

Investigating the Effect of Using a Thermal Insulation Layer on the Facade on the Amount of Carbon Emission (a case study of a residential building in Tehran)

Amir.Sina. Darabi¹, Mehdi. Ravanshadnia^{2*}

1 & 2 Faculty of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad university, Tehran, Iran

ABSTRACT

The increasing population of cities in the country has caused an increase in the amount of construction and construction activities. The construction industry uses many natural resources and produces a large amount of greenhouse gases. Therefore, it has a significant effect on Iran's carbon dioxide emissions. In this article, a residential building in Tehran has been studied with the aim of investigating the effect of applying a thermal insulation layer to the external walls of the building using Design Builder software. Initially, a 5-story residential building was modeled in Design Builder software, considering all specifications for different elements of the external walls. Ten different scenarios were defined, including nine different types of thermal insulation and one case without insulation. The necessary outputs from the software, such as hidden carbon content and equivalent hidden carbon, as well as the carbon emissions during the building's operational phase for each scenario, were analyzed. The results showed that the lowest embodied carbon content was associated with the use of glass wool insulation, while the lowest carbon emissions during the operational phase were related to the use of polyurethane foam. In terms of total lifecycle emissions and embodied carbon, the optimal insulation layer is polyurethane foam, which releases a total of 1178 tons of carbon into the environment over a 30-year building lifespan.

ARTICLE INFO

Receive Date: 19 September 2024

Revise Date: 06 December 2024

Accept Date: 10 December 2024

Keywords:

*Carbon Emission
Design Builder software
Thermal insulation
Façade
Residential building
Embodied Carbon*

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: [10.22065/jsce.2024.460180.3430](https://doi.org/10.22065/jsce.2024.460180.3430)

*Corresponding author: M. Ravanshadnia
Email address: ravanshadnia@srbiau.ac.ir

بررسی تأثیر به کارگیری لایه عایق حرارتی در پوسته خارجی ساختمان بر میزان انتشار کربن

(مطالعه موردی ساختمانی مسکونی در شهر تهران)

امیر سینا دارابی^۱، مهدی روان شاد نیا^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

چکیده

افزایش روزافزون جمعیت شهرها در کشور باعث بالارفتن میزان ساخت و ساز و فعالیت‌های ساختمانی شده است، صنعت ساخت و ساز از منابع طبیعی متعددی استفاده می‌کند و باعث انتشار مقدار زیادی گازهای گلخانه‌ای است. از این رو تأثیر به سزایی بر میزان انتشار دی‌اکسید کربن در ایران دارد. در این مقاله باهدف بررسی تأثیر به کارگیری لایه عایق حرارتی در دیوارهای خارجی ساختمان با استفاده از نرم‌افزار دیزاین بیلدر، یک ساختمان مسکونی در شهر تهران مطالعه شده است. در ابتدا یک ساختمان مسکونی ۵ طبقه در نرم‌افزار دیزاین بیلدر مدل شده و با ثابت نگه داشتن تمامی مشخصات برای المان‌های مختلف، برای دیوارهای خارجی، تعداد ۱۰ سناریو متفاوت با استفاده از ۹ نوع عایق حرارتی متفاوت و یک حالت نیز بدون عایق تعریف گردید. سپس خروجی‌های موردنیاز از نرم‌افزار شامل میزان کربن نهفته، کربن نهفته معادل و همچنین میزان انتشار کربن در دوران بهره‌برداری ساختمان ناشی از هر سناریو مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. نتایج نشان داد کمترین میزان کربن نهفته مربوط به حالتی است که از لایه عایق پشم‌شیشه استفاده می‌شود و کمترین میزان انتشار کربن در طی دوران بهره‌برداری مربوط به حالت استفاده از فوم پلی‌اورتان است. لایه عایق بهینه از لحاظ مجموع انتشار در دوران بهره‌برداری و کربن نهفته نیز فوم پلی‌اورتان است که بعد از گذشت یک دوره ۳۰ ساله از بهره‌برداری ساختمان در مجموع بالغ بر ۱۱۷۸ تن کربن در محیط زیست منتشر می‌کند.

کلمات کلیدی: انتشار کربن، نرم‌افزار دیزاین بیلدر، پوسته خارجی، عایق حرارتی، ساختمان مسکونی، کربن نهفته

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:				
doi:	10.22065/jsce.2024.460180.3430	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
	https://doi.org/10.22065/jsce.2024.460180.3430	۱۴۰۴/۰۱/۳۱	۱۴۰۳/۰۹/۲۰	۱۴۰۳/۰۹/۲۰	۱۴۰۳/۰۹/۱۶	۱۴۰۳/۰۶/۳۰
مهدی روان‌شاد نیا ravanshadnia@srbiau.ac.ir			* نویسنده مسئول: پست الکترونیکی:			

۱- 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 دی‌اکسیدکربن خواهد شد. باتوجه به اینکه در گزارش چشم‌انداز انرژی جهان در سال ۲۰۲۰ در حدود ۵۵ درصد مصرف انرژی در ساختمان‌ها است، بنابراین هرگونه راهکاری در کاهش این مصرف می‌تواند بسیار تأثیرگذار باشد. کاهش منابع فسیلی، گرمایش جهانی، صنعتی شدن و رشد جمعیت چالش‌هایی را برای بخش انرژی ایجاد می‌کند [۱]. همچنین افزایش مصرف انرژی، سبب تولید و انتشار ۳۰ درصد سالانه گازهای گلخانه‌ای^۳ در سال ۲۰۱۳ در جهان شده است [۲]. در شرایط کنونی ایران با جمعیتی 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. 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 بشکه 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 تأثیر قرار خواهند گرفت. ادامه این روند علاوه بر ایجاد تبعات زیست‌محیطی می‌تواند بحران بسیار جدی در زمینه اقتصادی را در پی داشته باشد [۳].

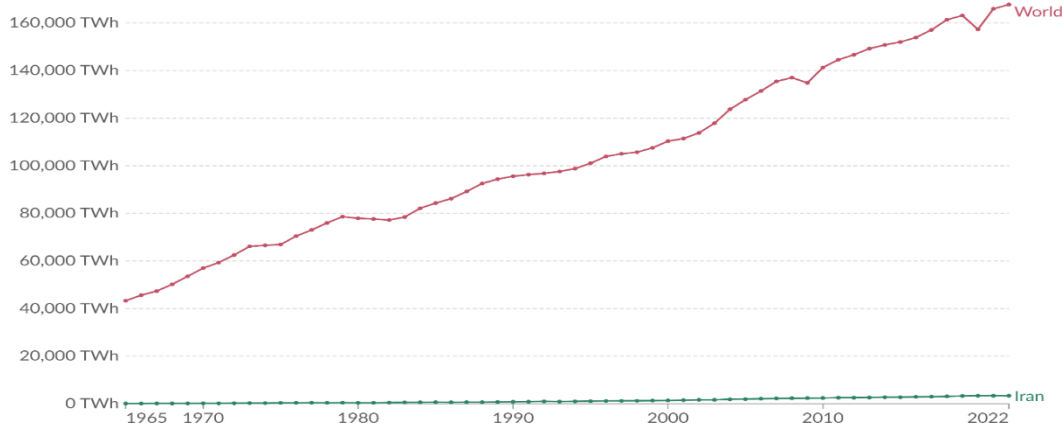
مصرف انرژی در جهان هر چند که در برخی سال‌ها نزولی بوده؛ ولی در کل روندی صعودی داشته و در سال ۲۰۲۲ به ۱۶۷۷۸۸ تریلیون وات‌ساعت رسیده است. در ایران این روند همواره صعودی بوده و در سال ۲۰۲۲ به میزان ۳۳۷۷ تریلیون وات‌ساعت رسیده است. این روند در نمودار شماره ۱ نشان داده شده است. هرگاه این مقدار مصرف انرژی را بر جمعیت تقسیم کنیم، وضعیت وخیم کشور ایران مشخص‌تر می‌شود.

