

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی مکانیک و مکاترونیک

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی سیستم های انرژی

شبیه سازی انرژی و ارزیابی اقتصادی یک ساختمان دولتی در شهرستان سمنان و ارائه راهکارهای اجرایی جهت تبدیل آن به ساختمان سبز

نگارنده:

مهرانه جامی

اساتید راهنما:

دکتر سید مجید هاشمیان

دکتر محمود چهارطاقی

تیر ۱۳۹۹

تقدیم اثر

این پایان نامه را ضمن تشکر و سپاس بیکران تقدیم می نمایم به

خانواده عزیزم و همسر مهربانم

تشکر و قدردانی

اکنون که به فضل الهی این رساله به پایان رسیده است، بر خود واجب می دانم که از زحمات بزرگوارانه اساتید فاضل و اندیشمندان جناب آقای دکتر سید مجید هاشمیان و جناب آقای دکتر محمود چهارطاقی تشکر نمایم که در همه حال با حمایت ها و صبر و بردباری خود در کنار بنده بودند.

همچنین، از زحمات تمامی اساتید دانشگاه صنعتی شاهرود که اینجانب را در امر تحصیل یاری کردند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

تعمدنامه

اینجانب **مهرانه جامی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک – گرایش سیستم های انرژی دانشکده مکانیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه با عنوان " شبیه سازی انرژی و ارزیابی اقتصادی یک ساختمان دولتی در شهرستان سمنان و ارائه راهکارهای اجرایی جهت تبدیل آن به ساختمان سبز " تحت راهنمایی دکتر سید مجید هاشمیان و دکتر محمود چهارطاقی متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

در این پژوهش، ابتدا ساختمان اداری موردنظر در حالت پایه در نرم افزار دیزاین بیلدر شبیه سازی شده و سپس با توجه به این که، یکی از راه های بهبود انرژی مصرفی در ساختمان ها، کاهش تلفات حرارتی اجزای مختلف ساختمان شامل دیوارها، سقف و پنجره ها مطابق الزامات و اصول مطرح شده در آیین نامه ها است به بررسی و مقایسه جامع استفاده از انواع عایق های ساختمانی در سقف و دیوارهای خارجی و تعویض پنجره ها براساس الزامات مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان پرداخته شده است و با ارزیابی اقتصادی و روش محاسبه بازگشت سرمایه، اولویت انجام اقدامات قابل اجرا در جهت کاهش مصرف انرژی تعیین شده است. در کنار این، به وسیله ی نرم افزار دیزاین بیلدر، سیستم فتوولتائیک مناسب طراحی گردیده است.

طبق نتایج حاصل از شبیه سازی، بعد از بررسی های مختلف، سناریو بهینه ای با تغییر پنجره به پنجره دو جداره، استفاده از عایق پشم شیشه با ضخامت ۸ سانتی متر در جداره های خارجی ساختمان و به کار بردن عایق پشم شیشه با ضخامت ۶ سانتی متر برای سقف ساختمان انتخاب شده که مصرف انرژی آن به میزان ۵۰/۸٪ نسبت به ساختمان پایه بهبود پیدا کرده، بازگشت سرمایه آن ۰/۷ سال است و میزان انتشار دی اکسید کربن این سناریو به میزان ۵۴/۲٪ نسبت به ساختمان پایه کمتر شده است. نتایج مربوط به سیستم فتوولتائیک شبیه سازی شده بر روی سقف ساختمان، تولید برق تا ۳۰۷/۵۸۳۴ کیلووات ساعت در سال را نشان می دهد.

کلمات کلیدی:

بهینه سازی مصرف انرژی، بار سرمایشی و گرمایشی، دیزاین بیلدر، سیستم فتوولتائیک، عایق کاری، دوره بازگشت سرمایه

علائم

δ	زاویه انحراف خورشید	A_w	مساحت پنجره اتاق
$\vec{S}$	بیانگر نیروهای حجم	$\dot{Q}$	نرخ انتقال حرارت خالص
β	ضریب انبساط حجمی	$\dot{W}$	توان خالص سیستم
$\vec{g}$	بردار شتاب گرانش زمین	k_w	ضریب انتقال حرارت
μ_{eff}	ضریب لزجت مؤثر سیال	m_a	جرم هوای داخل اتاق
T_{sk}	دمای سطح پوست افراد	L	ضخامت دیوار
M	نرخ متابولیک افراد	c_a	ظرفیت گرمایی ویژه هوا
P_a	فشار بخار هوا	c_w	ظرفیت گرمایی ویژه مواد تشکیل دهنده دیوار
T_a	دمای هوا	R_w	مقاومت حرارتی دیوار
T_{cl}	دمای سطح لباس	Q_{rad}	گرمای تابشی خورشید
I_L	جریان فتوکارنت	G_{SC}	ثابت خورشیدی
A	ضریب ایده آلی	I_0	جریان اشباع
q	بار الکترون	R_s	مقاومت مدار سری شده
N_s	تعداد سلول های سری شده	k	ثابت بلتزن
$\dot{m}_a$	دبی جرم هوای اتاق	h	انتالپی مخصوص
H	میزان سرمایه گذاری	DPP	دوره بازگشت سرمایه تنزیل شده
K	نرخ تنزیل	R	صرفه جویی سالانه

فهرست مطالب

۱	مقدمه.....
۱-۱	اهمیت انرژی.....
۲-۱	بررسی وضعیت انرژی در جهان.....
۳-۱	بررسی وضعیت انرژی در ایران.....
۴-۱	مصرف انرژی در ساختمان ها.....
۵-۱	مصرف انرژی در ساختمان های اداری.....
۶-۱	بهینه سازی مصرف انرژی.....
۷-۱	ضرورت بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان.....
۸-۱	تعریف ساختمان های سبز.....
۹-۱	استفاده از عایق ها در سقف و دیوار.....
۱۰-۱	سیستم های فتوولتائیک خورشیدی.....
۱۰-۱-۱	طبقه بندی تیپ سیستم های فتوولتائیک از لحاظ کاربری.....
۱۷	۲ بررسی پیشینه تحقیق.....
۱-۲	پیشگفتار.....
۲-۲	بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان و اهمیت آن.....
۳-۲	بررسی استفاده از عایق ها و مصالح مناسب در سقف و دیوارها.....
۴-۲	تعویض پنجره ها از تک جداره به دو جداره.....
۵-۲	سیستم های فتوولتائیک در ساختمان.....
۶-۲	هدف و جنبه نوآوری این تحقیق.....
۳۳	۳ مدل سازی.....
۱-۳	پیشگفتار.....
۲-۳	نرم افزار شبیه ساز انرژی ساختمان.....
۱-۲-۳	نرم افزار انرژی پلاس.....
۲-۲-۳	نرم افزار دیزاین بیلدر.....
۳-۳	شبیه سازی ساختمان.....

۳۹	۱-۳-۳ مطالعه موردی.....
۴۱	۲-۳-۳ موقعیت و اقلیم سمنان.....
۴۲	۳-۳-۳ میزان سکونت.....
۴۳	۴-۳-۳ متابولیک.....
۴۳	۵-۳-۳ آب گرم مصرفی.....
۴۴	۶-۳-۳ کنترل محیطی.....
۴۴	۷-۳-۳ مصالح ساختمانی.....
۴۵	۸-۳-۳ پنجره ها.....
۴۵	۹-۳-۳ روشنایی.....
۴۶	۱۰-۳-۳ معادلات حاکم.....
۴۷	۴-۳ اعتبارسنجی.....
۴۸	۵-۳ بهینه سازی ساختمان.....
۴۸	۱-۵-۳ تعویض پنجره ها.....
۴۹	۲-۵-۳ استفاده از انواع عایق ها در دیوار های خارجی ساختمان.....
۵۱	۳-۵-۳ استفاده از انواع عایق ها در سقف ساختمان.....
۵۴	۴-۵-۳ بهینه سازی بر طبق مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان.....
۵۵	۶-۳ شبیه سازی سیستم فتوولتائیک.....
۵۹	۴ نتایج.....
۶۰	۱-۴ پیشگفتار.....
۶۰	۲-۴ محاسبه مصرف انرژی مورد نیاز ساختمان در حالت پایه.....
۶۲	۱-۲-۴ تلفات حرارتی ساختمان در سرد ترین روز از سال.....
۶۲	۲-۲-۴ تلفات حرارتی ساختمان در گرم ترین روز از سال.....
۶۳	۳-۴ راهکارهای بهینه سازی مصرف انرژی ساختمان شبیه سازی شده.....
۶۳	۱-۳-۴ تعویض پنجره ها.....
۶۴	۲-۳-۴ استفاده از انواع عایق ها در دیوار های خارجی ساختمان.....
۶۹	۳-۳-۴ استفاده از انواع عایق ها برای سقف ساختمان.....
۷۳	۴-۳-۴ بهینه سازی بر طبق مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان.....
۷۴	۴-۴ سیستم فتوولتائیک خورشیدی.....

۷۶	۵-۴ مطالعه اقتصادی
۷۶	۱-۵-۴ بازگشت سرمایه تعویض پنجره ها
۷۷	۲-۵-۴ بازگشت سرمایه استفاده از عایق ها بر روی دیوارهای خارجی ساختمان
۸۰	۳-۵-۴ بازگشت سرمایه استفاده از عایق ها بر روی سقف ساختمان
۸۲	۴-۵-۴ محاسبه دوره بازگشت سرمایه تنزیل شده
۸۵	۴-۶ آلودگی های زیست محیطی
۸۷	۵ جمع بندی و ارائه پیشنهادها
۸۸	۱-۵ سناریو بهینه
۸۹	۲-۵ جمع بندی
۹۱	۳-۵ ارائه پیشنهادها
۹۳	۶ پیوست
۱۰۵	۷ منابع و مراجع

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱: چشم‌انداز انرژی ایران در سال ۱۴۰۴ [۶] ۵
- شکل ۲-۱: تراز مصرف انرژی الکتریکی در یک ساختمان اداری [۲۴] ۷
- شکل ۳-۱: مقایسه مصرف کننده های انرژی در ایران (میلیون بشکه نفت خام) [۵] ۹
- شکل ۴-۱: نمونه ای از نصب آرایه های فتوولتائیک بر روی بام مسطح ۱۴
- شکل ۵-۱: سیستم فتوولتائیک متصل به شبکه برق توزیع ۱۵
- شکل ۶-۱: سیستم فتوولتائیک متصل به شبکه سراسری برق مجهز به سیستم ذخیره انرژی ۱۵
- شکل ۷-۱: سیستم فتوولتائیک مستقل از شبکه ۱۶
- شکل ۱-۳: تحلیل جریان هوا بر حسب دما، فشار و سرعت ۳۷
- شکل ۲-۳: نمایی از فضای نرم افزار دیزاین بیلدر ۳۸
- شکل ۳-۳: نمایی از ساختمان اداره کل راه و شهرسازی الف) ساختمان واقعی ب) ساختمان شبیه سازی شده ۳۹
- شکل ۴-۳: پلان طبقه همکف ساختمان ۳۹
- شکل ۵-۳: پلان طبقه اول ساختمان ۴۰
- شکل ۶-۳: نماهای مختلف ساختمان مدل سازی شده ۴۰
- شکل ۷-۳: موقعیت اقلیم سمنان در نرم افزار دیزاین بیلدر ۴۲
- شکل ۸-۳: مقایسه مجموع بار سرمایش و گرمایش ساختمان در حالت واقعی و شبیه سازی شده ۴۷
- شکل ۹-۳: قبض برق و گاز یکی از ماه های ساختمان مذکور در سال ۱۳۹۷ ۴۸
- شکل ۱۰-۳: نمایی از محل قرار گیری پنل های خورشیدی ۵۵
- شکل ۱۱-۳: زوایای بهینه پنل های خورشیدی برای مراکز استان های ایران [۹۸] ۵۵
- شکل ۱۲-۳: مشخصات سیستم خورشیدی مدل شده در نرم افزار ۵۷
- شکل ۱۳-۳: مشخصات پنل های خورشیدی مدل شده در نرم افزار ۵۷
- شکل ۱-۴: بار سرمایش و گرمایش سالیانه در حالت پایه ۶۰
- شکل ۲-۴: بار سرمایش و گرمایش سالیانه در حالت پایه ۶۱
- شکل ۳-۴: برچسب انرژی ساختمان شبیه سازی شده در حالت پایه ۶۱
- شکل ۴-۴: تلفات بار گرمایشی اجزای ساختمان در سرد ترین روز سال ۶۲
- شکل ۵-۴: تلفات بار سرمایشی اجزای ساختمان در گرم ترین روز سال ۶۳
- شکل ۶-۴: مقایسه مقدار بار سرمایش و گرمایش سالیانه ساختمان پایه و پنجره ها ۶۴

- شکل ۴-۷: مقایسه مقدار بار سرمایش و گرمایش سالیانه ساختمان پایه و دیوار ها با عایق ۴ سانتی متر..... ۶۵
- شکل ۴-۸: مقایسه مقدار بار سرمایش و گرمایش سالیانه ساختمان پایه و دیوار ها با عایق ۶ سانتی متر..... ۶۵
- شکل ۴-۹: مقایسه مقدار بار سرمایش و گرمایش سالیانه ساختمان پایه و دیوار ها با عایق ۸ سانتی متر..... ۶۶
- شکل ۴-۱۰: مقایسه مقدار بار سرمایش و گرمایش سالیانه ساختمان پایه و دیوار ها با عایق ۱۰ سانتی متر..... ۶۷
- شکل ۴-۱۱: مقایسه مقدار بار سرمایش و گرمایش سالیانه ساختمان پایه و دیوار ها با عایق ۱۴ سانتی متر..... ۶۷
- شکل ۴-۱۲: مقایسه مقدار بار سرمایش و گرمایش سالیانه ساختمان پایه و دیوار ها با عایق ۲۰ سانتی متر..... ۶۸
- شکل ۴-۱۳: مقایسه مقدار بار سرمایش و گرمایش سالیانه ساختمان پایه و سقف با عایق ۴ سانتی متر..... ۶۹
- شکل ۴-۱۴: مقایسه مقدار بار سرمایش و گرمایش سالیانه ساختمان پایه و سقف با عایق ۶ سانتی متر..... ۷۰
- شکل ۴-۱۵: مقایسه مقدار بار سرمایش و گرمایش سالیانه ساختمان پایه و سقف با عایق ۸ سانتی متر..... ۷۰
- شکل ۴-۱۶: مقایسه مقدار بار سرمایش و گرمایش سالیانه ساختمان پایه و سقف با عایق ۱۰ سانتی متر..... ۷۱
- شکل ۴-۱۷: مقایسه مقدار بار سرمایش و گرمایش سالیانه ساختمان پایه و سقف با عایق ۱۴ سانتی متر..... ۷۲
- شکل ۴-۱۸: مقایسه مقدار بار سرمایش و گرمایش سالیانه ساختمان پایه و سقف با عایق ۲۰ سانتی متر..... ۷۲
- شکل ۴-۱۹: مقایسه مقدار بار سرمایش و گرمایش سالیانه ساختمان پایه و تغییرات بر طبق مبحث ۱۹..... ۷۳
- شکل ۴-۲۰: مقایسه مقدار بار سرمایش و گرمایش ماهیانه ساختمان پایه و سقف، دیوار و پنجره بر طبق مبحث ۱۹..... ۷۴
- شکل ۴-۲۱: تولید برق توسط پنل های خورشیدی مدل سازی شده..... ۷۵
- شکل ۴-۲۲: تولید انرژی ماهانه توسط پنل های خورشیدی و مصرف انرژی برق در ساختمان..... ۷۵
- شکل ۴-۲۳: میزان انتشار گاز دی اکسید کربن برای حالت های مختلف..... ۸۵
- شکل ۵-۱: مقایسه مقدار بار سرمایش و گرمایش ماهیانه ساختمان پایه و سناریو بهینه..... ۸۸
- شکل ۵-۲: مقایسه میزان انتشار دی اکسید کربن توسط ساختمان پایه و سناریو بهینه..... ۸۸
- شکل ۱: انتقال حرارت از یک دیوار مسطح و مدار حرارتی معادل [۱۰۳]..... ۹۶
- شکل ۲: مدار معادل حرارتی یک دیوار خارجی [۱۰۳]..... ۹۷
- شکل ۳: مدار معادل سیستم فتوولتائیک [۱۰۱]..... ۱۰۱

فهرست جداول

جدول ۳-۱: مقادیر مربوط به تصرف در قسمت های مختلف ساختمان.....	۴۲
جدول ۳-۲: ضریب متابولیک و نوع فعالیت در هر قسمت ساختمان.....	۴۳
جدول ۳-۳: نرخ مصرف آب گرم بر حسب لیتر بر متر مربع در هر روز.....	۴۳
جدول ۳-۴: جزئیات مصالح استفاده شده در ساختمان.....	۴۴
جدول ۳-۵: جزئیات پنجره های ساختمان.....	۴۵
جدول ۳-۶: چگالی توان و ضریب تابشی سیستم روشنایی هر سطح.....	۴۵
جدول ۳-۷: معادلات حاکم بر تهویه مطبوع و سیستم خورشیدی.....	۴۶
جدول ۳-۸: مصارف انرژی ساختمان در دو حالت واقعی و شبیه سازی شده بر حسب کیلووات ساعت در سال.....	۴۷
جدول ۳-۹: جزئیات پنجره های دوجداره انتخاب شده.....	۴۹
جدول ۳-۱۰: جزئیات عایق پلی استایرن با ضخامت های مختلف بر روی دیوار های خارجی ساختمان.....	۴۹
جدول ۳-۱۱: جزئیات عایق پشم سنگ با ضخامت های مختلف بر روی دیوار های خارجی ساختمان.....	۵۰
جدول ۳-۱۲: جزئیات عایق پشم شیشه با ضخامت های مختلف بر روی دیوار های خارجی ساختمان.....	۵۰
جدول ۳-۱۳: جزئیات عایق پلی یورتان با ضخامت های مختلف بر روی دیوار های خارجی ساختمان.....	۵۱
جدول ۳-۱۴: جزئیات عایق پلی استایرن با ضخامت های مختلف بر روی سقف ساختمان.....	۵۲
جدول ۳-۱۵: جزئیات عایق پشم سنگ با ضخامت های مختلف بر روی سقف ساختمان.....	۵۲
جدول ۳-۱۶: جزئیات عایق پشم شیشه با ضخامت های مختلف بر روی سقف ساختمان.....	۵۳
جدول ۳-۱۷: جزئیات عایق پلی یورتان با ضخامت های مختلف بر روی سقف ساختمان.....	۵۳
جدول ۳-۱۸: حداقل مقاومت حرارتی مرجع برای ساختمان طبق مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان [۲۸].....	۵۴
جدول ۳-۱۹: مصالح پیشنهادی استفاده شده در ساختمان شبیه سازی شده، در حالت بهینه.....	۵۴
جدول ۳-۲۰: داده های الکتریکی پنل های خورشیدی در شرایط تست استاندارد.....	۵۶
جدول ۴-۱: نتایج بازگشت سرمایه هر کدام از پنجره ها.....	۷۷
جدول ۴-۲: نتایج بازگشت سرمایه ضخامت های مختلف از عایق پلی استایرن بر روی دیوارهای خارجی ساختمان.....	۷۸
جدول ۴-۳: نتایج بازگشت سرمایه ضخامت های مختلف از عایق پشم سنگ بر روی دیوارهای خارجی ساختمان.....	۷۸
جدول ۴-۴: نتایج بازگشت سرمایه ضخامت های مختلف از عایق پشم شیشه بر روی دیوارهای خارجی ساختمان.....	۷۹
جدول ۴-۵: نتایج بازگشت سرمایه ضخامت های مختلف از عایق پلی یورتان بر روی دیوارهای خارجی ساختمان.....	۷۹
جدول ۴-۶: نتایج بازگشت سرمایه ضخامت های مختلف از عایق پلی استایرن بر روی سقف ساختمان.....	۸۰

- جدول ۴-۷: نتایج بازگشت سرمایه ضخامت های مختلف از عایق پشم سنگ بر روی سقف ساختمان..... ۸۱
- جدول ۴-۸: نتایج بازگشت سرمایه ضخامت های مختلف از عایق پشم شیشه بر روی سقف ساختمان..... ۸۱
- جدول ۴-۹: نتایج بازگشت سرمایه ضخامت های مختلف از عایق پلی یورتان بر روی سقف ساختمان..... ۸۲
- جدول ۴-۱۰: نتایج بازگشت سرمایه تنزیل شده تعویض پنجره ها..... ۸۳
- جدول ۴-۱۱: نتایج بازگشت سرمایه تنزیل شده عایق پلی استایرن بر روی دیوارهای خارجی ساختمان..... ۸۳
- جدول ۴-۱۲: نتایج بازگشت سرمایه تنزیل شده عایق پشم سنگ بر روی دیوارهای خارجی ساختمان..... ۸۳
- جدول ۴-۱۳: نتایج بازگشت سرمایه تنزیل شده عایق پشم شیشه بر روی دیوارهای خارجی ساختمان..... ۸۳
- جدول ۴-۱۴: نتایج بازگشت سرمایه تنزیل شده عایق پلی یورتان بر روی دیوارهای خارجی ساختمان..... ۸۴
- جدول ۴-۱۵: نتایج بازگشت سرمایه تنزیل شده عایق پلی استایرن بر روی سقف ساختمان..... ۸۴
- جدول ۴-۱۶: نتایج بازگشت سرمایه تنزیل شده عایق پشم سنگ بر روی سقف ساختمان..... ۸۴
- جدول ۴-۱۷: نتایج بازگشت سرمایه تنزیل شده عایق پشم شیشه بر روی سقف ساختمان..... ۸۴
- جدول ۴-۱۸: نتایج بازگشت سرمایه تنزیل شده عایق پلی یورتان بر روی سقف ساختمان..... ۸۴

امقدم

۱-۱ اهمیت انرژی

مصرف انرژی در چند دهه اخیر به شدت افزایش یافته است. این افزایش از یک طرف نشان دهنده رشد اقتصادی و به گردش افتادن بیشتر چرخ های صنعت و در پی آن جابه جا شدن کالاهای صنعتی به نقاط مختلف می باشد. از طرف دیگر شاید به دلیل قیمت ارزان انرژی، صاحبان صنایع و مصرف کنندگان خصوصی کشور در پی صرفه جویی و استفاده منطقی از این نعمت خدادادی نبوده اند. لذا استفاده منطقی از انرژی در رئوس اصلی کار کشور های فاقد انرژی فسیلی قرار گرفت و بر آن شدند که در یکی از مراکز اصلی مصرف انرژی، یعنی ساختمان ها، مسئله بهینه کردن مصرف انرژی را جدی بگیرند. بدین ترتیب این مسئله مطرح شد و چندین سال است که کشورهایمانند آلمان، سوئد، ایتالیا، انگلیس و... قوانین خاصی در امر ساختمان سازی و به کاربردن عایق های حرارتی، روش گرمایش و سرمایش و ساختار کلی ساختمان در جهت بهینه کردن مصرف انرژی در آن تدوین نموده اند که لازم الاجرا می باشد [۱]. رویکردها و راهبردهای کاهش تراز مصرف انرژی در ساختمان، در دو بخش اصلی طراحی ساختمان های انرژی کارا و بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان های موجود، قابل بررسی است. با ظهور فناوری های مختلف، پیچیدگی و هزینه های اجرایی نیز افزایش یافته و تصمیم گیری در رابطه با انتخاب بهینه ترین استراتژی ها و راهکارهای کاهش مصرف انرژی در ساختمان ها اهمیت بیشتری پیدا می کند. از سویی، تعامل بین عناصر طراحی، اقلیم، کاربران، سیستم های سرمایش، گرمایش، تهویه و روشنایی بسیار پیچیده است و تنها با استفاده از شبیه سازی تمامی عوامل مداخله گر در کارایی انرژی ساختمان قابل بررسی است [۲].

افزایش مصرف انرژی منجر به تولید گازهای گلخانه ای بیش تر با تاثیرات جدی روی محیط زیست جهانی خواهد شد. نرخ بالای شهری سازی با افزایش زیربنا برای هر دوی اهداف تجاری و مسکونی، فشار مضاعفی بر منابع موجود انرژی تحمیل کرده است. دسترسی محدود به انرژی، منابع موجود انرژی و طبیعت ناپایدار منابع انرژی تجدیدپذیر اهمیت بازده انرژی و حفاظت در بخش های مختلف را افزایش یافته است [۱].

به منظور محاسبه میزان آسایش حرارتی و بصری در فضا و با توجه به قابلیت ها و سازندگان، می بایستی سیستم های تهویه مطبوع، سیستم های روشنایی و موتورهای الکتریکی که مصرف کننده های عمده انرژی درون بخش ساختمان هستند، مورد تجزیه و تحلیل اقتصادی قرار گیرند. چهار مورد از پر مصرف ترین بخش های ساختمان گرمایش، سرمایش، آب گرم و روشنایی است که ۷۰ درصد از مصرف کل ساختمان را شامل می گردد [۳].

۲-۱ بررسی وضعیت انرژی در جهان

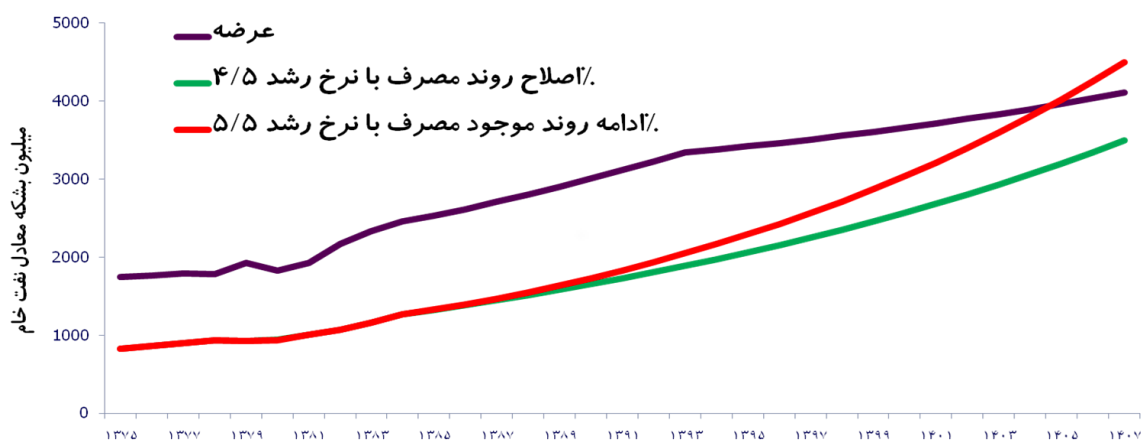
در گزارش چشم انداز انرژی جهان از نگاه آمار سال ۲۰۱۹، میزان مصرف انرژی در سراسر جهان سال گذشته با ۲/۹ درصد افزایش نسبت به سال ۲۰۱۷ به معادل حدود ۱۳/۸ میلیارد تن نفت رسیده است. این میزان بیشترین رشد سالانه در زمینه مصرف جهانی انرژی از سال ۲۰۱۰ تاکنون به شمار می رود. براساس این گزارش چین، آمریکا و هند به ترتیب عمده ترین مصرف کننده انرژی در جهان هستند. بازار انرژی در چین طی ۱۸ سال متوالی بیشترین رشد سالانه را داشته است. میزان مصرف انرژی در چین سال گذشته با صعود ۴/۳ درصدی در مقایسه با سال قبل از آن به معادل ۳/۲ میلیارد تن نفت رسید. در این دوره میزان مصرف انرژی در آمریکا معادل ۲/۳ میلیارد تن نفت و در هند نیز به معادل ۸۰۹ میلیون تن نفت صعود کرد. به این ترتیب میزان مصرف جهانی انرژی در سال ۲۰۱۸ نسبت به سال ۲۰۱۷ با رشد ۲/۹ درصدی به معادل ۱۳/۸ میلیارد تن نفت افزایش یافت.

میزان مصرف جهانی گاز طبیعی نیز سال گذشته با افزایش ۵/۳ درصدی نسبت به سال قبل از آن به معادل ۳/۳ میلیارد تن نفت رسید. بیشترین میزان مصرف جهانی گاز طبیعی در چین، خاورمیانه و اروپا ثبت شد. در بازه زمانی مذکور میزان مصرف جهانی زغال سنگ نیز با رشد ۱/۴ درصدی به معادل ۳/۷ میلیارد تن نفت دست یافت. بیشترین میزان مصرف زغال سنگ در جهان طی ۱۰ سال اخیر در سال ۲۰۱۸ مشاهده شده است [۴].

۳-۱ بررسی وضعیت انرژی در ایران

اگرچه نسبت به سال ۲۰۱۸، هم رتبه و هم امتیاز ایران در شاخص گذار انرژی ۲۰۱۹ بهبود یافته است، اما ایران در میان کشورهای منطقه خاورمیانه و شمال آفریقا و کشورهای همسایه عملکرد نسبتاً ضعیفی داشته است؛ در سال ۲۰۱۹، ایران به لحاظ شاخص گذار انرژی، در جایگاه ۱۰۱ ام در میان ۱۱۵ کشور قرار گرفته و امتیاز ۴۴ درصدی را در این شاخص کسب کرده است. این در حالی است که در سال ۲۰۱۸، رتبه ایران ۱۰۶ (در میان ۱۱۴ کشور) و امتیاز آن نیز ۳/۴۱ درصد ثبت شده بود. در سال ۲۰۱۹، کشورهای قطر، امارات متحده عربی، عمان، کویت و عربستان سعودی به ترتیب رتبه های ۶۵، ۶۷، ۶۸، ۸۷ و ۹۸ را در شاخص گذار انرژی کسب کرده اند که در مقایسه با ایران در سطح بالاتری قرار دارند[۵].

با توجه به مطالب گفته شده، شدت مصرف انرژی در ایران بسیار زیاد بوده و معادل کشوری با جمعیت ۷۵۰ میلیون نفر می باشد. همان طور که در شکل (۱-۱) مشاهده می شود با روند فعلی مصرف در کشور تا سال ۱۴۰۴ همه تولیدات داخلی نفت کشور جوابگوی مصرف نیست و ناچار به واردات نفت خام و گاز خواهیم شد. همچنین سرانه مصرف برق خانگی ۳ برابر استاندارد جهانی و گاز خانگی ۴ برابر متوسط مصرف جهانی می باشد. با این اوصاف بازنگری در الگوی مصرف کشور و جلوگیری از اتلاف انرژی به خصوص در بخش ساختمان که بخش بزرگی از مصرف را شامل می شود ازجمله نیازهای مهم کشور است و برنامه ریزی در جهت بهبود مصرف و کاهش شدت انرژی از نکات بسیار مهمی است که به برنامه ریزی نیاز دارد تا در دراز مدت با اصلاح الگوی مصرف و کنترل مصرف نادرست و بی رویه گامی در جهت افزایش اثربخشی و مصرف منابع کشور برداشته شود [۶].



شکل ۱-۱: چشم‌انداز انرژی ایران در سال ۱۴۰۴ [۶]

۴-۱ مصرف انرژی در ساختمان‌ها

مصرف انرژی پیامدهای عمیقی برای حوزه‌های اجتماعی، اقتصادی و سیاسی کشورها دارد. استفاده کنترل نشده از منابع طبیعی و ذخایر انرژی، تا به حال منجر به تخریب محیط زیست شده که کل زندگی بشر را در معرض خطر قرار داده است. از این رو ذخیره سازی انرژی اهمیت بسیار بالای خود را نشان می‌دهد. ائتلاف انرژی یک خطر محیط زیستی را معرفی کرده است که توجه جهان را به پایداری جلب می‌کند. در واقع، درصد بالایی از ائتلاف انرژی مربوط به ساختمان‌ها می‌باشد [۷]. در سراسر جهان، ساختمان‌ها تقریباً یک سوم مصرف انرژی نهایی را شامل می‌شوند. همچنین منابع بسیار مهمی در انتشار دی اکسید کربن^۱ هستند [۸]. در سال ۲۰۱۲، تقریباً ۴۰ درصد از کل مصرف انرژی کشور آمریکا هم در ساختمان‌های تجاری و هم مسکونی استفاده شده است. همچنین در اتحادیه اروپا نیز ساختمان‌ها مسئول ۴۰ درصد مصرف انرژی نهایی و ۳۶ درصد انتشار دی اکسید کربن می‌باشند [۹ و ۱۰]. در بین تمامی بخش‌ها، تقاضای انرژی به منظور استفاده در ساختمان‌ها به خصوص در شهرها همواره غالب بوده است. تقریباً ۴۰ درصد از مصرف انرژی مورد استفاده مصرف کننده نهایی در کشورهای توسعه یافته و ۲۰ درصد از آن در کشورهای در حال توسعه در ساختمان‌ها اتفاق می‌افتد [۱۰]. سازمان ملل با توجه به افزایش ساکنین شهری تخمین می‌زند که ساختمان‌ها تقریباً ۷۰ درصد آلودگی جهانی را

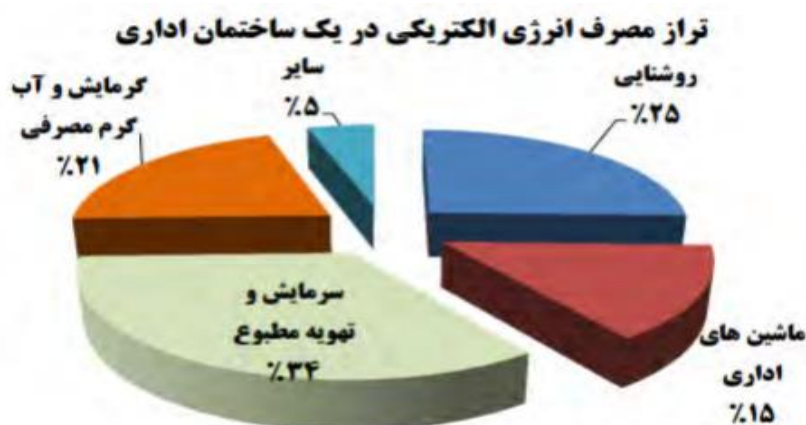
¹ CO2

تشکیل خواهند داد[۱۱]. در ایران مصرف انرژی حتی از ۴۰ درصد نیز بیشتر است [۱۲]. بدین ترتیب بخش ساختمان بزرگ ترین بخش مصرف انرژی می باشد و به عنوان بزرگ ترین منبع دست نخورده و مقرون به صرفه ذخیره سازی انرژی و به صورت حداقلی کاهش پتانسیل دی اکسید کربن در اروپا در نظر گرفته شده است. با این وجود این بخش هنوز از عدم سرمایه گذاری قابل توجه رنج می برد [۱۳]. به دنبال آن آگاهی از انرژی ساخت و ساز به منظور داشتن آینده ای امن و پایدار برای هر دوی بشر و زمین بسیار اهمیت دارد. در بخش های مسکونی و تجاری نیاز به تمرکز و دقت فزاینده بر مصرف انرژی در آینده ای نزدیک بیشتر احساس می شود[۱۴]. انرژی قابل استفاده یک ساختمان با عمر مفید تشکیل دهنده بخش وسیعی از انرژی کل مورد استفاده آن ساختمان می باشد (فرض کنید طول عمر یک ساختمان ۷۵ سال است)[۱۵]. نیازهای انرژی در ترکیب ساختمان های مختلف و محیط زیست به وجود می آید، جایی که شرایط آب و هوایی، انتخاب پوشش ساختمان و عایق آن معمولاً در راس امور قرار می گیرد. قواعد فرمول های حرارتی برای فضای داخلی عمدتاً به وسیله دیوارها، سقف ها و شیشه ها تاثیر می پذیرند. بدین ترتیب، نوع پوشش ساختمان و خواص آن، حرارت از دست رفته، حرارت جذب شده و هوای ورودی از محیط بیرون را معین می کند[۱۵و۱۶]. عایق بندی یک عامل مهم در کمک به ثابت نگه داشتن دمای داخلی و کاهش انرژی مورد نیاز برای عادت به سرمایش و گرمایش می باشد. مواد عایق، انتقال حرارت (یو ویو)^۲ را در اجزای پوشش ساختمان کاهش می دهد، که نه تنها از عوامل کاهش اندازه سیستم تهویه مطبوع است بلکه همواره باعث کاهش هزینه های انرژی می گردد [۱۷]. از این رو، هردوی تهویه طبیعی و سیستم تهویه مطبوع ساختمان، ظرفیت ذخیره سازی گرمای دیوار و سقف ساختمان بر دمای مطلوب داخلی و بارهای سرمایشی تاثیر می گذارند[۱۸]. تاکنون به دلیل اهمیت عمر ساختمان ها و بالا بودن هزینه نوسازی کامل آن ها عمده تمرکز روی افزایش بازده انرژی در ساختمان های نو بوده است. رشد سریع ساختمان های نو در کشورهای در حال توسعه بخشی از این چالش است، اما نرخ پایین جایگزینی ساختمان های ناکارآمد در کشورهای توسعه یافته به معنی ناکافی

بودن ساخت ساختمان های جدید، کم مصرف یا انرژی صفر^۳ به عنوان تنها راه حل می باشد. در اروپا، سالانه حدود یک درصد از ساختمان ها نوسازی شده و تنها ۰/۴ - ۱/۲ درصد (در اتحادیه اروپا) از آن ها بازسازی گردیده است [۱۹].

۵-۱ مصرف انرژی در ساختمان های اداری

با ظهور بحران انرژی در سال های نخست دهه ۱۹۷۰ زمانی که تقاضا برای منابع انرژی افزایش چشمگیری یافت، بحث جلوگیری از اتلاف انرژی مورد توجه قرار گرفت. البته این نگاه به کاهش مصرف با تاکید بر بهره وری انرژی در ساختمان های بلند مرتبه از قبیل ساختمان های اداری همراه بود [۲۰]. بهبود بهره وری انرژی در بخش ساختمان یکی از اقدامات عملی و پایدار با هدف کاهش انتشار گازهای گلخانه ای و هزینه های انرژی است [۲۱ و ۲۲]. در بخش ساختمان، ساختمان های دولتی و اداری ۷۰ درصد مصرف این بخش از انرژی را به خود اختصاص می دهند و ساختمان های موجود و قدیمی عموماً بین ۴۰ تا ۶۰ درصد اتلاف انرژی دارند [۲۳]. با توجه به شکل (۱-۲) بر اساس تراز مصرف انرژی الکتریکی در یک ساختمان اداری در کشور، سرمایش و تهویه مطبوع با ۳۴ درصد بیشترین سهم این نوع مصرف را به خود اختصاص داده و بعد از آن روشنایی با ۲۵ درصد، گرمایش و آب گرم مصرفی با ۲۱ درصد و ماشین های اداری با ۱۵ درصد و ماشین های اداری ۱۵ درصد، در رتبه های بعدی قرار دارند [۲۴].



