توسعه نقش ارزیابی چرخه حیات در بهبود مدیریت ساخت پروژه‌های ساختمانی

سید عظیم حسینی
دانشیار، دانشکده فنی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، تهران، ایران
محمدرضا همت آزاد
کارشناس ارشد، دانشکده فنی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۲۰، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۸

ارجاع به مقاله:
سیدعظیم حسینی، محمدرضا همت‌آزاد، توسعه نقش ارزیابی چرخه حیات در بهبود مدیریت ساخت پروژه‌های ساختمانی، *مهندسی و مدیریت ساخت*، ۱۴۰۳؛ ۹ (۲): ۲۴-۳۲.

چکیده

به دنبال توسعه جوامع، رشد صنعت ساختمان بسیار چشم‌گیر بوده است. مطابق گزارش‌ها، حدود یک میلیارد تن زباله تولیدی سالانه کشورهای اتحادیه اروپا، مربوط به صنعت ساختمان بوده و این صنعت بیش از ۴۰ درصد انرژی جهانی را مصرف کرده است. همچنین، صنعت ساختمان مسئول تولید و انتشار ۵۰-۴۰ درصد گازهای گلخانه‌ای است. بنابراین میزان مصرف ماده و انرژی، تولید مواد زائد و انتشار آلاینده‌ها از این صنعت بایستی شناسایی و کنترل شود. امروزه، ارزیابی چرخه حیات به عنوان یکی از قابل اعتمادترین روش‌ها در بررسی اثرات زیست‌محیطی پذیرفته شده و می‌تواند راه‌حل‌هایی را در راستای کاهش اثرات مخرب محیط‌زیستی با مقایسه راهکارهای مختلف تولید یا ارائه خدمات معرفی کند. هدف اصلی این تحقیق بررسی یافته‌های مهم معتبرترین مطالعات در زمینه نقش و تأثیر دانش ارزیابی چرخه حیات در بخش‌های مختلف صنعت ساختمان است که می‌تواند در سازماندهی و توصیف شرایط فعلی مفید باشد. بیان مزیت‌ها، چالش‌ها و بررسی احتمالات ممکن برای حل آن‌ها و ارائه پیشنهاداتی برای تعیین چارچوب پیاده‌سازی ارزیابی چرخه حیات در صنعت ساختمان از دیگر اهداف این تحقیق است. نتایج این مطالعه اثرات مثبت ارزیابی چرخه حیات در توسعه پایدار صنعت ساختمان را نشان می‌دهد. همچنین، مرحله بهره‌برداری به دلیل طولانی‌تر بودن، بیشترین تأثیرات را بر محیط‌زیست دارد. مصالح غالب ساختمان نیز، تأثیر قابل‌توجهی بر مصرف انرژی و پتانسیل‌های گرمایش جهانی ساختمان‌ها دارد.

کلمات کلیدی
ارزیابی چرخه حیات، مدیریت ساخت، هزینه، انرژی، توسعه پایدار

۱- مقدمه

یکی از اثرات مهم توسعه اقتصادی و اجتماعی جوامع، رشد صنعت ساخت است. از این رو، حجم فعالیت‌های صورت‌گرفته در این صنعت طی سال‌های اخیر، بسیار قابل توجه بوده‌است [۱, ۲]. این فعالیت‌ها شامل فازهای مختلف استخراج مواد اولیه از معادن، تولید مصالح، ساخت، استفاده، نگهداری و تخریب می‌شود. برای هر فاز مقدار زیادی ماده و انرژی مصرف‌شده و حجم قابل توجهی آلاینده تولید می‌شود

Developing the role of life cycle assessment in improving construction management of construction projects

Seyed Azim Hosseini
Associate Professor,Faculty of Engineering, Islamic Azad University, South Tehran branch, Tehran, Iran
Mohammad Reza Hemmat Azad,
M.Sc., Faculty of Engineering, Islamic Azad University, South Tehran branch, Tehran, Iran

***Corresponding author's email address:**
s.az.hosseini.t@gmail.com

How to cite this article:
Seyed Azim Hosseini, Mohammad Reza Hemmat Azad, Developing the role of life cycle assessment in improving construction management of construction projects, *Journal of Engineering and Construction Management (JECM)*, 2025; 9(2):24-32.

Abstract

Following communities development, the growth of construction industry has been very impressive. About one billion tons of waste produced annually by the European Union countries is related to the construction industry, and this industry has consumed more than 40% of global energy. Also, the construction industry is responsible for the production and emission of 40-50% of greenhouse gases. Therefore, the material and energy consumption, the production of waste materials and the pollutants emission should be identified and controlled. Today, life cycle assessment is accepted as one of the most reliable methods in investigating environmental effects and can introduce solutions in order to reduce the harmful effects of the environment by comparing different ways of producing or providing services. The main goal of this research is to review the important findings of the most reliable studies in the field of life cycle assessment knowledge in different sectors of the construction industry, which can be useful in organizing and describing the current conditions. Expressing the advantages, challenges and examining possible possibilities to solve them and providing suggestions for determining the implementation framework of life cycle assessment in the construction industry are other goals of this research. The results of this study show the positive effects of life cycle assessment in the sustainable development of the construction industry. Also, the exploitation stage has the greatest impact on the environment due to its longer duration. The dominant building materials also have a significant effect on energy consumption and global warming potentials of buildings.

Keywords
life cycle assessment, construction management, cost, energy, sustainable development

[۳]. مطابق گزارش ارائه‌شده از سوی اتحادیه اروپا، حدود یک میلیارد تن زباله تولیدی سالانه کشورهای این اتحادیه، مربوط به صنعت ساخت است [۴]. همچنین، این صنعت بیش از ۴۰ درصد انرژی جهانی را مصرف کرده [۵] و مسئول تولید و انتشار ۵۰-۴۰ درصد گازهای گلخانه‌ای و گازهای مؤثر در باران‌های اسیدی در سراسر جهان است [۶]. سالانه حدود ۴۰ درصد مواد ورودی به اقتصاد جهانی و سه میلیون ماده خام در در این صنعت مصرف می‌شود [۷].

با این حجم مصرف بالای مواد و انرژی، تولید زباله و انتشار آلاینده‌ها، صنعت ساخت بیش از هر زمان دیگری نیازمند بهبود شاخص‌های پایداری (اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی) خود به منظور کاهش اثرات مخرب محیط‌زیستی حاصل از آن است [۸]. بنابراین ضروری است تا مشخص شود چطور این میزان مصرف ماده و انرژی، تولید مواد زائد و انتشار آلاینده‌ها از این صنعت موجب بروز آسیب‌های محیط‌زیستی شده و می‌توانند کنترل شوند [۹]. به دلیل افزایش آگاهی از معضلات محیط‌زیستی و فشارهای وارده از سوی دولت‌ها و فعالان حوزه محیط‌زیست، تاکنون تحقیقات گسترده‌ای با هدف کاهش مصرف انرژی و تأثیرات محیط‌زیستی در صنعت ساخت انجام گرفته‌است [۱۰].

برای ارزیابی کاملی از تأثیرات مخرب محیط‌زیستی صنعت ساخت و بهینه‌سازی جنبه‌های مختلف پایداری در آن، از روش مؤثر ارزیابی چرخه حیات (LCA) استفاده‌شده و در سال‌های اخیر سهم قابل توجهی از تحقیقات در این حوزه را به خود اختصاص داده‌است [۱۱-۱۷]. ارزیابی چرخه حیات، ابزاری مفید و پذیرفته‌شده در بین محققین برای ارزیابی کمی تأثیرات محیط‌زیستی محصولات یا خدمات، طراحی اکولوژیکی و محاسبه مواد و انرژی مصرف‌شده در کل چرخه حیات آنها از استخراج مواد خام تا پردازش و تولید، استفاده و دورریز زائدات است [۱۸-۲۰]. ارزیابی چرخه حیات می‌تواند راه‌حل‌هایی را در راستای کاهش اثرات مخرب محیط‌زیستی با مقایسه راهکارهای مختلف تولید یا ارائه خدمات معرفی کند [۲۱]. بکارگیری LCA در کل چرخه حیات ساختمان می‌تواند ارزیابی سیستماتیک و هدفمندی از انواع تأثیرات اکولوژیکی این صنعت داشته باشد [۲۲]. در دهه‌های اخیر، سرعت رشد تحقیقات و مطالعات صورت‌گرفته در این حوزه بسیار قابل توجه بوده و از آغاز قرن ۲۱ این شیوه ارزیابی در کشورهای توسعه‌یافته در قالب چارچوب و استانداردهایی بکار گرفته شده‌است [۳, ۲۳]. با این وجود، برای دستیابی به مزایای LCA لازم است تا از این زمینه دانش به درستی استفاده کرد. بکارگیری LCA به همراه یک ارزیابی تحلیلی – محیط‌زیستی می‌تواند به طراحان، مهندسان و تصمیم‌گیرندگان در راستای کاهش مصرف انرژی و ماده و تأثیرات مخرب محیط‌زیستی کمک کند. بدون LCA، تمرکز اصلی احتمالاً بر روی هزینه‌های اولیه به جای مزایای کلی محیط‌زیستی خواهد بود [۲۴].

