

مروری بر روش‌های ارزیابی چرخه عمر مفید ساختمان

وحیده عفیفی^{۱*}، محمدرضا بمانیان^۲

۱ دانشجوی دکتری معماری، گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۲ استاد گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۰۴/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۲۴

چکیده

این مقاله با هدف مروری بر مقالات منتشر شده در خصوص روش‌های ارزیابی چرخه عمر نوشته شده است. تمرکز اصلی بر محدودیت‌ها و پیشرفت‌های روش‌شناختی در مقالات منتشر شده است که در حقیقت پایه‌ای برای تحقیقات بعدی بر روی خالاهای موجود در ادبیات تحقیق باشد. با توجه به رابطه تنگاتنگ صنعت ساختمان و آلودگی محیط‌زیست توجه به اثرات محیط‌زیستی دارای اهمیت است. در حال حاضر، روش ارزیابی چرخه زندگی (LCA) یکی از ابزارهای اندازه‌گیری نسبتاً جدید است که قادر به ارزیابی اثرات محیط‌زیستی و اجرای آن در صنعت ساختمان است. LCA به عنوان تجزیه و تحلیل سیستماتیک فرآیندها و محصولات صنعتی با بررسی جریان انرژی و مصرف مواد، زباله‌های آزاد شده در محیط‌زیست و اندازه‌گیری و ارزیابی گزینه‌های بهبود محیط‌زیستی تعریف شده است. هدف این مقاله بررسی روش‌های LCA و مراحل و موارد موثر بر محیط و بررسی اهداف و محدودیت‌های موجود است. مطالعات نشان‌دهنده آن است که تا کنون چرخه عمر بیشتر برای ساختمان‌های انرژی صفر و در مقیاس شهری مورد استفاده قرار گرفته و کمتر از آن برای ارزیابی ساختمان‌های مسکونی در مقیاس شهری که مورد استفاده عموم است استفاده شده است. این ابزار می‌تواند در ساختمان‌های مسکونی و همچنین برای پروژه‌های بازسازی که به منظور مقاوم‌سازی ساختمان در مقابل مصرف انرژی است به کار رود. این امر مستلزم مشخص شدن پارامترهای موثر و اطلاعات لازم برای آنالیز گسترده آنها می‌باشد.

کلید واژه‌ها: LCA، پایداری محیط‌زیستی، انرژی نهفته، LCC، صنعت ساختمان

سرآغاز

با توجه به دغدغه‌های روز افزون بشر نسبت به کاهش منابع فسیلی، آلودگی آب‌ها، اثرات گلخانه‌ای، تغییرات آب‌وهوایی و غیره، کاربرد منابع مختلف انرژی‌های تجدیدپذیر، گسترش راهکارهای مقابله با ابعاد مختلف معضلات محیط‌زیستی از رویکردهای اساسی در علوم مختلف به خصوص محیط انسان ساخت می‌باشد. با توجه به این که بخش ساختمان به عنوان بزرگترین منبع مصرف انرژی و تولید گازهای گلخانه‌ای در دنیا (Allouhi et al., 2015) شناخته می‌شود، توجه به رویکردهای کارآمد به لحاظ حفاظت محیط‌زیست ساختمان از اهداف اصلی سیاست‌های منطقه ای، ملی و بین‌المللی محسوب می‌شود.

افزایش آگاهی دربین فعالان مختلف دولتی و محیط‌زیست، باعث گردیده مطالعات زیادی برای کاهش مصرف انرژی و تاثیرات محیط‌زیستی آن ساختمان‌ها انجام شود (Singh et al., 2011). بخش ساختمان یک هدف مهم در برنامه‌های بهره‌وری انرژی و محیط‌زیست است چراکه ساختمان‌ها سهم موثری در مصرف انرژی و اثرات محیط‌زیستی دارند. همچنین نقش قابل توجهی در فراهم نمودن نیاز رو به افزایش ساختمان و توسعه وجود دارد (Aste et al., 2016; Mirabella et al., 2018).

در اروپا بیش از ۲۵ درصد ساختمان‌ها بیش از ۷۰ سال عمر دارند و بهره‌وری انرژی پائینی دارند و پیش بینی می‌شود که ۷۵ تا ۹۰ درصد ساختمان‌های در حال استفاده موجود تا سال ۲۰۵۰ نیز استفاده خواهند شد (International Energy Agency, 2013). و حدود ۴۰ درصد مصرف انرژی مربوط به حوزه ساختمان است و از طرفی دیگر برنامه‌های بهره‌وری انرژی اروپا به دنبال کاهش تاثیرات محیط‌زیستی ساختمان‌ها می‌باشد و تصمیم دارد این تاثیر را تا سال ۲۰۵۰ به ۸۰ درصد کاهش دهد. با عنایت به بهره‌وری پائین انرژی ساختمان‌ها موجود در حقیقت این ساختمان‌ها مسئول سهم زیادی از تاثیرات محیط‌زیستی، در حدود ۴۱ درصد مصرف انرژی و تولید حدود ۳۹ درصد دی‌اکسیدکربن هستند (Jafari & Valentin, 2016).

در حال حاضر، روش ارزیابی چرخه زندگی (LCA) یکی از ابزارهای اندازه‌گیری نسبتاً جدید است که قادر به ارزیابی اثرات محیط‌زیستی به طور کامل و اجرای آن در صنعت ساختمان هستند. LCA به عنوان تجزیه و تحلیل سیستماتیک فرآیندها و محصولات صنعتی با بررسی جریان انرژی و مصرف مواد،

زباله‌های آزاد شده در محیط‌زیست و ارزیابی گزینه‌های بهبود محیط‌زیستی تعریف شده است. (Fay et al., 2000; Wu et al., 2010).

LCA در سطح بین‌المللی به عنوان ابزاری برای بهبود بخشیدن به فرآیندها و خدمات از نظر محیط‌زیستی پذیرفته می‌شود و می‌تواند در حوزه‌های وسیع‌تری، از جمله در صنعت ساختمان اعمال شود (Fava et al., 2009; Ortiz et al., 2009).

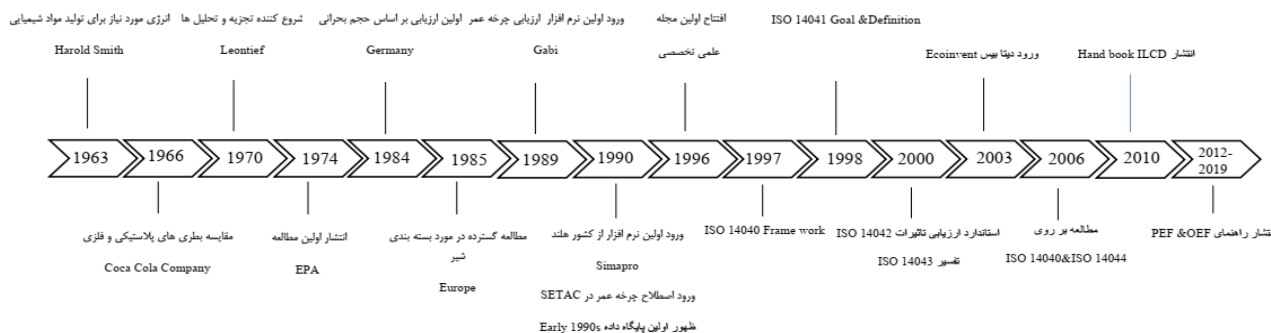
به طور کلی، صنعت ساختمان از مراحل مختلفی تشکیل شده است که از معدن شروع می‌شود، ساخت، استفاده و تخریب را شامل می‌شود و در هر فاز، مقدار زیادی انرژی مصرف می‌شود و مقدار قابل توجهی CO_2 در حال انتشار است. انرژی در حین ساخت، استفاده و تخریب ساختمان به طور مستقیم مصرف می‌شود و از طریق تولید مواد (انرژی تجسم یافته) مورد استفاده در ساختمان به طور غیرمستقیم مصرف می‌شود (Sartori, 2007).