شکل ۱-۲: تراز مصرف انرژی الکتریکی در یک ساختمان اداری [۲۴]

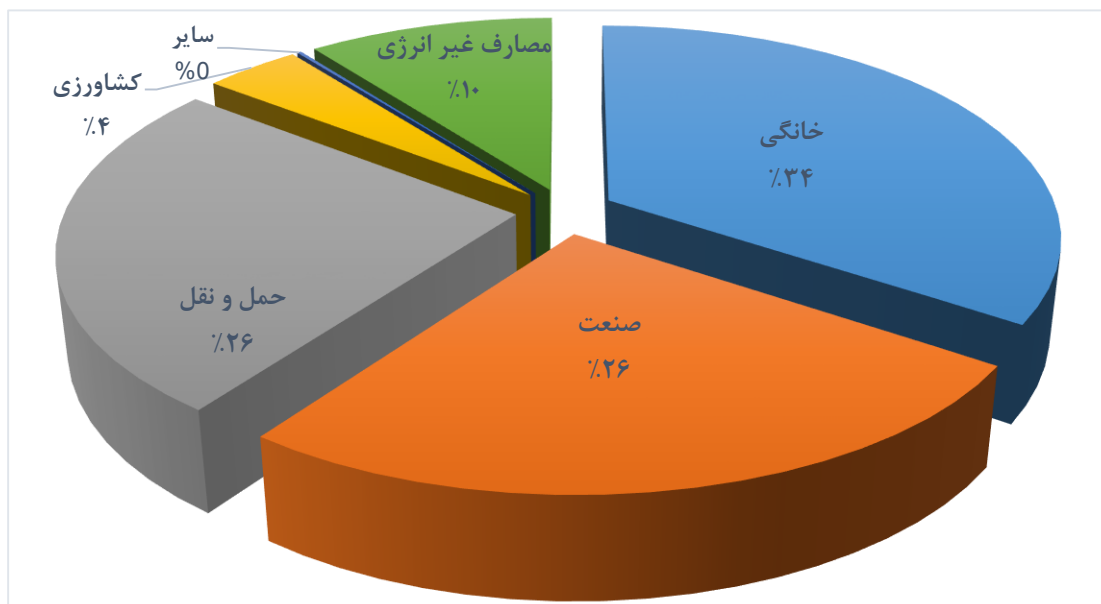
۶-۱ بهینه‌سازی مصرف انرژی

تلاش برای بهینه‌سازی و مصرف سوخت در ساختمان‌های موجود از اهداف عمده بخش ساختمان و مسکن می‌باشد. تمامی فعالیت‌هایی که می‌توانند به نوعی در بهینه‌سازی مصرف سوخت مؤثر باشند از قبیل : عایق‌کاری حرارتی ساختمان، عایق‌کاری تأسیسات مکانیکی، استفاده از تجهیزات با راندمان بالا، مصالح مرغوب (مانند پنجره‌های دوجداره) و... در راستای جلوگیری از اتلاف انرژی از اهم فعالیت‌های مدیریت ساختمان می‌باشد. اگرچه ایران از غنی‌ترین منابع انرژی برخوردار است اما استفاده نادرست از آن‌ها خسارات جبران‌ناپذیری را بر بودجه سالانه کشور تحمیل می‌کند.

۷-۱ ضرورت بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان

هیچ‌یک از اعمال انسان، بازدهی صد درصد ندارد از این رو استفاده بهینه و ممانعت از هدر رفتن امکانات امری اساسی است این نکته هنگامی اهمیت بیشتری پیدا می‌کند که موضوع انرژی مطرح شود. منظور از بهینه‌سازی مصرف انرژی، انتخاب الگوها و اتخاذ و به‌کارگیری روش‌ها و سیاست‌هایی در مصرف درست انرژی است. که از نقطه‌نظر اقتصاد ملی مطلوب باشد و استمرار وجود و دوام انرژی و ادامه حیات و حرکت را تضمین کند. در این چارچوب تعیین سهم صورت‌های مختلف انرژی در سبد انرژی هر جامعه با توجه به امکانات درازمدت آن جامعه، همچنین به‌کارگیری پربازده‌ترین شیوه استفاده از آن‌ها که متضمن کاهش تخریب منابع انرژی و نیز کاهش تأثیرات سوء ناشی از استفاده ناصحیح از انرژی، بر عوامل دیگر حیات و محیط‌زیست مدنظر است، این استفاده درست و به‌جا از انرژی، نه تنها متضمن استمرار حیات و توسعه پایدار جامعه است بلکه منجر به بقا انرژی برای همگان و نسل‌های آتی و مانعی برای تولید و گسترش آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از مصرف نادرست انرژی خواهد بود. همان‌طور که در شکل (۱-۳) مشاهده می‌شود، بخش ساختمان در کشورمان به دلیل طراحی و ساخت نامناسب، مصالح و تجهیزات غیراستاندارد و مواد به‌کاررفته در ساختمان‌ها و انتخاب نامناسب پوشش ساختمان‌ها اعم از پنجره‌ها و سیستم عایق‌کاری، بزرگ‌ترین مصرف‌کننده انرژی به میزان ۳۴ درصد در مقایسه با

سایر بخش‌های اقتصادی کشور است [۵]. از این رو ارائه کارهایی در جهت بهینه سازی مصرف انرژی در این بخش دارای اهمیت بالایی می‌باشد.



شکل ۱-۳: مقایسه مصرف کننده های انرژی در ایران (میلیون بشکه نفت خام) [۵]

۸-۱ تعریف ساختمان های سبز

یکی از مباحث جدید و نوینی که امروزه مورد توجه طراحان قرار گرفته است و در جهت سازگاری با محیط زیست و دستیابی و توسعه شهرها می باشد، طراحی بر گرفته از مفاهیم توسعه پایدار است. هدف اصلی از طراحی این ساختمان ها کاهش یافتن آسیب های محیطی، کاهش استفاده از سوخت های فسیلی و حفظ اقلیم برای نسل های حال و آینده می باشد. به طور معمول عملکرد ساختمان های سبز مرتبط با سطح عملکرد زیست محیطی آن ها تعریف می شود و پارامترهای مهمی همچون بهره وری انرژی در ساختمان، میزان عملکرد حرارتی و همچنین بهره وری مواد و تکنولوژی های مورد استفاده در این ساختمان ها به عنوان شاخص های عملکرد انرژی پایدار در این ساختمان ها مورد توجه می باشند. در واقع در ساختمان های سبز ، هدف اصلی استفاده درست و بهینه از منابع انرژی و کاهش آسیب های ساختمان بر محیط زیست می باشد [۲۵].

یک ساختمان باید دارای ویژگی های خاصی باشد تا آن را ساختمان سبز نامید. این ویژگی ها شامل موارد زیر است [۲۶]:

- استفاده بهینه از انرژی، آب و سایر منابع
- استفاده از انرژی های نو مانند انرژی خورشیدی
- تولید پایین آلودگی و پسماند و توانایی استفاده مجدد از دورریزها و بازیافت
- کیفیت خوب شرایط هوای محیط داخل
- استفاده از مواد غیر سمی و پایدار
- در نظر داشتن محیط زیست در مراحل طراحی، ساخت و بهره برداری
- در نظر داشتن کیفیت زندگی افرادی که در ساختمان زندگی می کنند در مراحل طراحی، ساخت و استفاده

• داشتن طراحی ای که توانایی وفق یافتن با تغییرات محیط زیست را فراهم سازد

هر نوع ساختمانی می تواند یک ساختمان سبز باشد تا زمانی که شرایط لیست شده در بالا را دارا باشد، فرقی نمی کند که ساختمان مسکونی، مدرسه، بیمارستان، اداره و یا هر نوع ساختمان دیگری باشد. کشورها و مناطق مختلف دارای ویژگی ها و مشخصات بسیار متفاوتی از جمله شرایط آب و هوایی به خصوص، فرهنگ و آداب و رسوم منحصر به فرد، نوع و عمر متفاوت ساختمان ها، یا شرایط بسیار متنوع محیط زیستی، اقتصادی و اجتماعی هستند که همگی شرایط و راه های متفاوتی را برای دست یافتن به مشخصه های یک ساختمان سبز ایجاب می کند [۲۷] و با توجه به مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان ، شناخت و بررسی تکنولوژی های موثر جهت استفاده در این ساختمان ها از الزامات صنعت ساختمان سازی و معماری بوده و می تواند نقش مهمی را در کاهش مصرف انرژی و توسعه شهری ایفا نماید [۲۸].

۹-۱ استفاده از عایق ها در سقف و دیوار

عایق کاری نقش بسیار مهمی در رفاه حال ساکنان هر ساختمان دارد. به عقیده کارشناسان صنعتی و دست اندرکاران ساختمان سازی هزینه عایق کاری ساختمان ها بسیار کمتر از هزینه کل ساختمان است، اما مزایای استفاده از عایق کاری مانند کاهش مصرف سوخت و جلوگیری از اتلاف گرما و سرمای داخل ساختمان و همچنین اثرات جلوگیری از ورود آلودگی صوتی و آلودگی هوا و رطوبت به محیط زندگی یا کار، بسیار بالاتر از سرمایه گذاری اولیه برای عایق کاری است. عایق حرارتی ساختمان ها به منظور رفع نیازهای بهبود بهره وری انرژی، نقش مهمی دارند [۲۹]. بنابراین لازم است تا پس از شناختن خواص عایق های مختلف، اصول و مبانی طراحی حرارتی مورد توجه قرار گیرد.

بر اساس مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان، یکی از عوامل بسیار مهمی که نقش اساسی در گرم نگه داشتن ساختمان در زمستان و در خنک نگه داشتن آن در تابستان ایفا می کند عایق کاری می باشد [۲۸]. بر اساس یافته های علمی منتشر شده، به دلیل عایق نبودن پوسته خارجی ساختمان، بطور میانگین و تقریبی، حدود ۳۵ درصد اتلاف انرژی از دیوارهای جانبی، ۲۵ درصد از سقف و ۱۰ درصد از کف ساختمان ها می باشد در حالی که ۲۰ تا ۲۵ درصد از اتلاف انرژی از پنجره ها و درب ها در ساختمان رخ می دهد. بنابراین با عایق کاری و استفاده مناسب از مصالح در ساخت می توان بخش قابل توجهی از انرژی مورد نیاز ساختمان را کاهش داد. با استفاده از عایق کاری در ساختمان ها می توان در فصل سرما ساختمان ها را تا حدود ۵ درجه سانتی گراد گرم نگه داشت و در فصل گرما نیز تا حدود ۱۰ درجه سانتی گراد ساختمان را خنک نگه داشت [۳۰]. به طور کلی، استفاده از عایق در ساختمان های سبز می تواند علاوه بر مدیریت بهینه در مصرف انرژی و پایداری محیط زیست، نقش اساسی را در توسعه و رشد شهری ایفا نماید.

۱-۱۰ سیستم های فتوولتائیک خورشیدی

خانواده های بسیاری در جهان با انگیزه رسیدن به سود بسیار و دریافت هزینه تولید برق از دولت و دیگر انگیزه های مالی در حال نصب سیستم های فتوولتائیک^۴ در طول سال های اخیر هستند. دلایل ترویج این طرح های انگیزشی، کاهش آلاینده‌گی و تلفات سیستم های انتقال و توزیع می باشد [۳۱]. انرژی خورشیدی، انرژی تابش و گرما از خورشید است که به منظور استفاده در تکنولوژی های در حال تحول مانند سیستم فتوولتائیک یکپارچه با ساختمان^۵، گرمایش خورشیدی، معماری خورشیدی، انرژی حرارتی خورشیدی و فتوسنتز مصنوعی تحت سلطه قرار گرفته است. تولید توان برق از طریق فتوولتائیک، مدول فتوولتائیک تشکیل شده از تعدادی سلول خورشیدی با مواد فتوولتائیک را مورد استفاده قرار داده است. این مواد شامل کریستال های سیلیکونی، سیلیکون بی شکل، کادمیوم تلراید^۶ و مس ایندیوم سیلیناید^۷، می گردند [۳۲]. تکنولوژی فتوولتائیک انرژی تابش خورشید را به طور مستقیم تبدیل به جریان برق می کند. سیستم های فتوولتائیک می توانند به صورت یکپارچه در ساختمان های متنوع به منظور تامین انرژی و به صورت سازگار با محیط زیست مورد استفاده قرار گیرند. به طور کلی، نصب و بکارگیری این سیستم ها در ساختمان های مسکونی با ظرفیت بین ۱ تا ۵۰ کیلووات در حال افزایش است [۳۳]. به دلیل افزایش تقاضای منابع تجدیدپذیر، تولید سلول ها و مدول های خورشیدی به طور قابل توجهی در سال های اخیر پیشرفته شده است [۳۴]. در سال های اخیر سیستم های فتوولتائیک یکی از جدیدترین سیستم های تجدیدپذیر هستند که بیشترین پتانسیل برای جایگزینی سوخت های فسیلی دارند [۳۵ و ۳۶]. به خصوص در مناطق شهرنشین استفاده از سیستم های فتوولتائیک به طور فعال به منظور اجرای روی پشت بام ساختمان ها ترویج شده است [۳۷]. ظرفیت انرژی های تجدید پذیر در سال ۲۰۱۹ به گفته آژانس بین المللی انرژی های تجدیدپذیر^۸، حدود

⁴ Photovoltaics

⁵ Building integrated photovoltaic

⁶ cadmium telluride

⁷ copper indium selenide

⁸International Renewable Energy Agency (IRENA)

۱۷۶ گیگاوات در سطح جهان اضافه شده است که در مقایسه با برنامه تعیین شده در سال ۲۰۱۸ که ۱۷۹ گیگاوات بوده معادل ۹۰ درصد برنامه تحقق یافته است. با این حال، در سال گذشته ۷۲ درصد از کل توسعه برق در جهان را انرژی تجدیدپذیر تشکیل داده است. آمار سالانه افزایش ظرفیت تجدیدپذیر نشان می دهد که تجدید پذیرها در سال گذشته ۷/۶ درصد گسترش داشته اند و آسیا با ۵۴ درصد پیشتاز این رشد را به خود اختصاص داده است. در حالی که گسترش منابع تجدید پذیر در سال گذشته کاهش یافته است، رشد کل انرژی تجدیدپذیر بیش از رشد سوخت فسیلی با ضریب ۲/۶ افزایش یافته است و همچنان تداوم تجدیدپذیرها در گسترش نیروگاه نسبت به سال ۲۰۱۲ به چشم می خورد. انرژی خورشید و باد ۹۰ درصد از کل ظرفیت اضافه شده در سال ۲۰۱۹ را به خود اختصاص داده است [۳۸]. فتوولتائیک یکی از امیدوار کننده ترین انرژی های تجدیدپذیر در رسیدن به طراحی پایدار ساختمان ها است. چرا که تنها تکنولوژی تولید برق می باشد که می تواند به طور وسیع در محیط های شهری گسترش یابد. همچنین به دلیل عدم استفاده سیستم های فتوولتائیک از سوخت، آلاینده های چرخه عمر گاز های گلخانه ای به ازای هر گیگاوات ساعت بسیار پایینتر از تکنولوژی های تولید برق با سوخت های فسیلی خواهد بود. حتی در مدت عملکرد سیستم، فتوولتائیک تولید دی اکسید کربن و آلودگی ندارد [۳۹]. دولت برای سیستم های فتوولتائیک متصل به شبکه برق پشتیبانی های مالی متنوعی را مانند سبد تجدیدپذیر استاندارد، تزریق از طریق تعرفه ها و گواهی های انرژی خورشیدی فراهم کرده است [۴۰]. به طور کلی، ترکیب تعرفه های بالای ساختمان های مسکونی با تشعشع بالای تابش خورشید، نشان می دهد که برق فتوولتائیک می تواند به امکان پذیری اقتصادی برای سیستم های نصب شده خورشیدی متصل به شبکه بینجامد [۴۱]. اگرچه انتظار می رود که سیستم های فتوولتائیک باعث تحقق ساختمان های خورشیدی انرژی صفر^۹ شود اما این مهم فقط با وجود این سیستم ها امکان پذیر نخواهد بود [۴۲]. در دهه های اخیر هزینه سیستم های فتوولتائیک چه برای ساختمان های مسکونی و چه غیر مسکونی به شدت در حال کاهش است (به طور متوسط ۱۳ تا ۱۸ درصد در هر سال بین

⁹ net-zero energy solar buildings (nZESBs)

سال های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۴) همچنین یکپارچه سازی آسان با ساختمان ها منجر به رشد سریع و پرنفوذ این سیستم ها در برخی کشورها در کل دنیا شده است [۴۳]. در شکل (۴-۱) نمونه ای از نصب آرایه های فتوولتائیک بر روی بام مسطح داده شده است.



شکل ۴-۱: نمونه ای از نصب آرایه های فتوولتائیک بر روی بام مسطح

۱-۱۰-۱ طبقه بندی تیپ سیستم های فتوولتائیک از لحاظ کاربری

بطور کلی سیستم های فتوولتائیک با توجه کاربریشان به دو گروه دسته بندی می شوند [۴۴ و ۴۵]:

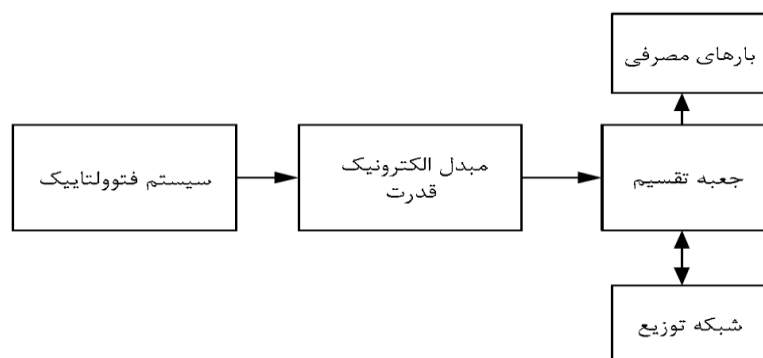
- واحدهای فتوولتائیک متصل به شبکه
- واحدهای فتوولتائیک مجزا از شبکه

لازم به ذکر است که کاربری دیگر سیستم های فتوولتائیک به صورت چندگانه می باشد که در این حالت سیستم فتوولتائیک در کنار منابع دیگر مانند توربین باد یا دیزل، تغذیه بار را انجام می دهند.

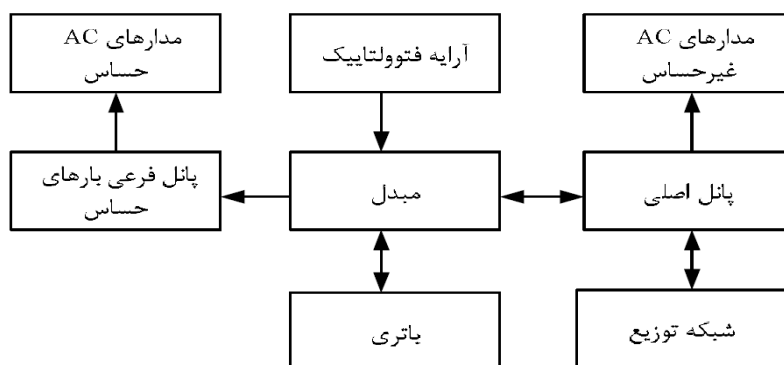
۱-۱۰-۱-۱ سیستم های فتوولتائیک متصل به شبکه

به منظور تقویت شبکه ی سراسری برق و جلوگیری از فشار الکتریکی وارد بر نیروگاه ها در طی روز، استفاده از سیستم های فتوولتائیک متصل به شبکه سراسری برق به صورت متمرکز و یا غیرمتمرکز از جمله راه حل های این مشکل می باشد. امروزه سیستم های فتوولتائیک متصل به شبکه در بسیاری از کشورهای جهان در واحدهای کوچک از ۱ کیلووات الی ۵ کیلووات در بام منازل مسکونی و در واحدهای

بزرگ تر به صورت نیروگاه های فتوولتائیک نصب و راه اندازی شده است. شکل (۱-۵) طرحی از سیستم فتوولتائیک متصل به شبکه ی برق بدون باتری ذخیره ساز را نشان می دهد [۴۶]. سیستم های فتوولتائیک متصل به شبکه ی برق مجهز به سیستم ذخیره به خصوص برای خانه های مسکونی و محل های تجاری کوچک بسیار مناسب هستند، زیرا در این سیستم ها از انرژی ذخیره شده برای بارهای حساس مانند: یخچال، روشنایی، آسانسور، پمپ های آبرسانی و غیره استفاده می شود. در شرایط معمولی که شبکه ی سراسری برق دار است، سیستم فتوولتائیک برای شارژ باتری و تغذیه ی بار محلی انرژی تولید می نماید و در صورتی که اضافه تولید داشته باشد به شبکه ی سراسری توان تزریق می نماید و در صورت کمبود تولید، توان مورد نیاز را از شبکه ی سراسری دریافت می نماید. در هر صورت باتری و یا دیگر ذخیره سازهای انرژی در حالت شارژ کامل به سر می برند. شکل (۱-۶) طرحی از سیستم فتوولتائیک متصل به شبکه ی برق دارای باتری ذخیره را نشان می دهد [۴۶].



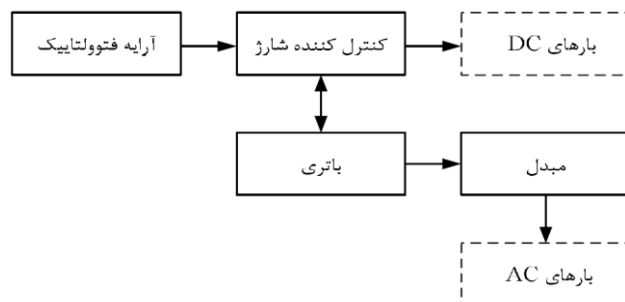
شکل ۱-۵: سیستم فتوولتائیک متصل به شبکه برق توزیع



شکل ۱-۶: سیستم فتوولتائیک متصل به شبکه سراسری برق مجهز به سیستم ذخیره انرژی

۱-۱۰-۲ سیستم های مستقل از شبکه ی سراسری برق

طراحی سیستم های فتوولتائیک مستقل از شبکه به گونه ای است که باید مستقل از شبکه ی برق سراسری عمل نموده و قابلیت تغذیه بارهای مستقیم (DC) و متناوب را دارا باشد. این واحدها مستقیماً به بار متصل می شوند و تمام بار را بر خلاف سیستم های متصل به شبکه تامین می نمایند. بنابراین برای طراحی این گونه واحدها، بایستی مدل بار و کل توان مورد نیاز بار در یک دوره شبانه روزی محاسبه شود و ظرفیت واحد و تعداد آرایه های فتوولتائیک بر این اساس محاسبه شود. همچنین به دلیل عدم وجود شبکه برق سراسری، تمامی توان می بایستی از طریق سیستم فتوولتائیک تامین شود [۴۶]. از آن جایی که سیستم فتوولتائیک قابلیت تولید پیوسته توان را ندارد (شب هنگام) و میزان تولید توان آن کاملاً به شرایط جوی وابسته می باشد (کاهش تولید در روزهای ابری و بارانی) برای تغذیه مناسب و مطمئن بار باید واحد فتوولتائیک به سیستم ذخیره ساز انرژی مجهز شود. ظرفیت ذخیره ساز انرژی به میزان مصرف بار در ساعت هایی که تولید وجود ندارد، بستگی دارد. همچنین برای افزایش حاشیه امنیت، باید سیستم ذخیره ساز انرژی قابلیت تغذیه کل بار سیستم را بدون استفاده از انرژی سیستم فتوولتائیک برای چند روز داشته باشد [۴۶]. زیرا در صورتی که چند روز متوالی شرایط جوی مناسب نباشد، می بایست بارهای محلی را تغذیه نماید. شکل (۱-۷) طرح کلی یک سیستم فتوولتائیک مستقل از شبکه را نشان می دهد. همان گونه که دیده می شود، سیستم فتوولتائیک مجهز به باتری برای ذخیره انرژی است و قابلیت تغذیه بارهای DC و متناوب را دارا می باشد. در این حالت سیستم فتوولتائیک باید مجهز به مکانیزمی برای تولید فرکانس و ولتاژ مناسب برای تغذیه بار مصرفی باشد [۴۶].



شکل ۱-۷: سیستم فتوولتائیک مستقل از شبکه

۲. بررسی پیشینه تحقیق

۱-۲ پیشگفتار

تاکنون به دلیل اهمیت عمر ساختمان های دولتی و بالا بودن هزینه نوسازی کامل آن ها عمده تمرکز روی افزایش بازده انرژی در ساختمان های نو بوده است. لیکن هم اکنون با توجه به رشد روز افزون استفاده از مواد و مصالح با قابلیت افزایش راندمان و راهکار ها و تکنیک های جدید در جهت صرفه جویی در مصرف انرژی، امکان تبدیل ساختمان های موجود به ساختمان های سبز با راندمان مطلوب و قابل قبول میسر گردیده است. لذا امروزه پژوهش های بسیاری در ارتباط با این مهم انجام شده و یا در حال انجام می باشد که در این فصل، به مطالعات صورت گرفته در زمینه بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان و اهمیت آن، استفاده از انواع عایق ها بر روی دیوار و سقف ساختمان، تعویض پنجره ها از تک جداره به دو جداره و در ادامه به بررسی تحقیقات صورت گرفته در رابطه با سیستم های فتوولتائیک خانگی پرداخته خواهد شد.

۲-۲ بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان و اهمیت آن

مصرف انرژی در بخش ساختمان ها حدود ۴۰٪ از کل مصرف انرژی اکثر کشورهای جهان و اتحادیه اروپا را به خود اختصاص داده است [۴۷ و ۴۸]. از این رو بهینه سازی مصرف انرژی در این بخش حائز اهمیت است. علاوه بر این، بهینه سازی در مصرف انرژی به معنی کاهش سوخت های فسیلی، باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه ای می گردد [۴۹] و بیشترین سهم تولید انتشار گاز دی اکسید کربن در اتحادیه اروپا توسط ساختمان ها می باشد [۴۸]. تکنولوژی سبز در واقع طراحی برای آینده ای آگاه از انرژی می باشد. یک طراحی مناسب بر مبنای استفاده از انرژی طبیعی خورشید هم نور و هم گرما و همین طور آسایش را برای ساکنین یک خانه تضمین می کند. ایجاد ساختمان سبز به سلامت فردی که در آن محیط و در محیط های اطراف آن زندگی می کند کمک خواهد کرد و از او پشتیبانی می کند که باعث رضایت مندی و سودمندی آنان خواهد شد [۵۰]. آدامز^{۱۰} [۵۱] در مقاله ای تحت عنوان محیط

¹⁰ Adams

زیست و توسعه پایدار در قرن بیست و یکم با بررسی ساختمان های سبز به مزایای بسیار گسترده و وسیع آن پی برده و مشخص نمود که ساختمان سبز پایداری از جنبه های زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی را پوشش می دهد. یودلسون^{۱۱} [۵۲] بیان نمود که ساختمان های سبز بین ۳۰ تا ۵۰ درصد انرژی و آب کمتری نسبت به ساختمان های معمولی (غیر سبز) استفاده می کنند. ماديو^{۱۲} [۵۳] طبق مطالعات موردی انجام شده در استرالیا و سایر نقاط جهان ۶۰ درصد کاهش مصرف انرژی و آب در ساختمان های سبز وجود دارد که این مهم منجر به کاهش قابل توجه هزینه های عملیاتی سالیانه می گردد. ژنجان^{۱۳} و همکارانش [۵۴] در مقاله ای تحت عنوان بهینه سازی ساختمان های موجود عنوان نمودند که تبدیل یک ساختمان موجود به ساختمان سبز به عوامل مهمی از قبیل رفتار ساکنان، حمایت دولت، تصمیم مالک ساختمان، معیارهای طراحی ساختمان و سایر عوامل بستگی دارد. یوهانس^{۱۴} [۵۵] و سانتین^{۱۵} [۵۶] در مقاله های خود بر این عقیده بودند که رفتار ساکنان در جهت جنبه های صوتی، بصری و حرارتی تا میزان ۴ درصد در مصرف انرژی تاثیر گذار می باشد. زرین زاده و رفتاری [۵۷]، در پژوهشی نشان داده که بازدهی یک درصدی در ساعت های کاری کارکنان یک ساختمان اداری سبز، در نمونه هایی مانند ساختمان هلیکون شپارد و یا ساختمان های اداری بریندلی، برابر یک سال مصرف انرژی آن بنا بوده است. کارکنان اداره سبز اوقات کمتری را با تنظیم دمای محیط کاری خود تلف می کنند و مشکلات روانی کمتر بر بازدهی آنان می افزاید. شاخص های طراحی چون هسته مرکزی و آتریوم، شیشه سراسری کف تا سقف، صفحات خورشیدی، سرمایش و گرمایش آبی و زمینی و سایه اندازهای کاهنده شدت تابش خورشید از راهکارهای طراحی ساختمان اداری سبز هستند. این نگارش راه حل های کاربردی را با بررسی و مطالعه متون مربوط در زمینه طراحی ساختمان اداری سبز ارائه می دهد. راه حل های ذکر شده بر حسب تجربه با اندک تغییرات در مواردی همچون محل قرارگیری،

¹¹ Yudelsson

¹² Madew

¹³ Zhenjun

¹⁴ Yohanis

¹⁵ Santin

سطح اشغال و جزئیات طراحی قابل تعمیم بر اقلیم های مختلف خواهند بود. ابراهیم پور و کریمی واحد [۵۸]، روش های مناسب بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان دانشگاهی در تبریز را بررسی کردند و با استفاده از نرم افزار انرژی پلاس میزان مصرف انرژی ساختمان را به دست آوردند و تغییرات مختلفی جهت کاهش مصرف انرژی در ساختمان انجام دادند. خداکرمی و همکاران [۵۹] در پژوهشی، ساختمان آموزشی را با استفاده از نرم افزار محاسبه ی انرژی دیزاین بیلدر^{۱۶} شبیه سازی کردند و با بکارگیری تکنیک های غیرفعال میزان مصرف انرژی کل و تقاضای سرمایش و گرمایش در ساختمان را کاهش دادند. سید اسماعیل ساداتی [۶۰] در پژوهشی برای بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان های شهر سمنان با رویکرد سیاست های اقتصاد مقاومتی، برخی از راهکارهای عملی برای حرکت به سمت تبادل بین صرفه جویی مصرف انرژی و صرفه جویی اقتصادی را بررسی کرده و تاثیر آن ها بر کاهش هزینه های اقتصادی، آلودگی های زیست محیطی و کاهش مصرف آب نشان داده است.

۳-۲ بررسی استفاده از عایق ها و مصالح مناسب در سقف و

دیوارها

یکی از مهم ترین مواردی که باعث اتلاف انرژی حرارتی در ساختمان می شود، عدم عایق بندی مناسب دیوارهای ساختمان است. می توان گفت بخش اعظمی از اعضای حائل بین داخل و خارج ساختمان را دیوارها تشکیل می دهند که در صورت استفاده درست از عایق های مناسب می توان مقاومت حرارتی آن ها را تا حد چشمگیری افزایش داد و در نتیجه از اتلاف انرژی به مقدار زیادی جلوگیری نمود. طراحی و اجرای پوسته های ساختمانی ای که بتوانند با رفتار حرارتی مناسب، بالاترین میزان آسایش حرارتی را در فضای داخل بدون کمک تجهیزات مکانیکی تامین کنند، می تواند تا حدود زیادی سبب صرفه جویی در مصرف انرژی گردد.

¹⁶ Design Builder

آسان^{۱۷} [۶۱] محل بهینه قرارگیری عایق را برای دیوار مرکب چندلایه و شرایط مرزی متغیر با زمان بررسی کرده است. او برای این کار ۴ سانتیمتر عایق را در نقاط مختلفی از دیوار ۲۰ سانتیمتری قرار دارد. در این تحقیق عایق حرارتی به صورت یک لایه یا به صورت ۲ لایه ای ۲ سانتی متری در دیوار موردنظر قرار داده شده که مقدار صرفه جویی قابل ملاحظه ای در مقدار مصرف انرژی در حالات مختلف بدست آمده است. کالوگیرو^{۱۸} و همکاران [۶۲] در تحقیقی در قبرس بر روی تأثیر جرم حرارتی و عایق حرارتی بر روی بار سرمایی و گرمایی با شبیه سازی انرژی برای یک مدل ساختمانی با یک دیوار حرارتی (دارای جرم حرارتی سنگین) و سقف دارای عایق پلی استایرن، با هدف بررسی اثر استفاده از جرم حرارتی در دیوارها و همچنین عایق حرارتی در روی سقف بر روی بارهای سرمایی و گرمایی، پی بردند که به کارگیری دیوار با جرم حرارتی سنگین باعث کاهش بار گرمایشی شده و برای دیوارهای نمای جنوبی ساختمان ها استفاده از جرم حرارتی سنگین و همچنین برای سقف نیز به کار بردن عایق پیشنهاد کردند. کوالی^{۱۹} و همکاران [۶۳] در تحقیقی با نرم افزار دیزاین بیلدر، نشان دادند که در حالت استفاده از عایق ها در دیوارهای خارجی، سقف و استفاده از پنجره های دوجداره در یک ساختمان اداری باعث کاهش انرژی مصرفی سالانه از ۷۲/۷۳۶ مگاوات ساعت به ۵۲/۷۱ مگاوات ساعت شده است.

یوان^{۲۰} و همکاران [۶۴] در پژوهش دیگری به بهینه سازی ترکیبی از بازتاب سطح و ضخامت عایق در دیوارهای خارجی به منظور ذخیره انرژی در اقلیم ژاپن پرداختند. محاسبات بارهای حرارتی و آنالیزهای اقتصادی ساختمان برای شش شهر با عرض های جغرافیایی متفاوت در ژاپن با در نظر گرفتن ضخامت و بازتاب سطح متفاوت برای دیوارهای خارجی انجام گرفت. بار حرارتی سالیانه و هزینه اقتصادی اجرای پوسته ساختمان با در نظر گرفتن بازه ۰/۱ تا ۰/۸ و ضخامت عایق ۱۰ الی ۱۰۰ میلی متر توسط نرم افزار محاسبه بار حرارتی ساختمان محاسبه گردید. نتایج نشان داد در ضریب بازتاب زیاد، افزایش ضخامت عایق موجب کاهش بار سرمایش ساختمان خواهد شد. بدون در نظر گرفتن منطقه، با افزایش میزان

¹⁷ Asan

¹⁸ Kalogirou

¹⁹ Crawley

²⁰ Yuan

بازتاب، بار گرمایشی افزایش و بار سرمایشی کاهش می یابد. همچنین تأثیر ضخامت عایق بیشتر از تأثیر ضریب بازتاب در کاهش مصرف انرژی است. شیخ زاده و همکاران [۶۵] در تحقیقی به ارزیابی کاهش تلفات حرارتی با به کارگیری عایق های حرارتی یا ایجاد فاصله هوایی در جداره های خارجی ساختمان پرداختند. محققان تحقیق به این نتیجه رسیدند که یکی از بهترین راه ها برای جلوگیری از تلفات حرارتی استفاده از عایق های حرارتی با تعبیه فاصله هوایی در جداره های ساختمان است. محاسبات نشان داد که تعبیه فاصله هوایی در دیواره های خارجی تا ۲۹ درصد تعبیه فاصله هوایی در سقف (بام) تا ۳۶ درصد، استفاده از عایق پشم شیشه با کاغذ کرافت در دیواره های خارجی تا ۷۸ درصد و استفاده از عایق پشم شیشه با ورق آلومینیوم در سقف تا ۸۵ درصد از تلفات حرارتی این جداره ها می کاهد. همچنین تعبیه فاصله هوایی حدود ۲۸ درصد و استفاده از عایق حرارتی حدود ۵۸ درصد از تلفات حرارتی کل ساختمان مورد نظر می کاهد. ابراهیم پور و همکاران [۶۶] به بهینه سازی ضخامت و نحوه قرارگیری عایق حرارتی در داخل جداره های ساختمانی ساختمان های مسکونی در سه شهر تهران، اهواز و تبریز در راستای به حداقل رسانیدن بارهای حرارتی و برودتی توسط نرم افزار شبیه سازی انرژی پلاس پرداختند. نتایج نشان داد که برای شهر تهران ۵ تا ۷/۵ سانتی متر عایق (۲ تا ۳ اینچ) به صورت دو لایه (نیمی در سطح داخلی و نیمی از آن در سطح خارجی) و برای شهر تبریز قرارگیری ۵ تا ۷/۵ سانتی متر عایق (۲ تا ۳ اینچ) به صورت یک لایه در سطح داخلی و برای شهر اهواز قرارگیری ۵ تا ۷/۵ سانتی متر عایق (۲ تا ۳ اینچ) به صورت یک لایه در سطح خارجی، به عنوان حالت های بهینه پیشنهاد می شود. با اجرای عایق کاری بهینه در دیوارها، ۵۰ تا ۷۰ درصد در انرژی صرفه جویی شده سالیانه، بهبود حاصل خواهد شد. ویسی و همکاران [۶۷] با استفاده از یک مدل ریاضی که رفتار حرارتی ساختمان را در حالت ناپایدار بیان می کند، اثر محل قرارگیری عایق در لایه های دیوار بر مصرف انرژی لازم در گرمایش ساختمان را مورد بررسی قرار دادند. مدل فرض شده بر اساس معادله توازن انرژی برای لایه های مختلف دیوار، هوای داخل اتاق و منبع تولید گرما تهیه و معادلات حاصل از مدل ریاضی به شکل معادله ماتریسی

فضای حالت نوشته شد و با استفاده از یک مدل کامپیوتری در محیط نرم افزار سیمولینک^{۲۱} حل گردید .

با استفاده از مدل ارائه شده اثر محل قرارگیری عایق بر میزان صرفه جویی در مصرف انرژی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد در شرایطی که عایق حرارتی در لایه مجاور هوای داخل اتاق قرار دارد، مصرف انرژی کمتر است و علت آن اثر اینرسی حرارتی دیوار است که بعد از لایه عایق قرار میگیرد و در نتیجه آن هوای داخل با سرعت بیشتری گرم می شود. میزان صرفه جویی نسبت به حالتی که عایق در مجاورت هوای بیرون قرار دارد در حدود ۲۰ درصد است که این مقدار کاهش در مصرف انرژی ارتباط مستقیمی با مدت زمانی دارد که انتقال حرارت در ساختمان حالت ناپایدار دارد. حسینی و تربقان[۶۸] در تحقیقی صورت گرفته بر روی عایق سازی حرارتی جداره های ساختمانی، پارامترهای اصلی مؤثر بر اتلاف گرمایی ساختمان و تأثیر هر پارامتر بر بار حرارتی کل، اثر استفاده از مصالح جدید مانند بلوک لیکا، بلوک هبلکس، پنل سه بعدی، عایق کاری حرارتی جدار، ضخامت عایق و پنجره دوجداره بر مصرف انرژی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که با عایق سازی حرارتی دیوارها یا استفاده از مصالح جدید و مناسب می توان بیش از ۷۰ درصد تلفات حرارتی دیوارها و سقف را کاهش داد. همچنین استفاده از مصالح جدید در پوسته خارجی ساختمان به همراه پنجره دوجداره با قاب یو پی وی سی می تواند بیش از ۶۰ درصد تلفات گرمایی کل واحد مسکونی را کاهش دهد. سرابی و ابراهیم پور[۶۹] در تحقیق صورت گرفته توسط نرم افزار بهینه ساز مصرف انرژی (انرژی پلاس) در ساختمان، بر روی دیوار خارجی چهار جهت اصلی یک ساختمان نمونه با شرایط مختلف عایق کاری در ۳ شهر اردبیل، تهران و بندرعباس شبیه سازی و بهینه سازی انجام دادند. با به دست آمدن نتایج اولیه هر یک از حالت ها، اقدام به بررسی نوع، محل، ضخامت و درصد بهبود هر یک از عایق ها در اقلیم های مختلف گردید. با بررسی نتایج به دست آمده از تحقیق و محاسبات هزینه های مصرف انرژی سالیانه برای حالت اولیه و به کمک درصد بهبود برای هر یک از حالت های بهینه شده و برآورد هزینه های عایق کاری، می توان تحلیل اقتصادی و مقرون به صرفه ترین حالت، نوع و ضخامت عایق کاری را به دست آورد. نتایج نشان داد در اقلیم های

²¹ Simulink

سردسیر محل عایق بیشتر در قسمت خارجی دیوار است و در اقلیم های گرمسیر محل عایق بیشتر به قسمت داخلی دیوار اشاره می کند. همچنین عموماً بیشترین تأثیر عایق کاری در اقلیم های مورد بررسی در دیوار با عایق برابر به دیوار جهت شمالی دلالت می کند، اما تغییرات درصد بهبود با تغییر جهت دیوارها در هر اقلیم ناچیز است. با افزایش ضخامت عایق کاری آهنگ افزایش درصد بهبود مصرف انرژی کاهش می یابد. مدقالچی و فلاح [۷۰] در تحقیقی، کارایی فنی در مورد استفاده از عایق های حرارتی در ساختمان های ایران با مطالعه موردی ساختمان مسکونی واقع در شهر تبریز مورد ارزیابی فنی و تخصصی قرار دادند. برای این منظور تأثیر استفاده از عایق های متداول و موجود در جداره های ساختمانی مسکونی با پلان و مشخصات معین به کمک نرم افزار انرژی پلاس مورد بررسی قرار گرفت و شبیه سازی ها نشان داد استفاده از بلوک های اتوکلاو شده^{۲۲} کمترین دوره بازگشت سرمایه و پلی استایرن اکسترود شده^{۲۳} در صورت استفاده در عایق کاری داخلی بیشترین صرفه جویی را در انرژی مصرفی کل ساختمان به دست می دهد. در حالت کلی عایق کاری به روش های استفاده از مصالح ساختمانی ما بین دو دیوار خارجی و داخلی به ترتیب دارای بیشترین تا کمترین صرفه اقتصادی است. مهدوی نیا و خیاط [۷۱] طی مطالعات کتابخانه ای و میدانی بر روی ساختمان های اداری شهر تهران، انواع متداول دیوار خارجی ساخته شده با بلوک های عایق به عنوان متغیر شبیه سازی مورد بررسی قرار دادند و تأثیر هر کدام از آن ها بر تغییرات دمایی، بار سرمایش و گرمایش طبقات مشخص گردید. نتایج شبیه سازی حاکی از آن بود که تأثیر عایق کاری داخلی در کاهش مصرف بار گرمایش و سرمایش بیشتر از عایق کاری خارجی است. با ثابت نگه داشتن ضخامت دیوار، تأثیر افزایش ضخامت عایق بیشتر از افزایش ضخامت بلوک های دیوار در کاهش مصرف انرژی است. خداکرمی و همکاران [۷۲] در پژوهشی یک نمونه بلوک مسکونی مسکن مهر را با استفاده از نرم افزار محاسبه انرژی دیزاین بیلدر شبیه سازی کرده و نتایج این پژوهش نشان داد که اجرای دولایه ۴ سانتی متری عایق ایکس پی اس^{۲۴} در مرزهای

²² Autoclaved aerated concrete

²³ Extruded polystyrene

²⁴ XPS

بیرونی و داخلی دیوارهای خارجی و همچنین استفاده از سایبان های افقی گالوانیزه ۸۰ سانتی متری در پنجره های جبهه جنوبی بنا می تواند تا ۱۸/۷ درصد در میزان مصرف انرژی سرمایشی و گرمایشی ساختمان کاهش ایجاد نماید. مدت زمان بازگشت سرمایه این اقدام بهینه سازی نیز در حدود ۳ سال به دست آمده است.

