

Evaluation of energy efficiency optimization based on building Life Cycle Energy Analysis (Case study; an educational building in Tehran)

Saeid Giahchy¹, Seyed Azim Hosseini^{2*}, Mahdiah Akhbari³, Ebrahim Safa⁴, Abbas Akbarpour⁵

1- Ph.D. Student, Department of Civil Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

2- Associate Professor, Department of Civil Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

3- Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Electronic Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

4- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

5- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

ABSTRACT

When considering energy efficiency optimization in construction project management, one of the best evaluation criteria is the building life cycle energy analysis; that, includes the embodied energy in the building and the operating energy during the life of the building. The present study consists of two steps; 1- Library, statistical and descriptive study (selection of suitable options for life cycle energy optimization of buildings) and 2- Case study (analysis of embodied energy of construction and operation of the building through modeling in energy simulator software design Builder). The results of the life cycle energy analysis of a real educational building in Tehran with a lifespan of 50 years, taking into account ground heating, in the three states of this building; basic available, optimal and optimal with a green roof showed; That, the amount of life cycle energy of the studied buildings is 51.86, 44.82 and 43.89 GJ / m², respectively. Also, the annual energy consumption during the operation period of the basic educational building in Tehran was estimated to be equal to 0.80 GJ / m², although this amount was in the range of values provided in global research, but the amount of energy consumption during the operation period of this building Compared to global cultivars, it is a large and significant amount. The overall results indicated; that, The energy consumption during the life of the studied building in the optimal and optimal with a green roof state was less about 24,220 GJ (equivalent to 3958 barrels of crude oil) and 27,420 GJ (equivalent to 4480 barrels of crude oil), respectively, compared to the existing base state.

ARTICLE INFO

Receive Date: 19 January 2022

Revise Date: 25 April 2022

Accept Date: 27 April 2022

Keywords:

Energy Efficiency

Energy Saving

Life Cycle Energy

Builder Industry

Design Builder

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: <https://doi.org/10.22065/jsce.2022.325364.2696>

*Corresponding author: Seyed Azim Hosseini

Email address: azim_hosseini@aut.ac.ir

ارزیابی بهینه سازی بهره وری انرژی بر اساس تحلیل انرژی چرخه عمر ساختمان

(مطالعه موردی؛ یک ساختمان آموزشی در شهر تهران)

سعید گیاه چی^۱، سید عظیم حسینی^{۲*}، مهدیه اخباری^۳، ابراهیم صفا^۴، عباس اکبرپور^۵

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۳- استادیار، دانشکده مهندسی صنایع، واحد الکترونیکی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۴- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۵- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

چکیده

هنگامیکه جنبه بهینه سازی بهره وری انرژی در مدیریت پروژه های ساختمانی مد نظر قرار داده شود، یکی از بهترین معیارهای ارزیابی، تحلیل انرژی چرخه عمر ساختمان، شامل انرژی نهفته در ساخت و ساز و انرژی بهره برداری در طول عمر ساختمان است. پژوهش حاضر شامل دو گام؛ ۱- مطالعه کتابخانه ای، آماری و توصیفی (انتخاب گزینه های مناسب جهت بهینه سازی انرژی چرخه عمر ساختمان) و ۲- مطالعه موردی (تحلیل انرژی نهفته ساخت و ساز و بهره برداری ساختمان از طریق مدلسازی در نرم افزار شبیه ساز انرژی دیزاین بیلدر) است. نتایج تحلیل انرژی چرخه عمر یک ساختمان آموزشی واقعی در شهر تهران با طول عمر ۵۰ سال، با در نظر گرفتن گرمایش زمین، در سه حالت پایه ای موجود، بهینه و بهینه ی دارای بام سبز نشان داد؛ که مقدار انرژی چرخه عمر ساختمانهای مورد مطالعه بترتیب معادل ۵۱،۸۶، ۴۴،۸۲ و ۴۳،۸۹ گیگاژول بر متر مربع می باشد. همچنین مصرف انرژی سالیانه در دوره بهره برداری ساختمان آموزشی پایه ای موجود در اقلیم تهران، معادل ۰،۸۰ گیگاژول بر متر مربع برآورد گردید، گرچه این مقدار در بازه مقادیر ارائه شده در تحقیقات جهانی قرار داشت ولی مقدار مصرف انرژی دوره بهره برداری این ساختمان در مقایسه با ارقام جهانی مقدار زیاد و قابل توجهی می باشد. نتایج کلی حاکی از آن بود؛ که مصرف انرژی در طول عمر ساختمان مورد مطالعه، در حالت بهینه و بهینه ی دارای بام سبز نسبت به ساختمان پایه موجود، بترتیب حدود ۲۴۲۲۰ گیگاژول (معادل ۳۹۵۸ بشکه نفت خام) و ۲۷۴۲۰ گیگاژول (معادل ۴۴۸۰ بشکه نفت خام) کمتر می باشد.

کلمات کلیدی: بهره وری انرژی، صرفه جویی در انرژی، انرژی چرخه عمر، صنعت ساختمان، دیزاین بیلدر.

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:				
doi:	https://doi.org/10.22065/jsce.2022.325364.2696	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
	10.22065/jsce.2022.325364.2696	۱۴۰۱/۱۱/۳۰	۱۴۰۱/۰۲/۰۷	۱۴۰۱/۰۲/۰۷	۱۴۰۱/۰۲/۰۵	۱۴۰۰/۱۰/۲۹
			سیدعظیم حسینی azim_hosseini@azad.ac.ir		*نویسنده مسئول: پست الکترونیکی:	

۱- مقدمه

بطور کلی به توانایی انجام کار انرژی می گویند که معمولاً با واحد ژول بیان می شود. انرژی به اشکال مختلف از جمله گرمایی، تشعشعی، حرکتی، الکتریکی، شیمیایی، هسته ای و گرانشی وجود دارد. انرژی از منابع مختلف و متفاوت به دست می آید ولی به طور کلی منابع انرژی را می توان به دو دسته اصلی تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر تقسیم کرد. منابع تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر انرژی می توانند به عنوان منبع انرژی اولیه جهت تولید انرژی پرمصرفی مانند گرما و یا جهت تولید منابع انرژی ثانویه مانند الکتریسیته مورد استفاده قرار گیرند. صنعت ساختمان در کشورهای پیشرفته جهان در طول سه دهه اخیر مسیر تحولی خود را از ساختمانهای سنتی به سمت ساختمانهای انرژی صفر شروع کرده است. معمولاً وقتی مبحث مصرف انرژی ساختمان مطرح می شود، هدف میزانی از انرژی است که به طور مستقیم در زمان بهره برداری از ساختمانها مصرف می شود. در صورتیکه ساختمانها در طول عمر خود علاوه بر انرژی مورد نیاز دوره بهره برداری، به طور غیرمستقیم، مقادیر زیادی انرژی مصرف می کنند. انرژی چرخه عمر ساختمان (LCE) در واقع مجموع انرژی تجسم یافتن ساختمان (EE) و انرژی دوره بهره برداری از آن (OE) است. انرژی تجسم یافتن یا نهفته ساختمان، ذاتی جدا و متفاوت از انرژی دوره بهره برداری دارد و از تجمیع سه انرژی نهفته اولیه ساخت و ساز، نهفته تعمیر و نهفته تخریب حاصل می شود [۱] و [۲] و [۳]. مجموع مقادیر انرژی مورد نیاز برای استخراج و تولید مصالح به همراه انرژی مصرفی در مرحله احداث بنا طی فرآیند حمل و نقل مصالح، اجرا و برپایی ساختمان، انرژی نهفته اولیه ساخت و ساز را تشکیل می دهند. مقداری از انرژی نیز که در زمان بهره برداری برای موارد تعویض و تعمیر تاسیسات و اجزای ساختمان صرف می شود، انرژی نهفته تکرار و تعمیر ساختمان نام دارد و آن مقدار از انرژی که پس از اتمام دوره عمر ساختمان برای تخریب آن و استفاده مجدد مصالح، بازیافت یا دفع و دیوی آنها مورد استفاده قرار می گیرد، با نام انرژی نهفته تخریب تعریف می شود [۳]. طبق گفته های فی و همکاران، انرژی چرخه عمر، یک ساختمان شامل انرژی نهفته اولیه، انرژی نهفته تکرار، انرژی نهفته تخریب و بازیابی مصالح یا دفع آنها و انرژی بهره برداری در طول عمر آن است [۴]. از اینرو، تحلیل انرژی چرخه عمر (LCEA) یک ساختمان شامل انرژی برای استخراج و حمل مواد اولیه، مصرف انرژی در تولید مصالح ساختمانی (به عنوان مثال فولاد و سیمان)، ساخت قطعات، توزیع آنها به سایت، انرژی صرف شده در روند ساخت و ساز، در طول کار و نگهداری، و همچنین برای تخریب، بازیابی و دفع نهایی است [۴] و [۵]. انرژی نهفته تخریب و بازیابی یک ساختمان، انرژی برای فعالیتهای تخریب و بازیابی مرتبط با قطعات و مصالح ساختمانی است [۶]. انرژی عملیاتی یک ساختمان، انرژی مورد استفاده برای بهره برداری از ساختمان (تجهیزات کاربردی، گرمایشی، سرمایشی و روشنایی) است. برای محاسبه انرژی بهره برداری ساختمان، علاوه بر مشخصات فیزیکی ساختمان، نیاز به اطلاع از طول عمر و مصرف سالانه انرژی آن نیز می باشد. برای این امر، باید تلاش گردد رفتار ساکنین به طور ساده و تا حد امکان مطابق واقعیت در مدل انرژی ساختمان اعمال شود. از میان همه عواملی که رفتار ساکنین را شکل می دهند، برنامه حضور افراد، شدت فعالیت آنها، حرارت آسایشی، وسایل و تجهیزات الکتریکی، گازی و روشنایی به همراه نحوه استفاده از آنها و همچنین نرخ تعویض هوا نیز لحاظ شود [۷].

۲- پیشینه تحقیق

اکثر تحقیقات در رابطه با انرژی چرخه عمر ساختمان، سهم انرژی نهفته را حدود ۱۰٪ الی ۲۰٪ از کل انرژی مصرفی ساختمانهای معمولی عنوان کرده اند؛ این محققان، بطور متوسط حدود ۸۵٪ از انرژی چرخه عمر ساختمانها را مرتبط به دوره بهره برداری از ساختمان ذکر کرده، و سهم انرژی نهفته ساختمان را نیز در کل حدود ۱۵٪ که شامل ۱۱٪ انرژی تولید مصالح، ۳٪ انرژی تعمیر و نگهداری و ۱٪ انرژی حمل و ساخت و ساز تخمین زده اند [۸] و [۹] و [۱۰] و [۱۱]. البته مطالعاتی که بعد از تحقیقات مذکور انجام شده، عموماً سهم بالاتری را به دوره ساخت و ساز اختصاص داده اند بطوریکه دامنه ای تا حدود ۳۸٪ را نیز بیان کرده اند [۱۲]. سهم مرحله تولید برای ساختمانهای انرژی صفر حدوداً ۴۰٪ الی ۶۰٪ مرحله ساخت است؛ که این امر نشان از اهمیت طول عمر ساختمان دارد [۴] و [۱۲]. ونکاتاراماردی و همکارش (۲۰۰۳)، مقدار انرژی نهفته ساخت را برای ساختمانهای مسکونی ساخته شده با روشهای ساخت و ساز متداول و مصالح پایدار را

