



## تاثیر استفاده از شکاف هوایی در دیوارها بر کاهش مصرف انرژی یک ساختمان مسکونی

سیدعلی موسوی نوایی<sup>۱</sup>، علی فلاوند جوزایی<sup>۱\*</sup>، اشکان غفوری<sup>۱</sup>، محسن مهدوی عادل<sup>۲</sup>

۱. گروه مهندسی مکانیک، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران  
۲. گروه مهندسی مکانیک، واحد سوسنگرد، دانشگاه آزاد اسلامی، سوسنگرد، ایران

\*نویسنده مسئول: falavand@iauhvaz.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۱۲

### چکیده

ساختمان‌های مسکونی سهم قابل توجهی در مصرف انرژی دارند، بدین جهت راهکارهای کاهش مصرف انرژی در این بخش می‌تواند تأثیر زیادی بر کاهش مصرف انرژی داشته باشد. در این پژوهش، با استفاده از اثرات استفاده از شکاف هوایی در دیوارها بر میزان کاهش مصرف انرژی، انرژی یک ساختمان (مطالعه موردی یکی از ساختمان‌های مجتمع مسکونی در شهر اهواز) تجزیه و تحلیل شده است. جهت بررسی نتایج ابتدا با استفاده از نقشه‌های اتوکد مراحل طراحی ساختمان در نرم‌افزار دیزاین بیلدر شبیه‌سازی شد و برای محاسبات انرژی نیز از موتور انرژی پلاس استفاده شده است. برای بررسی تاثیر استفاده از شکاف هوایی در دیوارها بر کاهش مصرف انرژی، سه ضخامت مختلف شکاف هوایی (۱ و ۲/۵ و ۵ سانتی‌متر) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج شبیه‌سازی انرژی برای این سه دیوار مختلف با دیوار پایه نشان می‌دهد که استفاده از شکاف هوایی سبب کاهش مصرف انرژی کل و بارهای گرمایشی و سرمایشی در ماه‌های مختلف سال در ساختمان شده است. به‌طوریکه بار سرمایشی ماهیانه ساختمان در گرم‌ترین ماه سال به ترتیب ۱۰/۳، ۱۲/۸ و ۱۴ درصد، و در سردترین ماه سال بار گرمایشی ساختمان به ترتیب ۳۲/۸، ۴۲/۳ و ۴۸/۲ درصد کاهش داشته است. همچنین مصرف انرژی گرمایشی سالیانه ساختمان به ترتیب ۲۵/۷، ۳۰/۹ و ۳۳/۶ درصد کاهش و انرژی سرمایشی سالیانه به ترتیب ۸/۳، ۱۰ و ۱۰/۹ درصد کاهش دارد که با توجه به مصرف بالای انرژی سرمایشی سالیانه ساختمان درصد قابل توجهی می‌باشد.

**کلمات کلیدی:** بار گرمایشی، بار سرمایشی، شکاف هوا، مصرف انرژی.

### مقدمه

مصرف در حال افزایش انرژی در جهان، باعث نگرانی‌هایی در مورد تأمین انرژی در آینده شده است. علاوه بر این کاهش مصرف انرژی باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای نظیر دی اکسیدکربن خواهد شد. با توجه به اینکه در گزارش چشم‌انداز انرژی جهان در سال ۲۰۲۰ در حدود ۵۵ درصد مصرف انرژی در ساختمان‌ها است [۱]، بنابراین هرگونه راهکاری در کاهش این مصرف می‌تواند بسیار تاثیرگذار باشد. کاهش منابع فسیلی، گرمایش جهانی، صنعتی شدن و رشد جمعیت چالش‌هایی را برای بخش انرژی ایجاد می‌کند [۱-۳]. هم‌چنین افزایش مصرف انرژی، سبب تولید و انتشار ۳۰ درصد سالانه گازهای گلخانه‌ای (GHG)<sup>۱</sup> در سال ۲۰۱۳ در جهان شده است [۴،۵].

در شرایط کنونی ایران با جمعیت در حدود ۸۵ میلیون نفر، معادل کشوری با جمعیت یک میلیارد نفر انرژی مصرف می‌کند که بیشترین میزان اتلاف انرژی مربوط به بخش ساختمان است و به عبارتی می‌توان گفت که ایران جزء کشورهای پرمصرف انرژی در جهان شناخته شده است. موسسه مطالعات بین‌المللی انرژی هم با اشاره به وضعیت ناگوار مصرف انواع حامل‌های انرژی در ایران اعلام کرده است. براین اساس نگاهی به آمارها نشان می‌دهد که در بخش ساختمان به‌تنهایی مصرف انرژی دو تا چهار برابر استانداردهای جهانی گزارش شده است. در چنین شرایطی پیش‌بینی می‌شود که اگر الگوی مصرف انرژی در بخش‌های خانگی و تجاری اصلاح نشود و روند کنونی ادامه یابد، مصرف انرژی در این بخش‌ها در سال ۱۴۰۳ به بیش از ۱۴۰۰ میلیون

<sup>1</sup> Greenhouse Gas



بشکه معادل نفت خام می‌رسد که در این صورت علاوه بر دست نیافتن به اهداف چشم‌انداز ۲۰ ساله، بر جایگاه ایران در صادرات نفت خام خدشه وارد می‌شود. به‌علاوه اقتصاد کشور و محیط‌زیست نیز تحت تاثیر قرار خواهد گرفت. ادامه این روند علاوه بر ایجاد تبعات زیست محیطی می‌تواند بحران بسیار جدی در زمینه اقتصادی را در پی داشته باشد.