۲-۴ تعویض پنجره ها از تک جداره به دو جداره

حدود ۷۰ درصد از هدر رفت انرژی مصرفی در ساختمان، از جداره های خارجی صورت می گیرد [۷۳]. که از این میان ۲۰ الی ۴۰ درصد مربوط به پنجره ها می باشد [۷۴ و ۷۵]. به بیان دیگر، در صورتی که قصد داشته باشیم یک ساختمان با بهره وری انرژی مطلوب طراحی کنیم، جداره های خارجی و به خصوص پنجره ها، به عنوان اجزای ساختمانی، باید مورد توجه قرار گیرد. پنجره های ساختمان تأثیر فراوانی در تغییر دمای هوای فضاهای داخلی آن دارد. به خصوص در صورتی که آفتاب به صورت مستقیم از پنجره ها به فضاهای داخلی بتابد، به سرعت باعث گرم شدن هوای ساختمان خواهد شد. این پنجره ها به دلیل ضریب هدایت زیاد شیشه آن ها، با غروب خورشید و سرد شدن هوا می تواند به سرعت باعث اتلاف حرارت ایجاد شده در فضاهای داخلی و در نتیجه موجب سرد شدن ساختمان یا افزایش مصرف سوخت وسایل گرم کننده مورد نیاز جهت حفظ شرایط مناسب در این فضاها شود. شیشه پنجره ها در مواقع سرد باعث اتلاف حرارت داخلی می شود و مساحت بیشتر شیشه مساوی با اتلاف حرارت داخلی به میزان بیشتری خواهد بود. بعلاوه، در مناطق گرم یا در مواقع گرم، هر چه پنجره ها بزرگ تر باشد، اشعه خورشیدی بیشتری به فضاهای داخلی وارد شده و میزان تأثیر پنجره در گرم تر شدن فضاهای داخلی بیشتر خواهد شد؛ بنابراین، اندازه پنجره باید در حدی انتخاب شود که در مجموع میزان حرارت مبادله شده بین فضاهای داخلی و محیط اطراف بهینه باشد [۷۶]. ییلدیز^{۲۵} و همکارانش [۷۷] به کمک نرم افزار انرژی پلاس، تأثیر نسبت پنجره به دیوار، نوع شیشه و جهت گیری را بر مصرف انرژی یک

مدرسه در اقلیم گرم و مرطوب بررسی نمودند. آندارینی^{۲۶} [۷۸] با شبیه سازی حرارتی توسط نرم افزار انرژی پلاس و دیزاین بیلدر نشان داد، برای ساختمان های اداری در جاکارتا، با استفاده از شیشه های دوجداره در نمای ساختمان (دارای ضریب پایین تأثیر جذب گرمای خورشید و ارزش انتقال نوربالا) باعث کاهش ۴۳ درصدی مصرف انرژی سالانه گردیده است. الدوساری^{۲۷} و همکارانش [۷۹] الگوهای مصرف انرژی را در سه ساختمان ویلایی و سه آپارتمان مسکونی مورد بررسی قرار دادند. شبیه سازی انرژی سالانه این ساختمان ها به کمک نرم افزار و تحلیل میزان صرفه جویی انرژی پنجره های کارآمد، آفتاب گیرها و منابع انرژی تجدید پذیر خانگی صورت گرفت. بر طبق نتایج شبیه سازی ها کاهش مصرف انرژی بین ۲۱ درصد تا ۳۷ درصد با بهره گیری از پنجره های دوجداره، آفتاب گیر خارجی و نصب سیستم تولید برق فتوولتائیک در محل حاصل شد. حاسونه^{۲۸} و همکاران [۸۰] رایج ترین پنجره های مورد استفاده در ساختمان های مسکونی عمان را به روش عددی شبیه سازی کردند. انتخاب های آن ها شامل انواع مختلف بازشو پنجره و درزهای متفاوت بود. نتایج آن ها نشان داد که پنجره با بازشو کشویی بدترین عملکرد را از نظر نفوذ دارد و پنجره لولایی دوطرفه را به عنوان بهترین عملکرد نفوذ هوا توصیه کردند. گرال^{۲۹} و همکاران [۸۱] با استفاده حداکثری از نور روز با در نظر گرفتن نسبت پنجره به دیوار بین ۳۰ تا ۴۵ درصدی در برزیل موفق به بهینه سازی ۱۰ درصدی مصرف انرژی سالیانه شدند. سلطانی و یوسفی کیا [۸۲] تأثیر استفاده از پنجره های با کارایی بالای حرارتی، بر کاهش سرمایه گذاری اولیه تأسیسات حرارتی ساختمان را مورد مطالعه قرار داده اند. نتایج نشان می دهد به کمک این پنجره ها، از هزینه اجرایی تأسیسات حرارتی ساختمان تا ۴۷ درصد کاسته می شود. دانش و همکاران [۸۳] با شبیه سازی حرارتی توسط نرم افزار دیزاین بیلدر برای ساختمان اداری دانشگاه علم و صنعت نشان دادند که افزایش تعداد جداره ها در لایه های درونی پاسخ بهتری در تابستان و زمستان به لحاظ بهینه سازی مصرف انرژی جهت گرمایش و سرمایش دارد، در حالی که افزایش تعداد جداره ها در لایه های

²⁶ Andarini

²⁷ Aldossary

²⁸ Hassouneh

²⁹ Grala

بیرونی در جهت کاهش مصرف انرژی نقشی ایفا نمی کند. گرجی مهربانی و همکاران [۸۴] با شبیه سازی تعداد ۲۱ عدد پنجره دو جداره در نرم افزار دیزاین بیلدر و با داده های هواشناسی شهرستان قزوین دریافتند پنجره ها، به عنوان یکی از اجزای تشکیل دهنده جداره های خارجی ساختمان، می تواند تاثیر قابل توجهی بر عملکرد حرارتی ساختمان داشته باشد. در پژوهش انجام شده، تاثیر به کارگیری برخی از انواع پنجره ها بر بار سرمایشی، بار گرمایشی و ضریب گرمای ورودی خورشید، از طریق شبیه سازی رایانه ای مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان داد که در شرایط اقلیمی یکسان و با در نظر گرفتن مصالح مشابه برای دیوارهای خارجی، استفاده از پنجره های دو جداره و سه جداره به جای پنجره های یک لایه، به طور متوسط می تواند بار گرمایشی ساختمان را به ترتیب حدود ۱۷ و ۳۹ درصد کاهش دهد.

۲-۵ سیستم های فتوولتائیک در ساختمان

از آنجایی که خورشید بخش بزرگی از انرژی کره زمین را تامین میکند و با توجه به اینکه این انرژی، پاک، ارزان و بی پایان بوده و در بسیاری از مناطق دنیا، علی الخصوص خاورمیانه قابل مصرف می باشد. راهکارهایی جهت استفاده بهینه از این انرژی باید بکار برده شوند که هم سازگار با محیط زیست باشد و هم باعث کاهش هزینه گردند. کشور ایران در بین مدارهای ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی قرار گرفته است و در منطقه ای واقع شده که به لحاظ دریافت انرژی خورشیدی در بین نقاط جهان در بالاترین رده ها قرار دارد. میزان تابش خورشیدی در ایران بین ۱۸۰۰ تا ۲۲۰۰ کیلووات ساعت بر متر مربع در سال تخمین زده شده است که البته بالاتر از میزان متوسط جهانی است و به طور متوسط سالیانه بیش از ۲۸۰ روز آفتابی گزارش شده است که بسیار قابل توجه است [۸۵]. بکار بردن پنل های خورشیدی در سازه های مسکونی و اداری، یکی از موارد کاربردی تئوری ساختمان سبز می باشد که از طریق جذب انرژی خورشید باعث مصرف بهینه و حفاظت انرژی در ساختمان ها می شوند. پنل های فتوولتائیک در سایه کارایی کمتری خواهند داشت از این رو اغلب آن ها را در سطوح بالا نظیر سقف ساختمان ها نصب

می کنند. با توجه به اینکه معمولاً سقف ساختمان های اداری بلااستفاده هستند، نصب و راه اندازی پنل های فتوولتائیک بر روی سقف چنین ساختمان هایی رشد چشم گیری داشته است [۸۶]. شوکلا^{۳۰} [۸۷] با همکاران خود به بررسی استفاده از سیستم های فتوولتائیک یکپارچه در ساختمان پرداختند. این سیستم جایگزینی برای مصالح ساختمانی معمول است که عملکردی دوسویه خواهد داشت؛ فراهم کردن پوششی برای ساختمان و تولید برق برای ساختمان. نتایج نشان می دهد که هزینه استفاده از این سیستم ها کمی بالاتر از مصالح معمول ساختمان است. این سیستم بار تهویه مطبوع را کاهش خواهد داد. آکتر^{۳۱} و همکاران [۳۱] به بررسی اقتصادی سیستم فتوولتائیک همراه با سیستم ذخیره سازی برای یک ساختمان مسکونی در استرالیا پرداختند. نتایج تحقیق نشان می دهد که استفاده از این سیستم صرفه اقتصادی خواهد داشت. همچنین با افزایش ظرفیت سیستم خورشیدی و بودجه سرمایه گذاری، مقدار کاهش دی اکسید کربن و میزان استقلال سیستم بیشتر خواهد شد. کو^{۳۲} [۴۲] به همراه همکاران خود به بررسی فنی و اقتصادی استفاده از سیستم های خورشیدی هوشمند و ساختمان های انرژی صفر با سیستم فتوولتائیک پرداختند. نتایج نشان می دهد که استفاده از سیستم دنبال کننده دو محوری، انرژی را بین ۱/۲۵ تا ۲/۳۱ برابر از موارد دیگر بیشتر می کند. همچنین آنالیزهای اقتصادی حکایت از بهبود سرمایه گذاری بین ۱/۴ تا ۳ برابر نسبت به بقیه روش ها دارد. داوی^{۳۳} [۳۹] به همراه همکاران خود، پارامترهای عملکردی و شاخص های مربوط به همخوانی بار مصرفی با برق تولیدی را در برزیل مورد ارزیابی قرار دادند. همچنین جنبه های اقتصادی این تحقیق بررسی شده است. ارزیابی ها حکایت از تامین برق ساختمان ها بین ۲۹ تا ۵۱ درصد کل تقاضای سالیانه دارد. همچنین بازده پنل های خورشیدی در بهترین بازه زمانی تشعشع خورشیدی می تواند تا ۸۰ درصد افزایش یابد. بررسی های اقتصادی نشان می دهد که توازن برق شهری با نرخ تنزیل بانکی ۶ درصد در بهترین حالت و با نرخ

³⁰ Shukla

³¹ Akter

³² Koo

³³ Dávi

تنزیل ۱۸ درصد در بدترین حالت قرار خواهد داشت. ویرا^{۳۴} [۴۳] کمک همکاران خود به بررسی استفاده از سیستم ذخیره سازی در کنار سیستم فتوولتائیک خورشیدی در پرتغال پرداخته اند. به منظور کاهش هزینه های سیستم از باتری لیتیومی استفاده شده است. نتایج نشان می دهد که استفاده از این سیستم، می تواند ۷۶ درصد انرژی تولیدی را در باتری ذخیره کند و استفاده از برق شهر را ۷۸/۳ درصد کاهش دهد. همچنین، صورت حساب برق مصرفی نیز سالیانه ۸۷/۲ درصد کاهش پیدا می کند. ساگانی به همراه همکاران خود [۳۳] به بررسی تاثیرات اقتصادی و محیط زیستی استفاده از سیستم های خورشیدی مقیاس کوچک در شهر آتن با ظرفیت بین ۲ تا ۱۰ کیلووات پرداختند. نتایج اقتصادی نشان می دهد که سیستم های خورشیدی با ظرفیتی بیشتر از ۵ کیلووات قابل استفاده و توجیه پذیر هستند. همچنین نتایج محیط زیستی نشان می دهد که با افزایش نرخ توان سیستم های فتوولتائیک، اثرات مخرب محیط زیستی نیز بیشتر می شود. رتوری^{۳۵} [۸۸] به کمک همکاران خود به بررسی عملکرد سیستم های خورشیدی متصل به شبکه پرداخته اند. این سیستم برای مناطقی که فقط از ژنراتور و نیروی برق آبی استفاده می کردند چالش جدیدی را ایجاد کرده است. سیستم مورد ارزیابی دارای ظرفیت ۴۵ کیلووات است. این سیستم سالیانه حدودا ۵۴ مگاوات ساعت تولید دارد که ۱۰ درصد برق مورد نیاز منطقه را تامین می کند و باعث کاهش ۲۷ تن تولید دی اکسید کربن می شود. بریان^{۳۶} و همکاران [۸۹] در پژوهشی، امکان سنجی نصب سیستم های فتوولتائیک در پشت بام های ساختمان های عمومی شهر فینکس را بررسی کردند. در این مطالعه ۳۶۴ ساختمان بررسی شد که از بین آن ها، ۸۵ ساختمان برای نصب سیستم های فتوولتائیک با پتانسیل زیاد تشخیص داده شد. ژاو^{۳۷} و همکاران [۹۰] با استفاده از الگوریتم بهینه سازی هوشمند در ترکیب با نرم افزار دیزاین بیلدر برای یک ساختمان اداری بلندمرتبه در چین، مجموعه ای از راه حل های بهینه سازی مصرف انرژی را ارائه داده است. یوسفی و حافظی نیا [۹۱] در مقاله ای با استفاده از روش فازی برای انتخاب مکان های مناسب استفاده کردند.

³⁴ Vieira

³⁵ Raturi

³⁶ Bryan

³⁷ Zhao

کل توان انرژی الکتریکی قابل استحصال از مکان های مناسب در منطقه محاسبه گردید که نشان از پتانسیل بالای کرانه های اقیانوسی جنوب شرق ایران جهت بهره مندی از انرژی های تجدید پذیر است که می تواند موتور محرکی جهت توسعه صنعتی، اقتصادی و اجتماعی منطقه مکران باشد.

۲-۶ هدف و جنبه نوآوری این تحقیق

همانطور که گفته شد، افزایش مصرف انرژی در سالیان اخیر و روند رو به رشد آن با توجه به افزایش جمعیت جهانی و نیاز به انرژی، همچنین پایان پذیر بودن سوخت های فسیلی و خسارات فزاینده آن بر محیط زیست باعث شده است تا دانشمندان و محققان به دنبال منابع جدیدی باشند. منابعی که علاوه بر پایان ناپذیر بودن، خطری نیز برای محیط زیست نداشته باشند. از این رو استفاده از انرژی خورشید به عنوان منبعی بی پایان در دستور کار قرار گرفت. علاوه بر این استفاده از عایق های مناسب و تغییر در نوع پنجره ها به منظور کاهش استفاده از انرژی، نیز به عنوان راه حلی برای بهبود شرایط محیط زیست و سوخت های فسیلی اهمیت پیدا کرده است.

هدف این پژوهش بررسی رابطه ی بین سرمایه گذاری در بخش مباحث مرتبط با بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان های دولتی، کاهش هزینه های اقتصادی و بازگشت سرمایه است و در پی پاسخ به این سؤال است که آیا این سرمایه گذاری در ایران تأثیر مثبت و معنی داری بر کاهش هزینه های اقتصادی در بخش ساختمان های دولتی دارد؟ در صورت تأثیر مثبت هدف این پژوهش از راهکارها و موارد اجرایی تحقیق مذکور می توان در تمامی ارگان های دولتی استان جهت کاهش مصرف انرژی استفاده نمود.

در این پروژه، شبیه سازی ساختمان اداری توسط نرم افزار شبیه ساز انرژی (دیزاین بیلدر) انجام شده و اعتبارسنجی پارامترهای آن براساس قبوض برق و گاز در یک سال مشخص (سال ۱۳۹۷) مورد ارزیابی قرار گرفته است. با توجه به این نکته که برای اداره مذکور تاکنون اهداف تحقیق و روش های ذکرشده در ادارات استان سمنان صورت نپذیرفته است، این پژوهش می تواند نقش بسزایی در کاهش میزان

مصرف انرژی در ساختمان های دولتی مشابه ایفا نماید. همچنین ارائه راهکارهای اجرایی جهت بهینه سازی در ساختمان مذکور در شهر سمنان و مطالعات اقتصادی آن ها بررسی می گردد که در ارگان دولتی مد نظر بصورت طرح پژوهشی و پایان نامه، انجام خواهد پذیرفت. با در نظر گرفتن میزان اهمیت انرژی های تجدید پذیر و به کار گیری آن ها در ارگان های دولتی با توجه به ابلاغیه شماره: ۵۸۴۶۱/۴۰۰ برای اجرای قانون اصلاح الگوی مصرف انرژی، نسبت به شبیه سازی انرژی در ارگان دولتی مذکور در شهر سمنان و استفاده از انرژی های تجدید پذیر و امکان سنجی تعمیم آن در دیگر ارگان های دولتی اقدام می گردد که از جمله دیگر نوآوری های این پژوهش خواهد بود.

همچنین به نوآوری دیگری که می توان اشاره نمود، استفاده توام و هم زمان از چندین روش و تجهیزات جدید کاربردی مطابق با شرایط اقلیمی شهرستان سمنان که تاکنون در ساختمان های دولتی آن استفاده نشده است، همانند:

✓ سیستم فتوولتائیک

✓ انواع عایق ها در ضخامت های مختلف

✓ پنجره های دوجداره

✓ بررسی اقتصادی و بازگشت سرمایه استفاده از این روش ها

✓ بررسی آلودگی های زیست محیطی

برای بررسی بهبود عملکرد حرارتی ساختمان، تغییرات آلودگی های زیست محیطی، محاسبه میزان بازگشت سرمایه و... در راستای بررسی تغییرات مصرف انرژی ساختمان دولتی مذکور می باشد.

۳ مدل سازی

۳-۱ پیشگفتار

روش شبیه سازی در این پژوهش به این صورت است که یک ساختمان اداری نمونه در شهر سمنان، به کمک نرم افزار دیزاین بیلدر شبیه سازی می شود. با شبیه سازی اولیه از این ساختمان، میزان انرژی گرمایشی و سرمایشی موردنیاز با توجه به شرایط اقلیمی سمنان که توسط نرم افزار های مشاور آب و هوایی استخراج شده است، به دست آمده و نتایج آن با داده های قبوض برق، آب و گاز ساختمان در یک سال مشخص مقایسه و مورد تحلیل قرار می گیرد، پس از این راستی آزمایی، راهکارهایی از قبیل استفاده از سیستم فتوولتائیک، انواع عایق ها در ضخامت های مختلف بر روی سقف و دیوار، تعویض پنجره ها به پنجره های دوجداره، برای بررسی بهبود عملکرد حرارتی ساختمان مورد ارزیابی قرار گرفته و آلودگی های زیست محیطی ارائه می گردد. با توجه به نتایج بدست آمده از شبیه سازی مذکور، تحلیل اقتصادی برای محاسبه بازگشت سرمایه به کار بردن این روش ها بر روی ساختمان انجام خواهد شد. سپس به بیان نقاط قوت و فرصت های به دست آمده جهت کمک به اقتصاد ملی و توسعه روزافزون مسکن اشاره خواهد گردید. لذا شناسایی راهکارها و روش های کاربردی و مقرون به صرفه در جهت کاهش مصرف انرژی ساختمان های اداری موجود به دلایلی همچون در حال اتمام بودن سوخت های فسیلی، هزینه گزاف انرژی و آلودگی محیط زیست از عمده اهداف این تحقیق می باشد.

۳-۲ نرم افزار شبیه ساز انرژی ساختمان

پایگاه اینترنتی رسمی وزارت انرژی آمریکا به معرفی نرم افزارهای منتخب شبیه ساز اختصاص یافته است. در این پایگاه بیش از ۳۹۵ نرم افزار شبیه سازی مصرف انرژی معرفی شده است. این نرم افزارها در زمینه های مختلف سنجش میزان انرژی کارایی، انرژی های قابل بازیافت و جنبه های دیگر شبیه سازی منجر به پایداری، کارایی دارند. توضیح مختصری از هریک از نرم افزارها با توضیح تخصص های موردنیاز، نوع ورودی ها و خروجی ها و نقاط ضعف و قوت نرم افزارها در پایگاه اینترنتی مذکور موجود است. نرم افزارهای شبیه ساز انرژی ساختمان، برنامه های کامپیوتری هستند که برای محاسبه میزان مصرف

انرژی در ساختمان ها استفاده می شوند. در حال حاضر تعداد این برنامه ها زیاد می باشد که هر کدام از آن ها دارای مدل و روش حل و فرضیات مخصوص به خود هستند. این برنامه ها به صورت مداوم در حال توسعه می باشند. از برنامه های شبیه سازی مصرف انرژی در مرحله ساخت ساختمان می توان استفاده نمود و میزان مصرف انرژی را برآورد کرد. همچنین می توان دید که تغییرات انجام شده در ساختمان چه تأثیری بر مصرف انرژی ساختمان داشته است. با استفاده از این برنامه ها می توان طراحی های مختلف و همچنین مواد مختلفی را برای جدارهای ساختمان قبل از ساخت مورد بررسی قرارداد تا بهترین حالت از لحاظ ذخیره و مصرف انرژی به دست آید [۹۲].

۳-۲-۱ نرم افزار انرژی پلاس

انرژی پلاس، نرم افزار جدیدی برای شبیه سازی مصرف انرژی ساختمان است که بر اساس ترکیبی از برنامه های دی او ای^{۳۸} و بلاست^{۳۹} عمل می کند. این برنامه محاسبه تغییرات مصرف انرژی ساختمان را در زمان های کوتاه تر از یک ساعت انجام می دهد و تحلیل و محاسبات بر اساس تعادل حرارتی در کل ناحیه شبیه سازی صورت می گیرد. در برنامه انرژی پلاس، می توان با طراحی کل ساختمان، در هر یک از دیوارهای مورد نظر، پنجره و سایبان دلخواه را طراحی و میزان انرژی عبوری از پنجره را برای گام های مشخص زمانی از یک ساعت تا یک سال محاسبه کرد. البته برای این منظور لازم است داده های آب هوایی (دما، فشار، سرعت و جهت باد، شدت تابش و غیره) مربوط به بازه زمانی مورد نظر به برنامه داده شود. سایر خصوصیات این نرم افزار را می توان به صورت زیر خلاصه کرد [۶۷].

این نرم افزار آنالیز انتقال حرارت را به صورت ناپایدار و در کل سال برای زمان های کوتاه تر از یک ساعت (هر ۱۰ دقیقه) انجام می دهد. در این نرم افزار برای در نظر گرفتن اثرات تشعشع و همرفت در روی سطوح داخلی از مدل های مختلفی استفاده شده است. در این نرم افزار می توان، با ارائه داده های اقلیمی به صورت ساعتی به نرم افزار، آنالیز را برای کل سال و یا برای یک روز مشخص اجرا نمود. در این نرم افزار

³⁸ Doe

³⁹ Blast

کل ساختمان باید به صورت سه بعدی طراحی گردد. این نرم افزار توانایی تعریف منابع حرارتی موجود در داخل ساختمان (افراد، وسایل الکتریکی و غیره) را دارد. در این نرم افزار سطوح خارجی را می توان به دلخواه تعریف نمود و اثرات سایه این سطوح را بر روی ساختمان به دست آورد. انرژی پلاس یکی از بهترین ابزارهای شبیه سازی طراحی شده برای آنالیز انرژی ساختمان است. این برنامه به زبان فرترن^{۴۰} نوشته شده و به محاسبه انرژی لازم جهت سرمایش و گرمایش ساختمان از منابع مختلف انرژی می پردازد. این کار به واسطه شبیه سازی ساختمان و انرژی های مرتبط با آن در شرایط محیطی و کاری متفاوت انجام می گیرد. ولی مهم ترین محدودیت انرژی پلاس، عدم وجود یک واسطه گرافیکی ساده و کارآمد است. این نرم افزار ورودی را از فایل داده که شامل همه اطلاعات شبیه سازی شده ی از پیش تعریف شده مانند مدت زمان شبیه سازی، ابعاد ساختمان، سیستم گرمایشی، سرمایشی و غیره است را می خواند و در نهایت تمام خروجی های مورد نیاز را در قالب اعداد و نمودار و اکسل ارائه می دهد. انرژی پلاس نرم افزاری مبتنی بر مازول های مختلف است که عمده قابلیت های نرم افزارهای دی او ای و بلاست را داراست. این ابزار در واقع یک موتور شبیه سازی است که ورودی و خروجی آن فایل های ساده متنی هستند [۹۳].

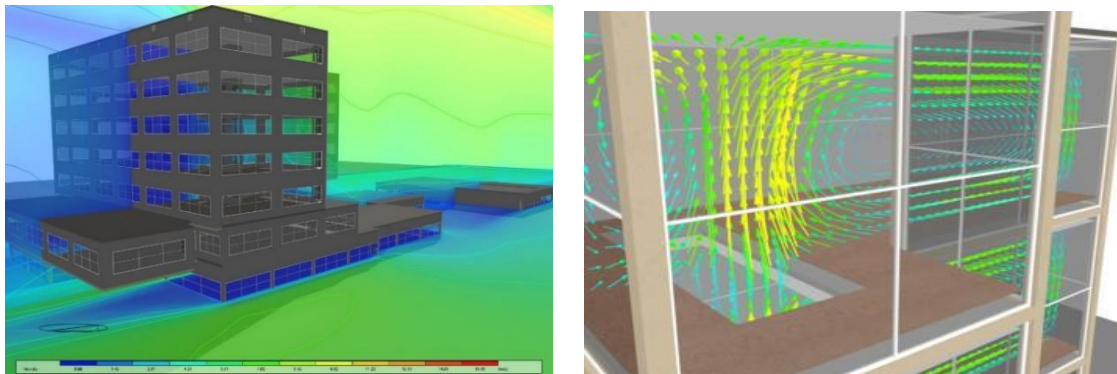
۳-۲-۲ نرم افزار دیزاین بیلدر

بخشی از نرم افزارهای شبیه ساز موجود، از موتورهای محاسباتی مشترک استفاده می کنند. به طور مثال موتور محاسباتی نرم افزار انرژی پلاس در ابزارهای شبیه سازی متعددی از جمله، نرم افزار دیزاین بیلدر، به کار گرفته می شود [۹۴]. نرم افزار دیزاین بیلدر برای مدل سازی ساختمان از جنبه های مختلف مانند، فیزیک ساختمان (مصالص ساختمانی)، معماری ساختمان، سیستم های سرمایشی و گرمایشی، سیستم روشنایی و غیره کاربرد داشته و قابلیت مدل سازی همه جنبه های ساختمان را دارد. این نرم افزار همچنین قابلیت محاسبه میزان روشنایی روز، تحلیل سی اف دی^{۴۱} جریان هوا برحسب دما، فشار و

^{۴۰} Fortran

^{۴۱} CFD

سرعت شکل (۳-۱)، مدل سازی تهویه طبیعی و مکانیکی، محاسبه آسایش حرارتی در فضاهای داخلی ساختمان، میزان اتلاف و دریافت انرژی از عناصر مختلف ساختمانی را نیز دارد. نتایج مدل سازی این نرم افزار، به صورت سالیانه، برای ماه های مختلف و نیز به صورت روزانه و ساعتی به صورت دیاگرام و یا فایل های اکسل قابل استخراج می باشد. همچنین نتایج به دست آمده از طریق مدل سازی، برای کل ساختمان، یک طبقه خاص از ساختمان و یا نیز هریک از فضاهای موردنظر ساختمان قابل استخراج می باشد. اولین ورژن این نرم افزار در سال ۲۰۰۵ به صورت تجاری وارد بازار شده و تاکنون در قالب ورژن های جدید توسعه یافته است [۹۵].



شکل ۳-۱: تحلیل جریان هوا بر حسب دما، فشار و سرعت

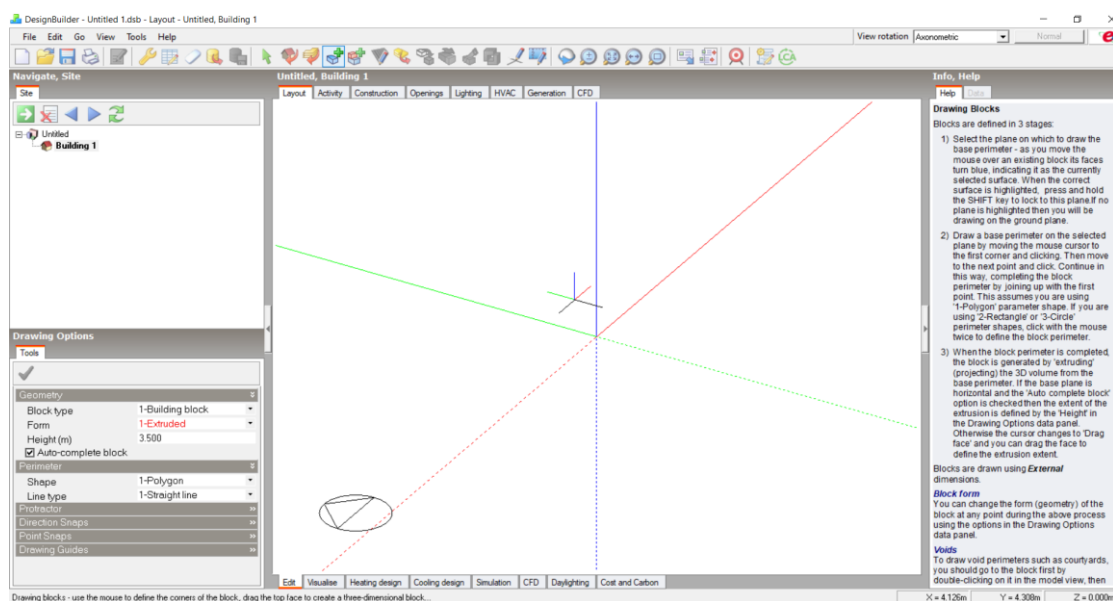
دیزاین بیلدر به مدل محاسباتی انرژی پلاس ملحق شده است و دارای استاندارد های تصویب شده توسط انجمن پارلمان اروپا^{۴۲} می باشد. انرژی پلاس با محیط دیزاین بیلدر به طور کامل یکپارچه شده است. این مهم با اعمال دقیق پارامترهای انرژی در ساختمان، با در نظر گرفتن داده های واقعی هواشناسی صورت می گیرد. اصل استفاده شده در نرم افزار، شبیه سازی حداکثر جزئیات با در نظر گرفتن پارامترهای دینامیکی است و شامل تمامی انرژی های ورودی و میزان پراکندگی آن می شود. از طرف دیگر انرژی پلاس از یک ساختار برنامه مقیاسی^{۴۳} با عملیات محاسباتی آسان به منظور درک بهتر سیستم استفاده می کند. راه کارهای انرژی پلاس بر اساس روش بالانس گرما از روش اصلاح - پیش بینی^{۴۴} گرفته شده است و فرض می کند که هوای اتاق یکپارچه و دما به صورت یکنواخت است.

⁴² EPBD (European Parliament Board of Directive)

⁴³ modular program structure

⁴⁴ Predictor-Corrector Method

اساس استراتژی این روش، پیش بینی سیستم مکانیکی مورد نیاز به منظور حفظ هوای تنظیم شده زون، سپس شبیه سازی سیستم های مکانیکی به منظور اندازه گیری ظرفیت واقعی آن ها و در آخر محاسبه مجدد بالانس گرمای هوا به منظور اندازه گیری دمای واقعی زون می باشد [۹۲]. همچنین نمایی از فضای این نرم افزار در شکل (۳-۲) مشاهده می گردد.



شکل ۳-۲: نمایی از فضای نرم افزار دیزاین بیلدر

۳-۳ شبیه سازی ساختمان

به منظور شبیه سازی ساختمان نمونه در نرم افزار دیزاین بیلدر باید پارامترهای مختلفی را مد نظر قرار داد. مهمترین پارامترهای مربوطه به تفصیل در این بخش توضیح داده خواهد شد. همچنین مقادیر بکار رفته در هر بخش بیان می گردد. محاسبه تمامی ضرایب و پارامترها در نرم افزار به وسیله کتاب های آشری^{۴۵} انجام می گردد. به همین منظور از الگوهای خود نرم افزار برای زون های مختلف به منظور تعیین پارامترها استفاده شده است. همچنین برنامه زمان بندی عملکردی پارامترها در هر زون از الگوهای نرم افزار برای اداره ها انتخاب شده است.

۳-۳-۱ مطالعه موردی

همانطور که در شکل (۳-۳) مشاهده می شود، ساختمان نمونه در نظر گرفته شده، ساختمان اداره کل راه و شهرسازی استان سمنان واقع در شهر سمنان می باشد.



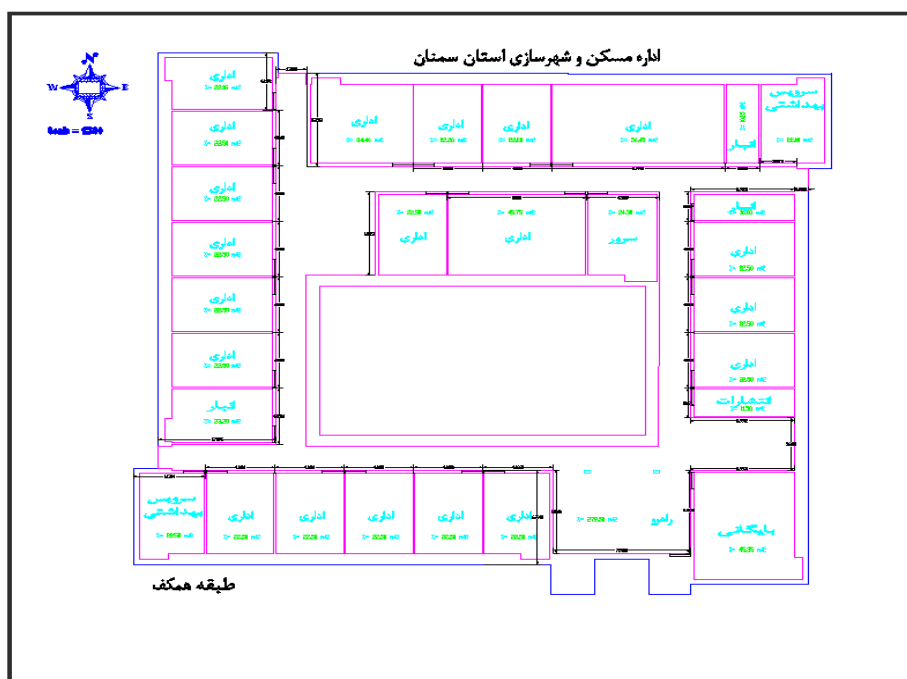
۲



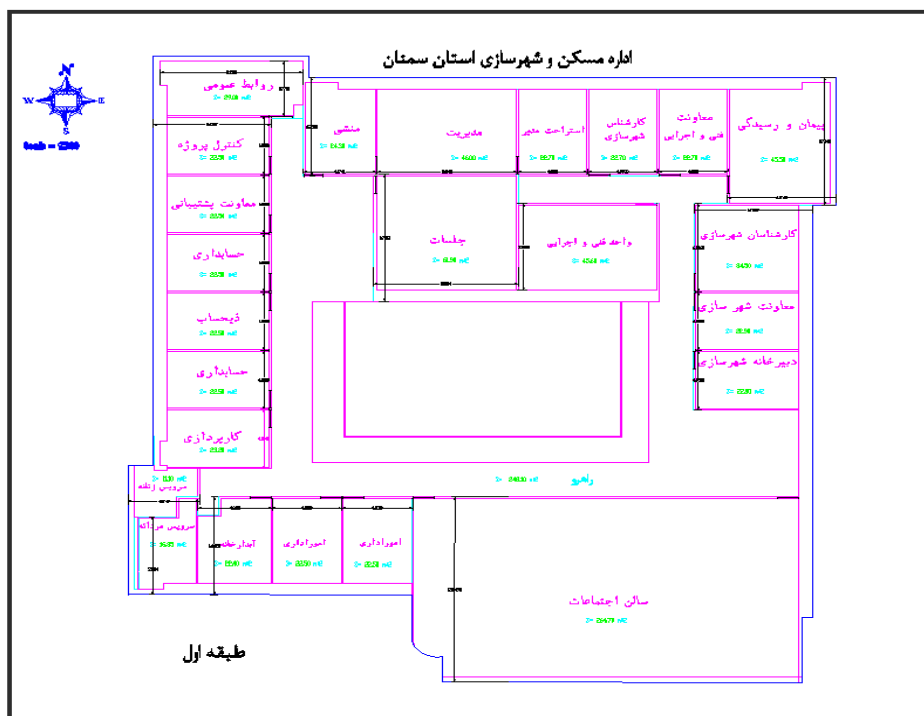
الف

شکل ۳-۳: نمایی از ساختمان اداره کل راه و شهرسازی (الف) ساختمان واقعی (ب) ساختمان شبیه سازی شده

همچنین نقشه دو بعدی از پلان های ساختمان مذکور در شکل های (۳-۴) و (۳-۵) نشان داده شده است.