علی‌رغم تأثیر بالای ارزیابی چرخه حیات و نقش آن در اصلاح صنعت ساخت، هنوز مشکلاتی جدی در این مسیر وجود دارد که گسترش بکارگیری آن را در صنعت ساخت، با چالش‌های جدی روبرو کرده‌است [۲۵, ۲۶]. برای روشن‌کردن این چالش‌ها و شیوه‌های مقابله با آن‌ها، بررسی عمیقی در مطالعات انجام‌گرفته در این حوزه نیاز است؛ چراکه روش‌های ارزیابی چرخه حیات ساختمان‌ها بسته به نوع کاربری [۲۷]، مصالح بکاررفته [۲۸]، اندازه و محل ساخت [۲۹] تفاوت دارد. هدف اصلی این مطالعه ارزیابی عمیقی از بکارگیری دانش ارزیابی چرخه حیات در صنعت ساختمان است. بنابراین، این مطالعه به بیان وضعیت فعلی کاربرد LCA در انواع ساختمان‌ها (مسکونی و غیرمسکونی) با مصالح مختلف (بتنی، چوبی و فلزی) و در مراحل مختلف چرخه حیات آن‌ها (ساخت، بهره‌برداری و تخریب) می‌پردازد. بیان مزیت‌های بکارگیری ارزیابی چرخه حیات در ساختمان‌ها، چالش‌های موجود و بررسی احتمالات ممکن برای حل این معضلات از دیگر اهداف این مطالعه است.

در این مطالعه، به ارزیابی مطالعات مختلف انجام‌گرفته در بکارگیری ارزیابی چرخه حیات در زیربخش‌های ساختمانی؛ مسکونی و غیرمسکونی، فازهای مختلف، مصالح بکاررفته (بتنی، چوبی و فلزی) و مراحل مختلف چرخه حیات (ساخت، بهره‌برداری و تخریب) پرداخته خواهد شد. سپس، چالش‌های موجود و بررسی احتمالات ممکن برای حل این معضلات در حوزه LCA در ساختمان‌ها بررسی خواهد شد. در نهایت، چارچوبی برای تصمیم‌گیرندگان و سرمایه‌گذاران در حوزه بکارگیری LCA در صنعت ساخت و پیشنهاداتی برای کارهای تحقیقاتی آینده با توجه به خلاء موجود، ارائه خواهدشد.

۱-۱ ارزیابی چرخه حیات (LCA)

ارزیابی چرخه حیات (LCA) روشی برای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی فرآیندها و محصولات (کالاها و خدمات) در طول چرخه زندگی آنها از گهواره تا گور است [۱۵]. بررسی‌ها نشان می‌دهد که ارزیابی چرخه حیات به دلیل روش یکپارچه آن برای موضوعاتی مانند ارزیابی تأثیر و کیفیت داده‌ها به یک روش پرکاربرد تبدیل شده است. شرح روش ارزیابی چرخه حیات بر اساس استانداردهای بین المللی سری ISO 14040 است و شامل چهار مرحله تحلیلی متمایز شامل تعریف هدف و دامنه، ایجاد موجودی، ارزیابی تأثیر و در نهایت تفسیر نتایج است [۲۱]. در شکل ۱ ارتباط بین مراحل مختلف یک ارزیابی چرخه حیات آورده شده است.

شکل ۱- مراحل انجام ارزیابی چرخه حیات

۲- مواد و روش‌ها

ارزیابی انجام‌گرفته در این مطالعه برمبنای مطالعات مرتبط، استانداردها و چارچوب‌های موجود انجام خواهدشد. در ابتدا مفاهیم اولیه ارزیابی چرخه حیات بررسی می‌شود. سپس امکان استفاده از

JECM
2025 , 9 (2)
دوره ۹، شماره ۲
زمستان ۱۴۰۳
دوفصلنامه پژوهشی

ارزیابی چرخه حیات در بخش‌های مختلف صنعت ساخت و تأثیر آن در هر بخش ارزیابی می‌شود. دلیل تمرکز این مطالعه بر بکارگیری LCA در صنعت ساخت، پذیرش گسترده جامعه علمی و تحقیقاتی از LCA به عنوان ابزاری برای بهبود پایداری فرایندها و خدمات و نیز، ممانعت از تأثیرات منفی محیط‌زیستی و در نتیجه افزایش کیفیت زندگی و حفظ سلامتی بشر است.

از آنجاکه بکارگیری دانش ارزیابی چرخه حیات در صنعت ساخت، نیازمند اثبات مزایا و کاربردها و شناسایی چالش‌های عملیاتی است، این مطالعه با استفاده از یک بررسی عمیق و سیستماتیک به ارزیابی مقایسه ای رویکردهای مختلف بکارگیری ارزیابی چرخه حیات در بخش های مختلف ساخت از مسیر نوع کاربری ساختمان، مصالح بکاررفته و مراحل مختلف طراحی تا تخریب آن می پردازد. در مسیر انجام تحقیق، ابتدا مطالعات مختلف مرور می شود تا مشخص شود مدیران و تصمیم گیرندگان این صنعت چگونه حاضر به پذیرش دانش LCA می شوند و چه عواملی در تحقق این کاربرد نقش خواهند داشت.

این مطالعه مروری بر اساس بررسی سیستماتیک مطالعات پیشین تا سال ۲۰۲۳ انجام گرفته است. علت انتخاب این روش، پیش‌روی براساس معیارهای خاصی است که در نتیجه مقالات مرتبط را از میان بسیاری مقالات منتشر شده در حوزه صنعت ساخت، فیلتر می کند. به همین منظور در ابتدا دستورالعمل تحقیقاتی برای تعیین ساختار و معیارهای انجام بررسی سیستماتیک مطالعات مطابق جدول ۱ تهیه شد. پایگاه داده Science of Direct، به دلیل انتشار مقالات متعدد با گستردگی مناسب برای این مطالعه در نظر گرفته شد. گزینش مقالات در دو دور انجام شد. در مرحله اول، جست و جوی کلمات کلیدی ارزیابی چرخه حیات (LCA) و صنعت ساخت یک نمای کلی از تحقیقات در حوزه مطالعاتی را مشخص کرد. سپس در مرحله دوم، مقالات مرتبط با ادغام دانش ارزیابی چرخه حیات در صنعت ساخت جهت شناسایی تغییرات سطح دانش در این حوزه، وضعیت فعلی، امکان توسعه LCA در صنعت ساخت، مراحل و فاکتورهای مؤثر در این مسیر گزینش نهایی شدند. یافته های گزارش شده در این مقاله مبتنی بر تحلیل کیفی است.

۳- نتایج و بحث

۳-۱ ارزیابی چرخه حیات انواع ساختمان‌ها

در این بخش به بررسی مهم‌ترین مطالعات ارزیابی چرخه حیات در ساختمان‌های مسکونی و غیرمسکونی پرداخته می‌شود.

۳-۱-۱ ساختمان‌های مسکونی

آدالبرث و همکاران [۲۹] در مطالعه خود به بررسی مراحل مختلف چرخه حیات چهار ساختمان با طول عمر ۵۰ سال، یافتن مرحله‌ای از چرخه حیات که بیشترین تأثیر زیست‌محیطی را دارد و ارزیابی وجود تفاوت در تأثیرات زیست‌محیطی به دلیل انتخاب نوع ساخت‌وساز پرداختند. براساس بررسی‌های انجام‌شده، مقدار انرژی مصرفی ۶۴۰۰ کیلووات ساعت بر مترمربع در طول ۵۰ سال محاسبه شده است. فاز تجهیز به تنهایی حدود ۷۰ تا ۹۰ درصد از کل اثرات زیست‌محیطی یک ساختمان را به خود اختصاص می‌دهد، بنابراین انتخاب گزینه‌های ساخت‌وساز و تأسیساتی که اثرات زیست‌محیطی کمتری در مرحله تجهیز آن دارند، بسیار مهم است.

