کاربردهای روش ارزیابی چرخه حیات با هدف حفاظت از انرژی در صنعت ساختمان

کیانا راسخ[۱]، مامک صلواتیان[۲*] و مرضیه کاظم‌زاده[۲]

۱) دانشجوی دکتری رشته معماری، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران.

۲) استادیار گروه معماری، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران. رایانامه نویسنده مسئول مکاتبات: salavatian@iaurasht.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۱۷

چکیده

امروزه با افزایش آگاهی از اثرات محیطزیستی ساختمان‌ها و همچنین ظهور ابزارهای توانمند برای ارزیابی آنها علاقه فزاینده‌ای به مطالعه ارزیابی چرخه‌حیات در تمام صنایع از جمله صنعت ساختمان در کشورهای پیشرفته به‌وجود آمده‌است. با وجود انتشار مقالات متعدد در این زمینه، هیچ یک بر چالش‌های روش ارزیابی چرخه حیات، مطالعات مربوطه و راهکارهای بالقوه برای رسیدگی به چالش‌ها تمرکز نداشته است. هدف مقاله حاضر ارایه گزارشی سیستماتیک از مطالعات کاربردی روش ارزیابی چرخه حیات در صنعت ساخت‌وساز برای ارائه راه‌حل بالقوه جهت انجام تحقیقات هدفمند آتی است. روش تحقیق این مقاله شامل بررسی مختصر ادبیات موضوع برای ارائه نمای کلی از روش ارزیابی چرخه حیات و انتخاب و مطالعه سیستماتیک مقالات/کتاب‌های مروری جهت بررسی مزایا و چالش‌های تحقیقات ارزیابی چرخه حیات بود. با بررسی مقاله‌های معتبر پژوهشی از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳ در مجموعه مقالات ISI و مقاله‌های علمی- پژوهشی فارسی، در مجموع ۷۲ مقاله مرتبط موردمطالعه قرار گرفت. با توجه به تنوع فاکتورهای تاثیرگذار بر ارزیابی چرخه حیات در ساخت‌وساز، ابتدا گزارش‌های آماری از نحوه پراکندگی جغرافیایی و موضوعی ارائه شد و سپس اهداف مورد مطالعه، حوزه‌های عمل، بانک‌های اطلاعاتی، ابزارها و اثرات محیط زیستی مورد مطالعه مقاله‌های معتبر منتشر شده مورد بررسی قرارگرفت و نقاط قوت و ضعف پژوهش‌های اخیر را نمایان ساخت. یافته‌ها نشان داد استفاده از بانک‌های اطلاعاتی یکپارچه و همچنین اصول محاسباتی و نرم‌افزارهای محاسبه‌گر هماهنگ در کنار یکسان‌سازی واحدهای عملکردی به همسویی پژوهش‌ها در چارچوب استانداردهای واحد و نیز امکان مقایسه و بسط نتیجه‌گیری‌ها می‌انجامد و در نتیجه ارایه تصویر جامع‌تر از اثرات محیطزیستی محصولات و سیستم‌های ساختمانی را برای حرفه‌مندان فراهم می‌آورد.

واژه‌های کلیدی: اثرات محیط زیستی، ارزیابی چرخه حیات، صنعت ساخت‌وساز، مصرف انرژی ساختمان، LCA.

مقدمه

اگرچه بخش ساخت‌وساز با ایجاد سرپناه، بهبود فضاها و تسهیل سازگاری آنها با تغییرات آب و هوایی به زندگی انسان کمک می‌کند، اما از سوی دیگر، این بخش دارای اثرات زیست محیطی و سهم به‌سزایی در ضایعات است. با نزدیک به ٤٠ درصد مواد خام، ٣٦ درصد مصرف انرژی، ٤٠ درصد تولید زباله و ٤٠ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای در سراسر جهان بخش بزرگی از چالش‌های زیست محیطی از صنعت ساخت‌وساز سرچشمه گرفته است (Ahmad *et al*., 2021; IEA, 2019). بنا به گزاراش ماهانه آمار صنعت آب و برق وزارت نیرو در فروردین ماه ۱٤۰۲، ۳۱/۷ درصد برق کشور در بخش خانگی مصرف می‌شود (وزارت نیرو، ۱٤۰۲). مقایسه سرانه میزان مصرف انرژی در ایران با کشورهای توسعه یافته نشان می‌دهد در ایران در هر مترمربع ساختمان در ۳۱۰ کیلو وات ساعت در سال و حدود ۲/۵ برابر متوسط کشورهای اروپایی انرژی مصرف می‌شود (هاشمی و حیدری, ۱۳۹۱) ص.۷۵) از سوی دیگر تقریبا ۵۰ درصد از کل مصرف مواد اولیه برداشت شده از طبیعت مربوط به صنعت ساخت‌وساز

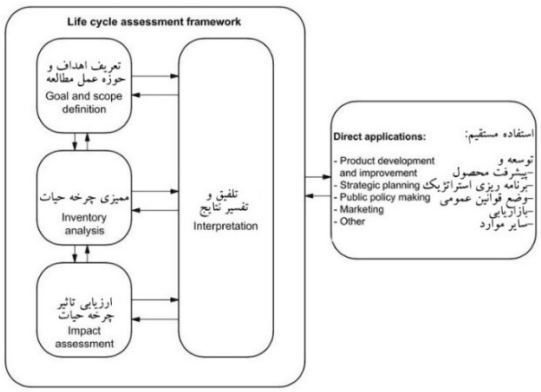
است (Johnson, 2006; OECD, 2019). در عین حال روزانه و به ازای هر نفر در جهان ۱/٦۸کیلوگرم زباله در بخش ساخت‌وساز یا تخریب تولید می‌شود که به اختصار به آن زباله ساخت‌وساز یا تخریب (CDW[1]) گفته می‌شود (Gonçalves *et al*., 2019). به علاوه پیش‌بینی می‌شود این برداشت منابع تا سال ۲۰٦۰ دو برابر شود (Torres *et al*., 2021). با رشد پایدار جمعیت و شهرنشینی سریع، در حال حاضر سالانه بیش از ۱۰ میلیارد تن از این زباله‌ها در سراسر جهان تولید می‌شود (Wu *et al*., 2019). صنعت ساخت‌وساز مسئول حدود ۳۵ درصد از کل زباله‌های جامد دفن شده در محل دفن زباله است که در تولید زباله با هیچ صنعت دیگری قابل مقایسه نیست (Martínez-Rocamora *et al*., 2016). مدیریت CDW چالش بزرگی برای دولت‌ها، شاغلین و محققان در سراسر جهان است (Bi *et al*., 2022).

مساله دیگری که در بخش صنعت از جمله صنعت ساختمان‌سازی وجود دارد انتشار گازهای گلخانه‌ای است. آلودگی ناشی از صنایع، منبع اصلی آلودگی هوا و انتشار بی‌رویه CO_2 است و در این میان، صنایع نیروگاه‌های حرارتی، کارخانه‌های تولید مواد شیمیایی، سیمان، کاغذسازی، نساجی و ساخت فولاد مهمترین صنایع آلوده‌کننده هوا هستند (Bazazan & Khosravani, 2016). سوالی که در این میان مطرح می‌شود آن است که آیا مصالح و روش‌های ساخت‌وساز متداول بهره‌وری مناسبی دارند؟ چگونه می‌توان مصرف انرژی و تولید زباله در این صنعت را کاهش داد؟

برای پاسخ به این پرسش در ابتدا می‌بایست به روش ارزیابی معتبری در این صنعت دست یافت. با توجه به آنچه پیشتر گفته شد، مشخص شد حجم زیادی از مصالح و مقدار زیادی انرژی در صنعت ساختمان به مصرف می‌رسد که تاثیرات بلندمدتی بر محیط زیست دارند. از این‌رو تحقیقات موثر و اندازه‌گیری تا حد امکان دقیق مواد و انرژی مصرفی، در این صنعت حایز اهمیت فراوانی است. جهت محاسبه مواد و انرژی مصرفی برای تولید هر محصول می‌توان از رویکرد ارزیابی چرخه حیات آن محصول استفاده کرد. ارزیابی چرخه حیات روشی برای ارزیابی اثرات زیست محیطی مرتبط با تمام مراحل چرخه زندگی یک محصول، فرآیند یا خدمات تجاری آن است. LCA می‌تواند در شناسایی فرصت‌ها برای بهبود عملکرد زیست محیطی در مراحل مختلف چرخه حیات موثر باشد (ISO, 2006).

سازمان بین‌المللی استانداردسازی ISO در دهه ۱۹۹۰ استاندارد مدیریت محیط زیست را به‌عنوان بخشی از استاندارد سری ۱٤۰۰۰ خود با هدف سازمان‌دهی روش‌های ارزیابی چرخه حیات تصویب نمود. در این استاندارد ارزیابی چرخه حیات، تدوین و ارزیابی ورودی‌ها، خروجی‌ها و اثرات بالقوه زیست محیطی یک سیستم محصول در طول چرخه حیات آن تعریف شد که به اختصار LCA[1] خوانده می‌شود (Iso Isiri-14040, 2004).

کلیه پژوهش‌ها در زمینه ارزیابی چرخه حیات بر طبق استاندارد ایزو ۱٤۰٤۰ انجام می‌شوند. استاندارد مذکور شرایط لازم برای معتبر بودن یک ارزیابی به شیوه LCA را مدیریت می‌کند. بر اساس این استاندارد، هر پژوهش ارزیابی چرخه حیات شامل ٤ مرحله است (هر یک از این مراحل به تنهایی یا در کنار مراحل دیگر به‌عنوان هدف پژوهش مورد بررسی محققین قرار می‌گیرد.): ۱. تعریف هدف و دامنه؛ ۲. تجزیه و تحلیل فهرست؛ ۳. ارزیابی اثرات؛ و٤. تفسیر (شکل شماره ۱).