جوی و همکاران [۶] تجزیه و تحلیل بار حرارتی را بر روی یک ساختمان اداری دو جداره در آب و هوای گرم و مرطوب در چین انجام دادند و نتایج شبیه‌سازی را با مقادیر واقعی مقایسه نمودند. آیومپه و دوفی [۷] عملکرد حرارتی یک کلکتور صفحه تخت خورشیدی چهار متر مربعی برای گرم کردن آب را به‌طور تجربی در یک دوره یک ساله در شهر دوبلین ایرلند مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که میانگین سالیانه انرژی روزانه، تلفات لوله و کسر خورشیدی به ترتیب  $19/6 \text{ MJ/d}$ ،  $3/2$  و  $32/2$  درصد بود. در مطالعه‌ای که توسط صادقی فام و همکاران [۸] انجام گردید، یک ارزیابی گسترده مطابق با یک شبیه‌سازی انرژی کل ساختمان برای سرمایه‌گذاری غیرفعال با در نظر گرفتن تأثیر پارامترهای موثر و امکان سیستم‌های خنک‌کننده غیرفعال انجام شده است. عبدالرحمان و السلیمان [۹] یک مطالعه فنی - اقتصادی برای انتخاب سیستم گرمایش آب خورشیدی بهینه انجام دادند. این مطالعه نشان داد که استفاده از کلکتورهای خورشیدی لوله‌ای در شهرهای قاسم، طهران و ریاض از نظر اقتصادی بسیار سودمند است. زمردیان و تحصیل‌دوست [۱۰] یک ساختمان آموزشی در کاشان ایران را توسط نرم‌افزار دیزاین بیلدر<sup>۱</sup> شبیه‌سازی نمودند و نتایج را با مقادیر واقعی به‌طور همزمان مقایسه کردند. نتایج آنها نشان داد که تغییرات در انواع سقف و مواد موثرترین راه برای کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی در مناطق گرمسیری است. دیوتا و همکاران [۱۱] تأثیر جهت‌گیری و سایه‌دهی پنجره‌های خارجی را برای یک ساختمان بیمارستانی در آب و هوای گرمسیری کشور هند را بر عملکرد حرارتی بررسی کردند. آنها استفاده از سایه‌بان پنجره خارجی متحرک مبتنی بر کنترل کننده منطقی قابل برنامه‌ریزی که با مسیر خورشید مرتبط است را نتیجه گرفتند. نتایج شبیه‌سازی آنها نشان داد که حداکثر صرفه‌جویی در انرژی در ماه ژوئن به میزان  $14/9\%$  و میانگین صرفه‌جویی در انرژی  $9/8\%$  سالانه توسط این نوع سایه‌بان پنجره است. بانارد و همکاران [۱۲] روش پیش‌بینی عملکرد حرارتی بلند مدت عایق با پانل‌های خلاء نصب شده در کاربردهای عایق حرارتی ساختمان را شبیه‌سازی و بررسی نمودند. نتایج شبیه‌سازی‌ها آنها نشان داد که مواد هسته و شرایط دمایی و رطوبت خارجی اهمیت بسیار زیاد روی خصوصیات پانل‌ها دارد. فتحلیان و کارگر شریف‌آباد [۱۳] سه استراتژی برای مدیریت مصرف انرژی در یک ساختمان اداری در شهر سمنان ایران پیشنهاد دادند، این سه استراتژی شامل جایگزینی پنجره‌های تک‌جداره با پنجره دوجداره، نصب عایق حرارتی بر روی دیوار خارجی ساختمان و استفاده از سایه‌بان‌های افقی در خارج و حذف سایه‌های داخلی بودند. نتایج شبیه‌سازی آنها نشان داد که این استراتژی‌ها به ترتیب منجر به کاهش  $14\%$ ،  $18\%$  و  $13\%$  در مصرف انرژی می‌شوند. محمود و همکاران [۱۴] شبیه‌سازی مقایسه‌ای عملکرد انرژی برای طراحی غیرفعال را برای مطالعه موردی در قاهره مصر انجام دادند. برای انجام این کار، آنها شبیه‌سازی را با کمک نرم‌افزار دیزاین بیلدر<sup>۲</sup> و با استفاده از داده‌های آب و هوای تولید شده در سایت متونورم<sup>۲</sup> انجام دادند. نتایج آنها نشان داد که ویژگی‌های طراحی غیرفعال شامل، پوشش دوجداره، سایه‌بان و تهویه متقابل می‌باشد. با توجه به قیمت ارزان انرژی در ایران و مصرف سرسام‌آور انرژی در کشور در این مقاله برای کاهش مصرف انرژی ساختمان‌ها، تاثیر استفاده از شکاف هوایی در دیوارها و تجزیه و تحلیل انرژی برای یکی از ساختمان‌های مجتمع مسکونی ۴۹۲ واحدی فرهنگ‌شهر اهواز به‌عنوان مطالعه موردی انجام شده است.

### مبانی نظری و شبیه‌سازی

در شکل (۱) نقشه طراحی شده یک ساختمان مجتمع مسکونی ۴۹۲ واحدی طرح ملی نهضت مسکن در فرهنگ‌شهر اهواز نمایش داده شده است. این ساختمان دارای پنج طبقه، هر طبقه دارای سه واحد مسکونی و مساحت کل  $1350$  متر مربع می‌باشد. طبقه همکف ساختمان هم پارکینگ است.