تاریخچه استفاده از چرخه عمر

استفاده از چرخه عمر از حدود سال ۱۹۶۳ توسط هارولد اسمیت^(۱) در مطالعه بر روی انرژی مورد نیاز برای تولید مواد شیمیایی شروع شد و پس از آن در سال ۱۹۶۶ توسط شرکت کوکاکولا در مقایسه بطری‌های فلزی و پلاستیکی برای استفاده و تولید از چرخه عمر استفاده گردید و لئون تیف^(۲) در سال ۱۹۷۰ شروع به تجزیه و تحلیل اطلاعات چرخه عمر نمود و اولین انتشار مطالعات سازمان حفاظت محیط‌زیست^(۳) در سال ۱۹۷۴ صورت گرفت و پس از آن اولین ارزیابی بر اساس حجم زباله را آلمان در سال ۱۹۸۴ انجام داد و یک سال پس از آن اروپا در خصوص نحوه بسته بندی شیر و تاثیرات محیط‌زیستی آن سراغ چرخه عمر رفت و در سال ۱۹۸۹ اولین نرم افزار ارزیابی چرخه عمر به نام Gabi وارد بازار گردید. و یک سال پس از آن نرم‌افزار SimaPro محصول کشور هلند وارد بازار گردید و در همین سال اصطلاح چرخه عمر وارد SETAC^(۴) شد و ظهور اولین پایگاه داده در اوایل ۱۹۹۰ اتفاق افتاد. و اولین مجله علمی تخصصی در این زمینه در سال ۱۹۹۶ افتتاح گردید. یک سال پس از آن اولین چارچوب ایزو ۱۴۰۴۰ در سال ۱۹۹۷ منتشر شد و در طی سالهای ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۳ نسخه‌های مختلفی از این ایزو منتشر شد که در واقع هر سال تکامل بیشتری پیدا می‌کرد و در

سال ۲۰۰۳ در واقع دیتا بیس اکو اینونت که در سال ۱۹۹۶ تهیه شده بود مورد استفاده در تحلیل و محاسبات چرخه عمر قرار گرفت. نمودار زمانی کاربرد و مطالعه بر روی چرخه عمر را در تصویر شماره (۱) مشاهده می‌نمایید.

تصویر (۱): نمودار زمانی کاربرد و مطالعه بر روی چرخه عمر



مفاهیم اساسی ارزیابی چرخه عمر:

ارزیابی چرخه زندگی ابزاری برای تجزیه و تحلیل سیستماتیک عملکرد محیطی محصولات یا فرایندها نسبت به کل چرخه زندگی آنها است، از جمله استخراج مواد اولیه، تولید، استفاده، و دفع و بازیافت پایان عمر. از این رو در LCA اغلب اثرات محیط‌زیستی «گهواره تا گور» ارزیابی می‌شود. مفهوم مطالعات چرخه زندگی در سال‌ها پیش و عمدتاً در دهه ۷۰ و ۸۰ توسعه یافته است. علاوه بر این، مطالعات چرخه زندگی بر کمی‌سازی انرژی و مواد استفاده شده و همچنین زباله‌هایی که در طول چرخه زندگی به محیط آزاد می‌شوند متمرکز می‌شود.

مفهوم و روش LCA در صنعت ساختمان:

در دهه گذشته، تحقیقات در مورد LCA به طور قابل توجهی افزایش یافته است که شامل تولید مصالح ساختمانی و فرایندهای ساخت و ساز می‌شود. ارزیابی چرخه عمر ساختمان‌ها از این نظر دشوار است که هر ساختمان دارای یک ویژگی منحصر به فرد است و به دلیل آن که مواد و مصالح بسیار زیاد و متنوع با روش تولید متنوع در هر ساختمان به کار می‌رود و همچنین اطلاعات کمی در مورد تاثیر محیط‌زیستی تولید مصالح

ساختمانی یا روند واقعی ساخت و تخریب آن موجود است. بنابراین، روش تحقیق LCA در صنعت ساختمان با این حال، با وجود مطالعه متنوع، هنوز در یک حالت منقطع است و یکپارچگی و انسجام لازم را نیافته.

برای هر ساختمان با تنوع در انتخاب مصالح، مکان، روند ساخت، طراحی و کاربرد ساختمان تعریف متفاوتی از هدف و دامنه تولید می‌کنند. گاهی اوقات، هدف و دامنه می‌تواند به دلیل مشکلات غیرمنتظره‌ای که در طول تحقیق با آنها روبه‌رو شده است تغییر کند. هر تحقیق به مرز سیستم واحد عملکردی، طول عمر ساختمان از پیش تعیین شده پاسخ خواهد داد.

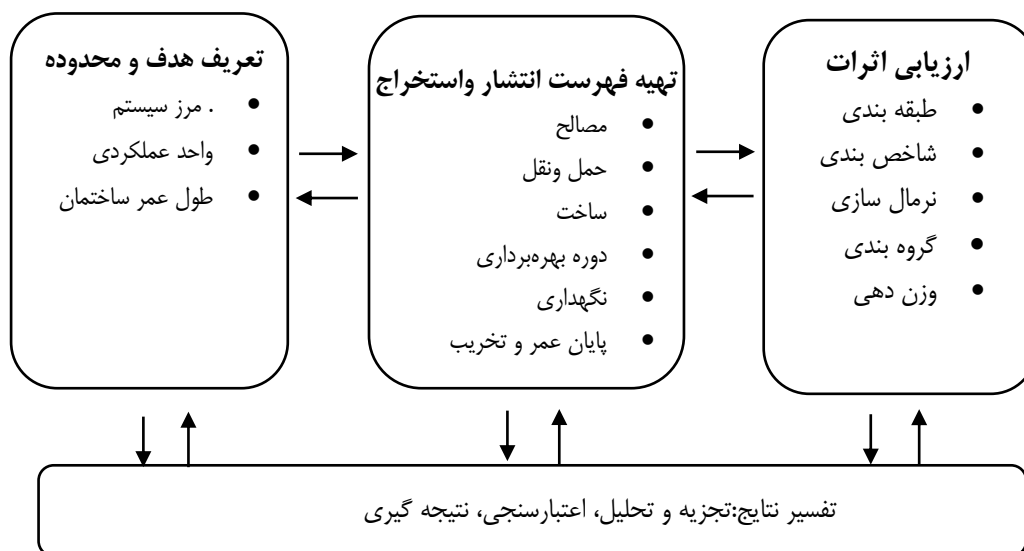
اصولاً سه نوع رویکرد در تحقیقات LCA وجود دارد:

۱. LCA مبتنی بر فرآیند.

۲. LCA مبتنی بر اقتصاد ورودی (EIO-LCA)

۳. LCA ترکیبی (ترکیبی از مبتنی بر فرآیند و EIO-LCA).

به طور کلی، LCA مبتنی بر فرآیند پیچیده‌تر و وقت‌گیرتر از EIO-LCA است اما اکثر تحقیقات LCA از روش مبتنی بر فرآیند استفاده می‌کنند. تصویر (۲)، یک چارچوب LCA پیشنهادی برای صنعت ساختمان اقتباس شده از مقالات مختلف تحقیقاتی منتشر شده است.