میزان متوسط مصرف انرژی برای هر نفر در جهان ۲۱۰۳۹ کیلووات‌ساعت و در آسیا این عدد به ۱۹۱۴۰ کیلووات‌ساعت کاهش می‌یابد. درحالی‌که متوسط مصرف انرژی برای هر نفر در ایران ۳۸۱۳۳ کیلووات‌ساعت است. نمودار شماره ۲ این موضوع را نشان می‌دهد.

Primary energy consumption

Primary energy consumption is measured in terawatt-hours, using the substitution method.

Our World
in Data

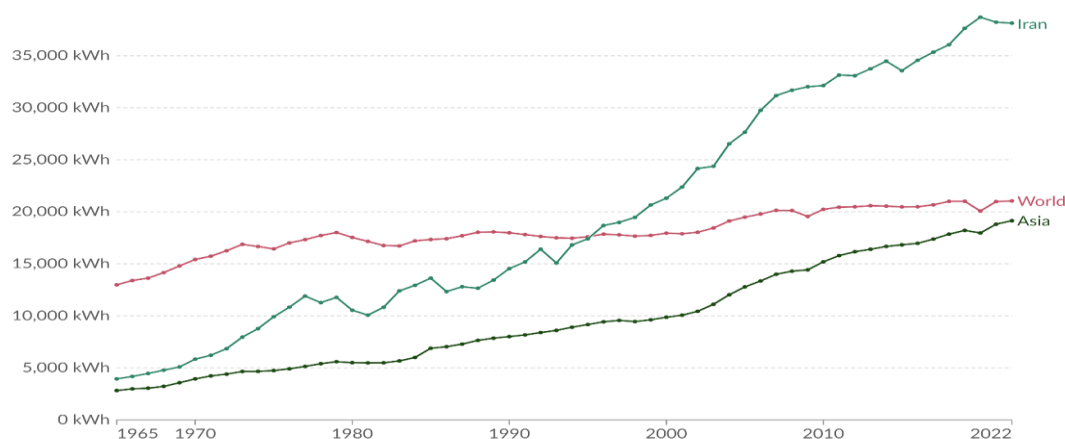


نمودار ۱: مصرف انرژی در جهان و ایران.

³ GreenHouse Gases (GHG)

Energy use per person

Measured in kilowatt-hours per person. Here, energy refers to primary energy using the substitution method.

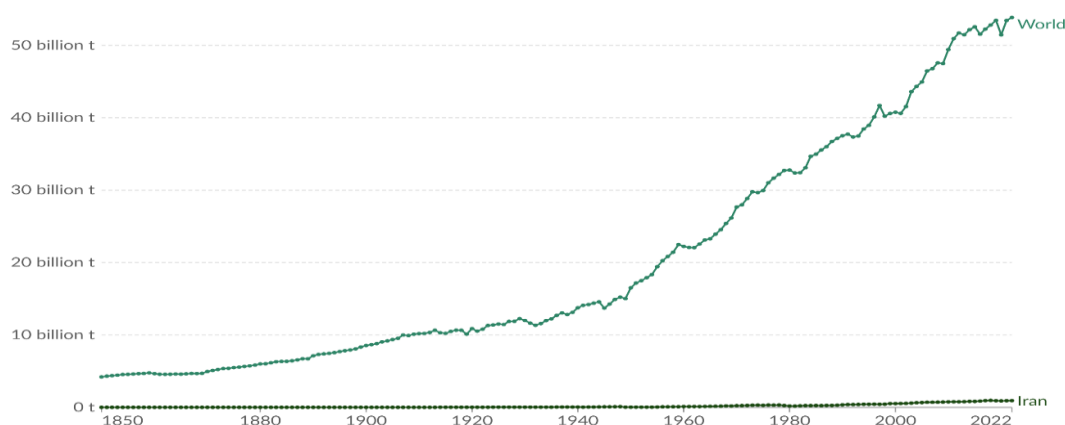
Our World
in Data

نمودار ۲: متوسط مصرف انرژی برای هر نفر در جهان، آسیا و ایران.

با بررسی روند تولید گازهای گلخانه‌ای در جهان مشاهده می‌شود که این روند تنها در برخی مقاطع نزولی بوده و در کل روندی صعودی را طی کرده و در سال ۲۰۲۲ مقدار آن ۵۳/۸۵ میلیارد تن بوده است. می‌توان گفت این روند در ایران همواره صعودی بوده و در سال ۲۰۲۲ به ۹۳۵/۳۵ میلیون تن رسیده است. نمودار شماره ۳ این مقایسه را نشان می‌دهد. سهم ایران در انتشار گازهای گلخانه‌ای در این سال ۱/۷۴ درصد از کل جهان بوده است. اگر تنها میزان انتشار گاز دی‌اکسیدکربن را محاسبه کنیم، مقدار آن در سال ۲۰۲۲ در ایران ۶۹۰/۶۴ میلیون تن بوده که ۱/۸۶ درصد از کل تولید جهان است. این نکته نشان می‌دهد که وضعیت تولید و انتشار گاز دی‌اکسیدکربن نسبت به سایر گازهای گلخانه‌ای در ایران، وضعیت وخیم‌تری دارد. سهم ایران از انتشار گاز دی‌اکسیدکربن در نمودار شماره ۴ نشان داده شده است. نمودارهای شماره ۱ تا ۴ از سایت www.ourworldindata.org استخراج شده‌اند.

Greenhouse gas emissions

Greenhouse gas emissions include carbon dioxide, methane and nitrous oxide from all sources, including land-use change. They are measured in tonnes of carbon dioxide-equivalents over a 100-year timescale.

Our World
in Data

نمودار ۳: روند تولید گازهای گلخانه‌ای در ایران و جهان.

Share of global CO₂ emissionsCarbon dioxide (CO₂) emissions from fossil fuels and industry. Land-use change is not included.Our World
in Data

نمودار ۴: سهم ایران از انتشار گاز دی‌اکسید کربن در جهان.

۲- مرور تحقیقات انجام شده

پدروسو و همکاران در سال (۲۰۲۰) پژوهشی با عنوان خصوصیات یک سیستم عایق حرارتی دیوار خارجی چندلایه با کاربرد در آب‌وهوای مدیترانه‌ای، انجام داده‌اند. این تحقیق عملکرد یک سیستم عایق حرارتی چندلایه را با یک فوق عایق حرارتی مورد بحث قرار می‌دهد و تحت شرایط آب‌وهوای مدیترانه‌ای مقایسه می‌کند. مجموعه‌ای از آزمایش‌های مکانیکی، فیزیکی و ریزساختاری بر روی عایق‌ها انجام می‌شود و در نهایت بهبود عملکرد مکانیکی و مقاومت در برابر آب، زمانی که لایه‌های محافظ در یک سیستم چندلایه اعمال می‌شوند، عملکرد بهتری را نشان می‌دهند. هنگامی که عملکرد آن با سایر محصولات چندلایه در حال حاضر در بازار مقایسه می‌شود، این راه‌حل جدید نتایج قابل‌رقابتی را ارائه می‌دهد که نشان‌دهنده بهبود عملکرد آنها در شرایط عملیاتی واقعی است [۴].

سولر و همکاران در سال (۲۰۲۰) تحقیقی انجام دادند با عنوان: استفاده از برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح برای به‌حداقل‌رساندن انتشار دی‌اکسید کربن مجسم شده در قسمت غیرشفاف یک نما. آنها در این تحقیق با در نظر گرفتن کربن نهفته در مصالح ساخت پوسته خارجی ساختمان و دخیل کردن دیگر پارامترهای ساخت نما نظیر حداکثر انتقال حرارتی مجاز، ضخامت دیوار، مصالح لایه‌های مختلف دیوار، به حداقل کردن میزان دی‌اکسید کربن با استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی، پرداختند. با انتخاب ۷ لایه مختلف برای دیوارها و تعریف ۷۰ سناریو مختلف، در نهایت به این نتیجه رسیدند که انتخاب مصالح مناسب می‌تواند تا ۷۸/۵٪ میزان انتشار کربن نهفته را کاهش دهد [۵].

