مرگ اهمیت زیادی دارند؛ گرچه هر یک به طور جداگانه بر ساختار جمعیت تأثیر گذارند. نرخ زاد و ولد فقط در تعداد افراد تازه به دنیا آمده مؤثر است در حالی که نرخ مرگ و میر تمام گروه‌های سنی را (به طور نابرابر) در بر می‌گیرد. کاهش سریع مرگ و میر، حجم نیروی کار کنونی جمعیت را گسترش می‌دهد و نرخ بالای زاد و ولد موجب می‌شود که نسبت وابستگی بیشتر شود و نیروی کار در آینده افزایش یابد. امروزه اکثر کشورهای در حال توسعه با رشد فزاینده عرضه نیروی کار روبرو هستند.

به دلیل رشد بالای جمعیت این کشورها طی دو دهه گذشته، افرادی که امروزه به نیروی کار این کشورها افزوده می‌شوند در واقع کسانی هستند که قبلاً متولد شده‌اند. پیش‌بینی‌ها حکایت از آن دارد که کل نیروی کار کشورهای در حال توسعه از حدود ۲/۱ میلیارد نفر در سال ۱۹۹۰ به ۲/۴ میلیارد نفر در سال ۲۰۰۰ رسیده و در پایان ربع اول قرن بیست و یکم به حدود ۳ میلیارد نفر برسد. کشورهای در حال توسعه باید سالانه بیش از ۳۰ میلیون شغل جدید ایجاد کنند تا تعداد کل بیکاران در سطح فعلی ثابت بماند. کشور ما نیز از تجربه سایر کشورهای در حال توسعه مستثنی نبوده است. انفجار جمعیت در اواخر دهه ۱۳۵۰ و اوائل دهه ۶۰ و در نتیجه جوان شدن جمعیت با تأخیر ۱۵ تا ۲۰ سال، تأثیر خود را بر بازار کار بر جای نهاده است. نسبت جمعیت ۲۹-۱۵ سال طی سالهای ۸۰-۱۳۷۰ به یک باره از ۲۶/۶ درصد به ۳۰ درصد افزایش یافته است.

در این بین استان تهران و به ویژه شهر تهران به عنوان پایتخت ایران و همچنین به عنوان یک مرکز تجاری - خدماتی بزرگ و مهاجرپذیر در دهه‌های گذشته، تحولات چشمگیری را به خود دیده است.

در سال ۱۳۸۵ جمعیت ۱۰ ساله و بیشتر شهر تهران ۶۸۶۳۱۱۵ نفر بوده که نسبت به سال ۱۳۷۵ رشدی معادل ۲/۱۲ درصد داشته است. از این جمعیت ۳۸/۳ شاغل و ۳/۲ درصد بیکار (جویای کار) و ۷/۱ درصد دارای درآمد بدون کار بوده‌اند. از جمعیت فعال شهر تهران ۸۱/۲ درصد را مردان و ۱۸/۸ درصد را زنان تشکیل می‌دادند که این رقم در سال ۱۳۷۵ به ترتیب معادل ۸۷/۸ و ۲۱/۲ درصد بوده است.

در سال ۱۳۸۵، بیشترین میزان فعالیت با ۴۰/۶ درصد مربوط به گروه سنی ۳۴-۳۰ ساله بوده و کمترین میزان فعالیت با ۱/۲ درصد نیز به گروه سنی ۱۴-۱۰ ساله تعلق داشته است.

طی همین دوره زمانی، بالاترین میزان فعالیت برای مردان مربوط به گروه سنی ۳۹-۳۵ ساله با ۹۶/۷ درصد و برای زنان مربوط به گروه سنی ۲۹-۲۵ ساله با ۲۹/۴ درصد می باشد. شهر تهران نسبت به کل کشور و استان تهران میزان اشتغال بالاتر، میزان بیکاری کمتر و همچنین بار تکفل کمتری دارد.

