نشریه علمی - پژوهشی مهندسی سازه و ساخت، دوره ۷، شماره ۲، سال ۱۳۹۹، صفحه ۵ تا ۲۳

نشریه مهندسی سازه و ساخت
(علمی – پژوهشی)

www.jsce.ir

بررسی تاثیر سیستم مدیریت ساختمان و عایق سازی در کاهش مصرف انرژی با استفاده از تحلیل انرژی ساختمان های مسکونی

سمانه کاظمی پوران بدر[۱]، دکتر فرهاد دانشجو[۲*]،علی معصومی حقیقی[۳]، محسنعلی شایانفر[۴]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی ساختمان‌های هوشمند، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۲- استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۳- کارشناس ارشد مهندسی و مدیریت ساخت، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

۴- دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

چکیده

مصرف در حال افزایش انرژی در جهان، باعث نگرانی‌هایی در مورد تأمین انرژی در آینده می‌شود. علاوه بر این کاهش مصرف انرژی باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای نظیر CO_2 خواهد شد. با توجه به اینکه ساختمان‌های مسکونی سهم قابل‌توجهی در مصرف انرژی دارند؛ بنابراین کاهش مصرف انرژی در این ساختمان‌ها به کمک سیستم مدیریت ساختمان (BMS) و عایق سازی دیوارهای پیرامونی آن‌ها می‌تواند تأثیر زیادی بر کاهش مصرف انرژی داشته باشد. به‌منظور ارزیابی میزان تأثیر این عوامل بر کاهش مصرف انرژی ساختمان‌های مسکونی استفاده از فرآیند مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) به کمک نرم‌افزارهایی که تحت فرآیند BIM هستند، روشی است که در پژوهش حاضر اتخاذشده است. با استفاده از فرآیند مدل‌سازی اطلاعات ساختمان بعد از مدل‌سازی ویژگی‌های موردنظر ساختمان، آنالیز حرارتی آن انجام شده است و با تغییر پارامترهای موردنظر تأثیر هر یک بر میزان مصرف انرژی بررسی شده است. از مهم‌ترین اهداف این پژوهش بررسی تأثیر استفاده از عایق‌های حرارتی و سیستم مدیریت ساختمان در کاهش مصرف انرژی، مقایسه‌ی انواع عایق‌های حرارتی از نظر نوع و ضخامت، مقایسه‌ی عایق سازی و سیستم مدیریت ساختمان از نظر کاهش مصرف انرژی و یافتن بهینه‌ترین حالت ازنظر مصرف انرژی بین مدل‌های مختلف ساختمان که دارای شرایط متفاوت هستند، می‌باشد. مقایسه در این مطالعه بین مدل‌های مختلف ساختمان و مدل پایه‌ی نزدیک به واقعیت انجام‌شده است و درنهایت با انجام مطالعات بیان‌شده مدل دارای سیستم BMS با ۳۴٫۶۱ درصد کاهش مصرف انرژی نسبت به مدل پایه، بیش‌ترین تأثیر در کاهش مصرف انرژی را در پی داشته است.

کلمات کلیدی: مصرف انرژی، مدل‌سازی، عایق سازی، سیستم مدیریت ساختمان، مدل‌سازی اطلاعات ساختمان

سابقه مقاله:					شناسه دیجیتال:
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	10.22065/jsce.2018.117885.1452
۱۳۹۶/۱۱/۱۴	۱۳۹۷/۰۴/۲۵	۱۳۹۷/۰۵/۲۶	۱۳۹۹/۰۱/۱۵	۱۳۹۹/۰۱/۱۵	doi: 10.22065/jsce.2018.117885.1452

*نویسنده مسئول: فرهاد دانشجو

پست الکترونیکی: Danesh_fa@modares.ac.ir

Impact of insulation and building management systems on reducing energy consumption and Energy analysis of residential buildings

S. Kazemi Pouran Bader [1], F. daneshjoo[2*], A. Maasoumy Haghighi [3] , , M.A. Shayanfar[4]

1- MSc.Student , Department of Smart Structures Engineering ,Tarbiat Modares University,Tehran,Iran
2- Professor, Department of Civil Engineering , Tarbiat Modares University,Tehran,Iran
3- MSc , Department of Civil Engineering , Iran University of Science and Technology , Tehran , Iran
4-Associate Professor , Department of Civil Engineering , Iran University of Science and Technology , Tehran , Iran

ABSTRACT

Increasing energy consumption in the world raises concerns about future energy supplies. In addition, reducing energy consumption will reduce greenhouse gas emissions, such as CO2. Given that residential buildings have a significant share in energy consumption, reducing energy consumption in these buildings through the Building Management System (BMS) and insulation of their Exterior walls can have a significant impact on reducing energy consumption.

In order to evaluate the impact of these factors on reducing the energy consumption of residential buildings, using Building Information Modeling process (BIM) with the help of BIM software is the method used in the present study. Using building information modeling process, after the modeling of the desired properties, the thermal analysis of the building has been done and by changing the parameters, the effect of each one on the energy consumption is investigated.

The main objectives of this research is to investigate the effect of the use of thermal insulating materials and building management system on reducing energy consumption, comparing all types of thermal insulating materials in terms of type and thickness, comparing insulation and building management systems in terms of reducing energy consumption and finding optimal energy-saving model between different building models that have different conditions. Comparison in this study has been done between different building models and the actual base model. Finally, by doing the stated studies, the model with BMS system with 34.61% reduction in energy consumption compared to the base model has the most effect on reducing energy consumption.

ARTICLE INFO

Receive Date: 03 February 2018
Revise Date: 16 July 2018
Accept Date: 17 August 2018

Keywords:
Energy Consumption, Modeling, Insulation, Building Management System, Modeling Building Information

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

10.22065/jsce.2018.117885.1452

*Corresponding author: Farhad Daneshjoo.
Email address: danesh_fa@modares.ac.ir

۱- مقدمه

کاهش مصرف انرژی[۱] بدون اغراق بسیار حائز اهمیت است. در کنار این اهمیت باید اضافه کنیم که در بسیاری از کشورهای دنیا حدود ۴۰٪ از تقاضای انرژی در ساختمان‌های مسکونی مورد استفاده قرار می‌گیرد و ۶۰٪ از کل انرژی مصرفی[۲] در مناطق مسکونی، جهت گرمایش فضاهای زندگی مصرف می‌شود [1]. علاوه بر این بخش اعظمی از این انرژی به‌منظور استفاده از سیستم‌های تهویه مطبوع[۳] مصرف می‌شود[2].

از طرفی بار انرژی مصرفی در ساختمان‌ها با استفاده از مصالح عایق کننده دمایی تا حد قابل‌توجهی کاهش خواهد یافت؛ و از طرف دیگر بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان انرژی در یک ساختمان تجهیزاتی هستند که ۴۰ تا ۶۰ درصد کل هزینه‌ی انرژی را پوشش می‌دهند که با مدیریت مصرف انرژی این تجهیزات نیز می‌توان به کاهش مصرف انرژی کمک بسیاری کرد. در سال‌های اخیر، کاربرد فنّاوری‌های جدید در ساختمان‌ها به میزان قابل‌توجهی افزایش‌یافته است. بازسازی فنی همیشه موجب مدیریت بهتر ساختمان شده است. فنّاوری‌های جدید موجب مدیریت موفق سیستم‌های ساختمان می‌شوند [3].

علاوه بر عایق سازی ساختمان‌ها، سیستم مدیریت ساختمان[۴] (BMS) نیز از جدیدترین فناوری‌هایی است که با به کنترل درآوردن تجهیزات و سیستم‌های تهویه مطبوع و سایر سیستم‌های مصرف‌کننده‌ی انرژی، مصرف کلیه‌ی انرژی‌ها مانند برق و انرژی حرارتی را مدیریت می‌کند.

سیستم هوشمند مدیریت ساختمان با به‌کارگیری آخرین تکنولوژی‌ها درصدد آن است که شرایطی ایده آل همراه با مصرف بهینه‌ی انرژی در ساختمان‌ها پدید آورد. این سیستم‌ها ضمن کنترل بخش‌های مختلف ساختمان و ایجاد شرایط محیطی مناسب با ارائه سرویس‌های هم‌زمان، سبب بهینه‌سازی مصرف انرژی، افزایش سطح کارایی و بهره‌وری سیستم‌ها و امکانات موجود در ساختمان می‌شود. سیستم هوشمند مدیریت ساختمان، علاوه بر نقشی که در بهینه‌سازی مصرف انرژی دارد، آسایش و رفاه را نیز به ارمغان می‌آورد.

برای بررسی چگونگی تأثیر عوامل مختلف بر میزان مصرف انرژی در ساختمان‌ها لازم است که اطلاعات ساختمان شامل تمامی ویژگی‌های آن طی فرآیندی مدل‌سازی شود و سپس با تغییر عوامل مختلف انرژی مصرفی برآورد گردد، در این راستا می‌توان از فرآیند مدل‌سازی اطلاعات ساختمان[۵] (BIM) بهره جست که به روند مطالعات موردنظر کمک شایانی می‌کند.