<sup>1</sup> DesignBuilder

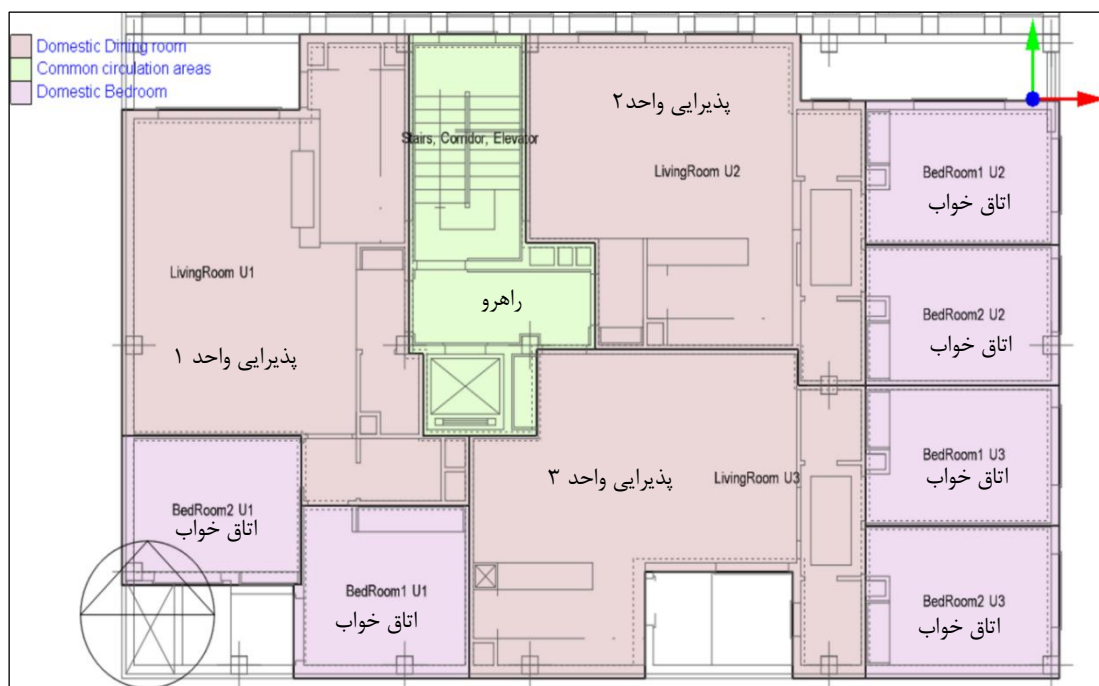
<sup>2</sup> Meteonorm



باتوجه به اینکه پایه و اساس طراحی ساختمان‌ها تابع شرایط آب و هوایی محیط اطراف ساختمان است و از شکل هندسی و نوع مصالح ساختمانی گرفته تا ظرفیت تجهیزات گرمایشی و سرمایشی (خنک‌کننده) که تابع آن شرایط می‌باشد، لذا اولین کار برای شبیه‌سازی انرژی، انتخاب شهر با مشخصه‌های طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا و داده‌ها و فایل آب و هوایی به نرم‌افزار می‌باشد. این اطلاعات در جدول (۱) داده شده است.

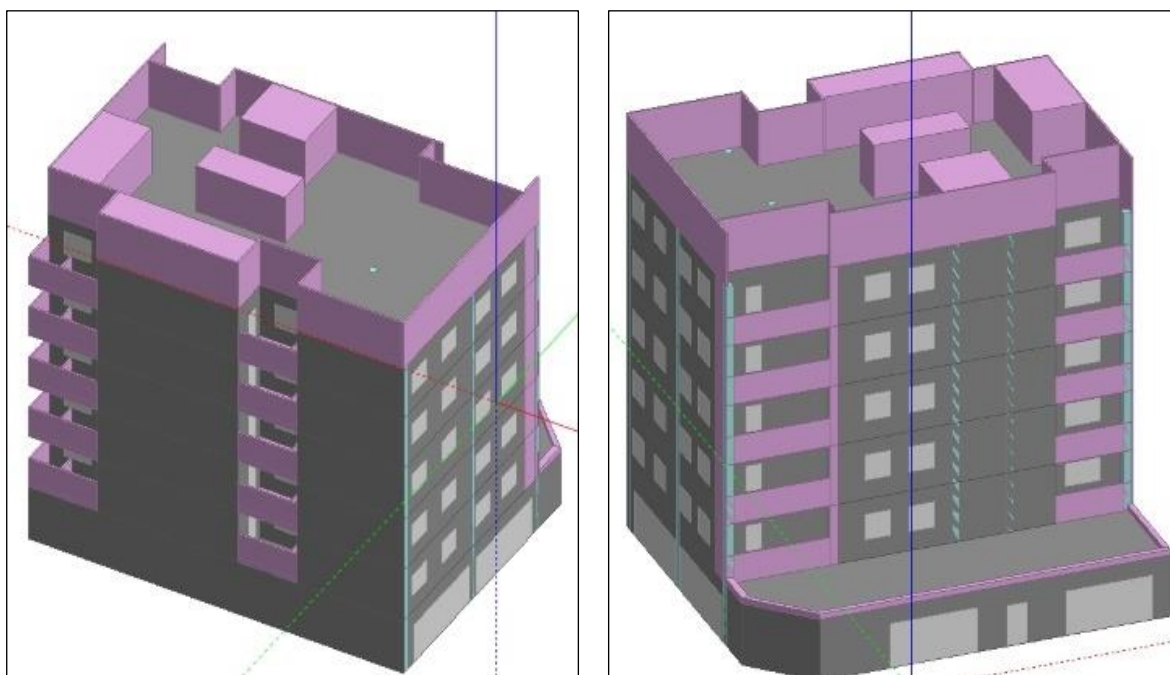
جدول ۱: مشخصات شهر اهواز

پارامتر	مقدار
طول جغرافیایی	۴۸/۶۷
عرض جغرافیایی	۳۱/۳۳
ارتفاع از سطح دریا (متر)	۲۲
فشار هوا (کیلو پاسکال)	۱۰۱/۱



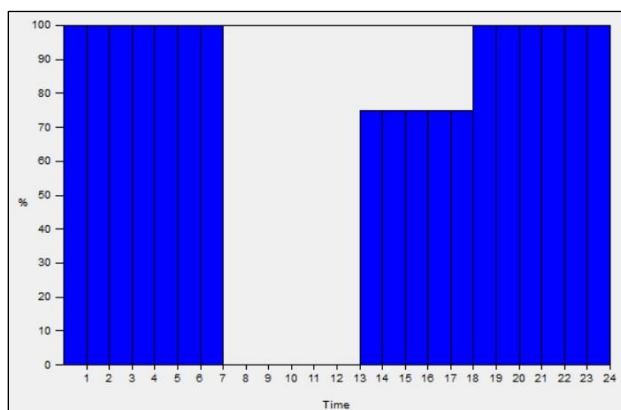
شکل ۱: نمایی از نقشه اتوکد ساختمان جهت مدل‌سازی با نرم‌افزار دیزاین بیلدر