۵-۲-۵- مطالعات جمعیتی

۵-۲-۵-۱- وضع جمعیت در گذشته و حال

تهران تا قبل از آنکه مورد توجه شاه طهماسب صفوی قرار گیرد و حصارى بر دور آن کشیده شود، دهی با هزار نفر جمعیت بود. در زمان حکومت قاجار، جمعیت شهر تهران ۱۵ هزار نفر ذکر شده که از این تعداد ۳ هزار نفر را نظامیان تشکیل می دادند. در سال ۱۲۷۴، جمعیت تهران را ۱۴۷۲۵۶ نفر نوشته اند. در دوره پهلوی و جمهوری اسلامی آمار مختلفی از جمعیت تهران اعلام شده که در جدول (۷-۲) نشان داده شده است.

جدول (۷-۵) جمعیت تهران از دوره صفوی تا عصر حاضر

سال	جمعیت	نرخ رشد	حکومت
۹۶۱ ه.ق	۱۰۰۰		دوره شاه طهماسب
۱۰۳۶ ه.ق	۳۰۰۰	۱/۴	شاه عباس صفوی
۱۲۱۲ ه.ق	۱۵۰۰۰	۵/۲	آقا محمد خان قاجار
۱۲۲۲ ه.ق	۵۰۰۰۰	۱۲/۰۳	فتحعلی شاه قاجار
۱۲۲۷ ه.ق	۶۰۰۰۰	۳/۶	فتحعلی شاه قاجار
۱۲۵۰ ه.ق	۸۰۰۰۰	۲/۸	اواخر فتحعلی شاه قاجار و اوایل محمد شاه قاجار
۱۲۸۴ ه.ق	۱۴۷۲۵۶	۲/۹	ناصرالدین شاه قاجار
۱۳۰۹ ه.ش	۲۵۰۰۰۰	۲/۴	پهلوی اول
۱۳۱۹ ه.ش	۵۴۰۰۸۷	۶/۶	پهلوی اول
۱۳۳۵ ه.ش	۱۵۶۰۹۳۴	۵/۵	پهلوی دوم
۱۳۴۵ ه.ش	۲۷۱۹۷۳۰	۵/۱	پهلوی دوم
۱۳۵۵ ه.ش	۴۵۳۰۲۲۳	۲/۹	پهلوی دوم
۱۳۶۵ ه.ش	۶۰۵۸۲۰۷	۱/۳	جمهوری اسلامی
۱۳۷۰ ه.ش	۶۴۹۷۲۳۸	۰/۷۸	جمهوری اسلامی
۱۳۷۵ ه.ش	۶۷۵۸۸۴۵	۱/۳	جمهوری اسلامی
۱۳۸۵ ه.ش	۷۷۱۱۲۳۰		جمهوری اسلامی

ماخذ : اطلس کلانشهر تهران

با توجه به روند افزایش جمعیت در تهران عملاً شتاب جمعیت برای تبدیل شدن به یک کلانشهر از ابتدای حکومت پهلوی (حدود سال ۱۳۰۰ شمسی) شروع و طی مدت ۴۰ سال بالغ بر ده برابر (یعنی حدود ۲ میلیون نفر در سال ۱۳۴۰) شد. جمعیت تهران در ۴۰ سال بعد نیز (۱۳۴۰-۱۳۸۰) به ۷ میلیون نفر رسید. در حال حاضر جمعیت تهران بیش از ۷/۷ میلیون نفر می باشد. اگر چه شتاب افزایش جمعیت طی مدت ۴۰ سال اخیر به مراتب کمتر از دوره ۴۰ سال قبل از آن بوده ولی جمعیت خالص اضافه شده در این دوره بیش از ۵ میلیون نفر می-باشد که این امر پیامدهای اقتصادی - اجتماعی و همچنین زیست-محیطی بسیار گسترده ای داشته- است. بر اساس شش دوره سرشماری انجام شده، جمعیت تهران طی سال های ۱۳۳۵ تا ۱۳۸۵ حدوداً ۵ برابر شده است. این رشد در شهرهای اطراف تهران به مراتب بیشتر از شهر تهران بوده به-طوری که رشد شهر تهران طی دهه-های اخیر کاهش یافته و بر جمعیت پیرامون آن افزوده شده است.

جدول (۲-۸)، جمعیت عمده ترین شهرهای استان تهران و نرخ رشد آن-ها را از ۱۳۳۵ تا ۱۳۸۵ نشان میدهد.

