

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده معماری و شهرسازی

پایان نامه کارشناسی ارشد

طراحی ساختمان اداری با رویکرد انرژی صفر

نگارنده: محمدرضا مروتی

استاد راهنما

جناب آقای دکتر مسعود طاهری شهرآئینی

استاد مشاور

سرکارخانم دکتر الهام سرکرده‌ای

مهر ۱۴۰۰

شماره: ۱۳/۹۹۵
تاریخ: ۱۴۰۲/۹/۱۵
وبسایت:

باسمه تعالی
فرمبای ارزشیابی پایان نامه کارشناسی ارشد
مربوط به ورودی های ۹۴ به بعد

مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای محمدرضا مروتی با شماره دانشجویی ۹۶۱۳۷۶۴ رشته معماری گرایش معماری تحت عنوان طراحی ساختمان اداری با رویکرد انرژی صفر که در تاریخ ۱۴۰۰/۷/۲۷ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار شد به شرح ذیل اعلام می گردد:

الف) درجه عالی: نمره ۲۰-۱۹ ☐ (ب) درجه خیلی خوب: نمره ۱۸/۹۹-۱۸ ☒ ج) درجه خوب: نمره ۱۷/۹۹-۱۶ ☐ (د) درجه متوسط: نمره ۱۵/۹۹-۱۴ ☐ ه) کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول و نیاز به دفاع مجدد دارد ☐ نوع تحقیق: نظری ☐ عملی ☐			
عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	دکتر مسعود طاهری شهرآیینی	استادیار	
۲- استاد راهنمای دوم	-	-	-
۳- استاد مشاور	دکتر الهام سرگرده ای	استادیار	-
۴- استاد داور اول	دکتر دانیال منصفی پزایی	استادیار	
۵- استاد داور دوم	دکتر ابوالفضل دهقان	استادیار	
۶- نماینده تحصیلات تکمیلی	مهندس امیر مسعود جعفری	مربی	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر امیرحسین شاداد
تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

تقدیم بہ

پدر و مادر عزیزم

تشکر و قدردانی

شایسته است در این جا به پاس زحمات بی دریغ، تلاش های بی وقفه و راهنمایی های حکیمانه استاد راهنمای محترم جناب آقای دکتر مسعود طاهری شهرآیینی کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم. همچنین از استاد گرامی سرکار خانم دکتر الهام سرکرده ای که مشاوره این پژوهش را پذیرا شدند و در این مسیر از هیچ همکاری و کمکی به اینجانب دریغ نفرمودند؛ صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم. از استادان گرامی که در طول دوران تحصیلم افتخار کسب علم را در محضرشان داشته ام، جناب آقایان دکتر دانیال منصفی پراپری، دکتر حمیدرضا اطلس باف، دکتر محمدرضا مجاهدی و دکتر سعید خاقانی نهایت سپاسگزاری را داشته باشم. همچنین از مجموعه اداره گاز شاهرود که در مسیر این پژوهش همکاری صمیمانه ای با من داشتند تشکر و قدردانی نمایم. در خاتمه از خانواده ام، دوستانم و تمام کسانی که در این مسیر کنارم بودند، تشکر و قدردانی می نمایم.

تعمدنامه

اینجانب محمدرضا مروتی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته معماری دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه طراحی ساختمان اداری با رویکرد انرژی صفر تحت راهنمایی جناب آقای دکتر مسعود طاهری شهرآیینی متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان‌نامه 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 پایان‌نامه 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 می‌باشد 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 پایان‌نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، 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 می‌باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود . استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

بحران تامین انرژی در کنار رشد تقاضای آن که به سبب افزایش جمعیت، گسترش شهرها و صنایع پدید آمده است، یکی از مسائل و چالش‌های اصلی است که، جهان طی سالیان اخیر با آن مواجه است. در کنار این موضوع آسیب‌های ناشی از این وضعیت، سلامت اجتماع، محیط زیست و اقلیم را به مخاطره انداخته است. صنعت ساختمان در کنار دیگر صنایع سهم بزرگی از مصرف انرژی را در اختیار دارد. اما با این وجود بخش عمده‌ای از این مصارف در بخش غیرمولد مورد استفاده قرار می‌گیرد که هیچ ارزش افزوده‌ای برای کشور به همراه ندارد. بنابراین توجه به مسأله انرژی در بخش ساختمان اولویت بیشتری می‌یابد. بر این اساس با تمرکز بر ارزیابی عملکرد انرژی در ساختمان طی فرآیند طراحی می‌توان سهم عمده‌ای از این نیاز را شناسایی و کنترل کرد. ساختمان‌های انرژی صفر یکی از راهکارهای مطلوب در این فرآیند است. هدف این پژوهش ارزیابی ساختمان انرژی صفر و امکان‌سنجی تحقق این مفهوم است. از این رو با اولویت راهکارهای مقرون به صرفه کاهش تقاضای انرژی در راستای دستیابی به یک ساختمان اداری بر پایه مفهوم انرژی صفر مطالعات در شهر شاهرود صورت پذیرفته است.

در این پژوهش به منظور بررسی تاثیر فیزیک ساختمان و مولفه‌های موثر بر مصرف انرژی، از نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر استفاده شده است. همچنین جهت طراحی ساختمان انرژی صفر برای دستیابی به اطلاعات دقیق بر پایه شرایط واقعی، یک ساختمان مبنا برای کنترل خروجی‌ها و اطمینان از صحت نتایج شبیه‌سازی انتخاب شده است. با هدف اعتبارسنجی نتایج، برداشت میدانی اطلاعات فیزیک ساختمان، دمای سطوح و مصارف انرژی ساختمان اداره گاز شاهرود انجام گرفته است. در ادامه فرآیند طراحی با تحلیل داده‌های آب‌وهوایی و با استفاده از راهکارهای منفعل، راهکارهای بهره‌وری انرژی و سیستم‌های تولید انرژی تجدیدپذیر صورت پذیرفته است. براساس نتایج، مصرف انرژی اداره گاز شاهرود از ۳۰۱,۳ کیلووات ساعت بر مترمربع با طراحی اصولی به ۵۷,۶ کیلووات ساعت بر مترمربع رسیده است، که حاکی از صرفه‌جویی بیش از ۸۰ درصدی در مصرف انرژی است. همچنین در انتهای این فرآیند، تعادل میان تقاضا و تولید انرژی با سیستم پنل‌های فتوولتاییک، برقرار گردیده است، که امکان تحقق ساختمان انرژی صفر را میسر نموده است.

کلمات کلیدی : ساختمان انرژی صفر، ارزیابی عملکرد انرژی ساختمان، شبیه‌سازی انرژی

فهرست مطالب

ل	فهرست جداول
م	فهرست اشکال
۱	فصل ۱: کلیات پژوهش و تعاریف
۲	۱-۱ مقدمه
۲	۲-۱ تعریف مسأله
۳	۳-۱ پیشینه موضوع
۶	۴-۱ ضرورت انجام پژوهش
۶	۵-۱ ماهیت و محدوده پژوهش
۶	۶-۱ پرسش‌های پژوهش
۷	۷-۱ اهداف پژوهش
۷	۸-۱ روش پژوهش
۸	۹-۱ محدودیت‌ها و موانع پژوهش
۸	۱۰-۱ جمع‌بندی
۹	فصل ۲: مبانی نظری طرح
۱۰	۱-۲ مقدمه
۱۰	۱-۲ انرژی در جهان
۱۱	۲-۱-۱ انرژی در ایران
۱۳	۳-۲ رویکرد ساختمان از نظر عملکرد انرژی

۴-۲ ساختمان انرژی صفر	۱۳
۱-۴-۲ مروری بر تعاریف ساختمان‌های انرژی صفر	۱۴
۲-۴-۲ روش‌های سنجش دوره تعادل	۱۵
۱-۲-۴-۲ معیار سنجش تعادل	۱۵
۲-۲-۴-۲ دوره زمانی تعادل	۱۶
۳-۲-۴-۲ نوع مصرف انرژی	۱۷
۴-۲-۴-۲ نوع تعادل	۱۷
۵-۲-۴-۲ گزینه‌های تأمین انرژی تجدیدپذیر	۱۷
۵-۲ تعادل حرارتی ساختمان	۱۹
۶-۲ استراتژی طراحی ساختمان انرژی صفر	۲۰
۱-۶-۲ راهکارهای غیرفعال کاهش مصرف	۲۲
۲-۶-۲ راهکارهای فعال کاهش مصرف	۲۶
۳-۶-۲ راهکارهای باز بهره‌وری انرژی	۲۷
۴-۶-۲ راهکارهای تولید انرژی	۲۹
۷-۲ جمع‌بندی	۳۰

فصل ۳: مواد و روش طرح

۱-۳ مقدمه	۳۴
۲-۳ اهمیت نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی	۳۴
۱-۲-۳ شبیه‌سازی انرژی در معماری	۳۵
۳-۳ عوامل تاثیرگذار در شبیه‌سازی انرژی	۳۶
۱-۳-۳ انتخاب نرم‌افزار	۳۶
۲-۳-۳ صحت نتایج	۳۶

۳۷.....	۳-۳-۳ منابع مختلف خطا
۳۷.....	۴-۳-۳ ضرورت اعتبارسنجی
۳۹.....	۵-۳-۳ عدم قطعیت
۴۰.....	۱-۵-۳-۳ منابع عدم قطعیت
۴۱.....	۶-۳-۳ نحوه عملکرد و محدودیت‌های نرم‌افزار
۴۱.....	۴-۳ نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر
۴۲.....	۵-۳ بررسی عملکرد انرژی ساختمان نمونه
۴۵.....	۱-۵-۳ شناسایی و محاسبات بار الکتریکی و روشنایی ساختمان
۴۷.....	۲-۵-۳ شناسایی و محاسبات بار حرارتی ساختمان
۴۷.....	۱-۲-۵-۳ پوسته حرارتی
۵۰.....	۲-۲-۵-۳ سیستم سرمایش و گرمایش
۵۱.....	۳-۵-۳ شناسایی و محاسبه میزان مصرف انرژی ساختمان
۵۲.....	۶-۳ شبیه‌سازی ساختمان اداره گاز شاهرود
۵۳.....	۷-۳ تعیین رده مصرف انرژی ساختمان
۵۵.....	۸-۳ جمع‌بندی
۵۷	فصل ۴: طراحی ساختمان اداری انرژی صفر
۵۸.....	۱-۴ مقدمه
۵۹.....	۲-۴ اقلیم
۶۰.....	۱-۲-۴ فاکتورهای اقلیمی
۶۰.....	۱-۱-۲-۴ دمای هوا
۶۰.....	۲-۱-۲-۴ رطوبت نسبی هوا
۶۱.....	۳-۱-۲-۴ باد

۶۳.....	۴-۱-۲-۴ نمودار سایکرومتریک
۶۵.....	۴-۱-۲-۴ گرمایش
۶۵.....	۴-۱-۲-۴ سرمایش
۶۶.....	۴-۱-۲-۴ نمودار جدول زمانی دما
۶۷.....	۴-۱-۲-۴ نمودار خورشیدی و نمودار سایه‌اندازی
۶۸.....	۴-۳ طراحی ساختمان انرژی صفر
۶۸.....	۴-۳-۱ جهت‌گیری
۷۰.....	۴-۳-۲ نسبت کشیدگی ساختمان
۷۱.....	۴-۳-۳ طبقات
۷۲.....	۴-۳-۴ سازمان‌دهی پلان
۷۳.....	۴-۳-۵ آتریوم
۷۴.....	۴-۳-۶ مساحت پنجره
۷۷.....	۴-۳-۷ عایق‌بندی حرارتی
۷۸.....	۴-۳-۸ پنجره‌های کارآمد
۷۹.....	۴-۳-۹ سایه‌بان
۷۹.....	۴-۳-۹-۱ سایه‌بان متحرک
۸۱.....	۴-۳-۹-۲ سایه‌بان ثابت
۸۴.....	۴-۳-۱۰ تهویه طبیعی
۸۵.....	۴-۳-۱۱ سیستم روشنایی
۸۶.....	۴-۳-۱۲ تجهیزات با کارایی بالا
۸۷.....	۴-۳-۱۳ تاسیسات مکانیکی
۸۷.....	۴-۳-۱۳-۱ آسایش حرارتی

۵-۴ تولید انرژی تجدیدپذیر ۸۸

۶-۴ جمع‌بندی ۹۰

فصل ۵: نتیجه‌گیری ۹۳

۱-۵ نتیجه‌گیری ۹۴

۲-۵ پیشنهادات ۹۷

پیوست ۹۹

مراجع ۱۱۲

فهرست جداول

- جدول ۱-۲. روش‌های سنجش دوره تعادل ۱۶
- جدول ۲-۲. گزینه‌های تامین انرژی جهت ساختمان انرژی صفر براساس اولویت‌بندی ۱۸
- جدول ۳-۲. استراتژی طراحی ساختمان انرژی صفر ۲۱
- جدول ۴-۲. راهکارهای غیرفعال کاهش مصرف ۲۲
- جدول ۵-۲. راهکارهای فعال کاهش مصرف ۲۶
- جدول ۶-۲. راهکارهای باز بهره‌وری انرژی ۲۷
- جدول ۷-۲. راهکارهای تولید انرژی ۲۹
- جدول ۱-۳. توان مصرفی تجهیزات اداره گاز شاهرود ۴۵
- جدول ۲-۳. توان مصرفی تجهیزات در طبقه همکف و زیرزمین ۴۶
- جدول ۳-۳. توان مصرفی تجهیزات در طبقه اول ۴۷
- جدول ۴-۳. میزان مصرف انرژی ساختمان اداره گاز شاهرود ۵۱
- جدول ۵-۳. اطلاعات ورودی به نرم‌افزار ۵۲
- جدول ۱-۴. راهکارها و میزان اثرگذاری هر کدام در راستای تامین شرایط آسایش حرارتی ۶۵
- جدول ۲-۴. ضرایب هدایت حرارتی پیشنهادی برای ساختمان انرژی صفر ۷۷

فهرست اشکال

نمودار ۱-۲. روند تاریخی و پیش‌بینی آینده تولید و مصرف گاز طبیعی	۱۱
نمودار ۲-۲. روند تاریخی و پیش‌بینی تقاضای برق در ایران	۱۲
تصویر ۳-۲. ظرفیت بهره‌برداری از توان انرژی خورشید و باد	۱۳
تصویر ۴-۲. دیاگرام تعاریف ساختمان انرژی صفر از منظر تورسلینی	۱۵
تصویر ۵-۲. گزینه‌های عرضه انرژی تجدیدپذیر	۱۸
تصویر ۶-۲. تعادل انرژی و تعادل حرارتی	۱۹
تصویر ۷-۲. تعادل حرارتی در فصول مختلف	۲۰
تصویر ۸-۲. فرآیند طراحی ساختمان انرژی صفر	۲۰
نمودار ۱-۳. مفهوم درستی‌سنجی و اعتبارسنجی	۳۶
تصویر ۲-۳. موقعیت مکانی اداره گاز شاهرود	۴۲
تصویر ۳-۳. پلان طبقه همکف اداره گاز شاهرود براساس کنترل یا عدم کنترل فضاها	۴۳
تصویر ۴-۳. پلان طبقه اول و زیرزمین اداره گاز شاهرود براساس کنترل یا عدم کنترل فضاها	۴۴
تصویر ۵-۳. جزییات اجرایی سقف و دیوارهای خارجی	۴۸
تصویر ۶-۳. موقعیت نصب دیتالاگرها در جهات مختلف جغرافیایی	۴۸
نمودار ۷-۳. بررسی نتایج دمای سطوح داخلی و خارجی در جداره شمالی	۴۹
نمودار ۸-۳. بررسی نتایج دمای سطوح داخلی و خارجی در جداره غربی	۴۹
نمودار ۹-۳. بررسی نتایج دمای سطوح داخلی و خارجی در جداره شرقی	۵۰
نمودار ۱۰-۳. بررسی نتایج دمای سطوح داخلی و خارجی در جداره جنوبی	۵۰
تصویر ۱۱-۳. تاسیسات گرمایش و سرمایشی اداره گاز شاهرود	۵۱
تصویر ۱۲-۳. شبیه‌سازی ساختمان اداره گاز شاهرود در محیط نرم‌افزار	۵۲
نمودار ۱۳-۳. بررسی نتایج خروجی میزان برق مصرفی ساختمان	۵۳
نمودار ۱۴-۳. بررسی نتایج خروجی میزان گاز مصرفی ساختمان	۵۳
تصویر ۱-۴. پهنه‌بندی اقلیمی کشور ایران براساس روش کوپن	۵۹
نمودار ۲-۴. متوسط دمای ماهانه	۶۰
نمودار ۳-۴. تغییرات دما و رطوبت نسبی ماهانه هوا	۶۱
نمودار ۴-۴. گلباد سالیانه	۶۲
نمودار ۵-۴. گلباد ماهانه	۶۲
نمودار ۶-۴. سالانه سایکرومتریک	۶۳
نمودار ۷-۴. ماهانه سایکرومتریک	۶۴

۶۶	نمودار ۸-۴. دمای خشک هوا
۶۷	نمودار ۹-۴. نمودار خورشیدی
۶۷	نمودار ۱۰-۴. نمودار سایه‌اندازی
۶۸	نمودار ۱۱-۴. تاثیر جهت‌گیری بر میزان مصرف انرژی گرمایشی
۶۸	نمودار ۱۲-۴. تاثیر جهت‌گیری بر میزان مصرف انرژی سرمایشی
۶۹	نمودار ۱۳-۴. تاثیر جهت‌گیری بر میزان مصرف انرژی کل
۷۱	نمودار ۱۴-۴. تاثیر کشیدگی بر میزان مصرف انرژی کل
۷۲	نمودار ۱۵-۴. تاثیر طبقات بر میزان مصرف انرژی کل
۷۳	تصویر ۱۶-۴. سازمان‌دهی فضا به ترتیب از چپ به راست
۷۳	نمودار ۱۷-۴. تاثیر سازمان‌دهی پلان بر میزان مصرف انرژی کل
۷۴	نمودار ۱۸-۴. تاثیر آتریوم بر میزان مصرف انرژی کل
۷۵	نمودار ۱۹-۴. تاثیر نسبت پنجره به دیوار در تمام جهات بر میزان مصرف انرژی کل
۷۵	نمودار ۲۰-۴. تاثیر نسبت پنجره به دیوار در نمای جنوب بر میزان مصرف انرژی کل
۷۶	نمودار ۲۱-۴. تاثیر نسبت پنجره به دیوار در نمای شمال بر میزان مصرف انرژی کل
۷۶	نمودار ۲۲-۴. تاثیر نسبت پنجره به دیوار در نمای غربی و شرقی بر میزان مصرف انرژی کل
۷۷	تصویر ۲۳-۴. جزییات اجرایی بام و دیوارهای خارجی
۷۸	نمودار ۲۴-۴. تاثیر عایق حرارتی بر میزان مصرف انرژی کل
۷۹	نمودار ۲۵-۴. تاثیر پنجره‌های کارآمد بر میزان مصرف انرژی کل
۸۰	نمودار ۲۶-۴. تاثیر سایه‌بان متحرک خارجی بر میزان مصرف انرژی کل
۸۲	نمودار ۲۷-۴. تاثیر سایه‌بان ثابت نمای جنوبی بر میزان مصرف انرژی کل
۸۳	نمودار ۲۸-۴. تاثیر سایه‌بان ثابت نمای شمالی بر میزان مصرف انرژی کل
۸۳	نمودار ۲۹-۴. تاثیر سایه‌بان ثابت نمای غربی و شرقی بر میزان مصرف انرژی کل
۸۴	نمودار ۳۰-۴. تاثیر سایه‌بان بر میزان مصرف انرژی کل
۸۵	نمودار ۳۱-۴. تاثیر تهویه طبیعی بر میزان مصرف انرژی کل
۸۶	نمودار ۳۲-۴. تاثیر تجهیزات روشنایی بر میزان مصرف انرژی کل
۸۶	نمودار ۳۳-۴. تاثیر تجهیزات با کارایی بالا بر میزان مصرف انرژی کل
۸۸	نمودار ۳۴-۴. تاثیر تاسیسات مکانیکی بر میزان مصرف انرژی کل
۹۰	نمودار ۳۵-۴. تعادل انرژی ساختمان انرژی صفر در چرخه یک ساله
۹۴	نمودار ۱-۵. فرآیند طراحی ساختمان انرژی صفر

فصل یک: کلیات پژوهش و تعاریف

۱-۱ مقدمه

ساختمان‌های انرژی صفر نسل جدیدی از ساختمان‌هاست که در آن وابستگی به سوخت‌های فسیلی و دریافت انرژی از شبکه خارجی تا جای ممکن محدود و به صفر نزدیک می‌گردد. در این ساختمان‌ها با بهره‌گیری از رویکردهای غیرفعال و اصول بهینه‌سازی مصرف انرژی بخش عمده‌ای از نیاز انرژی ساختمان کاهش و به کمک سامانه‌های فعال، انرژی مورد نیاز از طریق منابع تجدیدپذیر، در محل سایت تامین می‌گردد. همچنین به علت بهره‌مندی از منابع تجدیدپذیر و پاک، میزان آلاینده‌گی و انتشار گازهای کربنی در این ساختمان‌ها تا حد زیادی کاهش می‌یابد. بر اساس این رویکرد که مبتنی بر بهره‌گیری اصول بهینه‌سازی مهندسی و با تاکید بر استفاده از منابع محلی است، چالش‌ها و فرصت‌های جدیدی را در حوزه نظری و عملی، پیش روی طراحان، معماران و مهندسان قرار می‌دهد. از این سو در این پژوهش سعی بر امکان‌سنجی طراحی یک ساختمان اداری با رویکرد انرژی صفر در شهر شاهرود گردیده‌است. بدین ترتیب که در ابتدای امر و با بررسی شرایط مصرف انرژی یک ساختمان اداری متداول در محدوده سایت و تطابق آن با محیط شبیه‌سازی، اعتبار شرایط آزمایشگاهی سنجیده گردد، و سپس با تایید بر درستی نتایج، اقدام به بررسی راهکارهای بهینه و عملی در راستای دستیابی به مفهوم انرژی صفر در یک ساختمان اداری گردد. از سویی دیگر، با تحقق این امر در شهر شاهرود، می‌توان توجه مسئولان و سرمایه‌گذاران در بخش ساختمان را جلب کرد و به الگویی مناسب در راستای توسعه پایدار و بهینه‌سازی مصرف انرژی دست یافت.

۲-۱ تعریف مسأله

مشکلات گرمایش جهانی، زیست محیطی و مصرف انرژی بدل به یکی از نگرانی‌های اصلی جهان نسبت به آینده گردیده‌است. در پاسخ به این مسائل، مأموریت حفظ انرژی و کاهش انتشار آلودگی شکل گرفته‌است. به طور عمده مصرف انرژی در سه بخش، صنعت، حمل‌ونقل و ساخت‌وساز معطوف می‌گردد که سهم ساختمان‌ها تقریباً یک سوم از درصد کل مصرف انرژی جهان را شامل می‌گردد. همچنین پیش‌بینی‌ها حاکی از آن است که این میزان از مصرف با افزایش سریع مناطق ساختمانی و شهری تا سال‌های آتی به ۳۵ درصد برسد. از این جهت پرداختن به اقداماتی برای بهبود بهره‌وری کارایی انرژی ساختمان همراه با برخی فوریت‌ها امری ضروری است [۱].

ساختمان انرژی صفر یکی از چشم‌اندازهای جهانی در زمینه حفاظت از انرژی است که با بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر، به دنبال گسترش پیگیری در حوزه توسعه پایدار است. این مفهوم در اروپا و در سال ۱۹۸۸، با پیشنهاد خانه منفعل توسط پروفیسور آدامسون و فیست مطرح گردید. در آن زمان خانه‌های منفعل ساختمان‌هایی بودند که می‌توانست آسایش محیط داخلی را با کاهش میزان مصرف در بار گرمایشی و سرمایشی فراهم کند [۲]. پس از خانه‌های منفعل، نسخه فعلی ساختمان‌های انرژی صفر به عرصه ساخت وارد شدند و اقبال زیادی به دست آوردند. مفهوم ساختمان انرژی صفر مبتنی بر

محاسبات و راهکارها در جهت تعادل میزان مصرف انرژی یک ساختمان با تولید انرژی تجدیدپذیر در خارج یا داخل سایت و در حالت متصل یا منفصل از شبکه و در نهایت دستیابی به مفهوم انرژی صفر است [۳].

بسیاری از کشورها برنامه‌های بلند مدتی را راه‌اندازی کرده‌اند که با سیاست‌های حمایتی برای اجرای ساختمان‌های انرژی صفر به عنوان یک راه حل برای کنترل مشکلات مصرف انرژی و زیست محیطی پردازند. در کشورهای اروپایی، اتحادیه اروپا در سال ۲۰۰۲ دستورالعمل عملکرد انرژی ساختمان را با هدف آن که تا سال ۲۰۲۰ مصرف انرژی در تمام ساختمان‌های جدید نزدیک به صفر شود، به تصویب رساند. و در سال ۲۰۱۰ آن را مجدد مورد بازبینی قرار دادند. در ایالات متحده نیز تا سال ۲۰۳۰ اجرای ساختمان‌های انرژی صفر باید به لحاظ فنی و اقتصادی قابل اجرا باشد [۴]. همچنین چین نیز برای رسیدگی به مشکلات مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای، مجموعه‌ای از سیاست‌ها و دستورالعمل‌ها را برای بهبود ساختار بهره‌وری انرژی و در نتیجه تضمین امنیت انرژی ملی تشکیل داده‌است. این دستورالعمل‌ها برای ساختمان سبز با انرژی فوق‌العاده کم و ساختمان‌های نزدیک به انرژی صفر صادر شده‌است [۱].

علاوه بر سیاست‌های فوق، یکی از نگرانی‌های مهم در ساختمان‌های انرژی صفر کارایی انرژی در آن است که نیازمند مطالعات متعدد در عملکرد آن مانند بررسی روش‌های طراحی، راهکارهای بهینه‌سازی انرژی، بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر و ارزیابی مناسب بودن آن است. همچنین عوامل دیگری نظیر منابع، شرایط آب‌وهوایی، محیط داخلی، ویژگی‌های معماری، عادات زندگی، مصرف انرژی و سطح اقتصادی در استفاده از انرژی تجدیدپذیر از جمله عوامل تعیین‌کننده در آن است [۱].

در حال حاضر، بسیاری از مردم در برابر ساختمان‌های انرژی صفر، به جهت مخارج قابل توجه سرمایه‌گذاری برای هزینه‌های عملیاتی آن با وجود درک مزایای آن مقاومت می‌کنند [۵]. با توجه به نتایج بومی و همکاران می‌توان یک دوره بازپرداخت بین ۷ تا ۲۳ سال از لحاظ صرفه‌جویی پولی خدمات ساختمان انرژی صفر تنظیم شود. اگر چه برخی از محاسبات اقتصادی مانند بومی و همکاران وجود دارد، اما ادبیات محدودی در مورد یک مدل کسب و کار برای ساختمان انرژی صفر وجود دارد که ممکن است شامل مواردی نظیر قابلیت فروش، بازار هدف، پیشنهادات ارزش افزوده، منابع کلیدی، مشارکت و کانال‌های ارتباطی باشد [۶].

۳-۱ پیشینه موضوع

عمده پژوهش‌ها در حوزه ساختمان‌های انرژی صفر برای تحقق امر حفاظت از انرژی معطوف به زمینه امکان‌پذیری اقتصادی و بهینه کردن هزینه‌ها، ارزیابی راهکارها و استراتژی‌های طراحی و مسائل مرتبط با آسایش در فضا و رضایت کاربر از محیط مربوط می‌گردد. به طور مثال در پژوهش پومفرت و هاشمی که در زمینه آسایش حرارتی ساختمان‌های انرژی صفر صورت پذیرفته‌است، با شبیه‌سازی پویا به ارزیابی سناریوهای نحوه ساخت‌وساز، تهویه طبیعی، سایه‌اندازی و دوره اشغال در یک ساختمان کم انرژی

پرداخته‌است. نتایج حاکی از آن است که مفیدترین راه برای جلوگیری از گرمای بیشینه ناشی از افزایش جرم حرارتی دیوارهای خارجی، تهویه شبانه، افزودن سایه‌اندازی در بخش‌های جنوب، شرق و غرب و افزایش سطح بازشو است که به طور قابل توجهی بهبود شرایط آسایش حرارتی را تسهیل می‌نماید [۷]. در مطالعات مشابه در حوزه بهینه کردن هزینه‌ها، پیکاس و همکاران با در نظر داشتن دستورالعمل‌های اتحادیه اروپا برای دستیابی به ساخت‌وساز انرژی صفر، به بررسی راه‌حل‌های بهینه اقتصادی جهت رسیدن به این مفهوم تلاش کرده‌اند. این گروه معتقدند که بیشتر مطالعات بر روی مسائل مربوط به بهره‌وری انرژی متمرکز شده و تحلیل هزینه‌های بهینه مورد توجه قرارنگرفته‌است. از این رو به بررسی راهکارهای متوازن در بهره‌وری انرژی و هزینه بهینه طراحی ساختمان پرداخته‌اند. همچنین متناسب با بستر تحقیقاتی در آب و هوای سرد استونی به ارائه پیشنهاد جهت طراحی نمای ساختمان‌ها با کارایی بالا پرداخته‌است [۸]. کانگدو و همکارانش نیز به روش شناسی دستیابی به ساختمان‌های اداری با هزینه بهینه در آب و هوای گرم پرداخته‌اند. این گروه با بررسی سیستم‌های مرجع ساختمان‌های اداری ویژگی‌های فنی و محاسبات عملکرد انرژی را مورد ارزیابی قرار داده‌اند. و برای شناسایی هزینه بهینه به تجزیه و تحلیل مالی و اقتصاد کلان در مصرف انرژی اولیه و هزینه‌های جهانی پرداخته‌اند. در این پژوهش مناسب بودن راه‌حل‌های کارآمد برای حمایت از طراحی ساختمان‌های جدید اداری با انرژی مقرون به صرفه مورد ارزیابی قرار گرفته‌است. نتایج بدست‌آمده حاکی از تناسب گزینه‌های فنی با کاهش مصرف انرژی اولیه و انتشار گازهای گلخانه‌ای است. آنها همچنین به چگونگی طراحی ساختمان انرژی صفر با راهکارهای بهینه هزینه برای آب و هوای گرم مطابق با سیاست اتحادیه اروپا پرداخته‌اند [۹]. مینگ هو در مطالعاتی به بررسی این موضوع پرداخته‌است که توسعه دهندگان، صاحبان ساختمان‌ها و تیم‌های طراحی اغلب به هزینه اولیه به عنوان مانع اصلی ساختمان‌های انرژی صفر اشاره می‌کند. وی در این تحقیق به دنبال درکی از طراحی ساختمان‌های خالص صفر و هزینه ساخت آن است. بر این اساس، این مطالعه در ابتدا به تحقیق جامع در مورد هزینه‌های ساختمان واقعی و ساختمان انرژی صفر در ایالات متحده بر اساس تحقیقات کیفی و کمی می‌پردازد. اهداف این تحقیق عبارتند از: ارائه یک نظرسنجی جامع از ساختمان‌های موجود برای جمع‌آوری یافته‌ها، مقایسه نتایج و تجزیه و تحلیل شواهد با تمرکز بر مطالعات کمی و تجزیه و تحلیل تطبیقی از دوازده ساختمان انرژی صفر ساخته شده پرداخته‌است، تا شواهد کافی برای تفاوت هزینه بین ساختمان انرژی صفر، ساختمان متعارف و ساختمان سبز را بدست‌آورد [۱۰].

در پژوهش استوانویچ متناسب با شرایط آب‌وهوای قاره‌ای با تابستان‌های گرم صربستان تمرکز اصلی بر نیازهای خنک‌کننده نسبت به تقاضای گرمایشی در ساختمان‌های اداری است. متناسب با این وضعیت پارامترهای غیرفعال طراحی خورشیدی انتخاب شده برای یک مدل ساختمان اداری در بلگراد مورد مطالعه قرار گرفته‌است. استراتژی در جهت خنک‌سازی در اینجا از طریق شبیه‌سازی، ترکیبی از پارامترهای طراحی شامل نوع جداره، نسبت پنجره به دیوار و حضور سایه بیرونی است. همچنین انواع مطلوب مدل با توجه به هزینه ساخت، سیستم خنک‌کننده و استفاده از نور خورشید تعیین شده است.

طبق نتایج بدست آمده در راه حل های بهینه در هزینه، نسبت پنجره به دیوار به طور معنی داری در نمای جنوبی و شمالی متفاوت است [۱۱].

در پژوهش دیگری پلناس و همکارانش با هدف تحلیل مسائل مربوط به بهره‌وری انرژی، به ارزیابی آن در هشت ساختمان اداری در بارسلونا پرداخته‌اند. این گروه با استفاده از شبیه‌سازی کامپیوتری، به مقایسه تقاضای انرژی و سطح نور طبیعی داخلی، پرداخته‌اند و نتیجه آن مغایرت میان میزان تقاضا با شرایط موجود بوده‌است. این گروه با بررسی پارامترهای نما به عنوان یک متغیر کلیدی برای کنترل نیازهای کلی یک ساختمان پرداخته‌اند [۱۲].

در مطالعات سو و کیم رویکردی سیستماتیک به ارزیابی عملکرد انرژی، راه حل های غیرفعال و فعال همراه با انرژی های تجدیدپذیر پرداخته‌اند. این گروه از میان ۱۶ ساختمان عمومی، چهار ساختمان را انتخاب کرده و پارامترهایی که روی مصرف انرژی آنها از طریق تجزیه و تحلیل مصرف برق و گاز آنها اثرگذار بوده را شناسایی کرده‌اند، و پس از اعتبار سنجی با داده‌های اندازه‌گیری شده، شبیه سازی انرژی برای مدل سازی تازه را مورد استفاده قرار داده‌اند [۱۳].

بانو و سهگال نیز در پژوهش خود با هدف ارزیابی میزان مصرف انرژی و تعیین استراتژی های طراحی انرژی با کارایی بالا به بررسی ساختمان های اداری بلند در اقلیم مشخص پرداخته‌است. برای این منظور، یک مطالعه مقایسه‌ای از شش ساختمان با انرژی کارآمد در ارتباط با اثربخشی استراتژی های طراحی برای کاهش حرارت، تهویه مطبوع و بار روشنایی انجام گردیده‌است. همچنین اثر عواملی نظیر فرم ساختمان، پیکربندی، محل هسته سرویس دهنده، نسبت پنجره به دیوار و تهویه فضا مورد تحلیل قرار گرفته است. به طور مثال، اثر عمق در نسبت پنجره به دیوار در بار روشنایی سنجیده شده‌است. و در نهایت، یافته‌های این مطالعه برای دستیابی به طراحی موثر مورد استفاده قرار گرفته‌است [۱۴].

مارشال و همکاران در بررسی خود، معیارهای قابل توجهی را در تعریف ساختمان انرژی صفر تعریف کرده‌اند، که شامل دوره و انواع انرژی موجود در تعادل انرژی، منابع انرژی بالقوه قابل بازیافت، زیرساخت های شبکه محلی، کنترل تهویه مطبوع و تعامل ساخت و ساز شبکه می‌گردد. پژوهش های تحقیقاتی اضافی در مورد موضوعات مربوط به ساختمان انرژی صفر برای حرکت رو به جلو امری ضروری است. همچنین نواقصی که در فهم فعلی ما است شامل تعریف جهانی قابل قبول از ساختمان انرژی صفر و افزایش شناخت ما از تغییرات اقلیمی و تغییر اجتماعی برای پیش بینی تقاضای آینده انرژی است. تمام ساختمان های جدید باید از تمام ویژگی های ساختمان با کارایی بالا نظیر بهره‌وری انرژی، دوام، عملکرد چرخه عمر و سلامت اشخاص، و فراتر از آن رفاه و بهره‌وری ادغام شوند. در همین حال، چالش عمده این است که در ساختمان های موجود بر اساس قوانین ساختمان در آن زمان گذشته ساخته شده‌اند. اگرچه صرفه جویی در مصرف انرژی و افزایش راندمان بهره‌وری انرژی، هزینه های آن را کاهش می‌دهد، اما اقدام اساسی نظیر بازسازی نیز می‌تواند پاسخ مناسبی برای این مسائل باشد. در نهایت ساختمان انرژی صفر و ساختمان های نظیر این الگو شرایط را به سمت کاهش مصرف انرژی کلی تغییر خواهد داد [۳].

با نگاهی به نتایج پژوهشی و سوابق اجرایی در سایر کشورهای جهان، در دهه‌های اخیر روند رو به رشدی در احداث این ساختمان‌ها را شاهد هستیم، و دستورالعمل‌ها و برنامه‌ریزی‌ها نیز حاکی از گسترش این رویکرد است. اما این وضعیت در کشور ایران بجز تعدادی انگشت‌شمار از سوابق اجرایی ساختمان‌های انرژی صفر، عمده تمرکز بر روی مقررات ملی ساختمان و مبحث نوزده بوده که مبتنی بر اصول ابتدایی صرفه‌جویی در مصرف انرژی ساختمان است. پژوهش‌ها نیز در قالب تعداد محدودی پایان‌نامه‌ها و مقاله‌ها است که طی سال‌های اخیر منتشر گردیده‌است.

۴-۱ ضرورت انجام پژوهش

گسترش شهرنشینی، افزایش جمعیت، تغییر الگوی زندگی و رشد اقتصادی کشورها از عوامل افزایش مصرف انرژی در سال‌های اخیر بوده‌است که در کنار سیاست‌های غلط در حوزه انرژی، منجر به گسترش گرمایش جهانی و آلودگی‌های جوی ناشی از گازهای گلخانه‌ای گردیده و براساس گزارش‌های جهانی روند آن رو به افزایش است. براساس آمار یک سوم انرژی مصرفی در بخش ساختمان اتفاق می‌افتد، که نیاز به بازنگری و اصلاح مصرف در این بخش است. از این رو تمرکز بر صرفه‌جویی در مصرف انرژی، بدل به یکی از ارکان مهم در طراحی و اجرای ساختمان‌ها گردیده‌است. پرداخت به رویکردهای صحیح در طراحی محیط، متناسب با بستر اقلیمی در مصرف انرژی موثر خواهد بود. و در نتیجه آن پیامدهای نابهنجار مصرف بیش از اندازه سوخت‌های فسیلی و آسیب‌های ناشی از آن بر حوزه‌های پایداری زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی کاهش خواهد یافت. از این جهت تمرکز زمینه علمی بر رویکردها و ارزیابی روش‌های دستیابی به الگوهای مناسب در صرفه‌جویی انرژی ساختمان امری ضروری است. ساختمان‌های انرژی صفر یکی از مدل‌های ساخت‌وساز در زمینه حفاظت از انرژی و توسعه پایدار شناخته‌است، که برای امکان‌سنجی و تحقق آن نیازمند ارزیابی، بررسی‌های میدانی و مطالعات گسترده جهت دستیابی به این مفهوم است.

۵-۱ ماهیت و محدوده پژوهش

محدوده این پروژه معطوف به بررسی ساختمان اداره گاز شاهرود و طراحی با رویکرد انرژی صفر آن می‌باشد. متناسب با ماهیت و عملکرد این مجموعه، با اتخاذ این رویکرد می‌توان از سویی به الگویی صحیح و مناسب در منطقه دست یافت، و از طرفی علاوه بر ترویج و توسعه این قبیل ساختمان‌ها، در مسیر پایداری، حراست و صرفه‌جویی از انرژی و کاهش آلاینده‌گی محیطی گام برداشت.

۶-۱ پرسش‌های پژوهش

پرسش‌های این پژوهش را می‌توان در قالب مطالب زیر طرح نمود:

آیا برقراری تعادل میان تقاضا و مصرف در ساختمان امکان پذیر است؟
آیا بهره‌گیری از انرژی تجدیدپذیر در ساختمان مقرون به صرفه است؟
تا چه حد می‌توان با تمرکز بر طراحی مناسب میزان مصرف انرژی ساختمان‌ها را کاهش داد؟
تا چه حد دستیابی به ساختمان‌های انرژی صفر در ایران عملی است؟

۷-۱ اهداف پژوهش

ساختمان انرژی صفر همچنان به عنوان گزینه‌ای عملی در راستای کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و جلوگیری از انتشار دی‌اکسیدکربن به شمار می‌رود. و به عنوان یکی از اهداف بلندمدت در حوزه ساختمان مورد تاکید قرار دارد. تحقق پژوهش‌ها و گسترش پروژه‌های نمونه می‌تواند توجهات را به این عرصه جلب نماید. بنابراین با پرداخت به این زمینه به عنوان ساختمان‌های الگو می‌توان به یک راهکار عملی و اجرایی دست یافت. این پژوهش نیز به دنبال ارزیابی و بهینه‌سازی مولفه‌های معماری در طراحی یک ساختمان انرژی صفر می‌باشد. ضمن اینکه در مسیر طراحی به جنبه‌های زیست محیطی، کاهش مصرف انرژی و بهره‌مندی از انرژی پاک پرداخته می‌شود. به طور کلی می‌توان اهداف پروژه را در موارد زیر طرح کرد:

۱. کاهش تقاضای سوخت‌های فسیلی
۲. بهینه‌سازی مصرف انرژی
۳. کاهش وابستگی به سیستم گرمایشی و سرمایشی از طریق رویکردهای غیرفعال
۴. بهره‌گیری از انرژی تجدیدپذیر و پاک
۵. کاهش نشر گازهای گلخانه‌ای
۶. ارتقای آسایش و سلامت محیط

۸-۱ روش پژوهش

متناسب با رویکرد کلی پژوهش که مبتنی بر بهینه‌سازی مصرف انرژی با بهره‌گیری از رویکردهای غیرفعال و به تعادل رساندن میزان تقاضا با میزان تولید انرژی در مجموعه، روش پژوهش ترکیبی از شیوه توصیفی-تحلیلی و استفاده از شبیه‌سازی است. در ابتدای امر و پس از مطالعات کتابخانه‌ای به تحقیق میدانی و برداشت اطلاعات یک ساختمان مرجع در شهر شاهرود، شامل: مصالح و جزئیات ساختمانی، بررسی دمای سطوح با استفاده از دیتالاگر، تعداد و جنسیت کاربران، تجهیزات و سامانه‌های گرمایشی و سرمایشی و میزان مصرف سالانه انرژی در این بنا پرداخته می‌شود. پس از این مرحله، در صورت تطابق شرایط واقعی با نتایج خروجی حاصل از شبیه‌سازی که با استفاده از نرم‌افزار دیزاین بیلدر و اطلاعات هواشناسی شهر شاهرود بدست می‌آید، شرایط شبیه‌سازی اعتبارسنجی و امکان بررسی‌های دقیق‌تر و اطلاع از صحت نتایج خروجی در مرحله طراحی فراهم می‌گردد. لازم به ذکر است اطلاعاتی

که نرم افزار دیزاین بیلدر در اختیار طراحان قرار می دهد نظیر، محاسبه بار سرمایشی و گرمایشی، محاسبات مصارف کلی ساختمان، برآورد میزان تشعشعات خورشیدی بر بازشوها و سایر سطوح و... کمک شایانی در مسیر انتخاب راهکارها می کند.

پس از اعتبارسنجی شرایط شبیه سازی، جهت دستیابی به مفهوم انرژی صفر در ساختمان، به بررسی و محاسبه نتایج شبیه سازی متغیرهای مستقل و تاثیر آن ها بر بار مصرفی به عنوان متغیر وابسته می پردازد. این متغیرها عبارتند از:

۱. جهت گیری متناسب با بهره گیری از شرایط مطلوب اقلیمی و تهویه طبیعی
 ۲. نسبت، کشیدگی و ابعاد بهینه ساختمان
 ۳. جنس جداره ها و بازشوها، ظرفیت حرارتی آن ها و بهره گیری از عایق حرارتی در جداره ها
 ۴. نسبت بهینه سایه بان متناسب با کیفیت آسایش بصری و کاهش بار سرمایشی
 ۵. بهره گیری از تهویه طبیعی و سایر رویکردهای غیرفعال
- پس از بهینه یابی فرم و بهره گیری از استراتژی های مطلوب، متناسب با ارتباط ساختمان با سایت، محاسبات آمار و اطلاعات طی یک دوره زمانی یک ساله برآورد می گردد. و در نهایت میزان انرژی مورد نیاز در بخش های سرمایش، گرمایش، روشنایی و تجهیزات با میزان انرژی تولیدشده بوسیله پتانسیل موجود در سایت با منابع تجدیدپذیر تامین می گردد.

۹-۱ محدودیت ها و موانع پژوهش

۱. گستردگی موضوع مورد مطالعه
۲. محدودیت زمانی پژوهش
۳. کمبود منابع معتبر داخلی، ضمن دسترسی محدود نسبت به منابع به روز لاتین
۴. نمونه های محدود اجرایی در کشور و عدم امکان بررسی و تحقیق عملی در ارتباط با موضوع

۱۰-۱ جمع بندی

متناسب با مطالبی که بیان شد، با پرداختن به این رویکرد می توان به الگویی مناسب در جهت توسعه پایدار در بخش ساختمان دست یافت، که ضمن تمرکز بر مصرف بهینه انرژی، وابستگی به سوخت های فسیلی را تا جای ممکن کاهش و میزان آلاینده های و انتشار گازهای گلخانه ای را پایین می آورد. از سویی دیگر ضمن حفاظت از منابع و محیط زیست، محیط سالم و با کیفیتی جهت رفاه و آسایش کاربران پدید می آید. همچنین در کنار این موارد، پژوهش در حوزه انرژی صفر زمینه را برای تحقق عملی موضوع فراهم می آورد، که لازمه آن سعی، جدیت و حمایت است.

فصل دو: مبانی نظری طرح

۲-۱ مقدمه

به جهت کاهش منابع سوخت‌های فسیلی و آسیب‌های محیط‌زیست، که به طور عمده ناشی از مصرف این سوخت‌هاست، بازنگری در مصرف انرژی امری مهم و الزامی است. از آن‌جا که حدود یک سوم انرژی جهان توسط بخش ساختمان مصرف می‌گردد، بهره‌گیری از ساختمان‌های با کارایی بالا می‌تواند مصرف انرژی را کاهش دهد. ساختمان‌های انرژی صفر یکی از این راهکارها است، که از طریق افزایش پتانسیل‌های ساختمان و از سوی دیگر بهره‌گیری از ظرفیت‌های محیطی، گامی اساسی در راستای تحقق این امر است. معماری، مقاومت پوسته حرارتی و نوع و بازدهی سیستم‌های تاسیساتی از عوامل تاثیرگذار در مصرف انرژی ساختمان است. در درجه نخست جهت طراحی معماری بایستی پتانسیل و محدودیت‌های اقلیم مرتبط شناخته شده و طراحی ساختمان منطبق بر این شرایط پیگیری گردد. از آن‌جایی که فرآیند طراحی بر مصرف انرژی سرمایشی، گرمایشی، روشنایی و در نتیجه بر مصرف انرژی، نشر گازهای گلخانه‌ای و هزینه‌های دوره حیات ساختمان تاثیرگذار است، با طراحی دقیق می‌توان مصرف انرژی ساختمان و هزینه‌های در ارتباط با آن را کاهش داد [۱۵]. بنابراین در این فصل به بررسی وضعیت موجود و آتی انرژی در ایران و جهان پرداخته‌است. و با نگاهی به رویکردهای کلی طراحی ساختمان از دیدگاه مصرف انرژی، به تشریح ساختمان‌های انرژی صفر، فرآیند و شیوه طراحی آن و در نهایت به بررسی رویکردهای اقلیمی مطلوب جهت طراحی پرداخته‌است.

۲-۲ انرژی در جهان

مصرف انرژی در سراسر جهان به شدت در حال رشد است، به طوری که در ۴۵ سال گذشته این میزان سه برابر شده‌است. کشورهای رو به توسعه در طی این دوره، رشد بسیار شدیدتری داشته‌اند، و تنها در سال ۲۰۰۹ و در نتیجه بحران اقتصادی که در بسیاری از کشورها رخ داد، مصرف کل اندکی کاهش یافته‌است. انتظار عمومی بر این است که طی دهه‌های آینده مصرف انرژی در جهان و انتشار گازهای گلخانه‌ای افزایش یابد. از این‌رو سیاست‌گذاری انرژی در رخدادهای آینده در کوتاه مدت و بلند مدت بسیار موثر خواهد بود. مورد دیگر امنیت تأمین انرژی است که با توجه به استقرار منابع انرژی، بدل به بازی سیاسی و بین‌المللی گردیده‌است، که منجر به افزایش تنش‌ها و عدم اطمینان در خصوص آینده می‌گردد. همچنین اثرات زیست محیطی مصرف انرژی و توسعه تقاضای انرژی در موارد زیر اثرگذار است [۱۶]:

بحران‌های اجتماعی ناشی از وضعیت نامطمئن انرژی

امنیت تأمین و دسترسی به انرژی

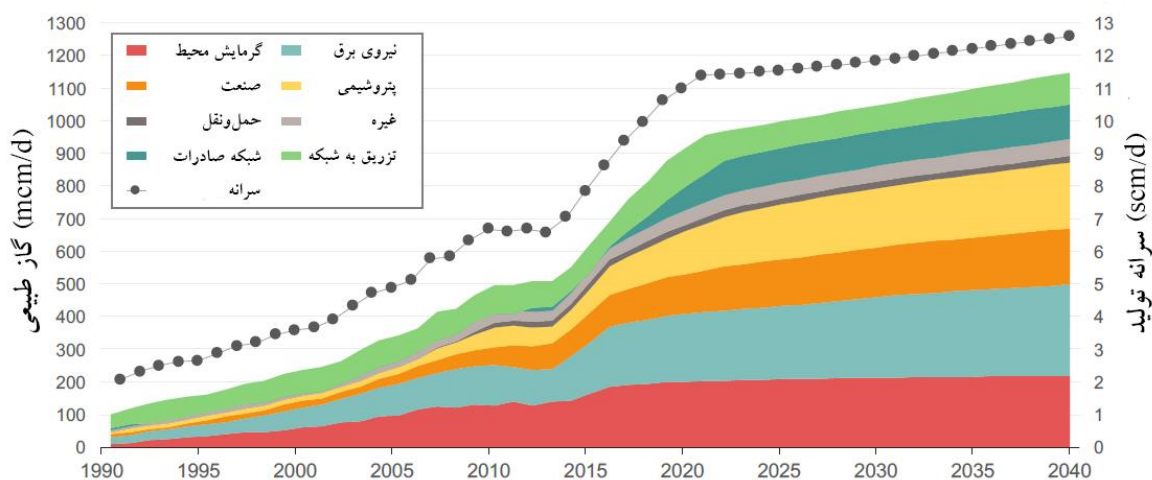
آلودگی‌های زیست محیطی

تغییرات اقلیمی

محدودیت منابع

۲-۱-۲ انرژی در ایران

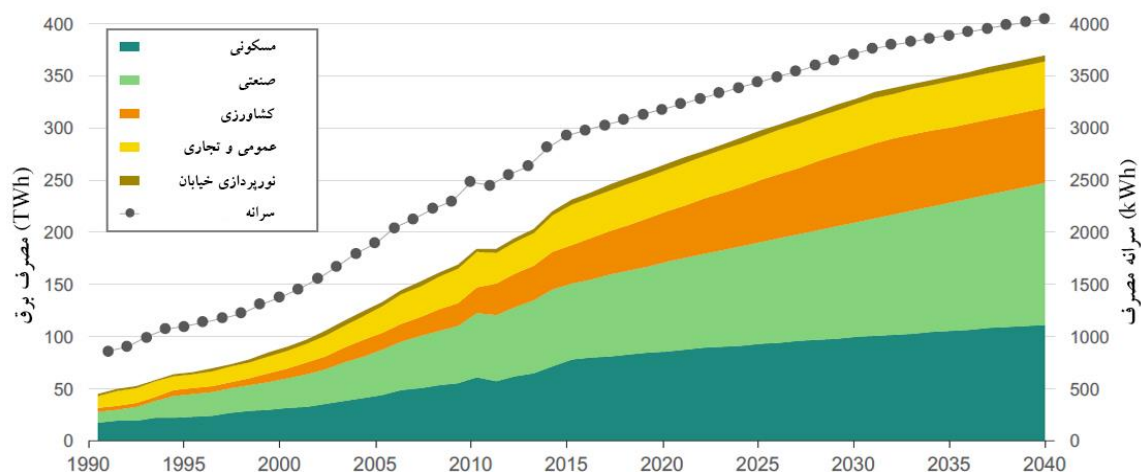
علیرغم پیشرفت‌ها در زمینه استخراج گاز، رشد مصرف داخلی گاز طبیعی نیز به دلیل رشد جمعیت، قیمت‌های یارانه‌ای، جایگزینی سوخت‌های مایع با گاز طبیعی، توسعه پتروشیمی و دیگر صنایع انرژی متناظر با رشد تولید یا حتی سریع‌تر از آن بوده‌است. عدم افزایش حجم تزریق گاز به میادین نفتی و تراز منفی تجارت گاز با کشورهای همسایه از تبعات این رشد بی‌سابقه است. بر اساس نمودار ۱-۲ تحلیل حاضر نمایانگر تداوم تقاضای فزاینده برای گاز طبیعی در بخش‌های تولید برق و پتروشیمی و سایر بخش‌ها است [۱۷].