آرپک و هاتزلر [۳۰] از تکنیک‌های ارزیابی چرخه حیات و تحلیل هزینه چرخه حیات (LCC) برای مطالعه مصرف آب در ساختمان‌های مسکونی در کلمبیا و آمریکا استفاده کردند. نتایج نشان داد، استفاده از گاز طبیعی به جای برق برای گرمایش آب باید انجام شود، زیرا با استفاده از گاز طبیعی برای گرم‌کردن آب به عنوان جایگزین برق، ۸۰۰۰۰ دلار صرفه‌جویی در هزینه‌ها صورت می‌گیرد.

نورمن و همکاران [۳۱] ساختمان‌های پرجمعیت و کم‌جمعیت را از نظر مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در تورنتو (کانادا) مقایسه کردند. در این مطالعه، دو واحد عملکردی مساحت زندگی (به ازای هر مترمربع) و تعداد نفر در یک خانه (بر اساس سرانه) انتخاب شد. تنظیم فهرست چرخه حیات در این مطالعه، بر اساس ورودی- خروجی اقتصادی برای برآورد اثرات زیست‌محیطی تولید مواد لازم برای ساخت، انجام گرفت. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که انتشار انرژی و گازهای گلخانه‌ای حاصل از تولید مواد در سراسر زنجیره تأمین برای مطالعه موردی با چگالی پایین، تقریباً ۱/۵ برابر بیشتر از مطالعه موردی با چگالی بالا بر اساس سرانه بود. همچنین، سناریوی توسعه با چگالی بالا اگر برای واحد مسکونی درنظر گرفته شود، ۱/۲۵ برابر انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای، فشرده‌تر از چگالی کم می‌شود. همچنین، آجر و بتن در مجموع ۶۰ تا ۷۰ درصد از کل انرژی و اثرات GHG مربوط به تولید را برای مطالعات موردی چگالی کم و بالا تشکیل می‌دهند.

گوگموس و هوروات [۳۲] اثرات زیست‌محیطی ساختمان‌های اسکلت فلزی و بتنی را با استفاده از LCA مقایسه کردند. در این مطالعه، دو ساختمان پنج طبقه با مساحت ۴۴۰۰ متر مربع و طول عمر مفید ۵۰ سال درنظر گرفته شد. در این مطالعه از دو روش LCA مبتنی بر فرآیند و EIO-LCA برای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی چرخه حیات هر ساختمان در مراحل مختلف ساخت مصالح، ساخت، استفاده، نگهداری و تخریب استفاده شد. نتایج نشان داد که اسکلت بتنی به دلیل فرآیند نصب طولانی‌تر، مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای بیشتری دارد.

بلینگینی [۳۳] ارزیابی چرخه حیات ساختمانی در تورین (ایتالیا) را انجام داد که در سال ۲۰۰۴ توسط انفجار کنترل‌شده، تخریب شد. واحد عملکردی در این مطالعه یک مترمربع مساحت خالص کف، در یک دوره ۱ ساله درنظر گرفته شد. در این مطالعه فاز تخریب و پتانسیل بازیافت آن بررسی شد. نتایج نشان داد که بازیافت زباله‌های ساختمانی نه تنها از نظر اقتصادی امکان‌پذیر و سودآور است، بلکه از نظر انرژی و محیط‌زیست نیز پایدار است.

۳-۱-۲ ساختمان‌های غیرمسکونی

جانیلا و هوروواس [۳۴] جنبه‌های زیست‌محیطی مهم یک ساختمان اداری جدید را در جنوب فنلاند با طول عمر بیش از ۵۰ سال و واحد عملکردی یک کیلووات ساعت بر مترمربع در سال مطالعه کردند.

JECM
2025 , 9 (2)
دوره ۹، شماره ۲
زمستان ۱۴۰۳
دوفصلنامه پژوهشی

ارزیابی چرخه حیات در این مطالعه دارای سه مرحله اصلی بود که عبارتند از تجزیه و تحلیل موجودی برای کمی‌سازی انتشار و ضایعات، ارزیابی تأثیر برای بررسی اثرات بالقوه زیست‌محیطی حاصل از انتشار آلاینده‌ها و ضایعات تولیدی، و مرحله تفسیر برای معرفی مهم‌ترین اثرات. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین تأثیرات مربوط به مصرف برق و ساخت مصالح ساختمانی بوده است. به ویژه، برق مورد استفاده در روشنایی، سیستم‌های HVAC، انتقال حرارت از طریق سازه‌ها، تعمیر و نگهداری فولاد، بتن و رنگ و مدیریت ضایعات اداری به عنوان مهم‌ترین جنبه‌ها شناسایی شدند. انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز ۴۸۰۰۰ تن CO_2 معادل به ازای هر مترمربع در ۵۰ سال در برآورد شد.

جدول ۱ دستورالعمل روش تحقیق کاربردی

هدف	
هدف اصلی	ارزیابی عمیقی از بکارگیری دانش ارزیابی چرخه حیات در صنعت ساخت
اهداف فرعی	مفاهیم ارزیابی چرخه حیات و روش‌های انجام آن ارائه تصویری مشخص از وضعیت فعلی بکارگیری LCA در صنعت ساخت و بیان چالش ها امکان استفاده از ارزیابی چرخه حیات در بخش‌های مختلف صنعت و بررسی تأثیر آن در هر بخش تعیین شکاف مطالعاتی موجود به عنوان نقطه آغازین توسعه LCA در صنعت ساخت معرفی پتانسیل های تحقیقاتی آینده در حوزه LCA
سؤالات تحقیق	
سؤال اصلی	چگونه می‌توان کاربرد دانش ارزیابی چرخه حیات را در صنعت ساخت توسعه داد؟
سؤالات فرعی	وضعیت فعلی بکارگیری دانش ارزیابی چرخه حیات در صنعت ساخت چگونه است؟ چه مراحلی برای توسعه بکارگیری دانش ارزیابی چرخه حیات در صنعت ساخت بایستی طی شود؟ چه فاکتورهایی در مسیر این توسعه مؤثر است؟
منابع تحقیق	
پایگاه داده‌ها	Scopus; Web of Science; Science of Direct
معیارهای انتخاب	
کلمات کلیدی	ارزیابی چرخه حیات (LCA)؛ صنعت ساخت
سال انتشار	تا سال ۲۰۲۳
نوع انتشار	مقالات تحقیقاتی؛ مقالات مروری
زبان مقالات	انگلیسی، فارسی
روش تحقیق	
استخراج داده‌ها	دسته بندی مطالعات یافت‌شده به منظور ردیابی مقالات و بررسی وضعیت بر اساس پروتکل ارزیابی کیفی و طبقه بندی معتبرترین مقالات و استانداردهای منتشرشده تا سال ۲۰۲۳
نوع آنالیز	تحلیل کتاب‌سنجی: موقعیت جغرافیایی مطالعات، سال انتشار، محدوده مطالعاتی، روش‌شناسی بکاررفته تحلیل موضوعی: نوع ساختمان، تمرکز تحقیق، افراد، فرآیند یا فناوری اطلاعات، شرح یافته ها، نتایج و روابط

ریچمان و همکاران [۳۵] ارزیابی چرخه حیات را برای ساختمان‌های سردخانه در آمریکای شمالی انجام دادند. آنها مقدار عایق RSI را به عنوان واحد عملکردی در نظر گرفتند. این تحقیق برآورد میانگین نیاز به عایق سقف در ساختمان‌های سردخانه مدرن را بررسی کرده و هر دو جنبه زیست‌محیطی و اقتصادی را در نظر گرفته است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که نیاز به بهبود سطح عایق وجود دارد. بسته به شرایط آب و هوایی، عایق RSI-8.45 تا RSI-9.86 در آب و هوای سرد و عایق RSI-9.86 تا RSI-11.27 در آب و هوای گرم استفاده شود.