۱-۱-بیان مسئله

در این مطالعه با استفاده از مدل‌سازی کامپیوتری، برآورد مصرف انرژی ساختمان مسکونی در شهر تهران انجام شده و سپس به بررسی تأثیر عایق سازی و استفاده از سیستم مدیریت ساختمان در کاهش مصرف انرژی سالیانه در مناطق مسکونی پرداخته شده و مطالعه‌ای به‌صورت مقایسه‌ای بین این دو سیستم صورت پذیرفته است. همچنین تأثیر نوع و ضخامت عایق‌های حرارتی مختلف و مرسوم در ایران بر کاهش مصرف انرژی سالیانه نیز مورد بررسی بوده است. برای مدل‌سازی عملکرد گرمایی ساختمان و برآورد مصرف انرژی از فرآیند مدل‌سازی اطلاعات ساختمان استفاده شده است.

---

[۱] Energy Saving

[۲] Total Energy Consumption

[۳] Air Conditioning Systems

[4] Building Management System

[۵] Building Informatiom Modeling

۲- مطالعات پیشین

ارزیابی‌های فنی و اقتصادی نشان می‌دهد که استفاده از عایق حرارتی بهینه ضمن صرفه‌جویی در ابعاد کوچک، در بعد ملی نیز میلیاردها ریال صرفه‌جویی در مصرف سوخت را موجب می‌شود. در ایران علت عدم توجه به عایق‌کاری ساختمان‌ها بیش از هر علت دیگر، بی‌توجهی به ارزش انرژی تلف‌شده، ضعف دانش فنی مربوط به کاربرد مصالح و عدم شناخت صحیح و کافی از عناصر و جزئیات ساختمانی و فناوری ساختمان است. اقدامات مرتبط با صرفه‌جویی در مصرف انرژی در مرحله اول به کاهش انتقال حرارت و سپس کاهش نفوذ هوا از پوشش ساختمان برمی‌گردد.

مدیریت مصرف انرژی علاوه بر منافع اقتصادی، باعث تأمین آسایش دمایی ساکنین و منجر به کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز می‌گردد. در ساخت‌وساز ساختمان‌ها عوامل عمده‌ی انتشار گازهای گلخانه‌ای عبارت‌اند از: ۱- مصالح ساختمانی و پسماندها ۲- سوخت مصرفی ماشین‌آلات ساختمانی ۳- برق مصرفی تجهیزات ساختمانی [4].

از طرفی در مبحث صرفه‌جویی انرژی بیش‌تر نگاه‌ها به‌سوی سیستم مدیریت ساختمان[۶] (BMS) ساختمان معطوف می‌گردد زیرا در BMS مصرف کلیه‌ی انرژی‌ها مانند برق و انرژی حرارتی تحت کنترل درمی‌آید [۵].

بدیهی است اگر شرایطی ایجاد شود که در یک پروژه‌ی ساختمانی بتوان از هر دو فنّاوری عایق سازی و سیستم مدیریت ساختمان استفاده نمود، این امکان فراهم می‌شود که از مزایای هر دو به‌طور هم‌زمان بهره جست.

۲-۱-مصالح عایق سازی گرمایی

Al-Homoud عملکرد و ویژگی‌های ۵ نوع از عایق‌های ساختمانی مرسوم (پلی یورتان، فوم پلی ایزو سیانور[۷]، پانل فایبرگلاس سخت، پلی استایرن منبسط‌شده، روکش فایبرگلاس و ورمیکولیت[۸]) را بر پایه R-Value[۹] و با ضخامت ۵ سانتی‌متری مقایسه کرد. همچنین در این تحقیق پیشنهادها و طرح‌هایی برای به‌کارگیری مصالح عایق‌بندی ارائه‌شده است و مقایسه‌ای بین مقاومت گرمایی مصالح رایج عایق‌بندی با ضخامت ثابت انجام شده است [6].

در حال حاضر و با مراجعه به خصوصیات اساسی مصالح عایق‌بندی هیچ عایقی وجود ندارد که بتواند به‌تنهایی تمامی نیازهای مهم در این زمینه را برآورده سازد .Jelle یکی از مفهومی و کامل‌ترین مطالعات اخیر را انجام داده است و مقایسه کاملی میان تمامی مصالح عایق‌بندی در گذشته، حال و آینده و ویژگی‌های آن‌ها را در دسترس قرار داده است. او معیارهای زیادی از قبیل: (هدایت گرمایی، امکان آسیب‌پذیری و سوراخ شدن، انطباق‌پذیری با مکان ساختمان و قابلیت بریدن، مقاومت مکانیکی، مقاومت در برابر آتش، انتشار بخار گاز در زمان سوختن، مقاومت نیرویی، دوام در طول عمر و شرایط آب و هوایی، مقاومت در برابر سیکل یخ زدن و آب شدن، مقاومت در برابر آب، هزینه و تأثیرات محیط زیستی) را بررسی کرده است[7].

۲-۲-ساختمان‌های هوشمند

تعریف ساختارهای هوشمند از اواخر سال ۱۹۷۰ تا اواخر دهه‌ی ۱۹۸۰ باعث ایجاد بحث‌هایی شد. به‌منظور رسیدن به یک اجماع برای اصطلاحات اصلی در این زمینه، یک کارگاه آموزشی ویژه توسط اداره تحقیقات ارتش آمریکا در سال ۱۹۸۸ برگزار شد که در آن «سنسورها»، «عملگرها»، «مکانیزم کنترل» و «پاسخ به‌موقع» به‌عنوان چهار ویژگی مقدماتی از هر سیستم یا ساختار هوشمند شناخته شد[8]. در این کارگاه تعریف زیر از سیستم‌ها یا ساختارهای هوشمند رسماً به تصویب رسید [9].

---

[6] Building Management System

[۷] Polyisocyanurate

[۸] Vermiculite

[۹] The R-value is a measure of thermal resistance used in the building and construction industry

"یک سیستم یا مواد که از سنسورها، عملگرها و مکانیزم کنترل ساخته‌شده است یا به‌طور ذاتی دارای آن‌ها است که به‌موجب آن قادر به اندازه‌گیری یک محرک و پاسخ دادن به آن به شیوه و اندازه‌ی از پیش تعیین‌شده و در یک‌زمان کوتاه یا مناسب است و به‌محض حذف محرک قادر به بازگشت به وضعیت اصلی خود است."

۱-۲-۲-سیستم مدیریت ساختمان (BMS)

سیستم مدیریت هوشمند ساختمان به مجموع سخت‌افزارها و نرم‌افزارهایی اطلاق می‌شود که به‌منظور مانیتورینگ و کنترل یکپارچه قسمت‌های مهم و حیاتی در ساختمان نصب می‌شوند. وظیفه‌ی این مجموعه، پایش مداوم بخش‌های مختلف ساختمان و اعمال فرمان‌ها به آن‌ها به نحوی است که عملکرد اجزاء مختلف ساختمان در تعامل با یکدیگر و در شرایط بهینه با هدف کاهش مصرف ناخواسته و تخصیص منابع انرژی فقط برای فضاهای در حین بهره‌برداری باشد[10].

این سیستم " از کنترل‌کننده‌های مستقل یا ایستگاه‌های خارج از شهر استفاده می‌کند تا نیازهای ساختمان را بر مبنای تغییر عوامل خارجی نظیر زمان اشغال، روشنایی و دما به‌درستی از پیش تعیین کند"[11].

Reginald در سال ۲۰۱۵ با استفاده از شبیه‌سازی انرژی ساختمان، سطح انتشار کربن دی اکسید و مصرف انرژی یک ساختمان اداری دانشگاهی دارای سیستم BMS را برآورد کرده و با مقادیر مجاز مقایسه کرده است. از اهداف وی، استفاده از اطلاعات جمع آوری شده از قرائت BMS و سپس ارزیابی جامع عملکرد انرژی ساختمان بوده است [12].

Oti و همکارانش در سال ۲۰۱۶ با استفاده از پلاگین های Revit میزان مصرف برق، هزینه‌ی انرژی و سطح انتشار کربن دی اکسید را برای بخش‌های مختلف گرمایش، سرمایش، آب گرم و روشنایی به‌صورت جداگانه برآورد کردند و این تحلیل‌ها را در دو حالت وجود و عدم وجود سیستم BMS انجام دادند و مصرف هر بخش را در این دو حالت مقایسه کردند [13].

۲-۳- مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM)

موسسه ملی علوم ساختمان ایالات متحده[10]، BIM را " یک ارائه دیجیتال از مشخصه‌های فیزیکی و کاربردی ساختمان و یک منبع دانش اشتراکی اطلاعات ساختمان که پایه قابل‌اطمینانی را برای تصمیم‌گیری در طول چرخه عمر ساختمان شکل می‌دهد" تعریف کرده است[14].

پیشرفت‌های اخیر BIM امکان به‌کارگیری ابزارهای شبیه‌سازی عملکرد انرژی با قابلیت ارزیابی انرژی بهره‌برداری را فراهم آورده است. درنتیجه، ارزیابی انرژی نهفته اغلب در پایان فاز طراحی ساختمان امکان‌پذیر خواهد بود و این مسئله کمک شایانی به تغییرات احتمالی طراحی در جهت کاهش مصرف این نوع انرژی می‌کند. فقدان قابلیت به‌کارگیری ابزارهای شبیه‌ساز انرژی مانع ایجاد تعادل میان انرژی نهفته و بهره‌برداری در ساختمان می‌گردد، چراکه واردکردن دستی مقادیر و اطلاعات همواره با خطاهایی همراه بوده و باعث از دست رفتن منابع، زمان و ایجاد سوءتفاهم در اجرای پروژه‌ها خواهد شد[15].