تصویر (۲): مراحل ارزیابی چرخه عمر و ارتباط بین گام‌های آن

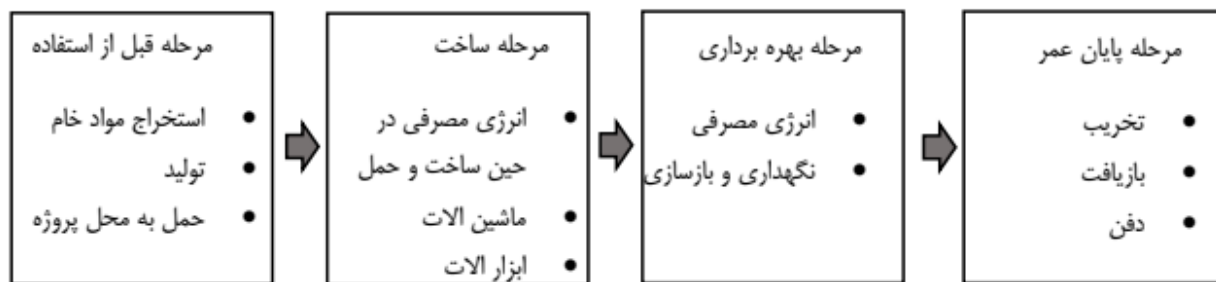
مراحل چرخه عمر

تعریف هدف و دامنه

عملکردی را ایجاد می‌کند، مرزهای سیستم و معیارهای کیفیت داده‌های موجودی را معین می‌نماید.

بر طبق استاندارد ایزو ۱۴۰۴۴ مرز سیستم مشخص می‌کند که چه فرایندهایی باید در ارزیابی چرخه عمر لحاظ گردد و باید تمامی فرایندها در راستای اهداف چرخه عمر باشد و مطابق با چرخه عمر سایر محصولات در خصوص ساختمان هم فرایندها باید یا گهواره تا گور یا گهواره تا ورودی و یا ورودی تا ورودی باشد. در بیشتر موارد گهواره تا گور شامل آماده‌سازی مصالح تا پایان عمر و دفن متريال می‌شود و مرز مکانی و زمانی خاص نیز باید به عنوان محدودیت و معیار برای پژوهش آینده لحاظ گردد. واحد عملکردی به منظور مشخص نمودن یک واحد مشترک برای مقایسه تعیین می‌گردد مثلاً در یک ساختمان به ازای واحد یک متر مربع از کف چرخه عمر آنالیز می‌گردد. طول عمر یک ساختمان نیز عامل مهم دیگری در نتیجه بررسی چرخه عمر می‌باشد. خصوصاً به لحاظ میزان مصرف انرژی در طول عمر ساختمان در غالب تحقیقات طول عمر ساختمان بین ۴۰ تا ۱۰۰ سال لحاظ گردیده ولیکن در خصوص ساختمان‌های مسکونی بیشتر ۵۰ سال به عنوان طول عمر ساختمان لحاظ شده است. تصویر (۳) انرژی‌های مصرفی در مراحل مختلف را نشان می‌دهد.

سازمان بین‌المللی استاندارد سازی (ISO) یک استاندارد مدیریت محیط‌زیستی را در دهه ۱۹۹۰ تصویب کرد بخشی از سری ۱۴۰۰۰ استاندارد آن، سری ۱۴۰۴۰ در مورد ایجاد روش برای LCA تمرکز کرده؛ رویکردهای مشابه وجه اصلی استاندارد ایزو، چهار چارچوب تکراری چهار مرحله‌ای برای انجام تجزیه و تحلیل LCA است. چهار مرحله شامل: هدف و تعریف محدوده؛ تجزیه و تحلیل موجودی؛ ارزیابی تأثیر چرخه زندگی (LCIA)؛ و تفسیر. گام اول شامل تعریف محصول که کمیت و کیفیت و طول زندگی محصول مشخص می‌گردد و در واقع واحد عملکردی معین می‌گردد مثلاً چرخه عمر یک ساختمان اپارتمانی با طول عمر مشخص و کیفیتی که در واقع شرایط اسایش اقلیمی در آن تامین گردیده، قرار است مورد بررسی قرار گیرد. برای تعیین مرز سیستم در حقیقت یکی از سخت‌ترین مراحل می‌باشد که نیاز به اطلاعات مربوط به فرایند تهیه و به کارگیری مواد و مصالح مصرفی می‌باشد و تمامی فعالیت‌هایی که تأثیر معناداری بر عملکرد سیستم دارند در مرز سیستم گنجانده خواهند شد. و در واقع هدف و تعریف دامنه، واحد



تصویر (۳): انرژی‌های مصرفی در مراحل مختلف ساختمان

تجزیه و تحلیل موجودی

گام دوم شامل جمع آوری داده ها و انجام محاسبات و کمی کردن ورودی‌ها و خروجی‌ها می‌باشد که این کار بر اساس محدوده‌های مرز سیستم و واحد عملکردی انجام می‌گیرد. داده‌های مربوط به مصالح از صورتحساب مصالح یا مقادیر محاسبه شده بر اساس برآورد نقشه‌های ساختمانی بدست می‌آید. موضوع مهم در این مرحله مشخص نمودن نوع و مقدار مصالح مورد استفاده است. در خصوص هزینه حمل محققین مختلف از روش‌های مختلفی برای تخمین هزینه حمل و نقل استفاده نموده‌اند. به عنوان مثال برخی از محققین بر اساس میانگین فاصله از کارخانه تا محل پروژه بر اساس مصاحبه‌های با طراحان و سازندگان داشته‌اند، هزینه حمل و نقل را محاسبه نمودند یا توسط محاسبه فاصله نزدیکترین تولیدکننده و اطلاعات ملی موجود انجام می‌پذیرد و یا حالت دیگر می‌شود از مفروضات برای تعیین فاصله تولید تا محل پروژه استفاده نمود. و در غالب مقالات به دلیل این که فاز عملیاتی بیشترین تأثیرات محیط‌زیستی را ایجاد می‌کند، برای فاز حمل و نقل سهم نسبتاً کمی برای انتشار کل CO₂ در نظر می‌گیرند. در غالب مطالعات انجام شده فاز ساخت و ساز تنها سهم کمی از تأثیرات کل محیط‌زیست را به خود اختصاص داده است. برخی از محققان در تجزیه و تحلیل، داده‌های ساخت و ساز را نادیده گرفتند اما زباله‌های تولید شده در طی مراحل را در نظر می‌گیرند. به طوری‌که اگر محاسبات بر اساس تخمین بر طبق نقشه‌های ساخت و ساز باشد حدود ۵۰ درصد را به عنوان زباله‌های تولید شده در مراحل ساخت ناشی از صدمه دیدن مصالح یا خطاهای در حین نصب آنها در نظر می‌گیرند. Blengini & Di Carlo در محاسبات خود داده‌های ساخت‌وساز را از داده‌های اندازه‌گیری شده میدانی، ارتباطات با طراح، پیمانکار و مرور ادبیات جمع‌آوری

