علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره هجدهم، ویژه نامه شماره۲، پاییز ۱۳۹۵

مدل ارزیابی پارامتریک پایداری محیطی سیستم های ساختمانی با تمرکز بر فاز تولید و تخریب

(با رویکرد اندازه‌گیری عددی چرخه عمر به روش LCIA[1] تحت استاندارد ایزو ۱۴۰۴۲)

اصغر محمد مرادی [۲*]

M_moradi@iust.ac.ir

سید باقر حسینی [۳]

حمید یزدانی [۴]

تاریخ دریافت: ۹۰/۰۱/۲۵ تاریخ پذیرش:۹۰/۱۲/۲۵

چکیده

زمینه و هدف: در دهه اخیر، یکی از مهم ترین دغدغه های زیست محیطی، کنترل آلاینده های حاصل از صنعت ساختمان بوده است. افزایش ساخت و ساز به خصوص در کشورهای در حال توسعه امری اجتناب ناپذیر به نظر می رسد. از این رو ساختمان نیز، مانند هر محصول صنعتی دیگر، حاصل مصرف مواد اولیه و انرژی های تجدید پذیر و تجدید ناپذیر بوده و در پایان چرخه عمر، سرنوشتی بغیر از تخریب و یا بازیافت نخواهد داشت. با وجود اینکه توجه غالب تحقیقات صورت گرفته درباره تاثیرات زیست محیطی ساختمان معطوف به فاز بهره برداری بوده است، اما فاز تولید و تخریب ساختمان نیز مقادیر قابل توجهی از میزان مصرف انرژی و تولید آلاینده ها را به خود اختصاص می دهد.

روش بررسی: تحقیق حاضر با مرور فعالیت های صورت گرفته در عرصه تاثیرات محیطی ساختمان، به بررسی روش ها، ابزارها و یافتن معیارهای مناسب در اندازه گیری میزان پایداری محیطی سیستم های ساختمانی با تمرکز بر فاز تولید و تخریب می پردازد. چرا که بنظر می رسد با توجه به فاز تولید و تخریب ساختمان، می توان مقادیر مصرف انرژی و تولید آلاینده های صنعت ساختمان را به شکل قابل توجهی کاهش داد.

یافته ها: هدف اصلی این مقاله، یافتن شاخص هایی برای اندازه گیری پارامتریک میزان پایداری محیطی هر سیستم ساختمانی با تاکید بر فاز تولید و تخریب ساختمان است.

نتیجه گیری: به این ترتیب در پایان، مدلی با شش پارامتر عددی ارائه می گردد که با اندازه گیری آنها می توان میزان سازگاری هر ساختمان با محیط زیست را با تمرکز بر فاز تولید و تخریب ساختمان تعیین نمود.

واژه‌های کلیدی: محیط زیست، سیستم ساختمانی، چرخه عمر، ارزیابی محیطی، توسعه پایدار.

1- Life Cycle Inventory Assessment (LCIA)

۲*- (مسوول مکاتبات): استاد دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران.

۳- استادیار دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران.

۴- دانشجوی دکتری معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران.

J.Env. Sci. Tech., Vol 18, Special No.2, Autumn 2016

A Parametric Model for Assessment of Environmental Sustainability of Construction Systems with Emphasise on Production and End Life Phases (With Numerical Assessment Approach to Life Cycle by LCIA method under ISO14042 Supervision)

Asghar Mohammad Moradi [1]*

Bahaareh_hatamabadi@yahoo.com

Seyed Bagher Hosseini [2]

Hamid Yazdani [3]

Abstract

Background and Objective: Limitation of undesirable effects of construction industry is one of the most important environmental concerns in recent decades. Expansion of construction activities is an inevitable issue and like any other industrial product, buildings can be considered as a result of raw materials and renewable and non-renewable types of energy use. At the final step of a building life cycle, there is no other way except demolition or recycling. Previous studies in this field have emphasized the building assessment during its use phase. Whereas large aspect of energy usage and pollutants production can be found in construction and demolition phases.

Method: Current paper reviewed the researches yet have been done and studied appropriate methods, tools and criterion to assess environmental sustainability of construction systems, especially on production and demolition phases.

Results: The main goal of this study is to find a way for parametric assessment of environmental sustainability in construction systems, with emphasis on production and end phase of a building life cycle.

Conclusion: Finally, this study presents a six-parameter numerical model that can help to evaluate environmental compatibility of any building by which environmental sustainability of a construction system can be assessed with emphasis on production and end phase of its life cycle.

Keywords: Environment, Building systems, Life cycle, Environmental assessment, Sustainable development

1- Professor, Depatment of Architecture and Urban Planning, University of Science and Technology, Tehran, Iran.
* *(Corresponding Author)*
2- Assistant Professor, Depatment of Architecture and Urban Planning, University of Science and Technology, Tehran, Iran.
3- PhD Student, Depatment of Architecture and Urban Planning, University of Science and Technology, Tehran, Iran.

