

بهینه‌سازی عملکرد حرارتی جداره‌های خارجی یک ساختمان مسکونی میان مرتبه در اقلیم سرد و خشک با بهره‌گیری از نرم‌افزار شبیه‌ساز انرژی (نمونه موردی: شهر مشهد)

سید مهدی مداحی^۱، فهیمه توانائی^{۲*}

^۱ استادیار دانشکده معماری، مؤسسه آموزش عالی خاوران، مشهد، ایران

m.madahi@profs.khi.ac.ir

^{۲*} دانشجوی کارشناسی ارشد معماری، مؤسسه آموزش عالی خاوران، مشهد، ایران

f.tavanaiee71@gmail.com

چکیده: از عواملی که تأثیر بسزایی بر میزان دریافت انرژی خورشیدی توسط ساختمان دارد، جنس مصالح به‌کاررفته در نمای خارجی و بازشوها هستند. هدف کلی در این پژوهش، توجه به اقلیم موجود (مشهد) در انتخاب و نحوه به‌کارگیری مصالح درونی دیوار و همچنین ابعاد بازشوها نسبت به نما، با توجه به معیارهای مصرف انرژی، برای رسیدن به الگوی بهینه در طراحی با استفاده از مدل‌سازی یک نمونه ساختمان مسکونی میان‌مرتبه در نرم‌افزار دیزاین بیلدر است. روش تحقیق در پژوهش حاضر از نوع ترکیبی است؛ در مرحله اول جزئیات جداره‌های خارجی با مصالح درونی مختلف از جمله بلوک سفالی، لیکا و AAC و بازه ۱۰-۵۰٪ بازشو نسبت به نما، وارد نرم‌افزار و مورد تحلیل قرار می‌گیرد. در مرحله بعدی از طریق بهینه‌سازی پارامتریک، تمامی حالت‌ها در جداره‌های آفتابگیر بنا به‌طور همزمان بررسی شده و در نهایت امر، بلوک AAC با عایق حرارتی پلی استایرن اکستروژده به‌عنوان مصالح بهینه در این اقلیم و بازه پیشنهادی برای بازشوها نسبت به نما ۲۵-۳۰٪ ارزیابی شده است تا علاوه بر حداقل دسترسی به نور از اتلاف انرژی ساختمان نیز جلوگیری کند.

واژه‌های کلیدی: عملکرد حرارتی، جداره‌های خارجی، ساختمان مسکونی، دیزاین بیلدر، شهر مشهد.

۱. مقدمه

موضوع انرژی و دستیابی هرچه بیشتر کشورهای پیشرفته صنعتی دنیا به منابع انرژی ارزان‌قیمت، چالش‌های فراوانی را ایجاد کرده و این امر از مباحث مهم و متداول در جهان امروز است. در همین راستا، به دلایل شرایط اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی در ایران نیز راه‌های ارزان‌قیمت مصرف انرژی در ساختمان‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. یکی از روش‌های کم و یا حتی بی‌هزینه کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها، روش شهرسازی و معماری است؛ که روش‌های پایداری بوده و چه از نظر اقتصادی و چه از نظر زیست‌محیطی مناسب‌تر از دیگر روش‌ها هستند. بهره‌وری انرژی با شهرسازی و معماری انرژی کارا به‌سادگی قابل دسترس بوده و قابلیت عملی شدنش بسیار بالاست [۱ و ۲].

یکی از مسائل جهان امروز، مسئله صرفه‌جویی در مصرف انرژی‌هایی است که قابل تجدید نیستند و استفاده از نیروهای طبیعی نه‌تنها محیط زندگی را به فضایی آسوده تبدیل خواهد کرد بلکه در کاهش مصرف انرژی نیز تأثیر فراوانی خواهد داشت. استفاده از نیروهای طبیعی در ساختمان، به صرفه‌جویی در مصرف سوخت و مهم‌تر از آن افزایش کیفیت آسایش و بهداشت محیط مسکونی و سالم‌سازی محیط‌زیست منتهی می‌شود. طراحی مسکن بر اساس شرایط آب‌وهوایی یک منطقه اولین خط دفاعی در مقابل عوامل خارجی ساختمان است [۳ و ۴].

۱.۱. بیان مسئله

حدود ۴۰٪ کل انرژی در دنیا سالانه در ساختمان‌های مسکونی و تجاری مصرف می‌شود که این به معنای سهم یک‌سومی ساختمان‌ها در صدور گازهای گلخانه‌ای در سرتاسر جهان است. بخش چشمگیری از این انرژی صرف خنک کردن، گرم کردن و در نتیجه، تهویه هوای ساختمان‌ها برای رسیدن به دمای آسایش می‌شود. بالا بودن میزان مصرف انرژی در این بخش‌ها، مسلماً با عوامل و فاکتورهای تأثیرگذار مختلفی در ارتباط است که در این میان، نباید نقش جداره‌ها و پوسته‌های خارجی بنا نادیده گرفته شود [۵، ۶ و ۷]. یکی از مهم‌ترین منابع اتلاف انرژی در جداره ساختمان‌ها به بازشوها اختصاص می‌یابد [۸]. همچنین بررسی این امر که مصالح جدید و سیستم‌های ساخت دیوار رایج تا چه حد می‌توانند آسایش حرارتی ساکنان را تأمین کنند، پرسشی است که این پژوهش در پی پاسخ آن است. هرچند که نمای خارجی ساختمان پارامتری است که معمولاً توسط معماران و با در نظر گرفتن جنبه زیبایی و نمود ظاهری

ساختمان انتخاب می‌شود، ولی تحقیقات حاکی از آن است که نما یکی از عوامل تأثیرگذار بر شرایط حرارتی فضای داخل ساختمان است [۹].

۲.۱. ضرورت پژوهش

مهم‌ترین نکته در معماری جدید استفاده بیش از حد از انرژی‌های تجدیدناپذیر است که علت اصلی آن استفاده از مصالح نامناسب، حمل‌ونقل آن‌ها و طراحی اشتباه بنا با استفاده از وسایل گرم‌کننده و خنک‌کننده با توجه به شرایط اقلیمی است [۱۰]. یکی از عواملی که می‌تواند تأثیر بسزایی بر میزان دریافت انرژی خورشیدی توسط ساختمان داشته باشد، جنس مصالح به‌کاررفته در نمای خارجی ساختمان است [۱۱]. همچنین بازشوها از مهم‌ترین اجزای معماری ساختمان هستند که از دیدگاه اتلاف انرژی حرارتی و برودتی، به دو دلیل اساسی ضریب انتقال حرارت بیشتر نسبت به جداره‌ها و عبور بخش اعظم تشعشع‌های خورشیدی از خود، همواره مورد توجه بوده‌اند. بر این اساس امکان بررسی تأثیر سطح پنجره‌ها در اتلاف حرارتی هدایتی و تشعشعی و عملکرد سیستم روشنایی به‌طور همزمان وجود خواهد داشت [۸].

راه‌های مصرف انرژی برای برقرار کردن شرایط آسایش در ساختمان‌ها زیاد است. بنابراین، قبل از هر کاری باید میزان این انرژی مصرفی سنجیده شود. یکی از راه‌های به دست آوردن مقدار آن استفاده از برنامه‌های شبیه‌سازی مصرف انرژی است. از برنامه‌های شبیه‌ساز مصرف انرژی قبل از ساختن ساختمان و یا ایجاد تغییرات در آن بعد از ساخت می‌توان استفاده کرد و هزینه مصرف انرژی را برآورد کرد تا بهترین حالت از لحاظ ذخیره و مصرف انرژی به دست آید [۱۲].

۳.۱. اهداف و پرسش‌های پژوهش

هدف کلی: توجه به شرایط جوی اقلیم موجود (مشهد) در انتخاب مصالح درونی دیوار و نحوه به‌کارگیری آن‌ها در ساختمان همچنین درصد بازشوها نسبت به نماها، با توجه به معیارهای مصرف انرژی جهت رسیدن به یک الگوی بهینه در طراحی با استفاده از مدل‌سازی یک نمونه ساختمان در نرم‌افزار دیزاین بیلدر.

اهداف جزئی: ۱. توجه به تطابق ساختمان با اقلیم خاص منطقه موجود در آن. ۲. طراحی اقلیمی برای کاهش همه‌جانبه هزینه انرژی یک ساختمان. ۳. توجه به مصالح ساختمانی به‌کاررفته در جداره‌های خارجی بنا به‌عنوان اولین خط دفاعی در مقابل عوامل اقلیمی. ۴. بهره‌گیری از شرایط مطلوب رطوبت، دما و نور خارج در فصول

مختلف برای داخل بنا. ۴. توجه به تناسب‌های نما و حالت بهینه بازشوها.

این پژوهش با هدف پاسخ‌گویی به این سؤال‌ها به انجام رسیده است:

۱. چه عواملی در تبادل و اتلاف انرژی حرارتی از طریق جداره‌ها تأثیرگذارند؟
۲. بهینه‌سازی عملکرد حرارتی جداره‌های خارجی بنا چگونه در صرفه‌جویی انرژی در بخش ساختمان مؤثر خواهد بود؟

۲. پیشینه پژوهش

در سال‌های اخیر، بررسی عملکرد حرارتی ساختمان، به‌ویژه پوسته بنا که حد واسط فضای بیرون و درون ساختمان است، مورد توجه پژوهشگران زیادی قرار گرفته است. ظهور نرم‌افزارهای شبیه‌ساز بنا، به روند رو به رشد این تحقیقات کمک قابل توجهی کرده است. در بررسی پیشینه پژوهش‌های مرتبط به‌صورت کلی‌تر در حوزه‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی و به‌صورت جزئی‌تر در حوزه بهینه‌سازی جداره خارجی و بازشوها در ساختمان‌ها مد نظر قرار گرفته است؛ برای نمونه به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود.