کرده‌اند. Monahan & Powell موفق شدند اطلاعات مربوط به فرآیند تولید خارج از سایت را از شرکت‌های تولیدی، تولید پسماند، انرژی و سوخت‌های مورد استفاده در محل جمع آوری کنند اما هیچ جزئیاتی ثبت نشده که بتواند جزئیات دست نیافتنی را تجزیه و تحلیل کند. و برخی از اطلاعات هم به دلیل سیاست محرمانه بودن تولید کننده‌ها در دسترس نیستند. مرحله استفاده از یک ساختمان شامل انرژی عملیاتی و کارهای تعمیر و نگهداری یک ساختمان است. انرژی مصرفی در این مرحله در ساختمان بیش از همه مربوط به برق و گاز طبیعی می‌شود که از طریق نرم‌افزارهای تخمین انرژی مصرفی مانند: eQUEST, EnergyPlus, Edilclima EC501, COMFIE, CHENATH, AccuRate, DEROB-LTH, ECOTECT and استفاده می‌شود و مصرف بر اساس نوع سیستم گرمایش، تهویه و خنک کننده (HVAC)، روشنایی، آب گرم خانگی (DHW)، لوازم خانگی و آشپزی برقی برآورد می‌شود. داده‌های مربوط به نگهداری با توجه به مفروضات متنوع است. در مقاله (Ortiz-Rodríguez et al. 2010) پیشنهاد شده است فعالیت‌های تعمیر و نگهداری شامل نقاشی، سقف‌سازی مجدد، پنجره‌ها، تعویض کابینت آشپزخانه و حمام است و جایگزینی وسایل برقی و لامپ، تمیز کردن خانه و فاضلاب شامل نمی‌شود. (Blengini & Di Carlo, 2010) اظهار داشتند که اطلاعات قابل اعتماد کمی در مورد طول عمر مصالح ساختمانی موجود، وجود دارد در نتیجه فرضیات مبتنی بر مرور ادبیات است.

در پژوهش (Iyer-Raniga & Wong, 2012) داده‌ها را براساس گزارشی با عنوان «مطالعه امید به زندگی در اجزای مسکن» توسط انجمن ملی مستقر در ایالات متحده تولید شده استفاده شده است.

سطح جهانی دارای شهرت می‌باشد. دیتا بیس‌های مورد استفاده در غالب نرم‌افزارهای تحلیل داده‌های چرخه عمر عبارتند از: Agri-foot print, Ecoinvent, ELCD, Swiss-input output, EU&DK input output, Industry data, USLCI که نرم افزار سیمپرو با تمامی این دیتا بیس‌ها هماهنگ بوده و امکان استفاده از آنها را دارد.

ارزیابی اثرات

گام سوم که شامل ارزیابی اثرات است برخی اصول اجباری و برخی اختیاری هستند که اصول اجباری شامل طبقه‌بندی و شاخص‌بندی است که در طبقه‌بندی گروه‌های متفاوت موثر بر گرمایش جهانی و اسید سازها و .. مشخص می‌گردند و در شاخص‌بندی هم فاکتورها و سطح موثر هر یک مشخص می‌گردد. و در بخش اصول اختیاری رتبه‌بندی و گروه‌بندی و وزن‌دهی به اثرات انجام می‌گیرد.

در این مرحله اثرات بالقوه محیط‌زیستی نتایج حاصل از ارزیابی داده‌ها مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. مشابه مرحله قبل در این مرحله هم در انتخاب روش و دسته‌های تاثیر نیز با تعریف هدف و دامنه محدود می‌گردد. و Blengini & Di Carlo توصیه می‌کنند انتخاب شاخص‌های موثر همیشه بر اساس نظر شخصی هستند ولیکن بهتر است با استاندارد سازگار باشد. روش‌های بررسی تاثیرات در دو طبقه‌بندی میانی و نهایی می‌تواند مورد ارزیابی قرار گیرد که در قالب mid point و End point مشخص می‌گردند. و محققین مختلف از طبقه‌بندی‌های مختلف استفاده می‌کنند ولیکن طبقه بندی معمول و پرکاربرد پتانسیل گرمایش زمین، تخریب ازن و اسیدی شدن و اتروفیکاسیون است که بیشتر مورد ارزیابی قرار می‌گیرد (Ortiz et al., 2010) پیشنهاد می‌دهد که آثار میانی می‌تواند بر اساس CML 2002 و روش EDIP 97 و EDIP 2003 و IMPACT 2002 و اثرات نهایی می‌تواند بر اساس Eco-indicator 99 و IMPACT 2002+ ارزیابی گردد.

در واقع در ارزیابی چرخه عمر یک سری شاخص برای محیط‌زیست تعریف می‌گردد که برای این شاخص‌ها یک سری Midpoint و یک سری Endpoint وجود دارد که تمام Midpoint ها که ناشی از برخی شاخص‌هاست می‌تواند در یک Endpoint مانند سلامت انسان قرار گیرد که در جدول یک که در پایین آمده مشخص گردیده.

فاز EOL در تحقیقات LCA قبلی به ندرت گنجانده می‌شده است در صورتی که در تحقیقات اخیر به دلیل پتانسیل قابل توجه بازیافت تاثیر مواد در چرخه عمر ساختمان کاهش می‌یابند. مواد فلزی مانند فولاد و آلومینیوم اغلب به عنوان مواد بازیافتی و مواد غیر فلزی به عنوان زباله به محل دفن زباله منتقل خواهد شد به استثنا مصالح بتنی که فرض می‌شود به عنوان سنگدانه مجدد مورد استفاده قرار گیرد. در این فاز انرژی مورد استفاده ماشین‌آلات در حین تخریب و داده‌های مربوط به حمل و نقل به محل دفن زباله یا مراکز بازیافت نیز مورد محاسبه قرار می‌گیرد. فرایندهای محیط‌زیستی بسیار پیچیده‌اند و بسیار وابسته به داده‌ها هستند و برای حل این داده‌ها نیاز به کامپیوترها و نرم‌افزارهایی داریم تا بتوانند این داده‌ها را آنالیز کنند. مثلاً تغییرات دی‌اکسیدکربن که باعث گرمایش جهانی می‌شود و یا تاثیرات اسیدی شدن آب‌ها و یا کاهش لایه ازن را بررسی نماید و همه این اطلاعات را براحتی نمی‌شود بیان نمود که هر یک چه تاثیری دارد و برای این کار نیاز به نرم‌افزارهایی داریم که این تحلیل و یافتن ارتباط بین این عوامل را بر اساس داده‌های آماری انجام دهد.