شکل ۱. چارچوب ارزیابی چرخه حیات (ISO, 2006)

1 Life Cycle Assessment

پیشینه پژوهش

مقاله‌های مروری متعددی در سال‌های اخیر به بررسی مطالعات در زمینه ارزیابی چرخه حیات پرداخته‌اند، هر چند که هنوز تعداد این مقاله‌ها محدود بوده و بسیاری از حوزه‌ها را به‌طور کامل پوشش نداده‌اند. توجه به ضرورت چنین مطالعاتی از آن رو است که یکی از اصلی‌ترین اهداف برنامه استانداردسازی مطالعات LCA در ایزو 14040 ارایه روش‌های مدون بررسی ارزیابی چرخه حیات برای دستیابی به مطالعات یکپارچه و قابل تعمیم جهت رسیدن به شفافیت مناسب اطلاعات و استفاده از آن در تصمیم‌گیری‌های کلان و با هدف حفاظت از انرژی و همسویی با توسعه پایدار است. آنچه تاکنون انجام شده گام کوچکی در مسیر هدفی بزرگ بوده است. از جمله اولین مطالعات مروری انجام شده در این زمینه، مطالعه بر روی میزان و روش‌های اثرگذاری در تصمیم‌گیری‌ها توسط Sharma و همکاران (۲۰۱۱) بوده است که توسط بررسی‌های Abd Rashid و Yusoff (۲۰۱۵) تکمیل‌تر شده است. پس از Sharma و همکاران (۲۰۱۱) محققین دیگری نیز به بررسی مقالات موجود و ارایه دسته‌بندی‌ها و آنالیزهایی در زمینه‌های مختلف پرداختند. از جمله مطالعه‌ها در زمینه محدوده[1] با هدف بررسی اهداف و حوزه عمل مقالات پیشین (Cabeza *et al*., 2013)، مطالعه ابزارها و نرم‌افزارهای مورد استفاده در تحقیقات، پراکندگی آنها، کشورهای استفاده کننده از هر ابزار و موارد تحت پوشش آنها و همچنین بررسی نقاط قوت و ضعف نتایج به‌دست آمده از نرم‌افزارهای مختلف (Hollberg & Ruth, 2016; Islam *et al*., 2015)، مطالعه انواع روش‌ها (اعم از روش‌های رسمی ایزو و شیوه‌های محلی) و تنوع نتایج به‌دست آمده از هر روش (Finnveden *et al*., 2009; Säynäjoki *et al*., 2017)، مطالعه اعتبارسنجی انواع روش‌ها، پایگاه داده‌ها[2] و نرم‌افزارها (Mastrucci *et al*., 2017)، مطالعه تنوع نمونه‌های موردی، تعداد و نوع آنها (Soust-Verdaguer *et al*., 2016; (Soust-Verdaguer *et al*., 2016)، مطالعه در زمینه ارزیابی چرخه حیات بازسازی و نوسازی ساختمان‌ها (Vilches *et al*., 2017)، مطالعه مروری مقالاتی که از BIM در ارزیابی زیست‌محیطی و یا بالعکس استفاده کرده‌اند و در نهایت فرصت‌های تحقیقاتی آتی را معرفی نموده‌اند (Anand & Amor, 2017). نکته جالب توجه آن است که نزدیک به ۵۰ درصد مطالعه‌های مروری منتشر شده در سال ۲۰۱۷ انجام شده است.

در سال های اخیر مقاله مروری LCA توسط Hu و Milner (۲۰۲۰) در دانشگاه مریلند آمریکا به چاپ رسید که به دسته‌بندی جامع اطلاعات پراکندگی جغرافیایی، موضوعی، همکاری‌های مطالعاتی، مجلات منتشرکننده مقالات و مقالات دارنده بیشترین ارجاع در حوزه انرژی نهاده و تحقیقات تاثیرات زیست محیطی در زمینه ساختمان و ساخت‌وساز می‌پردازد. یکی از مقالات مروری قابل توجه در این زمینه در سال ۲۰۲۳ به‌عنوان نتیجه یک مطالعه مشترک بین دانشگاه جان موریس لیورپول و دانشگاه شارجه در امارات متحده عربی انجام شده که به بررسی چند جانبه مقالات منتشر شده در زمینه ارزیابی چرخه زیست محیطی از سال ۱۹۹٤ تاکنون می‌پردازد و مصرف انرژی و اثرات محیط زیستی بخش ساخت‌وساز، ابتکارات کاهشی، مراحل ارزیابی چرخه حیات و تجزیه و تحلیل داده‌ها برای LCA در نوسازی ساختمان‌ها را بررسی کرده‌اند (Hussien *et al*., 2023).

از جمله مطالعات پرتکرار در میان مقالات مروری مطالعات ادغامی میان روش BIM و LCA است. در سال ۲۰۲۲ پژوهشی در استرالیا در این زمینه انجام شد که به بررسی آخرین مطالعات در یکپارچه‌سازی BIM-LCA با استفاده از چارچوب ISO 14040 می‌پردازد و بر روش و منابع جمع‌آوری داده‌ها، نقشه برداری داده‌ها و تبادل داده بین داده‌های BIM و LCA و بیان اثرات محیط زیستی ساختمان‌ها از سال ۲۰۱۲ تا ۲۰۲۱ متمرکز شده است (Tam *et al*., 2022).

در ایران تاکنون مطالعه مروری و سیستماتیکی در زمینه ارزیابی چرخه حیات یا اثرات محیط زیستی صنعت ساختمان انجام نشده است، اما پژوهش‌هایی در زمینه بررسی اثرات محیط زیستی مصالح در صنعت ساختمان به صورت پراکنده انجام شده است (آقاخانی و همکاران، ۱٤۰۰؛ پورکریدشکوهی و همکاران، ۱۳۹۹؛ جوزی و جعفری‌نسب، ۱۳۹۳؛ Mohammadi *et al*., 2016). این موضوع خود لزوم انجام مطالعه سیستماتیک برای ارایه چارچوب تحقیقاتی مشخص در داخل کشور را دو چندان می‌کند. بر این اساس مشخص است که پژوهشی در زمینه بررسی کاربردهای ارزیابی چرخه حیات در صنعت ساخت‌وساز در مقالات معتبر داخلی و یا خارجی

1 Scope
2 Database

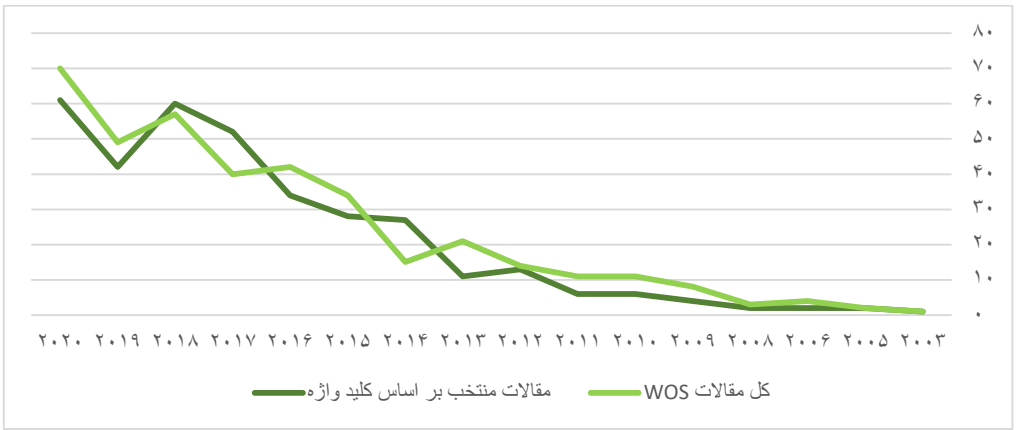
صورت نگرفته و با توجه به تاثیر مستقیم مرور مقاله‌ها در این زمینه، دستیابی به اطلاعات طبقه‌بندی شده در زمینه کاربردها می‌تواند کمک شایانی در زمینه انتخاب مصالح و روش‌های پایدار و سازگار با محیط زیست برای تصمیم‌گیران باشد.

مواد و روش‌ها

برای بررسی این موضوع، مقالات منتشر شده در سال‌های ۲۰۰۰ الی ۲۰۲۳ مد نظر قرار گرفت. لازم به ذکر است که این مطالعه محدود به چارچوب اصلی LCA بوده که ارزیابی تاثیرات زیست محیطی چرخه حیات را دربرگرفته و جستجوی مقالات در زمینه ارزیابی‌های مرتبط دیگر از جمله ارزیابی/ آنالیز انرژی چرخه حیات، ارزیابی/ آنالیز انتشار آلاینده چرخه حیات، ارزیابی/ آنالیز اثر کربن چرخه حیات و آنالیز/ ارزیابی هزینه چرخه حیات به صورت اختصاصی را شامل نمی‌شود.

در این پژوهش پس از ارایه آمار پراکندگی مقالات منتشر شده از نظر زمان انتشار، مجلات و کشورهای پیشرو، پژوهش‌های انجام شده در طی این ۲۳ سال بر اساس واحد عملکردی، موضع هدف، ابزارها، متغیرها و روش‌شناسی به روش تحلیل مقایسه‌ای- تطبیقی[1] بررسی شد. در این مقایسه تطبیقی، با نگاهی نقادانه به بررسی شباهت‌ها و تفاوت‌ها در مطالعات انجام شده در زمینه ارزیابی چرخه حیات ساختمان‌ها پرداخته شد. هدف این روش دستیابی به تصویری روشن از مطالعات انجام شده در این زمینه در جهان با دیدگاه دستیابی به الگویی برای مطالعات هماهنگ‌تر از نظر چارچوب و ابزار از یک‌سو و پوشش نقاط جامانده از سوی دیگر است. این تصویر به محققان آتی این امکان را می‌دهد تا پژوهش‌های کاربردی و موثر با امکان هم‌سنجی ارایه دهند.

منبع انتخاب سیستمی مقالات برای تجزیه و تحلیل مجموعه ساینس‌دایرکت[2] در میان مقالات ISI و مجموعه سید[3] در میان مقالات فارسی است. ساینس‌دایرکت یکی از بزرگترین کتابخانه‌های دیجیتال آنلاین در زمینه‌های مختلف علمی است. این کتابخانه محصول شرکت هلندی الزویر بوده و در حدود ۱۸ میلیون مقاله از ۴۰۰۰ نشریه آکادمیک، ۳۴۰۰۰ کتاب الکترونیکی، کتاب‌های مرجع و دستنامه را شامل می‌شود. نمایه سید نیز اولین و تنها بانک جامع و روزآمد نشریات علمی-پژوهشی ایران است که بیش از ۵۰۰۰۰۰ مقاله فارسی و انگلیسی منتشر شده در مجلات علمی- پژوهشی معتبر داخلی را شامل می‌شود. مقالات مورد استفاده در این پژوهش با استفاده از کلیدواژه‌های "Building Life Cycle Assessment" یا "Building LCA" و «ارزیابی چرخه حیات» از میان مقالات منتشر شده انتخاب شدند. با بررسی عمومی ۴,۰۰۰ نمونه مقاله منتشر شده با کلید واژه‌های فوق، در مجموعه ساینس‌دایرکت و ۶۰ نمونه مقاله در نمایه سید حاصل شد. بررسی آماری این مقالات نشان داد رشد آرام مقاله‌ها در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ با شیب تندی در سال‌های ۲۰۱۵ تاکنون ادامه یافته و این موضوع خود علت تعدد مقالات مروری چاپ شده در سال ۲۰۱۷ را بیان می‌کند. همچنین مقایسه نمودار رشد تعداد مقالات منتخب این مقاله با نمودار رشد کل مقالات منتشر شده (شکل ۲) که توسط Hu و Milner (۲۰۲۰) ارایه شده، انطباق داشته و موید کارآمدی کلیدواژه‌های انتخابی مقاله حاضر است.