اسچوئر و همکاران [۳۶] ارزیابی چرخه حیات را در یک ساختمان شش طبقه به مساحت ۷۳۰۰ متر مربع در میشیگان، ایالات متحده انجام دادند که عمر پیش‌بینی‌شده آن ۷۵ سال درنظر گرفته شد. فرایند ارزیابی مطابق با EPA (آژانس حفاظت از محیط‌زیست)، SETAC (انجمن سمیت محیطی و شیمی)، و استانداردهای ISO انجام شد. بیشتر داده‌ها از پایگاه داده DEAMTM و سایر داده‌های تولید مواد از پایگاه داده‌های آژانس محیط‌زیست، جنگل‌ها و چشم‌انداز سوئیس، نرم‌افزار SimaPro و گزارشات اتحادیه‌های فرانکلین گرفته شد. نتایج نشان داد، شدت انرژی اولیه در ساختمان‌ها، مطابق ارزیابی چرخه حیات ۳۱۶ گیگاژول به ازای هر مترمربع برآورد می‌شود. همچنین، تهویه مطبوع و برق به تنهایی ۹۴/۴ درصد از مصرف انرژی اولیه را تشکیل می‌دهند. نتایج نشان داد که بهینه‌سازی عملکرد فاز ساخت باید تأکید اولیه برای طراحی باشد، زیرا در تمام معیارها، فاز عملیات به تنهایی بیش از ۸۳ درصد از کل بار محیطی را به خود اختصاص داده است.

کفوورالا و ژیوالا [۳۷] ارزیابی چرخه حیات را برای یک ساختمان اداری ۳۸ طبقه در منطقه تجاری مرکزی بانکوک تایلند با برآورد عمر مفید آن ۵۰ سال انجام دادند. واحد عملکردی برای این مطالعه ۶۰۰۰۰ مترمربع زیربنای ناخالص ساختمان درنظر گرفته شد. دو روش ارزیابی چرخه حیات مبتنی بر فرآیند و EIO-LCA در این مطالعه استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد که فولاد و بتن مهم‌ترین مواد، هم از نظر مقادیر مورد استفاده و هم از نظر اثرات زیست‌محیطی مرتبط در مرحله ساخت بودند. همچنین تأثیرات زیست‌محیطی چرخه حیات ساختمان‌های تجاری تحت تأثیر مرحله بهره‌برداری قرار می‌گیرد که به ترتیب ۵۲ درصد از کل گرمایش کره زمین، ۶۶ درصد از اسیدی‌شدن و ۷۱ درصد از کل پتانسیل تشکیل فوتواکسیدان را تشکیل می‌دهد.

آرنا و روزا [۳۸] ارزیابی چرخه حیات را برای ساختمان مدرسه روستایی در آرژانتین با طول عمر ساختمان ۵۰ سال، درنظر گرفتند و به مقایسه فناوری‌های مختلف ساختمانی برای دستیابی به آسایش حرارتی با حداقل مصرف انرژی فسیلی، انجام دادند. در این مطالعه یک روش ساده ارزیابی استفاده و تنها مراحل ساخت‌وساز و بهره‌برداری در نظر گرفته شد. برای تمام محاسبات مربوط به موجودی، ارزیابی تأثیر و مراحل عادی‌سازی از پایگاه داده SBID (انجمن طراحی داخلی بریتانیا) استفاده شد. صرفه‌جویی انرژی سالانه و صرفه‌جویی انرژی جهانی (برای ۵۰ سال) محاسبه و نشان داد که صرفه‌جویی انرژی سالانه در مرحله استفاده ۵۳۰۷/۵ مگا ژول در سال

JECM
2025 , 9 (2)
دوره ۹، شماره ۲
زمستان ۱۴۰۳
دوفصلنامه پژوهشی

و صرفه‌جویی انرژی جهانی برای طول عمر ۵۰ سال ۲۶۵۳۷۴/۵ مگا ژول در سال است.

نیکلسون و اوگرسال [۳۹] مطالعه‌ای را با هدف ارائه توجیه کمی اثرات زیست‌محیطی چرخه عمر ساخت خانه‌های سنتی در مقایسه با خانه‌های با مصرف انرژی کارآمد انجام دادند. هدف این مطالعه ارائه توصیه‌هایی جهت مصرف انرژی در طول بهره‌برداری، انتخاب مصالح و شیوه‌های بهره‌برداری بود. از طریق این فرآیند، اثرات زیست‌محیطی هر خانه کمی‌سازی شده و از نظر مراحل چرخه حیات و مصالح مقایسه می‌شود. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که بیشترین کاهش اثرات زیست‌محیطی ناشی از ارتقاء انرژی است. کارآمدترین خانه ارزیابی‌شده، خانه انرژی خالص صفر است که با استفاده از ماژول های PV برق تولید می‌کند و به طور متوسط ۹۶ درصد اثرات زیست‌محیطی کمتری نسبت به خانه سنتی در بین همه ۹ گروه تأثیر زیست‌محیطی دارد.

۳-۲ ارزیابی چرخه حیات فازهای مختلف ساختمانی

فازهای مختلف یک ساختمان می‌توانند بر اساس فرآیندی که در طول چرخه حیات آن دخیل هستند، مجزا از هم بررسی شوند. مطابق نتایج اکثر مطالعات، فاز بهره‌برداری ساختمان‌ها به دلیل طولانی‌بودن مدت‌زمان آن، در بروز بیشترین تأثیرات زیست‌محیطی نقش داشته است. کفوورالا و ژیوالا [۴۰] بیان کردند که فاز بهره‌برداری یک ساختمان اداری ۶۰۰۰۰ مترمربعی در تایلند در طول ۵۰ سال، ۸۱ درصد از کل مصرف انرژی را به خود اختصاص داده است.

میتراراتنه و واله [۴۱] مقایسه‌ای از سه نوع ساخت‌وساز ساختمان مسکونی در نیوزیلند شامل ساخت سبک، ساخت بتنی و ساخت عایق انجام دادند و بیان کردند که فاز استفاده از آن‌ها به ترتیب ۷۴، ۷۱ و ۵۷ درصد سهم انتشار برای یک چرخه حیات ۱۰۰ ساله داشته است. یک تحقیق مقایسه‌ای بر روی خانه‌ای با مصرف انرژی کم و خانه‌ای با مصرف انرژی استاندارد در ایتالیا انجام شد. تحقیقات نشان می‌دهد که فاز بهره‌برداری در خانه‌های استاندارد بیش از ۸۰ درصد، و در خانه‌های کم انرژی کمتر از ۵۰ درصد مصرف کل انرژی، سهم داشته است.

تحقیقی که توسط اسچوئر و همکاران [۳۶] بر روی ساختمان جدید دانشگاهی در میشیگان، ایالات متحده انجام شد، مشخص کرد که فاز بهره‌برداری ساختمان ۹۴/۴ درصد از کل مصرف انرژی را تشکیل می‌دهد. [42 Ding] تجزیه و تحلیل انرژی چرخه حیات ۲۰ مدرسه متوسطه در استرالیا را به مدت ۶۰ سال انجام داد و پیشنهاد کرد که انرژی مصرفی در فاز استفاده از ساختمان ۶۲ درصد در مقایسه با ۳۸ درصد در مرحله ساخت است.

وان و ژو [۴۳] ارزیابی چرخه حیات را در پنج ساختمان یک طبقه در کانادا به مدت ۵۰ سال انجام دادند و نتیجه گرفتند که گرمایش فضا بیشترین انرژی را در مرحله بهره‌برداری ساختمان مصرف می‌کند (۴۲ درصد) و پس از آن روشنایی (۳۷ درصد) و فن‌های تهویه (۷ درصد)، سرمایش فضا (۶ درصد) و تجهیزات متفرقه (۶ درصد). همچنین مطالعات دیگری وجود دارد که بیان می‌کنند گرمایش بزرگترین مصرف‌کننده انرژی است.

۳-۳ ارزیابی چرخه حیات انتخاب نوع مصالح

انتخاب مصالح ساختمانی ارتباط نزدیکی با کل انرژی مصرفی ساختمان در طول ساخت، بهره‌برداری و پتانسیل بازیافت یا استفاده مجدد دارد. پتانسیل بازیافت مصالح ساختمانی می‌تواند انرژی مصرفی آن را کاهش دهد. به عنوان نمونه، یک ساختمان آپارتمانی در سوئد برای طول عمر ۵۰ سال [۴۴] به لحاظ مصرف انرژی تجزیه و تحلیل شد و نشان داد که پتانسیل بازیافت می‌تواند تا ۱۵ درصد از کل انرژی مصرف شده را بازیابی کند.

