



الگوهای انرژی کارا جداره خارجی ساختمان مسکونی بلند با بهره‌گیری از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان

حسن جبر^۱، محمدرضا بمانیان^۲، منصور یگانه^۳

^۱ گروه مهندسی معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، hassan.alaameri@gmail.com

^۲ (نویسنده مسئول) گروه مهندسی معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، bemanian@modares.ac.ir

^۳ گروه مهندسی معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، yaganeh@modares.ac.ir

چکیده

هم‌زمان با افزایش سریع مصرف انرژی، نگرانی در مورد مشکلات تولید، تخریب منابع انرژی و اثرات شدید زیست‌محیطی (از بین رفتن لایه اوزون، گرم‌شدن کره زمین، تغییرات آب‌وهوا و غیره) در جهان افزایش یافته است. امروزه بهره‌وری انرژی در ساختمان هدف اصلی سیاست انرژی در سطوح منطقه‌ای، ملی و بین‌المللی است. طراحی و ساخت نامناسب، مصالح و تجهیزات غیراستاندارد، مواد به‌کار رفته در ساختمان‌ها و انتخاب نامناسب پوشش ساختمان‌ها مانند دیوارها، پنجره‌ها و سیستم عایق‌کاری از مهم‌ترین عوامل شدت بالای مصرف انرژی در ساختمان‌ها است. بهبودسازی اقدامات فوق موجب کاهش سهم تلفات انرژی داخلی از هر یک از اجزای پوسته ساختمان می‌شود. پیشرفت روزافزون فناوری و نیاز صنعت برای استفاده از آن باعث شده مدل‌سازی اطلاعات ساختمان به‌عنوان یکی از فناوری‌های نوین در صنعت ساخت در حال رشد بوده و توجه محققین را برای استفاده و چگونگی توسعه آن جلب کرده است. هدف تحقیق حاضر بررسی الگوهای انرژی کارا جداره خارجی ساختمان مسکونی بلند با بهره‌گیری از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان بود. بدین‌منظور در این پژوهش استفاده از مصالح مختلف در ساخت دیوارهای خارجی ساختمان با تکیه بر یک مطالعه موردی و با استفاده از امکانات یک مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در اختیار می‌گذارد، از نظر مصرف انرژی بررسی شده است. مصالح مورد بررسی در این پژوهش بلوک سفالی، بلوک سیمانی با پوک، بلوک سیمانی فوم‌دار، بلوک ایران‌وال، بلوک هوادار، و وال‌کریتم می‌باشند. بلوک سیمانی با پوک و بلوک سیمانی فوم‌دار با حدود ۱۰ درصد صرفه‌جویی در مصرف انرژی حاصل از سوخت و ۸/۳ درصد صرفه‌جویی در مصرف انرژی الکتریکی، به‌عنوان بهترین دیوار انتخاب شد.

اهداف پژوهش:

۱. بررسی تأثیر مدل‌سازی اطلاعات ساختمان بر خانه‌سازی شهری.
۲. بررسی الگوهای انرژی کارا جداره خارجی ساختمان‌های مسکونی.

سؤالات پژوهش:

۱. تأثیر مدل‌سازی اطلاعات ساختمان بر خانه‌سازی شهری چگونه است؟
۲. الگوهای انرژی کارا جداره خارجی ساختمان‌های مسکونی چگونه است؟

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی

شماره ۵۳

دوره ۲۱

صفحه ۱۰۱ الی ۱۱۷

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۰/۰۸/۱۱

تاریخ داوری: ۱۴۰۰/۱۰/۲۷

تاریخ صدور پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۱۷

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۳/۰۱

کلمات کلیدی

مدل‌سازی اطلاعات ساختمان،
ساختمان مسکونی،
انرژی کارا.

ارجاع به این مقاله

جبر، حسن، بمانیان، محمدرضا، & یگانه، منصور. (۱۴۰۳). الگوهای انرژی کارا جداره خارجی ساختمان مسکونی بلند با بهره‌گیری از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان. مطالعات هنر اسلامی، ۲۱(۵۳)، ۱۱۷-۱۰۱



[dori.net/dor/20.1001.1.*
***** ***/](https://doi.org/10.22034/IAS.2022.331412.1889)



[dx.doi.org/10.22034/IAS
.2022.331412.1889](https://doi.org/10.22034/IAS.2022.331412.1889)

مقدمه

هم‌زمان با افزایش سریع مصرف انرژی، نگرانی در مورد مشکلات تولید، تخریب منابع انرژی و اثرات شدید زیست‌محیطی (از بین رفتن لایه اوزون، گرم‌شدن کره زمین، تغییرات آب‌وهوا و غیره) در جهان افزایش یافته است. امروزه بهره‌وری انرژی در ساختمان هدف اصلی سیاست انرژی در سطوح منطقه‌ای، ملی و بین‌المللی است. دستیابی به توسعه پایدار در سطح ملی مستلزم به حداقل رساندن تأثیر ساختمان بر محیط‌زیست با کاهش مصرف انرژی است. روش‌ها و تکنیک‌های فعلی برای شبیه‌سازی انرژی ساختمان‌ها زمان‌بر و غیرکارا است. علاوه بر این، آن‌ها فقدان قابلیت تعامل بالا بین داده‌های انرژی نظری و واقعی از چالش‌های اصلی این روش‌ها است. مراحل طراحی جداره خارجی ساختمان نقش مهمی در عملکرد چرخه عمر ساختمان از نظر منابع، مصرف انرژی و هزینه‌های چرخه عمر دارد. تجزیه و تحلیل عملکرد انرژی یک ساختمان در مراحل طراحی جداره خارجی مستلزم دسترسی به اطلاعات خاصی مانند ویژگی‌های مصالح و محیط است. چنین اطلاعاتی یکی از عوامل تعیین‌کننده عملکرد انرژی ساختمان است.

جاینگ و همکاران (۲۰۲۰) میزان دریافت انرژی خورشیدی در دیوارهای دارای نماهای آجری و چوبی را به‌صورت تجربی مورد مطالعه قرار دادند. نتایج ایشان از تأثیر قابل‌توجه جنس نمای ساختمان بر میزان مصرف انرژی ساختمان حکایت داشت. اولوسو و همکاران (۲۰۱۱) اثرات ذخیره انرژی خورشیدی در جداره خارجی ساختمان را بر کاهش مصرف انرژی در اقلیم سرد مورد بررسی قرار دادند. هیون و همکاران (۲۰۱۷) به تحلیل تجربی میزان تأثیر ضریب انعکاس خورشیدی نماهای رنگ‌شده بر بار حرارتی ساختمان پرداختند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که اگر نمای خارجی ساختمان با رنگ خاکستری پوشش داده شود، بار گرمایشی ساختمان نسبت به حالت نمای پوشش داده شده با رنگ سفید کاهش و بار سرمایشی آن افزایش می‌یابد. (مادالانو و همکاران، ۲۰۱۵). با استفاده از شبیه‌سازی عددی به تحلیل میزان اثرات جنس نمای خارجی ساختمان بر میزان مصرف انرژی سالانه ساختمان در اقلیم میلان ایتالیا پرداختند و ایشان در بررسی‌های خود، نماهای بتنی، نماهای آلومینیمی، نماهای شیشه‌ای و نماهای دارای پوشش گیاهی را مورد مطالعه قرار دادند. همچنین پاترینا بحار همکاران (۲۰۱۹) تأثیر استفاده از پوشش‌های گیاهی بر روی جدار خارجی ساختمان را به‌صورت عددی و تجربی بررسی نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از پوشش‌های گیاهی موجب کاهش جذب انرژی خورشیدی و کاهش بار تابستانه می‌شود، این درحالی است که این امر می‌تواند بار زمستانه ساختمان را افزایش دهد (اسوترنگ و همکاران، ۲۰۱۶). در پژوهشی نشان دادند که با انتخاب مصالح مناسب برای نمای ساختمان می‌توان از رخداد میعان در سیستم‌های سرمایش سقفی در اقلیم شهر جلوگیری کرد. طبق این تحقیقات می‌توان دریافت که طراحی جداره ساختمان می‌تواند نقش مهمی در میزان مصرف انرژی ساختمان‌های بلندمرتبه داشته باشد.