محمود و همکاران در سال (۲۰۲۰) تحقیقی با عنوان شبیه‌سازی مقایسه‌ای عملکرد انرژی برای طراحی غیرفعال و طراحی مرسوم انجام داده‌اند. نمونه مورد مطالعه آنها یک ساختمان اداری در قاهره مصر است. برای انجام این کار، آنها شبیه‌سازی را با کمک نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر و با استفاده از داده‌های آب‌وهوای تولیدشده در سایت متونورم انجام دادند. ویژگی‌های طراحی غیرفعال پیشنهادی آنها شامل حیاط، دیوارهای خارجی با پوشش دو جداره، سایبان و سیستم تهویه متقابل بود. نتایج تحقیق آنها نشان داد که طراحی غیرفعال نسب به حالت پایه همان ساختمان با طراحی معمولی، منجر به کاهش ۱۱ درصدی در مصرف انرژی سالیانه می‌شود. [۶].

باتارد و همکاران در سال (۲۰۱۸) پژوهشی انجام داده‌اند با نام، روش پیش‌بینی عملکرد حرارتی بلندمدت با پانل‌های عایق خلأ نصب‌شده در کاربردهای عایق حرارتی ساختمان. پانل‌های عایق خلأ محصولات فوق عایق حرارتی هستند و برای تخمین عملکرد حرارتی بلندمدت آنها به مدل‌سازی نیاز است. آنها در این مقاله روشی برای این شبیه‌سازی ارائه دادند. نتایج شبیه‌سازی‌ها آنها نشان داد که مواد هسته و شرایط دمایی و رطوبت خارجی اهمیت بسیار زیاد روی خصوصیات پانل‌ها دارد [۷].

جوی و همکاران در سال (۲۰۱۳) تحقیقی با عنوان ویژگی‌های بار و استراتژی‌های عملیاتی ساختمان یکپارچه چند طبقه با نمای دوپوسته انجام داده‌اند. آنها تجزیه و تحلیل بار حرارتی را بر روی یک نمونه مورد مطالعه در کره جنوبی انجام دادند و نتایج شبیه‌سازی را با مقادیر واقعی مقایسه نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد نمای دو پوسته منجر به کاهش ۱۵/۸٪ در مصرف انرژی گرمایشی و ۷/۲٪ در مصرف انرژی سرمایشی می‌شود [۸].

نوایی و همکاران در سال (۱۴۰۲) در تحقیقی با عنوان تاثیر استفاده از شکاف هوایی در دیوارها بر کاهش مصرف انرژی یک ساختمان مسکونی، 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) را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. 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. به طوری که 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 است [۳].

میرسعیدی و میررشید در سال (۱۳۹۹) در تحقیقی با نام بررسی میزان تأثیر سامانه دیوار ترومب بر آسایش حرارتی در اقلیم معتدل و مرطوب (مطالعه موردی ساختمان مسکونی در گنبدکاووس) به تأثیر استفاده از سامانه دیوار ترومب بر دمای هوا در داخل ساختمان مسکونی در گنبدکاووس در دو حالت گرمایش و سرمایش با استفاده از نرم‌افزار دیزاین بیلدر پرداخته‌اند. نتایج این شبیه‌سازی نشان می‌دهد که سامانه دیوار ترومب می‌تواند در گرمایش در اقلیم موردنظر مفید باشد؛ ولی در بهبود شرایط سرمایشی ساختمان نقش کمتری دارد که باتوجه به مسائل اقتصادی و فنی باید درباره نقش این سامانه در کاهش مصرف انرژی مطالعه بیشتری انجام گیرد. [۹].

فتحعلیان و کارگر در سال (۱۳۹۹) در تحقیقی با عنوان بررسی تأثیر راهکارهای مختلف بهینه‌سازی انرژی در رده‌بندی انرژی ساختمان به وسیله نرم‌افزار دیزاین بیلدر (مطالعه موردی: ساختمان اداری) به تأثیر حالت‌های گوناگون جداره‌ها در نماهای دوپوسته با بهره‌گیری از نرم‌افزار دیزاین بیلدر پرداخته‌اند. نتیجه حاصل نشان می‌دهد که در نمای دوپوسته تغییر در تعداد جداره لایه درونی در کاهش مصرف انرژی مؤثرتر است و تغییر در تعداد جداره لایه بیرونی در جهت کاهش مصرف انرژی نقشی ایفا نمی‌کند و حضور بیشتر تابش آفتاب در جبهه جنوبی باعث می‌شود که استفاده از نمای دوپوسته در این جبهه مؤثرتر باشد همچنین راهکارهای به کارگیری سایبان افقی خارجی و حذف سایبان داخلی، جایگزینی پنجره با شیشه‌های دوجداره کم گسیل به جای تک‌جداره و نصب یک ورق عایق حرارتی در جداره خارجی ساختمان بررسی شد که به ترتیب ۲/۱۵، ۴/۱۸ و ۲/۸ درصد کاهش مصرف انرژی را نسبت به حالت معمولی به همراه داشته است. [۱۰].

فتحعلیان و کارگر شریف‌آباد در سال (۱۳۹۶) پژوهشی با نام بررسی تأثیر تعویض پنجره با شیشه‌های دوجداره بجای تک‌جداره در ساختمان اداری در اقلیم سمنان به کمک نرم‌افزار دیزاین بیلدر انجام داده‌اند. آنها 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 سایه‌بان‌های داخلی بودند. نتایج شبیه‌سازی آن‌ها نشان داد صرفه‌جویی انرژی سالیانه به میزان ۱۲٪ در بار سرمایشی، ۲٪ در بار گرمایشی و ۱۱٪ در بار کلی ساختمان مورد مطالعه بوده است. [۱۱].

کارگر شریف‌آباد و جلیلیان در سال (۱۳۹۵) در پژوهشی با نام رده‌بندی انرژی چند ساختمان مسکونی طبق استاندارد ملی در شهر قم و بررسی اثر چند عامل مؤثر بر آن، با بررسی شاخص شدت مصرف انرژی سالیانه ۱۳ واحد مسکونی با ویژگی‌های متفاوت، نشان دادند استفاده از مصالح نوین نما مانند متال برد (ساندویچ پانل دکوراتیو) به جای آجرنما، پنجره دوجداره به جای تک‌جداره و سیستم گرمایشی نیمه‌متمرکز به جای بخاری و آبگرم‌کن، شدت مصرف انرژی را تا حد قابل قبولی کاهش می‌دهد [۱۲].

شرقی و عظیمی فریدنی در سال (۱۳۹۵) پژوهشی با نام نقش فرم سقف در کاهش هدررفت انرژی با معیار انرژی تابشی دریافتی انجام دادند. با نرم افزارهای رویت^۴ و انرژی پلاس^۵، تأثیر چهار نوع سقف از جمله تخت، یک طرفه، دو طرفه و چهار طرفه با زوایای مختلف را مقایسه کردند و مناسب ترین سقف و زاویه آن را در سقف های شیب دار با مساحت کف ثابت با توجه به متوسط دمای متوسط تشعشی در مدل های بررسی شده نشان دادند [۱۳].

شهیدیان و همکاران در سال (۱۳۹۴) در تحقیقی با نام بررسی برچسب انرژی ساختمان در ایران با رویکرد مدیریت مصرف انرژی، یک نمونه ساختمان غیرمسکونی در شرایط اقلیمی مختلف را ممیزی و انطباق آن با مقررات ملی ساختمان جهت اخذ برچسب انرژی با رویکرد مدیریت مصرف انرژی را بررسی کرده اند. نتیجه تحقیق آنها از میان چند راه حل مختلف از جمله تغییر رنگ دیوار، تغییر رنگ سقف، عایق دیوار، عایق سقف، سایبان، پنجره سه جداره و غیره، جهت کاهش مصرف انرژی، نشان داد که عایق دیوارها بیشترین تأثیر را در اقلیم های مختلف آب و هوایی دارد [۱۴].