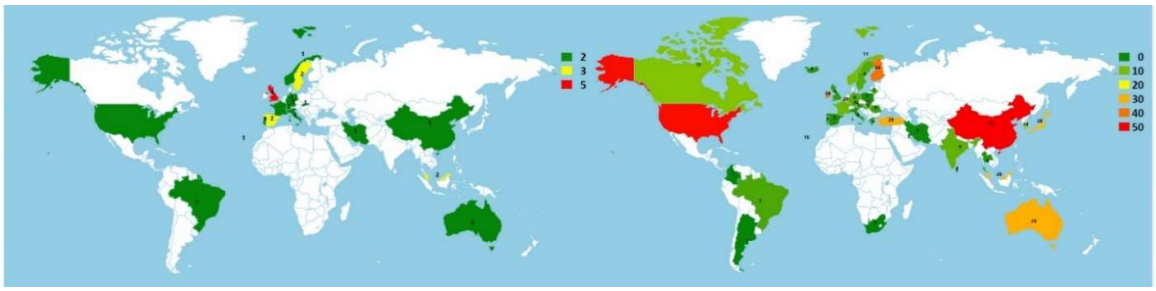


شکل ۲. مقایسه رشد تعداد مقالات منتخب این مقاله با نمودار رشد کل مقالات منتشر شده

1 Comparative analysis
2 https://www.sciencedirect.com/
3 SID.IR

درادامه، مقالاتی که دارای ضریب‌تاثیر[1] ۳/۳۸ و استناددهی[2] ۴/۹ و بالاتر بودند مورد بررسی ادبیات تحقیق قرار گرفتند و پس از بررسی ارتباط موضوعی آنها با تحقیق حاضر، ۷۲ مقاله که به صورت تخصصی به بررسی مصالح و روش‌های ساخت‌وساز و میزان تاثیرگذاری آنها بر شاخص‌های محیط‌زیستی پرداخته‌اند، تعیین شدند. بر اساس شکل (۳) که پراکندگی مطالعات در زمینه LCA ساختمان در جهان را نشان می‌دهد، مشخص است کشورهای اتحادیه اروپا، چین، آمریکا، استرالیا و ترکیه به صورت موثری به پژوهش در این زمینه پرداخته‌اند.

البته شایان ذکر است با مقایسه پراکندگی جغرافیایی مقالات معتبر کاربردی به نظر می‌رسد در برخی از کشورها تعداد بالای مقالات منتشر شده به صورت ارایه در کنفرانس و یا در بستر مطالعاتی غیر از ساخت‌وساز بوده است. در میان مجلات مختلفی که مقالات منتخب این پژوهش در آنها منتشر شده‌اند، مجله Journal of Cleaner Production بیشترین تعداد مطالعات در این زمینه را به خود اختصاص‌داده است. این مجله در هلند منتشر می‌شود و بخش عمده تنوع جغرافیایی مقالات منتخب در این نشریه به چاپ رسیده‌اند (کانادا، سوئیس، اسپانیا، سنگاپور، آلمان، نروژ، اسلونی، چین، ایران). همچنین مجلات Energy and Buildings و Journal of Building Engineering در رتبه‌های بعدی قرار گرفته‌اند.



شکل ۳. پراکندگی مطالعات LCA ساختمان در جهان (سمت راست) و پراکندگی مطالعات کاربردهای LCA در صنعت ساختمان (سمت چپ)

موضع هدف

با توجه به جدول (۱)، روشن شد مطالعات LCA بر مصالح و روش‌های متنوعی از ساختمان انجام شده است. پیشتر گفته شد به‌دلیل تنوع بالای فاکتورهای تاثیرگذار در ساختمان، انجام مطالعات LCA دشوار و متنوع بوده و با بررسی دقیق‌تر مطالعات پیشین مشخص می‌شود که محققان با تمرکز بر محدوده‌های عملکردی محدود و مشخص توانستند این تهدید را به فرصتی برای عرضه مطالعات متنوع‌تر تبدیل کنند. رویکرد محققین در زمینه ارزیابی چرخه حیات ساختمان‌ها به سه گروه کلی تقسیم شده است. در رویکرد کلی‌نگر، بررسی مجموعه‌ای مصالح موجود در یک ساختمان به‌منظور دستیابی به تاثیرگذارترین عامل و در برخی موارد دست‌یافتن به یک نمونه پیشنهادی با بررسی آلترناتیوهای مختلف و ادغام آنها صورت گرفته است. رویکرد دوم بررسی مصالح موجود و میزان تاثیرگذاری هر کدام بر شاخص‌های محیط زیستی و اقتصادی است. مصالح در روش‌های متداول ساخت‌وساز با یکدیگر مقایسه شده و یا مستقل تاثیرات آنها مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. پوسته خارجی و سازه ساختمان‌ها پر تکرارترین مرزبندی سیستم در این گروه هستند. رویکرد سوم، توجه به مصالح نوین و میزان تاثیرگذاری آنها است. در این گروه محققین میزان تاثیرگذاری این مصالح را با مصالح رایج صنعت ساختمان قیاس نموده که مقایسه‌های اقتصادی نیز در اکثر مطالعات به چشم می‌خورد. در این گروه عایق‌های ساختمانی بیشترین تکرارپذیری را در میان مطالعات داشته‌اند (در پیوست (۱)، اطلاعات مقالات ذکر شده در جدول (۱) آمده است).

1 Impact factor
2Cite score

جدول ۱. موضع هدف مقالات مرتبط با کاربردهای LCA بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳

مقالات	فراوانی (٪)	موضع هدف	تنوع
۵ ۳۸ ۲۶ ۴۲ ۱۷ ٤ ۱۰ ۳۳	۱۵	دیوار خارجی	زنده/ چوبی/ بلوکی/ سفالی/ آجری/ پنلی/ فیبر سیمان
٤۲ Error! Reference source not found. ۲۲ ۳٤ ۳۷ ۱۹	۱۱	عایق	فیبرسلولزی/ پلی‌استایرن/ پلی‌یورتان/ نانو
۱٦ ۲۸ ۳۳ ٤٦ ۲۲ ۳ ۲۵ ٤۲ ۲٦ ٤۳ ۳۸ ۱۸ ۲۱	۲۵	سازه	فلزی/ چوبی/ بتنی/ بنایی/ بامبو
٦ ۷ ۲۲	۵	نما	پنل‌آلمینیومی/ سرامیک
٤۵ ۵ ۲٦ ۱ ۲	۱۱	کف	بنایی/کامپوزیت سبک
۳۸ ۲٦ ۱۱	۵	بام	ورق شینگل/ قیرگونی/ سفال
۳۵ ۳۹ ۱۳ ٤٤ ٦ ۱۲ ۱۵ ٤۱ ۳٦ ۳۲ ٤۰ ٤۲	۲۵	کل ساختمان	سقف/ کف/ سازه/ دیوار داخلی و خارجی/ عایق/ نما
۹ ۲۲	۳	تناسبات	مورفولوژی/ نسبت سطح بازشو

بررسی آماری اهداف تحقیقات نشان داد محققین از دو روش کلی جهت انتخاب موضع هدف خود استفاده کرده‌اند. روش اول بررسی موضوعاتی است که تنوع محدودتر و در عین حال سهم تشکیل‌دهنده بیشتری دارند. به‌طور مثال سازه با تنوع محدود و در عین حال سهم بالا چه از دیدگاه حجم مصرفی و چه از دیدگاه اقتصادی یکی از ضروری‌ترین اجزای به‌کار رفته در ساختمان برای بررسی آثار زیست محیطی می‌باشد. در عین حال تنوع محدود مصالح و روش‌های ساخت سازه نسبت به سایر بخش‌های ساختمان امکان دستیابی به نتایج دقیق‌تری را فراهم می‌کند. روش دوم بررسی مصالح موردی خاص است. در اکثر مقالات محقق به دنبال بررسی یک مصالح جدید و یا بازیابی نقش یک مصالح سنتی اما فراموش شده است. دیوارهای مهندسی شده جدید، عایق‌های ساخته شده از مصالح نوین و استفاده از چوب بامبو در ساخت‌وساز مثال‌هایی از این روش می‌باشند.

واحد عملکردی

انتخاب واحد عملکردی یکی از اساسی‌ترین قسمت‌های یک تحقیق LCA می‌باشد(جدول ۲). با توجه به تنوع بالای مصالح ساختمانی تحقیق که به دقت و با واحد عملکردی مناسب محدود نشده باشد، اعتبار خود را در سنجش متغیرها از دست می‌دهد. نمونه‌های موردی در این تحقیقات به‌طور متوسط ۲/۹ در هر مقاله بوده و مطالعات به‌ترتیب بیشتر بر روی فضاهای مسکونی با فراوانی ۵۸ درصدی، یک واحد (به‌عنوان مثال در ۱ مترمربع از دیوار/ در یک کیلوگرم از وزن سازه/ در یک مترمکعب از مصالح) از ساختمان با فراوانی ۱۵ درصدی، ساختمان‌های عمومی از قبیل خوابگاه، موزه، آزمایشگاه و کتابخانه با فراوانی ۱۵ درصدی و ساختمان‌های اداری با فراوانی ۱۲درصدی بوده است. این موضوع با توجه به بیشتر بودن سهم ساخت‌وساز مسکن نسبت به سایر ساختمان‌ها منطقی به نظر می‌رسد خصوصا که ارزیابی زیست محیطی ساختمان‌های مسکونی با توجه به محدود بودن واحد عملکردی و همچنین کم‌بودن تعداد متصرفان فضا (بخش بهره‌برداری) موجب دستیابی به نتایج دقیق‌تری می‌شود، درحالی‌که سایر ساختمان‌ها با تعداد و تنوع بالا در موضوع‌های یاد شده و در عین حال بانک‌های اطلاعاتی محدودتر امکان تحقیق در بسیاری از موارد را از محققین سلب می‌کند. در این گروه از تحقیقات موسسات علمی قدرتمند به‌عنوان حامی مالی یا سفارش‌دهنده پژوهش به تکرار دیده می‌شوند. عامل دیگری که سهم واحد عملکردی اداری و عمومی را نسبت به مسکونی و یا ۱ واحدی کاهش می‌دهد، تشابه کمتر ساختمان‌های این گروه با یکدیگر و در نتیجه محدود شدن امکان مقایسه و دستیابی به نتایج گسترده‌تر است. (در پیوست (۱)، اطلاعات مقالات ذکر شده در جدول (۲) آمده است).

