





معاونت پژوهش و فن آوری

به نام خدا

منشور اخلاق پژوهش

با یاری از خداوند سبحان و اعتقاد به این که عالم محضر خداست و همواره ناظر بر اعمال انسان و به منظور پاس داشت مقام بلند دانش و پژوهش و نظر به اهمیت جایگاه دانشگاه در اعتلای فرهنگ و تمدن بشری ما دانشجویان و اعضای هیئت علمی واحدهای دانشگاه آزاد اسلامی متعهد می گردیم اصول زیر را در انجام فعالیت های پژوهشی مد نظر قرار داده و از آن تخطی نکنیم:

- ۱- اصل حقیقت جویی: تلاش در راستای پی جویی حقیقت و وفاداری به آن و دوری از هرگونه پنهان سازی حقیقت.
- ۲- اصل رعایت حقوق: التزام به رعایت کامل حقوق پژوهشگران و پژوهیدگان (انسان، حیوان و نبات) و سایر صاحبان حق.
- ۳- اصل مالکیت مادی و معنوی: تعهد به رعایت کامل حقوق مادی و معنوی دانشگاه و کلیه همکاران پژوهش.
- ۴- اصل منافع ملی: تعهد به رعایت مصالح ملی و درنظر داشتن پیشبرد و توسعه کشور در کلیه مراحل پژوهش.
- ۵- اصل رعایت انصاف و امانت: تعهد به اجتناب از هرگونه جانب داری غیر علمی و حفاظت از اموال، تجهیزات و منافع در اختیار.
- ۶- اصل رازداری: تعهد به صیانت از اسرار و اطلاعات محرمانه افراد، سازمانها و کشور و کلیه افراد و نهادهای مرتبط با تحقیق.
- ۷- اصل احترام: تعهد به رعایت حریم ها و حرمت ها در انجام تحقیقات و رعایت جانب نقد و خودداری از هرگونه حرمت شکنی.
- ۸- اصل ترویج: تعهد به رواج دانش و اشاعه نتایج تحقیقات و انتقال آن به همکاران علمی و دانشجویان به غیر از مواردی که منع قانونی دارد.
- ۹- اصل پراخت: التزام به پراخت جویی از هرگونه رفتار غیر حرفه ای و اعلام موضوع نسبت به کسانی که حوزه علم و پژوهش را به شائبه های غیر علمی می آلاینند.

نام و نام خانوادگی

تاریخ و امضاء



دانشگاه آزاد اسلامی

واحد علوم و تحقیقات تهران

تعهد نامه اصالت رساله یا پایان نامه

اینجانب سید محسن رضایی نیا دانش آموخته مقطع کارشناسی ارشد، به شماره دانشجویی ۹۴۰۲۶۵۰۱۴ در رشته مهندسی مکانیک، گرایش تبدیل انرژی، که در تاریخ از پایان نامه خود تحت عنوان: "بهبود آسایش حرارتی در ساختمان و کاهش نوسانات دمای داخلی ساختمان با استفاده از مواد تغییر فازدهنده"، با کسب نمره "....." دفاع نموده‌ام بدینوسیله متعهد می‌شوم:

- ۱) این پایان نامه حاصل تحقیق و پژوهش انجام شده توسط اینجانب بوده و در مواردی که از دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران (اعم از پایان نامه، کتاب، مقاله و...) استفاده نموده‌ام، مطابق ضوابط و رویه‌های موجود، نام منبع مورد استفاده و سایر مشخصات آن را در فهرست ذکر و درج کرده‌ام.
- ۲) این پایان نامه قبلاً برای دریافت هیچ مدرک تحصیلی (هم سطح، پایین تر یا بالاتر) در سایر دانشگاه‌ها و موسسات آموزش عالی ارائه نشده است.
- ۳) چنانچه بعد از فراغت از تحصیل، قصد استفاده و هر گونه بهره‌برداری اعم از چاپ کتاب، ثبت اختراع و... از این پایان نامه داشته باشم، از حوزه معاونت پژوهشی واحد مجوزهای مربوطه را اخذ نمایم.
- ۴) چنانچه در هر مقطع زمانی خلاف موارد فوق ثابت شود، عواقب ناشی از آن را بپذیرم و واحد دانشگاهی مجاز است با اینجانب مطابق ضوابط و مقررات رفتار نموده و در صورت ابطال مدرک تحصیلی‌ام هیچگونه ادعایی نخواهم داشت.

نام و نام خانوادگی: سید محسن رضایی نیا

تاریخ و امضاء:



بدینوسیله تایید میشود پایان نامه آقای سید محسن رضایی نیا دانشجوی مقطع کارشناسی ارشد، رشته مهندسی مکانیک، تحت عنوان: "بهبود آسایش حرارتی در ساختمان و کاهش نوسانات دمای داخلی ساختمان با استفاده از مواد تغییر فازدهنده" از لحاظ محتوای علمی و فرمت ویرایش و نگارشی پایان نامه و بدون نقص به اینجانبان اساتید راهنما و مشاور تحویل گردیده است لذا انجام مراحل تسویه حساب و فارغ التحصیلی نامبرده بلامانع است.

نام و نام خانوادگی استاد / استادان راهنما	تاریخ	امضاء
---	-------	-------

۱- دکتر سیروس آقانعفی

۲-

نام و نام خانوادگی استاد / استادان مشاور	تاریخ	امضاء
--	-------	-------

۱- دکتر نادر دیزجی

۲-

نام و نام خانوادگی استاد / استادان داور	تاریخ	امضاء
---	-------	-------

۱- دکتر محمد نجفی

۲-

نام و نام خانوادگی مدیر گروه دکتر شهرام اعتمادی	تاریخ	امضاء
---	-------	-------



دانشگاه آزاد اسلامی
واحد علوم و تحقیقات تهران
دانشکده مکانیک، برق و کامپیوتر، گروه مکاترونیک

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
در رشته مهندسی مکانیک (M.Sc)
گرایش: تبدیل انرژی

عنوان:

بهبود آسایش حرارتی در ساختمان و کاهش نوسانات دمای داخلی ساختمان با
استفاده از مواد تغییر فازدهنده

استاد راهنما:

دکتر سیروس آقاجانی

استاد مشاور:

دکتر نادر دیزجی

نگارش:

سید محسن رضایی نیا

بهار ۱۳۹۹

سپاسگزاری

سپاس از این دوستان که قدرت تلاش برای انجام و به پایان رساندن این پایان نامه را به من عطا فرمود.

سپاس از جناب آقای دکتر سیروس آقابنحی بابت راهنمایی های دلسوزانه ایشان. همچنین از جناب آقای مهندس نادر دیزجی که زحمات مشاوری را بر عهده داشتند.

کمال تشکر را دارم. به راستی که بدون راهنمایی ها، دگرگونی ها و تجربه های آن بزرگواران، به انجام رساندن این پروژه، بسیار سخت و طاقت فرسا

می نمود.

تقدیم بہ

این مطالعہ و از ہمہ مهم تر، آموختہ ہایم را تقدیم می کنم بہ ...

محضر ارزشمند پدر و مادر عزیزم بہ خاطر ہمہ ی تلاشہای محبت آمیزی کہ در دوران مختلف زندگی ام انجام دادہ اند و

با مہربانی چگونہ زیستن را بہ من آموختہ اند.

چکیده ۱

فصل اول

مقدمه و کلیات پژوهش

۱-۱ مقدمه ۳

۲-۱ دامنه و اهداف ۶

۳-۱ روش کار ۷

۴-۱ ساختار پژوهش ۷

فصل دوم

ادبیات و پیشینه پژوهش

۱-۲ مقدمه ۱۰

۲-۲ انرژی در ساختمان ۱۰

۳-۲ مصرف انرژی در ساختمان ها ۱۴

۴-۲ ساختمان ها با مصرف انرژی کم ۱۵

۱-۴-۲ جهت گیری مناسب ۱۵

۲-۴-۲ مشخصه های سطح ۱۵

۳-۴-۲ تهویه طبیعی ۱۶

۴-۴-۲ جرم حرارتی ۱۶

۵-۲ مواد تغییر فاز دهنده ۱۷

۱-۵-۲ تکنیک های انتخاب PCM ۱۸

۲-۵-۲ دسته بندی مواد PCM ۱۹

۳-۵-۲ مواد تغییر فاز دهنده ی ارگانیک ۱۹

۲-۵-۴ مواد تغییر فاز دهنده ی غیر ارگانیک	۲۰
۲-۶ پیشینه پژوهش های انجام شده	۲۰

فصل سوم

آشنایی با مدل سازی گرمایی فرآیندهای تغییر فاز و تئوری حل مسئله

۳-۱ مقدمه	۲۴
۳-۲ روش الگوریتم انرژی پلاس	۲۵
۳-۲-۱ روش الگوریتم تفاضل محدود رسانش (CFD)	۲۵
۳-۲-۲ روش الگوریتم دمای هوای منطقه	۲۸
۳-۳ استاندارد آسایش گرمایی	۳۱
۳-۳-۱ اهمیت آسایش دمایی	۳۱
۳-۳-۲ استانداردهای آسایش گرمایی	۳۱
۳-۳-۳ مدل‌های آسایش گرمایی	۳۲
۳-۳-۴ استاندارد ASHRAE Standard 55	۳۳
۳-۴ داده های ورودی	۳۵
۳-۴-۱ مشخصات آب و هوایی	۳۵
۳-۴-۲ مشخصات هندسی ساختمان	۳۶
۳-۴-۳ مشخصات ساختاری ساختمان	۴۰
۳-۴-۴ مشخصات کاربری ساختمان	۴۶
۳-۴-۵ مشخصات سیستمهای گرمایش و سرمایش ساختمان	۴۶
۳-۵ مشخصات ماده تغییر فاز دهنده	۴۶

فصل چهارم

تجزیه و تحلیل داده ها

۴-۱ مقدمه	۵۳
-----------------	----

۵۳	۲-۴ جمع بندی و تبیین نتایج تحقیق
۵۳	۱-۲-۴ ساختمان با مصالح متداول بدون PCM
۵۴	۲-۲-۴ ساختمان با مصالح شامل BioPCM® M91/Q21
۵۴	۳-۲-۴ ساختمان با مصالح شامل BioPCM® M91/Q23
۵۵	۴-۲-۴ ساختمان با مصالح شامل BioPCM® M91/Q25
۵۵	۵-۲-۴ ساختمان با مصالح شامل BioPCM® M91/Q27
۵۶	۳-۴ نمودارهای خروجی نرم افزار
۵۶	۱-۳-۴ انرژی مصرفی سالانه کل برحسب (Kwh) برای ساختمان نمونه با چهار نوع PCM و بدون PCM
۵۸	۲-۳-۴ انرژی الکتریکی مصرفی سالانه کل به تفکیک محل مصرف برحسب (Kwh) برای ساختمان نمونه با چهار نوع PCM و بدون PCM
۶۰	۳-۳-۴ انرژی گاز مصرفی سالانه کل به تفکیک محل مصرف برحسب (Kwh) برای ساختمان نمونه با چهار نوع PCM و بدون PCM
۶۲	۴-۳-۴ انرژی گرمایشی کل سالانه به تفکیک نوع سوخت برحسب (Kwh) برای ساختمان نمونه با چهار نوع PCM و بدون PCM
۶۴	۵-۳-۴ انرژی سرمایشی کل سالانه به تفکیک نوع سوخت برحسب (Kwh) برای ساختمان نمونه با چهار نوع PCM و بدون PCM
۶۶	۶-۳-۴ توان نامی سالانه تجهیزات مرکزی سرمایش و گرمایش برحسب (w) برای ساختمان نمونه با چهار نوع PCM و بدون PCM
۶۸	۷-۳-۴ درصد صرفه جویی انرژی مصرفی سالانه کل نسبت به حالت پایه
۶۸	۸-۳-۴ درصد صرفه جویی انرژی الکتریکی مصرفی سالانه کل نسبت به حالت پایه
۷۰	۹-۳-۴ درصد صرفه جویی انرژی گاز مصرفی سالانه کل نسبت به حالت پایه
۷۰	۱۰-۳-۴ تعداد ساعات عدم آسایش ساکنین طبق استاندارد ASHRAE 55-2004
۷۳	۴-۴ بررسی اقتصادی کاربری مواد تغییر فاز دهنده
۷۳	۱-۴-۴ برآورد هزینه انرژی مصرفی در ساختمان
۸۰	۲-۴-۴ بررسی هزینه های اجرای ماده تغییر فاز دهنده

۵-۴	بررسی نوسانات دمایی با توجه به دمای محیط.....	۸۲
-----	---	----

فصل پنجم

نتایج و پیشنهادات پژوهش

۱-۵	بحث و بررسی و مقایسه نتایج.....	۸۵
۲-۵	پیشنهادهات.....	۸۶
	منابع و مأخذ.....	۸۷
	منابع فارسی.....	۸۸
	منابع انگلیسی.....	۸۹
	چکیده انگلیسی.....	۹۱

جدول ۱-۲	مزایا و معایب مواد تغییر فاز دهنده ی ارگانیک و غیر ارگانیک	۱۹
جدول ۲-۲	برخی از مواد تغییر فاز دهنده ی ارگانیک	۱۹
جدول ۲-۳	نمونه ای از مواد تغییر فاز دهنده ی غیر ارگانیک	۲۰
جدول ۱-۳	شاخصه های هفتگانه احساس گرمایی و رضایتمندی گرمایی بر اساس استاندارد اشری	۳۲
جدول ۲-۳	نمونه ای از داده های آب و هوایی و جغرافیایی شهرهای ایران	۳۶
جدول ۳-۳	لایه تشکیل دهنده اجزای ساختمان نمونه با مصالح متداول	۴۱
جدول ۳-۴	لایه تشکیل دهنده اجزای ساختمان نمونه با مصالح شامل BioPCM® M91/Q21	۴۲
جدول ۳-۵	لایه تشکیل دهنده اجزای ساختمان نمونه با مصالح شامل BioPCM® M91/Q23	۴۳
جدول ۳-۶	لایه تشکیل دهنده اجزای ساختمان نمونه با مصالح شامل BioPCM® M91/Q25	۴۴
جدول ۳-۷	لایه تشکیل دهنده اجزای ساختمان نمونه با مصالح شامل BioPCM® M91/Q27	۴۵
جدول ۳-۸	جدول مقادیر دما و آنتالپی برای BioPCM® M91/Q21 و BioPCM® M91/Q23	۵۰
جدول ۳-۹	جدول مقادیر دما و آنتالپی برای BioPCM® M91/Q25 و BioPCM® M91/Q27	۵۱
جدول ۴-۱	برآورد انرژی و تجهیزات ساختمان بدون استفاده از مواد تغییر فاز دهنده	۵۴
جدول ۴-۲	برآورد انرژی و تجهیزات ساختمان با استفاده از BioPCM® M91/Q21	۵۴
جدول ۴-۳	برآورد انرژی و تجهیزات ساختمان با استفاده از BioPCM® M91/Q23	۵۵
جدول ۴-۴	برآورد انرژی و تجهیزات ساختمان با استفاده از BioPCM® M91/Q25	۵۵
جدول ۴-۵	برآورد انرژی و تجهیزات ساختمان با استفاده از BioPCM® M91/Q27	۵۶
جدول ۴-۶	توان نامی تجهیزات سرمایشی و گرمایشی برای حالات مختلف	۶۶
جدول ۴-۷	خلاصه نتایج شبیه سازی به تفکیک نوع مصالح، نوع گزارش و درصد و میزان صرفه جویی	۷۲
جدول ۴-۸	برآورد هزینه گاز مصرفی برای حالت بدون ماده تغییر فازدهنده	۷۴
جدول ۴-۹	برآورد هزینه گاز مصرفی برای حالت کاربرد BioPCM® M91/Q21	۷۵
جدول ۴-۱۰	برآورد هزینه گاز مصرفی برای حالت کاربرد BioPCM® M91/Q23	۷۶
جدول ۴-۱۱	برآورد هزینه گاز مصرفی برای حالت کاربرد BioPCM® M91/Q25	۷۷
جدول ۴-۱۲	برآورد هزینه گاز مصرفی برای حالت کاربرد BioPCM® M91/Q27	۷۸
جدول ۴-۱۳	برآورد هزینه برق مصرفی برای حالات مختلف	۷۹
جدول ۴-۱۴	برآورد هزینه مصرفی جهت مواد تغییر فازدهنده مختلف	۷۹
جدول ۴-۱۵	برآورد هزینه مصرفی جهت مواد تغییر فازدهنده مختلف	۸۱
جدول ۴-۱۶	دما و ساعات مختلف برای آسایش حرارتی در زمستان برای مواد تغییر فازدهنده مختلف	۸۲
جدول ۴-۱۷	دما و ساعات مختلف برای آسایش حرارتی در تابستان برای مواد تغییر فازدهنده مختلف	۸۳

نمودار ۴ - ۱ انرژی مصرفی سالانه کل برحسب (Kwh) برای ساختمان نمونه با چهار نوع PCM و بدون PCM.....	۵۷
نمودار ۴ - ۲ انرژی الکتریکی مصرفی سالانه کل به تفکیک محل مصرف برحسب (Kwh) برای ساختمان نمونه با چهار نوع PCM و بدون PCM.....	۵۹
نمودار ۴ - ۳ انرژی گاز مصرفی سالانه کل به تفکیک محل مصرف برحسب (Kwh) برای ساختمان نمونه با چهار نوع PCM و بدون PCM.....	۶۱
نمودار ۴ - ۴ انرژی گرمایشی کل سالانه به تفکیک نوع سوخت برحسب (Kwh) برای ساختمان نمونه با چهار نوع PCM و بدون PCM.....	۶۳
نمودار ۴ - ۵ انرژی سرمایشی کل سالانه به تفکیک نوع سوخت برحسب (Kwh) برای ساختمان نمونه با چهار نوع PCM و بدون PCM.....	۶۵
نمودار ۴ - ۶ توان نامی سالانه تجهیزات مرکزی سرمایش و گرمایش برحسب (w) برای ساختمان نمونه با چهار نوع PCM و بدون PCM.....	۶۷
نمودار ۴ - ۷ درصد صرفه جویی انرژی مصرفی سالانه کل نسبت به حالت پایه.....	۶۸
نمودار ۴ - ۸ درصد صرفه جویی انرژی الکتریکی مصرفی سالانه کل نسبت به حالت پایه.....	۶۹
نمودار ۴ - ۹ درصد صرفه جویی انرژی گاز مصرفی سالانه کل نسبت به حالت پایه.....	۷۰
نمودار ۴ - ۱۰ تعداد ساعات عدم آسایش ساکنین طبق استاندارد ASHRAE 55-2004.....	۷۱
نمودار ۴ - ۱۱ مقایسه بار حرارتی در BioPCM® M91/Q21 با توجه به جانمایی در ساختمان.....	۸۰
نمودار ۴ - ۱۲ نمودار تغییرات دما در ۲۴ ساعت زمستانی مواد تغییر فاز دهنده.....	۸۱
نمودار ۴ - ۱۳ نمودار تغییرات دما در ۲۴ ساعت تابستانی مواد تغییر فاز دهنده.....	۸۲

- شکل ۱ - ۱ مصرف انرژی اولیه جهان در سال ۲۰۱۵ (معادل یک میلیون تن)..... ۴
- شکل ۱ - ۲ مصرف انرژی اولیه در سال ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵ میلادی..... ۴
- شکل ۱ - ۳ مصرف انرژی اولیه از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۷ میلادی..... ۵
- شکل ۲ - ۱ مصرف انرژی در بخش‌های مختلف..... ۱۰
- شکل ۲ - ۲ مصرف انرژی اولیه در بخش‌های مختلف در کشور ایالات متحده آمریکا..... ۱۱
- شکل ۲ - ۳ مصرف انرژی اولیه در ساختمان‌ها، تجاری و سکونی ایالات متحده آمریکا..... ۱۲
- شکل ۲ - ۴ سهم مصرف انرژی بخش‌های مختلف ساختمان مسکونی در ایالات متحده آمریکا..... ۱۳
- شکل ۲ - ۵ مصرف انرژی بخش‌های مختلف ساختمان اداری در هنگ کنگ..... ۱۳
- شکل ۲ - ۶ مصرف انرژی بخش‌های مختلف ساختمان ۱۳ طبقه در برلین..... ۱۴
- شکل ۲ - ۷ نمای شماتیک سیستم تهویه طبیعی..... ۱۶
- شکل ۲ - ۸ مقایسه ظرفیت ذخیره انرژی در آب با مواد تغییر فاز دهنده..... ۱۸
- شکل ۳ - ۱ تعادل گرمایی سطح خارجی..... ۲۸
- شکل ۳ - ۲ تعادل گرمایی سطح داخلی..... ۲۹
- شکل ۳ - ۳ تعادل گرمایی هوای منطقه..... ۲۹
- شکل ۳ - ۴ روش محدوده آسایش گرافیکی: بازه قابل قبول دما و رطوبت برای شرایط زمستانی..... ۳۴
- شکل ۳ - ۵ روش محدوده آسایش گرافیکی: بازه قابل قبول دما و رطوبت برای شرایط تابستانی..... ۳۴
- شکل ۳ - ۶ نمای شمالی ساختمان مورد مطالعه..... ۳۷
- شکل ۳ - ۷ نمای جنوبی ساختمان مورد مطالعه..... ۳۷
- شکل ۳ - ۸ نمای شرقی ساختمان مورد مطالعه..... ۳۸
- شکل ۳ - ۹ نمای ایزومتریک ساختمان مورد مطالعه..... ۳۸
- شکل ۳ - ۱۰ پلان تپ طبقات ساختمان مورد مطالعه..... ۳۹
- شکل ۳ - ۱۱ BioPCM ساخت شرکت Phase Change Energy Solutions..... ۴۷
- شکل ۳ - ۱۲ عملکرد تغییر فاز، ماده تغییر فازدهنده با دمای تغییر فاز 21C..... ۴۸
- شکل ۳ - ۱۳ عملکرد تغییر فاز، ماده تغییر فازدهنده با دمای تغییر فاز 23C..... ۴۸
- شکل ۳ - ۱۴ عملکرد تغییر فاز، ماده تغییر فازدهنده با دمای تغییر فاز 25C..... ۴۸
- شکل ۳ - ۱۵ عملکرد تغییر فاز، ماده تغییر فازدهنده با دمای تغییر فاز 27C..... ۴۹

فهرست علائم

لاتین:

C_p	گرمای ویژه ($J/kg.C^{\circ}$)
$C_{p,s}$	گرمای ویژه در حالت جامد ($J/kg.C^{\circ}$)
$C_{p,l}$	گرمای ویژه در حالت مایع ($J/kg.C^{\circ}$)
H_s	آنتالپی در حالت جامد (J/kg)
H_l	آنتالپی در حالت مایع (J/kg)
r	گرمای نهان تغییر فاز (J/kg)
C_z	ظرفیت حرارتی منطقه ($J/kg.C^{\circ}$)
$\sum_{i=1}^{Nsl} Q_i$	مجموع بارهای داخلی (W)
m_{inf}	حجم نفوذ هوای بیرون
T_z	دمای منطقه (C°)

یونانی:

ρ	چگالی (kg/m^3)
ε	نصف بازه دمایی تغییر فاز (K)
Q_{sys}	انرژی خروجی سیستم (W)
δ	گام

بالانویس:

Nsl	تعداد ناحیه
δt	گام زمانی

زیرنویس:

l	مایع
s	جامد
z	منطقه (Zone)

inf	هوای نفوذی
si	سطح مشترک با منطقه کناری
zi	منطقه کناری
sys	سیستم
supply	وارد شده
∞	بیرون (بینهایت)

فهرست علایم اختصاری

HVAC	Heating, Ventilation, and Air Conditioning
PCM	Phase Change Material
CTE	Coefficient of Thermal Expansion
CFD	Computational Fluid Dynamics
ANSI	American National Standards Institute
PMV	Predicted Mean Vote
PPD	Predicted Percentage of Dissatisfied
Clo	Clothing Insulation
Met	Metabolic Rate
TMY	Typical Meteorological Year
WMO	World Meteorological Organization
COP	Coefficient of Performance
Kwh	Kilowatt-hour

چکیده

پژوهش حاضر به ارزیابی تاثیر مواد تغییر فاز دهنده بر روی بهبود آسایش حرارتی و کاهش ساعات عدم آسایش در محیط داخلی یک ساختمان در شهر تهران می پردازد. استفاده از ماده تغییر فاز دهنده در ساختمان منجر به افزایش صرفه جویی در مصرف انرژی و آسودگی در محل اقامت می شود. در این پژوهش از ۴ ماده تغییر فاز دهنده (Bio Pcm 21C-23C-25C-27C) که سازگار با محیط زیست هستند و ظرفیت گرمایی یکسانی دارند (91) kJ/kg استفاده شده و به صورت لایه ای در میان لایه های تشکیل دهنده دیوار قرار گرفته شده است. برای این منظور یک ساختمان نمونه چهار طبقه شخصی با مساحت کل ۲۲۸۰ متر مربع که هر طبقه آن ۵۷۰ متر مربع می باشد در نظر گرفته شده است. برای شبیه سازی حرارتی دینامیکی مساله از نرم افزار انرژی پلاس استفاده می کند.

نتایج به دست آمده نشان می دهد که استفاده از مواد تغییر فاز دهنده باعث کاهش ساعات عدم آسایش خواهد شد و نمودار صرفه جویی در مصرف انرژی چه گرمایش و سرمایش به تفکیک مشخص شده است. بیشترین مقدار صرفه جویی در گرمایش به مقدار ۲۱/۶۷٪ رسیده ولی در سرمایش چندان موفق نبوده است. ساعات آسایش حرارتی نیز به مقدار ۱۸۰ ساعت افزایش یافت. در انتها نیز به بررسی اقتصادی و راه اندازی این سیستم پرداخته و با شرایط هزینه انرژی در تهران مقایسه شده است.

واژه های کلیدی: ماده تغییر فاز دهنده، شبیه سازی دینامیکی حرارتی، آسایش حرارتی.

فصل اول

مقدمه و کلیات پژوهش

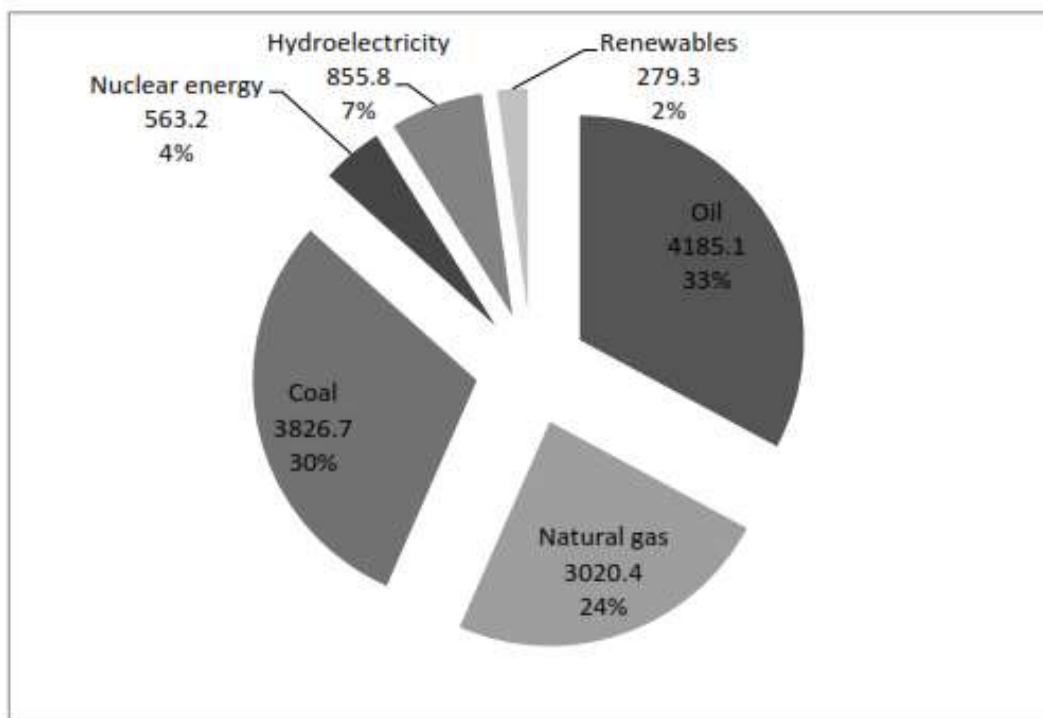
۱-۱ مقدمه

انرژی اولیه^۱، که در طبیعت موجود است، تقاضای انرژی جهان را تامین می کند. انرژی اولیه را می توان به صورت منبع انرژی تجدید پذیر مانند باد، خورشید و اورانیوم و یا منبع انرژی تجدید ناپذیر مانند نفت، گاز و ذغال سنگ یافت.

مصرف انرژی اولیه در سال ۲۰۱۷ میلادی، ۲,۳٪ نسبت به سال پیشین افزایش یافته است و شیب رشد نیز برابر با ۱,۸٪ تخمین زده شده است [۱].

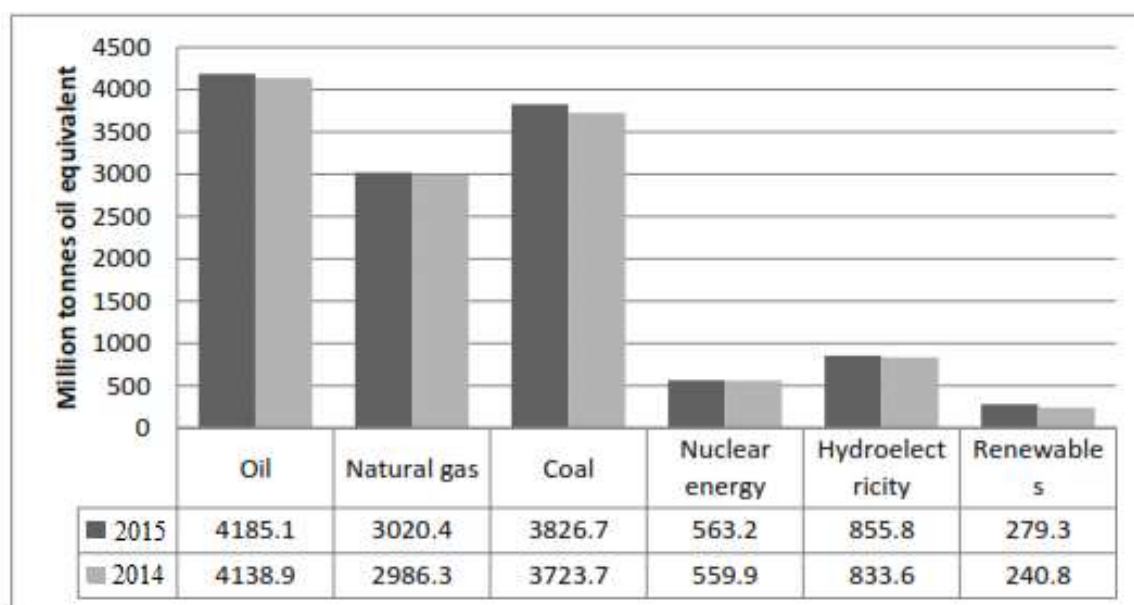
میزان تولید نفت و شیب افزایش تولید نفت با میزان مصرف انرژی جهانی و شیب افزایش مصرف انرژی جهانی مطابقت ندارد [۱]. همان طور که ذکر شد، تولید نفت با رشد مصرف جهانی هماهنگ نیست. تولید مصرف جهانی انرژی با ضریب ۱,۴٪ در حال رشد می باشد در صورتی که تولید نفت با ضریب ۰,۶٪ در حال رشد است. با این حال همچنان نفت به عنوان مهم ترین منبع تامین انرژی جهان می باشد که سهم ۳۳٪ از کل سبد انرژی جهان را دارد. میزان تولید گاز و مصرف گاز نیز به ترتیب با ضریب ۱,۱٪ و ۱,۴٪ در حال افزایش است [۱]. همچنین میزان رشد مصرف ذغال سنگ، انرژی هسته ای و انرژی های تجدیدپذیر به ترتیب برابر با ۰,۳٪، ۰,۹٪ و ۲,۷٪ می باشد. در بین انواع منابع انرژی، ذغال سنگ بیشترین نرخ رشد مصرف را دارا می باشد. می توان سهم هر یک از منابع اولیه انرژی در تامین انرژی جهان در سال ۲۰۱۵ میلادی را در شکل (۱-۱) مشاهده نمود.