Kanagaraj & Mahalingam چارچوبی را با عنوان (فرآیند یکپارچه طراحی ساختمان‌های با بهره‌وری بالا در مصرف انرژی) مشخص کردند که در آن رهنمودهایی برای انتخاب روش طراحی این نوع ساختمان‌ها در قسمت تجاری دهلی‌نو هندوستان در اختیار طراحان قرار داده‌شده است. عملکرد گرمایی مطالعه موردی آن‌ها به‌وسیله‌ی Ecotect نسخه 5.6 مدل‌سازی شده و همچنین پیشنهاد کردند که گیاهان محیطی و فضای باز و فضاهای ورزش و نوع سقف ساختمان و طراحی نور ساختمان و محدوده‌ها نیز در این نرم‌افزار مدل‌سازی شوند[16].

[10] National Institute of Building Sciences (NIBS)

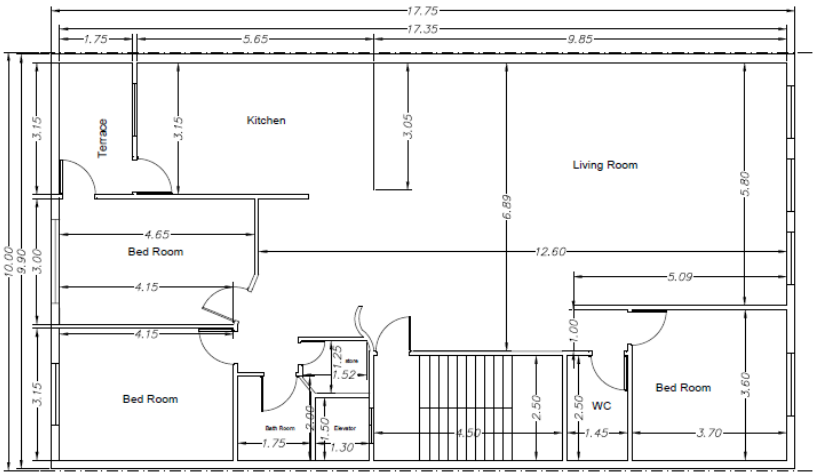
در مطالعه‌ای که Ling, Ahmad, & Ossen انجام دادند، تمرکز بر سازه‌های بلندمرتبه بوده است. آن‌ها سعی داشتند بهینه‌ترین شکل و جهت این نوع از ساختمان‌ها در مناطق گرم و مرطوب را مشخص کنند، با استفاده از ورژن 5.2 جهت شمالی- جنوبی و شکل مربع که دارای نسبت طول به عرض ۱ است به‌عنوان بهترین شکل و جهت که کم‌ترین تابش را دریافت می‌کند گزارش‌شده است[17] .

مؤثرترین راه‌حل برای رسیدن به آسایش دمایی در منطقه‌ی Chongqing چین، توسط Zhao, Gao, & Cheng تهویه طبیعی گزارش‌شده است. همچنین بهینه‌ترین سیاست در کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها و دستیابی به آسایش دمایی موردنظر اصلاح ظرفیت ذخیره‌سازی گرمایی ساختمان عنوان‌شده است، تمامی نتایج در این مطالعه با استفاده از نرم‌افزار Ecotect به‌دست‌آمده‌اند[18].

ازآنجایی‌که برای برآورد دقیق‌تر و استفاده بهینه از شبیه‌سازی مصرف انرژی نیازمند اطلاعات دقیق مصرفی و واقعی ساختمان‌ها هستیم انتقال داده از BMS به BIM بسیار ضروری و مفید است. در مطالعه‌ی دیگری که باهدف ایجاد ساختاری بر پایه‌ی اینترنت برای انتقال اطلاعات آنی از سیستم مدیریت ساختمان به مدل نرم‌افزاری انجام شده است. یک رابط نرم‌افزاری برای انتقال اطلاعات به مدل سه‌بعدی طراحی شده و به‌صورت آزمایشی برای یکپارچه‌سازی BIM و BMS مورد استفاده قرار گرفته است [19].

۳- روش تحقیق

مدل‌سازی یک آپارتمان مسکونی با نقشه معماری مرسوم در کشور ایران مطابق شکل ۱ در نرم‌افزار Autodesk REVIT انجام شد. مساحت کف هر طبقه از این آپارتمان ۴ طبقه تقریباً ۱۷۰ مترمربع و مساحت مسکونی کل این ساختمان تقریباً ۶۸۰ مترمربع است.



شکل ۱: نقشه پلان واحدهای مسکونی آپارتمان مطالعه موردی

پس از ورود نقشه به نرم‌افزار Revit و تکمیل آن، مدل نهایی به نرم‌افزار تحلیل داده‌های حرارتی ساختمان Ecotect وارد می‌شود. در این نرم‌افزار اطلاعات آب و هوایی شهر تهران به مدل تخصیص داده‌شده و مصالح موجود در ساختمان واقعی به مدل اختصاص داده می‌شوند. پس از اختصاص مصالح و شرایط آب و هوایی باید شرایط زندگی ساکنین در ساختمان نیز به نرم‌افزار وارد شود که این شرایط شامل: تعداد نفرات، فرهنگ زندگی، دمای آسایش، نوع پوشش، نوع سیستم‌های سرمایش و گرمایش و غیره است. بدین ترتیب مدل پایه که منطبق بر ساختمان موجود است، حاصل‌شده است.

در مراحل بعدی شبیه‌سازی نیز مدل پایه را با افزودن عایق حرارتی پلیمری به مدل‌های ثانویه تبدیل کرده و باهم مقایسه می‌نماییم.

همچنین مدل شبیه‌سازی‌شده در نرم‌افزار Ecotect با ایجاد سناریو و تأثیر دادن سنسورها و ترموستات‌ها به مدل هوشمند با مصرف معادل ساختمان دارای سیستم BMS تبدیل‌شده و نتایج حاصل از تحلیل مصرف انرژی این مدل نیز با دقت مناسبی به مصارف ساختمان دارای سیستم مدیریت انرژی نزدیک خواهد بود.

مدل موجود در نرم‌افزار تحلیل انرژی Ecotect در ۵ حالت زیر تبدیل‌شده و برآورد انرژی برای هر یک از این حالات به دست خواهد آمد.

۱. ساختمان مدل‌سازی شده با مصالح و روش زندگی واقعی ساکنین
۲. ساختمان واقعی به‌علاوه عایق پلی یورتان در دیوارهای خارجی
۳. ساختمان واقعی به‌علاوه عایق پلی استایرن در دیوارهای خارجی
۴. ساختمان واقعی به‌علاوه عایق پشم سنگ در دیوارهای خارجی
۵. ساختمان دارای سیستم مدیریت هوشمند ساختمان

۱-۳- نرم‌افزار مدل‌سازی Autodesk Revit

نرم‌افزار Revit شامل مجموعه‌ی کاملی از نرم‌افزارهایی است که برای اجرای فرآیند مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) مورداستفاده قرار می‌گیرند.

درنهایت با تکمیل مدل‌سازی با تمام جزییات ساختمان مدل‌سازی شده در نرم‌افزار Revit را در شکل‌های ۲ و ساختمان ساخته‌شده در واقعیت موجود در شهر تهران را در شکل ۳ مشاهده می‌نمایید که این دو ساختمان ازنظر جزییات اجرایی به‌صورت کامل به یکدیگر منطبق هستند. البته ازآنجایی‌که برخی از جزییات معماری برای رسیدن به اهداف این مطالعه حائز اهمیت نمی‌باشند، از در نظر گرفتن آن‌ها در این پژوهش صرف نظر شده است.

شکل ۲: تصویر مدل تکمیل‌شده‌ی آپارتمان مسکونی ۴ طبقه خروجی از نرم‌افزار Revit 2016

شکل ۳: ساختمان مسکونی ۴ طبقه واقع در تهران – ایران

۲-۳- نرم‌افزار Autodesk Ecotect

نرم‌افزار Autodesk Ecotect یکی از مهم‌ترین و کارآمدترین موتورهای شبیه‌سازی انرژی است، این نرم‌افزار به‌صورت گسترده‌ای در دنیا با هدف مدل‌سازی عملکرد ساختمان‌ها مورداستفاده قرار می‌گیرد.

پس از واردکردن موفقیت‌آمیز مدل از نرم‌افزار Revit ۲۰۱۶ برخی از تعاریف و اصلاحات از قبیل غیرفعال کردن مناطق غیر گرمایی باید در درون برنامه Ecotect صورت‌پذیرند.