جدول ۲. واحد عملکردی مقالات کاربردهای LCA بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳

مقالات	فراوانی٪	واحد عملکردی	تنوع
۸ ۱۶ ۳۵ ۲۳ ۴۵ ۵ ۳۸ ۲۲ ۳ ۱۴ ۱۲ ۱۸ ۳۷ ۱۳ ۴ ۲۱ ۳۴ ۱۹ ۱۷ ۴۲ ۴۱ ۲۹ ۲۶ ۴۳	۵۸	مسکونی	یک طبقه مستقل/ دو طبقه مستقل/ دو طبقه در بلوک/ آپارتمان/ یک طبقه مستقل شبیه‌سازی‌شده
۲۳ ۲ ۳۰ ۴۰ ۴۵	۱۲	اداری	یک طبقه مستقل/ آپارتمان/ آزمایشگاه نانوتکنولوژی سنگاپور
۲۳ ۹ ۲۵ ۲۴ ۳۹ ۳۲ ۲۷	۱۵	عمومی	مدرسه/ بیمارستان/ خوابگاه/ تجاری/ پارکینگ/ موزه فاین‌آرت‌اسپانیا/ کتابخانه محله چینی‌ها شیکاگو
۳۳ ۲۸ ۱ ۱۱ ۱۰ ۷ ۴۴	۱۵	۱ واحد	یک مترمربع دیوار/ یک مترمربع کف/ یک دیوار خارجی ثابت با سطح بازشو متغیر/ یک مکعب/ یک کیلوگرم از هر مواد (متریال) در ساختمان

ابزارها

در مطالعه‌ای که در سال ۲۰۰۹ بر روی پایگاه داده‌ها در اختیار محققین در زمینه LCA و روش‌های انتخابی آنها صورت گرفته، ۸ پایگاه داده – ATHENA, NATH DATA, BEE, BEES, BRE, BOUSTEAD, DBRI, ECOINVENT– به‌عنوان پرتکرارترین پایگاه‌های داده مورد استفاده محققین معرفی شدند (Khasreen *et al*., 2009). حال با گذشت بیش از ۱۰ سال مشخص است که بسیاری از این منابع اطلاعاتی جای خود را به منابع دیگر داده‌اند. از این میان پایگاه داده ECOINVENT هنوز محبوبیت خود را حفظ کرده است. همان‌طور که در بررسی مقالات در چارچوب این مقاله مشخص شد، بیشتر محققین از پایگاه داده Ecoinvent و EPD در مطالعات بهره جسته و در کنار آن اکثر محققین برای تکمیل اطلاعات مورد نیاز خود از منابع محلی استفاده کرده‌اند (جدول ۳).

جدول ۳. ابزار مقالات کاربردهای LCA بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳

پایگاه داده	فراوانی	کشور	عملکرد	مدل	سطح	نرم‌افزار و وب‌سایت
Ecoinvent	۱۷	سوئیس	دیتابیس	تجاری	مقایسه محصول	https://www.ecoinvent.org/
LOCAL	۶	-	-	-	-	-
EPD	۷	سوئیس	دیتابیس	آکادمی	مقایسه محصول	http://epd.vital-it.ch/
ICE	۲	انگلستان	دیتابیس	آکادمیک	انرژی و کربن تجسم‌یافته	https://circularecology.com/embodied-carbon-footprint-database.html
ATHENA	۲	کانادا	ابزار+ دیتابیس	آکادمیک	تصمیم‌گیری کل ساختمان	Eco Calculator http://www.athenasmi.org/
IBO	۲	اتریش	دیتابیس	آکادمی	مصالح	https://www.ibo.at/en/building-material-ecology/product-range/databases-for-building-materials
GABI	۱	آلمان	ابزار+ دیتابیس	تجاری	تصمیم‌گیری کل ساختمان	Gabi sowftware http://www.gabi-software.com/databases/gabi-databases/
KBOB	۲	سوئیس	دیتابیس	–	مصالح	https://www.kbob.admin.ch/

بیشتر آنالیزها از طریق نرم‌افزار SIMAPRO در نسخه‌های مختلف انجام شد. از طرفی بسیاری از محققین بررسی‌های خود را از طریق به‌کارگیری فرمول‌های محاسباتی مشخص انجام داده بودند. خصوصا در اکثریت موارد بررسی‌های اقتصادی روش بررسی محاسبات دستی بوده و از نرم‌افزار استفاده نشده است. این موضوع در کنار استفاده محققین از مجموعه نرم‌افزارهای کمتر شناخته شده و بعضا محلی با پشتوانه تایید متخصصین، نشان می‌دهد نرم‌افزارهای صاحب نام در زمینه LCA به‌دلایل مختلف از جمله قیمت، محدودیت در برخی کشورها، متکی بودن به اطلاعات محلی و تمرکز بر نیازهای محلی قادر به پاسخگویی به نیاز همه محققین نبوده و این موضوع بستر مناسبی برای ورود نرم‌افزارهای جدید را فراهم کرده است. نرم‌افزارهای نوظهوری مانند OpenLCA و Revit مقام‌های بعدی پراستفاده‌ترین ابزارهای آنالیزی کاربردی را به خود اختصاص داده‌اند. موضوع تعدد نرم‌افزارهای آنالیزی و استفاده پرتکرار محققین از فرمول‌های محاسباتی به جای نرم‌افزار متاسفانه آسیب بزرگی به یکپارچگی اطلاعات حاصل از تحقیقات زده است و امکان جمع‌بندی اطلاعات، انجام

مطالعات مرور سیستماتیک، مقایسه موثر داده‌ها و بسط و توسعه مطالعات انجام شده را غیرممکن می‌سازد.

متغیرهای ارزیابی محیط زیستی

انتخاب متغیرهای هر تحقیق به هدف از انجام LCA در آن تحقیق بستگی دارد، به‌عنوان مثال به اهدافی همچون تصمیماتی که بر اساس LCA اتخاذ خواهد شد و سوال‌هایی که تحقیق مذکور در پی پاسخ به آنها است. اصولا انتخاب دسته‌بندی تاثیرات بر عهده محقق است و هیچ روشی مبنی بر دستورالعمل دستوری استفاده از گروه مشخصی از متغیرها در عناوین مختلف تحقیق وجود ندارد. اما بر اساس بررسی چهار روش شناخته شده بین‌المللی و پیش‌نویس گزارش فنی ISO 14047 (ISO 1999)، لیست کاملی از دسته‌بندی‌های تاثیرگذاری ایجاد شده است ((Stranddorf *et al*., 2005)).

در این بخش، روش‌های LCIA موجود برای تعریف مقوله‌های اثرات محیط زیستی مناسب برای مصالح ساختمانی مورد بررسی قرار می‌گیرند. در نظر گرفتن عملکرد محیط زیستی یک محصول بسته به طبقه‌بندی ارزیابی اثرات محیط زیستی یا معیار ارزیابی می‌تواند متفاوت باشد. تعیین مقوله‌های تاثیر مناسب و معیارهای ارزیابی مطابق با هدف ارزیابی ضروری است. اگرچه اکثر روش‌شناسی‌ها عمدتا در اروپا توسعه یافته‌اند، اما روش‌های مختلف LCIA توسط بسیاری از محققان در طول زمان توسعه داده شده‌اند. هر روش LCIA دسته‌بندی اثرات محیط زیستی و روش‌های ارزیابی را برای هر دسته تعریف می‌کند. روش‌های LCIA در درجه اول به دسته‌های تاثیر نقطه میانی و نقطه پایانی تقسیم می‌شوند (Dong *et al*., 2021).

یک طبقه‌بندی نقطه میانی[1] شامل اثرات محیط زیستی مربوط به ورودی‌ها و خروجی‌ها و شناسایی مشکلات خاص مانند تغییرات آب و هوا، تخریب لایه اوزون، اسیدی شدن و کاهش سوخت‌های فسیلی است. همچنین از آن به‌عنوان یک رویکرد مساله‌محور[2] یاد می‌شود و به‌طور کمی میزان مشکلات محیط زیستی ناشی از انتشار آلاینده‌ها از مکانیسم‌های محیط زیستی را ارزیابی می‌کند. روش‌شناسی‌هایی که روش‌های نقطه میانی در آنها استفاده شده مانند: CML 2001، EDIP 2003 و TRACI CML 2001، توسط مرکز علوم محیطی دانشگاه لیدن برای ارزیابی مقوله‌های اثرات محیط زیستی با استفاده از Ecoinvent توسعه داده شده‌اند (Ibbotson & Kara, 2013). این موارد روش‌شناسی‌های پذیرفته شده بین‌المللی هستند که فاکتورهای نرمال‌سازی را برای اروپا و بقیه جهان فراهم می‌کنند. در این روش‌ها برخی متغیرها تنها اثرات محیط زیستی بر قاره اروپا را در نظر می‌گیرند، اما متغیرهای گرم شدن کره زمین و تخریب لایه اوزن کل کره زمین را به‌عنوان منطقه مرجع در نظر دارند. TRACI (ابزاری برای کاهش و ارزیابی اثرات شیمیایی و سایر اثرات محیط زیستی)[3] یک ابزار ارزیابی اثرات محیط زیستی است که توسط آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده (US EPA) در سال ۲۰۰۳ توسعه یافت و ۹ دسته از اثرات محیط زیستی را ارزیابی کرد (Vieira *et al*., 2016). متغیرهای تخریب لایه ازن و اثر گلخانه‌ای در این روش در سطح جهانی توسعه یافته‌اند، درحالی‌که متغیرهای دیگر بر اساس داده‌های آمریکای شمالی توسعه یافته‌اند. TRACI شامل متغیر ارزیابی کاهش منابع نمی‌شود (Almeida *et al*., 2016).

