http://mechanics.journals.modares.ac.ir

مجله علمی پژوهشی
مهندسی مکانیک مدرس
دوره ۱۲ شماره ۴ آبان ۱۳۹۱ ص ص ۹۱-۱۰۴

تاریخچه مقاله:
دریافت ۹۰/۱۲/۱۴
پذیرش ۹۱/۲/۲۶
ارائه در سایت ۹۱/۶/۳۰

روش‌های مناسب بهینه‌سازی مصرف انرژی در یک ساختمان دانشگاهی در تبریز

عبدالسلام ابراهیم پور[۱*]، یوسف کریمی واحد[۲]

۱- استادیار مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، تبریز
۲- کارشناس ارشد مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران
* تبریز، صندوق پستی ۵۱۵۸۹، salam_ebr@yahoo.com

چکیده- مصرف انرژی برای برقرارکردن شرایط آسایش در ساختمان‌ها زیاد می باشد. بنابراین، بررسی راه‌های کاهش مصرف انرژی و یا ذخیره آن ضروری می‌باشد. قبل از هر کاری باید میزان این انرژی مصرفی سنجیده شود. یکی از راه‌های به‌دست آوردن مقدار آن استفاده از برنامه‌های شبیه‌سازی مصرف انرژی می‌باشد. در این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار انرژی پلاس مصرف انرژی برای یک ساختمان آموزشی واقع در شهر تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، به‌دست آورده شده که با توجه به گونه‌بندی جغرافیایی این ساختمان در تبریز در گروه ساختمان‌های با مصرف انرژی زیاد قرار دارد. بر روی این ساختمان تغییرات مختلفی جهت کاهش مصرف انرژی انجام شده و نتایج نشان می‌دهند که در ساختمان بهینه‌سازی شده، میزان مصرف انرژی در کل ساختمان، در زمستان حدود ۳۵ درصد، در تابستان حدود ۴۴ درصد و در کل سال ۴۰ درصد (یعنی ۳/۸۲ E+۱۲ ژول) کاهش پیدا کرده است. همچنین تغییرات در ساختمان فوق طوری اجرا شده است که کمترین هزینه ممکن به‌وجود آید. بنابراین، حتی در ساختمانی که از لحاظ مصرف انرژی مناسب طراحی شده است نیز می‌توان مصرف انرژی را کاهش داد.

کلیدواژگان: شبیه‌سازی، مصرف انرژی، ساختمان آموزشی، نرم افزار انرژی پلاس

The best methods to optimize energy consumption for an educational building in Tabriz

A. Ebrahimpour[1*], Y. Karimi Vahed[2]

1- Assis. Prof., Mech. Eng., Tabriz Branch, Islamic Azad Univ., Tabriz, Iran
2- MSc., Civil Eng., Science and Research Branch, Islamic Azad Univ., Tehran, Iran
* P. O. B. 51589 Tabriz, Salam_ebr@yahoo.com

Abstract- Energy consumption is very much to achieve comfort condition in buildings. Therefore, using and finding methods are necessary to reduce building energy consumption. First, the building energy consumption must be calculated. Computer Simulation is a method to calculate building energy consumption. In this paper energy consumption of an education building has been calculated using Energyplus software in Isalmic Azad University Tabriz branch. This building has more energy consumption according to geographical type of Tabriz city. Several parameters of this building have been changed to reduce building energy consumption. The result shows that, in optimized building, energy consumption reduces about 35 percent in winter, about 42 percent in summer and about 40 percent (3.82E+12 joule) in year. In addition, the building parameters had been changed according to minimum building cost. So, we can even reduce energy consumption in a building that designed good based on energy consumption.

Keywords: Simulation, Energy Consumption, Education Building, Energyplus Software

Archive of SID

www.SID.ir

۱- مقدمه

پیشرفت زیاد نرم‌افزارهای کامپیوتری و استفاده از آن‌ها در طراحی ساختمان، روش طراحی سیستم تهویه مطبوع و تاسیسات ساختمان را برای مهندسان و معماران تغییر داده است. در گذشته محاسبات طراحی سیستم تهویه مطبوع و تاسیسات بر مبنای تخمین بارهای حداکثر استوار بود که برای محاسبه این بارها از روش‌های دستی و ساده استفاده می‌شد. امروزه، علاوه بر محاسبه بارها، ضروری است که در مرحله طراحی، آنالیز انرژی نیز در ساختمان مورد توجه قرار گیرد. به عبارت دیگر، برای کاهش مصرف انرژی، ضروری است که مقادیر پارامترهای مؤثر در انرژی ساختمان محاسبه شوند.

از برنامه‌های شبیه‌سازی مصرف انرژی قبل از ساختن ساختمان و یا ایجاد تغییرات در آن بعد از ساخت می‌توان استفاده نمود و هزینه مصرف انرژی را برآورد نمود. همچنین، می‌توان دید که تغییرات انجام‌شده در ساختمان چه تاثیری بر مصرف انرژی ساختمان داشته است. با استفاده از این برنامه‌ها می‌توان طراحی‌های مختلف و همچنین مواد مختلفی را برای ساختار ساختمان قبل و یا بعد از ساخت مورد بررسی قرار داد تا بهترین حالت از لحاظ ذخیره و مصرف انرژی به‌دست آید[۱،۲].

برنامه‌های کامپیوتری زیادی برای آنالیز حرارت ساختمان و مصرف انرژی به‌دست آمده‌اند و همچنین این برنامه‌ها روز به روز در حال افزایش می‌باشند. استفاده از این برنامه‌ها از سال ۱۹۸۰ به بعد در دانمارک و چندین کشور دیگر شروع شده است. این برنامه‌ها به طور کلی دو نوع می‌باشند: برنامه و کدهای باز، و برنامه‌های اختصاصی. برنامه‌های باز به برنامه‌هایی گفته می‌شود که می‌توان، با اندک تغییراتی در داده‌های ورودی، آن‌ها را برای انواع مختلف ساختمان‌ها با ساختارهای مختلف و اقلیم‌های متفاوت به‌کار برد. بیشتر برنامه‌های شناخته‌شده از نوع کدهای باز هستند (مانند دی او ای[1]، بلاست[2] و ترنسیس[3]) در این برنامه‌ها محل ساختمان، ترکیبات ساختمان، داده‌های اقلیمی و سیستم‌های حرارتی و تهویه و غیره باید به عنوان ورودی به برنامه داده شوند تا محاسبات انرژی انجام پذیرد. البته اگر هزینه‌های سیکل زندگی در ساختمان نیز خواسته شود، باید داده‌های اقتصادی و مدت زمان استفاده از ساختمان نیز به برنامه داده شود. بعضی از برنامه‌های موجود مانند دی او ای، بلاست، ترنسیس، بستا[4]، ای اس پی آر[5] و بانیپ[6] قادر هستند که مدل ساختمان را به صورت کامل مورد تحلیل قرار دهند، اما برای استفاده از آن‌ها نیاز به داده‌های ورودی زیاد می‌باشد[۳،۴].

۲- نرم‌افزار انرژی پلاس

در این تحقیق، برای محاسبه میزان مصرف انژی از شبیه‌سازی عددی در نرم‌افزار انرژی پلاس[7] [۵] استفاده شده است. انرژی پلاس نرم‌افزار جدیدی برای شبیه‌سازی مصرف انرژی ساختمان است که بر اساس ترکیبی از برنامه‌های دی او ای و بلاست عمل می‌کند. این برنامه محاسبه تغییرات مصرف انرژی ساختمان را در زمان‌های کوتاه‌تر از یک ساعت انجام می‌دهد و تحلیل و محاسبات بر اساس تعادل حرارتی در کل ناحیه شبیه‌سازی صورت می‌گیرد. در برنامه انرژی پلاس، می‌توان با طراحی کل ساختمان، در هر یک از دیوارهای مورد نظر، پنجرهٔ و سایبان دلخواه را طراحی و میزان انرژی عبوری از پنجرهٔ را برای گام‌های مشخص زمانی از یک ساعت تا یک سال محاسبه کرد. البته برای این منظور لازم است داده‌های آب‌وهوایی (دما، فشار، سرعت و جهت باد، شدت تابش و غیره) مربوط به بازه زمانی مورد نظر به برنامه داده شود. سایر خصوصیات این نرم‌افزار را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

۱- این نرم‌افزار آنالیز انتقال حرارت را به صورت ناپایدار و در کل سال برای زمان‌های کوتاه‌تر از یک ساعت (هر ۱۰ دقیقه) انجام می‌دهد. ۲- در این نرم‌افزار برای درنظر گرفتن اثرات تشعشع و همرفت در روی سطوح داخلی از مدل‌های مختلفی استفاده شده است. ۳- در این نرم‌افزار می‌توان، با ارائه داده‌های اقلیمی به صورت ساعتی به نرم‌افزار، آنالیز را برای کل سال و یا برای یک روز مشخص اجرا نمود. ۴- در این نرم‌افزار کل ساختمان باید به صورت سه‌بعدی طراحی گردد. ۵- این نرم‌افزار توانایی تعریف منابع حرارتی موجود در داخل ساختمان (افراد، وسایل الکتریکی و غیره) را دارد. ۶- در این نرم‌افزار

1. Doe
2. Blast
3. Transys

4. Besta
5. Esp-r
6. Bunip
7. Energyplus

Archive of SID
www.SID.ir

سطوح خارجی را می‌توان به دلخواه تعریف نمود و اثرات سایه این سطوح را بر روی ساختمان به‌دست آورد.

برنامه‌های شبیه‌سازی معمولا محاسبات را به صورت ساعتی برای تعیین شرایط داخلی ساختمان انجام می‌دهند. این کار مستلزم استفاده از داده‌های آب‌وهوایی[1] می‌باشد. این داده‌های اقلیمی نباید به صورت میانگین در سال یا فقط برای قسمتی از سال باشند، بلکه باید روزانه و در تمام ۸۷۶۰ ساعت سال مشخص باشند. نوع فایل داده‌های مورد استفاده در نرم‌افزارهای مختلف متفاوت می‌باشد. مثلاً برنامه انرژی پلاس داده‌های ورودی را به صورت ای پی دبیلیو[2] می‌گیرد[۶]. برای شبیه‌سازی انرژی در ساختمان، معمولا ۱۰ تا ۱۳ پارامتر اقلیمی (میزان تابش خورشیدی، دمای هوا، رطوبت نسبی، ارتفاع از سطح دریا، سرعت و جهت باد، فشار هوا و غیره) مورد نیاز است. در این تحقیق، از داده‌های نمونه هوایی ای پی دبیلیو، که توسط مجری طرح در یک تحقیق قبلی تهیه شده است[۷]، استفاده شده است. البته این داده‌های تولید برای ۶ شهر ایران به تایید سازمان انرژی آمریکا رسیده شده و در سایت نرم‌افزار انرژی پلاس هم گذاشته شده است[۸].