¹ Primary energy



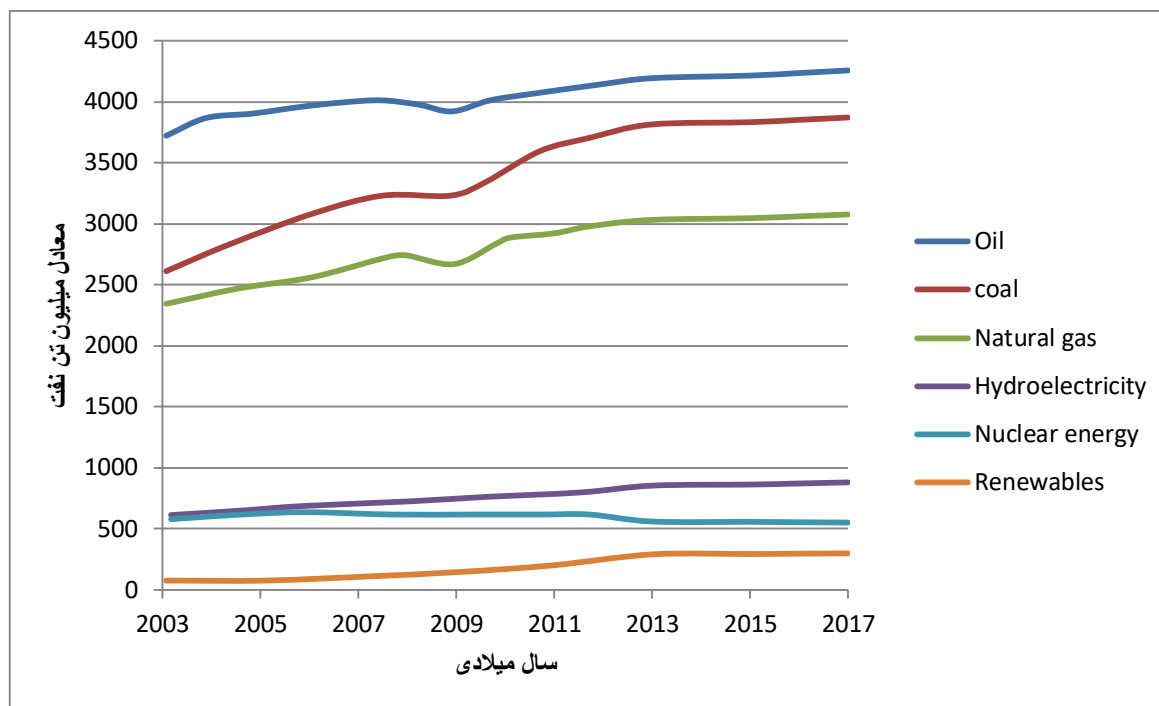
شکل ۱-۱ مصرف انرژی اولیه جهان در سال ۲۰۱۵ (معادل یک میلیون تن) [۱]

مقایسه میزان مصرف انرژی در سال ۲۰۱۴ میلادی و ۲۰۱۵ میلادی در شکل (۱-۲) نشان داده شده است [۱].



شکل ۱-۲ مصرف انرژی اولیه در سال ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵ میلادی [۱]

کمترین و بیشترین نرخ رشد مصرف انرژی از سال ۲۰۱۴ به ۲۰۱۵ میلادی به ترتیب مربوط به انرژی هسته ای با ۰,۶٪ و انرژی های تجدیدپذیر با ۱۶٪ می باشد. نفت و انرژی های تجدید پذیر دارای بیشترین و کمترین سهم در مصرف انرژی سال های ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵ میلادی می باشد. روند مصرف انرژی اولیه برای چهارده سال اخیر در شکل (۱-۳) نشان داده شده است.



شکل ۱-۳ مصرف انرژی اولیه از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۷ میلادی [۱]

همان طور که می توان مشاهده نمود، میزان مصرف انواع انرژی از سال ۲۰۰۳ به بعد افزایش یافته است به غیر از انرژی هسته ای که در برخی بره های زمانی ثابت و رد برخی بره ها نزولی بوده است. دو راه حل برای کاهش نتایج نامطلوب مصرف سوخت فسیلی پیشنهاد شده است. پیشنهاد اول بهبود سیستم های مصرف انرژی و افزایش راندمان آن ها به منظور کاهش مصرف سوخت و دومی استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر می باشد.

هر چند مقدار انرژی استحصال شده از منابع انرژی تجدیدپذیر اخیرا افزایش یافته است، اما همچنان سهم این نوع از انرژی از سبد مصرف انرژی جهانی بسیار کم می باشد و این افزایش تاثیر چندانی را به همراه نداشته است. با توجه به محاسبات و نمودارهای ارایه شده مدت زمان بسیاری طول خواهید کشید تا سهم انرژی های تجدیدپذیر در سبد مصرف انرژی جهانی به مقیاس قابل مقایسه ای با سهم سوخت های فسیلی برسد. در این حالت اهمیت صرفه جویی در مصرف انرژی و بهینه سازی سیستم های مصرف کننده انرژی درک می شود.

ساختمان ها حدود ۴۰٪ از انرژی اولیه تولید شده در جهان را مصرف می کنند. سیستم های گرمایش و سرمایش (به طور کلی تهویه مطبوع) مهم ترین مصرف کننده های انرژی در ساختمان ها می باشند. فقط مصرف انرژی تجهیزات HVAC در حدود ۱۵٪ می باشد [۲]. سیستم های سرمایش غیر فعال، که در ادامه بیش تر مورد بررسی قرار خواهند گرفت، به منظور کاهش مقدار چشمگیری از مصرف انرژی ساختمان ها اخیرا مورد توجه قرار گرفته است.

حقیقتا ساختمان های ساخته شده در کشور ما سازگار محیط زیست^۱ نمی باشند و در عین مصرف انرژی بالای ساختمان ها نسبت به استانداردهای جهانی، آسایش حرارتی در آن ها نامطلوب می باشد. به طور ویژه این ساختمان ها از سیستم های سرمایشی و گرمایشی ناکارآمدی استفاده می کنند. در طی تابستان دمای هوای داخلی محیط به راحتی افزایش می یابد. نکات مربوط به مصرف انرژی به ندرت توسط سازنده و ساکنان مد نظر قرار می گیرد. هر چند اخیرا آیین نامه هایی در زمینه مصرف انرژی ساختمان ها ارایه شده است و سازندگان ملزم به رعایت موارد ذکر شده در این آیین نامه ها می باشند اما موارد در نظر گرفته شده تنها برای رفع انتظارات حداقلی می باشد و به هیچ وجه کافی نیستند. از این رو، زمینه های تحقیقاتی بسیار زیادی به منظور یافتن تکنیک ها و تکنولوژی هایی برای کاهش مصرف انرژی و افزایش آسایش حرارتی در ساختمان ها پیش روی محققان قرار دارد.

هدف اصلی پژوهش حاضر بررسی تاثیر استفاده از مواد تغییر فاز دهنده بر روی بهبود آسایش حرارتی و کاهش نوسانات دمایی هوای داخل ساختمان به عنوان یک سیستم سرمایش غیر فعال در کشور ایران می باشد. برای شبیه سازی بخش انرژی از نرم افزارهای تجاری موجود استفاده خواهد شد و شبیه سازی ها برای یک ساختمان نمونه انجام می گیرد.

۱-۲ دامنه و اهداف

پژوهش حاضر به طور عمده بر روی تعیین تاثیر استفاده از مواد تغییر فاز دهنده^۲ بر روی دمای داخلی ساختمان در یک ساختمان نمونه در کشور ایران و مشخصا شهر تهران تمرکز دارد. اهداف اصلی پژوهش حاضر به صورت زیر می باشد:

❖ تعیین ساختمان هایی که عمدتا در کشور استفاده می شوند یا به عبارت دیگر تیپ ساختمان های غالب در کشور

^۱ environmental friendly

^۲ phase change materials (PCMs)

- ❖ پیدا کردن نرم افزار تجاری مناسب برای شبیه سازی مصرف انرژی در ساختمان که توانایی مدل کردن مواد تغییر فاز دهنده را داشته باشد.
- ❖ انتخاب ماده تغییر فاز دهنده مناسب با آب و هوای مورد بررسی
- ❖ تعیین اثر ماده تغییر فاز دهنده بر روی آسایش حرارتی و نوسانات هوای داخل اتاق
- ❖ امکان سنجی اقتصادی

۳-۱ روش کار

- برای رسیدن به اهداف ذکر شده در بالا و مراحل زیر انجام خواهند شد:
- ❖ گزارش های آماری ساختمان با جزییات بررسی خواهد شد که پارامترهای موثر در بار ساختمان و نوسانات دمایی بررسی گردد.
- ❖ ارزیابی کردن نرم افزارهای مختلف به منظور تعیین نرم افزار تجاری قدرتمند و پرکاربرد که توانایی شبیه سازی مواد تغییر فاز دهنده را داشته باشد. برای این منظور سعی می شود یک مقایسه ساده بین نرم افزارهای کاربردی تر انجام شود. رابط کاربردی بهتر، قابلیت شبیه سازی مستقیم مواد تغییر فاز دهنده و منبع باز بودن مهم ترین معیارهای ارزیابی خواهند بود.
- ❖ مواد تغییر فاز دهنده تجاری موجود در بازار که بیشتر مورد استفاده قرار می گیرند بررسی می شوند تا ماده تغییر فاز دهنده متناسب با شرایط آب و هوایی منطقه مورد بررسی انتخاب شوند. دمای تغییر فاز یا دمای ذوب و همچنین ظرفیت حرارتی نهان از شاخصه های اصلی انتخاب ماده مناسب می باشد. علاوه بر این، شبیه سازی حرارتی برای ساختمان نمونه انجام خواهد شد. این مدل سازی با استفاده از نرم افزار مدل سازی انرژی پلاس که انتخاب شده است، انجام می شود.
- ❖ در نهایت یک امکان سنجی اقتصادی ارایه شود.

۴-۱ ساختار پژوهش

در فصل اول به بررسی کلیات پژوهش پرداخته شده است. در فصل دوم تحت عنوان پیشینه پژوهش، به بررسی و تجزیه و تحلیل مصرف انرژی در ساختمان ها با اتکا بر پژوهش های قبلی پرداخته شده است. علاوه بر این، ساختمان ها با مصرف انرژی کم به طور خلاصه تشریح شده اند و برخی تکنیک های سرمایش

غیرفعال تشریح شده اند. به مرور و بررسی پژوهش های انجام شده در زمینه ساختمان ها با مصرف انرژی کم پرداخته شده است. علاوه بر این مصرف انرژی در ساختمان ها ارزیابی شده است.

در فصل سوم المان های پرکاربرد ساختمان مورد بررسی قرار می گیرند. در مورد شرایط آب و هوایی منطقه مورد نظر بررسی می شود و ساختمان نمونه مورد بررسی تعیین می شود. در ادامه این بخش به بررسی مواد تغییر فاز دهنده پرداخته می شود. چهار نوع ماده تغییر فاز دهنده که پرکاربردتر می باشند بررسی و مقایسه می شوند. و در ادامه این بخش به صورت گسترده نرم افزارهای شبیه سازی انرژی معرفی می شوند. در گام بعدی از این فصل به شبیه سازی حرارتی دینامیکی ساختمان با استفاده از ماده تغییر فاز دهنده و نرم افزار انتخاب شده پرداخته می شود. پارامترهای شبیه سازی معرفی و نحوه اثر گذاری هر یک بررسی می شود.

در فصل چهارم به ارایه نتایج و تحلیل آن ها پرداخته می شود. علاوه بر این تحلیل هزینه چرخه عمر برای بررسی امکان سنجی اقتصادی در این بخش انجام می شود.
در فصل پنجم به جمع بندی و نتیجه گیری پرداخته خواهد شد.

فصل دوم

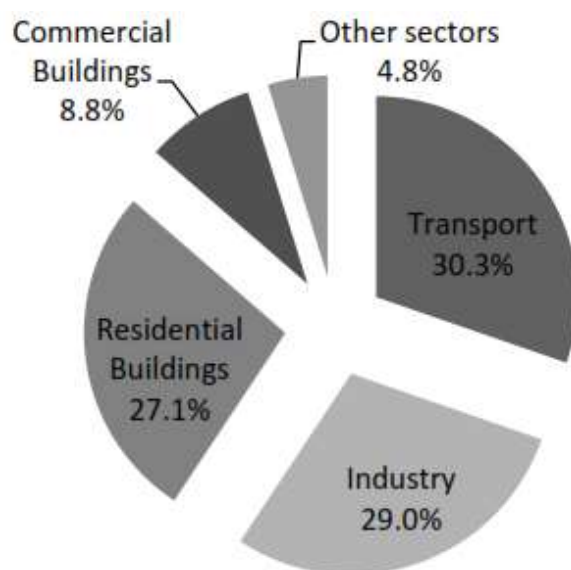
ادبیات و پیشینه پژوهش

۱-۲ مقدمه

در این بخش به ارایه اطلاعاتی پیرامون مصرف انرژی در ساختمان پرداخته می شود. علاوه بر این، برخی تکنیک های سرمایش غیر فعال به صورت مختصر معرفی می گردند. همچنین پژوهش های انجام شده در زمینه ساختمان های با مصرف انرژی کم در انتهای فصل بررسی می شوند.

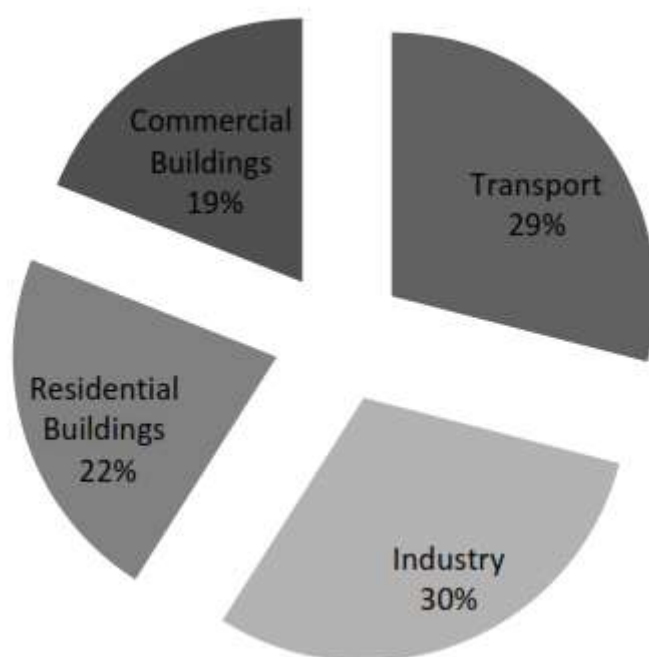
۲-۲ انرژی در ساختمان

الکتریسیته و حرارت دو منبع انرژی می باشند که برای کاربردهای مختلفی نظیر گرمایش، سرمایش، روشنایی، تهویه مطبوع و غیره مورد استفاده قرار می گیرند. میزان کل انرژی مورد استفاده در زمین برابر با ۷۲۰۹ Mtoe (مگا تن معادل نفت) می باشد [۱]. ساختمان های تجاری و ساختمان های مسکونی به ترتیب ۶۳۸ Mtoe و ۱۹۵۱ Mtoe انرژی مصرف می کنند که در حدود ۴۰٪ کل انرژی می باشد [۱] که بیشترین سهم مصرف انرژی نسبت به سایر موارد می باشد. مقدار مصرف انرژی در بخش های مختلف در شکل (۱-۲) نشان داده شده است.



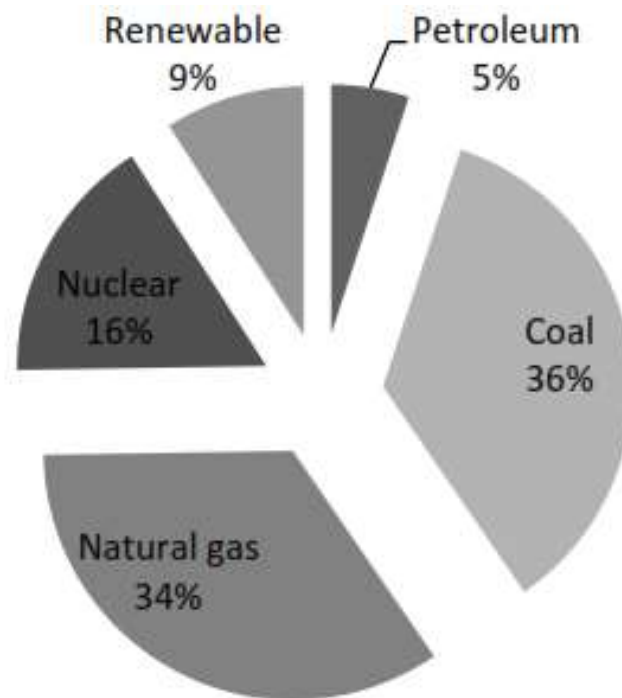
شکل ۱-۲ مصرف انرژی در بخش های مختلف [۳]

با توجه به شکل (۲-۱) مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی و ساختمان‌های تجاری مجموعاً در حدود ۳۶٪ از مصرف انرژی کل می‌باشد. علاوه بر این، برخی از مقادیر انرژی مصرف در نظر گرفته شده در صنعت در واقع مربوط به بخش مصرف خانگی می‌باشد. به همین دلیل مصرف انرژی در بخش ساختمان‌ها در حدود ۴۰٪ در نظر گرفته می‌شود [۳]. همچنین ۵۰٪ از کل سوخت فسیلی تولید شده برای تامین انرژی مورد نیاز ساختمان‌ها مصرف می‌شود. بخش خانگی از این حیث بزرگترین سهم را در مصرف سوخت‌های فسیلی در مقایسه با بخش حمل و نقل و صنعت دارد به طوری که هر یک از بخش‌های نام برده شده سهم کمتر از ۲۵٪ را دارا می‌باشند [۴]. آمارهای فوق ممکن است در برخی کشورها حتی شرایط حادثتری داشته باشند. برای مثال در ایالات متحده آمریکا میزان مصرف انرژی در بخش خانگی بیش از ۴۱٪ از میزان کل انرژی اولیه مصرفی در آمریکا می‌باشد [۵]. در شکل (۲-۲) میزان مصرف انرژی برای بخش‌های مختلف در کشور ایالات متحده آمریکا آورده شده است.



شکل ۲-۲ مصرف انرژی اولیه در بخش‌های مختلف در کشور ایالات متحده آمریکا [۵]

همچنین نوع انرژی مصرفی در ساختمان‌های مسکونی و تجاری ایالات متحده آمریکا نیز در شکل (۲-۳) نشان داده شده است [۵].

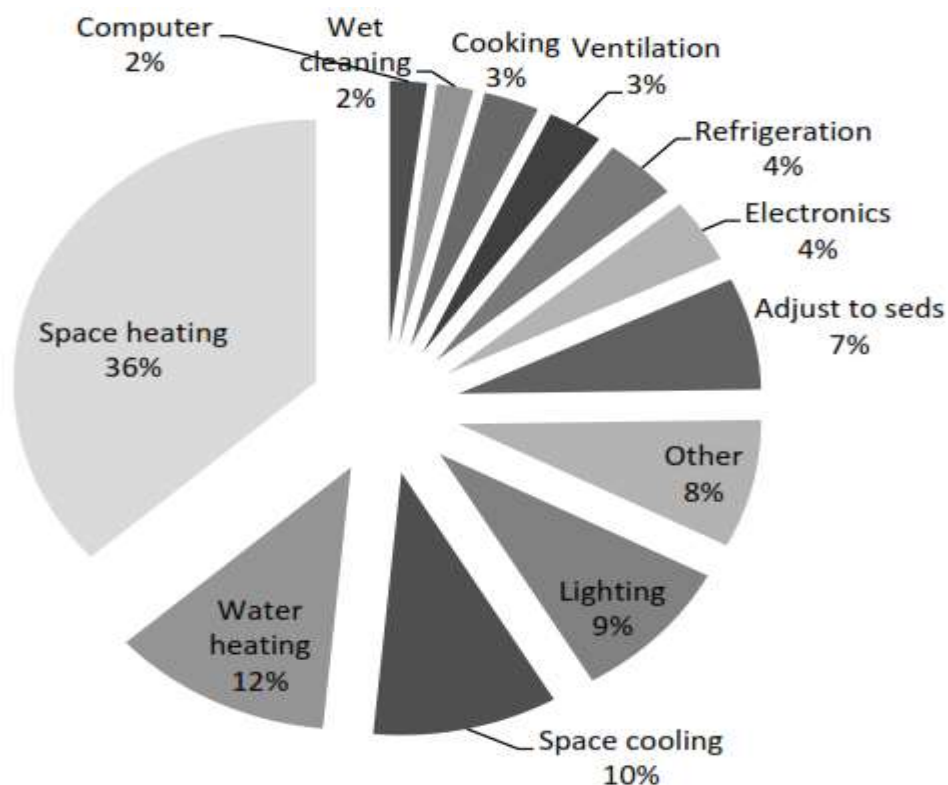


شکل ۲-۳ مصرف انرژی اولیه در ساختمان های تجاری و مسکونی ایالات متحده آمریکا [۵]

همان طور که مشاهده می شود حتی در کشور صنعتی و مدرنی نظیر آمریکا نیز بیش از ۷۵٪ انرژی اولیه مورد نیاز ساختمان ها از سوخت فسیلی تامین می شود.

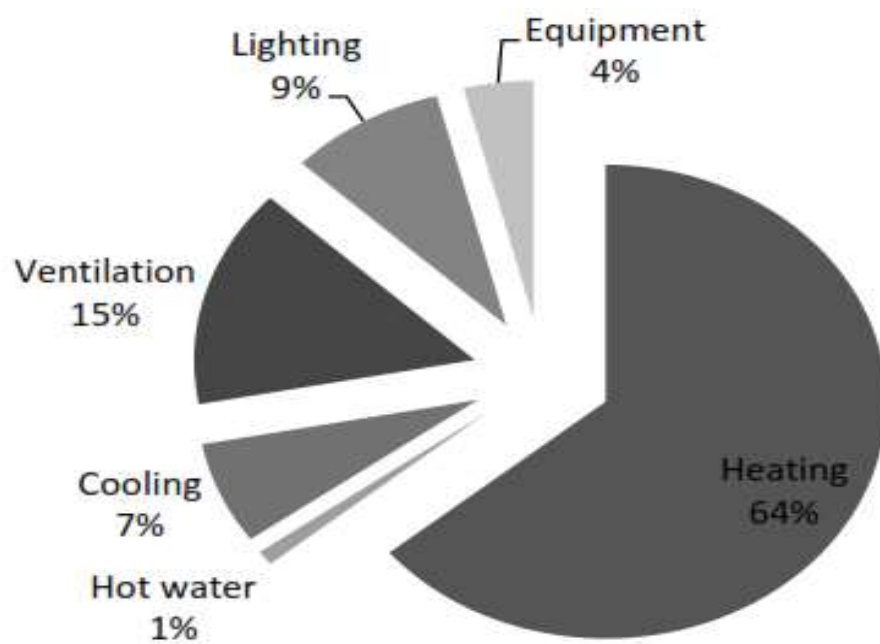
مصرف انرژی ساختمان وابسته به متغیرهای مختلفی نظیر شرایط آب و هوایی، نوع طراحی و ساختمان می باشد. بسیار واضح است که بخش عمده مصرف انرژی در شرایط آب و هوایی گرم مربوط به سیستم سرمایش و در شرایط آب و هوایی سرد مربوط به سیستم گرمایش می باشد. و به طور کلی مصرف انرژی روشنایی و سایر تجهیزات در مقایسه با مصرف انرژی سرمایش و گرمایش بسیار ناچیز می باشد هر چند مقدار مصرف انرژی روشنایی و تجهیزات کمکی در ساختمان های تجاری بیش از ساختمان های مسکونی می باشد.

در شکل (۲-۴) سهم مصرف انرژی بخش های مختلف در ساختمان مسکونی برای کشور ایالات متحده آمریکا نشان داده شده است [۵].

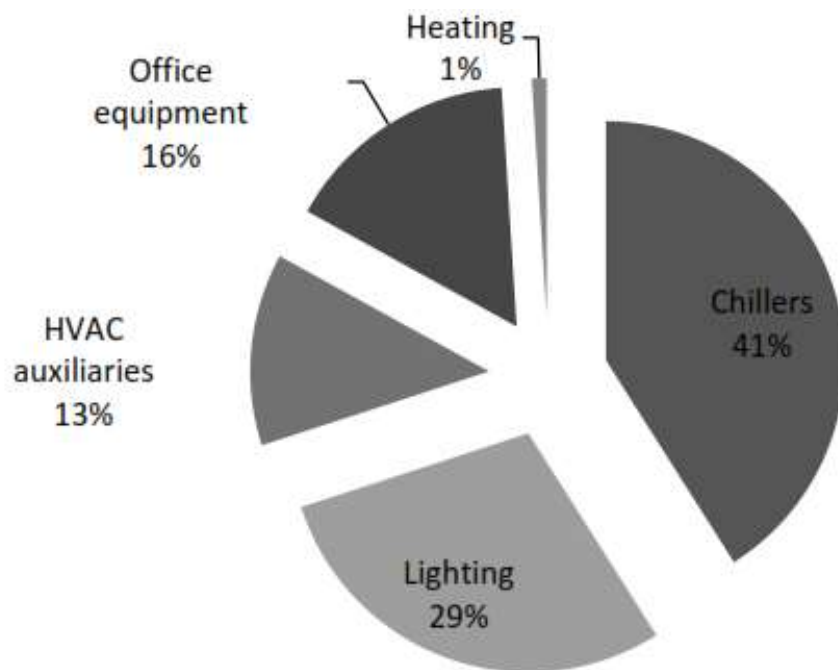


شکل ۲-۴ سهم مصرف انرژی بخش های مختلف ساختمان مسکونی در ایالات متحده آمریکا [۵]

همچنین در شکل (۲-۵) و (۲-۶) به ترتیب میزان مصرف انرژی برای بخش های مختلف یک ساختمان اداری در هنگ کنگ و یک ساختمان سیزده طبقه در برلین نشان داده شده است [۶].



شکل ۲-۵ مصرف انرژی بخش های مختلف ساختمان اداری در هنگ کنگ [۶]



شکل ۲-۶ مصرف انرژی بخش های مختلف ساختمان ۱۳ طبقه در برلین [۶]

همان طور که مشاهده می شود، گرمایش، سرمایش و سیستم تهویه مطبوع نسبت به سایر قسمت ها بیشترین میزان مصرف انرژی را به خود اختصاص می دهند. از این رو، هر گونه بهینه سازی در سیستم تهویه مطبوع و ساختن ساختمان های سازگار با محیط زیست می تواند منجر به کاهش مصرف انرژی ساختمان شوند. همان طور که در بخش های پیشین نیز نشان داده شد منبع اصلی تامین انرژی مورد نیاز ساختمان سوخت های فسیلی می باشد. بنابراین، هر گونه بهبود عملکرد سیستم تهویه مطبوع، منجر به کاهش مصرف سوخت فسیلی و کاهش تولید گازهای گلخانه ای می شود.

۲-۳ مصرف انرژی در ساختمان ها

همان طور که در بخش قبلی ذکر شد، بیشترین میزان مصرف انرژی مربوط به ساختمان ها می باشد در عین حال سیستم تهویه مطبوع شامل گرمایش، سرمایش و تهویه هوا در داخل ساختمان مهم ترین المان مصرف کننده انرژی محسوب می شود. از این رو هرگونه بهینه سازی سیستم تهویه مطبوع که منجر به کاهش مصرف انرژی این سیستم شود می تواند مصرف انرژی ساختمان را به صورت چشمگیری کاهش دهد. در کشور ما نیز الگوی مصرف انرژی کما بیش شبیه سایر کشورهای جهان می باشد به طوری که بیشترین مصرف انرژی صرف گرمایش و سرمایش فضای ساختمان ها می شود هر چند میزان مصرف انرژی در این بخش بسیار بالاتر از استانداردهای جهانی می باشد. تحقیقات مختلفی به منظور تعیین مصرف انرژی در بخش های مختلف ساختمان اخیرا انجام شده است.

۲-۴ ساختمان ها با مصرف انرژی کم

بیشترین میزان مصرف انرژی در ساختمان ها مربوط به بخش تهویه مطبوع می باشد. بنابراین استفاده از روش های غیر فعال و یا سیستم های تهویه مطبوع با مصرف انرژی کم با هدف کاهش مصرف انرژی ساختمان ها، به صورت چشمگیری در حال رشد می باشد. در نتیجه با توسعه سیستم های تهویه مطبوع غیر فعال و یا استفاده از سیستم های تهویه مطبوع با مصرف انرژی کم می توان نیاز به انرژی در ساختمان ها را کاهش داد. منظور از روش های غیر فعال روش هایی هستند که می تواند سرمایش ساختمان را بدون نیاز و یا با استفاده از مصرف انرژی کمتری انجام دهد. در واقع در این روش ها با استفاده از پمپ، فن و یا مورد مشابه سعی می شود که بازدهی خنک کاری افزایش یابد. برخی از روش ها غیر فعال که برای سرمایش ساختمان ها مورد استفاده قرار می گیرد در زیر آورده شده است:

۲-۴-۱ جهت گیری مناسب

اولین گام برای طراحی سیستم غیر فعال کمینه کردن تابش خورشیدی در مناطق گرم سیری و بیشینه کردن تابش خورشیدی در مناطق سردسیری برای رسیدن به آسایش حرارتی می باشد. به این صورت که برای اقلیم گرم ساختمان در جهتی ساخته می شود که کمترین تابش خورشیدی را جذب کند و برای مناطق سردسیر ساختمان در جهت رو به آفتاب ساخته می شود تا بیشترین تابش خورشیدی را جذب کند. طراحی سطوح غربی و شرقی بخصوص از اهمیت بیشتری برخوردار می باشند زیرا این سطوح در مقایسه با سطوح شمالی و جنوبی تابش خورشیدی بیشتری را جذب می کنند. از آنجایی که اورهنگ^۱ نمی توانند از این سطوح در مقابل تابش خورشیدی محافظت کنند بنابراین جهت گیری ساختمان در راستای طولی شرق به غرب می تواند در میزان جذب تابش حرارتی توسط این سطوح بسیار تاثیر گذار باشد[۵].

