

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۴/۲۹  
تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۵/۰۹/۱۵

مجتبی مهدوی نیا<sup>۱</sup>، ایمان خیاط<sup>۲</sup>

## بررسی تحلیلی تأثیر نوع و ضخامت عایق کاری جداره‌های خارجی در بناهای بلندمرتبه اداری در کلان‌شهر تهران<sup>۳</sup>

### چکیده

از مهم‌ترین مؤلفه‌های یک بنا که ویژگی‌های فیزیکی، رفتارها و واکنش‌های محیطی - حرارتی و میزان مصرف انرژی را تحت تأثیر قرار می‌دهد، جداره خارجی یک بناست و اتخاذ تصمیمات صحیح در این خصوص، به‌ویژه در گونه ساخت و ساز بلندمرتبه که حجم زیادی از مصرف مواد و مصالح و همچنین افزایش بار مرده را به دنبال دارد، اهمیت فراوانی خواهد داشت. در این تحقیق طی مطالعات کتابخانه‌ای و میدانی انجام شده بر روی ساختمان‌های اداری شهر تهران، ویژگی‌های معماری مدل پایه شبیه‌سازی استخراج گردید و شبیه‌سازی سه بعدی مدل در نرم‌افزار اکوتکت ۲۰۱۱ و شبیه‌سازی حرارتی در نرم‌افزار انرژی پلاس نسخه ۸/۲ صورت گرفت. برای شروع شبیه‌سازی، انواع متداول دیوار خارجی ساخته شده با بلوک‌های عایق پرین به‌عنوان متغیر شبیه‌سازی در نظر گرفته شد و تأثیر هر کدام از آنها بر تغییرات دمایی، بار سرمایش و گرمایش طبقات بررسی گردید. نتایج شبیه‌سازی حاکی از آن بود که تأثیر عایق کاری داخلی در کاهش مصرف بار گرمایش و سرمایش بیشتر از عایق کاری خارجی است. با ثابت نگهداشتن ضخامت دیوار، تأثیر افزایش ضخامت عایق بیشتر از افزایش ضخامت بلوک‌های دیوار در کاهش مصرف انرژی است. در انتها انواع بهینه دیوار در قالب جدول برای جداره‌های خارجی ساختمان‌های اداری معرفی شد.

**کلیدواژه‌ها:** عایق کاری، جداره خارجی، کاهش مصرف انرژی، بناهای بلندمرتبه، کاربری اداری.

<sup>۱</sup> استادیار گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر، استان تهران، شهر تهران (نویسنده مسئول مکاتبات)

E-mail: mahdavinia@art.ac.ir

<sup>۲</sup> کارشناس ارشد انرژی و معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر، استان تهران، شهر تهران

E-mail: khayat\_iman@yahoo.com

<sup>۳</sup> این مقاله از طرح پژوهشی با عنوان «بررسی تحلیلی تأثیر تعداد طبقات بر ساختار جداره‌های کدر خارجی در بناهای بلندمرتبه اداری در کلان‌شهر تهران» استخراج گردیده که در دانشگاه هنر تهیه شده است.

## مقدمه

یکی از مهم‌ترین روش‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌ها، بهره‌جستن مناسب از انرژی خورشید در جهت کاهش هزینه‌های گرمایشی و سرمایشی است. یک ساختمان باید به‌گونه‌ای طراحی شود که در زمستان حرارت مورد نیاز برای آسایش ساکنان را جذب کند و از اتلاف و خروج حرارت جذب شده جلوگیری نماید. در ساخت‌وسازهای متداول معمولاً تمام جداره‌های خارجی از یک نوع مصالح ساخته می‌شوند و همین امر موجب شده تا در ساختمان‌های بلندمرتبه حجم زیادی از مصالح در جداره‌ها به کار برده شود و نتواند نقش مفیدی برای انتقال یا ذخیره حرارت ایفا کند. بدین ترتیب ضروری است مقدار و نحوه توزیع جرم حرارتی و همچنین ضخامت و محل قرارگیری عایق حرارتی با توجه به تابش دریافتی و ارتفاع بنا از سطح زمین بهینه شود؛ چرا که این مهم تأثیر بسزایی در کاهش مصرف انرژی و هزینه‌های ساخت‌وساز در پی خواهد داشت.

در این مقاله سعی بر آن است تا با بهره‌گیری از طراحی مناسب ساختار جداره‌های خارجی در بناهای بلند اداری، نوسان تغییرات دمایی فضاها را به منظور تطبیق هرچه بیشتر با محدوده آسایش و کاهش بار حرارتی و بروودی به حداقل رساند. در انتها دستورالعملی برای طراحی جداره‌های کدر خارجی ساختمان‌های بلندمرتبه اداری با توجه به تغییر ارتفاع و جهت‌گیری جبهه مورد نظر نسبت به خورشید در شهر تهران تدوین خواهد شد تا بتوان با صرف کمترین هزینه اولیه، بیشترین بازده را از لحاظ مصرف انرژی داشت و از هدررفت مصالح در جداره‌ها و افزایش بار مرده ساختمان جلوگیری کرد.

از سویی دیگر، از مهم‌ترین مؤلفه‌های یک بنا که ویژگی‌های فیزیکی، رفتارها و واکنش‌های محیطی - حرارتی و میزان مصرف انرژی را تحت تأثیر قرار می‌دهد، جداره خارجی یک بناست و اتخاذ تصمیمات صحیح در این خصوص، به‌ویژه در گونه ساخت‌وساز بلندمرتبه که حجم زیادی از مصرف مواد و مصالح و همچنین افزایش بار مرده را به دنبال دارد، اهمیتی دوچندان خواهد داشت. هم‌اکنون احداث ساختمان‌های بلندمرتبه در شهرهای کشور در حالی رو به گسترش است که ملاحظات اجرایی خاصی در جداره‌ها پیش بینی نمی‌شود و غالباً تصمیم‌سازی‌های طراحی، مشابه بناهای میان‌مرتبه و کوتاه‌مرتبه صورت می‌گیرد که از مهم‌ترین دلایل این امر، فقدان انجام پژوهش‌های تخصصی مرتبط در کشورمان است. از اهداف این تحقیق می‌توان به تبیین چارچوب‌های اقلیمی به منظور گزینش بهینه ویژگی‌های جداره‌های کدر در بناهای بلندمرتبه اداری با رویکرد کاهش مصرف منابع سوخت فسیلی در کشور به منظور تدوین ضوابط طراحی اقلیمی برای ساخت‌وساز و به‌کارگیری در مراحل اجرایی ساختمان و نظارت بر آنها توسط ارگان‌های ذیصلاح (شهرداری، سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت و سایر نهادها) اشاره کرد.

## پیشینه نظری تحقیق

برای ایجاد شرایط آسایش در طول سال نیازمند صرف انرژی هستیم. در بحث عایق‌کاری ساختمان به‌خصوص در بخش مسکونی پژوهش‌های زیادی انجام گرفته است که در آنها پارامترهای گوناگونی نظیر ضخامت، جانمایی و نوع عایق بررسی شده که در ادامه خلاصه‌ای از پژوهش‌های صورت گرفته آورده شده است.