آسیف و همکاران [۴۵] مشخص کردند که بتن ۶۱ درصد از مصرف انرژی اولیه را تشکیل می‌دهد و پس از آن چوب (۱۳ درصد) و سرامیک (۱۴ درصد) برای یک ساختمان مسکونی در اسکاتلند قرار دارند. این مطالعه همچنین نشان می‌دهد که بتن خود انرژی مصرفی اولیه کمتری دارد، اما میزان بتن مورد استفاده در ساختمان بسیار زیاد است و بنابراین بالاترین سهم مصرف انرژی را در اختیار خواهد داشت. با این حال این تحقیق فقط برای مرحله قبل از استفاده و نه چرخه حیات ساختمان انجام شده است. برخی از مطالعات نشان دادند که مصالح ساختمانی با انرژی مصرفی اولیه کم لزوماً مصرف انرژی کمتری در کل چرخه حیات ندارند [۴۶, ۴۷].

در مطالعه [۴۱] سه ساختمان مسکونی با طراحی یکسان با استفاده از ارزیابی چرخه حیات با مواد اصلی مختلف یعنی چوب، بتن و عایق مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. ساختمان‌های بتنی و فوق عایق‌شده به ترتیب ۸ و ۱۴ درصد انرژی مصرفی اولیه بالاتری نسبت به ساختمان‌های سبک دارند. هر دو ساختمان بتنی و فوق عایق نشان می‌دهند که انرژی چرخه حیات آن‌ها به ترتیب ۵٪ و ۳۱٪ کمتر از ساختمان‌های سبک هستند.

تحقیقات اخیر همچنین نشان می‌دهد که ساختمان‌های مسکونی با استفاده از فرم بتن عایق (ICF) در ایالات متحده در طول چرخه حیات خود در مقایسه با خانه‌های چوبی سبک با طراحی مشابه کارآمدتر هستند [۴۸]. از سوی دیگر، ساختمان‌ها در مناطق اقلیم گرمسیری یافته‌های متفاوتی دارند. محصولات مبتنی بر خاک رس به عنوان جایگزین بهتری برای محصولات مبتنی بر سیمان شناخته شده‌اند. Utama و46] Gheewala] به این نتیجه رسیدند که یک ساختمان مسکونی منتخب در اندونزی با کاشی‌های سقف شنی با آجر سفالی، مصرف انرژی چرخه حیات بهتری نسبت به آجرهای پایه سیمانی و کاشی‌های سقف دارد، زیرا انتقال حرارتی کمتری داشته و در نتیجه اثر خنک‌کنندگی هوا حفظ می‌شود. تحقیق دیگری ادعا می‌کند که آپارتمان مسکونی بلندمرتبه با دیوارهای آجری خارجی، دیوارهای گچی در داخل و شکاف هوا در بین آنها انرژی چرخه زندگی کمتری در مقایسه با دیوار آجری تک سفالی تا ۵۹ درصد دارند.

لوپز و همکاران [۵۲] یک تحقیق ارزیابی چرخه حیات برای دو ساختمان مسکونی هفت طبقه با مصالح بتنی مشابه، اما روش‌های ساخت متفاوت انجام دادند. مزیت سیستم بتنی پیش‌ساخته این است که دارای دهانه طولانی‌تر بین تیرها است و بنابراین پایه‌های شنی ستون را کاهش می‌دهد که همچنین کل بتن مصرفی در ساختمان را کاهش می‌دهد.

لی و همکاران [۴۹] مطالعه ای را در زمینه امکان‌سنجی کاربرد الوار و مزایای بالقوه آن به عنوان مصالح ساختمانی در بخش‌هایی از ساختمان بلندمرتبه واقع در استرالیا انجام دادند. برای این منظور یک ساختمان ۴۳ طبقه فرضی در نظر گرفته شد تا با مطالعات موجود قابل مقایسه باشد. در این مطالعه، سه سناریو با نسبت متفاوت چوب در نظر گرفته شد. مطالعات پارامتریک متعاقباً بر روی تأثیر مصالح، اندازه و شکل عناصر سازه ای بر عملکرد ساختمان انجام شد. مشخص شد که در سایت انتخاب شده، استفاده از الوار برای ساخت بخش‌های داخلی ساختمان‌های بلند، بهترین راه‌حل را از نظر مزایای ساختاری و زیست‌محیطی ارائه می‌کند.

کونگ و همکاران [۵۰] مطالعه‌ای را برای تعیین چگونگی استفاده از مواد بازیافتی به جای مواد بکر برای انتقال انرژی ساختمان‌ها انجام دادند. در این مطالعه، LCA برای تخمین مصرف انرژی چرخه حیات و انتشار گازهای گلخانه‌ای ساختمان ها با و بدون استفاده از مواد بازیافتی استفاده شد. برای مطالعه موردی، یک ساختمان عمومی و چهار سیستم فتوولتائیک (PV) انتخاب شد. به دلیل شدت کربن بالای انرژی عملیاتی و مصالح ساختمانی، استفاده از مواد بازیافتی باعث کاهش مصرف انرژی در چرخه زندگی و انتشار گازهای گلخانه‌ای ساختمان به میزان ۴/۹ درصد و ۳/۳ درصد شد.

در میان چهار سیستم PV، استفاده از مواد بازیافتی در سیستم PV تک کریستالی-سیلیکون (sC-Si)، کاهش ۴۴،۵ درصدی مصرف انرژی و ۴۱،۳ درصد کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای بیشترین اهمیت را داشت. بنابراین، هنگامی که از مواد بازیافتی برای دستیابی به انتقال انرژی ساختمان مورد با سیستم sC-Si استفاده می‌شود، نیازهای سیستم PV را می‌توان حداکثر تا ۹/۶ درصد برای بازپرداخت انرژی و ۴/۹ درصد برای انتشار گازهای گلخانه‌ای کاهش داد. این مطالعه نشان داد که استفاده از مواد بازیافتی در کاهش مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای سیستم‌های PV و همچنین ساختمان‌ها مؤثر است.

۳-۴ ارزیابی چرخه حیات بخش‌های مختلف صنعت ساختمان

در ادامه نتایج مهم‌ترین بخش‌های تأثیرگذار در صنعت ساختمان که ارزیابی چرخه حیات در آنها انجام گرفته، شامل مباحث انرژی و کربن، مصالح ساختمانی، پایداری، تکنولوژی و هزینه آورده شده است.

۳-۴-۱ انرژی و کربن

انرژی در کلیه مراحل از استخراج مواد اولیه تا بهره‌برداری و تخریب ساختمان‌ها، ورودی ضروری در طول عمر ساختمان است و نقش حیاتی در عملکرد آن ایفا می‌کند. انتشار آلاینده‌های مختلف به آب، خاک و هوا در مراحل تولید و مصرف انرژی اثراتی بر محیط‌زیست وارد می‌کند [۳۷]. با این توضیحات، بدون شک مصرف انرژی مهم‌ترین موضوع در بحث ارزیابی چرخه حیات ساختمان‌ها است که لزوم بحث بیشتر در مورد آن وجود دارد. تغییرات رشد موضوعات تحقیقاتی مربوط به ارزیابی چرخه حیات در ساختمان‌ها در طول سال‌های اخیر نشان می‌دهد، بحث انرژی با سریع‌ترین نرخ رشد بین سایر موضوعات پیشتاز بوده است. نتایج مطالعات نشان داده است، بهبود بهره‌وری انرژی و جایگزینی انرژی اولیه با انرژی‌های تجدیدپذیر به کاهش انتشار کربن، تشدید اثر گلخانه‌ای و در نهایت گرمایش جهانی کمک می‌کند.

۳-۴-۲ مواد و مصالح ساختمانی

از نظر حجم استفاده، عمده مصالح ساختمانی شامل ماسه، سیمان، بتن، الوار، آجر و فولاد هستند [۵۱]. مطالعات مختلف نشان داده‌اند که مصرف مصالح اثرات قابل توجهی بر محیط‌زیست دارد و بنابراین، انتخاب مصالح مناسب و مصرف بهینه آن‌ها می‌تواند این اثرات را به میزان قابل توجهی کاهش دهد. مطابق نتایج تحقیقات، مصرف مصالح بتنی بیشترین افزایش را داشته است.