برعکس، روش‌شناسی نقطه پایانی[4] بر آسیب نهایی ناشی از بارهای محیط زیستی متمرکز است. دسته‌بندی‌های اثرات محیط زیستی آسیب‌های وارده به سلامت انسان، تنوع اکوسیستم، در دسترس بودن منابع و همچنین تخریب اکوسیستم را پوشش می‌دهد. روش‌شناسی مبتنی بر تاثیر نقطه پایانی نیز به‌عنوان رویکرد آسیب‌محور[5] نامیده می‌شود. روش‌شناسی‌هایی که روش‌های نقطه پایانی در آنها استفاده شده، مانند indicator 99، EPS 2000 و Eco-Indicator 99، نتایج ارزیابی منابع، کیفیت اکوسیستم و موارد سلامت انسان را ارایه می‌دهند. درجات تاثیر ورودی‌ها یا خروجی‌ها بر هر موضوع (جهت به‌دست آوردن برآورد خسارت برای هر یک از سه دسته تاثیر) عامل تعیین‌کننده است. علاوه بر ارزیابی این سه مورد، عوامل عادی‌سازی و وزن‌دهی با طبقه‌بندی انسان‌ها از سه منظر تعریف می‌شوند. در تلاش برای ارایه بارهای محیط زیستی به‌عنوان هزینه، روش EPS 2000 بین سال‌های ۱۹۹۰ و ۱۹۹۱ توسعه یافت. تحلیلی از اثرات انتشارات بر هر دسته از اثرات محیط زیستی ارایه شد و همچنین ارزیابی اهمیت هر دسته از اثرات زیست محیطی ارایه گردید. علاوه بر این، EPS 2000 پنج دسته بار محیطی را تعریف می‌کند: سلامت انسان، ظرفیت تولید اکوسیستم، منابع غیرزنده، تاثیر بر تنوع زیستی، و

1 Midpoint

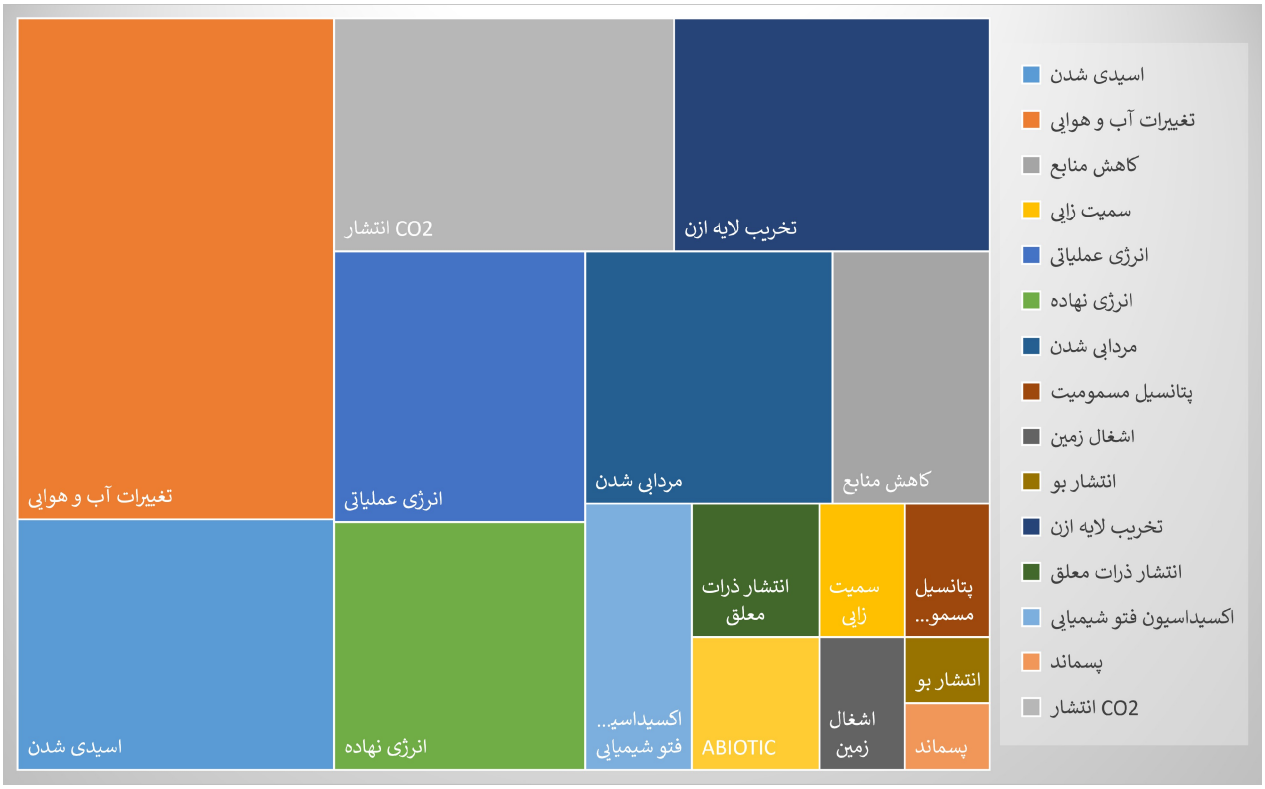
3 Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and Other

ارزش‌های فرهنگی و تفریحی. جدول (٤) هر روش LCIA را خلاصه می‌کند (Wu *et al.*, 2015).

جدول ۴. روش‌شناسی‌های ارزیابی چرخه حیات (Park *et al.*, 2020)

دسته‌بندی	روش	ملیت	موسسه	محدوده داده	دسته‌بندی اثرات زیست محیطی
نقطه میانی	CML 2001	هلند	Center of Environmental Science of Leiden University	جهانی/ اروپا	اسیدی شدن/ تغییرات آب و هوا/ پتانسیل مسمومیت/ سمیت‌زایی/ سلامت انسان/ اکسیداسیون فتوشیمیایی/ تخریب لایه ازن
	EDIP 2003	دانمارک	Technical University of Denmark	اروپا	اسیدی شدن/ اتروفیکاسیون خاک/ ازن فتوشیمیایی/ قرارگیری گیاهان در معرض آلاینده/ قرارگیری انسان در معرض آلاینده/ گرم شدن زمین
	TRACI	آمریکا	US EPA	آمریکای شمالی	تخریب لایه ازن/ جهانی/ گرم شدن/ اسیدی شدن، اتروفیکیشن/ اکسیداسیون فتوشیمیایی/ سمیت زیست محیطی/ سلامت انسان
نقطه پایانی	Ecoindicator 99	هلند	PRé Sustainability	جهانی/ اروپا	منابع معدنی و فسیلی/ کیفیت اکوسیستم/ سلامت انسان
	EPS 2000	سوئد	IVL	آمریکای شمالی/ اروپا	امید به زندگی/ موربیدیتی شدید/ آزاررسانی/ سلامتی شدید/ ظرفیت رشد محصول/ ظرفیت رشد چوب

نکته قابل توجه در بررسی مقالات آن است که اکثر محققین به یک روش مشخص و دسته‌بندی تاثیرات منتخب آن روش وفادار نبوده‌اند. در ٦٢ درصد مقالات، محقق تعداد محدودی از متغیرها را بر اساس سوال مقاله خود مشخص کرده و تنها به بررسی بخشی از تاثیرات پرداخته است. در شکل (٤) میزان پراکندگی دسته‌بندی تاثیرات قابل مشاهده است. تغییرات آب‌وهوایی بیشترین اثر مورد بررسی در میان مقالات بوده و پس از آن اسیدی شدن، تخریب لایه ازن و مردابی شدن در رتبه‌های بعدی قرار دارند.



شکل ۴. متغیرهای مقالات کاربردهای LCA بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳

بحث و نتیجه‌گیری

مقاله حاضر از طریق ۵ روش به افزایش اطلاعات در زمینه حفاظت از انرژی در صنعت ساختمان با روش ارزیابی چرخه حیات پرداخته که در ابتدا به صورت خلاصه و سپس به تفضیل آمده است. اول) با بررسی موضع هدف مقالات پیشین مشخص شد. ساختمان‌ها از منظر بررسی تناسبات، اجزا و مصالح بام و

نما به تحقیقات بیشتر نیازمند بود. دوم) واحد عملکردی مقالات مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد ساختمان‌های عمومی به‌عنوان واحد عملکردی نسبت به سایر واحدهای عملکردی کمتر مورد بررسی قرار گرفته‌اند. سوم) در بررسی بانک اطلاعاتی مورد استفاده پژوهشگران روشن شد استفاده از پایگاه داده Ecoinvent با توجه به وسعت اطلاعاتی و پرتکرار بودن در مقالات می‌تواند به هماهنگی بیشتر و امکان بسط و مقایسه مقالات آتی منجر شود. چهارم) بررسی ابزارهای مورد استفاده محققین حاکی از آن بود که عدم وجود هماهنگی لازم دستیابی به نتایج قابل تجمیع را دشوار می‌سازد. پنجم) با تحقیق و بررسی‌ها از منظر متغیرهای محیط زیستی می‌توان اذعان داشت که لازم است متغیرهای پسماند، انتشار CO_2 و انتشار بو مورد توجه و مطالعه بیشتری قرار گیرد.

بررسی موضوع هدف مقالات نشان داد سازه ساختمان‌ها با ۲۵ درصد فراوانی نخستین موضوع مورد توجه محققین بوده و پس از آن دیوار خارجی با ۱۵ درصد فراوانی مورد بررسی قرار گرفته است. از سوی دیگر تنها ۳ درصد از مقالات به ریخت شناسی و نسبت بازشوها پرداخته‌اند، حال آنکه عناصر به‌طور ویژه با تاثیر مستقیم و همزمان بر روی انرژی نهاده و انرژی مصرفی ساختمان یکی از تاثیرگذارترین متغیرها به نظر می‌رسد. موضع هدف سازه ساختمان‌ها در تحقیقات Minunno و همکاران (۲۰۲۱) نیز مورد توجه قرار گرفته است.

از سوی دیگر تنوع بانک‌های اطلاعاتی و نرم‌افزارها امکان مقایسه اطلاعات به‌دست آمده از مقالات مختلف با یکدیگر را به چالش کشیده است. هر چند که به نظر می‌رسد برخی از تصمیم‌گیران محلی با ارایه پایگاه های داده مرجع محلی اقدام به همگون‌سازی بانک‌های اطلاعات محققین محلی خود نموده‌اند. اما مشکل آنجا است که بسیاری از کشورها فاقد بانک‌های اطلاعاتی مرجع محلی بوده و همچنین استفاده از بانک‌های اطلاعاتی محلی امکان به‌دست آمدن نتایج جهانی را مختل می‌سازد. لازم به ذکر است که پایگاه داده Ecoinvent به‌عنوان پرچمدار بانک‌های اطلاعاتی تنها ۱۷درصد فراوانی را به خود اختصاص داده و گستردگی رایج در بانک‌های اطلاعاتی یکپارچگی اطلاعات را تحت‌الشعاع قرار داده است. معضل فوق از سال ۲۰۱۷ مورد توجه محققین قرار گرفت و Vilches و همکاران (۲۰۱۷) در مقاله مروری خود به آن پرداختند، ولی تا کنون مورد توجه جدی قرار نگرفته است. به‌علاوه عدم تعهد کافی محققین به استفاده کامل از روش‌های معرفی شده توسط ISO 1404 امکان نتیجه‌گیری مشخص و استاندارد را از بسیاری پژوهش‌ها سلب کرده است. تاکنون تنوع گسترده‌ای از اثرات محیط زیستی در مقالات بررسی شده‌اند، حال آنکه امکان جمع‌بندی این اطلاعات در بسیاری از موارد وجود ندارد.