شیخ‌زاده و همکاران در تحقیقی به ارزیابی کاهش تلفات حرارتی با به‌کارگیری عایق‌های حرارتی یا ایجاد فاصله هوایی در جداره‌های خارجی ساختمان پرداختند. محققان تحقیق به این نتیجه رسیدند که یکی از بهترین راه‌ها برای جلوگیری از تلفات حرارتی استفاده از عایق‌های حرارتی با تعبیه فاصله هوایی در

جداره‌های ساختمان است. محاسبات نشان داد که تعبیه فاصله هوایی در دیواره‌های خارجی تا ۲۹ درصد تعبیه فاصله هوایی در سقف (بام) تا ۳۶ درصد، استفاده از عایق پشم شیشه با کاغذ کرافت در دیواره‌های خارجی تا ۷۸ درصد و استفاده از عایق پشم شیشه با ورق آلومینیوم در سقف تا ۸۵ درصد از تلفات حرارتی این جداره‌ها می‌کاهد. همچنین تعبیه فاصله هوایی حدود ۲۸ درصد و استفاده از عایق حرارتی حدود ۵۸ درصد از تلفات حرارتی کل ساختمان مورد نظر می‌کاهد (شیخ‌زاده و همکاران، ۱۳۸۱).

در تحقیق دیگری ابراهیم‌پور و همکاران به بهینه‌سازی ضخامت و نحوه قرارگیری عایق حرارتی در داخل جداره‌های ساختمانی ساختمان‌های مسکونی در سه شهر تهران، اهواز و تبریز در راستای به حداقل رسانیدن بارهای حرارتی و برودتی توسط نرم‌افزار شبیه‌سازی انرژی پلاس<sup>۱</sup> پرداختند. نتایج نشان داد که برای شهر تهران ۵ تا ۷/۵ سانتی‌متر عایق (۲ تا ۳ اینچ) به صورت دو لایه (نیمی در سطح داخلی و نیمی از آن در سطح خارجی) و برای شهر تبریز قرارگیری ۵ تا ۷/۵ سانتی‌متر عایق (۲ تا ۳ اینچ) به صورت یک لایه در سطح داخلی و برای شهر اهواز قرارگیری ۵ تا ۷/۵ سانتی‌متر عایق (۲ تا ۳ اینچ) به صورت یک لایه در سطح خارجی، به عنوان حالت‌های بهینه پیشنهاد می‌شود. با اجرای عایق کاری بهینه در دیوارها، ۵۰ تا ۷۰ درصد در انرژی صرفه‌جویی شده سالیانه، بهبود حاصل خواهد شد (ابراهیم‌پور و همکاران، ۱۳۸۳).

در مقاله دیگری به بررسی بهبود عملکرد حرارتی ساختمان‌های مسکونی با عایق کاری حرارتی از خارج پرداخته شده است. بدین ترتیب که با استفاده از راهنمای شماره ۲۹۳ مؤسسه تحقیقات ساختمان انگلستان که در سال ۲۰۰۰ به چاپ رسیده است، انواع سیستم‌های ذکر شده با شرح عناصر و جزئیات تشکیل دهنده آنها شامل عایق، اتصالات و نما معرفی شد و عوامل مؤثر بر انتخاب سیستم، مقایسه کلی بین انواع سیستم‌ها، مزایا و معایب آنها مطرح گردید. نتایج نشان داد که کارایی بهتر انرژی در ساختمان‌ها از طریق عایق کاری حرارتی از خارج موجب صرفه‌جویی در مصرف انرژی، کاهش هزینه‌ها و حفظ محیط زیست در برابر آلاینده‌ها می‌شود. استفاده از عایق کاری حرارتی از خارج برای بازسازی ساختمان و استفاده مجدد از آن مصرف منابع را کاهش می‌دهد، کفایت سیستم‌های حرارتی موجود را در ساختمان تضمین می‌نماید و از طریق پوشش دیوارهایی که در وضعیت نامساعد قرار دارند و افزایش هوابندی و کاهش اتلاف حرارت منافع اقتصادی به دنبال دارد. انواع گوناگونی از سیستم‌های عایق کاری حرارتی از خارج در ساختمان‌سازی وجود دارد که از لحاظ کیفیت و کاربرد با یکدیگر متفاوت هستند. لازم است سیستم مناسب، با توجه به شرایط موجود انتخاب شود. مزایای عایق کاری حرارتی از خارج به‌خصوص در کاربردهای بهسازی و منافع اقتصادی حاصل از آن کاربرد سیستم در سطح گسترده را ضروری می‌سازد (طالبی، ۱۳۸۵).

در تحقیقی دیگر با استفاده از یک مدل ریاضی که رفتار حرارتی ساختمان را در حالت ناپایدار بیان می‌کند، اثر محل قرارگیری عایق در لایه‌های دیوار بر مصرف انرژی لازم در گرمایش ساختمان بررسی شد. مدل فرض شده بر اساس معادله توازن انرژی برای لایه‌های مختلف دیوار، هوای داخل اتاق و منبع تولید گرما تهیه و معادلات حاصل از مدل ریاضی به شکل معادله ماتریسی فضای حالت نوشته شد و با استفاده از یک مدل کامپیوتری در محیط نرم‌افزار سیمولینک<sup>۲</sup> حل گردید. با استفاده از مدل ارائه شده اثر محل قرارگیری عایق بر میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد در شرایطی که عایق حرارتی در لایه مجاور هوای داخل اتاق قرار دارد، مصرف انرژی کمتر است و علت آن اثر اینرسی حرارتی دیوار است که بعد از لایه عایق قرار می‌گیرد و در نتیجه آن هوای داخل با سرعت بیشتری گرم می‌شود. میزان صرفه‌جویی نسبت به حالتی که عایق در مجاورت هوای بیرون قرار دارد در حدود ۲۰ درصد است که این مقدار کاهش در مصرف انرژی ارتباط مستقیمی با مدت زمانی دارد که انتقال حرارت در ساختمان حالت ناپایدار دارد (ویسی و همکاران، ۱۳۸۸).

در تحقیقی صورت گرفته بر روی عایق‌سازی حرارتی جداره‌های ساختمانی، پارامترهای اصلی مؤثر بر اتلاف گرمایشی ساختمان و تأثیر هر پارامتر بر بار حرارتی کل، اثر استفاده از مصالح جدید مانند بلوک لیکا، بلوک هبلکس، پنل سه‌بعدی، عایق کاری حرارتی جدار، ضخامت عایق و پنجره دوجداره بر مصرف انرژی مورد شناسایی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با عایق‌سازی حرارتی دیوارها یا استفاده از مصالح جدید و مناسب می‌توان بیش از ۷۰ درصد تلفات حرارتی دیوارها و سقف را کاهش داد. همچنین استفاده از مصالح جدید در پوسته خارجی ساختمان به همراه پنجره دوجداره با قاب یوپی‌وی سی<sup>۳</sup> می‌تواند بیش از ۶۰ درصد تلفات گرمایشی کل واحد مسکونی را کاهش دهد (حسینی و تربقان، ۱۳۹۰).