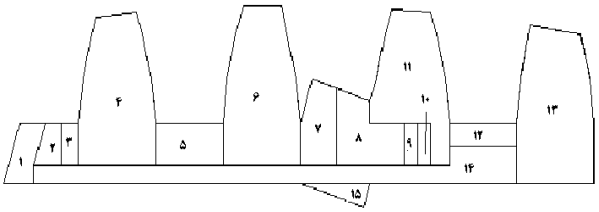
۳- مشخصات ساختمان مورد نظر

در این قسمت مشخصات ساختمان مورد نظر که در این تحقیق بررسی شده آورده شده است. ساختمان مورد نظر ساختمان علامه امینی (ساختمان ۵۸ کلاسه) واقع در دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، شهر تبریز است. با توجه به گونه‌بندی جغرافیایی این ساختمان در گروه ساختمان‌های با مصرف انرژی زیاد قرار می‌گیرد.

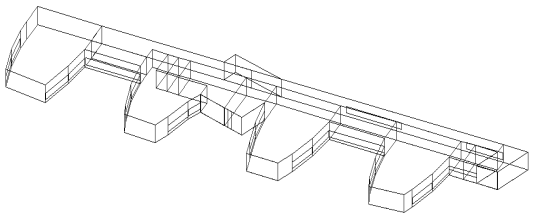
۳-۱- مشخصات هندسی

این ساختمان از ۴ طبقه تقریبا هم‌شکل و یک طبقه پشت‌بام متفاوت تشکیل شده است. مساحت کف آن در حدود ۲۵۰۰ متر مربع بوده و با دردست داشتن نقشه‌های ساختمانی، در نرم‌افزار انرژی پلاس مدل‌سازی شده است. نمای مدل‌سازی شده ساختمان در شکل‌های ۱ تا ۵ آورده شده است. مدل‌سازی ساختمان به طور کامل با درنظر گرفتن تمام پنجره‌ها، درب‌ها و سایبان انجام شده است.

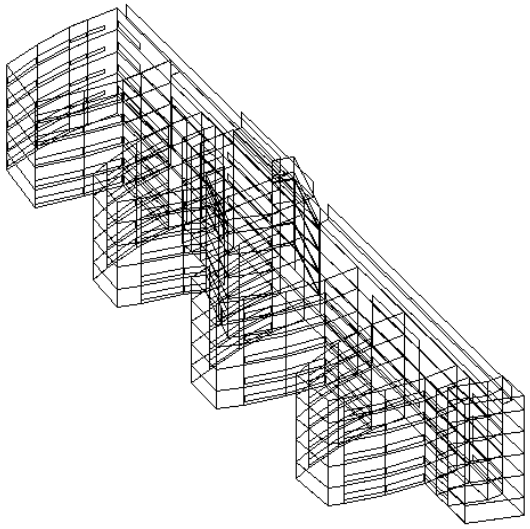
1. Weather data
2. Epw



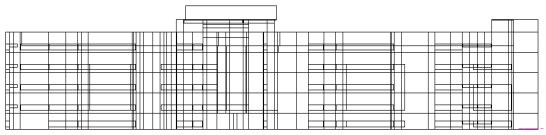
شکل ۱ دید از بالا و تقسیم‌بندی ساختمان



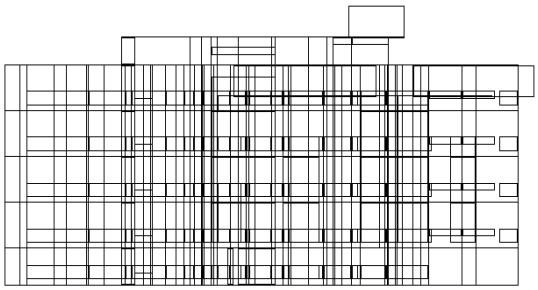
شکل ۲ نمای سه‌بعدی طبقه اول



شکل ۳ نمای سه‌بعدی کل ساختمان



شکل ۴ دید از روبه‌رو کل ساختمان



شکل ۵ نمای جانبی کل ساختمان

www.SID.ir

۳-۲- مشخصات حرارتی اجزای ساختمان

مشخصات اجزای (جدارها و درب) این ساختمان در جدول ۱ آمده است. همچنین، تمام پنجره‌های ساختمان با شیشه دوجداره بوده که مشخصات آن در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۱ مشخصات اجزای ساختمان

جنس لایه	ظرفیت گرمایی	دانسیته	ضریب هدایت	ضخامت
از داخل به خارج	ژول/کیلوگرم‌کلوین	کیلوگرم/مترمکعب	وات/مترکلوین	سانتی‌متر
دیوار خارجی				
نازک‌کاری	۷۸۰	۱۸۶۰	۰/۷۲	۲/۵۰
بلوک بتنی	۸۸۰	۲۳۰۰	۱/۴۰	۱۰
پشم شیشه	۷۰۰	۲۴	۰/۰۳۸	۵
بلوک بتنی	۸۸۰	۲۳۰۰	۱/۴۰	۱۰
ملات سیمانی	۷۸۰	۱۸۶۰	۰/۷۲	۳
آجر نما	۸۴۰	۳۰۰۰	۲/۲۰۰	۵
دیوار داخلی				
نازک‌کاری	۷۸۰	۱۸۶۰	۰/۷۲	۲/۵۰
بلوک بتنی	۸۸۰	۲۳۰۰	۱/۴۰	۱۰
هوا	۱۰۰۰	۱/۱۷۰	۰/۰۲۵	۵
بلوک بتنی	۸۸۰	۲۳۰۰	۱/۴۰	۱۰
نازک‌کاری	۷۸۰	۱۸۶۰	/۷۲	۲/۵۰
بام				
نازک‌کاری	۷۸۰	۱۸۶۰	۰/۷۲	۲/۵۰
بلوک بتنی	۸۸۰	۲۳۰۰	۱/۴۰	۲۵
بتن سبک	۸۸۰	۲۳۰۰	۱/۴۰	۵
پشم شیشه	۷۰۰	۲۴	۰/۰۳۸	۲/۵۰
بتن سبک	۸۸۰	۲۳۰۰	۱/۴۰	۱۰
ماسه نخودی	۸۰۰	۱۵۱۵	۰/۲۷	۲
سنگ شنی	۷۴۵	۲۱۵۰	۲/۹۰	۲
آسفالت	۹۲۰	۲۱۱۵	۰/۰۶۲	۲
سقف طبقات				
نازک‌کاری	۷۸۰	۱۸۶۰	۰/۷۲	۶
تیرچه بلوک	۸۸۰	۲۳۰۰	۱/۴۰	۲۵
بتن سبک	۸۸۰	۲۳۰۰	۱/۴۰	۲
ملات سیمانی	۷۸۰	۱۸۶۰	/۷۲	۱۰
موزاییک	۷۴۵	۲۱۵۰	۲/۹۰	۲.۵
کف				
نازک‌کاری	۷۸۰	۱۸۶۰	۰/۷۲	۶
بتن سبک	۸۸۰	۲۳۰۰	۱/۴۰	۲
ملات سیمانی	۷۸۰	۱۸۶۰	/۷۲	۱۰
موزاییک	۷۴۵	۲۱۵۰	۲/۹۰	۲/۵
درب فلزی	۴۶۵	۷۸۳۳	۵۴	۵
درب شیشه‌ای	۷۵۰	۲۵۰۰	۱/۴۰	۵

جدول ۲ مشخصات پنجره‌های ساختمان

ضخامت شیشه میلی‌متر (لایه خارجی و داخلی)	۶
ضریب عبور خورشیدی در تابش عمود	۰/۸۳۴
ضریب انعکاس خورشیدی در تابش عمود رو به تابش	۰/۰۷۵
ضریب انعکاس خورشیدی در تابش عمود پشت به تابش	۰/۰۷۵
ضریب عبور نور مرئی در تابش عمود	۰/۸۹۹
ضریب انعکاس نور مرئی در تابش عمود رو به تابش	۰/۰۸۳
ضریب انعکاس نور مرئی در تابش عمود پشت به تابش	۰/۰۸۳
ضریب عبور فروسرخ در تابش مستقیم	۰
ضریب گسیل نیمکروی فروسرخ رو به تابش	۰/۸۴
ضریب گسیل نیمکروی فروسرخ پشت به تابش	۰/۸۴
ضریب هدایت حرارتی (وات/متر.کلوین)	۱
ضخامت حفره میلی‌متر (گاز هوا)	۶

۳-۳- تعداد افراد و تجهیزات داخل ساختمان

الف) تعداد افراد

تعداد افرادی که در یک ساختمان اداری همانند دانشگاه حضور دارند به طور دقیق مشخص نیست و از آنجایی که در نرم‌افزار انرژی پلاس حضور افراد برای برآورد دقیق مصرف انرژی باید به طور ساعتی مشخص گردد، در این تحقیق از پیشنهادات ارائه-شده در خود نرم‌افزار انرژی پلاس استفاده شده است. به این صورت که به ازای هر متر مربع کف اتاق برای کلاس‌های درس ۰/۳ فرد و برای سایر اتاق‌ها ۰/۱ فرد، به عنوان بیشترین تعداد حاضر در ساختمان، درنظر گرفته شده است. همچنین، درصد حضور این افراد به صورت ساعتی برای کل سال ثابت و به صورت جدول ۳ فرض شده است.

جدول ۳ درصد حضور افراد به صورت ساعتی

	درصد حضور افراد
از ساعت ۲۴ تا ۷	۰
از ساعت ۷ تا ۸	۵
از ساعت ۸ تا ۹	۷۵
از ساعت ۹ تا ۱۱	۹۰
از ساعت ۱۱ تا ۱۵	۸۰
از ساعت ۱۵ تا ۱۶	۴۵
از ساعت ۱۶ تا ۱۷	۲۵
از ساعت ۱۷ تا ۱۸	۱۵
از ساعت ۱۸ تا ۱۹	۵
از ساعت ۱۹ تا ۲۴	۰

Archive

www.SID.ir

ب) روشنایی

میزان روشنایی بر اساس پیشنهادات ارائه‌شده در نرم‌افزار انرژی پلاس برای یک ساختمان آموزشی مانند دانشگاه، به ازای هر متر مربع کف اتاق، ۱۶ وات درنظر گرفته شده است. همچنین، درصد روشنایی در طول روز به صورت جدول ۴ فرض شده است.