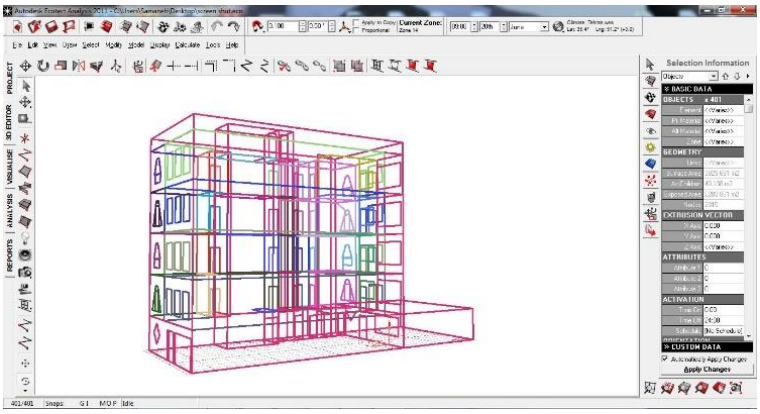
کل ساختمان مدل‌سازی شده ورودی به نرم‌افزار Ecotect شامل 32 منطقه گرمایی است که تنها 20 منطقه از آن‌ها مناطق اشغال‌شده و مسکونی هستند درنتیجه تنها این ۲۰ منطقه را در تحلیل‌ها موردبررسی قرار می‌دهیم.

در این مطالعه زمان استفاده از دستگاه‌های سرمایش و گرمایش ۲۴ ساعت در روز در نظر گرفته‌شده است، اگرچه که این مدت استفاده از دستگاه‌ها ازنظر اقتصادی و فنی و همچنین وجود تهویه طبیعی در مواقعی و در برخی فصول سال دور از واقعیت به نظر می‌رسد اما به دلیل اهداف مقایسه‌ای این مطالعه میان شرایط مختلف سیستم‌های مدیریت انرژی ساختمان که در آن‌ها دمای هوا نیز متفاوت است و همچنین مشاهده تأثیر عایق سازی ساختمان بر مصرف انرژی، در طول این مطالعه ساعت کار دستگاه ۲۴ ساعت در نظر گرفته‌شده است.

البته باید به این موضوع اشاره کرد که دمای هوای موردنظر در این ساختمان در مدل‌سازی ساختمان واقعی با توجه به عادات، نحوه‌ی رفتار ساکنین و بررسی‌های میدانی برابر ۲۱ تا ۲۶ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته‌شده و دمای هوا در مدل ساختمان دارای سیستم BMS با توجه به معیارهای آسایش دمایی ساکنین که در استاندارد ASHRAE55 برآورد شده است و پیش‌بینی می‌شود شرایط مطلوبی به لحاظ مصرف بهینه‌ی انرژی و آسایش ساکنین فراهم نماید، بین ۱۸ تا ۲۶ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته‌شده است. ساعات اشغال فضاهای مختلف در قالب سناریوی سیستم BMS با توجه به کاربری فضاهای موردنظر در این مطالعه مشخص شده است. همچنین می‌توان نوع سیستم تهویه را با توجه به اینکه فقط گرمایش، فقط سرمایش، تهویه طبیعی یا سیستم مختلط برای HVAC وجود دارد انتخاب نمود که با توجه به سیستم تهویه مطبوع ساختمان موردمطالعه سیستم مختلط به مدل اختصاص داده‌شده است.

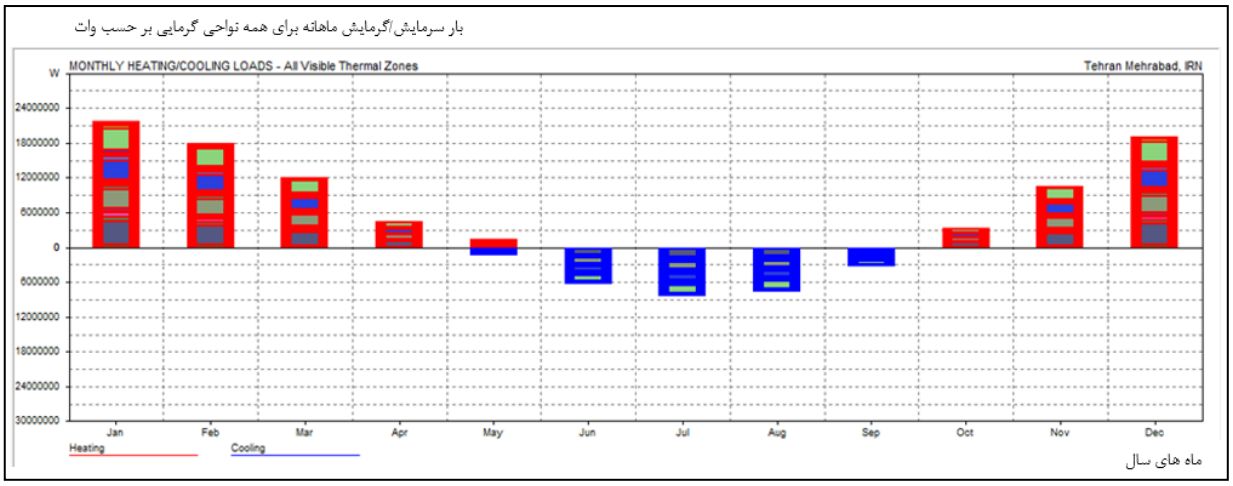
اما در قسمت دیگری که مربوط به محاسبات آسایش دمایی است، در این مطالعه بر اساس استاندارد ASHRAE55، راهنماهای موجود، پیشنهادات نرم‌افزار، شرایط زندگی ساکنین و بررسی‌های میدانی با توجه به نوع کاربری و فرهنگ جامعه مصرف‌کننده ضرایب و مقادیر بدین ترتیب به مناطق گرمایی اختصاص‌یافته‌اند: ضریب پوشش افراد ۰٫۶ متناسب با پیراهن و شلوار خانگی در نظر گرفته شد، شدت روشنایی با توجه به مقدار پیشنهادی استاندارد کمیته ملی روشنایی ایران برای منازل مسکونی و همچنین مقادیر پیشنهادی نرم‌افزار که بر اساس استانداردASHRAE55 برای شرایط مختلف ارائه‌شده است، برابر ۲۰۰ لوکس در نظر گرفته‌شده، تعداد نفراتی که در ساختمان موردمطالعه زندگی می‌کنند و مناطق گرمایی را اشغال نمودند ۳ نفر می‌باشد که به نرم‌افزار واردشده است. با توجه به اینکه ساختمان ازنظر کیفیت ساخت در حد متوسط برآورد شده و به لحاظ نفوذ هوا و درزگیری در شرایط متوسط است، با استفاده از مقادیر پیشنهادی نرم‌افزار مقدار نظیر کیفیت ساخت و نفوذ هوای متوسط در نرم‌افزار واردشده است. همچنین در این بخش قابلیت اعمال سناریوی سیستم BMS وجود دارد که در بخش‌های بعدی به آن پرداخته خواهد شد.

پس از تنظیم و اختصاص دادن ضرایب مرتبط به سیستم‌های سرمایش و گرمایش و استانداردهای آسایش دمایی باید نوع مصالح و جنس المان‌های مختلف ساختمان را مشخص کنیم. همان‌طور که مشخص است نوع مصالح اجزای ساختمان در مصرف انرژی تأثیر بسزایی دارد و در نرم‌افزار مدل‌سازی عملکرد حرارتی Ecotect به‌دقت به تعریف و اختصاص مصالح می‌پردازیم؛ و نوع مصالح لایه‌های مختلف دیوارها، نوع درب‌ها، مصالح لایه‌های مختلف سیستم سقف، نوع پنجره‌ها و سایر المان‌ها به‌دقت مشخص شده است. در شکل ۴ مدل ایجادشده در نرم‌افزار Ecotect قابل‌مشاهده است.



شکل ۴: مدل ایجادشده به نرم‌افزار Ecotect 2011

پس از اتمام مراحل مختلف ذکرشده مدل جهت شروع آنالیز گرمایی آماده شده است. با تحلیل گرمایی توابع و نمودارهای مقایسه‌ای شامل اطلاعات مربوط به مناطق دمایی، دمای داخل و خارج ساختمان، سهم نسبی مسیرهای مختلف حرارتی، بارهای گرمایش، سرمایش و تهویه برای نگه‌داشتن دمای ترموستات‌ها، تأثیر تابش خورشید بر دما و غیره محاسبه‌شده و در دسترس قرار می‌گیرند. در نمودار ۱ بارهای سرمایش و گرمایش ساختمان موردنظر در ماه‌های مختلف سال قابل‌مشاهده است.