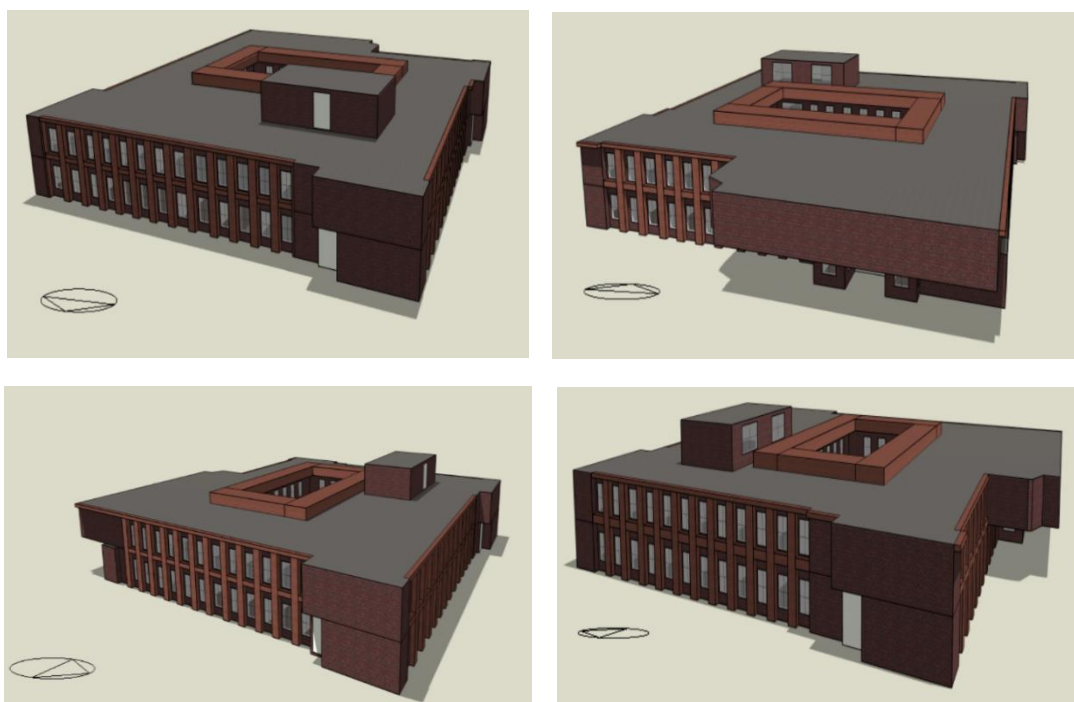


شکل ۳-۴: پلان طبقه همکف ساختمان



شکل ۳-۵: پلان طبقه اول ساختمان

همچنین کاربری این ساختمان اداری و مطابق شکل (۳-۶) دارای دو طبقه بالای زمین و یک طبقه زیر زمین و زیر بنای ۲۳۰۰ مترمربع است.



شکل ۳-۶: نماهای مختلف ساختمان مدل سازی شده

طبق پیوست ۴ مقررات ملی ساختمان، مبحث نوزدهم، گروه بندی کاربردی ساختمان ها براساس سه عامل ذیل انجام می شود:

(۱) نوع تداوم استفاده از ساختمان در طول سال و در طول شبانه روز.

(۲) شدت اختلاف دمای احتمالی بین داخل و خارج ساختمان.

(۳) اهمیت تثبیت دمای فضاهای داخل ساختمان.

ساختمان موردنظر، دارای کاربری نوع (ب) می باشد و با استفاده از پیوست ۳ گونه بندی نیاز انرژی گرمایی- سرمایی محل جغرافیایی ساختمان و گونه بندی شهر محل ساختمان از بند ۱۹-۲-۲-۴ و برابر جدول پیوست ۵ مقررات ملی ساختمان، مبحث نوزدهم (تعیین گروه ساختمان از نظر میزان صرفه جویی در مصرف انرژی مبحث مذکور)، ساختمان مورد مطالعه، جز گروه ۲ لحاظ می شود. طبق تعریف همین مبحث در بند ۱۹-۲-۲-۵ گروه ۲ به ساختمان های ملزم به صرفه جویی متوسط در مصرف انرژی اطلاق شده و همین امر نشان دهنده لزوم صرفه جویی انرژی و نقد و بررسی این مجموعه می باشد [۲۸].

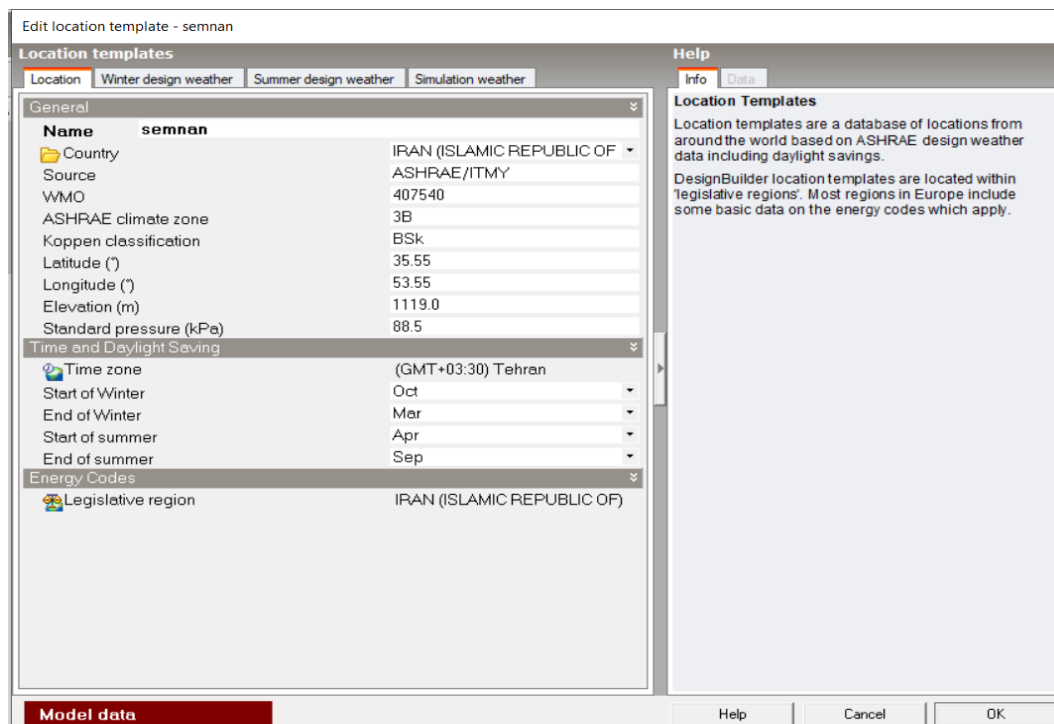
۳-۳-۲ موقعیت و اقلیم سمنان

برای شبیه سازی انرژی در ساختمان معمولاً ۱۰ تا ۱۳ پارامتر اقلیمی (دمای هوا، میزان تابش خورشید، سرعت و جهت باد، رطوبت نسبی و ارتفاع از سطح دریا، فشار و غیره) موردنیاز می باشد. فایل داده های آب و هوایی موردنیاز جهت وارد کردن به نرم افزارهای مختلف، متفاوت می باشد. بعضی از نرم افزارها این داده ها را به صورت ساعتی و بعضی دیگر به صورت ماهیانه از کاربر دریافت می کنند. در این تحقیق داده های آب و هوایی شهر سمنان، توسط نرم افزارهای مشاور آب و هوایی از جمله متونورم^{۴۶} و کلایمت کانسالتنت^{۴۷} به صورت فایل ای پی دبل یو^{۴۸} به دست آمده [۹۶ و ۹۷] و در نرم افزار دیزاین بیلدر مطابق شکل (۳-۷) مورد استفاده قرار گرفته است.

⁴⁶ Meteonorm

⁴⁷ Climate Consultant

⁴⁸ Energy plus weather



شکل ۳-۷: موقعیت اقلیم سمنان در نرم افزار دیزاین بیلدر

۳-۳-۳ میزان سکونت^{۴۹}

در این قسمت، میزان افراد ساکن در مساحت زون مورد نظر و همچنین برنامه روزانه حضور آن افراد، تعیین می گردد. همچنین مقادیر مربوط به این پارامتر برای قسمت های مختلف ساختمان در جدول (۳-۱) مشاهده می گردد.

جدول ۳-۱: مقادیر مربوط به تصرف در قسمت های مختلف ساختمان

قسمت های مختلف	تعداد افراد بر متر مربع	نوع برنامه زمان بندی
اداری	۰/۱	OPEN PLAN OFFICE
سرویس بهداشتی	۰/۰۵	TOILETS
آشپزخانه	۰/۰۵	FOOD PREPERATION
پارکینگ	۰/۰۵	CAR PARK
آسانسور	۰/۲	CIRCULATION
پلکان	۰/۰۵	CIRCULATION

⁴⁹ Occupancy

۳-۳-۴ متابولیک^{۵۰}

این فاکتور نشان دهنده میزان گرمایی است که از هر فرد به علت فعالیت متابولیسمی ایجاد می شود. نرخ متابولیک برای مردان، زنان و کودکان دارای ضرایب متفاوتی است. که برای هر بخش با توجه به وجود تلفیقی از هر سه نوع فرد ذکر شده، از مقداری به صورت میانگین استفاده شده است. این ضریب به همراه نوع فعالیت افراد با توجه به نوع کاربری ساختمان تعیین گردیده است که داده های آن در جدول (۳-۲) مشاهده می گردد.

جدول ۳-۲: ضریب متابولیک و نوع فعالیت در هر قسمت ساختمان

قسمت های مختلف	تعداد افراد بر متر مربع	نوع برنامه زمان بندی
اداری	۰/۹	ایستادن، پیاده روی، روشنایی
سرویس بهداشتی	۰/۹	ایستادن، روشنایی
آشپزخانه	۰/۹	ایستادن، پیاده روی، روشنایی
پارکینگ	۰/۹	ایستادن، پیاده روی، روشنایی
آسانسور	۰/۹	ایستادن
پلکان	۱	پیاده روی

۳-۳-۵ آب گرم مصرفی

بر اساس نیاز هر بخش از ساختمان به آب گرم، مقدار نرخ آب گرم مصرفی بر حسب لیتر بر متر مربع در هر روز مشخص می گردد که مقادیر آن در جدول (۳-۳) آمده است.

جدول ۳-۳: نرخ مصرف آب گرم بر حسب لیتر بر متر مربع در هر روز

مکان	آب گرم مصرفی
سرویس بهداشتی	۰/۹
آشپزخانه	۰/۲

۳-۳-۶ کنترل محیطی^{۵۱}

دمای تنظیم سرمایش، گرمایش، حداقل هوای تازه مورد نیاز هر فرد و میزان روشنایی لازم، با فعالیت یا نوع استفاده از زون متناسب می باشد. یکی از مهم ترین پارامترهای تاثیرگذار بر میزان مصرف انرژی در ساختمان دمای مطلوب تعیین شده در سرمایش و گرمایش است. دمای آسایش در تابستان ۲۴ درجه سانتیگراد و در زمستان ۲۲ درجه سانتیگراد در نظر گرفته شده است. در ضمن نقطه ست بک^{۵۲} (شروع به کار مجدد دستگاه سرمایش و گرمایش) برای زمستان ۱۲ درجه سانتیگراد و برای تابستان ۲۸ درجه سانتیگراد تنظیم شده است.

۳-۳-۷ مصالح ساختمانی

مصالح ساختمانی بکار رفته در ساختمان به همراه لایه های استفاده شده در هر بخش با بیان خصوصیات هر مصالح و همچنین میزان عبور گرما از بخش ها که به عنوان ضریب تبادل حرارتی^{۵۳} شناخته می شود، در جدول (۳-۴) نشان داده شده است. مصالح ذکرشده در اکثر ساختمان های شهر سمنان مورد استفاده قرار می گیرند.

جدول ۳-۴: جزئیات مصالح استفاده شده در ساختمان

حالت پایه	مصالح	ضخامت m	انتقال حرارت رسانایی $\frac{w}{m.k}$	وزن مخصوص $\frac{kg}{m^3}$	گرمای ویژه $\frac{J}{Kg.k}$	u-value $\frac{w}{m^2.k}$
پوسته خارجی	آجر سوراخ دار	۰/۲۲	۰/۷۸۵۷	۲۰۰۰	۸۰۰	۲/۰۵۹
	گچ خاک	۰/۰۲	۱/۱	۱۶۰۰	۱۰۰۰	
	گچ	۰/۰۱	۰/۵۷	۱۳۰۰	۱۰۰۰	
سقف	ایزوگام	۰/۰۱	۱/۱۵	۲۱۰۰	۱۰۰۰	۴/۲۹۰
	ملات ماسه سیمان	۰/۰۳	۱/۸	۲۱۰۰	۸۴۰	
	بتن مسلح	۰/۰۸	۲/۵	۲۴۰۰	۸۴۰	
	گچ خاک	۰/۰۲	۱/۱	۱۶۰۰	۱۰۰۰	
	گچ	۰/۰۱	۰/۵۷	۱۳۰۰	۱۰۰۰	
جدار نور گذر	شیشه تک جداره	۰/۰۰۳	-	-	-	۵/۹۱۰

⁵¹ Environmental control

⁵² Set back

⁵³ U-Value

۳-۳-۸ پنجره ها

ساختمان مورد نظر در تمامی جهات دارای نسبت پنجره به دیوار ۳۲ درصد است. همچنین تمام شیشه پنجره های ساختمان از نوع تک جداره با قاب آهنی می باشد. اطلاعات مربوط به پنجره در جدول (۳-۵) آمده است.

جدول ۳-۵: جزئیات پنجره های ساختمان

نوع پنجره	ضخامت شیشه (mm)	u-value $\frac{w}{m^2 \cdot k}$
تک لایه	۳	۵/۹۱۰

۳-۳-۹ روشنایی

سیستم روشنایی ساختمان برای هر زون به صورت مجزا و برنامه زمان بندی سیستم نیز بر اساس ساعت کاری اداره تعریف شده است. میزان روشنایی بر اساس پیشنهاد های ارائه شده در نرم افزار دیزاین بیلدر، برای یک ساختمان اداری، به ازای هر مترمربع، ۵ وات در نظر گرفته شده است. مجموع برق مصرفی برای روشنایی و تجهیزات این ساختمان اداری، با توجه به قبوض برق برای یک سال مشخص (سال ۱۳۹۷ در نظر گرفته شده است) سالیانه به میزان ۱۷۸۴۲۲ کیلووات ساعت می باشد. جدول (۳-۶) چگالی توان مربوط به روشنایی ها را نشان می دهد.

جدول ۳-۶: چگالی توان و ضریب تابشی سیستم روشنایی هر سطح

مکان	چگالی توان (وات بر متر مربع درصد لوکس)	ضریب تابشی
اداری	۲	۰/۴۲
سرویس بهداشتی	۲	۰/۴۲
آشپزخانه	۲	۰/۴۲
پارکینگ	۰/۵	۰/۴۲
آسانسور	۲	۰/۴۲
پلکان	۰/۵	۰/۴۲

۳-۳-۱۰ معادلات حاکم

با توجه به اهمیت موضوع نحوه شبیه سازی پارامترهای مختلف در نرم افزار، نحوه دست آمدن معادلات حاکم بایستی مورد بررسی قرار گیرد. بیشتر معادلات با استفاده از آزمایشات تجربی حاصل می شود که با حل عددی توسط نرم افزارهای مد نظر می توان با دقت مناسبی به جواب نهایی رسید. برای مدل سازی باید معادلات بسیاری به طور هم زمان حل گردد. درحالی که سابقه محاسبات ساده و دستی برای بار حرارتی و برودتی ساختمان، به بیش از یک قرن پیش باز می گردد، ولی تولید اولین مدل های شبیه سازی در دهه ی ۱۹۶۰ به وقوع پیوسته است [۹۵]. با توجه به این نکته که در این پژوهش شبیه سازی ساختمان توسط نرم افزار دیزاین بیلدر صورت گرفته است و تمامی اطلاعات موردنیاز به نرم افزار داده شده است، حل معادلات به صورت محاسبات دستی صورت نگرفته و حل تمامی معادلات بر اساس معادلات شبیه سازی انرژی و انتقال حرارت توسط موتور انرژی پلاس می باشند. در جدول (۳-۷) تعدادی از معادلات حاکم بر تهویه مطبوع و سیستم خورشیدی ذکر شده است که توضیح این معادلات در پیوست بیان شده است.

جدول ۳-۷: معادلات حاکم بر تهویه مطبوع و سیستم خورشیدی

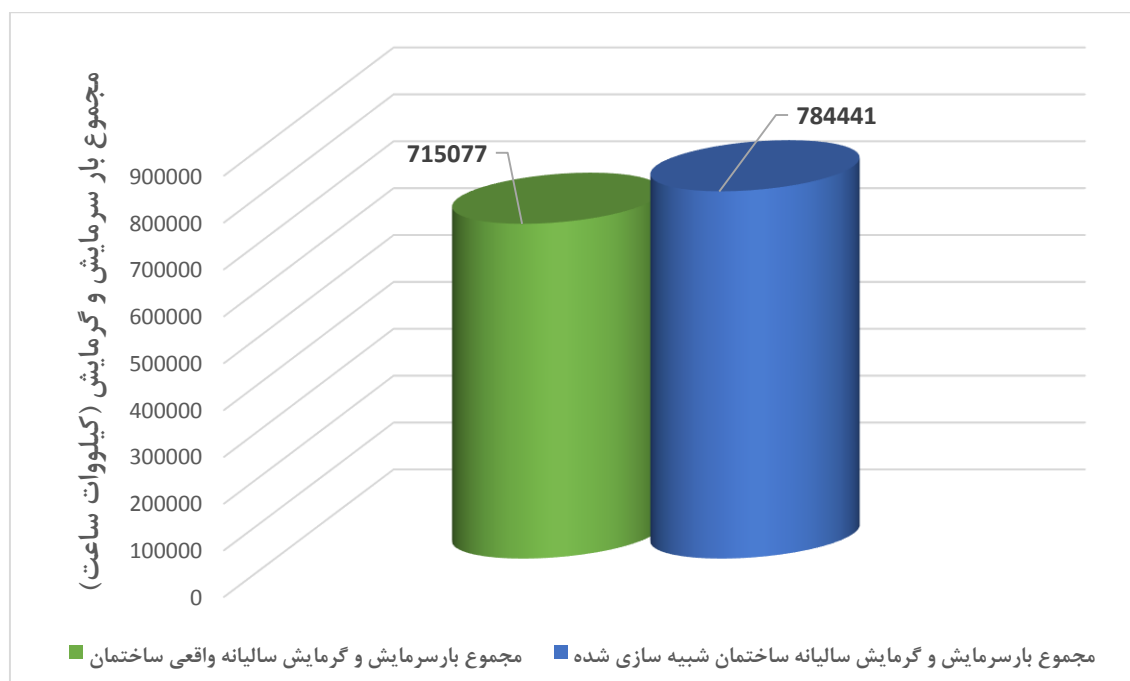
$Q - W = \frac{dE_{in}}{dt}$	(۱)
$\sum q = mC \frac{dT}{dt}$	(۲)
$\rho (\vec{V} \cdot \nabla \vec{V}) = -\nabla P + \mu_{eff} \nabla^2 \vec{V} + \vec{S}$	(۳)
$\vec{V} \cdot \nabla T = \alpha_{eff} \nabla^2 T + S_T$	(۴)
$PMV = (0.028 + 0.303 \exp(-0.036M))(M - W)$ $-0.00305(5733 - 6.99(M - W) - P_a)$ $-0.42((M - W) - 58.15)$ $-1.7 \times 10^{-5}M(5867 - P_a)$ $-0.0014M(34 - T_a) - f_{cl}h_t(T_{cl} - T_o)]$	(۵)
$I = I_L - I_0[\exp\left(q \frac{V + IR_s}{N_s AKT}\right) - 1]$	(۶)

۳-۴ اعتبارسنجی

مقایسه مصارف انرژی در شرایط واقعی و شبیه سازی شده برای ساختمان در جدول (۳-۸) و شکل (۳-۸) نشان داده شده است. مشاهده می شود خطا کمتر از ۱۰٪ است که نتیجه معقولی می باشد. لازم به ذکر است نتایج واقعی مذکور با استفاده از قبض های برق و گاز در سال ۹۷ برای ساختمان معلوم گردیده است که در شکل (۳-۹) مشاهده می گردد.

جدول ۳-۸: مصارف انرژی ساختمان در دو حالت واقعی و شبیه سازی شده بر حسب کیلووات ساعت در سال

مجموع برق و گاز (کیلووات ساعت)	
واقعی (قبض ها)	۷۱۵۰۷۷ کیلووات ساعت
شبیه سازی شده	۷۸۴۴۴۱ کیلووات ساعت
خطا(٪)	۹/۷٪



شکل ۳-۸: مقایسه مجموع بار سرمایش و گرمایش ساختمان در حالت واقعی و شبیه سازی شده

جدول ۳-۹: جزئیات پنجره های دوجداره انتخاب شده

شماره پنجره	نوع پنجره	$\frac{u\text{-value}}{w}$ $\frac{m^2 \cdot k}{w}$
۱	DBL CLR 6MM/13MM AIR	۲/۶۶۵
۲	DBL CLR 6MM/13MM ARG	۲/۵۱۱
۳	DBL REF A-L CLR 6MM/13MM AIR	۲/۲۱۶
۴	DBL REF A-L CLR 6MM/13MM Arg	۲/۰۱۴
۵	DBL REF A-L CLR 6MM/6MM AIR	۳/۰۸۲

۳-۵-۲ استفاده از انواع عایق ها در دیوار های خارجی ساختمان

به کمک نرم افزار، انواع عایق ها در ضخامت های مختلف مانند: پلی استایرن، پشم شیشه، پشم سنگ و پلی یورتان بر روی دیوار های خارجی ساختمان در نظر گرفته شده است و مشخصات آن ها به ترتیب در جداول (۳-۱۰)، (۳-۱۱)، (۳-۱۲)، (۳-۱۳) نشان داده شده است.

۳-۵-۲-۱ استفاده از عایق پلی استایرن در دیوار

به کمک نرم افزار، عایق پلی استایرن با ضخامت های مختلف بر روی دیوار های خارجی ساختمان شبیه سازی شده است و مشخصات آن در جدول (۳-۱۰) نشان داده شده است.

جدول ۳-۱۰: جزئیات عایق پلی استایرن با ضخامت های مختلف بر روی دیوار های خارجی ساختمان

نام دیوار	نوع و ضخامت عایق	$\frac{u\text{-value}}{w}$ $\frac{m^2 \cdot k}{w}$	R-value $\frac{m^2 \cdot k}{w}$
دیوار طرح ۱	پلی استایرن با ضخامت ۴ سانتی متر	۰/۶۱۴	۱/۶۲
دیوار طرح ۲	پلی استایرن با ضخامت ۶ سانتی متر	۰/۴۵۵	۲/۲۰
دیوار طرح ۳	پلی استایرن با ضخامت ۸ سانتی متر	۰/۳۶۱	۲/۷۷
دیوار طرح ۴	پلی استایرن با ضخامت ۱۰ سانتی متر	۰/۲۹۹	۳/۳۴
دیوار طرح ۵	پلی استایرن با ضخامت ۱۴ سانتی متر	۰/۲۲۳	۴/۴۸
دیوار طرح ۶	پلی استایرن با ضخامت ۲۰ سانتی متر	۰/۱۶۱	۶/۲۱

۳-۵-۲ استفاده از عایق پشم سنگ در دیوار

به کمک نرم افزار، عایق پشم سنگ با ضخامت های مختلف بر روی دیوار های خارجی ساختمان شبیه سازی شده است و مشخصات آن در جدول (۳-۱۱) نشان داده شده است.

جدول ۳-۱۱: جزئیات عایق پشم سنگ با ضخامت های مختلف بر روی دیوار های خارجی ساختمان

نام دیوار	نوع و ضخامت عایق	u-value $\frac{w}{m^2 \cdot k}$	R-value $\frac{m^2 \cdot k}{w}$
دیوار طرح ۷	پشم سنگ با ضخامت ۴ سانتی متر	۰/۵۸۹	۱/۶۹
دیوار طرح ۸	پشم سنگ با ضخامت ۶ سانتی متر	۰/۴۳۴	۲/۳۰
دیوار طرح ۹	پشم سنگ با ضخامت ۸ سانتی متر	۰/۳۴۴	۲/۹۰
دیوار طرح ۱۰	پشم سنگ با ضخامت ۱۰ سانتی متر	۰/۲۸۴	۳/۵۲
دیوار طرح ۱۱	پشم سنگ با ضخامت ۱۴ سانتی متر	۰/۲۱۱	۴/۷۳
دیوار طرح ۱۲	پشم سنگ با ضخامت ۲۰ سانتی متر	۰/۱۵۳	۶/۵۳

۳-۵-۲ استفاده از عایق پشم شیشه در دیوار

به کمک نرم افزار، عایق پشم شیشه با ضخامت های مختلف بر روی دیوار های خارجی ساختمان شبیه سازی شده است و مشخصات آن در جدول (۳-۱۲) نشان داده شده است.

جدول ۳-۱۲: جزئیات عایق پشم شیشه با ضخامت های مختلف بر روی دیوار های خارجی ساختمان

نام دیوار	نوع و ضخامت عایق	u-value $\frac{w}{m^2 \cdot k}$	R-value $\frac{m^2 \cdot k}{w}$
دیوار طرح ۱۳	پشم شیشه با ضخامت ۴ سانتی متر	۰/۵۷۶	۱/۷۳
دیوار طرح ۱۴	پشم شیشه با ضخامت ۶ سانتی متر	۰/۴۲۴	۲/۳۵
دیوار طرح ۱۵	پشم شیشه با ضخامت ۸ سانتی متر	۰/۳۳۵	۲/۹۸
دیوار طرح ۱۶	پشم شیشه با ضخامت ۱۰ سانتی متر	۰/۲۷۷	۳/۶۱
دیوار طرح ۱۷	پشم شیشه با ضخامت ۱۴ سانتی متر	۰/۲۰۶	۴/۸۵
دیوار طرح ۱۸	پشم شیشه با ضخامت ۲۰ سانتی متر	۰/۱۴۸	۶/۷۵

۳-۵-۲-۴ استفاده از عایق پلی یورتان در دیوار

به کمک نرم افزار، عایق پلی یورتان با ضخامت های مختلف بر روی دیوار های خارجی ساختمان شبیه سازی شده است و مشخصات آن در جدول (۳-۱۳) نشان داده شده است.

جدول ۳-۱۳: جزئیات عایق پلی یورتان با ضخامت های مختلف بر روی دیوار های خارجی ساختمان

نام دیوار	نوع و ضخامت عایق	u-value $\frac{w}{m^2 \cdot k}$	R-value $\frac{m^2 \cdot k}{w}$
دیوار طرح ۱۹	پلی یورتان با ضخامت ۴ سانتی متر	۰/۵۲۲	۱/۹۱
دیوار طرح ۲۰	پلی یورتان با ضخامت ۶ سانتی متر	۰/۳۸۰	۲/۶۳
دیوار طرح ۲۱	پلی یورتان با ضخامت ۸ سانتی متر	۰/۲۹۹	۳/۳۴
دیوار طرح ۲۲	پلی یورتان با ضخامت ۱۰ سانتی متر	۰/۲۴۶	۴/۰۶
دیوار طرح ۲۳	پلی یورتان با ضخامت ۱۴ سانتی متر	۰/۱۸۲	۵/۴۹
دیوار طرح ۲۴	پلی یورتان با ضخامت ۲۰ سانتی متر	۰/۱۳۱	۷/۶۳

۳-۵-۳ استفاده از انواع عایق ها در سقف ساختمان

به کمک نرم افزار، انواع عایق ها در ضخامت های مختلف مانند: پلی استایرن، پشم شیشه، پشم سنگ و پلی یورتان بر روی سقف ساختمان در نظر گرفته شده است و مشخصات آن ها به ترتیب در جداول (۳-۱۴)، (۳-۱۵)، (۳-۱۶)، (۳-۱۷) نشان داده شده است.

۳-۵-۳-۱ استفاده از عایق پلی استایرن برای سقف

به کمک نرم افزار، عایق پلی استایرن با ضخامت های مختلف بر روی سقف ساختمان شبیه سازی شده است و مشخصات آن در جدول (۳-۱۴) نشان داده شده است.

جدول ۳-۱۴: جزئیات عایق پلی استایرن با ضخامت های مختلف بر روی سقف ساختمان

نام سقف	نوع و ضخامت عایق	u-value $\frac{w}{m^2 \cdot k}$	R-value $\frac{m^2 \cdot k}{w}$
سقف طرح ۱	پلی استایرن با ضخامت ۴ سانتی متر	۰/۷۲۷	۱/۳۷
سقف طرح ۲	پلی استایرن با ضخامت ۶ سانتی متر	۰/۵۱۴	۱/۹۴
سقف طرح ۳	پلی استایرن با ضخامت ۸ سانتی متر	۰/۳۹۷	۲/۵۱
سقف طرح ۴	پلی استایرن با ضخامت ۱۰ سانتی متر	۰/۳۲۴	۳/۰۸
سقف طرح ۵	پلی استایرن با ضخامت ۱۴ سانتی متر	۰/۲۳۶	۴/۲۳
سقف طرح ۶	پلی استایرن با ضخامت ۲۰ سانتی متر	۰/۱۶۸	۵/۹۵

۳-۵-۳ استفاده از عایق پشم سنگ برای سقف

به کمک نرم افزار، عایق پشم سنگ با ضخامت های مختلف بر روی سقف ساختمان شبیه سازی شده است و مشخصات آن در جدول (۳-۱۵) نشان داده شده است.

جدول ۳-۱۵: جزئیات عایق پشم سنگ با ضخامت های مختلف بر روی سقف ساختمان

نام سقف	نوع و ضخامت عایق	u-value $\frac{w}{m^2 \cdot k}$	R-value $\frac{m^2 \cdot k}{w}$
سقف طرح ۷	پشم سنگ با ضخامت ۴ سانتی متر	۰/۶۹۲	۱/۴۴
سقف طرح ۸	پشم سنگ با ضخامت ۶ سانتی متر	۰/۴۸۸	۲/۰۴
سقف طرح ۹	پشم سنگ با ضخامت ۸ سانتی متر	۰/۳۷۶	۲/۶۵
سقف طرح ۱۰	پشم سنگ با ضخامت ۱۰ سانتی متر	۰/۳۰۶	۳/۲۶
سقف طرح ۱۱	پشم سنگ با ضخامت ۱۴ سانتی متر	۰/۲۲۳	۴/۴۸
سقف طرح ۱۲	پشم سنگ با ضخامت ۲۰ سانتی متر	۰/۱۵۹	۶/۲۸

۳-۵-۳ استفاده از عایق پشم شیشه برای سقف

به کمک نرم افزار، عایق پشم شیشه با ضخامت های مختلف بر روی سقف ساختمان شبیه سازی شده است و مشخصات آن در جدول (۳-۱۶) نشان داده شده است.

جدول ۳-۱۶: جزئیات عایق پشم شیشه با ضخامت های مختلف بر روی سقف ساختمان

نام سقف	نوع و ضخامت عایق	u-value $\frac{w}{m^2 \cdot k}$	R-value $\frac{m^2 \cdot k}{w}$
سقف طرح ۱۳	پشم شیشه با ضخامت ۴ سانتی متر	۰/۶۷۴	۱/۴۸
سقف طرح ۱۴	پشم شیشه با ضخامت ۶ سانتی متر	۰/۴۷۴	۲/۱۰
سقف طرح ۱۵	پشم شیشه با ضخامت ۸ سانتی متر	۰/۳۶۶	۲/۷۳
سقف طرح ۱۶	پشم شیشه با ضخامت ۱۰ سانتی متر	۰/۲۹۸	۳/۳۵
سقف طرح ۱۷	پشم شیشه با ضخامت ۱۴ سانتی متر	۰/۲۱۷	۴/۶۰
سقف طرح ۱۸	پشم شیشه با ضخامت ۲۰ سانتی متر	۰/۱۵۴	۶/۴۹

۳-۵-۳-۴ استفاده از عایق پلی یورتان برای سقف

به کمک نرم افزار، عایق پلی یورتان با ضخامت های مختلف بر روی سقف ساختمان شبیه سازی شده است و مشخصات آن در جدول (۳-۱۷) نشان داده شده است.

جدول ۳-۱۷: جزئیات عایق پلی یورتان با ضخامت های مختلف بر روی سقف ساختمان

نام سقف	نوع و ضخامت عایق	u-value $\frac{w}{m^2 \cdot k}$	R-value $\frac{m^2 \cdot k}{w}$
سقف طرح ۱۹	پلی یورتان با ضخامت ۴ سانتی متر	۰/۵۶۴	۱/۷۷
سقف طرح ۲۰	پلی یورتان با ضخامت ۶ سانتی متر	۰/۳۹۴	۲/۵۳
سقف طرح ۲۱	پلی یورتان با ضخامت ۸ سانتی متر	۰/۳۰۲	۳/۳۱
سقف طرح ۲۲	پلی یورتان با ضخامت ۱۰ سانتی متر	۰/۲۴۵	۴/۰۸
سقف طرح ۲۳	پلی یورتان با ضخامت ۱۴ سانتی متر	۰/۱۷۸	۵/۶۱
سقف طرح ۲۴	پلی یورتان با ضخامت ۲۰ سانتی متر	۰/۱۲۶	۷/۹۳

۳-۵-۴ بهینه سازی بر طبق مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان

یکی از راهکارهای مهم بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان شبیه سازی شده، بهبود ضریب انتقال حرارت جداره ها و سقف بر اساس شرایط اقلیمی شهر سمنان می باشد. در جدول (۳-۱۸) حداقل مقاومت حرارتی مورد استفاده طبق مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان با توجه به شرایط اقلیمی نشان داده شده است. همچنین در جدول (۳-۱۹) مصالح پیشنهادی استفاده شده در ساختمان شبیه سازی شده، در حالت بهینه ارائه گردیده است.

جدول ۳-۱۸: حداقل مقاومت حرارتی مرجع برای ساختمان طبق مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان [۲۸]

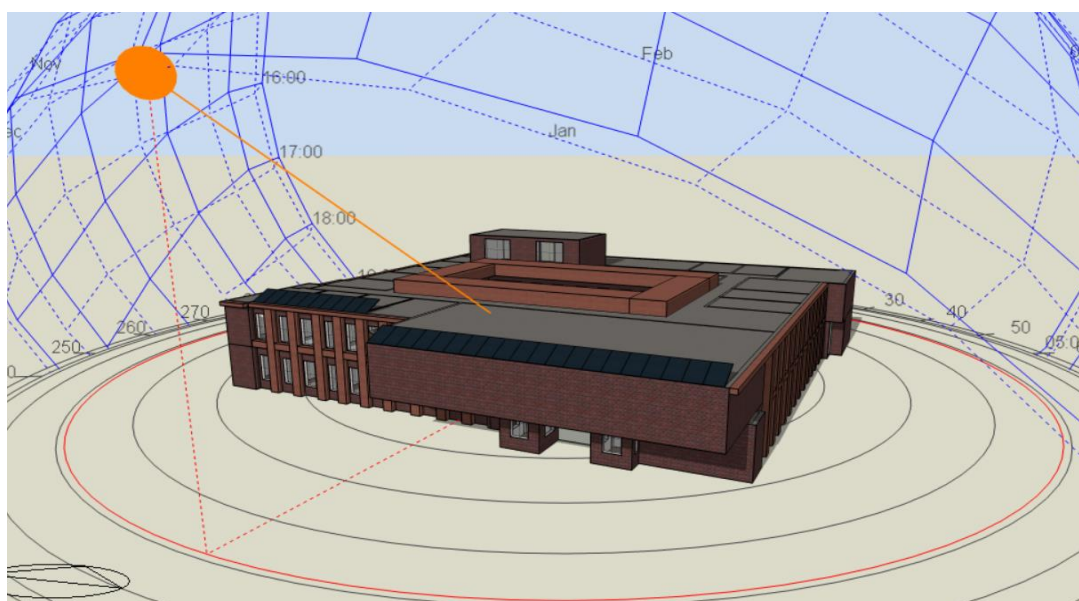
دیوار $\frac{w}{m^2.k}$	سقف $\frac{w}{m^2.k}$	پنجره دوجداره $\frac{w}{m^2.k}$
۰/۸۸	۰/۳۸	۳/۴

جدول ۳-۱۹: مصالح پیشنهادی استفاده شده در ساختمان شبیه سازی شده، در حالت بهینه

حالت پایه	مصالح	ضخامت m	انتقال حرارت رسانایی $\frac{w}{m.k}$	وزن مخصوص $\frac{kg}{m^3}$	گرمای ویژه $\frac{J}{Kg.k}$	u-value $\frac{w}{m^2.k}$
پوسته خارجی	آجر سوراخ دار	۰/۷۴	۰/۷۸۵۷	۲۰۰۰	۸۰۰	۰/۸۸
	گچ خاک	۰/۰۲	۱/۱	۱۶۰۰	۱۰۰۰	
	گچ	۰/۰۱	۰/۵۷	۱۳۰۰	۱۰۰۰	
سقف	ایزوگام	۰/۰۱	۱/۱۵	۲۱۰۰	۱۰۰۰	۰/۳۸
	ملات ماسه سیمان	۰/۰۳	۱/۸	۲۱۰۰	۸۴۰	
	خورده آجر	۱/۳۲	۰/۵۵	۱۵۰۰	۸۴۰	
	بتن مسلح	۰/۰۸	۲/۵	۲۴۰۰	۸۴۰	
	گچ خاک	۰/۰۲	۱/۱	۱۶۰۰	۱۰۰۰	
	گچ	۰/۰۱	۰/۵۷	۱۳۰۰	۱۰۰۰	

۳-۶ شبیه سازی سیستم فتوولتائیک

همانطور که در شکل (۳-۱۰) مشاهده می گردد، پنل های خورشیدی به سمت جنوب و روی پشت بام ساختمان قرار می گیرند. با توجه به عرض جغرافیایی شهر سمنان و شکل (۳-۱۱) که زوایای بهینه برای مراکز استان های ایران از پروژه های عملی به دست آمده، زاویه مناسب جهت نصب پنل های خورشیدی بر روی سقف ساختمان شبیه سازی شده، ۲۸/۱ درجه در نظر گرفته می شود.