محققان بر این باورند که انطباق ناکافی به دلیل پیچیدگی تبادل داده بین طراحی جداره خارجی و شبیه‌سازی انرژی ساختمان، مانع از استفاده مؤثر از تحلیل‌های عملکرد انرژی در مرحله طراحی اولیه می‌شود. بهره‌وری از منابع انرژی

در ساختمان‌های جدید می‌تواند با اتخاذ رویکردی یکپارچه بر طراحی جداره ساختمان تأثیر بگذارد. مدل‌سازی اطلاعات ساختمان راه‌کار مناسبی برای استخراج داده‌هایی مانند نور روز یا انرژی در مناطق مختلف است. مدل‌سازی اطلاعات ساختمان شامل نمایش دیجیتالی مشخصات فیزیکی و عملکردی یک ساختمان است. به‌عنوان یک منبع مشترک اطلاعات در مورد امکانات قابل‌اعتماد یک ساختمان برای تصمیم‌گیری در طول چرخه عمر آن از ابتدا تا انتها استفاده می‌شود. براساس بررسی ادبیات تحقیق، پتانسیل‌های اصلی و ارزش افزوده پذیرش فناوری مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در بخش انرژی مورد پذیرش بوده است که می‌توان به تجزیه و تحلیل عملکرد ساختمان (پارک و همکاران، ۲۰۱۸)، طراحی یکپارچه و تجزیه و تحلیل عملکرد ساختمان (رمجای و همکاران، ۲۰۲۰)، کمک به انجام تجزیه و تحلیل عملکرد ساختمان در طراحی مراحل اولیه (ساواروس، ۲۰۲۰)، بهبود کیفیت طراحی و کاهش مصرف منابع (شین و همکاران، ۲۰۱۵)، بهره‌وری انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای (سالمون و همکاران، ۲۰۱۳)، کاهش مصرف انرژی و منابع (بوسینگ و همکاران، ۲۰۱۵)، بهبود کیفیت طراحی و بهره‌وری انرژی (ون و چنگ، ۲۰۱۷)، بهبود کیفیت طراحی و بهره‌وری انرژی (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۳) و بهبود کیفیت طراحی و بهره‌وری انرژی (چوی و همکاران، ۲۰۱۲) اشاره نمود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مدل‌سازی اطلاعات ساختمان نقش مهمی در بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های بلندمرتبه مسکونی دارد و در کنار طراحی جداره خارجی ساختمان از این سیستم می‌توان به‌منظور افزایش کارایی انرژی بهره گرفت، موضوعی که در تحقیقات قبلی کم‌تر بدان توجه شده است و نقش مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در بهبود الگوهای انرژی کارا جداره خارجی ساختمان مسکونی مورد توجه نبوده است که این شکاف تحقیقاتی در این پژوهش پوشش داده خواهد شد.

۱. ادبیات پژوهش

در راستای احداث ساختمان‌های سازگار با محیط‌زیست و جلوگیری از اتلاف انرژی در آن‌ها، مفهوم ساختمان سبز مطرح گردیده است. سازمان حفاظت از محیط‌زیست آمریکا مفهوم ساختمان سبز را بدین‌گونه تعریف کرده است: «ایجاد ساختارها و انجام فرآیندهایی از منابع کارآمد و مسئول در برابر محیط‌زیست در طول چرخه عمر ساختمان از مرحله طراحی، ساخت، بهره‌برداری، نگهداری، بازسازی و تخریب (داس و همکاران، ۲۰۱۵). این فرآیند دغدغه‌های طراحی یک ساختمان سنتی را که شامل اقتصاد، کارآمدی و آسایش بودند را گسترش داده و کامل می‌کند (دینگ و همکاران، ۲۰۱۴). بر این اساس، ساختمان سبز در مقایسه با ساختمان سنتی، علاوه بر آسیب کم‌تری که به انسان و محیط‌زیست وارد می‌کند، از لحاظ اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی نیز سودمندتر خواهند بود (دوبل و دیر، ۲۰۱۲). یکی از مهم‌ترین اهداف ساختمان سبز کاهش انرژی مصرفی توسط سیستم‌های گرمایش و سرمایش و در نتیجه افزایش بازده انرژی ساختمان می‌باشد (اناوایی، ۲۰۱۶). انرژی مصرفی یک ساختمان در چرخه عمر خود به دو بخش انرژی مرحله ساخت و انرژی بهره‌برداری تقسیم می‌شود (کامل و مموری، ۲۰۱۹).

انرژی مرحله ساخت که از آن به «انرژی نهفته» یاد می‌شود، انرژی مصرف‌شده در مراحل استخراج مواد از معادن، ساخت در کارخانه، حمل مصالح به محل پروژه، ساخت و نصب قطعات، بازسازی و تخریب را شامل می‌شود. «انرژی بهره‌برداری» انرژی موردنیاز برای نگهداری و بهره‌برداری ساختمان در طول عمر آن است (کیم و همکاران، ۲۰۱۳). به گزارش مؤسسه ملی علوم ساختمان در سال ۲۰۰۳، ۹۰ تا ۹۵ درصد انرژی یک ساختمان در طول چرخه عمر آن در مرحله بهره‌برداری مصرف می‌شود (کوتا و همکاران، ۲۰۱۳). بنابراین تلاش برای کاهش انرژی بهره‌برداری در همان مراحل اولیه طراحی در نهایت به ساختمانی با عملکرد بالاتر منجر می‌شود (جین و همکاران، ۲۰۱۹). در چند سال اخیر سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت کشور، سازمان بهره‌وری انرژی، سازمان مسکن و شهرسازی و معاونت امور انرژی وزارت نیرو، با پشتوانه مصوبات و قوانین لازم‌الاجرا و تأمین اعتباراتی در حد امکان، گام‌های بلندی در راستای بهینه‌سازی مصرف انرژی در بخش‌های مختلف ساختمان‌های عمومی برداشته‌اند، اما به نظر می‌رسد که همچنان قوانین مصوب در زمینه بهینه‌سازی مصرف انرژی ضمانت اجرایی لازم را ندارند.