۳- شرح مسئله

پژوهش های فراوانی در زمینه کاهش تولید و انتشار دی اکسید کربن و گازهای گلخانه ای در صنعت ساخت و ساز در سطح بین المللی و ملی انجام شده است. به طور کلی می توان این تحقیقات را به سه دسته تقسیم کرد. تحقیقاتی که به مرحله قبل از ساخت و ساز پرداخته و تمرکز پژوهش را بر کربن نهفته معطوف داشته اند. تحقیقاتی که به مرحله ساخت و ساز پرداخته اند و کربن انتشار یافته ناشی از مصرف انرژی برای ساخت و ساز را بررسی کرده اند. دسته سوم تحقیقاتی هستند که مرحله بعد از ساخت و دوران بهره برداری را هدف قرار داده اند و انتشار کربن ناشی از مصرف انرژی جهت تأمین گرمایش، سرمایش، روشنایی و غیره را مورد بررسی قرار دادند.

خلاً و کمبود اصلی که در تحقیقات پیشین مشاهده می شود بی توجهی به مجموع کربن نهفته و کربن انتشار یافته در طی دوره بهره برداری است و در این میان تحقیقات بسیار کمتری به هر سه مرحله و یا حتی دو مرحله از مراحل فوق پرداخته اند.

بنابراین، در این پژوهش کوشش شده است تا با اندازه گیری میزان انتشار کربن در ساختمان ها در طول دوره بهره برداری و قبل از آن، به روش های عملی جهت کاهش اثرات صنعت ساخت و ساز بر محیط زیست پرداخته شود.

۴- روش انجام تحقیق

باتوجه به ماهیت داده ها، این پژوهش یک تحقیق کمی بوده و باتوجه به هدف آن، این پژوهش یک تحقیق کاربردی^۶ است. همچنین از لحاظ روش گردآوری داده ها، هدف این پژوهش پیش بینی متغیرهای وابسته (میزان انتشار دی اکسید کربن، کربن نهفته و کربن نهفته معادل) بر اساس متغیرهای مستقل (عایق های حرارتی) است. از این رو این تحقیق یک تحقیق همبستگی^۸ است.

در بحث گردآوری اطلاعات مربوط به ادبیات موضوع و پیشینه پژوهش از روش های کتابخانه ای و جهت تجزیه و تحلیل داده های ورودی و دریافت اطلاعات خروجی مورد نیاز تحقیق از نرم افزار دیزاین بیلدر^۹ استفاده شده است.

در ابتدا ساختمان مورد مطالعه در نرم افزار دیزاین بیلدر مدل گردید. سپس نوع کاربری ساختمان، تعداد افراد ساکن موقعیت جغرافیایی ساختمان (داده های آب و هوایی) و کاربری بخش های مختلف ساختمان تعریف شد. در مرحله بعد نوع مصالح تمامی المان ها تعریف شد (دیوارهای خارجی، دیوارهای داخلی، کف ها، سقف ها، درها، پنجره ها و غیره). در مرحله بعد انواع وسایل، سیستم ها و برخی ابزار موجود در ساختمان تعریف شدند (نوع روشنایی ها، کامپیوترها، تأسیسات از قبیل سرمایشی، گرمایشی، آب گرم کن و غیره). در انتها با

⁴ Revit

⁵ Energy Plus

⁶ Quantitative Research

⁷ Applied Research

⁸ Correlational Research

⁹ Design Builder

¹⁰ zones

ثابت نگه داشتن مشخصات تمامی المان‌ها و تنها با تغییر در لایه عایق پوسته خارجی ساختمان، خروجی‌های نرم‌افزار (هدررفت انرژی گرمایی، سرمایی، انتشار کربن و غیره) در سناریوهای مختلف با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفتند. در این تحقیق از نرم‌افزار دیزاین بیلدر نسخه ۶.۱۰.۰۰۶ استفاده شده است.

۴-۱- نرم‌افزار دیزاین بیلدر

نرم‌افزار دیزاین بیلدر برای مدل‌سازی ساختمان از جنبه‌های مختلف مانند فیزیک ساختمان (مصالح ساختمانی)، معماری ساختمان، سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی، سیستم روشنایی و غیره کاربرد داشته و قابلیت مدل‌سازی همه جنبه‌های ساختمان را دارد. به جز مدل‌سازی بار گرمایشی و سرمایشی ساختمان، مصارف مختلف انرژی ساختمان از قبیل مصرف انرژی گرمایشی، سرمایشی، روشنایی، لوازم خانگی، آب گرم مصرفی و غیره را به صورت دینامیک مدل‌سازی می‌نماید. این نرم‌افزار همچنین قابلیت محاسبه میزان روشنایی روز و حتی مدل‌سازی سی اف دی^{۱۱} را دارد. از دیگر قابلیت‌های نرم‌افزار مدل‌سازی تهویه طبیعی و مکانیکی، محاسبه آسایش حرارتی در فضاهای داخلی ساختمان، میزان اتلاف و دریافت انرژی از بخش‌های مختلف ساختمان است. نتایج مدل‌سازی‌ها همچنین برای کل سال، برای ماه‌های مختلف و نیز به صورت روزانه و ساعتی قابل استخراج است. نتایج همه مدل‌سازی‌ها همچنین برای کل ساختمان، طبقه‌های مختلف و نیز تک فضاهای ساختمان قابل استخراج است. از قابلیت‌های ویژه این نرم‌افزار امکان استخراج نتایج مدل‌سازی به صورت دیاگرام و یا جداول بوده که می‌تواند برای تجزیه و تحلیل‌های بعدی استفاده گردد.

۴-۲- معرفی ساختمان مورد مطالعه

ساختمان مورد مطالعه در شهر تهران واقع شده است ساختمان دارای ۵ طبقه و مساحت هر طبقه در حدود ۱۰۰ مترمربع است.

✓ سقف آخر (پشت‌بام) ۵ لایه تعریف شد. این لایه‌ها عبارت‌اند از:

- لایه اول ایزوگام (لایه محافظ پلیمری بر پایه قیر و الیاف مصنوعی) به ضخامت ۳ میلی‌متر
- لایه دوم پلاستر سیمان ضخامت ۲ سانتی‌متر
- لایه سوم فوم بتن به ضخامت ۲۰ سانتی‌متر
- لایه چهارم بتن مسلح به ضخامت ۲۰ سانتی‌متر
- و لایه آخر گچ و خاک ضخامت ۲ سانتی‌متر