شکل ۳-۱۰: نمایی از محل قرار گیری پنل های خورشیدی

شهر/ماه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	سالیانه
اراک	۱۸/۸	۵/۲	-۴	-۳/۳	۷/۹	۲۳/۸	۳۹/۴	۴۸/۵	۵۳/۹	۵۳/۹	۴۷/۲	۳۴	۲۷/۱
اردبیل	۱۸/۲	۷/۳	-۱/۳	-۰/۵	۱۰/۷	۲۵/۴	۴۰/۴	۵۱/۹	۵۵/۷	۵۲/۹	۴۳/۱	۳۰/۲	۲۷/۸
ازومیه	۲۰	۷/۶	-۲	-۱/۲	۱۱/۷	۲۶	۳۹/۵	۴۹/۵	۵۳/۹	۵۰/۸	۴۳/۴	۳۲/۲	۲۷/۶
اصفهان	۱۹/۴	۴/۶	-۵/۴	-۴/۶	۷/۲	۲۴	۴۰/۴	۵۲	۵۷	۵۵/۷	۴۹/۵	۳۴/۶	۲۷/۹
اهواز	۱۵/۷	۲/۶	-۶/۲	-۵/۳	۵/۳	۲۱/۶	۳۷/۸	۴۵	۵۰/۱	۴۵/۵	۴۲/۳	۲۹/۵	۲۳/۷
ایلام	۱۸/۴	۴/۸	-۴/۷	-۴	۸/۳	۲۵/۱	۴۰/۹	۴۹/۵	۵۲/۶	۵۱	۴۱/۸	۳۰	۲۶/۱
بجنورد	۳۱/۴	۷/۸	-۱/۹	-۱/۱	۱۰/۲	۲۵	۴۱/۴	۵۳/۱	۵۹/۲	۵۹/۲	۵۱/۱	۳۷	۳۰/۲
بندرعباس	۱۲/۹	-۰/۱	-۸	-۶/۷	۱/۵	۱۵/۸	۳۱/۹	۴۳/۹	۴۸/۴	۴۷/۱	۳۹/۹	۲۵/۴	۲۱
بوشهر	۱۲/۴	۰	-۸/۳	-۷/۲	۲/۱	۱۶/۸	۳۰/۹	۴۰/۵	۴۳/۳	۴۱/۶	۳۵	۲۳/۳	۱۹/۲
بیرجند	۱۹/۳	۴/۸	-۵/۲	-۴/۶	۷/۸	۲۵/۱	۴۱/۵	۵۳	۵۸/۷	۵۷	۴۹/۲	۳۵/۱	۲۸/۵
تبریز	۱۹/۲	۸/۷	-۱/۴	-۰/۲	۱۳/۹	۳۰	۴۵/۴	۵۴/۴	۵۳	۴۲/۶	۴۴/۸	۳۰/۶	۲۸/۴
تهران	۱۹/۵	۶/۶	-۳/۳	-۲/۴	۹/۸	۲۶/۱	۴۰/۹	۵۰/۲	۵۳	۵۳/۲	۴۶/۷	۳۳/۲	۲۷/۸
خرم آباد	۳۱/۳	۶/۳	-۴/۳	-۳/۳	۹/۶	۲۶/۶	۴۳/۲	۵۳/۳	۵۸/۲	۵۷/۶	۵۰/۸	۳۶/۲	۲۹/۶
رشت	۷/۹	۱/۸	-۶	-۳	۳	۹	۹	۲۳	۲۹/۴	۲۸/۸	۲۰/۲	۱۲/۹	۱۲/۶
زاهدان	۱۶/۸	۱/۶	-۷/۵	-۶/۸	۳/۸	۲۰/۱	۳۶/۴	۴۹/۲	۵۴/۹	۵۳/۶	۴۵/۸	۳۲/۴	۲۵
زنجان	۱۸/۳	۶/۷	-۲/۴	-۱/۶	۱۰/۱	۲۵/۹	۳۹	۴۸/۸	۵۳/۱	۵۴/۳	۴۳/۹	۳۱	۲۷/۳
سمنان	۳۰/۴	۶/۵	-۳/۲	-۲/۵	۱۰/۲	۲۶/۳	۴۰/۹	۵۰/۱	۵۲/۹	۵۳/۹	۴۷/۳	۳۴/۱	۲۸/۱

شکل ۳-۱۱: زوایای بهینه پنل های خورشیدی برای مراکز استان های ایران [۹۸]

در این پایان نامه به منظور تولید برق از طریق سیستم های فتوولتائیک خورشیدی از پنل خورشیدی با برند ترینا^{۵۴} [۹۹] استفاده شده است. ظرفیت سیستم خورشیدی ۶ کیلووات می باشد. سیستم از ۳۰ عدد پنل خورشیدی ۲۰۰ وات با ابعاد ۱۶۵×۹۹ سانتی متر تشکیل گردیده است که دارای ۴ استرینگ می باشد و در هر استرینگ ۱۵ عدد پنل خورشیدی سری شده دارد. همچنین اینورتر متصل به شبکه اس ام ای^{۵۵} به ظرفیت ۶ کیلووات به منظور تبدیل برق DC پنل خورشیدی به AC در نظر گرفته شده است. اطلاعات مربوط به پنل های خورشیدی در شرایط تست استاندارد STC با استفاده از دیتاشیت های سازندگان در جدول (۳-۲۰) نمایش داده شده است و مشخصات مربوط به پنل های خورشیدی در نرم افزار در شکل های (۳-۱۲) و (۳-۱۳) نمایش داده شده است.

جدول ۳-۲۰: داده های الکتریکی پنل های خورشیدی در شرایط تست استاندارد

داده های الکتریکی در شرایط تست استاندارد	ترینا
حداکثر توان نامی (وات)	۲۰۰
ولتاژ توان بیشینه (ولت)	۳۷/۶
جریان توان بیشینه (آمپر)	۵/۳۲
ولتاژ مدار باز (ولت)	۴۶
جریان اتصال کوتاه (آمپر)	۵/۶
بازده (%)	۱۵/۶۰
مرجع	[۹۹]

شرایط تست استاندارد: تشعشع ۱۰۰۰ وات بر متر مربع، دما ۲۵ درجه سانتیگراد، جرم هوا ۱/۵

⁵⁴ Trina

⁵⁵ SMA

Construction

Solar Collector

Solar collector type: 2-Photovoltaic

Depth (m): 0.025

Cost (GBP/m2): 600.000

☒ Shades and reflects

Level: 1-Building

Material: Bitumen Felt

Flat surface position: 1-Upper surface

Photovoltaic Options

Performance type: 2-Equivalent One-Diode

Performance model: MONO Trina 200W

Heat transfer integration mode: 1-Decoupled

Modules in series: 15

Series strings in parallel: 4

شکل ۳-۱۲: مشخصات سیستم خورشیدی مدل شده در نرم افزار

Edit Photovoltaic Generator - One-Diode - MONO Trina 200W

Photovoltaic Generator - One-Diode

Performance Model

General

Name: MONO Trina 200W

Cell type: 1-Crystalline Silicon

Cells in series: 72

Active area (m2): 1.13

Transmittance absorptance product: 0.9000

Semiconductor bandgap (eV): 1.12

Shunt resistance (ohms): 1000000.00

Reference temperature (°C): 25.00

Reference insolation (W/m2): 1000.00

Module heat loss coefficient (W/m2-K): 30.00

Total heat capacity (J/m2-K): 50000.00

Rated electric power output per module (W): 200.00

Availability schedule: Mono Trina panel efficiency.Always O.

Current

Short circuit current (A): 5.60

Module current at max power (A): 5.32

Temperature coefficient of short circuit current (A/K): 0.00129

Voltage

Open circuit voltage (V): 46.0

Module voltage at max power (V): 37.6

Temperature coefficient of open circuit voltage (V/K): -0.138

Nominal Operating Cell Temperature

NOCT ambient temperature (°C): 20.00

NOCT cell temperature (°C): 45.00

NOCT insolation (W/m2): 800

Model data

Help

Info Data

Performance One-Diode

Performance One-Diode component is used to describe the performance characteristics of Photovoltaic (PV) modules to be modelled using equivalent one-diode circuit. This model is also at the 4- or 5-parameter TRNSYS model for photovoltaics.

Help Cancel OK

شکل ۳-۱۳: مشخصات پنل های خورشیدی مدل شده در نرم افزار

۴ نتایج

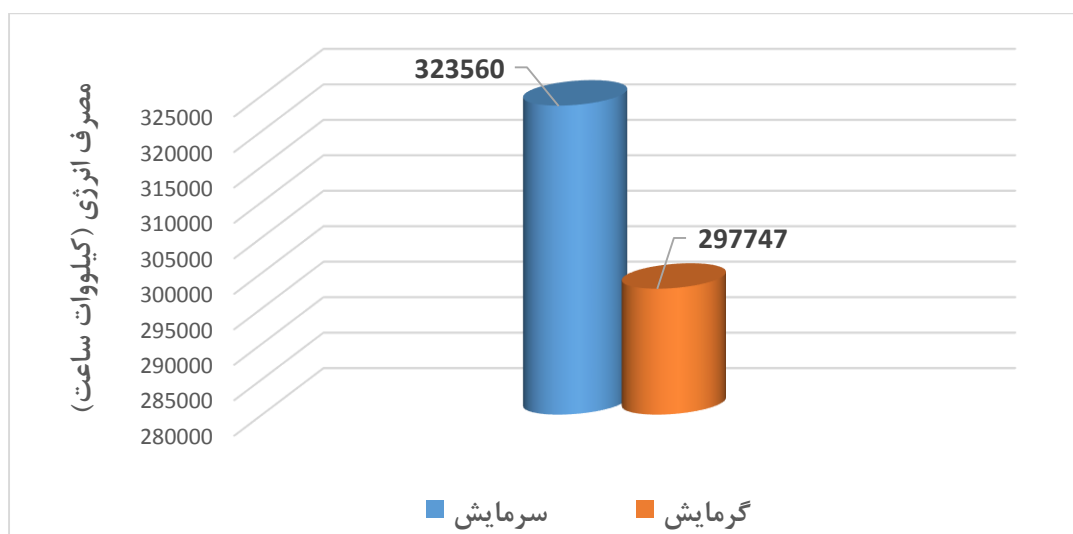
۴-۱ پیشگفتار

در فصل های گذشته ابتدا به معرفی کلی منابع مصرف انرژی در ساختمان ها، استفاده از انواع عایق ها و سیستم خورشیدی فتوولتائیک پرداخته شد. سپس مطالعات انجام شده در این زمینه باز نشر شد و نوآوری های صورت گرفته بیان گردید. بعد از آن معادلات استفاده شده و حاکم بر سیستم فتوولتائیک مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت نحوه شبیه سازی ساختمان و سیستم فتوولتائیک به صورت فنی بیان گردید.

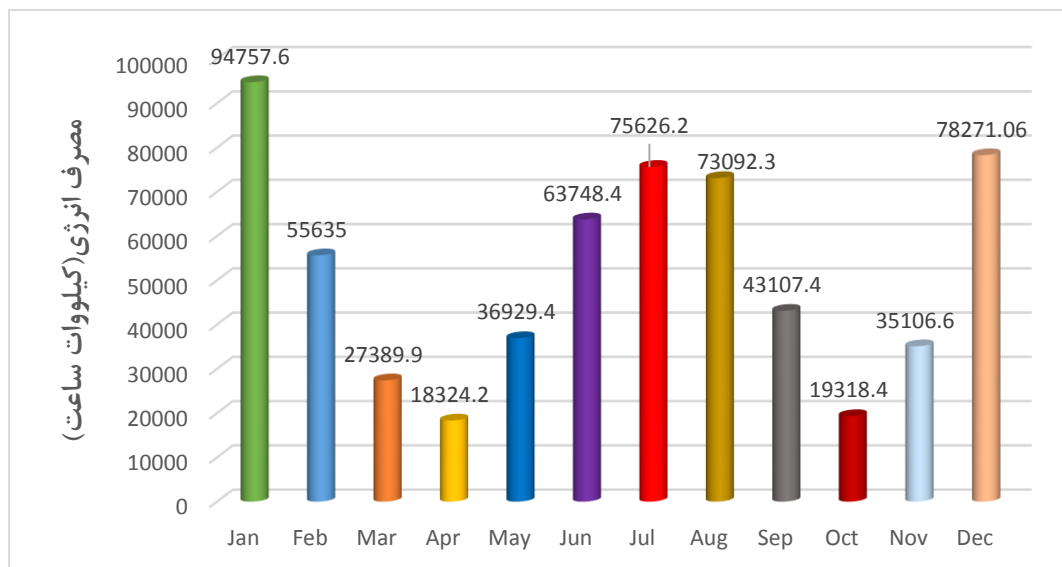
در این فصل نتایج هر یک از راهکارهای اعمال شده بر روی ساختمان شبیه سازی شده، در فصل قبل مورد ارزیابی قرار می گیرد، همچنین بازگشت سرمایه این راهکارها بررسی شده و تأثیر هریک از این راهکارها بر روی میزان بار سرمایشی و گرمایشی سالیانه ساختمان مذکور نشان داده خواهد شد. در آخر بهینه ترین حالت ساختمان، از لحاظ میزان مصرف انرژی، بازگشت سرمایه هر یک از عایق ها و میزان تولید برق توسط پنل های خورشیدی ارائه خواهد شد.

۴-۲ محاسبه مصرف انرژی مورد نیاز ساختمان در حالت پایه

میزان بار سرمایشی و گرمایشی ساختمان مذکور در حالت پایه، به صورت سالیانه در شکل (۴-۱) و به صورت ماهیانه در شکل (۴-۲) نشان داده شده است.



شکل ۴-۱: بار سرمایش و گرمایش سالیانه در حالت پایه



شکل ۴-۲: بار سرمایش و گرمایش سالیانه در حالت پایه

همانطور که در شکل (۳-۴) مشاهده می شود، به ساختمان شبیه سازی شده در حالت پایه برچسب انرژی تعلق نمی گیرد. نسبت انرژی R ساختمان شبیه سازی شده در حالت پایه ۷/۲ می باشد.

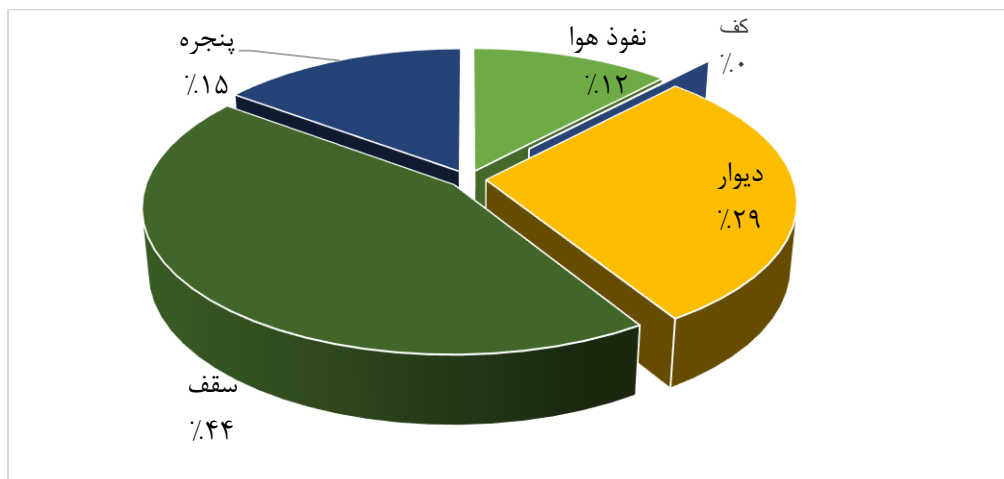
برچسب انرژی ساختمان های غیر مسکونی		انرژی
بازدهی بیشتر بازدهی کمتر		
به ساختمان برچسب تعلق نمی گیرد		
R = ۷.۰۲	میزان مصرف انرژی ساختمان نسبت به (ساختمان ایده آل)	نسبت انرژی:
۵۱۹.۸	(برحسب کیلووات ساعت بر مترمربع در سال)	شاخص مصرف انرژی:
اداری دولتی		کاربری
سمنان		شهر
نیمه خشک	(بر اساس تقسیم بندی ۸ گانه)	اقلیم
۲۳۰۰	برحسب (m ²)	زیربنای مفید

شکل ۴-۳: برچسب انرژی ساختمان شبیه سازی شده در حالت پایه

نسبت انرژی R در این استاندارد از تقسیم میزان مصرف انرژی ساختمان در وضعیت موجود به مصرف انرژی ساختمان در حالت ایده آل تعیین می گردد. شاخص مصرف انرژی در یک ساختمان اداری ایده آل واقع در شرایط اقلیمی گرم و خشک، ۶۴ کیلووات ساعت بر مترمربع در سال می باشد [۱۰۰]. به منظور دستیابی به بهترین راهکارهای اجرایی جهت بهینه سازی مصرف انرژی ساختمان، ابتدا باید تلفات بار سرمایشی و گرمایشی ساختمان تعیین شود.

۴-۲-۱ تلفات حرارتی ساختمان در سرد ترین روز از سال

تلفات بار گرمایشی از اجزای مختلف ساختمان شبیه سازی شده در سرد ترین روز از سال، به منظور مشخص کردن راهکارهای بهینه سازی مصرف انرژی ساختمان در شکل (۴-۴) ارائه شده است.

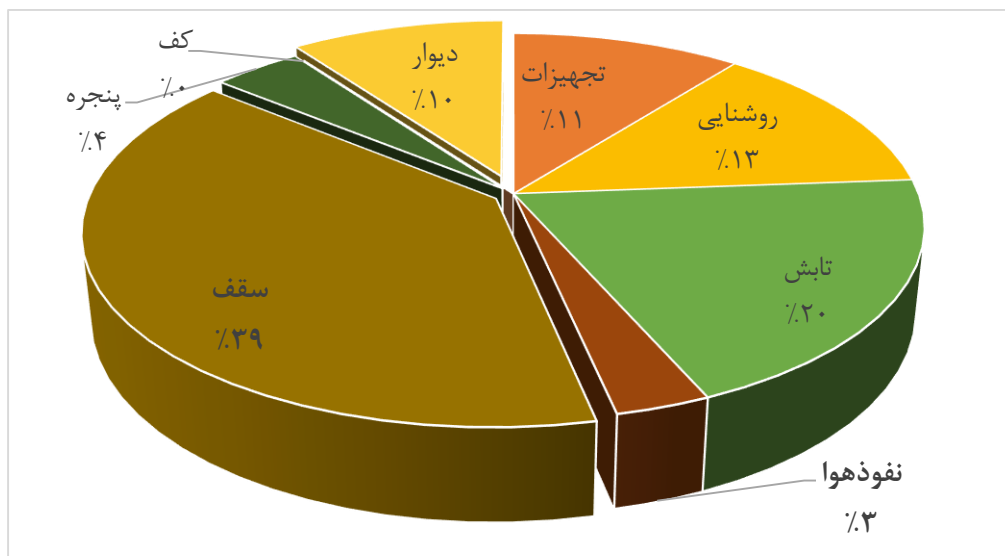


شکل ۴-۴: تلفات بار گرمایشی اجزای ساختمان در سرد ترین روز سال

همان طور که مشاهده می شود در بخش های سقف، دیوار و پنجره ها، به دلیل مقاومت حرارتی پایین، به ترتیب منجر به اتلاف بار حرارتی به میزان ۴۴، ۲۹ و ۱۵ درصد شده است. نفوذ هوا از طریق درز پنجره ها و قاب آن ها نیز تأثیر بسزایی بر اتلاف بار حرارتی ساختمان به میزان ۱۲ درصد داشته است.

۴-۲-۲ تلفات حرارتی ساختمان در گرم ترین روز از سال

اتلاف بار سرمایشی از اجزای مختلف ساختمان شبیه سازی شده در حالت پایه در گرم ترین روز از سال، به منظور مشخص کردن راهکارهای بهینه سازی مصرف انرژی ساختمان در شکل (۴-۵) نشان داده شده است.



شکل ۴-۵: تلفات بار سرمایشی اجزای ساختمان در گرم ترین روز سال

همان طور که مشاهده می شود در بخش های سقف، دیوار و پنجره ها، به دلیل مقاومت حرارتی پایین، به ترتیب منجر به اتلاف بار حرارتی به میزان ۳۹، ۱۰ و ۴ درصد شده است. نفوذ هوا از طریق درز پنجره ها و قاب آن ها نیز تأثیری بر اتلاف بار سرمایشی ساختمان به میزان ۳ درصد داشته است. همچنین جذب تابش خورشید از طریق دیوارها، سقف و پنجره ها منجر به اتلاف بار سرمایشی به میزان ۲۰ درصد شده است.

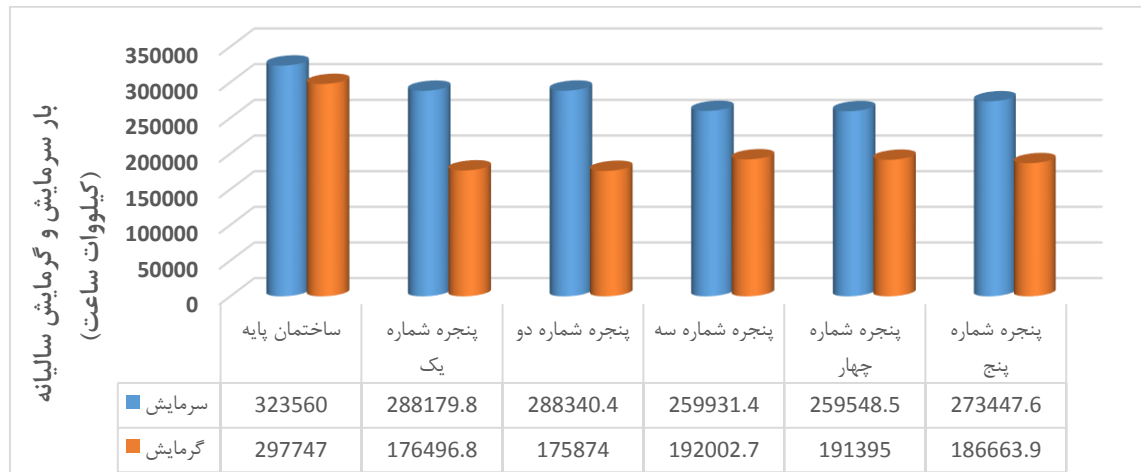
۳-۴ راهکارهای بهینه سازی مصرف انرژی ساختمان شبیه سازی شده

با توجه به توضیحات داده شده در بخش قبل، بهترین راهکارها در ساختمان شبیه سازی شده جهت بهینه سازی مصرف انرژی، بهبود بخشیدن ضرایب مقاومت حرارتی در بخش های سقف، دیوارها و پنجره ها و تولید برق توسط پنل های خورشیدی می باشد.

۱-۳-۴ تعویض پنجره ها

یکی دیگر از راهکارهای مهم بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان شبیه سازی شده، بهبود ضریب انتقال حرارت شیشه ها بر اساس شرایط اقلیمی شهر سمنان می باشد. در این بخش با بکار گیری چند نوع پنجره ارائه شده در جدول (۳-۹) فصل قبل و تعویض قاب پنجره ها از آهنی به قاب یو پی وی سی،

در شکل (۴-۶) مقایسه بار سرمایش و گرمایش ساختمان شبیه سازی شده در حالت پایه و در حالت استفاده از پنج مدل پنجره دوجداره ذکر شده به صورت سالیانه نشان داده شده است.

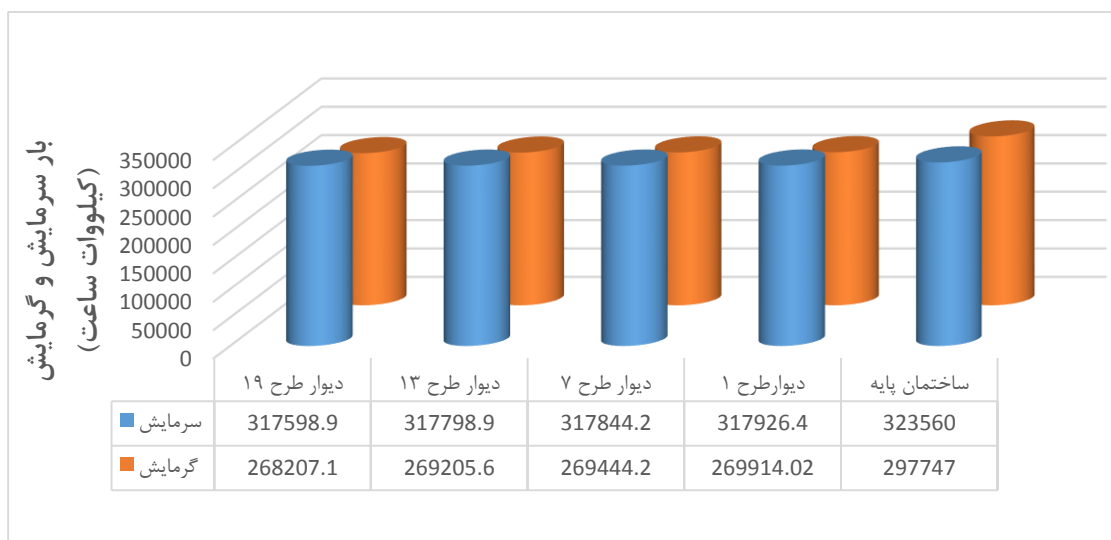


شکل ۴-۶: مقایسه مقدار بار سرمایش و گرمایش سالیانه ساختمان پایه و پنجره ها

با توجه به شکل (۴-۶) نتایج حاصل از شبیه سازی نشان می دهد که استفاده از پنجره دو جداره شماره ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ با قاب یو پی وی سی، به ترتیب میزان انرژی مصرفی سالیانه را نسبت به ساختمان پایه به میزان ۲۵/۳، ۲۵/۳، ۲۷/۳، ۲۷/۵ و ۲۶ درصد بهبود داده است و بالطبع میزان تلفات انرژی نیز کاهش می یابد.

۴-۳-۲ استفاده از انواع عایق ها در دیوار های خارجی ساختمان

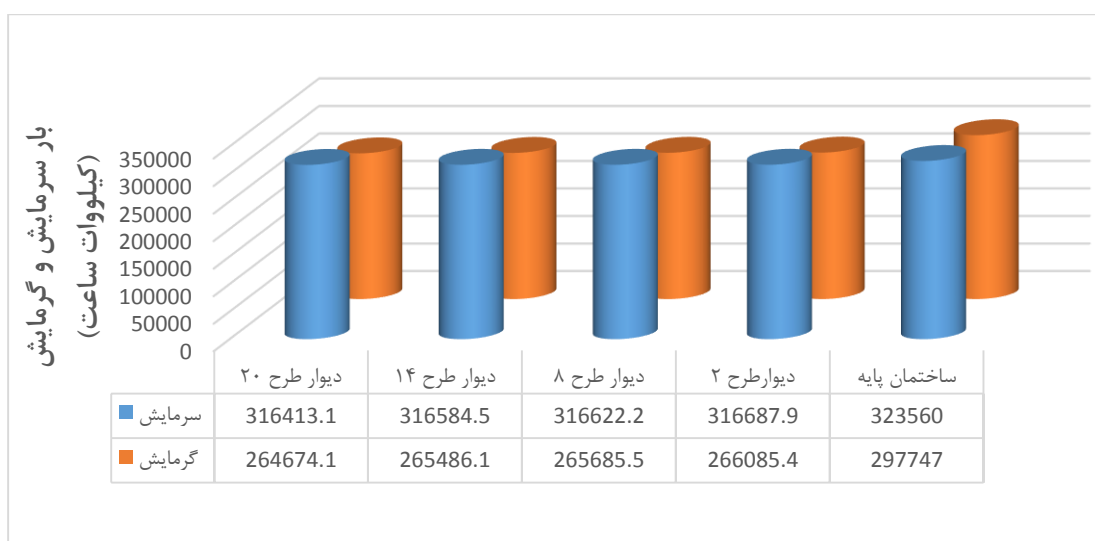
با توجه به خروجی های شبیه سازی انرژی ساختمان موجود، مقدار قابل توجهی از هدر رفت انرژی به دیوارهای خارجی و پشت بام ساختمان اختصاص می یابد. در این قسمت دیوارهای خارجی ساختمان با استفاده از چند نوع عایق مختلف که در جداول (۳-۱۰)، (۳-۱۱)، (۳-۱۲) و (۳-۱۳) معرفی شدند، شبیه سازی شده اند. مقایسه مقدار بار سرمایش و گرمایش سالیانه ساختمان شبیه سازی شده در حالت پایه و در حالت استفاده از چهار نوع عایق های ذکر شده با ضخامت ۴ سانتی متر بر روی دیوارهای خارجی ساختمان در شکل (۴-۷) نشان داده شده است.



شکل ۴-۷: مقایسه مقدار بار سرمایه‌ش و گرمایش سالیانه ساختمان پایه و دیوار ها با عایق ۴ سانتی متر

نتایج حاصل از شبیه سازی نشان می‌دهد که استفاده از چهار نوع عایق مختلف با ضخامت ۴ سانتی متر بر روی دیوار های خارجی ساختمان شبیه سازی شده، به نام های دیوار طرح ۱، ۷، ۱۳ و ۱۹ به ترتیب میزان انرژی مصرفی سالیانه را به میزان $\frac{5}{4}$ ، $\frac{5}{5}$ ، $\frac{5}{6}$ و $\frac{5}{8}$ درصد نسبت به ساختمان پایه بهبود داده است و با اختلاف کمی عایق پلی یورتان با ضخامت ۴ سانتی متر بهینه سازی بهتری دارد.

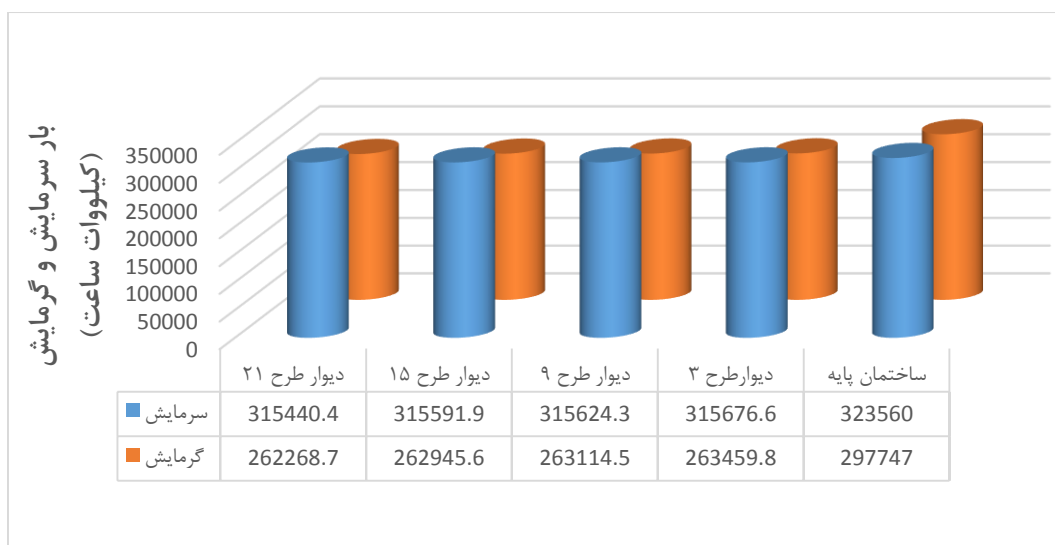
مقایسه مقدار بار سرمایه‌ش و گرمایش سالیانه ساختمان شبیه سازی شده در حالت پایه و در حالت استفاده از چهار نوع عایق های ذکر شده با ضخامت ۶ سانتی متر در شکل (۴-۸) نشان داده شده است.



شکل ۴-۸: مقایسه مقدار بار سرمایه‌ش و گرمایش سالیانه ساختمان پایه و دیوار ها با عایق ۶ سانتی متر

نتایج حاصل از شبیه سازی نشان می دهد که استفاده از چهار نوع عایق مختلف با ضخامت ۶ سانتی متر بر روی دیوار های خارجی ساختمان شبیه سازی شده، به نام های دیوار طرح ۲، ۸، ۱۴ و ۲۰ به ترتیب میزان انرژی مصرفی سالیانه را به میزان ۶/۳، ۶/۳، ۶/۴ و ۶/۵ درصد نسبت به ساختمان پایه بهبود داده است و با اختلاف کمی عایق پلی یورتان با ضخامت ۶ سانتی متر بهینه سازی بهتری دارد.

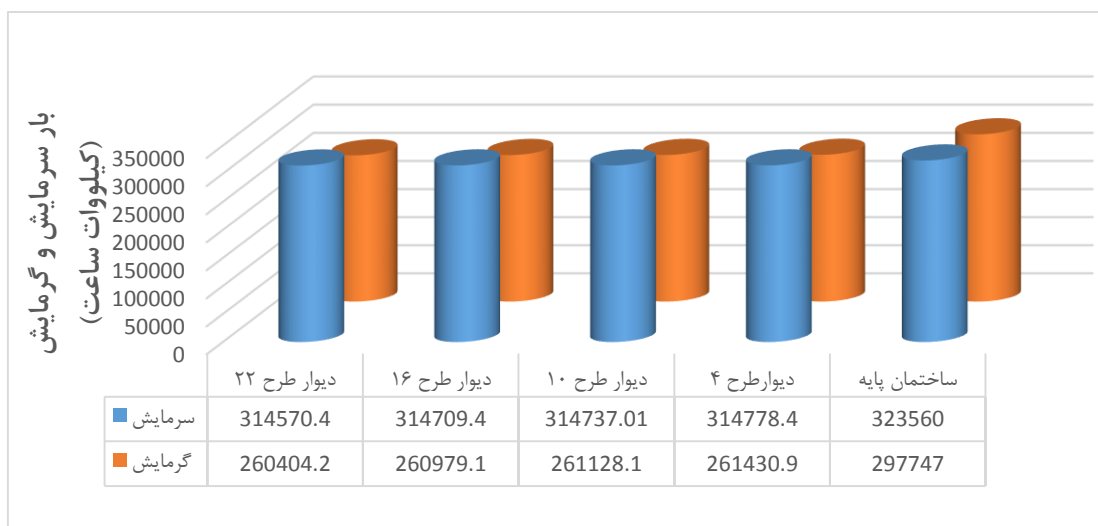
مقایسه مقدار بار سرمایش و گرمایش سالیانه ساختمان شبیه سازی شده در حالت پایه و در حالت استفاده از چهار نوع عایق های ذکر شده با ضخامت ۸ سانتی متر در شکل (۴-۹) نشان داده شده است.



شکل ۴-۹: مقایسه مقدار بار سرمایش و گرمایش سالیانه ساختمان پایه و دیوار ها با عایق ۸ سانتی متر

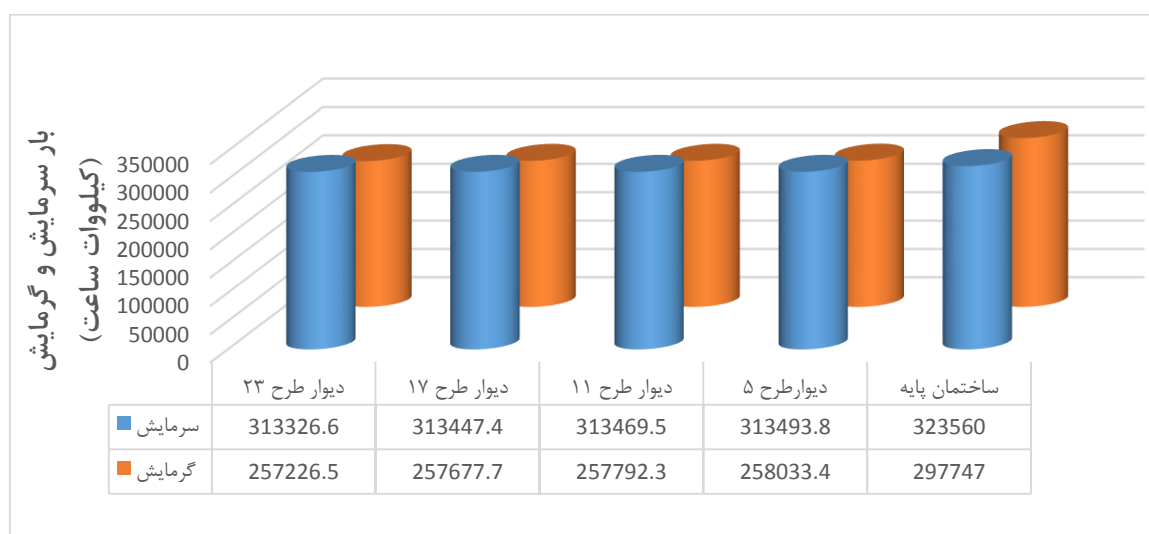
نتایج حاصل از شبیه سازی نشان می دهد که استفاده از چهار نوع عایق مختلف با ضخامت ۸ سانتی متر بر روی دیوار های خارجی ساختمان شبیه سازی شده، به نام های دیوار طرح ۳، ۹، ۱۵ و ۲۱ به ترتیب میزان انرژی مصرفی سالیانه را به میزان ۶/۸، ۶/۹، ۶/۹ و ۷/۱ درصد نسبت به ساختمان پایه بهبود داده است و با اختلاف کمی عایق پلی یورتان با ضخامت ۸ سانتی متر بهینه سازی بهتری دارد.

مقایسه مقدار بار سرمایش و گرمایش سالیانه ساختمان شبیه سازی شده در حالت پایه و در حالت استفاده از چهار نوع عایق های ذکر شده با ضخامت ۱۰ سانتی متر در شکل (۴-۱۰) نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۰: مقایسه مقدار بار سرمایش و گرمایش سالیانه ساختمان پایه و دیوار ها با عایق ۱۰ سانتی متر

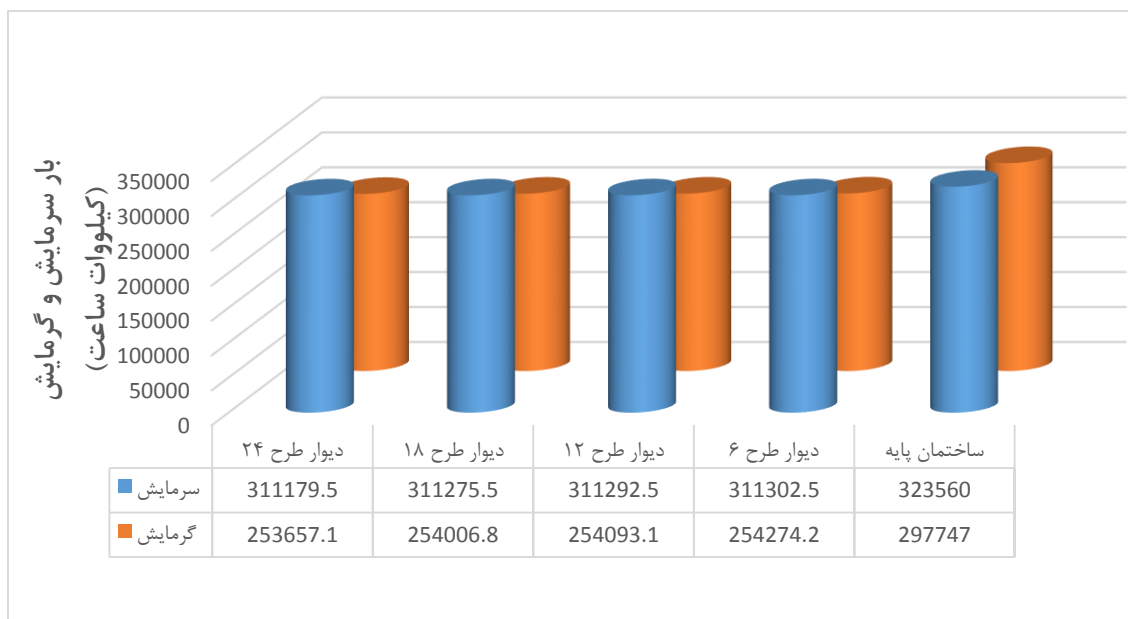
نتایج حاصل از شبیه سازی نشان می دهد که استفاده از چهار نوع عایق مختلف با ضخامت ۱۰ سانتی متر بر روی دیوار های خارجی ساختمان شبیه سازی شده، به نام های دیوار طرح ۴، ۱۰، ۱۶ و ۲۲ به ترتیب میزان انرژی مصرفی سالیانه را به میزان $7/3$ ، $7/4$ ، $7/4$ و $7/5$ درصد نسبت به ساختمان پایه بهبود داده است و با اختلاف کمی عایق پلی یورتان با ضخامت ۱۰ سانتی متر بهینه سازی بهتری دارد. مقایسه مقدار بار سرمایش و گرمایش سالیانه ساختمان شبیه سازی شده در حالت پایه و در حالت استفاده از چهار نوع عایق های ذکر شده با ضخامت ۱۴ سانتی متر در شکل (۴-۱۱) نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۱: مقایسه مقدار بار سرمایش و گرمایش سالیانه ساختمان پایه و دیوار ها با عایق ۱۴ سانتی متر

نتایج حاصل از شبیه سازی نشان می‌دهد که استفاده از چهار نوع عایق مختلف با ضخامت ۱۴ سانتی متر بر روی دیوار های خارجی ساختمان شبیه سازی شده، به نام های دیوار طرح ۵، ۱۱، ۱۷ و ۲۳ به ترتیب میزان انرژی مصرفی سالیانه را به میزان ۸/۱، ۸/۱، ۸/۱ و ۸/۲ درصد نسبت به ساختمان پایه بهبود داده است و با اختلاف کمی عایق پلی یورتان با ضخامت ۱۴ سانتی متر بهینه سازی بهتری دارد.

مقایسه مقدار بار سرمایش و گرمایش سالیانه ساختمان شبیه سازی شده در حالت پایه و در حالت استفاده از چهار نوع عایق های ذکر شده با ضخامت ۲۰ سانتی متر در شکل (۴-۱۲) نشان داده شده است.