برآورد کرده و پس از مقایسه نتایج با ساختمانهای معمولی، نتیجه گرفتند که با بکارگیری روش ساخت و انتخاب مصالح مناسب می توان سهم انرژی نهفته ساخت را حدوداً ۳۰٪ الی ۴۰٪ تقلیل داد [۱۳]. معمولاً مرحله استخراج و تولید مصالح، بیشترین سهم از انرژی نهفته اولیه را شامل می شود، مراحل حمل و نقل مصالح و ساخت و ساز نقش قابل توجهی در تعیین مقدار انرژی نهفته اولیه ندارند. دنگ و همکاران (۲۰۱۱)، برای مصرف انرژی در مرحله اجرا، مقدار جزئی ۰,۰۲ گیگاژول بر متر مربع را ارائه کرده اند [۱۴]. البته محققین دیگر مثل جولینا و همکاران (۲۰۰۶)، مقادیر بسیار بزرگتری (حدود ۱,۱۸ گیگاژول بر متر مربع) را گزارش نموده اند [۱۵]. در یک مطالعه مروری، پریسیدا و همکاران (۲۰۱۶)، بازه ۱ الی ۸,۳۵ گیگاژول بر مترمربع را برای انرژی نهفته اولیه و بازه ۰,۰۸ الی ۱,۲ گیگاژول بر متر مربع در هر سال را برای انرژی بهره برداری ساختمانها عنوان کرده اند [۱۲]. فرض طول عمر ساختمان تاثیر بسزایی در تعیین دامنه انرژی بهره برداری از کل انرژی چرخه عمر ساختمان را دارد، معمولاً در مطالعات طول عمر ساختمان بین ۳۰ تا ۱۰۰ سال در نظر گرفته می شود [۱۶] و [۱۷]. با توجه به پیچیدگی های دوره تخریب و سهم اندک مصرف انرژی در این دوره از چرخه عمر ساختمان (حدود ۱٪)، این مرحله از انرژی چرخه عمر کمتر در مطالعات مورد توجه قرار گرفته است [۱۸]. بر اساس مطالعات دیسکیت (۲۰۱۷)، این بخش از انرژی، حتی در تحقیقاتی که فقط انرژی نهفته ساختمان را بررسی کرده اند، نیز غالباً بررسی نمی شود. با توجه به مقاله دیسکیت انرژی بخش تخریب، صرفاً در آسیا و اروپا، بترتیب ۲۲٪ و ۳۵٪ از تحقیقات مربوط به چرخه عمر ساختمانها را بخود اختصاص داده است [۱۹]. یوسفی و همکاران (۲۰۱۸)، در پژوهشی، انرژی چرخه عمر یک ساختمان مسکونی واقعی در شهر تهران با در نظر گرفتن انرژی نهفته ساخت و ساز محاسبه نموده و نشان داده که ساختمانهای مسکونی در ایران با ساختمانهای کم انرژی در دیگر کشورها از لحاظ اتلاف انرژی فاصله زیادی دارند [۲۰]. در پژوهشی دیگر در ایران، فروزان و همکاران (۲۰۱۶)، مصرف انرژی نهفته الگوهای مختلف ساختمانی در بافت مسکونی شهر شیراز را بررسی کرده اند و در آن مطالعه اسکلتهای ساختمانی را از منظر میزان مصرف سرانه انرژی نهفته رده بندی نمودند. نتایج مطالعات مذکور نشان می دهد که اسکلت فلزی با سقف تیرچه بلوک و دیوار آجری بیشترین سرانه مصرف انرژی نهفته، و اسکلت آجر حمال با سقف چوبی سبک و دیوار آجری، کمترین سرانه مصرف انرژی نهفته را دارا می باشد [۲۱]. هروی و همکاران (۲۰۱۶)، با مقایسه مقادیر تقسیم انرژی نهفته اولیه ساخت و ساز در فرایندهای مختلف تولید مصالح و برپایی ساختمان نشان دادند که تولید فولاد، بیشترین میزان مصرف انرژی از مقادیر انرژی نهفته اولیه ساخت و ساز را در بر می گیرد. که این مقدار برای ساختمانهای قاب بتنی حدود ۵۱٪ و در ساختمانهای قاب فلزی حدود ۷۵٪ تخمین زده شده است. بنابراین جایگزینی قاب های فلزی به بتنی، به احتمال زیاد می تواند منجر به صرفه جویی در مصرف انرژی در حدود ۱۳٪ شود. در این تحقیق، انرژی مصرفی و صرفه جویی در مصرف انرژی در رابطه با ساختمانهای مسکونی ساخته شده در تهران در سال ۲۰۱۴ مورد بررسی قرار گرفته است. بیشترین آمار در ساختمانهای مسکونی ساخته شده در سال مذکور مربوط به ساختمانهای قاب بتنی بوده است، که با توجه به مساحت کل ساختمانهای مسکونی ساخته شده در سال مذکور، انرژی ساخت برای تولید و ساخت کل قابهای بتنی و فولادی به احتمال زیاد به ترتیب ۱۹,۲۲۱,۷۲۵ و ۱۶,۳۴۹,۱۶۵ گیگا ژول بوده است [۲۲]. میزان انرژی مصرفی در هر ساختمان علاوه بر انرژی نهفته ساخت و ساز به عواملی همچون انرژی دوره بهره برداری، میزان نفوذ هوا، اختلاف دمای مطلوب ساختمان و محیط خارج از ساختمان در روزهای مختلف سال، ضریب انتقال حرارت جداره های ساختمان و جهت گیری ساختمان نیز بستگی دارد. ذوالفقاری و همکاران (۲۰۱۴)، میزان تاثیر نمای خارجی ساختمان بر مصرف انرژی سالانه در اقلیم های مختلف ایران را بررسی کردند و خواص فیزیکی و تشعشعی انواع نماهای بکار رفته در این شبیه سازی را در یک جدول نشان دادند [۲۳]. برخی از محققان به بررسی تاثیر پوسته و مصالح به کار رفته در ساختمان بر میزان مصرف انرژی عملیاتی پرداخته اند؛ بلاترک (۲۰۰۸)، ضخامت بهینه عایق برای ساخت دیوارها در یکی از مناطق ترکیه را بررسی نموده است [۲۴]. دائواس (۲۰۱۱)، ضخامت بهینه عایق دیوارهای خارجی در تانزانیا را بررسی کرد [۲۵]. مهدوی نژاد (۲۰۱۳)، برای تعیین نوع بام در اقلیم اصفهان، بام های تخت، گنبدی و شیبدار را در این شهر شبیه سازی و بررسی کرد [۲۶]. اورتیگا و همکاران (۲۰۰۷)، در یک تحقیق با هدف به حداقل رساندن هزینه های سرمایه گذاری و انرژی عملیاتی، استفاده همزمان از انرژی فسیلی و انرژی های تجدیدپذیر را بررسی کردند [۲۷]. دیاکاکی و همکاران

(۲۰۰۸) و اسدی و همکاران (۲۰۱۴)، بهینه سازی بهره‌وری انرژی در بخش ساختمان را بر مبنای روش بهینه سازی چند هدفه بررسی کردند؛ هدف آنها، تقلیل مصرف انرژی بهره برداری و هزینه با استفاده از عایق و انرژی خورشیدی در ساختمانها بود، آنها در این مطالعات انرژی نهفته ساخت و ساز را لحاظ نکرده‌اند؛ که نتایج حاکی از عدم حصول یک جواب بهینه منفرد بود؛ در این مطالعه یک مجموعه جواب پارتو و غیر مغلوب به عنوان راه حل مسئله وجود داشت [۲۸] و [۲۹]. دیاکاکلی و همکاران (۲۰۱۳)، یک مدل برنامه ریزی ریاضی چند هدفه را با معیارهای مصرف انرژی عملیاتی، هزینه و انتشار دی اکسید کربن بررسی کردند؛ خروجی این مدل، به انتخاب سیستم گرمایشی، سرمایه‌گذاری بهینه توسط تصمیم گیرندگان کمک می‌کرد [۳۰]. انتیپوا و همکاران (۲۰۱۴)، با یک مدل برنامه ریزی خطی، انتخاب عایق، نوع پنجره و استفاده از پنلهای خورشیدی ارزیابی نمودند. [۳۱]. کارراس (۲۰۱۶)، با در نظر گرفتن معیارهای محیطی و اقتصادی، یک مدل بهینه سازی چند هدفه برای تعیین ضخامت عایق سطح خارجی ساختمان ارائه نمود. [۳۲]. ابراهیمی و همکاران (۲۰۱۱)، با استفاده از اطلاعات هواشناسی، اطلاعات مندرج در قبض های گاز خانگی، و ضریب انتقال حرارت دیوارهای خارجی ساختمانهای نمونه موجود، به مقایسه مصرف گاز خانگی شهر مشهد در سیستم های گرمایشی متفاوت پرداختند. نتایج حاکی از آن بود ضریب انتقال حرارت در این ساختمانها با مقدار مرجع در میحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان ایران همخوانی مناسبی ندارد و همین مسئله، سبب اتلاف انرژی می-شود [۳۳]. شاه محمدی و همکاران (۲۰۰۶)، با کمک شبیه سازی انرژی عملیاتی یک ساختمان، معیارهای مؤثر بر صرفه جویی انرژی را عایقکاری، درزبندی ساختمان، انتخاب سیستم گرمایشی مناسب و کنترل هوشمند سیستم معرفی کردند [۳۴]. گیلانی و محمدکاری (۲۰۱۱)، عملکرد گلخانه خورشیدی را با هدف بهره گیری از سیستم غیرفعال خورشیدی، در اقلیم سرد بررسی نمودند و جهت جغرافیایی بهینه را برای استفاده از این سیستم نشان دادند [۳۵]. ونگ و همکاران (۲۰۰۹)، انرژی عملیاتی تجهیزات سرمایش و گرمایش در اوساکای ژاپن را شبیه سازی کردند و این مطالعه نشان داد که بکارگیری ترکیب بهینه این سیستمها، انرژی مصرفی اولیه و هزینه های انرژی عملیاتی ساختمان را کاهش می‌دهد [۳۶]. محققان دانشگاه بٹ انگلستان (۲۰۰۸) و (۲۰۱۱) با تحقیق بر روی انرژی استخراج و تولید مصالح ساختمانی، یک فهرست مرجع برای میزان کربن و انرژی پنهان موجود در مصالح مختلف ارائه کرده اند [۳۷] و [۳۸]. مطالعه محمودی و همکاران (۲۰۱۲)، در ایران چگونگی تاثیرات بام سبز بر کاهش مصرف انرژی حرارتی در ساختمان را ارزیابی نموده و نتیجه آن نشان داده که بام سبز حدود ۷۵٪ از بار حرارتی سقف ساختمان را کاهش می‌دهد [۳۹]. محمودپور و همکاران (۲۰۱۳)، در یک تحقیق، اثرات گلخانه خورشیدی را آنالیز کردند و نتیجه گرفتند گلخانه ها تمام انرژی خورشید را جذب می‌کنند اما گلخانه های خورشیدی به گونه ای طراحی می شوند که علاوه بر جذب انرژی خورشید در طول روزهای آفتابی، مقداری از گرما را برای استفاده در شب و یا روزهای ابری در خود ذخیره می کنند [۴۰]. در مطالعه جهانبخشی (۲۰۱۸)، گرمایش هوا در فضای داخلی اتاق توسط دیوار خورشیدی با در نظر گرفتن هدایت حرارتی این دیوار، به صورت عددی شبیه سازی شده و سپس محققان با استفاده از این مدل مرجع، پارامترهای مؤثر بر کارایی دیوار را بررسی کرده در نهایت بهینه ترین هندسه برای داشتن دیوار خورشیدی با بهترین عملکرد را ارائه نمودند [۴۱]. بهاردواج (۲۰۱۹)، معایب و مزایای یک مدل بهینه سازی بهره‌وری انرژی با هدفهای گوناگون و متضاد را با توجه به توافقنامه پاریس در زمینه توسعه و بهبود آب و هوا بررسی کرده است [۴۲]. اکبری و همکاران (۲۰۱۶)، برای تعیین جهت های مناسب استقرار ساختمان به منظور دریافت بهینه تابش خورشیدی در شهر زنجان مطالعه ای انجام دادند که بر اساس نتایج این تحقیق مشخص شد بهترین جهت استقرار ساختمان به منظور دریافت بهینه انرژی خورشید در دوره های سرد و گرم سال جهت های ۱۳۵ درجه و ۲۲۵ درجه زاویه آزیموتی می باشد [۴۳]. گیوزمن و همکاران (۲۰۱۹)، روی روشهای تجزیه و تحلیلی که توسط جامعه علمی برای ارزیابی پایداری سیستم‌های مدیریت انرژی در طول ده سال گذشته استفاده شده بود، یک مطالعه مروری جامع انجام دادند، نتایج مطالعه حاکی از آن بود که چارچوب ترکیبی آنالیز چرخه عمر و فرآیند تحلیلی سلسله مراتبی، به دلیل سادگی و استحکام نتایج در بین جامعه علمی بیشترین استفاده را برای ارزیابی سیستمهای مدیریت انرژی و پایداری در صنعت ساختمان داشته است [۴۴]. بلالی و همکاران (۲۰۲۰)، یک تحقیق برای الویت بندی مصالح در ساختمانهای سبز، با هدف تعیین استراتژی سبز و توسعه پایدار در صنعت ساختمان انجام دادند، آنها با توجه به ادبیات مسئله، مطالعات میدانی از طریق

پرسشنامه و با استفاده از روشهای مبتنی بر تصمیم گیری چند معیاره نشان دادند که معیارهای طبیعی بودن، فراوان بودن، نیاز کمتر به انرژی برای تولید و قابل تجدید بودن مصالح به ترتیب عوامل تاثیرگذار بر الویت بندی مصالح ساختمانی سبز برای انتخاب مصالح و معیارهای مهم برای رسیدن به هدف پایداری در صنعت ساختمان هستند [۴۵]. کلمبیت و همکاران (۲۰۲۱)، یک مدل مدیریت انرژی برای ساختمانهای مسکونی شهری، ارائه کرده اند. آنها مدل ارائه شده را روی بیست ساختمان شهری تابع شهرداری شهر کاوناس، اعمال کردند. هدف مدل پیشنهادی آنها، تقویت شیوه‌های مدیریت و توسعه پایدار در ساختمانهای شهری و تصمیم‌گیری آگاهانه در بخش مدیریت انرژی بهره‌برداری این ساختمانها با ابزاری محکم و قوی بود [۴۶]. مرور مطالعات پیشین حاکی از آن بود که، تحقیقات گذشته در زمینه مدیریت انرژی در صنعت ساختمان، اکثرا به اهمیت مبحث کاهش انرژی دوره بهره‌برداری و استفاده از مصالح سبز و کم انرژی در ساختمانها بطور جداگانه، در جهت کنترل مسائل زیست محیطی، توسعه پایدار و صرفه جویی انرژی مصرفی در این صنعت پرداخته اند؛ جدول ۱، نشان دهنده همین مسئله و شکاف در تحقیقات قبلی می‌باشد. این در حالی است که، تحقیق حاضر یک چارچوب جامع و یکپارچه برای ارزیابی بهینه سازی انرژی نهفته ساخت‌وساز و انرژی دوره بهره‌برداری را بطور همزمان در یک ساختمان واقعی آموزشی در کشور ایران بررسی کرده است و با توجه به اینکه در بحث مصرف انرژی چرخه عمر ساختمانها، تحقیقات اندکی در ایران نسبت به کشورهای دیگر انجام شده است، از اینرو نتایج این پژوهش منابع قابل اتکایی برای تخمین انرژی چرخه عمر ساختمانهای آموزشی مشابه در شهر تهران است.

جدول ۱: مقایسه حوزه تحقیقات در پژوهشهای پیشین.