مصالح ساختمانی ارتباط نزدیکی با انرژی مصرفی در ساختمان‌ها دارند که شامل انرژی مصرف‌شده در ساخت مصالح ساختمانی، انرژی مصرفی جهت حمل‌ونقل مواد و تأثیر آن‌ها بر ایجاد تعادل در گرمایش و سرمایش ساختمان‌ها می‌شود. از طرف دیگر، می‌توان تلاش‌هایی برای کاهش حجم بتن مصرفی با استفاده از بتن با مقاومت بالا انجام داد. با افزایش عمر بهره‌برداری ساختمان، انتشار CO_2 ساختمان‌های بتنی با استحکام بالا کمتر از ساختمان‌های بتنی با مقاومت عمومی است [۵۲].

۳-۴-۳ پایداری

ساختمان‌های پایدار باید رویکردی سه‌گانه داشته باشد که در آن جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی در طول کل چرخه حیات ساختمان‌ها درنظر گرفته شود [۵۳]. دستیابی به یک ساختمان پایدار با کارایی بالا و تأثیر کم زیست‌محیطی را می‌توان از جنبه‌های بسیاری از جمله مصالح پایدار، عملیات پایدار، خدمات پایدار و مصرف پایدار به معنای گنجاندن اصول پایداری در هر قسمت از ساختمان محقق کرد.

کوران [۵۴] بیان کرد که مناسب‌ترین روش برای ارزیابی کل‌نگر، مطالعه سیستماتیک چرخه حیات (تولید مواد، فرآیندهای ساخت‌وساز، استفاده، نگهداری، نوسازی و پایان عمر ساختمان) و اثرات زیست‌محیطی زنجیره تأمین آن است. محصولات، فرآیندها و خدمات در نتیجه انجام ارزیابی چرخه حیات ملزم به ترویج بهترین روش‌های عملی برای ارزیابی، تجزیه و تحلیل و بررسی چرخه حیات ساخت‌وساز برای جلوگیری از اثرات زیست‌محیطی و کمک به اجرای تکنیک‌های مهندسی ساختمان‌ها است.

۳-۴-۴ تکنولوژی

فناوری ابزار مهمی برای دستیابی به ساختمان پایدار است. فناوری حرارتی از نظر روند رشد فناوری‌های اصلی پیشتاز شده است. عایق حرارتی یکی از مهم‌ترین روش‌ها برای کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها است [۵۵]. کاربرد عایق حرارتی مناسب در ساختمان‌ها به کاهش مصرف انرژی و نتیجه مطلوب صرفه‌جویی در سوخت

فسیلی و همچنین مزایای دیگری مانند رفع مشکلات تراکم و تشکیل قالب در سطوح داخلی دیوارها کمک می‌کند [۵۶]. علاوه بر این، بر اساس انتخاب مواد عایق مناسب و همچنین تفکیک ضخامت عایق بهینه، نقطه بهینه برای به حداقل رساندن مصرف انرژی در کل طول عمر و حفظ حداقل سرمایه‌گذاری برای عایق در همان زمان وجود دارد.

۳-۴-۵ هزینه

انواع مختلفی از هزینه‌های ساختمان در مراحل چرخه حیات آن، یعنی ساخت مصالح ساختمانی، ساخت، بهره‌برداری و تخریب وجود دارد. در رویکرد هزینه‌یابی چرخه حیات، تمام هزینه‌های مربوط به حال و آینده مرتبط با سیستم بر حسب ارزش فعلی محاسبه می‌شود [۲۶]. در مطالعه هزینه‌ها و مصرف انرژی از رویکرد چرخه حیات برای مقایسه اثرات محیط‌زیستی گزینه‌های مختلفی شامل انواع مصالح، تجهیزات مختلف، روش‌های ساخت متنوع و ... استفاده می‌شود [۲۷]. تعداد فزاینده‌ای از مطالعات ارزیابی چرخه حیات از رویکرد هزینه‌یابی برای شناسایی یک طرح بهینه با کیفیت خوب و عملکرد با کمترین هزینه کلی استفاده می‌کنند. بهینه‌سازی در مطالعات سال‌های اخیر بسیار برجسته شده و این روش در زمینه‌هایی همچون: طراحی سازه، هزینه چرخه حیات، وزن کل مواد، صرفه‌جویی در انرژی و غیره در ساختمان استفاده شده‌اند [۲۸].

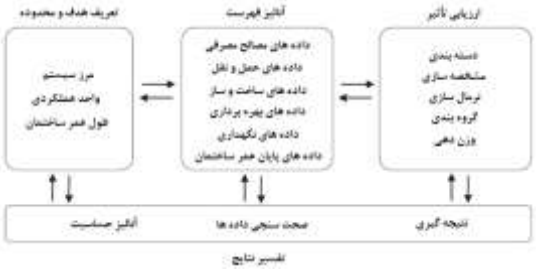
هزینه چرخه حیات (LCC) ممکن است برای تعیین چگونگی کاهش هزینه مالکیت یا مقایسه سرمایه‌گذاری‌های جایگزین در کل ساختمان‌ها یا عناصر ساختمان استفاده شود. هزینه چرخه حیات یک ابزار تصمیم‌گیری مفید در هنگام مقایسه گزینه‌هایی است که هزینه‌های اولیه و همچنین پیامدهایی برای هزینه‌های عملیاتی بعدی دارند [۵۷]. تعداد فزاینده‌ای از مطالعات در مورد ساخت LCA از رویکرد هزینه‌یابی چرخه حیات برای شناسایی یک طرح بهینه برای کیفیت خوب و عملکرد با کمترین هزینه کلی استفاده می‌کنند.

۳-۵ چارچوب ارزیابی چرخه حیات در صنعت ساختمان

از آنجایی که ارزیابی چرخه حیات به صورت گسترده در ساختمان‌ها اعمال شده است، نیاز به تعیین معیار مشخصی برای ارزیابی عملکرد زیست‌محیطی ساختمان‌ها وجود دارد [۵۸، ۵۹]. مطالعات مختلف، هفت توصیه را برای تعیین چارچوب ارزیابی چرخه حیات ساختمان‌ها به شکل زیر ارائه می‌کنند:

- تعریف روشن از روش ارزیابی
- تعریف واضح معادل عملکردی
- ترکیب رویکردهای بالا به پایین و پایین به بالا
- سطوح مختلف عملکرد (از حد مجاز تا مقادیر هدف)
- انعطاف‌پذیری دامنه از نظر مراحل چرخه و شاخص‌های محیطی
- پوشش انواع ساختمان‌ها
- شفاف و کاربرپسند بودن معیارها

در شکل ۲، چارچوب مناسب برای ارزیابی چرخه حیات در صنعت ساختمان ارائه شده است.



شکل ۲- چارچوب ارزیابی چرخه حیات برای صنعت ساختمان

۴- نتیجه‌گیری

در این بخش، مهم‌ترین نتایج بدست‌آمده در این مطالعه بیان می‌شود:

- بررسی‌ها نشان می‌دهد، دانش ارزیابی چرخه حیات به عنوان قابل اعتمادترین تکنیک در ارزیابی اثرات زیست‌محیطی صنعت ساختمان پذیرفته شده و کاربرد آن در ساختمان‌های جدید برای دستیابی به اهداف توسعه پایدار بسیار ارزشمند است.

- بررسی مطالعات مختلف نشان داد که فاز بهره‌برداری ساختمان در مقایسه با سایر فازهای چرخه حیات ساختمان، بیشترین مصرف انرژی را دارد. برای چرخه حیات کلی یک ساختمان، اثرات فاز ساخت‌وساز نسبتاً کمتر است و به میزان ۱۱ - ۰/۴ درصد برآورد می‌شود. در طول فاز عملیاتی، حداکثر انرژی مصرف شده و همچنین انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز حداکثر است که میزان آن ۸۵ – ۸۰ درصد از کل مصرف انرژی و انتشار برآورد می‌شود.

- بررسی مطالعات نشان می‌دهد که مصالح غالب ساختمان نیز تأثیر قابل‌توجهی بر مصرف انرژی و پتانسیل‌های گرمایش جهانی ساختمان‌ها دارد. به عنوان مثال، سازه‌های بتنی و فولادی در مقایسه با سازه‌های چوبی تمایل بیشتری به مصرف انرژی دارند. در حالی که سازه‌های بتنی پیش‌ساخته دارای پتانسیل قابل توجهی در کاهش انرژی مورد نیاز عملیاتی در مقایسه با سازه‌های بتنی متداول هستند، سازه‌های چوبی پیش‌ساخته از نظر پتانسیل صرفه‌جویی در انرژی و کاهش انتشار، مطلوب‌ترین گزینه به نظر می‌رسد. همچنین، مصالح ساختمانی با انرژی مصرفی اولیه کم لزوماً انرژی چرخه حیات پایینی ندارند.