نمودار ۱: بارهای ماهیانه سرمایش و گرمایش ساختمان موردمطالعه در شهر تهران-ایران، نرم‌افزار Ecotect 2011

۳-۳- مشخصات دیوارهای عایق سازی شده ساختمان با مصالح مرسوم در ایران

پرکاربردترین مصالح عایق سازی موجود در تمامی مناطق کشور ایران با بررسی عوامل مهم قیمت، هزینه حمل‌ونقل، اقبال عمومی و راحتی در اجرا عبارت‌اند از:

پلی استایرن منبسط‌شده (EPS[۱۱])

پشم سنگ معدنی

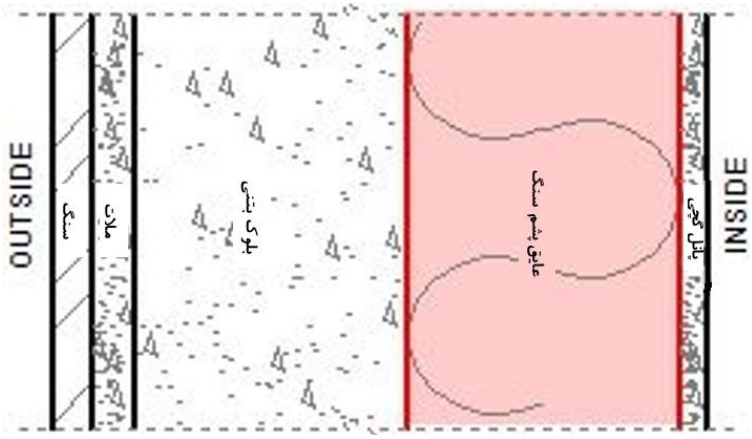
پلی یورتان

[۱۱] Expanded Polystyrene

با توجه به موارد ذکرشده، در سه مدل مجزا در سمت داخلی دیوارهای پیرامونی، لایه‌های عایق پلی استایرن، پلی یورتان و پشم سنگ بکار گرفته‌شده‌اند؛ که نمونه‌ای از لایه‌های دیوارهای پیرامونی عایق سازی شده به‌صورت شماتیک در شکل ۵ برای عایق پشم سنگ مشخص‌شده و مشخصات عایق‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱: مشخصات حرارتی عایق‌های بکار رفته در مدل دوم شبیه‌سازی انرژی ساختمان

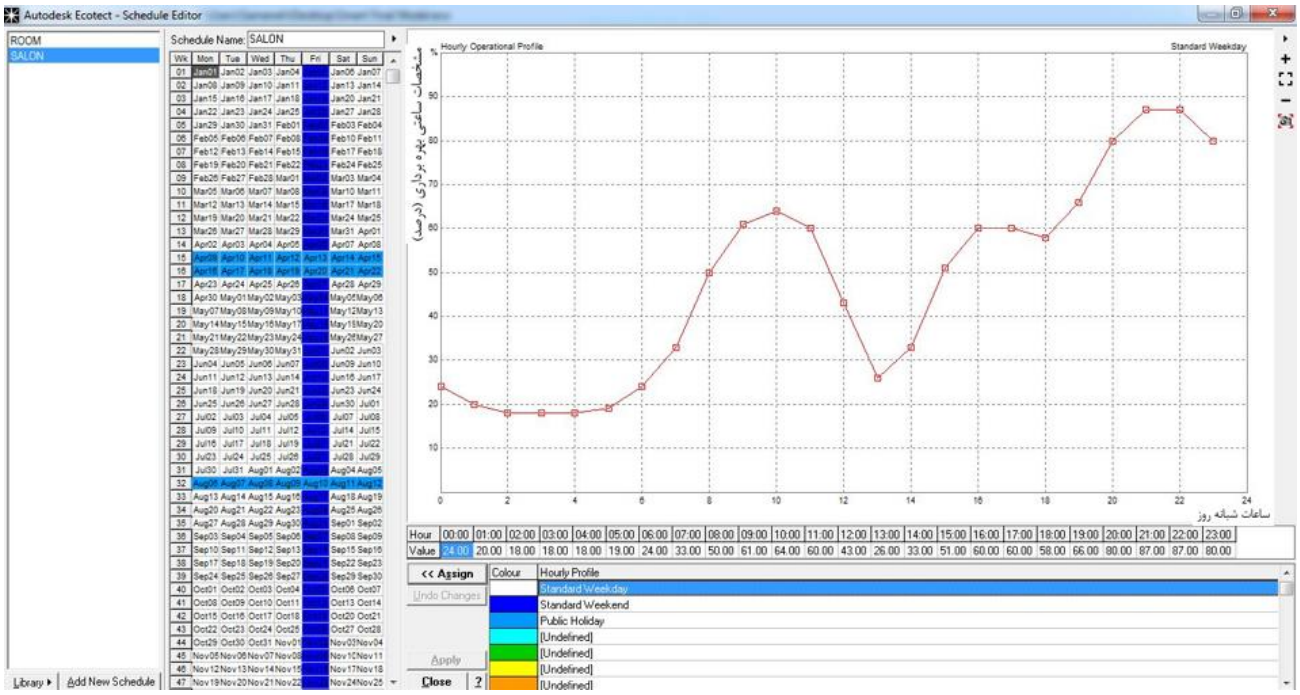
نوع عایق	دانسیته (kg/m^3)	گرمای ویژه $(J/kg.k)$	ضریب هدایت حرارتی $W/m.k$) (
پشم سنگ	۲۰۰	۷۱۰	۰،۰۳۴
پلی استایرن	۲۳	۱۴۷۰	۰،۰۳۵
پلی یورتان	۳۰	۱۵۹۰	۰،۰۲۳



شکل ۵: دیوار خارجی نماسنگ عایق سازی شده با پشم سنگ،Ecotect 2011

۴-۳- مشخصات سناریو و ویژگی‌های ساختمان دارای سیستم BMS

دو سناریوی جداگانه برای اتاق‌ها و سالن تهیه‌شده است. به‌عنوان‌مثال در شب‌هنگام که افراد معمولاً در اتاق حضور دارند سیستم‌های تهویه‌ی سالن باید خاموش یا در حالت نیمه باشند که در شرایط واقعی به‌این‌علت که امکان کنترل فضاها به‌صورت مجزا وجود ندارد یا به علت سهل‌انگاری ساکنین، انجام نمی‌شود، اما در سیستم مدیریت ساختمان با کنترل و مدیریت مصرف انرژی در فضاها به‌صورت جداگانه و طبق برنامه‌ی زمانی، امکان مدیریت سیستم‌های مصرف‌کننده‌ی انرژی وجود دارد. سناریوها در روزهای عادی هفته، تعطیلات آخر هفته و تعطیلات رسمی نظیر عید نوروز متفاوت می‌باشند و سناریوی سالن و اتاق‌ها نیز متفاوت است، برای نمونه، سناریوی سالن در روزهای عادی در شکل ۶ آورده شده است.



شکل ۶: سناریوی سالن در روزهای عادی هفته و در ساعات مختلف روز در نرم‌افزار Ecotect 2011

در مورد کنترل دما نیز در حالت واقعی دما معمولاً در حدود ۲۱ تا ۲۶ درجه‌ی سانتی‌گراد در ایام مختلف سال در واحد مسکونی موردمطالعه متغیر است؛ اما بر اساس استاندارد ASHRAE55 آسایش دمایی ساختمان‌های مسکونی در دمای ۱۸ تا ۲۶ درجه‌ی سانتی‌گراد فراهم می‌گردد و لازم است افراد از پوشش متفاوتی در فصول سرد و گرم استفاده نمایند. این محدوده‌ی دمایی همان نقاط تنظیم (set points) سیستم BMS است.

۴- بحث و نتیجه‌گیری

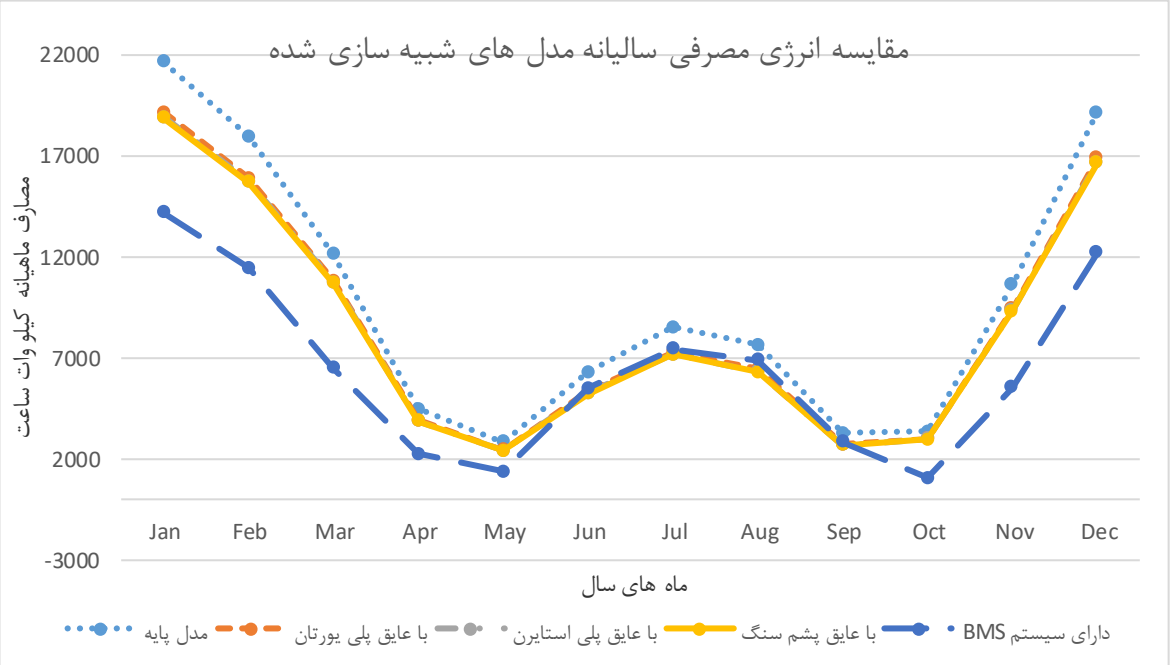
۴-۱- برآورد مصرف انرژی در مدل‌های شبیه‌سازی‌شده