محقق، سال انتشار	حوزه تحقیق	روش تحقیق	نتایج تحقیق
Embodied and operational energy of urban residential buildings in India.			
پریسیدا و همکاران (۲۰۱۶)	بررسی میزان مصرف انرژی در هر بخش از انرژی چرخه عمر ساختمانهای مسکونی شهری در کشور هندوستان	مطالعات کتابخانه ای و آماری	گزارش بازه عددی میزان مصرف انرژی نهفته اولیه، نهفته ساخت و ساز و بهره برداری سالیانه در ساختمانهای مورد مطالعه در هر متر مربع
Concrete vs wood in buildings- an energy system approach.			
ناسن و همکاران (۲۰۱۲)	بررسی انرژی نهفته ساخت و ساز در ساختمانهای چوبی و بتنی	مطالعات کتابخانه ای و آماری	نقش فراوان و بسزای طول عمر ساختمانها در مطالعه انرژی چرخه عمر و تعیین سهم هر بخش از انرژی
Life cycle embodied energy analysis of residential buildings.			
دیسکیت (۲۰۱۷)	بررسی سهم بخشهای انرژی نهفته ساخت و ساز در ساختمانهای مسکونی	مطالعات کتابخانه ای و آماری	گزارش سهم بخشهای انرژی نهفته ساختمانها و سهم اندک مصرف انرژی بخش تخریب ساختمان (در حدود ۱٪ انرژی چرخه عمر) و اهمیت کم آن در مطالعات
Evaluating the energy consumption of the life of a real residential building in Tehran.			
یوسفی و همکاران (۲۰۱۸)	بررسی انرژی چرخه عمر آپارتمانهای مسکونی کم واحد در کشور ایران	مطالعات کتابخانه ای و آماری و شبیه سازی انرژی بهره برداری	محاسبه انرژی چرخه عمر یک ساختمان مسکونی واقعی در شهر تهران
Evaluation of energy consumption during production and construction of concrete and steel frames of			

residential buildings.			
هروی و همکاران (۲۰۱۶)	بررسی مقایسه مقادیر تقسیم انرژی نهفته اولیه ساخت و ساز در فرایندهای مختلف تولید مصالح و برپایی ساختمانهای بتنی و فلزی	مطالعات کتابخانه ای و آماری	جایگزینی قاب های فلزی به بتنی، به احتمال زیاد می تواند منجر به صرفه جویی در مصرف انرژی در حدود ۱۳٪ شود.
Assessing the impact of the exterior of the building on annual energy consumption in different climates of Iran.			
ذوالفقاری و همکاران (۲۰۱۴)	بررسی تاثیر نمای خارجی ساختمان بر مصرف انرژی بهره برداری در اقلیم های مختلف ایران	شبیه سازی انرژی و روشهای آماری	خواص فیزیکی و تشعشعی انواع نماهای بکار رفته در این شبیه سازی را در یک جدول نشان دادند.
A study on optimum insulation thickness in walls and energy savings in Tunisian buildings based on analytical calculation of cooling and heating transmission loads.			
دائواس (۲۰۱۱)	بررسی تاثیر نوع دیوار خارجی و ضخامت عایق آنها، بر مصرف انرژی بهره برداری	شبیه سازی انرژی	ارائه یک مدل پیشنهادی جهت انتخاب بهینه ضخامت عایق دیوارهای خارجی
Multi-objective optimization coupled with life cycle assessment for retrofitting building.			
انتیپوا و همکاران (۲۰۱۴)	بررسی تاثیر نوع عایق، نوع پنجره و استفاده از پنلهای خورشیدی بر مصرف انرژی بهره برداری	روش تصمیم گیری چند معیاره	ارائه یک مدل برنامه ریزی خطی جهت انتخاب بهینه عایق، پنجره و استفاده از پنلهای خورشیدی
Evaluate how the green roof affects the reduction of ambient temperature.			
محمودی و همکاران (۲۰۱۲)	بررسی تاثیر بام سبز، بر مصرف انرژی بهره برداری	شبیه سازی انرژی	بام سبز حدود ۷۵٪ از بار حرارتی سقف ساختمان را کاهش می دهد.
Multi-Criteria Ranking of Green Materials According to the Goals of Sustainable Development.			
بلالی و همکاران (۲۰۲۰)	بررسی انرژی نهفته استخراج مصالح و الویت بندی استفاده از مصالح در ساختمانهای سبز، با هدف تعیین استراتژی سبز و توسعه پایدار	مطالعات کتابخانه ای و روش تصمیم گیری چند معیاره	معیارهای طبیعی بودن، فراوان بودن، نیاز کمتر به انرژی برای تولید و قابل تجدید بودن مصالح به ترتیب عوامل تاثیرگذار بر الویت بندی مصالح ساختمانی سبز هستند.
An MCDM Model for Sustainable Decision-Making in Municipal Residential Buildings Facilities Management.			
کلمبیت و همکاران (۲۰۲۱)	بررسی بهینه سازی مصرف انرژی بهره برداری ساختمانهای مسکونی شهری	مطالعات میدانی و روش تصمیم گیری چند معیاره	ارائه یک مدل مدیریت انرژی برای ساختمانهای مسکونی شهری

روش تحقیق این پژوهش بصورت تلفیقی شامل فرایند کیفی و کمی بوده است؛ فرایند کیفی، بمنظور دسته‌بندی و آماده‌سازی اطلاعات و داده‌ها و فرایند کمی، جهت محاسبه و آنالیز انرژی چرخه عمر ساختمان مورد استفاده قرار گرفت. در پژوهش حاضر مهمترین عوامل و متغیرهای موثر در مبانی طراحی ساختمانها با هدف بهینه سازی بهره وری انرژی چرخه عمر ساختمان، با توجه به مطالعات کتابخانه ای و آماری برگرفته از نظرات جامعه آماری، شناسایی و تعیین گردید؛ جدول ۲، بیانگر این عوامل و متغیرهای موثر می‌باشد.

جدول ۲: فهرست متغیرهای موثر بر انرژی چرخه عمر ساختمان.

تأثیر گذاری بر نوع انرژی		گزینه ها	عوامل موثر و متغیر ها
انرژی نهفته ساخت	انرژی بهره برداری		
*	-	قاب فلزی/ بتنی	اسکلت سازه
*	-	انواع مصالح متداول	سفت کاری اجزای داخلی
*	-	انواع مصالح متداول	نازک کاری اجزای داخلی
*	*	انواع مصالح هسته دیوار، پوشش سطوح داخلی، عایقها، نوع مصالح و رنگ نمای بیرونی	اجزای دیوارهای پیرامون ساختمان
*	*	انواع پوشش گیاهی، دیوار حرارتی و غیره	سیستم غیر فعال پیرامون ساختمان
*	*	انواع پروفیل پنجره، انواع شیشه و سایبان	پنجره های پیرامونی ساختمان
*	*	انواع مصالح هسته سقف، پوشش سطوح داخلی، عایقها، نوع مصالح و رنگ سطوح بیرونی	بام نهایی ساختمان
*	*	انواع پوشش گیاهی، بام سبز	سیستم غیر فعال روی بام
*	*	انواع پنل خورشیدی، فتوولتائیک و غیره	سلول خورشیدی
*	*	انواع تجهیزات آب، فاضلاب، گاز، تهویه مطبوع و غیره	سیستمها و تاسیسات مکانیکی
*	*	انواع تجهیزات روشنایی دیگر مصرف کننده های برقی و غیره	سیستمها و لوازم الکتریکی

برای انجام پژوهش، یک ساختمان آموزشی واقع در شهر تهران با موقعیت احداث، در مجتمع دانشگاهی واحد تهران جنوب دانشگاه آزاد اسلامی بعنوان ساختمان نمونه پایه انتخاب شد. ساختمان مورد مطالعه، در فضای چهار طرف باز، مستطیل شکل، با کشیدگی شرق به غرب و ابعاد ۴۳ در ۲۰ متر در نظر گرفته شده است. این ساختمان در ۴ طبقه، جمعا ۳۴۴۰ متر مربع مساحت داشته و هر طبقه ۸۶۰ متر مربع زیر بنا و ۳ متر ارتفاع دارد. طبقه همکف آن دارای دو درب ورودی و خروجی با ابعاد ۴ متر مربع، ۱۲ اتاق ۵۲ متری، ۲۳۶ متر راهرو و راه پله میباشد، طبقات بعدی که تیپ هستند؛ هر کدام شامل ۱۲ اتاق ۵۲ متری، یک اتاق ۱۰،۸ متری و سرویس بهداشتی ۱۰،۸ متری و ۲۱۴،۴ متر راهرو و راه پله میباشد. پنجره های کل ساختمان تیپ و دارای ابعاد ۱،۲ در ۱،۲ متر با دو باز شوی ۶۰ سانتیمتری هستند.

جدول ۳: جزئیات ابعاد ساختمان مورد مطالعه.

هر سمت ۴۰۰,۸ مترمربع	مساحت خالص دیوارهای شمالی و جنوبی	۴ عدد	تعداد طبقات
هر سمت ۲۳۵,۶۸ مترمربع	مساحت خالص دیوارهای شرقی و غربی	۱۲ عدد	تعداد اتاق درس و دفتر عمومی
هر سمت ۱۱۵,۲ مترمربع	مساحت پنجره های شمالی و جنوبی	۸۶۰ مترمربع	مساحت سقف هر طبقه
هر سمت ۴,۳۲ مترمربع	مساحت پنجره های شرقی و غربی	۳ متر	ارتفاع طبقات
هر سمت ۴ مترمربع	مساحت درب ورود و خروج	۱۲ متر	ارتفاع کل ساختمان

در ادامه پژوهش، اجزای پوسته خارجی ساختمان مورد مطالعه، بعنوان موثرترین و تاثیرگذارترین عوامل بر انرژی چرخه عمر در سه حالت پایه اولیه (A)، بهینه (G) و بهینه همراه بام سبز (K)، تعیین شدند؛ برای این منظور، گزینه های منتخب، با توجه به سه معیار اصلی: ۱- تاثیر قابل توجه این گزینه ها بر میزان مصرف انرژی [۴۵]، ۲- هزینه متعارف گزینه ها و ۳- عمومیت گزینه ها در صنعت ساخت و ساز بومی ایران و همچنین جدول ۴، تعیین شدند. در جدول ۳، مشخصات فیزیکی مصالح برای اجزای پوسته خارجی ساختمان برای بهینه سازی طراحی بیان شده است؛ که λ ، بیانگر ضریب انتقال حرارت مصالح [۴۷]، D، چگالی مصالح و IEE، انرژی نهفته اولیه تولید آن مصالح در واحد وزن، مستخرج از جدول بٹ می باشد [۳۷]. از آنجایی که در حال حاضر اطلاعات معتبر در خصوص انرژی نهفته ی استخراج و تولید مصالح خام ساختمانی در ایران وجود نداشت، در این پژوهش، برای محاسبه انرژی نهفته ی استخراج و تولید مصالح خام از مقادیر گزارش شده جدول بٹ، در مطالعه هموند و جونز استفاده شد. جداول ۵، ۶ و ۷ بیان کننده مشخصات مصالح و جزئیات اجزای سازه ای ساختمان مورد مطالعه، در سه حالت A، G و K است.

جدول ۴: مشخصات فیزیکی و انرژی نهفته اولیه تولید مصالح ساختمانی [۳۷] و [۴۷].

IEE	λ	D	مصالح	IEE	λ	D	مصالح
$\frac{Mj}{Kg}$	$\frac{w}{m^{\circ}C}$	$\frac{Kg}{m^3}$		$\frac{Mj}{Kg}$	$\frac{w}{m^{\circ}C}$	$\frac{Kg}{m^3}$	
۵۱	۰,۲۳	۱۰۰۰	عایق رطوبتی قیری	۰,۴۵	۱,۵	۱۲۰۰	خاک بام سبز
۲۸	۰,۰۵۵	۱۰	عایق حرارتی پشم شیشه	۱,۸	۰,۴	۱۰۰۰	اندود گچی
۱۰,۸	۰,۰۴۴	۳۵	عایق حرارتی پشم سنگ	۱,۶	۱,۱	۱۵۰۰	گچ و خاک
۸۶,۴	۰,۰۵۰	۱۵	عایق حرارتی پلی استایرن	۱,۱۴	۱,۶۵	۲۳۰۰	بتن (۴۰۰)
۱۰۱,۵	۰,۰۴۱	۳۰	عایق حرارتی پلی یورتان	۱,۳۳	۱,۱۵	۱۸۰۰	ملات ماسه سیمان (۱:۳)
۷۶,۷	۰,۵	۹۸۰	ژئو نت پلی اتیلین (چگالی زیاد)	۲,۵	۰,۲۵	۷۰۰	ملات سبک سیمان با پوکه
۹۹,۲	۰,۲۲	۹۱۰	ژئو تکستایل پلی پروپیلین	۱,۳۳	۱,۳	۲۰۰۰	موزاییک
۶۹,۴	۰,۱۷	۱۳۹۰	یو پی وسی	۱۱	۲,۸	۲۶۰۰	گرانیت
۳۶,۸	۷۲	۷۸۷۰	مقطع پروفیل آهنی	۸,۲	۱	۱۸۰۰	آجر نما
۱۵	۱,۱	۲۷۰۰	شیشه	۳	۱,۱	۱۸۰۰	آجر توپر
۳۶,۴	۷۲	۷۸۷۰	میله گرد	۳	۰,۸۴	۱۷۰۰	آجر سوراخدار
-	۰,۸۶	۲۰۰۰	تیرچه بلوک سفالی و بتن	۳	۰,۵۶	۱۶۰۰	آجر سفالی
-	۱,۲	۲۱۰۰	تیرچه بلوک سیمانی و بتن	۰,۸۱	۰,۵۱	۱۴۰۰	بلوک سیمانی
-	۰,۳۸	۴۱۰	تیرچه بلوک پلی استایرن و بتن	۸۸,۶	۰,۰۵۶	۱۲	بلوک پلی استایرن (یونولیت)

جدول ۵: جزئیات اجزای سازه ای ساختمان پایه اولیه (حالت A).