جدول (۵-۸) جمعیت نقاط شهری استان تهران طی سالهای ۸۵-۱۳۳۵

نام	تعداد جمعیت (نفر)					نرخ رشد (درصد)					
	۱۳۳۵	۱۳۴۵	۱۳۵۵	۱۳۶۵	۱۳۷۵	۱۳۸۵	۳۵-۴۵	۴۵-۵۵	۵۵-۶۵	۶۵-۷۵	۷۵-۸۵
اسلامشهر	۴۸۱	۱۰۰۶	۵۰۲۹۲	۲۱۵۱۲۹	۲۶۵۴۵۰	۳۵۱۱۷۱	۷/۴	۳۹/۱	۱۴/۵	۲/۱	۲/۸
اشتهارد	۴۵۴۲	۵۱۴۹	۵۰۷۴	۸۰۹۵	۱۰۲۷۴	۱۶۹۸۸	۱/۳	-۰/۱	۴/۷	۲/۴	۵/۰
پیشوا	۴۴۶۸	۶۳۳۲	۹۹۳۴	۱۷۲۸۳	۲۹۸۸۴	۴۱۴۸۰	۳/۵	۴/۵	۵/۵	۵/۵	۳/۳
دماوند	۴۵۲۳	۵۳۹۱	۹۹۰۲	۱۵۳۰۹	۲۲۳۳۷	۳۶۴۳۳	۱/۸	۶/۱	۴/۴	۳/۸	۴/۹
رباط کریم	۲۳۲۸	۳۱۴۷	۴۷۶۶۳	۱۷۹۰۳	۲۶۶۵۶	۶۲۹۳۷	۳/۰	۲۷/۲	-۹/۸	۴/۰	۸/۶
رودهن	۱۱۶۱	۱۷۴۳	۳۰۸۳	۶۵۵۰	۱۱۸۶۶	۱۹۵۳۵	۴/۱	۵/۷	۷/۵	۵/۹	۵/۰
شهریار	۳۷۴۸	۶۶۲۶	۱۱۶۹۷	۲۲۴۳۳	۴۰۰۵۸	۱۸۹۱۲۰	۵/۷	۵/۷	۲۹/۵	-۱۷/۲	۱۵/۵
قرچک	۱۶۷	۱۱۶۷	۱۴۹۲۵	۷۷۹۵۷	۱۴۲۶۹۰	۱۷۳۸۳۲	۱۹/۴	۲۵/۵	۱۶/۵	۶/۰	۲/۰
کرج	۱۴۵۲۶	۴۴۲۴۳	۱۳۷۹۲۶	۲۷۵۱۰۰	۹۴۰۹۶۸	۱۳۷۷۴۵۰	۱۱/۱	۱۱/۴	۶/۹	۱۲/۳	۳/۸
نظرآباد	۷۹۹	۲۸۸۱	۹۸۸۹	۲۱۶۶۰	۶۹۳۴۲	۹۷۶۸۴	۱۲/۸	۱۲/۳	۷/۸	۱۱/۶	۳/۴
ورامین	۵۲۰۵	۱۱۱۸۳	۲۵۷۹۲	۵۸۳۱۱	۱۰۷۲۳۳	۲۰۸۵۶۹	۷/۶	۸/۴	۸/۳	۶/۱	۶/۷
هشتگرد	۱۰۷۸	۱۸۲۸	۵۶۲۸	۱۶۷۶۱	۳۳۵۶۸	۴۵۳۳۲	۵/۳	۱۱/۲	۱۰/۹	۶/۹	۳/۰
بومهن	-	-	-	-	۱۱۶۶	۴۳۰۰۴	-	-	-	-	۳۶/۱
پردیس	-	-	-	-	-	۲۵۳۶۰	-	-	-	-	-
حسن آباد	۵۹۴	۴۶۳	۱۹۷۴	۱۲۱۱	۱۱۱۷۸	۲۰۴۵۱	-۲/۵	۱۴/۵	-۴/۹	۲۲/۲	۶/۰
لوانان	۱۴۹۰	۱۱۸۲	۷۷۶۱	۶۵۳۰	۱۰۵۸۷	۱۵۴۴۸	۷/۴	۳۹/۱	-۱/۷	۴/۸	۳/۸
ماه‌دشت	۱۲۶۷	۲۴۶۳	۵۶۴۰	۱۷۷۸۸	۲۸۹۷۶	۴۳۱۰۰	۱/۳	-۰/۱	۱۱/۵	۴/۹	۴/۰
قدس	۹۹۴	۲۴۶۷	۸۴۰۶	۷۴۸۰۲	۱۳۸۳۷۸	۲۲۹۵۳۴	۳/۵	۴/۵	۲۱/۹	۶/۱	۵/۱
ملارد	۱۳۶۹	۲۵۹۶	۵۹۷۰	۹۱۶۰	۸۸۱۱۸	۲۲۸۶۷۳	۱/۸	۶/۱	۴/۳	۲۲/۶	۹/۵
پاکدشت	۱۷۰۴	۲۶۶۸	۵۴۵۹	۱۸۳۰۸	۴۹۳۲۰	۱۲۶۲۸۱	۳/۰	۲۷/۲	۱۲/۱	۹/۹	۹/۴