شعبی و ترکاشوند در سال ۱۳۹۳، راهکارهایی را برای کاهش مصرف انرژی در حوزه ساختمان پیشنهاد داده‌اند. این راهکارها به‌طور کلی به دو دسته تقسیم می‌شوند: راهکارهای فنی و راهکارهای معماری. این تحقیق سعی دارد موضوع پایداری را در طرح ساختمان‌سازی و اصول طراحی پایدار را بررسی کند [۱۴]. غفاری جباری و همکاران در سال ۱۳۹۲ به بررسی نقاط ضعف ساخت‌وسازهای موجود در شهر تهران پرداخته و با شناخت نقاط ضعف در مرحله طراحی و ساخت ساختمان، راهکارهایی در جهت کاهش مصرف انرژی در ساختمان ارائه داده‌اند. بدین منظور، ۲۵ نوع مختلف ساختمان طراحی و توسط نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی، مدل‌سازی شد و میزان مصرف انرژی گرمایشی و سرمایشی آن‌ها محاسبه گردید [۶]. در حوزه بهینه‌سازی جداره، پوردییمی و گسیلی در سال ۱۳۹۴ با بررسی جداره‌های متداول در معماری بومی و مناطق روستایی اقلیم سرد، نقش پوسته‌های خارجی بنا در انتقال و اتلاف انرژی حرارتی را مورد بررسی قرار داده‌اند [۵]. ذوالفقاری و همکاران در سال ۱۳۹۳، در پژوهشی اثر نماهای مختلف بر میزان مصرف انرژی را مورد بررسی قرار داده‌اند. برای این منظور، از نرم‌افزار انرژی پلاس جهت مدل‌سازی و انجام محاسبات ساختمان نمونه در سه اقلیم تهران، بندرعباس و تبریز استفاده شده است. نتایج این بررسی نشان داد که برای شهر تهران استفاده از آجرنما با ۶/۹٪ کاهش مصرف بهترین

عملکرد را دارد، همچنین برای شهر بندرعباس نمای آجر نسوز با حدود ۲۳٪ کاهش مصرف و برای شهر تبریز نمای بتن رنگی با ۷/۱٪ کاهش، به‌عنوان نمای مناسب برای ساختمان پیشنهاد می‌شود [۲۰]. شقایق محمد در سال ۱۳۹۲، در مقاله‌ای با استفاده از نرم‌افزار انرژی، به شبیه‌سازی نحوه رفتار گونه‌های مختلف دیوار که از ترکیب بلوک‌های سفالی، لیکا، هبلکس و عایق حرارتی ساخته شده و در ساختمان‌های مسکونی شهر تهران متداول‌اند، می‌پردازد. ضمن پرداخت و تحلیل نتایج، مواردی از قبیل نقش متفاوت جرم حرارتی و عایق حرارتی، تعریف ویژگی‌های حرارتی دینامیک و رفتار دوره‌ای مصالح در مواجهه با شرایط ناپایدار محیط بیان می‌شود. نتایج تحقیق نشان از لزوم استفاده از محاسبات شرایط ناپایدار به‌جای روش مرسوم محاسبات پایدار می‌دهد. همچنین از میان گونه‌های دیوار معرفی‌شده، دیوار ساخته‌شده از دو ردیف بلوک لیکا ۱۰ سانتی‌متری با ۵ سانتی‌متر عایق در میانه آن‌ها مناسب‌ترین عملکرد را از نظر توانایی تأمین آسایش حرارتی دارد [۱۱].

همچنین خردمند و حسینی در سال ۱۳۹۳ به روش شبیه‌سازی و با به‌کارگیری از دو نوع نرم‌افزار اکوتکت^۱ و انرژی پلاس^۲، فرم و درصد بهینه پنجره به مساحت ۲۲ تا ۲۰٪ سطح نما را مورد مطالعه قرار داده و در نهایت تلاش کرده‌اند با مقایسه میزان بار گرمایشی، سرمایشی و روشنایی در تمام ماه‌های سال در اقلیم معتدل و مرطوب رشت، بهترین گزینه به‌منظور بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان را انتخاب کند [۱۵]. در حوزه بهینه‌سازی بازشو، فیاض در سال ۱۳۹۱ سطح بهینه پنجره برای ساختمان‌های مسکونی دو شهر اردبیل و تهران با هدف تأمین بخشی از نیاز گرمایشی ساختمان مطالعه و پیشنهاد کرده است [۱۶]. رحیم‌زاده هلق و برادر برجسته‌باف در سال ۱۳۹۱ به بررسی میزان تأثیر ابعاد پنجره‌ها ساختمان، که به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در میزان تبادلات بارهای سرمایش و گرمایش ساختمان است، پرداخته‌اند [۱۷]. بنا بر مطالعات انجام‌شده، پارامترهای مختلفی برای اتلاف انرژی ساختمان وجود دارد که یکی از مهم‌ترین آن‌ها پوسته خارجی بناست و راهکارهای فراوانی برای آن ارائه شده که مصالح ساختمانی همساز با اقلیم یکی از آن‌هاست. تجزیه و تحلیل مصالح رایج در یک اقلیم و جزئیات مناسب برای پوسته بنا از مسائلی است که بدان پرداخته شده است. همچنین استفاده از عایق‌های حرارتی در جدار خارجی بنا تا حد زیادی می‌تواند از هدررفت انرژی جلوگیری کند و انتخاب عایقی مناسب با توجه به شرایط اقلیمی ضرورت می‌یابد. همچنین بازشوها در جداره‌های بیرونی قسمت قابل

1. Ecotect
2. Energy Plus

بررسی می‌شود. برخی از این فاکتورها شامل انرژی ناشی از نور خورشید، انرژی همرفتی، میزان بازشوها، تأثیر باد، جهت‌گیری ساختمان، بازخورد حرارتی مصالح، اثنائیه و افراد داخل و... هستند. در این پژوهش، تمرکز اصلی به نحوه عبور و جابه‌جایی حرارت از طریق مصالح ساختمانی درونی دیوار و تناسب‌های بازشوها نسبت به نمای ساختمان است، چون به نظر می‌رسد بیشترین مشکل در طراحی ساختمان‌های امروزی عدم توجه به مصالح به‌کاررفته و جزئیات آن‌ها در جداره‌ها و حالت بهینه بازشوها با توجه به اقلیم مربوط است. در مرحله بعد، تمام جزئیات جداره‌ها با مصالح مختلف و تناسب‌های خاص بازشوها ساختمان وارد نرم‌افزار می‌شود و مورد تحلیل قرار می‌گیرد. از طریق بهینه‌سازی در این نرم‌افزار تمامی حالت‌ها در جداره‌های خارجی مورد نظر به‌طور همزمان بررسی شده و در نهایت امر به حالت‌های بهینه دست خواهیم یافت، که به کمک آن‌ها راهکارهای اساسی در زمینه صرفه‌جویی در مصرف انرژی بنا ارائه خواهد شد.

۴. مشخصات ساختمان مورد نظر

موقعیت جغرافیای فضای نمونه در شهر مشهد، با عرض جغرافیای ۳۶/۲۷ و طول جغرافیایی ۵۹/۵۷، ارتفاع از سطح دریا ۹۹۹ متر در نظر گرفته شده است. داده‌های مورد استفاده بر اساس داده‌های آب‌وهوایی استخراج شده از نرم‌افزار متونرم^۳ است. نمونه یک ساختمان مسکونی میان‌مرتبه شمالی، واقع در بلوار پیروزی در منطقه ۹ مشهد است که ۵ طبقه روی پیلوت ارتفاع دارد و مساحت واحدهای آن حدود ۱۷۰ مترمربع است، و هر ۵ طبقه آن دارای پلان معماری یکسانی هستند. جداره مورد مطالعه، جداره آفتاب‌گیر است که شامل فضاهایی از جمله نشیمن و آشپزخانه است. در اکثر خانه‌های شمالی ساخته شده جایگذاری فضاها به همین صورت است (جدول ۱ و شکل ۱).

جدول (۱): مشخصات فضای مورد مطالعه

جدار آفتابگیر ساختمان	مساحت فضا مترمربع	مساحت سطح جدار خارجی مترمربع	مساحت سطح بازشو مترمربع	درصد بازشو
نمای جنوبی (آشپزخانه)	۲۱	۱۹/۵۳	۴/۳	۲۲
نمای جنوبی (پذیرایی)	۵۳/۷۰	۱۵	۷/۱۵	۴۷/۶۵
کل		۳۴/۵۸	۱۱/۴۵	۳۳/۱۰

توجهی از اتلاف انرژی را به خود اختصاص می‌دهند، انتخاب بهینه‌ترین درصد بازشو نسبت به سطح نما می‌تواند به‌صورت قابل توجهی اثربخش باشد.

با توجه به تمامی مطالعه‌ها، در بررسی بدیع بودن این پژوهش نسبت به سایر پژوهش‌های انجام‌شده باید خاطر نشان کرد تاکنون مطالعه گسترده‌ای در حوزه بهینه‌سازی انرژی به‌ویژه به کمک نرم‌افزارهای شبیه‌ساز برای ساختمان‌های مسکونی در اقلیم سرد و خشک، به‌خصوص مشهد صورت نگرفته است. بررسی نمونه‌ها در نرم‌افزار شبیه‌ساز دیزاین بیلدر علاوه بر سایر نرم‌افزارها مورد استفاده تاکنون و امکان تحلیل پارامتریک مؤلفه‌ها در آن از نکات دیگر در این پژوهش است. همچنین در هیچ‌یک از پژوهش‌های مشابه حتی در سایر اقلیم‌ها به بررسی همزمان مؤلفه‌های مختلف مانند رفتار مصالح تشکیل‌دهنده جدار خارجی و سطح بازشو نسبت به کل نما پرداخته نشده است، بلکه هرکدام از آن‌ها به‌صورت جداگانه یک آیتم را مطالعه کرده‌اند. ثانیاً مصالح شبیه‌سازی شده با توجه به رایج بودن آن‌ها در اقلیم مورد نظر آزموده شده‌اند که بنا به شرایط اقلیمی مختلف می‌تواند متفاوت انتخاب شوند.