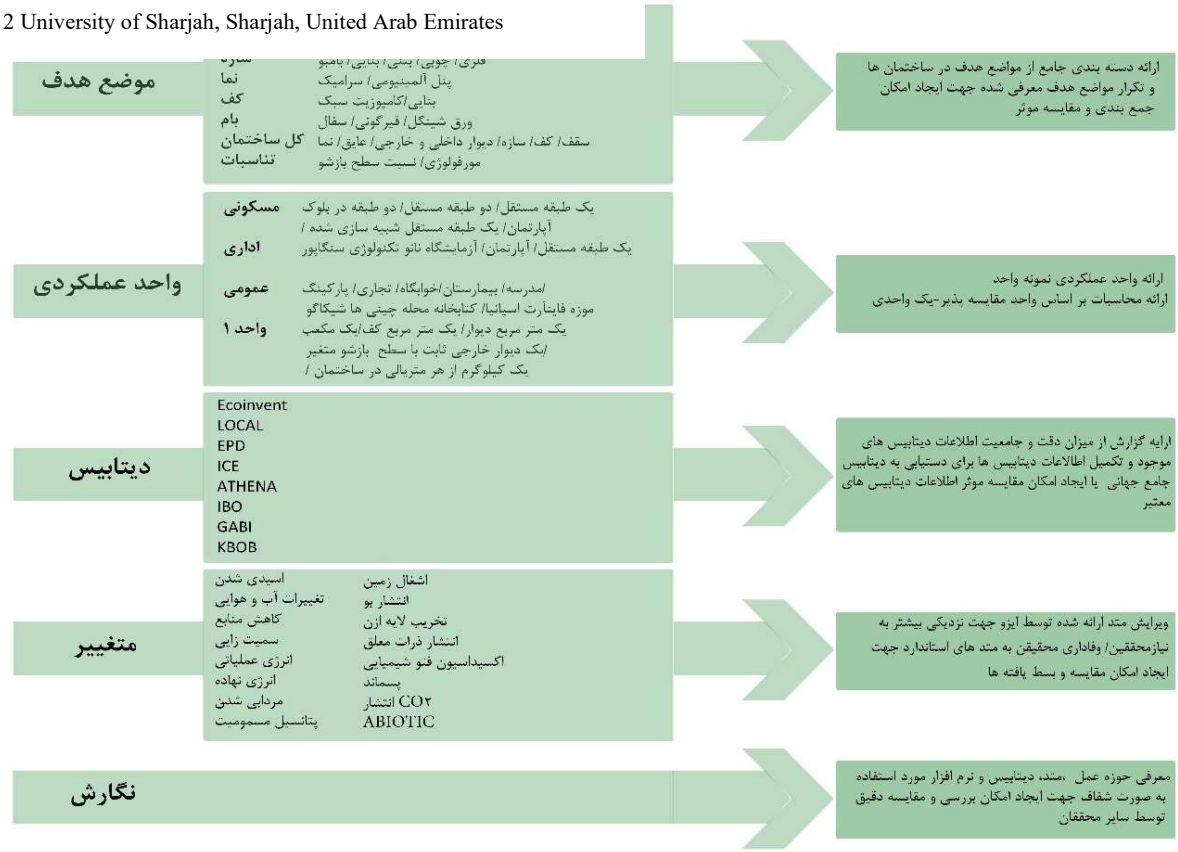
مساله دیگری که در مسیر مطالعات ارزیابی چرخه حیات قرار دارد، عدم وجود معیاری برای یکسان‌سازی واحدهای عملکردی است. محققان در مقالات خود بر اساس داده‌های قابل اندازه‌گیری و یا در دسترس اقدام به معرفی واحد عملکردی خود می‌کنند که این موضوع باعث بالا رفتن تنوع واحدهای عملکردی مقالات به تعداد مقالات شده است و امکان هر گونه مقایسه و بررسی‌های جامع تر را از محققین سلب کرده است. به‌نظر می‌رسد همسان‌سازی واحدهای عملکردی در چند گروه کلی می‌تواند این مشکل را از سر راه محققین بردارد. همچنین در ۵۸ درصد موارد ساختمان‌های مسکونی موضوع مطالعه محققین بوده، حال آنکه ساختمان‌های عمومی تنها ۱۵ درصد موارد را شامل می‌شوند. این تفاوت در سهم ساختمان‌های عمومی و مسکونی در حالی است که تصمیم‌گیری در مورد استفاده از روش‌های ساخت و مصالح با اثرات زیست محیطی محدودتر در حیطه ساختمان‌های عمومی امکان پذیرتر بوده و از سوی دیگر پتانسیل ساختمان‌های عمومی در تحول فرهنگ ساخت‌وساز حوزه اثرشان بیشتر بوده است. این موضوع با توجه به تحقیقات مشترک دانشگاه جان مورس لیورپول[1] و دانشگاه شارجه[2] امارات در سال ۲۰۲۳ نیز تایید شده و حاکی از آن است که عدم توجه محققین به مطالعه در زمینه واحدهای عملکردی تاثیرگذار بر حفاظت انرژی و کاهش اثرات محیط زیستی موجب از دست رفتن یکپارچگی و دشواری در مقایسه یافته‌های مقالات شده است (Hussien *et al*., 2023).

با توجه به اینکه استفاده از بانک‌های اطلاعاتی یکپارچه و همچنین اصول محاسباتی و نرم‌افزارهای محاسبه‌گر هماهنگ در کنار یکسان‌سازی واحدهای عملکردی به همسویی پژوهش‌ها در چارچوب استانداردهای واحد و نیز امکان مقایسه و بسط نتیجه‌گیری‌ها می‌انجامد، در نتیجه ارایه تصویر جامع‌تر

از اثرات محیط‌زیستی محصولات و سیستم‌های ساختمانی برای حرفه‌مندان فراهم می‌شود.

1 John Moores Liverpool, University Liverpool, UK

2 University of Sharjah, Sharjah, United Arab Emirates



شکل ۵. دسته‌بندی موضوعی مقالات ارزیابی چرخه حیات در صنعت ساختمان

پیشتر اشاره شد تنوع وسیع عوامل اثرگذار بر ارزیابی محیط زیستی ساختمان‌ها کار محققین و تصمیم‌گیران را دشوار ساخته و این موضوع در تنوع مقالات منتشر شده در حوزه عمل، روش‌های ارزیابی و تفسیر و ابزارها کاملا مشهود است. همچنین در بررسی نگارش مقالات نیز مشخص شد عدم معرفی حوزه عمل مورد بررسی در مقاله، محققین آینده را برای تکمیل و ادامه پژوهش‌ها با مشکل مواجه خواهد ساخت. عموما هدف انجام LCA در بسیاری از مقالات از عنوان و حتی کلیدواژه‌های مقاله مشخص نیست. کلیدواژه‌هایی که در آنها به صورت مشخص حوزه عمل، روش، پایگاه داده‌ها و نرم‌افزار مورد استفاده در تحقیق معرفی نشده، باعث سردرگمی محققین در طیف وسیعی از مقالات می‌شود.

از سوی دیگر به نظر می‌رسد معرفی مشخص متغیرهای تحقیق با هدف دستیابی بهتر محققین بعدی به اطلاعات و نتایج به‌دست آمده از تحقیق‌ها ضروری به‌نظر می‌رسد. حال آنکه در بسیاری از مقالات انبوهی از نمودارهای مراحل مختلف آنالیز بدون ارایه گزارش تصویری نهایی می‌پردازد و تنها به معرفی متغیرهایی که نتیجه مثبت در روند تحقیق داشته بسنده می‌شود. این درحالی است که یک گزارش تصویری گویا از متغیرهایی که نتیجه منفی در روند تحقیق داشته‌اند می‌تواند به برنامه‌ریزی و فرضیه‌سازی محققین بعدی کمک کند.

مطالعات LCA در حوزه اجزا و سیستم‌های ساختمانی به حرفه‌مندان و متخصصان در گزینش و بهره‌گیری از محصولات و شیوه‌های سازگار با محیط زیست یاری می‌رساند. با توجه به پیچیدگی ارزیابی چرخه حیات در حوزه ساختمان که ناشی از ماهیت متنوع و غیرمتمرکز این صنعت می‌باشد، تدوین یک دیدگاه جامع به پژوهش‌های متنوع این حوزه ضروری است تا توجه حرفه‌مندان و تصمیم‌گیران این عرصه را به جایگاه حایز

اهمیت این دسته ارزیابی‌ها جلب نموده و محققین این حوزه را با فرصت‌های تکمیل و پیشبرد این‌گونه مطالعات در پژوهش‌های آتی آشنا سازد.

منابع

آقاخانی، س.، حق‌پرست، ف. و آصفی، م. (۱۴۰۰). اثرات زیست محیطی استفاده از بتن و آجر و چوب در ساختمان‌سازی بر مصرف انرژی و آزادسازی کربن، مطالعه موردی شمال- غرب ایران. نشریه تحقیقات جغرافیایی، ۱۴۱(۳۶): ۳۱۴-۳۲۱. قابل دسترس در: https://www.noormags.ir/view/fa/articlepage/1789678/

پورکریدشکوهی، م.، فیضی، م.، ترکاشوند، ع. و خاکزند، م. (۱۳۹۹). بررسی تطبیقی اثرات زیست محیطی یک ساختمان با اسکلت فلزی و بتنی در شهر تهران با رویکرد ارزیابی چرخه حیات در مرحله طراحی. نشریه معماری و شهرسازی پایدار، ۱۶(۸): ۵۱-۶۶. قابل دسترس در: https://www.noormags.ir/view/fa/articlepage/1863307/

جوزی، س.ع. و جعفری‌نسب، ت. (۱۳۹۳). بررسی آثار محیط زیستی ساخت‌وساز پروژه مسکن مهر شهرستان محمودآباد مازندران. نشریه محیط شناسی، ۷۱(۴۰): ۶۰۳-۶۲۰.