نمودار ۱-۲. روند تاریخی و پیش‌بینی آینده تولید و مصرف گاز طبیعی (منبع: Azadi et al., ۲۰۱۷)

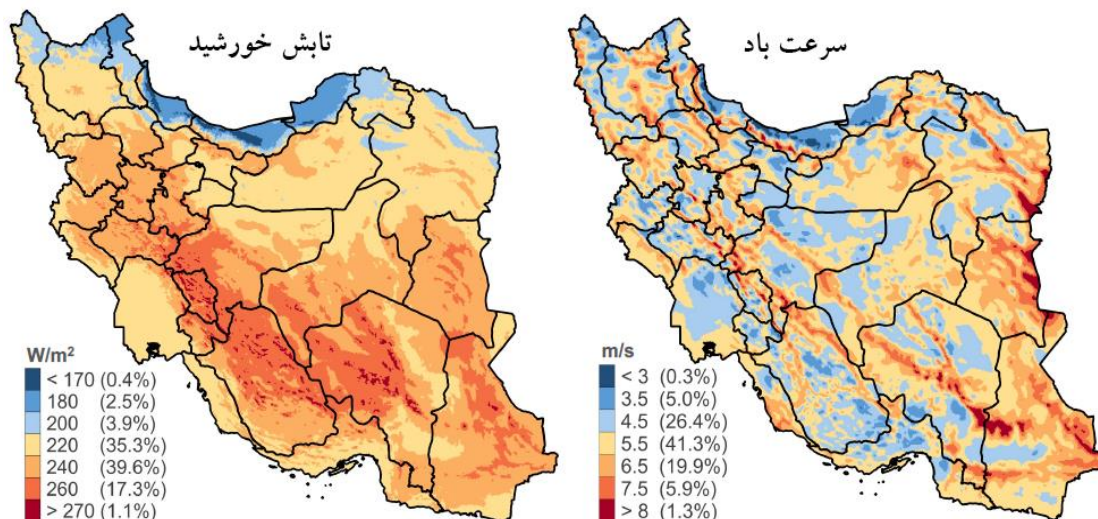
از سال ۱۹۹۰ تا کنون ظرفیت تولید برق ایران با میانگین سالیانه ۲,۴ گیگاوات افزایش یافته تا پاسخگوی افزایش تقاضا ۹,۱ تراوات ساعتی کشور در سال باشد. در سال ۲۰۱۶، گاز طبیعی تامین‌کننده ۸۵ درصد انرژی اولیه تولید برق و سهم سوخت‌های مایع و برق‌آبی نیز به ترتیب ۹ و ۵ درصد بوده‌است. هزینه تولید برق در نیروگاه‌های سیکل ترکیبی در ایران براساس هزینه فرصت مفروض برای گاز طبیعی بین ۱,۵ تا ۶,۳ سنت بر کیلووات‌ساعت برآورد می‌گردد. این در حالی است که تبدیل نیروگاه‌های گازی فعلی به سیکل ترکیبی و نوسازی نیروگاه‌های بخاری امکان اضافه کردن حدود ۱۰ گیگاوات ظرفیت با هزینه سرشکن شده کمتر از ۱ سنت بر کیلووات‌ساعت را فراهم می‌سازد. همچنین بررسی‌های صورت گرفته نشان می‌دهد که تولید برق تجدیدپذیر در اقلیم ایران از طریق پروژه‌های بزرگ مقیاس خورشیدی و بادی با فرض تامین مالی دولتی هزینه‌ای حدود ۴ سنت بر کیلووات‌ساعت در برخواهد داشت. تقبل چنین هزینه‌هایی تنها با اطمینان از حصول ارزش افزودهای بیش از ۱۵۰ هزار دلار به ازای هر میلیون مترمکعب گاز صرفه‌جویی شده توجیه‌پذیر است. در حال حاضر استفاده از گاز طبیعی در بخش حمل و نقل، صادرات، و با قطعیت کمتر تزریق مجدد به میادین نفتی به طور بالقوه توانایی تحقق شرط فوق را دارا می‌باشد. در میان مصارف فوق، بازار بخش حمل و نقل گازی اشباع و برای رشد بیشتر نیازمند اعمال سیاست‌های تحریک بازار می‌باشد. با در نظر گرفتن سبد محصولات

پتروشیمی در ایران و بازار جهانی این محصولات، سرمایه‌گذاری در بخش انرژی‌های تجدیدپذیر به منظور ایجاد گاز مازاد برای افزایش تولید در این بخش در حال حاضر فاقد صرفه اقتصادی است [۱۷]. ایران سومین تولید کننده گاز طبیعی در جهان است، اما اکثریت قریب به اتفاق آن تاکنون جذب تقاضای داخلی شده است. گرمایش فضا ۲۹، تولید برق ۲۴، صنایع غیرپتروشیمی ۱۵، صنایع پتروشیمی ۱۳، تزریق مجدد ۹ و حمل و نقل ۳ درصد از بزرگترین بخش‌های مصرف کننده گاز طبیعی در ایران است. با گسترش شبکه توزیع برای پوشش بیش از ۹۰ درصد خانوار، گاز طبیعی به تدریج جایگزین سوخت مایع برای گرم کردن فضا و آب گردیده که در نتیجه آن، شاهد افزایش مصرف گاز در طول ۲۵ سال گذشته بوده‌ایم. علاوه بر این، مقدار گاز طبیعی مصرف شده برای تولید برق، پتروشیمی و سایر موارد افزایش یافته است. براساس نمودار ۲-۲ تولید ناخالص سالانه برق ایران ۵۵ تراوات بر ساعت در سال ۱۹۹۰ و ۲۸۲ تراوات بر ساعت در سال ۲۰۱۵ بوده، که حاکی از یک نرخ رشد متوسط ۹,۱ تراوات بر ساعت در سال است. همانطور که انتظار می‌رود، برق بخش عمده ای در ایران به گاز طبیعی متکی است. در سال ۲۰۱۶، سهم گاز طبیعی، سوخت‌های مایع و برق آبی در مخلوط تولید برق ایران به ترتیب ۸۵، ۹ و ۵ درصد بوده است [۱۷].



نمودار ۲-۲. روند تاریخی و پیش‌بینی تقاضای برق در ایران (منبع: Azadi et al., ۲۰۱۷)

علاوه بر منابع انرژی فسیلی، ایران دارای ظرفیت چشم‌گیری از نظر انرژی‌های تجدیدپذیر است. براساس تصویر ۲-۳ و طبق برآورد ۱,۷ میلیون هکتار از خاک ایران بیش از ۲۷۰ وات بر مترمربع تابش خورشید و ۲۸ میلیون هکتار آن نیز بیش از ۲۵۰ تا ۲۷۰ وات بر مترمربع به انرژی دسترسی دارد. در مورد پتانسیل نیروی باد، ۲,۱ میلیون هکتار از اراضی ایران، دارای میانگین سرعت باد سالانه ۸ متر بر ثانیه و بالاتر است که فرصت مناسبی را برای مهار این منبع انرژی مناسب می‌کند. ایران در نظر دارد تولید انرژی از منابع تجدیدپذیر غیر برق‌آبی خود را تا سال‌های آتی به حدود ۴ گیگاوات (۵درصد) افزایش دهد. این امر علاوه هدایت گاز طبیعی یا سوخت مایع به سمت سایر مصارف، بازگشت اقتصادی بالاتر، و بهبود کیفیت هوا در شهرهای بزرگ را فراهم می‌نماید [۱۷].



تصویر ۲-۳. ظرفیت بهره‌برداری از توان انرژی خورشید و باد (منبع: Azadi et al., ۲۰۱۷)

۲-۳ رویکرد ساختمان‌ها از نظر عملکرد انرژی

در دهه‌های گذشته، پیشرفت‌های قابل توجهی در زمینه صرفه‌جویی در مصرف انرژی و حفاظت از آن انجام شده‌است. نسل اول ساختمان‌های سبز به دلیل گسترش نگرانی در مورد تاثیر منفی ساختمان در محیط طبیعی شکل گرفت. نسل بعدی در سال ۱۹۹۰ و پس از معرفی سیستم‌های صدور گواهی‌نامه بلند مدت مانند بریم و لید ظاهر می‌شود. از نظر تاریخی، یکی از اولین کوشش‌ها برای اجرای ساختمان انرژی صفر در سال ۱۹۷۷ توسط کورسگارد و اسبنسن در دانمارک و با استفاده از سیستم خورشیدی انجام شد. از آن زمان تا کنون روند کاهش مصرف انرژی این ساختمان‌ها با تسریع گردیده‌است. نسل سوم این ساختمان‌ها در ایالات متحده و ژاپن ظهور کرد، و عمدتاً به دنبال بهبود تکنولوژی پنل‌های خورشیدی و کاهش هزینه‌های اجرای آن بود. نسل چهارم همراه با تکنولوژی ذخیره سازی باتری در ساخت بود که اجازه می‌داد مدیریت تقاضا به طریقی که پیش از آن غیر ممکن بود میسر کند. نسل چهارم از لحاظ اقتصادی کاهش قابل ملاحظه‌ای در هزینه سیستم‌های خورشیدی و سیستم‌های ذخیره‌سازی بود. با این حال، هزینه بالای ذخیره‌سازی باتری همچنان چالش بزرگی بود. نسل پنجم با رویکردی متفاوت‌تر، شامل در نظر گرفتن وسایل نقلیه الکتریکی در موقعیت سایت، سیاست‌های حمایتی، قابلیت اقتصادی، توجه به تغییرات آب و هوایی، حفظ و ذخیره انرژی در سایت، پیاده‌سازی فناوری نو و تحت شبکه نت همراه بود [۱۸].

۲-۴ ساختمان انرژی صفر

ساختمان انرژی صفر، ساختمانی است که برآیند مصرف انرژی آن در طول سال صفر است. به این معنی که به اندازه میزان تقاضای انرژی از شبکه، به شبکه انرژی تحویل می‌دهد. همچنین این ساختمان‌ها با استقلال از شبکه خارجی، نیازی به دریافت انرژی ندارد، اگر چه در برخی موارد این امکان وجود دارد

[۳]. به طور کلی، ساختمان‌های انرژی صفر شامل متصل به شبکه و خارج از شبکه می‌باشند. دسته اول به عنوان ساختمان‌هایی تعریف می‌شوند که می‌توانند به زیر ساخت های انرژی مانند شبکه برق متصل شوند، در حالی که ساختمان‌های خارج از شبکه به هیچ زیرساخت خارجی وابسته نیست، بنابراین تقاضای ساختمان و ذخیره انرژی برق باید در محل تولید و سیستم مناسب برای جلوگیری از قطع برق در خارج از شبکه اتخاذ گردد [۱۹]. به همین ترتیب، برای حصول اطمینان از خودکفایی این ساختمان‌ها با تمرکز بر قدرت ذخیره‌سازی انرژی‌های تجدیدپذیر، سیستم می‌تواند تعادل بین مصرف انرژی و عرضه انرژی تجدیدپذیر را طی یک دوره زمانی، معمولاً یک سال حفظ کند [۳].

۲-۴-۱ مروری بر تعاریف ساختمان‌های انرژی صفر

از نظر تورسلینی و همکاران طبق تصویر ۲-۴ تعاریف دیگری بسته به شیوه بهره‌برداری و نحوه ارتباط با شبکه وجود دارد که شامل موارد زیر می‌گردد:

۱. انرژی خالص صفر از سایت: در این ساختمان‌ها، انرژی عرضه شده توسط منبع انرژی تجدیدپذیر در داخل سایت، مساوی با انرژی مصرف شده در ساختمان است. در آمریکا عبارت «ساختمان انرژی خالص صفر» به این دسته از ساختمان‌ها اطلاق می‌شود.

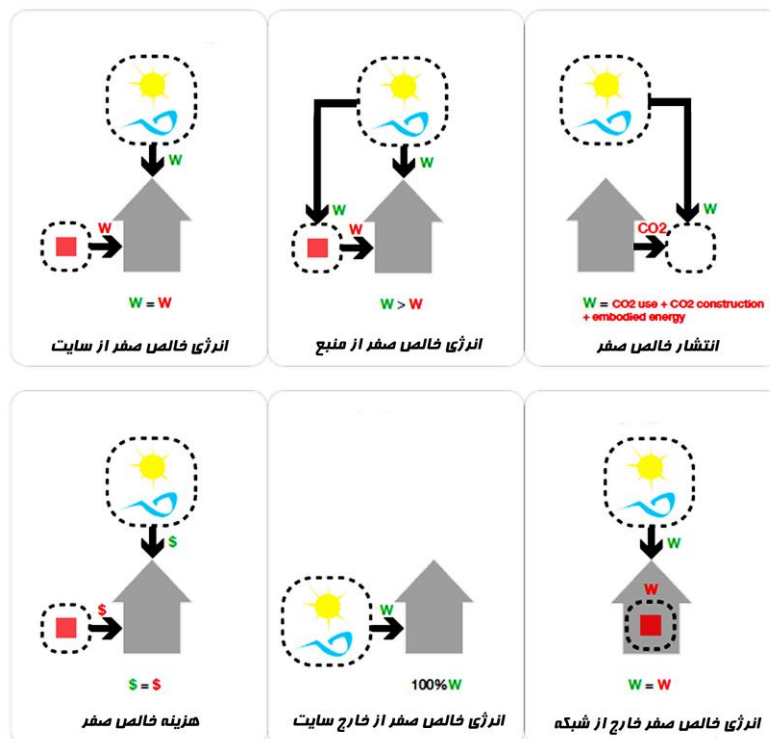
۲. انرژی خالص صفر از منبع: این نوع ساختمان به اندازه مصرف انرژی اولیه، انرژی تولید می‌کند که شامل تلفات آن از مسیر نیروگاه تا به ساختمان نیز می‌گردد. از آنجایی که در این ساختمان‌ها تلفات انتقال انرژی الکتریکی هم محاسبه می‌شود، بنابراین این دسته از ساختمان‌ها نیاز به تولید انرژی الکتریکی بیشتری نسبت به دسته اول است.

۳. انتشار خالص صفر: خارج از آمریکا و کانادا، ساختمان انرژی صفر به عنوان «ساختمان کربن صفر» یا «ساختمان انتشار صفر» هم شناخته می‌شود. براساس این تعریف، انتشار کربن تولیدی هنگام استفاده از سوخت‌های فسیلی در داخل یا خارج از محل سایت به وسیله انرژی تجدیدپذیر تولیدی در داخل سایت به تعادل می‌رسد. مبنای تعریف دیگر این ساختمان این است که علاوه بر کربن تولید شده توسط ساختمان بهره‌برداری شده، کربن نشر یافته هنگام ساخت‌وساز نیز کنترل می‌شود.

۴. هزینه خالص صفر: در این ساختمان‌ها، با فروش انرژی الکتریسیته تولید شده در سایت به شبکه خارجی، هزینه خرید انرژی تامین و تعادل برقرار می‌گردد.

۵. انرژی خالص صفر مصرف از خارج سایت: ساختمانی که ۱۰۰ درصد انرژی خریداری شده‌اش از منابع تجدیدپذیر باشد. حتی اگر انرژی تولیدشده خارج از سایت باشد.

۶. انرژی خالص صفر خارج از شبکه: این ساختمان‌ها هیچ ارتباطی با شبکه انرژی خارجی ندارد. همچنین برای کنترل تقاضای انرژی به سیستم‌های تولید، توزیع و ذخیره‌کننده انرژی تجدیدپذیر نیازمند است [۲۰].



تصویر ۲-۴. دیاگرام تعاریف ساختمان انرژی صفر از منظر تورسیلینی (منبع: Coni, ۲۰۱۴)

۲-۴-۲ روش‌های سنجش دوره تعادل

ساختمان‌های انرژی صفر ایده گسترده با تعاریف متعدد است که بسته به نوع برخورد با آن ابعاد متفاوتی مبنا قرار می‌گیرد. محاسبات تعادلی چرخه انرژی در ساختمان‌های با سامانه تولید انرژی تجدیدپذیر یا متصل به شبکه برای تحقق کامل امری پیچیده است. همچنین عدم تعاریف استاندارد و روشن برای روش‌های محاسبه انرژی را نیز باید به موارد بالا افزود. براساس دیدگاه‌های مختلف محاسبه تعادل انرژی در ساختمان‌های انرژی صفر شامل روش‌های پیشنهادی در جدول ۲-۱ است. این اطلاعات بر جنبه‌های مهم هر روش با توجه به معیار سنجش، دوره، نوع تعادل، نوع مصرف انرژی، انرژی اولیه و انتشار دی‌اکسیدکربن تمرکز دارد [۳].

۲-۴-۲-۱ معیار سنجش تعادل

براساس نتایج پژوهش تورسیلینی، تعریف ساختمان انرژی صفر تحت تاثیر چهار عامل منبع، سایت، هزینه و انتشار گازهای گلخانه‌ای قرار دارد که محققان نسبت به معایب و مزایای هر یک از آن‌ها پرداخته‌اند. برای مشخص شدن این زمینه می‌توان برای مثال به اجرای آسان‌تر تعاریف انرژی خالص صفر از سایت و هزینه خالص صفر و یا محاسبات پیچیده در نشر خالص صفر و یا جنبه‌های متفاوت استانداردهای هر کشور نسبت به مدل انرژی خالص صفر از منبع اشاره نمود. در پژوهش مرتز و همکاران فقط دو معیار انرژی نهایی و نشر گازهای گلخانه‌ای را برای تعادل بین تولید و مصرف مطرح می‌کنند

[۲۱]. همچنین در تعریف راهنمای عملکرد انرژی ساختمان پارلمان اروپا، انرژی اولیه به عنوان معیار جهت تعادل انرژی مورد اشاره قرار گرفته است. همان طور که اشاره شد واحدهای گوناگونی برای دوره تعادل ذکر گردید، که می توان متناسب با اهداف پروژه یک یا چند واحد سنجش را در روش محاسبه در نظر گرفت که می تواند هر یک از موارد انرژی نهایی، انرژی اولیه، تولید دی اکسید کربن، هزینه انرژی و یا سیاست گذاری های ملی و محلی مبنا قرار گیرد.

جدول ۱-۲. روش های سنجش دوره تعادل

عامل CO ₂	گزینه های تامین انرژی			نوع تعادل		نوع مصرف انرژی			دوره زمانی		معیار سنجش تعادل				روش های محاسبات
	خارج سایت	درون سایت	ساختمان	متصل / منفصل	تولید / مصرف	انرژی مصرفی	انرژی کل	انرژی بهره برداری	ماهانه	سالانه	هزینه انرژی	انتشار CO ₂	انرژی اولیه	انرژی دریافتی	
EN ۱۵۶۰۳:۲۰۰۸		✓	✓		✓		✓			✓			✓		۱
EN ۱۵۶۰۳:۲۰۰۸		✓	✓		✓		✓			✓			✓		۲
EN ۱۵۶۰۳:۲۰۰۸		✓	✓		✓		✓			✓			✓		۴
محلی	✓	✓	✓		✓		✓			✓	✓	✓	✓	✓	۴
محلی	✓	✓	✓	✓			✓			✓	✓	✓	✓	✓	۵
-		✓	✓		✓			✓	✓					✓	۶
EN ۱۵۶۰۳:۲۰۰۸	✓	✓	✓				✓			✓		✓	✓	✓	۷
محلی		✓	✓		✓		✓			✓			✓		۸
-	✓	✓	✓		✓		✓			✓				✓	۹
محلی	-	-	-		✓			✓		✓			✓		۱۰
محلی		✓	✓		✓	✓				✓			✓		۱۱
EN ۱۵۶۰۳:۲۰۰۸	-	-	-		✓	✓				✓			✓	✓	۱۲

(منبع: (Marszal et al., ۲۰۱۱)

۲-۴-۲ دوره زمانی تعادل

براساس تعاریف رایج ترین مبنای دوره تعادل مصرف سالیانه است [۲۲]. اما از طرفی تعاریف پیچیده تری نیز وجود دارد. براساس نظر هرناوندز و کنی دوره کامل حیات ساختمان می تواند مبنای بسیار مطلوبی برای محاسبات تعادل انرژی باشد یعنی علاوه بر تعادل انرژی ساختمان در یک بازه معین، انرژی نهان در مصالح و مواد، فرآیند ساخت و ساز، راه اندازی، تخریب، حمل و نقل و غیره نیز بایستی مد نظر قرار گیرد [۲۳]. ارزیابی این موارد امکان سنجش تاثیر واقعی بنا بر محیط اطرافش را مهیا می سازد. همچنین این دوره را می توان برای کل دوره زندگی بنا و یا دوره ۵۰ ساله بهره برداری از بنا در نظر گرفت، و یا با روش متداول از تعادل سالانه و یا در مورد های خاص از تعادل ماهانه بهره گرفت.

۲-۴-۲-۳ نوع مصرف انرژی

براساس استاندارد EN ۱۵۶۰۳:۲۰۰۸ در ارتباط با کارکرد انرژی ساختمان، محاسبه انرژی الزامی بایستی در رابطه با میزان انرژی مصرفی در ساختمان متناسب با شرایط آب و هوایی باشد. این میزان مصرف انرژی شامل سرمایش، گرمایش، رطوبت، تهویه، آب گرم مصرفی و روشنایی و تجهیزات است. تنوع گسترده اطلاعات برای تعیین تعادل، سبب گستردگی در روش‌های محاسبه گردیده است. در بیشتر این محاسبات مبنا انرژی مصرفی کل ساختمان است و معمولاً انرژی نهان مربوط به مصرف انرژی ساختمان گنجانده نمی‌گردد. براساس اطلاعات نخستین تلاش‌ها در دهه‌های ۷۰ و ۸۰ میلادی در جهت دستیابی به ساختمان انرژی صفر گردیده است. عمده انرژی مصرفی ساختمان در آن زمان به انرژی حرارتی (گرمایش، سرمایش، آب گرم) اختصاص داشت، از این رو طراحی ساختمان حرارت صفر به شمار می‌آمد [۲۴]. رویکرد دیگر توسط جیمز و همکاران در تعریف ساختمان انرژی صفر تنها روی مصارف انرژی الکتریسیته متمرکز است. هرناندز و کنی توصیه می‌کنند که تعادل انرژی نباید تنها معطوف به مصارف انرژی در مرحله بهره‌برداری باشد، بلکه انرژی نهان را نیز در نظر گرفته شود. به هر روی، بایستی توجه داشت که در بیشتر متن‌های مرتبط، نوع انرژی مصرفی در سنجش تعادل به طور مشخص تعیین نشده است [۲۳].

۲-۴-۲-۴ نوع تعادل

نوع تعادل اغلب در ارتباط با ساختمان‌های انرژی صفر متصل به شبکه به کار می‌رود. این موضوع به این جهت است که در این ساختمان‌ها دو گونه تعادل میان تولید انرژی تجدیدپذیر و تقاضای انرژی و انرژی دریافتی و برگشتی به شبکه وجود دارد. برآیند این دو تعادل در بیشتر موارد برابر و یکسان است. اما اختلاف اساسی در زمان ارزیابی تعادل است. دسته اول بیشتر در مرحله طراحی و دسته دوم در مرحله نظارت، اجرایی است. همچنین در ساختمان‌های انرژی صفر منفصل از شبکه، مصرف انرژی باید با انرژی تولیدشده توسط منابع تجدیدپذیر مساوی باشد. در تعاریف ساختمان‌های انرژی صفر به طور عمده بر پایه نوع تعادل مصرفی در ساختمان است و بیشترین مورد مربوط به مقایسه بین تقاضای انرژی و تولید آن است [۲۵].

۲-۴-۲-۵ گزینه‌های تأمین انرژی تجدیدپذیر

بسته به امکان عرضه در درون سایت نظیر انرژی خورشید و یا عرضه از بیرون سایت نظیر زیست توده، منابع به عنوان گزینه تأمین انرژی به شمار می‌روند. ساختمان‌های انرژی صفر، توسط منابع تجدیدپذیر محلی و یا قابل حمل به سایت پوشش داده می‌شوند. تورسلینی و همکاران از اولین کسانی بودند که با طرح پیشنهادی جهت تأمین انرژی، گام مطلوبی در جهت تحقق و پیشرفت این موضوع برداشته‌اند. آن‌ها در پژوهش خود جهت تولید در محل، میان آن‌چه بنا عرضه، و آن‌چه محیط پیرامونی عرضه می‌کند تفاوت قائل شده‌اند. براساس جدول ۲-۲ آن‌ها معتقدند که متناسب با اولویت برای دریافت

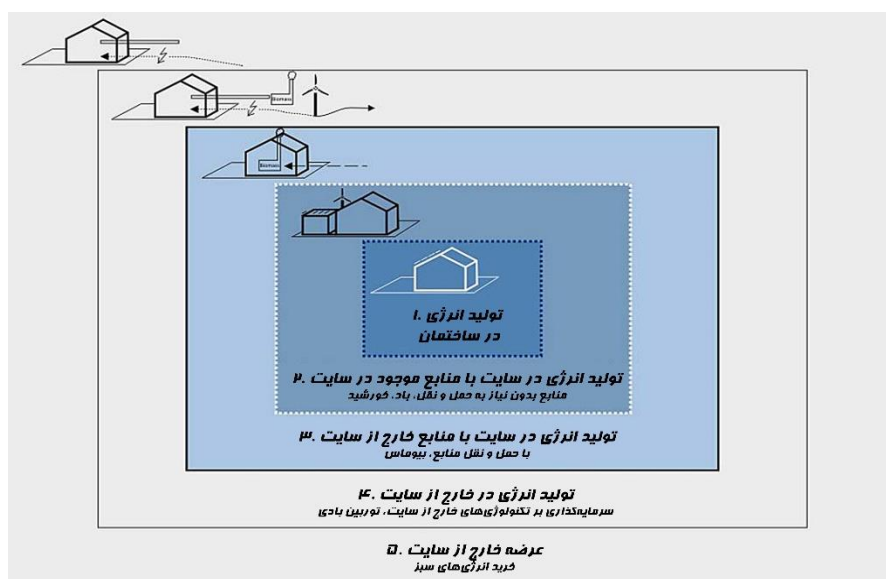
انرژی از خارج سایت یا باید از منابع در دسترس انرژی تجدید پذیر خارجی برای تولید انرژی بهره برد و یا آن را خریداری کرد [۲۰].

جدول ۲-۲. گزینه‌های تأمین انرژی جهت ساختمان انرژی صفر بر اساس اولویت‌بندی

گزینه‌ها	۰	۱	۲	۳	۴
گزینه‌های تأمین انرژی ساختمان انرژی صفر	کاهش مصرف انرژی از طریق رویکردها	بهره‌گیری از منابع انرژی تجدیدپذیر و در دسترس ساختمان	بهره‌گیری از منابع انرژی تجدیدپذیر و در دسترس محلی	بهره‌گیری از منابع انرژی تجدیدپذیر و در دسترس خارج از محل برای تولید انرژی در محل	بازدهی سالیانه از منابع انرژی تجدیدپذیر خارج از محل
مثال	روشنایی روز سیستم‌های راندمان بالا سرمایش تبخیری تهویه طبیعی	کلکتور خورشیدی توربین بادی پنل فتوولتائیک	کلکتور خورشیدی کاهش فشار آب توربین بادی در محل	زیست توده چوب اتانول انرژی برقیایی	انرژی باد زمین گرمایی انرژی‌های سبز انرژی برقیایی

(منبع: torcellini et al., ۲۰۰۶)

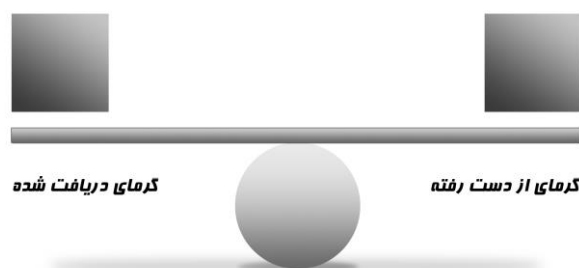
مارشال و همکاران نیز در قالب تصویر ۲-۵ گزینه‌های عرضه انرژی تجدیدپذیر را با پرهیز از نگاه سلسله مراتبی نشان داده‌اند [۳]. به طور کلی لازمه ایجاد ساختمان انرژی صفر، علم کافی به جزییات آن و آشنایی با نحوه محاسبات انرژی ساختمان و روش‌های متفاوتی که برای آن وجود دارد است. نظر به گستردگی و تنوع اقلیمی ایران، نمی‌توان دستورالعمل ثابتی را برای تمامی مناطق پیشنهاد کرد، اما به جهت این‌که پهنه وسیعی امکان دریافت تابش مناسب خورشید را داراست می‌تواند منبع مطلوبی جهت تأمین انرژی تجدیدپذیر تلقی گردد.



تصویر ۲-۵. گزینه‌های عرضه انرژی تجدیدپذیر (منبع: Marszal et al., ۲۰۱۱)

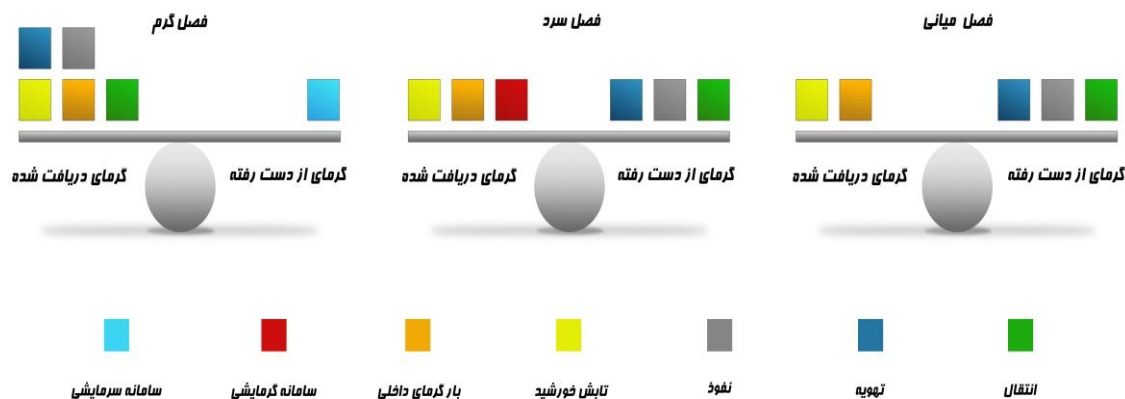
۲-۵ تعادل حرارتی ساختمان

تعادل حرارتی و تعادل انرژی، نقطه شروع تعیین انرژی مورد نیاز ساختمان است. برای تبیین نیاز سالانه گرمایش و سرمایش یک ساختمان، باید بین نیاز انرژی ساختمان و کل انرژی مصرفی تجهیزات فنی نظیر: رادیاتورها، دیگ‌های بخار و فن‌ها، تفکیک قائل شد. میزان انرژی مورد نیاز برای گرمایش و سرمایش براساس خصوصیات فیزیکی ساختمان، آب‌وهوا و کاربران تعیین می‌گردد. و مقادیر مطلوب آن شامل، میزان گرمای لازم برای تأمین یا استخراج آن از یک فضای مطبوع برای حفظ دمای مورد نظر است. برای تعیین تعادل گرما و انرژی یک ساختمان، کلیه جریان‌های گرمایی که به آن وارد یا خارج می‌شوند در محاسبات اثرگذار است. این جریان‌ها شامل انتقال، نفوذ، تهویه، تابش خورشید و بار گرمای داخلی که شامل روشنایی، تجهیزات و کاربران است. مطابق با تصویر ۲-۶ در یک فضای مطبوع، همواره تعادل حرارتی بین انرژی دریافتی و انرژی تلف‌شده برقرار است. برای تعیین نیاز ساختمان به سامانه‌های فعال بسته به شرایط آب‌وهوایی، فصلی و غیره بررسی جزییات جریان‌های ورودی و خروجی ساختمان، در تشخیص نیاز انرژی در ساختمان موثر است [۱۶].



تصویر ۲-۶. تعادل انرژی و تعادل حرارتی (منبع: Dobbelsteen et al., ۲۰۱۹)

براساس تصویر ۲-۷ در فصول سرد، معمولاً دمای فضای داخلی بیشتر از دمای بیرون است، این اختلاف دما منجر به تلفات گرمای ساختمان و از دست رفتن انرژی از طریق جداره‌ها، بازشوها و بام می‌گردد. متناسب با تعادل گرمایی فضا، به سبب اختلاف دما و جزییات عایق‌بندی جداره‌ها، گرما به روش انتقال، تهویه و نفوذ از دست می‌رود. همچنین در سمت دیگر این موازنه با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی، جهت‌گیری، میزان بازشوها و سایه‌بان تابش خورشید و بار گرمای داخلی ناشی از تجهیزات، روشنایی و افراد حاضر قرار می‌گیرد. همچنین اختلاف میان دو طرف موازنه از طریق سامانه‌های گرمایشی تأمین می‌گردد. در فصول گرم نظیر تابستان، که فضای بیرون گرم‌تر از فضای داخلی است، گرمای دریافت‌شده در محیط بوسیله جریان‌های تابش خورشید، بار گرمای داخلی، نفوذ، تهویه و انتقال است، و برای برقراری توازن دمای محیط در حد آسایش نیاز به سامانه سرمایشی است. همچنین در فصول میانی سال نظیر بهار و پاییز که بخشی از سال دمای محیط به شکل طبیعی و بدون نیاز به سامانه‌های گرمایشی و سرمایشی در محدوده آسایش است، همچنین در موازنه تعادل گرمایی، تابش خورشید و بار گرمای داخلی در یک سمت و تهویه، انتقال و نفوذ در سمت دیگر قرار می‌گیرد [۱۶].

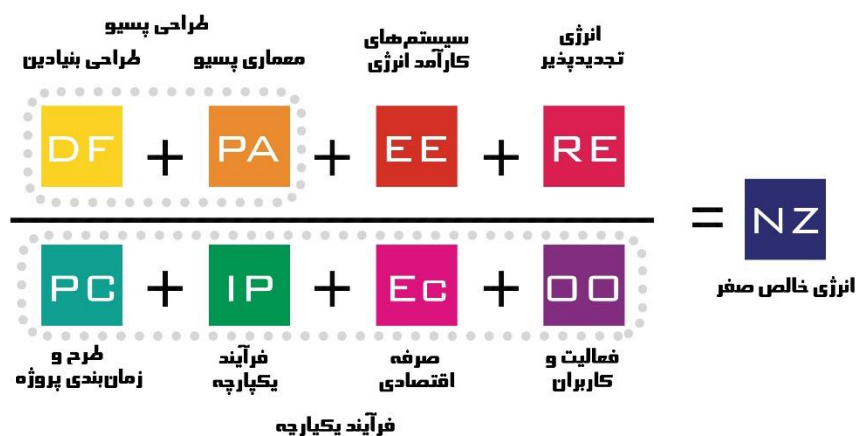


تصویر ۲-۷. تعادل حرارتی در فصول مختلف (منبع: ۲۰۱۹, Dobbelsteen et al.)

۲-۶ استراتژی طراحی ساختمان انرژی صفر

استانداردهای جدید تاکید بر بهره‌گیری از رویکردهای منفعل در فرآیند طراحی دارند. در طی این فرآیند ساختمان‌ها برای دوام و نگهداری برنامه‌ریزی می‌گردند، که بر پایه جزئیات دقیق و فضاهای انعطاف‌پذیر براساس کاربری و شرایط اقلیمی بنا می‌گردد. همچنین راه‌حل‌های طراحی، بر پایه کاهش قابل توجه بارهای ساختمان، مانند استفاده استراتژیک از جرم حرارتی، سایه‌بان و سیستم‌های فعال مانند پانل‌های فتوولتائیک استوار است. ساختمان انرژی صفر یک راه‌حل قابل دستیابی و لازمه آن تغییرات فرهنگی و آگاهی‌بخشی کاربران است [۱۵].

مطابق با تصویر ۲-۸ توماس هوتمن در خصوص طراحی ساختمان انرژی صفر معتقد است که این فرآیند یکپارچه، ابتکاری و بازگشتی است و در آن برای دستیابی به راه‌حل‌های مقرون به صرفه و هماهنگ تلاش می‌گردد. از سویی دیگر برنامه‌ریزی در این فرآیند منجر به کوتاه شدن زمان تحویل و جلوگیری از تقطیع زمانی پروژه می‌گردد [۲۶].



تصویر ۲-۸. فرآیند طراحی ساختمان انرژی صفر (منبع: ۲۰۱۲, Hootman)

طراحان ساختمان خالص انرژی صفر از ابتدای مرحله طراحی کانسپت مفهومی برای پرداختن به بسیاری از جنبه‌های طرح مورد چالش قرار می‌گیرند، که می‌توانند به کمک نرم افزارهای شبیه سازی در صورت اعتبارسنجی، طرح را به سمت بهترین راه حل ممکن از جنبه‌های هزینه، برنامه، کیفیت و عملکرد هدایت کند. مطابق با جدول ۲-۳ برای دستیابی به عملکرد مطلوب از یک فرآیند سه‌گانه مبتنی بر رویکردی گام به گام، برای طراحی آگاهانه از مصرف انرژی و شامل مراحل زیر بهره می‌گیرند [۱۶]:

۱. جلوگیری از تقاضای انرژی با رویکردهای مبتنی بر کاهش مصرف

۲. باز بهره‌گیری از منابع و سامانه‌های کارآمد

۳. بهره‌مندی از منابع انرژی تجدید پذیر

متناسب با این فرآیند مصرف انرژی و اهداف تعیین، سایت و شرایط اقلیمی تجزیه و تحلیل و منابع موجود ارزیابی می‌گردد. پس از آن طرح با بررسی جرم، هندسه، برنامه‌ریزی فضایی و منطقه‌بندی حرارتی توسعه می‌یابد، در مرحله بعد پوسته ساختمان عایق بندی شده و کارایی بازشوها مانند درب و پنجره‌ها بررسی و جنبه‌های برنامه کاربری، بارها، سنسورها و راندمان سامانه مدیریت می‌گردد و در نهایت مصرف حاصل با ادغام تولید انرژی های تجدید پذیر پوشش داده می‌شود. لازم به ذکر است که گرچه این مراحل بعنوان گام‌های بعدی ارائه می‌شوند، اما می‌بایست به عنوان یک کل در هر زمان مورد توجه قرار گرفته‌شود. همچنین می‌تواند به طور مستقل یا در ترکیب در هم توسعه یابند که بستگی به اطلاعات موجود یا اولویت ها دارد که مربوط به شرایط پروژه است. همچنین در روند طراحی می‌توان تصمیمات را متناسب با بازخورد از جنبه‌های وابسته طراحی، تنظیم گردد.

جدول ۲-۳. استراتژی طراحی ساختمان انرژی صفر

تحقیق	کاهش تقاضای انرژی	باز بهره‌وری انرژی	تولید انرژی تجدیدپذیر
بررسی شرایط محلی، اقلیم، برداشت اطلاعات، کنترل محیط شبیه‌سازی و ...	۱. رویکردهای کاهش‌ی غیرفعال (جدول ۲-۴) عایق‌بندی حرارتی طراحی هوشمند بیوکلیماتیک سرمایش غیرفعال ۲. رویکردهای کاهش‌ی فعال و کارآمد (جدول ۲-۵) استفاده بهینه از انرژی با استفاده از لوازم کم مصرف سیستم‌های تهویه	۱. مبدل‌های حرارتی ۲. پمپ حرارتی ۳. ذخیره انرژی ۴. برنامه‌ریزی انرژی (جدول ۲-۶)	۱. خورشید ۲. باد ۳. بیوماس ۴. انرژی محیطی (جدول ۲-۷)

(منبع: نگارنده براساس Dobbelsteen et al., ۲۰۱۹)

۲-۶-۱ راهکارهای غیرفعال کاهش مصرف

جدول ۲-۴. راهکارهای غیرفعال کاهش مصرف

پهنه‌بندی اقلیمی ایران				اصول کلی	عنوان
سرد	گرم و خشک	معتدل	گرم و مرطوب		
عایق بندی حرارتی					
✓	✓	✓	✓	عایق با مقاومت حرارتی ^۱ بالا، برای مقاومت در برابر انتقال گرما یا سرما از خارج به داخل ساختمان و در عین حال کاهش تلفات انرژی از داخل به خارج.	عایق بندی حرارتی
✓	✓	✓	✓	نفوذ هوا به داخل و خارج ساختمان از طریق شکاف و حفره‌های در پوسته ساختمان. هنگامی که ساختمان به درستی عایق نشده‌باشد، تهویه اضافی باعث ایجاد گرما و یا خسارت‌های ناخواسته می‌گردد. نفوذپذیری هوا در ساختمان به طراحی سازه، نمای خارجی ساختمان و اتصالات آنها بستگی دارد از این جهت باید در پروسه طراحی جزئیات ساختمان و مرحله اجرا دقت لازم لحاظ گردد.	نفوذپذیری هوا
✓	✓	✓	✓	پنجره‌ها ضعیف‌ترین حلقه حرارتی موجود در پاکت ساختمان هستند. مقدار انرژی گرمایی که از طریق شیشه انتقال داده می‌شود را با ضریب تبادل حرارتی نمایش می‌دهند. هر چه این ضریب کوچکتر باشد، تلفات حرارتی کاهش می‌یابد. همچنین می‌توان با افزودن دو یا سه لایه شیشه و همچنین با افزودن گاز یا خلا بین این شیشه‌ها به ضریب تبادل حرارتی پایین‌تری دست یافت. ویژگی دیگر برای انتخاب نوع شیشه، ضریب جذب گرمای خورشید ^۲ است که به جای جذب اشعه خورشید آن را بازتاب می‌دهد.	نوع شیشه
✓	✓	✓	✓	اتلاف حرارتی از طریق پنجره به فریم آن‌ها نیز بستگی دارد. قالب‌های چوبی با قطع پل حرارتی و درهای عایق‌دار با کاهش مقدار ضریب تبادل حرارتی نمونه‌هایی از محدود کردن تلفات گرمایی محسوب می‌گردند.	فریم بازوها
طراحی هوشمند بیوکلیماتیک					
✓	✓	✓	✓	جهت‌گیری در جهت مطلوب نسبت به خورشید و باد: افزایش دستاوردهای خورشیدی در ساختمان، جهت‌گیری پنل‌ها، و جهت‌گیری ساختمان به گونه‌ای که جریان گردش هوا به حداکثر یا به حداقل رسد. پاکت ساختمان باید در راستای این اهداف طراحی شود.	جهت‌گیری و طراحی پاکت
✓	✓	✓	✓	از سایه‌بان برای جلوگیری از افزایش حرارت در ساختمان استفاده می‌شود. سایه‌بان را می‌توان به صورت‌های مختلف اعمال کرد: پرده‌ها، لوورها، پوشش گیاهی، نمای معلق، کف معلق، متحرک و غیره. انتخاب نوع سایه‌بان به آب‌وهوا، جهت نمای خارجی و طراحی بستگی دارد.	سایه‌بان

^۱ R value

^۲ U value

^۳ SHGC

ادامه جدول ۲-۴. راهکارهای غیرفعال کاهش مصرف

پهنه‌بندی اقلیمی ایران				عنوان	اصول کلی
سرد	گرم و خشک	معتدل	گرم و مرطوب		
طراحی هوشمند بیوکلیماتیک					
✓	✓	✓	✓	سازمان‌دهی پلان	منطقه‌بندی و پارتیشن در کاهش انتقال حرارت، تلفات تهویه و افزایش بهره‌وری از گرمای خورشید موثر است. منطقه‌بندی شامل سازماندهی فضاها با درجه حرارتی مشابه، جهت دریافت گرما و نور خورشید است. همچنین می‌توان با منطقه‌بندی از گرمایش غیرضروری و تهویه برخی از فضاها اجتناب کرد.
✓		✓		نمای دو پوسته	نمای دوپوسته به عنوان حایل بین داخل و خارج عمل می‌کند. به این ترتیب عملکرد ساختمان را از نظر انرژی و راحتی بهبود می‌بخشد. اغلب نیز سایه‌بان‌ها را در فضای مابین ادغام می‌کنند. نمای دو پوسته می‌تواند به صورت غیرفعال با پیش گرمایش هوا قبل از ورود جهت تهویه در ساختمان مورد استفاده قرار گیرد. این نما معمولا برای آب و هوای معتدل و سرد مناسب است. همچنین منجر به کاهش نویز بیرون ساختمان می‌گردد.
✓		✓		آتریوم	فضای حائلی که خارج از پوشش عایق‌دار ساختمان قرار می‌گیرد و از اتلاف انرژی گرمایی از طریق نمای خارجی جلوگیری می‌کند. هوا همچنین می‌تواند با پیش گرمایش از طریق آتریوم قبل از ورود به ساختمان، به کمک تهویه ساختمان بیاید. آتریوم برای آب و هوای گرم مناسب نیست چون احتمال بالا رفتن بیش از حد دما وجود دارد. در آب و هوای دیگر نیز می‌توان از سایه‌بان و بازشوها جهت جلوگیری از افزایش دما در آتریوم استفاده کرد.
✓		✓		گلخانه	گلخانه فضای سرپوشیده در مجاورت ساختمان که از جنس شیشه ساخته تا از گرمای خورشید بهره‌مند شود. گلخانه می‌تواند به عملکرد انرژی ساختمان با پیش گرمایش هوای تهویه کمک کند. مانند آتریوم، گلخانه مناسب استفاده در آب و هوای گرم نیست، زیرا موجب بالا رفتن دمای هوا می‌گردد. حالت بهینه گلخانه معمولا در جهت جنوب ساختمان است. در طول فصل گرما در آب‌وهوای سرد، دمای گلخانه به طور متوسط ۴ تا ۶ درجه سانتیگراد بیشتر از دمای هوای آزاد است. در نتیجه می‌تواند هوای تهویه ورودی را از قبل گرم کند.
✓		✓		دیوار ترومب	دیواره ترومب جاذب گرماست و با شیشه و حفره از فضای بیرون جدا می‌گردد. این دیوار بیشتر در جداره جنوبی و از ماده‌ای تیره و جاذب گرما ساخته می‌گردد. پس از جذب انرژی خورشید، گرما در شب به فضای داخل آزاد می‌گردد. از آنجا که این سیستم فقط می‌تواند حرارت غیرفعال را تأمین کند، فقط برای آب‌وهوایی مناسب است که برای بخش عمده‌ای از سال نیاز به گرمایش دارد.
✓	✓	✓	✓	جرم ساختمانی	گرمایش یا سرمایش ساختمان تنها بر محیط داخلی تأثیر نمی‌گذارد، بلکه دمای سازه نیز تغییر می‌کند. انرژی خورشید در دیواره‌ها ذخیره و باعث ایجاد یک حائل می‌گردد. هرچه جرم سنگین‌تر، فضای حائل بزرگتر است.

ادامه جدول ۲-۴. راهکارهای غیرفعال کاهش مصرف

پهنه‌بندی اقلیمی ایران				اصول کلی	عنوان
سرد	گرم و خشک	معتدل	گرم و مرطوب		
طراحی هوشمند بیوکلیماتیک					
✓	✓	✓	✓	جرم حرارتی سنگین به آرامی گرم و سرد می‌گردد، از این رو در آب‌وهوای معتدل که اختلاف بین دمای روز و شب بهار و پاییز زیاد است، یک مزیت است.	جرم ساختمانی
✓	✓	✓	✓	جمع‌کننده هوا در نمای خارجی و معمولا شفاف، که در آن یک قاب شیشه‌ای در مقابل جذب‌کننده و حفره بین این دو قرار داده می‌شود. شیشه پوشاننده جذب‌کننده و در عین حال به تابش خورشیدی اجازه می‌دهد تا این جاذب را گرم کند. جریان هوا در محفظه توسط یک فن یا توسط نیروی شناوری هوای گرم حرکت می‌کند. این نما در (۱) هوای آزاد به محفظه، حرارت داده، و به داخل ساختمان رانده می‌شود. به این ترتیب، هوای تهویه ورودی از پیش گرم شده است که آسایش فضای داخلی و کاهش تقاضای انرژی را منجر می‌گردد. (۲) به گردش در آمدن هوای داخل ساختمان از طریق محفظه با پیش گرمایش غیرفعال. (۳) هوای داخل ساختمان توسط حفره به بیرون رانده شده، که منجر به خنک کردن غیرفعال ساختمان می‌گردد.	جمع‌کننده هوا
✓	✓	✓	✓	هنگامی که اجرای نورگیر سقفی امکان‌پذیر نباشد، لوله نور، بهره‌مندی از نور در فضای داخلی را فراهم می‌کند. این امکان در فضای داخلی با عمق زیاد برای تأمین بیشتر نور روز بسیار مفید است. این لوله‌ها به مواد بازتابنده مجهز است و از طریق سقف ساختمان با بیرون در ارتباطند.	لوله نور
✓	✓	✓	✓	هرچه ساختمان فشرده‌تر باشد (سطح بیرونی در مقایسه با حجم کمتر باشد) تلفات انتقال از طریق پاکت ساختمان کاهش می‌یابد. این بدان معنی است که ساختمان با سرعت کمتری گرم و سرد می‌گردد. این حجم کم همچنین باعث کاهش میزان اتصالات سازه‌ای و در نتیجه کاهش احتمال پلهای حرارتی و نشی هوا می‌گردد.	شکل و فشردگی
✓	✓	✓	✓	در انتقال آب گرم برای گرمایش فضا از طریق منبع به رادیاتورها و شیر آب گرم اتلاف حرارت رخ می‌دهد. با کاهش فواصل منبع و نقاط مصرف و عایق‌بندی لوله‌ها این تلفات به حداقل می‌رسد.	طول و عایق کمتر لوله‌ها
سرمايش غیرفعال					
✓	✓	✓	✓	لوله‌های حامل آب گرم یا سرد در ساختار بتنی ادغام شده و با گردش آب در این لوله‌ها ظرفیت ذخیره انرژی گرمایی سازه بتنی فعال می‌گردد. با خنک کردن یا گرم کردن این ساختار، ساختمان به طور منفعل خنک یا گرم می‌گردد.	فعال‌سازی هسته بتنی
		✓	✓	این لوله‌ها از درجه حرارت نسبتاً ثابت زمین برای گرم کردن یا خنک کردن هوای تهویه ورودی استفاده می‌کنند. این کانال هوا در عمق حدود ۱,۵ متری	تهویه با لوله زمینی

ادامه جدول ۲-۴. راهکارهای غیرفعال کاهش مصرف

عنوان		اصول کلی				پهنه‌بندی اقلیمی ایران	
		گرم و مرطوب		معتدل		گرم و خشک	
		سرد					
سرمایش غیرفعال							
تهویه با لوله زمینی	✓	✓	✓	✓	قرار می‌گیرد. هوای تازه از طریق این لوله تأمین و با دمای زمین خنک یا گرم می‌گردد. در طی روزهای گرم، گرمای هوای ورودی توسط خاک جذب شده و در نتیجه دمای هوای ورودی بیشتر از ۱۰ درجه سانتیگراد خنک‌تر است. در روزهای سردتر، زمین هوای ورودی تهویه را گرم می‌کند. این سیستم را می‌توان با انواع مختلف تهویه ترکیب کرد.		
	✓	✓	✓	✓	خنک شدن در طول شب با هوای نسبتاً خنک بیرون، هوای خنک بیرون گرمای حاصل از انباشت جرم ساختمان در طول روز را از بین می‌برد. این کار توسط تهویه متقاطع و اثر دودکش انجام می‌شود که توسط قطعات قابل باز شدن نما امکان‌پذیر است.		
	✓	✓	✓	✓	با کاهش شدت تابش خورشید بر سقف و اثر خنک‌کننده، این بام به کاهش مقدار گرمای آزاد شده توسط سقف منجر می‌گردد. علاوه بر این، بام سبز اثر جزیره گرمایی شهری را نیز کاهش می‌دهد.		
	✓	✓	✓	✓	در آب و هوای گرم استفاده از رنگ روشن برای بام به جهت بازتاب نور خورشید و در نتیجه جذب گرمای کمتر، منجر به کاهش دمای منتقل شده به ساختمان می‌گردد.		
	✓	✓	✓	✓	با سایه‌اندازی بام دوپوش، گرمای انتقالی به فضای داخل کاهش می‌یابد. بین دو سقف در طرفین باز است که باعث خروج هوای گرم از بین آن دو می‌گردد. این بام تقاضای خنک‌سازی در مناطق گرم را کاهش می‌دهد. همچنین امتداد این سقف بر دیوارهای خارجی اثر سایه‌اندازی ایجاد می‌کند.		
خنک کننده تبخیری غیر فعال	✓	✓	✓	✓	هوای تازه ورودی با عبور از سطوح مرطوب خنک شده و در نهایت با تهویه طبیعی ساختمان را خنک می‌کند. گزینه دیگر استفاده از برج خنک‌کننده تبخیری است که در آن آب در قسمت بالایی تبخیر شده و باعث ایجاد هوای خنک در ساختمان می‌گردد. خنک‌کننده تبخیری تقاضای سرمایش را کاهش می‌دهد و می‌تواند تا حدی جایگزین سرمایش مکانیکی شود. این اصل عمدتاً برای آب‌وهوای گرم و خشک، با رطوبت کم مناسب است.		
دیوار سبز	✓	✓	✓	✓	سایه‌زنی بوسیله درختان و پوشش گیاهی، با کاهش درجه حرارت سطوح همراه است. همچنین با تبخیر آب از سطوح پوشش گیاهی، دمای هوای محیط کاهش می‌یابد.		