۲-۴-۲ مشخصه های سطح

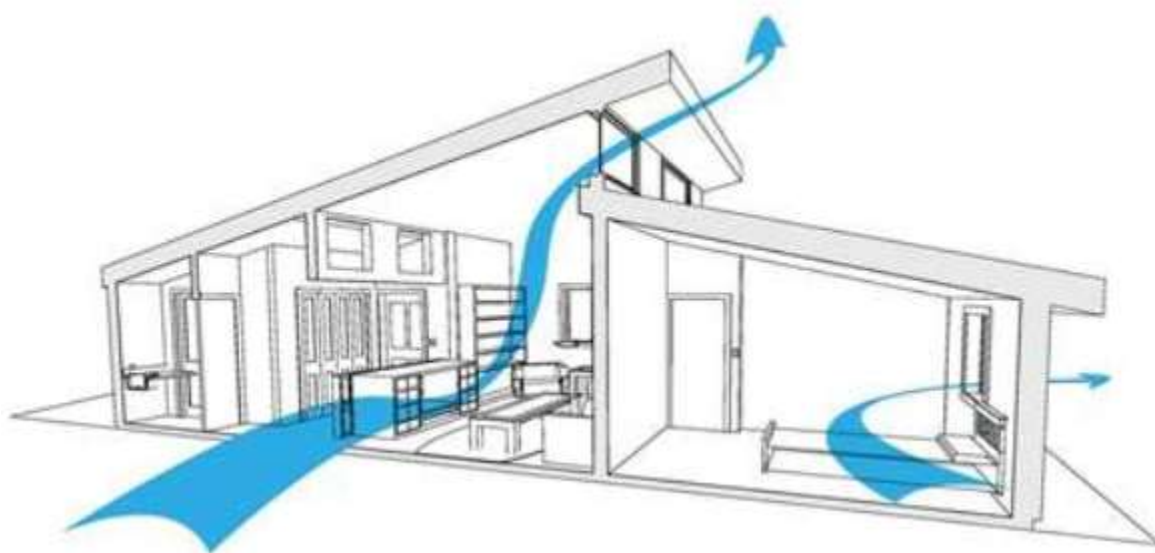
دمای سطح دیوارها و سقف به دلیل این که در معرض تابش های خورشیدی قرار می گیرند در مقایسه با دمای محیط بالاتر می باشد. این امر منجر به افزایش انتقال حرارت هدایتی به داخل ساختمان می شود. برای مثال در صورت استفاده از پوشش سفید برای سقف تنها ۱۵٪ از تابش های خورشیدی جذب می شود در صورتی که در صورت استفاده از آسفالت سیاه میزان جذب خورشیدی به ۹۵٪ می رسد. گرمای جذب شده از طریق هدایت حرارتی به داخل ساختمان منتقل شده و منجر به افزایش دمای داخل می شود. بنابراین

¹ overhangs

مشخصه های سطوح خارجی و خواص ترموفیزیکی آن ها می توان بر روی دمای فضای داخلی ساختمان نیز موثر باشد. واضح است که استفاده از سطوح روشن منجر به جذب بیشتر تابش خورشیدی می شود و سطوح تیره بر عکس عمل می کند.

۲-۴-۳ تهویه طبیعی

تهویه طبیعی یک استراتژی انعطاف پذیر به حساب می آید که با استفاده از هوای محیط بیرون می توان هوای داخل را خنک کرد. عامل پیدایش تهویه طبیعی وجود باد و یا اختلاف دما می باشد. اگر تهویه هوا در قسمت بالایی ساختمان باشد و هوا را به سمت خارج ساختمان تخلیه کند، در نتیجه هوای خنک از قسمت زیرین به داخل ساختمان مکش می شود. باد می توان جریان هوا را بین دو سوراخ و یا شکاف که در دو طرف ساختمان وجود دارند به جریان در آورد. این روش در شکل (۲-۷) نمایش داده شده است.



شکل ۲-۷ نمای شماتیک سیستم تهویه طبیعی [۷].

با استفاده از این روش می توان بار سرمایشی مکانیکی و یا سیستم تهویه مکانیکی مورد نیاز ساختمان را کاهش داد [۷].

۲-۴-۴ جرم حرارتی^۱

روش کارکرد این سیستم ها به این صورت می باشد که در طول روز وقتی درجه حرارت هوای اتاق بالا می رود، حرارت اضافی در یک مخزن ذخیره انرژی حرارتی به صورت گرمای نهان ذخیره می شود و در

¹ Thermal Mass

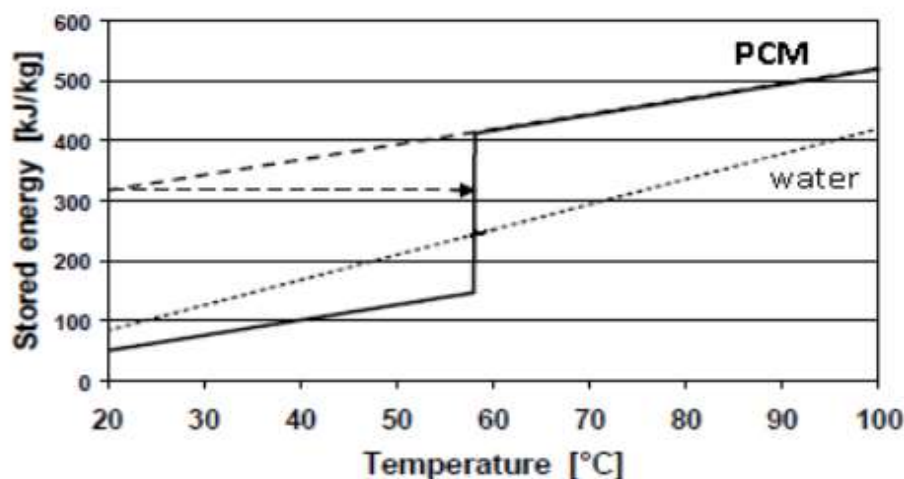
طول شب با کاهش دمای هوا حرارت ذخیره شده بازیابی می شود. به صورت عکس نیز ممکن است برای مثال در هوای گرم در طول شب سرمایش در مخزن ذخیره انرژی ذخیره شده و در اوج صرف بار الکتریکی و در طول ظهر انرژی سرمایشی ذخیره شد به محیط تخلیه می شود. مواد تغییر فاز دهنده نوعی از جرم حرارتی با ظرفیت بالای ذخیره سازی انرژی حرارتی محسوب می شوند که نسبت به جرم های حرارتی بدون تغییر فاز از مزایای فراوانی برخوردار هستند. پژوهش ها نشان می دهد که ظرفیت ذخیره سازی انرژی حرارتی مواد تغییر فاز دهنده ۱۰ برابر بیش تر از دیوارهای معمولی می باشد [۸]. این ویژگی باعث می شود که استفاده از مواد تغییر فاز دهنده روش ایده آلی برای تامین آسایش حرارتی و کاهش مصرف انرژی در ساختمان ها باشد.

اغلب خانه های ساخته شده بخصوص در کشور ما دارای استانداردهای آسایش حرارتی نمی باشند و یا این که میزان آسایش حرارتی در آن ها بسیار کم می باشد که عامل اصلی آن نیز عدم توجه به رفتار حرارتی ساختمان در فاز طراحی و ساخت می باشد. به همین دلیل مطالعات گسترده ای با هدف کاهش مصرف انرژی و افزایش آسایش حرارتی در ساختمان ها انجام شده است.

۲-۵ مواد تغییر فاز دهنده

عملکرد تغییر فاز در موارد PCM^۱ را می توان به دو مرحله تقسیم کرد. در مرحله ی اول ماده ی تغییر فاز دهنده مقداری گرما جذب می کند تا به نقطه ی ذوب برسد. سپس در دمای ثابت گرمایی به مقدار گرمای نهان ذوب جذب می کند تا تغییر فاز به طور کامل رخ دهد. لازم به ذکر است که آب بر خلاف مواد تغییر فاز دهنده، اگر در سیستم های ذخیره سازی انرژی حرارتی مورد استفاده قرار بگیرد فقط برای جذب حرارت محسوس مورد استفاده قرار میگیرد. آب مزایای زیادی دارد. برای مثال همواره در دسترس است، برای انسان و محیط زیست مضر نمی باشد، ارزان است و ظرفیت گرمایی ویژه بالایی دارد. در شکل (۲-۸) می توان مقایسه ای را بین ظرفیت ذخیره سازی انرژی حرارتی در مواد تغییر فاز دهنده و آب را مشاهده نمود. همان طور که در شکل (۲-۸) می توان مشاهده نمود، ظرفیت ذخیره سازی انرژی مواد تغییر فاز دهنده تا قبل از اینکه به نقطه ی ذوب برسند بسیار کمتر از آب می باشد ولی به محض اینکه به نقطه ی ذوب می رسد ماده ی تغییر فاز دهنده با جهش ناگهانی ظرفیت ذخیره سازی انرژی همراه می شود که در این حالت ظرفیت ذخیره سازی انرژی در مواد تغییر فاز دهنده از آب پیشی می گیرد.

^۱ Phase change material



شکل ۲-۸ مقایسه ی ظرفیت ذخیره ی انرژی در آب با مواد تغییر فاز دهنده [۳]

همچنین شکل فوق بیان می دارد که مواد تغییر فاز دهنده ظرفیت ذخیره سازی انرژی بالایی در دماهای متعرف دارند که همین امکان آن ها را برای استفاده در ساختمان ها بسیار مناسب می کند.

۲-۵-۱ تکنیک های انتخاب PCM

به منظور انتخاب بهترین ماده ی PCM که دارای بهترین کارایی در سیستم ذخیره سازی انرژی باشد باید به موارد زیر توجه داشت :

نقطه ی ذوب ماده PCM باید در محدوده ی کارکردی متعارف باشد. معمولاً بازه ی ۲۰ درجه سانتی گراد تا ۷۰ درجه سانتی گراد بسیار مناسب می باشد.

تا جای ممکن ماده ی تغییر فاز دهنده دارای گرمای نهان بالایی باشد تا اندازه ی فیزیکی سیستم ذخیره سازی انرژی حرارتی را بتوان کوچک تر در نظر گرفت.

بالا بودن ضریب هدایت حرارتی ماده ی PCM به بهبود بخشیدن زمان شارژ و دشارژ شدن منبع ذخیره ی انرژی حرارتی کمک بسیاری می کند.

همچنین از نظر ترکیب شیمیایی نیز ماده ی تغییر فاز دهنده ی مناسب ماده ای است که سمی نباشد، قابل اشتعال نباشد، خطرات زیست محیطی نداشته باشد، پایدار باشد و خاصیت خوردندگی نداشته باشد.

از لحاظ خواص فیزیکی، دارای فشار بخار کمی باشد و هنگام تغییر فاز دادن دانسیته ی آن خیلی تغییر نکند.

و در نهایت ماده ی تغییر فاز دهنده باید در دسترس باشد و از لحاظ اقتصادی نیز مقرون به صرفه باشد.

۲-۵-۲ دسته بندی مواد PCM

مواد تغییر فاز دهنده را به طور کلی می توان به دو دسته ی مواد ارگانیک و غیر ارگانیک تقسیم نمود. تفاوت این دو دسته از مواد تغییر فاز دهنده را می توان در جدول (۱-۱) مشاهده نمود.

جدول ۲ - ۱ مزایا و معایب مواد تغییر فاز دهنده ی ارگانیک و غیر ارگانیک [۵]

ارگانیک	غیر ارگانیک
مزایا	مزایا
غیر خوردگی	گرمای نهان بالا
پایداری شیمیایی و حرارتی	
دمای مادون سرد کم و ناچیز	
معایب	معایب
انتالپی تغییر فاز پایین	دمای مادون سرد زیاد
ضریب هدایت حرارتی پایین	پایداری حرارتی پایین
جدایش فاز	قابلیت اشتعال

۲-۵-۳ مواد تغییر فاز دهنده ی ارگانیک

محققان و پژوهشگران بسیار زیادی در زمینه ی مواد تغییر فاز دهنده ی ارگانیک مانند آلکان ها، واکس ها و پارافین ها کار کرده اند. برخی از مواد تغییر فاز دهنده ی ارگانیک پرکاربرد را می توان در جدول (۱-۲) مشاهده نمود [۵]. لیست کامل تری از این مواد را میتوان در مرجع [۵] مشاهده نمود.

جدول ۲ - ۲ برخی از مواد تغییر فاز دهنده ی ارگانیک [۵]

ماده	دمای ذوب بر حسب درجه سانتی گراد	گرمای ذوب بر حسب کیلوژول بر کیلوگرم	ضریب هدایت حرارتی بر حسب وات بر متر کلونین	چگالی بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب
پلی گلیکول E400	8	99.6	0.187	1125 1228
پلی گلیکول E600	22	127.2	0.189	1126 1232
پارافین C13-C24	24-22	189	0.21	0.760 0.900
پارافین C16-C28	44-42	189	0.21	0.765 0.910
پارافین C20-C33	50-48	189	0.21	0.769 0.912

^۱ عدد ردیف اول بیان گر چگالی در فاز مایع و عدد ردیف دوم در هر خانه ی جدول بیان گر چگالی در فاز جامد می باشد.

جدول ۲-۲ برخی از مواد تغییر فاز دهنده ی ارگانیک [۵]

ماده	دمای ذوب بر حسب درجه سانتی گراد	گرمای ذوب بر حسب کیلوژول بر کیلوگرم	ضریب هدایت حرارتی بر حسب وات بر متر کلونین	چگالی بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب
پارافین C22-C45	60-58	189	0.21	0.795 0.920
پارافین C21-C50	68-66	189	0.21	0.830 0.930
نفتالین	80	147.7	0.132	976 1145

۲-۵-۴ مواد تغییر فاز دهنده ی غیر ارگانیک

اغلب مواد تغییر فاز دهنده ی غیر ارگانیک که مورد مطالعه قرار گرفته اند نمک های هیدراته می باشند. برخی از این مواد تغییر فاز دهنده در جدول (۱-۳) لیست شده اند [۳].

جدول ۲-۳ نمونه ای از مواد تغییر فاز دهنده ی غیر ارگانیک [۵]

نمک هیدراته	دمای ذوب بر حسب درجه سانتی گراد	گرمای ذوب بر حسب کیلوژول بر کیلوگرم	چگالی نمک بدون آب بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب
$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	32	251	2660
$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	33	247	2530
$\text{Na}_3\text{COO} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	58	160	1530
$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	48	135	2460
$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	35	266	2460

۲-۶ پیشینه پژوهش های انجام شده

در سال ۲۰۰۵ اوزدنیز^۱ و هانس^۲ [۹] چهارده نوع سقف مختلف را برای یافتن بهترین حالت آسایش حرارتی در ساختمانی در آب و هوای گرم مورد بررسی قرار دادند. آن ها در هر حالت رطوبت و دمای هوای داخلی را بررسی کردند. هر چند پژوهش های آن ها نشان می داد که تغییر نوع سقف ها بر روی شرایط آسایش حرارتی در زمستان تاثیر چندانی نمی گذارد اما در تابستان تاثیر گذار است. نتایج آن ها نشان داد که یک سقف تخت با عایق داخلی و یک سقف چوبی با اتاق زیر شیروانی دارای تهویه بهترین نتیجه را می دهد [۹].

در سال ۱۹۹۳ هاونس^۳ [۱۰] دو دیوار ذخیره کننده انرژی را مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان دادند که دیوار PCM با ضخامت ۸.۱Cm دارای عملکرد حرارتی بهتری نسبت به دیوار ۴۰Cm که تنها از مصالح

¹ Özdeniz

² Hançer

³ Hawes

بنایی ساخته شده می باشد. همچنین وی به صورت آزمایشگاهی تاثیر استفاده از چند نوع ماده ی تغییر فاز دهنده ی مختلف را نیز بر روی بازدهی حرارتی دیوارها مورد بررسی قرار داد.

در سال ۲۰۱۴ ریدی^۱ و همکاران [۱۱] تاثیر استفاده از پارافین در داخل کپسول های بیضوی شکل و استفاده از این کپسول ها در سقف را به همراه سیستم هواساز مورد بررسی قرار دادند. این کپسول ها دارای اندازه ای در حدود ۶۸ میلی متر بودند. آن ها در بررسی های آزمایشگاهی خود از سه نوع کپسول مختلف که از جنس پلی اتیلن، آلومینیم و فولاد ضد زنگ ساخته شده بودند استفاده نمودند. آن ها در آزمایش های خود نشان دادند که جنس کپسول به اندازه ی نوع ماده ی تغییر فاز دهنده ی به کار رفته بر روی زمان شارژ و دشارژ شدن گرما تاثیر گذار نمی باشد. بدین صورت که آن عنوان نمودند که زمان شارژ و دشارژ شدن برای کپسول ها با جنس های مختلف تنها در حدود ۰.۵٪ با یکدیگر تفاوت دارد که برای کاربردهای متداول مقدار چندان زیادی نمی باشد. دمای ذوب مواد PCM به کار رفته در این تحقیق در حدود ۲۵ سیلیسیوس و نزدیک به دمای اتاق می باشد [۱۱].

در سال ۲۰۰۴ لین^۲ و همکارانش [۱۲] به بررسی و امکان سنجی استفاده از مواد تغییر فاز دهنده در سیستم الکتریکی گرمایش از کف برای یگ اتاق با ابعاد ۵*۵*۳ متر پرداختند. آن ها فرض نمودند که کف اتاق دارای یک لایه عایق باشد که روی آن هیترهای الکتریکی نصب می شود. از روی هیترهای الکتریکی یک لایه ماده ی تغییر فاز دهنده به ضخامت ۲۰ میلی متر قرار می گیرد. روی ماده ی تغییر فاز دهنده یک لایه هوا به ضخامت ۱۰ میلی متر می باشد و در آخر نیز یک لایه پارکت از جنس چوب به ضخامت ۱۲ میلی متر قرار می گیرد. سپس آن ها مصرف انرژی الکتریکی برای این ساختمان را با مصرف انرژی الکتریکی و هزینه ی انرژی الکتریکی برای ساختمان مشابه و بدون استفاده از ماده ی تغییر فاز دهنده مقایسه نمودند. آن ها برای مدل سازی خود از کد نویسی به زبان برنامه نویسی فرترن استفاده نمودند و نتایج خود را با داده های تجربی موجود مقایسه کردند.

در سال ۲۰۰۵ ژانگ^۳ [۱۳] و همکارانش به معرفی نوعی دیوار مجهز به PCM پرداختند که به کمک آن بهبود حرارتی و کاهش بار سیستم تهویه مطبوع حاصل می شود. آن ها در بررسی های تجربی خود از ماده ی تغییر فاز دهنده ی پارافین در داخل کپسول هایی که در دیوار جایگذاری می شد استفاده نمودند. آن ها نشان دادند که با استفاده از مواد تغییر فاز دهنده می توان میزان شار حرارتی بیشینه ی مورد نیاز را تا حدود ۳۸٪ کاهش داد.

¹ Reddy

² Lin

³ Zhang

در سال ۲۰۱۵، ورما^۱ [۱۴] و همکارانش به بررسی استفاده از مواد تغییر فاز دهنده در داخل یک اتاقک شبه استوانه ای پرداختند. آن ها ابتدا مساله را به صورت عددی بررسی نمودند و سپس به برای اعتبار سنجی داده های حاصل از شبیه سازی عددی به بررسی تجربی مساله نیز پرداختند. لازم به ذکر است که آن ها در بررسی های خود از واکس پارافین به عنوان ماده ی تغییر فاز دهنده استفاده نمودند. پارامترهایی که آن ها در بررسی های خود مورد توجه قرار دادند عبارت بودند از مرز مایع-جامد، الگوی جریان ماده ی تغییر فاز دهنده، تغییر دما در داخل کویتی نسبت به زمان و توزیع دما در داخل سیستم. آن ها برای شبیه سازی عددی خود از نرم افزار تجاری اپن فوم استفاده نمودند. همچنین داده های عددی گزارش شده توسط آن ها هم خوانی بسیار مناسبی با داده های آزمایشگاهی ارایه شده داشت. که این امر بیان گر دقت مناسب شبیه سازی عددی صورت گرفته می باشد [۱۴].

در سال ۲۰۱۹ مهدی آهنگری و مهدی معرفت [۱۵] به بررسی استفاده از دو نوع ماده تغییر فاز دهنده در دیوار های خارجی یک اتاق $3 \times 3 \times 3$ پرداختند و در پنج شهر آب و هوایی مختلف در ایران در ۳ ماه مختلف پرداختند که آسایش حرارتی در آب و هوای نیمه خشک از ۷۳٪ تا ۹۳٪ و در آب و هوای خشک از ۶۳٪ تا ۷۵٪ افزایش یافت و نیز انرژی گرمایشی در آب و هوای خشک ۱۷,۵٪ کاهش پیدا کرد.

در سال ۲۰۱۶ راماکریشنان^۲ و همکارانش [۱۶] به بررسی استفاده از ماده تغییر فاز دهنده در یک ساختمان یک طبقه در استرالیا برای ۴ شهر مختلف با استفاده از نرم افزار انرژی پلاس پرداختند که مشخص شد بالاترین آسایش حرارتی در دمای ۳ تا ۵ درجه بالاتر از دمای محیط رخ داده است و نیز آسایش حرارتی با بهینه شدن انرژی در یک جهت نخواهد بود.

در سال ۲۰۱۲ عبدالسلام ابراهیم پور و یوسف کریمی [۱۷] به بررسی ساعات آسایش حرارتی و انرژی با استفاده از نرم افزار انرژی پلاس در یک ساختمان آموزشی در شهر تبریز پرداختند و در نتیجه با کاهش ذخیره انرژی تا ۴۰٪ در فصول سرد سال بدست آوردند.

¹ Verma

² Ramakrishnan

فصل سوم

آشنایی با مدل سازی کربانی فرآیندهای تغییر فاز و تئوری حل مسد

همانگونه که در فصل قبل مطرح شد مطالعات و تحقیقات انجام شده توسط محققان در سه گروه مطالعات شبیه سازی، تجربی و ترکیبی از مطالعات شبیه سازی و تجربی دسته بندی می شوند. با توجه به اینکه در تحقیق حاضر به کمک نرم افزار انرژی پلاس^۱ به عنوان ابزار شبیه سازی کامپیوتری، به شبیه سازی دینامیکی و تعیین انرژی سالانه ساختمان های دارای PCM پرداخته شده است؛ تحقیق حاضر در زیرگروه مطالعات شبیه سازی طبقه بندی می شود.

در این فصل ابتدا به آشنایی کلی با روش های مدل سازی گرمایی فرآیندهای تغییر فاز که در مواد PCM رخ می دهد پرداخته شده و سپس روش مدل سازی در نرم افزار انرژی پلاس مورد بررسی قرار گرفته و در انتها مفاهیم ناراحتی ساکنان ساختمان بر اساس استاندارد آسایش گرمایی مورد بررسی قرار می گیرد. روش های مختلفی برای بررسی مساله ی تغییر فاز به خصوص مسایل انجماد و ذوب عنوان شده است. بدیهی است که بررسی تمامی این روش ها در این پژوهش ممکن نمی باشد. لذا سعی شده است که از این بین روش هایی که دارای کاربردهای بیشتری می باشند در ادامه معرفی شوند و نیز در این فصل شرایط و مشخصات ساختمان نمونه شبیه سازی شده به وسیله ابزار شبیه سازی نرم افزار انرژی پلاس، ارائه شده است.

هدف از شبیه سازی انرژی در این تحقیق مقایسه مصرف انرژی و شرایط آسایش دمایی در ساختمانهایی که از مواد PCM (با نقاط ذوب مختلف) به روش غیرفعال در آنها استفاده شده، نسبت به ساختمانهای با مصالح مرسوم بدون PCM می باشد. تا بتوان از این طریق تأثیر استفاده از PCM های با نقاط ذوب مختلف را در کاهش مصرف انرژی و تامین آسایش حرارتی ساختمان نمونه بررسی نمود.

در ادامه به بررسی مشخصات آب و هوایی محل تحقیق، مشخصات ساختمان نمونه شامل مشخصات هندسی، ساختاری، کاربری و مشخصات سیستمهای گرمایش و سرمایش و مشخصات مواد تغییر فاز دهنده مورد استفاده پرداخته شده است.

¹ energy plus

۲-۳ روش الگوریتم انرژی پلاس

پروژه انرژی پلاس در اواخر سال ۱۹۹۰ به عنوان تلاشی برای ترکیب بهترین ویژگی های دو برنامه آنالیز انرژی معروف Blast و DOE-۲ که در سطح بین المللی استفاده می شدند در یک برنامه واحد آغاز گردید. هدف از این پروژه فراهم آوردن یک بستر واحد به منظور ارتقای مدل سازی، صرفه جویی هزینه ها و زمان در حفظ سرعت تغییر برنامه ها در برابر تغییرات سریع صنایع HVAC^۱ و نیز به حداکثر رساندن تأثیری است که یک برنامه جدید ممکن است بر روی جامعه مهندسی و معماری داشته باشد [۱۸].

برای انتقال حرارت رسانی از طریق دیوارهای معمولی، انرژی پلاس از روش الگوریتم تابع انتقال حرارت رسانی (CTF^۲) استفاده می کند. برای طراحی ساختمانهای با کارایی بالا، مثلاً با مصالح ساختمانی پیشرفته PCM، انرژی پلاس با افزودن روش الگوریتم جدیدی که یک رویه تفاضل ضمنی محدود را به کار می گیرد این محاسبات را انجام می دهد.

۱-۲-۳ روش الگوریتم تفاضل محدود رسانی (CFD^۳)

انرژی پلاس تقریباً در تمام جنبه های برنامه به دقت از اصول بنیادی تعادل گرمایی تبعیت می کند. با این حال، شبیه سازی مصالح مرسوم سطوح ساختمان بر یک تغییر در تابع انتقال وابسته است که بر روی نرم افزار BLAST صورت گرفته بود. این تغییر شامل تمامی محدودیتهای معمول در یک روش مبتنی بر تغییر می باشد. از جمله خواص ثابت و مقادیر ثابت برخی پارامترها. از آن جایی که زمینه آنالیز انرژی به سمت شبیه سازی سازه های پیشرفته تر از قبیل مواد تغییر فاز دهنده (PCM) حرکت کرده است، بازگشت به عقب از شکلهای تحول یافته به شکلهای اساسی تر تابع ضروری است. از این رو یک روش الگوریتم CFD در داخل انرژی پلاس قرار داده شده است. این روش جایگزین روش CTF نشده است ولی برای استفاده در حالتی که کاربر نیاز به شبیه سازی مواد PCM یا مواد با رسانایی گرمایی متغیر دارد آن را کامل نموده است. همچنین این امکان وجود دارد که از الگوریتم تفاضل محدود برای گام های زمانی منطقه ای به کوتاهی یک دقیقه، متناظر با گام های زمانی سیستم استفاده شود. این الگوریتم برای محاسبه صحیح انرژی تغییر فاز از یک رویه تفاضل محدود ضمنی همراه با یک تابع آنتالپی - دما استفاده می کند.

معادله (۱-۳) فرآیند رسانی گرمای پایای یک بعدی از طریق دیوار و معادله (۲-۳) فرمول ضمنی برای یک گره داخلی را نشان می دهد و از کوپل الگوریتم TARP که یک معادله انتقال حرارت ضمنی است با یک تابع تعریف شده توسط کاربر برای یافتن دقیق انرژی تغییر فاز به دست آمده است [۱۵].

^۱ Heating, ventilation, and air conditioning

^۲ coefficient of thermal expansion

^۳ Computational Fluid Dynamics

$$\rho \frac{\partial(CpT)}{\partial \tau} = k \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad \text{معادله ۳-۱}$$

$$\frac{C_p \Delta x (T_i^{j+1} - T_i^j)}{\Delta t} = \frac{k_w (T_{i+1}^{j+1} - T_i^{j+1})}{\Delta x} + \frac{k_E (T_{i-1}^{j+1} - T_i^{j+1})}{\Delta x} \quad \text{معادله ۳-۲}$$

در معادله بالا:

- ❖ T دمای گره؛
- ❖ i+1 گره مجاور داخلی؛
- ❖ i-1 گره مجاور خارجی؛
- ❖ j+1 دمای جدید در پایان گام زمانی؛
- ❖ j دما در پایان گام زمانی قبلی؛
- ❖ k_E, k_w ضریب رسانش گرمایی بین i و i+1 و بین i و i-1
- ❖ Δt محاسبه گام زمانی؛
- ❖ Δx ضخامت لایه تفاضل محدود (همواره کوچکتر از ضخامت لایه مصالح)
- ❖ C_p گرمای ویژه ماده؛
- ❖ ρ چگالی ماده می باشد.