ابزارهای مختلفی برای محاسبه LCA تولید شده است که می‌توان آنها را در سه سطح طبقه‌بندی کرد. سطح یک برای مقایسه محصول عمومی مورد استفاده قرار می‌گیرد که شامل برای ارزیابی طراحی کل ساختمان است مانند GaBi, SimaPro, Open LCA و سطح دو ابزاری ساده برای ارزیابی طراحی کل ساختمان است مانند Quantum, ATHENA و سطح سه برای ارزیابی چارچوب کل ساختمان است مانند BREEM و LEED و پایگاه داده‌های مختلفی برای ارزیابی محیط‌زیست وجود دارد مانند Ecoinvent و USLCID, Spin و BEES و با توجه به طیف گسترده‌ای از مواد، تکنیک‌های ساختمانی، مکان‌ها، تفاوت‌های تولیدی، منابع انرژی، و غیره پایگاه‌های داده موجود را می‌توان تا حدودی کامل در نظر گرفت ولیکن با توجه به تولید مصالح جدید و تکنیک‌های ساخت نو نیاز به بروز رسانی را نباید نادیده گرفت.

و در این بین نرم‌افزار سیمپرو^(۸) به دلیل داشتن راهنما قوی و استفاده از آنالیز مونت کارلو و گروه‌بندی نتایج و همچنین تجزیه و تحلیل نقاط ضعف و امکان فیلتربندی نتایج بسیار مناسب‌تر از سایر نرم‌افزارها می‌باشد مضافاً اینکه سناریو بازیافت در این نرم‌افزار اضافه گردیده و به دلیل خصوصیات ذکر شده و همچنین عدم نیاز به سخت افزار پیشرفته در بین کاربران در

جدول (۱): شاخص‌هایی برای محیط‌زیست در ارزیابی چرخه عمر

Endpoint	Midpoint	Units
Human health	Carcinogens, ionizing, radiation. non-carcinogens, respiratory, organics, ozone layer depletion	DALY Disability Adjusted Life Years
Ecosystem quality	respiratory organics, ozone layer depletion, land occupation, aquatic ecotoxicity, terrestrial acid/nutria, trrestrial ecotoxicity, aquatic aciditation, aquatic eutrophication	PDF Potentially Disappeared Fraction
Climate change	Global warming	CO2
Resources	Mineral extraction, non renewable energy	MJ

محصول استفاده شده است.

تفسیر نتایج

روایی تفسیرها از طریق مقایسه با سایر موارد منتشر شده که در مناطق دیگر مورد پژوهش قرار گرفته انجام خواهد شد و پایایی تحقیق با انجام تجزیه و تحلیل حساس بر روی اطلاعات غیرمحملی انجام می‌گیرد. Blengini & Di Carlo پیشنهاد دادند که برای به حداقل رساندن عدم اطمینان در داده‌های ورودی از ۱۰۰۰۰ چرخه شبیه‌سازی شده مونت کارلو برای رسیدن به روایی قطعی استفاده شود.

ضرورت استفاده از ارزیابی چرخه عمر در ساختمان:

در مطالعات جدید در مورد مقاوم‌سازی ساختمان‌های با عمر بیش از ۳۰ سال برای کنترل میزان مصرف انرژی در مراحل مختلف از طریق چرخه عمر میزان مصرف انرژی بررسی و در خصوص مقاوم‌سازی انرژی تصمیم‌گیری می‌شود. در مقاله (Jafari et al., 2016) بیان می‌نماید در برخی مناطق کشورهای آمریکایی و اروپایی، حدود ۶۰ درصد از ساختمان‌های مسکونی بیش از ۳۰ سال پیش ساخته شده‌اند. امینی طوسی در مقاله (Amini Toosi et al., 2020) بیان می‌نماید که با توجه به عملکرد کم انرژی خود، آنها مسئول بخش عمده‌ای از اثرات محیط‌زیستی که حدود ۴۱ درصد کل انرژی مصرفی و ۳۹ درصد انتشار دی‌اکسیدکربن برآورد شده است، هستند و این حقایق نشان می‌دهد که بدون اجرای برنامه‌های مقاوم‌سازی در مصرف انرژی، بخش ساختمان

مرحله آخر LCA تفسیر نتایجی است که حاصل ارزیابی اثرات به منظور استحکام بخشیدن به تحلیل است و کاملاً حساس به داده‌های ورودی می‌باشد. و نتیجه‌گیری با اشاره به اهداف LCA است. گام چهارم که شامل تفسیر نتایج است خود شامل ۴ بخش است که الف. مشخص شدن نقاط قوت و ضعف ب. شامل شناسایی مخرب‌ترین فرایندها ج. بررسی نیازها و فرصت‌های ممکن برای کاهش اثرات نامطلوب د. حل کردن مشکلات از طریق اضافه و آنالیز نمودن داده‌ها می‌باشد. به طور کلی تجزیه و تحلیل موجودی چرخه زندگی اطلاعات مربوط به مواد فیزیکی و جریان‌های مختلف انرژی مراحل چرخه عمر محصولات جمع‌آوری و سنتز می‌نماید. در ارزیابی تأثیر چرخه زندگی این تأثیرات محیط‌زیستی جریان‌های مختلف مواد و انرژی به دسته‌های مختلف تأثیرات محیط‌زیستی اختصاص می‌یابد، عامل مشخصه برای محاسبه سهم هر یک از ترکیبات برای تأثیرات مختلف محیطی دسته‌های (تغییر آب و هوا، تخریب ازن، سمیت محیطی، سمی بودن برای انسان، تشکیل ازن فتوشیمیایی، اسیدی شدن، اوتروفیکاسیون، تخلیه منابع و استفاده از زمین) استفاده می‌شود. سرانجام تفسیر چرخه زندگی به تفسیر نتایج حاصل از هر دو می‌پردازد تجزیه و تحلیل موجودی چرخه زندگی و ارزیابی تأثیر چرخه زندگی. ارزیابی چرخه زندگی از ۱۹۹۰ در بخش ساختمان و همچنین برای ارزیابی توسعه

یکی از عوامل اصلی انتشار گازهای محیطی است. در کشورهای پیشرفته با نسبت کم ساخت و ساز جدید به ساختمان‌های موجود، مقاومت‌سازی انرژی یک اقدام ضروری و تاثیرگذار در سیستم‌های سیاست‌گذاری محیط‌زیستی برای افزایش عملکرد محیط‌زیستی بخش ساختمان است (Song et al., 2019). در مورد این موضوع، بخشنامه‌ها و قوانین بسیاری منتشر شده است به عنوان مثال در کشورهای اتحادیه اروپا دستورالعمل EC / ۹۱/۲۰۰۲، دستورالعمل EC / ۳۲/۲۰۰۶ و دستورالعمل EC / ۳۱/۲۰۱۰ با عملکرد انرژی ساختمان‌ها در اتحادیه اروپا سروکار دارد و نشان می‌دهد که تمام ساختمان‌های جدید باید تا سال ۲۰۲۰ تقریباً به انرژی صفر برسند و ساختمان موجود باید برای رسیدن به اهداف NZEB دوباره مقاوم‌سازی شود (پارلمان اروپا، ۲۰۰۳؛ ۲۰۰۶؛ ۲۰۱۰). سهم انرژی عملیاتی و نهفته از کل انرژی مصرفی در چرخه عمر ساختمان به ترتیب در حدود ۹۰-۷۰ و ۱۰-۳۰ درصد تخمین زده می‌شود (Ingrao et al., 2018). با این حال، توسط بهبود بهره‌وری انرژی در ساختمان‌ها، نسبت تاثیرات تجسم یافته (به عنوان مثال انرژی و کربن نهفته) ساختمان به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. طبق پیش‌بینی‌ها، انتشار کربن نهفته و انتشار کربن در مرحله بهره‌برداری برای کلیه ساختمان‌های تازه احداث شده بین سال‌های ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰ برابر خواهد شد (SDSN & FEE, 2019). در نتیجه در تجزیه و تحلیل عملکرد انرژی ساختمان در رویه چرخه زندگی، بررسی انرژی تجسم یافته و عملیاتی ساختمان‌ها، اساسی می‌شود (Beccali et al., 2013).