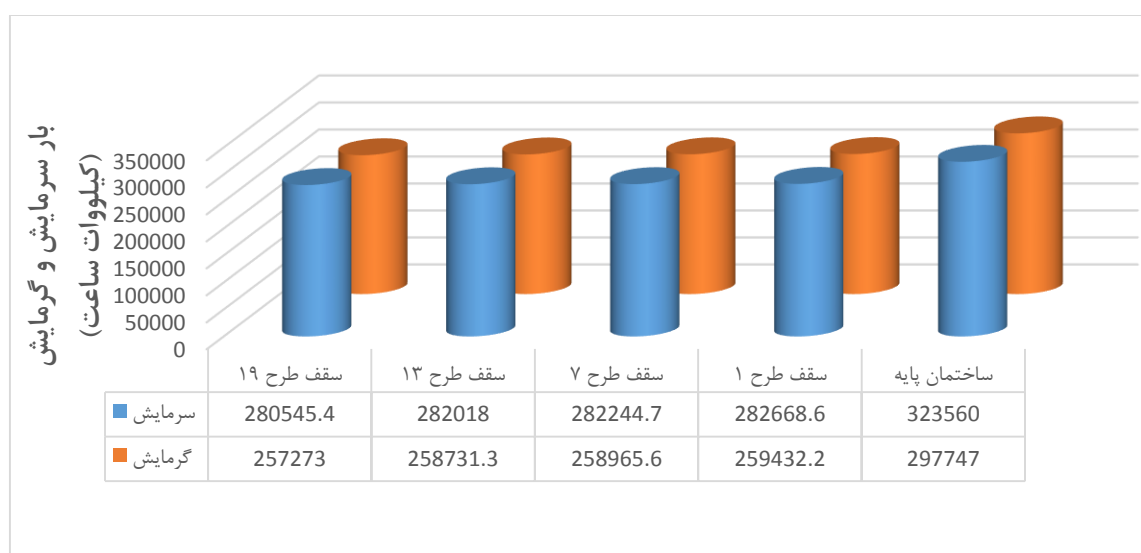


شکل ۴-۱۲: مقایسه مقدار بار سرمایش و گرمایش سالیانه ساختمان پایه و دیوار ها با عایق ۲۰ سانتی متر

نتایج حاصل از شبیه سازی نشان می‌دهد که استفاده از چهار نوع عایق مختلف با ضخامت ۲۰ سانتی متر، بر روی دیوار های خارجی ساختمان شبیه سازی شده، به نام های دیوار طرح ۶، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ به ترتیب میزان انرژی مصرفی سالیانه را به میزان ۸/۹، ۹/۱، ۹/۱ و ۹/۱ درصد نسبت به ساختمان پایه بهبود داده است و عایق های پلی یورتان، پشم سنگ و پشم شیشه با ضخامت ۱۴ سانتی متر بهینه سازی یکسانی دارند.

۳-۳-۴ استفاده از انواع عایق ها برای سقف ساختمان

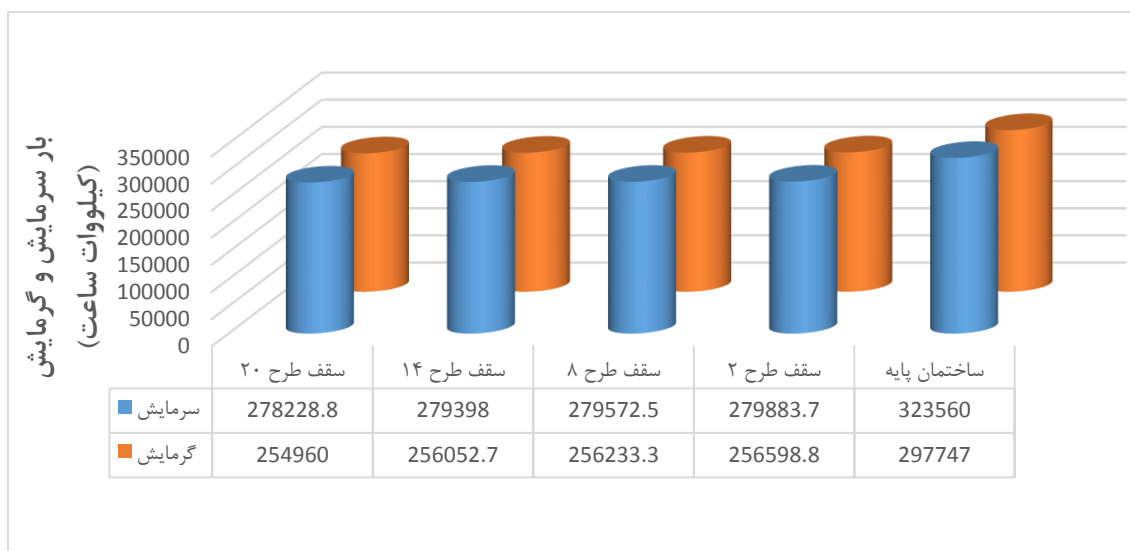
با توجه به خروجی های شبیه سازی انرژی ساختمان موجود، مقدار قابل توجهی از هدر رفت انرژی به دیوارهای خارجی و پشت بام ساختمان اختصاص می یابد. در این قسمت سقف ساختمان با استفاده از چند نوع عایق مختلف که در جداول (۳-۱۴)، (۳-۱۵)، (۳-۱۶) و (۳-۱۷) معرفی شدند، شبیه سازی شده اند. مقایسه مقدار بار سرمایش و گرمایش سالیانه ساختمان شبیه سازی شده در حالت پایه و در حالت استفاده از چهار نوع عایق های ذکر شده با ضخامت ۴ سانتی متر در شکل (۴-۱۳) نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۳: مقایسه مقدار بار سرمایش و گرمایش سالیانه ساختمان پایه و سقف با عایق ۴ سانتی متر

نتایج حاصل از شبیه سازی نشان می دهد که استفاده از چهار نوع عایق مختلف با ضخامت ۴ سانتی متر بر روی سقف ساختمان شبیه سازی شده، به نام های سقف طرح ۱، ۷، ۱۳ و ۱۹ به ترتیب میزان انرژی مصرفی سالیانه را به میزان ۱۲/۸، ۱۲/۹، ۱۲/۹ و ۱۳/۵ درصد نسبت به ساختمان پایه بهبود داده است و مشاهده می شود عایق پلی یورتان با ضخامت ۴ سانتی متر بهینه سازی بهتری دارد.

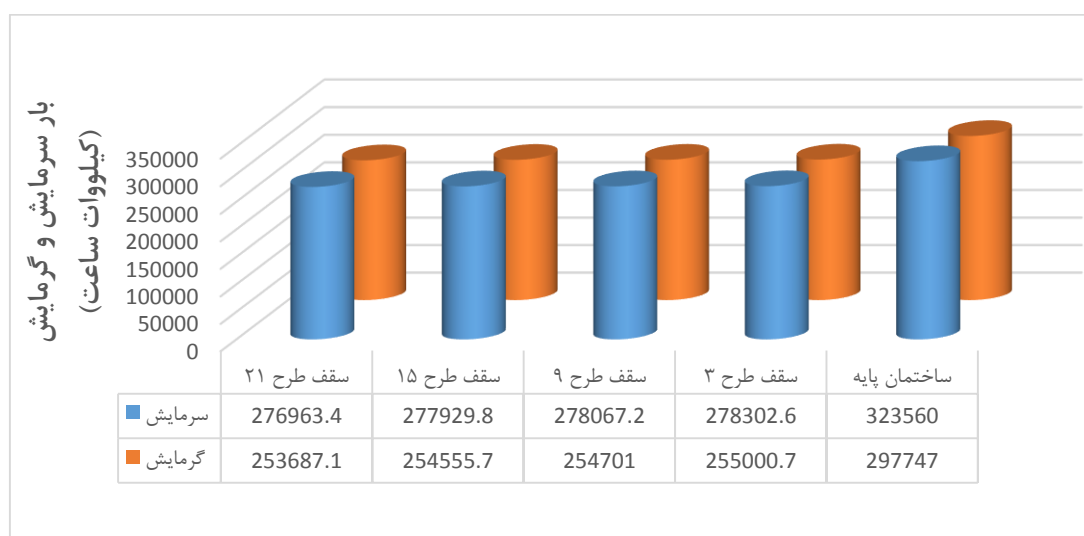
مقایسه مقدار بار سرمایش و گرمایش سالیانه ساختمان شبیه سازی شده در حالت پایه و در حالت استفاده از چهار نوع عایق های ذکر شده با ضخامت ۶ سانتی متر در شکل (۴-۱۴) نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۴: مقایسه مقدار بار سرمایش و گرمایش سالیانه ساختمان پایه و سقف با عایق ۶ سانتی متر

نتایج حاصل از شبیه سازی نشان می دهد که استفاده از چهار نوع عایق مختلف با ضخامت ۶ سانتی متر بر روی سقف ساختمان شبیه سازی شده، به نام های سقف طرح ۲، ۸، ۱۴ و ۲۰، به ترتیب میزان انرژی مصرفی سالیانه را به میزان ۱۳/۷، ۱۳/۸، ۱۳/۹ و ۱۴/۲ درصد نسبت به ساختمان پایه بهبود داده است و مشاهده می شود عایق پلی یورتان با ضخامت ۶ سانتی متر بهینه سازی بهتری دارد.

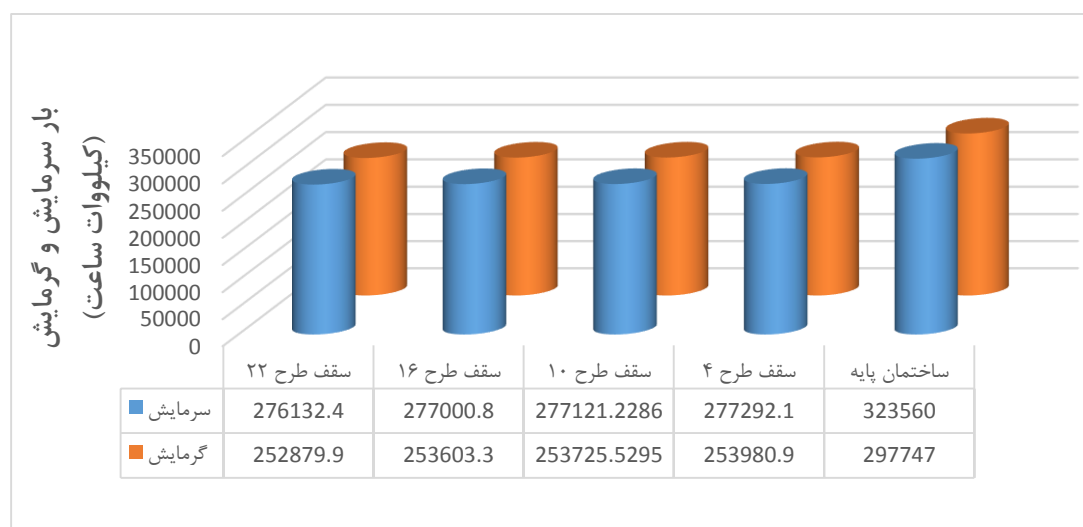
مقایسه مقدار بار سرمایش و گرمایش سالیانه ساختمان شبیه سازی شده در حالت پایه و در حالت استفاده از چهار نوع عایق های ذکر شده با ضخامت ۸ سانتی متر در شکل (۴-۱۵) نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۵: مقایسه مقدار بار سرمایش و گرمایش سالیانه ساختمان پایه و سقف با عایق ۸ سانتی متر

نتایج حاصل از شبیه سازی نشان می دهد که استفاده از چهار نوع عایق مختلف با ضخامت ۸ سانتی متر بر روی سقف ساختمان شبیه سازی شده، به نام های سقف طرح ۳، ۹، ۱۵ و ۲۱، به ترتیب میزان انرژی مصرفی سالیانه را به میزان ۱۴/۲، ۱۴/۳، ۱۴/۳ و ۱۴/۶ درصد نسبت به ساختمان پایه بهبود داده است و مشاهده می شود عایق پلی یورتان با ضخامت ۸ سانتی متر بهینه سازی بهتری دارد.

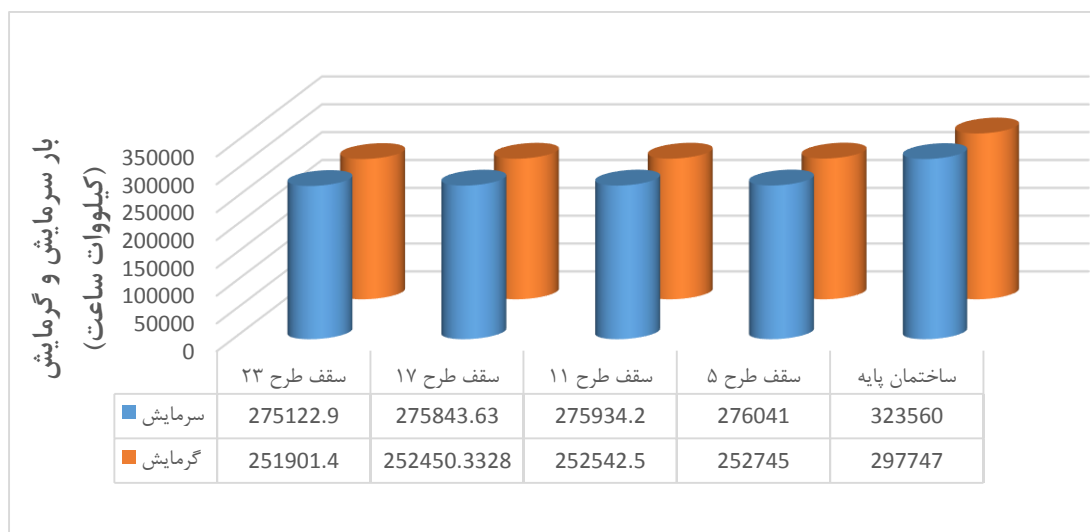
مقایسه مقدار بار سرمایش و گرمایش سالیانه ساختمان شبیه سازی شده در حالت پایه و در حالت استفاده از چهار نوع عایق های ذکر شده با ضخامت ۱۰ سانتی متر در شکل (۴-۱۶) نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۶: مقایسه مقدار بار سرمایش و گرمایش سالیانه ساختمان پایه و سقف با عایق ۱۰ سانتی متر

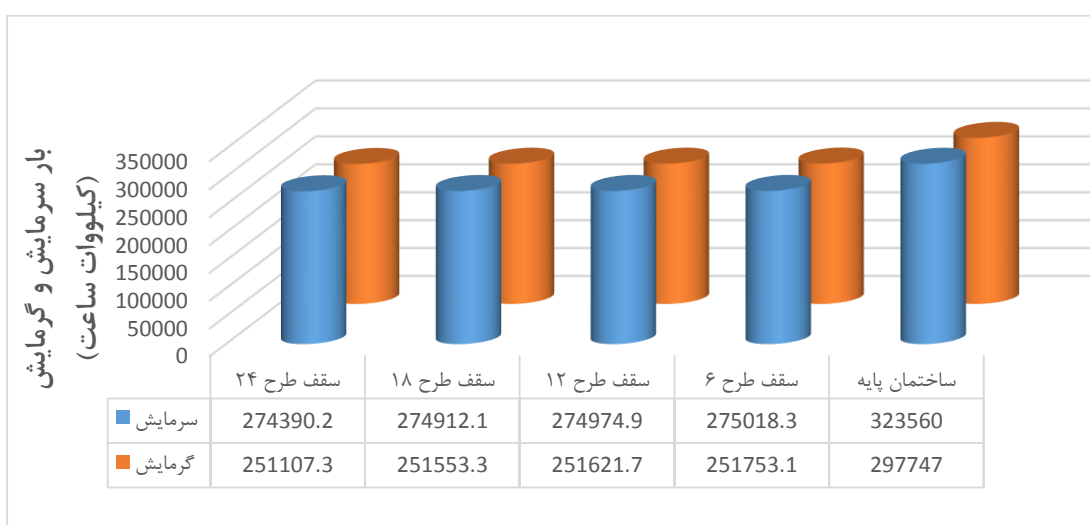
نتایج حاصل از شبیه سازی نشان می دهد که استفاده از چهار نوع عایق مختلف با ضخامت ۱۰ سانتی متر بر روی سقف ساختمان شبیه سازی شده، به نام های سقف طرح ۴، ۱۰، ۱۶ و ۲۲، به ترتیب میزان انرژی مصرفی سالیانه را به میزان ۱۴/۵، ۱۴/۶، ۱۴/۶ و ۱۴/۸ درصد نسبت به ساختمان پایه بهبود داده است و مشاهده می شود عایق پلی یورتان با ضخامت ۱۰ سانتی متر بهینه سازی بهتری دارد.

مقایسه مقدار بار سرمایش و گرمایش سالیانه ساختمان شبیه سازی شده در حالت پایه و در حالت استفاده از چهار نوع عایق های ذکر شده با ضخامت ۱۴ سانتی متر در شکل (۴-۱۷) نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۷: مقایسه مقدار بار سرمایش و گرمایش سالیانه ساختمان پایه و سقف با عایق ۱۴ سانتی متر

نتایج حاصل از شبیه سازی نشان می‌دهد که استفاده از چهار نوع عایق مختلف با ضخامت ۱۴ سانتی متر بر روی سقف ساختمان شبیه سازی شده، به نام های سقف طرح ۵، ۱۱، ۱۷ و ۲۳ به ترتیب میزان انرژی مصرفی سالیانه را به میزان ۱۴/۹، ۱۴/۹، ۱۴/۹ و ۱۵/۲ درصد بهبود داده است و مشاهده می شود عایق پلی یورتان با ضخامت ۱۴ سانتی متر بهینه سازی بهتری دارد. مقایسه مقدار بار سرمایش و گرمایش سالیانه ساختمان شبیه سازی شده در حالت پایه و در حالت استفاده از چهار نوع عایق های ذکر شده با ضخامت ۲۰ سانتی متر در شکل (۴-۱۸) نشان داده شده است.



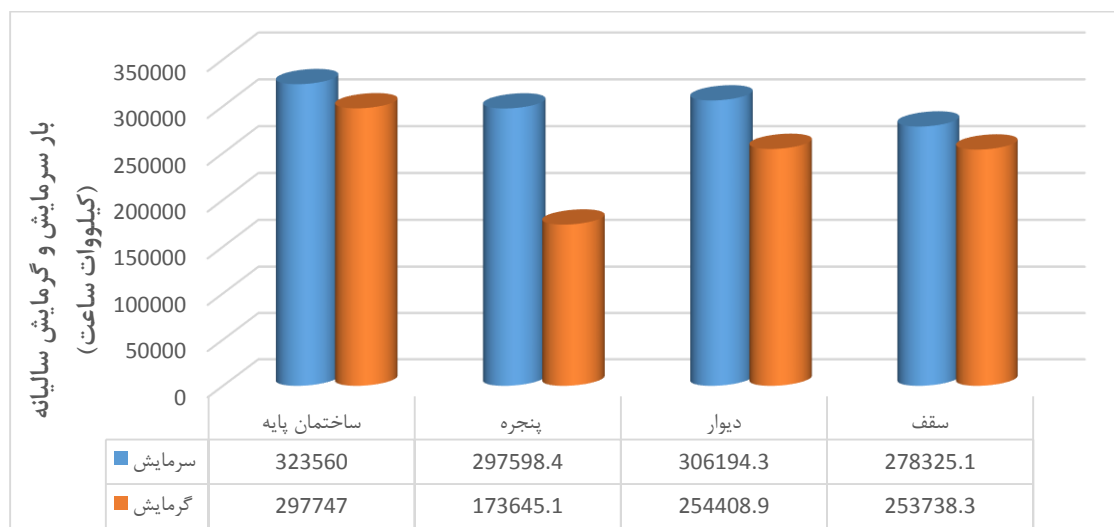
شکل ۴-۱۸: مقایسه مقدار بار سرمایش و گرمایش سالیانه ساختمان پایه و سقف با عایق ۲۰ سانتی متر

نتایج حاصل از شبیه سازی نشان می‌دهد که استفاده از چهار نوع عایق مختلف با ضخامت ۲۰ سانتی متر بر روی سقف ساختمان شبیه سازی شده به نام های سقف طرح ۶، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ به ترتیب میزان انرژی مصرفی سالیانه را به میزان ۱۵/۳، ۱۵/۳، ۱۵/۳ و ۱۵/۵ درصد بهبود داده است و مشاهده می شود عایق پلی یورتان با ضخامت ۲۰ سانتی متر بهینه سازی بهتری دارد.

۴-۳-۴ بهینه سازی بر طبق مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان

با توجه به توضیحات داده شده در فصل قبل، یکی از راهکارهای بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان شبیه سازی شده، بهبود بخشیدن ضرایب مقاومت حرارتی در بخش های سقف، دیوارها و پنجره ها با توجه به شرایط اقلیمی سمنان طبق مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان می باشد.

در شکل (۴-۱۹) مقایسه مقدار بار سرمایش و گرمایش ساختمان شبیه سازی شده در حالت پایه و استفاده از پنجره، سقف و دیوار ارائه شده بر طبق جدول (۳-۱۸) و (۳-۱۹) نشان داده شده است.

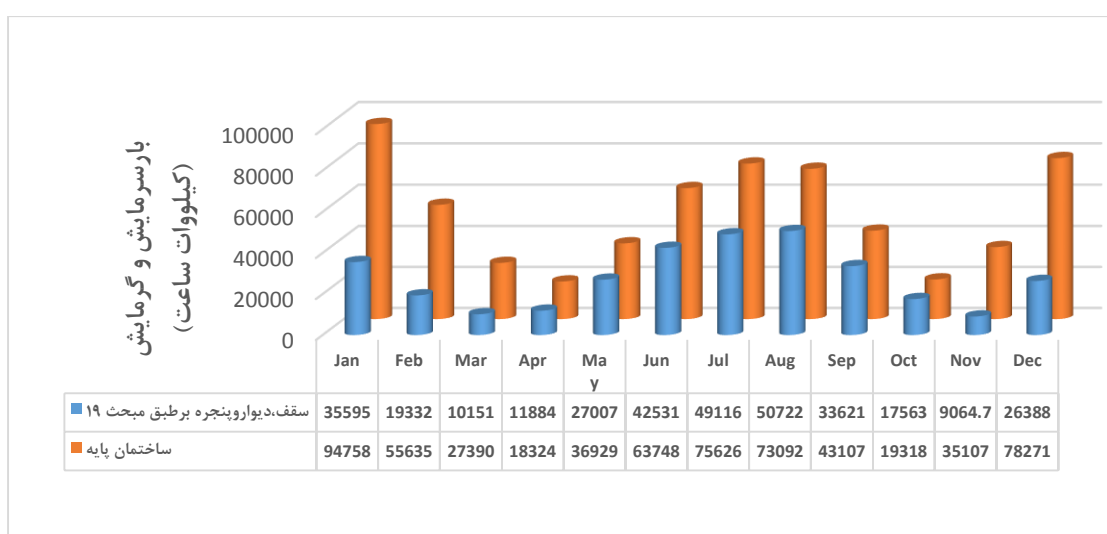


شکل ۴-۱۹: مقایسه مقدار بار سرمایش و گرمایش سالیانه ساختمان پایه و تغییرات بر طبق مبحث ۱۹

نتایج حاصل از شبیه سازی نشان می دهد، با تغییر پنجره، دیوار و سقف بر طبق مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان، بار سرمایش و گرمایش سالیانه ساختمان شبیه سازی شده به ترتیب به میزان ۲۴/۲، ۱۰ و ۱۴/۴ درصد نسبت به ساختمان پایه بهینه سازی شده است.

۴-۳-۱ نتیجه گیری

برای بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان شبیه سازی شده، از بهبود ضرایب انتقال حرارت سقف، دیوار و پنجره طبق مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان به طور همزمان کمک گرفته شده است. مقایسه مقدار بار سرمایش و گرمایش ساختمان شبیه سازی شده در حالت پایه و در حالت استفاده از ضرایب انتقال حرارت سقف، دیوار و پنجره بر طبق مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان در شکل (۴-۲۰) به صورت ماهیانه نشان داده شده است.



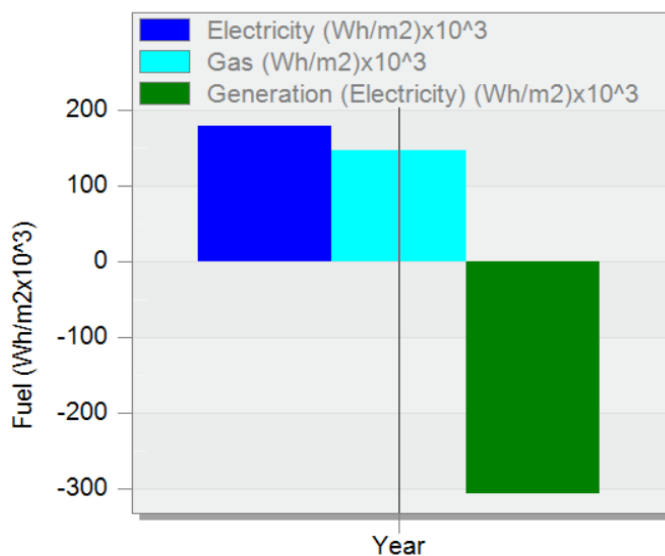
شکل ۴-۲۰: مقایسه مقدار بار سرمایش و گرمایش ماهیانه ساختمان پایه و سقف، دیوار و پنجره بر طبق مبحث ۱۹

نتایج حاصل از شبیه سازی نشان می دهد پس از بهبود ضرایب سقف، دیوار و پنجره بر طبق مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان، بار سرمایی و گرمایی سالیانه ساختمان شبیه سازی شده به میزان ۴۶/۵ درصد نسبت به ساختمان پایه بهینه سازی شده است.

۴-۴ سیستم فتوولتائیک خورشیدی

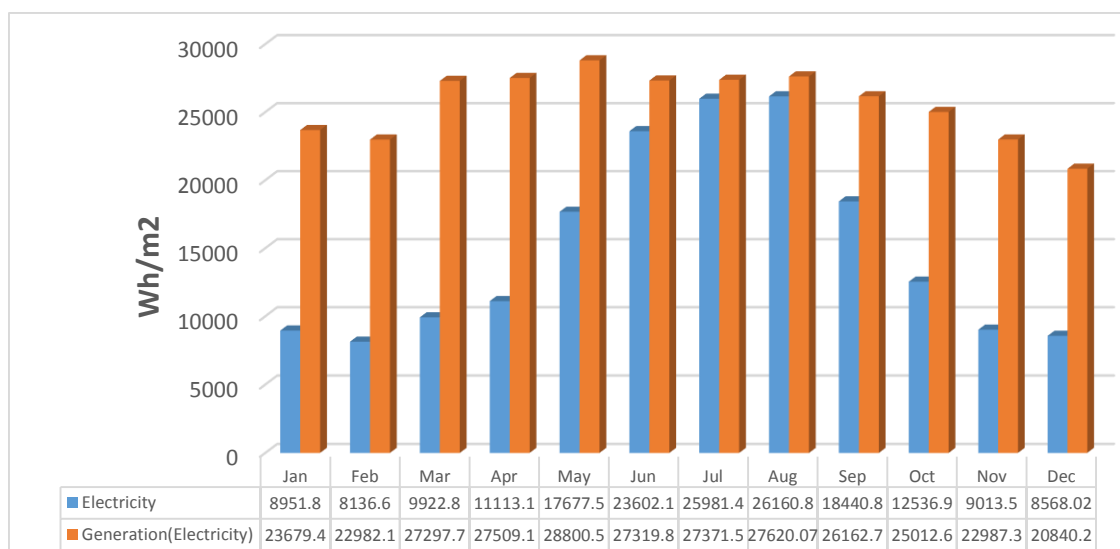
تولید برق توسط پنل های خورشیدی در نظر گرفته شده در طول سال در شکل (۴-۲۱) مشاهده می گردد. تولید انرژی ماهانه توسط پنل های خورشیدی و مصرف انرژی برق در ساختمان در شکل (۴-۲۲) نشان داده شده است. در زمستان به دلیل کوتاه شدن طول روز تولید کاهش می یابد. همچنین

با توجه به بالاتر بودن دمای ماه جولای نسبت به بقیه ماه های سال، با اینکه تشعشع مناسب است به دلیل کاهش بازدهی پنل های خورشیدی در دماهای بالا، تولید انرژی کاهش یافته است.



Electricity (Wh/m²)x10³	180.11
Gas (Wh/m²)x10³	146.36
Generation (Electricity) (Wh/m²)x10³	-307.58

شکل ۴-۲۱: تولید برق توسط پنل های خورشیدی مدل سازی شده



شکل ۴-۲۲: تولید انرژی ماهانه توسط پنل های خورشیدی و مصرف انرژی برق در ساختمان

نتایج مربوط به سیستم فتوولتائیک شبیه سازی شده بر روی سقف ساختمان، تولید برق تا ۳۰۷/۵۸۳۴ کیلووات ساعت در سال را نشان می دهد.

۴-۵ مطالعه اقتصادی

هدف از مطالعه اقتصادی در این پژوهش بررسی رابطه ی بین سرمایه گذاری اولیه در بخش مباحث مرتبط با بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان های اداری، کاهش هزینه های اقتصادی و بازگشت سرمایه های اولیه است و در پی پاسخ به این سؤال است که آیا این سرمایه گذاری در ایران تأثیر مثبت و معنی داری بر کاهش مصرف انرژی در بخش ساختمان های اداری دارد؟

در این بخش با توجه به هزینه لازم برای عایق کاری و در نظر گرفتن صرفه جویی ناشی از عایق کاری در هزینه سوخت، سال های لازم برای بازگشت سرمایه گذاری اولیه با توجه به معادله (۱) حساب شده است. لازم به ذکر است که برای محاسبه قیمت عایق و همچنین پنجره دو جداره، فهرست بها سال ۱۳۹۷ [۱۰۱] مبنای محاسبه قرار گرفته است و تمامی قیمت ها براساس دلار برای سال ۱۳۹۷، که به طور میانگین هر دلار، ۱۱۵۰۰ تومان در نظر گرفته شده، محاسبه شده است.

$$A = \text{Save Cooling (kwh)} = 323559.8 - \text{cooling}$$

$$B = \text{Save Heating (kwh)} = 297747.1 - \text{Heating}$$

$$F = A \times 0.07$$

$$G = B \times 0.01$$

$$C = \text{قیمت هر متر مربع از پنجره یا عایق موردنظر}$$

$$Z = \text{متراژ کل پنجره ها یا عایق موردنظر (مترمربع)}$$

$$H = Z \times C$$

$$R = F + G$$

$$(1) \quad \text{بازگشت سرمایه (سال)} = \frac{\text{هزینه سرمایه ای پروژه}}{\text{صرفه جویی هزینه خالص سالیانه}} = \frac{H}{R}$$

۴-۵-۱ بازگشت سرمایه تعویض پنجره ها

در جدول (۴-۱)، با توجه به میزان مصرف انرژی هر کدام از پنجره ها، قیمت هر پنجره [۱۰۱] و قیمت تمام شده برق و گاز طبق قبض های سال ۱۳۹۷، نتایج بازگشت سرمایه هر کدام از پنجره ها نشان داده شده است.

جدول ۴-۱: نتایج بازگشت سرمایه هر کدام از پنجره ها

شماره پنجره	(A) SAVE COOL (Kwh)	(B) SAVE HEAT (Kwh)	قیمت مینا (A*0.07) دلار (F)	قیمت مینا (B*0.01) دلار (G)	قیمت هر مترمربع (دلار) (C)	(Z*C=H) قیمت کل پنجره	F+G=R	بازگشت سرمایه (H/R)	درصد بهبود نسبت به حالت پایه
۱	۳۵۳۸۰	۱۲۱۲۵۰/۳	۲۴۶۱	۱۸۰	۹/۸	۳۰۳۸	۲۶۴۱	۱/۱ سال	۲۵٪/۳
۲	۳۵۲۱۹/۴	۱۲۱۸۷۳	۲۴۵۰	۱۸۱	۹/۹	۳۰۶۹	۲۶۳۱	۱/۱ سال	۲۵٪/۳
۳	۶۳۶۲۸/۳	۱۰۵۷۴۴/۳	۴۴۲۶	۱۵۷	۱۳/۶	۴۲۱۶	۴۵۸۳	۰/۹ سال	۲۷٪/۳
۴	۶۴۰۱۱/۳	۱۰۶۳۵۲	۴۴۵۲	۱۵۸	۱۳/۶	۴۲۱۶	۴۶۱۱	۰/۹ سال	۲۷٪/۵
۵	۵۰۱۱۲/۲	۱۱۱۰۸۳/۱	۳۴۸۶	۱۶۵	۱۳/۱	۴۰۶۱	۳۶۵۱	۱/۱ سال	۲۶٪

با مقایسه درصد بهبود هر کدام از پنجره ها نسبت به حالت پایه ساختمان و بازگشت سرمایه هر کدام از آن ها، مشخص می گردد که تعویض تمامی پنجره ها به پنجره دوجداره شماره ۴، نه تنها به میزان ۲۷٪/۵ مصرف انرژی ساختمان را بهبود می دهد بلکه بازگشت سرمایه آن نیز کمتر از یک سال می باشد که نتیجه معقولی برای این ساختمان اداری است.

۴-۵-۲ بازگشت سرمایه استفاده از عایق ها بر روی دیوارهای خارجی ساختمان

در جداول (۲-۴)، (۳-۴)، (۴-۴) و (۵-۴) با توجه به میزان مصرف انرژی استفاده از هر کدام از عایق ها، قیمت هر عایق [۱۰۱] و قیمت تمام شده برق و گاز طبق قبض های سال ۱۳۹۷، نتایج بازگشت سرمایه هر کدام از عایق ها بر روی دیوارهای خارجی ساختمان نشان داده شده است.

جدول ۴-۲: نتایج بازگشت سرمایه ضخامت های مختلف از عایق پلی استایرن بر روی دیوارهای خارجی ساختمان

نام دیوار	(A) SAVE COOL (Kwh)	(B) SAVE HEAT (Kwh)	قیمت مبنا (A*0.07) دلار (F)	قیمت مبنا (B*0.01) دلار (G)	قیمت هر مترمربع (دلار) (C)	(Z*C=H) قیمت کل	F+G=R	بازگشت سرمایه (H/R)	درصد بهبود نسبت به حالت پایه
۱	۵۶۳۳/۴	۲۷۸۳۳/۱	۳۹۱/۸	۴۱/۴	۲/۲	۲۸۲۲/۷	۴۳۳/۳	۶/۵ سال	۵٪/۴
۲	۶۸۷۱/۸	۳۱۶۶۱/۷	۴۷۸	۴۷/۱	۳/۳	۴۲۳۴	۵۲۵/۲	۸ سال	۶٪/۳
۳	۷۸۸۳/۱	۳۴۲۸۷/۳	۵۴۸/۳	۵۱/۱	۴/۴	۵۶۴۵/۴	۵۹۹/۵	۹/۴ سال	۶٪/۸
۴	۸۷۸۱/۴	۳۶۳۱۶/۱	۶۱۰/۸	۵۴/۱	۵/۵	۷۰۵۶/۸	۶۶۵	۱۰/۶ سال	۷٪/۳
۵	۱۰۰۶۵/۹	۳۹۷۱۳/۶	۷۰۰/۲	۵۹/۱	۷/۷	۹۸۷۹/۶	۷۵۹/۴	۱۳ سال	۸٪/۱
۶	۱۲۲۵۷/۳	۴۳۴۷۲/۸	۸۵۲/۶	۶۴/۸	۱۱	۱۴۱۱۳/۷	۹۱۷/۴	۱۵/۳ سال	۸٪/۹

جدول ۴-۳: نتایج بازگشت سرمایه ضخامت های مختلف از عایق پشم سنگ بر روی دیوارهای خارجی ساختمان

نام دیوار	(A) SAVE COOL (Kwh)	(B) SAVE HEAT (Kwh)	قیمت مبنا (A*0.07) دلار (F)	قیمت مبنا (B*0.01) دلار (G)	قیمت هر مترمربع (دلار) (C)	(Z*C=H) قیمت کل	F+G=R	بازگشت سرمایه (H/R)	درصد بهبود نسبت به حالت پایه
۷	۵۷۱۵/۵	۲۸۳۰۲/۹	۳۹۷/۶	۴۲/۱	۰,۷	۱۰۲۲/۷	۴۳۹/۷	۲/۳ سال	۵٪/۵
۸	۶۹۳۷/۵	۳۲۰۶۱/۶	۴۸۲/۶	۴۷/۷	۱/۱	۱۵۳۴	۵۳۰/۴	۲/۸ سال	۶٪/۳
۹	۷۹۳۵/۵	۳۴۶۳۲/۵	۵۵۲	۵۱/۶	۱/۵۹	۲۰۴۵/۴	۶۰۳/۶	۳/۳ سال	۶٪/۹
۱۰	۸۸۲۲/۸	۳۶۶۱۹	۶۱۳/۷۶	۵۴/۵	۱/۹۹	۲۵۵۶/۸	۶۶۸/۳	۳/۸ سال	۷٪/۴
۱۱	۱۰۰۹۰/۲	۳۹۹۵۴/۷	۷۰۱/۹	۵۹/۵	۲/۷	۳۵۷۹/۵	۷۶۱/۴	۴/۷ سال	۸٪/۱
۱۲	۱۲۲۶۷/۳	۴۳۶۵۴	۸۵۳/۳	۶۵	۳/۹	۵۱۱۳/۶	۹۱۸/۴	۵/۵ سال	۹٪/۱

جدول ۴-۴: نتایج بازگشت سرمایه ضخامت های مختلف از عایق پشم شیشه بر روی دیوارهای خارجی ساختمان

نام دیوار	(A) SAVE COOL (Kwh)	(B) SAVE HEAT (Kwh)	قیمت مبنا (A*0.07) دلار (F)	قیمت مبنا (B*0.01) دلار (G)	قیمت هر مترمربع (دلار) (C)	قیمت کل (Z*C=H)	F+G=R	بازگشت سرمایه (H/R)	درصد بهبود نسبت به حالت پایه
۱۳	۵۷۶۰/۹	۲۸۵۴۱/۴	۴۰۰/۷	۴۲/۵	۰/۷	۹۴۰/۹	۴۴۳/۳	۲/۱ سال	۵/۱۶
۱۴	۶۹۷۵/۳	۳۲۲۶۱	۴۸۵/۲	۴۸	۱/۱	۱۴۱۱/۳	۵۳۳/۳	۲/۶ سال	۶/۱۴
۱۵	۷۹۶۷/۹	۳۴۸۰۱/۴	۵۵۴/۲	۵۱/۸	۱/۴۶	۱۸۸۱/۸	۶۰۶	۳/۱ سال	۶/۱۹
۱۶	۸۸۵۰/۴	۳۶۷۶۸	۶۱۵/۶	۵۴/۸	۱/۸۳	۲۳۵۲/۲	۶۷۰/۴	۳/۵ سال	۷/۱۴
۱۷	۱۰۱۱۲/۳	۴۰۰۶۹/۴	۷۰۳/۴	۵۹/۷	۲/۵۶	۳۲۹۳	۷۶۳	۴/۳ سال	۸/۱۱
۱۸	۱۲۲۸۴/۲	۴۳۷۴۰/۲	۸۵۴/۵	۶۵/۲	۳/۶	۴۷۰۴/۵	۹۱۹/۷	۵/۱ سال	۹/۱۱

جدول ۵-۴: نتایج بازگشت سرمایه ضخامت های مختلف از عایق پلی یورتان بر روی دیوارهای خارجی ساختمان

نام دیوار	(A) SAVE COOL (Kwh)	(B) SAVE HEAT (Kwh)	قیمت مبنا (A*0.07) دلار (F)	قیمت مبنا (B*0.01) دلار (G)	قیمت هر مترمربع (دلار) (C)	قیمت کل (Z*C=H)	F+G=R	بازگشت سرمایه (H/R)	درصد بهبود نسبت به حالت پایه
۱۹	۵۹۶۰/۹	۲۹۵۳۹/۹	۴۱۴/۶	۴۴	۴/۴	۵۷۲۷/۳	۴۵۸/۷	۱۲/۴ سال	۵/۱۸
۲۰	۷۱۴۶/۶	۳۳۰۷۲/۹	۴۹۷/۱	۴۹/۳	۶/۷	۸۵۹۱	۵۴۶/۴	۱۵/۷ سال	۶/۱۵
۲۱	۸۱۱۹/۴	۳۵۴۷۸/۳	۵۶۴/۸	۵۲/۸	۸/۹	۱۱۴۵۴/۶	۶۱۷/۷	۱۸/۵ سال	۷/۱۱
۲۲	۸۹۸۹/۴	۳۷۳۴۲/۸	۶۲۵/۳	۵۵/۶	۱۱/۱	۱۴۳۱۸/۳	۶۸۱	۲۱ سال	۷/۱۵
۲۳	۱۰۲۳۳/۱	۴۰۵۲۰/۵	۷۱۱/۸	۶۰/۴	۱۵/۶	۲۰۰۴۵/۶	۸۳۲/۶	۲۴ سال	۸/۱۲
۲۴	۱۲۳۸۰/۳	۴۴۰۹۰	۸۶۱۲/۳	۶۵/۷	۲۲/۳	۲۸۶۳۶/۶	۹۲۶/۹	۳۰/۸ سال	۹/۱۱

با مقایسه درصد بهبود هر کدام از عایق ها نسبت به حالت پایه ساختمان و بازگشت سرمایه هر کدام از آن ها، مشخص می گردد که استفاده از عایق پشم شیشه بر اساس بازگشت سرمایه و درصد بهبود مصرف انرژی، نتایج مورد قبولی دارد که از این میان می توان گفت، دیوار طرح ۱۵ که شامل استفاده از عایق پشم شیشه با ضخامت ۸ سانتی متر است انتخاب مناسبی برای دیوار های خارجی ساختمان می باشد.