آنگاه این معادله با معادله دیگری به نام تابع آنتالپی - دما توأم می شود که با استفاده از داده های ورودی کاربر آنتالپی و دما را نسبت می دهد [۱۵]:

$$h_i = \text{HTF}(T_i) \quad \text{معادله ۳-۳}$$

تابع HTF به صورت معادله های (۳-۴) و (۳-۵) نشان داده شده است:

$$\rho \frac{\partial H}{\partial t} = k \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \quad \text{معادله ۳-۴}$$

که شرایط مرزی آن به صورت زیر است:

$$T|_{y=0} = T_0$$

$$-k \frac{\partial T}{\partial y} \bigg|_{y=y_t} = h [T(y_0) - T_f]$$

هرگاه H آنتالپی باشد.

$$T = H / C_{p,s} \quad H < H_s \quad \text{معادله ۳-۵}$$

$$T = \frac{H + \frac{(T_m - \varepsilon)r}{2\varepsilon}}{C_{p,s} + \frac{r}{2\varepsilon}} \quad H_s \leq H \leq H_l$$

$$T = T_m + \varepsilon + \frac{H - H_l}{C_{p,l}} \quad H > H_l$$

در معادله بالا داریم:

- ❖ $C_{p,l}$ و $C_{p,s}$: به ترتیب گرمای ویژه ماده در حالت جامد و مایع؛
- ❖ $\varepsilon (^{\circ}\text{K})$: نصف بازه دمایی تغییر فاز (ΔT_{pc})؛
- ❖ $r \text{ (J.kg)}$: گرمای نهان تغییر فاز
- ❖ H_l و H_s : به ترتیب آنتالپی ماده در حالت جامد و مایع که به صورت زیر به دست می آیند:

$$H_s = C_{p,s} (T_m - \varepsilon) \quad \text{فرمول ۳-۶}$$

$$H_l = C_{p,s} (T_m + \varepsilon) + r \quad \text{فرمول ۳-۷}$$

به طور کلی چهار نوع گره وجود دارد: گره های سطوح خارجی، گره های سطوح داخلی، گره های داخلی نظیر آنچه که در بالا مشاهده شد، و نیز گره های واقع در سطوح مشترک دو لایه مختلف. فرمول بندی همه انواع گره ها اساساً یکسان است. از این رو برای همه گره ها در یک سازه معادلاتی نظیر (۳-۱) و (۳-۲) تشکیل می شوند. به دلیل آنکه روش معادلات فوق ضمنی می باشد، یک رویه تکرار گوس-سایدل برای به روز آوری دمای گره های جدید در سازه استفاده می شود. به همین خاطر آنتالپی گره ها نیز در هر تکرار به روز رسانی می شوند. آنگاه در صورتی که یک ماده تغییر فاز دهنده شبیه سازی شده باشد، از این مقادیر برای ایجاد متغیر C_p استفاده می شود [۱۵]. این کار با استفاده از یک معادله سوم برای تعیین C_p انجام می شود:

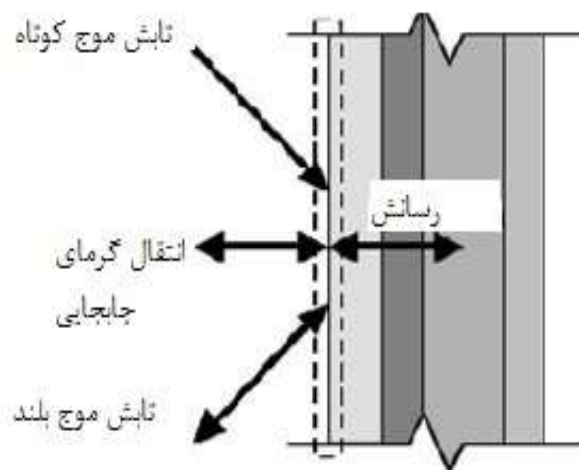
$$C_p = \frac{h_{i,new} - h_{i,old}}{T_{i,new} - T_{i,old}}$$

معادله ۳ - ۸

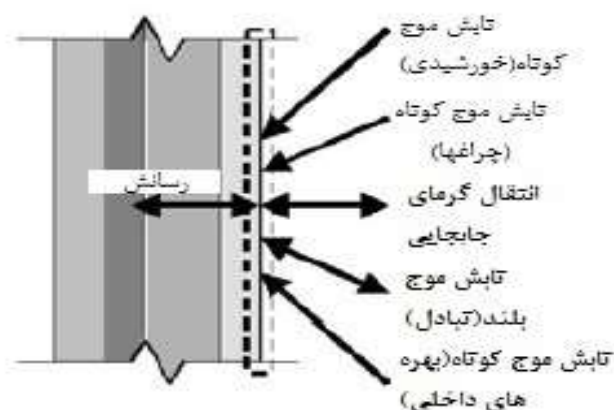
روش تکرار تضمین می کند که در هر گام زمانی آنتالپی صحیح و در نتیجه C_p صحیح مورد استفاده قرار گرفته و آنتالپی ماده به درستی محاسبه می شود. البته اگر ماده یک ماده عادی باشد از C_p ثابت وارد شده توسط کاربر استفاده می شود. الگوریتم همچنین الزامی برای در نظر گرفتن یک ضریب دمایی جهت اصلاح رسانش گرمایی ارائه داده است.

۳-۲-۲ روش الگوریتم دمای هوای منطقه

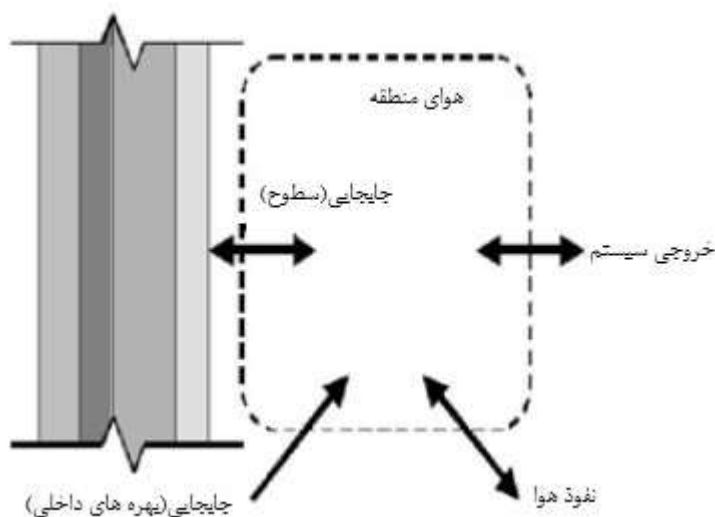
تبادل گرمایی هوای منطقه یک روش دقیق است که توأم است با تعادل گرمایی سطح خارجی، تعادل گرمایی سطح داخلی و هوای داخل بر روی کالبد ساختمان، همان گونه که در شکل های (۳-۱) و (۳-۲) و (۳-۳) نشان داده شده است.



شکل ۳-۱ تعادل گرمایی سطح خارجی [۱۷]



شکل ۳-۲ تعادل گرمایی سطح داخلی [۱۷]



شکل ۳-۳ تعادل گرمایی هوای منطقه [۱۷]

با این روش یک گام زمانی تطبیقی متغیر کوتاهتر از یک ساعت می تواند برای به روز رسانی شرایط سیستم مورد استفاده قرار گیرد. به جهت حفظ پایداری، استخراج یک معادله برای دمای منطقه که در برگیرنده جمله ای برای ظرفیت ناپایدار منطقه باشد و نیز شناسایی روش هایی برای تعیین شرایط منطقه و پاسخ سیستم در گام های زمانی پیاپی ضروری است. همانگونه که از شکل (۳-۳) مشاهده می شود برای ذخیره انرژی در هوای منطقه معادله تعادل گرمایی به صورت زیر خواهد بود:

$$C_z \frac{dT_z}{dt} = \sum_{i=1}^{N_{sl}} Q_i + \sum_{i=1}^{N_{surfaces}} h_i A_i (T_{si} - T_z) + \sum_{i=1}^{N_{zones}} \dot{m}_i C_p (T_{zi} - T_z) + \dot{m}_{inf} C_p (T_{\infty} - T_z) + Q_{sys} \quad \text{معادله ۳-۹}$$

در معادله فوق:

$$\diamond C_z \frac{dT_z}{dt} : \text{انرژی ذخیره شده در هوای منطقه}$$

$$\diamond \sum_{i=1}^{N_{sl}} Q_i : \text{مجموع بارهای داخلی جابجایی}$$

$$\diamond \sum_{i=1}^{N_{surfaces}} h_i A_i (T_{si} - T_z) : \text{انتقال حرارت جابجایی از سطوح منطقه}$$

$$\diamond \sum_{i=1}^{N_{zones}} \bar{m}_i C_p (T_{zi} - T_z) : \text{انتقال حرارت ناشی از اختلاط هوای داخل منطقه}$$

$$\diamond \bar{m}_{inf} C_p (T_{\infty} - T_z) : \text{انتقال حرارت ناشی از نفوذ هوای بیرون}$$

$$\diamond Q_{sys} : \text{خروجی سیستم}$$

همچنین C_z از حاصل ضرب جرم هوای منطقه در گرمای ویژه هوا به دست می آید. با استفاده همزمان از معادله فوق و یک تقریب تفاضل محدود مرتبه سوم (معادله ۳-۱۰) برای جمله مشتق دما، و گام های زمانی بین ۰/۱ تا ۰/۲۵ ساعت پایداری این روش نشان داده شده است [۱۹].

$$\left. \frac{dT_z}{dt} \right|_t \approx (\delta t)^{-1} \left[\frac{11}{6} T_z^t - 3 T_z^{t-\delta t} + \frac{3}{2} T_z^{t-2\delta t} - \frac{1}{3} T_z^{t-3\delta t} \right] + Q(\delta t^3) \quad \text{معادله ۳-۱۰}$$

بنابراین اساس روش تعادل گرمایی بر پایی معادلات تعادل انرژی با استفاده از حجم کنترل ها در وجوه داخلی و خارجی هر سطح در یک منطقه بخصوص و نیز یک حجم کنترل پیرامون هوای منطقه است. با یک بازآرایی مجدد در معادله (۳-۱۰) و انتقال دمای مربوط به زمان های قبلی در تقریب مشتق به سمت راست معادله، نمود صریح دمای هوای منطقه از یک طرف معادله حذف می شود. آنگاه با تقسیم طرفین معادله بر T_z شکلی از معادله تعادل انرژی که در انرژی پلاس استفاده می شود به صورت زیر به دست می آید:

$$T_z^t = \frac{\sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{N_{surfaces}} h_i A_i T_{si} + \sum_{i=1}^{N_{zones}} \bar{m}_i C_p T_{zi} + \bar{m}_{inf} C_p T_{\infty} + \dot{m}_{sys} C_p T_{supply} - \left(\frac{C_z}{\delta t} \right) \left(-3 T_z^{t-\delta t} + \frac{3}{2} T_z^{t-2\delta t} \right)}{\frac{11 C_z}{6 \delta t} + \sum_{i=1}^{N_{surfaces}} h_i A_i + \sum_{i=1}^{N_{zones}} \bar{m}_i C_p + \bar{m}_{inf} C_p + \dot{m}_{sys} C_p} \quad \text{فرمول ۳-۱۱}$$

۳-۳ استاندارد آسایش گرمایی^۱

یکی از مهم‌ترین موارد در طراحی ساختمان، تأمین آسایش حرارتی است. آسایش حرارتی حالتی است که فرد برای تغییر شرایط حرارتی محیط هیچ اقدام رفتاری را انجام ندهد [۲۰]. در تعریف استاندارد اشری (استاندارد ۵۵) آسایش حرارتی شرایطی ذهنی است که احساس رضایت از شرایط حرارتی محیط را بیان می‌کند (ANSI/ASHRAE Standard ۵۵). [۲۱ و ۲۲]

حفظ این استاندارد آسایش حرارتی برای ساکنان ساختمان، یکی از اهداف مهم مهندسان طرح HVAC می‌باشد. خنثی بودن حرارتی هنگامی حفظ می‌شود که گرمای تولید شده توسط متابولیسم انسانی اجازه پراکنده شدن داشته باشد تا به این صورت تعادل حرارتی محیط اطراف حفظ شود. فاکتورهای اصلی که بر آسایش حرارتی تأثیر می‌گذارند آنهایی هستند که اتلاف و دریافت گرما را تعیین می‌کنند، از جمله سرعت متابولیک بدن، عایق کردن لباس‌ها، دمای هوا، دمای تابشی میانگین، سرعت هوا و رطوبت نسبی. پارامترهای روانشناسی از قبیل توقعات فردی نیز بر آسایش حرارتی تأثیر می‌گذارند [۲۳].

۳-۳-۱ اهمیت آسایش دمایی

رضایت از محیط به این دلیل اهمیت دارد، زیرا که بر بهره‌وری و سلامت اثر می‌گذارد. کارمندان دفتری که از محیط خود رضایت دارند، پر کارترند [۲۴]. مشخص شده است که ناراحتی منجر به نشانه‌های سندرم ساختمان بیمار می‌شود. ترکیب دمای بالا و رطوبت نسبی بالا، باعث کاهش آسایش و کیفیت هوای درون ساختمان می‌شود [۲۵].

اگرچه یک دمای ثابت می‌تواند رضایت بخش باشد ولی رضایت، «پدیده آلیستریا» معمولاً بوسیله تغییر حواس ایجاد می‌شود. مدل‌های تطبیقی آسایش بیشتر سبب طراحی انعطاف‌پذیر در ساختمان‌های دارای تهویه بطور طبیعی نسبت به ساختمان‌های با شرایط درون ساختمانی متغیر می‌گردد [۲۶]. چنین ساختمان‌هایی از اتلاف انرژی جلوگیری کرده و این پتانسیل را دارند که ساکنانشان رضایت بیشتری داشته باشند.

۳-۳-۲ استانداردهای آسایش گرمایی

استانداردهای آسایش گرمایی، به دو دسته اصلی طبقه بندی شده اند: دسته ای به مدل‌های کلاسیک فیزیولوژیک (شامل تئوری آسایش گرمایی فنجر (Fenger) و ارزیابی احساس گرمایی محلی) و دسته دیگری که به مدل سازگاری اختصاص دارد.

¹ Thermal Comfort Standard

۳-۳-۳ مدل‌های آسایش گرمایی

در طی دهه های اخیر، پژوهش ها و آزمایش های گسترده ای برای پیش بینی درجه آسایش گرمایی افرادی که در محیط خاصی بوده اند، صورت گرفته است. یکی از مدل‌هایی که به صورت وسیعی در پیش بینی آسایش گرمایی استفاده شده است، رابطه آسایش گرمایی فنگر و ایده های عملی او از شاخصه های پیشبینی متوسط آراء (Predicted Mean Vote, PMV) و پیشبینی درصد نارضایتی (Predicted Percentage of Dissatisfied, PPD) است [۲۷]. مدل فنگر نوعی مدل تجربی است که براساس انتقال گرما بین بدن انسان و محیط، آرای گرمایی را پیشبینی میکند. نتایجی که از شرایط کنترل شده آزمایشگاهی حالت ثابت بر موضوعات انسانی گرفته شده اند. شاخصهای PMV و PPD که به وسیله فنگر توسعه داده شده اند، شاخصهایی شناخته شده برای ارزیابی آسایش گرمایی ساکنین هستند که در استانداردهای بین المللی شامل ISO ۷۷۳۰ و EN ۱۵۲۵۱ استفاده شده اند. این شاخص ها براساس اصول تعادل گرمایی حالت ثابت، با میانگین آرا و درصد نارضایتی گرمایی گروه بزرگ از اشخاص، آسایش گرمایی را در مقیاس هفتگانه احساس گرمایی پیش بینی می کنند که در جدول ۳-۱ مشاهده میشود.

جدول ۳-۱ شاخصه های هفتگانه احساس گرمایی و رضایتمندی گرمایی بر اساس استاندارد اشری [۲۱]

شاخص های هفتگانه احساس گرمایی	شاخص های هفتگانه رضایتمندی گرمایی
خیلی گرم +۳	+۳
گرم +۲	+۲
کمی گرم +۱	+۱
خنثی (نه سرد و نه گرم) ۰	۰
کمی سرد -۱	-۱
سرد -۲	-۲
خیلی سرد -۳	-۳

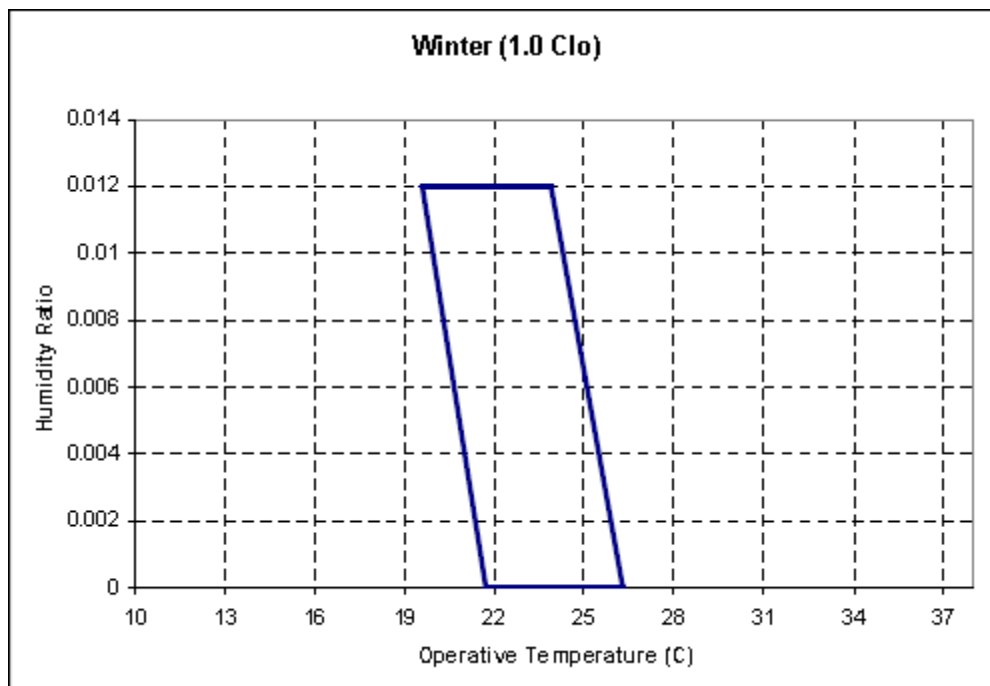
در تعریف آسایش گرمایی مدل فنگر، شش عامل اصلی نقش دارند که با زمان تغییر میکنند [۲۸]. این عوامل شامل دو عامل شخصی میزان فعالیت، عایق لباس و چهار عامل محیطی دمای هوا، متوسط دمای تشعشعی، سرعت هوا و رطوبت هستند. این تئوری براساس کار آزمایشی در آزمایشگاه ویژه در یک اتاق با شرایط محیطی خاص (از قبیل دما، رطوبت و سرعت هوا) و با اعمال ترازهایی از فعالیت و پوشش لباس در حد ترازهای مشابه آسایش ساکنین، تهیه شده است. این مدل به صورت گسترده ای، نقد شده است و مدل‌های دیگری پس از آن پیشنهاد شده اند، ایده واکنش بدن انسان به محیط گرمایی و تلاش او برای سازگاری با محیط که منجر به توسعه و بسط تئوری مدل سازگاری شد. مدل فنگر به

علت تفاوت بین احساس گرمایی واقعی افراد و پیش بینی احساس گرمایی مورد نقد قرار گرفته است [۲۹] که منشأ آن تأثیر ابعاد سه گانه رفتاری، فیزیولوژیکی و روانی سازگاری است.

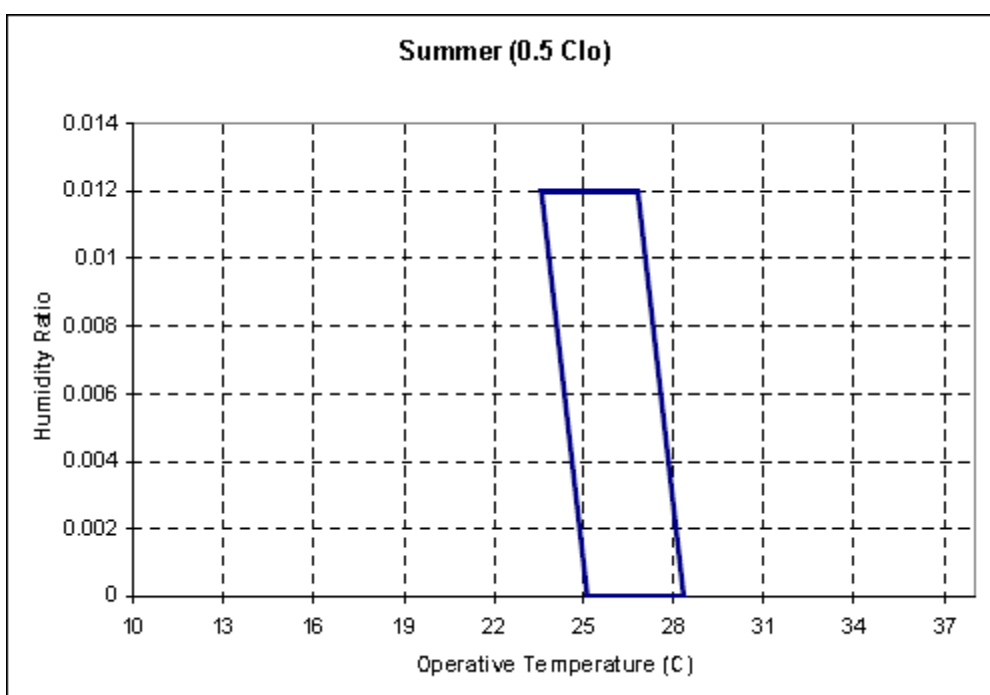
رویکرد سازگاری به آسایش، با استفاده از مطالعات میدانی بر روی مردمی که سرگرم زندگی روزمره بوده اند و با هدف تهیه راهنمای متناسب با شرایط زندگی معمولی، توسعه داده شده است. این رویکرد، براساس مشاهداتی استوار است که ثابت میکنند مردم با داشتن زمان و فرصت مناسب کارهای گوناگونی انجام میدهند تا با محیط خود سازگار شوند و آسایش گرمایی را بدست می آورند. مدل سازگاری براساس مطالعات میدانی در ساختمانهایی با تهویه طبیعی توسعه و بسط داده شده است [۳۰].

۳-۳-۴ استاندارد ASHRAE Standard 55

استاندارد اشری ۵۵ اولین بار، در سال ۱۹۶۶ انتشار یافت و از ابتدای سال ۲۰۰۴ به صورت پیوسته ای در سازمان اشری به روز میشود؛ این استاندارد شرایط قابل قبول محیط گرمایی را برای افراد بالغ سالم در فشار بخار معادل عرض جغرافیایی تا ۳۰۰۰ متر در فضاهای داخلی طراحی شده برای سکونت انسان را در مدت زمانی که کمتر از ۱۵ دقیقه نباشد، در نظر میگیرد [۳۱]. در نسخه جدید استاندارد اشری ۵۵ در سال ۲۰۱۳، روشهایی را برای ارزیابی محیطهای گرمایی ساختمانها از طریق عوامل متعددی مشخص میکند تا درجات مشخصی از آسایش عمومی و محلی در سطح مشخصی از فعالیت و پوشش برای ساکنین تعیین شود. روشهای تطبیق با این استاندارد، شامل روش محدوده آسایش گرافیکی و روش تحلیلی محدوده آسایش با استفاده از نرم افزار آسایش گرمایی [۳۱] یا استفاده از روش سازگاری برای ساکنین در فضاهایی کنترل شده با تهویه طبیعی هستند. در روش گرافیکی میزان فعالیت افراد بین ۱ تا ۱/۳ met (metabolic rate) و عایق لباس بین ۰/۵ تا ۱ clo (clothing insulation) و سرعت هوا ۰/۲m/s محدود شده است (شکل ۳-۴ و ۳-۵).



شکل ۳-۴ روش محدوده آسایش گرافیکی: بازه قابل قبول دما و رطوبت برای شرایط زمستانی [۳۱]



شکل ۳-۵ روش محدوده آسایش گرافیکی: بازه قابل قبول دما و رطوبت برای شرایط تابستانی [۳۱]

برای روش تحلیلی محدوده آسایش رایانه ای، منطبق بر استاندارد در محدوده قابل قبول $PMV < +0,5$ و $PMV > -0,5$ صورت می پذیرد. روشهای تخمین فعالیت و پوشش به صورت مشاهده ای یا از طریق سؤال از افراد تعیین میشود. عدم آسایش محلی و محاسبه حرکت هوای بالارونده نیز باید

ارزیابی شود. برای تعیین محدوده آسایش ساکنین در ساختمانهایی با شرایط مکانیکی یا تهویه مطبوع به کمک روش PMV از عواملی نظیر فعالیت و پوشش مشخص استفاده میشود. در این روش، عواملی چون میزان فعالیت و پوشش افراد از طریق مشاهده دمای هوا، رطوبت هوا، متوسط دمای تشعشعی و سرعت هوا اندازه گیری میشوند. برای فضاهایی با کنترل تهویه طبیعی از مدل سازگاری تعیین محدوده آسایش استفاده میشود و عواملی که اندازه گیری میشوند، شامل دمای هوای داخل، متوسط دمای تشعشعی و دمای هوای خارج هستند. این روش، محیط های گرمایی قابل قبولی را برای فضاهایی با تهویه طبیعی تحت کنترل ساکنین تعریف میکند که شرایط زیر را داشته باشند:

- ❖ هیچ سیستم سرمایشی نباید وجود داشته باشد؛
- ❖ هیچ سیستم گرمایشی نباید در حال استفاده باشد؛
- ❖ ساکنین باید فعالیتی بین محدوده $1/0$ تا $1/3$ met داشته باشند و بتوانند عایق لباس خود را با دمای داخل یا خارج تنظیم کنند که حداقل وسعتی به اندازه $0/5$ تا $1/0$ clo داشته باشد.
- ❖ متوسط دمای غالب خارج ساختمان باید بیش از 10 درجه سلسیوس و کمتر از $33/5$ درجه سلسیوس باشد.

داده های مربوط به ساعات عدم آسایش ساکنین که ارائه خواهند شد مبتنی بر این است که آیا نسبت رطوبت و دمای موثر براساس استاندارد ۵۵-۲۰۰۴ ASHRAE در داخل منطقه نشان داده شده در شکل ۱ و ۲ قرار دارد یا خیر. در این نمودارها دمای موثر برابر است با میانگین درجه حرارت هوا و متوسط دمای تابشی. برای تابستان از سطح عایق لباس $0,5$ Clo و برای زمستان از سطح عایق $1,0$ Clo استفاده می شود.

۳-۴ داده های ورودی و فرضیات حل مسله

برای شبیه سازی در نرم افزار انرژی پلاس اطلاعات ساختاری ساختمان و عوامل موثر در سیستم های سرمایشی و گرمایشی و نیز ظرفیت دستگاه ها به تفصیل در هر بخش آورده شده است.

۳-۴-۱ مشخصات آب و هوایی

به منظور ارزیابی و مقایسه هزینه های سرمایش و گرمایش مورد انتظار در طراحی ساختمان غالباً از داده های TMY^۱ در شبیه سازی ساختمان استفاده می شوند. TMY یک مقایسه از داده های آب و هوایی برای یک مکان مشخص است که از یک بانک اطلاعاتی با مدت بسیار طولانی تر از یک سال ایجاد می شود.

¹ typical meteorological year

TMY به ویژه برای نشان دادن محدوده پدیده های آب و هوایی برای مکان مورد نظر به کار می رود در حالی که میانگین های سالیانه ای که با میانگین های طولانی مدت برای مکان مورد نظر منطبق هستند را نیز ارائه می دهد. اولین مجموعه داده های TMY بر پایه ۲۲۹ موقعیت در ایالات متحده بود که بین سالهای ۱۹۴۸ تا ۱۹۸۰ جمع آوری شد. دومین نسخه TMY با نام TMY2 بر اساس جمع آوری اطلاعات ۲۳۹ ایستگاه در سالهای ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ ایجاد گردید. سومین و آخرین مجموعه داده های TMY (TMY3) بر اساس جمع آوری اطلاعات ۱۰۲۰ مکان در ایالات متحده است. از جمله جزایر گوام، ویرجین و پورتوریکو که برای یک دوره ثبت از ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۵ جمع آوری داده ها انجام شده و برای سایر مکان ها از یک دوره ثبت بین سال های ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۵ استفاده شده است [۳۲].

داده های آب و هوایی در فرمت TMY2 برای ۵ شهر ایران شامل تهران، تبریز، اصفهان، بندرعباس و شیراز، براساس دوره های ثبت ۳۰ تا ۴۳ ساله در پایگاه اطلاعات آب و هوایی سایت نرم افزار انرژی پلاس موجود است [۳۳] که برای شبیه سازی ساختمان مورد مطالعه در این تحقیق در شهر تهران مورد استفاده قرار گرفته است. در جدول ۲-۳ نمونه ای از داده های آب و هوایی و جغرافیایی مربوط به این شهرها به همراه شناسه WMO^۱ (سازمان جهانی هواشناسی [۳۴]) ارائه شده است.

جدول ۳-۲ نمونه ای از داده های آب و هوایی و جغرافیایی شهرهای ایران [۳۴]

شهر	WMO#	عرض جغرافیایی (درجه)	طول جغرافیایی (درجه)	ارتفاع از سطح دریا (متر)	بیشینه دمای خشک تابستانی (°C)	بیشینه دمای مرطوب در بیشینه دمای خشک تابستانی (°C)	کمینه دمای خشک زمستانی (°C)	دمای مرطوب در کمینه دمای خشک زمستانی (°C)
تبریز	۴۰۷۰۶۰	۳۸/۰۵	-۴۶.۱۷	۱۳۶۱	۳۴	۱۶.۲	-۸.۵	-۸.۵
تهران (مهرآباد)	۴۰۷۵۴۰	۳۵.۴۱	-۵۱.۱۹	۱۱۹۰	۳۷.۲	۱۸.۷	-۱.۳	-۱.۳
شیراز	۴۰۸۴۸۰	۲۹.۳۲	-۵۲.۳۶	۱۴۸۱	۳۸.۱	۱۷.۷	-۰.۲	-۰.۲
اصفهان	۴۰۸۰۰۰	۳۲.۳۷	-۵۱.۴	۱۵۵۰	۳۸	۱۷.۲	-۷	-۷
بندرعباس	۴۰۸۷۵۰	۲۷.۱۳	۵۶.۲۲	۹.۸	۴۰.۱	۲۵.۲	۱۰.۹	۱۰.۹

۳-۴-۲ مشخصات هندسی ساختمان

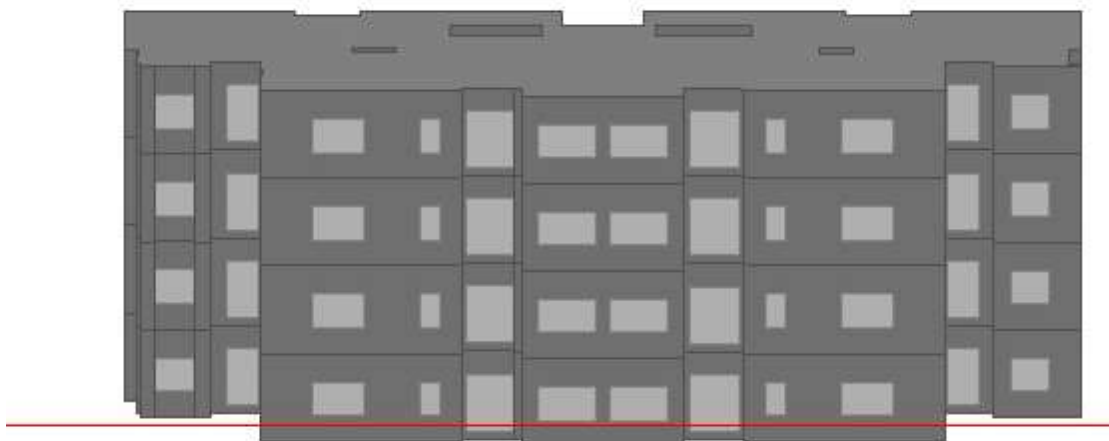
ساختمان مورد مطالعه در این تحقیق یک ساختمان مسکونی چهار طبقه با پلان تیپ و هر طبقه دارای پنج واحد می باشد. مساحت کل بنای ساختمان ۲۲۸۰ متر مربع و مساحت هر طبقه ۵۷۰ متر مربع می باشد.