۳. روش پژوهش

پژوهش حاضر بر اساس هدف، از نوع کاربردی است؛ که در نهایت منجر به ارائه راهکارهای معماری برای کاهش میزان انرژی مصرفی ساختمان می‌شود. روش تحقیق در پژوهش حاضر از نوع ترکیبی (کیفی و کمی) است. در مراحل مختلف انجام پژوهش، روش‌های توصیفی، تحلیلی، شبیه‌سازی و در نهایت استدلال منطقی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در وهله اول با مطالعه میدانی و چارچوب نظری پژوهش مؤلفه‌های تأثیرگذار بر عملکرد حرارتی جداره‌های خارجی در ساختمان‌های مسکونی استخراج می‌شوند. روش گردآوری این اطلاعات بر اساس مطالعات کتابخانه‌ای اعم از پایان‌نامه‌ها، مقاله‌های معتبر علمی داخلی و خارجی و همچنین تجزیه و تحلیل مصالح متداول مورد استفاده در ساختمان‌های مسکونی شهر مورد نظر مشهد صورت می‌گیرد. در مرحله بعد، از روش مدل‌سازی به کمک نرم‌افزار دیزاین بیلدر^۱ استفاده شده است. این نرم‌افزار از موتور مدل‌سازی انرژی پلاس^۲ استفاده می‌کند. روش پژوهش به این صورت است که یک نمونه متداول از واحدهای مسکونی میان‌مرتبه در شهر مشهد به کمک نرم‌افزار شبیه‌سازی کامپیوتری می‌شود. با شبیه‌سازی اولیه ساختمان، فاکتورهای مؤثر در عملکرد حرارتی جداره‌های خارجی بنا

1. Design Builder
2. Energy Plus

مشهد و حداقل میزان بازشو نسبت به مساحت کف در ساختمان‌های مسکونی می‌باشد که در مبحث ۴ مقررات ملی ساختمان به آن اشاره شده است.

در نهایت، امر مقایسه عملکرد حرارتی ساختارها با یکدیگر از جهت صرفه‌جویی در مصرف انرژی گرمایشی و سرمایشی با در نظر گرفتن درصد بهینه بازشو صورت می‌پذیرد.

۱.۱.۴. فعالیت‌ها

نمونه دارای سیستم تهویه مطبوع در بازه آسایش حرارتی افراد (دمای تنظیم شده برای زمستان ۱۸ درجه سانتی‌گراد و برای تابستان ۲۳ درجه سانتی‌گراد) است. در این شبیه‌سازی، تمامی عواملی که در رفتار حرارتی خالص پوسته ساختمان مداخله دارند، مانند منابع تولیدکننده حرارت در فضای داخلی (لوازم برقی، اجاق گاز و فر، سیستم روشنایی و سایر تجهیزات تولیدکننده حرارت) و حضور افراد در فضا از عملکرد سیستم حذف شده‌اند. فضای نمونه در این مدل فضای نشیمن و آشپزخانه است.

۲.۱.۴. سازه

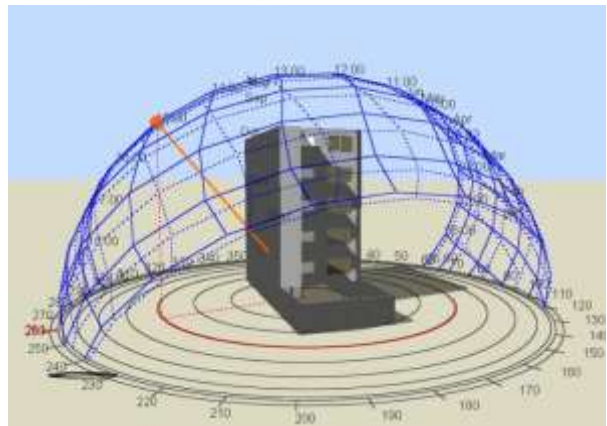
در همه حالت‌ها در شبیه‌سازی، سازه و مصالح سقف، کف و دیوارهای داخلی ثابت در نظر گرفته شده است و تنها جنس مصالح جداره آفتابگیر تغییر داده شده است (جدول‌های ۲ تا ۴). به‌منظور حداقل کردن تأثیر حرارتی، کف طبقات از جنس تیرچه بلوک است که در طبقه زیرین با گچ پوشیده شده و در طبقه فوقانی با سرامیک مفروش شده است. سقف نهایی دارای عایق رطوبتی در بخش فوقانی سازه سقف و ۵ سانتی‌متر عایق حرارتی در داخل است.

۳.۱.۴. بازشوها

در نمونه مورد نظر در جبهه مورد مطالعه، جنس پنجره‌های به‌کاررفته از یو پی وی سی دوجداره پرشده با گاز آرگون به ضخامت ۱۳ میلی‌متر و ضخامت شیشه آن ۶ میلی‌متر است. بازه در نظر گرفته شده برای درصد بازشو نسبت به نما، ۱۰-۵۰٪ در نظر گرفته شده است.

۳.۱.۴. سیستم سرمایش و گرمایش

با استفاده از سیستم‌های سرمایش و گرمایش به بررسی مصرف بار انرژی سرمایش و گرمایش ساختار دیوارهای نمونه پرداخته می‌شود. نوع سوخت سیستم گرمایش گاز طبیعی و نوع سوخت سیستم سرمایش برق است. این سیستم‌ها به‌منظور رساندن دمای فضاهای شبیه‌سازی شده به دمای آسایش تنظیم شده‌اند. همچنین برنامه زمان‌بندی برای روشن و خاموش بودن سیستم‌های حرارتی با استفاده از داده‌های آب‌وهوایی مشهد و در نظر گرفتن کاربری مسکونی وارد شده است.



شکل (۱): تصویر طرح‌واره‌ای از نمونه

۱.۴. پارامترهای طراحی

مرحله اول: تأثیر جرم حرارتی با تغییر جنس مصالح به‌کاررفته در ساختار درونی دیوار.

از انواع بلوک‌های ساختمانی رایج در دیوار می‌توان به بلوک سیمانی معمولی، بلوک سیمانی سبک، بلوک پوکه معدنی، بلوک بتن گازی سبک، بلوک سفالی و... اشاره کرد. در این پژوهش سه بلوک سفالی، بلوک سیمانی سبک (لیکا) و بلوک بتن گازی سبک اتوکلاو شده (AAC) در نمونه مورد نظر بررسی شده است. دلیل انتخاب این بلوک‌ها در مقایسه با سایرین، رایج بودن آن‌ها در سیستم ساخت‌وساز شهر مشهد و اقلیم آن است، که بر اساس تحقیقات میدانی و مطالعه مقالات مربوط در این زمینه استخراج شده‌اند.

مرحله دوم: اضافه کردن عایق حرارتی در قسمت میانی این دیوارها که شامل دو عایق حرارتی پلی استایرن اکستروود شده^۱ و پشم سنگ است.

مرحله سوم: در نظر گرفتن درصد بازشو نسبت به جدار ساختمان، در بازه‌ای بین ۱۰-۵۰٪. علت انتخاب این بازه، بر اساس مطالعه پژوهش‌های پیشین در این زمینه و همچنین براساس شرایط اقلیمی

1. Extruded Polystyrene-XPS

جدول (۴): جزئیات متداول دیوار در ساختمان مورد نظر

نوع دیوار	مصالح دیوار (از داخل به خارج)	ضریب هدایت حرارتی	ضخامت لایه	مقاومت حرارتی لایه
شماره ۰ بلوک (AAC) ۲۰ سانتی متری	ملات خاک گچ	۰/۴	۰/۰۳	۰/۰۷۵
	بلوک AAC	۰/۱۷	۰/۲	۱/۱۷۶۴
	ملات ماسه‌سیمان	۰/۳۰	۰/۰۳	۰/۱
	سنگ نما (گرانیت)	۲/۸	۰/۰۲	۰/۰۰۷۱
شماره ۱ بلوک (AAC) ۱۰ سانتی متری با عایق حرارتی پلی استایرن اکسترودرشده	ملات خاک گچ	۰/۴	۰/۰۳	۰/۰۷۵
	بلوک AAC	۰/۱۷	۰/۱	۰/۵۸۸۲
	عایق پلی استایرن اکسترودرشده	۰/۰۴۱	۰/۰۵	۱/۲۱۹۵
	بلوک AAC	۰/۱۷	۰/۱	۰/۵۸۸۲
	ملات ماسه‌سیمان	۰/۳۰	۰/۰۳	۰/۱
	سنگ نما (گرانیت)	۲/۸	۰/۰۲	۰/۰۰۷۱
شماره ۲ بلوک (AAC) ۱۰ سانتی متری با عایق حرارتی پشم سنگ	ملات خاک گچ	۰/۴	۰/۰۳	۰/۰۷۵
	بلوک AAC	۰/۱۷	۰/۱	۰/۵۸۸۲
	عایق پشم سنگ	۰/۰۴۴	۰/۰۵	۱/۱۳۶۳
	بلوک AAC	۰/۱۷	۰/۱	۰/۵۸۸۲
	ملات ماسه‌سیمان	۰/۳۰	۰/۰۳	۰/۱
	سنگ نما (گرانیت)	۲/۸	۰/۰۲	۰/۰۰۷۱

جدول (۲): جزئیات متداول دیوار در ساختمان مورد نظر

نوع دیوار	مصالح دیوار (از داخل به خارج)	ضریب هدایت حرارتی	ضخامت لایه	مقاومت حرارتی لایه
شماره ۰ بلوک لیکا (Leca) ۲۰ سانتی متری	ملات خاک گچ	۰/۴	۰/۰۳	۰/۰۷۵
	بلوک لیکا	۰/۲۳	۰/۲	۰/۸۶۹۵
	ملات ماسه‌سیمان	۰/۳۰	۰/۰۳	۰/۱
	سنگ نما (گرانیت)	۲/۸	۰/۰۲	۰/۰۰۷۱
شماره ۱ بلوک لیکا (Leca) ۱۰ سانتی متری با عایق حرارتی پلی استایرن اکسترودرشده	ملات خاک گچ	۰/۴	۰/۰۳	۰/۰۷۵
	بلوک لیکا	۰/۲۳	۰/۱	۰/۴۳۴۷
	عایق پلی استایرن اکسترودرشده	۰/۰۴۱	۰/۰۵	۱/۲۱۹۵
	بلوک لیکا	۰/۲۳	۰/۱	۰/۴۳۴۷
	ملات ماسه‌سیمان	۰/۳۰	۰/۰۳	۰/۱
	سنگ نما (گرانیت)	۲/۸	۰/۰۲	۰/۰۰۷۱
شماره ۲ بلوک لیکا (Leca) ۱۰ سانتی متری با عایق حرارتی پشم سنگ	ملات خاک گچ	۰/۴	۰/۰۳	۰/۰۷۵
	بلوک لیکا	۰/۲۳	۰/۱	۰/۴۳۴۷
	عایق پشم سنگ	۰/۰۴۴	۰/۰۵	۱/۱۳۶۳
	بلوک لیکا	۰/۲۳	۰/۱	۰/۴۳۴۷
	ملات ماسه‌سیمان	۰/۳۰	۰/۰۳	۰/۱
	سنگ نما (گرانیت)	۲/۸	۰/۰۲	۰/۰۰۷۱