• روند تحول جمعیت مناطق

بر اساس آخرین سرشماری عمومی نفوس و مسکن در آبان ماه ۱۳۹۵ جمعیت استان تهران برابر با ۱۲۳۶۷۶۳۷ نفر می باشد. (۵۰/۳ درصد مرد و ۴۹/۷ درصد زن) که در مقایسه با سرشماری عمومی نفوس و مسکن آبان ۱۳۹۰ متوسط رشد سالانه جمعیت معادل ۱/۷۲ درصد بوده است. از کل جمعیت استان ۹۳/۹ درصد در نقاط شهری و ۶/۱ درصد در نقاط روستایی سکونت داشته اند.

اطلاعات نشان می دهد که روند جمعیت پذیری مناطق شهر تهران در فاصله زمانی ۱۳۵۵ تا ۱۳۸۵ به یک میزان نبوده است. ویژگی های جمعیت-پذیری مناطق شهری کلانشهر تهران طی سی سال گذشته عبارتند از:

- مناطق مرکزی شهر در طی این دوره عمدتاً جمعیت خود را از دست داده و مناطق حاشیه شهر جمعیت بیشتری را جذب کرده اند. این امر موجب انتقال ثقل جمعیت از مرکز به پیرامون شده به طوری که رشد جمعیت مناطق ۶، ۱۳، ۲۰ و ۱۴ منفی بوده و منطقه ۴ بالاترین سهم جمعیت و منطقه ۲۲ بالاترین رشد جمعیت را داشته اند.
- مناطق حاشیه ای شهر که طی سال های ۶۵ - ۱۳۵۵ بین ۳ تا ۷ درصد رشد جمعیتی داشتند، در دوره ۷۵ - ۱۳۶۵ با اشباع و کاهش رشد جمعیت (بین ۱ تا ۵ درصد) مواجه شده اند. این امر متأثر از افزایش شدید قیمت زمین در این مناطق طی دوره بعد از انقلاب اسلامی بوده است. در واقع ارزان-قیمت بودن اراضی در مناطق حاشیه ای طی سال های قبل از انقلاب اسلامی، محرک اصلی تفکیک املاک و جمعیت پذیری آنها بود که در دوره بعد از پیروزی انقلاب اسلامی و به دلیل آرایه امکانات خدماتی مورد نیاز و افزایش قیمت آن، تفاوت های عمده در قیمت زمین مناطق در مقایسه با ساطر مناطق شهر تهران از میان رفت.
- روند خروج جمعیت از مناطق مرکزی شهر تهران (مناطق ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۶، ۱۷) که در دوره اول با شدت زیادی روی داده، در دوره های بعدی تعدیل شده است.
- روند نوسازی بافت های فرسوده در چند سال اخیر سبب شد تا ساکنان این گونه مناطق از آن خارج نشده و رشد منفی جمعیت در آن متوقف شود.

۵-۲-۵-۲- ترکیب جنسی جمعیت

مطابق با اطلاعات سرشماری سال ۱۳۸۵، از ۷۸۰۳۸۸۳ جمعیت شهر تهران ۳۹۸۶۴۱۹ نفر مرد و ۳۸۱۷۴۶۴ نفر زن بودند که نشان می دهد جمعیت مردان در استان تهران به وضوح بیش از جمعیت زنان است.