- نتایج بررسی‌های انجام‌شده در این مطالعه نشان داد که ساختمان‌های تجاری در مقایسه با ساختمان‌های مسکونی تأثیر بیشتری بر محیط‌زیست دارند. همچنین مصرف انرژی ساختمان‌های تجاری نسبت به ساختمان‌های مسکونی بیشتر است.

- در حالی که مطالعات گسترده و جامعی در این زمینه صورت گرفته است، نبود یکنواختی در روش تحقیق متناسب با اهداف، دامنه و محدودیت‌های خاص و تنوع گسترده در پارامترهای قابل بررسی، رسیدن به نتایج قطعی و قابلیت قیاس بین نتایج را دشوار می‌کند. بنابراین، نیاز به روش استاندارد به منظور ایجاد یک پایگاه داده قوی وجود دارد.

- فقدان داده‌های اولیه محلی برای ساختمان‌ها در مناطق مختلف، پتانسیل عدم‌قطعیت قابل توجهی را در نتایج کمی روشن می‌کند، که این جنبه در اکثر مطالعات به اندازه کافی درنظر گرفته نشده است. بنابراین، مطالعات ارزیابی چرخه حیات در ساختمان‌ها بایستی

JECM
9 (2) , 2025
دوره ۹، شماره ۲
زمستان ۱۴۰۳
دوفصلنامه پژوهشی

میزان عدم‌قطعیت را نه تنها برای درک اطمینان از نتایج ارائه‌شده، بلکه برای ایجاد قابلیت مقایسه نتایج گزارش کنند.

بر اساس بررسی‌های موضوعی و تجزیه و تحلیل شکاف‌های تحقیقاتی در حوزه ارزیابی چرخه حیات ساختمان‌ها، چارچوب تحقیقاتی آینده در این قسمت پیشنهاد شده است:

- مرزهای سیستم، واحد عملکردی محاسباتی و عوامل عدم‌قطعیت مؤثر باید به وضوح مشخص شده و معیارهای کمی‌سازی پایگاه داده مواد مربوطه استاندارد شوند. مسیر جریان انرژی با فعالیت‌های ساخت‌وساز بایستی تجزیه و تحلیل شده و ناهمگونی فضایی این جریان از دیدگاه‌های چندبعدی مانند صنعت، منطقه فضایی و زنجیره تأمین مطالعه شود. تحلیل چرخه انرژی را می‌توان با اقتصاد دایره‌ای ترکیب کرد.

- عملکرد بلندمدت ساختمان‌هایی که در انرژی مصرفی صرفه‌جویی می‌کنند، باید مطالعه شود. ظرفیت مصرف انرژی ساختمان‌ها را می‌توان در ترکیب با شرایط آب‌وهوایی و وجود عدم‌قطعیت برای مقاومت در برابر کاهش عملکردی، در مرحله بهره‌برداری تجزیه و تحلیل کرد.

- یک سیستم کمی جامع باید برای تجزیه و تحلیل دقیق چرخه حیات ساختمان‌ها در همه سطوح ایجاد شود. در عین حال، شرایط مختلفی از جمله نوع سازه ساختمان، موقعیت جغرافیایی، ویژگی‌های منطقه‌ای و عوامل عدم‌قطعیت باید درنظر گرفته شود.

- برای تجزیه و تحلیل دقیق ارزیابی چرخه حیات، روش‌ها یا مدل‌های مناسب برای تحقیق ترکیبی با توجه به نوع فعالیت‌های ساختمان و تقاضای انرژی در مراحل مختلف انتخاب شود. مطالعاتی که تکنیک‌های روش‌شناختی را در زمینه‌های مختلف تحقیقاتی ادغام می‌کند، می‌توانند در این زمینه استفاده شوند. علاوه بر BIM، کاربرد ترکیبی ارزیابی چرخه حیات با سایر فناوری‌های اطلاعاتی مانند اینترنت اشیا، بلاک چین، هوش مصنوعی و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) باید تقویت شود.

- در هر مرحله، عوامل ذهنی خاصی که عمدتاً تحت تأثیر اراده انسان قرار می‌گیرند، مانند سطح انتظارات در مرحله برنامه‌ریزی، نگرش تصمیم‌گیری در مرحله طراحی و رفتار کاری در مرحله ساخت باید درنظر گرفته شود. توسعه مدلی که عوامل رفتاری ذینفعان را در مراحل مختلف ارزیابی چرخه حیات ساختمان‌ها ترکیب کند و همچنین بهینه‌سازی انرژی مبتنی بر هدف را تسهیل کند، ضروری است.

- در هر منطقه باید یک سیستم رتبه‌بندی انرژی مناسب برای توسعه ایجاد شود تا مفاهیم درست انرژی و توسعه پایدار اجرایی شود. در مناطقی که هنوز سیستم‌های رتبه‌بندی توسعه نیافته، هدف تحقیقات آینده باید بر توسعه و ارتقای سیستم‌های رتبه‌بندی انرژی با کیفیت بالا متمرکز باشد. برای مناطق دارای سیستم‌های رتبه‌بندی، می‌توان مطالعات مقایسه‌ای در مقررات بهره‌وری انرژی را تقویت کرده و قابلیت اجرا، ضرورت و عملکرد مقررات جدید را می‌توان بر اساس مطالعات قبلی تجزیه و تحلیل کرد.

۵- تعارض منافع

نویسندگان هیچ گونه تضاد منافعی ندارند.

۶- سهم نویسندگان

تمامی نویسندگان به صورت مساوی در نگارش مقاله نقش داشته‌اند.

۷- حمایت مالی

این تحقیق از هیچگونه حمایت مالی‌ای برخوردار نبوده است.

۸- مراجع

[1] I. Sartori, A.G. Hestnes, Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article, Energy and buildings, 39(3) (2007) 249-257.

[2] S. Manfredi, R. Pant, Supporting Environmentally Sound Decisions for Construction and Demolition (C & D) Waste Management: A Practical Guide to Life Cycle Thinking (LCT) and Life Cycle Assessment (LCA), Publications Office, 2011.

[3] D. Ghosh, World Environment Day 2015, Current Science, 109(6) (2015) 1015.

[4] V.J. Gan, C.M. Chan, K. Tse, I.M. Lo, J.C. Cheng, A comparative analysis of embodied carbon in high-rise buildings regarding different design parameters, Journal of Cleaner Production, 161 (2017) 663-675.

[5] B. Dean, J. Dulac, K. Petrichenko, P. Graham, Towards zero-emission efficient and resilient buildings.: Global Status Report, (2016).

[6] A. Odoemene, Climate change and land grabbing, in: Research Handbook on Climate Change and Agricultural Law, Edward Elgar Publishing, 2017, pp. 423-448.

[7] C. Dossche, V. Boel, W. De Corte, Use of life cycle assessments in the construction sector: critical review, Procedia Engineering, 171 (2017) 302-311.

[8] A.F. Abd Rashid, S. Yusoff, A review of life cycle assessment method for building industry, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 45 (2015) 244-248.

[9] V. Weiler, H. Harter, U. Eicker, Life cycle assessment of buildings and city quarters comparing demolition and reconstruction with refurbishment, Energy and buildings, 134 (2017) 319-328.

[10] A. Atmaca, Life cycle assessment and cost analysis of residential buildings in south east of Turkey: part 1—review and methodology, The International Journal of Life Cycle Assessment, 21 (2016) 831-846.

[11] C.K. Anand, B. Amor, Recent developments, future challenges and new research directions in LCA of buildings: A critical review, Renewable and sustainable energy reviews, 67 (2017) 408-416.

[12] J.-G. Wu, X.-Y. Meng, X.-M. Liu, X.-W. Liu, Z.-X. Zheng, D.-Q. Xu, G.-P. Sheng, H.-Q. Yu, Life cycle assessment of a wastewater treatment plant focused on material and energy flows, Environmental management, 46 (2010) 610-617.

[13] M. Buyle, J. Braet, A. Audenaert, Life cycle assessment in the construction sector: A review, Renewable and sustainable energy reviews, 26 (2013) 379-388.