قاب فلزی یک طرف مفصل	قاب اسکلت ساختمان
۷۰ سانتیمتر بتن مسلح + ۱۰ سانتیمتر کف سازی پوکه + ۳ سانتیمتر پوشش ملات + ۲ سانتیمتر سنگ کف	فنداسیون ساختمان
۰,۵ سانتیمتر گچ سفیدکاری + ۲,۵ سانتیمتر گچ و خاک + ۲۰ سانتیمتر آجر سفال + ۲ سانتیمتر دوغاب ماسه سیمان + ۳ سانتیمتر آجر پلاک برای پوشش نما	دیوارهای خارجی ساختمان
۰,۵ سانتیمتر گچ سفیدکاری + ۲,۵ سانتیمتر گچ و خاک + ۱۰ سانتیمتر آجر سفال + ۲,۵ سانتیمتر گچ و خاک + ۰,۵ سانتیمتر گچ سفیدکاری	دیوارهای داخلی
۳ سانتیمتر گچ سفید از داخل + ۲,۵ سانتیمتر سقف تیرچه بلوک سفالی + ۵ سانتیمتر بتن + ۱۰ سانتیمتر پوکه + ۲ سانتیمتر ملات ماسه سیمان + ۲ سانتیمتر عایق رطوبتی قیر گونی + ۲ سانتیمتر ملات + ۳ سانتیمتر موزاییک	بام
۳ سانتیمتر گچ سفید از داخل + ۲,۵ سانتیمتر سقف تیرچه بلوک سفالی + ۵ سانتیمتر بتن + ۱۰ سانتیمتر پوکه + ۳ سانتیمتر ملات ماسه سیمان + ۲ سانتیمتر سنگ کف	کفهای مشترک
از نوع فلزی نیمه سبک (هر فرم حدودا ۳۰ تا ۳۵ کیلوگرم) و دارای شیشه تک جداره ۳ میلیمتری شفاف	پنجره ها

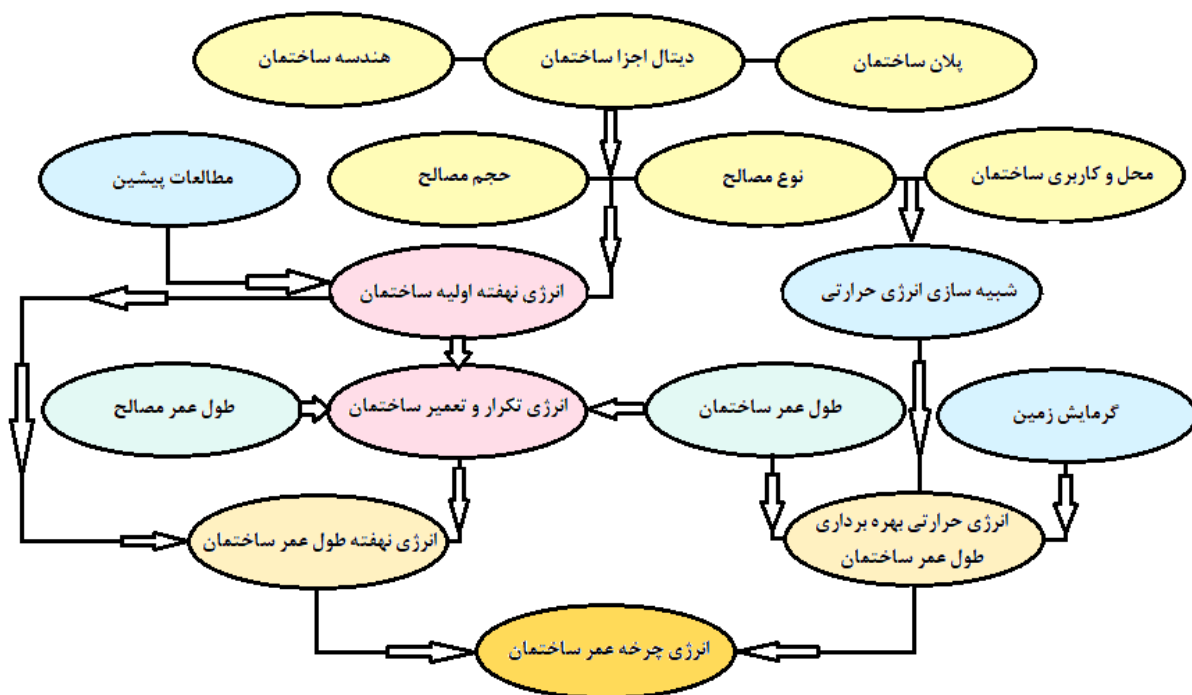
جدول ۶: جزئیات اجزای سازه ای ساختمان بهینه (حالت G).

قاب فلزی یک طرف مفصل	قاب اسکلت ساختمان
۷۰ سانتیمتر بتن مسلح + ۱۰ سانتیمتر کف سازی پوکه + ۳ سانتیمتر پوشش ملات + ۲ سانتیمتر سنگ کف	فنداسیون ساختمان
۰,۵ سانتیمتر گچ سفیدکاری + ۲,۵ سانتیمتر گچ و خاک + ۵ سانتیمتر پشم شیشه + ۲۰ سانتیمتر بلوک سیمانی + ۲ سانتیمتر دوغاب ماسه سیمان + ۳ سانتیمتر آجر پلاک برای پوشش نما	دیوارهای خارجی ساختمان
۰,۵ سانتیمتر گچ سفیدکاری + ۲,۵ سانتیمتر گچ و خاک + ۱۰ سانتیمتر بلوک سیمانی + ۲,۵ سانتیمتر گچ و خاک + ۰,۵ سانتیمتر گچ سفیدکاری	دیوارهای داخلی
۳ سانتیمتر گچ سفید از داخل + ۵ سانتیمتر پشم سنگ + ۲,۵ سانتیمتر سقف تیرچه بلوک سفالی + ۵ سانتیمتر بتن + ۱۰ سانتیمتر پوکه + ۲ سانتیمتر ملات ماسه سیمان + ۲ سانتیمتر عایق رطوبتی قیر گونی + ۲ سانتیمتر ملات + ۳ سانتیمتر موزاییک	بام
۳ سانتیمتر گچ سفید از داخل + ۲,۵ سانتیمتر سقف تیرچه بلوک سفالی + ۵ سانتیمتر بتن + ۱۰ سانتیمتر پوکه + ۳ سانتیمتر ملات ماسه سیمان + ۲ سانتیمتر سنگ کف	کفهای مشترک
از نوع یو پی وی سی و دارای شیشه دو جداره ۳ میلیمتری شفاف با ۱,۳ میلیمتر لایه میانی هوا	پنجره ها

جدول ۷: جزئیات اجزای سازه ای ساختمان بهینه دارای بام سبز (حالت K).

قاب اسکلت ساختمان	قاب فلزی یک طرف مفصل
فنداسیون ساختمان	۷۰ سانتیمتر بتن مسلح + ۱۰ سانتیمتر کف سازی پوکه + ۳ سانتیمتر پوشش ملات + ۲ سانتیمتر سنگ کف
دیوارهای خارجی ساختمان	۰,۵ سانتیمتر گچ سفیدکاری + ۲,۵ سانتیمتر گچ و خاک + ۵ سانتیمتر پشم شیشه + ۲۰ سانتیمتر بلوک سیمانی + ۲ سانتیمتر دوغاب ماسه سیمان + ۳ سانتیمتر آجر پلاک برای پوشش نما
دیوارهای داخلی	۰,۵ سانتیمتر گچ سفیدکاری + ۲,۵ سانتیمتر گچ و خاک + ۱۰ سانتیمتر بلوک سیمانی + ۲,۵ سانتیمتر گچ و خاک + ۰,۵ سانتیمتر گچ سفیدکاری
بام سبز	۳ سانتیمتر گچ سفید از داخل + ۵ سانتیمتر پشم سنگ + ۲۵ سانتیمتر سقف تیرچه بلوک سفالی + ۵ سانتیمتر بتن + ۱۰ سانتیمتر پوکه + ۲ سانتیمتر ملات ماسه سیمان + ۲ سانتیمتر عایق رطوبتی قیر گونی + ۵ سانتیمتر بتن مقاوم با ژئو تکستال + ۵۰ سانتیمتر خاک کشت گیاهان سبز
کفهای مشترک	۳ سانتیمتر گچ سفید از داخل + ۲۵ سانتیمتر سقف تیرچه بلوک سفالی + ۵ سانتیمتر بتن + ۱۰ سانتیمتر پوکه + ۳ سانتیمتر ملات ماسه سیمان + ۲ سانتیمتر سنگ کف
پنجره ها	از نوع یو پی وی سی و دارای شیشه دو جداره ۳ میلیمتری شفاف با ۱,۳ میلیمتر لایه میانی هوا

برای بررسی تاثیر گزینه های پیشنهادی و ارزیابی بهینه سازی بهره‌وری انرژی در ساختمان مورد مطالعه، مقدار انرژی چرخه عمر ساختمان در سه حالت A، G و K بررسی شد، برای این منظور ابتدا انرژی بهره بردای در طول عمر ساختمان محاسبه گردید، سپس انرژی نهفته کل ساختمان با کمک جدول بٹ محاسبه شد. محاسبه هر یک از این انرژی ها به عوامل متعددی بستگی دارد که مهمترین آنها هندسه ساختمان، طول عمر ساختمان، حجم و نوع مصالح مصرفی است که در همه مراحل محاسبات انرژی ساختمان نقش بسزایی دارند. البته در محاسبه انرژی دوره بهره‌برداری بجز عوامل مذکور، شرایط اقلیمی، کاربری، رفتار و نوع استفاده ساکنین نیز بسیار حائز اهمیت هستند که در محاسبات این پژوهش نیز مورد توجه قرار گرفته‌اند. بدین ترتیب ابتدا پلان ساختمان مورد مطالعه در اتوکد رسم و سپس با کمک مدلسازی سه بعدی در نرم افزار شبیه ساز انرژی دیزاین بیلدر (V6.1.0.6) شبیه سازی گردید؛ این نرم افزار یکی از کارآمدترین ابزارها برای بررسی بهینه سازی انرژی در ساختمانها می‌باشد. موتور محاسباتی این نرم افزار، انرژی پلاس است، که توسط دپارتمان انرژی آمریکا ساخته شده و از دقیق ترین نرم افزارهای موجود می‌باشد، که در طول دهه گذشته به صورت گسترده در سراسر دنیا مورد استفاده قرار گرفته است. از اینرو در این پژوهش مقادیر انرژی بر اساس مشخصات واقعی ساختمان و کاربری آن در نرم افزار دیزاین-بیلدر محاسبه گردید. پس از محاسبه مصرف انرژی دوره بهره‌برداری سالیانه ساختمانها با کمک نرم افزار، مصرف انرژی کل دوره بهره‌برداری با توجه به طول عمر ساختمان و گرمایش زمین تخمین زده شد. در ادامه با توجه به حجم مصالح محاسبه شده ساختمان، ابتدا وزن مصالح مصرفی و سپس انرژی تولید مصالح و انرژی حمل و نقل مصالح، بدست آمد و با در نظر گرفتن قبوض منتشر شده در دوره ساخت در کنار نظرات پیمانکاران و همچنین نتایج تحقیقات پیشین، انرژی برپایی و در نهایت انرژی تعمیر و نگهداری ساختمان برآورد گردید. در انتها نیز با تجمیع انرژی های محاسبه شده، انرژی چرخه عمر ساختمان حاصل شد. نتایج بدست آمده طی محاسبات هر یک از بخش های طول عمر ساختمان در ادامه بصورت جز به جز بعنوان یک الگوی قابل استفاده ارائه گردیده است، با توجه به ماهیت بخشهای انرژی چرخه عمر ساختمان روند کلی محاسبه مصرف انرژی چرخه عمر ساختمانهای مورد مطالعه این پژوهش مطابق شکل ۱، پیشنهاد شده است.



شکل ۱: روند پیشنهادی محاسبه مصرف انرژی چرخه عمر ساختمان.

۴- تفسیر و تحلیل نتایج

۴-۱- محاسبه انرژی دوره بهره برداری ساختمان (OE)

برای محاسبه انرژی حرارتی بهره برداری ساختمان مورد مطالعه، نیاز به اطلاع از طول عمر و بار سالانه انرژی آن بود. در خصوص طول عمر ساختمان، بر اساس پیشینه صنعت ساخت بناهای آموزشی و نظرات اخذ شده از پیمانکاران متعدد این حوزه و همچنین نظر به گزارشات منتشر شده در این خصوص، عمر ۵۰ سال برای ساختمان نمونه، مشابه با بسیاری از ساختمان های آموزشی نسبتاً جدید در ایران در نظر گرفته شد. با توجه به محل ساختمان، کاربری، طراحی معماری، جانمایی، ابعاد، نوع مصالح و کلیه دیتالهای جدارهای پیرامونی، شبیه سازی ساختمان مورد مطالعه در نرم افزار انجام شد. در ادامه پژوهش بعد از انجام شبیه سازی، مقادیر انرژی بهره برداری سالانه شامل بار روشنایی، گرمایشی، سرمایشی، تعویض هوا، افراد، پنجره، درب، سقف، دیوارهای پیرامونی، کف و تابش خورشید برای کل ساختمان درحالتهای A، G و K محاسبه گردید. در محاسبات انجام گرفته، علاوه بر ثبت مشخصات فیزیکی ساختمان، محل و کاربری ساختمان مطابق واقعیت با کاربری آموزشی در اقلیم تهران اعمال شد. از میان همه عواملی که رفتار ساکنین را شکل می دادند، در این مطالعه، با توجه به استاندارد ASHRAE 90.1 و نوع پوشش دانشجویان در کلاس حداقل دما جهت گرمایش ۲۰ درجه سلسیوس و حداکثر دما جهت سرمایش ۲۶ درجه سلسیوس در نظر گرفته شد. به منظور تأمین هوا با کیفیت مطلوب میزان تهویه ۵ بار تعویض هوا در ساعت استفاده از فضای کلاس در نظر گرفته شد. میزان روشنایی مورد نیاز در ساعات درس نیز ۳۰۰ لوکس در شبیه سازی لحاظ گردید. تعداد کاربران هر طبقه ۳۵۰ نفر در حال فعالیت نوشتن و مطالعه در نظر گرفته شده و ساعات بهره گیری از کلاس نیز ساعت ۷ صبح تا ۱۸ عصر لحاظ شده است. میزان نفوذ ناخواسته هوا در حالت اولیه پایه به میزان ۱،۸ بار تعویض هوا در طی یک ساعت در نظر گرفته شده است. اطلاعات مدل تعریف شده در نرم افزار دیزاین بیلدر در جداول ۸ و ۹ نشان داده شده است.

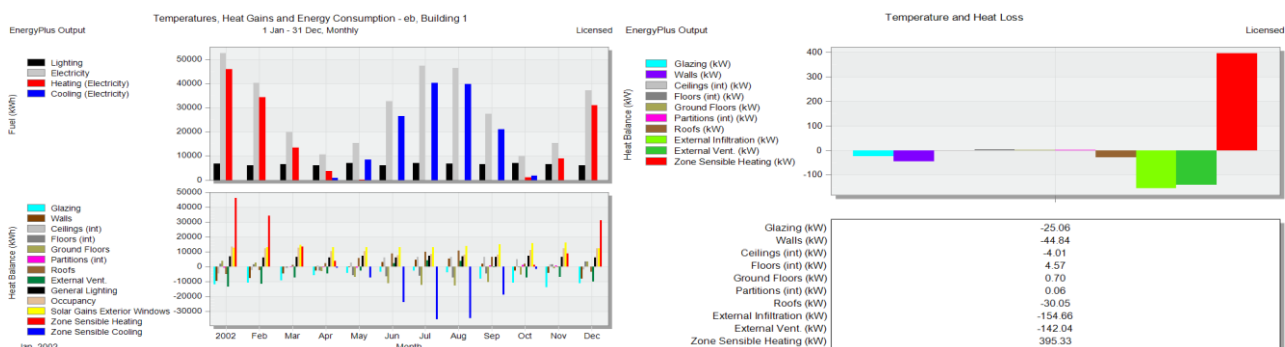
جدول ۸: جزئیات مدلسازی کاربران و ساختمان مورد مطالعه در نرم افزار.