(منبع: نگارنده براساس Dobbelsteen et al., ۲۰۱۹)

۲-۶-۲ راهکارهای فعال کاهش مصرف

جدول ۲-۵. راهکارهای فعال کاهش مصرف

پهنه‌بندی اقلیمی ایران				اصول کلی	عنوان
سرد	گرم و خشک	معتدل	گرم و مرطوب		
استفاده بهینه از انرژی با استفاده از لوازم کم مصرف					
✓	✓	✓	✓	این لامپ‌ها ضمن مصرف کمتر انرژی، ۶ تا ۷ برابر کارایی بالاتری نسبت به لامپ‌های معمول دارند. همچنین طول عمر بیشتر و نور با کیفیت‌تری دارند.	لامپ ال‌ای‌دی
✓	✓	✓	✓	کاهش عمده تقاضای انرژی با تجهیزات کم مصرف. درجه کارایی انرژی برای تجهیزات با حروف A تا G بیان می‌شود که به آن برچسب انرژی می‌گویند. و بر این اساس A (+++) بیشترین بازدهی در مصرف انرژی را دارد.	تجهیزات کارآمد
✓	✓	✓	✓	بوسیله سنسورها کلیه تجهیزات و زیرساخت‌های ساختمان بوسیله اطلاعات الکترونیکی قابل اندازه‌گیری، کنترل و برنامه‌ریزی جهت عملکرد ساکنان می‌گردد. همچنین می‌توان بدین‌وسیله استفاده، در دسترس بودن و هزینه مصرف انرژی را کنترل کرد.	سنسورهای کنترل
سیستم‌های تهویه					
✓	✓	✓	✓	تهویه طبیعی با اختلاف فشار ناشی از تغییرات باد یا دما حاصل می‌گردد. بدین ترتیب از انرژی کمکی استفاده نمی‌شود، عملکرد این سیستم برای کاربر ساده است و تأمین طبیعی هوا از طریق پنجره و دریچه‌ها صورت می‌گیرد. تهویه طبیعی انواع مختلفی دارد: تهویه یک طرفه، متقاطع و پشته‌ای. میزان تهویه بستگی زیادی به شرایط آب‌وهوایی فضای باز دارد. از تهویه طبیعی معمولاً در ساختمان‌های مدرن استفاده نمی‌شود.	سیستم کنترل تهویه طبیعی
✓	✓	✓	✓	این سیستم توسط یک فن الکتریکی در واحد مرکزی اجرا می‌گردد و هوا از طریق مجاری سیستم و دریچه‌های استخراج از فضای داخلی، خارج می‌گردد. این سیستم را می‌توان با افزودن سنسورهای تقاضا محور، شبکه تهویه خودتنظیم‌کننده، سنسورهای زمان‌دار و یا با پیش گرم کردن هوای تهویه طبیعی (به عنوان مثال با لوله زمینی، گلخانه، نمای دو پوست یا با هوای تهویه خروجی با استفاده از مبدل حرارتی) مورد استفاده قرار داد.	تهویه بوسیله فن و هواکش
✓	✓	✓	✓	سیستم تهویه کاملاً مکانیکی که در آن مقدار گرمایی که تأمین می‌شود در تعادل با مقدار گرمای استخراج شده‌است. از این رو باید دو سیستم کانال هوا در ساختمان وجود داشته باشد: یکی برای خروج و دیگری برای تأمین هوا. و عملکرد این سیستم با واحد تهویه مرکزی، یکپارچه می‌گردد. از مزایای این	تهویه بازایی گرما

جدول ۲-۵. راهکارهای فعال کاهش مصرف

پهنه‌بندی اقلیمی ایران				اصول کلی	عنوان
سرد	گرم و خشک	معتدل	گرم و مرطوب		
سیستم‌های تهویه					
✓	✓	✓	✓	سیستم می‌توان به تهویه مطبوع کنترل‌شده، فیلتر و پیش گرمایش هوای عبوری اشاره کرد. از معایب این سیستم نیز می‌توان به سروصدا توسط واحدهای تأمین‌کننده، نیاز منظم به تعمیر و نگهداری، آب‌بندی و محدودیت در پلان ساختمان با مجاری تهویه اشاره کرد.	تهویه بازایی
✓	✓	✓	✓	قاعده عملکرد این سیستم بر اساس استفاده از تهویه طبیعی و در صورت نیاز مکانیکی است: زمانی که به شکل طبیعی نتوان تهویه مطلوب را فراهم کرد، سیستم مکانیکی فعال می‌گردد. در این سیستم به طور مداوم دما با حسگرهایی اندازه‌گیری می‌گردد و زمانی که سیستم تهویه طبیعی آسایش حرارتی محیط را فراهم نمی‌کند، سیستم مکانیکی جایگزین می‌گردد. به این ترتیب سیستم از انرژی کمتری نسبت به سیستم تمام مکانیکی استفاده می‌کند. با این وجود هزینه راه‌اندازی، پیچیدگی برنامه‌نویسی و تعمیر و نگهداری آن دشوار است.	تهویه ترکیبی

(منبع: نگارنده براساس Dobbelsteen et al., ۲۰۱۹)

۲-۶-۳ راهکارهای باز بهره‌وری انرژی

جدول ۲-۶ راهکارهای بازبهره‌وری انرژی

پهنه‌بندی اقلیمی ایران				اصول کلی	عنوان
سرد	گرم و خشک	معتدل	گرم و مرطوب		
مبدل‌های حرارتی					
✓	✓	✓	✓	بازیابی انرژی گرمایی مورد استفاده برای گرمایش یا سرمایش قبل از اینکه توسط تهویه مکانیکی از ساختمان خارج گردد. گرما یا سرما بازیابی و برای گرم کردن یا خنک کردن هوای ورودی تهویه استفاده می‌گردد. متداول‌ترین نوع مبدل حرارتی جریان بازگرداننده است: که در آن هوای تازه در جهت مخالف مجاری کوچک اگزوز تامین‌کننده در گردش است. این مبدل حرارتی راندمان ۹۰-۹۵٪ دارد.	تهویه بازیابی
✓	✓	✓	✓	با استفاده از سیستم بازیابی حرارت، می‌توان از آب گرم استفاده‌شده برای گرم کردن آب سرد استفاده کرد. این روش کارایی استفاده از منابع آب گرم را افزایش می‌دهد. فاضلاب بازیابی باید زیر زهکشی محل مصرف نصب گردد. این سیستم به صورت عمودی یا افقی در زیر زهکشی انجام و منجر به افزایش ضخامت در سطح می‌گردد.	بازیابی آب و بازیابی حرارت

ادامه جدول ۲-۶ راهکارهای بازبهره‌وری انرژی

پهنه‌بندی اقلیمی ایران				اصول کلی	عنوان
سرد	گرم و خشک	معتدل	گرم و مرطوب		
پمپ حرارتی					
✓	✓	✓	✓	پمپ حرارتی منبع گرما را به دمای بالاتر و مطلوب تبدیل می‌کند، و آب گرم مورد نیاز برای گرم کردن فضا را فراهم می‌کند. منبع پمپ حرارتی متغیر و شامل هوای بازگشتی تهویه، آب‌های زیرزمینی، هوای بیرون، کلکتورهای خورشیدی و غیره است. هرچه اختلاف بین دمای منبع و تقاضا کمتر باشد کارایی پمپ حرارتی بالاتر است. پمپ حرارتی می‌تواند گرمایش و سرمایش ساختمان را فراهم کند.	پمپ حرارتی
ذخیره انرژی					
		✓		ذخیره‌سازی فصلی انرژی گرمایی در زیر زمین. گرمای تولید شده در تابستان در زمین ذخیره شده و در طول زمستان برای گرم کردن ساختمان استخراج می‌گردد. از این روش می‌توان برای ذخیره‌سازی سرما نیز استفاده کرد. این روش باعث افزایش راندمان تولید گرما یا سرما می‌گردد. برای ذخیره‌سازی از ظرفیت حرارتی زمین استفاده می‌شود. و با دو سیستم ATES (ذخیره انرژی حرارتی آبخوان، سیستم باز) یا BTES (ذخیره انرژی گرمایی گمانه، سیستم بسته). گرما با دمای ۲۵-۲۰ درجه سانتی‌گراد ذخیره و در حدود ۵ درجه سانتی‌گراد خنک می‌گردد. ذخیره انرژی گرمایی فصلی عمدتاً برای آب‌وهوا با اختلاف درجه حرارت قابل توجه در سال مناسب است.	ذخیره گرما و سرما (ATES/BTES)
✓		✓		مخزن آب برای ذخیره کوتاه مدت گرما و سرما. این انبار بیشتر مخزنی است که می‌تواند آب گرم را تا دمای ۸۰-۹۰ درجه سانتی‌گراد و برای چند روز ذخیره کند. این سیستم به طور عمومی با کلکتورهای خورشیدی برای ذخیره گرمای تولید شده در صورت عدم نیاز به گرما ترکیب می‌گردد.	مخزن ذخیره کوتاه مدت
✓	✓	✓	✓	ذخیره کوتاه مدت (روزانه) برق. هنگامی که با پانل‌های خورشیدی ترکیب می‌شود، میزان بهره‌وری و مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر افزایش می‌یابد. باتری برق تولیدی را ذخیره و در مواقع کمبود این انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرد. هزینه اولیه باتری بسیار بالا و عملکرد ذخیره‌سازی آن با گذشت زمان کاهش می‌یابد، که این عوامل بازگشت سرمایه را دشوار می‌کند.	باتری ذخیره‌سازی
برنامه‌ریزی انرژی					
✓	✓	✓	✓	هم‌افزایی انرژی از طریق تبادل گرما و سرما بین عملکردها: استفاده از گرما یا سرما اضافی یک ساختمان برای گرم کردن یا خنک سازی ساختمان دیگر. در ساختمان‌هایی که نیاز به خنک سازی در تمام طول سال دارند، مانند مرکز داده یا سوپرمارکت، گرمای زیادی تولید می‌گردد که توسط تاسیسات خنک‌کننده تولید می‌شود. این گرما را می‌توان برای گرم کردن سایر عملکردها استخراج و استفاده کرد.	برنامه‌ریزی انرژی

۲-۶-۴ راهکارهای تولید انرژی

جدول ۲-۷. راهکارهای تولید انرژی

پهنه‌بندی اقلیمی ایران				اصول کلی	عنوان
سرد	گرم و خشک	معتدل	گرم و مرطوب		
انرژی خورشید و باد					
✓	✓	✓	✓	پانل‌های فتوولتائیک انرژی خورشید را با بازده ۱۰ تا ۲۰ درصد به برق تبدیل می‌کنند. این پانل‌ها را می‌توان بر روی سقف و یا به به نما متصل کرد. برق تولیدشده توسط این پنل‌ها باید از جریان مستقیم به جریان متناوب تبدیل‌شده که توسط شبکه برق و در نتیجه توسط تاسیسات ساختمان مورد استفاده قرار گیرد. حالت مطلوب برای جهت‌گیری پنل‌ها جنوبی است. خروجی پنل‌ها به شرایط آب‌وهوایی فصلی و روزانه بستگی دارد و نتیجه آن نوسانات در تأمین برق است.	پنل فتوولتائیک
✓	✓	✓	✓	کلکتور خورشیدی تابش خورشید را جذب و آن را به گرما تبدیل می‌کند. بسته به آب‌وهوا یک مخلوط مایع، نظیر گلیسرول (ضد یخ) یا آب در لوله‌ها جریان دارد و گرمای خورشید را جذب می‌کند. کلکتور خورشیدی اغلب با مخزن ذخیره‌سازی ترکیب می‌شود. از این طریق می‌تواند بخشی از تقاضای آب گرم مصرفی را تأمین کند و سهم کمی در گرمایش فضای داخلی داشته باشد. همانند دیگر پنل‌ها، خروجی به شرایط آب‌وهوایی بستگی دارد.	کلکتور خورشیدی
✓	✓	✓	✓	ترکیب کلکتور حرارتی خورشیدی و پانل‌های فتوولتائیک در یک سیستم، که منجر به تولید همزمان گرما و برق می‌گردد. کلکتور حرارتی در پشت پنل متصل می‌گردد و مایعاتی که از آن عبور می‌کند، پنل فتوولتائیک را خنک کرده و در نتیجه راندمان آن را افزایش می‌دهد. دمای کلکتور خورشیدی پایین‌تر از پنل‌های معمولی (حدود ۳۵ درجه سانتیگراد) خواهد بود. این پنل‌ها گران‌تر از پنل فتوولتائیک یا کلکتورهای خورشیدی مستقل هستند.	پنل فتوولتائیک و کلکتور حرارتی
✓	✓	✓	✓	توربین بادی در مقیاس کوچک می‌تواند برای تولید برق مورد استفاده قرار گیرد. توربین‌ها را می‌توان در محیط و بروی سقف، فضای باز و در پارک بکار برد. به جهت سرعت پایین و ناپایدار باد در یک منطقه شهری خروجی این توربین‌ها نسبتاً کم است. از این سو اغلب مقرون به صرفه نیست.	توربین بادی
بیوماس					
✓	✓	✓	✓	احتراق زیست توده در دیگ بخار برای تولید گرما با دمای بالا جهت گرمایش فضا و آب گرم مصرفی. منابع مورد استفاده بلوک‌های چوبی، تراشه چوب، زیست توده مایع و جلبک دریایی است. که نیاز به یک مرکز ذخیره‌سازی بزرگ دارد. زیست توده تنها در صورتی پایدار است که با تولید مواد غذایی مغایرت نداشته‌باشد و منجر به جنگل‌زدایی نگردد. همچنین بایستی در دسترس باشد تا فاصله حمل‌ونقل محدود گردد.	بیوماس

ادامه جدول ۲-۷. راهکارهای تولید انرژی

پهنه‌بندی اقلیمی ایران				اصول کلی	عنوان
سرد	گرم و خشک	معتدل	گرم و مرطوب		
انرژی محیطی					
✓	✓	✓	✓	در این روش سیال از طریق لوله‌های افقی یا عمودی در زمین گردش می‌یابد، و از دمای ثابت زمین برای انتقال گرما به داخل استفاده می‌گردد. در نتیجه می‌توان از سیستم برای گرمایش یا خنک‌سازی ساختمان استفاده کرد. این سیستم همچنین می‌تواند با پمپ گرمایی ترکیب گردد.	گرمایی زمین
	✓	✓	✓	با خاصیت اینرسی حرارتی آب، ساختمان در بخش زیادی از تابستان به اندازه کافی خنک خواهد شد. در آب و هوای سرد می‌توان مستقیماً از آب با مبدل حرارتی برای خنک‌سازی استفاده کرد. در آب و هوای گرم‌تر، به علت دمای بالای آب، بایستی جهت کاهش دما از پمپ حرارتی استفاده شود.	سرمایش به کمک آب‌های گرم
✓	✓	✓	✓	ذخیره انرژی گرمایی آبخوان‌ها می‌تواند علاوه بر ذخیره انرژی حرارتی، به عنوان منبع انرژی نیز استفاده گردد. به شرطی که میزان گرما و سرمای استخراج شده از سیستم در تعادل باشد. وقتی تقاضای گرما و خنک‌کننده در طول سال برابر نباشد، سیستم می‌تواند با تولید مجدد انرژی، متعادل شود.	ذخیره‌سازی گرما

(منبع: نگارنده براساس Dobbelsteen et al., ۲۰۱۹)

۲-۷ جمع‌بندی

براساس مطالعات رشد جمعیت و گسترش شهرنشینی، تقاضای انرژی را به شکل روزافزونی افزایش داده‌است. صنعت ساختمان در حدود یک سوم از مصرف انرژی جهان را داراست. کشور ایران نیز اگر چه دارای منابع متعدد است، اما مطالعات نشان می‌دهد که طی سالیان اخیر تقاضا برای انرژی در تمامی زمینه‌های آن افزایش یافته‌است. متناسب با این موضوع توجه به مساله انرژی و تلاش در راستای بهینه‌سازی مصرف، نقش و وظیفه مهندسان و فعالان حوزه ساختمان را پررنگ‌تر می‌کند. با اصلاح این رویه می‌توان گام‌های اساسی در جهت بهبود مسائل زیست‌محیطی، کنترل منابع و کاهش آثار مخرب آلاینده‌های آن‌ها بر محیط زندگی خود و آیندگان داشت.

ساختمان‌های انرژی صفر یکی از مفاهیم پایه در بهینه‌سازی مصارف انرژی است، که طی سالیان اخیر گسترش یافته‌است. این ساختمان‌ها به جهت تعادل میان تقاضا و تولید انرژی، راهکاری مطلوب در زمینه کنترل مصرف انرژی شناخته می‌شود. این تعادل براساس کاهش تقاضای مصارف ساختمان از یک سو و تولید انرژی پاک برقرار می‌گردد. رایج‌ترین الگوی طراحی این مفهوم برپایه بهره‌گیری از رویکردهای غیرفعال شامل طراحی هوشمند بیوکلیماتیک، عایق‌بندی پوسته حرارتی و بهره‌گیری از راهکارهای غیرفعال سرمایشی است. در کنار آن استفاده از راهکارهای فعال نظیر تجهیزات با راندمان مصرف بالا و سیستم‌های تهویه و راهکارهای بازیابی انرژی که مبتنی بر مبدل‌ها و پمپ‌های حرارتی،

ذخیره و در نهایت برنامه‌ریزی انرژی گام مطلوب در جهت کاهش تقاضا و بهینه‌یابی انرژی است. در کنار این شیوه با بهره‌گیری از ظرفیت‌های محیطی شامل انرژی خورشید، باد، زمین، دریا و بیوماس تقاضای انرژی را از طریق انرژی‌های پاک تامین کرد. دمتناسب با این الگوها، می‌توان با شناسایی ظرفیت‌های اقلیمی و بسته به زمینه طراحی، راهکارهای مطلوب را اخذ و در این فرآیند از آن بهره گرفت.

فصل ۳: مواد و روش طرح

۳-۱ مقدمه

با ظهور فناوری‌های جدید، هزینه‌های اجرایی و پیچیدگی‌های آن نیز افزایش یافته و تصمیم‌گیری در ارتباط با گزینش مطلوب‌ترین استراتژی و راهکار بهینه در کاهش مصارف انرژی ساختمان نیز اهمیت بیشتری یافته‌است. از سویی دیگر، تعامل بین مولفه‌های طراحی، کاربران، اقلیم، سیستم‌های گرمایش، سرمایش، تهویه مطبوع و روشنایی بسیار مشکل است و تنها با بهره‌گیری از شبیه‌سازی عوامل مرتبط با عملکرد انرژی در ساختمان قابل ارزیابی است [۲۷]. از این رو، بکارگیری برنامه‌های شبیه‌سازی مصارف انرژی ساختمان، به عنوان ابزار واکاوی و سنجش عملکرد بصری و حرارتی ساختمان از آغاز دهه ۷۰ میلادی آغاز و به مرور توسعه یافته‌است. با بکارگیری از شبیه‌سازی انرژی در مراحل طراحی، شرایط برای سنجش تمامی عوامل و تصمیم‌های مختلف طراحی به روش‌های یکپارچه امکان‌پذیر گشته‌است. از این جهت، برنامه‌های شبیه‌سازی انرژی متنوعی با امکانات متنوعی از ابتدایی تا پیشرفته و با سطح دقت متفاوت در سال‌های اخیر گسترش یافته و بکارگیری از آن‌ها مرسوم شده‌است. معمولاً نتایج شبیه‌سازی انرژی مصرفی ساختمان در نرم‌افزارهای متفاوت، حتی در مواقعی که شبیه‌سازی توسط یک شخص انجام شده‌باشد، همراه با نتایج مختلفی است. خطا و اشتباه‌های این چنینی که ناشی از بهره‌گیری نامناسب، عدم شناخت و دقت ناکافی کاربران است، از طرفی منجر به عدم اعتماد به نتایج و از سویی دیگر مانع گسترش و استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی مصرف انرژی در صنعت ساختمان شده‌است. با وجود این که برای رسیدن به هدف کاهش انرژی مصرفی ساختمان، بکارگیری از این ابزار امری مهم و ضروری است [۲۸]. از این رو جهت اعتبارسنجی و کنترل دقت نرم‌افزار شبیه‌سازی، شرایط ساختمان اداره گاز شاهرود به عنوان ساختمان پایه با نمونه مدل‌سازی شده همان ساختمان در محیط نرم‌افزار از جهت اختلاف میان میزان مصرف واقعی و میزان مصرف انرژی پیش‌بینی شده مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد.

۳-۲ اهمیت نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی

در دهه‌های اخیر، افزایش میزان مصرف انرژی، محدودیت منابع سوخت‌های فسیلی و بحران‌های زیست‌محیطی از مهمترین دلایل توجه به مصرف انرژی در حیطه ساختمان و شهر بوده‌است. مصرف حدود نیمی از انرژی جهان در صنعت ساختمان ضرورت توجه به این موضوع را دوچندان می‌کند. از این رو دو راهکار کلی جلوگیری از اتلاف و بهینه‌سازی مصرف انرژی و دوم بهره‌برداری از منابع تجدیدپذیر در این زمینه پیشنهاد شده‌است. پیش از ارائه راهکار در زمینه کاهش میزان مصرف انرژی، شناخت نحوه عملکرد حرارتی و روشنایی ساختمان و به عبارتی، ممیزی انرژی ساختمان یا طرح پیشنهادی بایستی انجام شود. سنجش نحوه مصرف انرژی ساختمان از راه‌های مختلفی چون انجام دادن محاسبات سنتی، استفاده از آیین‌نامه‌ها و راهنماهای طراحی، انجام دادن آزمایش و ساخت ماکت امکان‌پذیر است. با وجود سیستم‌های ارزیابی عملکرد ساختمان، روش‌های محاسبات سنتی و آیین‌نامه‌ها با محدودیت‌های بسیاری همراه است. از سوی دیگر روش‌های سنتی انجام آزمایش و

ساخت ماکت نیز نیازمند صرف هزینه و زمان بسیار است. بدین ترتیب، راهکار مطلوب جهت جایگزینی، استفاده از نرم افزارهای شبیه سازی انرژی است [۲۹]. از این رو با توجه به دسترسی آسان و صرفه جویی در زمان و هزینه بهره گیری از نرم افزارهای شبیه سازی در بسیاری موارد منطقی است.

۳-۲-۱ شبیه سازی انرژی در معماری

کاربرد شبیه سازی در حوزه معماری ممکن است با اهداف مختلف صورت گیرد که از جمله مهمترین آن ها بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان های مورد طراحی است. علاوه بر این، برای بررسی وضعیت موجود و ممیزی انرژی در ساختمان های فعلی نیز می توان از شبیه سازی انرژی استفاده کرد. در تمام موارد ذکر شده جهت دستیابی به نتایج معتبر و قابل اطمینان ضروری است که الزاماتی در نظر گرفته شود. در غیر این صورت، علاوه بر محاسبات اشتباه که به طراحی نامناسب منجر می شود، امکان به خطا رفتن در توجه بیش از حد به یک مسئله و کم اهمیت شدن عوامل مؤثر در طراحی وجود دارد [۳۰]. شبیه سازی رایانه ای انرژی به دلایل مختلف از جمله هزینه کم، قدرت بالای محاسبه و دقت بالا در تطبیق شرایط در پیش بینی عملکرد واقعی ساختمان ها، بسیار مورد توجه قرار گرفته است. طی سالیان اخیر بکارگیری از نرم افزارهای شبیه سازی در فرآیند طراحی ساختمان ها گسترش یافته است. هدف از شبیه سازی ساختمان ایجاد شرایطی مشابه واقعیت در دنیای مجازی با استفاده از مدل های ریاضی است که از مهمترین کارکردهای آن مقایسه میان دو یا چند گزینه طراحی است [۳۱]. در فرآیند طراحی یک ساختمان کارآمد انرژی عوامل مؤثر و مداخله گر بسیاری نظیر محیط، پوسته ساختمان، تجهیزات، سیستم های گرمایشی و سرمایشی و استفاده کنندگان در آن نقش دارند. هر یک از نرم افزارهای شبیه سازی انرژی با تمرکز بر یک یا چند عامل می تواند در ایجاد شرایط مشابه واقعیت در محیط نرم افزار، مورد استفاده قرار گیرد، همچنین برخلاف روش های دستی و آزمایشگاهی می تواند تاثیر همزمان چندین عامل را در کنار هم مورد ارزیابی قرار دهد. علاوه بر این پیش بینی رفتار پیچیده ساختمان پیش از ساخت نیز مزیت دیگر استفاده از نرم افزار است. نظر بر این که امکانات شبیه سازی، شرایط مطلوبی را در جهت طراحی ساختمان کارآمد انرژی در اختیار کاربران قرار داده است، اما در کنار این موضوع استفاده صحیح از ابزارهای شبیه سازی پیش نیازهایی را می طلبد که لازمه آن بینش درست کاربر نسبت به این ابزار است [۳۲]. معماری و نرم افزارهای مرتبط با آن را می توان با توجه به حوزه های مختلف به شبیه سازی سنجش حرارت، باد، نور و انرژی های تجدیدپذیر تقسیم کرد. بنابراین، انتخاب ابزار مناسب، انجام دادن صحیح شبیه سازی و دستیابی به نتایج مطمئن، مستلزم درک صحیح کاربر از رابطه ساختمان و آثار محیطی آن است.

۳-۳ عوامل تاثیرگذار در شبیه‌سازی انرژی

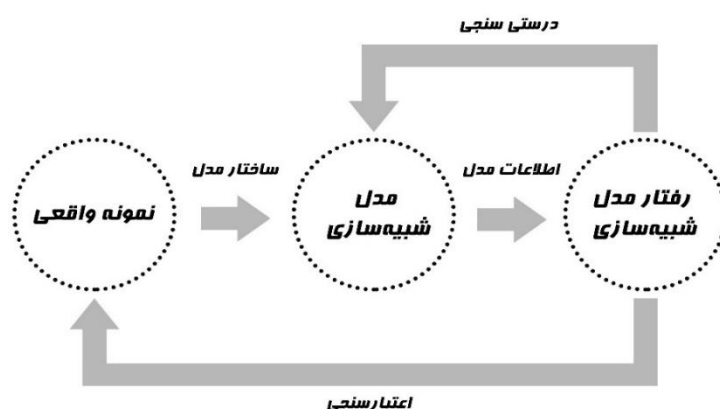
در بحث کاربرد شبیه‌سازی و کسب اطمینان از نتایج آن لازم است که عواملی چون انتخاب نرم‌افزار، رابط کاربر، صحت داده‌های اولیه، توجه به منابع مختلف خطا، اعتبارسنجی، عدم قطعیت نتایج و نیز شناخت روش ارزیابی عملکرد و محدودیت‌های نرم‌افزار تحت بررسی و کنترل قرار گیرد [۳۳].

۳-۳-۱ انتخاب نرم‌افزار

با توجه به حوزه‌های متعدد مرتبط با ساختمان، سنجش کارایی انرژی ساختمان می‌تواند در زمینه‌های مختلف و با اهداف متفاوت صورت گیرد. بدین ترتیب، یکی از عوامل مؤثر بر کیفیت شبیه‌سازی، تناسب نرم‌افزار شبیه‌سازی با هدف شبیه‌سازی و میزان اعتبار آن است. در تعداد بسیاری از ابزارهای موجود برای سرعت بخشیدن به فرایند شبیه‌سازی از برخی عوامل چشم‌پوشی یا با تخمین‌هایی اثرهای آن‌ها اعمال شده‌است. در سالهای اخیر، پژوهش‌هایی در ارتباط با قابلیت‌های نرم‌افزارهای مختلف شبیه‌سازی انرژی در حوزه ساختمان انجام شده و با بررسی ویژگی‌های آن‌ها نسبت به یکدیگر، مزایا و معایب هر یک مشخص شده‌است. با این وجود، تولید نرم‌افزارهای جدید و گسترش روزافزون قابلیت‌های آن اجرای پژوهش‌های جدید را در این زمینه ضروری می‌سازد [۲۹].

۳-۳-۲ صحت نتایج

پس از اجرای هر شبیه‌سازی ارزیابی صحت نتایج و مطابقت آن با واقعیت الزامی است. به طور کل صحت نتایج به دو مولفه اجرای صحیح محاسبه و درستی اطلاعات ورودی توسط کاربر بستگی دارد. شرکت‌های سازنده نرم‌افزار با به‌روزرسانی سعی در افزایش دقت و تطبیق هر چه بیشتر نتایج با دنیای واقعی دارند. حصول اطمینان از دقت نتایج شبیه‌سازی با اجرای همزمان درستی‌سنجی^۱ و اعتبارسنجی^۲ انجام می‌پذیرد [۳۴].



نمودار ۳-۱. مفهوم درستی‌سنجی و اعتبارسنجی (منبع: Morbitzer, ۲۰۰۳)

^۱ Verification

^۲ Validations

مطابق نمودار ۳-۱ منظور از درستی‌سنجی اطمینان از تعریف صحیح مسأله توسط کاربر در محیط مجازی و منظور از اعتبارسنجی اطمینان از حل صحیح مسأله است که به دقت در روش تعریف شده برای محیط مورد آزمایش و نزدیکی آن با شرایط واقعی بستگی دارد. بدین ترتیب، بخش مهمی از اعتبارسنجی به معتبر بودن نرم‌افزار مورد استفاده بستگی دارد. ارتباط این دو مفهوم در تصویر نمایش داده شده است [۳۵].

۳-۳-۳ منابع مختلف خطا

منابع اصلی خطا به دو دسته منابع داخلی و خارجی تقسیم می‌گردند. از دیدگاه هنسن منابع خطاهای خارجی عبارت‌اند از: اشتباهات کاربر در ورود اطلاعات و تفاوت میان داده‌های تعریف شده در نرم‌افزار و داده‌های واقعی در زمینه آب‌وهوا، الگوی زندگی و رفتار ساکنان و ویژگی‌های کالبدی ساختمان و مصالح. منابع خطاهای داخلی شامل: اشتباهات برنامه‌نویسی و تفاوت میان عملکرد واقعی پدیده‌ها و تعبیر انجام شده از آن‌ها در نرم‌افزار. بدین ترتیب، خطاهای داخلی مربوط به نرم‌افزار بوده و کاربر کنترلی بر آن ندارد. بنابراین، برای اطمینان از صحت نتایج اعتباربخشی در دو قسمت اعتباربخشی نرم‌افزارهای شبیه‌سازی و اعتبارسنجی نتایج شبیه‌سازی از روش‌های مختلف ضروری است. هرچند برطرف کردن خطاهای داخلی در توان کاربران نیست، اما آگاهی از توانایی نرم‌افزار و آشنایی کلی با نحوه انجام محاسبات می‌تواند موجب دقت در انتخاب آن و اطمینان از صحت نتایج گردد. همچنین برای رفع خطاهای خارجی که به کاربر مربوط می‌شود، داشتن دانش کلی از چگونگی شبیه‌سازی و نحوه انتخاب نرم‌افزار مناسب اهمیت بسیار دارد [۳۶]. همچنین از دیدگاه موربیتز مهندسان تاسیسات، مهندسان محیطی و مدیران انرژی توانایی کنترل مقادیر متداول داده‌ها و درستی‌سنجی را دارند. اما سایر کاربران می‌توانند با بررسی صحت مدل شبیه‌سازی و مقادیر ورودی و خروجی، درستی‌سنجی و اعتبارسنجی را در مراحل طراحی انجام دهند، بدین ترتیب، جهت رفع خطاهای خارجی، آموزش مناسب کاربر و کنترل حمایتی متخصصان بر انجام دادن شبیه‌سازی لازم است [۳۵].

۳-۳-۴ ضرورت اعتبارسنجی

عوامل متنوع و تاثیرگذار بر کارکرد انرژی ساختمان، برآورد درست میزان انرژی مصرفی در شرایط واقعی را پیچیده ساخته‌است. بنابراین، ضروری است تا با انطباق نتایج خروجی شبیه‌سازی با اطلاعات شناسایی شده از شرایط واقعی، اعتبار نرم‌افزار شبیه‌سازی کنترل گردد. کارشناسان شبیه‌سازی پیش‌تر اعتبارسنجی را مهارتی مرتبط با تجربه کاربر نرم‌افزار و دانش فنی می‌دانستند و در اغلب موارد به تلاش گسترده برای دستیابی به هدف تکیه می‌کردند، اما در سالیان اخیر، پژوهشگران روش‌های علمی برای اعتبارسنجی نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی پیشنهاد داده‌اند [۳۶] و [۳۷]. به علت این‌که مدل‌سازی دقیق و براساس واقعیت امکان‌پذیر نیست، اجرای اعتبارسنجی برای کنترل دقت نتایج

خروجی ضروری است. سه روش کلی اعتبارسنجی تجربی^۱، تحلیلی^۲ و مقایسه‌ای^۳ برای ارزیابی نتایج شبیه‌سازی انرژی ساختمان وجود دارد. در روش‌های تحلیلی برای ارزیابی مکانیسم انتقال حرارت و قواعد رایج محاسبات که بیشترین میزان اثرگذاری را در کارکرد انرژی دارند، به کار می‌روند. این روش بنیادی‌ترین راه اعتبارسنجی شبیه‌سازی انرژی است. در شیوه مقایسه‌ای، خروجی حاصل از شبیه‌سازی نرم‌افزار مورد نظر با خروجی شبیه‌سازی در دیگر نرم‌افزارها و با کنترل اطلاعات ورودی و شرایط کاملاً مشابه مقایسه می‌گردد. در این روش، شناسایی عوامل تاثیرگذار در ایجاد تفاوت در خروجی دو نرم‌افزار بسیار با اهمیت است. ژو و همکارانش به طور کلی اختلاف بین نتایج شبیه‌سازی در نرم‌افزارهای متفاوت را ناشی از سه پارامتر می‌دانند، یک، موتور شبیه‌سازی که غیرقابل تغییر است، دو، رابط کاربری موتور شبیه‌سازی که اغلب ساده‌سازی‌هایی را بکار می‌برد و گاهی اوقات، پیش‌فرض‌های بسیار مهمی را از نگاه کاربر دور نگه می‌دارد. و سه، اشتباهات ناشی از عدم توانایی کاربر نرم‌افزار که معمولاً منجر به ورودی‌های غلط یا ناقص در آن می‌گردد [۳۸]. در شیوه تجربی هم یک ساختمان در محیط واقعی یا اتاقک آزمایشگاهی در زمان معین کنترل و خروجی بدست‌آمده با خروجی منتج از شبیه‌سازی کنترل می‌گردد. رایان و همکارش نیز شیوه‌های اعتبارسنجی نرم‌افزارهای شبیه‌سازی را به دو دسته اعتبارسنجی برای شرایط واقعی و شرایط ایده‌آل تقسیم می‌کنند [۳۹]. اعتبارسنجی برای شرایط ایده‌آل طبق استانداردهای معتبر نظیر اشری ۱۴ انجام می‌شود. این شیوه برای کنترل مفروضات و پروسه فیزیکی در مدل مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این شیوه، یک اتاقک آزمایشگاهی که همه جداره‌های آن به جز یکی کامل عایق شده‌است، برای کنترل اثر تابش، مصالح و غیره بر وضعیت داخل اتاقک در نظر گرفته می‌شود. علاوه بر این حسگرهایی در داخل فضا اطلاعات رطوبت و دما، برنامه استفاده از سیستم‌های گرمایش، سرمایش و روشنایی طی چند روز را برداشت می‌کند. این داده‌ها به عنوان داده‌های ورودی به مدل استفاده می‌شوند و در انتها، خروجی منتج از شبیه‌سازی با اطلاعات برداشت‌شده اتاقک آزمایشگاهی مقایسه می‌گردد. در روش دیگر، اعتبارسنجی براساس شرایط واقعی و با مقایسه اطلاعات حاصل از کنترل ساختمان با نتایج خروجی از شبیه‌سازی است. در این شیوه، پژوهشگران علاوه بر اعتبارسنجی پروسه فیزیکی مدل، به دنبال شناسایی رفتار کاربران نیز هستند [۴۰]. با وجود محدودیت‌های هر شیوه، استفاده همزمان از آن‌ها بهترین راه‌حل جهت دستیابی به نتیجه مطلوب است. اعتبارسنجی تجربی گران و زمان‌بر است و همواره قابل اجرا نیست. اعتبارسنجی تحلیلی روشی برای حل آسان‌تر است و براساس مدل‌های ساده با اعمال تخمین‌هایی در محاسبات صورت می‌پذیرد. از طرفی، اعتبارسنجی مقایسه‌ای دلیل قطعی برای صحت نتایج نیست و صرفاً همخوانی نتایج دو یا چند نرم‌افزار را با یکدیگر نشان می‌دهد. علاوه بر اعتبارسنجی، انجام تحلیل میزان حساسیت تأثیر پارامترهای ورودی بر خروجی‌ها را نشان می‌دهد [۳۳].

^۱ Empirical Validation

^۲ Analytical Validation

^۳ Comparative Validation

مطابق با نتایج پژوهش‌های مختلف در زمینه شبیه‌سازی تا ۵۰ درصد اختلاف بین میزان مصرف انرژی شبیه‌سازی شده و میزان واقعی مصرف انرژی سالانه را گزارش داده‌اند [۴۱]. با وجود تدقیق و صحت نرم‌افزارها در شبیه‌سازی رفتار حرارتی ساختمان، در بیشتر مواقع این تفاوت‌ها به جهت پیش‌فرض‌های خطای کاربر در پروسه شبیه‌سازی است که عموماً با واقعیت انطباق نمی‌یابد. این پیش‌فرض‌ها شامل مواردی نظیر زمان‌بندی بهره‌برداری از فضاها، عدم انطباق با شرایط اقلیم و مشخصه سیستم‌های گرمایش و سرمایش می‌گردد. رفتار کاربران در برنامه‌های شبیه‌سازی با کنترل برنامه بهره‌برداری از سیستم‌های گرمایش، سرمایش، تنظیم دمای ست پوینت مطابق با ساعات استفاده از آن‌ها، شرایط آب‌وهوایی، برنامه بهره‌برداری از سیستم‌های نور و روشنایی و دیگر تجهیزات در نظر گرفته می‌شود، همچنین همان‌طور که می‌دانیم شناسایی الگوی دقیق بهره‌برداری کاربران با توجه به رفتار متنوع آن‌ها بسیار دشوار است. علاوه بر این که، شبیه‌سازی‌های انرژی ساختمان طبق این پیش‌فرض شکل گرفته که کاربران مطابق با خواست طراح از ساختمان استفاده می‌کنند. تنظیم دما مطابق این مفروضات و بهره‌برداری از سیستم روشنایی، زمانی که روشنایی طبیعی قابل تامین نیست، شامل این موضوع است. هر چند که در واقعیت، کاربران به اندازه آسایش و راحتی خود به صرفه‌جویی انرژی اهمیت نمی‌دهند. همچنین، به جهت عدم آگاهی عمومی لازم در اغلب موارد ساختمان‌ها بمطابق با آنچه که طراحان تصور می‌کنند، مورد بهره‌برداری قرار نمی‌گیرد [۴۲]. بنابراین، برای دقت خروجی منتج از شبیه‌سازی و اعتبارسنجی نرم‌افزارهای انرژی، شناسایی رفتار کاربران ساختمان و تعیین الگوی رفتاری آن‌ها از جمله اقدامات ضروری است.

۳-۳-۵ عدم قطعیت

مهم‌ترین مساله در شبیه‌سازی، تعامل و پیچیدگی‌های پارامترهای مختلف با روابط غیرخطی و عدم قطعیت است که خود بر میزان اطمینان از نتایج اثر می‌گذارد. عدم قطعیت می‌تواند در پارامترهای فیزیکی، طراحی، سناریوها و بسیاری دیگر از پارامترها وجود داشته‌باشد [۴۴]. به جهت آن که همه پارامترهای طراحی شامل عدم قطعیت می‌شوند، از نظر کلارک ضروری است که نرم‌افزارها توانایی اعمال شرایط عدم قطعیت را به داده‌های ورودی خود داشته‌باشند [۳۳]. در خصوص عدم قطعیت در ارزیابی عملکرد ساختمان و تأثیر بالقوه آن بر تصمیم‌گیری پژوهش‌های بسیاری انجام شده‌است. از جمله این موارد می‌توان به عدم قطعیت در پارامترهای رفتار ساکنان، آب‌وهوا، مدل، ورودی‌ها و سایر پارامترها اشاره کرد. ویژگی پیش‌بینی ناپذیر رفتار دو مولفه کاربران و متغیرهای آب‌وهوایی، عدم قطعیت بیشتری را به مدل پیش‌بینی تحمیل می‌کند. تحلیل عدم قطعیت برای ارتقای کارایی بیشتر ابزارهای شبیه‌سازی ساختمان ضروری است، که معمولاً در پروژه‌های اجرایی، مشاور فیزیک ساختمان آن را انجام می‌دهد. با در نظر گرفتن مفهوم عدم قطعیت، تصمیم‌گیری براساس توزیع احتمالات متغیر در جهت واقعیت‌بخشی و نه مقدار قطعی آن، صورت می‌گیرد [۴۵] و [۴۶].

از آن جا که دستیابی دقیق از عملکرد ساختمان در دنیای واقعی به دلیل پیچیدگی محیط مصنوع و تعداد زیاد متغیرهای مستقل در تعامل با یکدیگر دشوار است، برای دستیابی به نتایج درست تر و قابل اعتمادتر، خروجی های مدل با داده های اندازه گیری شده تطابق داده می شوند. تطابق خروجی های مدل با اطلاعات اندازه گیری شده به عنوان کالیبره کردن شناخته می شود. از این رو مسأله عدم قطعیت در روش های مختلف کالیبراسیون^۱ نیز اهمیت ویژه ای دارد [۴۷].

۳-۳-۵-۱ منابع عدم قطعیت

همه مدل های شبیه سازی انرژی ساختمان تحت تأثیر عوامل عدم قطعیت هستند. دینگ و همکاران منابع عدم قطعیت را به دو دسته ذهنی و عینی-واقعی تقسیم کرده اند. در این تقسیمات منابع ذهنی را طراحان ایجاد می کنند و منابع عینی ریشه در مدل شبیه سازی انرژی دارد. منابع واقعی در مقایسه با منابع ذهنی بسیار آسانتر قابل اندازه گیری است [۴۸]. فومو منابع عدم قطعیت مدل محاسبه مصرف انرژی در انرژی پلاس را به سه دسته عدم قطعیت در داده های آب و هوایی، پارامترهای تجربی و پارامترهای اندازه گیری تقسیم می کند [۴۹]. دویت و آگنبرو منابع عدم قطعیت را در چهار دسته زیر تقسیم بندی کرده اند [۴۶]:

۱. عدم قطعیت تشخیص (برخاسته از تشخیص ناقص یا اشتباه از ساختمان یا سیستم مدل شده شامل هندسه، مصالح و تهویه مطبوع و برنامه)
 ۲. مدل سازی (ساده سازی ها و تخمین های فرایندهای فیزیکی پیچیده که می تواند به دلیل الگوریتم محاسبات در نرم افزار آشکار یا مخفی باشد)
 ۳. عددی (خطاهای ایجاد شده در شبیه سازی مدل)
 ۴. سناریو (شرایط خارجی تحمیلی به ساختمان شامل شرایط اقلیمی خارجی و رفتار ساکنان)
- تعریف و تقسیم بندی منابع عدم قطعیت به زمینه شبیه سازی بستگی دارد. تحلیل عدم قطعیت در مدل سازی انرژی ساختمان عمدتاً به سطح ساختمان های منفرد محدود می شود. درخصوص بسیاری از نرم افزارها، از جمله انرژی پلاس، روش هایی برای معرفی و ورود منابع عدم قطعیت به فرآیند شبیه سازی پیشنهاد شده است. یکی از مهمترین عوامل ایجاد عدم قطعیت، فایل های آب و هوایی سال نمونه^۲ است. این فایل ها در فرمت های مختلف ارائه می شوند که با نرم افزارهای عمده شبیه سازی مثل انرژی پلاس در اروپا پذیرفته شده اند. جهت درستی سنجی برای تعیین میزان اعتبار ابزارهایی که از فایل های آب و هوایی سال نمونه استفاده می کنند، لازم است تا نتایج شبیه سازی را که بدون استفاده از داده های واقعی آب و هوایی انجام شده است، قابل استناد سازد [۴۹].

^۱ Calibration

^۲ Typical Meteorological Year Weather Files (TMY)

۳-۶ نحوه عملکرد و محدودیت‌های نرم‌افزار

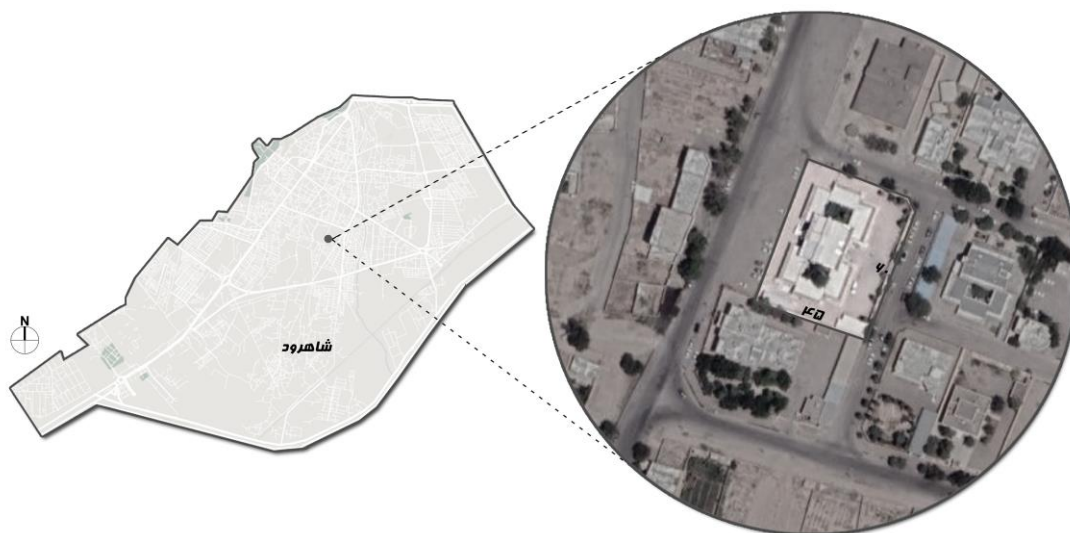
برای کاهش مدت زمان پردازش، ساده‌سازی محاسبات و نحوه تعامل پدیده‌های گوناگون با یکدیگر ضروری است تا با کاهش تعداد مجهولات مورد محاسبه و سطوح پیچیدگی ارزیابی نحوه عملکرد صورت گیرد. در این خصوص، در بسیاری از نرم‌افزارها پیش‌فرض‌هایی در محاسبات اعمال می‌شود که سبب ایجاد تخمین در خروجی‌هاست. این امر سبب وجود تفاوت در نتایج به‌دست آمده از نرم‌افزارهای مختلف می‌شود. اهداف اصلی در رویکرد مدل‌سازی یکپارچه در شبیه‌سازی شامل حفاظت از انرژی، حفظ یکپارچگی و حفظ انعطاف‌پذیری در مدل‌سازی است. عمده برنامه‌های شبیه‌سازی موجود بر پایه روش‌های پاسخ عملکرد یا روش‌های عددی المان محدود و معادل آن کار می‌کنند. روش اول برای حل سیستم‌های معادلات دیفرانسیل خطی با متغیرهای غیروابسته به زمان مناسب است و با فرض تفکیک کامل معادلات از یکدیگر انجام می‌شود. روش‌های عددی می‌توانند با اطمینان از دقت لازم برای ایجاد یکپارچگی مکانی و زمانی سیستم‌های واقعی انرژی با معادلات دیفرانسیل مختلط به طور همزمان و در هر مرحله حل شوند. به همین دلیل، در بسیاری از موارد روش‌های عددی ارجحیت دارند، ضمن آنکه در این روش‌ها نیازی به تفکیک معادلات و توابع محاسباتی نیست. بدین ترتیب، شناخت کاربر از نحوه عملکرد نرم‌افزار و تعیین سطح مناسب دقت و انعطاف‌پذیری در شبیه‌سازی لازم است. بر این اساس، باید میان نتایج به‌دست آمده از مدل‌های ساده شده و مدل‌های جامع با قابلیت ایجاد مدل‌های ساده‌تر تفاوت قائل شد. در مدل‌های ساده‌تر از تخمین‌ها و محاسبات ساده شده برای تعیین شبکه حرارتی و راه‌حل استفاده می‌شود، در نتیجه، برخی از عوامل تخمین زده یا از آن‌ها چشم‌پوشی می‌شود. این در حالی است که در مدل‌های جامع‌تر داده‌های ورودی در سطوح مختلف از مدل‌های ساده شده تا جزئیات پیشرفته قابل تدوین است. بدین ترتیب، نتایج بر اساس کیفیت اطلاعات ورودی طراحی و در رویکردی انعطاف‌پذیر با سطوح دقت متفاوت تعیین می‌شوند. این مسئله لزوم آشنایی کاربر را با نحوه عملکرد و انجام دادن محاسبات و پیش‌فرض‌ها در نرم‌افزار مورد استفاده را نشان می‌دهد [۳۳].