در تحقیق دیگر صورت گرفته توسط نرم‌افزار بهینه‌ساز مصرف انرژی (انرژی پلاس) در ساختمان، بر روی دیوار خارجی چهار جهت اصلی یک ساختمان نمونه با شرایط مختلف عایق کاری در ۳ شهر اردبیل، تهران و بندرعباس شبیه‌سازی و بهینه‌سازی انجام شد. با به‌دست آمدن نتایج اولیه هر یک از حالت‌ها، اقدام به بررسی نوع، محل، ضخامت و درصد بهبود هر یک از عایق‌ها در اقلیم‌های مختلف گردید. با بررسی نتایج به‌دست آمده از تحقیق و محاسبات هزینه‌های مصرف انرژی سالیانه برای حالت اولیه و به کمک درصد بهبود برای هر یک از حالت‌های بهینه شده و برآورد هزینه‌های عایق کاری، می‌توان تحلیل اقتصادی و مقرون به صرفه‌ترین حالت، نوع و ضخامت عایق کاری را به‌دست آورد. نتایج نشان داد در اقلیم‌های سردسیر محل عایق بیشتر در قسمت خارجی دیوار است و در اقلیم‌های گرمسیر محل عایق بیشتر به قسمت داخلی دیوار اشاره می‌کند. همچنین عموماً بیشترین تأثیر عایق کاری در اقلیم‌های مورد بررسی در دیوار با عایق برابر به دیوار جهت شمالی دلالت می‌کند، اما تغییرات درصد بهبود با تغییر جهت دیوارها در هر اقلیم ناچیز است. با افزایش ضخامت عایق کاری آهنگ افزایش درصد بهبود مصرف انرژی کاهش می‌یابد (سرابی و ابراهیم‌پور، ۱۳۹۲).

در تحقیق دیگری کارایی فنی در مورد استفاده از عایق‌های حرارتی در ساختمان‌های ایران با مطالعه موردی ساختمان مسکونی واقع در شهر تبریز مورد ارزیابی فنی و تخصصی قرار گرفته است. برای این منظور تأثیر استفاده از عایق‌های متداول و موجود در جداره‌های ساختمانی مسکونی با پلان و مشخصات معین به کمک نرم‌افزار انرژی پلاس مورد بررسی قرار گرفت و شبیه‌سازی‌ها نشان داد استفاده از بلوک‌های اتوکلاو شده<sup>۴</sup> کمترین دوره بازگشت سرمایه و پلی‌استایرن اکستروژ شده<sup>۵</sup> در صورت استفاده در عایق کاری داخلی بیشترین صرفه‌جویی را در انرژی مصرفی کل ساختمان به‌دست می‌دهد. در حالت کلی عایق کاری به روش‌های استفاده از مصالح ساختمانی مابین دو دیوار خارجی و داخلی به ترتیب دارای بیشترین تا کمترین صرفه اقتصادی است (مدقالچی و فلاح، ۱۳۹۴).

در پژوهش دیگری به بهینه‌سازی ترکیبی از بازتاب سطح و ضخامت عایق در دیوارهای خارجی به منظور ذخیره انرژی در اقلیم ژاپن پرداخته شد. محاسبات بارهای حرارتی و آنالیزهای اقتصادی ساختمان برای شش شهر با عرض‌های جغرافیایی متفاوت در ژاپن با در نظر گرفتن ضخامت و بازتاب سطح متفاوت برای دیوارهای خارجی انجام گرفت. بار حرارتی سالیانه و هزینه اقتصادی اجرای پوسته ساختمان با در نظر گرفتن بازه ۰/۱ تا ۰/۸ و ضخامت عایق ۱۰ الی ۱۰۰ میلی‌متر توسط نرم‌افزار محاسبه بار حرارتی ساختمان HASP/ACLD-B محاسبه گردید. نتایج نشان داد در ضریب بازتاب زیاد، افزایش ضخامت عایق موجب کاهش بار سرمایش ساختمان خواهد شد. بدون در نظر گرفتن منطقه، با افزایش میزان بازتاب، بار گرمایشی افزایش و بار سرمایشی کاهش می‌یابد. همچنین تأثیر ضخامت عایق بیشتر از تأثیر ضریب بازتاب در کاهش مصرف انرژی است (Yuan et al., 2016).

در تحقیقی در قبرس بر روی تأثیر جرم حرارتی و عایق حرارتی بر روی بار سرمایی و گرمایی با شبیه‌سازی انرژی برای یک مدل ساختمانی با یک دیوار حرارتی (دارای جرم حرارتی سنگین) و سقف

دارای عایق پلی استایرن، با هدف بررسی اثر استفاده از جرم حرارتی در دیوارها و همچنین عایق حرارتی در روی سقف بر روی بارهای سرمایی و گرمایی، دیده شد که به کارگیری دیوار با جرم حرارتی سنگین باعث کاهش بار گرمایشی شده و برای دیوارهای نمای جنوبی ساختمان‌ها استفاده از جرم حرارتی سنگین و همچنین برای سقف نیز به کار بردن عایق پیشنهاد می‌شود (Kalogirou et al., 2002).

با توجه به بررسی‌های انجام شده در پیشینه تحقیق لازم است نحوه تأثیر ضخامت و جانمایی عایق در جداره‌های ساختمان‌های بلندمرتبه نیز بررسی شود. لذا در این پژوهش سعی می‌شود تأثیر همزمان ارتفاع ساختمان، جانمایی و ضخامت عایق بر کاهش مصرف انرژی شبیه‌سازی و تحلیل شود. کاهش مصرف انرژی کل به تفکیک انرژی گرمایشی و سرمایشی از دیگر نکات مورد بررسی در این پژوهش خواهد بود.

### روش شناسی تحقیق

مقاله حاضر با رویکرد کمی و از نوع توصیفی - تحلیلی است و برای پیشبرد اهداف خود، در هر مرحله از روند پژوهش، راهبردها و به تناسب آن، ابزار و روش مورد نیاز را به کار می‌گیرد. مرحله جمع‌آوری اطلاعات و مرور سوابق و ادبیات موضوع به کمک راهبرد تاریخی - تفسیری و روش مطالعات کتابخانه‌ای انجام می‌شود.

در بخش شناخت و ویژگی‌های بستر مطالعاتی و جمع‌آوری داده‌ها، علاوه بر مطالعه متون تخصصی مرتبط، از روش میدانی نیز به منظور تدوین مستندات بناهای بلند اداری تهران و استخراج ویژگی‌های اولیه مدل پایه، استفاده می‌گردد. به این منظور، نمونه‌گیری از جامعه آماری مورد مطالعه، ابتدا به روش خوشه‌ای چندمرحله‌ای و سپس به روش تصادفی ساده صورت می‌پذیرد. در بخش محاسباتی تحقیق، راهبرد شبیه‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. گام انتهایی نیز به تجزیه و تحلیل داده‌ها اختصاص دارد و بدین منظور، روش‌های آمار توصیفی و راهبرد استدلال منطقی به منظور استخراج یافته‌های نهایی و تبیین چارچوب عملی مقاله حاضر به کار گرفته خواهد شد.