تاثیرات محیط‌زیستی مراحل مختلف ساختمان:

ساختمان می‌تواند به مراحل مختلفی که در طول عمر خود درگیر است تقسیم‌بندی شود. اغلب محققان مرحله بهره‌برداری را به دلیل طولانی بودن طول عمر ساختمان موثرترین مرحله ساختمان در تاثیرات محیط‌زیستی می‌دانند و آلودگی‌های محیط‌زیستی که ساختمان در طول دوره بهره‌برداری تولید می‌کند ناشی از سوخت سوخت‌های فسیلی و تولید برق برای استفاده ساختمان به منظور گرمایش و سرمایش و وسایل برقی می‌باشد. انرژی چرخه زندگی شامل انرژی تجسم یافته: میزان انرژی تمام مواد مورد استفاده در انرژی ساختمان و تاسیسات فنی و انرژی مصرف شده در زمان ساخت و نوسازی ساختمان را شامل می‌شود.

انرژی عملیاتی: انرژی مورد نیاز برای حفظ شرایط آسایش و نگهداری روزمره ساختمان‌ها، انرژی برای تهویه مطبوع (گرمایش، تهویه و تهویه هوا)، آب گرم خانگی، روشنایی و لوازم خانگی در حال اجرا.

انرژی تخریب: انرژی مورد نیاز در انتهای ساختمان‌ها عمر مفید برای تخریب آن و انتقال مواد به سایت‌های دفن زباله و / یا کارخانه‌های بازیافت. Mithraratne & Vale در تحقیقی که بر روی مقایسه مصرف سه گونه ساخت ساختمان مسکونی ساخت سبک، بتنی و جدا شده و مرحله بهره‌برداری در نیوزلند انجام دادند نشان داد فاز استفاده از آن برای ۱۰۰ سال عمر ساختمان به ترتیب ۷۴٪، ۷۱٪ و ۵۷٪ سهم داشتند. یک تحقیق مقایسه‌ای مشابهی بر روی ساختمان‌های با مصرف انرژی پایین و ساختمان‌های استاندارد در ایتالیا انجام شد و نتایج نشان داد ساختمان استاندارد در مرحله بهره‌برداری بیش از ۸۰ درصد مصرف انرژی دارد در حالی که ساختمان کم مصرف کمتر از ۵۰ درصد در دوره بهره‌برداری انرژی مصرف می‌کند (Blengini & Di Carlo, 2010).

Ding یک آنالیز چرخه عمر را برای ۲۰ ساختمان مدارس راهنمایی با طول عمر ۶۰ سال در استرالیا انجام داد و به این نتیجه رسید که ۶۲ درصد انرژی مصرفی در مرحله بهره‌برداری و در مقایسه با ۳۸ درصد در مرحله اجرا است. Ooteghem & Xu تحقیق ارزیابی چرخه عمر را برای ۵ ساختمان یک طبقه در کانادا با در نظر گرفتن طول عمر ۵۰ سال انجام دادند و دریافتند که گرمایش ساختمان بیشتر میزان مصرف انرژی در حدود ۴۲ درصد و روشنایی در حدود ۳۷ درصد و تهویه مطبوع در حدود ۷ درصد و سیستم سرمایش در حدود ۶ درصد و سایر تجهیزات در حدود ۶ درصد مصرف انرژی دارند. و مطالعات دیگری نیز انجام شده که در غالب آنها سیستم گرمایش بیشترین میزان مصرف انرژی دارند که اگر چه هر ساختمانی با توجه به موقعیت مکانی متفاوت می‌تواند مصارف انرژی مختلفی داشته باشد به طوری که ساختمان واقع در مناطق گرمسیری نیاز چندانی به مصرف انرژی برای گرمایش ندارند و بیشتر انرژی مصرفی صرف سیستم سرمایش خواهد شد و یا بالعکس.

بررسی دیگری که با بر روی چرخه عمر انجام می‌گیرد، در زمینه ارزیابی هزینه چرخه عمر ساختمان است که در این مورد پژوهش‌های مرتبطی در دنیا انجام شده است. در پژوهشی کورنیتسکی و همکاران (Kurnitski et al., 2013) بر روی

(Asif et al., 2007) در تحقیقی در اسکاتلند به این نتیجه رسیده است که بتن ۶۱ درصد انرژی نهفته اولیه و چوب ۱۳٪ و سرامیک ۱۴٪ در یک ساختمان مسکونی به خود اختصاص داده‌اند و همچنین بیان می‌دارد که بتن دارای انرژی نهفته کمی است ولیکن با توجه به حجم زیاد بتن که در ساختمان استفاده می‌شود در مجموع انرژی نهفته بتن بسیار زیاد است. همان‌طور که در تحقیقات Blengini & Di Carlo و Cole, 1998 این موضوع بیان شده است. هرچند که این پژوهش فقط در خصوص انرژی‌های مصرفی در زمان ساخت انجام شده بود و انرژی‌های دوره بهره‌برداری لحاظ نشده بود.

در یک پژوهش دیگر که Blengini & Di Carlo بر روی سه گونه ساختمان مسکونی با متریکال‌های مختلف انجام دادند با عنوان ساختمان‌های با سازه سبک، سازه بتنی و سازه سبک با عایق ماندگار به این نتیجه رسیدند که سازه‌های بتنی و سازه‌های عایق ماندگار دارای انرژی نهفته اولیه بالایی هستند در قیاس با سازه‌های سبک و همچنین دارای انرژی مصرفی پایین‌تری در دوره بهره‌برداری می‌باشند. عایق ماندگار به منظور حفاظت ساختمان در مقابل گرما نیز استفاده می‌شود که بر روی انرژی مصرفی در دوره بهره‌برداری نیز موثر است. در تحقیقات دیگری در هلند و استرالیا نیز نتایج مشابهی بدست آمده و همچنین این تحقیقات بیان می‌کنند که استفاده از سیستم سبک عایق ماندگار ICF در آمریکا بر اساس چرخه عمرشان بسیار مناسب‌تر از سیستم تیر و ستون سبک است.