[14] G. Han, J. Srebric, Life-cycle assessment tools for building analysis, Engr. Psu. Edu, (2011) 7.

[15] S. Hellweg, L. Milà i Canals, Emerging approaches, challenges and opportunities in life cycle assessment, Science, 344(6188) (2014) 1109-1113.

[16] Y. Dong, S.T. Ng, P. Liu, A comprehensive analysis towards benchmarking of life cycle assessment of buildings based on systematic review, Building and Environment, 204 (2021) 108162.

[17] M.N. Nwodo, C.J. Anumba, A review of life cycle assessment of buildings using a systematic approach, Building and Environment, 162 (2019) 106290.

[18] A. Sharma, A. Saxena, M. Sethi, V. Shree, Life cycle assessment of buildings: a review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15(1) (2011) 871-875.

[19] B.V. Reddy, K. Jagadish, Embodied energy of common and alternative building materials and technologies, Energy and buildings, 35(2) (2003) 129-137.

[20] M. Lotteau, P. Loubet, M. Pousse, E. Dufrasnes, G. Sonnemann, Critical review of life cycle assessment (LCA) for the built environment at the neighborhood scale, Building and Environment, 93 (2015) 165-178.

[21] I.O.f. Standardization, Environmental management: life cycle assessment; Principles and Framework, ISO, 2006.

[22] X. Gao, P. Pishdad-Bozorgi, BIM-enabled facilities operation and maintenance: A review, Advanced engineering informatics, 39 (2019) 227-247.

[23] S.N. Naghshbandi, BIM for facility management: challenges and research gaps, Civil Engineering Journal, 2(12) (2016) 679-684.
[24] P. Teicholz, BIM for facility managers, John Wiley & Sons, 2013.
[25] K. Soliman, K. Naji, M. Gunduz, O.B. Tokdemir, F. Faqih, T. Zayed, BIM-based facility management models for existing buildings, (2021).
[26] B. Agrawal, G. Tiwari, Life cycle cost assessment of building integrated photovoltaic thermal (BIPVT) systems, Energy and Buildings, 42(9) (2010) 1472-1481.
[27] L. Aye, N. Bamford, B. Charters, J. Robinson, Environmentally sustainable development: a life-cycle costing approach for a commercial office building in Melbourne, Australia, Construction Management & Economics, 18(8) (2000) 927-934.
[28] D. Yeo, R.D. Gabbai, Sustainable design of reinforced concrete structures through embodied energy optimization, Energy and buildings, 43(8) (2011) 2028-2033.
[29] K. Adalberth, A. Almgren, E.H. Petersen, Life cycle assessment of four multi-family buildings, International Journal of Low Energy and Sustainable Buildings, 2 (2001).
[30] A. Arpke, N. Hutzler, Operational life-cycle assessment and life-cycle cost analysis for water use in multioccupant buildings, Journal of Architectural Engineering, 11(3) (2005) 99-109.
[31] J. Norman, H.L. MacLean, C.A. Kennedy, Comparing high and low residential density: life-cycle analysis of energy use and greenhouse gas emissions, Journal of urban planning and development, 132(1) (2006) 10-21.
[32] A.A. Guggemos, A. Horvath, Comparison of environmental effects of steel-and concrete-framed buildings, Journal of infrastructure systems, 11(2) (2005) 93-101.
[33] G.A. Blengini, Life cycle of buildings, demolition and recycling potential: A case study in Turin, Italy, Building and environment, 44(2) (2009) 319-330.
[34] S. Junnila, A. Horvath, Life-cycle environmental effects of an office building, Journal of Infrastructure systems, 9(4) (2003) 157-166.
[35] R. Richman, P. Pasqualini, A. Kirsh, Life-cycle analysis of roofing insulation levels for cold storage buildings, Journal of Architectural Engineering, 15(2) (2009) 55-61.
[36] C. Scheuer, G.A. Keoleian, P. Reppe, Life cycle energy and environmental performance of a new university building: modeling challenges and design implications, Energy and buildings, 35(10) (2003) 1049-1064.
[37] O.F. Kofoworola, S.H. Gheewala, Environmental life cycle assessment of a commercial office building in Thailand, The International Journal of Life Cycle Assessment, 13 (2008) 498-511.
[38] A. Arena, C. De Rosa, Life cycle assessment of energy and environmental implications of the implementation of conservation technologies in school buildings in Mendoza—Argentina, Building and Environment, 38(2) (2003) 359-368.
[39] S. Nicholson, V.I. Ugursal, A lifecycle assessment-based environmental analysis of building operationally energy efficient houses in Nova Scotia, Journal of Building Engineering, 76 (2023) 107102.
[40] O.F. Kofoworola, S.H. Gheewala, Life cycle energy assessment of a typical office building in Thailand, Energy and Buildings, 41(10) (2009) 1076-1083.
[41] N. Mithraratne, B. Vale, Life cycle analysis model for New Zealand houses, Building and environment, 39(4) (2004) 483-492.
[42] G.K. Ding, Life cycle energy assessment of Australian secondary schools, Building research & information, 35(5) (2007) 487-500.
[43] K. Van Ooteghem, L. Xu, The life-cycle assessment of a single-storey retail building in Canada, Building and Environment, 49 (2012) 212-226.
[44] C. Thormark, A low energy building in a life cycle—its embodied energy, energy need for operation and recycling potential, Building and environment, 37(4) (2002) 429-435.
[45] M. Asif, T. Muneer, R. Kelley, Life cycle assessment: A case study of a dwelling home in Scotland, Building and environment, 42(3) (2007) 1391-1394.
[46] A. Utama, S.H. Gheewala, Life cycle energy of single landed houses in Indonesia, Energy and Buildings, 40(10) (2008) 1911-1916.
[47] A. Utama, S.H. Gheewala, Indonesian residential high rise buildings: A life cycle energy assessment, Energy and Buildings, 41(11) (2009) 1263-1268.
[48] [48] J. Ochsendorf, L. Keith Norford, D. Brown, H. Durschlag, S.L. Hsu, A. Love, N. Santero, O. Swei, A. Webb, M. Wildnauer, Methods, impacts, and opportunities in the concrete building life cycle, MIT Concrete Sustainability Hub, 2011.
[49] J. Li, B. Rismanchi, T. Ngo, Feasibility study to estimate the environmental benefits of utilising timber to construct high-rise buildings in Australia, Building and Environment, 147 (2019) 108-120.
[50] M. Kong, C. Ji, T. Hong, H. Kang, Impact of the use of recycled materials on the energy conservation and energy transition of buildings using life cycle assessment: a case study in South Korea, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 155 (2022) 111891.
[51] A. Horvath, Construction materials and the environment, Annu. Rev. Environ. Resour., 29 (2004) 181-204.
[52] S. Tae, C. Baek, S. Shin, Life cycle CO2 evaluation on reinforced concrete structures with high-strength concrete, Environmental Impact Assessment Review, 31(3) (2011) 253-260.
[53] A. Sev, How can the construction industry contribute to sustainable development? A conceptual framework, Sustainable Development, 17(3) (2009) 161-173.
[54] M.A. Curran, Environmental life-cycle assessment, in, Springer, 1996.
[55] N. Pargana, M.D. Pinheiro, J.D. Silvestre, J. De Brito, Comparative environmental life cycle assessment of thermal insulation materials of buildings, Energy and Buildings, 82 (2014) 466-481.
[56] Y. Çay, A.E. Gürel, Determination of optimum insulation thickness, energy savings, and environmental impact for different climatic regions of Turkey, Environmental Progress & Sustainable Energy, 32(2) (2013) 365-372.
[57] D.C. Dragos, B. Neamtu, Sustainable public procurement: Life cycle costing (LCC) in the new EU directive proposal, European Public Procurement and PPP Law Review, 1 (2014) 2013.
[58] A. Säynäjoki, J. Heinonen, J.-M. Junnonen, S. Junnila, Input–output and process LCAs in the building sector: are the results compatible with each other?, Carbon Management, 8(2) (2017) 155-166.
[59] A. Hollberg, T. Lützkendorf, G. Habert, Top-down or bottom-up?–How environmental benchmarks can support the design process, Building and Environment, 153 (2019) 148-157.

JECM
9 (2) , 2025
دوره ۹، شماره ۲
زمستان ۱۴۰۳
دوفصلنامه پژوهشی

COPYRIGHTS
©2025 by the authors. Published by **Journal of Engineering & Construction Management (JECM)**. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)