نسبت جنسی یا به عبارتی تعداد مردان به ازای هر یک صد زن، در شهر تهران برابر ۱۰۴/۴ و در استان برابر ۱۰۶ است که از متوسط نسبت جنسی کشور (۱۰۴) بیشتر است. این رقم در سال ۱۳۷۵

برای شهر تهران معادل ۱۰۵/۴ بوده است. این موضوع عمدتاً به دلیل مهاجرت شغلی مردان به سوی پایتخت قابل توجیه است.

مردان جوان بسیاری از اقصی نقاط کشور در جستجوی کار به مناطق پیرامونی تهران آمده اند زیرا شرایط زندگی در بدو ورود در محدوده پایتخت مشکل تر است. با این وجود تفاوت نسبت جنسی در میان بخش های مختلف استان، بسیار زیاد است. این در حالی است که در تهران توازن بیشتری بین تعداد زنان و مردان وجود دارد. مقدار حداکثر نسبت جنسی مربوط به ناحیه ۴ واقع در محدوده منطقه ۹ با رقم ۱۶۴/۸ می باشد و بعد از آن ناحیه ۶ از منطقه ۱۴ با نسبت جنسی ۱۴۳/۷ و سپس ناحیه ۲ از منطقه ۱۲ با رقم ۱۲۸/۲ بیشترین نسبت جنسی را در اختیار دارند. کمترین مقدار مربوط به ناحیه ۶ از منطقه ۶ با نسبت جنسی ۸۹ و سپس منطقه ۳ ناحیه ۱ با نسبت جنسی ۸۹/۷ می باشد (نسبت جنسی کمتر از ۸۹ گزارش نشده است). همان گونه که در نقشه ها قابل مشاهده است، در این ناحیه ها که جزو مناطق مسکونی طبقه متوسط رو به بالا و مرفه جامعه به شمار می آیند، پایین بودن این شاخص به دلیل آن است که تعداد زیادی از زنان شاغل و یا زنان مجرد در این قسمت از شهر زندگی می کنند. وجود تفاوت قابل ملاحظه بین نسبت جنسی سال ۱۳۸۵ در مقایسه با ارقام مشابه در سال ۱۳۷۵، ناشی از کاهش نسبت جنسی در مناطق مرکزی و شمالی شهر و افزایش آن در مناطق حاشیه ای است. این امر به وضوح در نقشه های مربوط، دیده می شود. مناطق مرکزی و شمالی شهر تهران به جهت تمرکز جمعیت سالمند در آن، از نسبت جنسی کمتری نسبت به مناطق جنوبی برخوردارند. این امر به دلیل مهاجرپذیر بودن مناطق جنوبی و مهاجرفرست بودن مناطق مرکزی و شمالی شهر تهران است؛ مضاف بر اینکه نباید از بالاتر بودن امید به زندگی زنان سالمند از مردان واقع در این گروه عمده سنی، در مناطق مرکزی و شمالی شهر نیز غافل بود. در سال ۱۳۹۵ نسبت جنسی در استان برابر با ۱۰۱ می باشد، به عبارتی در مقابل هر ۱۰۰ نفر زن ۱۰۱ مرد وجود داشته است. این نسبت در نقاط شهری ۱۰۱ و در نقاط روستایی ۱۱۲ بوده است.

جدول (۵-۹) جمعیت بر حسب جنس و تابعیت ۱۳۸۵-۱۳۹۵

شرح	آبان ۱۳۸۵			آبان ۱۳۹۰			آبان ۱۳۹۵		
	مرد و زن	مرد	زن	مرد و زن	مرد	زن	مرد و زن	مرد	زن
جمع	۱۳۴۲۲۳۶۶	۶۹۰۱۲۱۷	۶۵۲۱۱۴۹	۱۲۱۸۳۳۹۱	۶۱۳۷۹۹۳	۶۰۴۵۳۹۸	۱۳۲۶۷۶۳۷	۶۶۷۳۶۷۲	۶۵۹۳۹۶۵
ایرانی	۱۲۹۶۵۰۹۶	۶۶۴۸۵۶۰	۶۳۱۶۵۳۶	۱۱۶۳۵۱۵۴	۵۸۴۱۶۶۵	۵۷۹۳۴۸۹	۱۲۷۲۰۳۴۰	۶۳۸۱۴۳۳	۶۳۳۸۹۰۷
غیرایرانی ..	۴۴۵۲۰	۲۲۹۰۹	۲۱۶۱۱	۴۷۹۴۴۰	۲۶۰۳۹۴	۲۱۹۰۴۶	۵۲۵۰۳۳	۲۸۰۴۷۳	۲۴۴۵۶۰
اظهار نشده	۴۱۲۷۵۰	۲۲۹۷۴۸	۱۸۳۰۰۲	۶۸۷۹۷	۳۵۹۳۴	۳۲۸۶۳	۲۲۲۶۴	۱۱۷۶۶	۱۰۴۹۸