۳-۴ نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر

دیزاین‌بیلدر یکی از به روزترین و پیشرفته‌ترین نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی ساختمان است که توانایی مدل‌سازی بارهای سرمایشی و گرمایشی، مصارف انرژی ساختمان و محاسبات میزان روشنایی نور روز را داراست. موتور شبیه‌سازی این نرم‌افزار انرژی پلاس بوده که به عنوان یکی از معتبرترین نرم‌افزارهای مدل‌سازی انرژی شناخته شده است. همچنین شرایط شبیه‌سازی در این نرم‌افزار بر پایه استانداردهای اشری ۱۴ و BESTEST است [۲۸]. مطابق با توانایی انجام محاسبات پیچیده و پارامتریک انرژی ساختمان در کنار رابط کاربری مطلوب، از این نرم‌افزار در اجرای شبیه‌سازی و تحلیل پارامترهای تاثیرگذار بر انرژی ساختمان استفاده شده است.

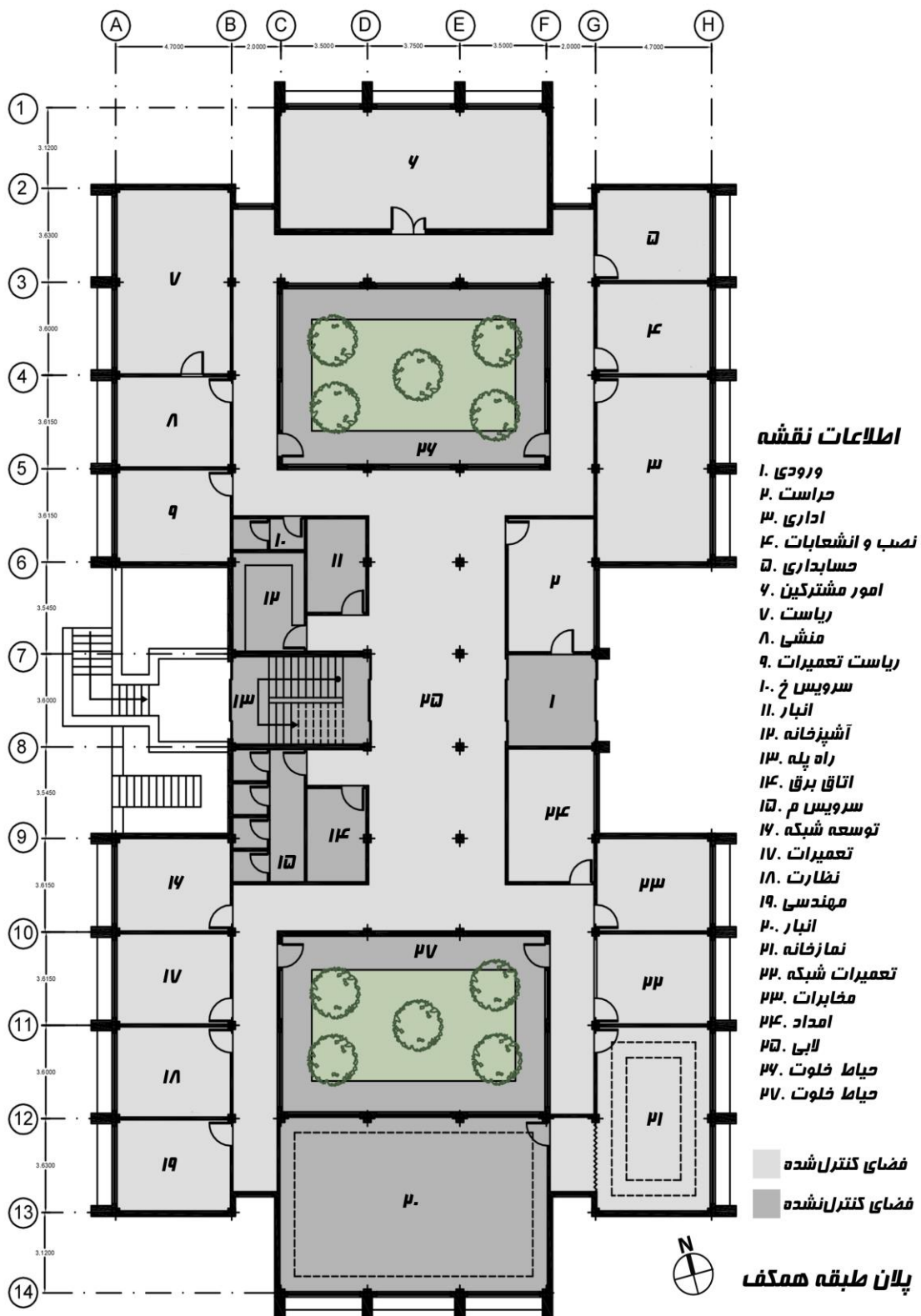
۳-۵ بررسی عملکرد انرژی ساختمان نمونه

به جهت ارزیابی شرایط واقعی، کاهش خطای محاسباتی و اعتبارسنجی نتایج شبیه‌سازی، در این پژوهش با انتخاب ساختمان اداره گاز شاهرود تصویر ۳-۲ به عنوان ساختمان نمونه جهت مطالعات میدانی به بررسی نقشه‌های معماری، سازه و تاسیسات، برداشت اطلاعات مصرفی و محیطی از ساختمان، الگوهای رفتاری کاربران و تدقیق داده‌های ورودی به نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر اقدام گردیده‌است. ساختمان اداره گاز شاهرود در ۳ طبقه، زیرزمین و تاسیسات، طبقه همکف شامل بخش‌های اداری و طبقه اول مرتبط با بخش‌های اقامتی تشکیل شده‌است، در سازمان‌دهی پلان این مجموعه از دو حیاط خلوت در بخش‌های مرکزی پلان بهره گرفته شده‌است. کشیدگی ساختمان با نسبت حدود یک به سه و در راستای محور شمال‌شرقی، جنوب‌غربی است. از خصوصیات پوسته خارجی این ساختمان می‌توان به مصالح آجرسفالی در جداره‌ها، سقف تیرچه بلوک و پنجره ساده با پروفیل آلومینیومی اشاره کرد. متوسط کل سطح پنجره در نماهای اصلی که در جبهه‌های شرقی و غربی ساختمان است در حدود ۴۰ درصد است. همچنین در این ساختمان از ترکیب سایه‌بان افقی و عمودی به طول ۸۰ سانتی‌متر استفاده شده‌است.



تصویر ۳-۲ موقعیت مکانی اداره گاز شاهرود (منبع: نگارنده براساس تصاویر گوگل‌مپ)

به منظور ممیزی و برداشت اطلاعات ساختمان، بازبینی ساختمان براساس مشاهدات، کنترل و اندازه‌گیری عواملی نظیر اطلاعات معماری، ابعاد و جزئیات اجرایی، مشخصات دیوارها، درها، پنجره‌ها و سقف مشخصات سیستم‌های تاسیسات مکانیکی و برق ساختمان، نظیر روشنایی، شرایط آسایش فضاها شامل دما و رطوبت و شرایط بهره‌برداری ساختمان به صورت کامل و دقیق ثبت و برداشت گردیده‌است. همچنین در کنار این موارد میزان مصارف انرژی گاز و برق از طریق قبوض ماهیانه طی یک دوره سه ساله استخراج گردیده‌است.



تصویر ۳-۳ پلان طبقه همکف اداره گاز شاهرود بر اساس کنترل یا عدم کنترل فضاها (منبع: نگارنده)

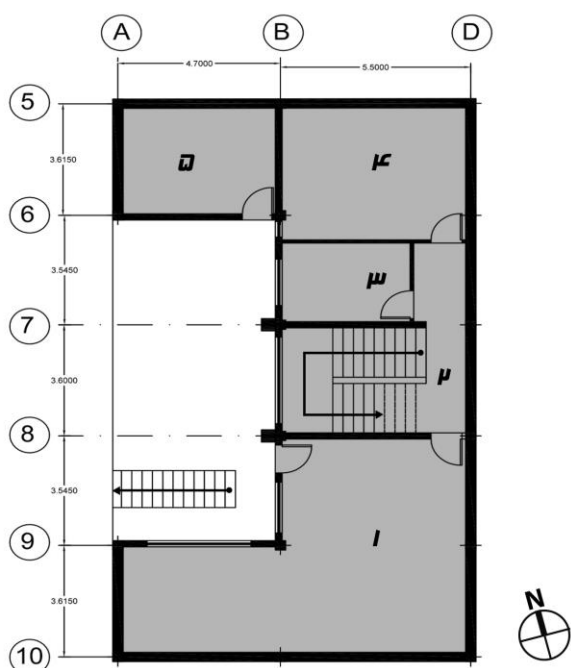


اطلاعات نقشه

- ۱. نشیمن
- ۲. اتاق
- ۳. اتاق
- ۴. آشپزخانه
- ۵. سرویس بهداشتی
- ۶. نشیمن
- ۷. اتاق
- ۸. اتاق
- ۹. آشپزخانه
- ۱۰. سرویس بهداشتی
- ۱۱. حمام
- ۱۲. نشیمن
- ۱۳. اتاق
- ۱۴. اتاق
- ۱۵. آشپزخانه
- ۱۶. سرویس بهداشتی
- ۱۷. راه پله

- فضای کنترل شده
- فضای کنترل نشده

پلان طبقه اول



اطلاعات نقشه

- ۱. بایگانی
- ۲. راه پله
- ۳. اتاق تجهیزات
- ۴. تاسیسات
- ۵. انبار

- فضای کنترل شده
- فضای کنترل نشده

پلان طبقه زیر زمین

تصویر ۳-۴ پلان طبقه اول و زیرزمین اداره گاز شاهرود بر اساس کنترل یا عدم کنترل فضاها (منبع:

نگارنده)

۳-۵-۱ شناسایی و محاسبات بار الکتریکی و روشنایی ساختمان

به منظور محاسبه بارهای الکتریکی و گرمایی ناشی از تجهیزات و روشنایی، لازم است تا با پیمایش دقیق، توان مصرفی، تعداد و نوع هر یک از آنها معین گردد. جهت اجرای این فرآیند، ابتدا تجهیزات به کار رفته در ساختمان مطابق با جدول ۳-۱ شناسایی و سپس هر یک در مطابق با جداول ۳-۲ و ۳-۳ نسبت به قرارگیری در هر فضا تعیین گردیده است. بار تجهیزات یک فضا براساس میزان مصارف تجهیزات در هنگام کارکرد در آن فضا محاسبه می گردد. از این رو علاوه بر توان مصرفی وسایل، دو عامل مدت زمان فعالیت در فضا و ضریب کارکرد تجهیزات در زمان کاربری فضا بر نتایج نهایی اثرگذار است. بدین منظور پس از بررسی و دریافت اطلاعات ساختمان مطابق با جدول زیر توان تجهیزات و زمان بهره برداری هر کدام مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین در ادامه این فرآیند متناسب با هر فضا، توان مصرفی و ضرایب عملکرد هر یک از تجهیزات در نسبت مساحت آن فضا مورد محاسبه قرار گرفته است.

جدول ۳-۱. توان مصرفی تجهیزات اداره گاز شاهرود

تجهیزات	تعداد	مصرف (W)	ضریب کارکرد در زمان کاربری فضا	توان مصرفی برحسب ضریب کارکرد
کامپیوتر اداری	۲۵	۲۰۰	۰.۹	۱۸۰
پرینتر جوهرافشان	۷	۲۵۰	۰.۱	۲۵
دستگاه کپی	۲	۴۵۰	۰.۱	۴۵
اسکنر	۲	۴۰	۰.۱	۴
فکس	۲	۱۰۰	۰.۱	۱۰
دستگاه حضور و غیاب	۱	۱۸	۰.۰۵	۰.۹
سرور	۱	۴۶۰	۱	۴۶۰
آب سردکن	۱	۲۰۰	۰.۱	۲۰
تلویزیون ۴۰ اینچ	۲	۱۲۰	۰.۱	۱۲
تلویزیون ۲۱ اینچ	۳	۱۵۰	۰.۱	۱۵
یخچال ۲۰ فوت	۱	۴۲۴	۰.۵	۲۱۲
یخچال ۱۲ فوت	۳	۲۸۰	۰.۵	۱۴۰
جاروبرقی	۱	۴۴۰	۰.۰۵	۲۲
هواکش	۵	۳۰	۰.۲	۵
روشنایی داخلی (مهمانی)	۲۴۲	۴۰	از ۱ تا ۰.۱	۴۰-۴
روشنایی لامپ کم مصرف	۱۲	۲۶	از ۱ تا ۰.۱	۲۶-۵.۲
روشنایی لامپ کم مصرف	۱۴	۱۸	از ۱ تا ۰.۱	۱۸-۳.۶

(منبع: نگارنده)

جدول ۳-۲. توان مصرفی تجهیزات در طبقه همکف و زیرزمین

کاربری	مساحت (m^2)	کامپیوتر (W)	تجهیزات (W)	روشنایی (W)	کامپیوتر (W/m^2)	تجهیزات (W/m^2)	روشنایی (W/m^2)
ریاست	۳۷.۰۳	۱۸۰	۱۲	۱۶۰	۴.۸۶	۰.۳۲	۴.۳۲
منشی	۱۸.۰۰	۱۸۰	۸۴	۸۰	۱۰.۰۰	۴.۶۷	۴.۴۴
تعمیرات	۱۹.۰۲	۱۸۰	۰	۸۰	۹.۴۶	۰	۴.۲۱
امور مشترکین	۵۱.۱۷	۱۰۸۰	۹۹	۳۲۰	۲۱.۱۱	۱.۹۳	۶.۲۵
حسابداری	۱۹.۰۸	۳۶۰	۵۰	۸۰	۱۸.۸۷	۲.۶۲	۴.۱۹
نصب و انشعابات	۱۷.۹۵	۳۶۰	۲۵	۸۰	۲۰.۰۶	۱.۳۹	۴.۴۶
خدمات اداری	۳۷.۰۲	۳۶۰	۳۵	۱۶۰	۹.۷۲	۰.۹۵	۴.۳۲
توسعه شبکه	۱۹.۰۳	۳۶۰	۰	۸۰	۱۸.۹۲	۰	۴.۲۰
نصب کنتور	۱۸.۰۰	۳۶۰	۰	۸۰	۲۰.۰۰	۰	۴.۴۴
نظارت	۱۸.۰۰	۳۶۰	۰	۸۰	۲۰.۰۰	۰	۴.۴۴
تعمیرات مهندسی	۱۹.۰۳	۳۶۰	۰	۸۰	۱۸.۹۲	۰	۴.۲۰
مخابرات	۱۹.۰۳	۱۸۰	۰	۸۰	۹.۴۶	۰	۴.۲۰
تعمیرات شبکه	۱۸.۰۰	۱۸۰	۰	۸۰	۱۰.۰۰	۰	۴.۴۴
امداد	۱۶.۰۳	۱۸۰	۰	۸۰	۱۱.۲۳	۰	۴.۹۹
نمازخانه	۳۷.۰۳	۰	۲۲	۳۰	۰	۰.۵۹	۰.۸۱
نگهبانی	۱۵.۹۹	۰	۰.۹	۴۰	۰	۰.۰۶	۲.۵۰
لابی	۲۳۴.۹۹	۰	۳۲	۱۴۰	۰	۰.۱۴	۰.۶۰
ورودی	۱۱.۵۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰.۰۰
آبدارخانه	۱۰.۵۷	۰	۲۱۲	۱۸	۰	۲۰.۰۶	۱.۷۰
اتاق برق	۹.۱۷	۰	۴۶۰	۱۶	۰	۵۰.۱۶	۱.۷۴
انبار ۱	۹.۱۷	۰	۰	۱۶	۰	۰	۱.۷۴
انبار ۲	۷۱.۹۰	۰	۰	۳۲	۰	۰	۰.۴۵
سرویس بهداشتی خ	۳.۵۴	۰	۵	۳.۶	۰	۱.۴۱	۱.۰۲
سرویس بهداشتی م	۱۴.۴۷	۰	۵	۷.۲	۰	۰.۳۵	۰.۵۰
راه پله	۲۰.۱۴	۰	۰	۵.۲	۰	۰	۰.۲۶
موتورخانه	۲۲.۱۸	۰	۰	۸	۰	۰	۰.۳۶
بایگانی	۴۸.۵۳	۰	۰	۶	۰	۰	۰.۱۲
تاسیسات	۱۰.۳۰	۰	۰	۴	۰	۰	۰.۳۹
انبار	۱۲.۲۶	۰	۰	۴	۰	۰	۰.۳۳
راه پله	۲۲.۱۹	۰	۰	۵.۲	۰	۰	۰.۲۳

(منبع: نگارنده)

جدول ۳-۳. توان مصرفی تجهیزات در طبقه اول

کاربری	مساحت (m^2)	کامپیوتر (W)	تجهیزات (W)	روشنایی (W)	کامپیوتر (W/m^2)	تجهیزات (W/m^2)	روشنایی (W/m^2)
نشیمن ۱	۳۱.۹۳	۰	۳۰	۸۰	۰	۰.۹۴	۲.۵۱
اتاق ۱	۱۷.۶۲	۰	۰	۱۶	۰	۰.۰۰	۰.۹۱
اتاق ۲	۱۳.۴۵	۰	۰	۱۶	۰	۰.۰۰	۱.۱۹
نشیمن ۲	۲۲.۴۰	۰	۳۰	۸۰	۰	۱.۳۴	۳.۵۷
اتاق ۳	۱۳.۴۶	۰	۰	۱۶	۰	۰.۰۰	۱.۱۹
اتاق ۴	۱۷.۲۶	۰	۰	۱۶	۰	۰.۰۰	۰.۹۳
نشیمن ۳	۳۱.۹۱	۰	۳۰	۸۰	۰	۰.۹۴	۲.۵۱
اتاق ۵	۱۳.۴۵	۰	۰	۱۶	۰	۰.۰۰	۱.۱۹
اتاق ۶	۱۷.۳۶	۰	۰	۱۶	۰	۰.۰۰	۰.۹۲
آشپزخانه ۱	۹.۳۸	۰	۱۴۰	۵.۲	۰	۱۴.۹۳	۰.۵۵
سرویس بهداشتی ۱	۱.۴۷	۰	۱.۵	۱.۸	۰	۱.۰۲	۱.۲۲
حمام ۱	۳.۳۳	۰	۰	۱.۸	۰	۰.۰۰	۰.۵۴
آشپزخانه ۲	۸.۸۶	۰	۱۴۰	۵.۲	۰	۱۵.۸۰	۰.۵۹
سرویس بهداشتی ۲	۲.۸۴	۰	۱.۵	۱.۸	۰	۰.۵۳	۰.۶۳
حمام ۲	۳.۰۵	۰	۰	۱.۸	۰	۰.۰۰	۰.۵۹
آشپزخانه ۳	۹.۳۸	۰	۱۴۰	۵.۲	۰	۱۴.۹۳	۰.۵۵
سرویس بهداشتی ۳	۱.۴۸	۰	۱.۵	۱.۸	۰	۱.۰۱	۱.۲۲
حمام ۳	۳.۳۴	۰	۰	۱.۸	۰	۰.۰۰	۰.۵۴
راه پله	۲۴.۹۵	۰	۰	۷.۲	۰	۰.۰۰	۰.۲۹

(منبع: نگارنده)

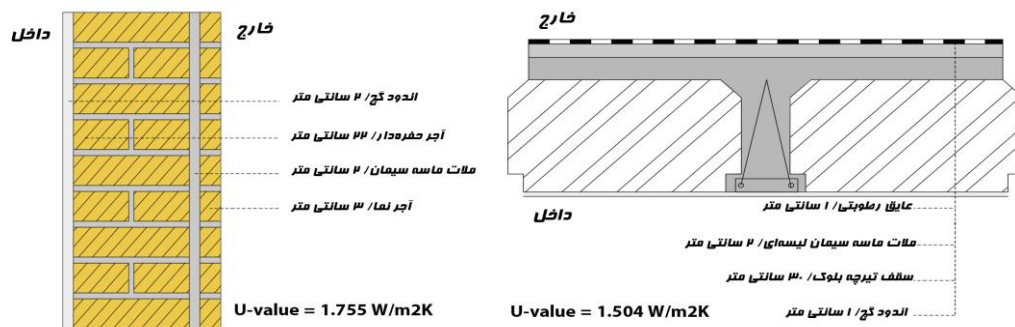
۳-۵-۲ شناسایی و محاسبات بار حرارتی ساختمان

محاسبات مربوط به بار حرارتی شامل سرمایش و گرمایش ساختمان، نقش اساسی در تعیین نیاز ساختمان به انرژی دارد. بر این اساس در مراجعات و پایش اطلاعات ساختمان مطابق با نقشه‌های اجرایی ساختمان، مقررات مبحث نوزدهم و داده‌های اخذ شده توسط دیتالاگر به کنترل پوسته حرارتی و در کنار آن به بررسی سیستم‌های موجود در ساختمان پرداخته شده است.

۳-۵-۲-۱ پوسته حرارتی

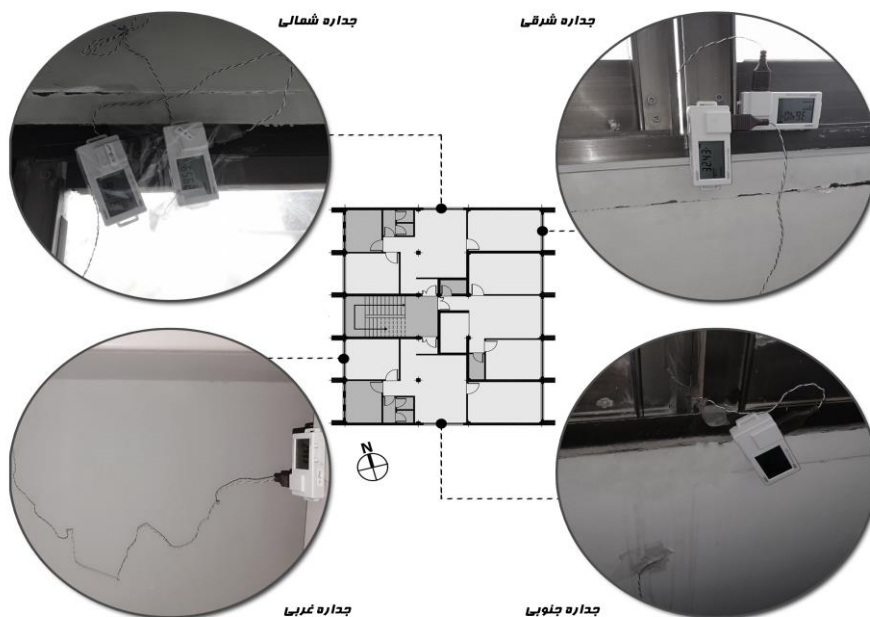
پوسته خارجی ساختمان یکی از عوامل تاثیرگذار در شناسایی میزان مصرف یک ساختمان است. جهت تشخیص شرایط انتقال حرارتی پوسته، در ابتدای امر بر پایه نقشه‌های فاز دو ساختمان و بر پایه مقررات مبحث نوزدهم به ارزیابی و تعیین ضرایب هدایت حرارتی پوسته ساختمان پرداخته ایم [۵۰]. بر این

اساس بخش اعظم دیوارهای خارجی ساختمان از مصالح آجر حفره دار تشکیل شده است، که با بررسی دقیق تر ضریب هدایت حرارتی این بخش از ساختمان ۱,۷۵۵ وات بر مترمربع کلوین است. براساس نقشه های اجرایی بخش اصلی سقف ساختمان از مصالح تیرچه و بلوک تشکیل شده است، که با در نظر گرفتن مصالح به کار رفته در آن ضریب هدایت حرارتی این بخش نیز ۱,۵۰۴ وات بر مترمربع کلوین است. پنجره های ساختمان نیز از نوع ساده و تک جداره با فریم آلومینیومی است که ضریب هدایت حرارتی آن در حدود ۵,۷۷ وات بر مترمربع کلوین است.



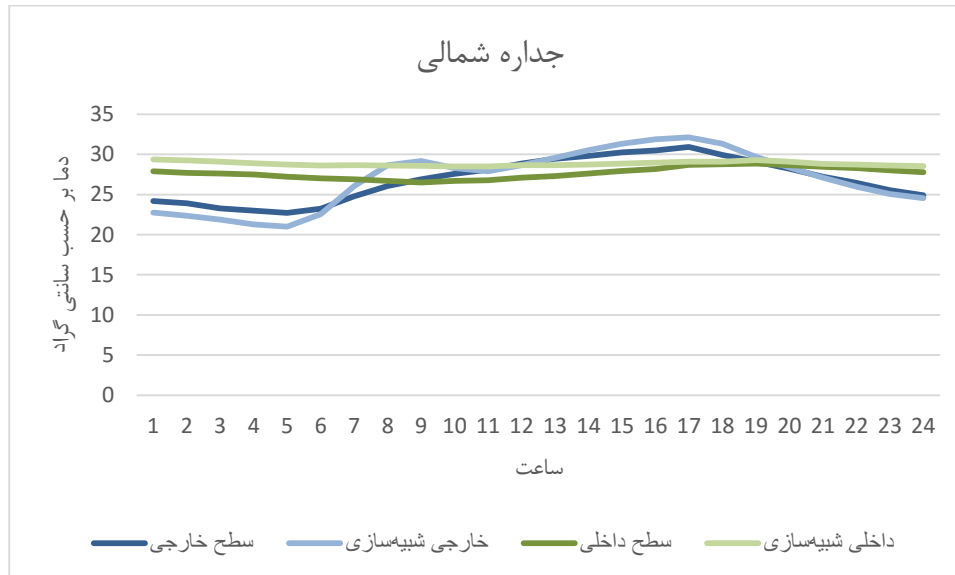
تصویر ۳-۵ جزئیات اجرایی سقف و دیوارهای خارجی (منبع: نگارنده)

در کنار این بررسی جهت اطمینان از صحت نتایج و ارزیابی ها، طی مراجعه به ساختمان از تاریخ ۴ تیر لغایت ۱۰ تیر به مدت هفت روز اطلاعات دمایی سطوح داخلی و خارجی و دمای محیط با دیتالاگر هوبو برداشت گردیده است، مطابق تصویر ۳-۶ دیتالاگرها در چهار جهت جغرافیایی و در ارتفاع حدود پنجاه سانتی متری از زمین نصب و در بازه های یک ساعته دمای سطوح خارجی و داخلی را ثبت نموده است. همچنین طی این فرآیند جهت حصول نتایج دقیق تر، شرایط محیطی نظیر باز و بسته شدن پنجره ها، ساعات کاربری، شرایط تهویه و سیستم های تاسیساتی تحت نظارت و کنترل قرار گرفته است.

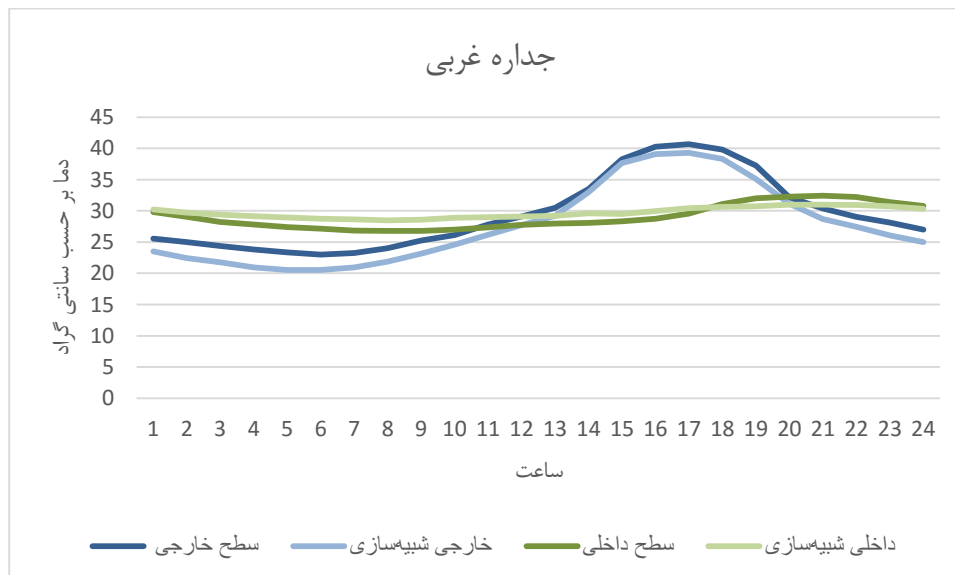


تصویر ۳-۶ موقعیت نصب دیتالاگرها در جهات مختلف جغرافیایی (منبع: نگارنده)

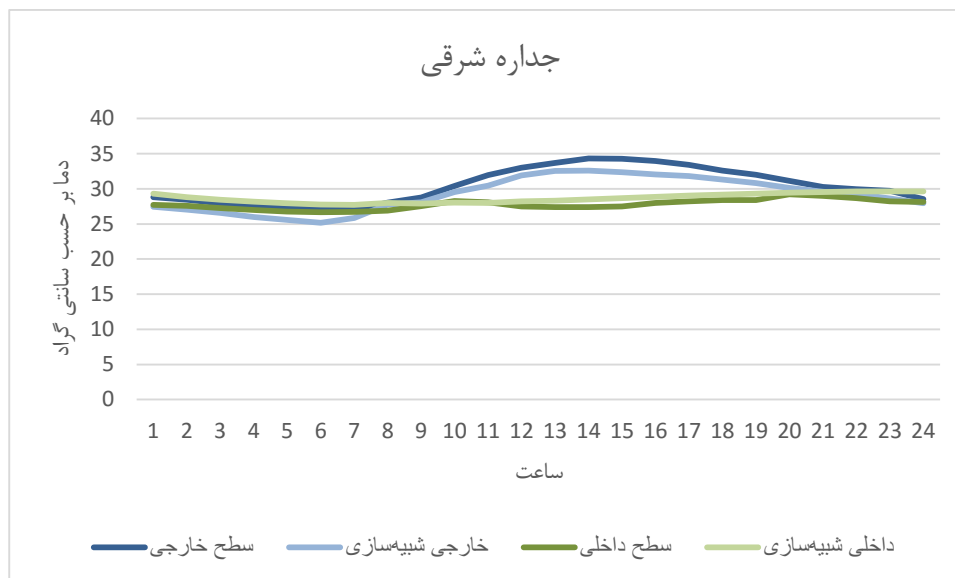
پس از انجام فرآیند برداشت اطلاعات و در مرحله شبیه‌سازی، با بررسی داده‌های ثبت شده توسط دیتالاگرها و خروجی نرم‌افزار در تاریخ ششم تیر ماه، اقدام به ارزیابی نتایج و اعتبارسنجی شرایط شبیه‌سازی گردیده‌است. نتایج این خروجی‌ها در ۴ نمودار ۳-۷ تا ۳-۱۰ و براساس ۴ جهت جغرافیایی بررسی و کنترل شده‌است.



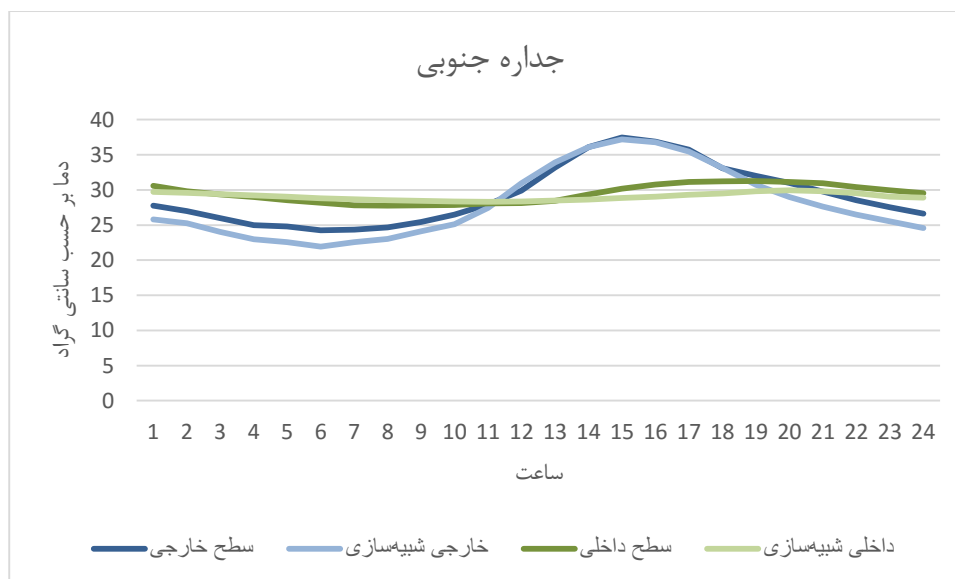
نمودار ۳-۷ بررسی نتایج دمای سطوح داخلی و خارجی در جداره شمالی (منبع: نگارنده براساس نتایج خروجی دیزاین‌بیلدر)



نمودار ۳-۸ بررسی نتایج دمای سطوح داخلی و خارجی در جداره غربی (منبع: نگارنده براساس نتایج خروجی دیزاین‌بیلدر)



نمودار ۳-۹ بررسی نتایج دمای سطوح داخلی و خارجی در جداره شرقی (منبع: نگارنده براساس نتایج خروجی دیزاین بیلدر)



نمودار ۳-۱۰ بررسی نتایج دمای سطوح داخلی و خارجی در جداره جنوبی (منبع: نگارنده براساس نتایج خروجی دیزاین بیلدر)

۳-۲-۵-۲ سیستم سرمایش و گرمایش

علاوه بر پوسته حرارتی و نوع رفتار آن، ارزیابی سیستم‌های سرمایش، گرمایش و تهویه مطبوع گامی موثر در دستیابی و شناسایی میزان نیاز ساختمان به انرژی است. از این رو طی پایش اطلاعات ساختمان اداره گاز شاهرود سیستم‌های تاسیساتی آن بررسی گردیده است. براساس تصویر ۳-۱۱ سیستم موتورخانه این ساختمان از ۲ دستگاه مشعل از نوع گازسوز با قدرت موتور ۱۵۰ وات و یک دیگ چدنی

و گرمایش از طریق رادیاتور و سیستم سرمایشی ساختمان نیز از ۱۱ دستگاه کولر آبی به ظرفیت متوسط ۳۵۰ تا ۷۵۰ وات تشکیل شده است. همچنین در بخش های اقامتی جهت گرمایش از ۳ دستگاه بخاری بهره گرفته شده است.



تصویر ۳-۱۱. تاسیسات گرمایشی و سرمایشی اداره گاز شاهرود (منبع: نگارنده)

۳-۵-۳ شناسایی و محاسبه میزان مصرف انرژی ساختمان

در راستای شناسایی میزان مصارف ساختمان اداره گاز شاهرود، اطلاعات قبوض گاز و برق این ساختمان طی یک دوره سه ساله دریافت و بررسی گردیده است، براساس جدول ۳-۴ به طور میانگین میزان مصرف برق سالیانه این ساختمان در حدود ۳۹ هزار کیلووات ساعت و مصرف گاز سالیانه آن در حدود ۲۲ هزار مترمکعب یا با نرخ تبدیل ارزش حرارتی مترمکعب گاز به کیلووات ساعت در حدود ۲۲۰ هزار کیلووات ساعت بوده است.

جدول ۳-۴. میزان مصرف انرژی ساختمان اداره گاز شاهرود

بازه اطلاعات		۲۰۱۷		۲۰۱۸		۲۰۱۹	
شمسی	میلادی	برق مصرفی	گاز مصرفی	برق مصرفی	گاز مصرفی	برق مصرفی	گاز مصرفی
۱۱ دی تا ۱۱ بهمن	ژانویه	۲۶۹۴	۶۲۶۸۰	۲۶۸۷	۵۸۵۱۲	۲۶۸۹	۶۱۸۱۷
۱۲ بهمن تا ۹ اسفند	فوریه	۲۶۷۴	۴۴۸۰۹	۲۶۹۸	۳۸۷۲۸	۲۵۳۲	۴۳۰۸۹
۱۰ اسفند تا ۱۱ فروردین	مارچ	۲۵۴۵	۲۶۴۷۸	۲۶۷۶	۲۰۹۴۱	۲۵۵۸	۲۱۱۷۰
۱۲ فروردین تا ۱۰ اردیبهشت	آوریل	۲۶۴۷	۶۱۴۹	۲۸۲۵	۶۷۷۰	۲۶۴۳	۷۳۸۰
۱۱ اردیبهشت تا ۱۰ خرداد	می	۳۱۷۷	۷۰۷	۳۲۱۲	۱۸۳۰	۳۱۱۲	۹۸۸
۱۱ خرداد تا ۹ تیر	جون	۴۱۸۲	۵۱۰	۴۳۵۲	۵۱۳	۴۲۷۲	۴۳۸
۱۰ تیر تا ۹ مرداد	جولای	۵۳۸۷	۳۰۲	۵۶۶۱	۴۰۶	۵۵۳۴	۴۶۸
۱۰ مرداد تا ۹ شهریور	آگوست	۴۱۲۳	۳۳۷	۴۴۸۲	۲۵۰	۴۳۲۱	۳۱۲
۱۰ شهریور تا ۸ مهر	سپتامبر	۳۲۹۲	۱۹۰۲	۳۲۴۲	۹۲۴	۳۴۰۶	۱۲۰۵
۹ مهر تا ۹ آبان	اکتبر	۲۶۵۷	۷۹۲۵	۲۶۹۳	۵۴۵۰	۲۶۰۵	۵۷۳۰
۱۰ آبان تا ۹ آذر	نوامبر	۲۶۸۳	۳۱۴۵۰	۲۷۲۱	۲۷۴۰۶	۲۶۴۸	۲۹۵۸۶
۱۰ آذر تا ۱۰ دی	دسامبر	۲۷۳۳	۵۷۱۴۴	۲۶۸۴	۵۲۴۵۶	۲۶۴۱	۵۵۲۸۶
مجموع مصارف برحسب کیلووات ساعت		۳۸۷۹۴	۲۴۰۳۹۳	۳۹۹۳۳	۲۱۴۱۸۶	۳۸۹۶۱	۲۲۷۴۶۹

(منبع: نگارنده براساس قبوض مصرفی برق و گاز ساختمان)

۳-۶ شبیه‌سازی ساختمان اداره گاز شاهرود

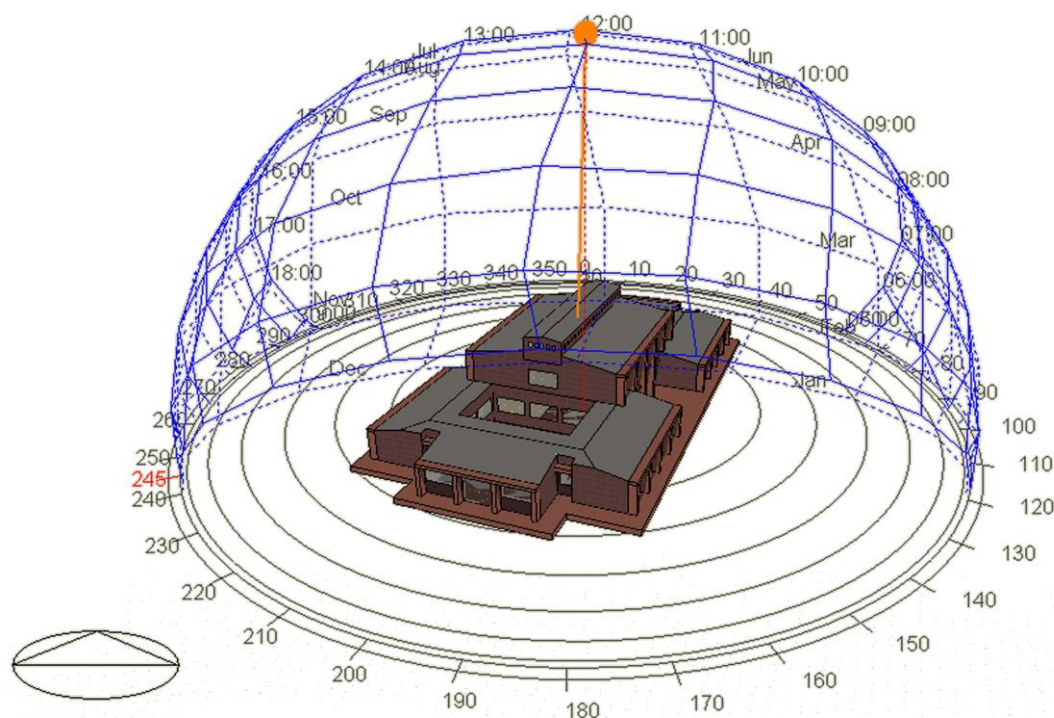
پس از پایش و بررسی دقیق تمامی پارامترهای موثر بر میزان مصرف انرژی ساختمان، اطلاعات دریافت‌شده جهت ارزیابی در نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر تحت شرایط جدول ۳-۵ تعریف شده‌است:

جدول ۳-۵. اطلاعات ورودی به نرم‌افزار

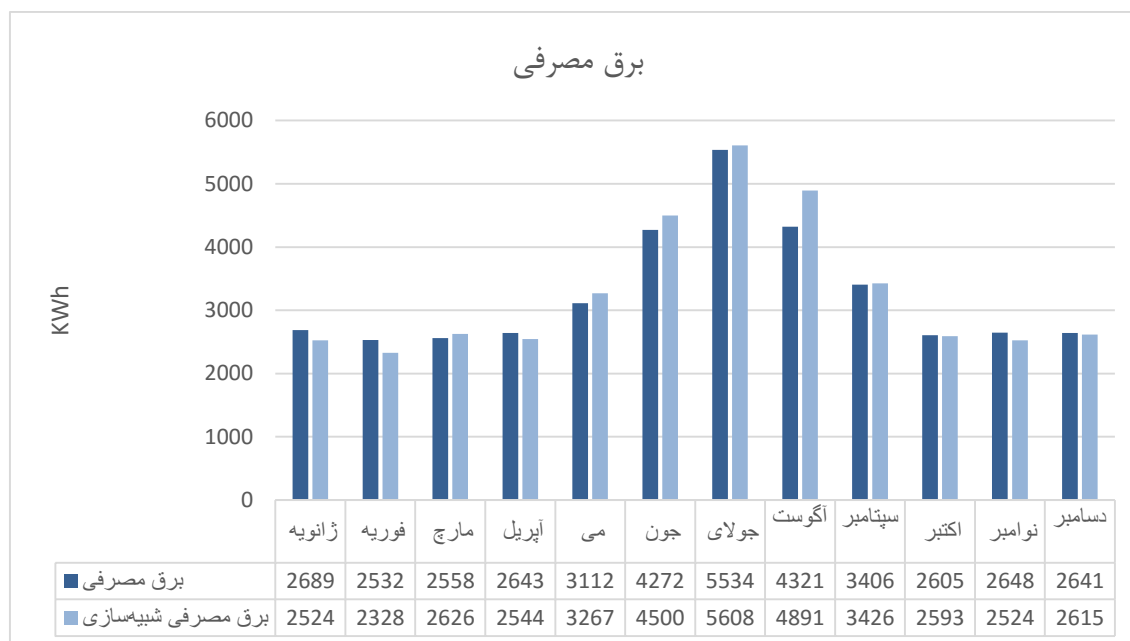
عنوان	اطلاعات ورودی	عنوان	اطلاعات ورودی
تعداد کاربران	۷ خانم و ۳۰ آقا	ست پوینت گرمایش	۲۴ C
سطح پوشش	۰,۸۵ خانم و ۱ آقا	ست پوینت سرمایش	۲۵ C
ساعت بهره‌برداری اداره	۷:۰۰-۱۶:۰۰	انتقال حرارتی دیوار خ	$1,755 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
ساعت بهره‌برداری اقامتی	۹:۰۰-۱۹:۰۰	انتقال حرارتی سقف	$1,504 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
مساحت کنترل‌شده	900 m^2	انتقال حرارتی پنجره	$5,77 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
مساحت کنترل‌نشده	250 m^2	انتقال حرارتی کف	$2,63 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

(منبع: نگارنده براساس داده‌های برداشت‌شده)

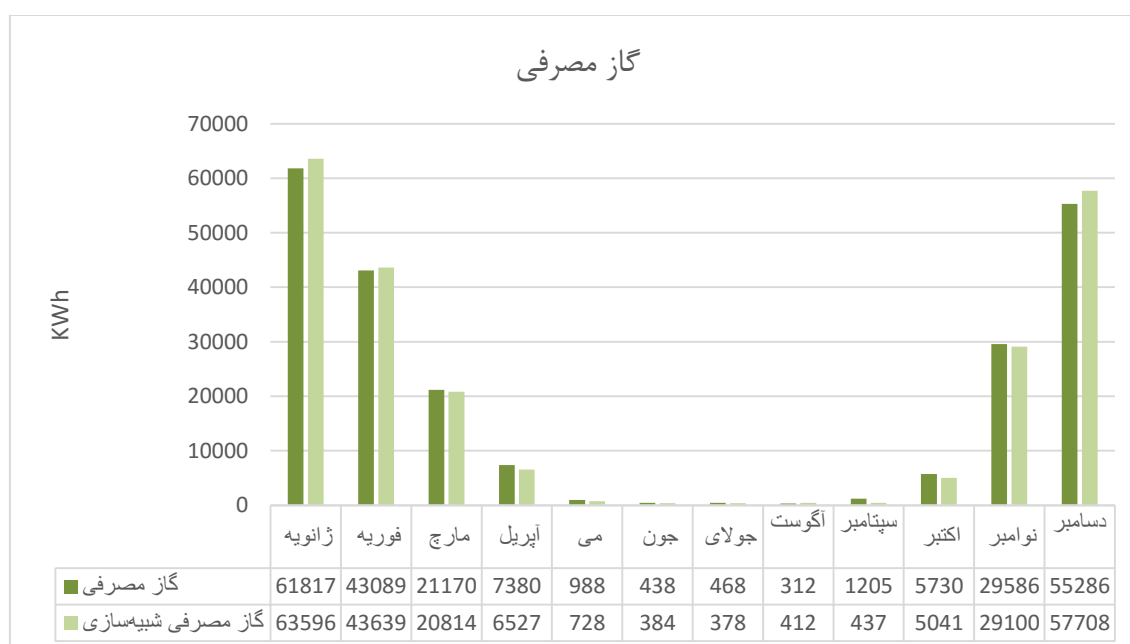
پس از کنترل تمامی اطلاعات ورودی و مدل‌سازی ساختمان در نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر مطابق با تصویر ۳-۱۲ جهت اعتبارسنجی شبیه‌سازی و ارزیابی نتایج خروجی به مقایسه میان میزان مصارف واقعی ساختمان براساس قبوض ماهیانه و نتایج شبیه‌سازی پرداخته‌شده‌است. این نتایج در نمودارهای ۳-۱۳ و ۳-۱۴ مورد بررسی قرار گرفته‌است.



تصویر ۳-۱۲ شبیه‌سازی ساختمان اداره گاز شاهرود در محیط نرم‌افزار (منبع: خروجی دیزاین‌بیلدر)



نمودار ۳-۱۳ بررسی نتایج خروجی میزان برق مصرفی ساختمان (منبع: دیزاین بیلدر)



نمودار ۳-۱۴ بررسی نتایج خروجی میزان گاز مصرفی ساختمان (منبع: دیزاین بیلدر)

۳-۷ تعیین رده مصرف انرژی ساختمان

پس از اجرای فرآیند اعتبارسنجی و در جهت ارزیابی میزان شدت مصرف انرژی ساختمان اداره گاز شاهرود، رده مصرف انرژی آن شناسایی و سپس به ارائه راهکارهای بهبوددهنده مصرف اقدام گردیده‌است. مطابق با استاندارد ۱۴۲۵۵ ISIRI شاخص مصرف انرژی ساختمان براساس میزان انرژی اولیه بر زیربنای مفید و در واحد کیلووات ساعت بر مترمربع در سال تعریف می‌شود [۵۱]. برای محاسبه

ابتدا مصرف انرژی نهایی ساختمان با استفاده از مجموع مصرف حامل های انرژی هم تراز شده محاسبه گردد [۵۱].

(رابطه ۱-۳)

$$E_{act}^{Annual} = NG_{act}^{Annual} \times LHV_{NG} \times 0,278 + \frac{E_{act}^{Annual}}{Eff_{act}}$$

E_{act}^{Annual} مصرف کل انرژی ساختمان بر پایه حامل های اولیه

NG_{act}^{Annual} مصرف کل گاز طبیعی ساختمان بر حسب مترمکعب در سال

LHV_{NG} ارزش حرارتی گاز طبیعی بر حسب مگاژول بر مترمکعب

E_{act}^{Annual} مصرف کل برق مصرفی ساختمان بر حسب کیلووات ساعت در سال

Eff_{act} متوسط راندمان نیروگاه، شبکه انتقال و توزیع برق

متوسط راندمان نیروگاه ها، شبکه انتقال و توزیع برق بر طبق استاندارد ISIRI ۱۴۲۵۵ معادل ۲۷ درصد و همچنین برای تبدیل مگاژول به کیلووات ساعت در رابطه ۱-۳ عدد ۰,۲۸۷ استفاده شده است. شاخص شدت مصرف انرژی نهایی طبق استاندارد ملی شماره ۱۴۲۵۵ و با استفاده از رابطه ۲-۳ محاسبه می گردد.

(رابطه ۲-۳)

$$EI_{Act}^{Annual} = \frac{E_{act}^{Annual}}{A}$$

EI_{Act}^{Annual} شاخص شدت مصرف انرژی ساختمان بر حسب کیلووات ساعت بر مترمربع در سال

A مساحت مفید بر حسب مترمربع

برای تعیین رده انرژی ساختمان ابتدا متناسب با اقلیم ساختمان و با توجه به استاندارد شناسایی و سپس نسبت شاخص شدت مصرف انرژی ساختمان به مقدار ایده آل آن در استاندارد، طبق رابطه ۳-۳ محاسبه گردد. بر طبق استاندارد شدت مصرف انرژی ایده آل برای ساختمان های اداری دولتی در محدوده ۷۴ کیلووات ساعت بر مترمربع قرار می گیرد.

(رابطه ۳-۳)

$$R = \frac{EI_{act}^{Annual}}{EI_{ideal}^{Annual}}$$

EI_{ideal}^{Annual} شاخص شدت مصرف انرژی ساختمان در حالت ایده آل اقلیمی بر حسب کیلووات ساعت بر مترمربع در سال

براساس روابط بالا میزان مصرف انرژی ساختمان اداره گاز شاهرود برابر با ۴۰۵ کیلووات-ساعت بر مترمربع در سال بر پایه انرژی اولیه است که براساس نسب ایده‌آل این کاربری با میزان ۵۰۵ در مرتبه F قرار می‌گیرد که از نظر تقاضای انرژی، پرمصرف شناسایی می‌گردد.

۳-۸ جمع‌بندی

طی سال‌های اخیر و با افزایش تقاضا برای انرژی، محدودیت منابع سوخت‌های فسیلی و بحران‌های زیست‌محیطی، توجهات به مصرف انرژی در حیطه ساختمان معطوف گردیده‌است. برای اصلاح این رویه در صنعت ساختمان، بهره‌گیری از راهکارها در زمینه کاهش میزان مصرف انرژی امری ضروری است. شناسایی و محاسبات نحوه عملکرد انرژی ساختمان همراه با پیچیدگی و سختی است. همچنین اگر چه محاسبات سنتی، استفاده از آیین‌نامه‌ها و راهنماهای طراحی، انجام دادن آزمایش و ساخت ماکت امکان‌پذیر است. با این وجود سیستم‌های ارزیابی عملکرد ساختمان، روش‌های محاسبات سنتی و آیین‌نامه‌ها با محدودیت و هزینه‌های بسیاری همراه است. از این‌رو بهره‌گیری از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی راهی مطلوب در راستای دستیابی به اهداف و یافتن راهکارهای بهینه است.