سپس برای شبیه‌سازی انرژی لازم است که ساختمان مورد نظر در نرم‌افزار طراحی و ساخته شود. با توجه به فایل اتوکد نقشه ساختمان موجود، بهترین راه برای طراحی سریع در نرم‌افزار، استفاده از این فایل و وارد کردن آن به محیط نرم‌افزار دیزاین بیلدر بود. بعد از وارد کردن مشخصات سایت پروژه در نرم‌افزار با استفاده از نقشه‌های موجود، ساختمان مورد نظر در نرم‌افزار ایجاد شد. مراحل مختلف ساخت طبقات ساختمان در نرم‌افزار و ایجاد مدل نهایی از دو نمای جلو و عقب ساختمان در شکل (۲) آورده شده است. بعد از مدل‌سازی ساختمان، مشخصات مصالح ساختمان شامل جنس، ضخامت و خواص شامل ضریب انتقال حرارت هدایتی، چگالی و گرمای ویژه یا مقاومت حرارتی لایه‌های دیوارهای داخلی و خارجی، سقف و بازشوها (درب و پنجره و دریچه‌ها) به نرم‌افزار داده شود. مشخصات مصالح ساختمانی از کتاب مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان (صرفه‌جویی در مصرف انرژی) استفاده شده است [۱۵].

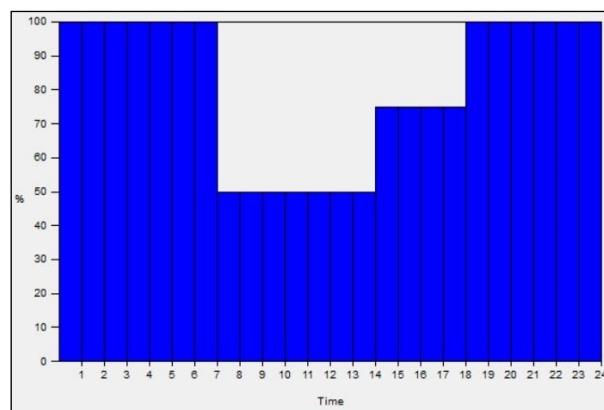


شکل ۲: مدل نهایی ساختمان ایجاد شده در نرم‌افزار از دو نمای جلو و عقب ساختمان

بعد از دادن مشخصات مصالح، نوع کاربری ساختمان و فعالیت‌های آن شامل برنامه زمان حضور افراد و مشخصات و برنامه زمان‌بندی سیستم روشنایی ساختمان در فصول تابستان و زمستان مطابق شکل‌های (۳) و (۴) به نرم‌افزار داده شده است. تعداد افراد برای هر واحد مسکونی ساختمان چهار نفر در نظر گرفته شده است. در این برنامه زمان‌بندی حضور افراد در زمستان فرض شده که بین ساعات ۷ تا ۱۳ شخصی در ساختمان حضور ندارد و در فصل تابستان به خاطر تعطیلی مدارس ۵۰ درصد افراد حضور دارند. سپس سیستم تهویه مطبوع و روشنایی و سایر پارامترهای موثر در شبیه‌سازی انرژی در آن به نرم‌افزار داده شده است.



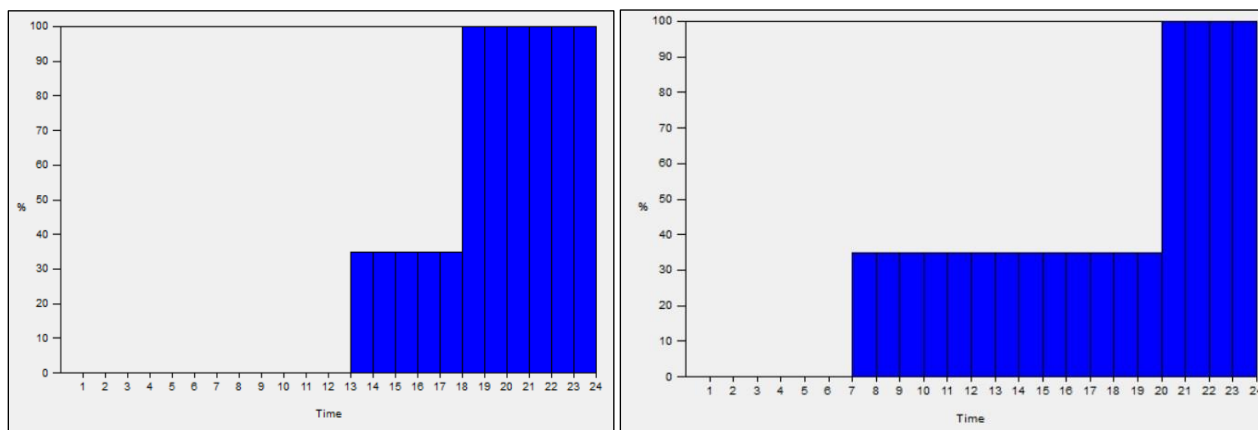
ب



الف

شکل ۳: برنامه زمان حضور افراد در فصل تابستان (الف) و زمستان (ب)

برای کاهش زمان محاسبات با نرم‌افزار، با توجه به اینکه طبقات دوم، سوم و چهارم شرایط کاملاً مشابه و بطبع بار حرارتی و بردتی و مصرف انرژی یکسان دارند، در نتیجه محاسبات انرژی فقط برای سه طبقه انجام گردید. طبقه اول و طبقه آخر (پنجم) با شرایط متفاوت و از سه طبقه با بار یکسان، یکی یعنی طبقه سوم در نظر گرفته شده است.



شکل ۴: برنامه زمان‌بندی سیستم روشنایی ساختمان در فصل تابستان (الف) و زمستان (ب)

جنس مصالح و ضخامت لایه‌های مختلف دیوارها بکار رفته برای دیوارهای خارجی ساختمان (دیوار پایه) نیز در جدول (۲) آورده شده است [۱۵]. لازم به ذکر است برای خواص مصالح نیاز به یکی از مقادیر مقاومت حرارتی یا گرمای ویژه، چگالی و ضریب رسانش حرارتی می‌باشد که با توجه به دسترس بودن خواص می‌توان به‌عنوان ورودی به نرم‌افزار وارد کرد. برای آجر نما، تیرچه بلوک سیمانی و بلوک سیمانی براساس خواص ارائه شده در کتاب مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان، صرفه‌جویی در مصرف انرژی، ویرایش چهارم مقاومت حرارتی این مصالح داده شده است که شامل ضریب رسانش حرارتی نیز می‌باشد.