ماخذ: مرکز آمار ایران

منابع

- آرامی حمیدرضا، مختاری یزدی مطهره (۱۳۹۲). ذخیره سازی انرژی در ساختمان با استفاده از مواد تغییر فاز دهنده، نشریه انرژی ایران، دوره ۱۱.
- بیگانه طلب، بهنام؛ سالاریان، حسام‌الدین (۱۳۹۴). تحلیل عددی سیستم ذخیره انرژی حرارتی با استفاده از مواد تغییر فاز دهنده. فناوریهای نوین در سیستمهای انرژی، سال اول، شماره دوم، صص ۳۷-۴۷.
- پیرکندی جاماسب (۱۳۸۱). بررسی تاثیر ضریب انتقال حرارت جابجایی در بهینه سازی سیستم های ذخیره کننده انرژی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مکانیک، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی.
- جمشیدی، نغمه؛ صدفی، نسیم (۱۳۹۵). تاثیر نانومواد تغییر فاز دهنده در سیستم گرمایش از کف در آب و هوای معتدل و مرطوب. مهندسی مکانیک مدرس، دوره ۱۶، شماره ۱۳، ویژه‌نامه مجموعه مقالات کنفرانس، صص ۸۷-۹۱.
- خرقانی، فاطمه؛ خدائی، رعنا (۱۳۹۳). بررسی استفاده از مواد تغییر فاز دهنده در سیستم های ذخیره سازی انرژی حرارتی. چهارمین کنفرانس بین‌المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی.
- شاه‌حسینی، رویا؛ افلاطونیان، زین‌العابدین (۱۳۹۳). اهمیت بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان. چهارمین کنفرانس بین‌المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی
- طاهری، هلیا؛ محمد جواد ثقفی و بهروز محمد کاری، ۱۳۹۱، بررسی انواع مواد تغییر فاز دهنده و استفاده از آن در عملکرد های مختلف، دومین کنفرانس بین‌المللی رویکردهای نوین در نگهداشت/انرژی، تهران، منطقه ویژه اقتصاد انرژی پارس جنوبی.
- فروتنی، سام، ۱۳۸۱، "کتاب مصالح و ساختمان"، انتشارات روزنه، تهران.
- قاسمی، مجید؛ پیرکندی، جاماسب (۱۳۸۸). بهبود خواص مواد تغییر فاز دهنده با افزودن ذرات نانو"، هفدهمین کنفرانس سالانه و بین‌المللی مهندسی مکانیک، دانشگاه تهران.
- منصوری، شبنم؛ پیرکندی، جاماسب؛ افشاری، ابراهیم (۱۳۹۴). بررسی نقش مواد تغییر فاز دهنده در مدیریت مصرف انرژی ساختمانها. انرژیهای تجدیدپذیر و نو، سال دوم، شماره دوم، صص ۲۸-۳۸.
- منصوری، شبنم؛ جبار، محسن (۱۳۸۹). طراحی سیستم ذخیره ساز سرما برای یک ساختمان اداری در شهر اهواز و مقایسه آن با سیستم های سرمایشی مرسوم، دومین کنفرانس بین‌المللی گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع، تهران.