با وجود مزیت‌هایی که استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی در اختیار طراحان قرار می‌دهد، این فرآیند نیز نیازمند به کنترل، دقت و مهارت است. همچنین این حوزه نیازمند کسب اطمینان و ارزیابی نتایج است. به طور عمده نوع نرم‌افزار، رابط کاربری، صحت داده‌ها، منابع مختلف خطا، اعتبارسنجی، عدم قطعیت نتایج و نیز شناخت روش ارزیابی عملکرد و محدودیت‌های نرم‌افزار جزو عواملی است که نیاز به بررسی دقیق و کنترل دارد. در هر فرآیند شبیه‌سازی تعیین میزان صحت نتایج و تطابق آن با واقعیت ضروری است. به طور کلی، صحت نتایج به دو عامل روش محاسباتی صحیح و درستی اطلاعات ورودی توسط کاربر بستگی دارد. از این‌رو تطبیق هر چه بیشتر نتایج با دنیای واقعی منجر به اطمینان از کیفیت شبیه‌سازی، درستی‌سنجی و اعتبارسنجی می‌گردد.

به منظور ارزیابی شرایط واقعی، کاهش خطای محاسباتی و اعتبارسنجی نتایج شبیه‌سازی، در این پژوهش ساختمان اداره گاز شاهرود به عنوان ساختمان نمونه انتخاب گردیده‌است. با بررسی و گردآوری اطلاعات این ساختمان اعم از نقشه‌های معماری، سازه و تاسیسات، برداشت اطلاعات مصرفی و محیطی و الگوهای رفتاری کاربران به تدقیق داده‌های ورودی به نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر اقدام گردیده‌است. پس از این مرحله و با کنترل نتایج و کسب اطمینان از شرایط شبیه‌سازی امکان ارزیابی نتایج آتی فراهم می‌گردد.

همچنین در کنار این موضوع با بررسی شرایط انرژی اداره گاز شاهرود که بسیار پرمصرف بوده، ایرادات و پیشنهاداتی در این خصوص وجود دارد که به زعم نگارنده و به شرح زیر آورده شده‌است:

۱. یکی از عوامل ابتدایی در مسیر طراحی مبحث جهت‌گیری است، جهت‌گیری شمال غربی، جنوب شرقی این ساختمان یکی از عوامل نامطلوب در راستای افزایش تقاضای انرژی آن گردیده‌است.

۲. نسبت پاکت ساختمان عامل موثر دیگری است که در تقاضای انرژی نقش دارد، در این ساختمان به جهت کشیدگی پاکت ساختمان در نسبت حدود بیش از یک به سه و از سوی دیگر پلان گسترش یافته ساختمان، منجر به گسترش پوسته حرارتی و به طبع آن تلفات بیشتر حرارتی گردیده است.
۳. به طور عمده بهره‌گیری از انرژی تابشی و نور خورشید از جبهه جنوب ساختمان یکی از راهکارهای موثر در کاهش تقاضای انرژی محسوب می‌گردد، در سازمان‌دهی پلان این ساختمان از این پتانسیل نیز غافل بوده، همچنین گستردگی پلان منجر به افزایش سیستم انتقال گرمایش و سرمایش گردیده که این عامل نیز تاثیر منفی در میزان مصرف انرژی ساختمان دارد.
۴. پوسته حرارتی ساختمان با ضرایب هدایت حرارتی بالا و عدم بهره‌گیری از عایق‌های حرارتی در کنار پنجره‌های ساده با فریم‌های آلومینیومی یکی دیگر از عوامل اتلاف حرارت و در نتیجه افزایش تقاضای انرژی گردیده است.
۵. عدم توجه به بهره‌گیری نور طبیعی روز منجر به افزایش تقاضا برای سیستم روشنایی ساختمان می‌گردد، همچنین استفاده از تجهیزات روشنایی و اداری با مصرف بالا یکی دیگر از موارد افزایش تقاضای انرژی در فضاهای اداری بوده است.

فصل ۴: طراحی ساختمان اداری انرژی صفر

۴-۱ مقدمه

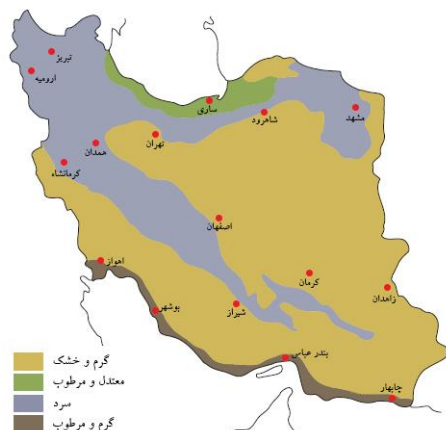
بهینه‌سازی انرژی در ساختمان‌ها معمولاً با استفاده از روش‌های پرهزینه، مانند بهره‌گیری از مصالح برای کاهش هدایت حرارتی پوسته، استفاده از سیستم‌های سرمایشی، گرمایشی، تهویه مطبوع و سیستم‌های روشنایی با راندمان بالا و با بهره‌برداری از سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر جهت تولید قسمتی از انرژی مصرفی ساختمان و غیره میسر می‌گردد. بدین جهت در ابتدا، استفاده از راهکارهای کم هزینه و در عین حال تاثیرگذار برای صرفه‌جویی و در اقدامات بعدی بهره‌گیری از راهکارهای هزینه‌بر در ساختمان‌ها اهمیت می‌یابد. یکی از شیوه‌های مطلوب، بهینه‌سازی از طریق طراحی معماری است، که علاوه بر کاهش مصرف انرژی در کاهش تولید دی‌اکسیدکربن نیز موثر خواهد بود. به منظور امکان‌سنجی بهینه‌سازی بوسیله طراحی معماری به کمک شبیه‌سازی در محیط نرم‌افزار براساس شیوه پارامتریک، تاثیر عوامل معماری بر نیاز انرژی ساختمان انجام می‌گیرد. در این شیوه با بکارگیری شبیه‌سازی مصرف انرژی، میزان تاثیرگذاری و حالت‌های بهینه هر یک از پارامترها و یا مولفه‌های معماری برای ساختمان، متناسب با کاربری و اقلیم ارائه می‌گردد [۱۵].

مولفه‌های معماری شامل جهت، نسبت کشیدگی ساختمان، تعداد طبقات، درصد بازشوها در جهات مختلف، اندازه، نوع و نحوه کنترل سایبان، شیوه و زمان بکارگیری از تهویه طبیعی، شکل و فرم ساختمان و غیره است. روند بررسی بهره‌وری انرژی بر پایه سلسله‌ای از شبیه‌سازی‌ها در نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر استوار است. راهکارهای خروجی حاصل از نتایج شبیه‌سازی می‌تواند در روند طراحی معماری ساختمان به کار گرفته‌شود. این اقدام منجر به افزایش راندمان روشنایی و حرارتی ساختمان و کاهش تقاضای انرژی می‌گردد، بدون آن که در ابتدا نیاز به مواد، مصالح و یا سیستم خاصی باشد. به جهت ظرفیت اقلیم شاهرود، امکان صرفه‌جویی انرژی از طریق شیوه معماری بسیار بالا است. دو عامل اصلی اقلیمی، میزان تابش خورشید و رطوبت نسبی، امکان صرفه‌جویی انرژی به کمک معماری را افزایش می‌دهد. همچنین به جهت قیمت پایین حامل‌های انرژی، با وجود کاهش یارانه‌ها، و در کنار آن قیمت بالای ساخت‌وساز، سرمایه‌گذاری برای صرفه‌جویی انرژی در ساختمان‌ها با بهره‌گیری از مصالح با مقاومت حرارتی بالا و سیستم‌های ساختمانی، در اغلب موارد از جنبه اقتصادی به صرفه نیست. با این وجود، به دلیل شرایط اقتصادی کشور، توجه به جنبه‌های اقتصادی در مواردی نظیر مساله انرژی از اهمیت بالایی برخوردار است. بنابراین تمرکز عمده بر عملکرد انرژی با بکارگیری راهکارهای کم هزینه است. از این روی، شیوه بکارگیری برای افزایش راندمان انرژی ساختمان باید تا جای ممکن از نظر اقتصادی به صرفه باشد. بدین سبب پرداخت به مولفه‌های معماری ساختمان، هم از نگاه اقتصادی و هم زیست محیطی مطلوب است.

۴-۲ اقلیم

اولین قدم در انطباق طراحی معماری با محیط، بررسی و مطالعه مولفه‌های اقلیمی سایت مورد نظر است بدین جهت که هر مولفه اقلیمی اثر متفاوت و راهکار متفاوتی نیاز دارد [۴۳]. منطقه اقلیمی سایت ساختمان، به تنهایی اطلاعات لازم برای طراحی اقلیمی را مهیا نمی‌کند و اطلاعات آب‌وهوایی بیشتری برای شناسایی شرایط اقلیمی نیاز است. برای شناسایی یک اقلیم و ارزیابی و تحلیل آن، به اطلاعات اقلیمی ساعتی و یا حداقل اطلاعات اقلیمی روزانه است. برای درک بهتر شرایط آب‌وهوایی مورد نیاز برای طراحی ساختمان با راندمان انرژی بالا، باید مولفه‌های اقلیمی مختلف تاثیرگذار در رفتار حرارتی ساختمان مورد ارزیابی قرارگیرد. این مولفه‌ها شامل دمای مرطوب، دمای خشک، رطوبت نسبی، جهت و سرعت وزش باد و نیز تابش مستقیم و پراکنده خورشید است، که اهمیت بسیاری در طراحی اقلیمی دارند. به جهت این‌که داده‌های روزانه و ساعتی هر اقلیم، اطلاعات زیادی به همراه دارند، استفاده از ابزاری که بتواند این موارد را به درستی نمایش دهد، ضروری است. اگرچه این اطلاعات زمانی اثرگذار خواهد بود که رابطه مولفه‌های اقلیمی با یکدیگر و مرتبط با شرایط حرارتی مورد نیاز، مانند آسایش حرارتی را نمایش دهد [۱۵].

شیوه‌های مختلفی برای دسته‌بندی اقلیم‌های مختلف وجود دارد، یکی از پرکاربردترین روش‌های طبقه‌بندی اقلیمی روش کوپن می‌باشد. براساس طبقه‌بندی اقلیمی کوپن تصویر ۴-۱، کشور ایران به چهار منطقه اقلیمی گرم و خشک، گرم و مرطوب، معتدل و مرطوب و سرد تقسیم می‌گردد [۴۴]. مطابق با این تقسیمات، شهر شاهرود در منطقه گرم‌وخشک واقع شده‌است. همچنین به جهت مجاورت این شهر با مناطق کوهستانی، شرایط اقلیمی این شهر تحت تاثیر مشخصات آب‌وهوایی اقلیم‌های گرم‌وخشک و سرد است. مطابق تقسیمات نمودار زیست اقلیمی اولگی، ایران را می‌توان از لحاظ آب‌وهوایی به ۶ منطقه اقلیمی زمستانی (شامل؛ معتدل و مرطوب، بسیار سرد، معتدل و خشک، گرم، گرم و مرطوب و سرد) و ۵ منطقه اقلیمی تابستانی (شامل؛ معتدل و مرطوب، گرم و خشک، بسیار گرم و خشک، گرم و مرطوب، بسیار گرم و مرطوب) تقسیم کرد. براساس تقسیمات نمودار زیست اقلیمی اولگی، شهر شاهرود در ناحیه‌ای با زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم و خشک قرار گرفته‌است [۴۴].

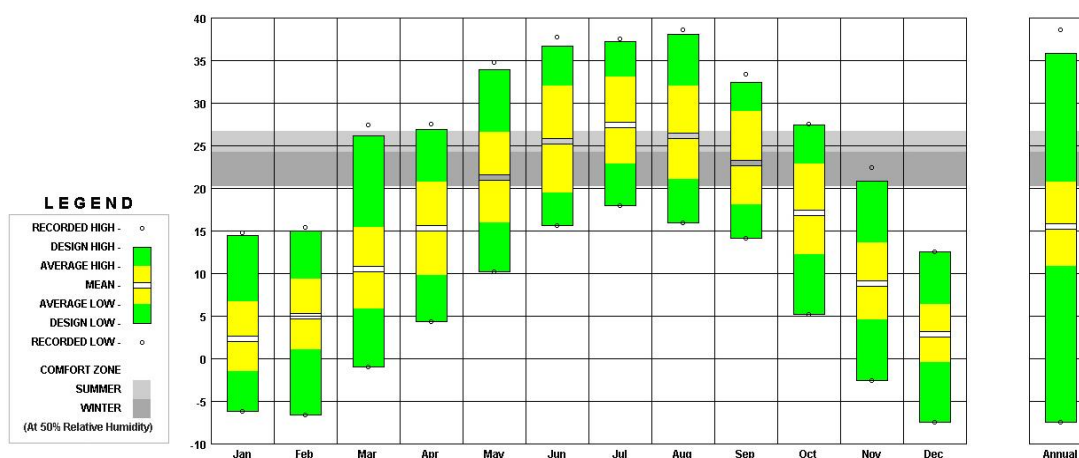


تصویر ۴-۱ پهنه‌بندی اقلیمی کشور ایران براساس روش کوپن (منبع: کسمایی، ۱۳۹۰)

۴-۲-۱ فاکتورهای اقلیمی

۴-۲-۱-۱ دمای هوا

مطابق نمودار ۴-۲ کمینه و بیشینه و متوسط ماهیانه دما و نیز کمینه و بیشینه اندازه‌گیری شده این شهر در هر ماه در قیاس با محدوده آسایش حرارتی نمایش داده شده است^۱. مطابق این نمودار، متوسط ماهانه دمای هوا در شهر شاهرود تنها در برخی از ایام سال در محدوده آسایش حرارتی قرار می‌گیرد. دمای هوا در ماه جولای بالاتر از محدوده آسایش حرارتی بوده و در ماه‌های اکتبر تا آوریل این میزان پایین‌تر از محدوده مذکور می‌باشد. بر اساس این نمودار، متوسط ماهانه دمای هوای محیط تنها در ماه‌های می، ژوئن، آگوست و سپتامبر در محدوده آسایش حرارتی قرار دارد. اگرچه قرارگیری متوسط ماهانه دما در محدوده آسایش حرارتی به معنای قرارگیری دما در کل این ماه‌ها در این محدوده نیست و همان‌طور که نمودار نشان می‌دهد، کمینه و بیشینه و قسمت عمده‌ای از محدوده دمایی در هر ماه، خارج از محدوده آسایش حرارتی است. دلیل این امر تفاوت عمده دما در طول سال و بین ماه‌های مختلف و نیز طی شبانه‌روز است که یکی از دلایل این تفاوت، رطوبت نسبی در طول شبانه‌روز است.



نمودار ۴-۲ متوسط دمای ماهانه (منبع: کلایمیت کنسالتنت^۲ براساس داده‌های آب‌وهوایی شاهرود)

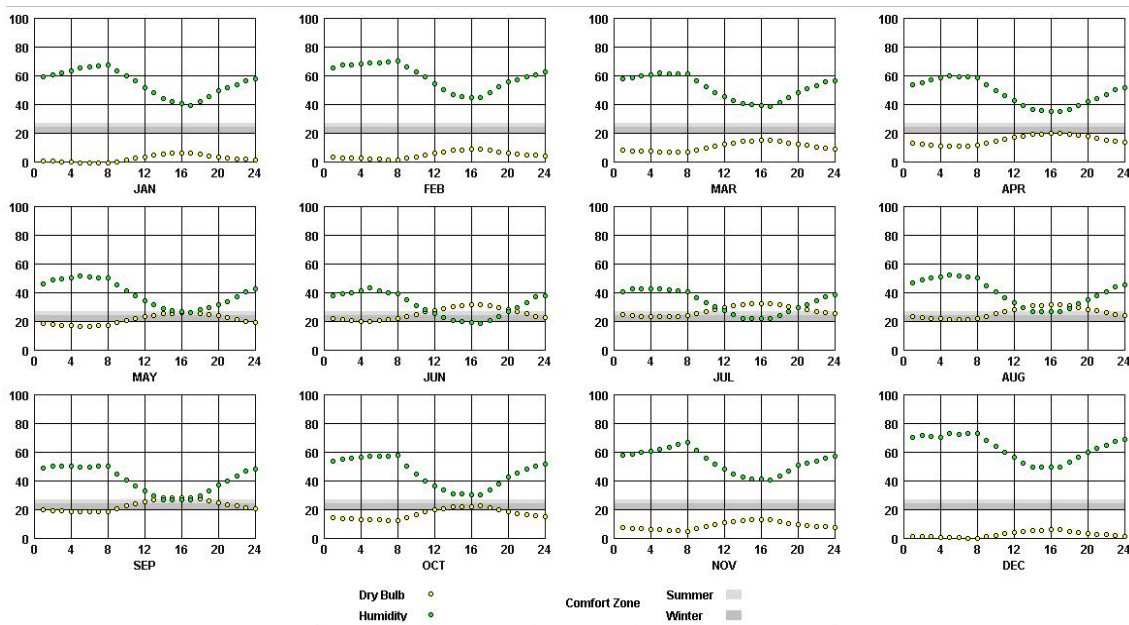
۴-۲-۱-۲ رطوبت نسبی هوا

مطابق نمودار ۴-۳ که رطوبت نسبی و تغییرات دمای این شهر در ماه‌ها و ساعات مختلف را نشان می‌دهد، این شهر رطوبت نسبی بیشینه ۷۰ درصد را در ماه‌های ژانویه، فوریه و دسامبر و رطوبت

^۱ محدوده آسایش حرارتی بر اساس استاندارد اشری ۵۵-۲۰۰۴ با استفاده از مدل PMV

^۲ Climate Consultant

نسبی کمینه ۲۰ درصد را در ماه ژوئن و جولای تجربه می‌کند. که در جهت قرارگیری محیط در وضعیت مطلوب می‌توان از سامانه‌های سرمایشی تبخیری بهره برد.

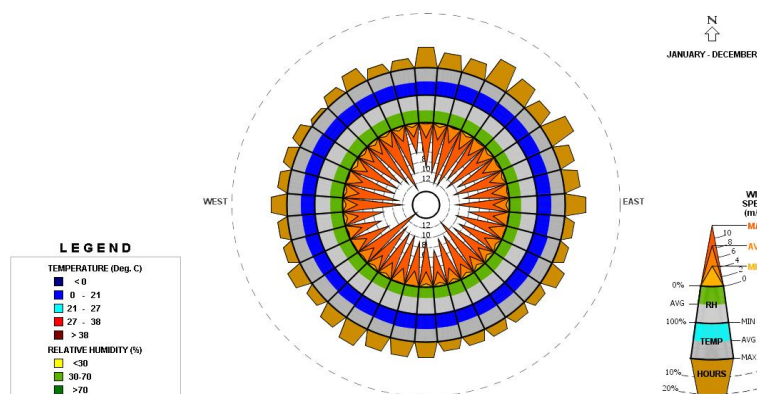


نمودار ۳-۴ تغییرات دما و رطوبت نسبی ماهانه هوا (منبع: کلایمیت کنسالتنت براساس داده‌های آب‌وهوایی شاهرود)

۳-۱-۲-۴ باد

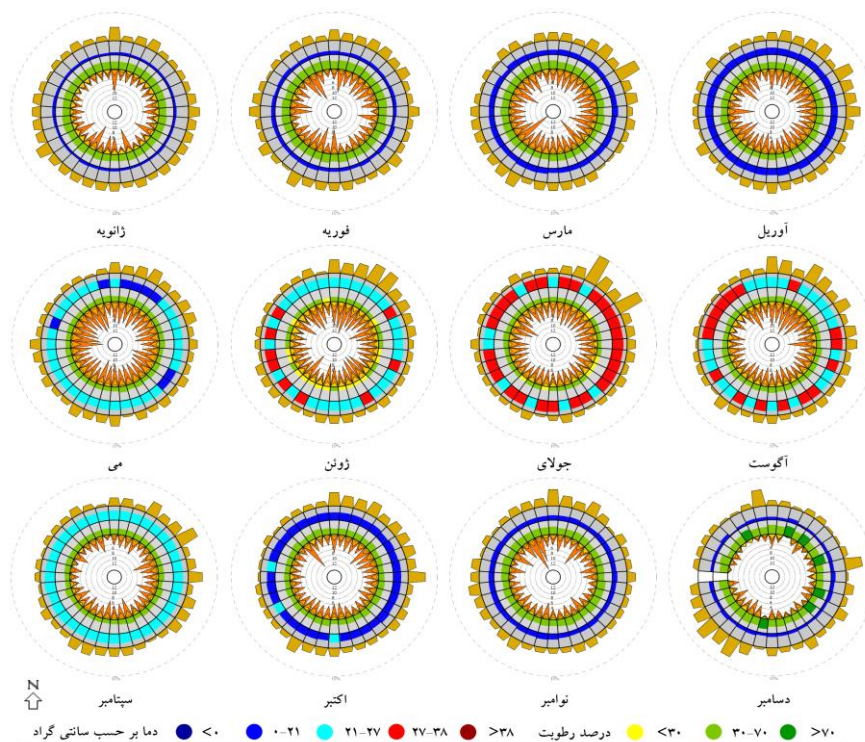
نمودار ۴-۴ و ۵-۴ گلباد سالانه و ماهانه شهر شاهرود را نشان می‌دهند. این نمودارها شامل مدت زمان وزش باد در جهات مختلف و سرعت کمینه، بیشینه و متوسط وزش باد، دما و رطوبت نسبی هوا در زمان وزش باد است. میزان رطوبت نسبی و بویژه دمای هوا در زمان وزش باد از جهات مختلف در این نمودارها، ضرورت بهره‌گیری از باد برای تهویه طبیعی و یا محافظت از ساختمان در برابر وزش باد را تعیین می‌کند. تلفیق میزان دمای هوا، رطوبت نسبی و میزان وزش باد، در زمان وزش مبین مطلوبیت یا عدم مطلوبیت دما و رطوبت نسبی هوا هنگام زمان وزش باد برای تهویه طبیعی مناسب است. در صورتی که دما و رطوبت نسبی هوا در محدوده آسایش حرارتی و یا اندکی پایین‌تر از آن باشد، امکان استفاده از تهویه طبیعی برای خنک‌سازی فضاها فراهم است، ولی در صورت بالاتر بودن دمای هوا از محدوده آسایش حرارتی، تهویه طبیعی در ساختمان‌های دارای سیستم سرمایشی، باعث افزایش انرژی مصرفی سرمایش می‌گردد، بنابراین تهویه طبیعی نباید رخ دهد. همچنین اگرچه بالا بودن رطوبت نسبی هوا در یک اقلیم، میزان نیاز به تهویه طبیعی را افزایش می‌دهد؛ اما در صورتی که میزان رطوبت نسبی از میزان حداکثری آن برای شرایط آسایش حرارتی بیشتر باشد، تهویه طبیعی در ساختمان‌های با سیستم تهویه مطبوع دارای رطوبت‌گیر، بر روی شرایط آسایش حرارتی اثر منفی خواهد داشت.

بر اساس گلباد سالانه شهر شاهرود، باد غالب در طول سال از جهت‌های جنوب غرب، جنوب، شمال شرق و شمال می‌وزد. اگر چه پراکندگی جهت طی ماه‌های مختلف متفاوت است.



نمودار ۴-۴ گلباد سالیانه (منبع: کلایمیت کنسالتنت براساس داده‌های آب‌وهوایی شاهرود)

براساس گلبادهای ماهیانه این شهر، جهت وزش باد در فصل تابستان، زمانی که به تهویه طبیعی از طریق وزش باد نیاز است، غالباً از سمت شمال شرقی به سمت جنوب غربی است. همچنین مطابق دمای هوا در ماه‌های مختلف، در این شهر در ماه‌های می و بخشی از ژوئن و آگوست و در ماه سپتامبر، امکان بهره‌گیری از تهویه طبیعی میسر است. در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس و آوریل و نیز اکتبر، نوامبر و دسامبر دمای هوا برای تهویه طبیعی پایین و در ماه‌های جولای و بخشی از ماه‌های ژوئن و آگوست، دمای هوا بیشتر از میزان مناسب برای تهویه طبیعی است. البته زمان دقیق نیاز به تهویه طبیعی باید بر اساس اطلاعات ساعتی دمای هوا، سرعت و جهت وزش باد، در ساعات مختلف تعیین گردد.

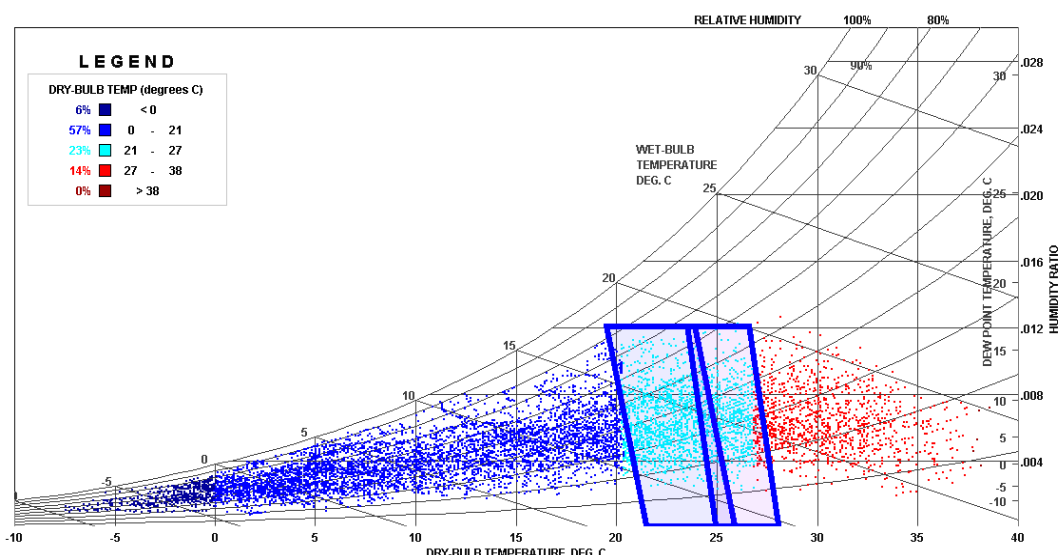


نمودار ۵-۴ گلباد ماهانه (منبع: کلایمیت کنسالتنت براساس داده‌های آب‌وهوایی شاهرود)

۴-۲-۱-۴ نمودار سایکرومتریک

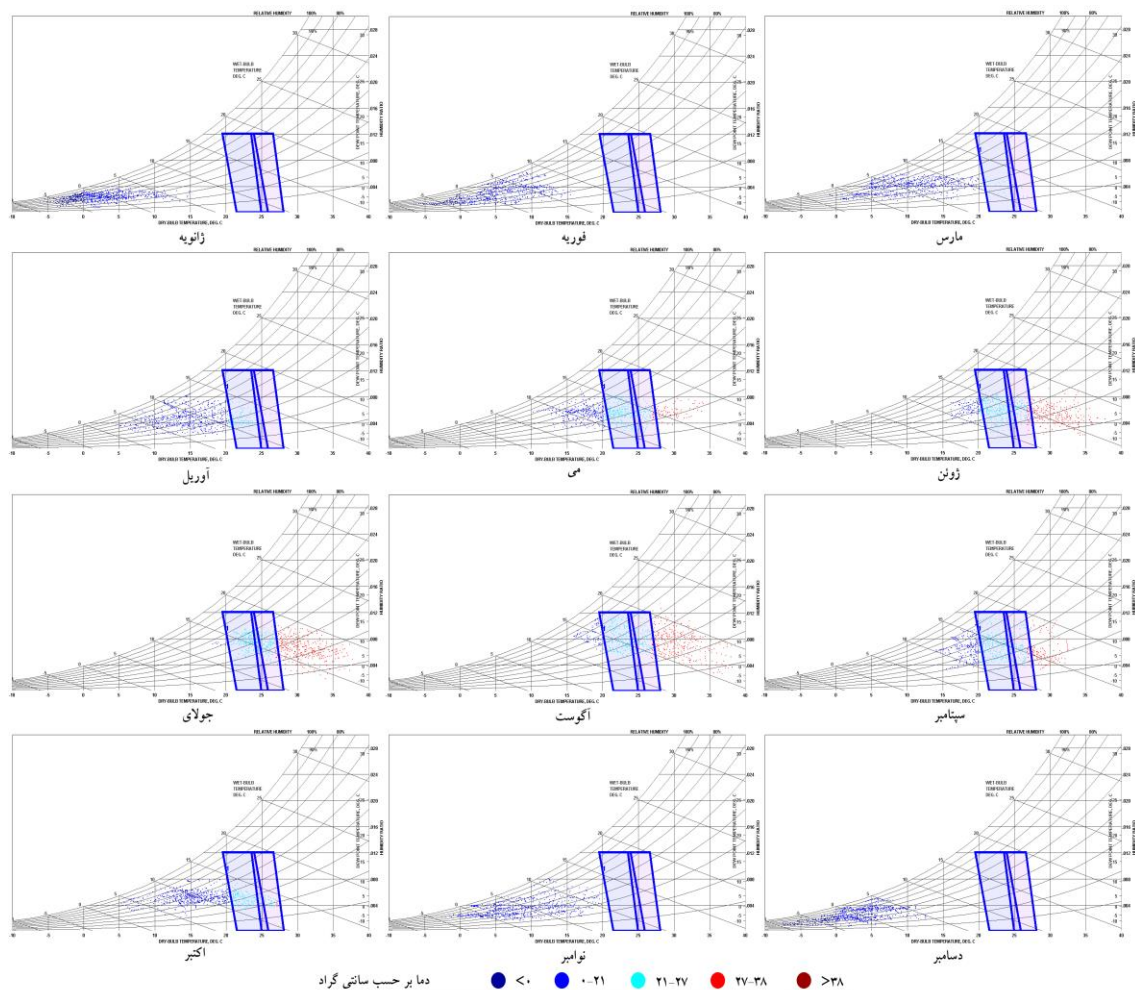
تحلیل نمودار سایکرومتریک هنگامی که مقصود طراحی بهره‌گیری از راهکارهای غیرفعال جهت تامین بخشی از آسایش حرارتی با توجه به قابلیت‌های یک اقلیم، مطلوب‌ترین شیوه برای شناخت راهکارهای غیرفعال تامین آسایش حرارتی و زمان کارایی بهینه هر یک است.

نمودار ۴-۶ نمودار سایکرومتریک شهر شاهرود را بر پایه دمای خشک هوا نشان می‌دهد. مطابق این نمودار، جهت دستیابی به شرایط آسایش حرارتی در این اقلیم، هم به سرمایش و هم به گرمایش نیاز است. بدین ترتیب که، در حدود ۲۳ درصد از زمان سال، دمای این شهر در محدوده آسایش حرارتی قرار دارد. همچنین در ۶۳ درصد از ایام سال دمای این شهر در مرز پایینی محدوده آسایش حرارتی است و نیاز به گرمایش دارد، و علاوه بر این در ۱۴ درصد ایام سال، دما بالاتر از محدوده آسایش حرارتی است، بنابراین در این بازه نیز جهت تامین شرایط آسایش، به سرمایش نیاز است. همچنین این نمودار نشان می‌دهد که رطوبت نسبی در این شهر، به ویژه در دوره گرم سال، پایین است.



نمودار ۴-۶ سالانه سایکرومتریک (منبع: کلاسمیت کنسالتنت براساس داده‌های آب‌وهوایی شاهرود)

همچنین مطابق نمودار ۴-۷ ماهانه سایکرومتریک شهر شاهرود به تفصیل در ماه‌های می و سپتامبر دما تقریباً در محدوده آسایش است و با استراتژی‌های غیرفعال نظیر بهره‌گیری از سایه‌بان و تهویه طبیعی می‌توان به کیفیت حرارتی محیط کمک کرد. در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، دسامبر و نوامبر در تمام ساعت‌های روز و بخش‌هایی از ماه‌های اکتبر و آوریل خارج از محدوده آسایش حرارتی است و به کمک سامانه‌های گرمایشی، استفاده از جذب مستقیم انرژی خورشید به شکل غیرفعال و دریافت حرارت از منابع داخلی محیط را به محدوده آسایش حرارتی رساند. علاوه بر این در ماه‌های ژوئن، جولای و آگوست در بازه زمانی که دما بیشتر از محدوده آسایش است، به کمک سامانه‌های سرمایشی تبخیری، تهویه و سایه‌بان محیط را در محدوده آسایش قرار داد.



نمودار ۴-۷ ماهانه سایکرومتریک (منبع: کلاسیکیت کنسالتنت براساس داده‌های آب‌وهوایی شاهرود)

در جدول ۴-۱ تعداد ساعات و درصد زمانی سالانه هر یک از راهکارهای غیرفعال و فعال که امکان تامین شرایط آسایش حرارتی در این اقلیم را دارند، آورده شده است. نیاز به انرژی سرمایشی و گرمایشی یک ساختمان، علاوه بر اقلیم سایت، به ساختار معماری و مصالح پوسته حرارتی آن وابسته است. اما اگر تنها شرایط اقلیمی معیار سنجش باشد، در این شهر در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، اکتبر، نوامبر و دسامبر بایستی از گرمایش و در ماه‌های ژوئن، جولای و اگوست از سرمایش بهره‌گرفت. همچنین در ماه‌های می و سپتامبر، بر حسب زمان و شرایط، هم به سرمایش و هم به گرمایش نیاز هست. براساس جدول ۴-۱ مطلوب‌ترین راهکارهای سرمایش و گرمایش غیرفعال برای اقلیم شهر شاهرود، و مدت زمان اثرگذاری هر یک از این راهکارها آورده شده است. مدت زمان مذکور برای این راهکارها، با توجه به اقلیم تعیین گردیده و مشخصات ساختمان، شامل معماری و مصالح آن، نقشی در تعیین این اعداد نداشته است.

جدول ۴-۱ راهکارها و میزان اثرگذاری هر کدام در راستای تامین شرایط آسایش حرارتی

شماره	راهبرد	درصد	زمان در سال (ساعت)
۱	آسایش حرارتی	۲۳,۲	۲۰۳۵
۲	سایه‌اندازی بر روی پنجره‌ها	۱۲,۳	۱۰۷۹
۳	جرم حرارتی بالا	۸,۷	۷۶۱
۴	جرم حرارتی بالا و تهویه شبانه	۱۰,۵	۹۲۰
۵	سرمایش تبخیری مستقیم	۱۳,۱	۱۱۴۴
۶	سرمایش تبخیری دو مرحله‌ای	۱۳,۲	۱۱۵۶
۷	سرمایش با تهویه طبیعی	۵,۷	۴۹۵
۸	سرمایش با تهویه مکانیکی	۳,۴	۲۹۹
۹	دریافت حرارت از منابع داخلی	۲۳,۳	۲۰۴۴
۱۰	جذب مستقیم غیرفعال خورشیدی (با جرم حرارتی کم)	۱۴,۴	۱۲۶۱
۱۱	جذب مستقیم غیرفعال خورشیدی (با جرم حرارتی زیاد)	۲۰,۵	۱۷۹۶
۱۲	محافظت در مقابل باد	۰,۱	۵
۱۳	رطوبت زنی	۰	۰
۱۴	رطوبت گیری	۰	۰
۱۵	سرمایش فعال و در صورت نیاز رطوبت زنی	۰	۰
۱۶	گرمایش فعال و در صورت نیاز رطوبت زنی	۲۳,۵	۲۰۵۷

(منبع: کلاسمیت کنسالتنت براساس داده‌های آب‌وهوایی شاهرود)

۴-۲-۱-۴-۱ گرمایش

۱. دریافت تابش مستقیم خورشید رویکرد اساسی در جهت تامین گرمایش غیرفعال ساختمان‌ها در ماه‌های سرد است. متناسب با اقلیم این شهر در حدود ۲۰ درصد از سال، می‌توان از دریافت تابش خورشید برای گرمایش ساختمان بهره برد.
۲. در کنار این موضوع جهت تامین شرایط آسایش حرارتی، در ۲۳ درصد از ایام سال می‌توان از جذب حرارت از منابع داخلی ساختمان استفاده نمود.

۴-۲-۱-۴-۲ سرمایش

۱. براساس نمودار سایکرومتریک شهر شاهرود، در ۱۲,۳ درصد از سال می‌توان از سایبان برای سایه‌اندازی بر روی پنجره‌ها بهره‌مند گشت. تا هم از ورود مستقیم اشعه خورشید به داخل ساختمان ممانعت و هم مانع افزایش دمای محیط داخلی ساختمان گردد.
۲. در حدود ۵,۶ درصد از سال تهویه طبیعی می‌تواند شرایط آسایش حرارتی را در داخل تامین نماید.
۳. به دلیل پایین بودن رطوبت نسبی، سرمایش غیرفعال و فعال تبخیری در این اقلیم بسیار کارا بوده و می‌توان از آن برای خنک‌سازی فضای داخلی ساختمان در تابستان استفاده نمود. روش‌های سرمایش تبخیری، به عنوان یکی از موثرترین راهکارهای سرمایش در این اقلیم، می‌تواند در حدود ۱۳,۳ درصد

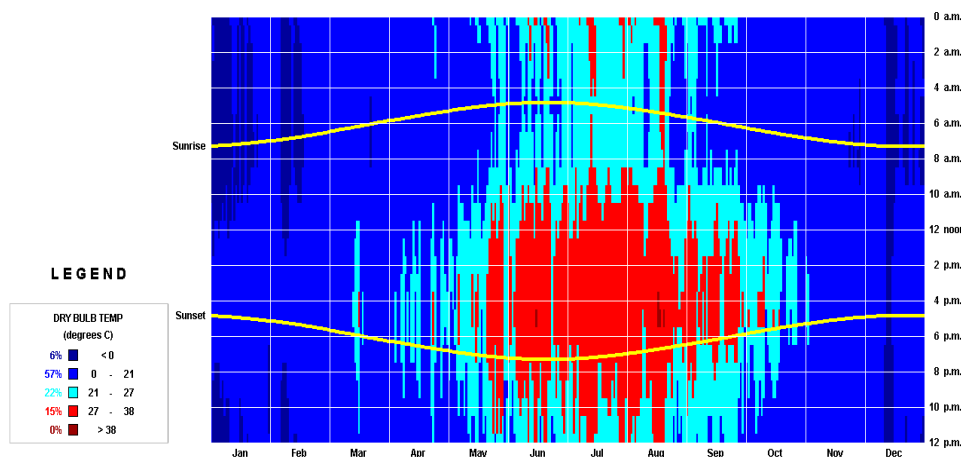
از ایام سال استفاده گردد. این میزان تقریباً تمام مدت زمان نیاز به سرمایش در اقلیم این شهر است. بنابراین تمام نیاز سرمایشی در این شهر می‌تواند توسط سرمایش تبخیری تامین گردد.

۴. براساس نمودار سایکرومتریک، ظرفیت مصالح بکار رفته در ساختمان در جذب و ذخیره حرارت به کمک جرم حرارتی ساختمان تاثیر چشم‌گیری در خنک‌سازی ساختمان دارد. در این شهر در ۸,۷ درصد از ایام سال می‌توان از جرم حرارتی، برای جذب گرما در فضای داخلی ساختمان و پایین نگه داشتن دما بهره گرفت.

۴-۲-۱-۵ نمودار جدول زمانی دما

نمودار ۴-۸ دمای خشک هوا در ماه‌های سال، بازه زمانی روز، و زمان طلوع و غروب خورشید را برای شهر شاهرود نشان می‌دهد. مطابق این نمودار، دمای هوا در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، نوامبر و دسامبر پایین‌تر از محدوده آسایش حرارتی است. بنابراین در این ماه‌ها باید میزان اتلاف انرژی را به حداقل ممکن کاهش داد و دریافت انرژی از منابع داخلی نظیر افراد، تجهیزات و غیره و دریافت تابش خورشید را به حداکثر میزان ممکن رساند. همچنین مطابق این نمودار دمای هوا در ماه‌های ژوئن، آگوست و جولای در حوالی ظهر بین ۲۷ تا ۳۸ درجه سانتیگراد است. در نتیجه این بازه زمانی، به سرمایش نیاز است تا دمای هوا را به محدوده آسایش حرارتی رساند. پس در این زمان می‌بایست دریافت گرما از منابع داخلی ساختمان را کاهش و از ورود گرما به داخل ساختمان ممانعت به عمل آوریم.

مطابق نمودار ۴-۸ جدول زمانی دما، به صورت کلی دمای هوا در نیمه اول روز کمتر از نیمه دوم روز است. بنابراین نیاز به دریافت انرژی تابشی خورشید در زمستان، در قبل از ظهر بیشتر از بعد از ظهر است. بر این مبنا، جهت ساختمان می‌تواند از جنوب، چرخشی چند درجه‌ای به سمت شرق داشته‌باشد، هرچند جهت بهینه هر ساختمان به عوامل بسیاری بستگی دارد و بایستی مطابق با هر اقلیم و کاربری‌های مختلف، جهت به حداقل رساندن انرژی کل و یا انرژی اولیه مورد نیاز برای گرمایش و سرمایش تعیین گردد.

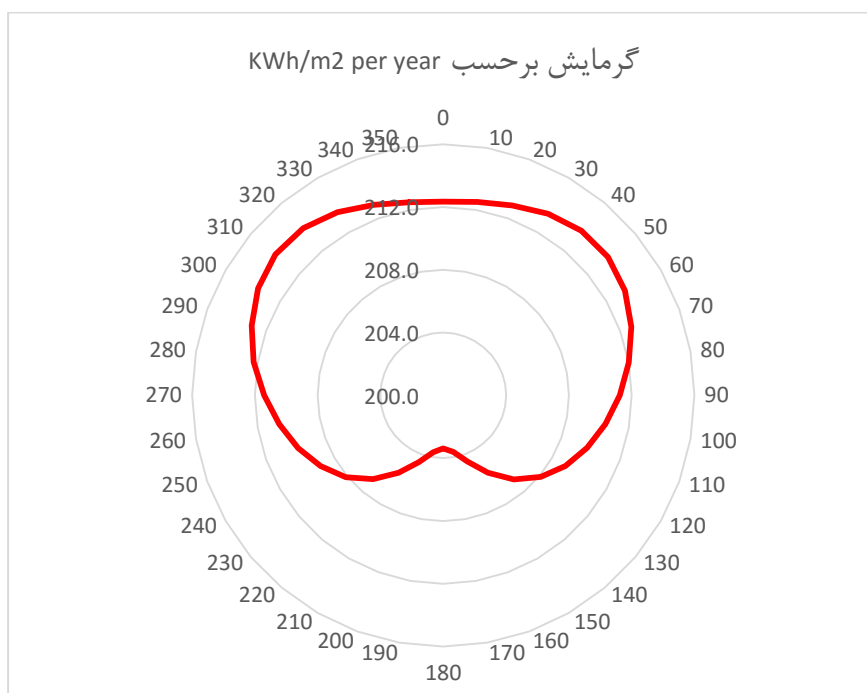


نمودار ۴-۸ دمای خشک هوا (منبع: کلاسیکیت کنسالتنت براساس داده‌های آب‌وهوایی شاهرود)

۳-۴ طراحی ساختمان انرژی صفر

۱-۳-۴ جهت گیری

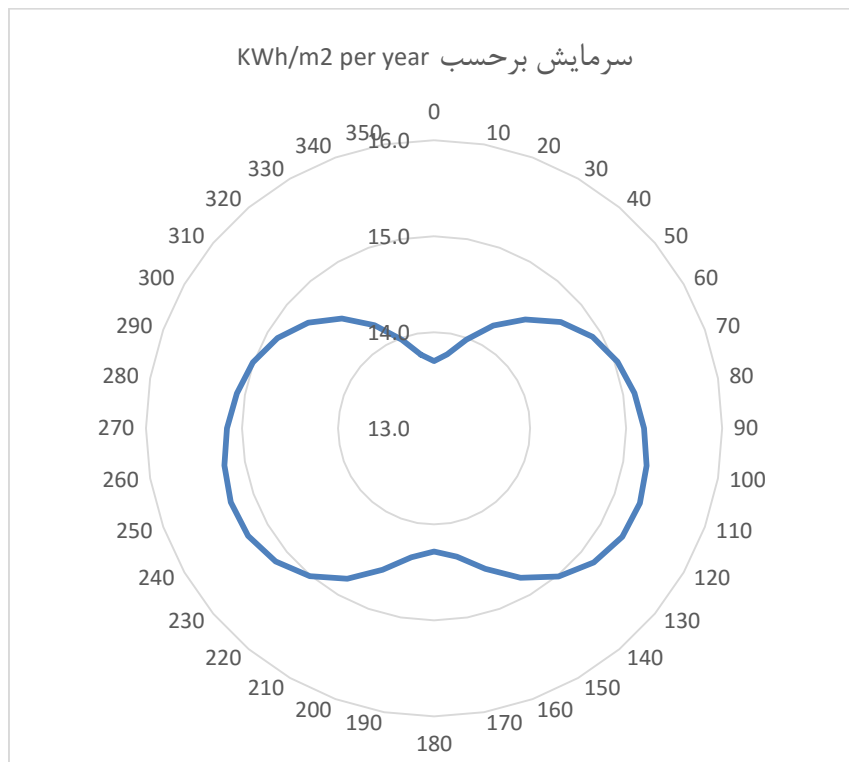
جهت گیری تاثیر چشم گیری بر میزان تقاضای انرژی ساختمان دارد. به منظور بررسی تاثیر این عامل بر مصرف انرژی گرمایش، سرمایش و روشنایی، ساختمان اداری در جهات مختلف براساس شرایط اقلیمی شهر شاهرود شبیه سازی شده است. مشخصات پوسته این ساختمان، نسبت کشیدگی و درصد بازشوها از پیش معین گردیده است. به منظور محاسبه میزان مصرف انرژی سالیانه ساختمان در گام های ۱۰ درجه ای انجام گرفته است. همچنین در این فرآیند منظور از جهت گیری نمایی است که بالاترین نسبت مساحت پنجره را داراست، یعنی ساختمانی که بالاترین درصد پنجره را در جهت روبروی جنوب دارد، ساختمان با جهت گیری جنوبی اطلاق گردیده است. مطابق نمودار ۴-۱۱ پایین ترین میزان مصرف انرژی گرمایشی هنگامی است که ساختمان جهت گیری جنوبی یا ۱۸۰ درجه دارد. و در مرتبه بعدی زوایای ۱۷۰ و ۱۶۰ درجه با انحراف ۱۰ درجه ای نسبت به جهت شرق و غرب دارای کمترین میزان تقاضای انرژی گرمایشی است. و بالاترین میزان مصرف انرژی گرمایشی نیز جهت گیری نمای اصلی نسبت به شمال غربی و شمال شرقی است.



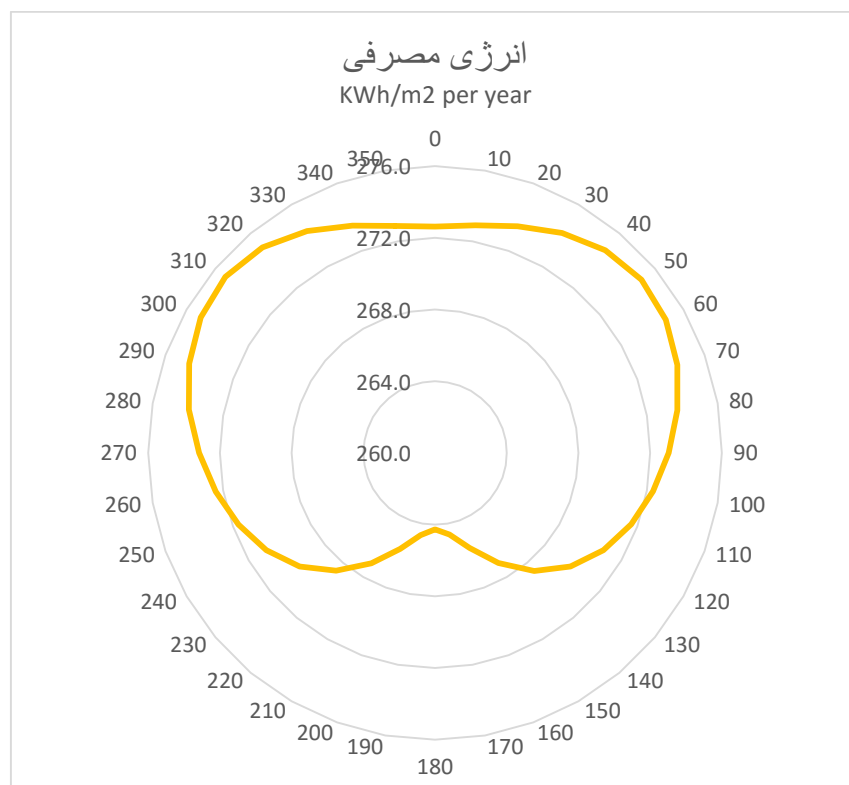
نمودار ۴-۱۱ تاثیر جهت گیری بر میزان مصرف انرژی گرمایشی (منبع: دیزاین بیلدر)

همچنین براساس نمودار ۴-۱۲ کمترین میزان مصرف انرژی سرمایشی در زمانی است که راستای نمای اصلی در جهت ۰ درجه یا شمالی قرار دارد. و بیشترین میزان مصرف انرژی سرمایشی در زمانی است

که نمای اصلی در زوایای ۱۱۰ و ۲۵۰ درجه قرار دارد که تقریباً در جهت جنوب شرقی و جنوب غربی است.



نمودار ۴-۱۲ تاثیر جهت گیری بر میزان مصرف انرژی سرمایشی (منبع: دیزاین بیلدر)



نمودار ۴-۱۳ تاثیر جهت گیری بر میزان مصرف انرژی کل (منبع: دیزاین بیلدر)

از آن جا که مصرف انرژی گرمایشی در این اقلیم از مصرف انرژی سرمایشی و روشنایی بیشتر است، مصرف انرژی نهایی کل بیشتر تحت تاثیر مصرف انرژی گرمایشی است. بنابراین براساس نمودار ۴-۱۳ ساختمان‌های اداری با جهت‌گیری جنوبی پایین‌ترین مصرف انرژی کل را دارند. همچنین مصرف انرژی کل، زمانی که ساختمان به سمت شرق و یا غرب می‌چرخد؛ افزایش می‌یابد. با توجه به این نتایج، تنها جهت‌گیری بهینه ساختمان‌های اداری در شرایط اقلیمی شهر شاهرود، می‌تواند در حدود ۶ درصد مصرف انرژی کل را در مقایسه با جهت‌گیری نامطلوب کاهش دهد.