جدول ۲: مشخصات مصالح دیوارهای خارجی

جنس مصالح دیوار پایه (از بیرون به داخل)	ضخامت (m)	گرمای ویژه ( $J.kg.K^{-1}$ )	ضریب رسانش حرارتی ( $W.mK^{-1}$ )	چگالی ( $kg.m^{-3}$ )	مقاومت حرارتی ( $R-Value$ ) ( $m^2.K.W^{-1}$ )
آجر نما	۰/۰۳	-	-	-	۰/۰۳
پلاستر سیمانی	۰/۰۲	۱۰۰۰	۰/۱	۱۱۰۰	-
بلوک سیمانی	۰/۲	-	-	-	۰/۱۹
گچ اندود داخلی	۰/۰۲	۱۰۰۰	۰/۴	۹۵۰	-
هوا	۰/۰۵	-	-	-	۰/۲۱

همچنین جنس مصالح سقف نیز در جدول (۳) بیان گردیده است. کلیه پنجره‌های بکار رفته در ساختمان از نوع پروفیل استاندارد UPVC با شیشه‌های دوجداره ساده و گاز آرگون بین جداره‌ها بکار رفته است [۱۵].

جدول ۳: مشخصات مصالح سقف

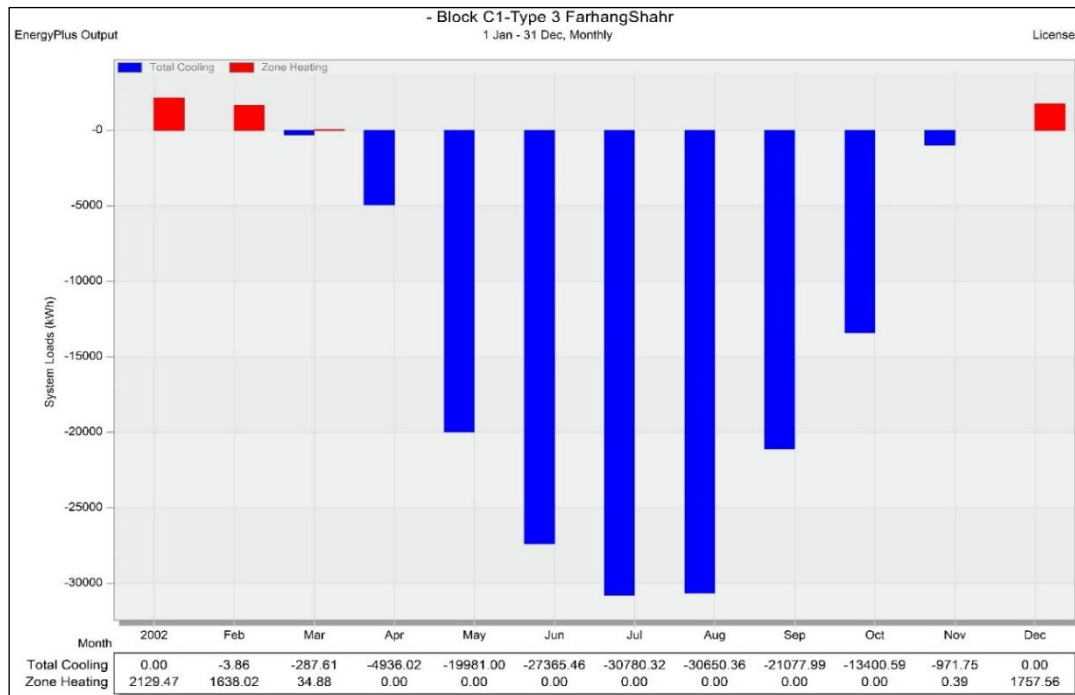
جنس مصالح دیوار پایه (از بیرون به داخل)	ضخامت (m)	گرمای ویژه ( $J.kg.K^{-1}$ )	ضریب رسانش حرارتی ( $W.mK^{-1}$ )	چگالی ( $kg.m^{-3}$ )	مقاومت حرارتی ( $R-Value$ ) ( $m^2.K.W^{-1}$ )
ایزوگام	۰/۰۱	۱۰۰۰	۰/۷	۲۱۰۰	-
عایق پشم سنگ	۰/۰۵	۸۴۰	۰/۰۵	۱۵۰	-
تیرچه بلوک سیمانی	۰/۳	-	-	-	۰/۲۵
گچ اندود داخلی	۰/۰۲	۱۰۰۰	۰/۴	۹۵۰	-

## نتایج و بحث

برای بررسی تاثیر پارمترهای مختلف ابتدا نتایج شبیه‌سازی انرژی برای حالت دیوار پایه انجام شده است و در ادامه سه دیوار دیگر با شکاف یا فاصله هوایی با ضخامت مختلف برای دیوارهای ساختمان مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در طول تجزیه



و تحلیل دیوارها، برای ارزیابی عملکرد انرژی آنها، همه پارامترها ثابت نگه داشته می‌شوند و مانند حالت پایه هستند و فقط دیوارها تعویض می‌شوند. شکل (۵) نتایج بارهای سرمایشی و گرمایشی ساختمان را برای دیوار پایه بدون شکاف در ماه‌های مختلف سال را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل مشخص است میزان مصرف انرژی ساختمان در طول سال بیشتر مربوط به سرمایش است که این موضوع با توجه به مکان و اقلیم آب و هوایی اهواز طبیعی می‌باشد.