-	مصرف انرژی برای آبگرم و تجهیزات	۳۰ نفر	تعداد افراد در هر کلاس
۲۰ درجه سلسیوس	دمای آسایش فصل سرد	۵ روز	تعداد روزهای فعالیت در هفته
۲۶ درجه سلسیوس	دمای آسایش فصل گرم	۱۱ ساعت	تعداد ساعات فعالیت
۱,۸ AC/H	میزان نفوذ هوا	۱ clo	سطح پوشش دانشجویان در فصل سرد
۵ AC/H	نرخ تعویض هوای طبیعی	۰,۵۰ clo	سطح پوشش دانشجویان در فصل گرم
۲ AC/H	نرخ تعویض هوای مکانیکی	۱۰۸ وات	انرژی متابولیک هر دانشجو
۳۰۰ لوکس	میزان روشنایی	۰,۹ met	سطح فعالیت هر دانشجو

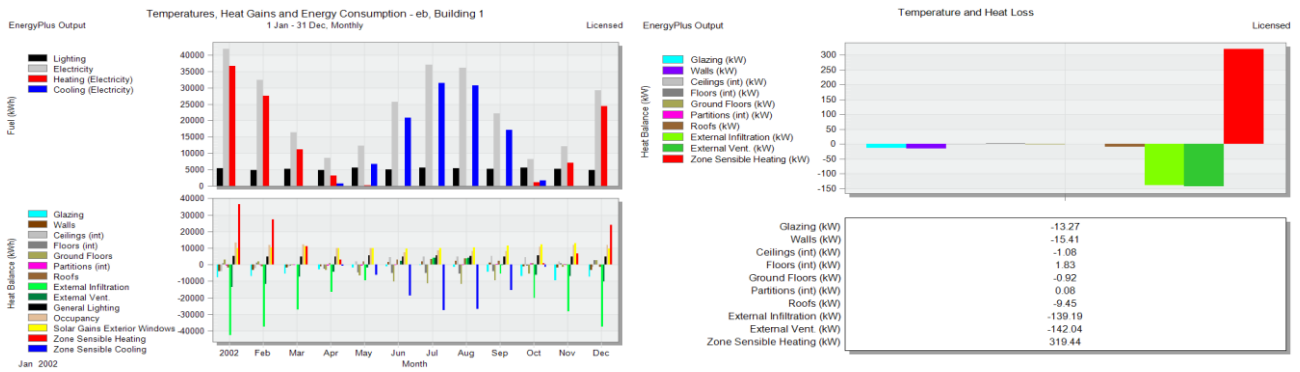
جدول ۹: جزئیات مدلسازی آب و هوای طرح شهر تهران.

زاویه وزش باد	سرعت باد	بیشترین دمای هوای خشک	مشخصات آب و هوا
۲۷۰	۱,۹	-۳,۶	روز طرح زمستان
۱۲۰	۳,۶	۳۷,۲	روز طرح تابستان

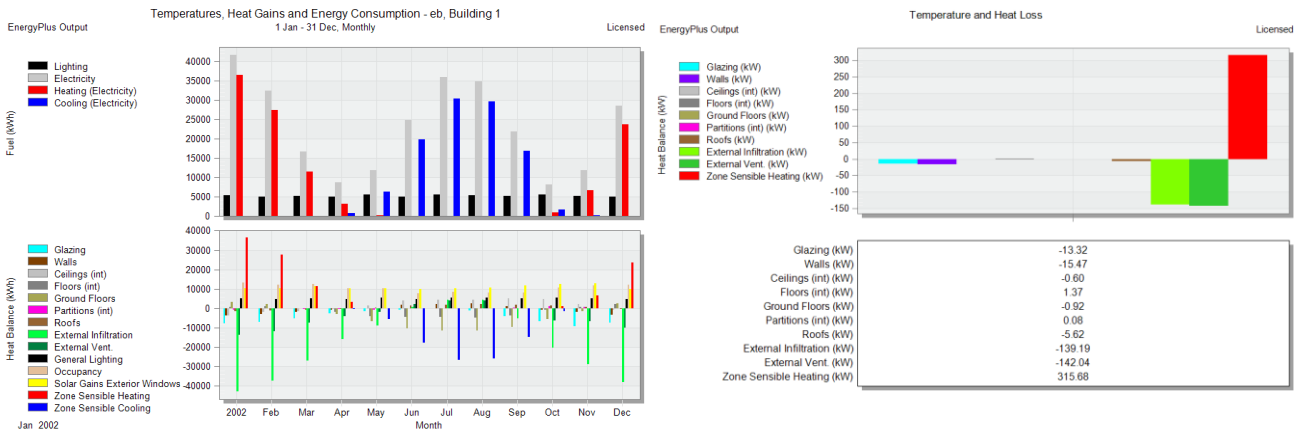
جزئیات بار حرارتی ساختمان در سه حالت A، G و K با توجه به خروجی نرم افزار شبیه ساز انرژی دیزاین بیلدر تعیین گردید که تصاویر ۲، ۳ و ۴ نمودارهای مبانی طراحی گرمایی، اتلاف حرارتی جداره ها و جزئیات مصرف انرژی ماهیانه را برترتیب برای ساختمان درحالت های A، G و K در نرم افزار دیزاین بیلدر نشان می دهند. با توجه به استفاده از ضریب ۳,۱۶۷ برای تبدیل انرژی برق (انرژی ثانویه) به انرژی اولیه، انرژی اولیه برای تولید الکتریسیته مصرفی و سرمایه ساختمان محاسبه شد. هر کیلو وات ساعت حدودا معادل ۳,۶ مگاژول انرژی می باشد، با استفاده از ضریب مذکور مقادیر مصرف انرژی بر حسب مگا ژول بدست آمد؛ در گام بعدی از تجمیع مقادیر مصرف انرژی برای لوازم الکتریکی، سرمایه و گرمایش کل انرژی بهره برداری سالیانه ساختمان بر حسب مگاژول بدست آمد.



شکل ۲: اتلاف حرارتی جداره ها و جزئیات مصرف انرژی ماهیانه برای ساختمان حالت A.



شکل ۳: اتلاف حرارتی جداره ها و جزییات مصرف انرژی ماهیانه برای ساختمان حالت G.



شکل ۴: اتلاف حرارتی جداره ها و جزییات مصرف انرژی ماهیانه برای ساختمان حالت K.

جزئیات بار سالیانه حرارتی ساختمان مورد مطالعه، در سه حالت A، G و K در جدول ۱۰، نشان داده شده است.

جدول ۱۰: جزئیات بار حرارتی و انرژی مصرفی سالیانه ساختمان در سه حالت A، G و K (کیلووات ساعت).

ساختمان بهینه K	ساختمان بهینه G	ساختمان پایه اولیه A	جزئیات بار حرارتی
۱۲۵۸۳۴,۴	۱۲۵۸۳۴,۴	۱۲۵۸۳۴,۴	بار حرارتی کاربران
۵۰۶۸۵,۴۶	۵۰۹۸۲,۵۲	۵۴۷۵۷,۹۳	بار تعویض هوا (طبیعی)
۵۳۸۷۲,۲۳	۵۴۲۰۲,۷۳	۹۶۴۰۱,۴۶	بار هدایتی پنجره ها
۱۲۹۸۰۱,۹	۱۲۹۸۰۱,۹	۱۶۴۸۴۵,۱	بار تشعشعی نور خورشید
۵۶۱۵,۹۲۵	۱۲۰۱۳,۱۹	۳۴۶۳۰,۰۴	بار هدایتی و تشعشعی سقف
۷۹۰۷,۸۴۳	۸۳۰۷,۸۳۷	۲۵۷۲۶,۵۵	بار هدایتی و تشعشعی دیوار
۵۱۱۸۱,۴۱	۵۱۳۱۱,۴۳	۵۴۴۶۶,۱۸	بار هدایتی کف ساختمان
۱۰۹۶۶۸,۱	۱۱۰۷۲۳,۹	۱۳۸۲۲۴,۴	بار گرمایش در فصل سرد (گاز)
۹۲۴۳۴,۳	۹۶۳۸۲,۸۵	۱۲۲۴۴۰,۹	بار سرمایش در فصل گرم (الکتریسیته)
۱۲۳۹۳,۹	۱۲۸۶۴,۱۵	۱۵۸۵۸,۵	بار تعویض هوا (مکانیکی) در فصل گرم (الکتریسیته)
۶۲۰۶۷,۸۷	۶۲۰۶۷,۸۷	۶۲۰۶۷,۸۷	بار روشنایی (الکتریسیته)
۱۰۹۶۶۸,۱۰	۱۱۰۷۲۳,۹۰	۱۳۸۲۲۴,۴۰	انرژی (اولیه) مورد نیاز برای گرمایش در فصل سرد
۳۳۱۹۹۰,۹۱	۳۴۵۹۸۵,۵۶	۴۳۷۹۹۴,۲۰	انرژی (اولیه) مورد نیاز برای سرمایش و تهویه هوا در فصل گرم
۱۹۶۵۶۸,۹۴	۱۹۶۵۶۸,۹۴	۱۹۶۵۶۸,۹۴	انرژی (اولیه) مورد نیاز برای روشنایی

۴-۲- محاسبه انرژی نهفته ساختمان (EE)

۴-۲-۱- محاسبه انرژی نهفته اولیه ساختمان (IEE)

این انرژی شامل: ۱- انرژی تولید مصالح پیش از ساخت و ساز، ۲- انرژی حمل و نقل مصالح تا کارگاه و ۳- انرژی ساخت و ساز یا برپایی ساختمان می‌باشد. برای محاسبه‌ی انرژی نهفته اولیه تولید مصالح (ExIEE)، ابتدا حجم کل مصالح مصرفی در ساختمان مورد مطالعه محاسبه شد و چگالی آنها با توجه به مشخصاتشان تعیین گردید، با دانستن این کمیت برای اجسام مختلف، میتوان با محاسبه احجام مصالح مصرفی، وزن آنها را تعیین نمود، در پژوهش حاضر کلیه ریز مصالح مطابق متره‌ی ساختمان نمونه محاسبه شده، فقط حجم آهن آلات، شن، ماسه و سیمان مصرفی با کمک یک جدول در تحقیقات پیشین، برای ساختمانهای ۱ تا ۴ طبقه دارای اسکلت فلزی و سقف تیرچه بلوک بر حسب سطح زیر بنای ساختمان مورد مطالعه تخمین زده شده است [۲۱]. در ادامه با توجه به وزن مصالح و جدول ب [۳۷]، انرژی نهفته اولیه مصالح را محاسبه شد. مشخصات و وزن محاسبه شده مصالح مصرفی اجزای مختلف ساختمان نمونه مورد مطالعه در سه حالت A، G و K در جدول ۱۱، نشان داده شده است. انرژی نهفته مصالح بر حسب واحد وزن مصالح گزارش می‌شود، در جدول مذکور فقط وزن مصالح برای محاسبه انرژی تولید آنها بیان شده و از درج احجام مصالح صرف نظر شده است. در این پژوهش فقط انرژی نهفته مرتبط با مصالح ساختمانی بررسی شده است. لذا، از بررسی انرژی نهفته مصالح مربوط به سیستمهای مکانیکی، دستگاههای تاسیساتی، شیرآلات، دستگیره ها، لوازم الکتریکال، روشنایی، پریزها و سیم برق صرف نظر گردید. همچنین از محاسبات مرتبط با خورده مصالح مصرفی، دورریز مصالح و روشور سرویسهای بهداشتی به علت مقدار کم آنها در مقایسه با سایر مصالح صرف نظر شد. انرژی نهفته

اولیه تولید مصالح مصرفی برای کل ساختمان مورد مطالعه در سه حالت A، G و K به ترتیب حدود ۳۸۰۳۸، ۳۱۲۴۸ و ۲۸۴۴۹۵۳۱ و ۲۸۷۷۲۶۶۷ مگاژول محاسبه گردید.

جدول ۱۱: جزئیات وزن مصالح ساختمان در سه حالت A، G و K (مگا ژول).

وزن مصالح مصرفی ساختمان نمونه (Kg)			انرژی تولید و استخراج $(\frac{Mj}{Kg})$	مصالح
پایه اولیه A	بهینه G	بهینه K		
60716	60716	60716	36.4	میله گرد
1359488	1359488	1359488	0/083	شن بتن
177160	177160	182320	36.8	پروفیل فولادی
301000	301000	301000	2/5	ملات پوکه
910828.8	910828.8	0	0/81	بلوک سیمانی
0	0	1106006.4	3	بلوک سفالی
1462000	1462000	1462000	3	بلوک سفالی سفی
2311.2	2311.2	2311.2	9	کاشی
253073.6	253073.6	253073.6	11	سنگ گرانیت
447200	447200	447200	5.5	سیمان
2421072	2421072	2421072	0.081	ماسه
1505	1505	0	10/8	پشم سنگ
636.48	636.48	0	28	پشم شیشه
26880	26880	26880	51	قیر
34400	34400	34400	1/33	موزاییک
54528.6	54528.6	54528.6	1/8	گچ سفید کاری
60385.8	60385.8	60385.8	1/6	گچ و خاک
68739.84	68739.84	68739.84	8/2	آجر نما
1770	1770	1770	7/8	چوب
3872.448	3872.448	1936.224	15	شیشه (۳ میلیمتری)
1105.56	1105.56	0	69/4	پرو فیل UPVC
8207.604	8207.604	8207.604	70	رنگ
172	0	0	76/7	ژئو نت (پلی اتیلین)
1720	0	0	99/2	ژئو تکستایل (پلی پروپلین)
309600	0	0	0/45	خاک

برای محاسبه انرژی نهفته اولیه حمل و نقل مصالح برای ساخت و ساز (TriEE)، اطلاعات و داده های زیر از سایت ساختمان مورد مطالعه مورد نیاز می باشد: تعداد سفرهای ماشینهای حمل بار، فاصله و میزان و نوع سوخت مورد نیاز برای انتقال مصالح در هر کیلومتر با در نظر گرفتن وسیله نقلیه مربوطه، بنابراین با داشتن این اطلاعات مصرف انرژی حمل و نقل در دوره احداث ساختمان تخمین زده شد. جدول ۱۲، اطلاعات مورد نیاز این بخش را نشان داده است. با توجه به اینکه نوع وسیله نقلیه در اغلب موارد ماشین سنگین می باشد که مسیر برگشت را بدون بار برمی گردد، مسافت برگشت نیز در محاسبه انرژی نهایی حمل و نقل منظور گردید، همچنین از تفاوت سوخت مصرفی وسایل نقلیه با بار و بدون بار در محاسبه انرژی حمل و نقل نیز صرف نظر گردید. با توجه به اطلاعات ارائه شده در جدول ۱۲، مصرف سوخت براساس لیتر بنزین و گازوییل محاسبه شد. در این پژوهش ضرایب تبدیل سوخت برای یک لیتر بنزین و گازوئیل به انرژی به ترتیب معادل ۳۵ و ۳۸ مگاژول منظور گردید. به دلیل اینکه انرژی نهفته مصالحی که در جدول مذکور بیان شده اند، شامل انرژی حمل مصالح تا محل کارگاه احداث ساختمان پایه نیست، بنابراین برآورد انرژی حمل در این قسمت، از محل کارخانه تولید مصالح به عنوان مبدا سفر و شهر تهران بعنوان مقصد سفر لحاظ شد. مقدار انرژی نهفته اولیه حمل و نقل مصالح در ساختمان مورد مطالعه در سه حالت A، G و K به ترتیب ۱۶۲۲۱۶۸، ۱۵۸۸۲۶۹،۵ و ۱۶۲۵۲۶۳،۵ مگاژول محاسبه شد.