در سال ۱۳۷۰ اولین ویرایش مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان، تحت‌عنوان صرفه‌جویی در مصرف انرژی تدوین گردید و اجرای آن در ساختمان‌های کشور الزامی شد. ویرایش سومین مبحث که آخرین ویرایش آن تاکنون می‌باشد، شامل روش‌های طرح، محاسبه و اصول کلی اجرای عایق‌کاری حرارتی پوسته خارجی، سیستم‌های سرمایش، گرمایش و تهویه مطبوع، تأمین آب گرم مصرفی، و الزامات طراحی سیستم روشنایی الکتریکی در ساختمان‌ها، برای بهینه‌سازی مصرف انرژی است. گفته می‌شود با اجرای مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان شامل عایق‌کاری سیستم تأسیسات و لوله‌ها، عایق‌کاری جداره خارجی ساختمان و نصب پنجره‌های دوجداره استاندارد در ساختمان کمتر از ۵ درصد سبب افزایش هزینه‌های ساختمان در این قسمت می‌شود ولی از طرف دیگر، ظرفیت سیستم گرمایش و سرمایش موردنیاز ساختمان را می‌توان تا ۴۰ درصد نسبت به حالتی که این مبحث اجرا نمی‌شود، کوچک‌تر انتخاب کرد، که به‌نوبه خود کاهش چشم‌گیر هزینه‌ها را در این قسمت شامل می‌شود (خردزنجیر، ۱۳۹۰).

خصوصیات پوشش ساختمان تأثیر قابل‌توجهی بر بازدهی انرژی ساختمان‌ها، کیفیت هوای داخل و دمای آسایش انسان

دارد. بنابراین ارزیابی کارآمد عملکرد حرارتی پوشش ساختمان در کاهش مصرف انرژی سیستم‌های گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع نقش حیاتی ایفا می‌کند. به‌طور مشخص طراحی دقیق پوشش ساختمان می‌تواند بهره‌وری انرژی ساختمان را بهبود بخشد. دیوارهای خارجی، بازشوها، سقف، پی، عایق‌های حرارتی، جرم حرارتی، سایه‌بان‌ها و ... همگی جزو مؤلفه‌های کلیدی در پوشش ساختمان‌ها هستند. طبق تحقیقی توسط حسینی در سال ۹۰ در یک ساختمان معمولی عرف در تهران مجموع اتلاف حرارتی از دیوارها و سقف حدود ۷۵ درصد از کل حرارت اتلافی را تشکیل می‌دهد (رسنولی و رهبر، ۱۳۹۸). برای درک نحوه اثرگذاری این عوامل بر طراحی ساختمان، نیاز به دانستن چگونگی بهینه‌سازی پوشش براساس پارامترهای آب‌وهوا، مکان و مشخصات پوشش ساختمان است. در سال ۲۰۰۹ عملکرد حرارتی دیوار سنگین حرارتی جهت نیل به هدف ساختمان با مصرف انرژی صفر مورد بررسی قرار داده شد. در سال

۲۰۱۰ افزایش بازدهی انرژی را در طراحی پوشش ساختمان‌ها بررسی شد (قرمزی و نصرالهی، ۱۳۹۸). در تحقیقی در سال ۲۰۱۹ استراتژی‌هایی جهت بهینه‌سازی سیستم‌های پوشش ساختمان در آپارتمان‌ها پیشنهاد داده شد. در سال ۲۰۲۰ مدلی برای تعیین معماری و پوشش ساختمان در مراحل اولیه طراحی باتوجه به ملاحظات انرژی راه‌کارهایی ارائه شد (هومن و همکاران، ۱۳۹۵). برای تسهیل فرآیند تخمین عملکرد انرژی ساختمان مدل‌های شبیه‌سازی جامع عملکرد حرارتی ساختمان ایجاد شدند. در حال حاضر، صدها نرم‌افزار برای شبیه‌سازی عملکرد انرژی یک ساختمان و زیرمجموعه‌های آن وجود دارد که برخی از آن‌ها قابلیت واردکردن مدل سه‌بعدی از CAD و یا مدل چندبُعدی از ابزارهای مدل‌سازی اطلاعات ساختمان را دارند. از این‌رو، مدل‌سازی اطلاعات ساختمان می‌تواند فرصتی جهت بهترین استفاده از اطلاعات طراحی در دسترس برای طراحی پایدار و تحلیل عملکرد ساختمان فراهم کند.

مدل اطلاعات ساختمان که به‌عنوان یک تکنولوژی و فرآیند انقلابی توسط بسیاری از افراد به‌عنوان یک فرصت استثنائی در صنعت معماری، مهندسی و ساخت معرفی می‌شود، به‌عنوان راهکاری جهت تسهیل یکپارچه‌سازی و مدیریت اطلاعات در طول چرخه عمر یک ساختمان پدیدار شده است. مشخصه‌های حیاتی مدل‌سازی اطلاعات ساختمان را در چهار حوزه شناسایی شده است: یکپارچه‌سازی پایگاه‌های مختلف داده، تسهیل مدیریت اسناد و داده‌ها، به تصویر کشیدن فرآیندهای تحلیل و خروجی‌ها و فراهم‌کردن تحلیل‌ها و شبیه‌سازی‌های پایداری باتوجه به توانایی مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در بهبود عملکرد و سودآوری پروژه‌ها باعث افزایش علاقه به پذیرش و به‌کارگیری مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در سراسر جهان شده است. در این میان، کشورهای بسیاری از منطقه خاورمیانه برای به‌کارگیری مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در پروژه‌های خود تلاش کرده‌اند.

بر طبق پژوهش خردزنجیر (۱۳۹۰)، ۵/۲۲ درصد از شرکت‌های داخل کشور از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در پروژه‌های خود استفاده می‌کنند و ۸/۵۶ درصد از این شرکت‌ها برای به‌کارگیری مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در پروژه‌های خود تا ۵ سال آینده هدف‌گذاری کرده‌اند. نتایج این آمارگیری حاکی از رشد روزافزون استفاده از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در ساختمان‌های کشور در سال‌های پیش رو می‌باشد. ابزارهای مدل اطلاعات ساختمان به کاربران کمک می‌کند تا تحلیل کاملی از مصرف انرژی در پروژه داشته باشند و همچنین بتوانند سناریوهای جایگزین را برای کاهش مصرف انرژی در طول مرحله طراحی بررسی کنند. بدین‌وسیله طراحان و کارفرمایان می‌توانند تصمیمات مربوط به انرژی که بیشترین اثر را بر روی هزینه چرخه عمر پروژه می‌گذارد، اتخاذ نمایند. در سال ۲۰۱۲ با استفاده از ابزارهای مدل‌سازی سه‌بعدی و چهاربُعدی مدل‌سازی اطلاعات ساختمان برای رسیدن به هدف ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۰ ساختمان با مصرف انرژی صفر اروپایی و آمریکای شمالی راهکارهایی ارائه شد (کارلو و همکاران، ۲۰۲۰). جلائی در سال ۲۰۱۴ در دانشگاه اوتاوا سیستمی یکپارچه از گواهی ساختمان سبز، تحلیل انرژی و ابزار تخمین هزینه برای طراحی ساختمان‌های پایدار ارائه داد. در سال ۲۰۱۳ استفاده از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان را در بازدهی انرژی مورد بررسی قرار داده شد (هیون و همکاران، ۲۰۱۷).