۴-۳-۲ نسبت کشیدگی ساختمان

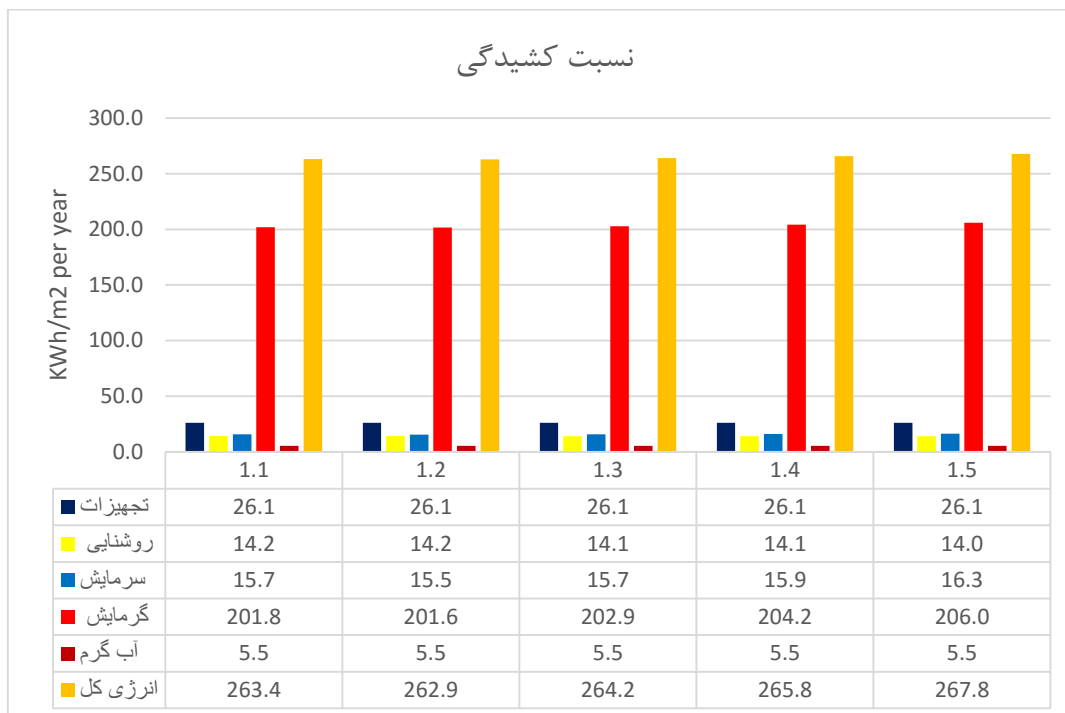
برای شناسایی میزان مصارف سرمایشی و گرمایشی ساختمان، پوسته حرارتی تاثیر چشمگیری در تعادل میان اتلاف و دریافت انرژی دارد. بدین ترتیب تغییرات در سطح پوسته ساختمان و یا تغییر در ابعاد اجزای پوسته متناسب با جهت جغرافیایی آن، میزان دریافت و اتلاف انرژی از جانب پوسته را تغییر داده و در نهایت مصرف انرژی سرمایشی و گرمایشی ساختمان را تغییر می‌دهد. کشیدگی ساختمان علاوه بر تغییر نسبت سطح به حجم ساختمان و کاهش اتلاف انرژی، مساحت جهات مختلف ساختمان را تغییر داده از این روی میزان انرژی تابشی دریافتی از طریق اجزای پوسته حرارتی و میزان نفوذ نور روز در فضاهای داخلی را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

برای بررسی تاثیر کشیدگی بر مصرف انرژی، این اثر به صورت نسبت عددی تعریف شده است. عدد بیان کننده شاخص معماری در این مطالعه، نسبت طول به عرض در راستای جبهه جنوبی ساختمان با پلانی مستطیل شکل است که بیان کننده نسبت مساحت جبهه شرقی ساختمان به مساحت جبهه جنوبی ساختمان است. شاخص کشیدگی در این بخش متناسب با مساحت و مطلوبیت پلان در محدوده سایت از نسبت ۱ تا ۵ در نظر گرفته شده است.

براساس نمودار ۴-۱۴ کمترین میزان مصرف انرژی گرمایشی در نسبت یک به دو است، که به جهت افزایش مساحت پوسته حرارتی و افزایش سطح پنجره‌های جبهه جنوبی همراه با دریافت انرژی تابشی خورشید در دوره گرمایش و که کاهش تقاضای انرژی گرمایشی گردیده است. همچنین افزایش کشیدگی جبهه جنوبی از نسبت یک به سه مجدد باعث افزایش نیاز به انرژی گرمایشی می‌گردد، که علت آن اتلاف انرژی به جهت گسترش مساحت پوسته، بویژه از طریق پنجره‌هاست، که بیش از انرژی تابشی مفیدی است که در زمان نیاز به انرژی گرمایشی وارد ساختمان شده و منجر به افزایش تقاضای انرژی گرمایشی ساختمان می‌گردد.

در بحث تقاضای انرژی سرمایشی با افزایش کشیدگی ساختمان در محور شرقی غربی در نسبت یک به دو مطلوب‌ترین حالت نسبت به دیگر حالت‌ها است. همچنین با افزایش کشیدگی ساختمان از نسبت یک به سه انرژی سرمایشی ساختمان افزایش می‌یابد. از این رو برای دستیابی به پایین‌ترین میزان انرژی سرمایشی، نسبت جبهه شرقی به جنوبی ساختمان بایستی یک به دو باشد. دلیل بالا رفتن تقاضا برای انرژی سرمایشی ساختمان پس از افزایش نسبت سطح جهت جنوبی به شرقی، عوامل

زیادی از جمله افزایش دریافت انرژی تابشی جذب شده از سوی پنجره‌ها و همچنین افزایش اتلاف حرارت از طریق پوسته، به جهت افزایش مساحت پوسته و نسبت سطح به حجم بناست.



نمودار ۴-۱۴ تاثیر کشیدگی بر میزان مصرف انرژی کل (منبع: دیزاین بیلدر)

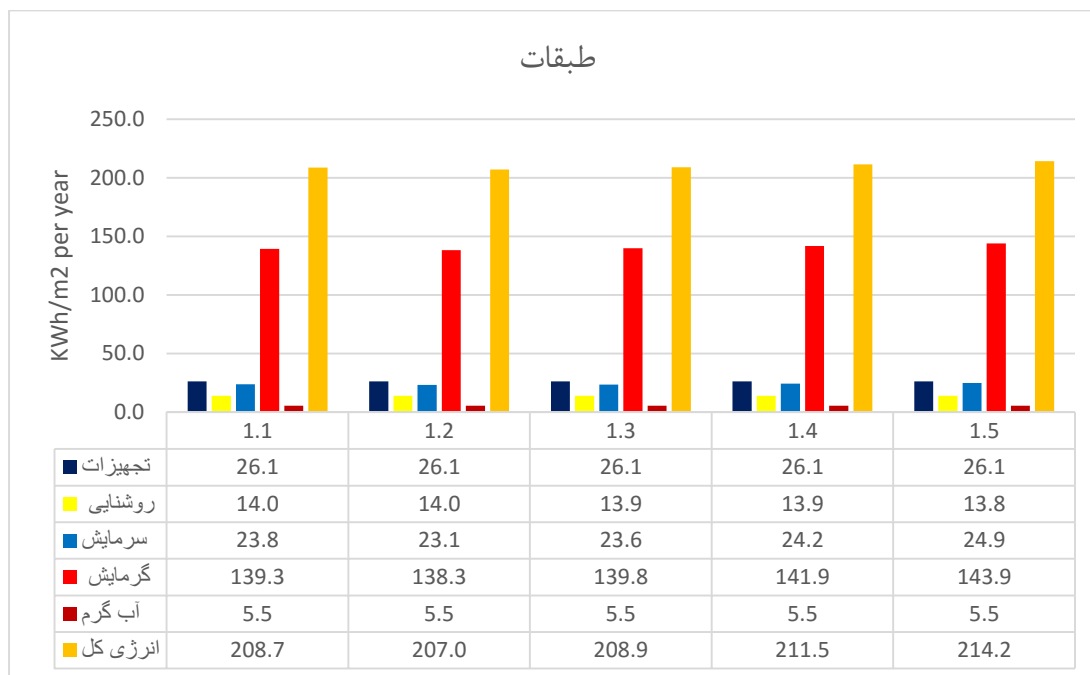
در بحث روشنایی نیز هرچه کشیدگی ساختمان در جبهه‌های جنوبی افزایش یابد، عمق کاهش یافته و محیط داخلی ساختمان می‌تواند انرژی روشنایی بیشتری دریافت کند. بنابراین افزایش کشیدگی ساختمان، باعث کاهش نیاز به انرژی روشنایی ساختمان می‌گردد. بنابراین پلان مربع شکل، حداکثر مصرف انرژی روشنایی و افزایش کشیدگی ساختمان، منجر به کاهش تقاضای انرژی روشنایی می‌گردد. علاوه بر این، مصرف انرژی نهایی ساختمان نیز رفتاری شبیه به انرژی سرمایشی و گرمایشی دارد. بر اساس نتایج در نسبت یک به دو مقادیر انرژی نهایی مصرفی به حداقل میزان خود رسیده و پس از آن با شیب ملایم مقادیر آن افزایش می‌یابد.

۴-۳-۳ طبقات

تاثیر طبقات در پاکت حجمی ساختمان نیز از مولفه‌های تاثیرگذار بر مصرف انرژی است. تعداد طبقات، نسبت کلی سطح به حجم ساختمان و در ادامه آن میزان اتلاف انرژی از طریق پوسته و میزان مصرف انرژی سرمایشی و گرمایشی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. این پارامتر همچنین، نسبت مساحت بام به مساحت زیربنای ساختمان را تحت تاثیر قرار می‌دهد که عاملی مهم در میزان اتلاف و دریافت انرژی ساختمان است. این مولفه ساختمانی به جهت دریافت تابش بالا در تابستان باعث افزایش دریافت انرژی حرارتی طبقه نهایی ساختمان شده، و تقاضای مصرف انرژی سرمایشی را افزایش می‌دهد.

همچنین سقف می‌تواند با اتلاف انرژی باعث کاهش تقاضای مصرف انرژی سرمایشی نیز گردد. مساله کاهش یا افزایش مصرف انرژی سرمایشی با افزایش سطح پوسته سقف به عواملی نظیر اقلیم، نوع کاربری ساختمان و ساعات اشغال ساختمان بستگی دارد. سقف همچنین می‌تواند به سبب اتلاف انرژی در زمستان باعث افزایش مصرف انرژی گرمایشی ساختمان گردد. از این رو جهت بررسی تاثیر این عنصر، متناسب با مساحت و مطلوبیت پلان در سایت، یک ساختمان با نسبت‌های کشیدگی متفاوت در دو طبقه با مشخصات مشابه مورد ارزیابی قرار گرفته‌است.

مطابق با نمودار ۴-۱۵ افزایش طبقات یک ساختمان، همراه با کاهش نسبت سطح عنصر سقف به حجم ساختمان است و بدین صورت میزان اتلاف انرژی در دوره گرمایش را کاهش می‌دهد. این عامل با تغییرات در پوسته منجر به افزایش سطوح نورگذر در جبهه‌های مختلف، دریافت تابش بیشتر و کاهش تقاضای انرژی گرمایشی می‌گردد. از دیگر تاثیرات این عامل افزایش مصرف انرژی سرمایشی و کاهش نسبی انرژی روشنایی به جهت تغییرات در نسبت کشیدگی و عمق پلان است. به طور کلی افزایش تعداد طبقات ساختمان به دو طبقه منجر به کاهش انرژی روشنایی، گرمایشی و انرژی کل می‌گردد. بنابراین متناسب با طرح موجود برای ساختمان‌های اداری در شهر شاهرود، تعداد دو طبقه با نسبت یک به دو برای داشتن کمترین نیاز انرژی نهایی، حالت مطلوبی است.

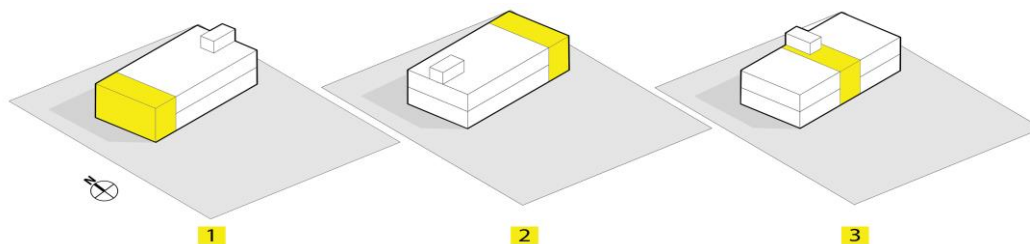


نمودار ۴-۱۵ تاثیر طبقات بر میزان مصرف انرژی کل (منبع: دیزاین بیلدر)

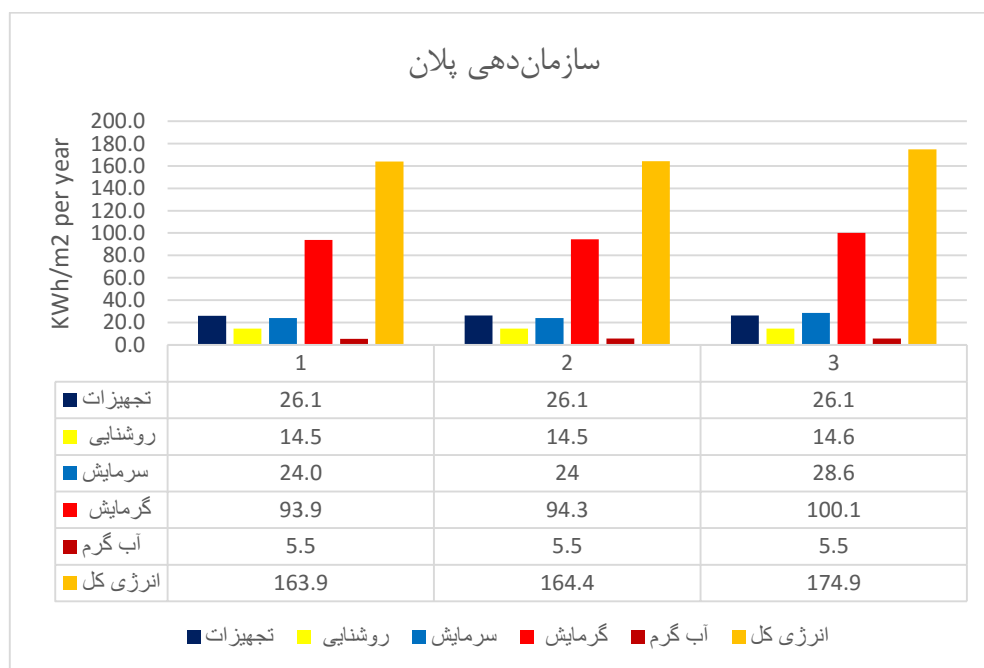
۴-۳-۴ سازمان‌دهی پلان

دیگر مولفه موثر معماری بر مصرف انرژی ساختمان، سازمان‌دهی فضایی پلان است. براساس این رویکرد، نوع و میزان فعالیت‌ها، زمان و برنامه‌دهی اشغال فضا، منطقه‌بندی و سازمان‌دهی دقیق فضاها با درجه

حرارتی مشابه، وابستگی به سیستم‌های کنترل گرمایش و سرمایش، ضرورت بهره‌گیری از نور و تابش خورشید از جبهه‌های مطلوب و یا اجتناب از آن در دیگر جبهه‌ها و بهره‌گیری از رویکردهای غیرفعال در قرارگیری موقعیت فضاها موثر است. از سوی دیگر فشردگی حداکثری پلان و قرارگیری فضاها همخوان در کنار یکدیگر علاوه بر کاهش تقاضای انرژی، همراه با کاهش احتمال پلهای حرارتی، نشتی هوا و طول لوله‌های تاسیساتی می‌گردد. بر این اساس پلان در ۳ وضعیت مطابق تصویر ۴-۱۶ مورد بررسی قرار گرفته‌است، که مطابق با نتایج و نمودار ۴-۱۷ به جهت بهره‌گیری از ظرفیت تابش خورشید در جبهه جنوبی، برنامه‌دهی و کنترل چندلایه فضاها پایین‌ترین میزان مصرف انرژی نهایی مربوط به وضعیت ۱ است.



تصویر ۴-۱۶ سازمان‌دهی فضاها به ترتیب از چپ به راست (منبع: نگارنده)

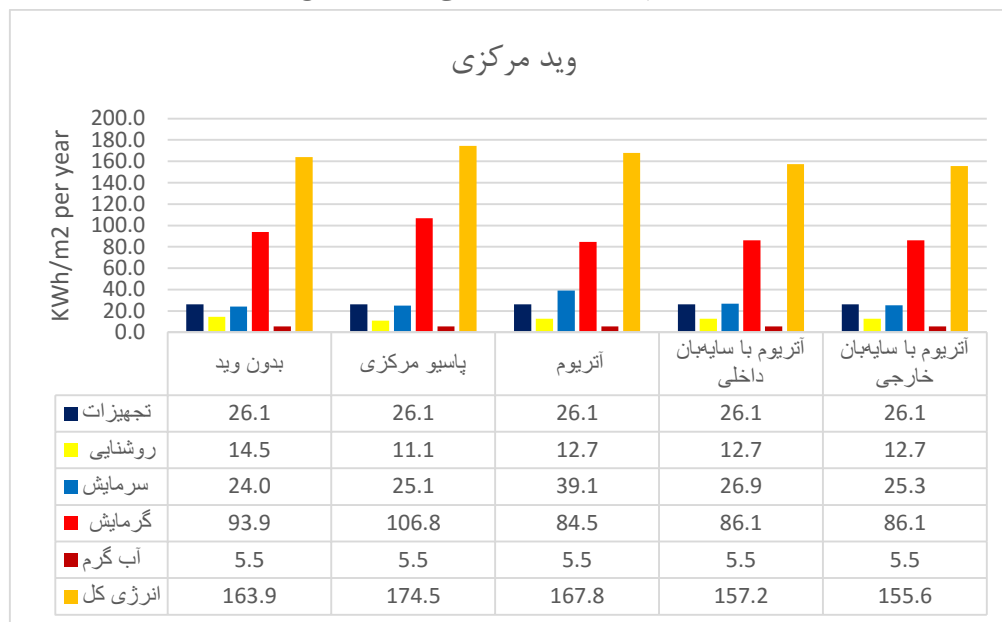


نمودار ۴-۱۷ تاثیر سازمان‌دهی پلان بر میزان مصرف انرژی کل (منبع: دیزاین‌بیلدر)

۴-۳-۵ آتریوم

یکی از راهکارهای مطلوب جهت نفوذ نور به پلان‌های با عمق زیاد، بهره‌گیری از آتریوم و نورگیرهای سقفی است. این رویکرد علاوه بر دریافت نور، با جذب حرارت تابش خورشید منجر به گرمایش محیط و کاهش تقاضای انرژی می‌گردد. براساس نمودار ۴-۱۸ که به بررسی تاثیر آتریوم در پلان پرداخته‌است.

بهره‌گیری از آتریوم همراه با کاهش تقاضای انرژی گرمایشی و روشنایی است. از سوی دیگر به جهت تابش حرارت خورشید، در فصول گرم تقاضای انرژی سرمایشی افزایش می‌یابد. از این رو ترکیب این سیستم با سایه‌بان‌های خارجی بر مبنای کاهش نفوذ پرتو خورشید پیش از ورود به فضا می‌تواند تاثیر چشم‌گیری در کاهش تقاضای انرژی سرمایشی داشته‌باشد. همچنین در بررسی تاثیر پاسیو در مرکز پلان در قیاس با آتریوم، به جهت افزایش پوسته در فضای مرکزی پلان تقاضای انرژی گرمایشی افزایش یافته‌است. از این رو راهکار ترکیب آتریوم با سایه‌بان خارجی در این طرح مورد استفاده قرار گرفته‌است.



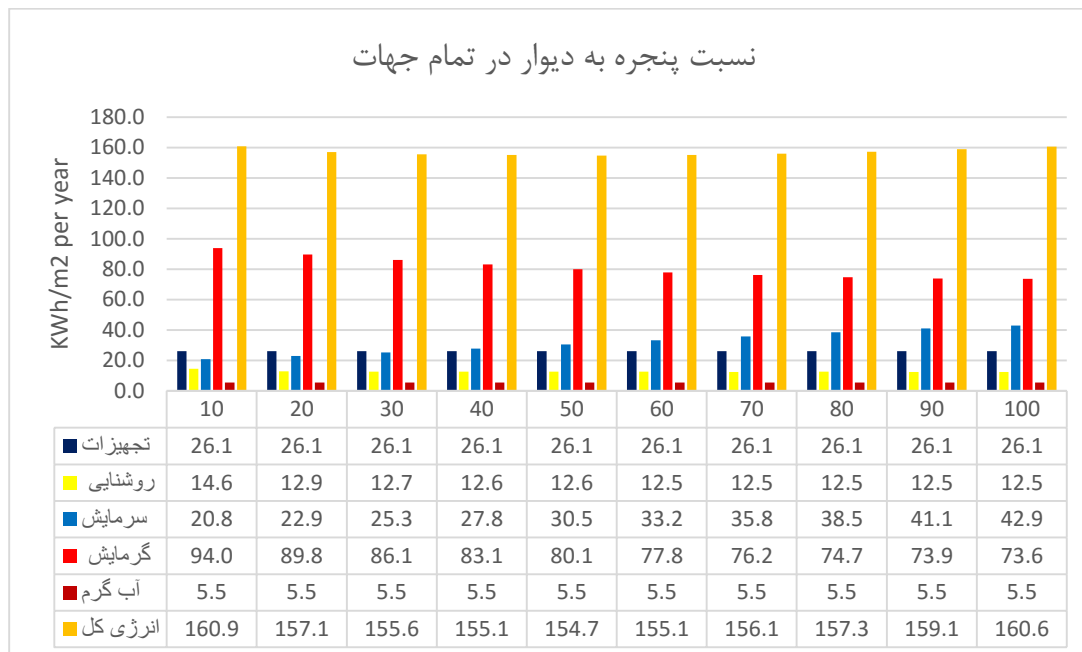
نمودار ۴-۱۸ تاثیر آتریوم بر میزان مصرف انرژی کل (منبع: دیزاین بیلدر)

۴-۳-۶ مساحت پنجره

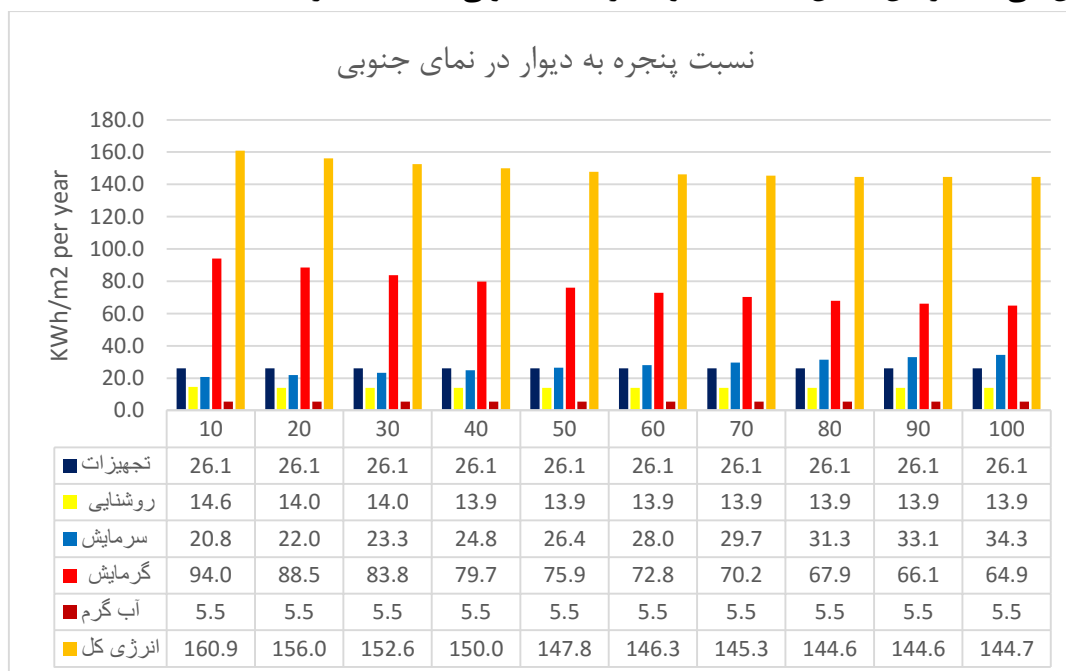
پنجره به نسبت دیگر اجزای پوسته ساختمان، نظیر دیوارهای خارجی، مقاومت حرارتی بسیار پایین‌تری دارند همچنین به دلیل شفافیت، دریافت انرژی تابشی و روشنایی روز را میسر می‌کند، از این جهت عنصری کلیدی در طراحی به شمار می‌روند. دریافت انرژی تابشی خورشید به وسیله پنجره‌ها در زمان سرمایش به جهت دریافت گرمای اضافی فضا منجر به افزایش انرژی سرمایشی و در زمان گرمایش منجر به تامین قسمتی از انرژی حرارتی مورد نیاز و به تبع آن کاهش انرژی گرمایشی می‌گردد. علاوه بر این شفافیت پنجره‌ها موجب تامین بخشی از نور مورد نیاز فضا می‌گردد. بهره‌گیری از نور روز علاوه بر کاهش تقاضای نور مصنوعی، کیفیت مطلوب‌تری را نیز در فضا ایجاد می‌کند.

از این جهت مساحت پنجره‌ها و جهت قرارگیری آن تاثیر قابل توجهی بر مصرف انرژی ساختمان دارد. خواص پنجره‌ها از جمله ضریب عبور نور، ضریب عبور تابش خورشید، ضریب انتقال حرارتی شیشه و قاب پنجره، همچنین نوع و عناصر سایه‌انداز آن، مواردی است که در تعیین تاثیر این عنصر بر مصرف انرژی ساختمان موثر است. برای شناسایی نسبت بهینه مساحت پنجره به دیوار، به عنوان رویکردی در راستای صرفه‌جویی انرژی، شبیه‌سازی‌های متعدد با نسبت‌های متفاوت سطح پنجره به دیوار در جهات مختلف انجام گرفته‌است. مطابق نمودار ۴-۱۹ در سنجش تاثیر نسبت پنجره به دیوار

در تمام جهات، ۵۰ درصد مطلوب‌ترین بازدهی را دارد. نکته قابل ذکر این است که با افزایش درصد بازشو در تمامی جهات انرژی گرمایشی کاهش، و از سوی مقابل انرژی سرمایشی رو به افزایش است.

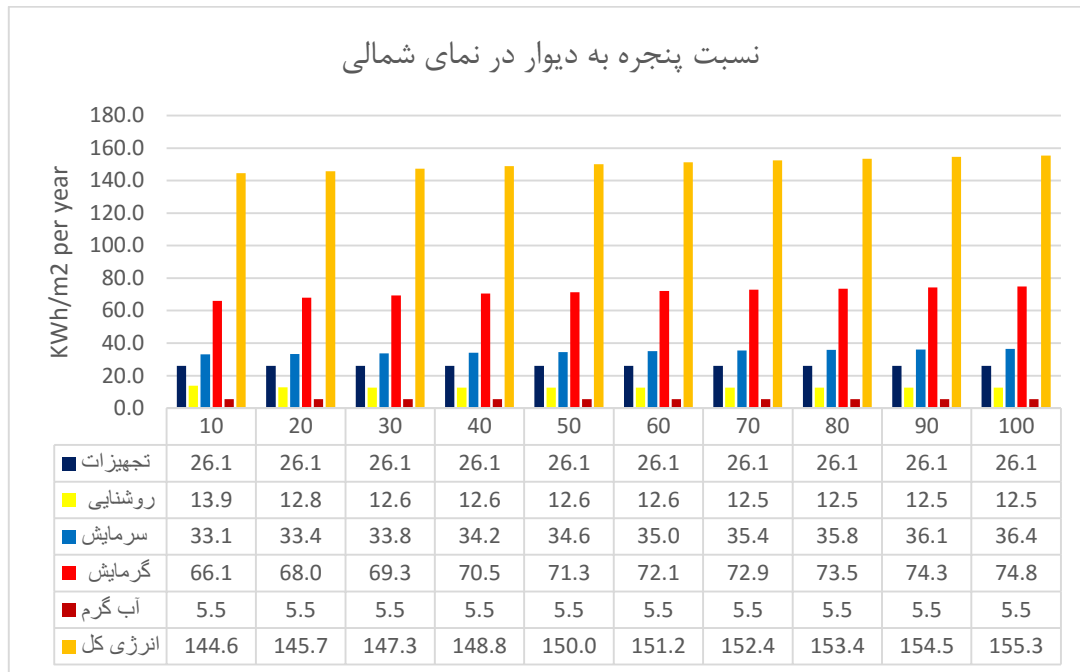


نمودار ۴-۱۹ تاثیر نسبت پنجره به دیوار در تمام جهات بر میزان مصرف انرژی کل (منبع: دیزاین‌بیلدر)
از آن‌جا که میزان دریافت تابش خورشید در بازه زمانی مختلف سال به جهت و نسبت پنجره بستگی دارد، ساختمان بایستی نسبت پنجره به دیوار بهینه در جهات مختلف داشته‌باشد. برای یافتن نسبت سطح بهینه پنجره هر جهت، به نوبت مورد ارزیابی قرار گرفته‌است. مطابق نمودار ۴-۲۰ در جبهه جنوبی با افزایش درصد پنجره به دیوار، میزان انرژی گرمایشی و روشنایی کاهش و میزان انرژی سرمایشی افزایش می‌یابد. بر این اساس نسبت مطلوب در نمای جنوبی ۸۰ تا ۹۰ درصد است.



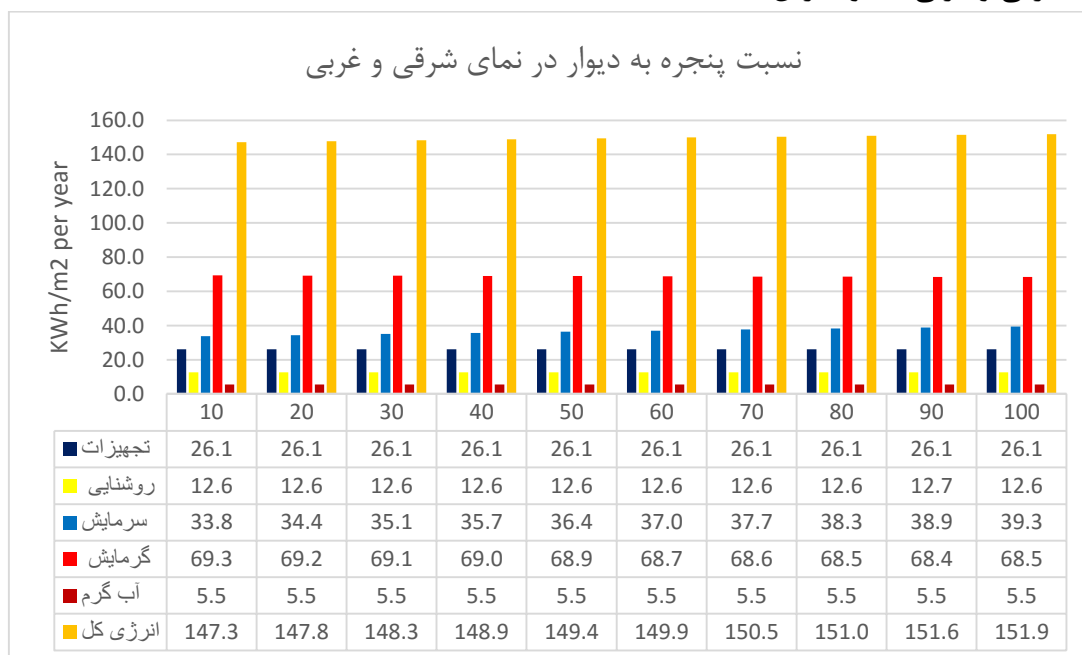
نمودار ۴-۲۰ تاثیر نسبت پنجره به دیوار در نمای جنوب بر میزان مصرف انرژی کل (منبع: دیزاین‌بیلدر)

براساس نمودار ۴-۲۱ در نمای شمالی با افزایش نسبت پنجره به دیوار میزان انرژی سرمایشی و گرمایشی افزایش و میزان انرژی روشنایی کاهش می‌یابد. که با در نظر گرفتن این شرایط کمترین میزان مصرف در نسبت ۱۰ درصد اتفاق می‌افتد.



نمودار ۴-۲۱ تاثیر نسبت پنجره به دیوار در نمای شمالی بر میزان مصرف انرژی کل (منبع: دیزاین بیلدر)

مطابق نمودار ۴-۲۲ در نماهای شرقی و غربی با افزایش نسبت پنجره به دیوار میزان انرژی گرمایشی کاهش و میزان انرژی سرمایشی افزایش می‌یابد. که با در نظر گرفتن این شرایط نسبت ۱۰ درصد در جهت شرقی و غربی مطلوب‌ترین حالت است.



نمودار ۴-۲۲ تاثیر نسبت پنجره به دیوار در نمای شرقی و غربی بر میزان مصرف انرژی کل (منبع: دیزاین بیلدر)

دیزاین بیلدر)

۴-۳-۷ عایق‌بندی پوسته خارجی

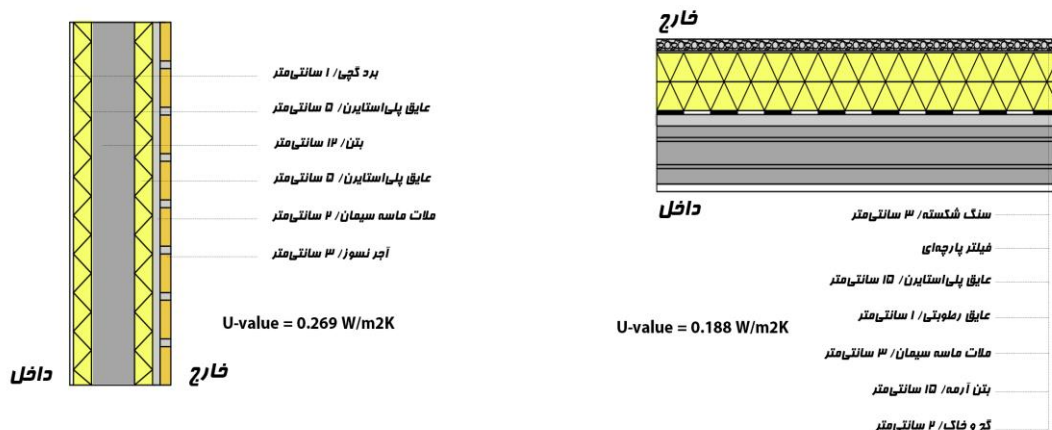
برای به حداقل رساندن انرژی مورد نیاز ساختمان، علاوه بر ویژگی‌های معماری، بهره‌گیری از مصالح با مقاومت حرارتی بالا، کاهش چشم‌گیری در مصرف انرژی و عملکرد حرارتی ساختمان دارد. در این پژوهش بهینه‌سازی انرژی با عایق حرارتی در دیوارهای خارجی و سقف مورد بررسی قرار گرفته‌است. مقدار ضریب انتقال حرارتی بهینه برای تمامی اجزای پوسته حرارتی ساختمان را می‌توان بر مبنای محاسبه انرژی کل، هزینه و یا از جنبه تولید دی‌اکسیدکربن مطابق با استانداردهای ساختمان تعیین نمود. به منظور بررسی تاثیر ضخامت عایق حرارتی بر میزان انرژی گرمایشی، سرمایشی و نیز تعیین میزان بهینه ضریب انتقال حرارتی پوسته، ضرایب با توجه به مبحث نوزدهم ساختمان و شرایط مطلوب میزان انرژی مصرفی، محاسبه شده‌است. ضرایب انتقال حرارتی پیشنهادی در مبحث نوزدهم متناسب با رده مصرف پیشنهاد شده‌است، از این رو برای طراحی پوسته حرارتی کمترین مقادیر ضرایب انتقال حرارتی مبنای طراحی قرار گرفته، تا مصرف انرژی ساختمان تا حد مطلوبی بهینه گردد. همچنین ضرایب هر یک از عناصر پوسته حرارتی ساختمانی متناسب با جدول ۴-۲ تهیه شده‌است.

جدول ۴-۲ ضرایب هدایت حرارتی پیشنهادی برای ساختمان انرژی صفر

ضریب هدایت حرارتی	ساختمان موجود	بیشترین پیشنهاد مبحث ۱۹	کم‌ترین پیشنهاد مبحث ۱۹	ضرایب ساختمان انرژی صفر
دیوار خارجی	۱.۷۵	۰.۹۳	۰.۳۱	۰.۲۶
سقف مجاور فضای خارج	۱.۵۰	۰.۵۱	۰.۲۰	۰.۱۸
کف	۲.۶۳	۰.۵۴	۰.۱۹	۰.۴۸
پنجره	۵.۸۸	۲.۸	۱.۲	۱.۰۵

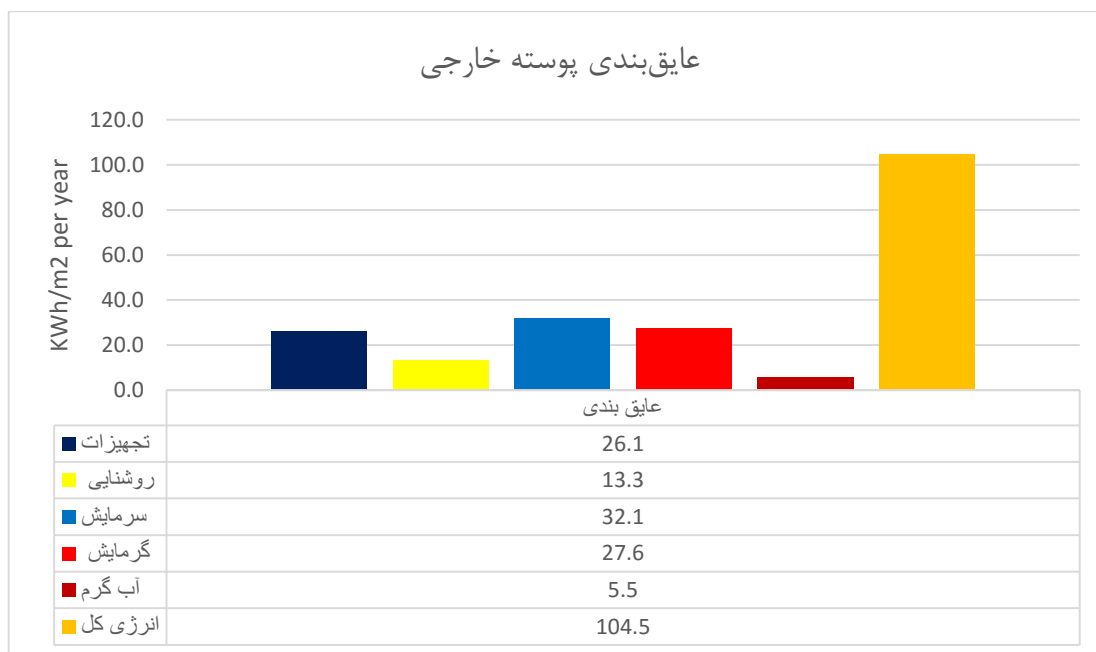
(منبع: نگارنده بر پایه مقررات مبحث ۱۹)

براساس تصویر ۴-۲۳ جزئیات پوسته حرارتی در دیوارهای خارجی و سقف ساختمان متناسب با ضریب هدایت حرارتی تعیین شده مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌است.



تصویر ۴-۲۳ جزئیات اجرایی بام و دیوارهای خارجی (منبع: نگارنده)

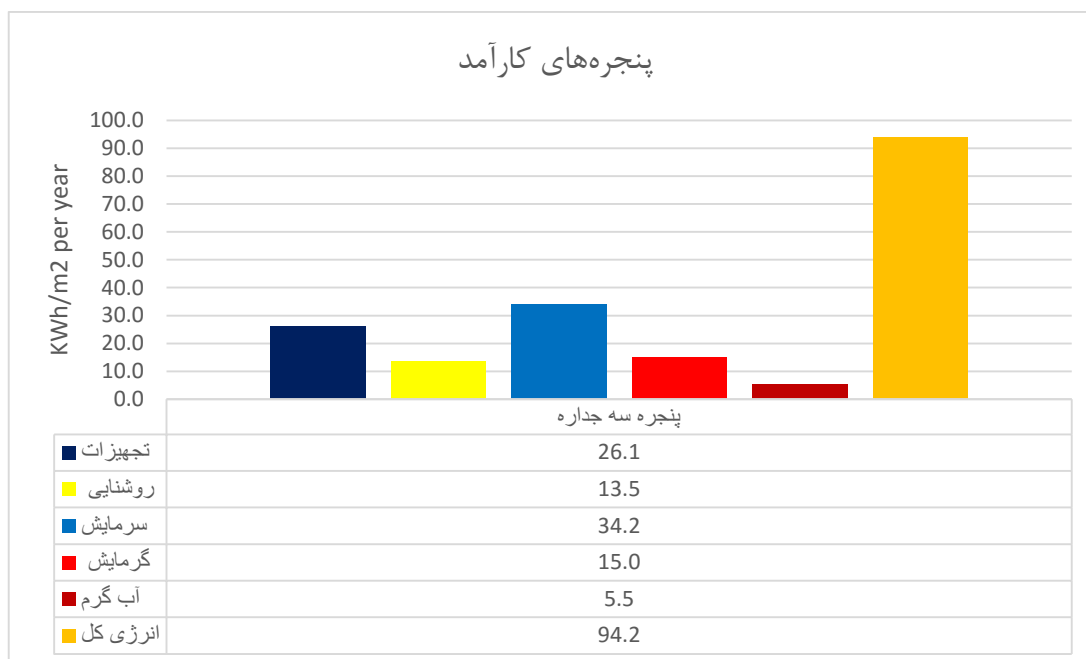
به طور معمول در صورتی که هدایت حرارتی کاهش یا مقاومت حرارتی پوسته ساختمان افزایش یابد، انرژی گرمایشی مورد نیاز کاهش خواهد یافت. با این حال تغییر مقادیر ضریب انتقال حرارتی، تاثیرات متفاوتی بر میزان نیاز به انرژی سرمایشی خواهد داشت. هرچه مقدار ضریب انتقال حرارتی پوسته ساختمان کمتر باشد، میزان اتلاف انرژی از طریق رسانایی از پوسته حرارتی ساختمان کاهش و این امر کاهش نیاز به انرژی گرمایشی را به دنبال خواهد داشت. اگرچه این عامل ممکن است بر روی مصرف انرژی سرمایشی تاثیر مثبتی نداشته باشد. اتلاف انرژی از طریق پوسته حرارتی در صورتی که دمای هوای خارج، بالاتر از دمای داخل باشد نیاز به انرژی سرمایشی را افزایش می دهد. اما اگر دمای هوای خارج در محدوده شرایط آسایش حرارتی و یا پایین تر از آن باشد، اتلاف انرژی از طریق پوسته حرارتی باعث کاهش نیاز به انرژی سرمایشی می شود، چرا که در این حالت جریان حرکت گرما از داخل به خارج ساختمان است و این امر باعث خروج بخشی از گرمای اضافی فضا از طریق پوسته حرارتی خارج شده و نیاز به انرژی سرمایشی، برای کاهش دمای هوای داخل، کمتر می گردد. هر چند به طور کلی بهره گیری از عایق حرارتی همراه با کاهش مجموع نیاز به انرژی گرمایشی و سرمایشی ساختمان خواهد بود. مطابق نمودار ۴-۲۴ عایق بندی پوسته خارجی ساختمان، با کاهش تقاضای انرژی گرمایشی، سرمایشی همراه است.



نمودار ۴-۲۴ تاثیر عایق حرارتی بر میزان مصرف انرژی کل (منبع: دیزاین بیلدر)

۴-۳-۸ پنجره های کارآمد

مطابق نمودار ۴-۲۵ در این پژوهش علاوه بر اصلاح پوسته حرارتی، پنجره های سه جداره با پوشش داخلی عایق کم گسیل و گاز آرگون با ضریب هدایت حرارتی ۱,۰۵ وات بر مترمربع برکلوین، جایگزین پنجره های ناکارآمد قبلی گردیده است.



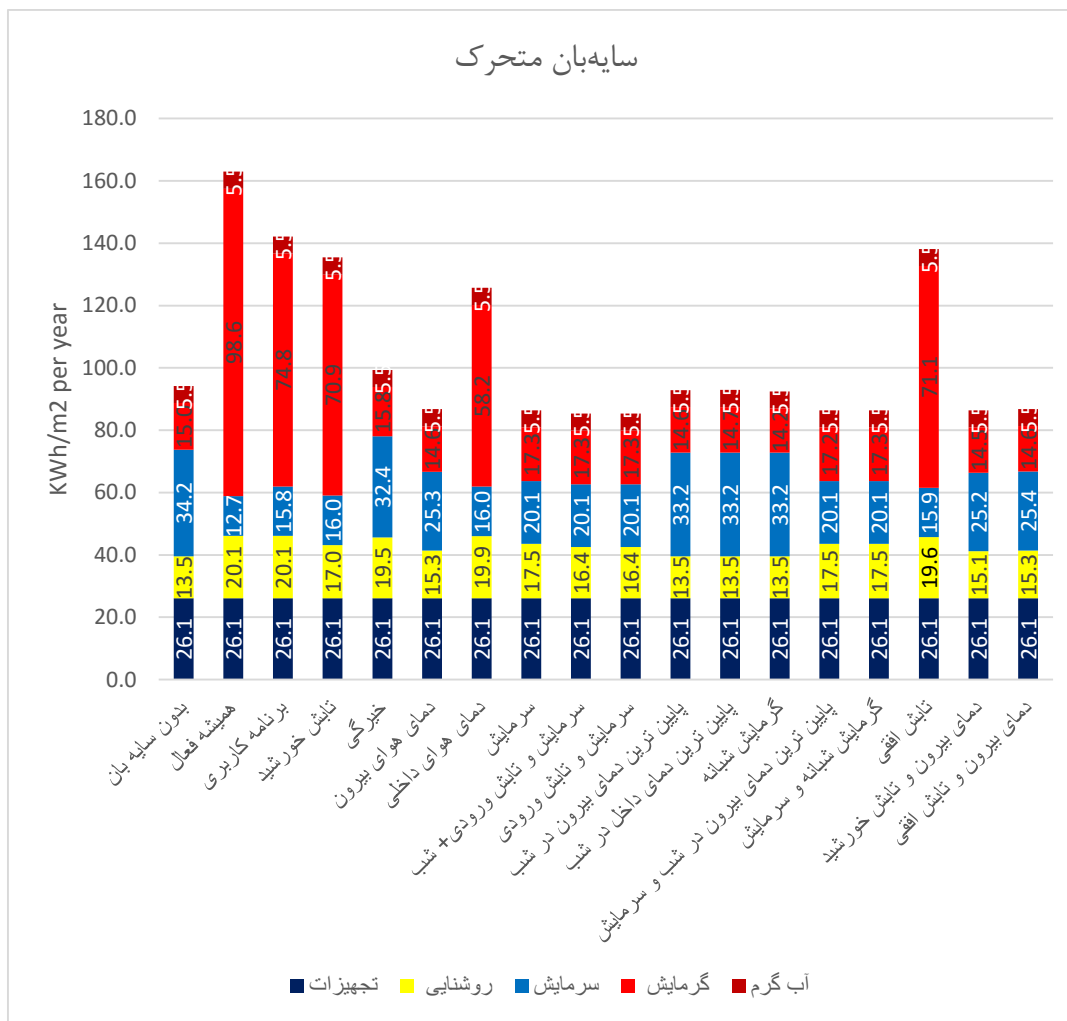
نمودار ۴-۲۵ تاثیر پنجره‌های کارآمد بر میزان مصرف انرژی کل (منبع: دیزاین بیلدر)

۴-۳-۹ سایه بان

استفاده از سایبان روشی کارآمد در جهت کاهش نیاز به انرژی سرمایشی ساختمان است. به جهت جذب گرما از تابش خورشید و منابع داخلی که باعث ایجاد افزایش گرما در محیط داخلی و برهم خوردن آسایش حرارتی می‌گردد، این موضوع در اقلیم‌های با تابستان گرم اهمیت بیشتری می‌یابد. سایبان با ممانعت از ورود بخشی از تابش خورشید و ممانعت از افزایش دمای محیط داخلی، بر روی مصرف انرژی تاثیر می‌گذارد. سایبان‌ها از جنبه موقعیت قرارگیری، به دو نوع داخلی و خارجی تقسیم می‌گردند. سایبان‌های خارجی به دلیل جلوگیری از ورود تابش خورشید به ساختمان و افزایش گرما، تاثیر مطلوب‌تری دارد. همچنین سایه بان‌ها از جنبه امکان تنظیم و حرکت به دو دسته متحرک و ثابت تقسیم می‌شوند. سایبان‌های متحرک، در صورتی که براساس نیازهای سرمایشی، گرمایشی و روشنایی تنظیم گردند، راندمان بالاتری نسبت به نوع ثابت دارند، هر چند این سایبان‌ها به تکنولوژی و سرمایه‌گذاری مالی بالاتری نیاز دارند. سایبان ثابت نیز در اگر منطبق با شرایط نیاز به تابش و نور خورشید تنظیم گردند می‌تواند بهره‌وری مطلوبی داشته باشد. هر چند به جهت کاهش دریافت تابش خورشید در زمستان منجر به افزایش تقاضای انرژی گرمایشی می‌گردد، بر این اساس هر گونه از سایبان‌ها، مزیت و اشکالاتی دارند که باید براساس شرایط و نیاز انتخاب گردند.

۴-۳-۹-۱ سایه بان متحرک

سایبان‌های خارجی متحرک براساس زمان استفاده و چگونگی کنترل آن بر میزان مصرف انرژی ساختمان تاثیر دارند. نمودار ۴-۲۶ میزان مصرف انرژی ساختمان با سایبان متحرک خارجی را در حالت‌های مختلف نشان می‌دهد، که بر اساس استراتژی متفاوت کنترل و تنظیم می‌گردد.



نمودار ۴-۲۶ تاثیر سایه بان متحرک خارجی بر میزان مصرف انرژی کل (منبع: دیزاین بیلدر)

مطابق نمودار ۴-۲۶ اثر سایبان‌های متحرک بر مصرف انرژی ساختمان ثابت نیست و میزان نیاز به انرژی گرمایش و سرمایش، متناسب با هر استراتژی متغیر است. استراتژی‌های تنظیم سایه بان بر اساس یکی از سه عامل کلی دمای هوا، تابش خورشید و یا برنامه زمانی استوار است. در عمده این استراتژی‌ها بهره‌گیری از سایه بان منجر به افزایش در نیاز به انرژی گرمایشی می‌گردد. و تنها در تنظیم سایه بان جهت گرمایش شبانه همراه با کاهش انرژی گرمایشی است. به دلیل این که در زمستان هنگام شب، بسته بودن پرده‌ها جز کاهش اتلاف انرژی از طریق رسانایی، اتلاف حرارت از طریق تابش طول موج بلند انرژی از فضای گرم داخلی به هوای سرد خارج را نیز کاهش می‌دهد. بنابراین این استراتژی، در شب‌های زمستان از اتلاف انرژی و در نتیجه از افزایش مصرف انرژی گرمایشی جلوگیری می‌کند. با توجه به اینکه سایبان‌های متحرک در حالت‌های مختلف کنترلی، میزان جذب تابش خورشید را کاهش می‌دهند، غالب استراتژی‌ها مصرف انرژی سرمایشی را کاهش می‌دهند؛ مگر اینکه از طریق دیگری منجر به افزایش انرژی سرمایشی گردند. مطلوب‌ترین حالت در بحث بهره‌وری از این استراتژی مربوط به زمانی است که سایه بان در وضعیت سرمایش و تابش ورودی تنظیم شده باشد. در بحث انرژی

کل نیز عملکرد بهینه این سایبان‌ها وابسته به پارامترهای مختلفی از جمله زمان بسته شدن سایبان‌ها در طول روز و سال، دمای هوای خارج، میزان تابش خورشید، زاویه جهت و زاویه ارتفاع خورشید و غیره است. بر اساس نتایج سایه‌بان متحرک، در صورتی که به طور موثر کنترل گردد، مصرف انرژی کمتری نسبت به وضعیت بدون سایبان دارند. همچنین با وجود چالش‌های شرایط جوی نامطلوب و هزینه‌های سرمایه‌گذاری بالا و از سوی مقابل کاهش هزینه انرژی و هزینه چرخه حیات ساختمان، استفاده از سایبان‌های متحرک خارجی در صورتی که به شیوه مناسبی تنظیم شوند، از نظر اقتصادی به صرفه است.