جدول ۱۲: جزئیات انرژی نهفته حمل مصالح ساختمان مورد مطالعه (مگا ژول).

مصالح	محل توزیع	فاصله حمل Km	دفعات حمل	وسیله نقلیه	ظرفیت (تن)	مصرف سوخت Lit/100Km	مصرف انرژی
میله گرد	اصفهان	450	2	تریلی	32	0/49	33516
شن بتن	شهریار	55	97	کامیون	14	0/4	162184
فولاد	اصفهان	450	6	تریلی	32	0/49	100548
پوکه	شهریار	55	22	کامیون	14	0/4	36784
بلوک سیمانی	فیروزکوه	140	228	خاور	4	0/225	183397/5
بلوک سفالی	شهریار	55	277	خاور	4	0/225	92169
سفال سقفی	شهریار	55	366	خاور	4	0/225	121324/5
کاشی	شهریار	55	2	نیسان	2	0/15	1155
سنگ گرانیت	محلات	305	18	کامیون	14	0/4	166896
سیمان	فیروزکوه	140	32	کامیون	14	0/4	136192
ماسه	شهریار	55	173	کامیون	14	0/4	289256
پشم سنگ	اصفهان	450	1	نیسان	2	0/15	4725
پشم شیشه	اصفهان	450	1	نیسان	2	0/15	4725
قیر	تهران	10	14	نیسان	2	0/15	1470
موزاییک	فیروزکوه	140	9	خاور	4	0/225	21546
گچ	ساوه	155	9	کامیون	14	0/4	42408
خاک رس	تهران	10	10	خاور	4	0/225	1710
آجر نما	شهریار	55	17	خاور	4	0/225	15988/5
چوب	مازندران	270	1	خاور	4	0/225	4617
شیشه	قزوین	160	1	خاور	4	0/225	2736
UPVC	قزوین	160	2	خاور	4	0/225	5472

420	0/15	2	نیسان	4	10	تهران	رنگ
105	0/15	2	نیسان	1	10	تهران	ژئو نت
105	0/15	2	نیسان	1	10	تهران	ژئو تکستایل
36784	0/4	14	کامیون	22	55	شهریار	خاک کشت

انرژی نهفته اولیه دوره ساخت و برپایی ساختمان (*ErIEE*)، شامل مقدار انرژی جهت تامین سفرها، آب، خوراک، بهداشت، پوشاک و آسایش شاغلین در کارگاه و همچنین انرژی مکانیکی ابزار و ماشین آلات موجود در کارگاه است. با اینکه عواملی همچون نیروی انسانی در میزان انرژی دوره احداث ساختمان اثرگذارند، ولیکن سهم اندکی از مصرف انرژی را شامل می‌شوند، بر اساس یک تحقیق، تنها ۳٪ از انرژی دوره برپایی مربوط به نیروی انسانی است [۴۸]. البته در مناطقی که ساختمانهای سنتی با اتکا بر نیروی انسانی ساخته می‌شوند، سهم نیروی انسانی، مقدار بیشتری می‌باشد. با این حال صرف انرژی نیروی انسانی بسیار ناچیزتر از انرژی مکانیکی است [۴۹]. طبق مطالعات در مراجع مذکور، انرژی یک لیتر گازوییل حدوداً معادل مصرف انرژی دو کارگر است، که به مدت ۶ روز کار می‌کنند. بنابراین، در تحقیق حاضر از صرف انرژی نیروی کار انسانی صرف نظر شد، بعلاوه انرژی نهفته مربوط به آب مصرفی کارگاه نیز در نظر گرفته نشده است. انرژی مکانیکی دوره ساخت و ساز، در ساختمان مورد مطالعه در دو قسمت برپایی اسکلت و تکمیل بنا (شامل سفت کاری، نازک کاری و ...) به صورت جداگانه محاسبه شد. محاسبه انرژی احداث اسکلت از نتایج مطالعات محققین پیشین و برای محاسبه انرژی تکمیل بنا با توجه به رقوم کنتور برق ساختمانهای مشابه در دوره تکمیل ساختمان بهره گرفته شد. در مطالعات هروی و همکاران، انرژی نهفته اولیه ساخت و ساز در تهیه و تولید مصالح و برپایی قاب های بتنی و فولادی در ۱۴ ساختمان در کشور درحال توسعه ایران مورد بررسی قرار گرفته و میانگین میزان انرژی نهفته اولیه در قابهای بتنی و فولادی (شامل تولید مصالح، حمل و نقل و برپایی) به ترتیب ۲،۴۳ و ۳،۳۶ گیگا ژول بر متر مربع ارزیابی شده است. در نتیجه برای برپایی اسکلت فلزی، بدون لحاظ کردن انرژی تولید و حمل مصالح به سایت، به طور متوسط ۳۰ مگاژول بر متر مربع انرژی صرف می‌شود [۲۲]. با توجه به اینکه مقدار ارائه شده توسط هروی و همکاران به طور خالص برای برپایی اسکلت ساختمان در تهران می‌باشد و بر اساس میانگین ارقام به دست آمده از ساختمانهایی که اخیراً ساخته شده اند بوده است، از نتایج این تحقیق برای برآورد انرژی برپایی اسکلت فلزی و سقف تیرچه بلوک ساختمان مورد مطالعه استفاده شد. برای محاسبه انرژی مصرفی جهت تکمیل بنا پس از برپایی اسکلت، میزان برق شهری ثبت شده توسط کنتور موقت برق ملاک عمل بوده و با فرض اینکه که ساختمان در دوران برپایی از گاز شهری استفاده نکرده و گرمایش فضا بوسیله المنتهای برقی انجام شده است از سوخت مصرفی توسط تجهیزات احتمالی دیگر صرف نظر شد. مدت زمان تکمیل ساختمان مورد مطالعه پس از برپایی اسکلت آن تقریباً ۸ ماه بوده است که طی آن بر اساس قبوض برق صادر شده کارگاه های ساختمانی مشابه در تحقیقات قبلی، به طور متوسط ۹۰۰ کیلووات ساعت در هر ماه از برق شهری استفاده کرده است. با توجه به اینکه از ضریب ۳،۱۶۷ برای تبدیل انرژی برق (انرژی ثانویه) به اولیه استفاده می‌شود و هر کیلو وات ساعت حدوداً معادل ۳،۶ مگاژول است، مصرف انرژی اولیه برای تکمیل ساختمان و برپایی اسکلت مطابق رابطه ۱، محاسبه گردید. با فرض اینکه اغلب ساختمانها در دوران ساخت از سوخت گاز استفاده نمی‌کنند، می‌توان برای کلیه ساختمانها از این رابطه استفاده نمود [۲۰].

$$ErIEE_T = A_{Total} * H + PE_{Montly} * N * 11.40 \quad (1)$$

در رابطه ۱، A_{Total} مترژ کل زیر بنای ساختمان و H میانگین میزان انرژی نهفته اولیه برای برپایی قابهای بتنی و فولادی (بدون انرژی تولید و حمل و نقل مصالح تا سایت) که به ترتیب ۲۰ و ۳۰ مگاژول بر متر مربع ارزیابی شده است؛ و PE_{Montly} مصرف انرژی برق ماهیانه کارگاه بر حسب کیلووات ساعت و N تعداد ماههای ساخت بعد از برپایی اسکلت و $ErIE$ انرژی ساخت و ساز بر حسب مگاژول

است. با در نظر گرفتن رابطه مذکور و منظور کردن دوره اتمام زیربنای ساختمان مورد مطالعه، انرژی برپایی ساختمان در سه حالت G ، A و K حدود ۱۸۵۲۲۳ مگا ژول محاسبه شد.

۴-۲-۲- محاسبه انرژی نهفته تعمیر و تکرار مصالح ساختمان (REE)

ساختمانهای آموزشی دوره عمر نسبتاً طولانی دارند و در احداث آنها از مصالح متعددی استفاده می‌شود که طول عمر برخی از آن کمتر از عمر ساختمان است به طوری که اغلب به دفعات نیاز به تعمیر یا تعویض کلی دارند. انرژی دوره تعمیر و نگهداری ساختمان بر اساس تعداد دفعات تکرار تعویض مصالح با استفاده از رابطه ۲، مبتنی بر انرژی نهفته اولیه مصالح و انرژی حمل مصالح تا کارگاه ساختمان مورد مطالعه محاسبه می‌شود. این رابطه دارای یک ضریب است که بیانگر فرایند رو به تقلیل مصرف انرژی در صنعت استخراج و تولید مصالح است. این ضریب میزان بهینه شدن بازده صنعت تولید مصالح به طور متوسط در هر سال را نشان می‌دهد. در تحقیقی که قبلاً بر روی ساختمانهای کشور چین انجام گردیده، این ضریب مورد استفاده قرار گرفته و محققین برای آن مقدار ۰.۳ برای سالهای قبل ۲۰۳۰ میلادی و برای بعد از سال ۲۰۳۰ میلادی مقدار ۰.۱ را براساس پیشرفت صنایع در اروپا منظور کرده‌اند [۵۰]. با توجه به تحقیق مذکور، در این پژوهش نیز رقم متوسط ۰.۲ برای این ضریب در نظر گرفته شد، بنابراین فرایند بهبود صنایع و کاهش مقدار مصرف انرژی تولید مصالح در کشور ایران نیز در محاسبات انرژی دوره تعمیر و نگهداری لحاظ گردید.

$$REE = \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^{N_j} (IEE_j * W_j * P_j + TE_j) * (1 - a)^{n * t_j} \quad . N_j = \left(\frac{T}{t_j}\right)^d \quad (2)$$

در رابطه ۲، J تعداد کل مصالح، N_j فاکتور تکرار (تعداد دفعات تعویض) مصالح، IEE_j و W_j بترتیب انرژی نهفته اولیه تولید مصالح (مگا ژول) و مقدار وزن مصالح (کیلوگرم)، P_j نسبتی از حجم مصالح که در هر بار نیاز به تعویض دارد (عددی بین ۰ تا ۱)، TE_j انرژی حمل مقدار مورد نیاز مصالح از کارخانه تا سایت (مگاژول)، a نرخ متوسط کاهش سالانه انرژی نهفته مصالح (معادل ۰.۲)، T و t_j بترتیب طول عمر ساختمان و طول عمر مصالح (سال) هستند. بدین ترتیب مقدار انرژی نهفته تعمیر و تکرار مصالح در ساختمان مورد مطالعه با استفاده از رابطه مذکور، مصالح استفاده شده در ساخت و ساز اولیه و مقادیر ارائه شده در جدول ۱۳، که بر اساس متوسط آمار برگرفته از تحقیقات میدانی در ساختمانهای عمومی اداری و آموزشی برآورد شده است، محاسبه شد. مقدار این انرژی در مطالعه موردی این پژوهش برای ساختمان در سه حالت G ، A و K ، به ترتیب حدود ۶۹۵۳۸۰۵، ۶۹۶۹۹۷۲ و ۶۱۰۵۵۳۵ مگاژول بدست آمد.

جدول ۱۳: مقادیر برآورد شده برای طول عمر مصالح ساختمان مورد مطالعه.

مصالح	طول عمر مصالح	تعداد دفعات تکرار	درصد مصالح تخریب شده	مصالح	طول عمر مصالح	تعداد دفعات تکرار	درصد مصالح تخریب شده
شیشه پنجره ها	۲۰	۲	۵۰٪	عایق رطوبتی بام معمولی	۱۵	۳	۱۰۰٪
لایه نقاشی	۵	۱۰	۱۰۰٪	موزاییک یا لایه محافظ عایق رطوبتی در بام	۱۵	۳	۱۰۰٪
آجر نمای بیرونی	۲۵	۲	۲۵٪	عایق رطوبتی بام سبز	۲۵	۲	۱۰۰٪
گچ داخلی	۲۵	۲	۲۵٪	لایه محافظ عایق رطوبتی در بام سبز	۲۵	۲	۱۰۰٪
سنگ قرنیز دیوارها، کف و راه پله	۲۵	۲	۲۵٪	ژئو نت بام سبز	۲۵	۲	۱۰۰٪

٪۱۰۰	۲	۲۵	ژئو تکستایل بام سبز	٪۱۰۰	۲	۲۵	دربهای چوبی
٪۱۰۰	۲	۲۵	خاک محیط کشت بام سبز	٪۱۰۰	۳	۱۵	عایق رطوبتی سرویس ها
-	-	-	-	٪۱۰۰	۳	۱۵	کاشی سرویس ها

۳-۲-۴- محاسبه انرژی نهفته تخریب و بازیافت مصالح ساختمان (De + Re EE)

بر اساس تحقیقات پیشین، کمتر از ٪۱ انرژی کل چرخه عمر ساختمان مربوط به مرحله پایانی (تخریب و بازیافت) است [۱۸]. و بخش قابل توجهی از مصالح یا بازیافت می شوند و یا مجدداً مورد استفاده قرار می گیرند و با توجه به اینکه فرآیند یا استاندارد مشخص و اطلاعات کافی و قابل اتکایی در خصوص بازیافت مصالح در ایران وجود ندارد، در این مطالعه، از محاسبه انرژی این مرحله از چرخه عمر در مقادیر انرژی نهفته ساختمان، صرف نظر شد.