نرم افزار Green Building Studio یکی از نرم افزارهای تحلیل انرژی است که از موتور شبیه سازی DOE-2 استفاده می کند و قابلیت تحلیل انرژی مدل موجود در نرم افزارهای مدل سازی اطلاعات ساختمان مانند Revit را از طریق پلاگین قابل نصب در نرم افزار دارد. برتری این نرم افزار نسبت به نرم افزارهای مشابه در کیفیت گرافیکی بالا و سریع از رفتار انرژی در ساختمان براساس منابع ساختمان و منابع بارگذاری شده در آن می باشد. همچنین این نرم افزار به طور اتوماتیک مصرف انرژی را با استفاده از نرخ سودآوری به صورت گزارش هزینه انرژی ارائه می دهد که می تواند نگاهی کلی از تحلیل اقتصادی پروژه به دست دهد. با توجه به گسترش استفاده از مدل سازی اطلاعات ساختمان در طراحی ساختمان ها در کشور، استفاده از نرم افزارهایی همچون Green Building Studio که قابلیت تحلیل انرژی مدل های موجود را در خود نرم افزار دارد، باعث افزایش سرعت کار و یکپارچه سازی اطلاعات تحلیل انرژی با دیگر اطلاعات پروژه می شود.

۲. مدل سازی و تحلیل انرژی

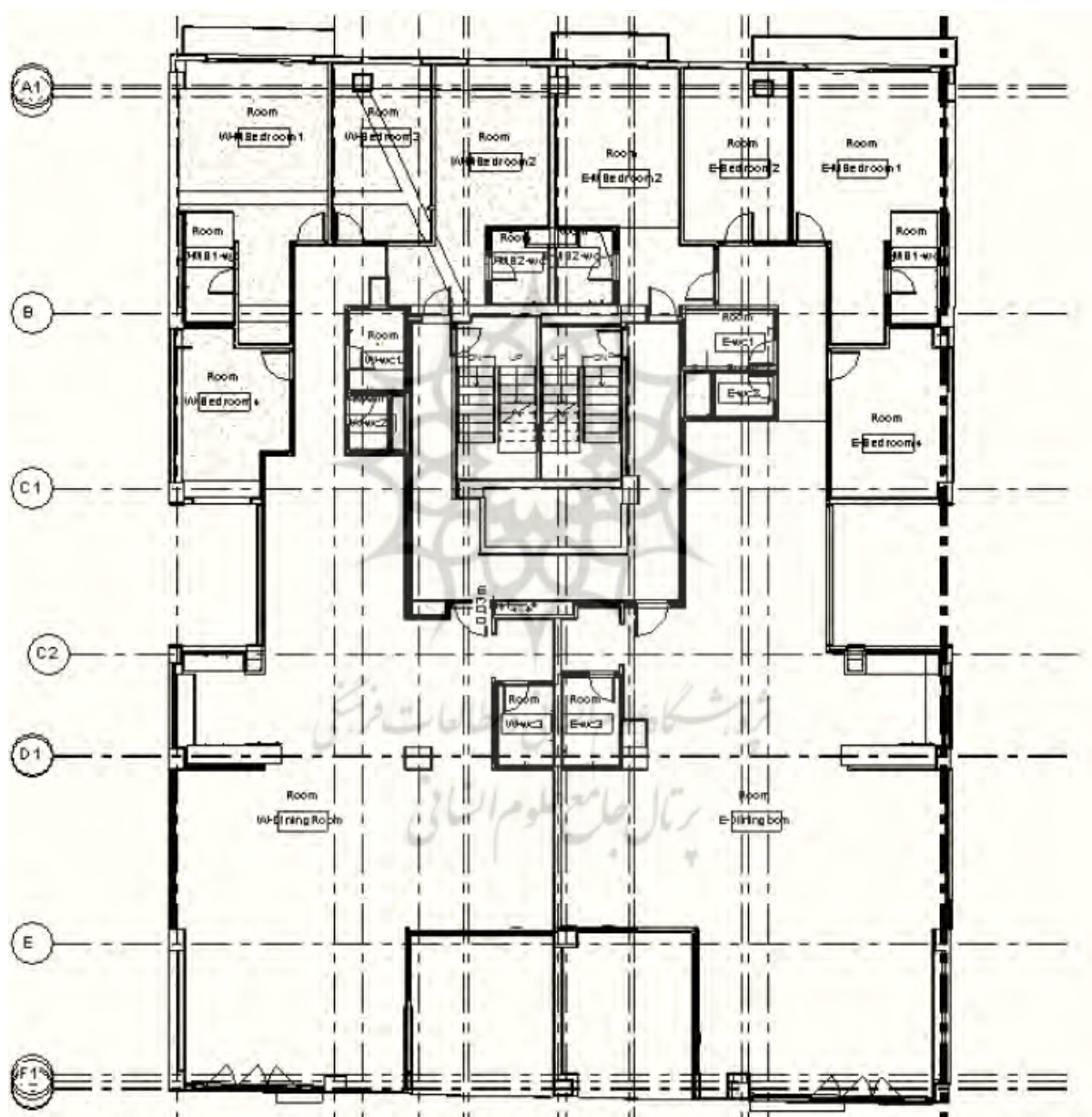
در پژوهش پیش روبلوک سفالی، بلوک سیمانی با پوکه، بلوک سیمانی فوم دار، وال کریت و بلوک بتن هوادار به عنوان مصالح رایج ساخت دیوارهای خارجی ساختمان های کشور برای مقایسه از نظر میزان تأثیر در اتلاف انرژی انتخاب شده اند. مشخصات حرارتی مصالح انتخاب شده از مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان و کاتالوگ های شرکت های معتبر استخراج شده و به شرح جدول زیر می باشد.

جدول ۱. مشخصات حرارتی مصالح ساخت دیوارهای خارجی رایج در کشور

مصالح	چگالی	ضریب انتقال حرارت
بلوک سفالی	۱۹۸۰	۱.۲۹۷
بلوک سیمانی با پوکه	۷۷۵	۰.۱۱۳
بلوک سیمانی فوم دار	۸۰۰	۰.۱۴۰
وال کریت	۶۰۰	۰.۱۳
بلوک بتن هوادار	۶۷۰	۰.۱۳۰

مطالعه موردی ساختمان مسکونی ۱۲ طبقه به مساحت کل ۷۱۰۲ متر مربع واقع در شهر تهران می باشد. هر طبقه متشکل از ۲ واحد و هر واحد به مساحت ۳۵۰ متر مربع می باشد. دیوارهای خارجی این ساختمان بلوک سفالی و پنجره های به کار رفته در هر طبقه شیشه دوجداره با جداره UPVC می باشند. در چهار دهنه از ساختمان دیوار برشی بتن مسلح تعبیه شده است. نماهای کناری ساختمان سیمانی و نمای رو به خیابان سنگ گرانیت و در بخش هایی

ترموود می‌باشد. سیستم گرمایش، سرمایش و تهویه در این ساختمان شامل دیگ بخار برای گرمایش، چیلر برای سرمایش و فن کویل برای تهویه می‌باشد. ساعات بهره‌برداری از ساختمان به صورت ۲۴ ساعته و ۷ روز هفته تنظیم شده و مطابق مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان دمای هوای داخل فضاها، در محل حضور افراد، در اوقات سرد سال حداکثر ۲۰ درجه سلسیوس و در اوقات گرم سال حداقل ۲۸ درجه سلسیوس تنظیم شده است. پلان طبقات ساختمان مذکور در شکل زیر در محیط نرم افزار Revit نمایش داده شده است.