وزارت نیرو. (۱۴۰۲). گزارش ماهانه آمار صنعت آب و برق، قابل دسترس در: شبکه آمار و اطلاعات وزارت نیرو.

هاشمی، ف. و حیدری، ش. (۱۳۹۱) بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی اقلیم سرد، نمونه موردی شهر اردبیل. نشریه صفه، ۲۲: ۷۵-۸۶.

Abd Rashid, A.F. and Yusoff, S. (2015) A review of life cycle assessment method for building industry. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 45(May): 244–248. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.01.043/

Ahmad, W., Ahmad, A., Ostrowski, K.A., Aslam, F. and Joyklad, P. (2021) A scient metric review of waste material utilization in concrete for sustainable construction. Case Studies in Construction Materials, 15(July), e00683. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00683/

Ajayi, S.O., Oyedele, L.O. and Ilori, O.M. (2019) Changing significance of embodied energy: A comparative study of material specifications and building energy sources. Journal of Building Engineering, 23(May 2018): 324–333. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.02.008/

Almeida, M., Mateus, R., Ferreira, M. and Rodrigues, A. (2016) Life-cycle costs and impacts on energy-related building renovation assessments. International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development, 7(3-4): 206–213.

Anand, C. and Amor, B. (2017) Recent developments, future challenges and new research directions in LCA of buildings: A critical review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 67(January): 408-416. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.058/

Bi, W., Lu, W., Zhao, Z. and Webster, C.J. (2022) Combinatorial optimization of construction waste collection and transportation: A case study of Hong Kong. Resources, Conservation and Recycling, 179(April): 106043. Retrieved from https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2021.106043/

Cabeza, L.F., Barreneche, C. and Miro, L. (2013) Affordable construction towards sustainable buildings: Review on embodied energy in building materials ´s Ferna. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.05.005/

Dong, Y., Hossain, M.U., Li, H. and Liu, P. (2021) Developing conversion factors of lcia methods for comparison of lca results in the construction sector. Sustainability (Switzerland), 13(16): 1–16. Retrieved from https://doi.org/10.3390/su13169016/

Finnveden, G., Hauschild, M.Z., Ekvall, T., Guinée, J., Heijungs, R., Hellweg, S., Koehler, A., Pennington, D. and Suh, S. (2009) Recent developments in Life Cycle Assessment. Journal of Environmental Management, 91(1): 1–21. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.06.018/

Hollberg, A. and Ruth, J. (2016) LCA in architectural design—a parametric approach. International Journal of Life Cycle Assessment, 21(7): 943–960. Retrieved from https://doi.org/10.1007/s11367-016-1065-1/

Hu, M. and Milner, D. (2020) Visualizing the research of embodied energy and environmental impact research in the building and construction field: A bibliometric analysis. Developments in the Built Environment, 3(August): 100010. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.dibe.2020.100010/

Hussien, A., Abdeen Saleem, A., Mushtaha, E., Jannat, N., Al-Shammaa, A., Bin Ali, S., Assi, S. and Al-Jumeily, D. (2023) A statistical analysis of life cycle assessment for buildings and buildings' refurbishment research. Ain Shams Engineering Journal, 14(10): 102143. Retrieved from https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.asej.2023.102143/

Ibbotson, S. and Kara, S. (2013) LCA case study. Part 1: Cradle-to-grave environmental footprint analysis of composites and stainless-steel I-beams. Buildings and Building Materials, 18(June): 208–217.

IEA. (2019) World energy statistics and balances. Retrieved from https://www.iea.org/topics/energyefficiency /buildings/ Accessed date: 19 June 2019.

Islam, H., Jollands, M. and Setunge, S. (2015) Life cycle assessment and life cycle cost implication of residential buildings- A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 42(February): 129–140. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.006/

ISO (International Organization for Standardization). (2006) Environmental management - Life cycle assessment -Principles and framework, Second edition. Iso 14040, 41(5): 1628–1634.

Iso Isiri- 14040. (2004) Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework (ISO 14040:2006) (first). Institute of Standards and Industrial Research of Iran.

Johnson, T.W. (2006) Comparison of environmental impacts of steel and concrete as building materials using the Life Cycle Assessment method [Massachusetts Institute of Technology Massachusetts]. In Thesis. Retrieved from https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/34608/

Khasreen, M.M., Banfill, P.F.G. and Menzies, G.F. (2009) Life-cycle assessment and the environmental impact of buildings: A review. Sustainability Journal, 1(3): 674–701. Retrieved from https://doi.org/10.3390/su1030674/

Martínez-Rocamora, A., Solís-Guzmán, J. and Marrero, M. (2016) LCA databases focused on construction materials: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 58(May): 565–573. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.243/

Mastrucci, A., Marvuglia, A., Leopold, U. and Benetto, E. (2017) Life Cycle Assessment of building stocks from urban to transnational scales: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 74(February): 316–332. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.060/

Minunno, R., O'Grady, T., Morrison, G.M. and Gruner, R.L. (2021) Investigating the embodied energy and carbon of buildings: A systematic literature review and meta-analysis of life cycle assessments. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 143(May 2020), 110935. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110935/

OECD. (2019) Development co-operation Report 2019, A fairer, Greener, safer Tomorrow. Retrieved from https://doi.org/10.1787/9a58c83f-en/

Park, W.J., Kim, R., Roh, S. and Ban, H. (2020) Analysis of major environmental impact categories of road construction materials. Sustainability Journal, 12(17): 6951.

producto: reglas de categoría de producto básicas para productos de construcción. In AENOR.

Säynäjoki, A., Heinonen, J., Junnila, S. and Horvath, A. (2017) Can life-cycle assessment produce reliable policy guidelines in the building sector. Environmental Research Letters, 12(1): 013001. Retrieved form https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa54ee/

Sharma, A., Saxena, A., Sethi, M., Shree, V. and Varun. (2011) Life cycle assessment of buildings: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15(1): 871–875. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.09.008/

Soltani, A., Rajabi, M., Zeinali, E. and Soltani, E. (2010) Evaluation of environmental impact of crop production using LCA: Wheat in Gorgan. Journal of Crop Production, 89(3): 201–218.

Soust-Verdaguer, B., Llatas, C. and García-Martínez, A. (2016) Simplification in life cycle assessment of single-family houses: A review of recent developments. Building and Environment, 103(July): 215–227. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.04.014/

Stranddorf, H.K., Hoffmann, L., Schmidt, A. and Technology, F. (2005) Impact categories, normalisation and weighting in LCA. In Environmental News, Vol. 78. Retrieved from https://doi.org/Environmental project nr. 995/

Tam, V.W.Y., Zhou, Y., Illankoon, C. and Le, K.N. (2022) A critical review on BIM and LCA integration using the ISO 14040 framework. Building and Environment, 213(April): 108865. Retrieved from https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.108865/

Torres, A., Simoni, M.U., Keiding, J.K., Müller, D.B., zu Ermgassen, S.O.S.E., Liu, J., Jaeger, J.A.G., Winter, M. and Lambin, E.F. (2021) Sustainability of the global sand system in the Anthropocene. One Earth, 4(5): 639–650. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.04.011/

Vieira, D.R., Calmon, J.L. and Coelho, F.Z. (2016) Life cycle assessment (LCA) applied to the manufacturing of common and ecological concrete: A review. Construction and Building Materials, 124(October): 656–666

Vilches, A., Garcia-Martinez, A. and Sanchez-Montañes, B. (2017) Life cycle assessment (LCA) of building refurbishment: A literature review. Energy and Buildings, 135(January): 286–301. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.11.042/

Wu, P., Feng, Y., Pienaar, J. and Xia, B. (2015) A review of benchmarking in carbon labelling schemes for building materials. Journal of Cleaner Production., 109(December): 108–117.

پیوست ۱. لیست مقالات مورد استفاده در تحلیل پژوهش (مورد استفاده در جداول ۲ الی ۴ و شکل ۴)

1	Ahmed, I.M. and Tsavdaridis, K.D. (2018) Life cycle assessment (LCA) and cost (LCC) studies of lightweight composite flooring systems. Journal of Building Engineering, 20(Lcc): 624–633. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.09.013/
2	Ajayi, S. O., Oyedele, L. O., & Ilori, O. M. (2019). Changing significance of embodied energy: A comparative study of material specifications and building energy sources. Journal of Building Engineering, 23(May 2018), 324–333. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.02.008
3	Balasbaneh, A.T., Marsono, A.K., Bin, and Khaleghi, S.J. (2018) Sustainability choice of different hybrid timber structure for low medium cost single-story residential building: Environmental, economic and social assessment. Journal of Building Engineering, 20(November): 235–247. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.07.006/
4	Bin Marsono, A.K. and Balasbaneh, A.T. (2015) Combinations of building construction material for residential building for the global warming mitigation for Malaysia. Construction and Building Materials, 85(June): 100–108. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.03.083/
5	Biswas, W.K., Alhorr, Y., Lawania, K.K., Sarker, P.K. and Elsarrag, E. (2017) Life cycle assessment for environmental product declaration of concrete in the Gulf States. Sustainable Cities and Society, 35(November): 36–46.
6	Cabeza, L.F., Rincón, L., Vilariño, V., Pérez, G. and Castell, A. (2014) Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 29(January): 394–416. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.037/
7	Castell, A., Menoufi, K., de Gracia, A., Rincón, L., Boer, D. and Cabeza, L.F. (2013) Life cycle assessment of alveolar brick construction system incorporating phase change materials (PCMs). Applied Energy, 101(January): 600–608. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.06.066/
8	Colli, C., Bataille, A. and Antczak, E. (2020) Investigating eco-efficiency procedure to compare refurbishment scenarios with different insulating materials. Procedia CIRP, 90(January): 322–327. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.02.002/
9	Echarri-Iribarren, V., Echarri-Iribarren, F. and Rizo-Maestre, C. (2019) Ceramic panels versus aluminium in buildings: Energy consumption and environmental impact assessment with a new methodology. Applied Energy, 233–234(June 2018): 959–974. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.08.091/
10	Fufa, S.M., Skaar, C., Gradeci, K. and Labonnote, N. (2018) Assessment of greenhouse gas emissions of ventilated timber wall constructions based on parametric LCA. Journal of Cleaner Production, 197(October): 34–46. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.006/
11	Gonçalves, M., Silvestre, J.D., de Brito, J. and Gomes, R. (2019) Environmental and economic comparison of the life cycle of waterproofing solutions for flat roofs. Journal of Building Engineering, 24(September 2018): 100710. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.02.002/
12	Grinham, J., Fjeldheim, H., Yan, B., Helge, T.D., Edwards, K., Hegli, T. and Malkawi, A. (2022) Zero-carbon balance: The case of House Zero. Building and Environment, 207(Part B, January): 108511. Retrieved from https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108511/
13	Häfliger, I.F., John, V., Passer, A., Lasvaux, S., Hoxha, E., Saade, M.R.M. and Habert, G. (2017) Buildings environmental impacts' sensitivity related to LCA modelling choices of construction materials. Journal of Cleaner Production, 156(July): 805–816. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.052/
14	Hafner, A. and Schäfer, S. (2017) Comparative LCA study of different timber and mineral buildings and calculation method for substitution factors on building level. Journal of Cleaner Production, 167(November): 630–642. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.203/
15	Harpa, B. and Rasmussen, F.N. (2016) Introduction to LCA of Buildings. Retrieved from http://www.trafikstyrelsen.dk/~/media/Dokumenter/15byggeri/Baredygtigtbyggeri/TBST-2016-02Introduction_LCA_english.ashx/
16	Heravi, G., Rostami, M. and Kebria, M.F. (2020) Energy consumption and carbon emissions assessment of integrated production and erection of buildings' pre-fabricated steel frames using lean techniques. Journal of Cleaner Production, 253(April): 120045. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120045/
17	Islam, H., Jollands, M., Setunge, S. and Ahmed, I. (2014) Life cycle assessment and life cycle cost implications of wall assemblages. designs. Energy & Buildings, 84(December): 33–45. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.07.041/
18	Joensuu, T., Leino, R., Heinonen, J. and Saari, A. (2022) Developing Buildings' Life Cycle Assessment in Circular Economy-Comparing methods for assessing carbon footprint of reusable components. Sustainable