جدول (۳): جزئیات متداول دیوار در ساختمان مورد نظر

نوع دیوار	مصالح دیوار (از داخل به خارج)	ضریب هدایت حرارتی	ضخامت لایه	مقاومت حرارتی لایه
شماره ۰ بلوک سفالی ۱۵ سانتی متری	ملات خاک گچ	۰/۴	۰/۰۳	۰/۰۷۵
	بلوک سفالی	۰/۱۵	۰/۳۰	۰/۳۰
	ملات ماسه‌سیمان	۰/۳۰	۰/۰۳	۰/۱
شماره ۱ بلوک سفالی ۷/۵ سانتی متری با عایق حرارتی پلی استایرن اکسترودرشده	سنگ نما (گرانیت)	۲/۸	۰/۰۲	۰/۰۰۷۱
	ملات خاک گچ	۰/۴	۰/۰۳	۰/۰۷۵
	بلوک سفالی	۰/۱۵	۰/۱۶	۰/۱۶
	عایق پلی استایرن اکسترودرشده	۰/۰۴۱	۰/۰۵	۱/۲۱۹۵
	بلوک سفالی	۰/۱۵	۰/۱۶	۰/۱۶
	ملات ماسه‌سیمان	۰/۳۰	۰/۰۳	۰/۱
شماره ۲ بلوک سفالی ۷/۵ سانتی متری با عایق حرارتی پشم سنگ	سنگ نما (گرانیت)	۲/۸	۰/۰۲	۰/۰۰۷۱
	ملات خاک گچ	۰/۴	۰/۰۳	۰/۰۷۵
	بلوک سفالی	۰/۱۵	۰/۱۶	۰/۱۶
	عایق پشم سنگ	۰/۰۴۴	۰/۰۵	۱/۱۳۶۳
	بلوک سفالی	۰/۱۵	۰/۱۶	۰/۱۶
	ملات ماسه‌سیمان	۰/۳۰	۰/۰۳	۰/۱
سنگ نما (گرانیت)	۲/۸	۰/۰۲	۰/۰۰۷۱	

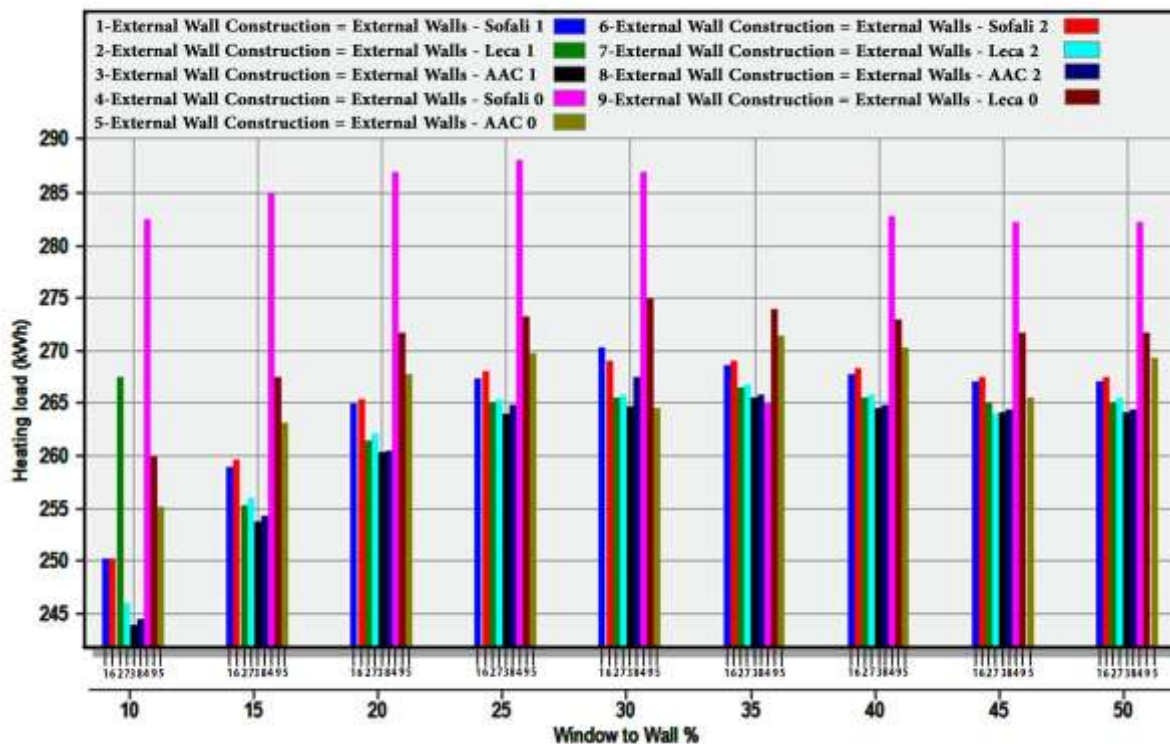
۲.۴. ارزیابی نمونه

در این بخش، نمونه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. بعد از پایان رسم و وارد کردن تنظیمات مدل در تک‌تک سربرها، برای شروع شبیه‌سازی گزینه سیمولیشن^۱ انتخاب می‌شود. به‌علت تپ بودن طبقه‌ها و سنگین شدن محاسبه، یک طبقه برای نمونه انتخاب می‌شود. برای بهینه‌سازی پارامتریک در این نرم‌افزار از سربرج اپتی‌میزیشن^۲ استفاده شده است. در اینجا پارامترهای قابل تغییر که شامل ۹ نمونه جزئیات اجرایی برای دیوارهای خارجی و درصد بازشو نسبت به نما در بازه ۱۰-۵۰٪ وارد می‌شود. همچنین محدودیت‌هایی که برای این پارامترها لحاظ شده، از جمله حداقل بار سرمایش و حداقل بار گرمایش در نظر گرفته می‌شود. در پایان شبیه‌سازی و سنجش حالت‌های مختلف، بهترین حالت برای بار گرمایش و سرمایش در جداره مورد نظر با توجه به اقلیم مشهد ارائه می‌شود (شکل‌های ۲-۴).