شکل ۱. پلان طبقات

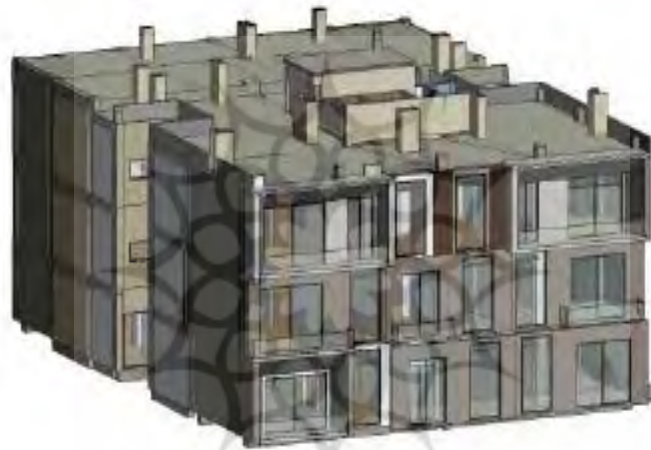
باتوجه به اینکه در این ساختمان کاربری تمام واحدها مسکونی است و نوع سیستم گرمایش، سرمایش و آب گرم

مصرفی

یکسان است. همچنین پوسته خارجی ساختمان به صورت سرتاسری بوده و برای تمامی واحدها مشابه است. بنابراین می توان تحلیل انرژی را برای بخشی از مدل انجام داده و در نهایت به کل ساختمان تعمیم داد. در این تحقیق ابتدا سه

طبقه (طبقات دهم، یازدهم و دوازدهم) از ساختمان جدا شده و به صورت مستقل از نظر مصرف انرژی تحلیل می شود. در انتها، نتایج تحلیل انرژی به کل طبقات تعمیم داده می شود.

از نرم افزار Revit برای مدل سازی ساختمان و نرم افزار Green Building Studio برای تحلیل انرژی مدل استفاده شده است. شکل زیر نمای سه بُعدی از سه طبقه نهایی ساختمان را نشان می دهد.



شکل ۲. مدل سه بُعدی از طبقات دهم، یازدهم و دوازدهم (نمای جنوب غربی)

برای محاسبه مقاومت حرارتی یک دیوار متشکل از لایه های مصالح متفاوت مقاومت حرارتی هر لایه جداگانه باید محاسبه گردد. برای محاسبه دستی با تقسیم ضخامت هر لایه بر ضریب انتقال حرارت آن، مقاومت حرارتی هر لایه به دست آمده و با فرض خطی بودن هدایت حرارتی مقاومت کل محاسبه گردد. در نرم افزار Revit که قابلیت تعریف هر بخش از ساختمان را به صورت لایه لایه دارد، می توان ضرایب هر کدام از لایه ها را در نرم افزار تعیین کرد تا خود نرم افزار مقاومت حرارتی لایه مجموع را محاسبه کند. چگالی کل، مقاومت حرارتی کل، ضخامت کل و اینرسی حرارتی کل هر دیوار نیز توسط نرم افزار محاسبه می گردد.

جدول ۱. سناریو اول (دیوار با بلوک سفالی)

مجموع	پوشش خارجی		دیوار	پوشش داخلی		سناریوی اول
	گرایت	سیمان	بلوک سفالی	گچ و خاک	گچ	مصلح
۰.۲۲۵	۰.۰۲۰	۰.۰۲۵	۰.۱۵۰	۰.۰۲۰	۰.۰۱۰	ضخامت
....	۲۸۸۰	۱۸۶۰	۱۹۸۰	۱۸۵۶	۱۰۰۰	چگالی
....	۲.۸۰۰	۱.۳۰۰	۱.۲۹۷	۱.۱۰۰	۰.۵۷۰	ضریب انتقال حرارت
۰.۱۷۸	۰.۰۰۷	۰.۰۱۹	۰.۱۱۶	۰.۰۱۸	۰.۰۱۸	مقاومت حرارتی

جدول ۲. سناریو دوم (دیوار با بلوک سیمانی با پوکه)

مجموع	پوشش خارجی		دیوار	پوشش داخلی		سناریوی اول
	گرایت	سیمان	بلوک سیمانی با پوکه	گچ و خاک	گچ	مصلح
۰.۲۲۰	۰.۰۲۰	۰.۰۲۵	۰.۱۴۵	۰.۰۲۰	۰.۲۲۰	ضخامت
....	۲۸۸۰	۱۸۶۰	۷۵۵	۱۸۵۶	.....	چگالی
....	۲.۸۰۰	۱.۳۰۰	۰.۱۱۳	۱.۱۰۰	.....	ضریب انتقال حرارت
۱.۳۴۳	۰.۰۰۷	۰.۰۱۹	۱.۲۸۱	۰.۰۱۸	۱.۳۴۳	مقاومت حرارتی

جدول ۳. سناریو سوم (دیوار با بلوک سیمانی فوم دار)

مجموع	پوشش خارجی		دیوار	پوشش داخلی		سناریوی اول
	گرایت	سیمان	بلوک سیمانی فوم دار	گچ و خاک	گچ	مصلح
۰.۲۰۵	۰.۰۲۰	۰.۰۲۵	۰.۱۵۰	۰.۰۰۰	۰.۰۱۰	ضخامت
....	۲۸۸۰	۱۸۶۰	۸۰۰	۱۸۵۶	۱۰۰۰	چگالی
....	۲.۸۰۰	۱.۳۰۰	۰.۱۴۰	۱.۱۰۰	۰.۵۷۰	ضریب انتقال حرارت
۱.۱۱۵	۰.۰۰۷	۰.۰۱۹	۱.۰۷۱	۰.۰۰۰	۰.۰۱۸	مقاومت حرارتی

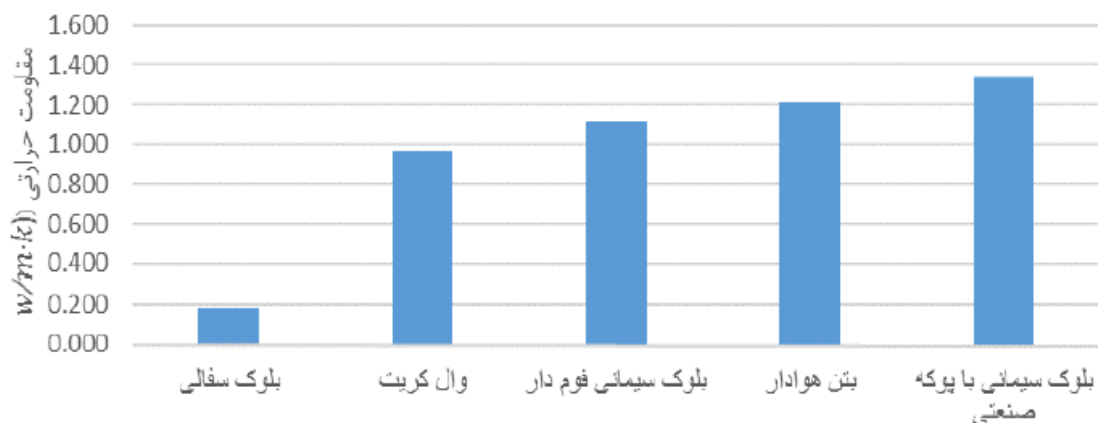
جدول ۴. سناریو چهارم (دیوار با بلوک وال کریت)