	Cities and Society, 77(February): 103499. Retrieved from https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103499/
19	Karami, P., Al-Ayish, N. and Gudmundsson, K. (2015) A comparative study of the environmental impact of Swedish residential buildings with vacuum insulation panels. Energy and Buildings, 109(December): 183–194. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.10.031/
20	Kong, M., Lee, M., Kang, H. and Hong, T. (2021) Development of a framework for evaluating the contents and usability of the building life cycle assessment tool. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 150(October): 111475. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111475/
21	Kröhnert, H., Itten, R. and Stucki, M. (2022) Comparing flexible and conventional monolithic building design: Life cycle environmental impact and potential for material circulation. Building and Environment, 222(August): 109409. Retrieved from https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109409/
22	Leskovar, V.Ž., Žigart, M., Premrov, M. and Lukman, R.K. (2019) Comparative assessment of shape related cross-laminated timber building typologies focusing on environmental performance. Journal of Cleaner Production, 216(April): 482–494. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.140/
23	Li, H., Deng, Q., Zhang, J., Xia, B. and Skitmore, M. (2019) Assessing the life cycle CO2 emissions of reinforced concrete structures: Four cases from China. Journal of Cleaner Production, 210(38): 1496–1506. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.102/b
24	Meneghelli, A. (2018) Whole-building embodied carbon of a North American LEED-certified library: Sensitivity analysis of the environmental impact of buildings materials. Building and Environment, 134(April): 230–241. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.02.044/
25	Moncaster, A.M., Pomponi, F., Symons, K.E. and Guthrie, P.M. (2018) Why method matters: Temporal, spatial and physical variations in LCA and their impact on choice of structural system. Energy and Buildings, 173(August): 389–398. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.05.039/
26	Monteiro, H. and Freire, F. (2012) Life-cycle assessment of a house with alternative exterior walls: Comparison of three impact assessment methods. Energy and Buildings, 47(April): 572–583. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.12.032/
27	Morales, M.F.D., Passuello, A., Kirchheim, A.P. and Ries, R.J. (2021) Monte Carlo parameters in modeling service life: Influence on life-cycle assessment. Journal of Building Engineering, 44(December): 103232. Retrieved from https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103232/
28	Morales, M.F.D., Reguly, N., Kirchheim, A.P. and Passuello, A. (2020) Uncertainties related to the replacement stage in LCA of buildings: A case study of a structural masonry clay hollow brick wall. Journal of Cleaner Production, 251(April): 119649. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119649/
29	Muneron, L.M., Hammad, A.W.A., Najjar, M.K., Haddad, A. and Vazquez, E.G. (2021) Comparison of the environmental performance of ceramic brick and concrete blocks in the vertical seals' subsystem in residential buildings using life cycle assessment. Cleaner Engineering and Technology, 5(December): 100243. Retrieved from https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100243/
30	Najjar, M., Figueiredo, K., Palumbo, M. and Haddad, A. (2017) Integration of BIM and LCA: Evaluating the environmental impacts of building materials at an early stage of designing a typical office building. Journal of Building Engineering, 14(November) : 115–126. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.jobe.2017.10.005/
31	Nwodo, M.N. and Anumba, C.J. (2019) A review of life cycle assessment of buildings using a systematic approach. Building and Environment, 162(March): 106290. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106290/
32	Opher, T., Duhamel, M., Posen, I.D., Panesar, D.K., Brugmann, R., Roy, A., Zizzo, R., Sequeira, L., Anvari, A. and MacLean, H.L. (2021) Life cycle GHG assessment of a building restoration: Case study of a heritage industrial building in Toronto, Canada. Journal of Cleaner Production, 279(January): 123819. Retrieved from https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123819/
33	Oquendo-Di Cosola, V., Olivieri, F., Ruiz-García, L. and Bacenetti, J. (2020) An environmental Life Cycle Assessment of living wall systems. Journal of Environmental Management, 254(October 2019): 109743. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109743/
34	Pei, L., Schalbart, P. and Peuportier, B. (2022) Life cycle assessment of a residential building in China accounting for spatial and temporal variations of electricity production. Journal of Building Engineering, 52(July): 104461. Retrieved from https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104461/
35	Petrovic, B., Myhren, J.A., Zhang, X., Wallhagen, M. and Eriksson, O. (2019) Life cycle assessment of building materials for a single-family house in Sweden. Energy Procedia, 158(February): 3547–3552. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.913/
36	Resch, E., Andresen, I., Cherubini, F. and Brattebø, H. (2021) Estimating dynamic climate change effects of material use in buildings—Timing, uncertainty, and emission sources. Building and Environment, 187(January): 107399. Retrieved from https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107399/
37	Sáez de Guinoa, A., Zambrana-Vasquez, D., Alcalde, A., Corradini, M. and Zabalza-Bribián, I. (2017) Environmental assessment of a nano-technological aerogel-based panel for building insulation. Journal of

	Cleaner Production, 161(September): 1404–1415. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.102/
38	Salazar, J. and Meil, J. (2009) Prospects for carbon-neutral housing: the influence of greater wood use on the carbon footprint of a single-family residence. Journal of Cleaner Production, 17(17): 1563–1571. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.06.006/
39	Shan, X., Zhou, J., Chang, V.W.C. and Yang, E.H. (2017) Life cycle assessment of adoption of local recycled aggregates and green concrete in Singapore perspective. Journal of Cleaner Production, 164(October): 918–926. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.015/
40	Su, X. and Zhang, X. (2010) Environmental performance optimization of window-wall ratio for different window type in hot summer and cold winter zone in China based on life cycle assessment. Energy and Buildings, 42(2): 198–202. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.08.015/
41	Szalay, Z., Szagri, D., Bihari, Á., Nagy, B., Kiss, B., Horváth, M. and Medgyasszay, P. (2022) Development of a life cycle net zero carbon compact house concept. Energy Reports, 8(November): 12987–13013. Retrieved from https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.09.197/
42	Takano, A., Hughes, M. and Winter, S. (2014) A multidisciplinary approach to sustainable building material selection: A case study in a Finnish context. Building and Environment, 82(December): 526–535. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.09.026/
43	Yu, D., Tan, H. and Ruan, Y. (2011) A future bamboo-structure residential building prototype in China: Life cycle assessment of energy use and carbon emission. Energy and Buildings, 43(10): 2638–2646. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.06.013/
44	Zabalza Bribián, I., Valero Capilla, A. and Aranda Usón, A. (2011) Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential. Building and Environment, 46(5): 1133–1140. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.12.002/
45	Zaker Esteghamati, M., Sharifnia, H., Ton, D., Asiatico, P., Reichard, G. and Flint, M.M. (2022) Sustainable early design exploration of mid-rise office buildings with different subsystems using comparative life cycle assessment. Journal of Building Engineering, 48(May): 104004. Retrieved from https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104004/
46	Zeitz, A., Griffin, C.T. and Dusicka, P. (2019) Comparing the embodied carbon and energy of a mass timber structure system to typical steel and concrete alternatives for parking garages. Energy and Buildings, 199(September): 126–133. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.06.047/

Applications of the life cycle assessment method with the aim of energy conservation in the construction industry

kiana Rasekh[1], Mamak Salavatian*[2], Marzieh Kazemzadeh[3]

1) Ph.D. student, Department of Architecture, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran.
2) Assistant Professor, Department of Architecture, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran.
*Corresponding Author Email Address: salavatian@iaurasht.ac.ir
3) Assistant Professor, Department of Architecture, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran.

Date of Submission: 2023/02/22 Date of Acceptance: 2023/08/08

Abstract

Nowadays, there has been an increasing interest in the study of life cycle assessment in all industries namely the construction industry in developed countries with the increasing awareness of the environmental effects of buildings and the emergence of powerful tools for their evaluation. Despite various articles have been published in different countries in this field, none of them has focused on the challenges of using life cycle assessment, related studies, and potential solutions to address the challenges. The purpose of this article is to present a systematic report of a comprehensive review of applied studies in the life cycle assessment method in the construction industry to provide a potential solution for future targeted research in this field. The research method of this paper included a brief review of the subject literature to provide an overview of the life cycle assessment method and systematic selection and study of review articles/books to examine the benefits and challenges of life cycle assessment research. By examining the valid research articles from 2000 to 2023 in the collection of ISI articles and Persian scientific research articles, a total of 72 related articles were studied. First, statistical reports on the geographical and thematic distribution according to the variety of factors affecting the life cycle assessment in construction were presented, and then the objectives of the study, fields of action, databases, tools and environmental effects of the published authoritative articles were examined and the strengths and weaknesses of the recent researches were revealed. The findings showed that the use of integrated databases and also the computational principles and coordinated calculator software along with the unification of functional units lad to the alignment of research within the framework of unit standards, as well as the possibility of comparing and expanding the conclusions and as a result, they provide a more comprehensive picture of the environmental effects of construction products and systems for professionals.

Keywords: Building energy consumption, Construction industry, Energy conservation, Environmental effects LCA, Life cycle assessment.