✓ دیوارهای داخلی ۳ لایه

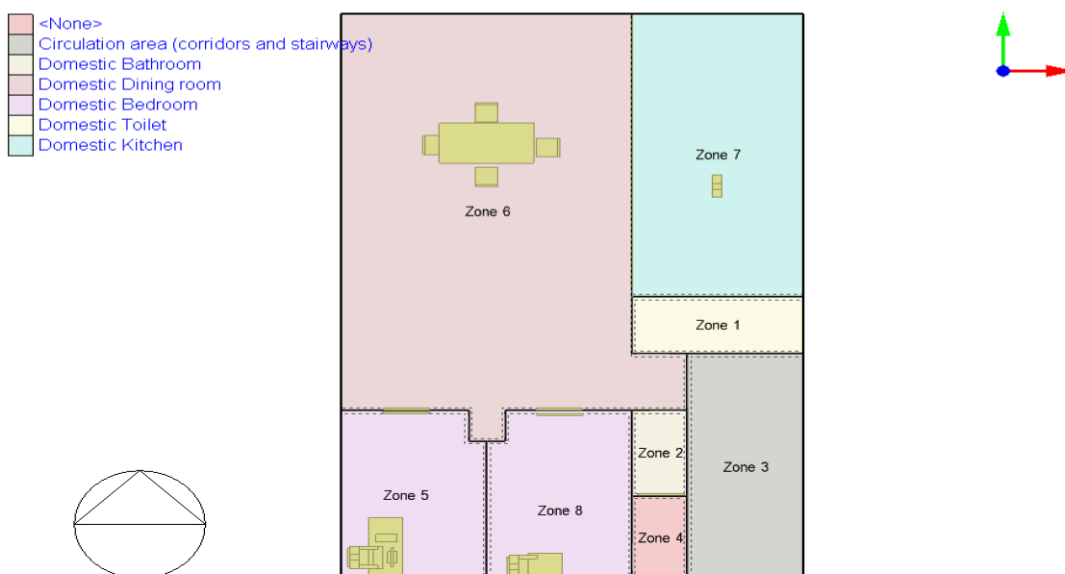
- لایه اول گچ و خاک ۲ سانتی‌متر
- لایه دوم بلوک سبک بتنی هوادار شده^{۱۲} با ضخامت ۱۰ سانتی‌متر
- لایه سوم گچ ۲ سانتی‌متر

✓ کف ساختمان (کف پارکینگ) ۴ لایه

- لایه اول سنگ گرانیت ضخامت ۳ سانتی‌متر
- لایه دوم پلاستر سیمان ۲ سانتی‌متر
- لایه سوم خاک دستی ۲۰ سانتی‌متر
- لایه چهارم بتن مصلح ضخامت ۱ متر

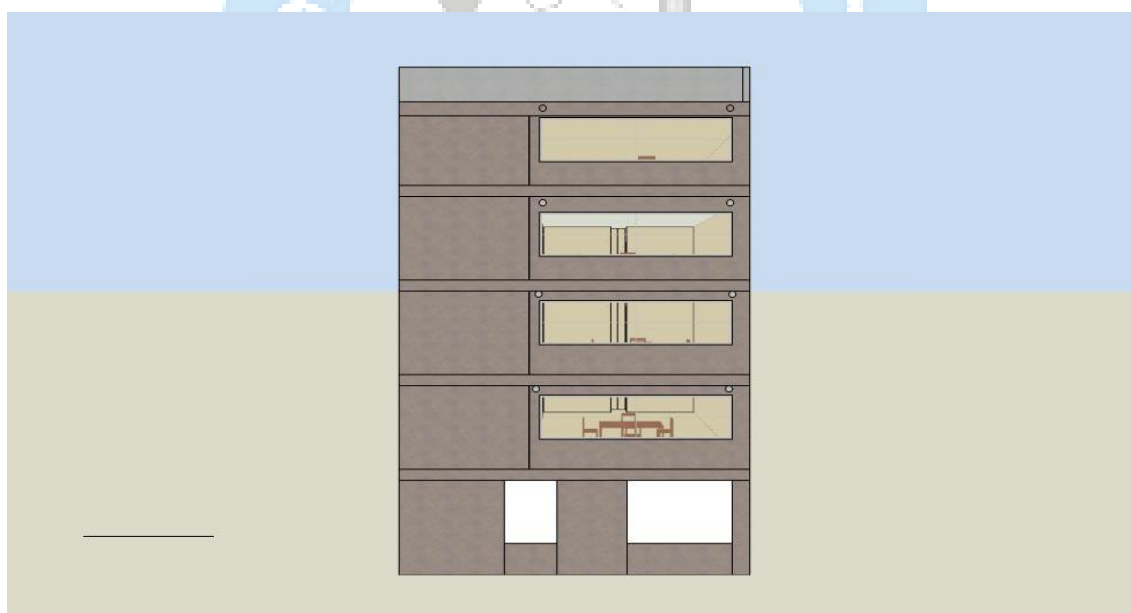
¹¹ CFD

¹² Autoclaved Aerated Concrete (AAC)



شکل ۱: پلان ساختمان.

هم چنین به منظور درک بهتر از پروژه خروجی سه بعدی ساختمان از نرم افزار ارائه شده است که در شکل شماره ۲ قابل ملاحظه است.



شکل ۲: خروجی سه بعدی ساختمان.

۵- یافته‌های تحقیق:

در این پژوهش به تأثیر استفاده از لایه عایق در دیوار خارجی سازه‌ها و به مقایسه میزان انتشار کربن در سناریوهای مختلف پرداخته شده است. برای درک بهتر این موضوع در ادامه با نشان دادن نمونه‌هایی از خروجی نرم افزار گزارش میزان تولید کربن نهفته برای تولید لایه عایق و همچنین میزان انتشار کربن طی یک دوره یک‌ساله بهره‌برداری از ساختمان را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

به طور نمونه همان طور که در جدول شماره ۱ مشاهده می گردد میزان کربن نهفته جهت تولید لایه عایق چوب پنبه آورده شده است و در جدول شماره ۲ این مقدار جهت تولید لایه عایق پشم شیشه نشان داده شده است. در جدول شماره ۳ و ۴ میزان انتشار کربن یک ساله طی دوره بهره برداری ساختمان آورده شده است.

جدول ۱: کربن نهفته مصالح با استفاده از چوب پنبه به عنوان لایه عایق.

Materials Embodied Carbon and	Area (m2)	Embodied	Equivalent	Mass (kg)
foam beton	912.3	0.0	0.0	26557.5
Cork - board	700.5	212.9	212.9	1120.7
Stone - granite	150.0	5054.4	5443.2	12960.0
Soil - earth common	150.0	876.0	876.0	43800.0
Cement/plaster/mortar - cement plaster	1762.8	11789.3	11789.3	62049.0
Ceramic glazed	762.3	12387.4	13149.7	19057.5
Painted Oak	42.1	0.0	0.0	1031.4
Gypsum Plastering	2423.1	18415.3	19384.5	48461.3
Concrete Reinforced (with 2% steel)	1062.3	247350.2	263308.3	797904.0
AAC Block	1105.6	134519.4	138595.8	407634.7
Sub Total		430605.0	452759.8	1420576.1

جدول ۲: کربن نهفته مصالح با استفاده از پشم شیشه به عنوان لایه عایق.

Materials Embodied Carbon and	Area (m2)	Embodied	Equivalent	Mass (kg)
foam beton	912.3	0.0	0.0	26557.5
Stone - granite	150.0	5054.4	5443.2	12960.0
Soil - earth common	150.0	876.0	876.0	43800.0
Cement/plaster/mortar - cement plaster	1762.8	11789.3	11789.3	62049.0
Ceramic glazed	762.3	12387.4	13149.7	19057.5
Painted Oak	42.1	0.0	0.0	1031.4
Gypsum Plastering	2423.1	18415.3	19384.5	48461.3
MW Glass Wool (rolls)	700.5	128.6	141.2	84.1
Concrete Reinforced (with 2% steel)	1062.3	247350.2	263308.3	797904.0
AAC Block	1105.6	134519.4	138595.8	407634.7
Sub Total		430520.7	452688.0	1419539.4

جدول ۳: انتشار کربن دوره بهره برداری با استفاده از چوب پنبه.

CO2 Production - project royal 4, Building 1

EnergyPlus Output 1 Jan - 31 Dec, Run period Year Licensed

CO2 Emissions (kg) 24796.99

جدول ۴: انتشار کربن دوره بهره‌برداری با استفاده از پشم‌شیشه.

CO2 Production - project royal 4, Building 1

EnergyPlus Output 1 Jan - 31 Dec, Run period Year Licensed

CO2 Emissions (kg) 24795.09

همچنین نمونه‌ای از خروجی مصرف انرژی در بخش‌های مختلف ساختمان در جدول ۵ و مجموع مصرف انرژی در جدول شماره ۶ نشان داده شده است.