مجموع	پوشش خارجی		دیوار	پوشش داخلی		سناریوی اول
	گرایت	سیمان	بلوک وال کریت	گچ و خاک	گچ	مصلح
۰.۱۷۵	۰.۰۲۰	۰.۰۲۵	۰.۱۲۰	۰.۰۰۰	۰.۰۱۰	ضخامت
....	۲۸۸۰	۱۸۶۰	۶۰۰	۱۸۵۶	۱۰۰۰	چگالی
....	۲.۸۰۰	۱.۳۰۰	۰.۱۳۰	۱.۱۰۰	۰.۵۷۰	ضریب انتقال حرارت
۰.۹۶۷	۰.۰۰۷	۰.۰۱۹	۰.۹۲۳	۰.۰۰۰	۰.۰۱۸	مقاومت حرارتی

جدول ۵. سناریو پنجم (دیوار با بلوک بتن هوادار)

مجموع	پوشش خارجی		دیوار	پوشش داخلی		سناریوی اول
	گرایت	سیمان	بتن هوادار	گچ و خاک	گچ	مصلح
۰.۱۷۵	۰.۰۲۰	۰.۰۲۵	۰.۱۵۰	۰.۰۰۰	۰.۰۱۰	ضخامت
....	۲۸۸۰	۱۸۶۰	۶۷۰	۱۸۵۶	۱۰۰۰	چگالی
....	۲.۸۰۰	۱.۳۰۰	۰.۱۳۰	۱.۱۰۰	۰.۵۷۰	ضریب انتقال حرارت
۰.۹۶۷	۰.۰۰۷	۰.۰۱۹	۱.۱۵۴	۰.۰۰۰	۰.۰۱۸	مقاومت حرارتی

مقایسه‌ای از مقاومت حرارتی کل برای انواع دیوارهای مختلف با توجه به سناریوهای بالادر نمودار زیر ارائه شده است، شکل شماره ۴. در این نمودار، برای درک بهتر مقاومت حرارتی مصالح به ترتیب از چپ (کمترین) به راست (بیشترین) مرتب شده‌اند. ممکن است در نگاه اول انتظار رود هرچه مقاومت حرارتی دیوار بالاتر باشد مصرف انرژی آن کمتر خواهد بود. ولیکن اثر ضخامت و چگالی علاوه بر اینکه در مقاومت حرارتی در نظر گرفته می‌شود، در اینرسی حرارتی مصالح نیز ایفای نقش می‌کند.



شکل ۳. مقاومت حرارتی انواع مصالح دیوار

۳. یافته‌ها

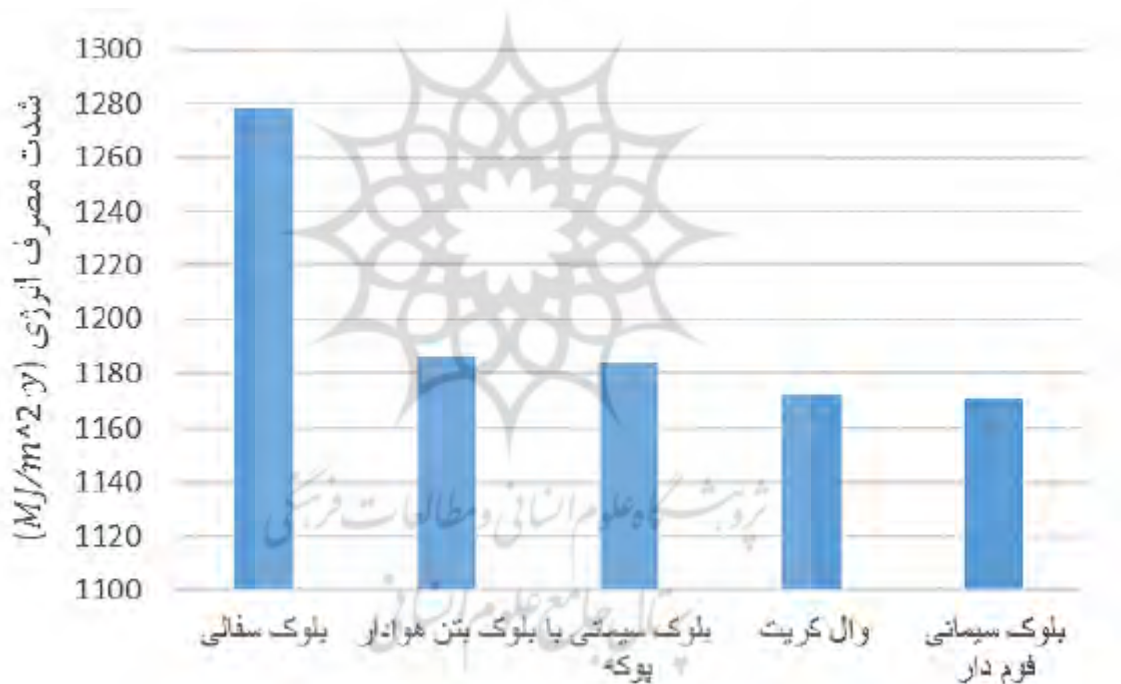
برای مقایسه کارایی انرژی سناریوهای اول تا هفتم ابتدا به مقایسه شاخص مصرف انرژی پرداخته می‌شود. سناریو با بیشترین شدت مصرف انرژی به‌عنوان سناریو مبنا انتخاب می‌شود و در ادامه جهت بررسی میزان صرفه‌جویی انرژی در هر سناریو نسبت به سناریو مبنا، مصرف انرژی الکتریکی و مصرف انرژی سوخت‌های فسیلی برای هر سناریو و تفاوت آن با سناریو مبنا محاسبه می‌شود. شدت مصرف انرژی یکی از شاخص‌های بررسی مصرف انرژی است که که نمایانگر مقدار مصرف انرژی در واحد سطح می‌باشد. شدت مصرف انرژی سالانه مصالح مختلف در سناریوهای اول تا هفتم مطابق جدول ۷ به‌دست آمده است.

بر طبق این جدول، دیوار با بلوک سفالی با ۱/۱۲۷۸ مگاژول در مترمربع در سال و دیوار با بلوک سیمانی فوم‌دار با ۱/۱۱۷۰ مگاژول بر متر مربع در سال به‌ترتیب بیشترین و کم‌ترین شدت مصرف انرژی را در میان سناریوهای موجود به خود اختصاص داده‌اند. نتایج این جدول پس از مرتب‌سازی از بیشترین مقدار شدت مصرف انرژی به کم‌ترین مقدار در قالب نمودار نمایش داده شده است. (شکل ۴)

همان‌طور که مشاهده می‌شود دیوار با بلوک سفالی با اختلاف زیادی از سایر مصالح بالاترین شدت مصرف انرژی را به خود اختصاص داده است. بنابراین دیوار با بلوک سفالی به‌عنوان سناریو مبنا انتخاب می‌شود تا در ادامه میزان صرفه‌جویی مصرف انرژی در صورت به‌کارگیری مصالح جایگزین بررسی شود.

جدول ۷. مقایسه مصرف انرژی سالانه انواع دیوار

سناریو	انواع دیوار	شدت مصرف انرژی	کاهش مصرف نسبت به بلوک سفالی
اول	بلوک سفالی	۱۲۷۸.۱	.....
دوم	بلوک بتن هوادار	۱۱۸۵.۶	۷.۲۴٪
سوم	بلوک سیمانی با پوکه	۱۱۸۴	۷.۳۶٪
چهارم	وال کریت	۱۱۷۱.۹	۸.۳۱٪
پنجم	بلوک سیمانی فوم دار	۱۱۷۰.۱	۸.۴۵٪



شکل ۴. نمودار مقایسه شدت مصرف انرژی انواع دیوار

در تحلیل‌های انرژی توسط نرم‌افزار مصرف انرژی به تفکیک انرژی الکتریکی و انرژی سوخت‌های فسیلی محاسبه می‌شود. مصرف سالانه انرژی الکتریکی و انرژی سوخت‌های فسیلی برای سناریوهای اول تا هفتم مطابق جدول شماره ۸ می‌باشد. مطابق این جدول بلوک سفالی بیشترین میزان مصرف انرژی و بلوک سیمانی فوم‌دار کم‌ترین میزان مصرف انرژی را در هر دو بخش دارد.