جدول ۴ درصد روشنایی به صورت ساعتی

	درصد روشنایی
از ساعت ۲۴ تا ۷	۲
از ساعت ۷ تا ۸	۳۰
از ساعت ۸ تا ۹	۸۵
از ساعت ۹ تا ۱۲	۹۵
از ساعت ۱۲ تا ۱۵	۸۰
از ساعت ۱۵ تا ۱۶	۷۰
از ساعت ۱۶ تا ۱۸	۵۰
از ساعت ۱۸ تا ۲۱	۳۵
از ساعت ۲۱ تا ۲۲	۳۰
از ساعت ۲۲ تا ۲۴	۲

ج) وسایل الکتریکی و غیره

برای اتاق‌های که دارای وسایل الکتریکی بوده (مانند اتاق برق)، به ازای هر متر مربع کف اتاق، ۴ وات و همچنین برای اتاق‌های که دارای وسایل تهویه مطبوع (مثلاً دستگاه هواساز) و یا موتورخانه می‌باشند، به ازای هر مترمربع کف اتاق، ۱۶ وات درنظر گرفته شده است که مجموعاً برای ۸ اتاق این قسمت فرض شده است.

د) نفوذ طبیعی

نفوذ طبیعی هوا به داخل اتاق باعث تغییر دما و نسبت رطوبت هوای داخل می‌گردد. در این قسمت، با توجه به میزان دیوارهای مجاور هوای خارج برای هر اتاق، مقدار نفوذ درنظر گرفته شده است. به این صورت که برای اتاق‌هایی که ۴ دیوار مجاور خارج دارند میزان ۲ تعویض در ساعت، برای ۳ دیوار مجاور خارج ۱/۵ تعویض، برای ۲ دیوار مجاور خارج ۱ تعویض و برای اتاق‌های داخلی ۰/۵ تعویض در ساعت فرض شده است.

۴- روش انجام تحقیق و نتایج

پس از مدل‌سازی ساختمان مورد نظر بر روی این ساختمان تحقیقات مختلفی انجام شده است که در ادامه به‌ترتیب آورده شده‌اند.

۴-۱- تقسیم‌بندی و بررسی کنترل نشده ساختمان

با توجه به نقشه ساختمان و با توجه به کاربرد هر یک از اتاق‌های ساختمان فوق در هر طبقه، ساختمان به اتاق‌های همانند شکل ۱ تقسیم‌بندی[1] شده است. این تقسیم‌بندی به این صورت انجام شده که اتاق‌هایی که تقریبا هم‌دما هستند به صورت یک فضا یا یک اتاق فرض شده‌اند. تمام چهار طبقه ساختمان یک‌شکل فرض شده و به ۱۵ اتاق در هر طبقه تقسیم‌بندی شده است. البته فضای ۱۵ که ورودی ساختمان بوده و به صورت شیشه‌ای است در طبقه زیرزمین وجود ندارد و طبقه پشت‌بام هم فقط دارای اتاق‌های ۱، ۷ و ۸ است.

هدف از این قسمت میزان توانایی ساختمان فوق در حالت بدون کنترل (بدون سیستم تهویه مطبوع) می‌باشد. در این قسمت ساختمان مورد نظر به صورت کنترل‌نشده، یعنی بدون وجود هیچ‌گونه سیستم سرمایش یا گرمایشی، مدل‌سازی شده و دمای میانگین داخل برای هر یک از اتاق‌ها به صورت ساعتی (در ۸۷۶۰ ساعت سال) محاسبه شده است. سپس تعداد ساعاتی که یک فرد در کل سال در این ساختمان دارای آسایش است به‌دست آمده است. شرایط آسایش دمای بین ۲۱ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد فرض شده است. نتایج این قسمت در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵ تعداد ساعات آسایش (کنترل‌نشده)

	اتاق ۱	اتاق ۲	اتاق ۳	اتاق ۴	اتاق ۵	اتاق ۶	اتاق ۷
طبقه ۳	۶۸۶	۷۱۱	۷۴۹	۹۰۳	۶۵۳	۸۹۹	۱۰۳۲
طبقه ۲	۷۶۵	۹۶۷	۹۸۴	۱۱۵۸	۹۰۰	۷۶۵	۷۶۵
طبقه ۱	۸۴۳	۹۸۶	۹۹۱	۱۰۵۵	۹۴۳	۱۰۶۳	۸۴۳
همکف	۹۲۷	۹۶۱	۹۷۲	۱۰۵۴	۱۰۸۰	۱۰۹۰	۹۲۷
زیرزمین	۹۹۷	۹۰۳	۹۳۶	۱۰۸۳	۱۰۵۴	۱۰۶۱	۹۹۷
پشت‌بام	۵۷۶	-	-	-	-	-	۵۷۶

	اتاق ۸	اتاق ۹	اتاق ۱۰	اتاق ۱۱	اتاق ۱۲	اتاق ۱۳	اتاق ۱۴	میانگین کل
	۷۷۹	۹۸۱	۹۴۴	۱۱۴۹	۶۲۰	۱۱۳۶	۶۷۱	۸۵۱
	۹۸۴	۱۱۵۸	۹۰۰	۷۶۵	۹۶۷	۹۸۴	۱۱۵۸	۹۵۹
	۷۸۵	۱۰۱۷	۱۰۶۰	۱۱۴۲	۸۳۸	۱۱۱۱	۸۸۳	۹۷۹
	۸۳۴	۱۲۴۸	۱۱۶۸	۱۰۷۴	۹۵۱	۱۰۴۸	۹۳۰	۱۰۲۷
	۹۹۷	۱۴۳۵	۱۴۲۶	۹۵۴	۹۳۵	۹۴۹	-	۱۰۵۹
	۷۸۹	-	-	-	-	-	-	۷۵۵

1. Zone

www.SID.ir

با توجه به این جدول، دیده می‌شود که طبقه زیرزمین بیشترین آسایش (۱۰۵۹ ساعت از ۸۷۶۰ ساعت یعنی ۱۲ درصد در کل سال) و طبقه سوم بدترین آسایش (۸۵۱ ساعت از ۸۷۶۰ ساعت یعنی ۹/۷ درصد در کل سال) را دارد. همچنین کل ساختمان هم ۹۳۸ ساعت از ۸۷۶۰ ساعت یعنی ۱۰/۷ درصد در کل سال آسایش دارد و این به دلیل ساختار خوب مصالح ساختمان و استفاده از عایق حرارتی است. همچنین، به طور کلی بهترین اتاق ۱۱ و بدترین اتاق ۱۴ (راه‌رو) است.

۴-۲- اجرای سیستم ایدئال

با توجه به عدم دردست داشتن اطلاعات دقیق از سیستم تهویه مطبوع ساختمان، برای بررسی دقیق تاثیر پارامترهای مصرف انرژی، فرض گردیده است که سیستم تهویه مطبوع توسط سازنده ساختمان به صورت درست طراحی شده و توانایی جبران بارهای سرمایی و گرمایی را در تمام ساختمان و کل سال دارد. با توجه به مطالب فوق سیستمی برای ساختمان فوق در نرم‌افزار انرژی پلاس به نام سیستم ایدئال[1] فرض گردید. این سیستم به این صورت است که توانایی جبران بارهای سرمایی و گرمایی را در هر زمان از سال برای ساختمان فوق دارد و دمای ساختمان را در دمای دلخواه نگه می‌دارد. بنابراین، در این تحقیق اقدمات بهینه‌سازی سیستم تأسیسات گرمایی، سرمایی و تهویه مطبوع درنظر گرفته نشده است.

۴-۳- محاسبه مصرف انرژی ساختمان

در این قسمت میزان مصرف انرژی برای ثابت نگه‌داشتن دمای کل ساختمان در دمای ۲۳ درجه سانتی‌گراد به صورت ساعتی محاسبه شده است. میزان مصرف انرژی به طور ماهیانه در جدول ۶ آورده شده است. البته قابل توجه است که اتاق‌های پشت‌بام (اتاق ۷ و ۸ به غیر از اتاق ۱) و اتاق ۱۵ یعنی راهرو ورودی کل ساختمان، با توجه به اینکه دارای سیستم تهویه مطبوع نیستند، به صورت کنترل نشده فرض گردیده است. با توجه به نتایج دیده می‌شود که طبقه زیرزمین کمترین مصرف انرژی و طبقه سوم بدترین مصرف انرژی را دارد. همچنین کمترین مصرف انرژی در ماه آوریل و بیشترین مصرف انرژی در ماه ژانویه می‌باشد.

1. Ideal Loads Air System

جدول ۶ مصرف انرژی کل در حالت کنترل‌شده (ژول)

	طبقه۱	طبقه۲	طبقه۳	همکف	زیرزمین	پشت بام	کل ساختمان
ژانویه	۳/۷۹e+۱۱	۴/۱۲e+۱۱	۴/۹۶e+۱۱	۳/۳۵e+۱۱	۱/۹۵e+۱۱	۷/۷۲e+۰۹	۱/۸۲e+۱۲
فوریه	۳/۴۷e+۱۱	۳/۸۱e+۱۱	۴/۴۹e+۱۱	۳/۰۶e+۱۱	۱/۷۹e+۱۱	۶/۲۹e+۰۹	۱/۶۷e+۱۲
مارس	۱/۵۹e+۱۱	۱/۸۰e+۱۱	۲/۲۶e+۱۱	۱/۳۷e+۱۱	۷/۴۵e+۱۰	۳/۳۱e+۰۹	۷/۸۰e+۱۱
آوریل	۱/۱۴e+۱۰	۹/۶۶e+۰۹	۹/۰۳e+۰۹	۱/۱۶e+۱۰	۱/۴۹e+۱۰	۱/۷۳e+۰۸	۵/۶۸e+۱۰
مه	۶/۱۰e+۱۰	۵/۴۸e+۱۰	۵/۲۹e+۱۰	۵/۹۳e+۱۰	۵/۲۲e+۱۰	۱/۳۶e+۰۹	۲/۸۱e+۱۱
ژوئن	۱/۳۷e+۱۱	۱/۳۰e+۱۱	۱/۴۰e+۱۱	۱/۳۱e+۱۱	۱/۰۱e+۱۱	۳/۸۴e+۰۹	۶/۴۴e+۱۱
جولای	۲/۳۰e+۱۱	۲/۲۸e+۱۱	۲/۴۸e+۱۱	۲/۱۶e+۱۱	۱/۵۷e+۱۱	۵/۳۸e+۰۹	۱/۰۸e+۱۲
اوت	۱/۷۳e+۱۱	۱/۶۸e+۱۱	۱/۸۶e+۱۱	۱/۶۴e+۱۱	۱/۲۶e+۱۱	۴/۶۱e+۰۹	۸/۲۲e+۱۱
سپتامبر	۱/۲۳e+۱۱	۱/۱۷e+۱۱	۱/۲۳e+۱۱	۱/۱۹e+۱۱	۹/۴۸e+۱۰	۲/۹۵e+۰۹	۵/۷۹e+۱۱
اکتبر	۴/۲۳e+۱۰	۴/۸۴e+۱۰	۵/۸۹e+۱۰	۳/۵۳e+۱۰	۲/۰۳e+۱۰	۵/۰۸e+۰۸	۲/۰۶e+۱۱
نوامبر	۹/۷۷e+۱۰	۱/۱۰e+۱۱	۱/۴۲e+۱۱	۸/۲۸e+۱۰	۴/۴۳e+۱۰	۲/۴۳e+۰۹	۴/۸۰e+۱۱
دسامبر	۲/۲۳e+۱۱	۲/۴۴e+۱۱	۳/۰۶e+۱۱	۱/۹۶e+۱۱	۱/۱۱e+۱۱	۵/۵۹e+۰۹	۱/۰۸e+۱۲
کل	۱/۹۸e+۱۲	۲/۰۸e+۱۲	۲/۴۴e+۱۲	۱/۷۹e+۱۲	۱/۱۷e+۱۲	۴/۴۲e+۱۰	۹/۵۱e+۱۲