1. Simulation
2. Optimisation

Heating load (kWh) - Building

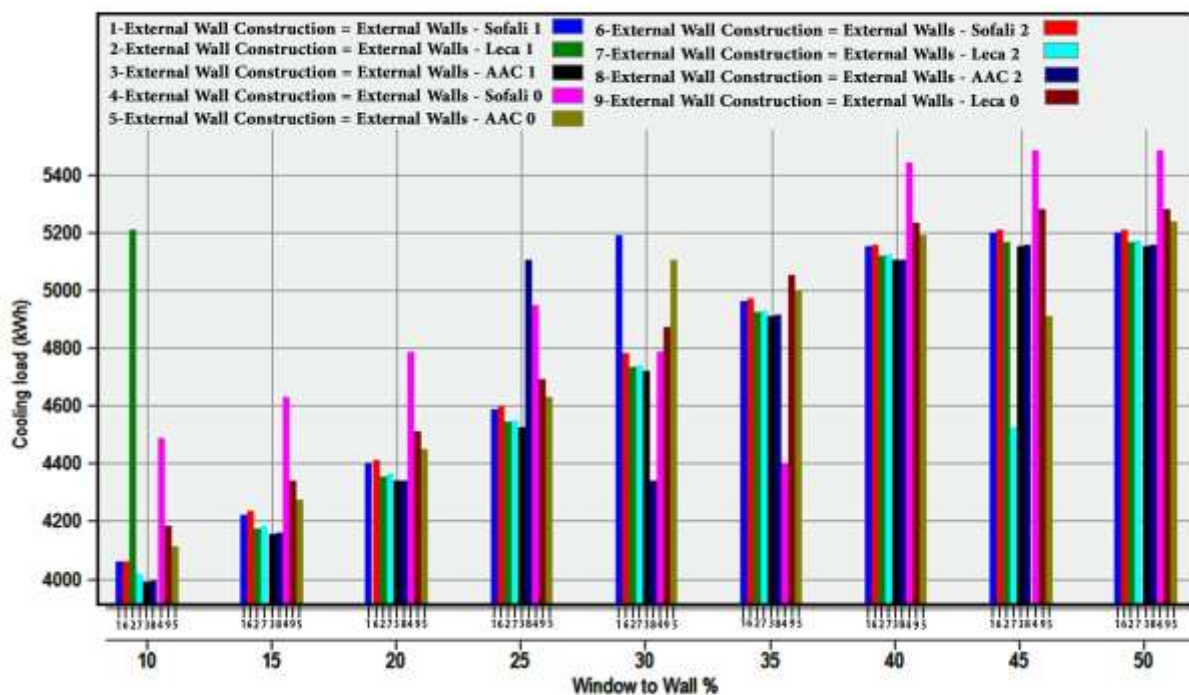
1 Jan - 31 Dec, Parametric Analysis



شکل (۲): مقدار بار گرمایش برای مصالح تعریف شده و درصد بازشو متفاوت برحسب kW

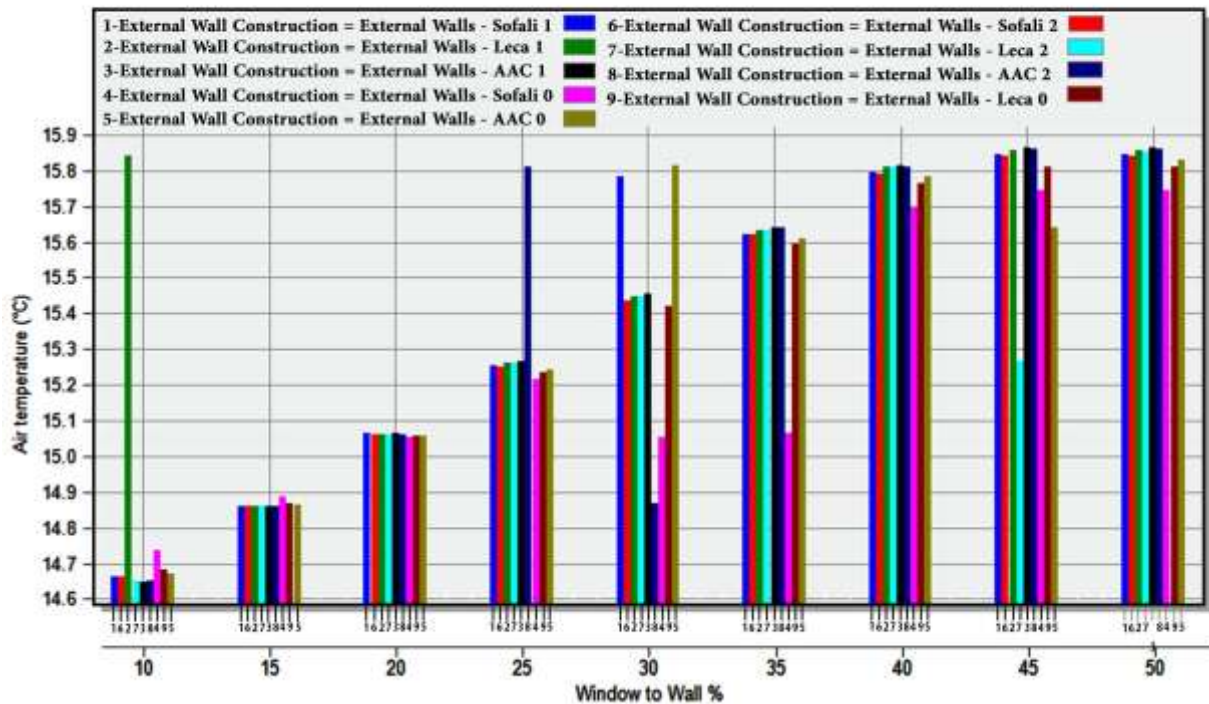
Cooling load (kWh) - Building

1 Jan - 31 Dec, Parametric Analysis



شکل (۳): مقدار بار سرمایش برای مصالح تعریف شده و درصد بازشو متفاوت برحسب kWh

Air temperature (°C) - Building
1 Jan - 31 Dec, Parametric Analysis



شکل (۴): میانگین دمای هوا برحسب درجهٔ سانتی‌گراد

جدول (۵): محاسبهٔ حداقل نورگیری برای فضاهای اقامتی نسبت به سطح

کف بر اساس مبحث چهارم مقررات ملی ساختمان	پیش‌بینی نور طبیعی	مساحت	کاربری	جدار آفتابگیر
نسبت به سطح کف فضا (۱:۸)	۲/۶۲	۲۱	آشپزخانه	نمای جنوبی
	۶/۷۱	۵۳/۷۰	پذیرایی	نمای جنوبی
	۹/۳۳	۷۴/۷۰	کل	

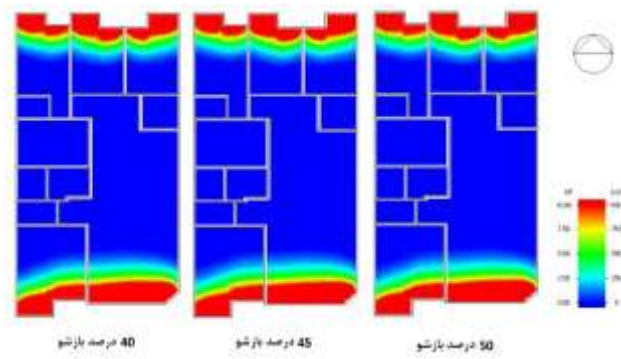
جدول (۶): محاسبهٔ حداقل درصد مساحت بازشو به مساحت کل نما بر

اساس مبحث چهارم مقررات ملی ساختمان	پیش‌بینی بازشو	مساحت کل	جدار
نسبت مساحت بازشو به مساحت کل نما (%)	کف فضا (۱:۸)	سطح-مترمربع	آفتابگیر
	۹/۳۳	۳۴/۵۸	نمای جنوبی

جدول (۷) میزان میانگین دسترسی به نور روز، و حداقل و حداکثر روشنایی را در فضاهای پذیرایی و آشپزخانه در این مدل ارائه می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با بزرگ‌تر شدن درصد بازشو میزان نور طبیعی بیشتری وارد فضای داخل می‌شود.

۳.۴. نتیجه‌گیری نمونه

با توجه به نتایج به دست آمده از تحیل نرم‌افزار دیوار با مصالح ساختمانی بلوک AAC و یک لایه عایق میانی پلی‌استایرن اکستروژده، حداقل بار سرمایش و گرمایش را دارد. همچنین بهینه‌ترین حالت بازشو ۱۰٪ به دست آمده است. با توجه به جدول (۵) و (۶) میزان حداقل نورگیری برای فضاهای جبههٔ جنوبی در این مدل، تقریباً ۲۷٪ نسبت به کل نما به دست آمده است. با مقایسهٔ نتایج حاصل از نرم‌افزار و حداقل میزان نورگیری فضا طبق مبحث ۴ مقررات ملی ساختمان، این نتیجه حاصل می‌شود که بازهٔ ۲۵-۳۰٪ برای این فضاها حداقل روشنایی را تأمین می‌کند، ضمن آنکه از اتلاف بیش از حد حرارت نیز جلوگیری می‌کند. با بزرگ‌تر شدن سطح بازشو و شیشهٔ آن، اگرچه نور بیشتری وارد فضای ما می‌شود، افزایش گرمای سطوح داخلی را نیز با خود به همراه دارد. این امر باعث افزایش بار سرمایشی ساختمان به شکل قابل ملاحظه‌ای می‌شود هرچند که مصرف انرژی گرمایشی و روشنایی کاهش می‌یابد. از آنجایی که این فضاها فضاهای اصلی اقامت در ساختمان، پذیرایی و آشپزخانه می‌باشند این درصد می‌تواند بنا بر نیاز و با در نظر گرفتن فاکتورهای دیگر برای کاهش انرژی، کمی بیشتر از این درصد نیز گرفته شود.



شکل (۸): تصویر گرافیکی توزیع روشنایی روز برای ۴۰-۵۰٪ بازشو

۱.۳.۴. بلوک بتن گازی سبک (AAC)

بلوک سبک بتنی هوادار اتوکلاو شده (AAC) همان بتن گازی سبک یا متخلخل است. این نام برای بتن هوادار تولید شده در اروپا در نظر گرفته شده است. در سال ۱۹۲۴ میلادی توسط مهندس معمار سوئدی اختراع و به جامعه مهندسی معرفی شد. این بتن در صنعت ساختمان سازی به هبلکس معروف است [۱۸]. مواد تشکیل دهنده اصلی بتن هوادار اتوکلاوی، ماسه سیلیسی، آهک، سیمان، آب هستند، که طبیعی و به وفور یافت می شود. ترکیبات قابل بازیافت و برگرداندن به چرخه تولید است.

۲.۳.۴. مزیت های به کارگیری بلوک بتن گازی سبک (AAC)

مزایای فنی: سبکی وزن، عایق در برابر حرارت، عایق در برابر برودت، عایق در برابر صدا، استحکام و پایداری در مقابل زلزله، آتش سوزی.

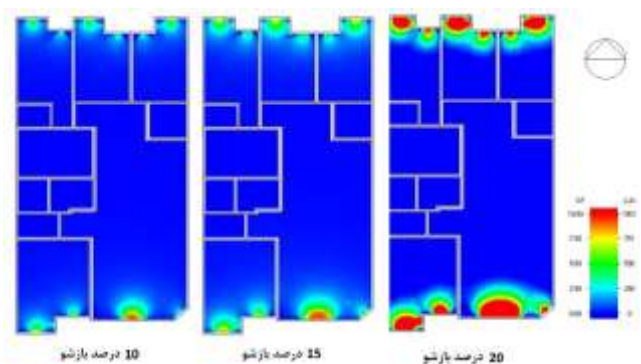
مزایای اجرایی: با توجه به ابعاد و سبکی و راحتی نصب بلوک های AAC در همه ضخامت ها، سرعت اجرا نسبت به سایر مصالح به ۳ برابر بالغ می شود.

مزایای اقتصادی: پروژه های ساختمانی با استفاده از بلوک های AAC با در نظر گرفتن سرعت اجرا، به دستمزد کمتری احتیاج و همچنین استفاده از AAC به سبب مصرف ملات کمتر و نیز کاهش بارهای وارده به سازه به دلیل وزن کم دیوارها که موجب کاهش ابعاد سازه می شود، صرفه جویی قابل ملاحظه ای را در هزینه مصالح مصرفی موجب می شود. همچنین این مصالح با وجود تخلخل هایی از حباب های ریز، شرایط مناسبی به منظور جلوگیری از هدررفت انرژی ساختمان داشته باشد و به عبارت دیگر می تواند عایق هوشمند صوت و حرارت باشد.