¹ World Meteorological Organization

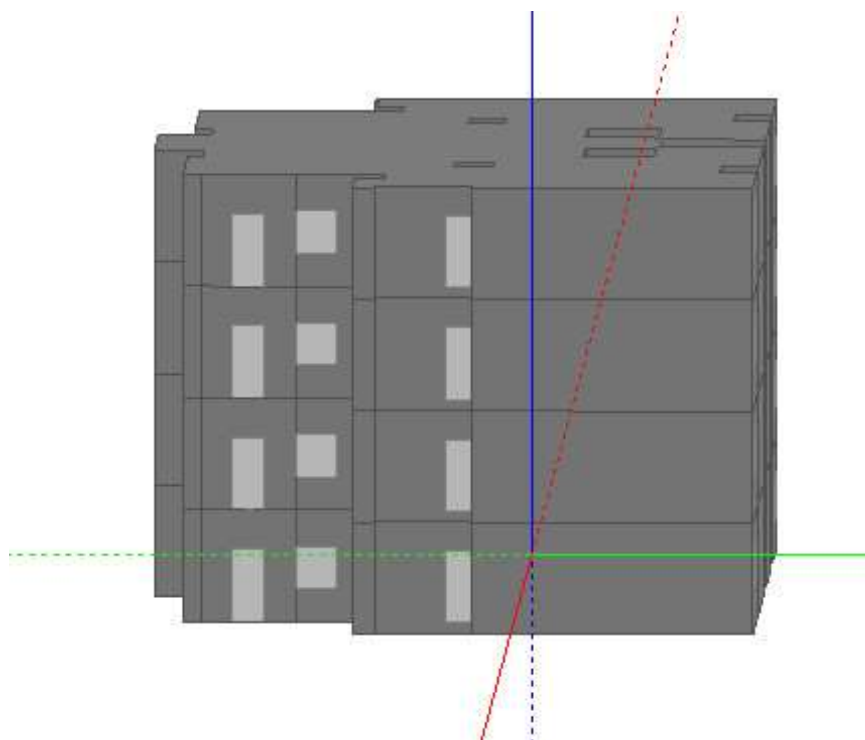
درب اتاقها به ارتفاع ۲,۲ متر و عرض ۰,۹ متر بوده و پنجره ها در دو تیپ به ابعاد ۱,۳ متر (ارتفاع) در ۱,۲ متر (عرض) و ۱,۳ متر (ارتفاع) در ۲ متر (عرض) هستند. ارتفاع کف تا کف طبقات ۳,۴ متر می باشد. در حالت استفاده از مصالح معمولی، ضخامت دیوارهای خارجی ۲۳,۵ سانتیمتر و دیوارهای داخلی ۲۲ سانتیمتر بوده و در حالت مصالح شامل PCM نوع ۱ ضخامت به ترتیب ۲۷,۲۱ سانتیمتر و ۲۹,۴۲ سانتیمتر خواهد بود. شکل های ۳-۶ تا ۳-۱۱ به ترتیب نمای شمالی، جنوبی، شرقی، ایزومتریک و پلان طبقات تیپ ساختمان نمونه مورد مطالعه را نشان می دهند.



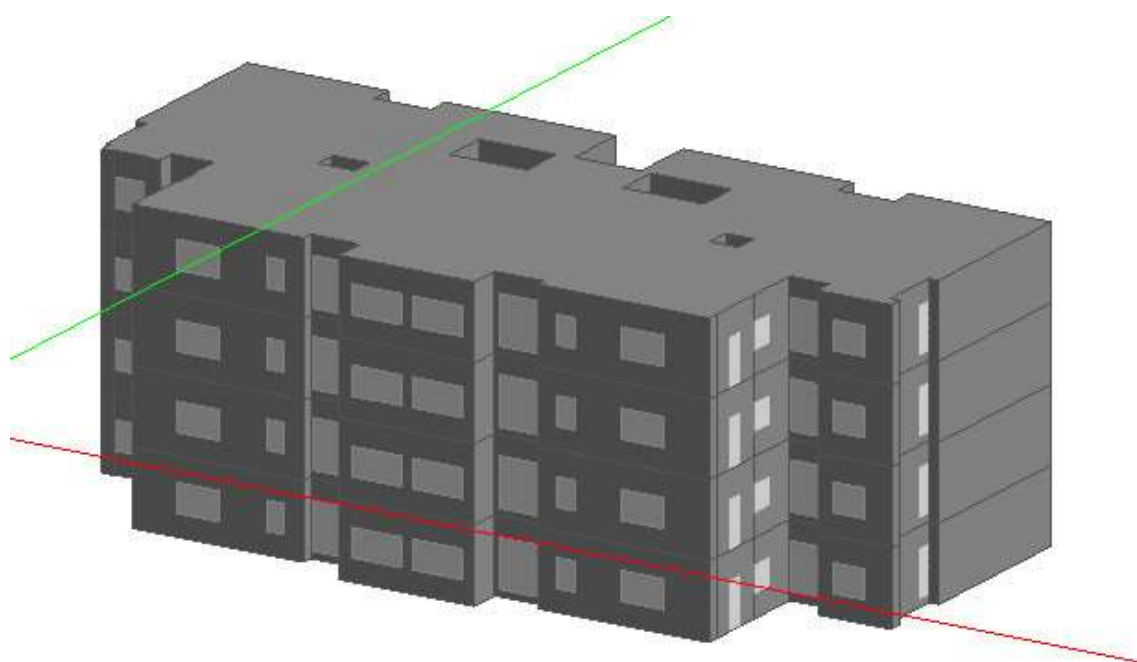
شکل ۳-۶ نمای شمالی ساختمان مورد مطالعه



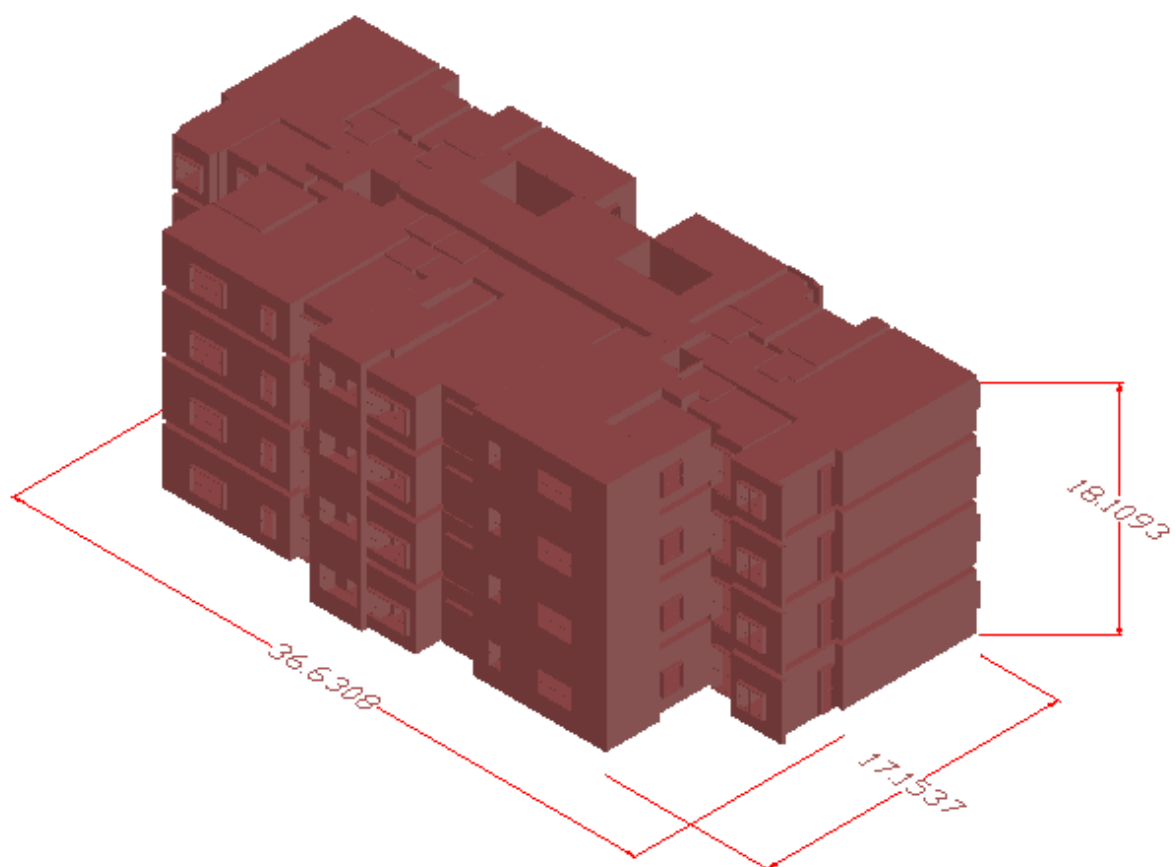
شکل ۳-۷ نمای جنوبی ساختمان مورد مطالعه



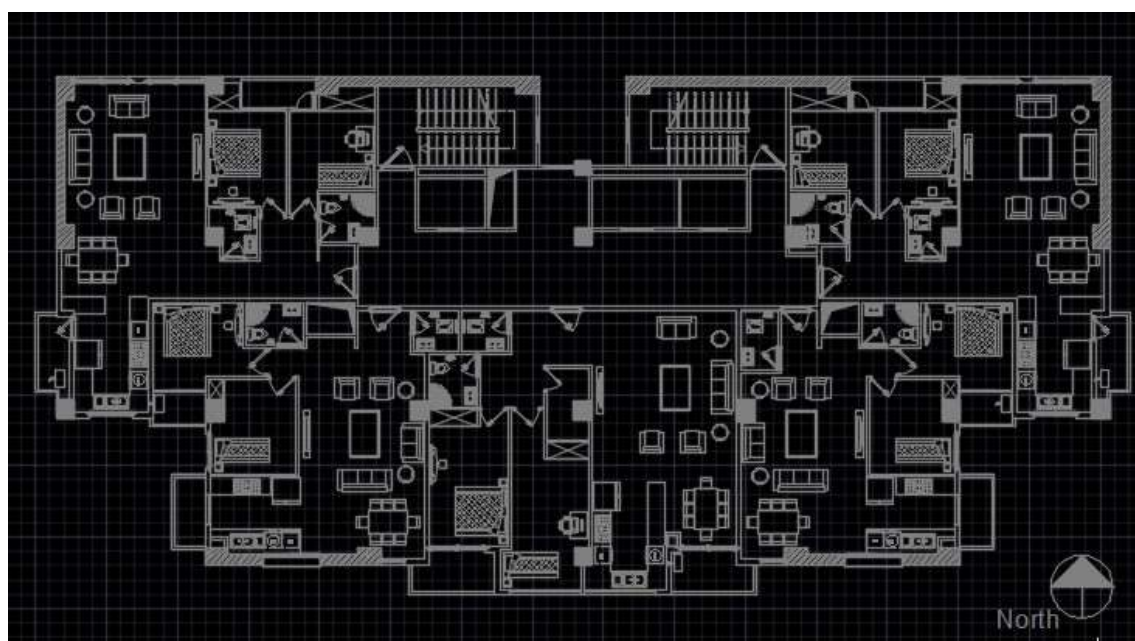
شکل ۳-۸ نمای شرقی ساختمان مورد مطالعه



شکل ۳-۹ نمای ایزومتریک ساختمان مورد مطالعه



شکل ۳-۱۰ نمای شماتیک ساختمان مورد مطالعه (توسط نویسنده)



شکل ۳-۱۱ پلان تیپ طبقات ساختمان مورد مطالعه

۳-۴-۳ مشخصات ساختاری ساختمان

مشخصات لایه های تشکیل دهنده دیوارهای خارجی، داخلی، کف طبقات، کف متصل به خاک، پشت بام و پنجره های ساختمان نمونه با مصالح متداول در جدول ۳-۳، ساختمان نمونه با مصالح شامل PCM نوع ۱ در جدول ۳-۴، ساختمان نمونه با مصالح شامل PCM نوع ۲ در جدول ۳-۵، ساختمان نمونه با مصالح شامل PCM نوع ۳ در جدول ۳-۶ و ساختمان نمونه با مصالح شامل PCM نوع ۴ در جدول ۳-۷ داده شده است.

ضمناً کلیه پنجره ها از نوع دوجداره شفاف با ۱۳ میلیمتر لایه هوا و جنس درها از نوع ^۱MDF می باشد.

^۱ Medium Density Fiber Board

جدول ۳-۳ لایه تشکیل دهنده اجزای ساختمان نمونه با مصالح متداول [۳۶]

اجزای ساختمان	لایه ها (از خارج به داخل)	ضخامت (cm)	ضریب هدایت گرمایی (w/m-k)	گرمای ویژه (j/kg-k)	چگالی (kg/m ³)
دیوار بیرونی	سنگ مرمر	2	3.5	1000	2800
	ملات ماسه سیمان	3	1	920	1600
	بلوک سفالی	15	0.11	896	2800
	گچ و خاک	2.5	1.1	960	1500
	گچ سفید	1	0.57	1090	1300
دیوار داخلی	گچ سفید	1	0.57	1090	1300
	گچ و خاک	2.5	1.1	960	1500
	بلوک سفالی	15	0.11	896	2800
	گچ و خاک	2.5	1.1	960	1500
	گچ سفید	1	0.57	1090	1300
کف طبقات	پارکت	0.8	0.14	1350	550
	عایق الاستومر	0.5	0.32	1400	50
	فوم ورقی	0.2	0.1	1470	38
	ملات ماسه سیمان	3	1	920	1600
	پوکه (بتن سبک)	4	0.52	1000	1200
	بتن سقف	20	1.5	1000	2200
	گچ و خاک	2.5	1.1	960	1500
	گچ سفید	1	0.57	1090	1300
سقف طبقه آخر	ایزوگام	2	0.017	1000	2250
	ملات ماسه سیمان	3	1	920	1600
	پوکه (بتن سبک)	4	0.52	1000	1200
	عایق الاستومر	0.5	0.32	1400	50
	بتن	20	1.5	1000	2200
	گچ و خاک	2.5	1.1	960	1500
	گچ سفید	1	0.57	1090	1300
	سنگ مرمر	3	3.5	1000	2800
کف همکف	ملات ماسه سیمان	3	1	920	1600
	پوکه (بتن سبک)	10	0.52	1000	1200
	بتن	75	1.5	1000	2200

جدول ۳- ۴ لایه تشکیل دهنده اجزای ساختمان نمونه با مصالح شامل BioPCM® M91/Q21 [۳۶]

اجزای ساختمان	لایه ها (از خارج به داخل)	ضخامت (cm)	ضریب هدایت گرمایی (w/m-k)	گرمای ویژه (j/kg-k)	چگالی (kg/m3)
دیوار بیرونی	سنگ مرمر	2	3.5	1000	2800
	ملات ماسه سیمان	3	1	920	1600
	بلوک سفالی	15	0.11	896	2800
	BioPCM M91/Q21	3.71	0.2	1970	235
	گچ سفید	1	0.57	1090	1300
دیوار داخلی	گچ سفید	1	0.57	1090	1300
	BioPCM M91/Q21	3.71	0.2	1970	235
	بلوک سفالی	15	0.11	896	2800
	گچ سفید	1	0.57	1090	1300
کف طبقات	پارکت	0.8	0.14	1350	550
	عایق الاستومر	0.5	0.32	1400	50
	فوم ورقی	0.2	0.1	1470	38
	ملات ماسه سیمان	3	1	920	1600
	پوک (بتن سبک)	4	0.52	1000	1200
	بتن سقف	20	1.5	1000	2200
	گچ و خاک	2.5	1.1	960	1500
	گچ سفید	1	0.57	1090	1300
سقف طبقه آخر	ایزوگام	2	0.017	1000	2250
	ملات ماسه سیمان	3	1	920	1600
	پوک (بتن سبک)	4	0.52	1000	1200
	عایق الاستومر	0.5	0.32	1400	50
	بتن	20	1.5	1000	2200
	BioPCM M91/Q21	3.71	0.2	1970	235
	گچ سفید	1	0.57	1090	1300
کف همکف	سنگ مرمر	3	3.5	1000	2800
	ملات ماسه سیمان	3	1	920	1600
	پوک (بتن سبک)	10	0.52	1000	1200
	بتن	75	1.5	1000	2200

جدول ۳-۵ لایه تشکیل دهنده اجزای ساختمان نمونه با مصالح شامل BioPCM® M91/Q23 [۳۶]

اجزای ساختمان	لایه ها (از خارج به داخل)	ضخامت (cm)	ضریب هدایت گرمایی (w/m-k)	گرمای ویژه (j/kg-k)	چگالی (kg/m3)
دیوار بیرونی	سنگ مرمر	2	3.5	1000	2800
	ملات ماسه سیمان	3	1	920	1600
	بلوک سفالی	15	0.11	896	2800
	BioPCM M91/Q23	3.71	0.2	1970	235
	گچ سفید	1	0.57	1090	1300
دیوار داخلی	گچ سفید	1	0.57	1090	1300
	BioPCM M91/Q23	3.71	0.2	1970	235
	بلوک سفالی	15	0.11	896	2800
	گچ سفید	1	0.57	1090	1300
کف طبقات	پارکت	0.8	0.14	1350	550
	عایق الاستومر	0.5	0.32	1400	50
	فوم ورقی	0.2	0.1	1470	38
	ملات ماسه سیمان	3	1	920	1600
	پوک (بتن سبک)	4	0.52	1000	1200
	بتن سقف	20	1.5	1000	2200
	گچ و خاک	2.5	1.1	960	1500
	گچ سفید	1	0.57	1090	1300
سقف طبقه آخر	ایزوگام	2	0.017	1000	2250
	ملات ماسه سیمان	3	1	920	1600
	پوک (بتن سبک)	4	0.52	1000	1200
	عایق الاستومر	0.5	0.32	1400	50
	بتن	20	1.5	1000	2200
	BioPCM M91/Q23	3.71	0.2	1970	235
	گچ سفید	1	0.57	1090	1300
کف همکف	سنگ مرمر	3	3.5	1000	2800
	ملات ماسه سیمان	3	1	920	1600
	پوک (بتن سبک)	10	0.52	1000	1200
	بتن	75	1.5	1000	2200

جدول ۳-۶ لایه تشکیل دهنده اجزای ساختمان نمونه با مصالح شامل BioPCM® M91/Q25 [۳۶]

اجزای ساختمان	لایه ها (از خارج به داخل)	ضخامت (cm)	ضریب هدایت گرمایی (w/m-k)	گرمای ویژه (j/kg-k)	چگالی (kg/m3)
دیوار بیرونی	سنگ مرمر	2	3.5	1000	2800
	ملات ماسه سیمان	3	1	920	1600
	بلوک سفالی	15	0.11	896	2800
	BioPCM M91/Q25	3.71	0.2	1970	235
	گچ سفید	1	0.57	1090	1300
دیوار داخلی	گچ سفید	1	0.57	1090	1300
	BioPCM M91/Q25	3.71	0.2	1970	235
	بلوک سفالی	15	0.11	896	2800
	گچ سفید	1	0.57	1090	1300
کف طبقات	پارکت	0.8	0.14	1350	550
	عایق الاستومر	0.5	0.32	1400	50
	فوم ورقی	0.2	0.1	1470	38
	ملات ماسه سیمان	3	1	920	1600
	پوک (بتن سبک)	4	0.52	1000	1200
	بتن سقف	20	1.5	1000	2200
	گچ و خاک	2.5	1.1	960	1500
	گچ سفید	1	0.57	1090	1300
سقف طبقه آخر	ایزوگام	2	0.017	1000	2250
	ملات ماسه سیمان	3	1	920	1600
	پوک (بتن سبک)	4	0.52	1000	1200
	عایق الاستومر	0.5	0.32	1400	50
	بتن	20	1.5	1000	2200
	BioPCM M91/Q25	3.71	0.2	1970	235
	گچ سفید	1	0.57	1090	1300
کف همکف	سنگ مرمر	3	3.5	1000	2800
	ملات ماسه سیمان	3	1	920	1600
	پوک (بتن سبک)	10	0.52	1000	1200
	بتن	75	1.5	1000	2200

جدول ۳-۷ لایه تشکیل دهنده اجزای ساختمان نمونه با مصالح شامل BioPCM® M91/Q27 [۳۶]

اجزای ساختمان	لایه ها (از خارج به داخل)	ضخامت (cm)	ضریب هدایت گرمایی (w/m-k)	گرمای ویژه (j/kg-k)	چگالی (kg/m3)
دیوار بیرونی	سنگ مرمر	2	3.5	1000	2800
	ملات ماسه سیمان	3	1	920	1600
	بلوک سفالی	15	0.11	896	2800
	BioPCM M91/Q27	3.71	0.2	1970	235
	گچ سفید	1	0.57	1090	1300
دیوار داخلی	گچ سفید	1	0.57	1090	1300
	BioPCM M91/Q27	3.71	0.2	1970	235
	بلوک سفالی	15	0.11	896	2800
	گچ سفید	1	0.57	1090	1300
کف طبقات	پارکت	0.8	0.14	1350	550
	عایق الاستومر	0.5	0.32	1400	50
	فوم ورقی	0.2	0.1	1470	38
	ملات ماسه سیمان	3	1	920	1600
	پوک (بتن سبک)	4	0.52	1000	1200
	بتن سقف	20	1.5	1000	2200
	گچ و خاک	2.5	1.1	960	1500
	گچ سفید	1	0.57	1090	1300
سقف طبقه آخر	ایزوگام	2	0.017	1000	2250
	ملات ماسه سیمان	3	1	920	1600
	پوک (بتن سبک)	4	0.52	1000	1200
	عایق الاستومر	0.5	0.32	1400	50
	بتن	20	1.5	1000	2200
	BioPCM M91/Q27	3.71	0.2	1970	235
	گچ سفید	1	0.57	1090	1300
کف همکف	سنگ مرمر	3	3.5	1000	2800
	ملات ماسه سیمان	3	1	920	1600
	پوک (بتن سبک)	10	0.52	1000	1200
	بتن	75	1.5	1000	2200

۳-۴-۴ مشخصات کاربری ساختمان

با توجه به اینکه کاربری ساختمان مورد مطالعه مسکونی می باشد، برای جداول و مقادیر مرتبط با نوع کاربری ساختمان از استاندارد ۲۰۱۳ ASHRAE ۹۰.۱ استفاده شده است. مطابق این استاندارد تراکم افراد در ساختمان ۱۳/۹۳ مترمربع به ازای هر نفر، شدت روشنایی ۱۰/۷۶ وات بر متر مربع فضا، مصرف برق برای تولید آب گرم ۳۱/۰۶ وات به ازای هر نفر، مصرف سایر تجهیزات الکتریکی ۸/۶۱ وات بر متر مربع فضا، مصرف تجهیزات گازسوز ۰/۱۲۶ وات بر متر مربع فضا، دفعات تعویض هوا بر ساعت ۱/۲۵، میزان هوای تازه ورودی $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$ برای هر نفر در نظر گرفته شده است.

۳-۴-۵ مشخصات سیستمهای گرمایش و سرمایش ساختمان

برای گرمایش و سرمایش ساختمان مورد مطالعه از سیستم موتورخانه مرکزی گرمایش و سرمایش، با سیستم پایانه ای فن کویل برای تهویه مطبوع فضاها استفاده شده است. سیستم موتورخانه مرکزی شامل دیگ آبگرم با مصرف گاز طبیعی و دمای طراحی آب گرم خروجی 75°C و چیلر تراکمی هوا خنک با $\text{COP}=5/5$ و دمای طراحی آب سرد خروجی $6/76^\circ\text{C}$ می باشد. برای ایجاد تهویه مطبوع فضاها نیز از سیستم فن کویل با کنترل از طریق شیر برقی، استفاده شده است.

ظرفیت اجزای سیستم موتورخانه مرکزی و هواساز پس از اجرای نرم افزار و شبیه سازی ساختمان مورد مطالعه محاسبه شده و در بخش نتایج ارائه می شود.

۳-۵ مشخصات ماده تغییر فاز دهنده

همانگونه که پیشتر در بخش ۱-۳ در طبقه بندی مواد تغییر فاز دهنده اشاره شد پارافین ها به دلیل گرمای نهان بالا، رفتار پیوند دهنده هسته ای خودبخودی، بی خطر بودن و فراوانی تجاری از پرکاربردترین مواد آلی PCM هستند. اما خاصیت اشتعال پذیری بالای این مواد استفاده از آنها را در ساختمانها محدود می کند.

به همین دلیل در این تحقیق از مواد آلی غیر پارافینی به نام Bio-based PCM (مواد PCM با ماهیت زیستی) که از گروه اسیدهای چرب به شمار می روند استفاده شده است که ضمن داشتن خواص خوب پارافین ها اشتعال پذیری کمتری نیز دارند. این مواد منشأ طبیعی و تجدید پذیر داشته و از مواد خام کم استفاده مانند روغن سویا، روغن نارگیل، روغن نخل (پالم) و پیه گاو به دست می آیند. این مواد مشابه PCM های پارافینی قابلیت جذب، ذخیره و رهاسازی مقادیر بزرگی از گرمای نهان و نیز قابلیت ریز کپسول شدن را دارند. همچنین می توانند طوری ساخته شوند که نقطه ذوب آنها بین $22/7^\circ\text{C}$ تا $78/33^\circ\text{C}$ تغییر کند که این

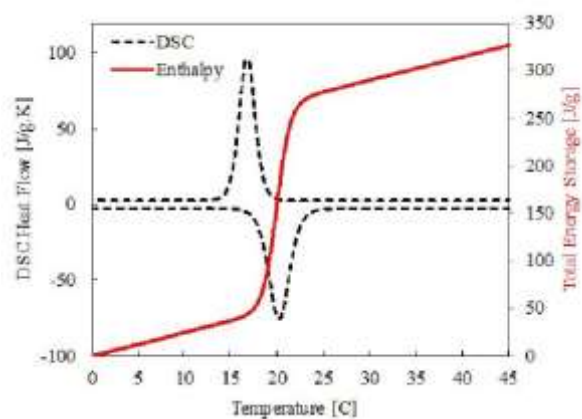
باعث کاربرد آنها در زمینه های مختلف و شرایط متفاوت آب و هوایی می شود. با این حال PCM های با ماهیت زیستی مشابه همه PCM های آلی مرسوم رسانایی گرمایی پایینی دارند که کاربردها در ذخیره انرژی را محدود می کند. از این رو استفاده از PCM های با ماهیت زیستی پر شده با مواد دارای رسانش گرمایی بالا یک استراتژی خوب برای ارتقای خواص گرمایی و کاربرد وسیع آنها محسوب می شود [۳۵].

PCM انتخابی در این تحقیق با نام تجاری BioPCM™ از گروه PCM های با ماهیت زیستی و از فرآورده های شرکت استرالیایی Phase Change Energy Solutions می باشد. BioPCM یک حصیر پلی اتیلنی است با بسته های جاسازی شده شامل مواد PCM زیستی. (شکل ۳-۱۲)

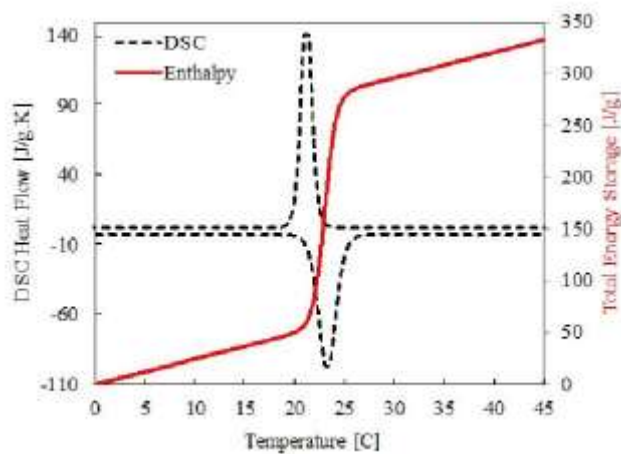


شکل ۳-۱۲ ساخت BioPCM شرکت Phase Change Energy Solutions [35]

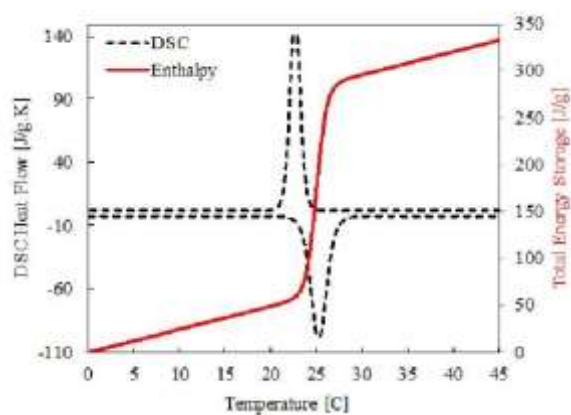
بهترین مکان برای نصب آن بالای پانل های سقف کاذب یا پشت تیغه های دیوار پیش ساخته می باشد. BioPCM قابل سفارش با یکی از چهار دمای تغییر فاز 21°C ، 23°C ، 25°C و 27°C بوده و در ظرفیت های ذخیره گرمایی مختلف موجود است. ظرفیت ذخیره گرمای نهان برای مدل $M-27$ 27Btu/ft^2 ، مدل $M-51$ 51Btu/ft^2 ، مدل $M-91$ 91Btu/ft^2 و مدل $M-182$ 182Btu/ft^2 می باشد. برای مقایسه، یک فوت مربع از یک دال بتنی به ضخامت ۴ اینچ در یک افزایش دمای 10°F در حدود 90Btu گرما را می تواند در خود ذخیره کند. همچنین طبق اعلام شرکت تولید کننده، BioPCM طی ۲۵۰۰۰ چرخه تغییر فاز بدون هیچ گونه تنزل در عملکرد مورد آزمایش قرار گرفته است و در نمودار های دما و ظرفیت حرارتی همانند شکل زیر می باشد که تغییر فاز در دماهای مختلف برای ۴ ماده نشان داده شده است.