جدول ۸. مصرف سالانه انرژی الکتریکی و انرژی حاصل از سوخت برای انواع دیوار در سه طبقه

سناریو	انواع دیوار	مصرف سالانه انرژی الکتریکی	مصرف سالانه انرژی حاصل از سوخت
اول	بلوک سفالی	۱۴۳۰۵۱	۸۶۳۳۰۴
دوم	بلوک بتن هوادار	۱۳۹۰۵۹	۷۸۳۰۷۷
سوم	بلوک سیمانی با پوکه	۱۳۷۷۰۸	۷۷۷۶۳۳
چهارم	وال کريت	۱۳۸۰۷۱	۷۸۱۵۸۴
پنجم	بلوک سیمانی فوم دار	۱۳۹۱۱۲	۷۸۶۲۱۹

در ادامه برای مقایسه میزان صرفه جویی مصرف انرژی انواع مصالح، اختلاف مصرف انرژی هر کدام از مصالح نسبت به مصرف انرژی بلوک سفالی محاسبه می شود، (جدول ۹) باتوجه به جدول زیر در بهترین حالت، یعنی استفاده از بلوک سیمانی فوم دار به جای بلوک سفالی در این ساختمان، مصرف انرژی حاصل از سوخت نزدیک به ۱۰ درصد کاهش در مصرف انرژی سوخت های فسیلی در حدود ۳ درصد کاهش در مصرف انرژی الکتریکی گذاشته است. باتوجه به اینکه در ساختمان ها مصرف انرژی الکتریکی از میزان مصرف انرژی حاصل از سوخت به مراتب کم تر می باشد، بنابراین به کارگیری مصالح با کارایی انرژی بهتر در کاهش مصرف سوخت تأثیر چشم گیرتری می گذارد. از این رو استفاده از بلوک سیمانی فوم دار بهترین گزینه در میان مصالح موجود می باشد.

جدول ۹. مصرف سالانه انرژی الکتریکی و انرژی حاصل از سوخت برای انواع دیوار در سه طبقه

سناریو	انواع دیوار	کاهش مصرف سالانه انرژی الکتریکی نسبت به بلوک سفالی	درصد کاهش انرژی الکتریکی	کاهش مصرف سالانه انرژی سوخت نسبت به بلوک سفالی	درصد کاهش انرژی حاصل از سوخت
اول	بلوک سفالی	....	.....	....	....
دوم	بلوک بتن هوادار	۳۹۹۲	۲.۷۹٪	۸۰۲۲۷	۹.۲۹٪
سوم	بلوک سیمانی با پوکه	۵۳۴۳	۳.۷۴٪	۸۵۶۷۱	۹.۹۲٪
چهارم	وال کريت	۴۹۸۰	۳.۴۸٪	۸۱۷۲۰	۹.۴۷٪
پنجم	بلوک سیمانی فوم دار	۳۹۳۹	۲.۷۵٪	۷۷۰۸۵	۸.۹۳٪

جهت درک میزان واقعی صرفه جویی مصرف انرژی با جایگزینی مصالح با کارایی بهتر، تعیین کل میزان کاهش مصرف انرژی در یک ساختمان در طول چرخه عمر آن لازم است. در این مطالعه موردی، ۱۲ طبقه، ابتدا نتایج حاصل از جدول شماره ۹ به کل ساختمان تعمیم داده می شود. سپس با فرض ۲۰ سال عمر مفید برای ساختمان های شهر تهران، نتایج مربوط به مصرف سالانه انرژی به مصرف انرژی کل چرخه عمر تبدیل می گردد.

جدول ۱۰. کاهش مصرف انرژی انواع دیوار نسبت به دیوار بلوک سفالی در کل ساختمان

سناریو	انواع دیوار	کاهش مصرف انرژی الکتریکی نسبت به بلوک سفالی در طول چرخه عمر	کاهش مصرف سالانه انرژی سوخت نسبت به بلوک سفالی در طول چرخه عمر	کاهش مصرف انرژی الکتریکی نسبت به بلوک سفالی در طول چرخه عمر	کاهش مصرف سالانه انرژی سوخت نسبت به بلوک سفالی در طول چرخه عمر
اول	بلوک سفالی	....	....	....	....
دوم	بلوک بتن هوادار	۱۵۹۶۸	۳۲۰۹۰۸	۳۱۹۳۶۰	۶۴۱۸۱۶۰
سوم	بلوک سیمانی با پوکه	۲۱۳۷۲	۳۴۲۶۸۴	۴۲۷۴۴۰	۶۸۵۳۶۸۰
چهارم	وال کزیت	۱۹۹۲۰	۳۲۶۸۸۰	۳۹۸۴۰۰	۶۵۳۷۶۰۰
پنجم	بلوک سیمانی فوم دار	۱۵۷۵۶	۳۰۸۳۴۰	۳۱۵۱۲۰	۶۱۶۶۸۰۰

طبق جدول شماره ۱۰، بلوک سیمانی فوم دار حدود ۲۱۰۰۰ کیلووات کاهش مصرف انرژی الکتریکی و ۳۴۰۰۰ مگاژول کاهش مصرف انرژی سوخت داشته است. از طرفی با وجود اینکه در مدل سه طبقه میزان صرفه جویی انرژی حاصل از سوخت بلوک وال کزیت نسبت به بلوک سیمانی فوم دار حدود ۷۷۰۰۰ کیلووات بود اما در چرخه عمر کل ساختمان این اختلاف به حدود ۳۱۶۰۰۰ کیلووات خواهد رسید. بنابر نتایج به دست آمده بلوک سیمانی فوم دار کم ترین میزان مصرف انرژی و بلوک سفالی بیشترین میزان مصرف انرژی را در میان مصالح مورد بررسی را به خود اختصاص داده است. باید توجه شود برای در نظر گرفتن میزان صرفه جویی در حالت های مختلف، نتایج مصرف سالانه انرژی به میزان عمر مفید یک ساختمان تعمیم داده شود تا علاوه بر کاهش اتلاف انرژی الکتریکی و سوخت های فسیلی، اختلاف هزینه در به کارگیری مصالح جایگزین از نظر اقتصادی توجیه پذیر باشد.