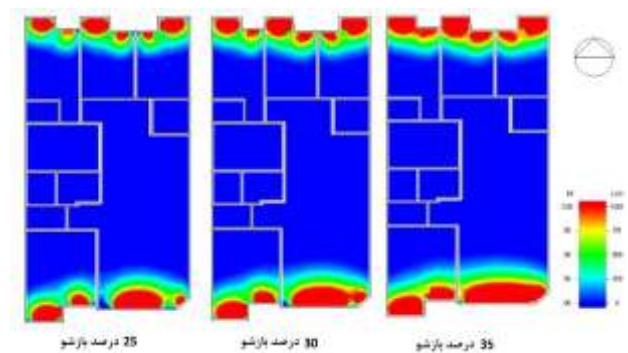
به علاوه در مقایسه میان مصالح سنتی و AAC ارقام زیر نیز قابل توجه است: سرعت زیاد دیوارچینی با بلوک AAC، سرعت زیاد کارهای تأسیساتی، کاهش مقاطع ساختمانی به هنگام محاسبه و

جدول (۷): میزان دسترسی به نور روز در فضاهای مورد بررسی در نمونه

درصد پنجره به دیوار	زون مورد نظر	حداقل درصد نور روز	حداکثر درصد نور روز	درصد میانگین نور روز برای کل زون ها
۱۰	پذیرایی	۰/۰۱	۲۰/۹۴	۰/۶۲
	آشپزخانه	۰/۱۲	۱۷/۱	۱/۲۲
۱۵	پذیرایی	۰/۰۱	۲۲/۶۷	۱/۰۱
	آشپزخانه	۰/۲۷	۲۰/۷۵	۲/۰۳
۲۰	پذیرایی	۰/۰۱	۲۲/۴۳	۱/۳۸
	آشپزخانه	۰/۴۶	۲۲/۳۳	۲/۸۴
۲۵	پذیرایی	۰/۰۲	۲۳/۴۵	۱/۷۶
	آشپزخانه	۰/۶۱	۲۳/۶۸	۳/۶
۳۰	پذیرایی	۰/۰۲	۲۴/۰۹	۲/۱۳
	آشپزخانه	۰/۷۶	۲۴/۵۵	۴/۳۶
۳۵	پذیرایی	۰/۰۳	۲۴/۷۷	۲/۴۹
	آشپزخانه	۰/۹۱	۲۵/۹۳	۵/۰۷
۴۰	پذیرایی	۰/۰۳	۲۵/۳۴	۲/۸
	آشپزخانه	۱/۰۷	۲۷/۷۲	۵/۷۴
۴۵	پذیرایی	۰/۰۴	۲۷/۳۴	۲/۸۹
	آشپزخانه	۱/۱۱	۲۷/۲۸	۵/۸۳
۵۰	پذیرایی	۰/۰۳	۲۷/۹۳	۲/۸۸
	آشپزخانه	۱/۱	۲۸/۴۱	۵/۸۲



شکل (۶): تصویر گرافیکی توزیع روشنایی روز برای ۱۰-۲۰٪ بازشو



شکل (۷): تصویر گرافیکی توزیع روشنایی روز برای ۲۵-۳۵٪ بازشو

صرفه‌جویی قابل ملاحظه در سازه‌های فلزی و بتنی. به علاوه استفاده از AAC موجب صرفه‌جویی چشمگیری در انرژی برای سرمایش و گرمایش ساختمان بعد از احداث می‌شود. همچنین ضایعات، همه به‌عنوان پوکه مورد استفاده قرار می‌گیرد.

جدول (۸): اطلاعات کمی حاصل از بهینه‌سازی پارامتریک نمونه

حالت بهینه	درصد پنجره به دیوار	ساختار دیوار خارجی	بار سرمایش برحسب کیلووات ساعت	بار گرمایش برحسب کیلووات ساعت	بار کل برحسب کیلووات ساعت
	۱۰	دیوار خارجی سفالی شماره ۰	۴۴۸۶/۰۹۱۵	۲۸۲/۴۸۲۳	۴۷۶۸/۵۷۳۸
	۱۵	دیوار خارجی سفالی شماره ۰	۴۶۳۰/۳۰۰۳	۲۸۴/۹۷۴۴	۴۹۱۵/۲۷۴۷
	۲۰	دیوار خارجی سفالی شماره ۰	۴۷۸۷/۳۲۹۲	۲۸۶/۹۲۷۹	۵۰۷۴/۲۵۷۱
	۲۵	دیوار خارجی سفالی شماره ۰	۴۹۴۸/۲۸۳۵	۲۸۸/۰۳۴۳	۵۲۳۶/۳۱۷۸
	۳۰	دیوار خارجی سفالی شماره ۰	۵۱۱۱/۹۳۳۸	۲۸۷/۱۰۶۷	۵۳۹۹/۰۴۰۴
	۳۵	دیوار خارجی سفالی شماره ۰	۵۲۷۶/۱۲۸۷	۲۸۵/۶۹۲۱	۵۵۶۱/۸۲۰۸
	۴۰	دیوار خارجی سفالی شماره ۰	۵۴۴۸/۵۵۵۴	۲۸۶/۹۲۷۹	۵۷۳۵/۴۸۳۳
	۴۵	دیوار خارجی سفالی شماره ۰	۵۴۸۲/۱۴۹۲	۲۸۲/۲۲۸۸	۵۷۶۴/۳۷۸۰
	۵۰	دیوار خارجی سفالی شماره ۰	۵۴۸۲/۱۴۹۲	۲۸۲/۲۲۸۸	۵۷۶۴/۳۷۸۰
	۱۰	دیوار خارجی سفالی شماره ۱	۴۰۵۹/۱۲۶۴	۲۵۰/۱۶۲۵	۴۳۰۹/۲۸۸۹
	۱۵	دیوار خارجی سفالی شماره ۱	۴۲۲۳/۰۹۴۶	۲۵۸/۸۵۷۸	۴۴۸۱/۹۵۲۴
	۲۰	دیوار خارجی سفالی شماره ۱	۴۴۰۰/۵۹۱۲	۲۶۴/۸۷۶۵	۴۶۶۵/۴۶۷۷
	۲۵	دیوار خارجی سفالی شماره ۱	۴۵۸۴/۹۶۷۴	۲۶۷/۳۶۷۷	۴۸۵۲/۳۳۵۱
	۳۰	دیوار خارجی سفالی شماره ۱	۴۷۷۲/۲۶۲۴	۲۶۸/۲۰۶۱	۵۰۴۰/۴۶۸۴
	۳۵	دیوار خارجی سفالی شماره ۱	۴۹۶۲/۵۲۲۹	۲۶۸/۵۳۴۶	۵۲۳۱/۰۵۷۵
	۴۰	دیوار خارجی سفالی شماره ۱	۵۱۵۰/۹۰۹۹	۲۶۷/۷۲۸۹	۵۴۱۸/۶۳۸۸
	۴۵	دیوار خارجی سفالی شماره ۱	۵۱۹۹/۲۱۹۶	۲۶۶/۹۷۶۳	۵۴۶۶/۱۹۸۹
	۵۰	دیوار خارجی سفالی شماره ۱	۵۱۹۹/۲۱۹۶	۲۶۶/۹۷۶۳	۵۴۶۶/۱۹۸۹
	۱۰	دیوار خارجی سفالی شماره ۲	۴۰۶۹/۴۰۶۵	۲۵۱/۳۴۸۲	۴۳۲۰/۷۵۴۷
	۱۵	دیوار خارجی سفالی شماره ۲	۴۲۳۳/۲۲۸۴	۲۵۹/۶۲۲۱	۴۴۹۲/۸۵۰۴
	۲۰	دیوار خارجی سفالی شماره ۲	۴۴۰۹/۸۶۰۸	۲۶۵/۳۷۳۶	۴۶۷۵/۲۳۴۴
	۲۵	دیوار خارجی سفالی شماره ۲	۴۵۹۳/۸۹۳۹	۲۶۷/۹۸۶۷	۴۸۶۱/۸۸۰۶
	۳۰	دیوار خارجی سفالی شماره ۲	۴۷۸۰/۴۸۲۴	۲۶۹/۰۵۲۹	۵۰۴۹/۵۳۵۳
	۳۵	دیوار خارجی سفالی شماره ۲	۴۹۶۹/۵۷۴۲	۳۶۸/۹۶۷۱	۵۲۳۸/۵۴۱۴
	۴۰	دیوار خارجی سفالی شماره ۲	۵۱۵۷/۸۲۵۶	۲۶۸/۳۴۹۶	۵۴۲۶/۱۷۵۲
	۴۵	دیوار خارجی سفالی شماره ۲	۵۲۰۶/۲۸۲۹	۲۶۷/۴۹۹۷	۵۴۷۳/۷۸۲۶
	۵۰	دیوار خارجی سفالی شماره ۲	۵۲۰۶/۲۸۲۹	۲۶۷/۴۹۹۷	۵۴۷۳/۷۸۲۶
	۱۰	دیوار خارجی لیکا شماره ۰	۴۱۸۱/۶۴۰۴	۲۵۹/۸۱۳۹	۴۴۴۱/۴۵۴۴
	۱۵	دیوار خارجی لیکا شماره ۰	۴۳۴۰/۹۰۳۰	۲۶۷/۴۴۴۸	۴۶۰۸/۳۴۷۸
	۲۰	دیوار خارجی لیکا شماره ۰	۴۵۱۲/۴۱۲۲	۲۷۱/۶۸۷۷	۴۷۸۴/۰۹۹۹
	۲۵	دیوار خارجی لیکا شماره ۰	۴۶۸۹/۴۲۱۹	۲۷۳/۱۲۵۴	۴۹۶۲/۵۴۷۳
	۳۰	دیوار خارجی لیکا شماره ۰	۴۸۷۰/۸۷۷۷	۲۷۴/۸۱۷۱	۵۱۴۵/۶۹۴۷
	۳۵	دیوار خارجی لیکا شماره ۰	۵۰۵۲/۶۷۴۳	۲۷۳/۸۲۹۲	۵۳۲۶/۵۰۳۵