۳-۴- ارائه یافته ها

با محاسبه میزان انرژی مصرفی در همه زیربخشها، انرژی نهفته ساختمان شامل انرژی تولید مصالح، انرژی حمل مصالح، انرژی ساخت و ساز و انرژی تکرار مصالح برای تعمیر ساختمان در هر یک از ساختمانهای مورد مطالعه بدست آمد، که این مقادیر در جدول ۱۴، بیان شده اند. با توجه به جدول ۱۴ و با کمک شبیه سازی ساختمانهای مورد مطالعه در نرم افزار و تحلیل میزان انرژی مصرفی در طول عمر آنها با توجه به گرمایش زمین، مقدار انرژی چرخه عمر هر یک از ساختمانها محاسبه شد، که این مقادیر در جدول ۱۵، نشان داده شده اند. با توجه به مساحت کل ساختمان که ۳۴۴۰ متر مربع می باشد، کلیه مقادیر جزییات انرژی مصرفی کل عمر هر سه حالت ساختمان مورد مطالعه بر حسب گیگاژول بر متر مربع در شکل ۵ نشان داده شده است.

جدول ۱۴: جزییات انرژی نهفته ساختمان در سه حالت A، G و K (مگا ژول).

انرژی نهفته کل عمر ساختمان	انرژی نهفته تکرار مصالح	انرژی نهفته اولیه ساخت و ساز	انرژی نهفته اولیه			حالت ساختمان
			ساخت و ساز	حمل مصالح	تولید مصالح	
۴۰۰۹۲۹۹	۶۹۵۳۸۰۵	۳۳۰۵۵۴۹۴	۱۸۵۲۸۸	۱۶۲۲۱۶۸	۳۱۲۴۸۰۳۸	پایه اولیه A
۳۷۱۹۳۰۶۰	۶۹۶۹۹۷۲	۳۰۲۲۳۰۸۸	۱۸۵۲۸۸	۱۵۸۸۲۶۹	۲۸۴۴۹۵۳۱	بهینه نقطه G
۳۶۶۸۸۷۵۳	۶۱۰۵۵۳۵	۳۰۵۸۳۲۱۸	۱۸۵۲۸۸	۱۶۲۵۲۶۳	۲۸۷۷۲۶۶۷	بهینه نقطه K

ساختمانها، سهم انرژی مورد نیاز جهت سرمایه‌ش کاهش و سهم انرژی مورد نیاز جهت گرمایش، افزایش پیدا خواهد کرد. با توجه به مصرف انرژی در دوره سرمایه‌ش که الکتریسته و انرژی ثانویه می‌باشد، بهینه‌سازی ساختمانها در برابر اتلاف بار حرارتی، جهت بهینه‌سازی بهره‌وری انرژی بسیار مفید و کارآمد می‌باشد.

۳- انرژی چرخه عمر ساختمان پایه اولیه، معادل ۱۷۸۴۱۵،۵۴۸ گیگاژول محاسبه شد؛ انرژی چرخه عمر ساختمان G که یکی از حالت‌های بهینه ساختمان مورد مطالعه است، معادل ۱۵۴۱۹۵،۲۲۳ گیگاژول محاسبه گردید، مصرف انرژی چرخه عمر در ساختمان بهینه G نسبت به ساختمان پایه حدود ۲۴۲۲۰ گیگا ژول معادل ۳۹۵۸ بشکه نفت خام، کمتر بود (انرژی هر بشکه نفت حدودا معادل ۶،۱۲ گیگاژول است). این ۱۳٪ کاهش مصرف انرژی با توجه به قیمت نفت در سال ۱۴۰۰ (صرفنظر از تورم) حدودا ۳۳۶۳۹۴ دلار، صرفه جویی هزینه ملی در کل عمر ساختمان به همراه دارد. همچنین انرژی چرخه عمر ساختمان K، نیز معادل ۱۵۰۹۹۵۳۸۰ گیگاژول محاسبه شد، از اینرو مصرف انرژی چرخه عمر ساختمان بهینه K نسبت به ساختمان پایه اولیه ۲۷۴۲۰ گیگا ژول، معادل ۴۴۸۰ بشکه نفت خام، کمتر بود. این ۱۶٪ کاهش مصرف انرژی با توجه به قیمت نفت در سال ۱۴۰۰ (صرفنظر از تورم) حدودا ۳۸۰۸۳۵ دلار، صرفه جویی هزینه ملی در کل عمر ساختمان به همراه دارد.

۴- بر اساس تحلیل و خروجی نرم افزار دیزاین‌بیلدر، در پژوهش حاضر میزان بار هدایتی و تشعشعی سقف در دوره بهره‌برداری ساختمان بهینه G و ساختمان بهینه K (بام سبز)، بترتیب مقادیر ۱۲۰۱۳،۱۹ و ۵۶۱۵،۹۲۵ کیلووات ساعت در هر سال می‌باشد. از اینرو طراحی بام سبز در ساختمانهای مشابه حدودا ۵۳٪ کاهش اتلاف انرژی در سقف ساختمان را نشان داد، این میزان کاهش، مشابه مطالعات پیشین می‌باشد [۳۹]؛ ضمنا با توجه به نتایج شبیه‌سازی و تحلیل ماهانه مقادیر مصرف انرژی در این تحقیق دوره سرمایه‌ش سهم بیشتری از این کاهش را شامل شده است. و همانطور که بیان شد، با توجه به مصرف انرژی در دوره سرمایه‌ش که الکتریسته و انرژی ثانویه می‌باشد، اجرای بام سبز، جهت بهینه‌سازی بهره‌وری انرژی در دوره بهره‌برداری ساختمانهای آموزشی نیز بسیار مفید و کارآمد می‌باشد.

۵- بر اساس محاسبات انجام شده و نتایج آن، کل انرژی نهفته برای ساختمان A، G و K بترتیب حدودا ۱۱،۶۳، ۱۰،۸۱ و ۱۰،۶۵ گیگاژول بر متر مربع از کل انرژی چرخه عمر ساختمان بود، که شامل حدودا ۹،۶۱، ۸،۷۹ و ۸،۸۹ گیگاژول بر متر مربع انرژی نهفته اولیه (مجموع انرژی تولید مصالح، حمل و نقل مصالح و ساخت و ساز)، ۲،۰۲، ۲،۰۳ و ۱،۷۷ گیگاژول بر متر مربع انرژی تعمیر و نگهداری بوده است. همانطور که ذکر شد انرژی نهفته اولیه به سه بخش طبقه بندی می‌شود؛ سهم بخش تولید مصالح بترتیب برای ساختمان A، G و K حدودا ۹،۰۸، ۸،۲۷ و ۸،۳۶ گیگاژول بر متر مربع، سهم انرژی حمل مصالح حدودا ۰،۴۷، ۰،۴۶ و ۰،۴۷ گیگاژول بر متر مربع و سهم انرژی ساخت و ساز ۰،۰۵، ۰،۰۵ و ۰،۰۵ گیگاژول بر متر مربع بود. بر اساس نتایج بدست آمده، کم‌اثرترین دوره در محاسبات انرژی طول عمر ساختمان نمونه، دوره برپایی یا ساخت و ساز ساختمان بود که بخشی از انرژی نهفته اولیه بوده و سهمی در حدود ۰،۰۵ گیگاژول بر متر مربع از انرژی طول عمر ساختمان را تشکیل می‌داد، که در این پژوهش با توجه به سهم ۱٪ آن، مشابه اغلب گزارشات مربوط به چرخه عمر در مطالعات پیشین می‌باشد [۱۸]. همانطور که نتایج نشان داد؛ مقدار انرژی نهفته اولیه (انرژی نهفته تولید مصالح، حمل به سایت و برپایی ساختمان) برای ساختمان A، G و K بترتیب حدودا معادل ۹،۶۱، ۸،۷۹ و ۸،۸۹ گیگاژول بر مترمربع بدست آمده که این مقادیر بالاتر از بازه (۸،۳۵ - ۱ گیگاژول بر متر مربع) ارائه شده توسط پرسیدا و همکاران قرار دارد [۱۲]. با توجه به مطالعه هروی و همکاران اگر اسکلت سازه، بجای قاب فلزی با قاب بتنی مورد طراحی و اجرا قرار می‌گرفت، مصرف انرژی نهفته اولیه در ساختمانهای مورد مطالعه با حدود ۱۳٪ کاهش همراه می‌شد [۲۲]، آنگاه مقادیر انرژی نهفته اولیه برای ساختمان A، G و K بترتیب حدودا معادل ۸،۳۹، ۷،۶۴ و ۷،۷۳ گیگاژول بر مترمربع برآورد می‌شد؛ در اینصورت مقادیر انرژی نهفته اولیه در ساختمانهای بهینه‌ی G و K در بازه ارائه شده توسط پرسیدا و همکاران قرار می‌گرفتند [۱۲].

۶- انرژی دوره بهره برداری ساختمان A، G و K بترتیب حدودا ۴۰،۲۳، ۳۴،۰۱ و ۳۳،۲۳ گیگاژول بر متر مربع از کل انرژی چرخه عمر ساختمان بوده است که بیشترین سهم از کل انرژی چرخه عمر هر یک از ساختمانها را تشکیل داده از اینرو انرژی دوره بهره برداری، بیشترین سهم از انرژی چرخه عمر ساختمان را به خود اختصاص داده است. ارقام بدست آمده برای انرژی بهره برداری و انرژی نهفته برای ساختمان اولیه پایه، حاکی از آن بود که وضعیت مصرف انرژی ساختمانهایی که قبلا در ایران احداث شده است، فاصله قابل توجهی با ساختمانهای کم انرژی در دنیا داشته اند و می بایست راهکارهای موثری در جهت بهینه سازی آنها اندیشه شود تا از اتلاف سرمایه های ملی جلوگیری شود. همچنین نتایج حاصل از تحلیل انرژی مورد نیاز برای بهره برداری سالیانه در واحد سطح، نیز حاکی از آن بود که: مصرف انرژی ساختمان پایه اولیه در دوره بهره برداری معادل ۰،۸۰ گیگاژول بر مترمربع در هر سال می باشد که در بازه (۱،۲ - ۰،۰۸ گیگاژول بر متر مربع) ارائه شده توسط پرسیدا و همکاران قرار دارد [۱۲]، ولی مقدار مصرف انرژی دوره بهره برداری در ساختمان نمونه در مقایسه با ارقام جهانی رقم زیادی بود. مصرف انرژی ساختمان بهینه G در دوره بهره برداری معادل ۰،۶۸ گیگاژول بر متر مربع در هر سال بدست آمده که در بازه (۱،۲ - ۰،۰۸ گیگاژول بر متر مربع) ارائه شده توسط پرسیدا و همکاران قرار دارد، با توجه به کاربری ساختمان که آموزشی بود و تعداد بالای کاربران آن، رقم معقولی را نشان می داد [۱۲]. مصرف انرژی ساختمان بهینه K در دوره بهره برداری معادل ۰،۶۶ گیگاژول بر متر مربع در هر سال بدست آمد که در بازه (۱،۲ - ۰،۰۸ گیگاژول بر متر مربع) ارائه شده توسط پرسیدا و همکاران قرار داشت [۱۲]، با توجه به کاربری ساختمان که آموزشی است و تعداد بالای کاربران آن، رقم معقولی بوده ضمنا با توجه دارا بودن بام سبز نسبت به ساختمان بهینه G مصرف انرژی مناسبتری داشت. جزئیات انرژی بهره برداری سالیانه ساختمانهای مورد مطالعه، براساس خروجی نرم افزار دیزاین-بیلدر در پژوهش حاضر برای هر سه ساختمان واقع در شهر تهران نشان داد؛ مقدار مصرف انرژی جهت سرمایش محسوس تر از گرمایش است، بنابراین با توجه به ضریب ۳،۱۶۷، برای تبدیل انرژی ثانویه (الکتریسته) به انرژی اولیه، اگر در طراحی ساختمانهای بهینه از سیستمهای فعال خورشیدی و باتری های مخصوص استفاده شود، با توجه به کاهش قابل توجه مصرف انرژی اولیه برای تولید برق، جهت روشنایی و سرمایش ساختمان، صرفه جویی قابل توجهی در مصرف انرژی بهره برداری ساختمان خواهیم داشت و آنگاه مقادیر در پایین ترین قسمت بازه (۱،۲ - ۰،۰۸ گیگاژول بر مترمربع) ارائه شده توسط پرسیدا و همکاران قرار خواهند گرفت [۱۲].

پیشنهادها

- ۱- برای بهینه سازی بهره وری انرژی در صنعت ساختمان پیشنهاد می شود؛ همزمان با شبیه سازی انرژی مصرفی دوره بهره برداری از ساختمان، مصرف انرژی نهفته ساخت و ساز نیز تحلیل شود.
- ۲- انرژی مصرفی در دوره سرمایش ساختمانها، الکتریسته و از نوع انرژی ثانویه است، از اینرو پیشنهاد می شود؛ در بهینه سازی ساختمانها در برابر اتلاف بار حرارتی، کاهش سهم انرژی مورد نیاز جهت سرمایش نسبت به سهم انرژی مورد نیاز جهت گرمایش بیشتر مورد توجه قرار گیرد.
- ۳- مقدار مصرف انرژی جهت سرمایش در شهر تهران محسوس تر از مصرف انرژی جهت گرمایش است، با توجه به شدت انرژی تابشی خورشید در فصل گرم بر سطح افقی و نمای جنوبی ساختمانها در شهر تهران پیشنهاد می شود؛ در طراحی ساختمانهای بهینه از سیستمهای فعال خورشیدی و باتری های مخصوص استفاده گردد، تا با توجه به کاهش قابل توجه مصرف انرژی اولیه برای تولید برق (انرژی ثانویه)، جهت روشنایی و سرمایش ساختمان، صرفه جویی قابل توجهی در مصرف انرژی بهره برداری ساختمان ایجاد شود.
- ۴- با توجه به تغییر ناچیز مقدار انرژی نهفته در ساختمان بهینه دارای بام سبز، پیشنهاد می شود؛ اجرای بام سبز و سیستمهای غیر فعال خورشیدی، بعنوان راه حلی بسیار مفید و کارآمد جهت بهینه سازی بهره وری انرژی در دوره بهره برداری ساختمانها مد نظر قرار گیرد.