در مناطق گرمسیری ساختمان‌های گلی و اجری گزینه مناسب‌تری نسبت به سازه‌های سیمانی و بتنی شناخته شده‌اند مثلاً در تحقیق که در اندونزی بر روی ساختمان‌های با بلوک اجری و سقف خشتی انجام شد نشان از آن داشت که این ساختمان‌ها چرخه عمر بهتری از نظر مصرف انرژی نسبت به ساختمان‌های بلوک سیمانی دارند چرا که تبادل حرارت کمتری را دارند. در خصوص تاثیر نحوه اجرا در یک نوع مصالح یکسان به عنوان مثال در خصوص بتن درجا و بتن پیش ساخته، به دلیل این که در سیستم بتن پیش ساخته دهانه‌ها بزرگتر است و تعداد ستون‌ها کاهش می‌یابد در نتیجه مقدار بتن مصرفی در این سیستم کمتر می‌شود و در نتیجه تاثیرات محیط‌زیستی سیستم پیش ساخته کمتر در حدود ۱۲/۲٪ کمتر از بتن درجا می‌باشد.

راه‌حل‌های بهینه اقتصادی برای ساختمان‌ها مطالعه کردند. آنها درباره نمونه مورد مطالعه خود، گزینه مناسب برای سیستم حرارت مرکزی ساختمان را پیدا کردند. این پژوهشگران هزینه نیروی انسانی، هزینه مصالح، هزینه‌های بالاسری و مالیات هم برای هزینه‌های مرتبط با انرژی در نظر گرفته شده بود. مثال دیگر کاری است که توسط حمدی و همکارانش (Hamdy, Hasan, and Siren, 2013) انجام شده است. در این پژوهش یک روش چند مرحله‌ای برای طراحی انرژی کارا ارایه شده است. هدف پژوهش توسعه یک روش بهینه‌سازی برای خانه‌های مسکونی تک واحدی در فنلاند بوده است. در کار دیگری چیدیاک و همکاران (Chidiac et al., 2011) عوامل تاثیرگذار بر کارایی انرژی در بازسازی ساختمان را ارزیابی کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که روش‌های متداول در بازسازی ساختمان از نظر کارایی انرژی مناسب هستند ولی نسبت به هزینه آنها غفلت می‌شود. کیم و همکاران (Kim et al., 2011) تلاش کردند تا با استفاده از رویکرد داده کاوی^(۶) و استفاده از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان^(۷) به طراحی ساختمان انرژی کارا در مرحله طراحی آن بپردازند. در این پژوهش گزینه‌ها می‌بایست در رابطه با مواردی نظیر هندسه کلی ساختمان، جهت‌گیری بهینه آن، انتخاب عناصر مناسب سازنده ساختمان و انتخاب خدمات مختلف ساختمان انتخاب می‌شدند نویسندگان یک چارچوب مقایسه برای ارزیابی بین گزینه‌های بر مبنای کارایی انرژی ارایه دادند. در تمام این مطالعات برای انتخاب گزینه بهینه در طراحی سراغ چرخه عمر و ارزیابی چرخه عمر از نظر انرژی و هزینه رفتند.

تاثیر انتخاب متریکال

انتخاب متریکال ساختمان به طور مستقیم با انرژی نهفته ساختمان در مراحل ساخت ارتباط دارد و بر روی کل انرژی مصرفی ساختمان موثر است و امکان بازیافت و یا استفاده مجدد متریکال باعث کاهش انرژی نهفته آن می‌شود به عنوان مثال انرژی مصرفی ساختمان آپارتمانی در سوئد برای طول عمر ۵۰ سال در پژوهشی توسط (Thormark, 2002) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و قابلیت بازیافت باعث جبران ۱۵ درصد کل انرژی مصرفی شد.

بحث و نتیجه گیری

پژوهش‌ها در خصوص ارزیابی چرخه عمر از اوایل دهه ۱۹۹۰ آغاز شده و از روش‌های مختلفی برای ارزیابی استفاده شده که اغلب این روش‌ها بر اساس استاندارد ۱۴۰۴۰ بوده و در غالب تحقیقات مرحله بهره‌برداری و انرژی مصرفی در این مرحله بیشترین انرژی را در طول چرخه عمر به خود اختصاص داده و انرژی مصرفی به منظور گرمایش ساختمان بیشترین سهم از انرژی مصرفی در طول چرخه عمر ساختمان را شامل می‌شود. لکن این نتیجه‌گیری در خصوص مناطق گرمسیری صدق نمی‌کند. همچنین در خصوص مصالح انتخابی باید گفت که مصالح با انرژی نهفته اولیه کم لزوماً انرژی چرخه عمر کمی ندارند به عنوان مثال بتن با انرژی نهفته بالا به دلیل استفاده گسترده در ساختمان‌های غالب نقاط جهان کمی بهتر از ساختمان‌های چوبی است و در مناطق گرمسیری خاک رس و گل مصالح مناسب‌تری از نظر انرژی چرخه عمر هستند.

در تمام پژوهش‌های صورت گرفته توجه و تمرکز بیشتر بر مرحله بهره‌برداری بوده و مرحله تخریب بیشتر تا فاز دفن پیگیری شده و به قابلیت بازگشت مصالح به طبیعت و مدت زمان و میزان انرژی مورد نیاز به عنوان تولید مجدد مصالح طبیعی کمتر توجه شده در حالی که چرخه عمر کارآمد را برای مصالح ساختمانی باید گهواره تا گهواره لحاظ نمود که مجدد تولید گردند و بخش‌هایی هم که قابلیت بازیافت دارد را مجدد بازیافت نموده و به چرخه مصرف بازگردانده شود که این مهم از خلاهای تحقیق است که می‌تواند مورد تحقیق و پژوهش قرار گیرد. همچنین صنعت ساختمان با گستره وسیع مصالح و روش‌های ساخت و طول عمر گسترده ساختمان همواره در حال معرفی مصالح جدید و روش‌های ساخت نوین است. بنابراین، پایگاه‌های داده موجود همواره نیاز به بروز رسانی دارند و با توجه به این که

محدوده و هدف و مرز سیستم در هر ارزیابی متفاوت تعریف می‌گردد، مقایسه دقیق بین تحقیقات را محدود می‌کند و نیاز به یک روش استاندارد برای ارزیابی چرخه عمر هست که مهندسان و طراحان با استفاده از آن برای تصمیم‌گیری و قضاوت‌های معقول در زمینه توسعه پایدار اقدام کنند.

اکثر مقالات بررسی شده کمتر از سه گروه تأثیرات محیط‌زیستی را مورد تجزیه و تحلیل قرار داده اند که این عمدتاً به دلیل پیچیدگی در روش کسب اطلاعات این موارد است. انرژی و پتانسیل گرم شدن کره زمین^(۸) بیشترین تأثیرات ارزیابی شده است. مقالات کمی شامل طیف گسترده‌ای از اثرات محیط‌زیستی مانند تقاضای انرژی تجمعی^(۹)، پتانسیل گرم شدن کره زمین، پتانسیل کاهش ازن^(۱۰)، پتانسیل اسیدی شدن^(۱۱)، پتانسیل اوتروفيکاسیون^(۱۲) پتانسیل ایجاد اکسیداسیون فتوشیمیایی^(۱۳) ارزیابی شده است. عدم ارزیابی تمام مقوله‌های تأثیرات محیط‌زیستی ایجاد شده توسط استانداردهای LCA شکاف اصلی است که باید بررسی شود.