حالت بهینه	درصد پنجره به دیوار	ساختار دیوار خارجی	بار سرمایش برحسب کیلووات ساعت	بار گرمایش برحسب کیلووات ساعت	بار کل برحسب کیلووات ساعت
	۴۰	دیوار خارجی لیکا شماره ۰	۵۲۳۳/۱۱۵۳	۲۷۲/۸۵۸۰	۵۵۰۵/۹۷۲۳
	۴۵	دیوار خارجی لیکا شماره ۰	۵۲۸۱/۰۹۰۷	۲۷۱/۶۸۴۷	۵۵۵۲/۷۷۵۴
	۵۰	دیوار خارجی لیکا شماره ۰	۵۲۸۱/۰۹۰۷	۲۷۱/۶۸۴۷	۵۵۵۲/۷۷۵۴
	۱۰	دیوار خارجی لیکا شماره ۱	۴۰۰۸/۴۰۳۵	۲۴۵/۵۸۷۷	۴۲۵۳/۹۹۱۱
	۱۵	دیوار خارجی لیکا شماره ۱	۴۴۲۹/۸۴۶۱	۲۵۵/۲۴۸۵	۴۴۲۹/۸۴۶۱
	۲۰	دیوار خارجی لیکا شماره ۱	۴۶۱۶/۷۳۴۱	۲۶۱/۴۸۵۶	۴۶۱۶/۷۳۴۱
	۲۵	دیوار خارجی لیکا شماره ۱	۴۸۰۶/۹۴۸۱	۲۶۵/۱۲۰۴	۴۸۰۶/۹۴۸۱
	۳۵	دیوار خارجی لیکا شماره ۱	۴۹۲۴/۸۷۸۱	۲۶۶/۵۲۰۶	۵۱۹۱/۳۹۸۶
	۴۰	دیوار خارجی لیکا شماره ۱	۵۱۱۵/۸۵۸۴	۲۶۵/۴۸۲۵	۵۳۸۱/۳۴۰۹
	۴۵	دیوار خارجی لیکا شماره ۱	۵۱۶۵/۶۰۳۵	۲۶۵/۰۸۶۴	۵۴۳۰/۶۸۹۸
	۵۰	دیوار خارجی لیکا شماره ۱	۵۱۶۵/۶۰۳۵	۲۶۵/۰۸۶۴	۵۴۳۰/۶۸۹۸
	۱۰	دیوار خارجی لیکا شماره ۲	۴۰۱۴/۵۵۶۲	۲۴۶/۰۴۳۲	۴۲۶۰/۵۹۹۴
	۱۵	دیوار خارجی لیکا شماره ۲	۴۱۸۰/۷۲۵۱	۲۵۵/۹۴۳۳	۴۴۳۶/۶۶۸۴
	۲۰	دیوار خارجی لیکا شماره ۲	۴۳۶۰/۸۱۳۲	۲۶۲/۱۰۱۰	۴۶۲۲/۹۱۴۲
	۲۵	دیوار خارجی لیکا شماره ۲	۴۵۴۶/۹۸۶۹	۲۶۵/۳۸۹۲	۴۸۱۲/۳۷۶۱
	۳۰	دیوار خارجی لیکا شماره ۲	۴۷۳۶/۷۸۸۱	۲۶۵/۷۹۴۳	۵۰۰۲/۵۸۲۴
	۳۵	دیوار خارجی لیکا شماره ۲	۴۹۲۹/۵۸۴۶	۲۶۶/۷۷۱۲	۵۱۹۶/۳۵۵۸
	۴۵	دیوار خارجی لیکا شماره ۲	۵۱۷۰/۰۷۰۶	۲۶۵/۴۶۷۰	۵۴۳۵/۵۳۷۶
	۵۰	دیوار خارجی لیکا شماره ۲	۵۱۷۰/۰۷۰۶	۲۶۵/۴۶۷۰	۵۴۳۵/۵۳۷۶
	۱۰	دیوار خارجی ای ای سی شماره ۰	۴۱۱۱/۷۰۶۴	۲۵۵/۰۸۲۹	۴۳۶۶/۷۸۹۲
	۱۵	دیوار خارجی ای ای سی شماره ۰	۴۲۷۳/۷۹۲۹	۲۶۳/۱۶۷۸	۴۵۳۶/۹۶۰۷
	۲۰	دیوار خارجی ای ای سی شماره ۰	۴۴۴۸/۵۵۵۴	۲۶۷/۷۴۸۴	۴۷۱۶/۳۰۹۳
	۲۵	دیوار خارجی ای ای سی شماره ۰	۴۶۳۰/۳۰۱۳	۲۶۹/۶۳۵۸	۴۸۹۹/۹۳۷۱
	۳۰	دیوار خارجی ای ای سی شماره ۰	۴۸۱۴/۹۹۴۵	۲۷۱/۴۷۶۱	۵۰۸۶/۴۷۰۶
	۳۵	دیوار خارجی ای ای سی شماره ۰	۵۰۰۱/۲۷۸۲	۲۷۱/۳۷۵۲	۵۲۷۲/۶۵۳۴
	۴۰	دیوار خارجی ای ای سی شماره ۰	۵۱۸۶/۷۳۲۲	۲۷۰/۲۶۴۰	۵۴۵۶/۹۹۶۲
	۴۵	دیوار خارجی ای ای سی شماره ۰	۵۲۳۴/۲۸۸۶	۲۶۹/۲۴۱۶	۵۵۰۳/۵۳۰۲
	۵۰	دیوار خارجی ای ای سی شماره ۰	۵۲۳۴/۲۸۸۶	۲۶۹/۲۴۱۶	۵۵۰۳/۵۳۰۲
بهینه ترین حالت	۱۰	دیوار خارجی ای ای سی شماره ۱	۳۹۸۹/۳۰۶۱	۲۴۳/۸۹۴۵	۴۲۳۳/۲۰۰۶
	۱۵	دیوار خارجی ای ای سی شماره ۱	۴۱۵۶/۴۲۶۱	۲۵۳/۶۴۴۶	۴۴۱۰/۰۷۰۷
	۲۰	دیوار خارجی ای ای سی شماره ۱	۴۳۳۷/۴۳۴۶	۲۶۰/۳۲۳۳	۴۵۹۷/۷۵۷۹
	۲۵	دیوار خارجی ای ای سی شماره ۱	۴۵۲۵/۶۶۱۹	۲۶۳/۹۳۷۵	۴۷۸۹/۵۹۹۴
	۳۰	دیوار خارجی ای ای سی شماره ۱	۴۷۱۶/۸۳۵۳	۲۶۴/۵۸۵۵	۴۹۸۱/۴۲۰۸
	۳۵	دیوار خارجی ای ای سی شماره ۱	۴۹۱۰/۵۸۴۱	۲۶۵/۵۱۷۳	۵۱۷۶/۱۰۱۴
	۴۰	دیوار خارجی ای ای سی شماره ۱	۵۱۰۲/۵۳۴۷	۲۶۴/۵۳۶۲	۵۲۶۷/۰۷۰۹
	۴۵	دیوار خارجی ای ای سی شماره ۱	۵۱۵۲/۷۳۰۷	۲۶۴/۰۸۶۵	۵۴۱۶/۸۱۷۳
	۵۰	دیوار خارجی ای ای سی شماره ۱	۵۱۵۲/۷۳۰۷	۲۶۴/۰۸۶۵	۵۴۱۶/۸۱۷۳
	۱۰	دیوار خارجی ای ای سی شماره ۲	۳۹۹۴/۰۸۶۳	۲۴۴/۴۱۹۹	۴۲۳۸/۵۰۶۱

حالت بهینه	درصد پنجره به دیوار	ساختار دیوار خارجی	بار سرمایش برحسب کیلووات ساعت	بار گرمایش برحسب کیلووات ساعت	بار کل برحسب کیلووات ساعت
	۱۵	دیوار خارجی ای ای سی شماره ۲	۴۱۶۰/۹۸۲۳	۲۵۴/۲۴۹۷	۴۴۱۵/۲۳۲۰
	۲۰	دیوار خارجی ای ای سی شماره ۲	۴۳۴۱/۶۴۲۳	۲۶۰/۴۸۹۶	۴۶۰۲/۱۳۲۹
	۲۵	دیوار خارجی ای ای سی شماره ۲	۴۵۲۹/۷۱۹۷	۲۶۴/۲۷۳۰	۴۷۹۳/۹۹۲۷
	۳۰	دیوار خارجی ای ای سی شماره ۲	۴۷۲۰/۶۸۱۱	۲۶۴/۸۴۵۷	۴۹۸۵/۵۲۶۸
	۳۵	دیوار خارجی ای ای سی شماره ۲	۴۹۱۴/۱۶۹۴	۲۶۵/۷۰۹۴	۵۱۷۹/۸۷۸۸
	۴۰	دیوار خارجی ای ای سی شماره ۲	۵۱۰۵/۸۴۷۶	۲۶۴/۷۶۱۹	۵۳۷۰/۶۰۹۶
	۴۵	دیوار خارجی ای ای سی شماره ۲	۵۱۵۶/۰۳۷۸	۲۶۴/۴۰۳۵	۵۴۲۰/۴۴۱۴
	۵۰	دیوار خارجی ای ای سی شماره ۲	۵۱۵۶/۰۳۷۸	۲۶۴/۴۰۳۵	۵۴۲۰/۴۴۱۴

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

راه‌های مصرف انرژی برای برقرار کردن شرایط آسایش در ساختمان‌ها زیاد است. بنابراین، قبل از هر کاری باید میزان این انرژی مصرفی سنجیده شود. یکی از راه‌های به دست آوردن مقدار آن استفاده از برنامه‌های شبیه‌سازی مصرف انرژی است. در گذشته، این کار بسیار زمان‌بر بود و با خطای بسیاری مواجه می‌شد اما امروزه به کمک این برنامه‌های شبیه‌ساز با دقت بالا و با صرف زمان کمتر انجام و نتایج مطلوبی در اختیار ما می‌گذارد.

انتخاب مصالح مناسب در هر اقلیم امری ضروری است، به‌طوری که مصالح با ظرفیت حرارتی مختلف کارکرد متفاوتی در هر اقلیم دارند، با انتخاب مصالح با جرم حرارتی مناسب به میزان قابل توجهی از مصرف انرژی برای گرمایش و سرمایش ساختمان کاسته شده و در حین ایجاد آسایش ساکنان، صرفه‌جویی در مصرف انرژی را ممکن می‌سازد. امروزه با پیشرفت علم و تکنولوژی، دامنه تولید مصالح مختلف با ویژگی‌های حرارتی متفاوت روزبه‌روز در حال گسترش است که این، معماران را در انتخاب صحیح مصالح ترغیب و یاری می‌کند. انتخاب مصالح سازگار با اقلیم میزان مصرف انرژی را در ساختمان‌ها به میزان قابل توجهی کنترل کرده و می‌تواند سهم بزرگی در کم کردن اثرات منفی زیست‌محیطی داشته باشد.