– یزدان‌شناس؛ خالصی‌دوست، الیاس و عبدالله (۱۳۸۹). مبدل حرارتی با مواد تغییر فاز دهنده PCM برای ذخیره انرژی خورشیدی، اولین کنفرانس بین المللی سالانه انرژی پاک، کرمان، مرکز بین المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی

- _ Arkar.C, Medved.S, *Free cooling of a building using PCM heat storage integrated into the ventilation system*. Solar Energy, 81, 1078–1087. **2007**.
- Arkar.C, Medved.S, *Influence of accuracy of thermal property data of a phase change material on the result of a numerical model of a packed bed latent heat storage with spheres*. Thermochimica Acta, 438, 192–201. **2009**.
 - Arkar.C, Vidrih.B, Medved.S, *Efficiency of free cooling using latent heat storage integrated into the ventilation system of a low energy building*. International Journal of Refrigeration, 30, 134-143. **2009**
 - Lazaro.A, Dolado.P, Marin.J.M, Zalba.B, *PCM–air heat exchangers for free-cooling applications in buildings: Experimental results of two real-scale prototypes*. Energy Conversion and Management, 50, 439–443. **2010**
 - Marin J, Zalba B, Cabeza F, Mehling H. Free-cooling of buildings with phase change materials. International Journal of Refrigeration; 27: 839–49. **2004**
 - Medved.S, Arkar.C, *Correlation between the local climate and the free-cooling potential of latent heat storage*. Energy and Buildings, 40, 429–437. **2008**.
 - Mosaffa, A.H., et al., Thermal performance of a multiple PCM thermal storage unit for free cooling. Energy Conversion and Management, 2013. 67: p. 1-7.]
 - Nagano K, Takeda S, Mochida T, Shimakura K, Nakamura T. Study of a floor supply air conditioning system using granular phase change material to augment building mass thermal storage. Energy and Buildings; 38: 436–46. **200**
 - Sarier N., Onder E., “Organic Phase Change Materials and Their Textile Applications: An Overview”, Thermochimica Acta, 2012, 540, 7-60.
 - Takeda.S, Nagano.K, Mochida.T, Shimakura.K., *Development of a ventilation system utilizing thermal energy storage for granules containing phase change material*. Solar Energy, 77, 329–338. **2004**
 - Tzivanidis A, Antonopoulos K, Kravvaritis E. Parametric analysis of space cooling systems based on night ceiling cooling with PCM-embedded piping. International Journal of Energy Research; 36: 18–35. **2013**.
 - Zalba.B, Marin.J.M, Cabeza.L.F, Mehling.H., *Free-cooling of buildings with phase change materials*. International Journal of Refrigeration, 27, 839–849. **200**

Abstract

In recent years, many experimental, analytical and numerical studies have been conducted to increase the heat transfer efficiency of devices with economic savings approach. Common solutions for this are to increase the fluid flow intensity and increase the solid-fluid contact surface. On the other hand, storing thermal energy due to less environmental pollution is an important and practical way to conserve energy and improve its efficiency. Phase change materials have the highest heat storage capacity; But due to their low thermal conductivity, they have limited applications. The use of porous thermowood plate with phase change materials is presented as a solution to increase the thermal conductivity of these materials.

Hot thermowood panels are one of the most advanced materials that have been considered by researchers and consumers due to their variety of applications. This diversity of application is due to the cellular structure. Their open cell type has higher thermal conductivity and permeability compared to closed cell due to its suitable structure. In this research, with the help of software and heat transfer experiments, thermoformed plates and phase change materials in four different modes have been studied experimentally and then the results have been compared with each other. Designed for software analysis with a set of international standards

Then, with the help of software such as View, Design Builder, Greenhouse Autodio, Insight, the sample volume in Tehran location was studied and the raw volume and volume were analyzed using thermodynamics in this location, which shows the effect of about 118 units. Ashtar was used to make the studied laboratory model of RT-55 paraffin modifier and two pieces of open cell thermowood. The results showed that the simultaneous effect of latent heat on paraffin RT-55 and the ratio of surface to top volume in the constant conditions of the test, caused a further decrease in surface temperature of the plate compared to other experiments. The plate accelerates the melting and freezing process in the phase change materials and on the other hand speeds up the phase change process in these materials.

Keywords: Thermowood - Energy - Paraffin - Phase Changer



Energy Institute of Higher Education

Title

**Experimental Study Of Reducing Energy Consumption By Using
Paraffin Phase change Material in Thermo Wood Used Inside and
Outside the Building**

Thesis for a master's degree In the field of architecture and energy

By

Marzieh Kuchakpoor

Supervisor

Dr. Mehdi Abdi

Advisor

Dr. Heidar Madah

Septmber 2020