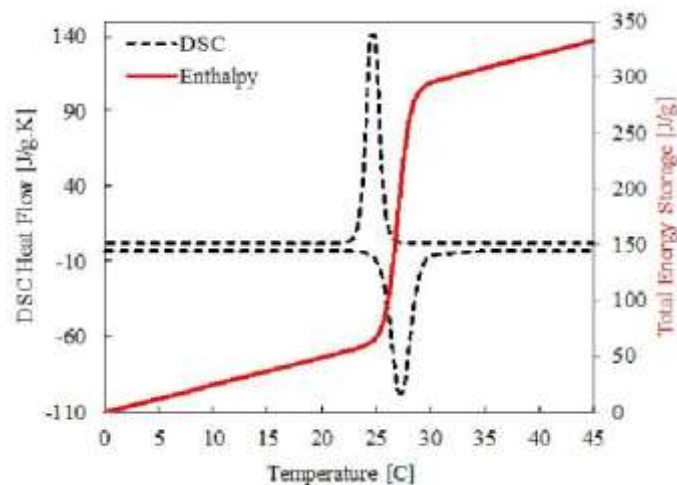
شکل ۳-۱۳ عملکرد تغییر فاز، ماده تغییر فاز دهنده با دمای تغییر فاز ۲۱C [35]



شکل ۳-۱۴ عملکرد تغییر فاز، ماده تغییر فاز دهنده با دمای تغییر فاز ۲۳C [35]



شکل ۳-۱۵ عملکرد تغییر فاز، ماده تغییر فاز دهنده با دمای تغییر فاز ۲۵C [35]



شکل ۳-۱۶ عملکرد تغییر فاز، ماده تغییر فاز دهنده با دمای تغییر فاز ۲۷°C [35]

در این تحقیق برای بررسی تاثیر دمای نقطه ذوب مواد تغییر فاز دهنده بکار رفته در لایه های اجزای ساختمان در میزان کاهش انرژی مصرفی ساختمان و نیز تامین آسایش حرارتی ساختمان چهار نوع BioPCM با ظرفیت ذخیره حرارتی یکسان (91 Btu/ft^2) و دماهای نقطه ذوب متفاوت (21°C ، 23°C ، 25°C و 27°C) مورد استفاده قرار گرفته است. بنابراین PCM نوع ۱ بکار رفته در این پروژه BioPCM® M91/Q21، نوع ۲ BioPCM® M91/Q23، نوع ۳ BioPCM® M91/Q25 و نوع ۴ BioPCM® M91/Q27 می باشد.

همانگونه که پیشتر گفته شد در روش الگوریتم تفاضل محدود رسانش برای همه گره های واقع در یک لایه با ماده تغییر فاز دهنده، باید یک تابع آنتالپی- دما شکل گیرد. از این رو مقادیر دما و آنتالپی برای چهار نوع PCM استفاده شده در پروژه مطابق جداول ۳-۸ و ۳-۹، به عنوان داده های ورودی نرم افزار انرژی پلاس داده شده است.

جدول ۳-۸ جدول مقادیر دما و آنتالپی برای BioPCM® M91/Q21 و BioPCM® M91/Q23 [35].

مقادیر دما و آنتالپی BioPCM® M91/Q23		
آنتالپی j/kg	دما C	
1	-20	1
12	0	2
23058	10	3
32580	15	4
41280	20	5
55230	21.5	6
81820	22	7
128509	22.5	8
201879	23	9
236860	24	10
245462	25	11
249194	27	12
254503	30	13
258813	35	14
267178	45	15
300420	100	16

مقادیر دما و آنتالپی BioPCM® M91/Q21		
آنتالپی j/kg	دما C	
1	-20	1
12	0	2
25058	10	3
34799	15	4
38970	20	5
55119	21	6
80820	21.5	7
128509	22	8
201879	22.5	9
225581	23	10
231773	24	11
233328	25	12
240711	30	13
246859	35	14
254741	45	15
289545	100	16

جدول ۳-۹ جدول مقادیر دما و آنتالپی برای BioPCM® M91/Q25 و BioPCM® M91/Q27 [35]

مقادیر دما و آنتالپی BioPCM® M91/Q27		
آنتالپی j/kg	دما C	
1	-20	1
5	0	2
16458	10	3
23562	15	4
32561	20	5
43078	25	6
57014	26	7
84146	26.5	8
134578	27	9
202864	27.5	10
237015	28	11
251278	30	12
255234	32	13
258320	35	14
267324	45	15
322093	100	16

مقادیر دما و آنتالپی BioPCM® M91/Q25		
آنتالپی j/kg	دما C	
1	-20	1
8	0	2
19290	10	3
27240	15	4
36990	20	5
42867	23	6
56221	24	7
83245	24.5	8
133649	25	9
201879	25.5	10
236860	26	11
247994	28	12
254449	32	13
257761	35	14
266724	45	15
322285	100	16

فصل چہارم

تجزیہ و تحلیل دادہ

۴-۱ مقدمه

در این تحقیق مصرف انرژی سالانه برای یک ساختمان مسکونی نمونه در شهر تهران، با استفاده از ابزار شبیه سازی نرم افزار انرژی پلاس، یکبار با مصالح بنایی متداول و یکبار با مصالح شامل چهار نوع مختلف از مواد تغییر فاز دهنده، مورد محاسبه قرار گرفته که در ادامه به بررسی و مقایسه نتایج آن پرداخته می شود.

۴-۲ جمع بندی و تبیین نتایج تحقیق

برای جمع بندی ابتدا نتایج به دست آمده از شبیه سازی ساختمان در حالت استفاده از مصالح متداول و مصالح شامل چهار نوع PCM بیان و میزان صرفه جویی در هر حالت مشخص شده، سپس در ادامه نمودارهای خروجی نرم افزار برای مقایسه تطبیقی مقادیر داده شده است. همچنین تمامی نتایج به تفکیک نوع مصالح، نوع گزارش و درصد و میزان صرفه جویی در یک جدول آورده شده است.

۴-۲-۱ ساختمان با مصالح متداول بدون PCM

پس از اجرای نرم افزار و شبیه سازی نتایج زیر برای ساختمان مورد مطالعه در شهر تهران به دست می آید:

در این حالت انرژی مصرفی سالانه کل ساختمان، انرژی الکتریکی مصرفی کل سالانه و انرژی گاز مصرفی کل سالانه همچنین توان نامی چیلرها و توان نامی بویلرها مطابق جدول زیر بدست آمده است.

جدول ۴ - ۱ برآورد انرژی و تجهیزات ساختمان بدون استفاده از مواد تغییر فاز دهنده

ساختمان با مصالح مرسوم	
127,119.79	انرژی مصرفی سالانه کل kwh
108,891.05	انرژی الکتریکی مصرفی سالانه کل kwh
18,228.74	انرژی گاز مصرفی سالانه کل kwh
116,764.93	توان نامی چیلر w
74,568.93	توان نامی بویلر w

۴-۲-۲ ساختمان با مصالح شامل BioPCM® M91/Q21

در این حالت پس از استفاده از مواد تغییر فاز دهنده BioPCM® M91/Q21 در دیوارهای داخلی، خارجی، و سقف طبقه آخر ساختمان، با مقایسه داده ها و نمودارهای به دست آمده مشاهده می شود انرژی الکتریکی مصرفی کل سالانه و انرژی گاز مصرفی کل سالانه همچنین توان نامی چیلرها و توان نامی بویلرها مطابق جدول زیر بدست آمده است.

جدول ۴ - ۲ برآورد انرژی و تجهیزات ساختمان با استفاده از BioPCM® M91/Q21

ساختمان با BioPCM® M91/Q21	
122,542.77	انرژی مصرفی سالانه کل kwh
108,264.90	انرژی الکتریکی مصرفی سالانه کل kwh
14,277.88	انرژی گاز مصرفی سالانه کل kwh
117,003.85	توان نامی چیلر w
69,899.34	توان نامی بویلر w

۴-۲-۳ ساختمان با مصالح شامل BioPCM® M91/Q23

در این حالت پس از استفاده از مواد تغییر فاز دهنده BioPCM® M91/Q23 در دیوارهای داخلی، خارجی، و سقف طبقه آخر ساختمان، با مقایسه داده ها و نمودارهای به دست آمده مشاهده می شود انرژی الکتریکی مصرفی کل سالانه و انرژی گاز مصرفی کل سالانه همچنین توان نامی چیلرها و توان نامی بویلرها مطابق جدول زیر بدست آمده است.

جدول ۴-۳ برآورد انرژی و تجهیزات ساختمان با استفاده از BioPCM® M91/Q23

ساختمان با BioPCM® M91/Q23	
122,542.77	انرژی مصرفی سالانه کل kwh
108,264.90	انرژی الکتریکی مصرفی سالانه کل kwh
14,277.88	انرژی گاز مصرفی سالانه کل kwh
117,003.85	توان نامی چیلر w
69,899.34	توان نامی بویلر w

۴-۲-۴ ساختمان با مصالح شامل BioPCM® M91/Q25

در این حالت پس از استفاده از مواد تغییر فاز دهنده BioPCM® M91/Q25 در دیوارهای داخلی، خارجی، و سقف طبقه آخر ساختمان، با مقایسه داده ها و نمودارهای به دست آمده مشاهده می شود انرژی الکتریکی مصرفی کل سالانه و انرژی گاز مصرفی کل سالانه همچنین توان نامی چیلرها و توان نامی بویلرها مطابق جدول زیر بدست آمده است.

جدول ۴-۴ برآورد انرژی و تجهیزات ساختمان با استفاده از BioPCM® M91/Q25

ساختمان با BioPCM® M91/Q25	
123,475.77	انرژی مصرفی سالانه کل kwh
108,592.68	انرژی الکتریکی مصرفی سالانه کل kwh
14,883.09	انرژی گاز مصرفی سالانه کل kwh
117,145.38	توان نامی چیلر w
69,774.61	توان نامی بویلر w

۴-۲-۵ ساختمان با مصالح شامل BioPCM® M91/Q27

در این حالت پس از استفاده از مواد تغییر فاز دهنده BioPCM® M91/Q27 در دیوارهای داخلی، خارجی، و سقف طبقه آخر ساختمان، با مقایسه داده ها و نمودارهای به دست آمده مشاهده می شود انرژی الکتریکی مصرفی کل سالانه و انرژی گاز مصرفی کل سالانه همچنین توان نامی چیلرها و توان نامی بویلرها مطابق جدول زیر بدست آمده است.

جدول ۴-۵ برآورد انرژی و تجهیزات ساختمان با استفاده از BioPCM® M91/Q27

ساختمان با BioPCM® M91/Q27	
121,326.12	انرژی مصرفی سالانه کل kwh
106,040.71	انرژی الکتریکی مصرفی سالانه کل kwh
15,285.41	انرژی گاز مصرفی سالانه کل kwh
108,875.11	توان نامی چیلر w
69,773.01	توان نامی بویلر w

۴-۳ نمودارهای خروجی نرم افزار

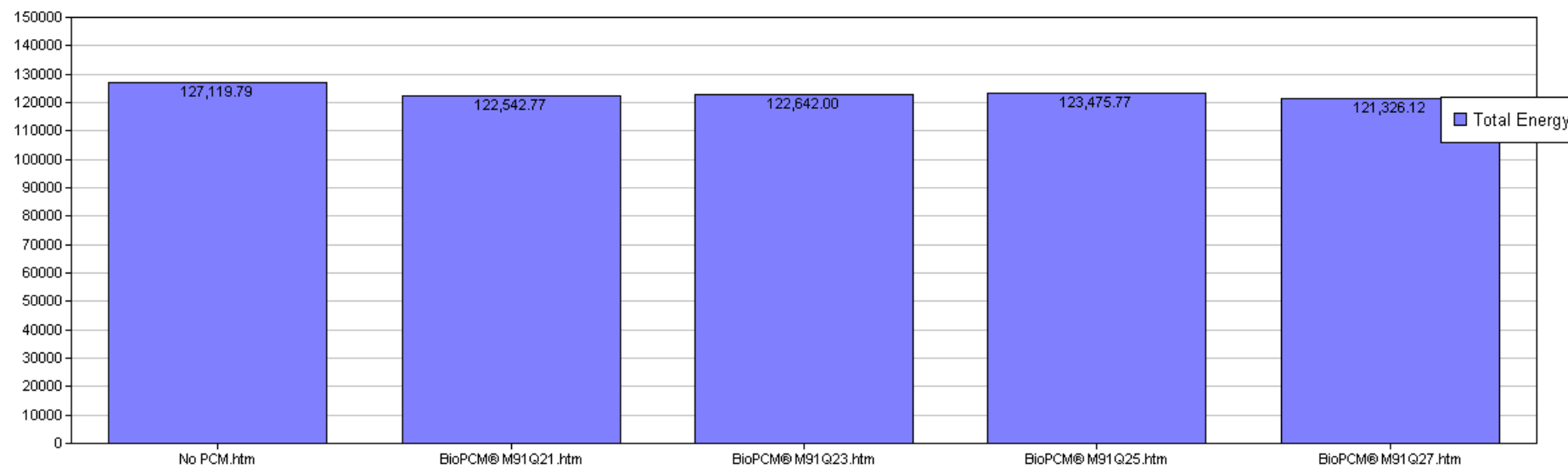
پس از انجام شبیه سازی انرژی پروژه در حالات مختلف ذکرشده، توسط نرم افزار انرژی پلاس، در این بخش برای مقایسه بهتر تطبیقی، نمودارهای خروجی که از نرم افزارهای EP-Compare و Microsoft Excel به دست آمده اند ارائه میشوند.

۴-۳-۱ انرژی مصرفی سالانه کل برحسب (Kwh) برای ساختمان نمونه با چهار نوع PCM و بدون

PCM

با بررسی و مطالعه نمودارها و جداول مشاهده می شود که بیشترین میزان انرژی مصرفی سالانه برای ساختمان مورد مطالعه مربوط به حالت استفاده از مصالح متداول بدون PCM به میزان ۱۲۷۱۱۹,۷۹ kwh بوده و ساختمان با مصالح شامل BioPCM® M91/Q25 با ۱۲۳۴۷۵,۷۷ kwh، ساختمان با مصالح شامل BioPCM® M91/Q23 با ۱۲۲۶۴۲ kwh، ساختمان با مصالح شامل BioPCM® M91/Q21 با kwh و ۱۲۲۵۴۲,۷۷ و ساختمان با مصالح شامل BioPCM® M91/Q27 با ۱۲۱۳۲۶,۱۲ kwh به ترتیب در رده های بعدی قرار دارند.

Annual Building Utility Performance Summary --- Site and Source Energy -- Total Site Energy -- Total Energy [kWh] -- Simple Bar



نمودار ۴ - ۱ انرژی مصرفی سالانه کل بر حسب (Kwh) برای ساختمان نمونه با چهار نوع PCM و بدون PCM

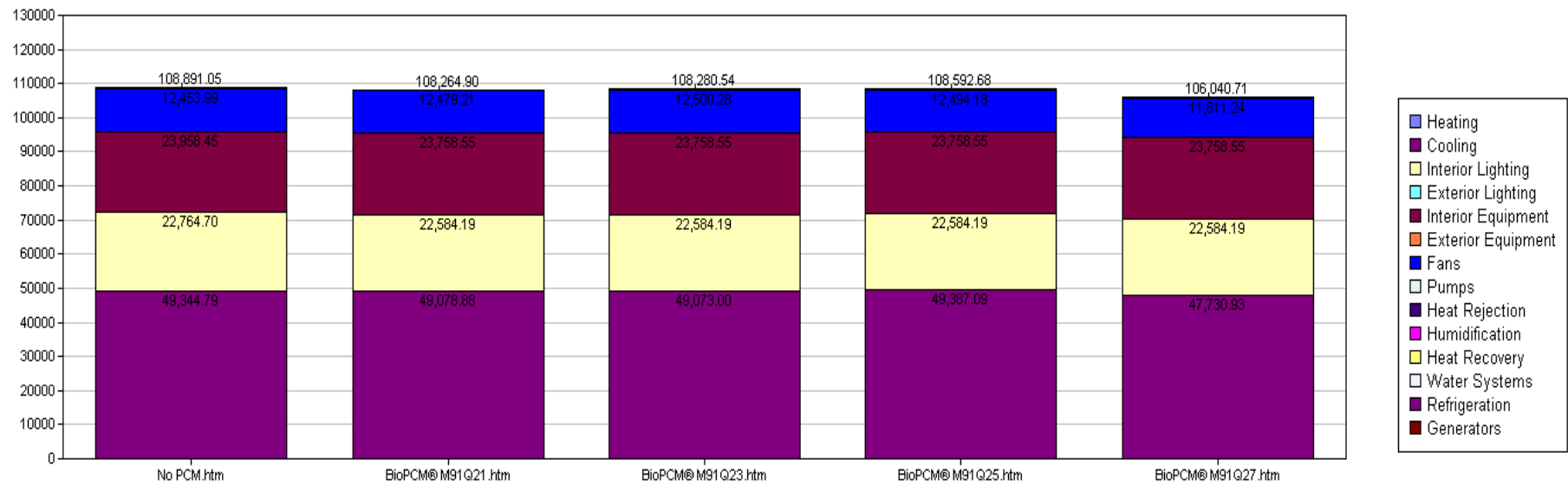
۴-۳-۲ انرژی الکتریکی مصرفی سالانه کل به تفکیک محل مصرف برحسب (Kwh) برای ساختمان نمونه

با چهار نوع PCM و بدون PCM

در خصوص انرژی الکتریکی بیشترین میزان انرژی مصرفی سالانه برای ساختمان مورد مطالعه مربوط به حالت استفاده از مصالح متداول بدون PCM به میزان ۱۰۸۸۹۱,۰۵ kwh بوده و ساختمان با مصالح شامل BioPCM® M91/Q25 با ۱۰۸۵۹۲,۶۸ kwh، ساختمان با مصالح شامل BioPCM® M91/Q23 با ۱۰۸۲۸۰,۵۴ kwh، ساختمان با مصالح شامل BioPCM® M91/Q21 با ۱۰۸۲۶۴,۹ kwh و ساختمان با مصالح شامل BioPCM® M91/Q27 با ۱۰۶۰۴۰,۷۱ kwh به ترتیب در رده های بعدی قرار دارند.

با توجه به نمودار ۴-۲ مشاهده می شود که تاثیر مواد تغییر فاز دهنده بر روی انرژی الکتریکی بجز ماده تغییر فاز دهنده BioPCM® M91/Q27 قابل چشم پوشی می باشد. در بقیه مواد تغییر فاز دهنده اختلاف kwh سالیانه زیر ۱۰۰۰ می باشد که قابل چشم پوشی است.

Annual Building Utility Performance Summary --- End Uses -- Electricity [kWh] -- Stacked Bar



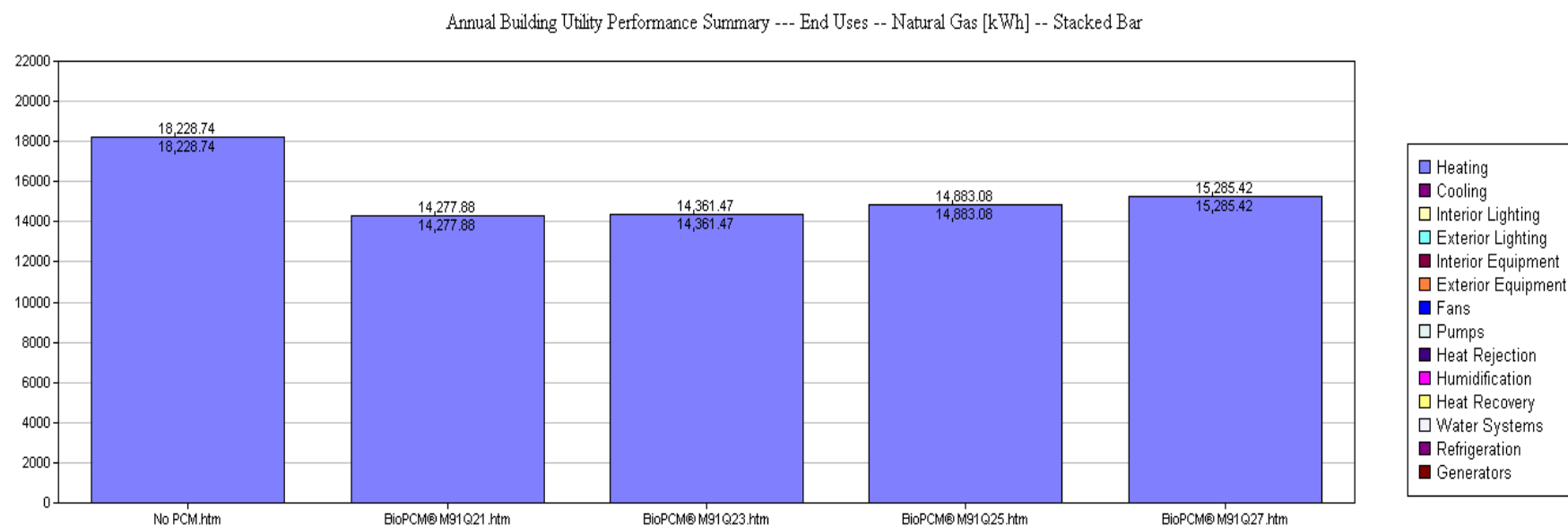
نمودار ۴ - ۲ انرژی الکتریکی مصرفی سالانه کل به تفکیک محل مصرف برحسب (Kwh) برای ساختمان نمونه با چهار نوع PCM و بدون PCM

۳-۳-۴ انرژی گاز مصرفی سالانه کل به تفکیک محل مصرف برحسب (Kwh) برای ساختمان نمونه با

چهار نوع PCM و بدون PCM

بیشترین میزان انرژی گاز مصرفی سالانه به ترتیب مربوط به حالت استفاده از مصالح متداول بدون PCM به میزان ۱۸۲۲۸,۷۴ kwh ، ساختمان با مصالح شامل BioPCM® M91/Q27 با ۱۵۲۸۵,۴۱ kwh ، ساختمان با مصالح شامل BioPCM® M91/Q25 با ۱۴۸۸۳,۰۹ kwh ، ساختمان با مصالح شامل BioPCM® M91/Q23 با ۱۴۳۶۱,۴۶ kwh و ساختمان با مصالح شامل BioPCM® M91/Q21 با ۱۴۲۷۷,۸۸ kwh می باشد.

با توجه به نمودار 3-4 می توان دید که اثر مواد تغییر فاز دهنده بصورت کلی بر روی انرژی گاز سالیانه ساختمان مفید خواهد بود و می توان بعنوان یک فاکتور مفید جهت بررسی اقتصادی در نظر گرفت.



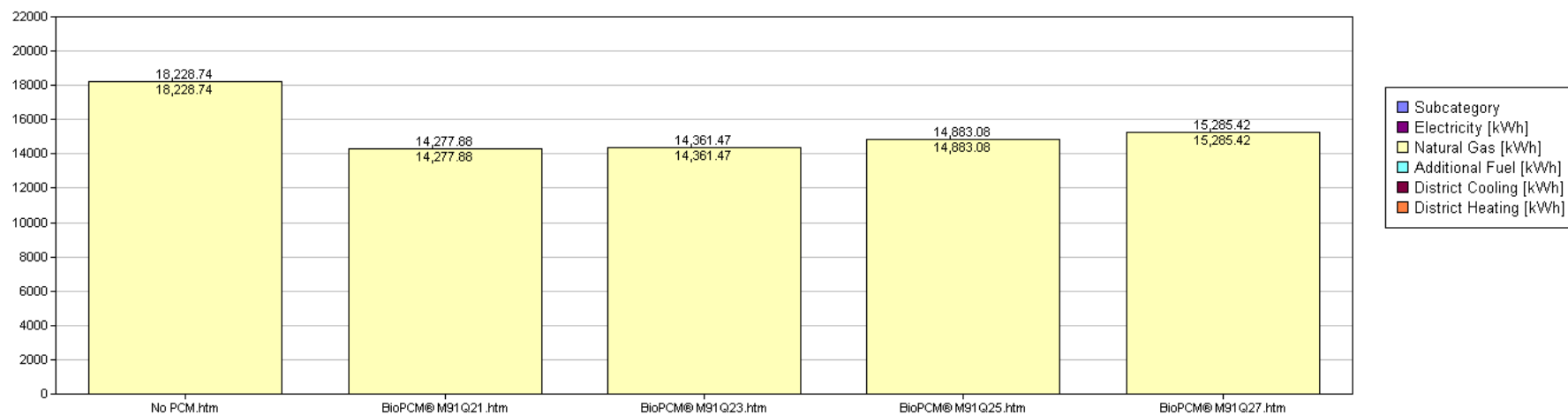
نمودار ۴-۳ انرژی گاز مصرفی سالانه کل به تفکیک محل مصرف بر حسب (Kwh) برای ساختمان نمونه با چهار نوع PCM و بدون PCM

۴-۳-۴ انرژی گرمایشی کل سالانه به تفکیک نوع سوخت برحسب (Kwh) برای ساختمان نمونه با چهار

نوع PCM و بدون PCM

با بررسی نمودار های انرژی گرمایشی سالانه مشاهده می شود که میزان انرژی گرمایشی کل سالانه به ترتیب مربوط به حالت استفاده از مصالح متداول بدون PCM به میزان ۱۸۲۲۸,۷۴ kwh ، ساختمان با مصالح شامل BioPCM® M91/Q27 با ۱۵۲۸۵,۴۱ kwh ، ساختمان با مصالح شامل BioPCM® M91/Q25 با kwh ۱۴۸۸۳,۰۹ ، ساختمان با مصالح شامل BioPCM® M91/Q23 با ۱۴۳۶۱,۴۶ kwh و ساختمان با مصالح شامل BioPCM®M91/Q21 با ۱۴۲۷۷,۸۸ kwh می باشد.

Annual Building Utility Performance Summary --- End Uses By Subcategory -- Heating -- Stacked Bar



نمودار ۴ - ۴ انرژی گرمایشی کل سالانه به تفکیک نوع سوخت بر حسب (Kwh) برای ساختمان نمونه با چهار نوع PCM و بدون PCM

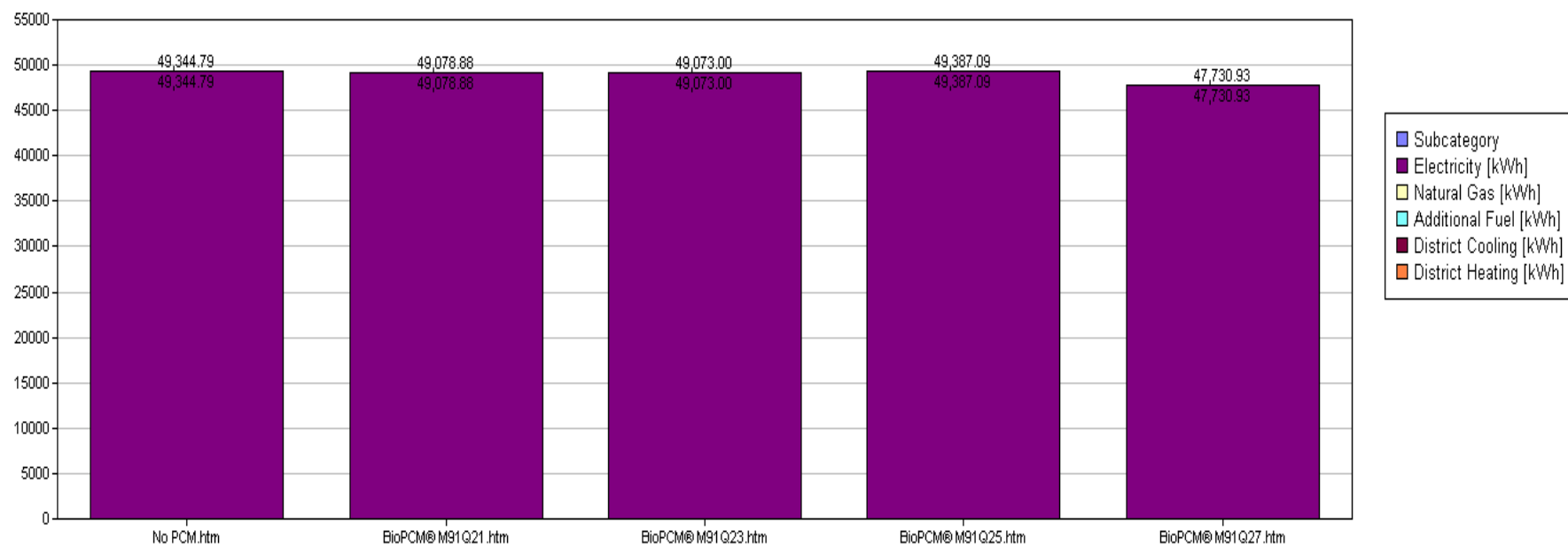
۴-۳-۵ انرژی سرمایشی کل سالانه به تفکیک نوع سوخت برحسب (Kwh) برای ساختمان نمونه با

چهار نوع PCM و بدون PCM

با بررسی نمودار های انرژی سرمایشی سالانه مشاهده می شود که میزان انرژی سرمایشی کل سالانه به ترتیب مربوط به حالت استفاده از BioPCM® M91/Q25 به میزان ۴۹۳۸۷,۰۹ kwh سپس مصالح متداول بدون PCM به میزان ۴۹۳۴۴,۷۹ kwh ، ساختمان با مصالح شامل BioPCM® M91/Q21 با 49078.88 kwh، ساختمان با مصالح شامل BioPCM® M91/Q23 با 49073.00 kwh، ساختمان با مصالح شامل BioPCM® M91/Q27 با 47730.93 kwh می باشد.

از نمودار ۴-۵ مشاهده می شود که تاثیر استفاده از مواد تغییر فاز دهنده نسبت کاهش انرژی سرمایشی سالیانه برای ساختمان این پروژه در بیشترین حالت مقدار ۱۶۱۴ kwh می باشد که با توجه به مقدار این انرژی در سال قابل چشم پوشی است.

Annual Building Utility Performance Summary --- End Uses By Subcategory -- Cooling -- Stacked Bar



نمودار ۴-۵ انرژی سرمایشی کل سالانه به تفکیک نوع سوخت برحسب (Kwh) برای ساختمان نمونه با چهار نوع PCM و بدون PCM

۴-۳-۶ توان نامی سالانه تجهیزات مرکزی سرمایش و گرمایش برحسب (w) برای ساختمان نمونه با

چهار نوع PCM و بدون PCM

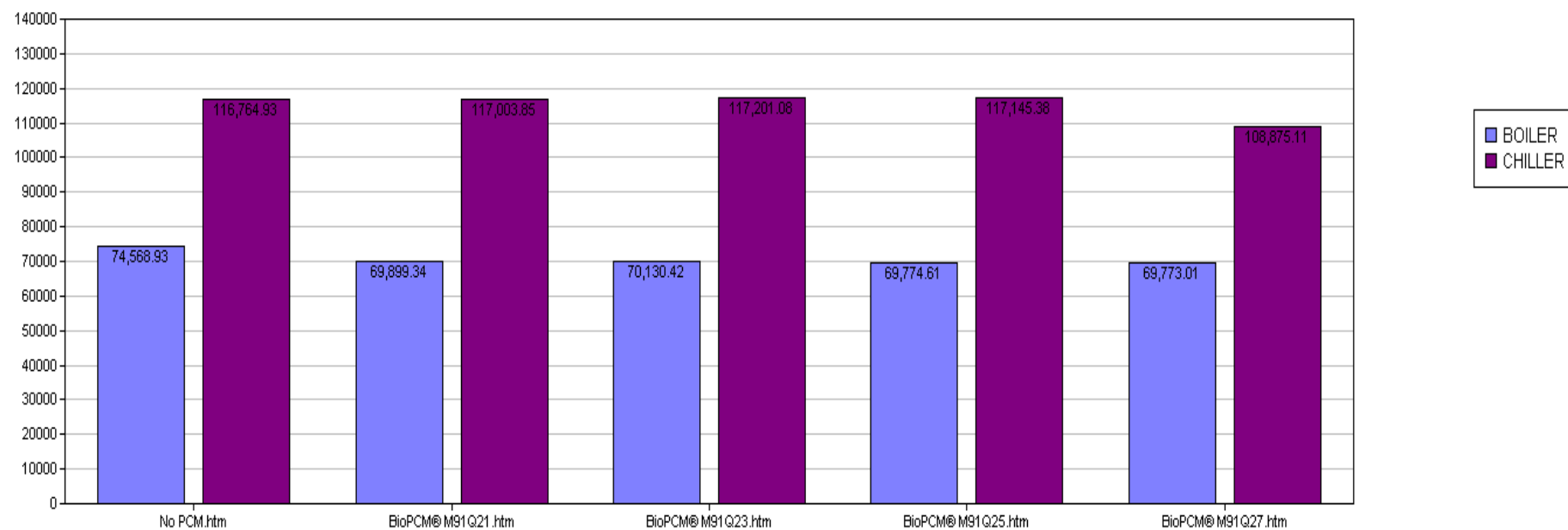
با بررسی جدول – مشاهده می شود که توان نامی دستگاه های سرمایشی به جز ماده تغییر فاز دهنده M_{27}/Q_{91} Bio PCM تاثیر زیادی روی ظرفیت دستگاه نداشته و تغییرات کمتر از یک تن تبرید بوده است و همان دستگاه استفاده خواهد شد.