۴-۴- تاثیر رنگ ساختمان

در این قسمت با استفاده از سیستم ایدئال دمای کل ساختمان ۲۳ درجه سانتی‌گراد ثابت نگه‌داشته شده و تاثیر تغییر رنگ دیوارهای خارجی ساختمان بر روی میزان مصرف انرژی بررسی شده است. رنگ خود ساختمان تقریبا قرمز روشن است که با تغییر رنگ آن به سفید (روشن‌تر) و سیاه (تیره‌تر) مقایسه از لحاظ مصرف انرژی انجام شده است. مقایسه با تغییر ضریب جذب جدار خارجی ساختمان (دیوارهای خارجی، آجر نما) بوده که برای ساختمان فعلی قرمز روشن ۰/۶۵، برای سفید (روشن‌تر) ۰/۳۶ و برای سیاه ۰/۷۷ (تیره‌تر) درنظر گرفته شده است. نتایج این بخش به صورت درصدی در جدول ۷ آورده

www.SID.ir

شده است که در این جدول درصد کاهش مصرف انرژی نسبت به حالت اولیه ساختمان (قرمز روشن) آورده شده است. با توجه به این جدول، دیده می‌شود که با روشن‌تر کردن جدار خارجی ساختمان حدود ۹/۱۵ درصد در طول سال می‌توان در مصرف انرژی صرفه‌جویی نمود. البته در بهترین حالت به این صورت است که در طول ماه‌های سرد رنگ ساختمان تیره‌تر و در طول تابستان روشن‌تر باشد که در عمل ایجاد چنین حالتی ممکن نیست و نمی‌توان رنگ ساختمان را در طول سال تغییر داد. در زمستان جذب انرژی خورشیدی بیشتر برای گرم‌کردن ساختمان مفید است، اما در تابستان برعکس است.

جدول ۷ درصد کاهش مصرف انرژی با تغییر رنگ دیوارهای خارجی ساختمان

	سیاه (تیره‌تر)	سفید (روشن‌تر)
ژانویه	۰/۱۹	-۰/۴۸
فوریه	۰/۲۳	-۰/۵۸
مارس	۰/۶۴	-۱/۶۰
آوریل	-۱/۴۶	۳/۳۱
مه	-۱/۷۷	۴/۳۲
ژوئن	-۱/۰۸	۲/۶۴
جولای	-۰/۶۶	۱/۶۲
اوت	-۱/۰۱	۲/۵۷
سپتامبر	-۱/۰۸	۲/۶۷
اکتبر	۰/۹۰	-۲/۳۶
نوامبر	۰/۸۳	-۲/۰۹
دسامبر	۰/۳۵	-۰/۸۷
مجموع سالیانه	-۳/۹۲	۹/۱۵
مجموع ماه‌های سرد	۳/۱۴	-۷/۹۸
مجموع ماه‌های گرم	-۷/۰۶	۱۷/۱۳

۴-۵- زمان تشکیل کلاس‌ها و حضور افراد

در این قسمت نیز با استفاده از سیستم ایدئال دمای کل ساختمان ۲۳ درجه سانتی‌گراد ثابت نگه‌داشته شده و تاثیر زمان حضور افراد و به عبارتی دیگر زمان تشکیل کلاس‌ها در ساختمان بر روی میزان مصرف انرژی بررسی شده است. در این بخش چهار حالت زیر مورد بررسی قرار گرفته شده است.

الف) حالت اولیه ساختمان

در حالت اولیه ساختمان، همچنان که در قسمت سوم اشاره گردید، ساعت حضور افراد (تشکیل کلاس‌ها) در ساختمان ساعت ۸ تا ۱۸ و درصد حضور افراد مطابق جدول ۳ بوده که در کل سال یکسان فرض شده بود. با تغییر ساعت کلاس‌ها و درصد حضور افراد در فصل زمستان یا تابستان این حالت به سه حالت زیر تغییر داده شده است.

ب) حالت دوم

در این حالت، حالت اولیه به این شکل تغییر داده شده که ساعت تشکیل کلاس‌ها در ساختمان ساعت ۹ تا ۱۸ بوده و درصد حضور افراد نیز به صورت جدول ۸ در کل سال یکسان باشد. در این حالت درصد حضور افراد در بعد از ظهر بیشتر شده است (البته درصد حضور طوری تغییر داده شده که مجموع درصد حضور افراد در کل روز ثابت و همانند حالت اولیه باشد).

جدول ۸ درصد حضور افراد به صورت ساعتی حالت دوم

	درصد حضور افراد
از ساعت ۲۴ تا ۷	۰
از ساعت ۷ تا ۸	۰
از ساعت ۸ تا ۹	۵
از ساعت ۹ تا ۱۱	۷۵
از ساعت ۱۱ تا ۱۵	۹۰
از ساعت ۱۵ تا ۱۶	۸۰
از ساعت ۱۶ تا ۱۷	۵۵
از ساعت ۱۷ تا ۱۸	۳۰
از ساعت ۱۸ تا ۱۹	۵
از ساعت ۱۹ تا ۲۴	۰
مجموع	۳۴۰

ج) حالت سوم

در این حالت، حالت اولیه به این شکل تغییر داده شده که ساعت تشکیل کلاس‌ها و درصد حضور افراد در زمستان همانند حالت ۲ بوده و در تابستان نیز ساعت تشکیل کلاس‌ها در ساختمان ساعت ۸ تا ۲۰ بوده و درصد حضور افراد نیز به صورت جدول ۹ (کلاس‌های کمتر در ساعات گرم‌تر روز) است (البته در این حالت نیز درصد حضور طوری تغییر داده شده که مجموع درصد حضور افراد در کل روز ثابت و همانند حالت اولیه باشد). در این حالت فصل زمستان از ۱/۱ تا روز ۵ ماه ۴ و فصل تابستان نیز از روز ۵ ماه ۴ تا روز ۱ ماه ۱۰ فرض شده است.

www.SID.ir

جدول ۹ درصد حضور افراد به صورت ساعتی حالت سوم

تابستان	درصد حضور افراد	زمستان	درصد حضور افراد
از ساعت ۲۴ تا ۷	۰	از ساعت ۲۴ تا ۷	۰
از ساعت ۷ تا ۸	۵	از ساعت ۷ تا ۸	۰
از ساعت ۸ تا ۹	۷۰	از ساعت ۸ تا ۹	۵
از ساعت ۹ تا ۱۱	۷۰	از ساعت ۹ تا ۱۱	۷۵
از ساعت ۱۱ تا ۱۵	۶۰	از ساعت ۱۱ تا ۱۵	۹۰
از ساعت ۱۵ تا ۱۶	۴۵	از ساعت ۱۵ تا ۱۶	۸۰
از ساعت ۱۶ تا ۱۷	۴۰	از ساعت ۱۶ تا ۱۷	۵۵
از ساعت ۱۷ تا ۱۸	۳۰	از ساعت ۱۷ تا ۱۸	۳۰
از ساعت ۱۸ تا ۱۹	۱۵	از ساعت ۱۸ تا ۱۹	۵
از ساعت ۱۹ تا ۲۰	۵	از ساعت ۱۹ تا ۲۰	۰
از ساعت ۱۹ تا ۲۴	۰	از ساعت ۱۹ تا ۲۴	۰
مجموع	۳۴۰	مجموع	۳۴۰

د) حالت چهارم

در این حالت، حالت اولیه به این شکل تغییر داده شده که ساعت تشکیل کلاس‌ها و درصد حضور افراد در زمستان همانند حالت ۲ بوده و در تابستان نیز ساعت تشکیل کلاس‌ها در ساختمان ساعت ۷ تا ۱۹ بوده و درصد حضور افراد نیز به صورت جدول ۱۰ (کلاس‌های کمتر در ساعات گرم‌تر روز و در صبح بیشتر) است (البته در این حالت نیز درصد حضور طوری تغییر داده شده که مجموع درصد حضور افراد در کل روز ثابت و همانند حالت اولیه باشد). در این حالت نیز فصل زمستان از ۱/۱ تا روز ۵ ماه ۴ و فصل تابستان نیز از روز ۵ ماه ۴ تا روز ۱ ماه ۱۰ فرض شده است.

جدول ۱۰ درصد حضور افراد به صورت ساعتی حالت چهارم

تابستان	درصد حضور افراد	زمستان	درصد حضور افراد
از ساعت ۲۴ تا ۷	۰	از ساعت ۲۴ تا ۷	۰
از ساعت ۷ تا ۸	۷۵	از ساعت ۷ تا ۸	۰
از ساعت ۸ تا ۹	۷۰	از ساعت ۸ تا ۹	۵
از ساعت ۹ تا ۱۱	۶۰	از ساعت ۹ تا ۱۱	۷۵
از ساعت ۱۱ تا ۱۵	۴۵	از ساعت ۱۱ تا ۱۵	۹۰
از ساعت ۱۵ تا ۱۶	۴۰	از ساعت ۱۵ تا ۱۶	۸۰
از ساعت ۱۶ تا ۱۷	۳۰	از ساعت ۱۶ تا ۱۷	۵۵
از ساعت ۱۷ تا ۱۸	۱۵	از ساعت ۱۷ تا ۱۸	۳۰
از ساعت ۱۸ تا ۱۹	۵	از ساعت ۱۸ تا ۱۹	۵
از ساعت ۱۹ تا ۲۰	۰	از ساعت ۱۹ تا ۲۰	۰
مجموع	۳۴۰	مجموع	۳۴۰

نتایج این بخش به صورت درصدی در جدول ۱۱ آورده شده است که با توجه به این جدول دیده می‌شود که با استفاده از حالت ۴ در کل سال در مجموع می‌توان حدود ۳۰ درصد در مصرف انرژی صرفه جویی نمود. این حالت نشان می‌دهد که برای کاهش مصرف انرژی بهتر است زمان تشکیل کلاس‌ها در زمستان از ساعت ۹ تا ۱۸ و در تابستان از ساعت ۷ تا ۱۸ باشد. همچنین، بهتر است که در زمستان حجم بیشتر کلاس‌ها در ساعات میانی روز (ساعت ۱۰ تا ۱۷) و در تابستان نیز حجم بیشتر کلاس‌ها در ساعات اولیه صبح (۹ صبح تا ۱۱) و یا بعد از ظهر (۱۵ تا ۱۸) باشد.