نتایج برآورد مصرف سالیانه انرژی مدل‌های معرفی‌شده پس از انجام تحلیل انرژی در نرم‌افزار شبیه‌ساز مصرف انرژی در این بخش و در جداول زیر نشان داده می‌شود: (تمامی اعداد به Kwh هستند)

جدول 2: انرژی مصرفی سالیانه مدل‌های مختلف شبیه‌سازی‌شده (Kwh)

ماه	مدل پایه	با عایق پلی یورتان	با عایق پلی استایرن	با عایق پشم سنگ	دارای سیستم BMS
Jan	21667.714	19144.77	18926.6	18878.866	14174.525
Feb	17960	15898.841	15722.813	15683.906	11438.547
Mar	12121.381	10821.24	10716.086	10691.921	6463.764
Apr	4447.26	3894.086	3853.322	3843.72	2215.232
May	2834.703	2427.112	2387.31	2380.555	1370.106
Jun	6272.514	5328.225	5237.348	5219.828	5488.144
Jul	8498.488	7279.036	7161.244	7138.386	7426.036
Aug	7613.716	6433.05	6317.429	6295.309	6855.906
Sep	3259.082	2712.231	2656.763	2644.45	2802.721
Oct	3357.71	2991.062	2963.081	2957.979	1046.489
Nov	10623.676	9420.915	9326.836	9305.083	5537.279
Dec	19144.24	16890.408	16696.463	16653.874	12206.33
کل	117800.488	103240.976	101965.288	101693.872	77025.072

نمودا



۲: مقایسه انرژی مصرفی ماهیانه مدل‌های مختلف شبیه‌سازی‌شده (Kwh)

با توجه به جدول و نمودار فوق مدل پنجم بهترین عملکرد را در کاهش مصرف انرژی بهره‌برداری به خود اختصاص داده و پس‌ازآن به ترتیب مدل‌های ۴، ۳، ۲ رده‌های بعدی کاهش را به همراه داشته‌اند.

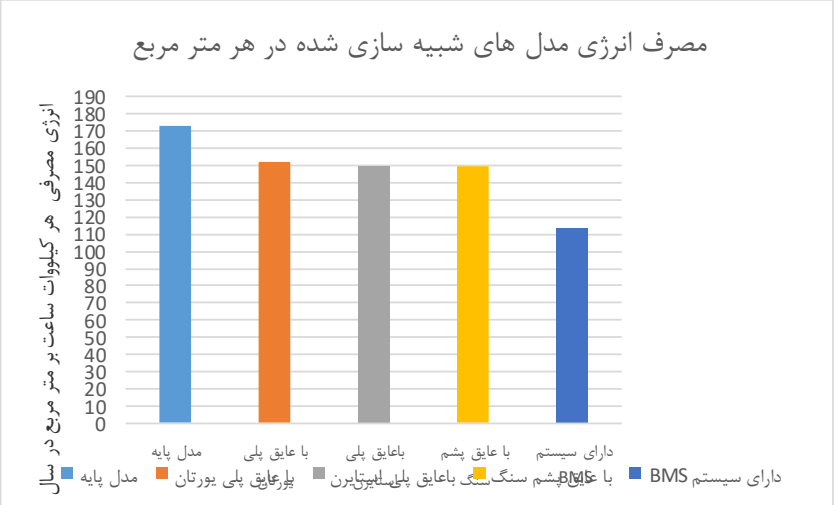
از روند کلی نمودارها در هر ۵ حالت مشخص است که مصرف انرژی در فصول سرد زمستان زیاد بوده و از ۲۲۰۰۰ کیلووات ساعت در مدل پایه تا حدود ۱۴۰۰۰ کیلووات ساعت در مدل پنجم که دارای BMS می‌باشد، متغیر است. حداکثر مصرف در زمستان در ماه ژانویه به‌دست‌آمده است که طبق اطلاعات آب‌وهوای شهر تهران سردترین فصل سال است و بیش‌ترین مصرف انرژی برای گرمایش در زمستان و بیش‌ترین مصرف انرژی در کل سال را به خود اختصاص داده است. با نزدیک شدن به فصل بهار در کلیه‌ی مدل‌ها مصرف انرژی رو به کاهش است و در ماه مه یعنی اواسط اردیبهشت تا اواسط خرداد به کم‌ترین میزان مصرف در فصل بهار می‌رسد. پس‌ازآن در فصل تابستان میزان مصرف انرژی مجدداً رو به افزایش است و در ماه جولای بیش‌ترین مصرف جهت سرمایش وجود دارد.

اما به‌طورکلی بار سرمایش در تمامی مدل‌ها کم‌تر از بار گرمایش است و بدین معنی است که سیستم جهت گرمایش واحد مسکونی با متراژ ۱۷۰ متر نیازمند انرژی بیش‌تر از انرژی موردنیاز جهت سرمایش است. مجدداً در فصل پاییز میزان مصرف به علت متعادل شدن هوا کاهش‌یافته و در ماه اکتبر کم‌ترین میزان مصرف در کل سال وجود دارد و هر چه به زمستان نزدیک‌تر می‌شویم میزان مصرف افزایش می‌یابد.

همچنین قابل‌ذکر است که مصرف انرژی در ۳ حالت عایق سازی با پلی یورتان و پلی استایرن و پشم سنگ بسیار به هم نزدیک است. علت آن استفاده از ضخامت بهینه‌ی به‌دست‌آمده از پژوهش‌های قبلی برای هر سه عایق بوده و مقایسه‌ی تأثیر این ۳ عایق در مصرف انرژی با ضخامت ثابت در بخش‌های بعدی انجام‌شده است.

۲-۴- محاسبه مبنای مقایسه مصرف انرژی در ساختمان‌های مختلف

برای تسهیل مقایسه مصرف انرژی در ساختمان‌های مختلف با سیستم‌های سرمایش -گرمایش و عایق‌ها و مدیریت انرژی متفاوت معمولاً از واحد مشترکی استفاده می‌شود. واحد مشترک مصرف انرژی که بر اساس آن رده انرژی هر ساختمان در استانداردهای مختلف تعیین می‌شود $\frac{KWH}{m^2.Year}$ است . این و بیانگر مقدار انرژی مصرفی هر مترمربع فضای مفید ساختمان شامل فضاهای حرارتی و غیرحرارتی در سال است . در این بخش انرژی مصرفی هر یک از مدل‌های ۵ گانه با واحد مشابه نشان داده‌شده است .



نمودار ۳: مصرف انرژی مدل‌های شبیه‌سازی‌شده با واحد $Kwh/m^2.Year$

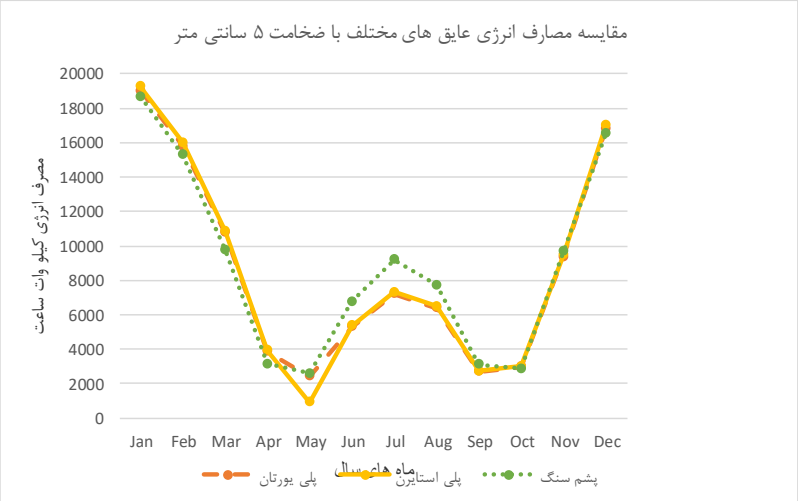
با توجه به نمودار مدل شماره ۵ با $\frac{KWH}{m^2.Year}$ ۱۱۳,۲۷ بهترین عملکرد و درواقع کم‌ترین مصرف انرژی را به خود اختصاص داده است . با کم مقدار مصرف انرژی با این واحد می‌توان ساختمان‌های مختلف با شرایط متفاوت را باهم مقایسه نمود .

۳-۴- نتایج مقایسه‌ای عایق‌های حرارتی و تأثیر ضخامت در عملکرد آن‌ها

همان‌طور که اشاره شد در تحقیقی مقادیر ضخامت بهینه عایق‌ها به‌دست‌آمده است. با استفاده از نتایج تحقیق انجام‌شده، در حالت‌های اصلی از ضخامت بهینه عایق‌ها که با در نظر گرفتن انرژی چرخه عمر به‌دست‌آمده‌اند، استفاده‌شده است؛ اما در این بخش برای مقایسه موردی عایق‌های دارای ضخامت یکسان، در جداول و نمودارهای زیر نتایج تحلیل اختصاص عایق ۵ و ۱۰ سانتی‌متری نشان داده‌شده است.