### مطالعات پایه

#### - برداشت‌های میدانی

به منظور استخراج ویژگی‌های کالبدی مدل پایه تحقیق، علاوه بر استفاده از استانداردهای موجود، بررسی تطبیقی میان ۲۰ نمونه از بناهای بلندمرتبه با کاربری اداری تهران صورت گرفته است. در این مطالعات، ویژگی‌های کالبدی بناهای بلندمرتبه اداری مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج اطلاعات کاربردی که از این مطالعات به دست آمده عبارت‌اند از: ارتفاع طبقات، نوع سیستم سازه‌ای، نوع هسته بنا، تناسب و شکل پلان.

منظور از ارتفاع طبقات در این مطالعات، فاصله کف یک طبقه مورد نظر تا طبقه بعدی است. بررسی نمونه‌های موردی نشان می‌دهد میانگین ارتفاع طبقات در بناهای اداری بلندمرتبه معادل ۳/۷ تا ۴ متر است. در مطالعه سیستم‌های سازه‌ای در نمونه‌های موردی، سه نوع سیستم اسکلت بتنی، فلزی و مرکب مد نظر قرار گرفته است. مطالعات نشان می‌دهد رواج استفاده از اسکلت بتنی نسبت به سیستم‌های سازه‌ای دیگر بیشتر است؛ به طوری که از میان نمونه‌های موردی، ۴۴٪ دارای اسکلت بتنی، ۳۰٪ دارای اسکلت فلزی و ۲۵٪ دارای اسکلت مرکب بوده‌اند. هسته بناهای بلندمرتبه که عمدتاً به ارتباطات عمودی طبقات و فضاهای خدماتی مربوط هستند، به فراخور نوع طراحی معماری و مسائل سازه‌ای در سه شکل مرکزی، یک طرفه و مجزا طراحی می‌شوند که استفاده از سیستم هسته مرکزی رواج بیشتری دارد. از میان جامعه آماری مورد مطالعه،

۷۵٪ از این نوع هسته استفاده می‌نمایند و ۱۲/۵٪ دارای هسته یک طرفه و ۱۲٪/۵ هم دارای هسته مجزا هستند. شکل پلان در نمونه‌های موردی جهت سهولت در سه گروه تقسیم‌بندی شده است: مربع، مستطیل و دیگر اشکال. همان‌طور که پیشتر نیز اشاره شد، عموم بناهای بلند با کاربری اداری از اشکال چهارضلعی مربع و مستطیل بهره می‌برند. از میان نمونه مورد بررسی، ۵۲٪ دارای هندسه پلان مستطیل، ۳۰٪ دارای هندسه پلان مربع هستند و ۱۹٪ نیز از هندسه‌های دیگر برخوردارند. در میان نمونه‌های مذکور، ۶۶٪ دارای هندسه مستطیل و مربع بوده‌اند که توجه به تناسب آنها جهت طراحی مدل پایه تحقیق بسیار مفید است. ملاک تقسیم‌بندی، نسبت طول به عرض ۱ تا ۱/۵، ۱/۵ تا ۲ و بیشتر از ۲ بوده است. نتایج نشان می‌دهد که عمده تناسبات، مربوط به دسته اول، یعنی تناسب ۱ تا ۱/۵ است، به طوری که از ۴۲ نمونه ۲۸ نمونه دارای این تناسب هستند؛ ۱۴٪ دارای تناسب ۱/۵ تا ۲ بوده و تنها ۸٪ تناسب بیشتر از ۲ دارند. مطالعات نشان می‌دهد میانگین سطح طبقات در حدود ۹۰۰ تا ۱۰۰۰ متر مربع است (مهدوی نیا، ۱۳۹۰، ۸۳-۹۲).

### - انواع روش‌های عایق کاری

به‌طور کلی عایق کاری ساختمان را می‌توان هم از طرف داخل و هم از خارج جدار اجرا نمود. یکی از معیارهای اساسی برای انتخاب روش مناسب عایق کاری، وضعیت نمای دیوار از داخل و خارج ساختمان است. از آنجاکه عایق کاری ساختمان همراه با بازسازی نمای ساختمان انجام می‌پذیرد. عموماً عایق کاری در نمایی انجام می‌شود که وضعیت نما در آن قسمت نامناسب باشد. به عبارت دیگر، اگر مدیریت ساختمان قصد بازسازی نمای خارجی ساختمان را داشته باشد، عایق کاری ضمن بازسازی نما انجام می‌پذیرد. با توجه به دسته‌بندی و تحلیل انواع روش‌های عایق کاری دیوار در جدول (۱)، عایق پلی‌استایرن به دلیل هزینه کم و سرعت بالا و کیفیت عایق کاری برای شبیه‌سازی در این پژوهش استفاده می‌شود. معیار هزینه عایق کاری با توجه به هزینه عایق کاری متداول در ساختمان‌ها تدوین شده است. منظور از هزینه کم مترمربعی با قیمت تقریبی ۵۰۰۰ ریال و منظور از هزینه بالا مترمربعی با قیمت تقریبی ۲۵۰۰۰ ریال برآورد شده است (www.energystar.ir).

جدول ۱. انواع روش‌های عایق کاری، مزایا و معایب

روش عایق کاری	نوع عایق	هزینه عایق کاری	سرعت عمل و سهولت اجرا
ساندویچ پنل یونولیتی	پلی‌استایرن	کم	خوب
بلوک بتن گازی	بلوک بتن گازی	کم	عالی
بلوک لیکا	بلوک لیکا	کم	خوب
ICF و LSF	یونولیت یا پشم شیشه	بالا	عالی
نمای خارجی ساختمان	پشم شیشه	بالا	متوسط
نمای داخل ساختمان	عایق برد	کم	عالی
عایق کاری دیوار از داخل با کتاف و پشم شیشه	پشم شیشه	بالا	عالی
عایق کاری دیوار از داخل با قاب بندی، رابیتس و یونولیت	یونولیت یا پشم شیشه	بالا	پایین

منبع: www.energystar.ir

## فرایند شبیه‌سازی

در مرحله اول اطلاعات آب و هوایی طبق آمار ۱۵ ساله موجود (۱۹۹۰-۲۰۰۵) شهر تهران برای ایستگاه مهرآباد جمع‌آوری و سپس شرایط جغرافیایی شهر تهران، نوع اقلیم و تغییرات دمایی بررسی می‌شود. در مرحله بعد ویژگی‌های کالبدی مدل پایه در نمونه مطالعاتی تحقیق معرفی می‌گردد. بخش اول از این طبقه‌بندی، به تعریف اولیه لایه بیرونی بنا که همان داده‌های محیطی است، اشاره دارد. بخش دوم، به معرفی ویژگی‌های جداره بیرونی و پوسته بنا نظیر مشخصات بازشوها و مصالح جداره‌ها اختصاص می‌یابد. بخشی از این لایه با فضای بیرون و بخشی با فضای داخل در ارتباط است. لایه سوم، معرف عمق پوسته تا هسته داخلی بنا است و به عبارتی عمده‌ترین فضای معماری این گونه ساختمانی به حساب می‌آید. بخش چهارم که داخلی‌ترین لایه است، شامل فضای هسته مرکزی است و خود فضاهایی نظیر ارتباطات عمودی بنا، داکت‌ها و فضاهای تأسیساتی و در اکثر موارد، سرویس‌های بهداشتی را دربر دارد. در تحقیق حاضر تنها محدوده بخش دوم در مدل‌سازی به‌عنوان عامل متغیر مورد شبیه‌سازی قرار می‌گیرد. جزئیات مشخصات مدل پایه در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲. انواع روش‌های عایق‌کاری، مزایا و معایب