جدول ۵: مصرف انرژی در بخش‌های مختلف ساختمان با استفاده از عایق نارگیل.

Fuel Breakdown - project royal 4, Building 1

EnergyPlus Output 1 Jan - 31 Dec, Run period Year Licensed

Room Electricity (kWh)	9543.45
Lighting (kWh)	10364.70
Heating (Gas) (kWh)	3917.57
Cooling (Electricity) (kWh)	14066.81
DHW (Gas) (kWh)	17658.32
Exterior lighting (kWh)	384.85

جدول ۶: مجموع مصرف انرژی در ساختمان با استفاده از عایق نارگیل.

Fuel Totals - project royal 4, Building 1

EnergyPlus Output 1 Jan - 31 Dec, Run period Year Licensed

Electricity (kWh)	34359.80
Gas (kWh)	21575.89

تذکر: در تمامی سناریوها سیستم‌های دیوار، بازشوها، تمامی المان‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای و سایر متغیرها، یکسان در نظر گرفته شده است و تنها لایه عایق تغییر می‌کند.

با استفاده از ۹ لایه عایق متفاوت تعداد ۱۰ سناریو مختلف تعریف شده است. سناریوهای مختلف با کدگذاری مشخص شده‌اند. در تمامی سناریوها نمای داخلی دیوار لایه گچ با ضخامت ۲ سانتی‌متر تعریف شده است. گچ با حرف (G) مشخص می‌شود. برای لایه عایق در سمت داخلی و قبل از اجرای گچکاری، عایق‌های چوب‌پنبه با حرف مشخصه (C) مغز نارگیل (CP) پشم‌شیشه (GW) تخته چن‌دلا (PW) پلی‌استایرن^{۱۳} (PS) فوم پلی‌اورتان^{۱۴} (PU) پشم‌سنگ (SW) پوسته برنج (R) پشم (W) و حالت بدون عایق (0) در نظر گرفته شده است.

¹³ Polystyrene

¹⁴ Polyurethane foam

ضخامت تمامی عایق‌ها یکسان و برابر با یک سانتی‌متر است. برای نمای ساختمان نمای سیمانی با حرف مشخصه (C) و ضخامت ۲ سانتی‌متر در نظر گرفته شده است. مصالح ساختمانی مورد استفاده برای ساخت دیوارهای خارجی با ضخامت ۱۵ سانتی‌متر بلوک بتن هوادار اتوکلاو شده (AAC) است. به عنوان مثال شکل لایه‌بندی دیوار خارجی برای سناریو G-GW-AAC-C در شکل شماره ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳: لایه‌بندی دیوار خارجی.

برای مقایسه بهتر این موضوع تمامی خروجی‌های ۱۰ سناریو مختلف در جدول شماره ۷ جمع‌آوری شده است.

جدول ۷: نتایج کربن نهفته، کربن نهفته معادل و انتشار کربن در ۱۰ سناریو مختلف.

سناریو	کربن نهفته (kg)	کربن نهفته معادل (kg)	انتشار کربن (kg)
G-0-AAC-C	436010.90	458165.70	25027.63
G-CP-AAC-C	437868.50	460096.10	24868.79
G-C-AAC-C	436223.90	458378.60	24796.99
G-GW-AAC-C	436139.50	458306.90	24795.09
G-PW-AAC-C	439188.20	461460.60	24962.66
G-PS-AAC-C	436273.60	458508.20	24800.29
G-PU-AAC-C	436641.30	458796.10	24723.33
G-R-AAC-C	436305.10	458476.70	24842.67
G-SW-AAC-C	436231.60	458401.00	24801.98
G-W-AAC-C	437040.60	459264.00	24789.26

در ستون اول جدول شماره ۵ سناریوهای مختلف کدگذاری شده‌اند. در ستون دوم مقدار دی‌اکسید کربن نهفته و در ستون سوم مقدار کربن معادل آن برای کل ساختمان نشان داده شده است. در ستون چهارم مقدار کربن انتشار یافته در طی یک سال بهره‌برداری آورده شده است. چنانچه جدول فوق را بر حسب هر کدام از موارد نام‌برده شده مرتب‌سازی کنیم، به جداول شماره ۸، ۹ و ۱۰ می‌رسیم.

جدول ۸: مرتب‌سازی بر اساس میزان کربن نهفته.

سناریو	کربن نهفته (kg)	کربن نهفته معادل (kg)	انتشار کربن (kg)
G-0-AAC-C	436010.90	458165.70	25027.63
G-GW-AAC-0-C	436139.50	458306.90	24795.09
G-C-AAC-0-C	436223.90	458378.60	24796.99
G-SW-AAC-0-C	436231.60	458401.00	24801.98
G-PS-AAC-0-C	436273.60	458508.20	24800.29
G-R-AAC-0-C	436305.10	458476.70	24842.67
G-PU-AAC-0-C	436641.30	458796.10	24723.33
G-W-AAC-0-C	437040.60	459264.00	24789.26
G-CP-AAC-0-C	437868.50	460096.10	24868.79
G-PW-AAC-0-C	439188.20	461460.60	24962.66

جدول ۹: مرتب‌سازی بر اساس میزان کربن نهفته معادل.

سناریو	کربن نهفته (kg)	کربن نهفته معادل (kg)	انتشار کربن (kg)
G-0-AAC-C	436010.90	458165.70	25027.63
G-GW-AAC-0-C	436139.50	458306.90	24795.09
G-C-AAC-0-C	436223.90	458378.60	24796.99
G-SW-AAC-0-C	436231.60	458401.00	24801.98
G-R-AAC-0-C	436305.10	458476.70	24842.67
G-PS-AAC-0-C	436273.60	458508.20	24800.29
G-PU-AAC-0-C	436641.30	458796.10	24723.33
G-W-AAC-0-C	437040.60	459264.00	24789.26
G-CP-AAC-0-C	437868.50	460096.10	24868.79
G-PW-AAC-0-C	439188.20	461460.60	24962.66

جدول ۱۰: مرتب‌سازی بر اساس میزان انتشار کربن یک‌ساله.

سناریو	کربن نهفته (kg)	کربن نهفته معادل (kg)	انتشار کربن (kg)
G-PU-AAC-0-C	436641.30	458796.10	24723.33
G-W-AAC-0-C	437040.60	459264.00	24789.26
G-GW-AAC-0-C	436139.50	458306.90	24795.09
G-C-AAC-0-C	436223.90	458378.60	24796.99
G-PS-AAC-0-C	436273.60	458508.20	24800.29
G-SW-AAC-0-C	436231.60	458401.00	24801.98
G-R-AAC-0-C	436305.10	458476.70	24842.67
G-CP-AAC-0-C	437868.50	460096.10	24868.79
G-PW-AAC-0-C	439188.20	461460.60	24962.66
G-0-AAC-C	436010.9	458165.7	25027.63

برای به‌دست‌آوردن سناریو بهینه از لحاظ مجموع کربن نهفته و انتشار کربن در دوران بهره‌برداری که هدف اصلی این تحقیق است، با فرض عمر بهره‌برداری از ساختمان‌های مسکونی شهر تهران برابر با ۳۰ سال، مجموع کربن نهفته و انتشار کربن در زمان ۳۰ سال برای هر سناریو را با هم جمع می‌کنیم. این مقدار در جدول شماره ۱۱ نشان داده شده است.

جدول ۱۱: مرتب‌سازی بر اساس مجموع دوره ۳۰ سال.