جدول ۱۱ درصد کاهش مصرف انرژی از حالت‌های متفاوت

	حالت۲	حالت۳	حالت۴
ژانویه	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۶
فوریه	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷
مارس	۰/۵۳	۰/۵۳	۰/۵۳
آوریل	-۰/۶۹	۶/۱۶	۸/۶۱
مه	-۰/۸۱	۳/۸۸	۶/۴۳
ژوئن	-۰/۷۰	۱/۹۹	۳/۶۲
جولای	-۰/۳۱	۱/۳۸	۲/۴۵
اوت	-۰/۴۴	۱/۷۹	۳/۱۹
سپتامبر	-۰/۷۹	۲/۴۰	۴/۳۸
اکتبر	-۰/۰۸	-۰/۱۰	-۰/۱۰
نوامبر	۰/۶۲	۰/۶۲	۰/۶۱
دسامبر	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۵
مجموع سالیانه	-۲/۱۹	۱۹/۱۳	۳۰/۲۳
مجموع ماه‌های سرد	۱/۵۶	۱/۵۳	۱/۵۴
مجموع ماه‌های گرم	-۳/۷۵	۱۷/۶۰	۲۸/۶۹

۴-۶- زمان بهینه برای کارکرد سیستم تهویه مطبوع

در این قسمت نیز با استفاده از سیستم ایدئال دمای کل ساختمان ۲۳ درجه سانتی‌گراد در تمام ساعات روز ثابت نگه داشته شده و تاثیر روشن یا خاموش بودن سیستم تهویه مطبوع مورد بررسی قرار گرفته است. در حالت اولیه فرض شده بود که سیستم تهویه به صورت ۲۴ ساعته روشن بوده و دمای ۲۳ درجه را در تمام ساعات شبانه روز تامین نماید، اما چون در ساختمان دانشگاه حضور افراد فقط در روز می‌باشد، در این قسمت سیستم تهویه مطبوع طوری تنظیم شده که در طول ساعات حضور افراد سیستم بتواند همان دمای ۲۳ درجه را

www.SID.ir

تامین نماید. در این بخش هدف مشخص‌کردن ساعات مناسب روشن و خاموش کردن سیستم تهویه مطبوع است به صورتی که دما را در طول ساعات مورد نظر در همان دمای ۲۳ درجه ثابت نگه دارد. این بخش به ۷ قسمت زیر تقسیم شده است. در این بخش نیز فصل زمستان از ۱/۱ تا روز ۵ ماه ۴ و فصل تابستان نیز از روز ۵ ماه ۴ تا روز ۱ ماه ۱۰ فرض شده است.

حالت صفر) کنترل سیستم در تمام روز (همان حالت اولیه که سیستم تهویه در تمام روز روشن است و هدف تامیین دمای ۲۳ درجه در تمام ساعات روز است)

حالت اول) عدم کنترل (خاموش‌کردن سیستم تهویه مطبوع) در کل سال در ساعات ۱۷ بعد از ظهر تا ۴ صبح

حالت دوم) عدم کنترل در کل سال در ساعات ۱۷ بعد از ظهر تا ۵ صبح

حالت سوم) عدم کنترل در کل سال در ساعات ۱۷ بعد از ظهر تا ۶ صبح

حالت چهارم) عدم کنترل در کل سال در ساعات ۱۶ بعداز ظهر تا ۴ صبح

حالت پنجم) عدم کنترل سیستم در زمستان در ساعات ۱۷ بعد از ظهر تا ۴ صبح و در تابستان در ساعات ۱۸ بعد از ظهر تا ۷ صبح

حالت ششم) عدم کنترل سیستم در زمستان در ساعات ۱۷ بعد از ظهر تا ۶ صبح و در تابستان در ساعات ۱۶ بعد از ظهر تا ۴ صبح

نتایج به صورت درصدی در مقایسه با حالت اولیه سیستم (حالت صفر ۲۴ ساعت روشن‌بودن سیستم تهویه مطبوع) در جدول ۱۲ آورده شده است. با توجه به این جدول دیده می‌شود که به طور کلی کنترل‌کردن سیستم برای این ساختمان ۲۰ تا ۲۶ درصد مصرف انرژی سالیانه را کاهش می دهد که مقدار قابل توجهی است. بهترین حالت کنترل‌کردن سیستم همان حالت ۶ است که با توجه به این جدول در ماه‌های گرم حدود ۳۵ درصد و در ماه‌های سرد حدود ۲۷ درصد کاهش مصرف انرژی دارد.

۴-۷- کاهش تعداد پنجره‌ها

در این قسمت نیز با استفاده از سیستم ایدئال دمای کل ساختمان ۲۳ درجه سانتی‌گراد در تمام ساعات روز ثابت نگه داشته شده و تاثیر کاهش تعداد پنجره‌های ساختمان مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به بررسی به‌عمل آمده و شکل فیزیکی ساختمان، تعداد پنجره‌های ساختمان زیاد است و به‌نظر می‌رسد که برای تامین نور ساختمان نیازی به تعداد زیادی پنجره نیست و می‌توان تعداد آن‌ها را کاهش داد (به طور مثال با بستن یک قسمت از پنجره‌ها با یک چیزی همانند پرده یا یک عایق حرارتی مناسب) و با کاهش تعداد پنجره‌ها، تأمین روشنایی به صورت طبیعی در تمامی ساعات فعالیت در ساختمان امکان‌پذیر است. در این بخش در هر اتاق تعداد پنجره‌ها کاهش داده شده و در هر قسمت مدل‌سازی ساختمان دوباره انجام شده به این صورت که مساحت پنجره در روی جدار نسبت به مدل اولیه تغییر داده شده است. در این قسمت سه حالت زیر بررسی شده است.

حالت اول) در هر جدار در کل ساختمان مساحت پنجره نصف شده است.

حالت دوم) در هر جدار در کل ساختمان مساحت پنجره یک‌سوم (۳۳ درصد) کمتر شده است.

حالت سوم) در هر جدار در کل ساختمان مساحت پنجره یک‌چهارم (۲۵ درصد) کمتر شده است.

نتایج این بخش به صورت درصدی در مقایسه با حالت اولیه در جدول ۱۳ آورده شده است.

جدول ۱۲ درصد کاهش مصرف انرژی از حالت‌های متفاوت

	حالت۱	حالت۲	حالت۳	حالت۴	حالت۵	حالت۶	حالت۷
ژانویه	۲۹/۳۴	۳۲/۳۷	۳۵/۷۶	۳۲/۵۰	۲۹/۳۴	۳۵/۷۶	۳۵/۷۶
فوریه	۲۹/۵۳	۳۲/۴۲	۳۵/۹۶	۳۳/۷۰	۲۹/۵۳	۳۵/۹۶	۳۵/۹۶
مارس	۲۱/۳۹	۲۴/۴۲	۲۸/۰۹	۲۶/۵۹	۲۱/۳۹	۲۸/۰۹	۲۸/۰۹
آوریل	۳/۷۰	۴/۰۵	۴/۴۶	۴/۶۰	۳/۸۲	۴/۲۸	۴/۷۶
مه	۱۱/۱۹	۱۱/۹۴	۱۲/۸۸	۱۵/۸۲	۱۰/۳۵	۱۰/۳۶	۱۵/۸۲
ژوئن	۱۴/۹۳	۱۵/۵۹	۱۶/۵۶	۱۹/۶۲	۱۳/۰۵	۱۳/۰۵	۱۹/۶۲
جولای	۲۱/۷۰	۲۲/۷۶	۲۳/۹۵	۲۷/۲۶	۱۹/۵۶	۱۹/۵۶	۲۷/۲۶
اوت	۱۴/۲۸	۱۵/۱۱	۱۶/۲۰	۱۸/۰۱	۱۳/۹۲	۱۳/۹۲	۱۸/۰۱
سپتامبر	۱۲/۳۲	۱۳/۰۸	۱۳/۷۹	۱۷/۰۱	۱۰/۴۹	۱۰/۴۹	۱۷/۰۱
اکتبر	۳۲/۲۷	۳۶/۶۰	۴۲/۲۲	۳۵/۰۹	۳۲/۲۱	۴۲/۱۵	۴۲/۲۷
نوامبر	۲۸/۷۲	۳۲/۲۵	۳۶/۱۱	۳۳/۰۰	۲۸/۷۲	۳۶/۱۱	۳۶/۱۱
دسامبر	۲۹/۵۲	۳۲/۴۰	۳۶/۱۸	۳۲/۹۱	۲۹/۵۲	۳۶/۱۸	۳۶/۱۸
میانگین سالیانه	۲۰/۷۴	۲۲/۷۵	۲۵/۱۸	۲۴/۶۸	۲۰/۱۶	۲۳/۸۲	۲۶/۴۰
میانگین ماه‌های سرد	۲۸/۴۶	۳۱/۷۴	۳۵/۷۲	۳۲/۳۰	۲۸/۴۵	۳۵/۷۱	۳۵/۷۳
میانگین ماه‌های گرم	۱۳/۰۲	۱۳/۷۵	۱۴/۶۴	۱۷/۰۵	۱۱/۸۷	۱۱/۹۴	۱۷/۰۸

www.SID.ir

جدول ۱۳ درصد کاهش مصرف انرژی با پنجره متفاوت

	حالت ۱	حالت ۲	حالت ۳
ژانویه	۳/۵۷	۲/۳۹	۱/۷۹
فوریه	۱/۶۰	۱/۰۹	۰/۸۳
مارس	-۰/۹۸	-۰/۵۴	-۰/۳۸
آوریل	۱۵/۹۵	۱۲/۱۴	۹/۷۴
مه	۲۷/۲۸	۱۸/۳۳	۱۳/۷۸
ژوئن	۲۲/۷۴	۱۵/۰۳	۱۱/۲۲
جولای	۱۶/۰۳	۱۰/۵۴	۷/۸۵
اوت	۱۸/۳۴	۱۲/۰۶	۸/۹۸
سپتامبر	۱۹/۷۸	۱۳/۰۱	۹/۷۰
اکتبر	-۳/۷۹	-۲/۱۸	-۱/۵۲
نوامبر	۱/۱۹	۰/۹۳	۰/۷۰
دسامبر	۴/۶۸	۳/۱۳	۲/۳۵
میانگین سالیانه	۱۰/۵۳	۷/۱۶	۵/۴۲
میانگین ماه‌های سرد	۱/۰۴	۰/۸۰	۰/۶۳
میانگین ماه‌های گرم	۲۰/۰۲	۱۳/۵۲	۱۰/۲۱

با توجه به جدول ۱۳ دیده می‌شود که به طور کلی کاهش تعداد و مساحت پنجره‌ها برای این ساختمان حدود ۱۰ درصد مصرف انرژی سالیانه را کاهش می‌دهد که مقدار قابل توجهی است. در حالتی که پنجره‌ها به نصف کاهش پیدا کنند حدود ۲۰ درصد کاهش مصرف انرژی سالیانه در تابستان داریم. با توجه به نتایج هم دیده می‌شود که کاهش تعداد پنجره‌ها بیشتر باعث کاهش مصرف انرژی در ماه‌های گرم سال می‌شود.