در پاسخ به سؤال‌های پژوهش باید گفت فاکتورهای مؤثر زیادی در عملکرد حرارتی جداره‌های خارجی بنا نقش دارند؛ برخی از این فاکتورها شامل انرژی ناشی از نور خورشید، انرژی همرفتی، میزان بازشوها، تأثیر باد، جهت‌گیری ساختمان، رنگ ساختمان، بازخورد حرارتی مصالح که شامل پوشش‌های داخلی و خارجی علاوه بر مصالح میانی جدار، ااثیه و افراد داخل و... هستند. در پژوهش حاضر با کمک گرفتن از نرم‌افزار شبیه‌ساز دیزاین بیلدر، به ارزیابی دو مؤلفه، مصالح درونی دیوار و همچنین بازشوها در جداره خارجی ساختمان

مسکونی پرداخته شده است. در نهایت کار بر طبق بهینه‌سازی پارامتریک، بهینه‌ترین حالت مربوط به دیتیل دیوار با بلوک بتن گازی سبک اتوکلاو شده (AAC) و عایق حرارتی پلی‌استایرن اکستروژده با ۲۵-۳۰٪ بازشو بود. یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد جرم حرارتی و عایق حرارتی نقش‌های متفاوتی در رفتار حرارتی کل پوسته ساختمان بازی می‌کنند و شایسته است در محاسبه به‌منظور تحلیلی جامع از رفتار حرارتی پوسته، نقش هر دو مورد ارزیابی قرار گیرد. با به‌کارگیری سازه دیوار بهینه که مناسب‌ترین رفتار حرارتی را از خود نشان می‌دهد می‌توان به میزان قابل توجهی در مصرف انرژی ساختمان مسکونی صرفه‌جویی کرد.

انتخاب درست مصالح ساختمانی و همچنین بهره‌گیری از روشنایی روز، از تکنیک‌های بسیار عالی برای کاهش مصرف انرژی ساختمان است. جداره خارجی اگر به‌درستی طراحی شود می‌تواند مانعی قوی در مقابل اتلاف انرژی باشد، در چنین وضعیتی هزینه‌های مربوط به سوخت گرمایش و سرمایش فضاها به مقدار قابل توجهی کاهش می‌یابد. با توجه به اینکه امروزه بیشترین مصرف سوخت‌ها در دنیا مربوط به بخش مسکونی است، هر اقدام کوچک در این زمینه باعث صرفه‌جویی چشمگیری در این حوزه خواهد شد.

در حال حاضر، بهینه‌سازی انرژی در همه حوزه‌ها در دنیا مطرح است. لزوم کنترل مصرف انرژی و بهینه کردن آن امروزه به‌علت محدود بودن ذخایر فسیلی و همچنین آلودگی‌های ناشی از مصرف این سوخت‌ها، بیش از پیش احساس می‌شود. در ادامه این پژوهش می‌توان به بررسی عوامل تأثیرگذار دیگر مانند باد، تهویه، نور، جهت‌گیری ساختمان و... بر پوسته خارجی بنا علاوه بر مصالح و بازشوها و همچنین به مؤلفه‌هایی همچون رنگ و جنس مصالح جداره‌های داخلی ساختمان پرداخت. این پژوهش می‌تواند دریچه‌ای برای ورود به حوزه نماهای دو پوسته با مصالح جدید متناسب با اقلیم

منطقه باشد. نمای دو پوسته با ماهیت ساختاری که دارند، علاوه بر کاهش اتلاف انرژی و جذب حداکثری نور خورشید می‌توانند منبعی برای ذخیره این انرژی تجدیدپذیر نیز باشند. همچنین پوسته‌های

متحرک روی بنا علاوه بر زیبایی معماری می‌توانند عنصری مهم در بهینه‌سازی انرژی‌های مصرفی ساختمان باشند.

مراجع

- [۱] نصراللهی، فرشاد، ضوابط معماری و شهرسازی کاهش‌دهنده مصرف انرژی ساختمان‌ها، نشست کمیته ملی ایران، ۱۳۹۰.
- [۲] خداکرمی، جمال، قبادی، پریسا، «بهینه‌سازی مصرف انرژی در یک ساختمان اداری مجهز به سیستم مدیریت هوشمند»، نشریه علمی پژوهشی مهندسی و مدیریت انرژی، سال ششم، شماره ۲، صفحه ۱۲-۲۳، ۱۳۹۵.
- [۳] گرجی مهلبانی، یوسف، یاران، علی، پروردی‌نژاد، سمیرا، اسکندری، منیژه، «ارزیابی معماری همساز با اقلیم در خانه‌های کاشان»، آرمان‌شهر، دوره چهارم، شماره ۷، صفحه ۳۱-۴۰، ۱۳۹۰.
- [۴] لیز، کنت، واتسون، دونالد، طراحی اقلیمی: اصول نظری و اجرایی کاربرد انرژی در ساختمان، ترجمه وحید قبادیان و محمد فیض مهدوی، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۹۲.
- [۵] پوردیهیمی، شهرام، گسیلی، بهرام، «بررسی شناسه‌های حرارتی جداره‌های پوسته خارجی بنا: مطالعه موردی: مناطق روستایی اردبیل»، مسکن و محیط روستا، شماره ۱۵۰، صفحه ۵۳-۷۰، ۱۳۹۴.
- [۶] غفاری جباری، شهلا، غفاری جباری، شیوا، صالح، الهام، «راهکارهای طراحی مسکن در بهینه‌سازی مصرف انرژی شهر تهران»، مجله پژوهش‌های برنامه‌ریزی و سیاستگذاری انرژی، سال یکم، شماره ۱، صفحه ۱۱۵-۱۳۲، ۱۳۹۲.
- [۷] میراحمد، علی، صدر عاملی، مجتبی، «مطالعه عددی و شبیه‌سازی عملکرد یک مبدل حرارتی پرشده با ماده تغییر فاز برای سامانه تهویه مطبوع یک ساختمان مسکونی در مناطق گرم و خشک ایران»، نشریه علمی پژوهشی مهندسی و مدیریت انرژی، سال پنجم، شماره ۲، صفحه ۴۲-۵۱، ۱۳۹۴.
- [۸] باقری، فرشید، مکاری‌زاده، وهاب، «تحلیل اثربخشی سطح نورگذرها در مصرف انرژی و تولید گازهای آلاینده در ساختمان‌های مسکونی کشور»، تازه‌های انرژی، سال اول، شماره ۱، صفحه ۶۴-۶۷، ۱۳۸۷.
- [۹] معرفت، مهدی، ذوالفقاری، علیرضا، امیدوار، امیر، «طراحی مناسب نما و پوسته خارجی ساختمان، روشی مؤثر برای جلوگیری از رخداد میعان در سیستم‌های سرمایش تابشی سقفی»، دوره دهم، شماره ۲۶، صفحات ۱۸۳-۱۸۳، نشریه انرژی ایران، ۱۳۸۵.
- [۱۰] شمس، مجید، خداکرمی، مهناز، «بررسی معماری سنتی همساز با اقلیم سرد - مطالعه موردی: شهر سنندج»، فصلنامه جغرافیایی آمایش محیط، شماره ۱۰، صفحه ۹۱-۱۱۴، ۱۳۸۹.
- [۱۱] محمد، شقایق، «مطالعه رفتار حرارتی مصالح رایج در ساخت دیوار؛ مطالعه موردی ساختمان‌های مسکونی شهر تهران»، هنرهای زیبا-معماری و شهرسازی، دوره هجدهم، شماره ۱، صفحه ۶۹-۷۸، ۱۳۹۲.
- [۱۲] ابراهیم‌پور، عبدالسلام، کریمی واحد، یوسف، «روش‌های مناسب بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان دانشگاهی در تبریز»، نشریه علمی پژوهشی مهندسی مکانیک مدرس، دوره دوازدهم، شماره ۴، صفحه ۹۱-۱۰۴، ۱۳۹۱.
- [۱۳] مصلحی، حامد، عبداللهی ریزی، رعنا، ذوالفقاری، علیرضا، ابراهیمی ناغانی، پیمان، طراحی و محاسبه بار تأسیسات مکانیکی در دیزاین بیلدر، تهران، انتشارات نوآور، ۱۳۹۵.
- [۱۴] شعبی، هدی، ترکاشوند، عباس، «ارائه راهکارهای معمارانه جهت کاهش مصرف انرژی در طراحی ساختمان»، چهارمین همایش ملی سلامت، محیط‌زیست و توسعه پایدار، بندرعباس، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بندرعباس، ۱۳۹۳.
- [۱۵] خردمندی، حسنا، حسینی، باقر، «بررسی تأثیر ابعاد و فرم پنجره بر میزان مصرف انرژی در فضاهای آموزشی»، دومین کنگره بین‌المللی سازه، معماری و توسعه شهری، تبریز، دبیرخانه دائمی کنگره بین‌المللی سازه، معماری و توسعه شهری، ۱۳۹۳.
- [۱۶] فیاض، ریما، «سطح بهینه پنجره ساختمان‌های مسکونی در اردبیل و تهران»، دوفصلنامه معماری و شهرسازی، شماره ۱۰، صفحه ۱۰۵-۱۱۹، تهران، ۱۳۹۲.
- [۱۷] رحیم‌زاده هلق، علی، برادر برجسته‌باف، یسنا، «شبیه‌سازی میزان تأثیر ابعاد پنجره‌های خارجی ساختمان بر بارهای سرمایش و گرمایش»، دومین کنفرانس بین‌المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی، ۱۳۹۱.
- [۱۸] مغربی، مجتبی، «جایگزین کردن مصالح سبک و ارزان به جای آجر»، دهمین کنفرانس دانشجویی مهندسی عمران، ۱۳۸۲.
- [۱۹] حسینی، حسین، «اثرات عایق‌سازی حرارتی جداره‌های ساختمانی ساخته شده با مصالح جدید در کاهش مصرف سوخت»، اولین همایش منطقه‌ای عمران و معماری، ۱۳۹۰.

بهینه‌سازی عملکرد حرارتی جداره‌های خارجی یک ساختمان مسکونی میان‌مرتب در اقلیم ... ۱۲۱

اقلیم‌های مختلف ایران»، نشریه انرژی ایران، دوره هفدهم، شماره ۴،
صفحه ۶۹-۸۰، ۱۳۹۳.

[۲۰] ذوالفقاری، علیرضا، سعادت‌نسب، مهران، نوروزی جاجرم، الهه،
«ارزیابی میزان تأثیر نمای خارجی ساختمان بر مصرف انرژی سالانه در