جدول ۳: مصارف مدل‌های عایق سازی شده با ۳ نوع مصالح مختلف به ضخامت ثابت ۵ سانتی‌متر (Kwh)

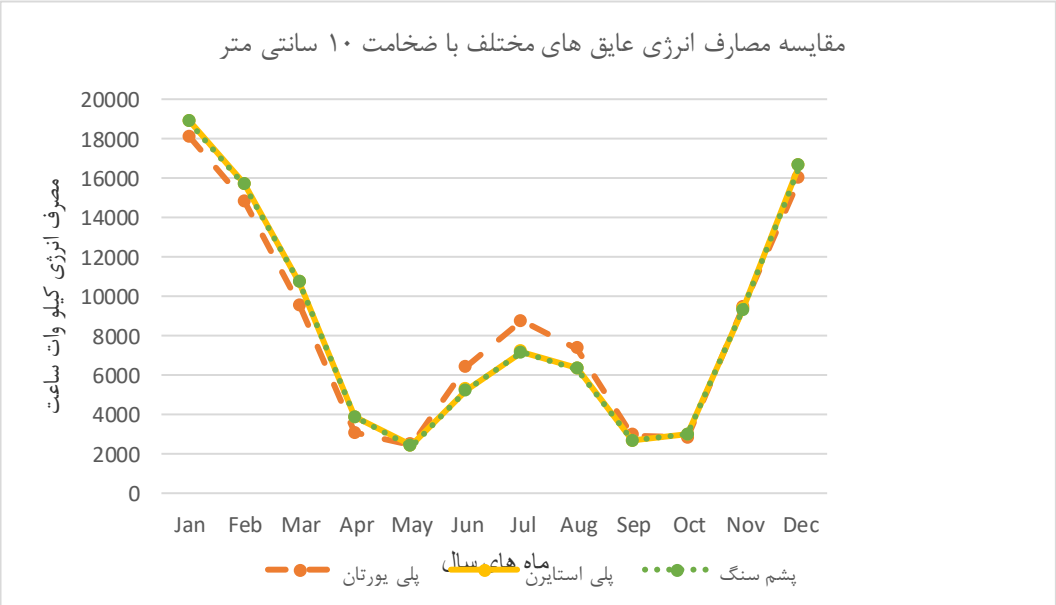
ماه	پلی یورتان	پلی استایرن	پشم سنگ
Jan	19031.464	19278.002	18687.898
Feb	15806.371	16009.713	15288.923
Mar	10763.703	10894.613	9788.66
Apr	3870.832	3923.596	3151.98
May	2408.028	2440. 911	2593.149
Jun	5286.568	5366.642	6769.829
Jul	7224.756	7329.722	9185.067
Aug	6380.53	6480.368	7731.192
Sep	2687.67	2736.474	3096.17
Oct	2975.92	2997.666	2873.668
Nov	9368.752	9488.207	9689.838
Dec	16789.278	17010.202	16517.067
کل	102593.872	103956.112	105373.44



نمودار ۴: مقایسه مصارف مدل‌های عایق سازی شده با ۳ نوع مصالح مختلف به ضخامت ثابت ۵ سانتی‌متر

جدول ۴: مصارف مدل‌های عایق سازی شده با ۳ نوع مصالح مختلف به ضخامت ثابت ۱۰ سانتی‌متر (Kwh)

ماه	پلی یورتان	پلی استایرن	پشم سنگ
Jan	18133.236	18926.6	18878.866
Feb	14853.184	15722.813	15683.906
Mar	9559.829	10716.086	10691.921
Apr	3056.24	3853.322	3843.72
May	2450.754	2387.31	2380.555
Jun	6424.28	5237.348	5219.828
Jul	8747.539	7161.244	7138.386
Aug	7340.738	6317.429	6295.309
Sep	2905.669	2656.763	2644.45
Oct	2805.267	2963.081	2957.979
Nov	9412.327	9326.836	9305.083
Dec	16019.77	16696.463	16653.874
کل	101708.832	101965.288	101693.872



نمودار ۵: مقایسه مصارف مدل‌های عایق سازی شده با ۳ نوع مصالح مختلف به ضخامت ثابت ۱۰ سانتی‌متر

با توجه به جدول ۳ باید به این نکته اشاره کرد که افزودن ضخامت عایق‌ها بعد از اندازه‌های ابتدایی تأثیر بسیار کم‌تری بر مصرف انرژی خواهند داشت و کاهش مقدار مصرف انرژی با افزایش ضخامت به‌تدریج به صفر میل خواهد کرد، این موضوع اساس دستیابی به ضخامت بهینه است و از به کار بردن ضخامت‌های زیاد و بدون کاربرد جلوگیری می‌نماید.

با توجه به نمودارهای مقایسه عملکرد عایق‌های با ضخامت ثابت در کاهش مصرف انرژی می‌توان به چند نکته اشاره کرد:

عملکرد عایق‌های مختلف در برابر سرما و گرما متفاوت است. به‌عنوان‌مثال در ضخامت ۵ سانتی‌متر و در فصل سرما پشم سنگ بهترین عملکرد را داشته و این در حالی است که در فصل گرم سال عملکرد عایق پلی یورتان نسبت به سایر عایق‌ها بهتر بوده است.

نسبت بازدهی عملکردی عایق‌های شبیه‌سازی‌شده با افزایش ضخامت متغیر است. عایق پشم سنگ که در ضخامت ۵ سانتی‌متر و در فصل زمستان عملکردی بهتر از سایر عایق‌ها دارد، با افزایش ضخامت به ۱۰ سانتی‌متر جای خود را به پلی یورتان داده و افزایش بازده عملکرد نسبی آن از پلی یورتان کمتر می‌شود.

با توجه به مقدار بیش‌تر مصرف انرژی در فصل سرما و نتایج به‌دست‌آمده از مطالعات گذشته عایقی که در این فصل عملکرد نسبی مناسب‌تری را در ضخامت بهینه خود نشان داده و از قیمت مناسب‌تری برخوردار باشد قطعاً بهترین گزینه برای اجرا در ساختمان است.

با توجه به موارد بیان‌شده و در نظر گرفتن هزینه هر مترمربع عایق‌ها با ضخامت بهینه، عایق پلی یورتان مناسب‌ترین عایق به نظر می‌رسد.

۴-۴- برآورد درصد کاهش مصرف انرژی مدل‌های شبیه‌سازی‌شده

در این بخش درصد کاهش انرژی مصرفی هر یک از حالات معرفی‌شده نسبت به مدل پایه در جدول ۵ نشان داده‌شده است. این درصد کاهش تنها در فاز انرژی بهره‌برداری است.

جدول ۵: میزان صرفه‌جویی در انرژی در مدل‌های مختلف

ردیف	مدل	کل مصرف (KWH)	درصد کاهش مصرف
۱	مدل پایه	117800.488	
۲	با عایق پلی یورتان	103240.976	٪12.36
۳	با عایق پلی استایرن	101965.288	٪13.44
۴	با عایق پشم سنگ	101693.872	٪13.67
۵	دارای سیستمBMS	77025.072	٪34.61

بر اساس جدول ۵ مدل شماره ۵ که بیش‌ترین تأثیر در کاهش مصرف انرژی را دارد تا نزدیک به ۳۵ درصد انرژی مصرفی فاز بهره‌برداری را کاهش می‌دهد. این موضوع با توجه به سهم ۸۵ درصدی انرژی فاز بهره‌برداری از کل انرژی چرخه عمر ساختمان نشان می‌دهد که اگر سیستم‌های مدیریت هوشمند ساختمان بیش‌ازپیش در دسترس باشد و آشنایی تصمیم گیران پروژه‌ها با این سیستم‌ها بیش‌تر شود این فنّاوری‌ها می‌توانند کمک فوق‌العاده‌ای به کاهش انرژی چرخه عمر در بخش ساخت‌وساز داشته باشند.

۴-۵- بررسی صحت نتایج به‌دست‌آمده

مطالعه حاضر بر مبنای مدل‌سازی در نرم‌افزار انجام شده است و این روش بر اساس مطالعات پیشین اگرچه دارای خطای نسبی است اما در نرم‌افزار اکوتکت این خطاها نسبت به سایر نرم‌افزارها کمتر بوده و نتایج قابل قبولی ارائه می‌دهد. همچنین از طرف دیگر ازآنجایی‌که در این مطالعه بررسی مقایسه‌ای میان مدل‌های مختلف مدنظر بوده و تفاوت مصرف انرژی به‌دست‌آمده است به دلیل وجود

مدل پایه یکسان خطاهای احتمالی در همه مدل‌ها برابر بوده و درنتیجه بر روی اختلاف میزان مصرف انرژی ساختمان در حالات مختلف تأثیر عمده‌ای نخواهد داشت.