۴-۸- تغییر نوع شیشه پنجره

در این قسمت نیز با استفاده از سیستم ایدئال دمای کل ساختمان ۲۳ درجه سانتی‌گراد در تمام ساعات روز ثابت نگه داشته شده و تاثیر تغییر جنس شیشه پنجره‌های ساختمان بررسی شده است. این حالت در دو بخش انجام شده به این صورت که ابتدا جنس شیشه‌های لایه خارجی پنجره با شیشه دوجداره تغییر داده شده و بعد از به‌دست آمدن بهترین شیشه برای لایه خارجی، شیشه‌های لایه داخلی نیز تغییر داده شده است. البته نوع گاز داخل حفره در تمام موارد همانند حالت اولیه در جدول ۲ (یعنی هوا به ضخامت ۶ میلی‌متر) بوده و اثر تغییر نوع گاز یا ضخامت آن در این تحقیق بررسی نشده است.

قسمت اول) تغییر شیشه‌های لایه خارجی (شیشه لایه داخلی همان شیشه ساده حالت اولیه ساختمان است که مشخصات آن در جدول ۱۴ آورده شده است)

حالت اول: لایه خارجی خاکستری (مشخصات مطابق جدول ۱۴)
حالت دوم: لایه خارجی سبز (مشخصات مطابق جدول ۱۴)
حالت سوم: لایه خارجی آبی (مشخصات مطابق جدول ۱۴)
حالت چهارم: لایه خارجی کم‌گسیل[1] معمولی (مشخصات مطابق جدول ۱۴)
حالت پنجم: لایه خارجی کم‌گسیل برعکس[2] (مشخصات مطابق جدول ۱۴)

نتایج قسمت اول به صورت درصدی در مقایسه با حالت اولیه (شیشه ساده) در جدول ۱۵ آورده شده است. با توجه به این جدول دیده می‌شود که بهترین درصد کاهش در تابستان مربوط به حالت استفاده از شیشه خاکستری و حدود ۱۶ درصد است و در زمستان فقط شیشه کم‌گسیل (برعکس) مصرف انرژی را کاهش می‌دهد. بنابراین، با توجه به نتایج شیشه کم-گسیل (برعکس) برای لایه خارجی به عنوان بهترین شیشه انتخاب شده است، چون هم در زمستان و هم تابستان مصرف انرژی را کاهش می‌دهد.

قسمت دوم) در این قسمت، با توجه به قسمت قبل، که شیشه کم‌گسیل (برعکس) برای لایه خارجی به عنوان بهترین شیشه انتخاب شده بود، شیشه لایه خارجی شیشه کم‌گسیل (برعکس) ثابت گرفته شده و شیشه لایه داخلی به شکل زیر تغییر داده شده است.

حالت ششم: لایه داخلی خاکستری
حالت هفتم: لایه داخلی سبز
حالت هشتم: لایه داخلی آبی
حالت نهم: لایه داخلی کم‌گسیل معمولی
حالت دهم: لایه داخلی کم‌گسیل برعکس

نتایج این قسمت نیز به صورت درصدی در مقایسه با حالت اولیه (شیشه ساده) در جدول ۱۶ آورده شده است. با توجه به این جدول، دیده می‌شود که بهترین درصد کاهش مربوط به حالت استفاده از شیشه کم‌گسیل ساده در لایه داخلی و حدود ۷/۴ درصد در کل سال است. بنابراین، بهترین حالت به این صورت است که در لایه خارجی از شیشه کم‌گسیل برعکس و در لایه داخلی از شیشه کم‌گسیل ساده استفاده گردد تا هم در تابستان (حدود ۱۰ درصد) و هم در زمستان (حدود ۴/۵ درصد) مصرف انرژی کاهش پیدا کند.

1. LowE
2. LowE Reverse

www.SID.ir

جدول ۱۴ مشخصات شیشه‌های استفاده شده

نام شیشه	ساده	خاکستری	کم‌گسیل معمولی	آبی	سبز	کم‌گسیل برعکس
ضخامت شیشه میلی‌متر (لایه خارجی و داخل)	۶	۶	۶	۶	۶	۶
ضریب عبور خورشیدی در تابش عمود	۰/۸۳۴	۰/۴۵۵	۰/۶	۰/۴۸	۰/۴۸۷	۰/۶
ضریب انعکاس خورشیدی در تابش عمود رو به تابش	۰/۰۷۵	۰/۰۵۳	۰/۱۷	۰/۰۵	۰/۰۵۶	۰/۲۲
ضریب انعکاس خورشیدی در تابش عمود پشت به تابش	۰/۰۷۵	۰/۰۵۳	۰/۲۲	۰/۰۵	۰/۰۵۶	۰/۱۷
ضریب عبور نور مرئی در تابش عمود	۰/۸۹۹	۰/۴۳۱	۰/۸۴	۰/۵۷	۰/۷۴۹	۰/۸۴
ضریب انعکاس نور مرئی در تابش عمود رو به تابش	۰/۰۸۳	۰/۰۵۲	۰/۰۵۵	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۰۷۸
ضریب انعکاس نور مرئی در تابش عمود پشت به تابش	۰/۰۸۳	۰/۰۵۲	۰/۰۷۸	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۰۵۵
ضریب عبور فروسرخ در تابش مستقیم	۰	۰	۰	۰	۰	۰
ضریب گسیل نیمکروی فروسرخ رو به تابش	۰/۸۴	۰/۸۴	۰/۸۴	۰/۸۴	۰/۸۴	۰/۱
ضریب گسیل نیمکروی فروسرخ پشت به تابش	۰/۸۴	۰/۸۴	۰/۱	۰/۸۴	۰/۸۴	۰/۸۴
ضریب هدایت حرارتی (وات/مترکلوین)	۰/۹	۰/۹	۰/۹	۰/۹	۰/۹	۰/۹

جدول ۱۵ درصد کاهش مصرف انرژی با تغییر شیشه لایه خارجی پنجره با شیشه دوجداره

	کم‌گسیل برعکس	کم‌گسیل	آبی	سبز	خاکستری
ژانویه	۲/۲۳	۰/۹۸	-۲/۰۵	-۲/۰۱	-۲/۱۹
فوریه	۱/۱۱	۰/۰۹	-۲/۹۰	-۲/۸۵	-۳/۰۹
مارس	۱/۶۲	-۱/۷۸	-۷/۴۴	-۷/۳۰	-۷/۹۴
آوریل	۲/۹۳	۱۱/۱۹	۱۸/۱۲	۱۷/۹۲	۱۸/۸۸
مه	۶/۴۶	۱۵/۰۰	۲۲/۲۱	۲۱/۸۷	۲۳/۶۲
ژوئن	۸/۰۱	۱۱/۹۰	۱۶/۰۹	۱۵/۸۲	۱۷/۱۵
جولای	۵/۸۱	۸/۲۷	۱۰/۶۵	۱۰/۴۷	۱۱/۳۷
اوت	۵/۲۰	۹/۲۳	۱۱/۵۳	۱۱/۳۵	۱۲/۳۳
سپتامبر	۵/۱۴	۱۰/۳۶	۱۴/۳۸	۱۴/۱۴	۱۵/۳۶
اکتبر	۱/۱۸	-۳/۳۷	-۱۰/۱	-۹/۹۴	-۱۰/۹۶
نوامبر	۴/۲۰	-۱/۲۵	-۸/۵۱	-۸/۳۵	-۹/۱۲
دسامبر	۳/۸۶	۱/۱۰	-۳/۳۱	-۳/۲۶	-۳/۵۴
میانگین سالیانه	۳/۹۸	۵/۱۴	۴/۸۹	۴/۸۲	۵/۱۵
میانگین ماه‌های سرد	۲/۳۶	-۰/۷۱	-۵/۷۲	-۵/۶۲	-۶/۱۴
میانگین ماه‌های گرم	۵/۵۹	۱۰/۹۹	۱۵/۵۰	۱۵/۲۶	۱۶/۴۵

جدول ۱۶ درصد کاهش مصرف انرژی با تغییر شیشه لایه داخلی پنجره با شیشه دوجداره (لایه خارجی کم‌گسیل برعکس)

	کم‌گسیل برعکس	کم‌گسیل	آبی	سبز	خاکستری
ژانویه	۳/۲۸	۴/۹۳	۱/۶۲	۱/۶۲	۱/۵۷
فوریه	۱/۶۹	۳/۱۴	۰/۲۱	۰/۲۲	۰/۱۵
مارس	۱/۳۸	۳/۸۵	-۰/۶۹	-۰/۶۸	-۰/۸۶
آوریل	۷/۱۴	۰/۶۱	۸/۰۰	۸/۰۴	۸/۳۸
مه	۱۳/۵۹	۱۲/۸۰	۱۲/۶	۱۲/۶۴	۱۳/۱۱
ژوئن	۱۳/۸۰	۱۴/۷۲	۱۲/۴	۱۲/۴۱	۱۲/۷۶
جولای	۱۰/۰۱	۱۱/۱۴	۸/۸۵	۸/۸۴	۹/۰۸
اوت	۹/۹۹	۱۱/۲۴	۸/۲۶	۸/۲۷	۸/۵۲
سپتامبر	۱۰/۳۷	۱۰/۸۱	۹/۰۲	۹/۰۳	۹/۳۴
اکتبر	-۰/۰۴	۱/۲۱	-۱/۹	-۱/۸۴	-۲/۱۱
نوامبر	۴/۲۲	۶/۶۳	۱/۷۰	۱/۷۰	۱/۵۱
دسامبر	۵/۰۵	۷/۳۱	۲/۸۵	۲/۸۵	۲/۷۷
میانگین سالیانه	۶/۷۰	۷/۳۷	۵/۲۵	۵/۲۶	۵/۳۵
میانگین ماه‌های سرد	۲/۶۰	۴/۵۱	۰/۶۴	۰/۶۴	۰/۵۰
میانگین ماه‌های گرم	۱۰/۸۱	۱۰/۲۲	۹/۸۶	۹/۸۷	۱۰/۲۰

۴-۹- سایبان روی پنجره

در این قسمت نیز با استفاده از سیستم ایدئال دمای کل ساختمان ۲۳ درجه سانتی‌گراد در تمام ساعات روز ثابت نگه داشته شده و تاثیر کاربرد سایبان بر روی پنجره‌های ساختمان بررسی شده است. با توجه به نتایجی که از تحقیق پیشین به‌دست آورده‌ایم[۹]، سایبان باید دقیقا روی پنجره و عرض آن به اندازه عرض پنجره باشد که در این صورت در جهت جنوبی بیشترین تاثیر را داشته و در جهات شرقی و غربی هم تاثیر دارد. در این قسمت ابتدا سایبان بر روی تمام پنجره‌های طبقه سوم اعمال شده و در ۳ عمق متفاوت بررسی شده است.