سناریو	کربن نهفته (kg)	انتشار کربن (kg)	انتشار کربن ۳۰ سال (kg)	مجموع کربن نهفته و انتشار، ۳۰ سال (kg)
G-PU-AAC-C	436641.3	24723.33	741699.9	1178341.2

G-GW-AAC-C	436139.5	24795.09	743857.7	1179997.2
G-C-AAC-C	436223.9	24796.99	743909.7	1180133.6
G-PS-AAC-C	436273.6	24800.29	744008.7	1180281.7
G-SW-AAC-C	436231.6	24801.98	744059.4	1180291.0
G-W-AAC-C	437040.6	24789.26	743677.8	1180718.4
G-R-AAC-C	436305.1	24842.67	745280.1	1181585.2
G-CP-AAC-C	437868.5	24868.79	746063.7	1183932.2
G-0-AAC-C	436010.9	25027.63	750828.9	1186839.8
G-PW-AAC-C	439188.2	24962.66	748879.8	1188068.0

در انتها به بررسی هزینه‌های تهیه و اجرای لایه‌های مختلف عایق پرداخته و باتوجه به کاهش هزینه‌های انرژی ناشی از به‌کارگیری هر یک از سناریوها، دوره بازگشت سرمایه و همچنین نسبت هزینه عایق کاری نسبت به کل هزینه‌های ساخت را حساب می‌کنیم. این محاسبات در جدول شماره ۱۲ نشان داده شده است. دوره بازگشت سرمایه از تقسیم هزینه عایق کاری مربوط به هر سناریو بر مقدار کاهش هزینه انرژی در طول یک سال نسبت به سناریو مبنا، بدست می‌آید. سناریو G-0-AAC-C به عنوان سناریو مبنا و مقدار عایق مصرفی در تمامی سناریوها ۷۰۰/۵ مترمربع است.

جدول ۱۲: محاسبات اقتصادی اجرای سناریوهای مختلف.

سناریو	مصرف برق (kWh)	مصرف گاز (kWh)	هزینه انرژی (ریال)	کاهش هزینه انرژی	هزینه اجرای عایق	دوره بازگشت سرمایه (سال)	نسبت هزینه عایق به هزینه کل ساخت
G-0-AAC-C	۳۴۴۸۹	۲۲۰۰۶	۳۵۵۴۶۹۸۰۰	-	-	-	-
G-CP-AAC-C	۳۴۳۵۹	۲۱۵۷۶	۳۵۳۹۶۳۰۷۰	۱۵۰۶۷۰۳	۹۸۰۰۰۰۰۰	۶۵۰	۱/۲ %
G-C-AAC-C	۳۴۲۹۷	۲۱۳۹۵	۳۵۳۲۵۶۰۵۰	۲۲۱۳۷۵۰	۷۵۰۰۰۰۰۰	۳۳۸۸	۹/۳ %
G-GW-AAC-C	۳۴۲۹۴	۲۱۳۹۷	۳۵۳۲۲۷۰۱۰	۲۲۴۲۷۹۰	۷۰۰۰۰۰۰۰	۳۱۲	۰/۸ %
G-PW-AAC-C	۳۴۴۴۱	۲۱۸۱۴	۳۵۴۸۹۷۵۰۰	۵۷۲۳۰۰	۲۹۶۰۰۰۰۰۰	۵۱۷۲	۳/۷ %
G-PS-AAC-C	۳۴۳۰۲	۲۱۳۹۸	۳۵۳۳۰۷۵۰۰	۲۱۶۲۳۰۰	۱۷۵۰۰۰۰۰۰	۸۱	۰/۲ %
G-PU-AAC-C	۳۴۲۴۲	۲۱۱۸۳	۳۵۲۶۰۴۱۳۰	۲۸۶۵۶۷۰	۱۷۵۰۰۰۰۰۰	۶۱۱	۲/۲ %
G-R-AAC-C	۳۴۳۳۷	۲۱۵۱۱	۳۵۳۷۱۱۸۲۰	۱۷۵۷۹۸۰	۸۱۰۰۰۰۰۰۰	۴۶۱	۱ %
G-SW-AAC-C	۳۴۳۰۴	۲۱۳۹۹	۳۵۳۳۲۷۹۸۰	۲۱۴۱۸۲۰	۵۶۰۰۰۰۰۰۰	۲۶۱	۰/۷ %

G-W-AAC-C	۳۴۲۹۲	۲۱۳۷۰	۳۵۳۱۹۴۰۳۰	۲۲۷۵۷۷۰	۴۱۵۰۰۰۰۰۰۰	۱۸۲۴	۵/۲ %
-----------	-------	-------	-----------	---------	------------	------	-------

نرم افزار دیزاین بیلدر به طور پیش فرض و به جهت سهولت محاسبات، میزان مصرف گاز را به کیلووات ساعت نمایش می دهد. جهت تعیین هزینه گاز مصرفی و تبدیل واحد آن به مترمکعب هر کیلووات ساعت بر عدد ۱۰/۴ (ارزش حرارتی هر متر مکعب گاز) تقسیم می شود.

هزینه هر کیلووات ساعت برق از جدول تعرفه های برق خانگی سال ۱۴۰۳ شرکت توزیع برق (شرکت توزیع نیروی برق تهران بزرگ tbtb.ir/taarefeh) و به طور میانگین استخراج شده است.

هزینه هر مترمکعب گاز مصرفی از جدول تعرفه های گاز خانگی سال ۱۴۰۲ شرکت گاز استان تهران (تعرفه گاز بها (ابلاغ مصوبه ۲۱ خرداد ماه ۱۴۰۲)) و به طور میانگین استخراج شده است.

۶- صحت سنجی:

در حال حاضر، یکی از جامع ترین برنامه های شبیه ساز انرژی در ساختمان، نرم افزاری با نام تجاری دیزاین بیلدر است. یکی از دقیق ترین روش های اعتبارسنجی نرم افزارهای انرژی در ساختمان، مقایسه نتایج شبیه سازی با مقادیر واقعی حاصل از ممیزی ساختمان ها است. در این روش، محققان نه تنها به دنبال اعتبارسنجی فرایند فیزیکی مدل بوده، بلکه به دنبال تبیین رفتار کاربران نیز هستند [۱۵].

تحقیقات نشان داده است که علت اصلی تفاوت بین میزان واقعی و پیش بینی شده مصرف انرژی، ناشی از خطا در داده های ورودی به نرم افزارهای شبیه سازی است.

جهت اثبات صحت نتایج تحقیق و خروجی های نرم افزار به نتایج آزمایش های موجود در وبسایت رسمی نرم افزار دیزاین بیلدر و انرژی پلاس [۱۶] و همچنین تحقیقات انجام شده توسط زمردیان و تحصیل دوست در سال (۱۳۹۴)، وایت و همکاران در سال (۲۰۰۱)، هنینگر و همکاران در سال (۲۰۰۳) و گاتی در سال (۲۰۰۳) [۲۰ - ۱۷] استناد شده است.

۷- بحث و نتیجه گیری:

۱- با بررسی جدول شماره ۸ مشخص می شود، کمترین میزان کربن نهفته مربوط به حالتی است که از لایه عایق استفاده نشده و این امر کاملاً بدیهی است. بعد از آن کمترین میزان مربوط به حالت استفاده از عایق پشم شیشه و بیشترین مقدار مربوط به تخته چندلایه است.

۲- با بررسی جدول شماره ۹ مشخص می شود، تمامی سناریوها به همان ترتیب کربن نهفته قرار دارند به جز دو مورد که ترتیب آنها جابه جا شده است. لایه پوسته برنج و پلی استایرن. این تفاوت نشان می دهد که هر چند در تولید پلی استایرن، دی اکسید کربن کمتری نسبت به پوسته برنج تولید می شود؛ ولی در مجموع گازهای گلخانه ای بیشتری تولید می شود. این نکته در مواردی که توجه به سایر گازهای گلخانه ای، مانند متان، دی اکسید سولفور، نیتروس اکساید، هیدرو فلئوئورکربن ها، سولفور هگزا فلوراید و پرفلوئورکربن ها، دارای اهمیت باشند، حائز اهمیت می شود.