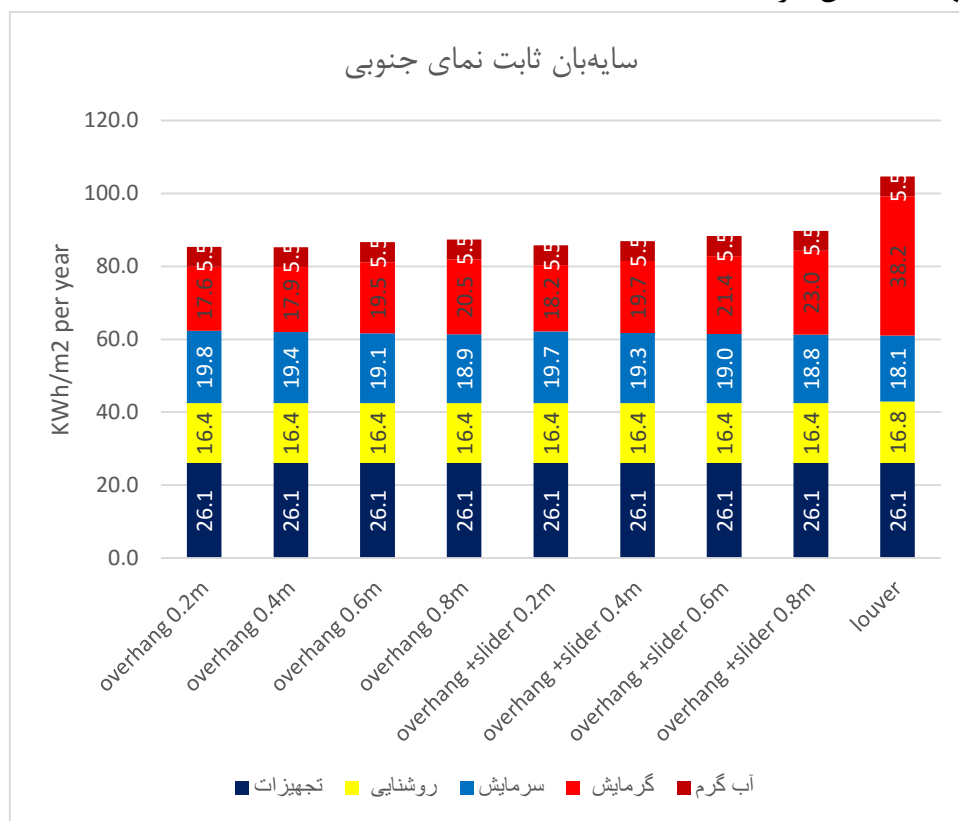
۴-۳-۹-۲ سایه‌بان ثابت

سایبان ثابت بسته به نوع، طول عمق و موقعیت از ورود تابش به ساختمان جلوگیری می‌کند. بر اساس نتایج، با افزایش عمق سایبان، میزان نیاز به انرژی گرمایشی در این شرایط اقلیمی افزایش و میزان نیاز به انرژی سرمایشی کاهش می‌یابد. استفاده از این نوع سایه‌بان همراه با کاهش تابش دریافتی و در نتیجه آن، با افزایش انرژی گرمایشی و کاهش انرژی سرمایشی است. همچنین نیاز به انرژی روشنایی نیز با افزایش عمق سایبان به دلیل سایه اندازی افزایش می‌یابد. به جهت زاویه ارتفاع بالای خورشید در فصل تابستان و زاویه ارتفاع پایین خورشید در فصل زمستان، سایبان ثابت افقی در جبهه جنوبی ساختمان که بخش عمده روز، بجز ساعت‌های آغازین و پایانی روزهای تابستان، که تحت تاثیر تابش خورشید است، عملکرد مطلوب دارد. این در حالی است که به دلیل زاویه ارتفاع کم خورشید در ساعات اولیه صبح و ساعات انتهایی عصر، سایه‌بان افقی نمی‌تواند مانع از ورود تابش خورشید از طریق جبهه‌های شرقی و غربی ساختمان، که در زمان‌های مذکور و بویژه در تابستان در معرض این تابش قرار می‌گیرند، به داخل ساختمان گردند. همچنین تنها در صبح و عصر تابستان‌ها، خورشید به جبهه شمالی ساختمان می‌تابد. بنابراین سایبان افقی تنها برای جبهه جنوبی ساختمان مناسب است و برای جبهه شرقی و غربی و شمالی مناسب نیست.

میزان تابش وارد شده از طریق پنجره با سایبان ثابت به داخل ساختمان متأثر از عمق سایبان است و این مساله در مورد سایبان ثابت افقی پنجره‌های جنوبی نیز صادق است. بنابراین یافتن عمق بهینه سایبان افقی برای پنجره‌های جنوبی از نظر حداقل انرژی کل از اهمیت ویژه برخوردار است. این عمق به اقلیم، عرض جغرافیایی و به طبع آن زوایای خورشیدی، کاربری، ارتفاع پنجره و غیره بستگی دارد. بدین منظور برای مطالعه اثر سایبان ثابت بر روی پنجره‌های هر جبهه ساختمان به طور جداگانه مورد ارزیابی قرار گرفته است.

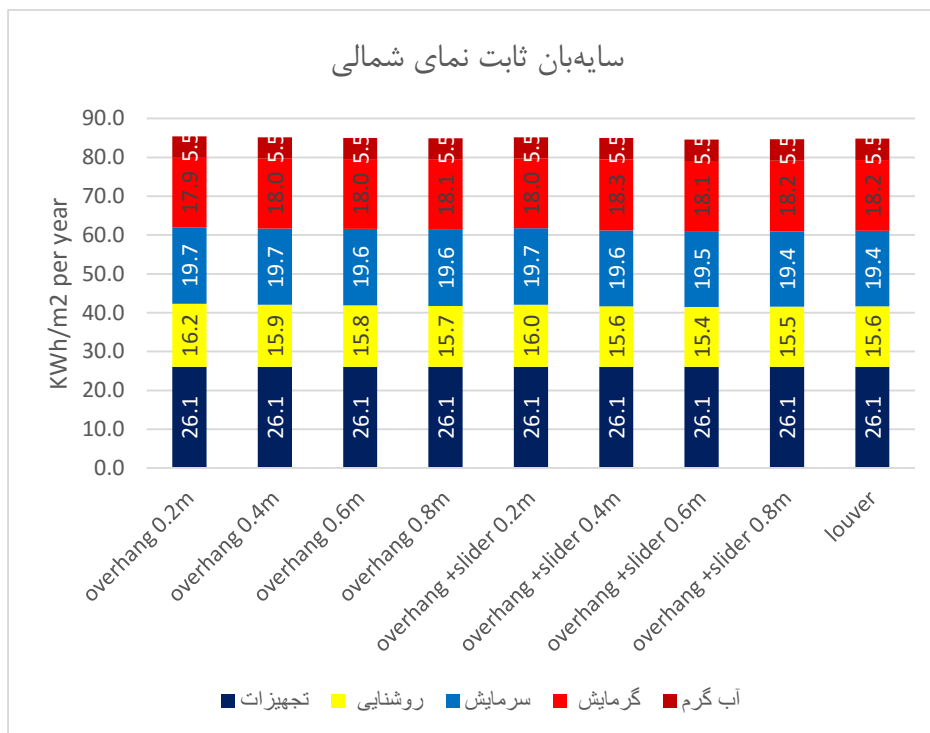
بر اساس نمودار ۴-۲۷ استفاده از سایبان افقی ثابت در جبهه جنوبی باعث افزایش انرژی گرمایشی ساختمان می‌گردد. هرچند زاویه ارتفاع خورشید در زمستان کم بوده و این مساله باعث می‌گردد که سایبان افقی در زمستان در مقایسه با تابستان، امکان ورود بیشتر انرژی تابشی خورشید به داخل ساختمان را فراهم کنند؛ هر چند سایبان افقی که مستقیم بر روی لبه بالایی پنجره قرار گرفته، در

دوره گرمایش نیز مانع ورود بخشی از تابش خورشید به داخل ساختمان شده و نیاز به انرژی گرمایشی را افزایش می‌دهد. سایبان‌ها همچنین مانع ورود بخشی از انرژی تابشی خورشید در دوره سرمایش شده و بدین ترتیب مصرف انرژی سرمایشی ساختمان را کاهش می‌دهد. هرچه عمق سایبان‌های افقی پنجره‌های جنوبی افزایش یابد، میزان دریافت انرژی تابشی و در نتیجه آن میزان انرژی سرمایشی ساختمان کاهش می‌یابد. هرچند اثر افزایش عمق سایبان پس از اندازه خاص رفته رفته ناچیز می‌گردد. مطابق نمودار ۴-۲۷ مصرف انرژی گرمایشی، سرمایشی و روشنایی با سایبان افقی برای پنجره‌های جنوبی، در طول عمق ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متر مطلوب‌ترین حالت است. از سوی دیگر سایبان‌های لوور یا کرکره‌ای که تمام سطح پنجره را می‌پوشانند به جهت ممانعت از نفوذ تابش خورشید عملکرد نامطلوبی در این جبهه ساختمان دارد.



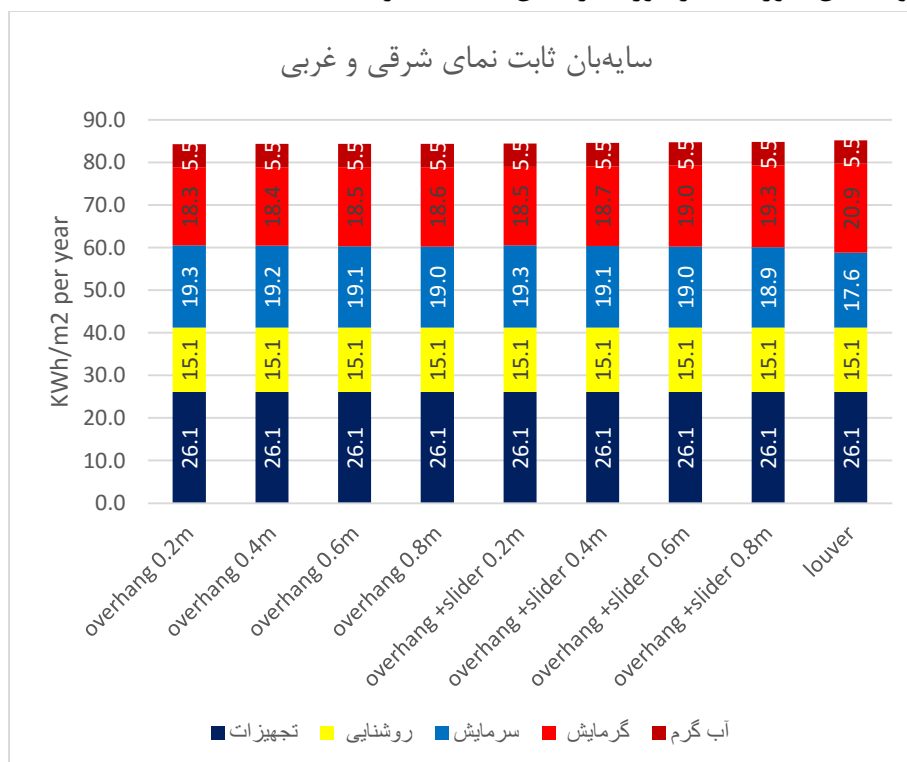
نمودار ۴-۲۷ تاثیر سایه‌بان ثابت نمای جنوبی بر میزان مصرف انرژی کل (منبع: دیزاین بیلدر)

بر اساس نتایج نمودار ۴-۲۸ استفاده از سایبان ثابت در جبهه شمالی تاثیر چشم‌گیری در میزان مصرف انرژی کل ندارد، اما طبق نتایج در صورت بهره‌گیری از سایه‌بان‌های عمودی از ورود بخشی از انرژی تابشی خورشید در دوره سرمایش ممانعت به عمل آمده و بدین ترتیب مصرف انرژی سرمایشی ساختمان را به میزان ناچیزی کاهش می‌دهد. در مجموع مصرف انرژی با سایبان ترکیبی افقی و عمودی برای پنجره‌های شمالی به طول عمق ۶۰ سانتی‌متر می‌تواند کاهش جزیی در میزان مصرف ایجاد نماید.



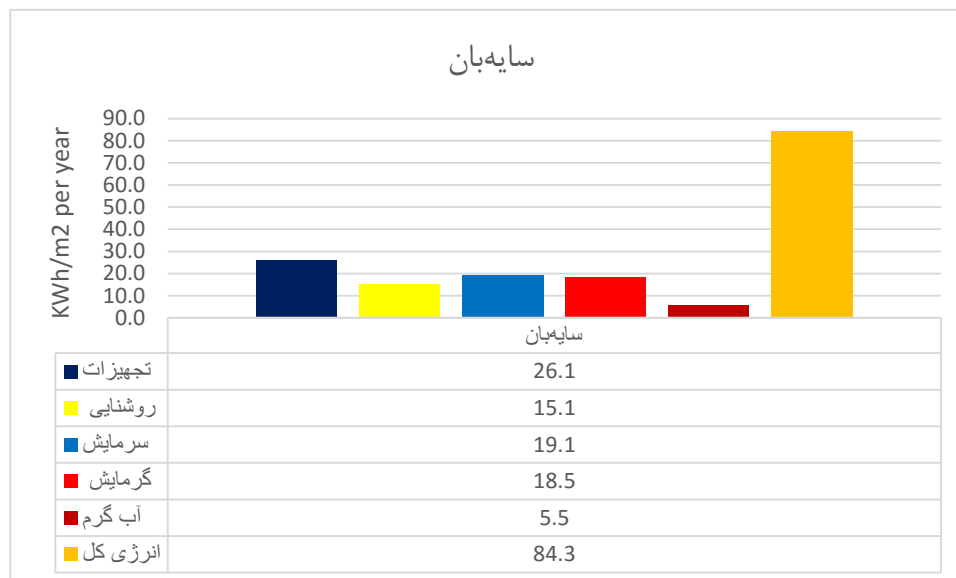
نمودار ۴-۲۸ تاثیر سایه بان ثابت نمای شمالی بر میزان مصرف انرژی کل (منبع: دیزاین بیلدر)

مطابق نتایج نمودار ۴-۲۹ سایبان ثابت در جبهه شرقی و غربی تاثیر جزیی در مصرف انرژی می تواند داشته باشد. علت این موضوع سطح کم نسبت پنجره به دیوار است. هر چند با بهره گیری سایه بان افقی می توان از ورود تابش خورشید در دوره سرمایش ممانعت کرد.



نمودار ۴-۲۹ تاثیر سایه بان ثابت نمای شرقی و غربی بر میزان مصرف انرژی کل (منبع: دیزاین بیلدر)

مطابق نتایج بهره‌گیری از سایه‌بان‌های متحرک خارجی در صورت برنامه و کنترل صحیح می‌تواند در دوره سرمایش تاثیر مطلوبی در کاهش انرژی داشته باشد. بر این اساس بهره‌گیری از این سایه‌بان‌ها علاوه بر جلوگیری از نفوذ تابش خورشید و گرم کردن محیط، با برنامه‌ریزی منطبق بر سرمایش و تابش خورشید گام اثرگذاری در راستای کاهش تقاضای انرژی در برخواهد داشت. همچنین تلفیق این سیستم با سایه‌بان ثابت افقی در جبهه جنوبی تاثیر ملموس‌تری نسبت به سایر جهات دارد، در جهت غربی و شرقی نیز می‌توان از سایه‌بان افقی، و در جهت شمالی اگر چه تابش خورشید محدود و صرفاً در بازه آغاز و پایان روز است، می‌توان از سایه‌بان عمودی جهت کاهش تابش ورودی بهره گرفت. در نهایت با استفاده از این رویکرد مطابق نتایج نمودار ۴-۳۰ می‌توان به کاهش مطلوبی در میزان مصرف انرژی سرمایشی دست یافت.

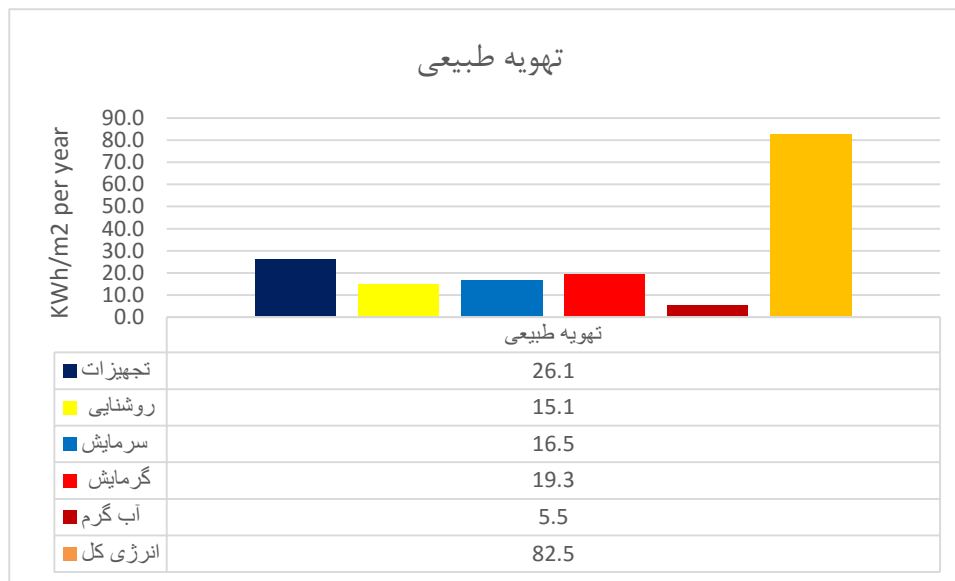


نمودار ۴-۳۰ تاثیر سایه‌بان بر میزان مصرف انرژی کل (منبع: دیزاین بیلدر)

۴-۳-۱۰ تهویه طبیعی

تهویه طبیعی با دفع گرمای اضافی داخل فضاها، نیاز به انرژی سرمایشی را کاهش داده و با ورود و تامین هوای تازه مورد نیاز استفاده‌کنندگان بنا، شرایط با کیفیت‌تری در فضاهای داخلی ایجاد کند. طی این فرایند اختلاف فشار طبیعی بین هوای داخل و خارج منجر به تعویض هوا می‌گردد. این اختلاف فشار می‌تواند ناشی از جریان باد و یا تفاوت دمای بین داخل و خارج ساختمان باشد. تهویه طبیعی در ساختمان بصورت کلی شامل دو نوع اثر دودکشی و باد است، که انرژی سرمایشی ساختمان را به شکل موثری کاهش می‌دهد. با این حال اگر تهویه در زمان مناسبی صورت نگیرد، می‌تواند به افزایش نیاز به انرژی گرمایشی و حتی انرژی سرمایشی منجر گردد. کاهش نیاز به انرژی سرمایشی با استفاده از تهویه طبیعی، روشی بسیار ساده و اقتصادی در بهره‌وری انرژی محسوب می‌گردد و نیاز

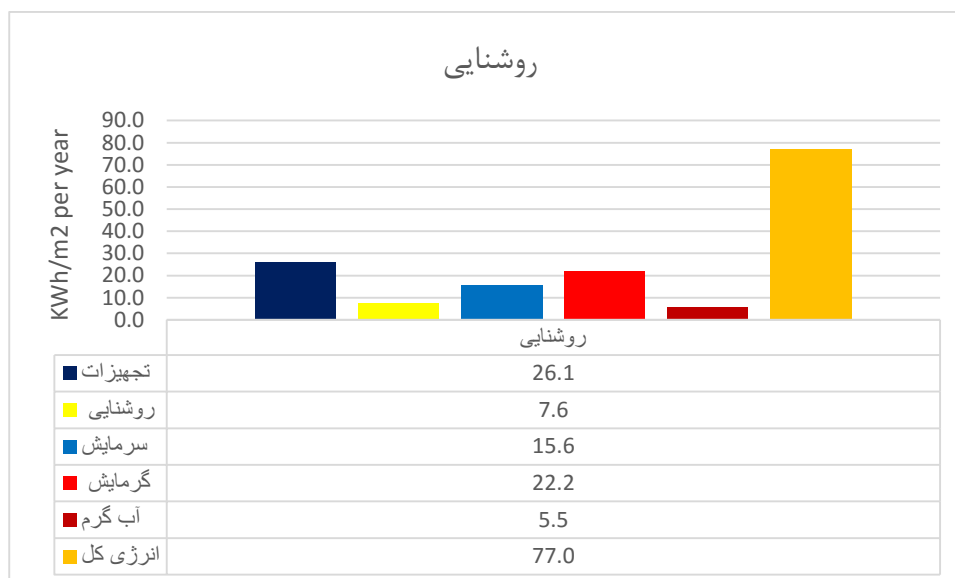
به مصالح و یا ابزار خاصی ندارد. همچنین در کنار کاهش تقاضای انرژی، مخارج تعمیر و نگهداری سامانه‌های تهویه مکانیکی را نیز کاهش دهد. هر چند لازم به ذکر است، تهویه طبیعی در ساختمان‌های مدرن و بلندمرتبه به شکل سنتی منسوخ بوده و نیاز به شرایط کنترل‌شده‌تری است. در این پژوهش، تهویه طبیعی از طریق پنجره‌ها و با پیش شرط دمای داخل بیش از ۲۷ درجه و دمای خارج در محدوده ۲۱ تا ۲۷ درجه برقرار است. براساس نمودار ۴-۳۱ این عامل می‌تواند کاهش محدودی در میزان تقاضای انرژی نهایی ساختمان داشته‌باشد.



نمودار ۴-۳۱ تاثیر تهویه طبیعی بر میزان مصرف انرژی کل (منبع: دیزاین‌بیلدر)

۴-۳-۱۱ سیستم روشنایی

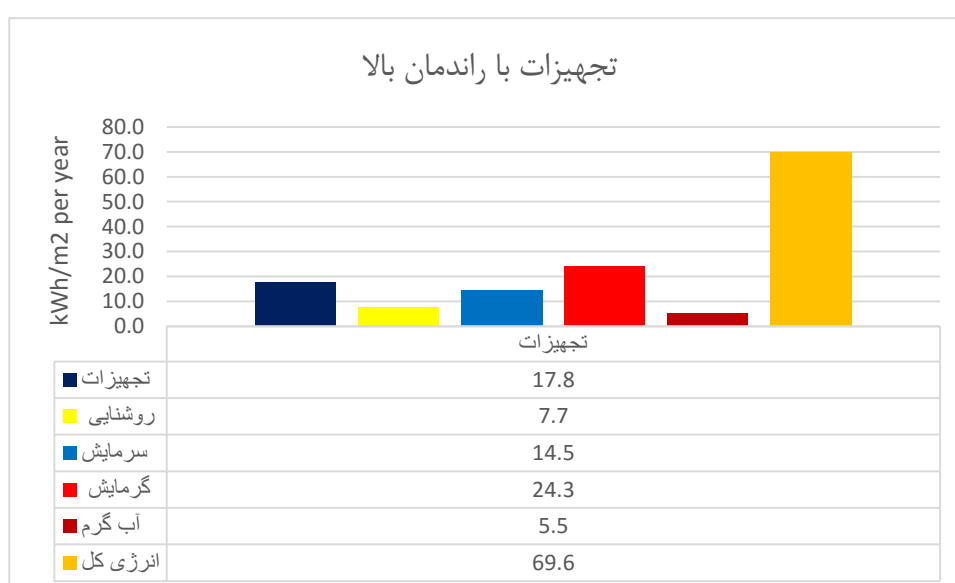
سیستم‌های روشنایی یکی از مولفه‌های تاثیرگذار در میزان مصرف انرژی ساختمان است. به طور معمول روشنایی در حدود ۱۰ الی ۱۵ درصد تقاضای انرژی در ساختمان‌های اداری را شامل می‌گردد. همچنین این مولفه به جهت تولید حرارت در کنار تجهیزات جزو گزینه‌های تولید بار حرارتی داخلی محسوب می‌گردد. گرمای تولید شده توسط این سیستم بر روی خروجی انرژی سرمایشی و گرمایشی تاثیرگذار است. براساس نمودار ۴-۳۲ با جایگزینی لامپ‌های کم مصرف ال‌ای‌دی به جای لامپ‌های فلورسنت ساختمان، و در کنار آن استفاده از حسگرهای کنترل روشنایی فضا می‌توان در راستای بهینه‌سازی این مولفه گام برداشت. این اصلاحات کاهش تقاضای ۵۰ درصدی انرژی روشنایی و کاهش حدود ۶ درصدی تقاضای انرژی را در بر دارد. همچنین با تغییر انرژی روشنایی شاهد کاهش تقاضای انرژی مورد نیاز سرمایش و افزایش انرژی گرمایشی ساختمان هستیم.



نمودار ۳۲-۴ تاثیر تجهیزات روشنایی بر میزان مصرف انرژی کل (منبع: دیزاین بیلدر)

۴-۳-۱۲ تجهیزات با کارایی بالا

تجهیزات اداری یکی از سه عامل اصلی تقاضای انرژی الکتریسیته در ساختمان‌های اداری است. با بهره‌گیری از تجهیزات با راندمان بالا، خصوصاً کامپیوترهای رومیزی که توان مصرفی آن‌ها نسبت به کامپیوترهای قدیمی بسیار کم‌تر است، می‌توان میزان مصارف این حوزه را نیز بهینه کرد. مطابق نمودار ۳۳-۴ مشابه سیستم‌های روشنایی، به جهت کاهش میزان تولید انرژی گرمایی تجهیزات، تقاضای سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی تحت تاثیر این تغییر قرار می‌گیرد.



نمودار ۳۳-۴ تاثیر تجهیزات با کارایی بالا بر میزان مصرف انرژی کل (منبع: دیزاین بیلدر)

۴-۳-۱۳ تاسیسات مکانیکی

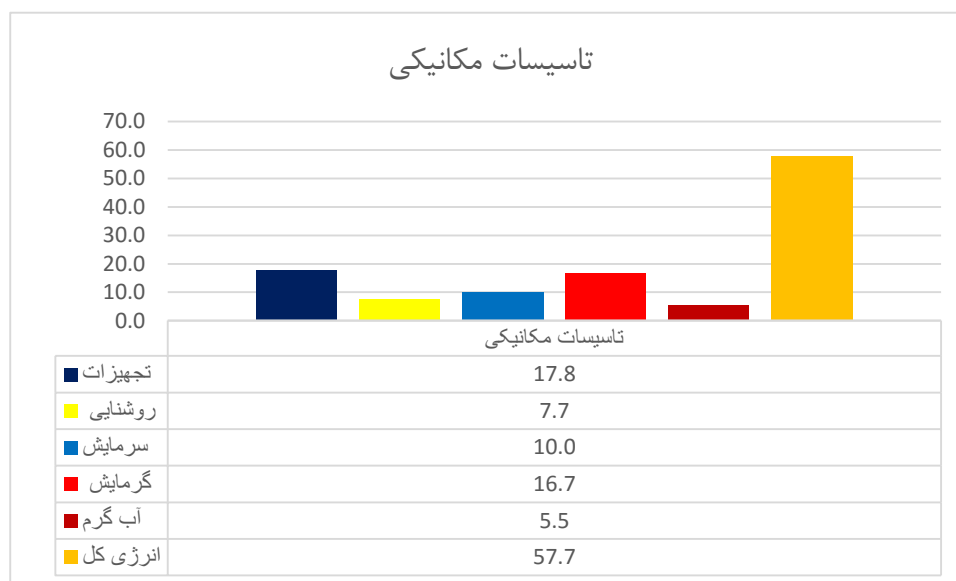
با افزایش میزان تعویض هوا از طریق نفوذ ناخواسته هوا، میزان نیاز به مجموع انرژی گرمایشی و سرمایشی افزایش می‌یابد. اثر تعویض ناخواسته هوا بر میزان انرژی کل ساختمان، زیاد و اثری با رفتاری نسبتاً خطی است. بنابراین به منظور کاهش میزان مصرف انرژی ساختمان، میزان تعویض هوا در ساختمان باید به حداقل ممکن کاهش یابد. در ساختمان‌های هوابندی شده، میزان هوای تازه مورد نیاز ساکنین از طریق نفوذ هوا تامین نمی‌گردد، از این رو برای تامین کیفیت مورد نیاز هوای داخل ساختمان‌های هوابندی شده، باید از تهویه مکانیکی استفاده نمود. در سیستم بازیافت حرارت، برای تامین هوای تازه مورد نیاز در زمستان، به جای تعویض هوای گرم داخل با هوای سرد خارج که به مقدار قابل توجهی انرژی برای گرم کردن هوای ورودی دارد، می‌توان با استفاده از یک مبدل حرارتی هوا به هوا، انرژی حرارتی هوای گرم خروجی را بازیافت نمود. گرمای بازیافت شده از هوای گرم خروجی توسط این مبدل حرارتی می‌تواند برای پیش‌گرمایش هوای ورودی استفاده گردد. در تابستان نیز، هنگامی که دمای هوای خارج بالاتر از محدوده آسایش حرارتی است، اتلاف انرژی با خروج هوای خنک داخل و جایگزینی آن با هوای گرم خارج رخ خواهد داد. در این شرایط نیز می‌توان از مبدل حرارتی هوا به هوا برای کاهش اتلاف انرژی و در نتیجه کاهش انرژی سرمایشی استفاده نمود.

۴-۳-۱۳-۱ آسایش حرارتی

محدوده آسایش حرارتی متناسب با کاربری، نوع فعالیت و نوع پوشش، متفاوت است. این شرایط متاثر از میانگین دمای هوا، رطوبت نسبی، جریان هوا و دمای متوسط تابشی یک فضا است. دمای متوسط تابشی در فضا تحت تاثیر دمای سطوح تشکیل دهنده فضا، مساحت و هندسه هر یک است. هر چه فاصله بین دمای هوا و دمای تابشی یک فضا کمتر باشد، کیفیت آسایش حرارتی در آن فضا بیشتر است. میزان انرژی مصرفی گرمایش و سرمایش بصورت مستقیم متاثر از دمای محدوده آسایش حرارتی درون ساختمان است. مصرف انرژی برای سرمایش و گرمایش، برای به تعادل رساندن دریافت و اتلاف انرژی آن است و به جهت آن که میزان اتلاف انرژی به طور مستقیم به اختلاف دمای خارج و داخل بستگی دارد، کاهش یا افزایش دمای داخل، میزان اختلاف دمای خارج و داخل را تغییر داده و در نهایت میزان اتلاف حرارت از پوسته ساختمان را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهد. تغییر در میزان اتلاف انرژی ساختمان، مصرف انرژی گرمایشی و سرمایشی مورد نیاز برای به تعادل رساندن این اتلاف و دریافت را تغییر می‌دهد. بر این مبنا افزایش دمای داخلی در زمان گرمایش، منجر به افزایش تقاضای مصرف انرژی گرمایشی و کاهش دمای داخل ساختمان در زمان سرمایش، باعث افزایش تقاضای مصرف انرژی سرمایشی می‌گردد.

مطابق نمودار ۴-۳۴ با بهره‌گیری از سیستم VRF که مبتنی بر بازیابی حرارتی است، در کنار کنترل تنظیمات دمای سرمایش و گرمایش می‌توان علاوه بر کاهش میزان مصرف انرژی، کیفیت مطلوب حرارتی

را برای کاربران یک ساختمان فراهم آورد. مطابق با استاندارد ۱۴۳۸۴ ISIRI که مربوط به مبحث آسایش حرارتی است، تنظیمات سیستم حرارتی انجام گرفته است. براساس این استاندارد دمای آسایش برای محیط اداری برای سرمایش ۲۴,۵ درجه تا یک درجه بالا و پایین آن و برای گرمایش ۲۲ درجه و یک درجه بالا و پایین آن است [۵۴]. از این رو دمای ست پوینت گرمایش و سرمایش به ترتیب ۲۱,۵ و ۲۵,۵ درجه و همچنین دمای ست بک سیستم به ترتیب ۲۰ و ۲۷ درجه تنظیم گردیده است.



نمودار ۴-۳ تاثیر تاسیسات مکانیکی بر میزان مصرف انرژی کل (منبع: دیزاین بیلدر)

۴-۵ تولید انرژی تجدیدپذیر

پس از اتمام فرآیند طراحی و بهینه سازی تمامی اجزای ساختمان از جنبه مصرف انرژی، میزان انرژی نهایی مورد تقاضای ساختمان بوسیله منابع موجود و تجدیدپذیر تامین می گردد. یکی از منابع با پتانسیل بالا در شهر شاهرود، بهره گیری از انرژی خورشید به واسطه پنل های فتوولتائیک است. از این رو جهت طراحی سیستم پنل های فتوولتائیک مطابق با شیوه نامه وزارت نیرو برآورد می گردد. مطابق با استاندارد بهترین زاویه جهت گیری پنل ها، عرض جغرافیایی مبدا تولید انرژی است. بر این مبنا زاویه ۳۵ درجه مطلوب ترین بازدهی را در شهر شاهرود دارد.

برای انجام دقیق محاسبات باید تاثیر عوامل خارجی و داخلی تاثیرگذار در میزان انرژی تولیدی به دقت مورد بررسی و کنترل گردد. این عوامل شامل میزان تابش خورشید در زاویه تابشی و جهت گیری مورد نظر، تلفات سیستم، بازده مبدل، خطای شرکت سازنده ماژول، اثرات دما و اثر آلودگی بر ماژول ها است [۵۴].

به دلیل بازده مبدل و تلفات آن، میزان انرژی روزانه دریافتی از آرایه فتوولتاییک باید بالاتر از میانگین بار روزانه باشد. بازده مبدل به طور معمول بین ۹۰ تا ۹۶ درصد قرار می‌گیرد، که در برآورد ۹۶ درصد در نظر گرفته شده است. این میزان با ملاحظه بازده تجهیز به منظور حداکثر کردن توان تحویلی در کنار مبدل استفاده می‌گردد. متوسط بار روزانه در اداره گاز شاهرود ۱۰۴ کیلووات ساعت است که با در نظر گرفتن تاثیر تلفات که بیشترین مقدار آن ۵ درصد، و لحاظ کردن بازده مبدل ۹۲ درصد، میزان انرژی روزانه مورد نیاز به صورت زیر است:

$$104 \text{ KWh} \div 0.96 \div 0.92 = 114.03 \text{ KWh}$$

مطابق شیوه‌نامه، میزان متوسط تابش سالانه برای شهر شاهرود در حدود ۵٫۴ ساعت است، بنابراین بیشترین انرژی مورد نیاز از آرایه فتوولتاییک به شرح زیر است:

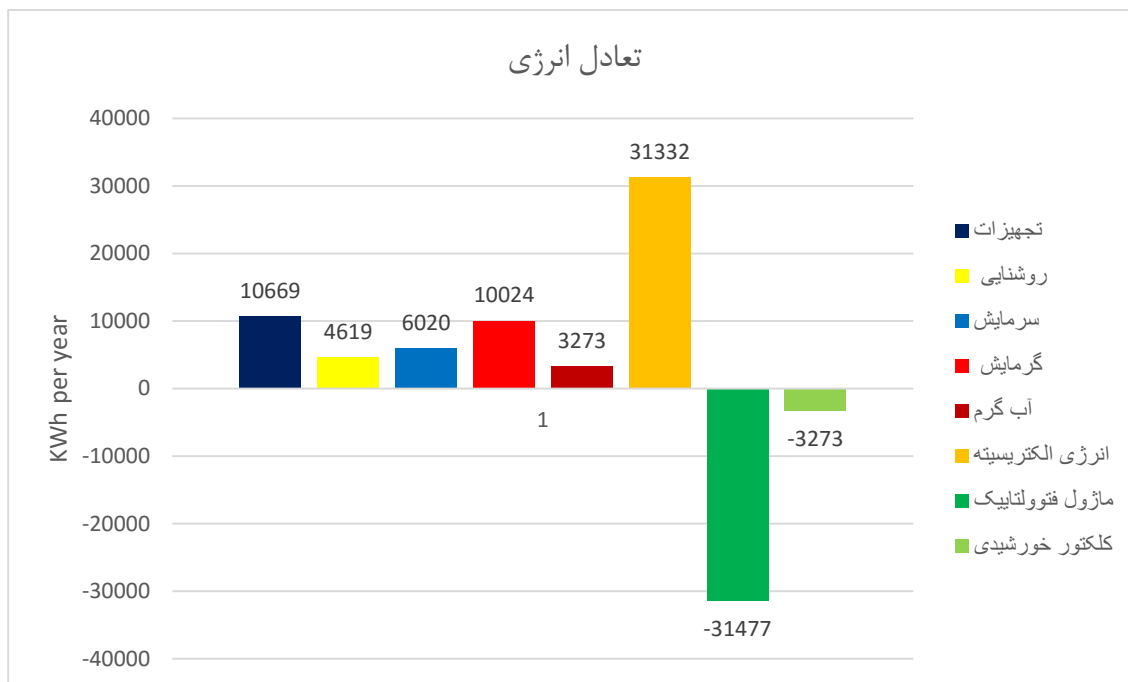
$$114.03 \text{ KWh} \div 5.4 \text{ PSH} = 21.11 \text{ KW}$$

از سوی دیگر توان خروجی پنل‌های فتوولتاییک برحسب وات با خطایی حدود ۵ درصدی از سوی سازنده همراه است که بر اساس دمای ۲۵ درجه سانتیگراد برای سلول‌ها است. همچنین در کنار این عامل میزان توان خروجی یک ماژول فتوولتاییک ممکن است به دلیل اثر آلودگی و گرد و خاک موجود بر سطح ماژول، کاهش یابد. میزان کاهش در توان ماژول در اثر آلودگی، بستگی به اقلیم محل نصب آرایه‌ها دارد که در این محاسبات این عامل حدود ۵ درصد در نظر گرفته شده است. در کنار این ۲ عامل اثر دما بر تولید انرژی سومین عامل موثر بر کاهش توان تولید است. این کمیت به ازای هر یک درجه افزایش دمای بالای ۲۵ درجه سانتیگراد محیط، توان تولیدی ماژول فتوولتاییک را تحت تاثیر قرار می‌دهد. که مطابق برآورد حدود ۹ درصد در توان تولیدی نهایی تاثیر می‌گذارد. بنابراین برای یک پنل ۳۸۰ واتی با اعمال این ضرایب در حدود ۳۱۲ وات تولیدی در نظر گرفته می‌شود.

$$21.11 \text{ KW} \div 312 \text{ W} = 67.66$$

براساس محاسبات به ۶۸ پنل فتوولتاییک ۳۸۰ واتی جهت تامین انرژی الکتریسیته ساختمان نیاز می‌باشد. در کنار محاسبات انرژی مورد نیاز الکتریسیته، برای برآورد آب گرم مصرفی اداره گاز مطابق با استاندارد به ازای هر کارمند ۵ لیتر در روز به آب گرم نیاز است. بنابراین با توجه به در نظر گرفتن ۳۶ کارمند فعال در کنار ۱۵ مراجعه کننده تخمینی در روز، به حدود ۲۵۰ لیتر آب گرم در روز نیاز است که با یک کلکتور حرارتی به ظرفیت ۲۵۰ لیتر این نیاز نیز مرتفع می‌گردد.

پس از کنترل این مراحل، تعادل انرژی ساختمان در چرخه یک ساله مطابق با نمودار ۴-۳۵ برقرار می‌گردد، که بر این اساس الکتریسیته مورد تقاضای ساختمان که شامل تجهیزات، روشنایی، گرمایش و سرمایش است از طریق پنل‌های فتوولتاییک و آب گرم مورد نیاز ساختمان از طریق کلکتور خورشیدی تامین می‌گردد.



نمودار ۴-۳۵ تبادل انرژی ساختمان انرژی صفر در چرخه یک ساله (منبع: دیزاین بیلدر)

۴-۶ جمع بندی

بهینه سازی انرژی ساختمان معمولاً براساس عوامل پرهزینه ای نظیر عایق بندی، بهره گیری از تجهیزات با راندمان بالا و سیستم های تهویه مطبوع با میسر می گردد. به جهت یارانه حامل های انرژی، هزینه انرژی یک ساختمان همچنان پایین است، از این رو انرژی های پاک هنوز جذابیت و مقبولیت عام نیافته است. متناسب با این موضوع و در نظر داشتن هزینه های بالای ساخت و ساز برای آغاز فرآیند طراحی ساختمان مطلوب ترین راه حل استفاده از راهکارهای کم هزینه است.

مولفه های معماری ساختمان به جهت نیاز کمتر به تکنولوژی نسبت به سایر راه حل ها در آغاز مطلوبیت بیشتری دارد. از این رو در مسیر طراحی در ابتدای امر با بهره گیری از این پارامترها، تا جای ممکن تقاضای انرژی را کاهش داده و سپس از راهکارهای پرهزینه تر بهره گرفته شده است. بدین ترتیب در ابتدا با سنجش مولفه جهت گیری زاویه مطلوب ساختمان نسبت به مسیر حرکت خورشید و دیگر مولفه های اقلیمی سنجیده شده است، که بر این اساس جهت گیری جنوبی بهترین گزینه شناسایی شده است. در ادامه عوامل کشیدگی و طبقات پاکت ساختمانی مورد سنجش قرار گرفت، که بر این اساس پاکت ساختمان در نسبت یک به دو و با دو طبقه نسبت به سایر گزینه ها از جهت دریافت تابش خورشید و تلفات کمتر انرژی از طریق پوسته بهترین راهکار شناسایی گردید. در ادامه نیز با سازمان دهی پلان و کنترل بازه های زمانی فضاها و بهره گیری از راهکارهای غیرفعال نظیر آتریوم، گلخانه و فیلترسازی فضاها گام دیگری در جهت کاهش مصرف برداشته شد.

عامل موثر دیگر نسبت سطح بازشو به جداره ها است که در بررسی به عمل آمده نسبت بهینه برای

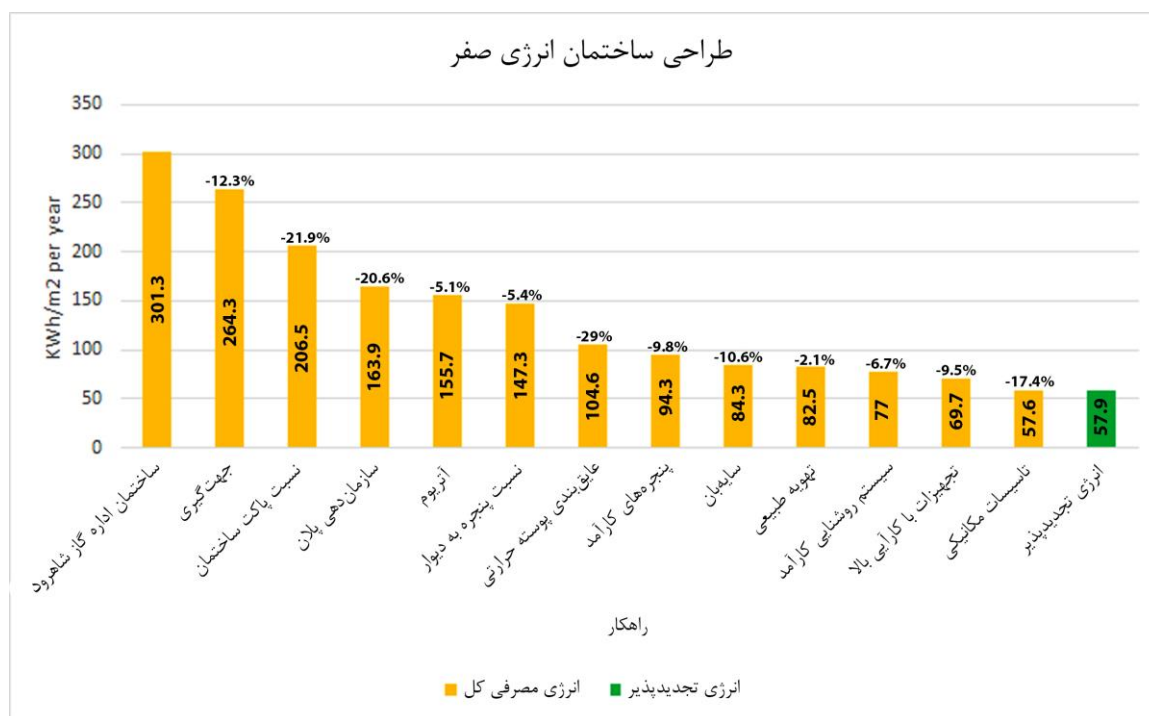
جنوب ۹۰ درصد، شمال ۱۰ درصد و شرق و غرب نیز ۱۰ درصد شناسایی گردید. پس از این عامل پوسته حرارتی ساختمان شامل پنجره، دیوار و بام ساختمان از نظر هدایت حرارتی مورد بازبینی قرار گرفت که این جنبه ساختمان نیز در راستای کاهش تقاضای گرمایش تاثیر چشم‌گیری در نتیجه نهایی گذاشت. با کنترل این مراحل سهم عمده‌ای از تقاضای انرژی گرمایشی ساختمان کاهش یافته‌است. در ادامه با بهره‌گیری از سایه‌بان متحرک با برنامه‌دهی سرمایشی و استفاده از سایه‌بان ثابت در جبهه‌های مختلف سعی در کاهش تقاضای انرژی گردید. بر این اساس در جبهه جنوبی سایه‌بان به طول ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متر بهترین عملکرد را نسبت به دیگر گزینه‌ها داشته، و در سایر جبهه‌ها با وجود شبیه‌سازی تاثیر چشم‌گیری از جنبه کاهش تقاضای انرژی سرمایشی مشاهده نگردید. گزینه دیگری که مورد ارزیابی قرار گرفته، تهویه طبیعی است، که تاثیر این عامل نیز بسیار جزئی و در راستای کاهش تقاضای انرژی سرمایشی مورد استفاده قرار گرفته‌است. پارامترهای روشنایی، تجهیزات و تاسیسات با راندمان بالا نیز آخرین گام‌های موثر در جهت کاهش تقاضا است که مورد استفاده قرار گرفته‌است. در انتها نیز به وسیله پتانسیل‌های موجود سایت، انرژی الکتریسیته و آب گرم مصرفی از طریق سیستم فتوولتائیک و کلکتور خورشیدی تامین گردیده‌است.

فصل ۵: نتیجه گیری

۵-۱ نتیجه‌گیری

رشد جمعیت و گسترش شهرنشینی جزو عوامل اصلی است که منجر به افزایش تقاضا برای انرژی گردیده‌است. گسترش این روند منجر به مشکلات زیست محیطی و افزایش گازهای گلخانه‌ای و گرمایش جهانی شده‌است. صنعت ساختمان با بیش از یک سوم میزان مصرف انرژی، یکی از گزینه‌های پرتقاضا در این زمینه است. طی سالیان اخیر تلاش بسیاری جهت ارایه راهکار برای این موضوع صورت گرفته‌است. یکی از این راهکارها ساختمان‌های انرژی صفر است که به جهت برقراری تعادل میان عرضه و تقاضای انرژی نتایج مطلوبی را در برداشته‌است.

بدین منظور جهت ارزیابی و امکان‌سنجی این راهکار در شهر شاهرود این پژوهش صورت گرفته‌است. پس از بررسی شرایط محیطی، اقلیمی و رفتار واقعی ساختمان اداره گاز شاهرود به عنوان ساختمان مبنا و اعتبارسنجی نسبت به این شرایط، فرآیند طراحی صورت پذیرفته، که نتایج نهایی آن مطابق با نمودار ۵-۱ نشان داده شده‌است.



نمودار ۵-۱ فرآیند طراحی ساختمان انرژی صفر (منبع: دیزاین‌بیلدر)

براساس این نمودار که بر مبنای ارایه هر راهکار و تاثیرگذاری هر کدام است، بیشترین تاثیر را در کاهش مصرف انرژی مربوط به عایق‌بندی پوسته حرارتی ساختمان است. این عامل اگر چه به هزینه ساخت بالاتری نیاز دارد اما با اثرگذاری مطلوب تاثیر چشم‌گیری در کاهش تقاضای انرژی نهایی دارد، مطابق با

برآورد بازگشت سرمایه بهره‌گیری از عایق به طور میانگین بین ۳ تا ۵ سال ارزیابی می‌گردد، که براساس نتایج عامل مطلوب و ارزشمندی تلقی می‌گردد.

مرتبه بعدی اثرگذاری در تقاضای انرژی مربوط به مولفه‌های آغازین طرح شامل جهت‌گیری، طراحی پاکت ساختمان و سازمان‌دهی دقیق فضاهاست. این موضوع نشان‌دهنده اثرگذاری طراحی صحیح اقلیمی در کاهش تقاضای انرژی است. این مولفه‌ها که همگی در ارتباط مستقیم با معماری طرح است علاوه بر افزایش مطلوبیت، نسبت به سایر پارامترها از راهکارهای مقرون به صرفه و اجرایی‌تری بهره گرفته‌است.

ارزیابی دیگری که در نسبت سطح پنجره به دیوار صورت پذیرفته‌است، براساس نتایج به جهت پایین بودن ضریب هدایت حرارتی این مولفه ساختمان، بیشینه این نسبت در جبهه جنوبی است که منجر به افزایش تابش دریافتی خورشید می‌گردد و مطلوبیت در سایر جبهه‌ها در وضعیت کمینه این نسبت است. از سوی دیگر اصلاح پنجره‌ها نیز نقش قابل قبولی در کاهش تقاضای انرژی ایفا می‌کند. تا این مرحله از طراحی سهم عمده‌ای از کاهش میزان مصرف انرژی در بخش گرمایش بوده، که علت این موضوع نیز دریافت حداکثری تابش خورشید است.

دو راهکار تهویه طبیعی و سایه‌بان در راستای کاهش تقاضای انرژی سرمایشی و بهینه‌یابی این پارامترها صورت پذیرفته‌است. مطابق با نتایج بهره‌گیری صحیح از سایه‌بان می‌تواند تاثیر قابل قبولی در کاهش نیاز انرژی ساختمان داشته‌باشد. اما راهکار تهویه طبیعی تاثیر چشم‌گیری در میزان مصرف نهایی ندارد. براساس نتایج تا این مرحله که به طور عمده بر پایه راهکارهای غیرفعال است، حدود ۷۰ درصد کاهش تقاضای انرژی محقق گردیده‌است که نشان‌دهنده تاثیر چشم‌گیر این راهکارهاست.

بهره‌گیری از سیستم‌های روشنایی هوشمند در کنار استفاده از لامپ‌های با راندمان بالا گزینه دیگری است که در طراحی مورد استفاده قرار گرفته‌است. این مولفه نیز در حدود ۵۰ درصد کاهش مصرف در زمینه روشنایی و ۶ درصد نیز کاهش تقاضای انرژی کلی ساختمان را در بردارد. در بحث تجهیزات با کارایی بالا، سهم عمده آن مربوط به سیستم رایانه‌های اداری است که با بهره‌گیری از رایانه‌های با توان مصرفی پایین‌تر می‌توان کاهش ۳۰ درصدی در انرژی مورد نیاز در بخش تجهیزات و حدود ۱۰ درصدی در انرژی کل داشت.

تاسیسات مبتنی بر بازیافت حرارتی در کنار اصلاح ست پوینت و ست‌بک سیستم تهویه مطبوع می‌تواند تاثیر چشم‌گیری در کاهش تقاضای انرژی نهایی داشته‌باشد. به‌طور معمول کاهش یک درجه‌ای دمای سیستم تهویه می‌تواند همراه با کاهش ۸ درصدی در تقاضای انرژی نهایی باشد. از این رو بهره‌گیری از سیستم‌ها کارا در کنار تنظیم دقیق دما، متناسب با شرایط آسایش محیط گام اثرگذار دیگری است که در راستای تحقق ساختمان انرژی صفر برداشته می‌شود. در کنار این مولفه استفاده از راهکارهای فعال کاهش انرژی نیز در حدود ۳۰ درصد کاهش انرژی را نسبت به مرحله پایانی طراحی غیرفعال ساختمان دارد. همچنین نکته دیگر این موضوع است که هر چه به مراحل پایانی فرایند می‌رسیم کاهش میزان

انرژی با شدت کمتری اتفاق می افتد که به جهت بهره گیری از راهکارهای با پتانسیل بالا در آغاز این موضوع اتفاق می افتد.