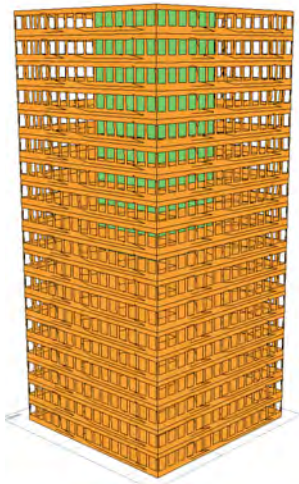
کاربری بنا	کاربری اداری با پلان باز
سطح زیربنای ناخالص کل	۱۶۲۰۰
سطح زیربنای نوع طبقات	۹۰۰
تعداد طبقات	۱۸
درصد اشغال فضای اداری	۸۰٪ از سطح زیربنای طبقات
هندسه پلان‌های مدل	پلان مربع
ویژگی‌های اقلیمی	پهنه اقلیمی نیمه گرم و خشک ایران
مکان مورد مطالعه	کلان‌شهر تهران
ترکیب مصالح دیوارهای خارجی	۱۵ نوع دیوار طبق جدول (۳-۴)
بازشوها	شیشه دوجداره لوئی + پروفیل آلومینیومی
نسبت سطح بازشوها به جداره‌ها	۴٪
ارتفاع کف تا زیر سقف طبقات	۲/۸ متر
ارتفاع کف تا کف طبقات	۳/۷ متر
مصالح کف نهایی طبقات	سرامیک ۴۰×۴۰ سانتی متر
سقف کاذب	تایل آکوستیک گچی
نوع هسته	سیستم مرکزی
درصد اشغال فضای هسته مرکزی	۲۰٪ از سطح زیربنای طبقات

با توجه به مطالعات میدانی مقاله حاضر و بررسی کارگاه‌های در حال ساخت این گونه ساختمانی، رایج‌ترین مصالح در اجرای دیوارهای خارجی بررسی گردید. بدین ترتیب ۱۵ نوع دیوار متداول متشکل از بلوک پرین برای شبیه‌سازی پیشنهاد شد که در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳. جداره‌های خارجی ساختمان مدل پایه

چگالی (kg/m <sup>3</sup> )	ترتیب لایه‌ها (به ترتیب از خارج به داخل)				شماره دیوار	نوع عایق‌کاری
	کناف ۱/۲ س م	سیمان بستر ۱ س م	بلوک پرین ۱۰ س م	سیمان نما ۳ س م		
۲۶۵۰	-	کناف ۱/۲ س م	سیمان بستر ۱ س م	بلوک پرین ۱۰ س م	۱	بدون عایق‌کاری
۲۷۵۰	-	کناف ۱/۲ س م	سیمان بستر ۱ س م	بلوک پرین ۱۵ س م	۲	
۲۸۵۰	-	کناف ۱/۲ س م	سیمان بستر ۱ س م	بلوک پرین ۲۰ س م	۳	
۲۶۷۵	کناف ۱/۲ س م	پلی‌استایرن ۲ س م	سیمان بستر ۱ س م	بلوک پرین ۱۰ س م	۴	با عایق‌کاری داخلی
۲۶۷۵	کناف ۱/۲ س م	پلی‌استایرن ۵ س م	سیمان بستر ۱ س م	بلوک پرین ۱۰ س م	۵	
۲۶۷۵	کناف ۱/۲ س م	پلی‌استایرن ۱۰ س م	سیمان بستر ۱ س م	بلوک پرین ۱۰ س م	۶	
۲۷۷۵	کناف ۱/۲ س م	پلی‌استایرن ۲ س م	سیمان بستر ۱ س م	بلوک پرین ۱۵ س م	۷	
۲۷۷۵	کناف ۱/۲ س م	پلی‌استایرن ۵ س م	سیمان بستر ۱ س م	بلوک پرین ۱۵ س م	۸	
۲۷۷۵	کناف ۱/۲ س م	پلی‌استایرن ۱۰ س م	سیمان بستر ۱ س م	بلوک پرین ۱۵ س م	۹	
۲۶۷۵	کناف ۱/۲ س م	سیمان بستر ۱ س م	بلوک پرین ۱۰ س م	پلی‌استایرن ۲ س م	۱۰	
۲۶۷۵	کناف ۱/۲ س م	سیمان بستر ۱ س م	بلوک پرین ۱۰ س م	پلی‌استایرن ۵ س م	۱۱	با عایق‌کاری خارجی
۲۶۷۵	کناف ۱/۲ س م	سیمان بستر ۱ س م	بلوک پرین ۱۰ س م	پلی‌استایرن ۱۰ س م	۱۲	
۲۷۷۵	کناف ۱/۲ س م	سیمان بستر ۱ س م	بلوک پرین ۱۵ س م	پلی‌استایرن ۲ س م	۱۳	
۲۷۷۵	کناف ۱/۲ س م	سیمان بستر ۱ س م	بلوک پرین ۱۵ س م	پلی‌استایرن ۵ س م	۱۴	
۲۷۷۵	کناف ۱/۲ س م	سیمان بستر ۱ س م	بلوک پرین ۱۵ س م	پلی‌استایرن ۱۰ س م	۱۵	

در ادامه یک ساختمان اداری با مشخصات ذکر شده در جدول ۲ توسط نرم‌افزار اکوتکت ۶ مدل‌سازی می‌شود (شکل ۱). با مشخص شدن تقسیم‌بندی محدوده‌های حرارتی، مدل جهت انتقال به نرم‌افزار انرژی پلاس نسخه ۸/۲ جهت ادامه شبیه‌سازی منتقل می‌شود.