نتیجه گیری

صنعت ساختمان سازی یکی از عمده ترین مصرف کنندگان انرژی در بین بخش های اقتصادی در کشور محسوب می گردد و مدیریت و کاهش مصرف انرژی یکی از ضرورت های اصلی بخش انرژی به شمار می رود. طراحی و ساخت نامناسب، مصالح و تجهیزات غیراستاندارد، مواد به کار رفته در ساختمان ها و انتخاب نامناسب پوشش ساختمان ها مانند پنجره ها و سیستم عایق کاری از مهم ترین عوامل شدت بالای مصرف انرژی در ساختمان ها است. انجام اقدامات فوق موجب کاهش سهم تلفات انرژی داخلی از هر یک از اجزای پوسته ساختمان می شود. کارایی مصالح با پارامترهای مقاومت حرارتی، ضخامت و چگالی تعیین می گردد. ممکن است در نگاه اول انتظار برود هرچه مقاومت حرارتی دیوار بالاتر باشد مصرف انرژی آن کم تر خواهد بود. ولیکن با تغییر ضخامت لایه ها و تغییر چگالی مواد اینرسی حرارتی آن تغییر کرده و در انتقال حرارت مصالح نیز تأثیر خواهد گذاشت. از این رو، برای در نظر گرفتن تمام پارامترهای مؤثر در تبادل حرارت، استفاده از مدل سازی اطلاعات ساختمان که قابلیت مدل سازی لایه های ساختمانی به تفکیک را نیز دارد، کمک شایانی به برآورد دقیق تر و جامع تر انرژی خواهد کرد. تأثیر کاهش مصرف انرژی به ازای استفاده از روش های صرفه جویی در مصرف انرژی در ساختمان های چند طبقه و در طول عمر آن ها رقم بالایی را منجر می شود. به همین دلیل در صورت در نظر گرفتن صرفه جویی هزینه های اضافی ناشی از مصرف انرژی بیشتر، هزینه بالاتر اولیه برای خرید و اجرای مصالح با عملکرد انرژی را توجیه می نماید.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع و مآخذ:

مقالات

- بردباری، محمدجواد؛ رستگار، محمد و سیفی، علیرضا. (۱۳۹۹). «بهینه‌سازی مصرف انرژی ساختمان با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها». مهندسی و مدیریت انرژی، ۱۰ (۲)، ۲۶-۳۹.
- خرد رنجبر، محمد، (۱۳۹۰). «مدیریت انرژی با بهینه‌سازی پوسته خارجی ساختمان». همایش منطقه‌ای عمران و معماری (با رویکرد اصلاح الگوی مصرف)، آمل، ۷۷-۵۶.
- رسئولی، محسن؛ رهبر، نادر. (۱۳۹۸). «مدل‌سازی مصرف انرژی ساختمان آمفی‌تئاتر دانشگاه آزاد سمنان، با استفاده از نرم‌افزار دیزاین بیلدر». مهندسی مکانیک و ارتعاشات، ۱۰ (۱)، ۱۴-۲۳.
- قرمزی، میترا؛ نصراللهی، فرشاد. (۱۳۹۸). «اثر تیپولوژی ساختمان در کاهش مصرف انرژی مدارس شهر اصفهان». نشریه انرژی ایران، ۲۲ (۲)، ۵-۲۱.
- حسینی، هومن؛ اسدی بروجنی، خشایار و عبدالله، اردشیر. (۱۳۹۵). «بررسی جنبه‌های ایمنی در ساخت‌پذیری با استفاده از فرایند مدل‌سازی اطلاعات ساختمان». دومین کنفرانس مصالح و سازه‌های نوین در علم مهندسی عمران، شیراز، شرکت پندار اندیش رهپو.

منابع لاتین

- Bucoń, R.; Tomczak, M. (۲۰۱۸). Decision-making model supporting the process of planning expenditures for residential building renovation. Technol. Econ. Dev. Econ. ۲۴, ۱۲۰۰-۱۲۱۴.
- Carlo Iapige De G., & Andrea, M., & P, P. (۲۰۲۰). "Joint Analysis of Cost and Energy Savings for Preliminary Design Alternative Assessment," Sustainability, MDPI, vol. ۱۲(۱۸), ۱-۱۸.
- Caruso, G., Kämpf, J.H. (۲۰۱۵). Building shape optimisation to reduce air-conditioning needs using constrained evolutionary algorithms. Solar Energy ۱۱۸, ۱۸۶-۱۹۶
- Cho, S.-H.; Kang, J.-S.K.; Choi, G.-S. (۲۰۱۶). Energy Performance Evaluation of External Insulation System for Post Remodeling in Apartment Buildings. In Proceedings of the SAREK ۲۰۱۶ Summer Annual Conference, Seoul, Korea, ۵-۷, pp. ۱۷۶-۱۷۸.
- Choi, I.Y.; Cho, S.H.; Kim, J.T. Energy consumption characteristics of high-rise apartment buildings according to building shape and mixed-use development. Energy Build. ۲۰۱۲, ۴۶, ۱۲۳-۱۳۱.

- Das, M., Cheng, J. C., & Kumar, S. S. (۲۰۱۵). Social BIMCloud: a distributed cloud-based BIM platform for object-based lifecycle information exchange. *Visualization in Engineering*, ۳(۱), ۱-۲۰.
- Deuble, M.P.; de Dear, R.J. (۲۰۱۲). Mixed-mode buildings: A double standard in occupants' comfort expectations. *Build. Environ.* ۲۰۱۲, ۵۴, ۵۳-۶۰.
- Ding, L., Zhou, Y., & Akinci, B. (۲۰۱۴). Building Information Modeling (BIM) application framework: The process of expanding from ۳D to computable nD. *Automation in Construction*, ۴۶, ۸۲-۹۳.
- Elnabawi MH. (۲۰۲۰). Building Information Modeling-Based Building Energy Modeling: Investigation of Interoperability and Simulation Results. *Front. Built Environ.* ۶:۵۷۳۹۷۱.
- Hyun Hong, J.; Jun Yeom, D.; Ji Choi, S.; Suk Kim, Y. (۲۰۱۷). A Study of the Decision Support Model to Select an Appropriate Alternative Plan in Apartment Remodeling. *J. Archit. Inst. Korea Struct. Constr*, ۳۳, ۴۱-۵۰.
- Jin, R., Zhong, B., Ma, L., Hashemi, A., and Ding, L. (۲۰۱۹). Integrating BIM with building performance analysis in project life-cycle. *Autom. Constr.* ۱۰۶:۱۰۲۸۶۱.
- Junpeng, Fu. & Jiuju, C. (۲۰۲۰). "Parametric Study on the Flow Profiles of Vertical Sinter Cooling Bed Using the DEM and Taguchi Method for Waste Heat Recovery," *Energies*, MDPI, vol. ۱۳(۱۹), ۱-۳۴.
- Kim, J., Ryu, J., & Choo, S. (۲۰۱۳). An Analysis on Effectiveness of BIM-based Area Calculation Method for Improving Quality of Korean Apartment Housing. *J. Korean Hous. Assoc*, ۲۴, ۴۵-۵۲.
- Kota, S., Haberl, J. S., Clayton, M. J., and Yan, W. (۲۰۱۴). Building Information Modelling (BIM)-based daylighting simulation and analysis. *Energy Build.* ۸۱, ۳۹۱-۴۰۳.
- Osello, A., Cangialosi, G., Dalmasso, D., Di Paolo, A., Turco, M. L., and Piumatti, P. (۲۰۱۱). "Architecture data energy efficiency simulations: BIM interoperability standards," in *Proceedings of Building Simulation ۲۰۱۱: ۱۲th conference of International Building Performance Simulation Association (Sydney, NSW)*, ۲۲۱۰-۲۲۱۷.
- Red, M., & Nasrollahi, F. (۱۳۹۸). The effect of building typology in reducing energy consumption of schools in Isfahan. *Iranian Journal of Energy*. ۲۲ (۲): ۲۱-۵.