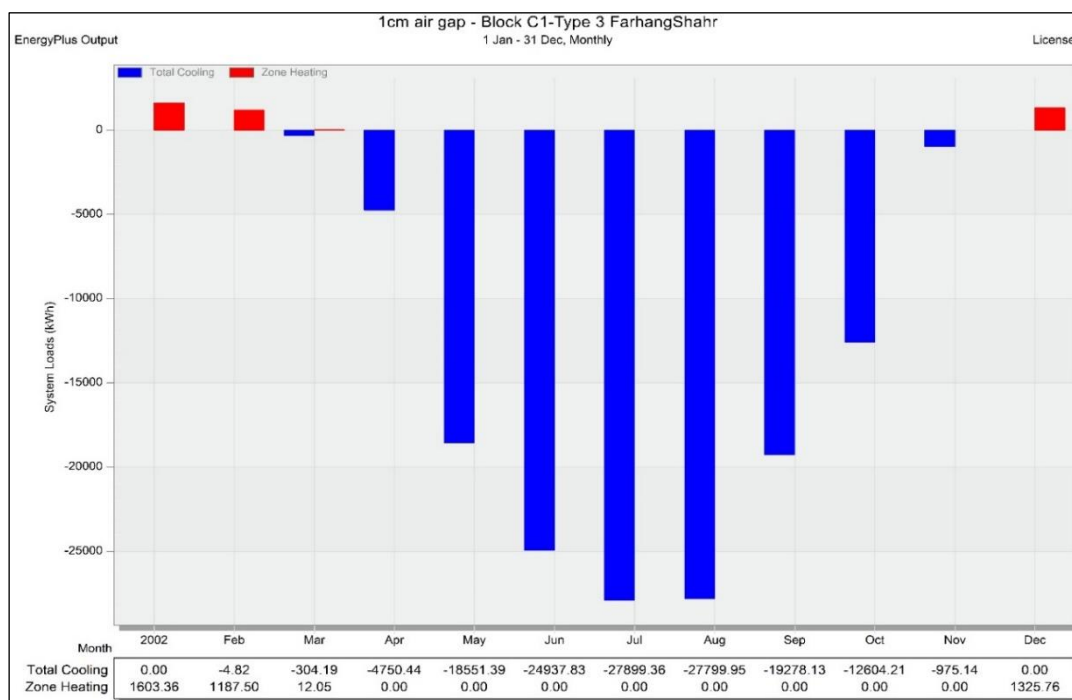


شکل ۵: بارهای سرمایشی و گرمایشی ماهیانه برای دیوار پایه بدون شکاف هوا

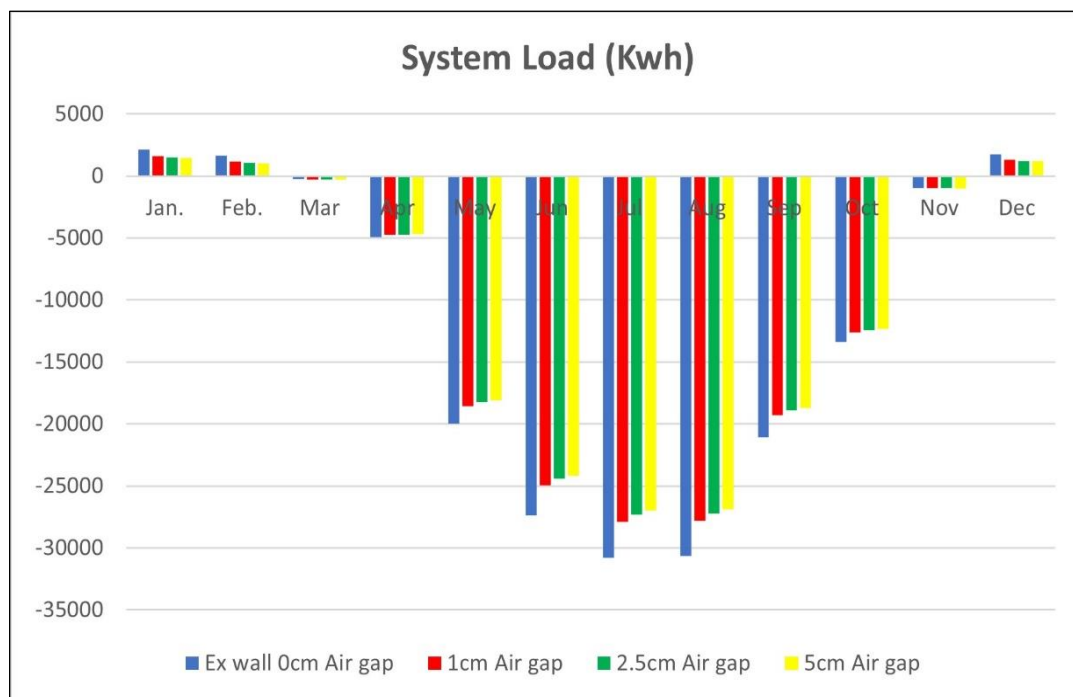
جهت بررسی تاثیر استفاده از شکاف هوایی در دیوارهای ساختمان بر کاهش مصرف انرژی، سه ضخامت مختلف (۱ و ۲/۵ و ۵ سانتی‌متر شکاف هوایی) در نظر گرفته شده است. با مقایسه نتایج شکل (۶) برای ضخامت ۱ سانتی‌متر شکاف هوا با شکل (۵) یعنی دیوار پایه (بدون شکاف هوایی) می‌توان مشاهده نمود که بار سرمایشی ماهیانه ساختمان در گرم‌ترین ماه سال حدود ۱۰/۳ درصد و در سردترین ماه سال بار گرمایشی ساختمان حدود ۳۲/۸ درصد کاهش داشته است. علت کاهش بارهای سرمایشی و گرمایشی ساختمان را می‌توان به این صورت تفسیر کرد که پایین بودن ضریب رسانش حرارتی هوا باعث می‌شود مقاومت حرارتی کل دیوار افزایش و در نتیجه ضریب انتقال حرارتی کل دیوار کاهش یابد و هرچه ضخامت شکاف هوایی بیشتر باشد این تغییرات بیشتر شده و این عامل سبب کاهش بارهای سرمایشی و گرمایشی ساختمان خواهد شد. البته همانطور که مشاهده می‌شود این تغییرات برای ضخامت‌های بیشتر رشد آن با شیب کمتری دنبال می‌شود.