شکل ۱. طرح سه بعدی مدل پایه در نرم‌افزار اکوتکت ۲۰۱۱

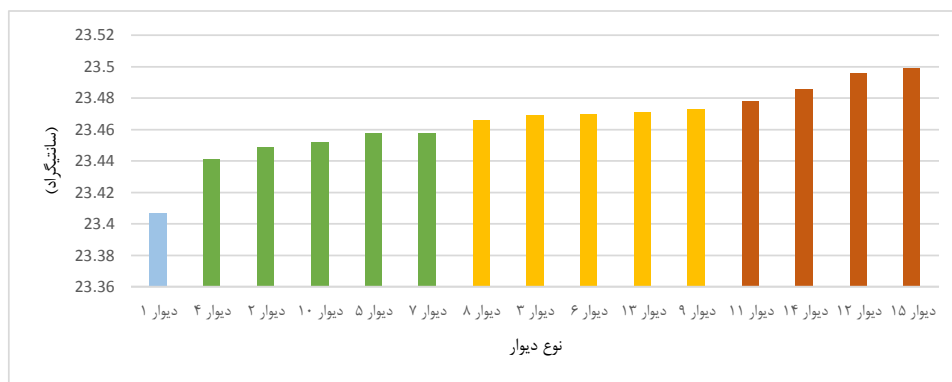


در این مرحله ابتدا اطلاعات مصالح وارد شد، سپس جداره‌ها تعریف شده و شرایط همجواری زون‌های حرارتی با یکدیگر و با فضای بیرون تعریف می‌گردند. در مرحله بعد با توجه به مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان، نقطه تنظیم دمایی<sup>۷</sup> برای زمستان و تابستان به ترتیب برابر با ۲۰ و ۲۸ در نظر گرفته می‌شوند (مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان، ۱۳۸۹، ۵۱). در پایان خروجی‌های مورد نیاز جهت شبیه‌سازی شامل دمای متوسط سالیانه فضاها، میزان بار گرمایش و سرمایش مورد نیاز به تفکیک طبقات (با توجه به دمای مرجع تعریف شده) تعیین می‌شود تا فرایند شبیه‌سازی کامل و برای مرحله خروجی گرفتن و تحلیل نتایج در بخش آتی آماده گردد.

### تحلیل نتایج

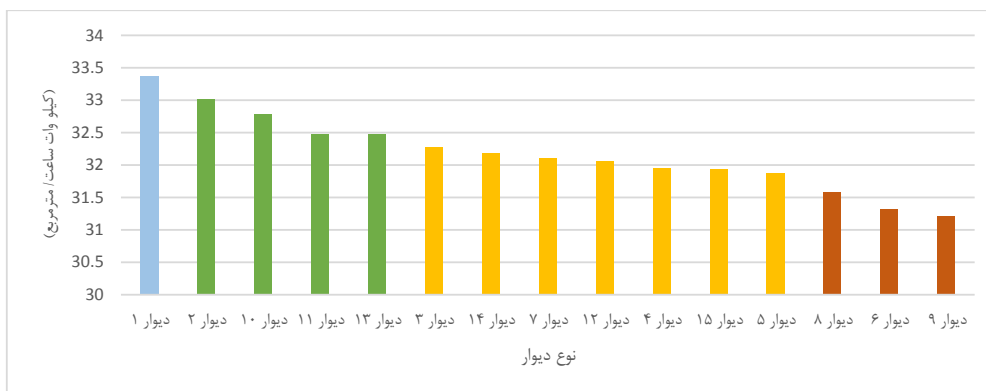
در بخش پایانی با توجه به نتایج اولیه به دست آمده در مرحله قبل، پیشنهادهای متفاوت ساختار جداره‌های کدر خارجی در راستای به حداقل رسانیدن بارهای حرارتی و برودتی ارائه می‌شود. بدین ترتیب میزان بار گرمایشی و بار سرمایشی برای انواع مختلف دیوار محاسبه و سپس گزینه‌های مختلف با توجه به میزان مصرف بهینه می‌شود (نتایج به صورت رفت و برگشتی اصلاح می‌شود) و پس از بررسی تأثیر آن، در پایان برای هر کدام از خروجی‌ها یک نمودار ترسیم می‌شود.

ابتدا دمای متوسط طبقات برای ۱۵ نوع دیوار پیشنهاد شده مقایسه می‌شود. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، کمترین دمای متوسط سالیانه برای دیوار نوع ۱ و بیشترین دمای متوسط سالیانه برای دیوار نوع ۱۵ است. عملکرد ۱۵ نوع دیوار با چهار رنگ مختلف دسته‌بندی و نمایش داده شده‌اند. رنگ آبی کمترین دمای متوسط سالیانه و رنگ قرمز بیشترین دمای متوسط سالیانه را برای میانگین دمای ۱۷ طبقه ساختمان نشان می‌دهد. اختلاف دمای حداقل و حداکثر دمای ایجاد شده برای ۱۵ نوع دیوار برابر با ۰/۰۵ درجه سانتیگراد است. متوسط دمای طبقات به ازای افزایش عایق کاری افزایش می‌یابد. به طوری که تأثیر این افزایش برای عایق کاری داخلی بیشتر از عایق کاری خارجی است. همچنین با افزایش ضخامت بلوک‌های دیوار نیز متوسط دما افزایش می‌یابد.



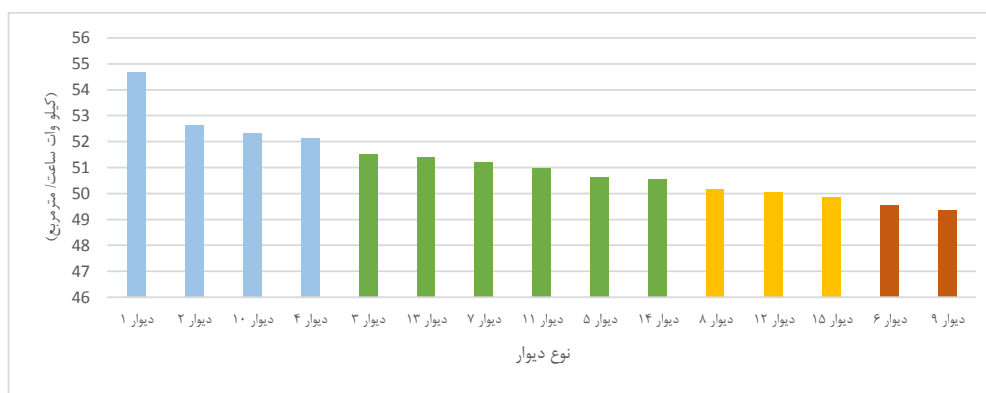
شکل ۲. مقایسه دمای متوسط طبقات برای ۱۵ نوع دیوار پیشنهاد شده

نتایج متوسط بار سرمایش طبقات برای ۱۵ نوع دیوار در شکل ۳ آورده شده است. طبق نتایج شبیه‌سازی، بیشترین میزان بار سرمایش برای دیوار ۱ و کمترین مقدار برای دیوار ۹ است.



شکل ۳. مقایسه متوسط بار سرمایش طبقات برای ۱۵ نوع دیوار پیشنهاد شده

نتایج متوسط بار گرمایش طبقات برای ۱۵ نوع دیوار در شکل ۴ آورده شده است. طبق نتایج شبیه‌سازی، بیشترین میزان بار گرمایش برای دیوار ۱ و کمترین مقدار برای دیوار ۹ است.