۴-۵-۳ بازگشت سرمایه استفاده از عایق ها بر روی سقف ساختمان

در جداول (۴-۶)، (۴-۷)، (۴-۸) و (۴-۹) با توجه به میزان مصرف انرژی استفاده از هر کدام از عایق ها، قیمت هر عایق [۱۰۱] و قیمت تمام شده برق و گاز طبق قبض های سال ۱۳۹۷، نتایج بازگشت سرمایه هر کدام از عایق ها بر روی سقف ساختمان نشان داده شده است.

جدول ۴-۶: نتایج بازگشت سرمایه ضخامت های مختلف از عایق پلی استایرن بر روی سقف ساختمان

نام سقف	(A) SAVE COOL (Kwh)	(B) SAVE HEAT (Kwh)	قیمت مبنا (A*0.07) دلار (F)	قیمت مبنا (B*0.01) دلار (G)	قیمت هر مترمربع (دلار) (C)	(Z*C=H) قیمت کل	F+G=R	بازگشت سرمایه (H/R)	درصد بهبود نسبت به حالت پایه
۱	۴۰۸۹/۱	۳۸۳۱۴/۸	۲۸۴۴/۵	۵۷/۱	۲/۲	۵۰۳۹/۹	۲۹۰۱/۷	۱/۷ سال	۱۲٪/۸
۲	۴۳۶۷۶	۴۱۱۴۸/۳	۳۰۳۸/۳	۶۱/۳	۳/۳	۷۵۵۹/۹	۳۰۹۹/۶	۲/۴ سال	۱۳٪/۷
۳	۴۵۲۵۷/۱	۴۲۷۴۶/۳	۳۱۴۸/۳	۶۳/۷	۴/۴	۱۰۰۷۹/۹	۳۲۱۲	۳/۱ سال	۱۴٪/۲
۴	۴۶۲۶۷/۷	۴۳۷۶۶/۱	۳۲۱۸/۶	۶۵/۲	۵/۵	۱۲۵۹۹/۹	۳۲۸۳/۸	۳/۸ سال	۱۴٪/۵
۵	۴۷۵۱۸/۷	۴۵۰۰۲	۳۳۰۵/۶	۶۷	۷۷	۱۷۶۳۹/۹	۳۳۷۲/۷	۵/۲ سال	۱۴٪/۹
۶	۴۸۵۴۱/۴	۴۵۹۹۳/۹	۳۳۷۶/۷	۶۸/۵	۱۱	۲۵۱۹۹/۹	۳۴۴۵/۳	۷/۳ سال	۱۵٪/۳

جدول ۴-۷: نتایج بازگشت سرمایه ضخامت های مختلف از عایق پشم سنگ بر روی سقف ساختمان

نام سقف	(A) SAVE COOL (Kwh)	(B) SAVE HEAT (Kwh)	قیمت مینا (A*0.07) دلار (F)	قیمت مینا (B*0.01) دلار (G)	قیمت هر مترمربع (دلار) (C)	(Z*C=H) قیمت کل	F+G=R	بازگشت سرمایه (H/R)	درصد بهبود نسبت به حالت پایه
۷	۴۱۳۱۵/۱	۳۸۷۸۱/۴	۲۸۷۴	۵۷/۸	۰/۷۹	۱۸۲۶	۲۹۳۱/۹	۰/۶۲ سال	۱۳٪/۹
۸	۴۳۹۸۷/۲	۴۱۵۱۳/۷	۳۰۵۹/۹	۶۱/۸	۱/۱۹	۲۷۳۹/۱	۳۱۲۱/۸	۰/۸۷ سال	۱۳٪/۸
۹	۴۵۴۹۲/۵	۴۳۰۴۶	۳۱۶۴/۶	۶۴/۱	۱/۵	۳۶۵۲/۱	۳۲۲۸/۸	۱/۱ سال	۱۴٪/۳
۱۰	۴۳۴۶۸/۶	۴۴۰۲۱/۶	۳۲۳۰/۵	۶۵/۶	۱/۹۹	۴۵۶۵/۱	۳۲۹۶/۱	۱/۳ سال	۱۴٪/۶
۱۱	۴۷۶۲۵/۵	۴۵۲۰۴/۵	۳۳۱۳	۶۷/۳	۲/۷	۶۳۹۱/۲	۳۳۸۰/۴	۱/۸ سال	۱۴٪/۹
۱۲	۴۸۵۸۴/۸	۴۶۱۲۵/۳	۳۳۷۹/۸	۶۸/۷	۳/۹	۹۱۳۰/۳	۳۴۴۸/۵	۲/۶ سال	۱۵٪/۳

جدول ۴-۸: نتایج بازگشت سرمایه ضخامت های مختلف از عایق پشم شیشه بر روی سقف ساختمان

نام سقف	(A) SAVE COOL (Kwh)	(B) SAVE HEAT (Kwh)	قیمت مینا (A*0.07) دلار (F)	قیمت مینا (B*0.01) دلار (G)	قیمت هر مترمربع (دلار) (C)	(Z*C=H) قیمت کل	F+G=R	بازگشت سرمایه (H/R)	درصد بهبود نسبت به حالت پایه
۱۳	۴۱۵۴۱/۷	۳۹۰۱۵/۷	۲۸۸۹/۸	۵۸/۱	۰/۷	۱۶۷۹/۹	۲۹۴۸	۰/۵ سال	۱۳٪/۹
۱۴	۴۴۱۶۱/۷	۴۱۶۹۴/۴	۳۰۷۲/۱	۶۲/۱	۱/۱	۲۵۱۹/۹	۳۱۳۴/۲	۰/۸ سال	۱۳٪/۹
۱۵	۴۵۶۳۰	۴۳۱۹۱/۴	۳۱۷۴/۲	۶۴/۳	۱/۴	۳۳۵۹/۹	۳۲۳۸/۶	۱/۰۳ سال	۱۴٪/۳
۱۶	۴۶۵۵۸/۹	۴۴۱۴۳/۸	۳۲۳۸/۸	۶۵/۸	۱/۸	۴۱۹۹/۹	۳۳۰۴/۶	۱/۲ سال	۱۴٪/۶
۱۷	۴۷۷۱۶/۲	۴۵۲۹۶/۸	۳۳۱۹/۳	۶۷/۵	۲/۵	۵۸۷۹/۹	۳۳۸۶/۹	۱/۷ سال	۱۴٪/۹
۱۸	۴۸۶۴۷/۶	۴۶۱۹۳/۷	۳۳۸۴/۱	۶۸/۸	۳/۶	۸۳۹۹/۹	۳۴۵۳	۲/۴ سال	۱۵٪/۳

جدول ۴-۹: نتایج بازگشت سرمایه ضخامت های مختلف از عایق پلی یورتان بر روی سقف ساختمان

نام سقف	(A) SAVE COOL (Kwh)	(B) SAVE HEAT (Kwh)	قیمت مینا (A*0.07) دلار (F)	قیمت مینا (B*0.01) دلار (G)	قیمت هر مترمربع (دلار) (C)	(Z*C=H) قیمت کل	F+G=R	بازگشت سرمایه (H/R)	درصد بهبود نسبت به حالت پایه
۱۹	۴۳۰۱۴/۴	۴۰۴۷۴/۱	۲۹۹۲/۳	۶۰/۳	۴/۴	۱۰۲۲۶	۳۰۵۲/۶	۳/۳ سال	۱۳٪/۵
۲۰	۴۵۳۳۱	۴۲۷۸۷/۱	۳۱۵۳/۴	۶۳/۷	۶/۷	۱۵۳۳۹/۱	۳۲۱۷/۲	۴/۷ سال	۱۴٪/۲
۲۱	۴۶۵۹۶/۴	۴۴۰۵۹/۹	۳۲۴۱/۴	۶۵/۶	۸/۹	۲۰۴۵۲/۲	۳۳۰۷/۱	۶/۱ سال	۱۴٪/۶
۲۲	۴۷۴۲۷/۳	۴۴۸۶۷/۲	۳۲۹۹/۲	۶۶/۸	۱۱/۱	۲۵۵۶۵/۲	۳۳۶۶/۱	۷/۵ سال	۱۴٪/۸
۲۳	۴۸۴۳۶/۸	۴۵۸۴۵/۷	۳۳۶۹/۵	۶۸/۳	۱۵/۶	۳۵۷۹۱/۳	۳۴۳۷/۸	۱۰/۴ سال	۱۵٪/۲
۲۴	۴۹۱۶۹/۵	۴۶۶۳۹/۸	۳۴۲۰/۴	۶۹/۵	۲۲/۳	۵۱۱۳۰/۵	۳۴۹۰	۱۴/۶ سال	۱۵٪/۵

با مقایسه درصد بهبود هر کدام از عایق ها نسبت به حالت پایه ساختمان و بازگشت سرمایه هر کدام از آن ها، مشخص می گردد که استفاده از عایق پشم شیشه بر اساس بازگشت سرمایه و درصد بهبود مصرف انرژی، نتایج مورد قبولی دارد که از این میان می توان گفت، سقف طرح ۱۴ که شامل استفاده از عایق پشم شیشه با ضخامت ۶ سانتی متر است انتخاب مناسبی برای سقف ساختمان می باشد.

۴-۵-۴ محاسبه دوره بازگشت سرمایه تنزیل شده

مساله ای که در مورد محاسبه دوره بازگشت سرمایه وجود دارد این است که بر خلاف سایر شاخص های مالی مانند ارزش فعلی خالص^{۵۶}، نرخ بازده داخلی^{۵۷} و جریان نقدی تنزیل شده، ارزش زمانی پول نادیده گرفته می شود. این محدودیت با تعریف دوره بازگشت سرمایه تنزیل شده^{۵۸} بر طرف شده است. دوره بازگشت سرمایه تنزیل شده که در معادله (۲) ذکر شده است [۱۰۲] مدت زمان لازم

⁵⁶ Net present value (NPV)

⁵⁷ Internal rate of return (IRR)

⁵⁸ Discounted Payback Period (DPP)

برای جبران هزینه های سرمایه گذاری بر اساس ارزش فعلی خالص جریان نقدی است. بر خلاف دوره بازگشت سرمایه، نشان دهنده مقدار زمان لازم برای بازگشت هزینه های سرمایه گذاری در یک پروژه است که بر اساس جریان های نقدی تنزیل شده محاسبه می شود. دوره بازگشت سرمایه تنزیل شده معمولاً بیشتر از دوره بازگشت سرمایه عادی است.

$$DPP = \frac{-\ln(1 - \frac{H \times k}{R})}{\ln(1 + k)} \quad (2)$$

در معادله (۲)، H ، R و k به ترتیب نشان دهنده میزان سرمایه گذاری، صرفه جویی سالانه و نرخ تنزیل هستند. نرخ تنزیل به طور میانگین ۱۰ درصد در نظر گرفته شده است و در جداول (۴-۱۰) تا (۴-۱۸) نتایج بازگشت سرمایه تنزیل شده هر کدام از روش ها نشان داده شده است.

جدول ۴-۱۰: نتایج بازگشت سرمایه تنزیل شده تعویض پنجره ها

نوع پنجره	پنجره شماره ۱	پنجره شماره ۲	پنجره شماره ۳	پنجره شماره ۴	پنجره شماره ۵
بازگشت سرمایه	۱/۲ سال	۱/۳ سال	۱ سال	۱ سال	۱/۲ سال

جدول ۴-۱۱: نتایج بازگشت سرمایه تنزیل شده عایق پلی استایرن بر روی دیوارهای خارجی ساختمان

نام دیوار	۱	۲	۳	۴	۵	۶
بازگشت سرمایه	۱۱ سال	۱۷/۲ سال	۲۹ سال	۳۵ سال	۴۰ سال	۴۴ سال

جدول ۴-۱۲: نتایج بازگشت سرمایه تنزیل شده عایق پشم سنگ بر روی دیوارهای خارجی ساختمان

نام دیوار	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
بازگشت سرمایه	۲/۷ سال	۳/۵ سال	۴/۳ سال	۵ سال	۶/۶ سال	۸/۵ سال

جدول ۴-۱۳: نتایج بازگشت سرمایه تنزیل شده عایق پشم شیشه بر روی دیوارهای خارجی ساختمان

نام دیوار	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸
بازگشت سرمایه	۲/۵ سال	۳/۲ سال	۳/۹ سال	۴/۵ سال	۵/۹ سال	۷/۵ سال

جدول ۴-۱۴: نتایج بازگشت سرمایه تنزیل شده عایق پلی یورتان بر روی دیوارهای خارجی ساختمان

نام دیوار	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴
بازگشت سرمایه	۱۵/۱ سال	۱۸/۲ سال	۲۴ سال	۲۹/۲ سال	۳۵ سال	۴۱/۳ سال

جدول ۴-۱۵: نتایج بازگشت سرمایه تنزیل شده عایق پلی استایرن بر روی سقف ساختمان

نام سقف	۱	۲	۳	۴	۵	۶
بازگشت سرمایه	۲ سال	۲/۹ سال	۳/۹ سال	۵ سال	۷/۷ سال	۱۳/۷ سال

جدول ۴-۱۶: نتایج بازگشت سرمایه تنزیل شده عایق پشم سنگ بر روی سقف ساختمان

نام سقف	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
بازگشت سرمایه	۰/۷ سال	۰/۹ سال	۱/۲ سال	۱/۵ سال	۲/۱ سال	۳/۲ سال

جدول ۴-۱۷: نتایج بازگشت سرمایه تنزیل شده عایق پشم شیشه بر روی سقف ساختمان

نام سقف	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸
بازگشت سرمایه	۰/۶ سال	۰/۹ سال	۱/۲ سال	۱/۴ سال	۲ سال	۲/۹ سال

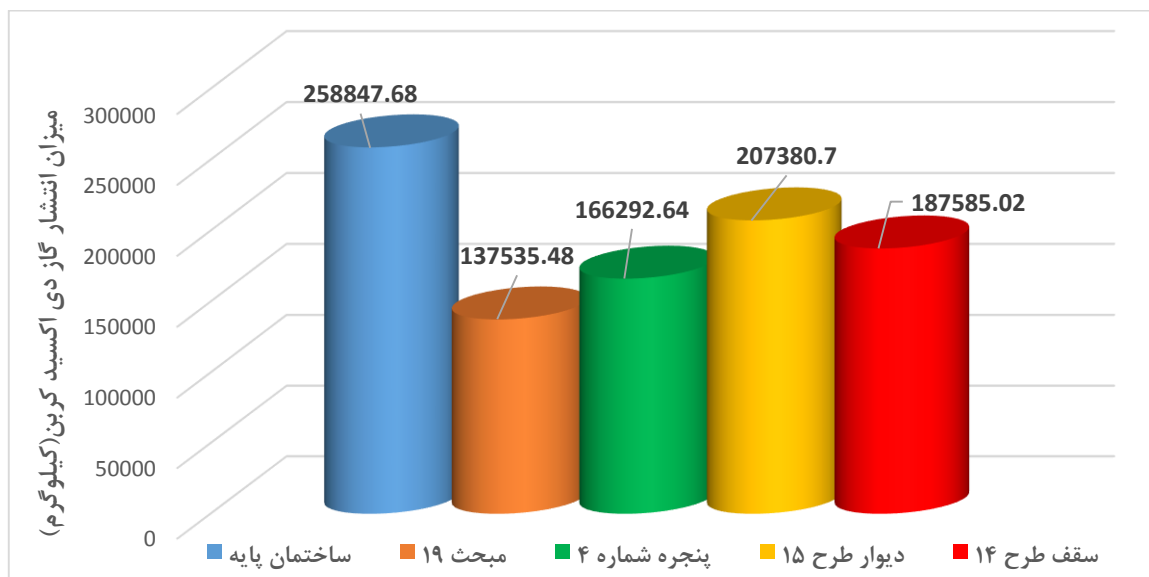
جدول ۴-۱۸: نتایج بازگشت سرمایه تنزیل شده عایق پلی یورتان بر روی سقف ساختمان

نام سقف	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴
بازگشت سرمایه	۴/۲ سال	۶/۷ سال	۱۰ سال	۱۴/۹ سال	۳۲ سال	۳۸ سال

بررسی جداول بالا نشان می دهد که با در نظر گرفتن نرخ تنزیل، بازگشت سرمایه هرکدام از روش ها بیشتر می شود. با مقایسه درصد بهبود صرفه جویی در مصرف انرژی ساختمان و بازگشت سرمایه آن ها به انتخاب یک سناریو بهینه که شامل استفاده از پنجره دوجداره شماره ۴، عایق پشم شیشه با ضخامت ۸ سانتی متر بر روی دیوارهای خارجی (دیوار طرح ۱۵) و استفاده از عایق پشم شیشه با ضخامت ۶ سانتی متر بر روی سقف ساختمان (سقف طرح ۱۴) پرداخته شد.

۴-۶ آلودگی های زیست محیطی

بیشترین گاز گلخانه ای منتشر شده، گاز دی اکسید کربن می باشد که توسط بخش خانگی، اداری و تجاری صورت گرفته است [۸]. در شکل (۴-۲۳) میزان انتشار دی اکسید کربن توسط حالت های منتخب نشان داده شده است.



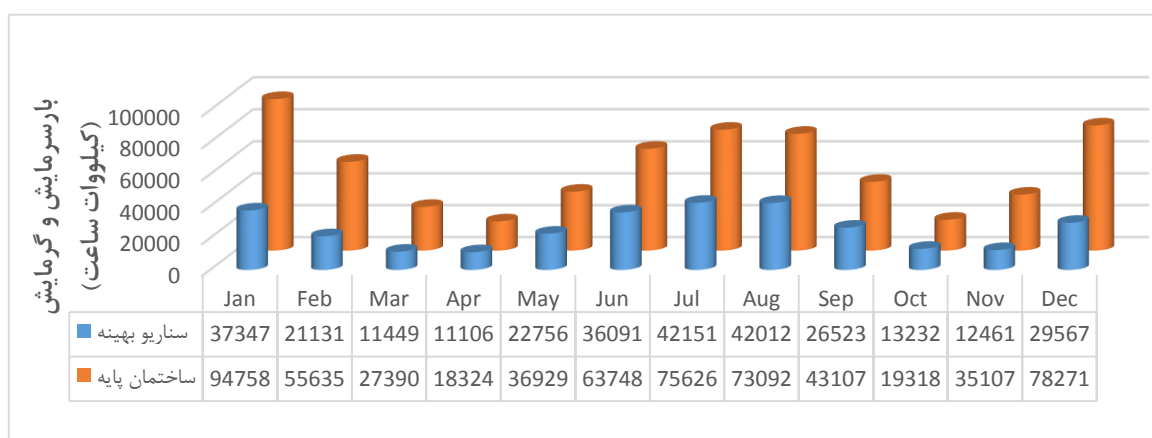
شکل ۴-۲۳: میزان انتشار گاز دی اکسید کربن برای حالت های مختلف

(۱) هر یک متر مکعب گاز طبیعی معادل تقریباً ۱۰/۵ کیلووات ساعت می باشد.
 (۲) به ازای سوختن هر یک متر مکعب گاز طبیعی، ۱۰۰۰ لیتر گاز دی اکسید کربن (۱/۸ کیلوگرم) و ۱/۴ لیتر بخار آب تولید می کند.
 (۳) به ازای هر ۳/۵ کیلووات ساعت برق تولید شده در نیروگاه ها، یک مترمکعب گاز مصرف می شود.
 با توجه به شکل (۴-۲۳)، مشاهده می شود که نسبت به ساختمان پایه، استفاده از سقف طرح ۱۴، دیوار طرح ۱۵، پنجره شماره ۴ و بهینه سازی ساختمان بر طبق مبحث ۱۹ مقررات ملی به ترتیب منجر به کاهش میزان دی اکسید کربن به میزان ۲۷/۶٪، ۱۹/۹٪، ۳۵/۸٪ و ۴۶/۹٪ شده است.

۵. جمع بندی و ارائه پیشنهادها

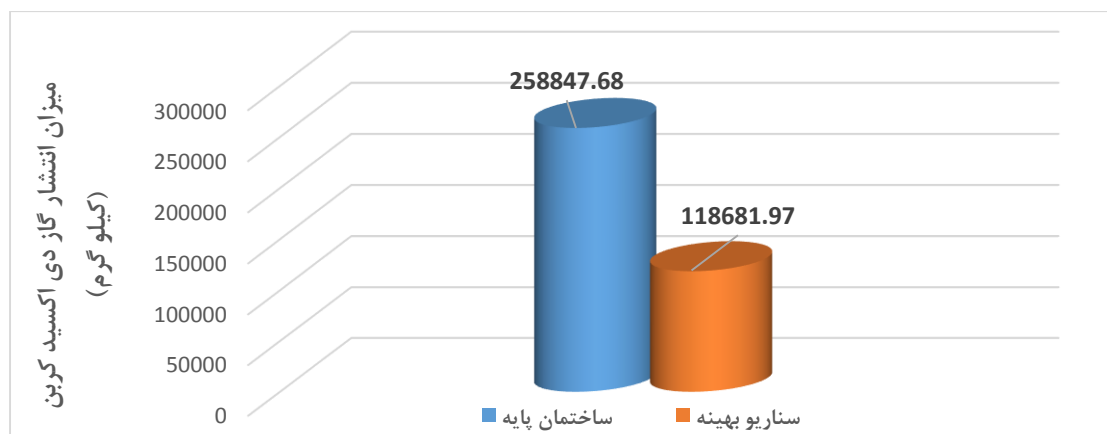
۵-۱ سناریو بهینه

پس از بررسی های انجام شده در فصل های قبل و محاسبه بازگشت سرمایه هر کدام از آن ها، یک سناریو بهینه که هم از لحاظ فنی و هم از لحاظ اقتصادی مناسب ساختمان اداری مذکور باشد با تغییر پنجره ها به پنجره شماره چهار، دیوار شماره پانزده و سقف شماره چهارده انتخاب شده است. مقایسه مقدار بار سرمایش و گرمایش ساختمان شبیه سازی شده در حالت پایه و سناریو بهینه در شکل (۵-۱) به صورت ماهیانه نشان داده شده است.



شکل ۵-۱: مقایسه مقدار بار سرمایش و گرمایش ماهیانه ساختمان پایه و سناریو بهینه

نتایج حاصل از شبیه سازی نشان می دهد که سناریو بهینه شبیه سازی شده، میزان انرژی مصرفی سالیانه را به میزان ۵۰/۸ درصد بهبود داده است. در شکل (۵-۲) مقایسه میزان انتشار دی اکسید کربن توسط ساختمان پایه و سناریو بهینه نشان داده شده است.



شکل ۵-۲: مقایسه میزان انتشار دی اکسید کربن توسط ساختمان پایه و سناریو بهینه

نتایج نشان می دهد که سناریو بهینه شبیه سازی شده، منجر به کاهش میزان دی اکسید کربن به میزان ۵۴/۲ درصد نسبت به ساختمان پایه شده است. محاسبه بازگشت سرمایه سناریو بهینه، ۰/۷ سال محاسبه شده است.

۵-۲ جمع بندی

با توجه به مطالب ذکر شده در این پایان نامه می توان نتیجه گرفت که کاهش مصرف انرژی در ساختمان های اداری ناچیز نیست که از آن صرف نظر کرد. و با توجه به اهمیت مسائلی از جمله کاهش تولید دی اکسید کربن، فرهنگ سازی و دیگر فواید جانبی ذکر شده در این رساله، استفاده از پنجره های دوجداره و عایق های انتخاب شده برای سقف و جداره های خارجی ساختمان، توصیه می شود. با در نظر گرفتن بازگشت سرمایه هر کدام از این روش ها، همانطور که گفته شد سرمایه گذاری اولیه در این زمینه توجیه پذیر خواهد بود.

✓ استفاده از سیستم خورشیدی در شرایط فعلی جامعه با توجه به نیاز فزاینده به انرژی علاوه بر امکان درآمدزایی، باعث ایجاد فضای مناسب به منظور فرهنگ سازی، حرکت به سمت کاهش مصرف انرژی و تولید برق از طریق انرژی های پایان ناپذیر می گردد.

✓ استفاده از مصالح عایق در ساختار بیرونی ساختمان مانند دیوار و سقف، یکی از عوامل مهم کاهش دهنده مصرف انرژی گرمایشی می باشد. باتوجه به این که استفاده از عایق در ایران رواج ندارد، یکی از کارهای مهم در این راستا ارائه کمک های نقدی دولت جهت خرید و استفاده از آن ها می باشد.

✓ با تعویض پنجره های ساختمان اداری از تک جداره با قاب آهنی به پنجره های دوجداره با قاب یو پی وی سی می توان بیشینه تا ۲۵٪ الی ۲۷٪ میزان مصرف انرژی سالیانه جهت سرمایش و گرمایش را کاهش داد.

- ✓ با عایق کاری دیوارهای خارجی ساختمان اداری می توان بیشینه تا ۵٪ الی ۹٪ میزان مصرف انرژی سالیانه جهت سرمایش و گرمایش را کاهش داد.
- ✓ با عایق کاری سقف ساختمان اداری می توان بیشینه تا ۱۲٪ الی ۱۵٪ میزان مصرف انرژی سالیانه جهت سرمایش و گرمایش را کاهش داد.
- ✓ تأثیر عایق کاری سقف بر کاهش مصرف انرژی بیشتر از عایق کاری دیوارهای خارجی در ساختمان اداری است.
- ✓ با جلوگیری از نشت نفوذ هوا به داخل، مانند استفاده از پنجره های دوجداره، هدررفت انرژی به طرز چشم گیری کاهش می یابد.
- ✓ با بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان، تغییر در انتشار دی اکسیدکربن، قابل مشاهده است. بنابراین نه تنها به کاهش مصرف انرژی، دست پیدا می کنیم، بلکه سبب کاهش گازهای گلخانه ای می گردیم. البته این نکته حائز اهمیت است که در مقیاس وسیع تر کاهش چشمگیرتر دی اکسید کربن، قابل ملاحظه می باشد.
- ✓ اقلیم نقشی مؤثر بر میزان انرژی مصرفی دارد، از این رو ساخت ساختمان های مشابه با سیستم های سرمایشی-گرمایشی یکسان، به هیچ عنوان صحیح نیست. بنابراین توجه به اقلیم در طراحی بار سرمایش و بار گرمایش از نکات مهم، محسوب می شود.
- ✓ ایران به علت قرار گیری برروی کمربند خورشیدی، به طور قابل ملاحظه ای دارای توان بالقوه جهت استفاده از انرژی خورشیدی می باشد. در مقیاس بزرگ تر از یک ساختمان، احداث نیروگاه های خورشیدی می تواند در کنار صرفه جویی در مصرف سوخت ها فسیلی، یکی از مهم ترین راه های نجات منابع انرژی تجدیدناپذیر و محیط زیست باشد.

۳-۵ ارائه پیشنهادها

به منظور ارتقای سطح کیفی تحقیق حاضر و انجام مطالعه ی جامع تر در راستای موضوع این پایان

نامه، پیشنهادها و توصیه هایی به شرح زیر مطرح می گردد:

✓ بررسی تاثیرگذاری سیستم های تهویه مطبوع با ساختارهای متفاوت بر میزان سرمایش و

گرمایش ساختمان و همچنین تاثیر بر میزان مصرف انرژی

✓ بررسی تاثیر تعداد دفعات و میزان باز شدن پنجره های ساختمان در مصرف انرژی و یافتن

مقدار بهینه در استفاده از پنجره در ساختمان ها

✓ بررسی سیستم روشنایی ساختمان ها و تاثیر آن بر میزان مصرف انرژی و همچنین بررسی

تاثیرگذاری نوع لامپ ها و سیستم هوشمند

✓ بررسی میزان تولید سیستم های فتوولتاییک با استفاده از اینورترهای متصل به شبکه با

برندهای مختلف

✓ یافتن ساعات پیک مصرف در ساختمان ها و تامین برق از طریق سیستم های ذخیره سازی

یا سیستم های تجدید پذیر از جمله سیستم فتوولتاییک خورشیدی

✓ تعویض و مقایسه انواع سیستم های گرمایشی و سرمایشی

✓ بررسی مقدار مصرفی آب ساختمان و ارائه راهکارهایی در جهت کاهش آن

✓ تحلیل جریان دینامیکی هوا در داخل و خارج ساختمان برحسب دما، سرعت و فشار

✓ اعمال شرایط پشت بام سبز برای ساختمان مدل سازی شده

عہدِ پیوست

قانون اول ترمودینامیک:

باتوجه به قانون اول ترمودینامیک، انرژی در اثر اندرکنش های یک سیستم با محیط اطرافش انتقال می یابد که این اندرکنش ها کار و گرما نام دارند. گرما یا حرارت به دلیل انتقال انرژی به سیستم یا از سیستم است که ناشی از اختلاف دمای سیستم با پیرامون است. هدف از مطالعه و تحقیق در انتقال حرارت، بررسی شیوه های انتقال گرما و به دست آوردن روابطی برای محاسبه نرخ انتقال گرما است. قبل از هرگونه تحلیل باید قانون اول ترمودینامیک که به قانون بقای انرژی معروف است در نظر گرفته شود. رابطه بقای انرژی به صورت زیر نوشته می شود [۱۰۳]:

$$\dot{Q} - \dot{W} = \frac{dE_{in}}{dt} \quad (۱)$$

در این رابطه $\dot{Q}$ نرخ انتقال حرارت خالص به سیستم (ورودی و خروجی)، $\dot{W}$ توان خالص سیستم (در مسایل انتقال حرارت کمتر مطرح می شود) و $\frac{dE_{in}}{dt}$ نرخ تغییرات انرژی داخلی در سیستم است که به دو شکل $mC \frac{dT}{dt}$ (نرخ تغییرات انرژی محسوس سیستم) و $\dot{m}h_{fg}$ (نرخ تغییرات انرژی نهان سیستم یا تبدیل فاز) است. با توجه به اینکه در بحث انتقال حرارت و تهویه مطبوع یم ساختمان، سیستم هوای داخل اتاق است، با صرف نظر از ترم های توان خالص سیستم و نرخ تغییرات انرژی نهان سیستم (تبدیل فاز)، قانون بقای انرژی به صورت زیر نوشته می شود [۱۰۳]:

$$\sum q = mC \frac{dT}{dt} \quad (۲)$$

در رابطه بالا $\sum q$ شامل سه ترم نرخ حرارت ورودی به سیستم، نرخ حرارت خروجی از سیستم و نرخ حرارت تولیدی در سیستم است. یکی از روش های مفید و کاربردی برای مدل سازی حرارتی ساختمان، استفاده از مدار معادل حرارتی یا روش شبکه بندی مقاومت - خازن^{۵۹} است که در آن شبکه به یک مدار الکتریکی شبیه می شود و از طریق آن رفتار دینامیکی سیستم توصیف می شود. مدل سازی به

⁵⁹ Resistance Capacitance(RC)

روش مقاومت - خازن بر مبنای توصیف انتقال حرارت بین گره هایی که نشان دهنده دما هستند، استوار است. یک اتاق را می توان به صورت شبکه ای از سیستم های مرتبه اول، که در آن گره ها حالت های سیستم هستند در نظر گرفت و این حالت های سیستم نشان دهنده دمای اتاق یا درجه حرارت در دیوارهای اتاق است.

مدار حرارتی معادل:

به طور خاص یک شباهتی میان نفوذ حرارت و بار الکتریکی وجود دارد. در حالت پایا می توان برای حالت های مختلف انتقال حرارت مانند هدایت و جابجایی، مقاومت های حرارتی تعریف کرد. بر این اساس می توان یک مدار حرارتی معادل برای تحلیل رفتار حرارتی سیستم ایجاد کرد. همان طور که مقاومت الکتریکی با انتقال الکتریسیته همراه است، در یک مقاومت حرارتی هم ممکن است انتقال حرارت مطرح شود. با تعریف مقاومت به عنوان نسبتی از اختلاف پتانسیل به نرخ انتقال مربوط به آن، مقاومت حرارتی برای انتقال حرارت از نوع هدایت در یک دیوار مسطح به صورت زیر است [۱۰۳]:

$$R_{T,cond} = \frac{T_{s,1} - T_{s,2}}{q_x} = \frac{L}{KA} \quad (۳)$$

به طور مشابه برای هدایت الکتریکی در سیستم یکسان، قانون اهم^{۶۰} یک مقاومت الکتریکی را به صورت زیر تشکیل می دهد:

$$R_E = \frac{E_{s,1} - E_{s,2}}{I} = \frac{L}{\sigma A} \quad (۴)$$

برای انتقال حرارت از نوع جابجایی هم می تواند مقاومت حرارتی تعریف شود. با توجه به قانون سرمایش نیوتن، مقاومت حرارتی برای انتقال حرارت جابجایی به صورت زیر است [۱۰۳]:

$$R_{T,conv} = \frac{T_s - T_{\infty}}{q} = \frac{1}{hA} \quad (۵)$$

مدار معادل یک ابزار مفید برای مسائل مفهومی و عددی انتقال حرارت است. مدارحرارتی معادل برای یک دیوار مسطح با شرایط مرزی انتقال حرارت جابجایی در شکل (۱) نشان داده شده است. نرخ انتقال

⁶⁰ Ohm's law

حرارت با بررسی جداگانه هر بخش از دیوار، تعیین می شود. از آنجایی که در سرتاسر شبکه q ثابت است، نرخ انتقال حرارت برای این دیوار به صورت زیر است:

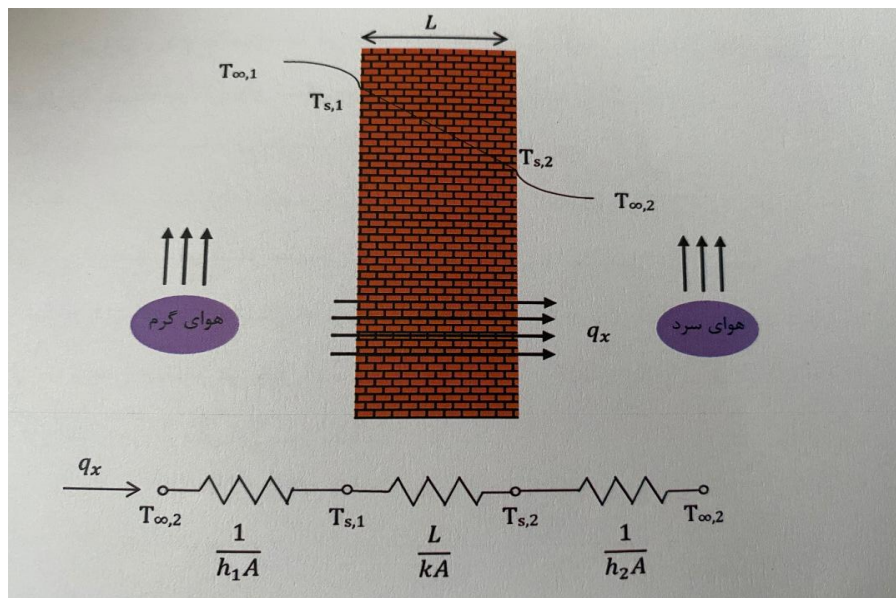
$$q_x = \frac{T_{\infty,1} - T_{s,1}}{\frac{1}{h_1 A}} = \frac{T_{s,1} - T_{s,2}}{\frac{L}{KA}} = \frac{T_{s,2} - T_{\infty,2}}{\frac{1}{h_2 A}} \quad (۶)$$

می توان رابطه (۶) را به صورت زیر بر اساس اختلاف دمای کلی و مقاومت حرارتی کلی بازنویسی کرد:

$$q_x = \frac{T_{\infty,1} - T_{\infty,2}}{R_{tot}} \quad (۷)$$

چون مقاومت های هدایت و جابجایی به صورت سری بسته شده اند، با هم جمع می شوند و مقاومت کلی به صورت زیر به دست می آید:

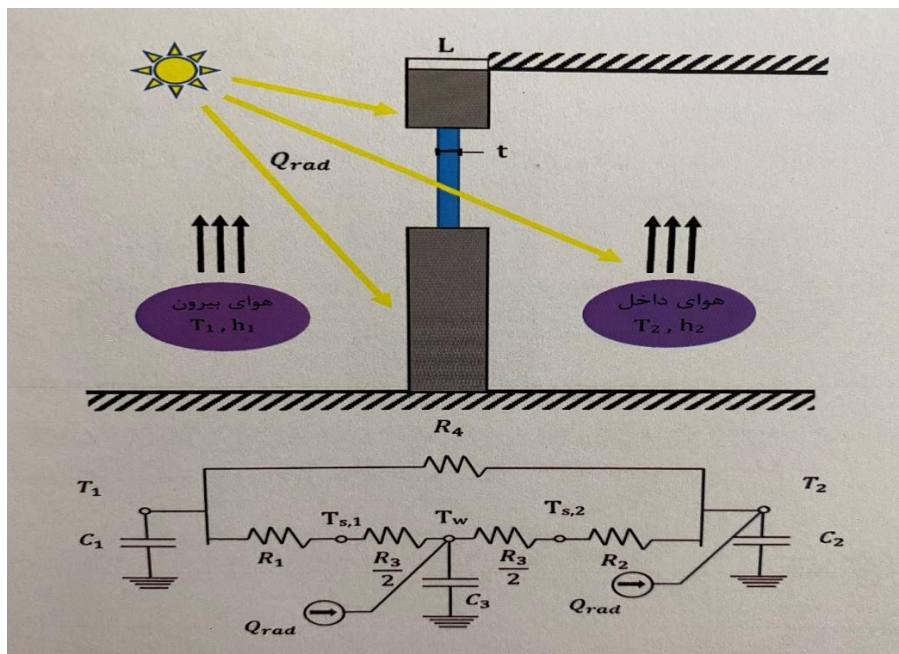
$$R_{tot} = \frac{1}{h_1 A} + \frac{L}{kA} + \frac{1}{h_2 A} \quad (۸)$$



شکل ۱: انتقال حرارت از یک دیوار مسطح و مدار حرارتی معادل [۱۰۳]

به منظور مشخص شدن سیر تدریجی دمای اتاق و دیوارها، با زمان، یک خازن با ظرفیت حرارتی C ، در هر گره از مدار حرارتی ساختمان اختصاص داده شده است. باید توجه داشت که جرم های توزیع شده در مدل، مانند دیوارها و هوا، به عنوان گره در مدل حرارتی اتاق در نظر گرفته شده است.