همچنین با مقایسه نتایج برای ضخامت‌های ۲/۵ و ۵ سانتی‌متر شکاف هوا با شکل (۵)، می‌توان مشاهده نمود که بار سرمایشی ماهیانه ساختمان در گرم‌ترین ماه سال برای دیوار با شکاف هوایی ۲/۵ سانتی‌متر حدود ۱۲/۸ درصد و برای دیوار با شکاف هوایی ۵ سانتی‌متر حدود ۱۴ درصد کاهش داشته است و در سردترین ماه سال بار گرمایشی ماهیانه ساختمان برای دیوار با شکاف هوایی ۲/۵ سانتی‌متر حدود ۴۲/۳ درصد و برای دیوار با شکاف هوایی ۵ سانتی‌متر حدود ۴۸/۲ درصد کاهش داشته است.

مقایسه بارهای گرمایشی و سرمایشی ماهیانه ساختمان با دیوار پایه و سه دیوار با شکاف هوایی با ضخامت‌های مختلف در شکل (۷) انجام شده است. همانطور که از این شکل می‌توان مشاهده نمود، استفاده از شکاف هوایی سبب کاهش مصرف انرژی کل و بارهای گرمایشی و سرمایشی در ماه‌های مختلف سال در ساختمان شده است.



شکل ۶: بارهای سرمایشی و گرمایشی ماهیانه برای دیوار با ۱ سانتی‌متر شکاف هوا



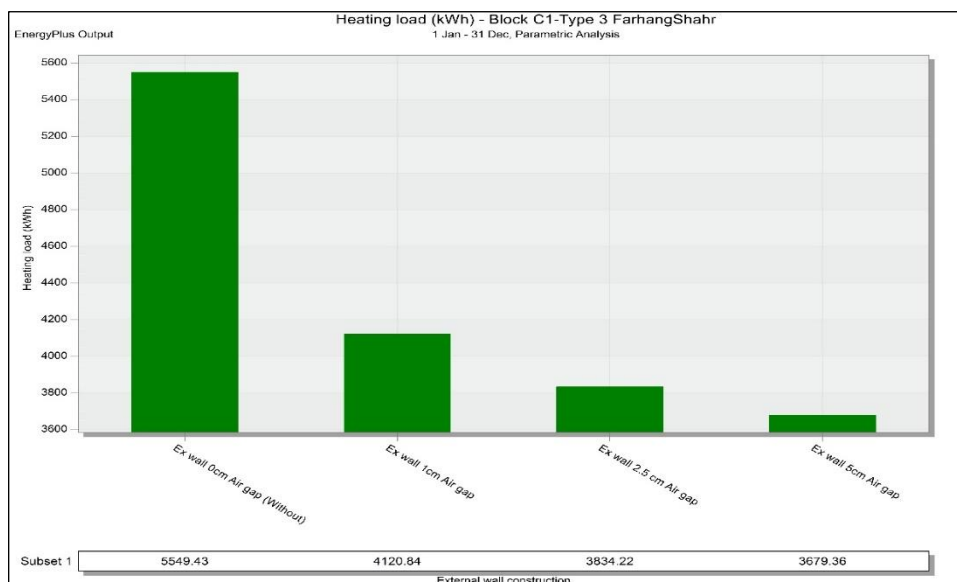
شکل ۷: مقایسه بارهای گرمایشی و سرمایشی ماهیانه دیوار پایه با سه دیوار با شکاف هوا

در شکل (۸) بارهای گرمایشی سالیانه ساختمان با دیوار پایه و سه دیوار با شکاف هوایی با ضخامت‌های مختلف با هم مقایسه شده است. از مقایسه بار گرمایشی ساختمان با دیوار پایه (بدون شکاف هوا) با زمانی که از دیواری با ۱ سانتی‌متر شکاف هوا استفاده شده می‌توان نتیجه گرفت که مصرف انرژی گرمایشی سالیانه ساختمان از ۵۵۴۹/۴ کیلووات ساعت به ۴۱۲۰/۸ کیلو



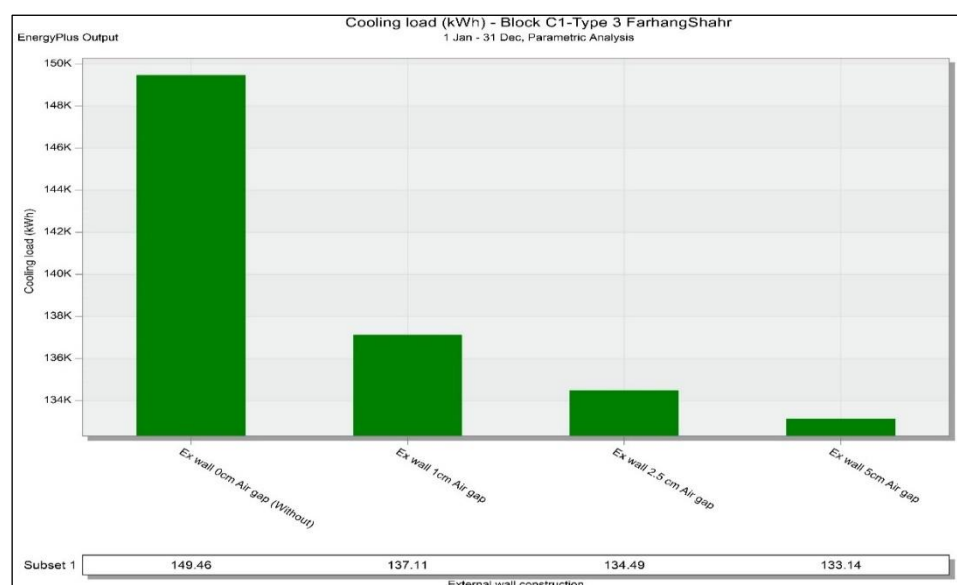


وات ساعت یعنی حدود ۲۵/۷ درصد کاهش داشته است، و برای دیواری با ۲/۵ سانتی‌متر شکاف هوا حدود ۳۰/۹ درصد و برای دیواری با ۵ سانتی‌متر شکاف هوا حدود ۳۳/۶ درصد کاهش در مصرف انرژی گرمایشی سالیانه ساختمان دارد.