۳- با بررسی جدول شماره ۱۰، میزان انتشار کربن در طی دوران بهره برداری، که ناشی از مصرف انرژی و میزان هدررفت آن از پوسته خارجی ساختمان است، مشخص می شود که کمترین میزان مربوط به استفاده از فوم پلی اورتان و بیشترین میزان مربوط به حالت عدم استفاده از لایه عایق و قبل از آن مربوط به تخته چندلایه است.

۴- با بررسی جدول شماره ۱۱، مجموع کربن نهفته و انتشار کربن در یک دوره ۳۰ ساله، مشخص می شود که استفاده از عایق پلی اورتان سناریو بهینه بوده و بعد از گذشت ۳۰ سال مقدار کربن نهفته اولیه به اضافه کربن انتشار یافته در دوران بهره برداری ۱۱۷۸/۳ تن دی اکسید کربن خواهد بود. بدترین سناریو نیز استفاده از تخته چندلایه است که ۱۱۸۸ تن دی اکسید کربن تولید می کند.

- ۵- باتوجه به میزان مجموع کربن تولید شده در سناریو G-0-AAC-C به مقدار ۱۱۸۶/۸ تن، به وضوح معلوم است که استفاده از عایق نامناسب می تواند منجر به تولید کربن بیشتر حتی نسبت به سناریو بدون عایق شود.
- ۶- با بررسی جدول شماره ۱۲، زمان بازگشت سرمایه اولیه جهت اجرای عایق های حرارتی در بهترین حالت ۸۱ سال است و این امر ناشی از هزینه پایین استفاده از منابع انرژی در ایران است. این زمان های طولانی و غیراقتصادی، علت عدم تمایل سازندگان به استفاده از عایق های حرارتی را مشخص می کند.
- ۷- باتوجه به نتایج حاصل از این تحقیق، مزایای زیست محیطی استفاده از عایق های حرارتی مناسب در کاهش میزان انتشار کربن، مشخص است و تنها عامل عدم استقبال در استفاده از این عایق ها مزایای اقتصادی کم آن است (هرچند که نسبت هزینه اجرای عایق به هزینه ساخت کل ساختمان در بسیاری از موارد کمتر از ۲ درصد است). این امر نیازمند حمایت سازمان های مربوطه از سازندگان در پرداخت برخی مشوق ها است.
- نتایج این تحقیق می تواند به کنترل و مدیریت میزان انتشار کربن در صنعت ساختمان سازی کمک کند و توسط وزارت راه و شهرسازی، سازمان نظام مهندسی ساختمان، شهرداری ها، سازمان حفاظت از محیط زیست و تمامی سازندگان بخش دولتی و خصوصی و همچنین جامعه دانشگاهی مورد استفاده قرار بگیرد.
- نکته مهم و سؤال برانگیز حاصل از نتایج تحقیق این است که آیا این نتایج در سایر کاربری ها (غیرمسکونی) و یا سایر شهرها و اقلیم های آب و هوایی نیز یکسان خواهد بود؟ توجه به این نکته و پاسخ به این پرسش می تواند راه گشای تحقیقات آینده در این زمینه باشد.



منابع:

- [1] 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, 1198-1206 [In Persian] <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.103>
- [2] 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, 410-421. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.04.084>
- [3] NAVAYI, A. M., JOUZAYI, A. F., GHAFOURI, A. & ADELI, M. M. (2024). The effect of using air gap in the walls on reducing the energy consumption of a residential building. *New practical and computational findings in mechanical systems*, 3, 56-64. [In Persian]
- [4] PEDROSO, M., FLORES-COLEN, I., SILVESTRE, J. D., GOMES, M. G., SILVA, L., SEQUEIRA, P., & de BRITO, J. (2020). Characterisation of a multilayer external wall thermal insulation system. Application in a Mediterranean climate. *Journal of Building Engineering*, 30, 101265. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101265>
- [5] SOLER, D., SALANDIN, A. & BEVIVINO, M. 2020. Using integer Linear Programming to minimize the embodied CO2 emissions of the opaque part of a façade. *Building and Environment*, 177, 106883. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106883>
- [6] 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, 699-704. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.09.052>
- [7] 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, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.08.006>
- [8] 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, 85-198 <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.01.015>
- [9] MIRRASHID, N. & MIRSAEEDIE, L. (2020). The Effect of Trombus Wall System on Thermal Comfort in Temperate and Humid Climates(Case study of a residential building in Gonbad Kavous). *journal of environmental science and technology*, 22(6),281-294 [In Persian]. <https://doi.org/10.22034/jest.2018.24977.3427>
- [10] FATHALIAN, A. & KARGARSHARIFABAD, H. (2020). Investigating the Effect of Different Energy Saving Strategies on Energy Rating of Building by Design Builder Software. *journal of environmental science and technology*, 22(7),199-214 [In Persian].
- [11] FATHALIAN, A. & SHARIFABAD, H. K. (2018). Investigating the effect of replacing windows with double-glazed glass instead of single-glazed in an office building in Semnan region with the help of Design Builder software. *Mechanical and Vibration Engineering Journal*, 8, 14-19. [In Persian]
- [12] KARGAR, S. H. & JALILIAN, M. (2016). Energy rating of residential buildings in the city of Qom according to the national standard and the effect of several factors affecting it. *Environmental science and technology*, 22.[In Persian] <https://doi.org/10.22034/jest.2019.42973.4590>
- [13] SHARGHI, A. & AZIMI, N. (2017). The role of slope shape roofs in heating energy consumption Based on energy gain. *Sustainable architecture and urbanism*, 4(2), 65-74 [In Persian]. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.25886274.1395.4.2.6.5>
- [14] SHAHIDIAN, A., RIAZI, F. & AMIN, M. M. (2015). Investigating building energy labels in Iran with the approach of energy consumption management. *Journal of mechanical engineering*, 24, 47-56. [In Persian] <https://dorl.net/dor/20.1001.1.16059719.1394.24.3.4.6>
- [15] POLLY, B., KRUIS, N. & ROBERTS, D. (2011). Assessing and improving the accuracy of energy analysis for residential buildings. *National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States)*.
- [16] -EnergyPlus Testing with ANSI/ASHRAE Standard 140-2001

- EnergyPlus Testing with HVAC BESTEST Part 1 - Tests E100 to E200
- DesignBuilder v6 Compliance With ANSI/ASHRAE/ACCA Standard 183-2007
- ANSI/ASHRAE Standard 140-2017 Building Thermal Envelope and Fabric Load Tests DesignBuilder v6.1 with EnergyPlus v8.9 27 Jan 2021
- ANSI/ASHRAE Standard 140-2017 Space-Cooling Equipment Performance Analytical Verification Tests AE101 to AE445 DesignBuilder v6.1 with EnergyPlus v8.9 27 Jan 2021
- ANSI/ASHRAE Standard 140-2017
- Space-Cooling Equipment Performance Analytical Verification Tests CE100 to CE200 DesignBuilder v6.1 with EnergyPlus v8.9 27 Jan 2021
- ANSI/ASHRAE Standard 140-2017 Space-Heating Equipment Performance Tests
- HE100 to HE230 DesignBuilder v6.1 with EnergyPlus v8.9 27 Jan 2021
- [17] Zomorodian Z S, Tahsildoost M. (2016). Validation of Energy Simulation Programs: An Empirical and Comparative Approach. *IJE 2016*; 18 (4) [In Persian]. <http://necjournals.ir/article-1-803-fa.html>
- [18] Witte, M. J., Henninger, R. H., Glazer, J., & Crawley, D. B. (2001). Testing and validation of a new building energy simulation program. Proceedings, Building Simulation, International Building Performance Simulation Association (IBSPA), Rio de Janeiro, Brazil.
- [19] Henninger, R. H., Witte, M. J., & Crawley, D. B. (2003, August). Experience testing EnergyPlus with the IEA HVAC BESTEST E100-E200 Series. In Proceedings of Building Simulation.
- [20] Ghatti, V. (2003). Experimental validation of the EnergyPlus low-temperature radiant simulation. Transactions, 109(2), 614-623.