یک دیوار خارجی که یک طرف آن در معرض هوای بیرون و تشعشعات خورشید و طرف دیگر آن در معرض هوای داخل است، در شکل (۲) نشان داده شده است. دیوار دارای یک پنجره به مساحت A_w ، ضخامت t و ضریب انتقال حرارت k_w است. A مساحت کلی دیوار بدون در نظر گرفتن مساحت پنجره است. مدل سازی بر اساس مدار معادل حرارتی برای این دیوار، از سه گروه با پتانسیل حرارتی T_1 و T_2 و T_3 تشکیل شده است که به ترتیب مربوط به دمای هوای بیرون، دمای هوای داخل و دمای دیوار است. گره ها توسط خازن هایی با ظرفیت حرارتی $C_1 = m_{a1}c_a$ برای هوای بیرون، $C_2 = m_{a2}c_a$ برای هوای داخل و $C_3 = m_w c_w$ برای دیوار، به زمین متصل شده اند.



شکل ۲: مدار معادل حرارتی یک دیوار خارجی [۱۰۳]

m_{a1} و m_{a2} و m_w ، جرم هر المان و c_a و c_w ظرفیت گرمایی ویژه هوا و مواد تشکیل دهنده دیوار است. گرما از طریق دو مسیر موازی از خارج به سمت داخل منتقل می شود. یکی از طریق دیوار و دیگری از طریق پنجره. مسیر انتقال حرارت مربوط به دیوار با دو مقاومت حرارتی از نوع جا بجایی، یکی میان هوای بیرون و دیوار R_1 و دیگری میان هوای داخل و دیوار R_2 و یک مقاومت حرارتی از نوع هدایت برای دیوار R_3 ، به صورت زیر مدل سازی شده است:

$$R_1 = \frac{1}{h_1 A} \quad (9)$$

$$R_2 = \frac{1}{h_2 A} \quad (10)$$

$$R_3 = \frac{L}{KA} \quad (11)$$

مسیر انتقال حرارت از طریق پنجره نیز با یک مقاومت به صورت زیر مدل سازی می شود:

$$R_4 = \frac{1}{h_1 A_w} + \frac{t}{k_w A_w} + \frac{1}{h_2 A_w} \quad (12)$$

Q_{rad} گرمای تابشی است که از طرف خورشید بر سیستم وارد می شود. این تشعشع توسط یک منبع جریان متغیر^{۶۱}، در مدار حرارتی معادل نشان داده شده است. خروجی که منبع جریان آن را محاسبه می کند مربوط به میزان تشعشع خورشید است که خود تابعی از ارتفاع و عرض جغرافیایی مکان ساختمان، جهت جغرافیایی دیوار یا پنجره مدنظر، شرایط آب و هوایی بیرون، روز از سال و اینکه چه زمانی از روز باشد، بستگی دارد. البته تابش خورشیدی کلی از طلوع خورشید تا غروب خورشید که در بالای جو زمین می تابد تابعی از عرض جغرافیایی است و بر حسب $\frac{J}{m^2}$ می باشد که از طریق روابط زیر به دست می آید [۱۰۴]:

$$H_0 = \frac{24 \times 3600 G_{SC}}{\pi} [1 + 0.033 \cos(\frac{360N}{365})] [\cos(L) \cos(\delta) \sin(h_{ss}) + (\frac{\pi h_{ss}}{180}) \sin(L) \sin(\delta)] \quad (13)$$

در رابطه بالا G_{SC} ثابت خورشیدی است که آهنگ انرژی خورشیدی دریافت شده روی یک متر مربع از سطوح عمود بر جهت پرتو مستقیم در خارج از جو است، که مقدار آن ۱۳۵۰ تا ۱۳۶۷ وات بر مترمربع گزارش شده است. N روز از سال نسبت به اول ژانویه است. L عرض جغرافیایی و δ زاویه انحراف خورشید است که از طریق رابطه زیر بدست می آید [۱۰۴]:

$$\delta = 23.45 \sin [\frac{360}{365} (284 + N)] \quad (14)$$

h_{ss} ساعت غروب خورشید بر حسب درجه است که با استفاده از رابطه زیر محاسبه می شود [۱۰۴]:

$$\cos(h_{ss}) = -\tan(L) \tan(\delta) \quad (15)$$

⁶¹ Variable current source

به دلیل وجود پدیده هایی مانند پخش و جذب اتمسفری، قسمتی از تابش خورشیدی مستهلک می شود. به خصوص زمانی که آسمان ابری و یا میزان ذرات هوا بالا باشد. بنابراین مقدار تابش وارد شده به یک سطح افقی، در زمان های مختلف و به خصوص با تغییر شرایط اتمسفر متفاوت می باشد. در این مطالعه از داده های هواشناسی و میانگین تابش های خورشیدی در هر ساعت که به دیوارها می تابد در روابط و مدل سازی ساختمان استفاده شده است. یکی از مزیت های این مدل سازی این است که پارامترهایی که در آن استفاده شده است دارای معانی و تعبیر فیزیکی هستند. این ویژگی باعث می شود مدل به آسانی برای ساختمان های دیگر هم اصلاح شود و مورد استفاده قرار گیرد. به عنوان مثال وقتی پوشش شیشه ای پنجره تعویض شود، به راحتی، فقط با اصلاح ضریب انتقال حرارت مربوط به پنجره، بدون اینکه دیگر پارامترها تغییر کنند می توان مدل سازی جدید را به روز کرد.

معادلات حاکم شامل دو بخش معادلات مربوط به جریان و انتقال حرارت و معادلات مربوط به احساس حرارتی افراد می باشد. معادلات حاکم بر جریان پایا و غیر قابل تراکم با فرض ثابت بودن خواص سیال شامل معادلات زیر است [۱۰۳]:

• معادله پیوستگی:

$$\nabla \cdot \vec{V} = 0 \quad (16)$$

• معادله بقای تکانه خطی:

$$\rho (\vec{V} \cdot \nabla \vec{V}) = -\nabla P + \mu_{\text{eff}} \nabla^2 \vec{V} + \vec{S} \quad (17)$$

• معادله انرژی:

$$\vec{V} \cdot \nabla T = \alpha_{\text{eff}} \nabla^2 T + S_T \quad (18)$$

که

$$\vec{V} = u\hat{i} + v\hat{j} + w\hat{k} \quad (19)$$

$$\nabla = \frac{\partial}{\partial x}\hat{i} + \frac{\partial}{\partial y}\hat{j} + \frac{\partial}{\partial z}\hat{k} \quad (20)$$

همچنین، $\vec{S}$ بیانگر نیروهای حجمی (شناوری) وارد بر سیال است و به کمک تقریب بوزینسک محاسبه می‌شود.

$$\vec{S} = \rho \vec{g} [1 - \beta(T - T_{\text{reff}})] \quad (21)$$

که β ضریب انبساط حجمی (K-1) و $\vec{g}$ بردار شتاب گرانش زمین (m.s-2) است. همچنین، μ_{eff} ضریب لزجت مؤثر سیال است که شامل لزجت سیال و لزجت اغتشاشی سیال می‌باشد.

$$\mu_{\text{eff}} = \mu + \mu_t \quad (22)$$

بخش دوم معادلات حاکم، شامل معادلات مربوط به بدن و شرایط آسایش حرارتی افراد می‌باشد. در این تحقیق، به منظور ارزیابی احساس حرارتی افراد از مدل آسایش حرارتی فنگر [۱۰۵] استفاده می‌شود. اعداد آسایش فنگر در یک مقیاس هفت نمره ای از سرد (۳-) تا گرم (۳+) وجود دارند. شایان ذکر است که مدل آسایش حرارتی فنگر، یکی از معروف‌ترین و پرکاربردترین مدل‌های تحلیلی آسایش حرارتی به حساب می‌آید و از آن در استاندارد های اشری ۵۵ [۱۰۶] و ایزو ۷۷۳۰ [۱۰۷] به عنوان مدل استاندارد آسایش حرارتی یاد شده است. مدل فنگر با نوشتن معادلات انرژی برای بدن و با در نظر گرفتن هفت عامل سراسری مؤثر بر شرایط حرارتی بدن شامل چهار عامل محیطی (دمای هوا، دمای متوسط تابشی، رطوبت نسبی و سرعت جریان هوا) و سه عامل فردی (میزان کار افراد، نرخ متابولیک و میزان پوشش)، احساس حرارتی افراد را در قالب شاخص میانگین رأی پیش‌بینی شده^{۶۲} برای ساکنان به صورت روابط زیر بیان می‌کند [۱۰۵].

$$\begin{aligned} \text{PMV} = & (0.028 + 0.303 \exp(-0.036M))[(M - W) \\ & - 0.00305(5733 - 6.99(M - W) - P_a) \\ & - 0.42((M - W) - 58.15) \\ & - 1.7 \times 10^{-5}M(5867 - P_a) \\ & - 0.0014M(34 - T_a) - f_{cl}h_t(T_{cl} - T_o)] \end{aligned} \quad (23)$$

و

$$T_{cl} = T_{sk} - f_{cl}I_{cl}h_t(T_{cl} - T_o) \quad (24)$$

⁶² Predicted Mean Vote (PMV)

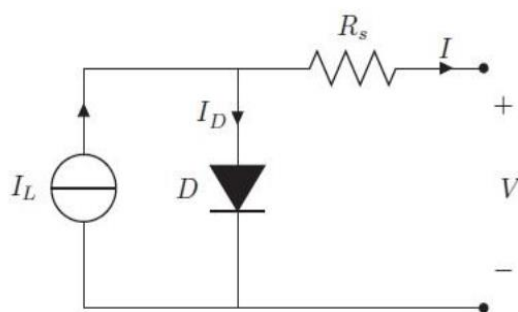
که T_{sk} دمای سطح پوست افراد ($^{\circ}\text{C}$) است و به کمک رابطه زیر قابل محاسبه است.

$$T_{sk} = 35.7 - 0.0275(M - W) \quad (25)$$

همچنین M نرخ متابولیک افراد (W/m^2)، W نرخ کار خارجی افراد (W/m^2)، P_a فشار بخار هوا (Pa)، T_a دمای هوا ($^{\circ}\text{C}$)، T_{cl} دمای سطح لباس ($^{\circ}\text{C}$)، T_o دمای عملکردی ($^{\circ}\text{C}$)، $|cl|$ مقاومت حرارتی لباس ($\text{m}^2\text{K/W}$)، f_{cl} فاکتور سطح لباس (بی بعد) و h_t ضریب انتقال حرارت کلی روی سطح لباس ($\text{W/m}^2\text{K}$) می باشد. جزئیات بیشتر در مورد نحوه تعیین پارامترهای فوق، در استاندارد ایزو ۷۷۳۰ و استاندارد ۱۴۳۸۴ سازمان ملی استاندارد ایران ارائه شده است.

معادلات حاکم بر سیستم فتوولتائیک خورشیدی:

سیستم فتوولتائیک مورد بررسی از مدار تک دیودی چهار پارامتری تبعیت می کند [۱۰۱]. مدل چهار پارامتری یکی از عمده ترین مدل های استفاده شده برای شبیه سازی سلول های خورشیدی است. که یک نمونه از آن در شکل (۳) نمایش داده شده است.



شکل ۳: مدار معادل مدل سیستم فتوولتائیک [۱۰۱]

معادله مربوط به مدل سازی سلول فتوولتائیک برای مدار ذکر شده با استفاده از معادله (۲۶) بدست می آید. پارامترهای مجهول، جریان فتوکارنت I_L ، جریان اشباع I_0 ، ضریب ایده آلی A و مقاومت سری R_s می باشند. این پارامترها از اندازه گیری های معلوم نمودار جریان ولتاژ شامل ولتاژ مدار باز^{۶۳}، جریان

⁶³ Open circuit voltage, Voc

اتصال کوتاه^{۶۴} و جریان و ولتاژ در نقطه بیشترین توان^{۶۵} تخمین زده می شوند که این مقادیر معمولاً توسط داده های سازندگان در مقدار مرجع تشعشع و دما که به طور معمول شرایط تست استاندارد STC می باشد یا به وسیله انجام محاسبات مستقیم روی مدول بدست می آیند. همچنین q بار الکترون، k ثابت بلترمن، T دمای سلول و N_s تعداد سلول های سری شده از دیگر پارامترهای معلوم معادله می باشند.

$$I = I_L - I_0 \left[\exp \left(q \frac{V + IR_s}{N_s AKT} \right) - 1 \right] \quad (26)$$

با استفاده از این مقادیر و جایگذاری نقاط ولتاژ مدار باز، جریان مدار اتصال کوتاه و ولتاژ نقطه بیشترین توان در معادله (۲۶-۳) معادلات زیر برای شناسایی پارامترهای مجهول بدست می آیند [۱۰۸]:

$$I_{sc} = I_L - I_0 \left[\exp \left(q \frac{I_{sc} R_s}{N_s AKT} \right) - 1 \right] \quad (27)$$

$$0 = I_L - I_0 \left[\exp \left(q \frac{V_{oc}}{N_s AKT} \right) - 1 \right] \quad (28)$$

$$I_m = I_L - I_0 \left[\exp \left(q \frac{V_m + I_m R_s}{N_s AKT} \right) - 1 \right] \quad (29)$$

با توجه به معادلات (۲۷)، (۲۸) و (۲۹) سه معادله و چهار مجهول پدیدار می شود. برای رسیدن به معادله چهارم باید یک سری ساده سازی صورت گیرد. جریان اشباع در مواد سیلیکونی نسبت به ترم نمایی بسیار اندک است، در نتیجه می توان از آن صرف نظر کرد. به منظور رفتار بهتر معادله، ساده سازی دیگری نیز مد نظر است. بدین ترتیب، جریان فتوکارت برابر با جریان اتصال کوتاه در نظر گرفته می شود. ساده شده معادلات ذکر شده در زیر آمده است [۱۰۸]:

$$I_{sc} = I_L \quad (30)$$

⁶⁴ Short circuit current, I_{sc}

⁶⁵ The voltage and current at the maximum power point, V_m and I_m

$$0 = I_L - I_0 \exp\left(q \frac{V_{oc}}{N_s A K T}\right) \quad (31)$$

$$I_m = I_L - I_0 \exp\left(q \frac{V_m + I_m R_s}{N_s A K T}\right) \quad (32)$$

با ترکیب معادله (30) و (31) عبارت مناسب برای جریان اشباع بدست می آید:

$$I_0 = I_{sc} \left[\exp\left(-\frac{q}{N_s A K T} V_{oc}\right) \right] \quad (33)$$

با جایگذاری (33) در معادله (26) رابطه مناسب بین جریان و ولتاژ شکل می گیرد که با قرار دادن نقطه بیشترین توان در آن به معادله زیر تبدیل می شود:

$$I_m = I_{sc} \left[1 - \exp\left(q \frac{V_m - V_{oc} + I_m R_s}{N_s A K T}\right) \right] \quad (34)$$

با حل معادله برای مقاومت سری، مجهول دیگری نیز معلوم می گردد:

$$R_s = \frac{\frac{N_s A K T}{q} \ln\left(1 - \frac{I_m}{I_{sc}}\right) + V_{oc} - V_m}{I_m} \quad (35)$$

آخرین پارامتری که باید تخمین زده شود، ضریب ایده آلی می باشد. این کار با بهره برداری از صفر بودن مشتق توان در نقطه بیشینه صورت می گیرد:

$$\frac{dP}{dV} = 0 = V \frac{\delta I}{\delta V} + I \frac{\delta I}{\delta V} \quad (36)$$

با استفاده از معادله (26) و اعمال معادله (36) روی آن، می توان ضریب ایده آلی را تخمین زد:

$$A = \frac{q(2V_m - V_{oc})}{N_s K T \left[\frac{I_m}{I_{sc} - I_m} + \ln\left(1 - \frac{I_m}{I_{sc}}\right) \right]} \quad (37)$$

کمیت پارامترهای سیستم بر اساس تغییرات دما و تشعشع تغییر خواهد کرد که این تغییرات به صورت زیر اعمال می شود:

$$I_{sc} = I_{sc}^{ref} \frac{E}{E_{ref}} + \mu_{I_{sc}} (T - T_{ref}) \quad (38)$$

$$V_{oc} = V_{oc}^{ref} + V_t \ln \left(\frac{E}{E_{ref}} \right) + \mu_{V_{oc}} (T - T_{ref}) \quad (39)$$

$$V_t = \frac{N_s AKT}{q} \quad (40)$$

همچنین جریان و ولتاژ در نقطه ماکزیمم از رابطه زیر بدست می آید:

$$I_m = I_m^{ref} \frac{E}{E_{ref}} + \mu_{I_m} (T - T_{ref}) \quad (41)$$

$$V_m = V_m^{ref} + V_t \ln \left(\frac{E}{E_{ref}} \right) + \mu_{V_m} (T - T_{ref}) \quad (42)$$

اکنون با استفاده از معلوم شدن تمامی پارامترهای شبیه سازی، با مدل کردن معادله (۲۶) نمودارهای مربوط به جریان، ولتاژ و توان قابل ارزیابی است که با توجه به آن ها و با در نظر گرفتن اطلاعات هواشناسی شامل دما و تشعشع و داده های مربوط به سازندگان پنل خورشیدی می توان مقدار توان تولیدی سیستم فتوولتائیک را بدست آورد.

٧ منابع و مراجع

[۱] رسول کریمی، (۱۳۹۵)، *نگرشی نوین بر ممیزی انرژی در ساختمان ها*، جلد اول، چاپ اول، انتشارات آیلار، تهران، صفحه ۱۶

[۲] زمردیان، زهرا سادات و تحصیلدوست، محمد، (۱۳۹۴)، *اعتبار سنجی نرم افزارهای شبیه سازی انرژی در ساختمان: با رویکرد تجربی و مقایسه ای*، نشریه انرژی ایران، شماره ۴، دوره ۱۸، صفحه ۱۱۶.

[3] Harish, V.S.K.V. and A. Kumar, *A review on modeling and simulation of building energy systems*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016. 56: p. 1272-1292.

[4] Statistical Review of World Energy ,2019, The British Petroleum Company.

[5] Nam, Chang Woon. "World economic outlook for 2019 and 2020." CESifo Forum. Vol. 20. No. 1. Institut für Wirtschaftsforschung (Ifo), 2019.

[6] Iran, Organization of energy efficiency. 1390. "20-year-old landscape views Iran." In First National Congress of the Third Millennium Energy Technology

[7] Energy Consumption by Sector, U.S. Energy Information Administration (EIA), Independent Statistics & Analysis, retrieved: 27.01.2014, Address: http://www.eia.gov/totalenergy/data/monthly/pdf/sec2_3.pdf.

[8] International Energy Agency report, Technology Roadmap: Energy Efficient Buildings Heating and Cooling Equipment. <http://www.iea.org/publications/freepublications/>, 2018.

[9] Atanasiu, B., et al., Implementing the cost-optimal methodology in EU countries: Lessons learned from three case studies. 2013, BPIE-Buildings Performance Institute Europe.

[10] Pérez-Lombard, L., J. Ortiz, and C. Pout ,A review on buildings energy consumption information. Energy and buildings, 2008. 40(3): p. 394-398.

[11] United Nations. World Urbanization Prospects 2014: Highlights. United Nations Publications; 2014.

[12] National Iranian Oil Company, 2015 <http://ifco.ir/>.

[13] Thomsen, K.E., et al., Energy consumption and indoor climate in a residential building before and after comprehensive energy retrofitting. Energy and Buildings, 2016. 123: p. 8-16.

[14] Bokalders V and B. M., The whole building handbook: how to design healthy, efficient and sustainable buildings. 2004.

[15] Guertin, M., Green applications for residential construction. 2010.

[16] Center for Sustainable Systems. Residential buildings factsheet. University of Michigan; 2009. Pub. No. CSS01e08.

[17] Kumar, A .and B. Suman, Experimental evaluation of insulation materials for walls and roofs and their impact on indoor thermal comfort under composite climate. Building and Environment, 2013. 59: p. 635-643.

[18] Naji, S., et al., Estimating building energy consumption using extreme learning machine method. Energy, 2016. 97: p. 506-516.

[19] EU commission, 2016. An EU Strategy on Heating and Cooling. https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/1_EN_ACT_part1_v14.pdf.

[20] Zhou, L. and Haghighat, H., "Optimization of Ventilation System Design and Operation in Office Environment, Part I: Methodology", Building and Environment, Vol. 44, No.4, pp. 651-656, 2005.

[21] Lowe, R., "Defining and Meeting the Carbon Constraints of the 21st Century", Building Research & Information, Vol. 28, No. 3, pp. 159–175, 2000.

[22] Hastings, S.R., "Breaking the 'Heating Barrier': Learning from the First Houses without Conventional Heating", *Energy and Buildings*, Vol. 36, No. 4, pp. 373–380, 2004.

[۲۳] سازمان بهره‌وری انرژی ایران، ۱۳۹۶. طرح مدیریت مصرف انرژی در ساختمان‌های دولتی با همکاری دفاتر مدیریت مصرف و بسیج ادارات

[۲۴] مهرداد حبیب‌نژاد، ۱۳۹۷، **بررسی بهسازی مصرف انرژی در ساختمان‌های دولتی**، اولین کنگره بین‌المللی صنعت ساختمان با محوریت تکنولوژی‌های نوین در صنعت ساختمان، تبریز، مجمع مهندسان جوان استان آذربایجان شرقی.

[۲۵] پاک فطرت، علیرضا و مهدی اسلامی، ۱۳۹۷، **ساختمان‌های سبز و نقش آن در مدیریت هوشمند مصرف انرژی**، کنفرانس عمران، معماری و شهرسازی کشورهای جهان اسلام، تبریز، دانشگاه تبریز.

[26] World Green Building Council (WorldGBC), <http://www.worldgbc.com>, what is a green building, (2018)

[27] Varma, CR Subhash, and Sivakumar Palaniappan. "Comparision of green building rating schemes used in North America, Europe and Asia." *Habitat International* 89 (2019): 101989.

[۲۸] مبحث نوزدهم مقررات کلی ساختمان / صرفه‌جویی در مصرف انرژی

[29] B. P. Jelle, "Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions - Properties, requirements and possibilities," *Energy Build.*, vol. 43, no. 10, pp. 2549–2563, 2011.

[30] Hanus, Monica J., and Andrew T. Harris. "Nanotechnology innovations for the construction industry." *Progress in materials science* 58.7 (2013): 1056-1102.

[31] Akter, M., M. Mahmud, and A.M. Oo, Comprehensive economic evaluations of a residential building with solar photovoltaic and battery energy storage systems: An Australian case study. *Energy and Buildings*, 2017. 138: p. 332-346.

[32] Jacobson, M.Z., Review of solutions to global warming, air pollution, and energy security. *Energy & Environmental Science*, 2009. 2(2): p. 148-173.

[33] Sagani ,A., J. Mihelis, and V. Dedoussis, Techno-economic Analysis and Life-cycle Environmental Impacts of Small-scale Building-integrated PV Systems in Greece. *Energy and Buildings*, 2017.

[34] Solangi, K., et al., A review on global solar energy policy. *Renewable and sustainable energy reviews*, 2011. 15(4): p. 2149-2163.

[35] Hong, T., et al., A review on sustainable construction management strategies for monitoring, diagnosing, and retrofitting the building's dynamic energy performance: Focused on the operation and maintenance phase. *Applied Energy*, 2015. 155: p. 671-707.

[36] Koo, C., H. Kim, and T. Hong, Framework for the analysis of the low-carbon scenario 2020 to achieve the national carbon Emissions reduction target: Focused on educational facilities. *Energy Policy*, 2014. 73: p. 356-367.

[37] Hong, T., et al., A GIS (geographic information system)-based optimization model for estimating the electricity generation of the rooftop PV (photovoltaic) system. *Energy*, 2014. 65: p. 190-199.

[38] International Renewable Energy Agency (IREA), Renewable Capacity Statistics 2020

- [39] Dávi, G.A., et al., Energy performance evaluation of a net plus-energy residential building with grid-connected photovoltaic system in Brazil. *Energy and Buildings*, 2016. 120: p. 19-29.
- [40] Wand, R. and F. Leuthold, Feed-in tariffs for photovoltaics: Learning by doing in Germany? *Applied Energy*, 2011. 88(12): p. 4387-4399.
- [41] Rüther, R. and R. Zilles, Making the case for grid-connected photovoltaics in Brazil. *Energy policy*, 2011. 39(3): p. 1027-1030.
- [42] Koo, C., et al., Development of the smart photovoltaic system blind and its impact on net-zero energy solar buildings using technical-economic-political analyses. *Energy*, 2017. 124: p. 382-396.
- [43] Vieira, F.M., P.S. Moura, and A.T. de Almeida, Energy storage system for self-consumption of photovoltaic energy in residential zero energy buildings. *Renewable Energy*, 2017. 103: p. 308-320.
- [44] A guide to photovoltaic (pv) system design and installation", California Energy Commission, 2001. Energy Technology Development Division 1516 Ninth Street Sacramento, California 95814.
- [45] Buying a Photovoltaic Solar Electric System, HANDBOOK, 2003 Edition
- [46] Grid connected Photovoltaic system design review and approval, Florida solar energy center
- [47] Stephan, André, Robert H. Crawford, and Kristel de Myttenaere. 2011. 'Towards a more holistic approach to reducing the energy demand of dwellings', *Procedia Engineering*, 21: 1033-41.
- [48] P. Capros, L. Mantzos, V. Papandreou, N. Tasios, European energy transport trends to 2030 – update 2007, in: Directorate-General for Energy and Transport, European Commission, Brussels, April, 2008, p. 156.
- [49] Andarini, and Rahmi. 2014. 'The Role of Building Thermal Simulation for Energy Efficient Building Design', *Energy Procedia*, 47: 217-26.
- [50] Valero, E., et al. Detection, modeling, and classification of moldings for automated reverse engineering of buildings from 3D data. in *Proceedings of the 28th International Symposium on Automation and Robotics in Construction*. 2011.
- [51] W.M. Adams, The Future of Sustainability Re-thinking Environment and Development in the Twenty-first Century. Report of the IUCN Renowned Thinkers Meeting, International Union for Conservation of Nature (IUCN), University of Cambridge, UK, 2006 (Accessed 5 April 2014)
- [52] J. Yudelson, *The Green Building Revolution*, Island Press, Washington, D.C., 2008.
- [53] R. Madew, *The Dollars and Sense of Green Buildings. A Report for the Green Building Council of Australia*, Green Building Council of Australia, 2006 (Accessed 25 March 2014),
- [54] Ma, Zhenjun, et al., Existing bldg retrofits: Methodology and state-of-the-art. *Energy Build.* 55, 889–902, (2012).
- [55] Yohanis, Domestic energy use and householders' energy behavior. *Energy Policy* 41, 654–665, (2012).
- [56] Santin,. The effect of occupancy and building characteristics on energy use for space and water heating in dutch residential stock. *Energy Build.* 41, (2009).
- [57] Zarrinzade, A. and M. Raftari, Investigate the application of the green wall on display structures to create a sustainable display, in *National Conference on New Approaches in Civil Engineering, Architecture and Urbanism*. 2017.

[۵۸] ابراهیم پور، عبدالسلام، کریمی واحد، یوسف (۱۳۹۱)، روش های مناسب بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان دانشگاهی در تبریز، نشریه علمی پژوهشی مهندسی مکانیک مدرس، دوره دوازدهم، شماره ۴، ص ۹۱

[۵۹] خداکرمی، جمال، فاضلی، زینب، اکرمی، فاطمه و شهریار معتمدی، ۱۳۹۳، بررسی میزان مصرف انرژی گرمایشی و سرمایشی و ارائه ی راهکارهای بهینه جهت کاهش مصرف انرژی (نمونه موردی: دانشگاه ایلام).
کنگره بین المللی پایداری در معماری و شهرسازی - شهر مصدر

[۶۰] سیداسماعیل ساداتی (۱۳۹۵)، بهسازی مصرف انرژی در ساختمان های شهر سمنان با رویکرد سیاست های اقتصاد مقاومتی، شانزدهمین همایش سیاست های توسعه مسکن در ایران

[61] Asan, H. (2000). Investigation of wall's optimum insulation position from maximum time lag and minimum decrement factor point of view. energy and buildings, 32(2), 197-203.

[62] Kalogirou S. A., Florides G., & Tassou S. (2002). "Energy analysis of buildings employing thermal mass in Cyprus", Renewable Energy, 27: 353-368.

[63] Crawley, D. B, Lawrie, L. K., Winkelmann, F. C., Buhl, W. F, Huang, Y. J, Pedersen, C. O, & Glazer, J. (2001). EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program. Energy and buildings, 33(4), 319-331.

[64] Yuan J., Farnham C., Emura K., & Ashraful Alam M.D. (2016). "Proposal for optimum combination of reflectivity and insulation thickness of building exterior walls for annual thermal load in Japan", Building and Environment, 13: 228-237

[۶۵] شیخ زاده، قنبرعلی؛ مهربان مظفر و ضامن مقصودی، علی (۱۳۸۱)، ارزیابی کاهش تلفات حرارتی با به کارگیری عایق های حرارتی یا ایجاد فاصله هوایی در جداره های خارجی ساختمان، دومین همایش بین المللی بهینه سازی مصرف سوخت در ساختمان، سازمان بهینه سازی مصرف سوخت کشور، تهران.

[۶۶] ابراهیم پور، عبدالسلام؛ معرفت مهدی و محمدکاری، بهروز (۱۳۸۳)، بهینه سازی عایق کاری در ساختمان های با استفاده مداوم در شرایط اقلیمی ایران از لحاظ بارهای حرارتی سالیانه، نشریه فنی و مهندسی مدرس : 33 - 52 ..17

[۶۷] ویسی، فرزاد؛ یوسفی تورج و احمدی، اردشیر (۱۳۸۸) بررسی اثر نحوه عایق کاری حرارتی جداره های خارجی بر بار گرمایشی ساختمان، اولین کنفرانس بین المللی گرمایش، سرمایش، و تهویه مطبوع، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران.

[۶۸] حسینی، سید حسین و کاظمی تربقان، مرتضی (۱۳۹۰)، اثرات عایق سازی حرارتی جداره های ساختمانی ساخته شده با مصالح جدید در کاهش مصرف سوخت، اولین همایش منطقه ای عمران و معماری، آموزشکده فنی و حرفه ای سما، واحد آیت ا...آملی، آمل.

[۶۹] سرابی، مهرداد و ابراهیم پور، عبدالسلام (۱۳۹۲)، عایق کاری بر دیوارهای خارجی ساختمان با تغییرات جهت دیوار و اقلیم، اولین همایش سراسری محیط زیست، انرژی و پدافند زیستی، موسسه آموزش عالی مهر اروند، گروه ترویجی دوستداران محیط زیست، تهران.

[۷۰] مدقالچی، زهرا و فلاح، محسن (۱۳۹۴)، مقایسه میزان مصرف انرژی در ساختمان های مسکونی با عایق کاری های مختلف، ششمین کنفرانس بین المللی گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران.

[۷۱] مهدوی نیا، مجتبی و خیاط، ایمان (۱۳۹۵)، بررسی تحلیلی تأثیر نوع و ضخامت عایق کاری جداره های خارجی در بناهای بلندمرتبه اداری در کلانشهر تهران، نامه معماری و شهرسازی.

[۷۲] جمال خداکرمی، الهام شکری، طاهره کولیوند (۱۳۹۴)، ارائه راهکار بهینه ممیزی انرژی ساختمان جهت کاهش بار سرمایشی و گرمایشی (مطالعه موردی: پروژه مسکن مهر ابریشم، استان البرز)، مدیریت محیط زیست، سال دوم

[73] Al-Obaidi, K. M., Ismail, M., & Rahman, A. M. A. (2014). Design and performance of a novel innovative roofing system for tropical landed houses. *Energy conversion and management*, 85, 488-504.

[74] Cuce, E., & Riffat, S. B. (2015). A state-of-the-art review on innovative glazing technologies. *Renewable and sustainable energy reviews*, 41, 695-714.

[75] Bülow-Hübe, H. (2001). Energy-efficient window systems. Effects on Energy Use and Daylight in Buildings.

[۷۶] کامیابی، سعید و امیر بیدختی، ۱۳۹۳، بررسی شاخص های آسایش حرارتی در شهر سمنان، کنفرانس ملی الکترونیکی توسعه پایدار در علوم جغرافیا و برنامه ریزی، معماری و شهرسازی اولین کنفرانس ملی توسعه پایدار در علوم جغرافیا و برنامه ریزی، معماری و شهرسازی، تهران، موسسه آموزش عالی مهر اروند، مرکز راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار.

[77] Yildiz, Y., Ozbalta, T.G., & Arsan, Z. D. (2011). Impact of Window-to-Wall Surface Area for Different Window Glass Types and Wall Orientations on Building Energy Performance: A Case Study for a School Building Located in Izmir Turkey. *Megaron*, 6(1), 30-38.

[78] Andarini, Rahmi. 2014. 'The Role of Building Thermal Simulation for Energy Efficient Building Design', *Energy Procedia*, 47: 217-26.

[79] 19. Aldossary, N. A., Rezgui, Y., & Kwan, A. (2014). Domestic energy consumption patterns in a hot and humid climate: a multiple-case study analysis. *Applied Energy*, 114, 353-365.

[80] K. Hassounah, A. Alshboul, A. Al-Salaymeh, Influence of infiltration on the energy losses in residential buildings in Amman, *Sustainable Cities and Society*, Vol. 5, pp. 2-7, 2012.

[81] da Cunha, Eduardo Grala, and Beatriz Echenique Gioielli. "Analysis of Thermal Bridge Impact in a Hotel Building for the Eight Brazilian Bioclimatic Zones." *Journal of Civil Engineering and Architecture* 9 (2015): 393-400

[۸۲] سلطانی، مجید و حامد یوسفی کیا (۱۳۸۴)، بررسی اثر پنجره‌های با کارایی حرارتی بالادر تغییر هزینه‌ها و انرژی مصرفی ساختمان، چهارمین همایش بین‌المللی بهینه‌سازی مصرف سوخت در ساختمان، تهران، سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت کشور.

[۸۳] دانش، محمدمهدی، مهدی زاده سراج، فاطمه و صنایعیان، هانیه (۱۳۹۳). تاثیر تعداد جداره‌های لایه درونی و بیرونی نماهای دپوخته بر میزان مصرف انرژی ساختمان‌های اداری و آموزشی (مطالعه ساختمان دانشکده علوم پایه دانشگاه علم و صنعت ایران). فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۱۶(۳)، ۱۸۱-۱۹۰.

[۸۴] یوسف گرجی مهربانی، علی اصغر مفرد بوشهری، روانبخش عزیز زاده آرائی (۱۳۹۶)، تاثیر پنجره در کاهش میزان بار حرارتی و برودتی ساختمان با استفاده از شبیه‌سازی در نرم افزار دیزاین بیلدر، فصلنامه علمی-ترویجی انرژی های تجدید پذیر و نو

[۸۵] سلیمانی، کامیار (۱۳۹۷)، انرژی خورشیدی در ایران: بررسی جامع در مورد وضعیت فعلی و تقاضای آینده، کنفرانس بین‌المللی جامعه و محیط زیست، تهران، دانشگاه تهران

[86] Bilir, L. and N. Yildirim, Photovoltaic system assessment for a school building. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2017. 42(28): p. 17868-17856.

[87] Shukla, A.K., K. Sudhakar, and P. Baredar, A comprehensive review on design of building integrated photovoltaic system. *Energy and Buildings*, 2016. 128: p. 99-110.

[88] Raturi, A., A. Singh, and R.D. Prasad, Grid-connected PV systems in the Pacific Island Countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016. 58: p. 419-428.

[89] Bryan, H., Rallapalli, H., Rasmussen, P., Fowles, G., (2010) METHODOLOGY FOR ESTIMATING THE ROOFTOP SOLAR FEASIBILITY ON AN URBAN SCALE, American Solar Energy Societ.

[90] Zhao, Jing, and Yahui Du. "Multi-objective optimization design for windows and shading configuration considering energy consumption and thermal comfort: A case study for office building in different climatic regions of China." *Solar Energy* 206 (2020): 997-1017.

[91] Yusefi, H. and Hafeznia, H. (1395). "Solar Energy Potential for Power Generation in the Ocean Coast in the southern east of Iran." the congress of geopolitical potential proceeding for development in the ocean coast in the southern east of Iran, Makran.

[۹۲] غیاثی، محمدمهدی؛ مجتبی مهدوی نیا؛ منصوره طاهباز و سیدمجید مفیدی شمیرانی (۱۳۹۲)، روش شناسی گزینش نرم افزارهای کاربردی شبیه ساز انرژی در حوزه معماری، هویت شهر ۷، (۱۳).

[93] Software, Energyplus. 2011. "Energyplus Engineering Document help." In.: The US Department of Energy.

[94] Software, Design Builder. "Document help." In.: The US Department of Energy.

[95] Rahman, M.M., M. Rasul, and M.M.K. Khan, Energy conservation measures in an institutional building in sub-tropical climate in Australia. *Applied Energy*, 2010. 87(10): p. 2994-3004.

[96] www.meteonorm.com

[97] www.climate-consultant.informer.com

[۹۸] گلکار، مسعود علی اکبر و جواد مدرسی، ۱۳۹۱، تعیین زاویه ی بهینه ی پنل های خورشیدی ثابت برای دریافت بیشترین کاهش در شبکه های توزیع انرژی در شهرهای مختلف ایران، هفدهمین کنفرانس سراسری شبکه های توزیع نیروی برق، تهران، انجمن مهندسين برق و الكترونيك ايران.

[99] Trina Solar Panel TSM-200 DC/DA01A Datasheet.

[۱۰۰] ترازنامه انرژی، ۱۳۹۶.

[۱۰۱] فهرست بها، ۱۳۹۷.

[102] Bhandari, Shyam B. "Discounted payback period-some extensions." *Journal of Business and Behavioral Sciences* 21.1 (2009): 28-38

[103] J.Holman, "Heat transfer, 9th," ed: McGraw- Hill, 2002.

[104] S.A.Kalogirou, *Solar energy engineering: processes and systems*: Academic press, 2013.

[105] P. O. Fanger, *Thermal comfort analysis and applications in environmental engineering*, New York: McGraw-Hill, 1970.

[106] ANSI/ASHRAE, Standard 55-2010. *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 2010.

[107] ISO7730, *Moderate thermal environments—Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort*, International Standards Organization, 1994

[108] Khezzar, R., M. Zereg, and A. Khezzar, Modeling improvement of the four parameter model for photovoltaic modules. *Solar Energy*, 2014. 110: p. 452-462.

Abstract

In this study, first, the desired office building was simulated in the basic mode in Design Builder software and then considering that one of the ways to improve energy consumption in buildings is to reduce the heat loss of various components of the building, including walls, roof, and windows in accordance with the requirements and principles set forth in the regulations, the use of various types of building insulation on the roof and exterior walls, and replacement of windows based on the requirements of Article 19 of the National Building Code were investigated and compared. By evaluating the economy and calculating the return of investment, required measures to reduce energy consumption were prioritized. Also, a suitable photovoltaic system was designed using the Design Builder software.

According to the results of the simulation, after various studies, the optimal scenario, which included changing the window to double-glazed, using glass wool insulation of 8 cm thickness on the exterior walls of the building, and using glass wool insulation of 6 cm thickness for the roof of the building, was selected. So, its energy consumption improved by 50.8% compared to the base building, its return of investment is 0.7 years, and the carbon dioxide emissions of this scenario decreased by 54.2% compared to the base building.

The results of the simulated photovoltaic system on the roof of the building shows the electricity production is up to 307.5834 KWh in a year.

Keywords: Optimization of energy consumption, Heating and cooling loads, Design Builder, photovoltaic system, Insulation, Payback Period



Shahrood University
of Technology

Faculty of Mechanical and Mechatronic Engineering
M.Sc. Thesis in Energy Systems Engineering

Energy simulation and economic evaluation of a government building in Semnan city and providing executive solutions to convert it into a green building

By: Mehraneh Jami

Supervisor:

Dr. Seyed Majid Hashemian

Dr. Mahmood Chahartaghi

July,2020