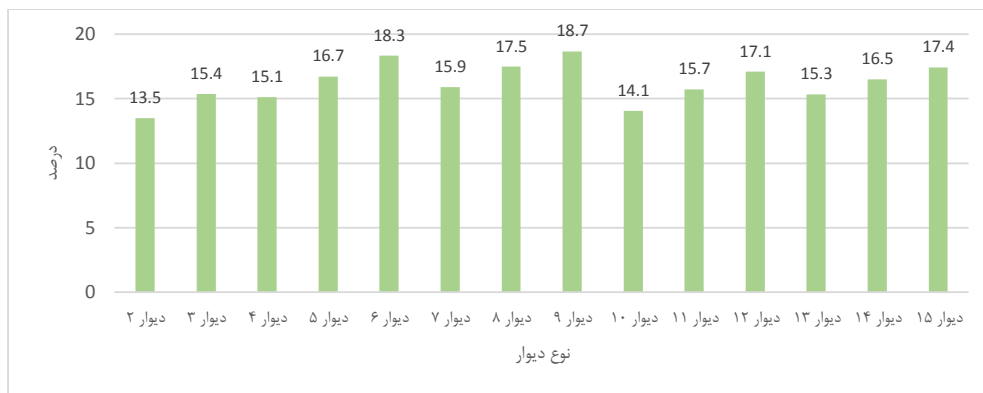


شکل ۴. مقایسه متوسط بار گرمایش طبقات برای ۱۵ نوع دیوار پیشنهاد شده

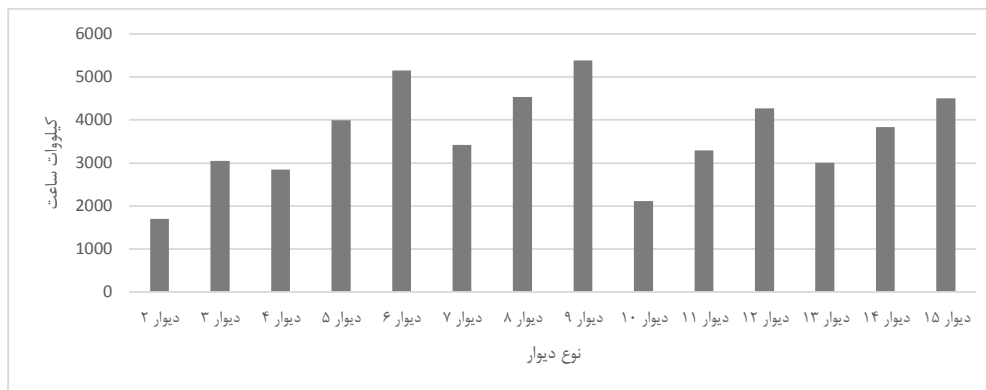
با توجه به شکل ۵ مشاهده می‌شود که این افزایش ضخامت عایق، تأثیر مثبتی بر کاهش بار سرمایش و گرمایش دارد و عایق کاری داخلی عملکرد بهتری نسبت به عایق کاری خارجی دارد. از طرفی با ثابت نگه داشتن ضخامت دیوار، تأثیر ضخامت عایق در کاهش مصرف انرژی بیشتر از تأثیر ضخامت بلوک‌های دیوار است. در پایان مشاهده می‌شود که مصرف انرژی به ازای افزایش ضخامت عایق کاهش می‌یابد. این مقدار کاهش برای عایق کاری داخلی بیشتر است. ولی از آنجاکه در ساعات کاری ساختمان‌های اداری شهر تهران نیاز به بار گرمایش بیشتر است لذا تأثیر عایق کاری بر کاهش بار گرمایش بیشتر از بار سرمایش خواهد بود. در حالت بدون عایق کاری مشاهده می‌شود که با افزایش ضخامت بلوک‌ها، شاهد کاهش مصرف انرژی جهت سرمایش و گرمایش ساختمان هستیم.

دیوار ۶ با مقدار ۹/۷٪ دارای بیشترین کاهش مصرف انرژی گرمایشی و بیشترین میزان کاهش انرژی سالیانه جهت سرمایش با مقدار ۶/۵٪ است. با توجه به شکل ۵ مشاهده می‌شود بیشترین کاهش مصرف

انرژی جهت سرمایش و گرمایش برای دیوار ۶ است. با انتخاب این دیوار می‌توان تا ۱۸/۷٪ صرفه‌جویی کرد. این میزان کاهش با توجه به شکل ۶ برابر با ۵۳۸۳ کیلو وات ساعت در سال می‌باشد که متوسط کل طبقات است.

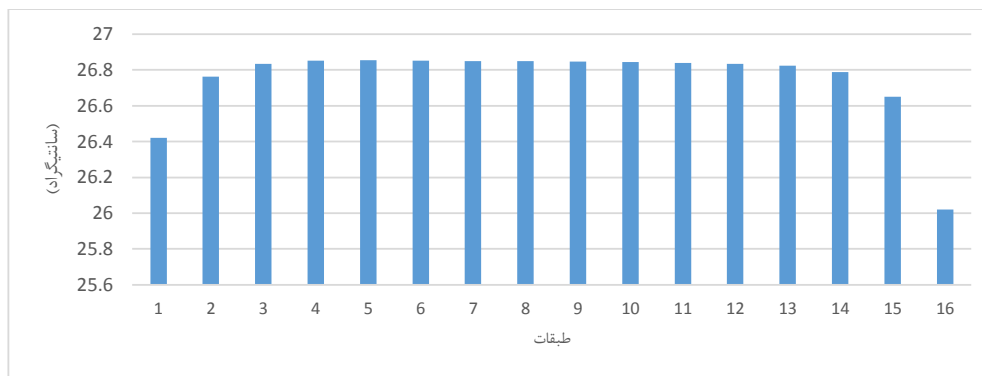


شکل ۵. کاهش متوسط مصرف انرژی سالیانه جهت سرمایش و گرمایش نسبت به دیوار پایه (دیوار ۱) بر حسب درصد



شکل ۶. کاهش متوسط مصرف انرژی سالیانه جهت سرمایش و گرمایش نسبت به دیوار پایه (دیوار ۱) بر حسب کیلو وات ساعت

با توجه به شکل ۷ مشاهده می‌شود با تغییر ارتفاع، تفاوت محسوسی در دمای متوسط طبقات دیده نمی‌شود. لذا عایق کاری متفاوت جداره‌ها با توجه به تغییرات ارتفاع کارایی محسوسی ندارد و از نظر اقتصادی به صرفه نخواهد بود. مصرف انرژی طبقات به مقدار ۰/۳ درصد به ازای هر طبقه افزایش می‌یابد.