ماده تغییر فاز دهنده M_{27}/Q_{91} Bio PCM باعث کاهش ظرفیت دستگاه تا ۳ تن تبرید گردیده است که برای انتخاب سختگیرانه می توان ظرفیت دستگاه را تا یک مدل کاهش داد. در انتخاب بویلر های گرمایشی ظرفیت کلیه بویلر ها در مواردی که از مواد تغییر فاز دهنده استفاده شده است کاهش یافته است.

جدول ۴-۶ توان نامی تجهیزات سرمایشی و گرمایشی برای حالت مختلف

توان نامی بویلر w	توان نامی چیلر w	متریال استفاده شده
74,568.93	116,764.93	ساختمان با مصالح مرسوم
69,899.34	117,003.85	ساختمان با M_{21}/Q_{91} Bio PCM
69,899.34	117,003.85	ساختمان با M_{23}/Q_{91} Bio PCM
69,774.61	117,145.38	ساختمان با M_{25}/Q_{91} Bio PCM
69,773.01	108,875.11	ساختمان با M_{27}/Q_{91} Bio PCM

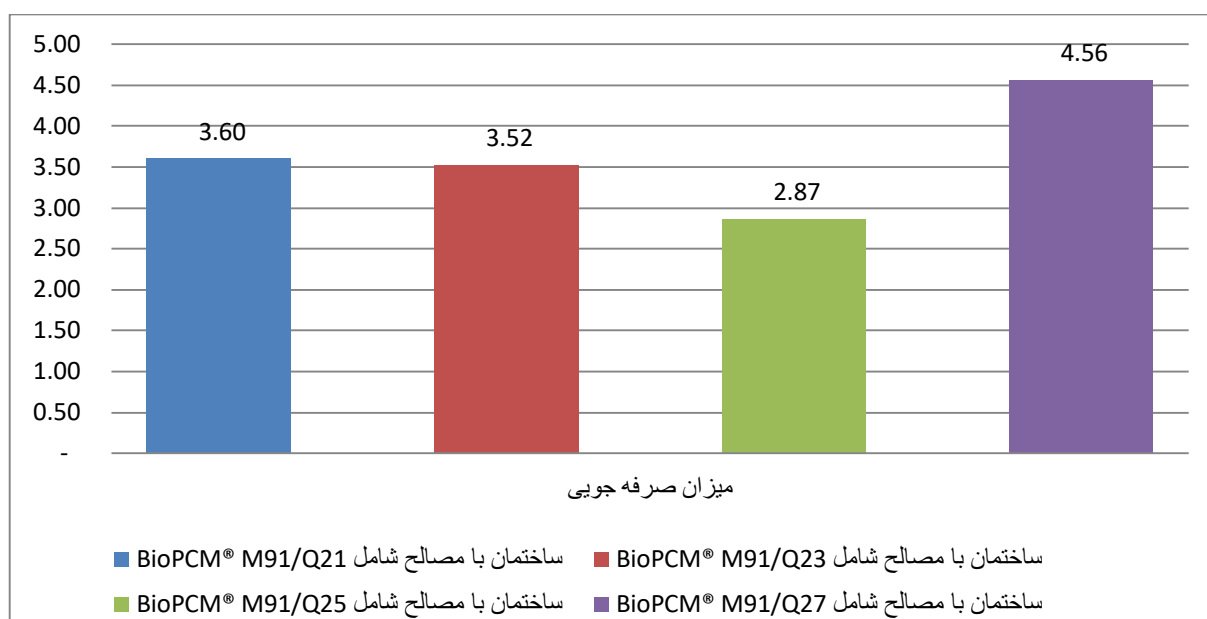
Equipment Summary --- Central Plant -- Nominal Capacity [W] -- Side-by-side Bar



نمودار ۴-۶ توان نامی سالانه تجهیزات مرکزی سرمایش و گرمایش برحسب (w) برای ساختمان نمونه با چهار نوع PCM و بدون PCM

۴-۳-۷ درصد صرفه جویی انرژی مصرفی سالانه کل نسبت به حالت پایه

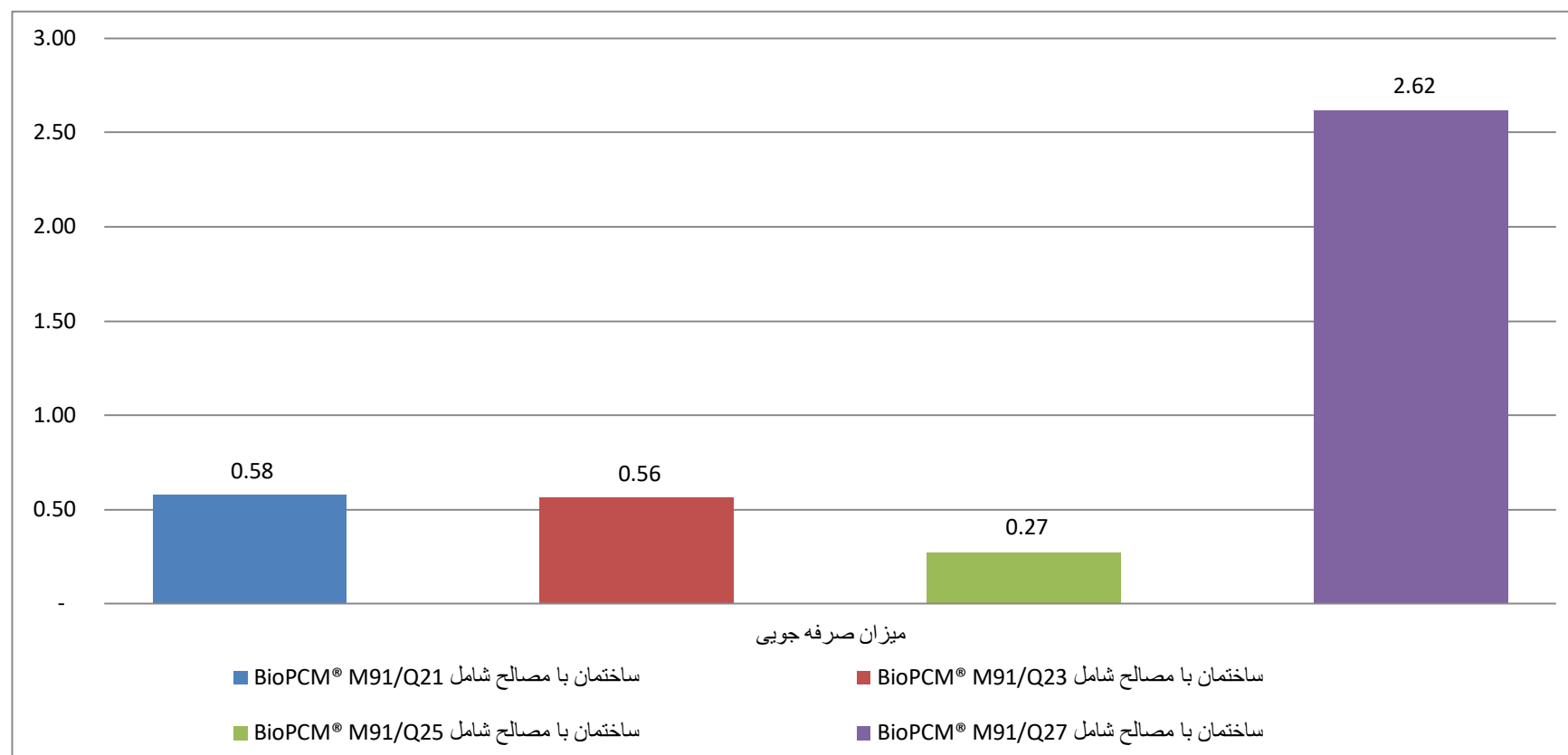
بیشترین میزان صرفه جویی در انرژی در اثر استفاده از ماده تغییر فاز دهنده مربوط به ساختمان با مصالح شامل BioPCM® M91/Q27 با ۴/۵۶ درصد انرژی کل سالیانه (۵۷۹۳,۶۷ kwh) بوده و ساختمان با مصالح شامل BioPCM® M91/Q21 با ۳/۶۰ درصد انرژی کل سالیانه (۴۵۷۷,۰۲ kwh)، ساختمان با مصالح شامل BioPCM® M91/Q23 با ۳/۵۲ درصد انرژی کل سالیانه (۴۴۷۷,۷۹ kwh) و ساختمان با مصالح شامل BioPCM® M91/Q25 با ۲/۸۷ درصد انرژی کل سالیانه (۳۶۴۴,۰۲ kwh) به ترتیب در رده های بعدی قرار گرفته اند.



نمودار ۴-۷ درصد صرفه جویی انرژی مصرفی سالانه کل نسبت به حالت پایه

۴-۳-۸ درصد صرفه جویی انرژی الکتریکی مصرفی سالانه کل نسبت به حالت پایه

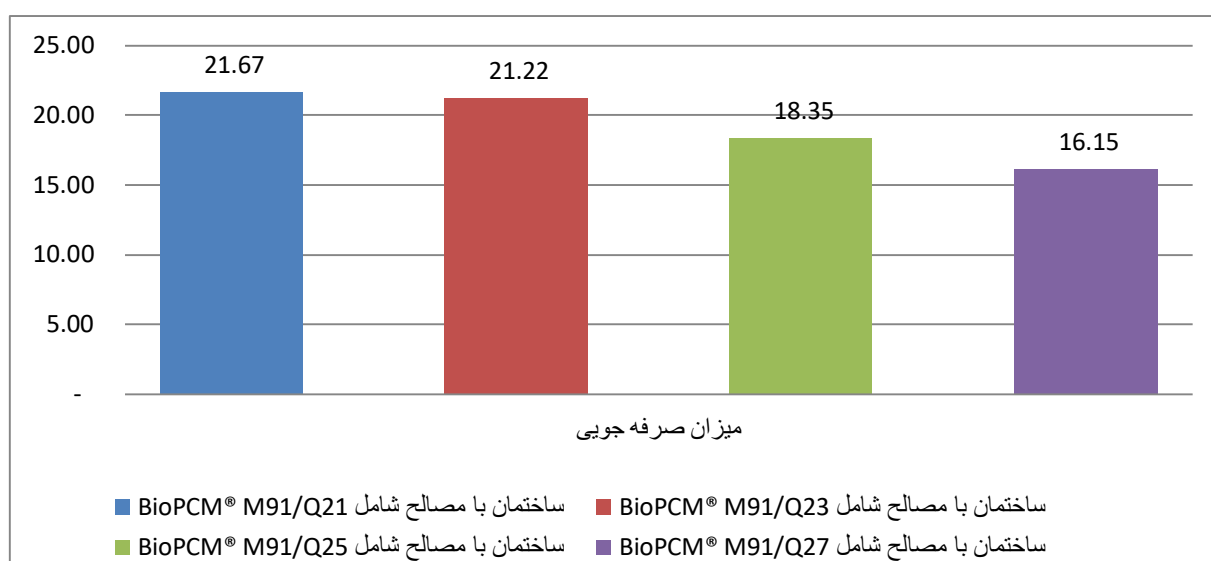
در نتیجه به ترتیب ساختمان با مصالح شامل BioPCM® M91/Q27 با ۲/۶۲ درصد انرژی الکتریکی کل سالیانه (۲۸۵۰,۳۴ kwh)، ساختمان با مصالح شامل BioPCM® M91/Q21 با ۰/۵۸ درصد انرژی الکتریکی کل سالیانه (۶۲۶,۱۵ kwh)، ساختمان با مصالح شامل BioPCM® M91/Q23 با ۰/۵۶ درصد انرژی الکتریکی کل سالیانه (۶۱۰,۵۱ kwh) و ساختمان با مصالح شامل BioPCM® M91/Q25 با ۰/۲۷ درصد انرژی الکتریکی کل سالیانه (۲۹۸,۳۷ kwh) بیشترین میزان صرفه جویی انرژی الکتریکی ناشی از استفاده از ماده تغییر فاز دهنده را دارند.



نمودار ۴-۸ درصد صرفه جویی انرژی الکتریکی مصرفی سالانه کل نسبت به حالت پایه

۴-۳-۹ درصد صرفه جویی انرژی گاز مصرفی سالانه کل نسبت به حالت پایه

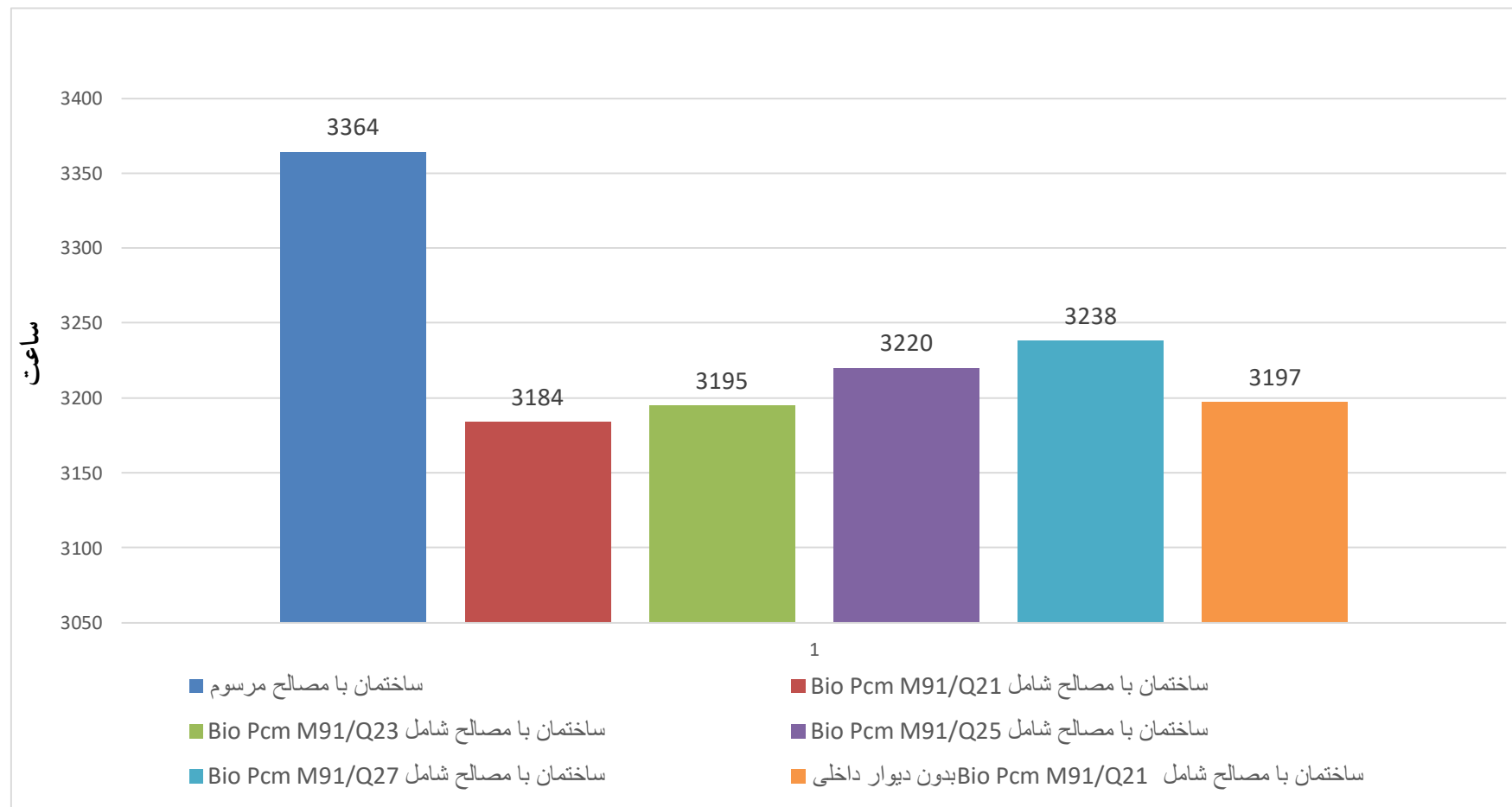
بیشترین میزان صرفه جویی در گاز مصرفی سالانه ناشی از استفاده از ماده تغییر فاز دهنده به ترتیب مربوط به ساختمان با مصالح شامل BioPCM® M91/Q21 با ۲۱/۶۷ درصد انرژی کل گاز مصرفی سالیانه (۳۹۵۰٫۸۶ kwh)، ساختمان با مصالح شامل BioPCM® M91/Q23 با ۲۱/۲۲ درصد انرژی کل گاز مصرفی سالیانه (۳۸۶۷٫۲۸ kwh)، ساختمان با مصالح شامل BioPCM® M91/Q25 با ۱۸/۳۵ درصد انرژی کل گاز مصرفی سالیانه (۳۳۴۵٫۶۵ kwh) و ساختمان با مصالح شامل BioPCM® M91/Q27 با ۱۶/۱۵ درصد انرژی کل گاز مصرفی سالیانه (۲۹۴۳٫۳۳ kwh) می باشد.



نمودار ۴-۹ درصد صرفه جویی انرژی گاز مصرفی سالانه کل نسبت به حالت پایه

۴-۳-۱۰ تعداد ساعات عدم آسایش ساکنین طبق استاندارد ASHRAE 55-2004

با بررسی نمودار ۴-۱۰ مشاهده می شود که بیشترین تعداد ساعات عدم آسایش ساکنین ساختمان مورد مطالعه مطابق تعریف استاندارد ASHRAE 55-2004، مربوط به ساختمان بدون PCM با ۳۳۶۴ ساعت عدم آسایش در طول سال بوده و بعد از آن به ترتیب ساختمان با مصالح شامل BioPCM® M91/Q27 با ۳۲۳۸ ساعت، BioPCM® M91/Q25 با ۳۲۲۰ ساعت، BioPCM® M91/Q23 با ۳۱۹۵ ساعت و BioPCM® M91/Q21 با ۳۱۸۴ ساعت بیشترین تعداد ساعات عدم آسایش دمایی را دارا هستند.



نمودار ۴ - ۱۰ تعداد ساعات عدم آسایش ساکنین طبق استاندارد ASHRAE 55-2004

با توجه به نمودار های بیان شده در رابطه با انرژی به یک جمع بندی کلی رسیدیم که به شرح ذیل است:

جدول ۴ - ۷ خلاصه نتایج شبیه سازی به تفکیک نوع مصالح، نوع گزارش و درصد و میزان صرفه جویی

ردیف	نوع گزارش	ساختمان با مصالح مصرف مرسوم	ساختمان با مصالح شامل BioPCM M91/Q21	میزان صرفه جویی	ساختمان با مصالح شامل BioPCM M91/Q23	میزان صرفه جویی	ساختمان با مصالح شامل BioPCM M91/Q25	میزان صرفه جویی	ساختمان با مصالح شامل BioPCM M91/Q27	میزان صرفه جویی
۱	انرژی مصرفی سالانه کل (kwh)	۱۲۷,۱۱۹.۷۹	۱۲۲,۵۴۲.۷۷	kwh ۴,۵۷۷.۰۲	۱۲۲,۶۴۲.۰۰	kwh ۴,۴۷۷.۷۹	۱۲۳,۴۷۵.۷۷	kwh ۳,۶۴۴.۰۲	۱۲۱,۳۲۶.۱۲	kwh ۵,۷۹۳.۶۷
				درصد ۳۶۰		درصد ۳۵۲		درصد ۲۸۷		درصد ۴۵۶
۲	انرژی الکتریکی مصرفی سالانه کل (kwh)	۱۰۸,۸۹۱.۰۵	۱۰۸,۲۶۴.۹۰	kwh ۶۲۶.۱۵	۱۰۸,۲۸۰.۵۴	kwh ۶۱۰.۵۱	۱۰۸,۵۹۲.۶۸	kwh ۲۹۸.۳۷	۱۰۶,۰۴۰.۷۱	kwh ۲,۸۵۰.۳۴
				درصد ۰.۵۸		درصد ۰.۵۶		درصد ۰.۲۷		درصد ۲۶۲
۳	انرژی گاز مصرفی سالانه کل(kwh)	۱۸,۲۲۸.۷۴	۱۴,۲۷۷.۸۸	kwh ۳,۹۵۰.۸۶	۱۴,۳۶۱.۴۶	kwh ۳,۸۶۷.۲۸	۱۴,۸۸۳.۰۹	kwh ۳,۳۴۵.۶۵	۱۵,۲۸۵.۴۱	kwh ۲,۹۴۳.۳۳
				درصد ۲۱۶۷		درصد ۲۱.۲۲		درصد ۱۸.۳۵		درصد ۱۶.۱۵
۴	توان نامی چیلرها (W)	۱۱۶,۷۶۴.۹۳	۱۱۷,۰۰۳.۸۵	W -۲۳۸.۹۲	۱۱۷,۲۰۱.۰۸	W -۴۳۶.۱۵	۱۱۷,۱۴۵.۲۸	W -۳۸۰.۴۵	۱۰۸,۸۷۵.۱۱	W ۷,۸۸۹.۸۲
				درصد -۰.۲۰		درصد -۰.۳۷		درصد -۰.۳۳		درصد ۶.۷۶
۵	توان نامی بویلرها (W)	۷۴,۵۶۸.۹۳	۶۹,۸۹۹.۳۴	W ۴,۶۶۹.۵۹	۷۰,۱۳۰.۴۲	W ۴,۴۳۸.۵۱	۶۹,۷۷۴.۶۱	W ۴,۷۹۴.۳۲	۶۹,۷۷۳.۰۱	W ۴,۷۹۵.۹۲
				درصد ۶.۲۶		درصد ۵.۹۵		درصد ۶.۴۳		درصد ۶.۴۳

۴-۴ بررسی اقتصادی کاربری مواد تغییر فاز دهنده

در بررسی اقتصادی برآورد انرژی پرداخته و سپس با استفاده از بها صرفه جویی به بررسی هزینه خرید و اجرای مواد تغییر فاز دهنده پرداخته خواهد شد که بیانگر مقدار صرفه جویی در هزینه ها خواهد بود.

۴-۴-۱ برآورد هزینه انرژی مصرفی در ساختمان

در برآورد هزینه انرژی مواد تغییر فاز دهنده ابتدا به بررسی هزینه های انرژی مصرفی برق و گاز از نرم افزارهای اداره برق و گاز استان تهران استفاده کرده و بصورت تفکیکی در ماه های مختلف با احتساب هزینه های آبنما و مالیات... برای ۵ حالت کاربری یا استفاده نکردن مواد تغییر فاز دهنده می پردازیم.

جدول ۴ - ۸ برآورد هزینه گاز مصرفی برای حالت بدون ماده تغییر فازدهنده

مبلغ به ریال	در صد افزایش بها	بها کل	مبلغ	مصرف گاز	Kcal	kwh		
2,262,545.70	1.2	1,885,454.75	2622	719/0902946	6687539.74	7776.209	دی	no pcm
686,531.30	1.2	572,109.42	1242	460/6356043	4283911.12	4981.292	بهمن	
36,044.69	1.2	30,037.25	414	72/55373355	674749.722	784.5927	اسفند	
82.18	1.2	68.48	414	£0/16541665	1538.37488	1.788808	فروردین	
-	1.2	-	0	0	0	0	اردیبهشت	
-	1.2	-	0	0	0	0	خرداد	
-	1.2	-	0	0	0	0	تیر	
-	1.2	-	0	0	0	0	مرداد	
-	1.2	-	0	0	0	0	شهریور	
-	1.2	-	0	0	0	0	مهر	
4,119.41	1.2	3,432.84	414	8/2918888	77114.566	89.6681	آبان	
633,317.57	1.2	527,764.64	1242	424/931271	3951860.82	4595.187	آذر	
3,622,640.86	جمع کل							

جدول ۴ - ۹ برآورد هزینه گاز مصرفی برای حالت کاربرد BioPCM® M91/Q21

مبلغ به ریال	در صد افزایش بها	بها کل	مبلغ	مصرف گاز	kcal	Kwh		
1,076,002.56	1.2	896,668.80	1518	590.6909075	5493425.44	6387.704	دی	BioPCM® M91/Q21
454,026.53	1.2	378,355.44	966	391.6722968	3642552.36	4235.526	بهمن	
29,070.05	1.2	24,225.05	414	58.51460344	544185.812	632.7742	اسفند	
124.49	1.2	103.74	414	0.25057450	2330.34286	2.709701	فروردین	
-	1.2	-	0	0	0	0	اردیبهشت	
-	1.2	-	0	0	0	0	خرداد	
-	1.2	-	0	0	0	0	تیر	
-	1.2	-	0	0	0	0	مرداد	
-	1.2	-	0	0	0	0	شهریور	
-	1.2	-	0	0	0	0	مهر	
376.86	1.2	314.05	414	0.758565682	7054.66084	8.203094	آبان	
230,542.33	1.2	192,118.61	690	278.4327677	2589424.74	3010.959	آذر	
1,790,142.81	جمع کل							

جدول ۴ - ۱۰ برآورد هزینه گاز مصرفی برای حالت کاربرد BioPCM® M91/Q23

مبلغ به ریال	در صد افزایش بها	بها کل	مبلغ	مصرف گاز	kcal	Kwh		
1,084,223.04	1.2	903,519.20	1518	595.2036882	5535394.3	6436.505	دی	BioPCM® M91/Q23
453,402.65	1.2	377,835.54	966	391.1341032	3637547.16	4229.706	بهمن	
28,690.91	1.2	23,909.09	414	57.7514228	537088.232	624.5212	اسفند	
111.61	1.2	93.01	414	0.22466751	2089.40784	2.429544	فروردین	
-	1.2	-	0	0	0	0	اردیبهشت	
-	1.2	-	0	0	0	0	خرداد	
-	1.2	-	0	0	0	0	تیر	
-	1.2	-	0	0	0	0	مرداد	
-	1.2	-	0	0	0	0	شهریور	
-	1.2	-	0	0	0	0	مهر	
414.24	1.2	345.20	414	0.833816514	7754.49358	9.016853	آبان	
234,242.85	1.2	195,202.38	690	289.9019935	2630988.54	3059.289	آذر	
1,801,085.30	جمع کل							

جدول ۴ - ۱۱ برآورد هزینه گاز مصرفی برای حالت کاربرد BioPCM® M91/Q25

مبلغ به ریال	در صد افزایش بها	بها کل	مبلغ	مصرف گاز	Kcal	kwh		
1,621,838.80	1.2	1,351,532.33	2208	612.1070344	5692595.42	6619.297	دی	BioPCM® M91/Q25
453,114.83	1.2	377,595.70	966	390.8858129	3635238.06	4227.021	بهمن	
28,094.59	1.2	23,412.16	414	56.55110323	525925.26	611.541	اسفند	
48.21	1.2	40.17	414	0.09703454	902.42122	1.049327	فروردین	
-	1.2	-	0	0	0	0	اردیبهشت	
-	1.2	-	0	0	0	0	خرداد	
-	1.2	-	0	0	0	0	تیر	
-	1.2	-	0	0	0	0	مرداد	
-	1.2	-	0	0	0	0	شهریور	
-	1.2	-	0	0	0	0	مهر	
1,192.10	1.2	993.41	414	2.399551656	22315.8304	25.94864	آبان	
364,272.18	1.2	303,560.15	966	314.2444624	2922473.5	3398.225	آذر	
2,468,560.71	جمع کل							

جدول ۴- ۱۲ برآورد هزینه گاز مصرفی برای حالت کاربرد BioPCM® M91/Q27

مبلغ به ریال	در صد افزایش بها	بها کل	مبلغ	مصرف گاز	Kcal	kwh		
1,640,163.11	1.2	1,366,802.59	2208	619.022914	5756913.1	6694.085	دی	BioPCM® M91/Q27
458,117.08	1.2	381,764.23	966	395.201071	3675369.96	4273.686	بهمن	
28,657.44	1.2	23,881.20	414	57.68406538	536461.808	623.7928	اسفند	
54.54	1.2	45.45	414	0.109787323	1021.0221	1.187235	فروردین	
-	1.2	-	0	0	0	0	اردیبهشت	
-	1.2	-	0	0	0	0	خرداد	
-	1.2	-	0	0	0	0	تیر	
-	1.2	-	0	0	0	0	مرداد	
-	1.2	-	0	0	0	0	شهریور	
-	1.2	-	0	0	0	0	مهر	
1,989.69	1.2	1,658.08	414	4.005019075	37246.6774	43.31009	آبان	
391,192.45	1.2	325,993.71	966	337.4676065	3138448.74	3649.359	آذر	
2,520,174.32	جمع کل							

جدول ۴ - ۱۳ برآورد هزینه برق مصرفی برای حالت مختلف

BioPCM® M91/Q27		BioPCM® M91/Q25		BioPCM® M91/Q23		BioPCM® M91/Q21		no pcm			
مبلغ به ریال	kwh	مبلغ به ریال	kwh	مبلغ به ریال	kwh	مبلغ به ریال	Kwh	مبلغ به ریال	kwh		
3,096,149	993.3531	3,329,091	1068.324	3,329,091	1068.844	3,325,985	1067.028	3,319,774	1065.521	دی	جدول برآورد برق مصرفی جهت سیستم سرمایش
2,797,982	897.0596	3,006,078	964.6601	3,009,183	965.1546	3,002,972	963.5219	2,999,866	962.0777	بهمن	
3,711,117	1191.835	3,692,482	1185.315	3,611,728	1159.948	3,655,211	1173.658	3,791,870	1217.944	اسفند	
9,882,540	3178.296	9,127,806	2935.06	9,323,478	2998.498	9,556,421	3073.757	10,143,436	3262.627	فروردین	
20,051,257	6452.116	20,790,461	6690.718	21,032,721	6768.326	21,066,886	6779.1	21,262,558	6842.721	اردیبهشت	
26,977,414	8682.427	28,648,388	9220.239	28,676,341	9229.623	28,642,176	9218.842	28,912,390	9305.199	خرداد	
28,937,237	9313.67	30,511,928	9820.797	30,521,246	9823.485	30,483,975	9811.929	30,760,400	9900.101	تیر	
29,549,099	9510.118	31,067,884	10003.84	31,067,884	10009.32	31,061,672	9997.779	31,378,474	10099.39	مرداد	
25,890,349	8332.07	27,151,344	8738.578	27,129,603	8731.223	27,095,438	8720.9	27,238,309	8766.433	شهریور	
19,821,420	6378.898	20,302,835	6533.062	19,607,113	6309.781	19,551,207	6291.025	19,343,112	6224.344	مهر	
11,317,466	3640.476	12,053,564	3877.772	11,482,079	3693.287	11,354,737	3652.195	10,556,520	3395.362	آبان	جدول برآورد برق مصرفی جهت سیستم سرمایش
3,496,810	1122.337	3,757,705	1206.407	3,661,442	1175.345	3,636,575	1167.464	3,490,598	1120.268	آذر	
185,528,840	جمع کل	193,439,566	جمع کل	192,451,909	جمع کل	192,433,255	جمع کل	193,197,307	جمع کل		

از جمع بندی جداول هزینه مربوط به مصرف گاز و برق به جدول زیر می رسیم.