مرحله پایانی این فرآیند تامین انرژی مورد تقاضای ساختمان از طریق انرژی های پاک است. که به جهت ظرفیت تابش خورشید در شهر شاهرود، سیستم فتوولتاییک مورد بهره برداری قرار گرفته است. و از این طریق تعادل میان تقاضا و عرضه انرژی در ساختمان برقرار شده است. فارغ از این امر، بحث اقتصادی و بازگشت سرمایه اهمیت می یابد. براساس قیمت روز پنل های فتوولتاییک، به طور تقریبی هزینه هر پنل ۳۸۰۰ واتی برابر با ۷ میلیون و پانصد تومان است که با احتساب ۶۸ پنل هزینه اولیه آن حدود ۵۱۰ میلیون تومان برآورد می گردد، و با در نظر گرفتن هزینه های نصب و سایر تجهیزات حدود ۵۵۰ میلیون تومان هزینه اولیه سیستم برآورد می گردد.

از سوی دیگر ساختمان طراحی شده به ۳۱۳۳۲ کیلووات ساعت انرژی الکتریسیته نیاز دارد. براساس نرخ سال ۱۴۰۰ قیمت متوسط هر کیلووات ساعت برق برابر با ۳۶۰ تومان است، که در تابستان ۲۰ درصد به این قیمت افزوده می گردد، همچنین طبق مصوبه دولت سالانه نیز ۱۶ درصد به بهای هر کیلووات ساعت برق افزوده می گردد. بدین منظور و صرفا براساس میزان مصرف سال ۱۴۰۰ با در نظر گرفتن نرخ متوسط ۳۶۰ تومان برای هر کیلووات ساعت، هزینه پرداختی برای انرژی برق ۱۱,۲۷۹,۵۲۰ تومان برآورد می گردد. بر این اساس بازگشت سرمایه هزینه اولیه سیستم در حدود ۲۰ الی ۲۵ سال محقق می گردد. همچنین براساس قبوض فعلی ساختمان اداره گاز شاهرود مصرف برق آن ۳۸۹۶۱ کیلووات ساعت و مصرف گاز آن ۲۱۶۶۳ مترمکعب است. براساس نرخ هر کیلووات ساعت ۳۶۰ تومان و هر مترمکعب ۱۴۹ تومان، هزینه فعلی قبوض ساختمان ۱۷,۲۵۳,۷۴۷ تومان برآورد می گردد.

در کنار این بررسی به سوالات آغازین طرح باز می گردیم که شامل:

۱. آیا برقراری تعادل میان تقاضا و مصرف در ساختمان امکان پذیر است؟

در پاسخ به سوال اول، براساس نتایج بهینه سازی ساختمان میزان مصرف تا ۸۰ درصد از طریق راهکارهای فعال و غیرفعال کاهش یافته است، و در ادامه نیز با تولید انرژی الکتریسیته تعادل بین تقاضا و مصرف برقرار گردیده است. هر چند به لحاظ نظری این امر تحقق یافته اما نیاز به بررسی های اقتصادی و سایر جنبه های مرتبط با آن دارد.

۲. آیا بهره گیری از انرژی تجدیدپذیر در ساختمان مقرون به صرفه است؟

حقیقت امر این است که پاسخ به این سوال را نمی توان به شکل قطعی صادر کرد، به جهت هزینه های اولیه راه اندازی و قیمت بالای تجهیزات تولید انرژی تجدیدپذیر ممکن است بازگشت سرمایه در بازه ۲۰ الی ۲۵ سال تحقق یابد. اما براساس مطالعات سایر محققین، در نگاه کلان به جهت وجود نیروگاه های قدیمی و فرسوده، به لحاظ اقتصادی جایگزینی نیروگاه های قدیمی با احداث نیروگاه های خورشیدی جدید می تواند فرصت مناسبی را در راستای تولید انرژی پاک و مقرون به صرفه پدید آورد. از این رو سیاست گذاری های کلان و توجه همه جانبه نسبت به این موضوع می تواند در تحقق این امر تاثیرگذار باشد.

۳. تا چه حد می توان با تمرکز بر طراحی مناسب میزان مصرف انرژی ساختمان ها را کاهش داد؟
براساس نتایج نمودار ۵-۱ که به تفکیک به تاثیرگذاری هر راهکار پرداخته است، تمرکز بر راهکارهای غیرفعال می تواند تا ۷۰ درصد کاهش تقاضای انرژی را به همراه داشته باشد.

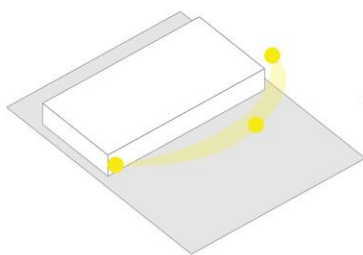
۴. تا چه حد دستیابی به ساختمان های انرژی صفر در ایران عملی است؟
به لحاظ نظری امکان دستیابی به ساختمان های انرژی صفر قابل تحقق است. اما در کنار این جنبه بایستی طرح از دیگر جنبه ها نظیر مباحث اقتصادی و بهینه یابی اقتصادی، تاثیر آلاینده گی، کیفیت محیطی و تاثیر عمومی این روند بر حفاظت از محیط زیست نیز مورد نقد و بررسی قرار گیرد.

۲-۵ پیشنهادات

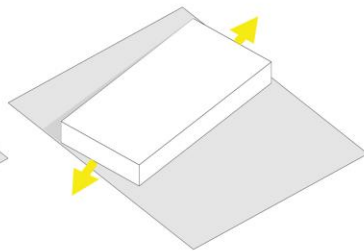
مطالعات انجام شده براساس تحقق ساختمان انرژی صفر در شهر شاهرود و با کاربری اداری انجام پذیرفته است. از این رو پیشنهادات نگارنده برای تحقیق پیرامون موضوعات مرتبط با انرژی و بهینه یابی به شرح زیر می باشد:

۱. بررسی نحوه تحقق ساختمان انرژی صفر در سایر شهرها و در سایر کاربری ها، امکان گسترش و تعمق به موضوع را میسر می نماید. به جهت تفاوت های اقلیمی کشور ایران، این ظرفیت وجود دارد که در تناسب هر اقلیم این مفهوم مورد ارزیابی قرار گیرد. همچنین به سبب توزیع متفاوت انرژی در ساختمان ها با کاربری خاص، می توان نحوه بهینه یابی و کنترل اتلاف انرژی را در هر کدام مورد ارزیابی قرار داد.
۲. در پژوهش انجام شده صرفا پارامترها براساس مولفه انرژی سنجیده شده است، که می توان با نگاه جامع تر و با تعریف توابع چند متغییره، تاثیر همزمان مولفه های ساختمان را با پارامترهایی نظیر انرژی، هزینه، زمان، دوره عمر ساختمان و آلاینده گی سنجید که خود بحث بسیار گسترده ای است.
۳. به جهت اثرگذاری مولفه عایق حرارتی در مصرف ساختمان، مطالعات می تواند در حوزه تاثیر مصالح، بهینه یابی اقتصادی و انرژی نهان مصرفی در تولید آن ها که به شکل های مستقیم و غیرمستقیم در دستیابی به مفهوم انرژی صفر تاثیرگذار است بررسی گردد. همچنین این مطالعات می تواند در اقلیم های جداگانه و در نسبت مطلوبیت هر مصالح با یک اقلیم تهیه و تدوین گردد.
۴. به جهت عدم پاسخگویی مقررات مبحث نوزدهم در بحث ساختمان های انرژی صفر، خلا یک استاندارد محلی و کشوری مبتنی بر این ساختمان ها احساس می گردد، که می تواند دستورالعمل دقیقی در چارچوب هر اقلیم صادر نماید.
۵. مطالعات جامع در زمینه انرژی های نو و ارزیابی امکان تحقق آن ها، می تواند متناسب با ظرفیت، توان و هزینه ها مورد بحث قرار گیرد.

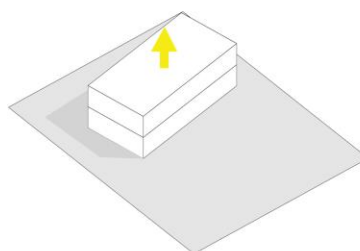
چوست



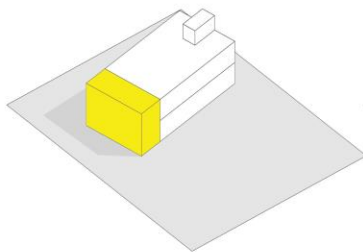
Orientation



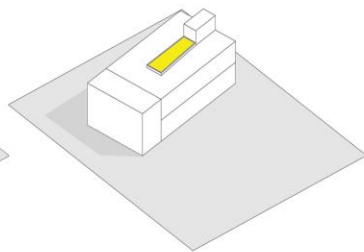
Length to width ratio



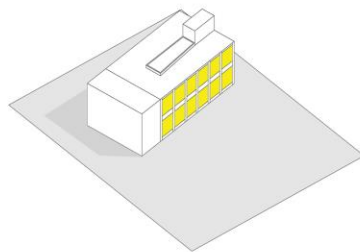
Floors



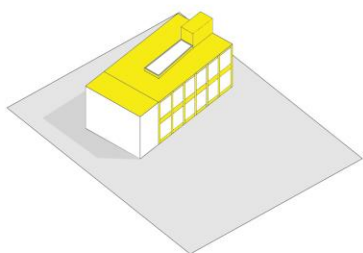
Organize the plan



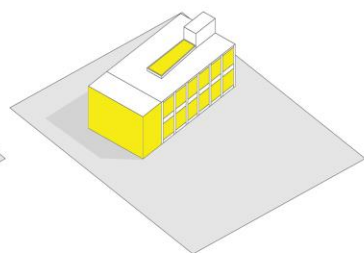
Atrium



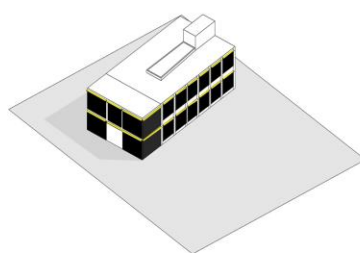
Window to wall ratio



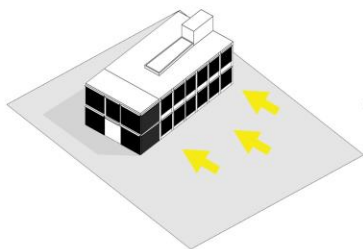
Insulation



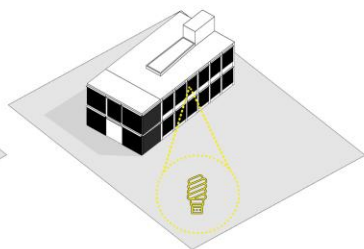
Triple glazed window



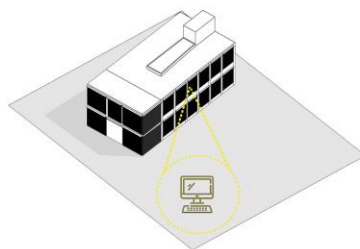
Window shading



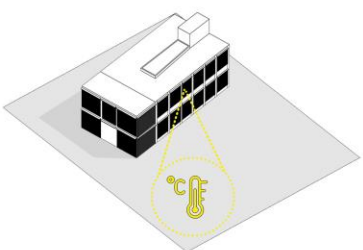
Natural ventilation



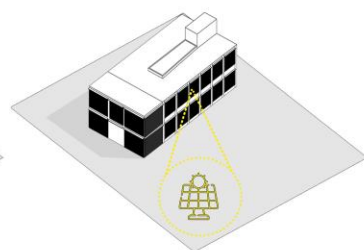
Efficient lighting system



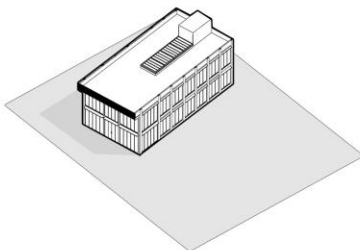
Efficient equipment



Efficient mechanical

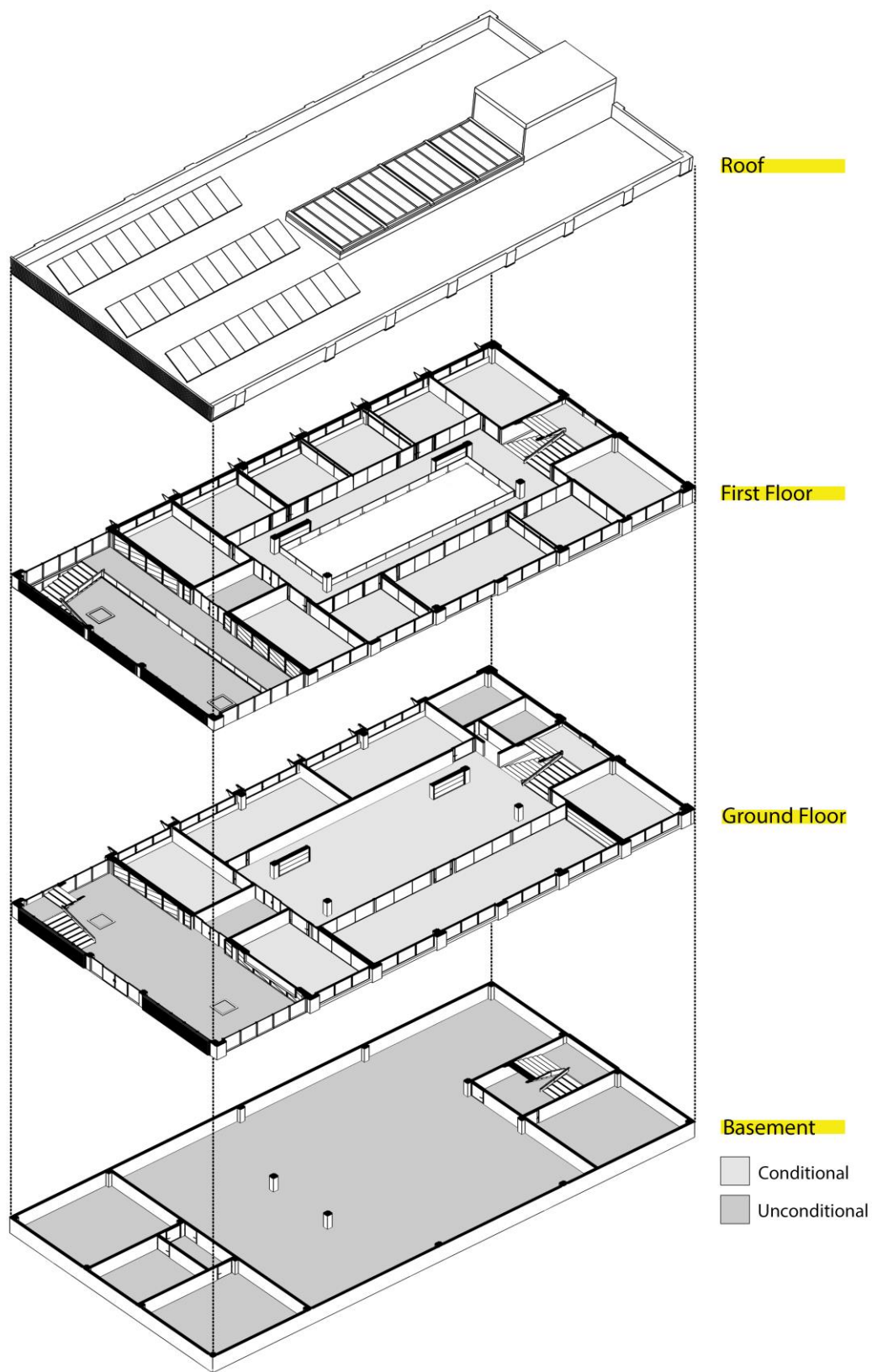


Renewable energy

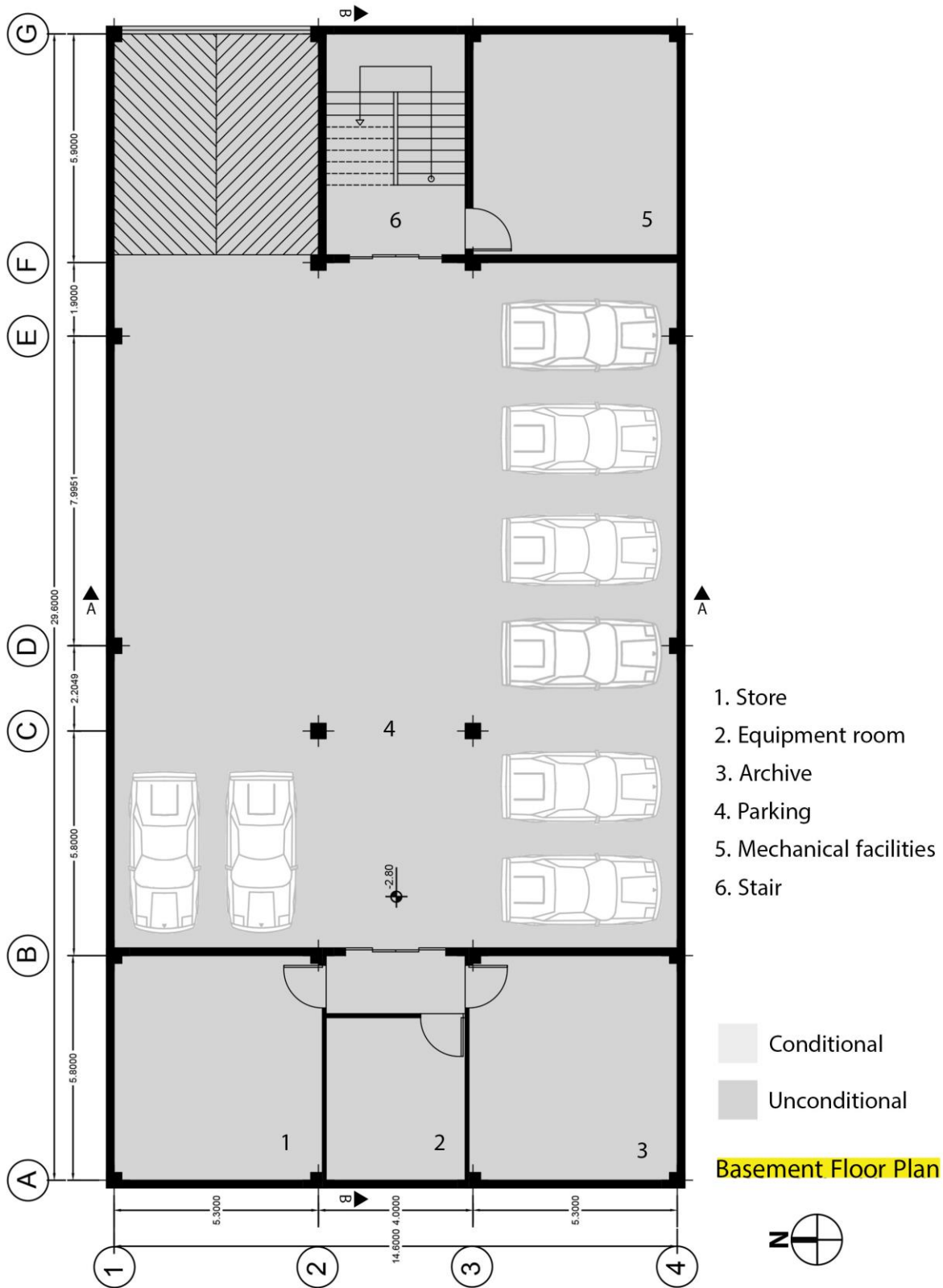


Final result

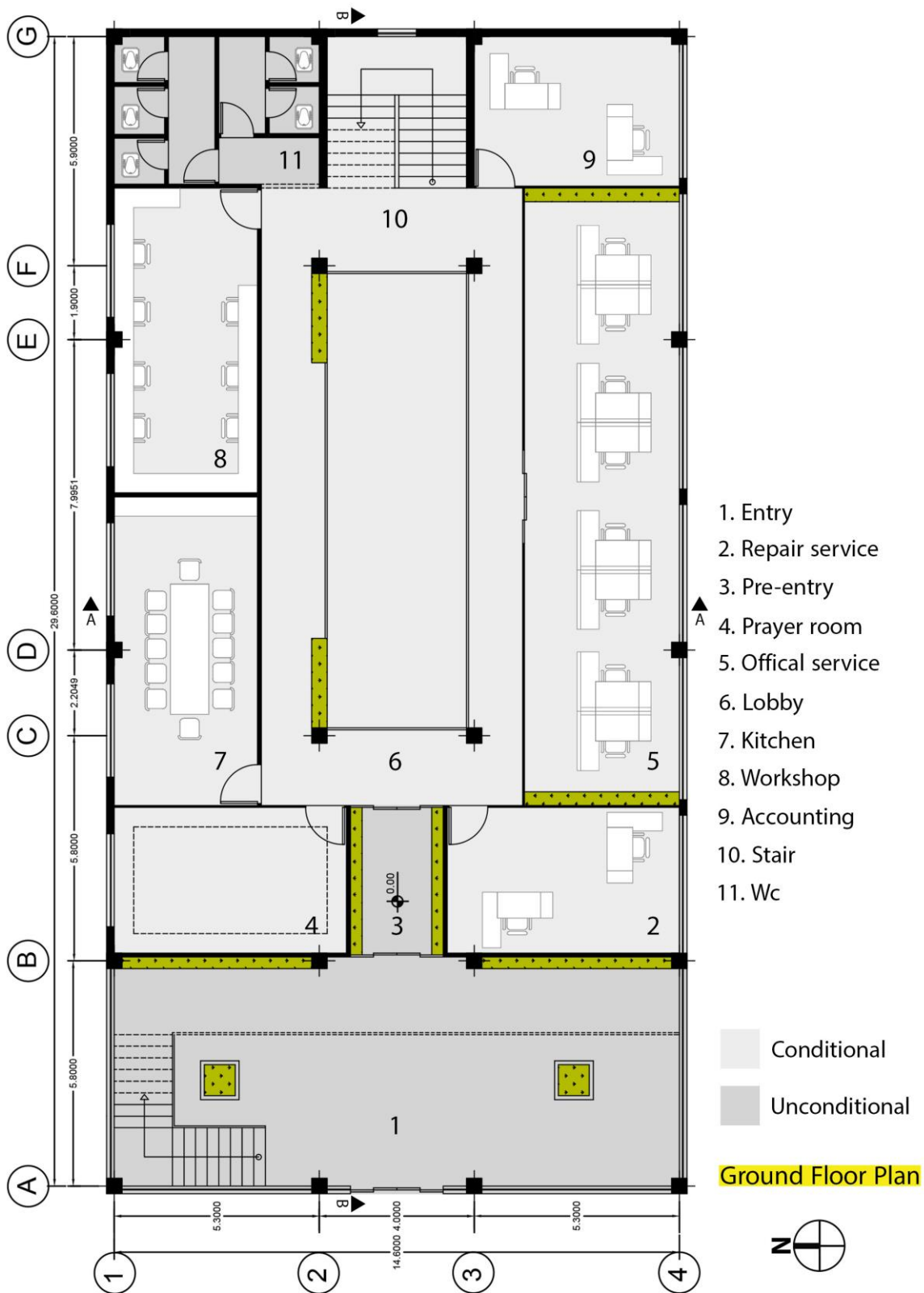
دیاگرام فرآیند طراحی پروژه



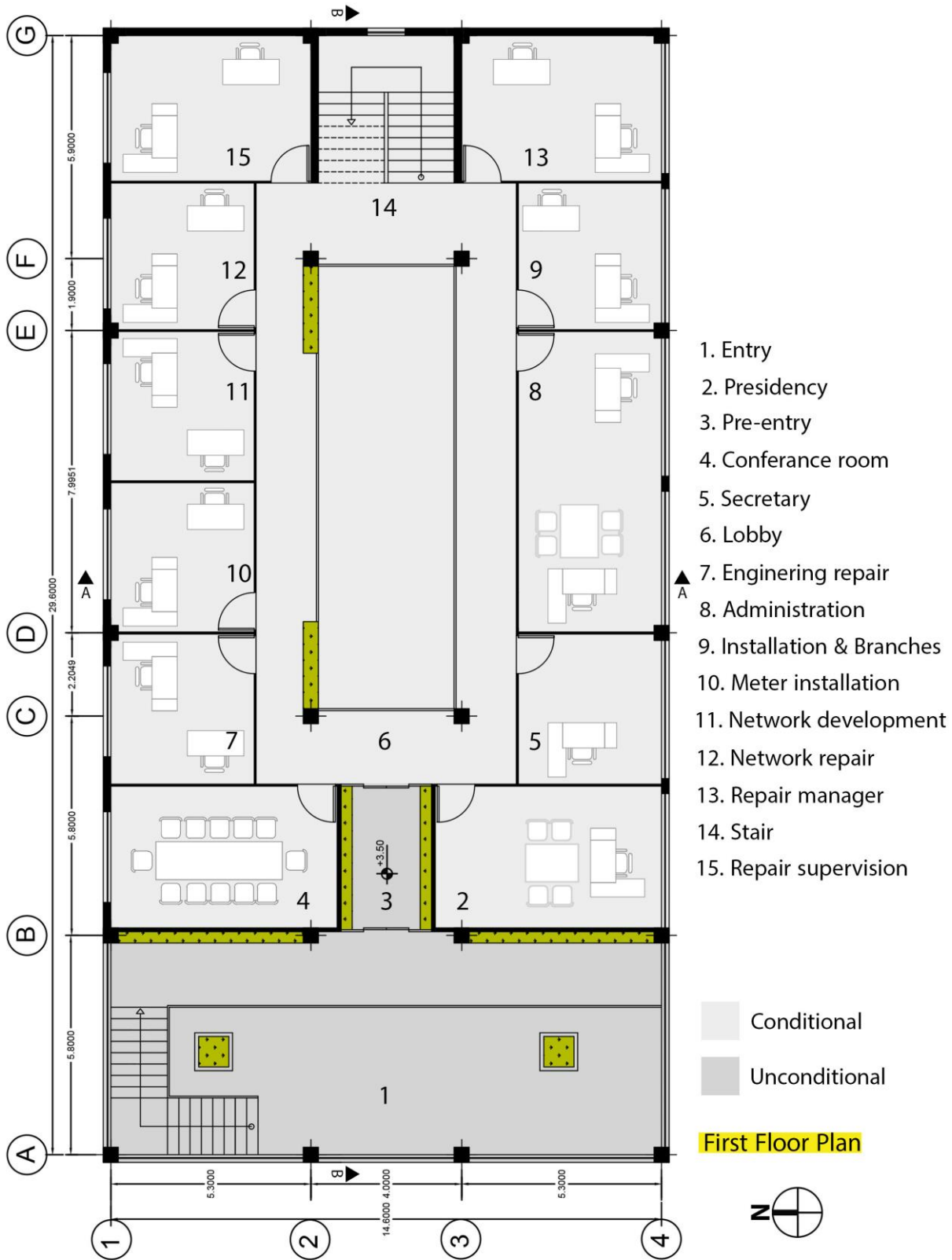
دیاگرام فضایی پروژه



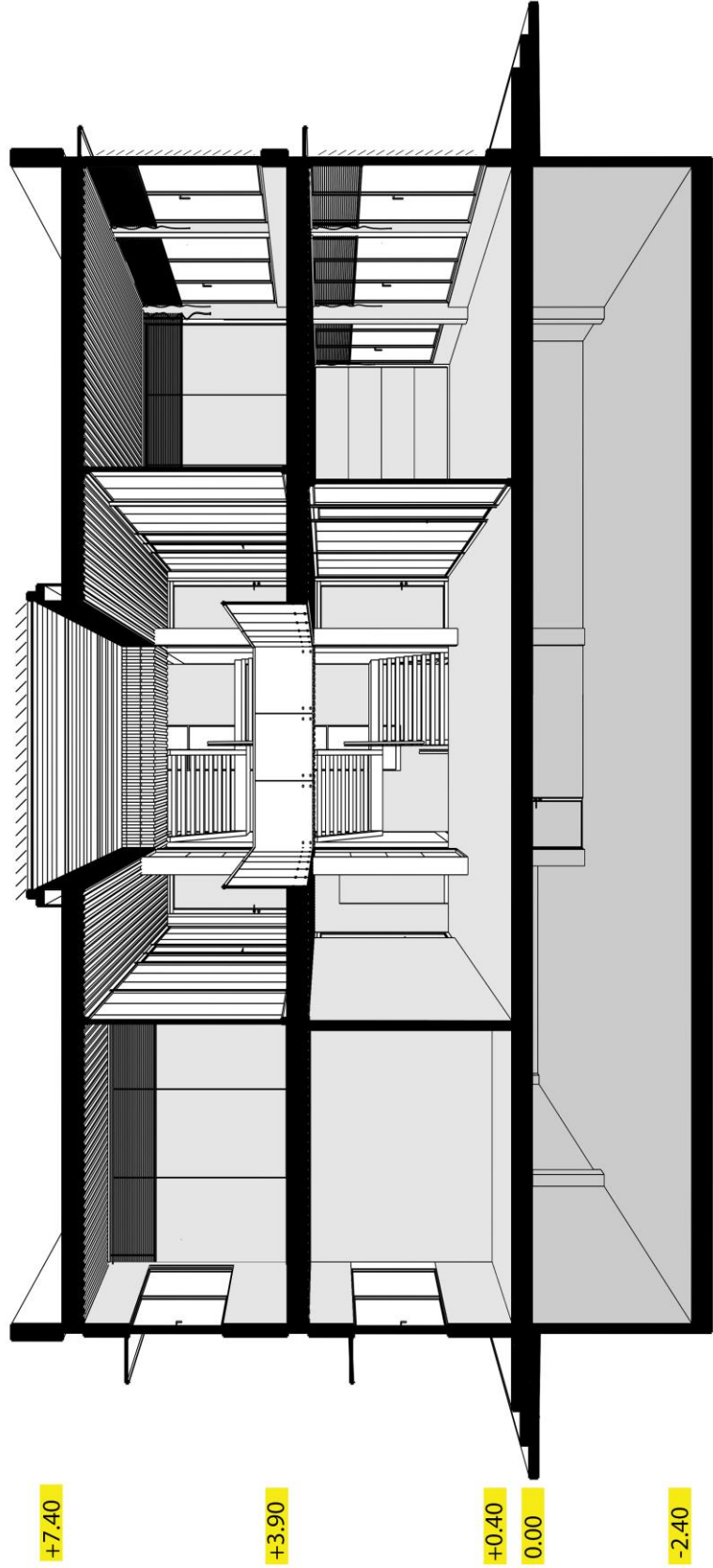
پلان طبقه زیرزمین



پلان طبقه همکف



پلان طبقه اول



Section A-A

+7.40

+3.90

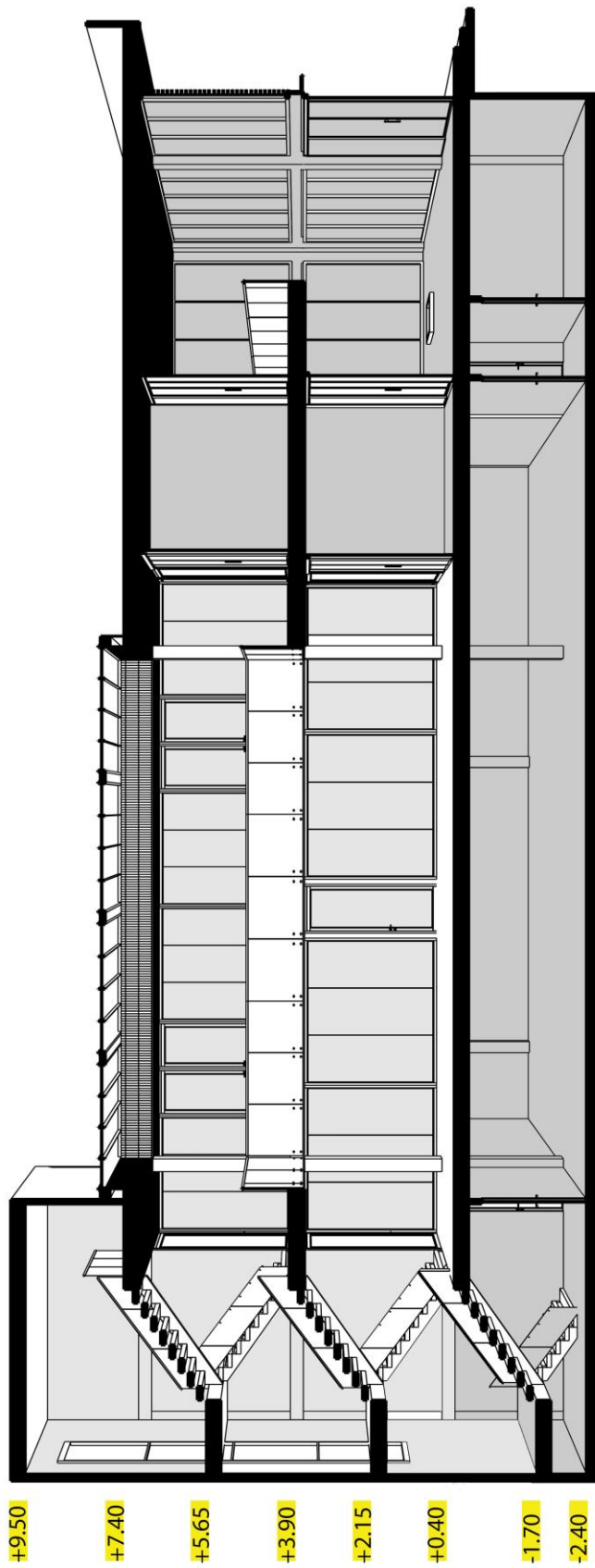
+0.40

0.00

-2.40

مقطع A-A

١٠٥

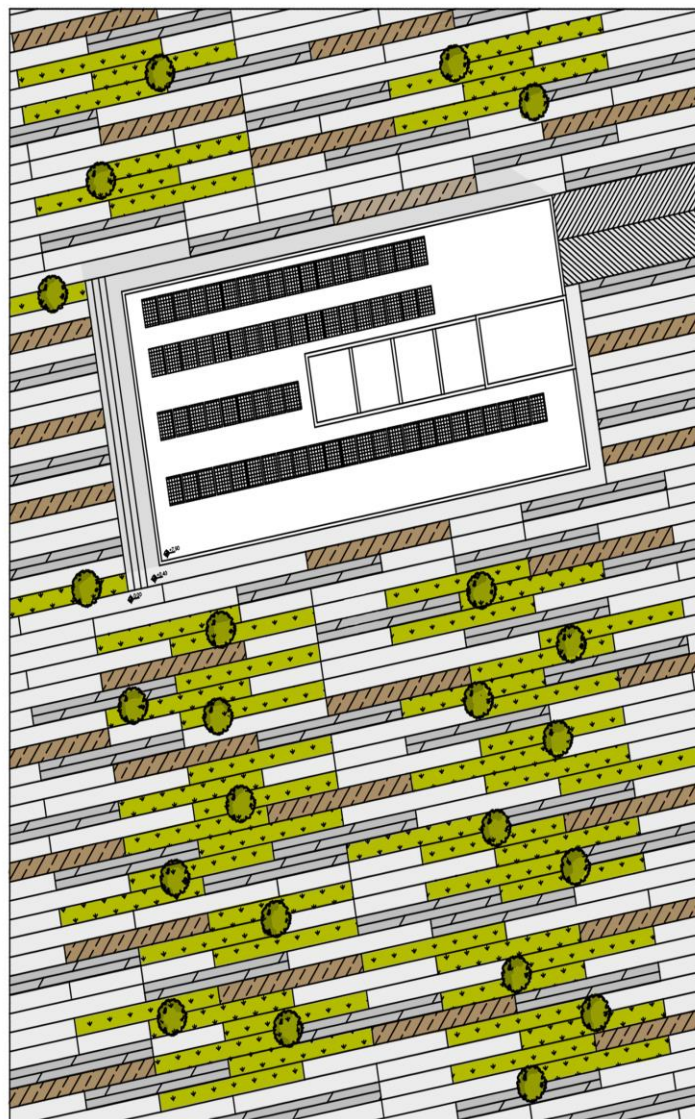


Shahrood Post Office

Third Street

Residential area

South Hafez Street



Side alley

Northeast Mining Company

Imam Khomeini Relief Committee



سایت پلان مجموعه



نما دید غربی



نما دید جنوبی



نما دید شرقی



نما دید شمالی



پرسپکتیو خارجی



پرسپکتیو داخلی - ورودی



پرسپکتیو داخلی - لابی



پرسپکتیو داخلی - فضای کار

مرجع

- [۱] Z. Liu, Y. Liu, B. He, W. Xu, G. Jin and X. Zhang, (۲۰۱۹) "Application and suitability analysis of the key technologies in nearly zero," Renewable and Sustainable Energy, ۱۰۱, page ۳۲۹-۳۴۵
- [۲] L. DHW, L. Yang and J. Lam, (۲۰۱۳) "Zero energy buildings and sustainable development implications—a review," Energy, ۵۴, page ۱-۱۰
- [۳] A. Marszal, P. Heiselberg, J. Bourrelle, E. Musall, K. Voss, I. Sartori and A. Napolitano, (۲۰۱۱) "Zero energy building—a review of definitions and calculation methodologies," Energy and Buildings, ۴۳, page ۹۷۱-۹۷۹
- [۴] C. A. o. B. Research, (۲۰۱۵) "Passive ultra-low energy green building technology guidelines.
- [۵] A. Ghiran and A. Mayer, (۲۰۱۲) "The Move Towards Net Zero Energy Buildings: Experience and Lessons from Early Adopters," Institute for Building Efficiency.
- [۶] S. Boemi, O. Irulegi and M. Santamouris, (۲۰۱۵) "Energy Performance of Buildings: Energy Efficiency and Built Environment in Temperate Climates," Springer.
- [۷] L. Pomfret and A. Hashemi, (۲۰۱۷) "Thermal Comfort in Zero Energy Buildings," Energy Procedia, ۱۳۴, page ۸۲۵- ۸۳۴
- [۸] E. Pikas, M. Thalfeldt and J. Kurnitski, (۲۰۱۴) "Cost optimal and nearly zero energy building solutions for office buildings," Energy and Buildings, ۷۴, page ۳۰- ۴۲
- [۹] P. Congedo, C. Baglivo, D. D'Agostino and Zac, (۲۰۱۵) "Cost-optimal design for nearly zero energy office buildings located in warm climates," Energy, ۹۱, page ۹۶۷-۹۸۲
- [۱۰] M. Hu, (۲۰۱۹) "Does zero energy building cost more?- An empirical comparison of the construction costs for zero energy education building in United States," Sustainable Cities and Society, ۴۵, page ۳۲۴-۳۳۴
- [۱۱] S. Stevanović, (۲۰۱۶) "Parametric study of a cost-optimal, energy efficient office building in Serbia," Energy, ۱۱۷, page ۴۹۲-۵۰۵
- [۱۲] C. Planas, E. Cuerva and P. Alavedra, (۲۰۱۷) "Effects of the type of facade on the energy performance of office," Ain Shams Engineering Journal, ۹, page ۳۳۲۵- ۳۳۳۴
- [۱۳] H. Suh and D. Kim, (۲۰۱۹) "Energy performance assessment towards nearly zero energy community," Sustainable Cities and Society, ۴۴, page ۴۸۸-۴۹۸
- [۱۴] F. Bano and V. Sehgal, (۲۰۱۸) "Evaluation of energy-efficient design strategies: Comparison of the thermal," Solar Energy, ۱۷۶, page ۵۰۶-۵۱۹

- ف. نصرالهی (۲۰۱۵)، ساختمان های اداری انرژی کارا بهره‌وری انرژی با طراحی معماری "، اول، دانشگاه صنعتی برلین، برلین.
- [۱۶] A. van den Dobbelsteen, E. van den Ham, T. Blom and K. Leemeijer, (۲۰۱۹), Zero Energy Design, Delft: TU Delft.
- [۱۷] P. Azadi, A. Nezam Sarmadi, A. Mahmoudzadeh and T. Shirvani, (۲۰۱۷), "The Outlook for Natural Gas, Electricity, and Renewable Energy in Iran," Stanford university, Stanford.
- [۱۸] A. Buonomano, G. De Luca, U. Montanaro and A. Palombo, (۲۰۱۶) "Innovative technologies for NZEBs: An energy and economic analysis tool and a case study of a non-residential building for the Mediterranean climate," Energy and Buildings, ۱۲۱, page ۳۱۸-۳۴۳
- [۱۹] J. Laustsen, (۲۰۰۸) "Energy efficiency requirements in building codes, energy efficiency policies for new buildings," Energy Agency.
- [۲۰] P. Torcellini, S. Pless and M. Deru, (۲۰۰۶) "Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition," in National Renewable Energy Laboratory, Conference: To be presented at ACEEE Summer Study, ۱۴-۱۸ August ۲۰۰۶, Long Beach, California.
- [۲۱] G. Mertz, G. Raffio and K. Kisoock, (۲۰۰۷) "Cost Optimization of Net-zero Energy House," Energy Sustainability Conference, California.
- [۲۲] M. Noguchi, A. Athienitis, V. Delisle and J. Ayoub, (۲۰۰۸) "Net Zero Energy Homes of the Future: A Case Study of the Eco Terra TM House in Canada," Renewable Energy Congress, Glasgow, Scotland.
- [۲۳] P. Hernandez and P. Kenny, (۲۰۱۰) "From net energy to zero energy building: defining life cycle zero energy buildings," Energy and Building, ۴۲, page ۸۱۵-۸۲۱
- [۲۴] T. Esbensen and V. Korsgaard, (۱۹۹۷) "Dimensioning of the solar heating system in the zero energy house in Denmark," Solar Energy, ۱۹, page ۱۹۵-۱۹۹
- [۲۵] S. Rosta, R. Hurt, R. Boehm and M. Hale, (۲۰۰۸) "Performance of a zero-energy house," Journal of Solar Energy engineering Transactions of the ASME.
- [۲۶] T. Hootman, (۲۰۱۲) "Net zero energy building," John Wiley and Sons Inc.
- [۲۷] J. Holst, (۲۰۰۳) "Using Whole Building Simulation Models & Optimizing Procedures To Optimize Building Envelope Design With Respect To Energy Consumption & Indoor Environment," Proceedings of ۸th International IBPSA Conference, Eindhoven, Netherlands.
- [۲۸] ز. زمردیان م. و. تحصیلدوست (۱۳۹۴)، اعتبار سنجی نرم افزارهای شبیه سازی انرژی در ساختمان: با رویکرد تجربی و مقایسه ای، نشریه انرژی ایران، دوره ۱۸ شماره ۴
- [۲۹] ر. وکیلی نژاد، (۱۳۹۸)، بررسی ضرورت آموزش جامع شبیه سازی انرژی به دانشجویان کارشناسی ارشد، فصلنامه آموزش مهندسی ایران، سال بیست و یکم، شماره ۸۳،
- [۳۰] M. Fakhari, (۲۰۱۴) "The effect of energy simulation softwares in design process and its status in sustainable architecture education," Fifth Conference on Architectural Education.

- [۳۱] Z. Zhai, (۲۰۰۶) "Application of computational fluid dynamics in building design: Aspects and Trends," Indoor and Built Environment.
- [۳۲] J. Hensen, (۲۰۰۲) "Simulation for performance based building and systems design: some issues and solution directions," In ۶th International Conference on Design and Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning.
- [۳۳] J. Clarke, (۲۰۰۱) "Energy simulation in building design," Butterworth-Heinemann.
- [۳۴] م. صادقی‌پور، (۱۳۸۷)، کاربرد نرم افزارهای شبیه سازی در طراحی معماری، گامی برای معماری یکپارچه، پایان نامه ارشد، دانشگاه شهید بهشتی.
- [۳۵] C. Morbitzer, (۲۰۰۳) "Towards the integration of simulation into the building design process," PhD Thesis, Department of Mechanical Engineering, Energy System Research Unit, University of Strathclyde.
- [۳۶] J. Hensen, (۲۰۰۴) "Towards more effective use of building performance simulation in design," Developments in Design & Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning, Eindhoven.
- [۳۷] R. Judkoff, D. Wortman, B. O'Doherty and J. Burch, (۲۰۰۸) "A Methodology for Validating Building Energy Analysis Simulations," National Renewable Energy Laboratory.
- [۳۸] D. Coakley, P. Raftery and P. Molloy, (۲۰۱۲) "Calibration Of Whole Building Energy Simulation Models: Detailed Case Study Of A Naturally Ventilated Building Using Hourly Measured Data," Proceedings of First Building Simulation and Optimization Conference UK.
- [۳۹] D. Zhu, H. Tianzhen, Y. Da and W. Chuang, (۲۰۱۳) "detailed loads comparison of three building energy modeling programs: EnergyPlus, DeST and DOE-۲.۱E," Building Simulation Vol. ۶ No. ۳.
- [۴۰] E. Ryan and T. Sanquist, (۲۰۱۲) "Validation of building energy modeling tools under idealized and realistic conditions," Energy and Buildings, ۴۷, page ۱۹۵-۱۹۹
- [۴۱] B. Polly, N. Kruis and D. Roberts, (۲۰۱۱) "Assessing and Improving the Accuracy of Energy Analysis for Residential Buildings," U.S. Department of Energy: Building Technologies Program, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy.
- [۴۲] G. Liu, (۲۰۱۱) "A rapid calibration procedure and case study for simplified simulation models of commonly used HVAC systems," Building and Environment, ۴۶, page ۴۰۹-۴۲۰
- [۴۳] L. Norford, R. Socolow, E. Hsieh and S. Spada, (۱۹۹۴) "Two-to-one discrepancy between measured and predicted performance of a 'low-energy' office building: insights from a reconciliation based on the DOE-۲ model," Energy and Buildings, ۲۱, page ۱۲۱-۱۳۱
- [۴۴] C. Hopfe, (۲۰۰۹) "Uncertainty and sensitivity analysis in building performance simulation for decision support and design optimization, PhD thesis," Technische Universiteit Eindhoven.
- [۴۵] C. Hopfe, G. Augenbroe and J. Hensen, (۲۰۱۳) "Multi-criteria decision making under uncertainty in building performance assessment," Building and Environment, ۶۹, page ۸۱-۹۰

- [۴۶] M. De Wit and G. Augenbroe, (۲۰۰۲) "Analysis of uncertainty in building design evaluations and its implications," *Energy and Buildings*, ۳۴, page ۹۵۱-۹۵۸
- [۴۷] E. Fabrizio and V. Monetti, (۲۰۱۵) "Methodologies and Advancements in the calibration of building energy models," *Energies*.
- [۴۸] Y. Ding, Y. Shen, J. Wang and X. Shi, (۲۰۱۵) "Uncertainty sources and calculation approaches for building energy simulation models," *Energy Procedia*, ۷۸, page ۹۲۵۶۶-۲۵۷۱
- [۴۹] N. Fumo, (۲۰۱۴) "A review on the basics of building energy estimation," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, ۳۱, page ۵۳-۶۰
- [۵۰] مقررات ملی ساختمان مبحث نوزدهم صرفه جویی مصرف انرژی، (۱۳۹۸)
- [۵۱] استاندارد ۱۴۲۵۴ ISIRI ساختمان‌های غیرمسکونی، تعیین معیار مصرف انرژی و دستورالعمل برچسب انرژی، (۱۳۹۰)، سازمان ملی استاندارد ایران
- [۵۲] V. Olgyay, (۱۹۶۳) *Design with Climate, Bioclimatic approach to architectural regionalism*, New Jersey: Princeton University.
- [۵۳] م، کسایی، (۱۳۸۳) اقلیم و معماری، اول، تهران: نشر خاک.
- [۵۴] تعیین شاخص آسایش حرارتی PMV و PPD و معیارهای آسایش حرارتی موضعی (۱۳۹۰)، تهران: سازمان ملی استاندارد ایران.
- [۵۵] راهنمای طراحی سیستم‌های فتوولتائیک به منظور تامین انرژی الکتریکی به تفکیک اقلیم و کاربری، (۱۳۹۰) تهران: وزارت نیرو.
- [۵۶] L. Wells, B. Rismanchi and L. Aye, (۲۰۱۸) "A review of Net Zero Energy Buildings with reflections on the Australian context," *Energy and Buildings*, ۱۵۸, page ۶۱۶-۶۲۸
- [۵۷] Renewables Global Status Report, Paris, (۲۰۱۶).
- [۵۸] "Enabling PV Iran-The Emerging PV Market in Iran," German Solar Association, (۲۰۱۵).
- [۵۹] D. Motalebzadeh, V. Vaziri, N. Bagherzadeh and S. Shahizare, (۲۰۱۵) "Green Architecture a Step Toward Green Living," *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences*.
- [۶۰] S. Chen, C. Chu, M. Cheng and C. Lin, (۲۰۰۹) "The Autonomous House: A Bio-Hydrogen Based Energy Self-Sufficient Approach," *International Journal of Environmental Research and Public Health*.
- [۶۱] H. McManus, (۲۰۰۷), "Passive homes," MosArt Architecture and UCD Energy Research Group.
- [۶۲] S. Hui, (۲۰۰۰) "Low energy building design in high density urban cities," Paper presented at the World Renewable Energy Congress, Brighton.
- [۶۳] H. Nazari, (۲۰۱۴) "Examining the Potential for Design and Renewable Energy to Contribute to Zero Energy Housing in Queensland," Queensland University of Technology.
- [۶۴] H. Erhorn and A. Bergmann, (۲۰۱۴), "What makes an Efficiency House Plus," Berlin: Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety.

- [۶۵] ساختمان های صفر انرژی مولفه ها و راه کارهای رسیدن "(۱۳۹۴)، جهانگیری، تقی پور و م. ش. ریاحی ج. کنفرانس بین المللی دستاوردهای نوین در مهندسی عمران، معماری، محیط زیست و مدیریت شهری "، به آن تهران.
- [۶۶] امکان سنجی طراحی یک واحد همسایگی پایدار با تاکید بر معماری انرژی صفر در "جان زاده، (۱۳۹۴)، ا. قزوین. دانشگاه بین المللی امام خمینی قزوین "، قزوین
- [۶۷] M. Conci, (۲۰۱۴), "A Zero Energy terminal building for Amsterdam Airport Schiphol," Delft University of Technology, delft.

Abstract

The energy crisis, along with growing demand due to population growth, the expansion of cities and industries, is one of the major issues and challenges facing the world in recent years. In addition, the damage caused by this situation has endangered the health of the community, the environment, and the climate. The construction industry, along with other industries, has a large share of energy consumption. However, most of these costs are used in the non-productive sector, which has no added value for the country. Therefore, paying attention to the issue of energy in the construction sector becomes a higher priority. Accordingly, by focusing on the evaluation of energy performance in the building during the design process, a major part of this need can be identified and controlled. Zero energy buildings are one of the best solutions in this process. The purpose of this study is to evaluate the zero energy building and the feasibility of realizing this concept. Therefore, with the priority of cost-effective solutions to reduce energy demand to achieve an office building based on the concept of zero energy, studies have been done in Shahroud.

In this research, to investigate the effect of building physics and effective components on energy consumption, design builder software has been used. Also, to design the zero energy building to obtain accurate information based on real conditions, a base building has been selected to control the outputs and ensure the accuracy of the simulation results. To validate the results, field harvesting of building physics information, surface temperature, and energy consumption of Shahroud Gas Department has been done. The design process is followed by the analysis of climate data and using passive solutions, energy efficiency solutions, and renewable energy production systems. According to the results, the energy consumption of the Shahroud Gas Department has increased from 30.1 kWh/m^2 with a basic design to 54.7 kWh/m^2 , which indicates a saving of more than 45% in energy consumption. Also, at the end of this process, a balance between energy demand and production is established with the photovoltaic panel system, which has made it possible to achieve zero energy building.

Keywords: Zero Energy Building, Building Energy Performance Evaluation, Energy Simulation



Shahrood University of
Technology

Faculty of Architectural Engineering and Urbanism

Thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of M.Sc. in
Architecture Engineering

Design of office building with zero energy approach

By: Mohammadreza Morovati

Supervisor:
Dr. Masoud Taheri Shahraeini

Advisor:
Dr. Elham Sarkardehi

October ۲۰۲۱