شکل ۷. تغییرات متوسط دمای سالیانه طبقات

### نتیجه‌گیری و ارائه جداره‌های پیشنهادی

با توجه به تحلیل‌های صورت گرفته از نمودارها، نتایج زیر از تحقیق حاصل می‌شود:

- متوسط دمای طبقات به ازای افزایش عایق کاری و افزایش ضخامت بلوک افزایش می‌یابد.
  - با عایق کاری دیوارهای خارجی ساختمان‌های اداری می‌توان بیشینه تا ۱۸ الی ۱۹٪ میزان مصرف انرژی سالیانه جهت سرمایش و گرمایش را کاهش داد.
  - تأثیر عایق کاری داخلی بر کاهش مصرف انرژی بیشتر از عایق کاری خارجی در ساختمان‌های اداری است.
  - عایق کاری تأثیر بیشتری بر کاهش بار گرمایشی نسبت به بار سرمایشی دارد؛ همچنین به دلیل موقعیت جغرافیایی و اقلیمی شهر تهران، نیاز به بار گرمایشی بیشتر از بار سرمایشی است. لذا عایق کاری جداره‌ها به خصوص در لایه داخلی جداره‌ها تأثیر زیادی بر کاهش مصرف انرژی دارد.
  - با ثابت نگه داشتن ضخامت دیوار، تأثیر ضخامت عایق بیشتر از تأثیر ضخامت بلوک‌های دیوار در کاهش مصرف انرژی است.
  - مصرف انرژی طبقات به مقدار ۰/۳ درصد به ازای هر طبقه افزایش می‌یابد ولی به دلیل تغییرات ناچیز دمایی نیاز به عایق کاری متفاوت با توجه به تغییر ارتفاع نیست.
  - در کاربری‌های موقت نظیر ساختمان‌های اداری، با توجه به اینکه جداره‌ها و فضاها داخلی باید در مدت زمان کوتاهی به شرایط آسایش برسند، لذا جرم اصلی دیوار (بلوک‌ها) باید در قسمت بیرونی نما قرار گیرد و عایق کاری در داخل اجرا شود. همانطور که از نتایج مشاهده شد، تأثیر عایق کاری داخلی به مراتب بالاتر از عایق کاری خارجی است.
- با توجه به تحلیل‌ها و نتایج پژوهش، شش نوع دیوار خارجی که بیشترین کاهش مصرف انرژی را برای ساختمان‌های اداری داشتند به ترتیب پیشنهاد می‌شود. به کار بردن همزمان بلوک ۱۵ سانتی‌متری با عایق ۱۰ سانتی‌متری به دلیل افزایش ضخامت و جرم حجمی دیوار، از لحاظ اقتصادی به صرفه نخواهد بود. لذا دو دیوار حذف شده و نتیجه نهایی دیوارهای پیشنهادی به همراه جزئیات لایه‌ها در مقطع در جدول ۴ آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، عایق کاری داخلی در اولویت اجرای دیوارهای خارجی قرار گرفته است.

جدول ۴. دیوارهای پیشنهادی طبق نتایج پژوهش

اولویت	شماره دیوار	نوع عایق کاری	ترتیب لایه‌های دیوار (به ترتیب از خارج به داخل)	مقطع دیوار
۱	۶	داخلی	(۱) سیمان نما ۳ س م (۲) بلوک پرین ۱۰ س م (۳) سیمان بستر ۱ س م (۴) پلی‌استایرن ۱۰ س م (۵) کناف ۱/۲ س م	
۲	۸	داخلی	(۱) سیمان نما ۳ س م (۲) بلوک پرین ۱۵ س م (۳) سیمان بستر ۱ س م (۴) پلی‌استایرن ۵ س م (۵) کناف ۱/۲ س م	
۳	۱۲	خارجی	(۱) سیمان نما ۳ س م (۲) پلی‌استایرن ۱۰ س م (۳) بلوک پرین ۱۰ س م (۴) سیمان بستر ۱ س م (۵) کناف ۱/۲ س م	
۴	۵	داخلی	(۱) سیمان نما ۳ س م (۲) بلوک پرین ۱۰ س م (۳) سیمان بستر ۱ س م (۴) پلی‌استایرن ۵ س م (۵) کناف ۱/۲ س م	

### پی‌نوشت‌ها

1. Enegyplus
2. Simulink
3. UPVC
4. Autoclaved aerated concrete
5. Extruded polystyrene
6. Ecotect Analysis 2011
7. Setpoint

### فهرست منابع

- ابراهیم‌پور، عبدالسلام؛ معرفت مهدی و محمدکاری، بهروز (۱۳۸۳). «بهینه‌سازی عایق کاری در ساختمان‌های با استفاده مداوم در شرایط اقلیمی ایران از لحاظ بارهای حرارتی سالیانه»، نشریه فنی و مهندسی مدرس: ۱۷، ۳۳-۵۲.
- حسینی، سید حسین و کاظمی تربقان، مرتضی (۱۳۹۰). «اثرات عایق‌سازی حرارتی جداره‌های ساختمانی ساخته شده با مصالح جدید در کاهش مصرف سوخت»، اولین همایش منطقه‌ای عمران و معماری، آموزش‌شکده فنی و حرفه‌ای سما واحد آیت ... آملی، آملی.
- سرابی، مهرداد و ابراهیم‌پور، عبدالسلام (۱۳۹۲). «عایق کاری بر دیوارهای خارجی ساختمان با تغییرات جهت دیوار و

- اقلیم»، اولین همایش سراسری محیط زیست، انرژی و پدافند زیستی، موسسه آموزش عالی مهر اروند، گروه ترویجی دوستداران محیط زیست، تهران.
- شیخزاده، قنبرعلی؛ مهراییان مظفر و ضامن مقصودی، علی (۱۳۸۱). «ارزیابی کاهش تلفات حرارتی با به‌کارگیری عایق‌های حرارتی یا ایجاد فاصله هوایی در جداره‌های خارجی ساختمان»، دومین همایش بین‌المللی بهینه‌سازی مصرف سوخت در ساختمان، سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت کشور، تهران.
  - طالبی، ژاله (۱۳۸۵). «بهبود عملکرد حرارتی ساختمان‌های مسکونی عایق‌کاری حرارتی از خارج»، پنجمین همایش بین‌المللی بهینه‌سازی مصرف سوخت در ساختمان، سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت کشور، تهران.
  - مدقالچی، زهرا و فلاح، محسن (۱۳۹۴). «مقایسه میزان مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی با عایق‌کاری‌های مختلف»، ششمین کنفرانس بین‌المللی گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران.
  - مهدوی‌نیا، مجتبی (۱۳۹۰). «بررسی تحلیلی رابطه میان مصرف انرژی و ویژگی‌های کالبدی در بناهای بلندمرتبه اداری ایران»، رساله دکتری مهندسی معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت، تهران.
  - مقررات ملی ساختمان (۱۳۸۹)، مبحث ۱۹ «صرفه‌جویی در مصرف انرژی»، دفتر نظامات مهندسی، وزارت مسکن و شهرسازی، تهران.
  - ویسی، فرزاد؛ یوسفی تورج و احمدی، اردشیر (۱۳۸۸). «بررسی اثر نحوه عایق‌کاری حرارتی جداره‌های خارجی بر بار گرمایشی ساختمان»، اولین کنفرانس بین‌المللی گرمایش، سرمایش، و تهویه مطبوع، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران.
- Kalogirou S. A., Florides G., & Tassou S. (2002). "Energy analysis of buildings employing thermal mass in Cyprus", *Renewable Energy*, 27: 353–368.
  - Yuan J., Farnham C., Emura K., & Ashrafal Alam M.D. (2016). "Proposal for optimum combination of reflectivity and insulation thickness of building exterior walls for annual thermal load in Japan", *Building and Environment*, 13: 228–237.
  - www.energystar.ir (Accessed on: 4/18/2016)