۵- زمانیکه پروژه در فاز برنامه ریزی و طراحی است و محدودیت طراحی و اجرایی برای ساختمان تعریف نشده، پیشنهاد می‌شود؛ برای کاهش مصرف انرژی نهفته اولیه ساخت و ساز، اسکلت قاب بتنی نسبت به قاب فلزی ارجحیت داده شود.

۶- برای جلوگیری از اتلاف سرمایه‌های ملی، پیشنهاد می‌شود؛ دولت با ارائه طرحهای تشویقی سبب شود، که ذینفعان با در نظر گرفتن انرژی نهفته، راهکارهای موثری در جهت بهینه سازی مصرف انرژی بهره برداری از ساختمانهایی که قبلا در ایران احداث شده، اندیشه کنند.

با توجه به اینکه ساختمان مورد مطالعه در این تحقیق دارای کاربری آموزشی در شهر تهران بوده است، لذا پیشنهاد می‌شود در مطالعات بعدی جهت بررسی بیشتر انرژی چرخه عمر ساختمان، ساختمانهای دیگری با کاربریهای مختلف، بطور مثال مجتمع‌های مسکونی با تعداد واحدهای انبوه، اداری، درمانی و همینطور ساختمانهای بلند مرتبه مورد مطالعه قرار گیرند. همینطور با توجه به چالش ذخایر آب در کشور، مصرف آب در دوره بهره‌برداری ساختمان نیز بررسی شود. همچنین با توجه به اهمیت گرم شدن کره زمین در سالهای اخیر به کمک یافته‌های این پژوهش می‌توان روی راهکارهای کاهش تولید گاز CO2 نهفته در صنعت ساخت و ساز، نیز تحقیقات مفیدی انجام داد.

جنبه نوآوری و جدید بودن تحقیق

در سالهای اخیر در راستای ارائه راهکارهای صرفه جویی در مصرف انرژی و بهینه سازی بهره وری آن در صنعت ساختمان مطالعاتی زیادی صورت گرفته و راهکارهایی هم در زمینه استفاده از مصالح، عایقها، پنجره‌ها، سیستمهای نوین، لوازم الکتریکال و مکانیکال جهت کاهش اتلاف انرژی در زمان بهره برداری ارائه شده است. مطالعات مذکور بیشتر جنبه آزمایشگاهی، کاربردی و تک بعدی جهت تامین آسایش حرارتی کاربران داشته‌اند و هیچکدام در زمینه تاثیر مبانی طراحی جهت انتخاب نوع مصالح متداول و پایدار با توجه به سیکل انرژی و تاثیرشان بر آسایش حرارتی کاربران بصورت یکپارچه نبوده‌اند. از اینرو این پژوهش با ارائه یک رویکرد یکپارچه برای ارزیابی بهینه‌سازی بهره‌وری انرژی نهفته و بهره‌برداری ساختمان بر مبنای آنالیز انرژی چرخه عمر آن مسئله جدید و مهمی است که برای جلوگیری از اتلاف انرژی های تجدید ناپذیر بسیار قابل توجه خواهد بود. ضمنا محدوده مقادیر جزییات انرژی چرخه عمر محاسبه شده در ساختمانهای مورد مطالعه، می‌تواند یک الگوی مناسب جهت تخمین انرژی نهفته و بهره برداری در ساختمانهای دیگر با شرایط مشابه باشد.

مراجع

- [1] Dixit, M. Fernandez-Solis, J. Lavy, S. and Culp, C. (2010). Identification of parameters for embodied energy measurement: A literature review. *Energy and Buildings*, 42(8), 1238-1247.
- [2] Vukotic, L. Fenner, R. and Symons, K. (2010). Assessing embodied energy of building structural elements. *the Institution of Civil Engineers-Engineering Sustainability*, 163(3), 147-158.
- [3] Dixit, M. Culp, C. and Fernández-Solís, J. (2013). System boundary for embodied energy in buildings: A conceptual model for definition. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 21, 153-164.
- [4] Thormark, C. (2002). A low energy building in a life cycle-its embodied energy, energy need for operation and recycling potential. *Building and Environment*, 37, 429 – 435.
- [5] Fay, R. Treloar, G. and Iyer-Raniga, U. (2000). Life-cycle energy analysis of buildings: a case study. *buildings Research & Information*, 28(1), 31-41.
- [6] Schultmann, F. and Sunke, N. (2007). Energy-oriented deconstruction and recovery planning. *Building Research & Information*, 35(6), 602-615.
- [7] Yousefi, F. Gholipour Y. and Yan, W. (2017). A study of the impact of occupant behaviors on energy performance of building envelopes using occupants' data. *Energy & Buildings*, 148, 182-198.
- [8] Peuportier, B. (2001). Life cycle assessment applied to the comparative evaluation of single family houses in the French context. *Energy and Buildings*, 33(5), 443- 450.

- [9] Crowther, P. (1999). Design for disassembly to recover embodied energy. in The 16th International Conference on Passive and Low Energy Architecture, Melbourne–Brisbane–Cairns.
- [10] Winter, B. and Hestnes, A. (1999). Solar versus green: The analysis of a Norwegian row house. *Solar Energy*, 66(6), 387–393.
- [11] Adalbert, K. (1997). Energy use during the life cycle of single-unit dwellings: examples. *Building and Environment*, 32(4), 321-329.
- [12] Praseeda, K. Venkatarama Reddy, B. and Mani, M. (2016). Embodied and operational energy of urban residential buildings in India. *Energy and Buildings*, 110, 211-219.
- [13] Venkatarama Reddy, B. and Jagadish, K. (2003). Embodied energy of common and alternative building materials and technologies. *Energy and Buildings*, 35, 129–137.
- [14] Deng, W. Prasad, D. Osmond, P. and Li, F. (2011). Quantifying life cycle energy and carbon footprints of China's residential small district. *Journal of Green Building*, 6(4), 96-111.
- [15] Junnila, S. Horvath, A. and Guggemos, A. (2006). Life-cycle assessment of office buildings in Europe and the United States. *Journal of Infrastructure Systems*, 12(1), 10-17.
- [16] Mithraratne, N. and Vale, B. (2004). Life cycle analysis model for New Zealand houses. *Building and Environment*, 39, 483- 492.
- [17] Nassen, J. Hedenus, F. Karlsson, S. and Holmberg, J. (2012). Concrete vs wood in buildings- an energy system approach. *Building and Environment*, 51, 361-369.
- [18] Ramesh, T; Prakash, R. and Shukla, K. (2010). Life cycle energy analysis of buildings: an overview. *Energy and Buildings*, 42, 1592-1600.
- [19] Dixit, M. (2017). Life cycle embodied energy analysis of residential buildings: A review of literature to investigate embodied energy parameters. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 390- 413.
- [20] Yousefi, F. Gholipour Y. (2018). Evaluating the energy consumption of the life of a real residential building in Tehran. *Journal of Fine Arts - Architecture and Urban Planning*, 23(1), 92-81. (in Persian)
- [21] Forouzan, N. Hajipour, Kh. and Soltani, Ali. (2016). Investigation of latent energy consumption in residential textures: A case study of Shiraz. *Naghsh-e-Jahan Quarterly*, 6(1), 52-42. (in Persian)
- [22] Heravi, G. Nafisi, T. and Mousavi, R. (2016). Evaluation of energy consumption during production and construction of concrete and steel frames of residential buildings. *Energy and Buildings*, 130, 244-252.
- [23] Zolfaghari, S.A. Saadati Nasab, M. and Norouzi Jajarm, E. (2014). Assessing the impact of the exterior of the building on annual energy consumption in different climates of Iran. *Iranian Journal of Energy*, 17(4), 69 – 80. (in Persian)
- [24] Bolattürk, A. (2008). Optimum insulation thicknesses for building walls with respect to cooling and heating degree-hours in the warmest zone of Turkey. *Building and Environment*, 43(6), 1055-1064.
- [25] Daouas, N. (2011). A study on optimum insulation thickness in walls and energy savings in Tunisian buildings based on analytical calculation of cooling and heating transmission loads. *Energy and Buildings*, 43(1), 156-164.
- [26] Mahdavinejad, M.J. and Fakhari, M. (2013). Stablishment of Optimum Designing Pattern in Buildings Roof Shape Based on Energy Loss. *Naqsh-e-jahan*, 3(2), 35-42. (in Persian)
- [27] Ortiga, J. Carles Bruno, J. Coronas, A. and Grossman, I.E. (2007). Review of optimization models for the design of polygene ration systems in district heating and cooling networks. In: the 17th European Symposium on Computer Aided Process Engineering.
- [28] Diakaki, C. Grigoroudis, E. and Kolokotsa, D. (2008). Towards a multi-objective optimization approach for improving energy efficiency in buildings. *Energy and Buildings*, 40(9), 1747-1754.
- [29] Asadi, E. Da Silva, M.G. Antunes, C.H. Dias, L. and Glicksman, L. (2014). Multi objective optimization for building retrofit: A model using genetic algorithm and artificial neural network and an application. *Energy and Buildings*, 81, 444-356.
- [30] Diakaki, C. Grigoroudis, E. and Kolokotsa, D. (2013). Performance study of a multiobjective mathematical programming modelling approach for energy decision-making in buildings. *Energy and Buildings*, 59, 534-542.

- [31] Antipova, E. Boer, D. Guillen-Gosalbez, G. Cabeza, L.F. and Jimenez, L. (2014). Multi-objective optimization coupled with life cycle assessment for retrofitting building. *Energy and Buildings*, 82, 92-99.
- [32] Carreras, J. Pozo, C. Boer, D. Guillen-Gosalbez, G. Caballero, J.A. Ruiz- Femenia, R. and Jimenez, L. (2016). Systematic approach for the life cycle multi-objective optimization of buildings combining objective reduction and surrogate modeling. *Energy and Buildings*, 130, 506-518.
- [33] Ebrahimi.S, T. Mohtashami, M. Ziaee, A. and Salehnia, N. (2011). Energy auditing of residential buildings in Mashhad and comparison of the gas consumption efficiency for different heating systems. In: the first international conference on new approaches towards energy conservation, Tehran: Amir Kabir University. (in Persian)
- [34] Shahmohammadi, F. Azimi, A. and Kazemizadeh, H. S. (2006). Simulation and optimization of heating energy consumption of buildings. In: the 5th international conference on fuel conservation in building, Iran, Tehran. (in Persian)
- [35] Gilani, S. and Mohammadkari, B. (2011). Investigation of Greenhouse's Thermal Performance in Residential Buildings of Cold Climate Case Study: City of Ardebil. *Modares Mechanical Engineering*, 11(2), 147-157. (in Persian)
- [36] Wang, F. Yoshida, H. and Ono, E. (2009). Methodology for optimizing the operation of heating/cooling plants with multi-heat-source equipments. *Energy and Buildings*, 41(4), 416-425.
- [37] Hammond, G. and Jones, C. (2008). Inventory of Carbon and Energy (ICE). Sustainable Energy Research Team, Dept. of Mechanical Engineering, University of Bath, Bath, United Kingdom.
- [38] Hammond, G. and Jones, C. (2011). Inventory of Carbon and Energy (ICE). Sustainable Energy Research Team, Dept. of Mechanical Engineering, University of Bath, Bath, United Kingdom.
- [39] Mahmoodi, M. Pakari, N. and Bahrami, H. (2012). Evaluate how the green roof affects the reduction of ambient temperature. *Bagh nazar Quarterly*, 9(20), 73-82. (in Persian)
- [40] Mahmoudpour, A. and Dehghan-Manshadi, M. (2013). Solar greenhouse thermal analysis. In: Fifth Conference on Renewable, Clean and Efficient Energy, Tehran. (in Persian)
- [41] Jahanbakhshi, A. and Ahmadi nadooshan A. (2018). Simulation of passive heating solar wall and prediction the temperature by Artificial Neural Networks and Adaptive Neuro-Fuzzy model (ANFIS). *Modares Mechanical Engineering*, 18(2), 159-169. (in Persian)
- [42] Bhardwaj, A. et al. (2019). More priorities, more problems? Decision-making with multiple energy development and climate objectives. *Energy Research & Social Science*, 49(3), 143-157.
- [43] Akbari, H. Hadavi, F. Zamani, M. and Alipour ,Y. (2016). Determining the appropriate directions of the building in order to receive optimal solar radiation in the city of Zanjan. *Environmental Management Quarterly*, 33, 155-173. (in Persian)
- [44] Guzman, V.C, Cascales M.S. Espinosa, N. and Urbina, A. (2019). Life Cycle Analysis with Multi-Criteria Decision Making: A review of approaches for the sustainability evaluation of renewable energy technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 104, 343-366.
- [45] Balali, A. Valipour. A. Zavadskas. E.K. and Turskis, T. (2020). Multi-Criteria Ranking of Green Materials According to the Goals of Sustainable Development. *Sustainability*, 12(22), 1-18.
- [46] Klumbyte, E. Bliudzius, R. Medineckiene, M. and Fokaides, P.A. (2021). An MCDM Model for Sustainable Decision-Making in Municipal Residential Buildings Facilities Management. *Sustainability*, 13(5), 1-16.
- [47] National Regulations of Iran, Article 19. (2020). Energy Conservation. Tehran: Iran Development Publishing.
- [48] Pullen, S. (2000). Energy used in the construction and operation of houses. *Architectural Science Review*, 43(2), 87-94.
- [49] Gao, W; Ariyama, T; Ojima, T & Meier, A (2001), Energy impacts of recycling disassembly material in residential buildings, *Energy and Buildings*, Vol. 33, pp. 553-562.

- [50] Ma, J. Du, G. Zhang, Z. Wang, P. and Xie, B. (2017). Life cycle analysis of energy consumption and CO2 emissions from a typical large office building in Tianjin , China. Building and Environment, 117, 36- 48.