نرم‌افزار اکوتکت در مطالعه‌ای برای شبیه‌سازی مصرف انرژی یک ساختمان در کشور قبرس مورد استفاده قرار گرفته است ، در این مطالعه برآورد اقتصادی عایق سازی ساختمان‌ها و تأثیر استفاده از ضخامت‌های مختلف مصالح دیوارچینی در مصرف انرژی بررسی شده است . در این تحقیق با بررسی نرم‌افزارهای مختلف شبیه‌سازی انرژی و مقایسه موردی آن‌ها با هم و مقایسه روش‌های ریاضی با نمونه تجربی و مدل‌سازی نرم‌افزاری ، نرم‌افزار اکوتکت به‌عنوان یکی از کم خطاترین نرم‌افزارها و روش نرم‌افزاری بهترین روش شبیه‌سازی انرژی عنوان شده است [20] .

همچنین در مطالعه دیگری که توسط نویسندگان همین مقاله انجام شده است مصرف انرژی سالیانه و ماهانه مدل ایجادشده تحت فرآیند BIM با مصارف واقعی ساختمان که از قبوض مصرفی آن به‌دست‌آمده مقایسه شده و با خطای اندکی در اکثر فصول نتایج حاصل از تحلیل شبیه‌سازی مصرف انرژی به مصارف واقعی نزدیک بوده است.

۵- نتیجه‌گیری

در این مطالعه بر اساس تحقیقات و استعلام‌های انجام‌شده و اهداف مشخص، ۵ نوع مدل به نرم‌افزار Ecotect واردشده و نتایج شبیه‌سازی مصرف آن‌ها باهم مقایسه و بررسی شد. پس از جمع‌آوری اطلاعات و تحلیل آن‌ها به کمک نمودارهای ترسیم‌شده در بخش چهارم این مطالعه نتایجی به‌دست‌آمده است که به‌اختصار در زیر بیان می‌شود:

در شروع مطالعه یک تحقیق میدانی و جمع‌آوری اطلاعات دقیق از ساکنین ساختمان مدل‌سازی شده در چند بخش انجام شد که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به جمع‌آوری اطلاعات ساعات حضور در فضاها، ساعات روشن بودن دستگاه‌های سرمایش و گرمایش، دمای آسایش ساکنین، برنامه حضور و عدم حضور در روزهای معمولی، آخر هفته‌ها و تعطیلات اشاره کرد.

۱. از نتایج شبیه‌سازی مدل‌ها این نتیجه به دست آمد که مدل دارای BMS عملکرد بهتری نسبت به سایر مدل‌ها دارد.

۲. مطابق نمودار ۳ بیش‌ترین مصرف ماهیانه انرژی مربوط ماه‌های سرد سال بوده و کمترین مصرف مربوط به فصل پاییز است.

۳. در بخش دیگری مصرف انرژی با واحد $Kwh/m^2.year$ محاسبه‌شده و مشخص شد که مدل‌های مختلف پایه تا مدل پنجم (دارای BMS)، انرژی مصرفی در بازه ۱۷۳ تا ۱۱۳ کیلووات ساعت بر مترمربع در سال را به خود اختصاص می‌دهند.

۴. با مقایسه عایق‌های مختلف در ضخامت ثابت این نتیجه حاصل شد که عایق پلی یورتان بازده عملکرد بهتری نسبت به سایر عایق‌ها داشته است.

۵. با محاسبه درصد بهینه‌سازی مصرف انرژی مشخص شد استفاده از سیستم مدیریت ساختمان در مدل پنجم بیش‌ترین کاهش را به میزان ۳۴،۶۱ درصد برای ساختمان حاصل خواهد کرد.

درنهایت نیز باید به این موضوع اشاره کرد که به‌کارگیری سیستم‌های کاهنده مصرف انرژی ساختمان محاسبه‌شده در این مطالعه علاوه بر منافع مادی منافع بسیار بزرگ غیرمادی به همراه دارد که ازجمله مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- بالا بردن آسایش حرارتی فضای داخل ساختمان‌ها
- بهبود عملکردهای فیزیکی و ذهنی ساکنین ساختمان‌ها

- کم شدن امکان کاهش آب بدن ساکنین ساختمان‌ها
- کاهش خطرات ابتلا به‌عنوان مختلفی از بیماری‌های طولانی‌مدت وابسته به شرایط حرارتی محل سکونت
- افزایش بهره‌وری و کاهش خستگی
- کاهش آلایندگی و تولید گازهای گلخانه‌ای
- کاهش سروصداهای ناخواسته و اضافی در داخل ساختمان
- بالا بردن سطح کیفیت زندگی و ...

مطالعه حاضر با محدودیت‌هایی نیز همراه بوده است که از آن جمله می‌توان به ثابت بودن پلان معماری ساختمان مورد تحلیل، استفاده از یک نرم‌افزار خاص و عدم امکان اندازه‌گیری نتایج از نمونه واقعی و مقایسه با نتایج به‌دست‌آمده از نرم‌افزار اشاره کرد.

برای ادامه این مطالعه می‌توان با مدل‌سازی در نرم‌افزارهای دیگر شبیه‌ساز انرژی و ساختمان‌ها با کاربری متفاوت شبیه‌سازی را انجام داد و سرانجام با مقایسه نتایج به‌دست‌آمده مدلی یکپارچه برای طراحی‌های آتی ارائه کرد.

مراجع

[1] Chwieduk, D. (2003). Towards sustainable-energy buildings. *Journal of Applied Energy*, pp.211–217.

[2] Al-Homoud, M. S. (2004). The Effectiveness of Thermal Insulation in Different Types of Buildings in Hot Climates. *Journal of Thermal Envelope and Building Science*,pp. 235-247.

[3] Hang, Y. (2010). Building Management System to support building renovation.*Journal of The Boolean: Snapshots of Doctoral Research at University College Cork*

[4] L. Ding, Y. Zhou and B. Akinci. (2014). "Building Information Modeling (BIM) application framework: The process of expanding from 3D to computable nD," Automation in Construction, vol. 46, pp. 82-93.

[5] Masha, F. & Ahmadi, A. & Mahmoudi Rad, S. (2015). Intelligent Building Management System (BMS). *The 3rd National Conference on Climate Change, Building and Optimizing Energy Consumption with a Sustainable Development Approach*, Isfahan.

[6] Al-Homoud, M. (2005). Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials. *Journal of Build Environment*,pp. 353-366

[7] Jelle, B. P. (2011). Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions – Properties, requirements and possibilities. *Journal of Energy and Buildings*,pp. 2549–2563.

[8] Rogers, C. A. (1988), Workshop Summary, Proceedings of U.S. Army Research Office Workshop on Smart Materials, Structures and Mathematical Issues, edited by C. A. Rogers, September 15-16, Virginia Polytechnic Institute & State University, Technomic Publishing Co, Inc, pp. 1-12.

[9] Ahmad, I. (1988), Smart Structures and Materials, Proceedings of U.S. Army Research Office Workshop on Smart Materials, Structures and Mathematical Issues, edited by C. A. Rogers, September 15-16, Virginia Polytechnic Institute & State University, Technomic Publishing Co, Inc, pp. 13-16.

[10] Jan Bozorgi, A. & Ghanad, Z. (2010). Intelligent Building System, *Kison Quarterly*, No. ۴۳, Winter 2010

[11]Gupta, R. & Chandiwala, S. (2007) How to Conserve Energy in Further Education Colleges, Building for the Future - Sustainable Construction for Professionals, retrieved 25 February 2013 from: www.eauc.org. uk/sorted/files/conserving_energy.pdf

[12] Reginald, A. I. (2015). Integrating BIM with BMS in Energy Performance Assessment: Case Study of a University Building in UK. *International Journal of 3-D Information Modeling*, 4(1), 19-44, January-March 2015

[13] A. H. Oti, E. Kurul, F. Cheung and J. H. M. Tah. (2016) A framework for the utilization of Building Management System data in building information models for building design and operation, *Automation in Construction.*

[14] NIBS, National Building Information Modeling Standard, United States: National Institute of Building Sciences, 2007.

[15] Shadram F, Johansson TD, Lu W, Schade J, Olofsson T.(2016). An integrated BIM-based framework for minimizing embodied energy during building design. Energy Build, 128:592-604.

[۱۶] Kanagaraj, G. & Mahalingam, A. (2011). Designing energy efficient commercial buildings—A systems framework. *Journal of Energy and Buildings*, pp. 2329–2343.

[۱۷] Ling, C. S, Ahmad, M. H. & Ossen, D. R. (2007). The Effect of Geometric Shape and Building Orientation on Minimising Solar Insolation on High-Rise Buildings in Hot Humid Climate. *Journal of Construction in Developing Countries*, pp. 27 - 38.

[۱۸]Zhao, M, Gao, G. & Cheng, Y. (2011). Applicability Analysis of Passive Energysaving Strategy in Chongqing. International Conference on Electronics, Communications and Control (ICECC) (pp. 4179 - 4183). Ningbo: IEEE

[19]Khalid, M. U, Bashir, M. K and Newport, D. (2017). "Development of a Building Information Modelling (BIM)-Based Real-Time Data Integration System Using a Building Management System (BMS)" Building Information Modelling, Building Performance, Design and Smart Construction, pp. 93-104.

[20] Mohamadi, Y. (2012). BIM and Building Performance Modeling Integration, in Minimizing the Annual Energy Demand of Typical Cypriot Dwellings.