حالت اول: سایبان افقی در تمام پنجره‌های طبقه سوم با عمق ۳۵ سانتی‌متر

حالت دوم: سایبان افقی در تمام پنجره‌های طبقه سوم با عمق ۱۰ سانتی‌متر

حالت سوم: سایبان افقی در تمام پنجره‌های طبقه سوم با عمق ۵۰ سانتی‌متر

www.SID.ir

نتایج این قسمت به صورت میزان کاهش در مصرف انرژی در مقایسه با حالت اولیه (بدون سایبان) در جدول ۱۷ برای طبقه سوم آورده شده است. با توجه به این جدول، دیده می‌شود حالت دوم بهترین حالت به‌دست آمده است که سایبان افقی در تمام پنجره‌های طبقه سوم با عمق ۵۰ سانتی‌متر می‌باشد. این حالت برای کل ساختمان به عنوان حالت چهارم اعمال شده است.

حالت چهارم: در این حالت، سایبان افقی در تمام پنجره‌های ساختمان با عمق ۵۰ سانتی‌متر (همان حالت ۲)، به جز پنجره‌های زیرزمین، اعمال شده است. نتیجه این حالت نیز در جدول ۱۷ ارائه شده و دیده می‌شود که اعمال سایبان بر روی پنجره‌ها حدود ۲/۲۰E+۰۹ ژول مصرف انرژی را کاهش می‌دهد که البته در مقابل مصرف انرژی کل ساختمان ۹/۵۱E+۱۲ درصد زیادی نیست. استفاده از سایبان برای ساختمان های که مصرف انرژی آنها زیاد نیست، تاثیر مثبت بیشتری دارد.

جدول ۱۷ میزان کاهش مصرف انرژی (ژول) با کاربرد سایبان بر روی پنجره‌های طبقه سوم (حالت ۱، ۲ و ۳) و کل ساختمان (حالت ۴ به جز زیرزمین)

	حالت ۱	حالت ۲	حالت ۳	حالت ۴
ژانویه	-۱/۴۲E+۰۸	-۹/۳E+۰۷	-۳/۶E+۰۵	-۴/۹E+۰۸
فوریه	۳/۰۵E+۰۷	-۲/۱۸E+۰۷	۸/۳۷E+۰۷	-۱/۱۰E+۰۸
مارس	۱/۳۶E+۰۸	۱/۴۲E+۰۸	۱/۹۷E+۰۸	۲/۲۴E+۰۸
آوریل	-۹/۶۸E+۰۶	-۷/۵E+۰۵	-۹/۱۳E+۰۶	۱/۲۱E+۰۷
مه	-۱/۱۷E+۰۸	-۹/۷E+۰۷	-۲/۲۱E+۰۸	-۲/۳E+۰۸
ژوئن	-۱/۸E+۰۸	-۱/۰۶E+۰۸	-۳/۵E+۰۸	-۳/۵E+۰۸
جولای	-۱/۸۹E+۰۸	-۱/۱۷E+۰۸	-۳/۸E+۰۸	-۴/۴E+۰۸
اوت	-۲/۰۶E+۰۸	-۱/۳۴E+۰۸	-۳/۸E+۰۸	-۵/۹E+۰۸
سپتامبر	-۱/۲۸E+۰۸	-۹/۷۰E+۰۷	-۲/۱۳E+۰۸	-۲/۸E+۰۸
اکتبر	۲/۷۰E+۰۷	۸/۹۵E+۰۷	۱/۰۶E+۰۸	۱/۲۲E+۰۸
نوامبر	۷/۵۵E+۰۷	۱/۵۵E+۰۸	۱/۵۵E+۰۸	۱/۳۶E+۰۸
دسامبر	۲/۷۹E+۰۷	۶/۱۹E+۰۶	۳/۴۰E+۰۷	-۲/۴E+۰۸
میانگین سالیانه	-۶/۸E+۰۸	-۲/۷E+۰۸	-۹/۸۱E+۰۸	-۲/۲۰E+۰۹

۴-۱۰- تغییر نوع پنجره

در این قسمت نیز با استفاده از سیستم ایدئال دمای کل ساختمان ۲۳ درجه سانتی‌گراد در تمام ساعات روز ثابت نگه داشته شده و تاثیر کاربرد پنجره‌های پیشرفته در ساختمان مورد بررسی قرار گرفته است. ساختمان دارای پنجره‌های با شیشه دوجداره است و در این بخش پنجره فوق به صورت سه‌جداره تبدیل شده است. مشخصات شیشه‌های پنجره با شیشه سه‌جداره در هر سه لایه همانند پنجره با شیشه دوجداره بوده و ضخامت لایه هوا نیز همان ۶ میلی‌متر است.

نتایج این قسمت به صورت درصدی در مقایسه با حالت اولیه (شیشه ساده دوجداره) در جدول ۱۸ آورده شده است. نتایج نشان می‌دهند که استفاده از پنجره با شیشه سه‌جداره در زمستان ۳/۷ درصد، در تابستان ۳ درصد و در کل سال ۳/۳ درصد مصرف انرژی را کاهش می‌دهد.

جدول ۱۸ درصد کاهش مصرف انرژی با استفاده از پنجره با شیشه سه‌جداره ساده

	استفاده از سه جداره
ژانویه	۳/۴۳
فوریه	۲/۷۱
مارس	۳/۵۸
آوریل	-۱/۹۱
مه	۳/۴۶
ژوئن	۴/۶۳
جولای	۳/۷۹
اوت	۴/۱۹
سپتامبر	۳/۵۸
اکتبر	۲/۴۲
نوامبر	۵/۰۹
دسامبر	۴/۷۴
میانگین سالیانه	۳/۳۱
میانگین ماه‌های سرد	۳/۶۶
میانگین ماه‌های گرم	۲/۹۶

۵- ساختمان کامل بهینه‌سازی‌شده

در این قسمت، با استفاده از نتایج قسمت‌های قبلی، ساختمان فوق بهینه‌سازی شده و به شکل زیر پارامترهای تاثیرگذار به صورت هم‌زمان تغییر داده شده‌اند:

رنگ ساختمان: استفاده از جدار خارجی روشن‌تر با ضریب جذب ۰/۳۶

زمان تشکیل کلاس‌ها و حضور افراد: استفاده از بهترین حالت به‌دست آمده (حالت ۴ بخش ۴-۵) برای درصد حضور که در این حالت برای زمستان ساعت تشکیل کلاس‌ها در

www.SID.ir

ساختمان ساعت ۹ تا ۱۸ بوده و در تابستان نیز ساعت تشکیل کلاس‌ها در ساختمان ساعت ۷ تا ۱۹ است.

زمان بهینه برای کارکرد سیستم تهویه مطبوع: عدم کنترل سیستم (خاموش‌بودن سیستم تهویه مطبوع) در زمستان در ساعات ۱۷ بعد از ظهر تا ۶ صبح و در تابستان در ساعات ۱۶ بعد از ظهر تا ۴ صبح درنظر گرفته شده است.

کاهش تعداد پنجره‌ها: در هر جدار در کل ساختمان مساحت پنجره‌ها نصف شده است.

تغییر نوع شیشه پنجره: لایه خارجی شیشه کم‌گسیل برعکس و لایه داخلی شیشه کم‌گسیل معمولی استفاده شده است.

سایبان روی پنجره: سایبان افقی در تمام پنجره‌های کل ساختمان با عمق ۵۰ سانتی‌متر (البته به جز پنجره‌های زیرزمین) استفاده شده است.

تغییر نوع پنجره: ساختمان دارای پنجره‌های با شیشه دوجداره است و این پنجره‌ها از لحاظ مصرف انرژی مناسب‌اند. بنابراین در این بخش پنجره فوق (به دلیل مشکلات اجرایی در تغییر نوع پنجره و هزینه اضافی) تغییر داده نشده است.

نتایج این قسمت به صورت درصدی در مقایسه با حالت اولیه ساختمان در جدول ۱۹ آورده شده است.

جدول ۱۹ درصد کاهش مصرف انرژی در ساختمان بهینه‌سازی شده

	کل ساختمان	پشت بام	زیرزمین	همکف	طبقه۱	طبقه۲	طبقه۳
ژانویه	۳۸/۹۵	۳۴/۵۲	۳۵/۵۷	۳۹/۴۱	۳۹/۷۶	۳۸/۸۷	۳۹/۴۶
فوریه	۳۶/۱۸	۳۰/۸۶	۳۰/۵۸	۳۵/۹۸	۳۶/۸۶	۳۶/۶۷	۳۷/۷۰
مارس	۲۴/۹۹	۱۸/۲۶	۱۷/۵۲	۲۴/۵۰	۲۵/۳۸	۲۵/۱۵	۲۷/۴۴
آوریل	۲۵/۵۷	-۲/۷۳	۳۰/۲۳	۲۹/۴۶	۳۰/۳۰	۱۹/۶۸	۱۳/۷۸
مه	۵۳/۰۸	۶۵/۶۹	۴۶/۶۷	۵۳/۵۹	۵۶/۲۶	۵۴/۷۸	۵۳/۱۰
ژوئن	۵۰/۱۹	۵۸/۷۱	۴۳/۰۴	۵۰/۵۳	۵۲/۸۸	۵۱/۷۲	۵۰/۷۴
جولای	۴۸/۲۳	۵۳/۶۵	۴۲/۲۶	۴۸/۴۲	۵۰/۱۷	۴۹/۳۶	۴۸/۸۸
اوت	۴۳/۵۲	۴۹/۰۵	۳۷/۲۱	۴۳/۹۹	۴۵/۹۷	۴۴/۶۸	۴۳/۹۳
سپتامبر	۴۴/۷۴	۵۳/۳۸	۳۷/۵۷	۴۴/۸۶	۴۷/۲۰	۴۶/۳۴	۴۵/۹۴
اکتبر	۳۷/۷۶	۱۷/۷۹	۲۹/۲۳	۳۶/۷۹	۳۸/۰۶	۳۸/۴۷	۴۰/۶۶
نوامبر	۳۵/۴۹	۲۹/۷۴	۳۲/۴۹	۳۵/۹۷	۳۶/۰۸	۳۴/۹۶	۳۶/۲۴
دسامبر	۴۰/۰۱	۳۴/۵۵	۳۷/۲۵	۴۰/۹۰	۴۱/۳۶	۳۹/۹۱	۳۹/۶۵
میانگین سالیانه	۳۹/۸۹	۳۶/۹۵	۳۴/۹۷	۴۰/۳۷	۴۱/۶۹	۴۰/۰۵	۳۹/۷۹
میانگین ماه‌های سرد	۳۵/۵۶	۲۷/۶۲	۳۰/۴۴	۳۵/۵۹	۳۶/۲۵	۳۵/۶۷	۳۶/۸۶
میانگین ماه‌های گرم	۴۴/۲۲	۴۶/۲۹	۳۹/۵۰	۴۵/۱۴	۴۷/۱۳	۴۴/۴۳	۴۲/۷۳