جدول ۴ - ۱۴ برآورد هزینه مصرفی جهت مواد تغییر فازدهنده مختلف

متریال استفاده شده	مبلغ گاز	مبلغ برق	جمع کل
no pcm	3,622,640.86	193,197,307.00	196,819,947.86
BioPCM® M91/Q21	1,790,142.81	192,433,255.00	194,223,397.81
۳BioPCM® M91/Q2	1,801,085.30	192,451,909.00	194,252,994.30
۵BioPCM® M91/Q2	2,468,560.71	193,439,566.00	195,908,126.71
۷BioPCM® M91/Q2	2,520,174.32	185,528,840.00	188,049,014.32

از مشاهده جدول فوق به این نتیجه می رسیم که در بهترین حالت ۸,۷۷۰,۹۳۳.۵۳ ریال صرفه جویی هزینه خواهد داشت.

۴-۴-۲ بررسی هزینه های اجرای ماده تغییر فازدهنده

با توجه به اینکه بیشتری آسایش حرارتی را در بکاربری BioPCM® M91/Q21 بوده است، به نتایج اقتصادی استفاده از این نوع ماده تغییر فازدهنده در ساختمان خواهیم پرداخت.

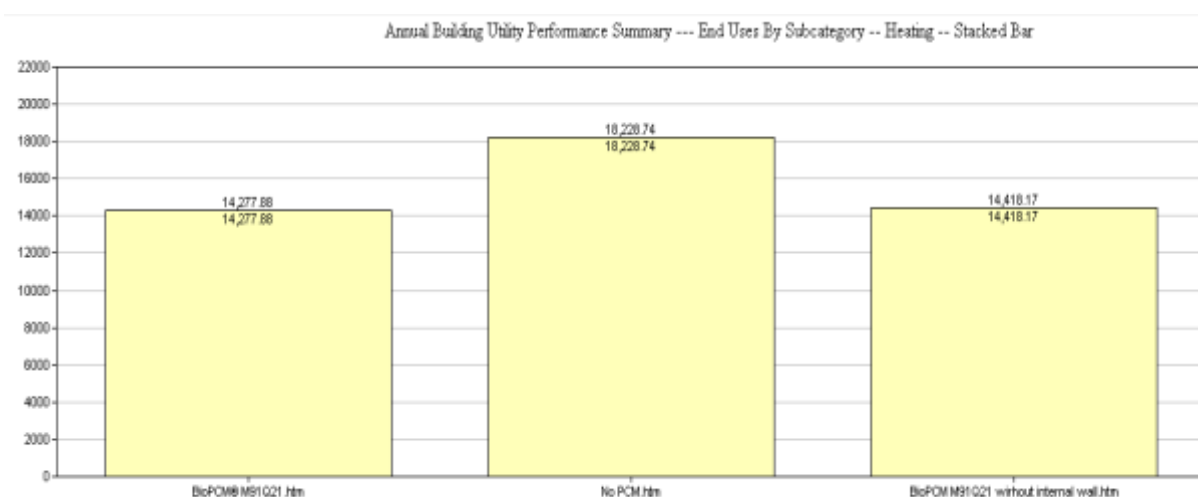
مواد تغییر فاز دهنده در این پروژه در جدار های خارجی و داخلی و سقف طبقه آخر بکار رفته است که مساحت های هر جز به شرح زیر است.

دیوار خارجی 422 m^2 دیوار داخلی 1150 m^2 و سقف طبقه آخر 567 m^2 می باشد.

با توجه به مقدار فوق 6855 m^2 BioPCM® M91/Q21 در داخل ساختمان بکار رفته است.

قیمت ماده های تغییر فاز دهنده بر اساس شرکت BioPCM برای ۴ ماده تغییر فازدهنده بکار رفته است.

ابتدا به بررسی حالتی که مواد تغییر فازدهنده در دیوار خارجی و داخلی و سقف طبقه آخر بوده خواهیم پرداخت سپس با توجه به پیشنهاد شرکت BioPCM جانمایی استفاده از مواد تغییر فاز دهنده، BioPCM® M91/Q21 را برای حالتی که فقط ماده تغییر فاز دهنده در سقف و دیوار خارجی بکار رفته نیز بررسی گردید که در این حالت نسبت به حالت پیشنهادی اولیه با افزایش ۱۳ ساعت میزان نارضایتی نسبت بوده است که با کاهش ۲۸۹۹ متر مربعی مصرف ماده تغییر فاز دهنده بوده است.



نمودار ۴-۱۱ مقایسه بار حرارتی در BioPCM® M91/Q21 با توجه به جانمایی در ساختمان

از نمودار ۴-۱۱ مشاهده می شود در صورت استفاده از مواد تغییر فاز دهنده در سقف و دیوار خارجی نیز باز کاهش مصرف انرژی داشته است. حال به بررسی اقتصادی در صورت استفاده از این ماده تغییر فاز دهنده در دو حالت خواهیم پرداخت.

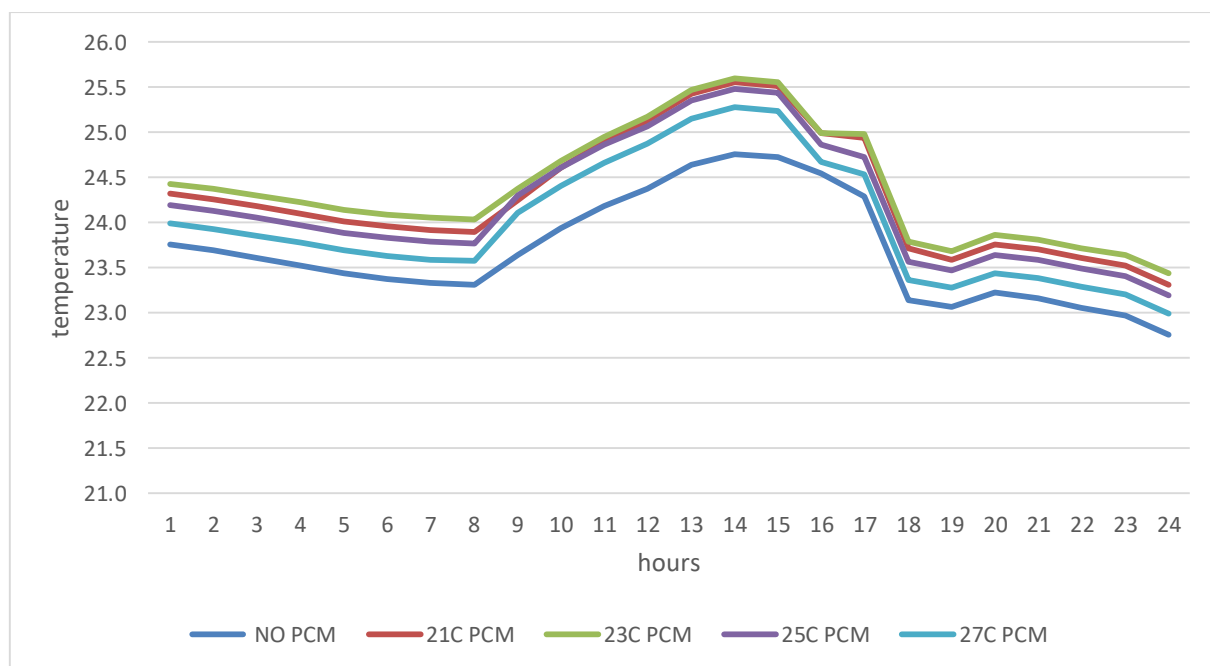
جدول ۴-۱۵ برآورد هزینه مصرفی جهت مواد تغییر فازدهنده مختلف

مدل PCM	مساحت بکار رفته PCM	بها واحد PCM	مبلغ نهایی به پوند	مبلغ نهایی به ریال
BioPCM® M91/Q21	6855	25	171,375	34,275,000,000
BioPCM® M91/Q21 without internal wall	3956	25	98,900	19,780,000,000

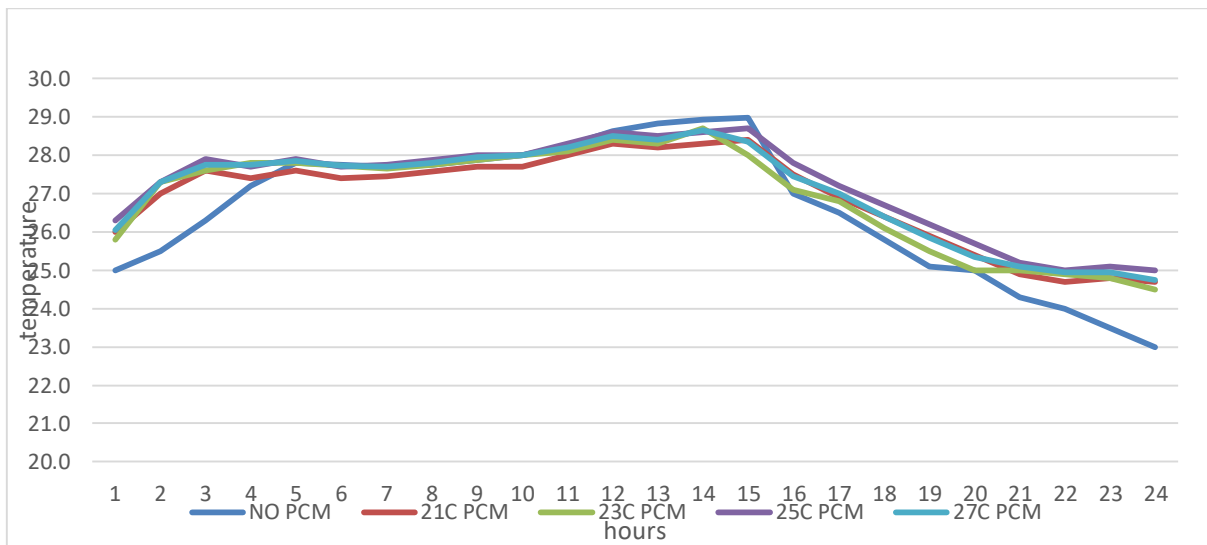
از جدول فوق که برای بهترین PCM از لحاظ مصرف انرژی و آسایش حرارتی بدست آمده بود به بررسی اقتصادی پرداختیم و هزینه فوق بدون احتساب هزینه جابجایی نصب و اجرا PCM می باشد و فقط شامل خرید متریال از کارخانه اصلی در نظر گرفته شده است.

۴-۵ بررسی نوسانات دمایی با توجه به دمای محیط

در بررسی نوسانات دمایی مشاهده می شود استفاده از مواد تغییر فازدهنده باعث کاهش نوسانات دمایی میشود. همانطور که در نمودار و جدول زیر نوسانات دمایی را در ۲۴ ساعت برای ۱۵ آذر ماه و ۱۰ مرداد ماه نمایش داده شده است نوسانات دمایی در ساعاتی که دمای محیط افزایش داشته است بیشترین مقدار بوده است و رطوبت موجود در فضا محیط نیز کاهش یافته است و فضای داخلی نیز توانسته حرارتی بیشتری در خود ذخیره کند.



نمودار ۴-۱۲ نمودار تغییرات دما در ۲۴ ساعت زمستانی مواد تغییر فاز دهنده



نمودار ۴ - ۱۳ نمودار تغییرات دما در ۲۴ ساعت تابستانی مواد تغییر فاز دهنده

جدول ۴ - ۱۶ دما و ساعات مختلف برای آسایش حرارتی در زمستان برای مواد تغییر فاز دهنده مختلف

27C PCM		25C PCM		23C PCM		21C pcm		no pcm		ساعت
رطوبت	دما	رطوبت	دما	رطوبت	دما	رطوبت	دما	رطوبت	دما	
33.6	24.0	33.8	24.2	33.5	24.4	33.5	24.3	34.3	23.8	1
34.3	23.9	34.4	24.1	34.1	24.4	34.2	24.3	35.0	23.7	2
34.9	23.9	35.1	24.1	34.7	24.3	34.8	24.2	35.6	23.6	3
35.4	23.8	35.5	24.0	35.2	24.2	35.3	24.1	36.0	23.5	4
35.7	23.7	35.8	23.9	35.5	24.1	35.6	24.0	36.3	23.4	5
35.8	23.6	36.0	23.8	35.6	24.1	35.8	24.0	36.4	23.4	6
35.8	23.6	36.0	23.8	35.7	24.0	35.8	23.9	36.5	23.3	7
35.8	23.6	36.0	23.8	35.7	24.0	35.8	23.9	36.5	23.3	8
35.4	24.1	35.6	24.3	35.3	24.4	35.4	24.2	36.1	23.6	9
35.1	24.4	35.2	24.6	35.0	24.7	35.0	24.6	35.7	23.9	10
34.8	24.7	35.0	24.9	34.7	24.9	34.7	24.9	35.5	24.2	11
34.5	24.9	34.6	25.1	34.3	25.2	34.4	25.1	35.2	24.4	12
34.0	25.2	34.1	25.4	33.8	25.5	33.8	25.4	34.7	24.6	13
33.6	25.3	33.7	25.5	33.4	25.6	33.4	25.6	34.3	24.8	14
33.4	25.2	33.5	25.4	33.2	25.6	33.2	25.5	34.2	24.7	15
33.6	24.7	33.7	24.9	33.5	25.0	33.5	25.0	34.1	24.5	16
33.3	24.5	33.4	24.7	33.1	25.0	33.1	24.9	34.1	24.3	17
31.9	23.4	32.1	23.6	31.7	23.8	31.8	23.7	32.8	23.1	18
29.8	23.3	30.0	23.5	29.7	23.7	29.7	23.6	30.6	23.1	19
29.0	23.4	29.2	23.6	28.9	23.9	28.9	23.8	29.8	23.2	20
29.1	23.4	29.2	23.6	28.9	23.8	29.0	23.7	29.7	23.2	21
29.4	23.3	29.5	23.5	29.2	23.7	29.3	23.6	30.0	23.1	22

29.8	23.2	29.9	23.4	29.7	23.6	29.7	23.5	30.4	23.0	23
30.1	23.0	30.2	23.2	30.0	23.4	30.0	23.3	30.7	22.8	24

جدول ۴ - ۱۷ دما و ساعات مختلف برای آسایش حرارتی در تابستان برای مواد تغییر فازدهنده مختلف

27C PCM		25C PCM		23C PCM		21C pcm		no pcm		ساعت
رطوبت	دما	رطوبت	دما	رطوبت	دما	رطوبت	دما	رطوبت	دما	
45.5	26.1	45.1	26.3	45.2	25.8	44.9	26.0	46.1	25.0	1
45.0	27.3	44.7	27.3	44.7	27.3	44.4	27.0	45.6	25.5	2
45.2	27.8	45.0	27.9	44.9	27.6	44.6	27.6	45.8	26.3	3
45.4	27.7	45.1	27.7	45.1	27.8	44.8	27.4	46.0	27.2	4
45.6	27.8	45.3	27.9	45.4	27.8	45.1	27.6	46.2	27.8	5
46.0	27.7	45.7	27.7	45.8	27.7	45.4	27.4	46.5	27.8	6
46.4	27.7	45.3	27.8	46.3	27.7	45.9	27.5	46.9	27.7	7
46.7	27.8	46.1	27.9	46.5	27.7	46.2	27.6	47.1	27.7	8
46.7	27.9	46.2	28.0	46.6	27.9	46.2	27.7	47.2	27.9	9
46.9	28.0	46.4	28.0	46.8	28.0	46.4	27.7	47.4	28.0	10
46.9	28.2	45.7	28.3	46.8	28.1	46.5	28.0	47.4	28.2	11
46.6	28.5	46.4	28.6	46.5	28.4	46.2	28.3	47.1	28.6	12
46.4	28.4	46.3	28.5	46.3	28.3	46.0	28.2	46.9	28.8	13
46.3	28.7	46.2	28.6	46.2	28.7	45.8	28.3	46.8	28.9	14
46.2	28.4	46.0	28.7	46.0	28.0	45.7	28.4	46.7	29.0	15
53.1	27.5	52.9	27.8	53.1	27.1	52.7	27.5	53.5	27.0	16
53.4	27.0	53.1	27.2	53.3	26.8	52.9	26.9	53.8	26.5	17
52.7	26.4	52.4	26.7	52.6	26.1	52.2	26.4	53.2	25.8	18
52.0	25.9	51.6	26.2	51.8	25.5	51.4	25.9	52.5	25.1	19
51.9	25.3	51.6	25.7	51.8	25.0	51.4	25.4	52.5	25.0	20
51.9	25.1	51.6	25.2	51.7	25.0	51.4	24.9	52.4	24.3	21
51.3	25.0	50.9	25.0	51.1	24.9	50.7	24.7	51.9	24.0	22
51.2	25.0	50.9	25.1	51.0	24.8	50.7	24.8	51.8	23.5	23
52.2	24.8	51.9	25.0	52.1	24.5	51.7	24.7	52.6	23.0	24

ولی در شرایط تابستانی همانطور که از نمودار فوق مشاهده کردید نوسانات دمایی بصورت کلی کاهش داشته و شیب نمودار در صورت استفاده نکردن از PCM تند بوده و نوسانات بیشتری داشته و ماده تغییر فازدهنده با دمای ۲۱ درجه کمترین نوسان به همراه داشته است زیرا مواد تغییر فازدهنده با توجه با ماهیت ظرفیت گرمایی تمایل بیشتری به حفظ دمای خود دارند و مقدار رطوبت در شرایط تابستانی نوسانات کمتری نسبت به عدم استفاده از مواد تغییر فازدهنده داشته است.

فصل پنجم

نتایج و پیشنهادات پژوهش

۵-۱ بحث و بررسی و مقایسه نتایج

در بررسی تاثیر استفاده از مواد تغییر فاز دهنده بر کاهش مصرف انرژی نتایج زیر مشاهده شد:

۱. نتایج نشان می دهد که در حالتی که ساختمان مورد مطالعه با کاربری کل سال و یا فقط برای ماههای گرم سال (کاربری سرمایش) مورد استفاده قرار گیرد، استفاده از ماده تغییر فاز دهنده با دمای تغییر فاز ۲۷ درجه سانتیگراد بیشترین میزان صرفه جویی در مصرف انرژی را باعث میشود.
۲. اگر از ساختمان مورد مطالعه فقط در ماههای سرد سال استفاده کنیم (کاربری گرمایش) بهترین ماده تغییر فاز دهنده برای صرفه جویی در مصرف انرژی با دمای تغییر فاز ۲۱ درجه سانتیگراد خواهد بود.
۳. اگر مواد تغییر فاز دهنده در ساختمان هایی استفاده بشود که کاربری کمتری در فصول گرم سال داشته باشند موثر تر خواهد بود بعنوان مثال استفاده از این مواد در مدارس باعث کاهش مصرف گاز تا ۲۱٪ و نیز کاهش ظرفیت بویلر تا ۶٪ را خواهد شد.
۴. مصرف انرژی در صورت استفاده از ماده تغییر فاز دهنده که دمای آن در فصول سرد به دمای آسایش سرد نزدیکتر باشد بیشترین بازده انرژی و در فصول گرم به دمای آسایش گرم نزدیکتر باشد بیشترین بازده را خواهد داشت

بررسی تاثیر استفاده از مواد تغییر فاز دهنده بر آسایش دمایی ساکنین می توان گفت که:

۱. استفاده از مواد تغییر فاز دهنده در کلیه حالت ها باعث افزایش آسایش حرارتی افراد خواهد شد و نیز هرچه دمای تغییر فاز ماده تغییر فاز دهنده به دمای آسایش افراد در محیط نزدیکتر باشد، آسایش حرارتی بیشتری را نیز به دنبال خواهد داشت. مواد تغییر فاز دهنده به کار برده شده می تواند هم باعث افزایش آسایش حرارتی شود و همچنین باعث صرفه جویی در مصرف گاز باشد.
۲. استفاده از ماده تغییر فاز دهنده BioPCM® M91/Q21 باعث ۱۸۰ ساعت افزایش ساعات آسایش در یک مجتمع مسکونی در تهران به دنبال داشته است.

در بررسی هزینه استفاده از مواد تغییر فازدهنده می توان بیان کرد که: توجه به هزینه اجرای این سیستم که حداقل مبلغی حدود ۱۹,۷۸۰,۰۰۰,۰۰۰ می باشد و قیمت ارزان انرژی گاز در ایران بصرفه نخواهد بود. استفاده از این سیستم در کشورهایی که فصول سرد زیادی با اختلاف دمای زیاد نسبت به محیط دارند همچون کانادا بازده بالاتری خواهد داشت.

۲-۵ پیشنهادات

۱. پیشنهاد می شود در تحقیقات آتی از مدل های دیگر BioPCM با ظرفیت ذخیره حرارتی متفاوت استفاده شود و عملکرد ساختمان در این شرایط با هم مقایسه شود تا ماده با ظرفیت ذخیره حرارتی بهینه برای استفاده در پروژه مورد نظر مشخص گردد.
۲. بجای چیلرهای تراکمی با مصرف انرژی الکتریکی که در این پروژه استفاده شده، از چیلرهای جذبی شعله مستقیم که از گاز طبیعی استفاده می کنند در تحقیقات آتی استفاده شود و بر روی جنبه های اقتصادی این دو حالت به صورت مقایسه ای بررسی صورت گیرد.
۳. می توان از با استفاده از روش جهت گیری مناسب ساختمان بهترین به بررسی افزایش بازده در صورت استفاده کردن از PCM پرداخته شود.
۴. می توان به بررسی استفاده از دو نوع Bio PCM 21,27 C در کنار هم در جدار ساختمان بکار برد و به بررسی ساعات آسایش حرارتی و انرژی پرداخت.

منابع و آخذ

منابع فارسی

- [۱۷] ابراهیم پور، عبدالسلام (۱۳۹۱). روش های مناسب بهینه سازی مصرف انرژی در یک ساختمان دانشگاهی در تبریز، دوره ۱۲ شماره ۴.
- [۲۰] دکتر شاهین حیدری/مجله معماری و شهر سازی
- [۲۲] «نسخه آرشیو شده». بایگانی شده از اصلی در ۷ ژانویه ۲۰۱۶. دریافت شده در ۱ ژانویه ۲۰۱۶.
- [۳۰] خداکرمی، جمال؛ نصراللهی، نازنین. مبانی آسایش ساکنین در ساختمان. ایلام: دانشگاه ایلام، ۱۳۹۰.
- [۳۶] وزارت مسکن و شهرسازی، مقررات ملی ساختمان، مبحث ۱۹، ۱۳۸۹.

- [1] Dudley, B. (2018). BP statistical review of world energy. *BP Statistical Review, London, UK*, accessed Aug, 6, 2018.
- [2] Atikol, U., Dagbasi, M., & Güven, H. (1999). Identification of residential end-use loads for demand-side planning in northern Cyprus. *Energy*, 24(3), 231-238.
- [3] Laustsen, J. (2008). Energy efficiency requirements in building codes, energy efficiency policies for new buildings. IEA Information Paper. *Support of the G8 Plan of Action*.
- [4] Roaf, S., Roaf, S., Crichton, D., & Nicol, F. (2009). *Adapting buildings and cities for climate change: a 21st century survival guide*. Routledge.
- [5] U.S. Department of Energy. (n.d.). Building Energy Software Tools Directory. Retrieved June 14, 2014, from U.S. Department of Energy: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools-directory/software.cfm/ID=369/pagename=alpha-list>.
- [6] Harvey, L. D. (2012). *A handbook on low-energy buildings and district-energy systems: fundamentals, techniques and examples*. Routledge.
- [7] Parsloe, C., Race, G. L., & Butcher, K. (2005). *Sustainable low energy cooling: an overview*. London: CIBSE.
- [8] Pasupathy, A., Velraj, R., & Seeniraj, R. V. (2008). Phase change material-based building architecture for thermal management in residential and commercial establishments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(1), 39-64.
- [9] Özdeniz, M. B., & Hançer, P. (2005). Suitable roof constructions for warm climates—Gazimağusa case. *Energy and Buildings*, 37(6), 643-649.
- [10] Hawes, D. W., Feldman, D., & Banu, D. (1993). Latent heat storage in building materials. *Energy and buildings*, 20(1), 77-86.
- [11] Reddy, R. M., Nallusamy, N., & Reddy, K. H. (2014). The effect of PCM capsule material on the thermal energy storage system performance. *International Scholarly Research Notices*, 2014.
- [12] Lin, K., Zhang, Y., Xu, X., Di, H., Yang, R., & Qin, P. (2004). Modeling and simulation of under-floor electric heating system with shape-stabilized PCM plates. *Building and Environment*, 39(12), 1427-1434.
- [13] Zhang, M., Medina, M. A., & King, J. B. (2005). Development of a thermally enhanced frame wall with phase-change materials for on-peak air conditioning demand reduction and energy savings in residential buildings. *International journal of energy research*, 29(9), 795-809.
- [14] Saraswat, A., Verma, A., Khandekar, S., & Das, M. K. (2015). Latent Heat Thermal Energy Storage In A Heated Semi-Cylindrical Cavity: Experimental Results And Numerical Validation. *changes*, 5, 7.
- [15] Ahangari, M., & Maerefat, M. (2019). An innovative PCM system for thermal comfort improvement and energy demand reduction in building under different climate conditions. *Sustainable Cities and Society*, 44, 120-129.
- [16] Ramakrishnan, S., Wang, X., Alam, M., Sanjayan, J., & Wilson, J. (2016). Parametric analysis for performance enhancement of phase change materials in naturally ventilated buildings. *Energy and buildings*, 124, 35-45.

- [18] Zhuang, C. L., Deng, A. Z., Chen, Y., Li, S. B., Zhang, H. Y., & Fan, G. Z. (2010). Validation of veracity on simulating the indoor temperature in PCM light weight building by EnergyPlus. In *Life system modeling and intelligent computing* (pp. 486-496). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [19] Taylor, R. D., Pedersen, C. O., Fisher, D. E., Liesen, R. J., & Lawrie, L. K. (1991, August). Impact of simultaneous simulation of building and mechanical systems in heat balance based energy analysis programs on system response and control. In *Conference Proceedings of Building Simulation '91, Nice, France. International Building Performance Simulation Association (IBPSA)*.
- [21] ASHRAE STANDARDS
- [23] Developing an adaptive model of thermal comfort and preference
- [24] Huizenga, Charlie; Abbaszadeh, Sahar; Zagreus, Leah; Arens, Ed (2006) Air quality and thermal comfort in office buildings: Results of a large indoor environmental quality survey
- [25] Fang, L; Wyon, DP; Clausen, G; Fanger, PO (2004). "Impact of indoor air temperature and humidity in an office on perceived air quality, SBS symptoms and performance". *Indoor air*. 14 Suppl 7: 74–81. Impact of indoor air temperature and humidity in an office on perceived air quality, SBS symptoms and performance. Impact of indoor air temperature and humidity in an office on perceived air quality, SBS symptoms and performance
- [26] Cabanac, Michel (1971). "Physiological role of pleasure". *Science* 173 (4002): 1103–7 Physiological Role of Pleasure Physiological role of pleasure
- [27] Fanger, P. O. (1970). Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering. Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering.
- [28] Fanger, P. O. (2000). Human requirements in future air-conditioned environments: a search for excellence. In *IVth International Building Installation, Science and Technology Symposium* (pp. 13-22). Turkish Society of HVAC and Sanitary Engineers.
- [29] Humphreys, M. A. (1975). Field studies of thermal comfort compared and applied, Department of the Environment: Building Research Establishment. *Current paper CP, 76(75)*..
- [31] ASHRAE. "Thermal environmental conditions for human occupancy". In: ANSI/ ASHRAE standard 2010-55. American Society of heating, refrigerating and airconditioning engineers, Atlanta: GA, 2010.
- [32] Wikipedia, the free encyclopedia . Typical meteorological year, Available online: https://en.wikipedia.org/wiki/Typical_meteorological_year [accessed on 20 May 2016].
- [33] EnergyPlus™, Weather Data by Region, Asia WMO Region 2 - Iran - Islamic Republic of, Available online: https://energyplus.net/weather_region/asia_wmo_region_2/IRN%20%20 [accessed on 20 May 2016].
- [34] Wikipedia, the free encyclopedia . World Meteorological Organization, Available online: https://en.wikipedia.org/wiki/World_Meteorological_Organization [accessed on 20 May 2016].
- [35] phasechange material data sheet . <https://phasechange.com/technology/data-sheets/>

thermal comfort Improvement of a building by reducing the internal air Temperature oscillation using the Phase Change Materials(PCM)

Abstract

This research studies the effects of using phase change materials to improve the thermal comfort and to decrease hours of discomfort in a sample building in Tehran. Using phase change materials leads to thermal comfort improvement and less energy consumption. In this research, 4 (Bio Pcm 21C-23C-25C-27C) eco-friendly phase change materials that have the same enthalpy have been studied which have been placed as separate layers between wall layers. A sample 4-storey building with overall floor area of 2280 m² (each storey has floor area of 570 m²) is studied. EnergyPlus building energy simulation program is employed for dynamic heat simulation of this building.

The results of this study show that using phase change materials decreases the hours of discomfort. Both heating and cooling energy conservation results are presented. The maximum heating energy saving is estimated to be 21.67%, the hours of comfort is increased up to 180 hours, but the results for cooling energy saving are not promising. Finally, the economic analysis for employing such system is performed considering the energy cost in Tehran.

Key Words: *Phase change material, thermal comfort, EnergyPlus*

By: *Seyed Mohsen RezaieNia*

ISLAMIC AZAD UNIVERSITY
SCIENCE AND RESEARCH BRANCH
Faculty of Mechanics, Electricity and Computers
Department of Mechatronics



Thesis for receiving «M.Sc» degree on Mechanical Engineering
Course: Energy Conversion

Subject:
**thermal comfort Improvement of a building by
reducing the internal air Temperature oscillation
using the Phase Change Materials(PCM)**

Thesis Advisor:
S. Aqhanajafi Ph.D.

Consulting Advisor:
N. Dizaji Ph.D.

By
Seyed Mohsen Rezaeiniya

Spring 2020