یادداشت‌ها

1. Harold Smith
2. Leon tief
3. EPA(Environment Protection Agency)
4. Society of Environmental Toxicology and Chemistry.
5. Simapro
6. Data mining
7. Building Information Modeling
8. GWP
9. CED
10. ODP
11. AP
12. EP
13. POCP

فهرست منابع

- Allouhi, A.; El Fotuih, Y.; Kousksou, T.; Jamil, A.; Zeraouli, Y. & Mourad, Y. 2015. Energy consumption and efficiency in buildings: current status and future trends. J. Clean. Prod. 109 (16), 118e130.
- Amini Toosi, H.; Lavagna, M.; Leonforte, F. Del Pero, C. & Aste, N. 2020. Life Cycle Sustainability Assessment in Building Energy Retrofitting: A Review. Sustainable Cities and Society, 60. 102248.
- Aste Niccolò, N.; Caputo, P.; Buzzetti, M. & Fattore, M. 2016. Energy Efficiency in Buildings: What Drives the Investments? The Case of Lombardy Region. Sustainable Cities and Society, 20, 27–37. (November 27, 2019)

- Asif, M.; Muneer, T. & Kelley, R. 2007. Life cycle assessment: a case study of a dwelling home in Scotland. *Build. Environ*; 42(3):1391–4.
- Blengini, GA. & Di Carlo, T. 2010 The changing role of life cycle phases, subsystems and materials in the LCA of low energy buildings. *Energy Build*; 42 (6):869–80
- Beccali, M.; Cellura, M.; Fontana, M.; Longo, S. & Mistreatta, M. 2013. Energy Retrofit of a Single-Family House: Life Cycle Net Energy Saving and Environmental Benefits. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 27, 283–293. (December 6, 2018)
- Chidiac, S. E., Catania, E. J. C., Morofsky, E. & Foo, S. 2011. A Screening Methodology For Implementing Cost Effective Energy Retrofit Measures in Canadian Office Buildings. *Energy and Buildings* 43(2–3), pp: 614–20.
- Fava, J.; Baer, S. & Cooper J. 2009. Increasing demands for life cycle assessments in North America, *Journal of industrial energy*, , Yale University, vol. 13(4), pages 491-494, August.; 13(4):491–4
- Fay, R.; Treloar, G.; Iyer-Raniga U. 2000 Life-cycle energy analysis of buildings: a case study. *Build. Res. Inf*; 28(1): 31–41.
- Hamdy, M., Hasan, A. & Siren, K. 2013. A Multi-Stage Optimization Method for Cost Optimal and Nearly-Zero-Energy Building Solutions in Line with the EPBD Recast. *Energy and Buildings* 56, pp:189–203.
- Iyer-Raniga, U. & Wong JPC. 2012 Evaluation of whole life cycle assessment for heritage buildings in Australia. *Build. Environ*; 47(0):138–49 (Jan
- Ingrao, C.; Messineo, A.; Beltramo, R.; Yigitcanlar, T. & Ioppolo, G. 2018. How Can Life Cycle Thinking Support Sustainability of Buildings? Investigating Life Cycle Assessment Applications for Energy Efficiency and Environmental Performance. *Journal of Cleaner Production*, 201, 556–569
- International Energy Agency (IEA). 2013. Technology Roadmap. *Energy Efficient Building Envelopes*. Oecd, 68.
- Jafari, A., Valentin, V., & Russell, M. 2016. Sensitivity Analysis of Factors Affecting Decision-Making for a Housing Energy Retrofit: A Case Study (May 2016) 1254–1263
- Jafari, A. & Valentin, V. 2015. Decision-Making Life-Cycle Cost Analysis Model for Energy-Efficient Housing Retrofits. *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development*, 6(3), 173–187
- Kurnitski, J. Saari, A.; Kalamees, T.; Vuolle, M.; Niemelä, J.; & Tark, T. 2013. Cost Optimal And nearly Zero Energy Performance Requirements for Buildings in Estonia. *Estonian Journal of Engineering* 19(3), pp: 183–202
- Kim, H.; Stumpf, A. & Kim, W. 2011. Analysis of an Energy Efficient Building Design through Data Mining Approach. *Automation in Construction* 20(1), pp:37– 43.
- Mithraratne, N. & Vale, B. 2004 Life cycle analysis model for New Zealand houses,. *Build. Environ*; 39(4):483–92
- Mirabella, N. et al. 2018. Strategies to Improve the Energy Performance of Buildings: A Review of Their Life Cycle Impact. *Buildings*, 8(8), 105. (December 14, 2018)
- Ortiz-Rodríguez, O.; Castells, F. & Sonnemann, G. 2010. Life cycle assessment of two dwellings: one in Spain, a developed country, and one in Colombia, a country under development. *Sci. Total Environ*; 408(12):2435–43
- Sartori, I. & Hestnes AG. 2007 Energy use in the life cycle of conventional and low energy buildings: a review article. *Energy Build*; 39(3):249–57.
- Song, K.; Ahn, Y.; Ahn, J. & Kwon, N. 2019. Development of an Energy Saving Strategy Model for Retrofitting Existing Buildings: A Korean Case Study. *Energies*, 12(9)

- Singh, A., Berghorn, G., Joshi, S. & Syal, M. 2011. Review of life-cycle assessment applications in building construction. *Journal of Architectural Engineering*; 1:15–23.
- SDSN & FEEM. 2019. Roadmap to 2050: A Manual for Nations to Decarbonise by MidCentury
- Thormark, C. 2002. A low energy building in a life cycle—its embodied energy, energy need for operation and recycling potential. *Build. Environ*; 37(4):429–35.
- Van Ooteghem, K. & Xu, L. 2012. The life-cycle assessment of a single-storey retail building in Canada. *Build. Environ*; 49(0):212–26 (Mar).
- Wu, J-G., Meng, X-Y., Liu X-M., Liu, X-W., Zheng, Z-X., Xu, D-Q., Sheng, G-P. & Yu H-Q. 2010. Life cycle assessment of a wastewater treatment plant focused on material and energy flows. *Environ. Manage*; 46(4):610–7.

A Review of Building Life Cycle Assessment Methods

Vahideh Afifi^{1*}, Mohamad Reza Bemanian²

1. PhD Student of Architectural Department, Architectural and Art Faculty, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
2. Professor of Architectural Department, Architectural and Art Faculty, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

(Received: 2022/05/14

Accepted: 2022/07/11)

Abstract

This article aims to review methods of life cycle assessment (LCA) in the published papers. The main focus is on methodological limitations and advances of the published articles which as a basis for further research on the gaps in the relevant literature.

Due to the close relationship between the construction industry and environmental pollution, it is important to pay attention to environmental effects of this industry. Currently, LCA is regarded as one of the relatively new tools that help in assessing the environmental impacts and its implementation in the construction industry. LCA in construction industry is a systematic analysis of industrial processes and products and investigates energy flow and material consumption, waste released into the environment, and measures and evaluates environmental improvement. Hence, the purpose of this article is to review the LCA methods and its steps affecting the environment and to examine the existing objectives and limitations. Studies show that up until now, life cycle has been used for zero energy buildings on an urban scale. In this context less attention has been paid to evaluate urban-scale residential buildings in public use through LCA. This tool can be used in residential buildings as well as in reconstruction projects to make the building more resistant to energy consumption. This requires identification of the effective parameters and the necessary information for in-depth analysis of such projects.

Key words: LCA, Environmental Sustainability, Embodied Energy, LCC, Construction Industry

* Corresponding author

Email: afif.va@gmail.com