جدول ۲۰ میزان مصرف انرژی در ساختمان بهینه‌سازی شده

	کل ساختمان	پشت بام	زیرزمین	همکف	طبقه ۱	طبقه ۲	طبقه ۳
ژانویه	۱/۱۱E+۱۲	۵/۰۶E+۰۹	۱/۲۵E+۱۱	۲/۰۳E+۱۱	۲/۲۸E+۱۱	۲/۵۲E+۱۱	۳/۰۰E+۱۱
فوریه	۱/۰۶E+۱۲	۴/۳۵E+۰۹	۱/۲۴E+۱۱	۱/۹۶E+۱۱	۲/۱۹E+۱۱	۲/۴۱E+۱۱	۲/۷۹E+۱۱
مارس	۵/۸۵E+۱۱	۲/۷۰E+۰۹	۶/۱۵E+۱۰	۱/۰۴E+۱۱	۱/۱۹E+۱۱	۱/۳۴E+۱۱	۱/۶۴E+۱۱
آوریل	۴/۲۲E+۱۰	۱/۷۸E+۰۸	۱/۰۴E+۱۰	۸/۱۸E+۰۹	۷/۹۴E+۰۹	۷/۷۶E+۰۹	۷/۷۸E+۰۹
مه	۱/۳۲E+۱۱	۴/۶۸E+۰۸	۲/۷۸E+۱۰	۲/۷۵E+۱۰	۲/۶۷E+۱۰	۲/۴۸E+۱۰	۲/۴۸E+۱۰
ژوئن	۳/۲۱E+۱۱	۱/۵۹E+۰۹	۵/۷۷E+۱۰	۶/۴۹E+۱۰	۶/۴۷E+۱۰	۶/۲۸E+۱۰	۶/۸۹E+۱۰
جولای	۵/۶۱E+۱۱	۲/۴۹E+۰۹	۹/۰۷E+۱۰	۱/۱۱E+۱۱	۱/۱۵E+۱۱	۱/۱۵E+۱۱	۱/۲۷E+۱۱
اوت	۴/۶۴E+۱۱	۲/۳۵E+۰۹	۷/۹۱E+۱۰	۹/۲۱E+۱۰	۹/۳۲E+۱۰	۹/۲۷E+۱۰	۱/۰۵E+۱۱
سپتامبر	۳/۲۰E+۱۱	۱/۳۸E+۰۹	۵/۹۲E+۱۰	۶/۵۴E+۱۰	۶/۵۱E+۱۰	۶/۲۸E+۱۰	۶/۶۳E+۱۰
اکتبر	۱/۲۸E+۱۱	۴/۱۸E+۰۸	۱/۴۳E+۱۰	۲/۲۳E+۱۰	۲/۶۲E+۱۰	۲/۹۸E+۱۰	۳/۴۹E+۱۰
نوامبر	۳/۱۰E+۱۱	۱/۷۱E+۰۹	۲/۹۹E+۱۰	۵/۳۰E+۱۰	۶/۲۴E+۱۰	۷/۱۹E+۱۰	۹/۰۷E+۱۰
دسامبر	۶/۵۱E+۱۱	۳/۶۶E+۰۹	۶/۹۴E+۱۰	۱/۱۶E+۱۱	۱/۳۱E+۱۱	۱/۴۶E+۱۱	۱/۸۵E+۱۱
کل سال	۵/۶۹E+۱۲	۲/۶۳E+۱۰	۷/۵۰E+۱۱	۱/۰۶E+۱۲	۱/۱۶E+۱۲	۱/۲۴E+۱۲	۱/۴۵E+۱۲

همچنین، میزان مصرف انرژی ساختمان بهینه‌سازی شده هم در جدول ۲۰ آورده شده است. نتایج نشان می‌دهند که در ساختمان بهینه‌سازی شده میزان مصرف انرژی در کل ساختمان، در زمستان ۳۵/۵ درصد، در تابستان ۴۴/۲۲ درصد و در کل سال ۴۰ درصد (یعنی ۳/۸۲E+۱۲ ژول) کاهش پیدا کرده است. همچنین درصد کاهش مصرف انرژی در طبقات مختلف در زمستان و تابستان در حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد است.

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این تحقیق، با استفاده از نرم‌افزار انرژی پلاس مصرف انرژی برای یک ساختمان آموزشی واقع در شهر تبریز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که با وجود اینکه ساختمان از مصالح و پنجره‌های خوبی برخوردار است، ولی باز هم می‌توان

www.SID.ir

مصرف انرژی را حدود ۴۰ درصد کاهش داد. البته در این نتیجه باید خطای ناشی از نحوه شبیه‌سازی و مدل‌سازی ساختمان را نیز درنظر گرفت تا مقدار دقیق به‌دست آید. به هر صورت با توجه به نتایج شبیه‌سازی به‌دست آمده برای ساختمان فوق پیشنهاد می‌گردد که:

۱- برای رنگ ساختمان از رنگ روشن‌تری استفاده شود.

۲- زمان تشکیل کلاس‌ها و حضور افراد به صورت مناسب انتخاب گردد؛ به این صورت که برای کاهش مصرف انرژی بهتر است زمان تشکیل کلاس‌ها در زمستان از ساعت ۹ تا ۱۸ و در تابستان از ساعت ۷ تا ۱۸ باشد. همچنین، بهتر است که در زمستان حجم بیشتر کلاس‌ها در ساعات میانی روز (ساعت ۱۰ تا ۱۷) و در تابستان نیز حجم بیشتر کلاس‌ها در ساعات اولیه صبح (۹ صبح تا ۱۱) و یا بعد از ظهر (۱۵ تا ۱۸) باشد.

۳- زمان بهینه برای کارکرد سیستم تهویه مطبوع انتخاب شود؛ به این صورت که سیستم تهویه مطبوع بهتر است در زمستان در ساعات ۱۷ بعد از ظهر تا ۶ صبح و در تابستان در ساعات ۱۶ بعد از ظهر تا ۴ صبح خاموش گردد.

۴- تعداد پنجره‌ها کاهش داده شود. پیشنهاد می‌شود که در هر جدار در کل ساختمان مساحت پنجره‌ها نصف یا یک‌سوم گردد. با توجه به بررسی به‌عمل آمده، تعداد پنجره‌های ساختمان زیاد است و به‌نظر می‌رسد که برای تامین نور ساختمان نیازی به تعداد زیادی پنجره نیست و می‌توان تعداد آن‌ها را کاهش داد. (به طور مثال با بستن یک قسمت از پنجره‌ها با یک چیزی همانند پرده یا یک عایق حرارتی مناسب)

۵- نوع شیشه پنجره تغییر داده شود. برای لایه خارجی شیشه کم‌گسیل برعکس و لایه داخلی شیشه کم‌گسیل معمولی استفاده گردد.

۶- سایبان افقی در تمام پنجره‌های کل ساختمان با عمق ۵۰ سانتی‌متر (البته به جز پنجره‌های زیرزمین) استفاده گردد. البته این مورد نسبت به سایر موارد گفته‌شده در این ساختمان دارای سهم کمتری است، اما در هر صورت میزان مصرف انرژی ساختمان را کاهش می‌دهد.

۷- تقدیر و تشکر

تحقیق حاضر از خلاصه نتایج حاصل از طرح تحقیقاتی تحت عنوان "برآورد مصرف انرژی در سه ساختمان دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز و ارائه راه‌کارهایی برای کاهش آن"، که با بودجه پژوهشی و حمایت مالی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز به انجام رسیده، استخراج شده است. بدین‌وسیله نویسنده مقاله مراتب تقدیر و تشکر خود را بابت همکاری معاونت محترم پژوهشی و معاونت محترم عمرانی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز و سایر افراد ابراز می‌دارد.

۸- مراجع

[1] Michael J., Robert H., "Testing and Validation of New Building Energy Simulation Program", *Energy and Buildings*, Vol. 33, No. 4, 2001, pp. 319-331.

[۲] ابراهیم‌پور عبدالسلام، معرفت مهدی، محمدکاری بهروز، "بررسی و مقایسه برنامه‌های شبیه‌سازی انرژی مصرفی در ساختمان"، *پنجمین همایش مصرف انرژی*، تهران، ۱۳۸۵.

[3] Chow W. K., Fong S. K., "Typical Meteorological for Building Energy Simulation in Hong Kong", *Fuel and Energy*, Vol. 38, 1997, pp. 277-290.

[4] Omar M., Douglas C., "Energy Simulation in Buildings: Overviwe and Blast Example", *Energy Conversion and Management*, Vol. 42, 2001, pp. 1623-1635.

[5] Energyplus Engineering Document/ The US Department of Energy, Energyplus software, 2011, http://apps1/eere/energy/gov/ buildings/energyplus

[6] Chan L. S., Chow T. T., Square K. F., John Z., "Generation of a Typical Teteorological Year for Hong Kong", *Energy Conversion and Management*, Vol. 47, 2006, pp. 87-96.

[7] Ebrahimpour A., Maerefat M., "A Method for Generation of Typical Meteorological Year", *Energy Conversion and Management*, Vol. 51, 2010, pp. 410-417.

[8] Http://Apps1.Eere.Energy.Gov/Buildings/Energyplus/Weatherdata_Sources.Cfm

[9] Ebrahimpour A., Maerefat M., "Application of Advanced Glazing and Overhangs in Residential Buildings", *Energy Conversion and Management*, Vol. 52, No. 1, 2011, pp. 212-219.

Archive of SID

www.SID.ir