شکل ۸: مقایسه بارهای گرمایشی سالیانه دیوار پایه با سه دیوار با شکاف هوا

مقایسه بارهای سرمایشی سالیانه ساختمان با دیوار پایه و سه دیوار با شکاف هوایی با ضخامت‌های مختلف در شکل (۹) انجام شده است. همانطور که از این شکل می‌توان مشاهده نمود، استفاده از شکاف هوایی سبب کاهش مصرف انرژی سرمایشی ساختمان می‌شود. از مقایسه بار سرمایشی ساختمان با دیوار پایه و دیواری با ۱ سانتی‌متر شکاف هوا، می‌توان نتیجه گرفت که مصرف انرژی سرمایشی سالیانه ساختمان از ۱۴۹/۴۶ مگاوات ساعت به ۱۳۷/۱۱ مگاوات ساعت یعنی حدود ۸/۳ درصد کاهش داشته است، و برای دیواری با ۲/۵ سانتی‌متر شکاف هوا حدود ۱۰ درصد و برای دیواری با ۵ سانتی‌متر شکاف هوا حدود ۱۰/۹ درصد کاهش در مصرف انرژی سرمایشی سالیانه ساختمان دارد که با توجه به مصرف بالای انرژی سرمایشی سالیانه ساختمان درصد قابل توجهی می‌باشد.



شکل ۹: مقایسه بارهای سرمایشی سالیانه دیوار پایه با سه دیوار با شکاف هوا





## نتیجه‌گیری

در این تحقیق، شبیه‌سازی انرژی یکی از ساختمان‌های مجتمع مسکونی ۴۹۲ واحدی در شهر اهواز با استفاده از اثرات استفاده از شکاف هوایی در دیوارها بر میزان کاهش مصرف انرژی به‌عنوان مطالعه موردی ارزیابی گردید. برای بررسی تاثیر استفاده از شکاف هوایی در دیوارها بر کاهش مصرف انرژی، سه ضخامت مختلف شکاف هوایی (۱ و ۲/۵ و ۵ سانتی‌متر) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج شبیه‌سازی انرژی برای این سه دیوار مختلف با دیوار پایه نشان می‌دهد که استفاده از شکاف هوایی سبب کاهش مصرف انرژی کل و بارهای گرمایشی و سرمایشی در گرم‌ترین و سردترین ماه‌های سال در ساختمان می‌گردد که مقدار آن قابل توجه می‌باشد.

## مراجع

- [1] IEA, B., (2021). World Energy Outlook. IEA.
- [2] Azizkhani, M., Vakili, A., Noorollahi, Y., Naseri, F., (2017). Potential survey of photovoltaic power plants using Analytical Hierarchy Process (AHP) method in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, pp 1198-1206.
- [3] Fazelpour, F., Soltani, N., Rosen, M.A., (2016). Economic analysis of standalone hybrid energy systems for application in Tehran, Iran. *International journal of hydrogen energy*, 41(19), pp 7732-7743.
- [4] Ramakrishnan, S., Wang, X., Sanjayan, J., Wilson, J., (2017). Thermal performance of buildings integrated with phase change materials to reduce heat stress risks during extreme heatwave events. *Applied energy*, 194, pp 410-421.
- [5] Si, B., Tian, Z., Jin, X., Zhou, X., Tang, P., Shi, X., (2016). Performance indices and evaluation of algorithms in building energy efficient design optimization. *Energy*, 114, pp 100-112.
- [6] Joe, J., Choi, W., Kwon, H., Huh, J.H., (2013). Load characteristics and operation strategies of building integrated with multi-story double skin facade. *Energy and buildings*, 60, pp 185-198.
- [7] Ayompe, L.M., Duffy, A., (2013). Analysis of the thermal performance of a solar water heating system with flat plate collectors in a temperate climate. *Applied Thermal Engineering*, 58(1-2), pp 447-454.
- [8] Sadeghifam, A.N., Zahraee, S.M., Meynagh, M.M., Kiani, I., (2015). Combined use of design of experiment and dynamic building simulation in assessment of energy efficiency in tropical residential buildings. *Energy and Buildings*, 86, pp 525-533.
- [9] Abd-ur-Rehman, H.M., Al-Sulaiman, F.A., (2016). Optimum selection of solar water heating (SWH) systems based on their comparative techno-economic feasibility study for the domestic sector of Saudi Arabia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, pp 336-349.
- [10] Zomorodian, Z.S., Tahsildoost, M., (2016). Validation of energy simulation programs: an empirical and comparative approach. *Iranian Journal of Energy*, 18(4), pp 0-0.
- [11] Dutta, A., Samanta, A., Neogi, S., (2017). Influence of orientation and the impact of external window shading on building thermal performance in tropical climate. *Energy and Buildings*, 139, pp 680-689.
- [12] Batard, A., Duforestel, T., Flandin, L., Yrieix, B., (2018). Prediction method of the long-term thermal performance of Vacuum Insulation Panels installed in building thermal insulation applications. *Energy and buildings*, 178, pp 1-10.
- [13] Fathalian, A., Kargarsharifabad, H., (2018). Actual validation of energy simulation and investigation of energy management strategies (Case Study: An office building in Semnan, Iran). *Case studies in thermal engineering*, 12, pp 510-516.
- [14] Mahmoud, S., Fahmy, M., Mahdy, M., Elwy, I., Abdelalim, M., (2020). Comparative energy performance simulation for passive and conventional design: A case study in Cairo, Egypt. *Energy Reports*, 6, pp 699-704.

[۱۵] وزرات راه و شهرسازی، (۱۳۹۹). دفتر تدوین مقررات ملی ساختمان، مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان، صرفه جویی در مصرف انرژی، ویرایش چهارم.