مقدمه

در دهه اخیر تلاش های گسترده ای به منظور کاهش اثرات مخرب صنعت ساختمان بر محیط زیست صورت گرفته است. هدف اصلی تمامی این تحقیقات و تلاش های بین المللی را می توان در یافتن راهی مناسب جهت تامین نیاز نسل کنونی بدون در خطر انداختن نسل های آینده در تامین نیازهایشان خلاصه نمود. این خود ساده ترین تعریف از توسعه پایدار است. با توجه به نیاز روز افزون بشر به ساخت و ساز، توسعه صنعت ساختمان به خصوص در کشورهای در حال توسعه امری اجتناب ناپذیر است. مانند هر محصول صنعتی دیگر در تولید ساختمان نیز، مقادیری از مواد خام و انرژی مصرف می شود. محصول حاصل از این فرآیند پس از طی فاز بهره برداری به مرحله پایانی چرخه عمر خود می رسد. در این مرحله ساختمان تخریب و یا بازیافت خواهد شد.

آنچه در مورد تحقیقات صورت گرفته در ارتباط با میزان مصرف انرژی و تولید آلاینده های زیست محیطی مشهود است، تمرکز غالب آنها بر میزان تولید مواد مخرب و مصرف انرژی تنها در فاز بهره برداری ساختمان است. (۱) در صورتی که بخش قابل توجهی از مصرف منابع و انرژی و از سوی دیگر تولید آلاینده های حاصل از صنعت ساختمان را می توان در فاز تولید و تخریب جستجو نمود. (۲-۷) پیش از این در برخی صنایع دیگر مانند صنعت خودروسازی و یا صنعت تولید سخت افزارهای کامپیوتری، عدم توجه به سرنوشت محصولات، بحران هایی را ایجاد نمود که در نتیجه به تدوین آیین نامه هایی منجر گردید و تولید کنندگان ملزم به رعایت آنها شدند، تا به این ترتیب میزان تاثیرات نا مطلوب محیطی حاصل از این صنایع را به حداقل ممکن کاهش دهند. اما به دلیل طولانی تر بودن فاز بهره برداری در صنعت ساختمان، این بحران به آرامی و با تاخیر بروز می نماید. به نظر می رسد که با تنظیم چهارچوب های مشابه در صنعت ساختمان نیز می توان میزان پایداری محیطی سیستم های ساختمانی را افزایش داد. برای تدوین این آیین نامه ها ابتدا می بایست به مطالعه پایداری محیطی پرداخت و با بررسی کامل این مفهوم بتوان پارامترهای قابل اندازه گیری متناسب با مفهوم پایداری را تعریف نمود، به گونه ای که این پارامترها به عنوان متغیرهای مستقل تحقیق در نظر گرفته شوند. با اندازه گیری این پارامترها و جمع بندی آنها می توان میزان پایداری محیطی ساختمان را به عنوان متغیر وابسته اندازه گیری کرد.

ضرورت و اهمیت مسئله تحقیق

آنچه تا کنون، بیش از سایر بخش ها در ارزیابی سازگاری زیست محیطی ساختمان ها مورد توجه بوده است را می توان در فاز بهره برداری از ساختمان و میزان مصرف انرژی و تولیدات مخرب ساختمان در مرحله بهره برداری یافت. اما بر اساس تحقیقی که در سال ۲۰۰۵ در ایتالیا منتشر شد، (۸) در ساختمان های مورد بررسی در این کشور در سال ۲۰۰۴ میلادی، ۳۱٪ میزان مصرف انرژی و هم چنین ۳۱٪ تولید گازهای گلخانه ای توسط هر ساختمان در فاز بهره برداری از آن تولید شده است. اما در صورتی که این چرخه را تکمیل نموده و تولید مصالح ساختاری و فعالیت های مربوط به ساخت ساختمان را نیز به آن بیافزاییم، میزان نهایی مصرف انرژی به ۳۷٪ و تولید گازهای گلخانه ای به ۴۱٪ خواهد رسید. (۹) این میزان کماکان شامل انرژی مورد نیاز و تولیدات مخرب مربوط به مرحله تخریب و بازیافت ساختمان نمی شود.

روش ارزیابی چرخه عمر (LCA[1]) امکانی را مهیا می نماید تا به وسیله آن به توان میزان سازگاری زیست محیطی هر محصول را در فازهای مختلف طول عمر آن از تولید و استخراج مواد اولیه تا تخریب و بازیافت مورد بررسی، ارزیابی و اصلاح قرار داد.

به همین دلیل صنعت ساختمان به عنوان یکی از آلاینده ترین صنایع مورد توجه مستقیم برنامه های بین المللی است. بیش از ۳۷ درصد کل انرژی مصرفی جهان در صنعت ساختمان مصرف می شود و بیش از ۴۷ درصد گازهای گلخانه ای نیز حاصل این صنعت است. ۳۰ درصد منابع آب نیز در صنعت ساختمان مورد استفاده قرار می گیرد.(۹) برای نخستین بار در سال ۱۹۹۰ هم اندیشی هایی به منظور تهیه ابزار هایی برای ارزیابی بازدهی محیطی ساختمان شکل گرفت. (۳۰-۲۹)

مرور سابقه موضوع

نخستین بار تمایل نسبت به بررسی مفهوم توسعه پایدار در سطح جهانی در دهه های اخیر ایجاد شد. در سال ۱۹۷۲ در سازمان ملل بررسی هایی در این زمینه صورت گرفت و در گزارش agenda21 ارائه شد. پس از آن نیز در سال ۱۹۹۲ در ریودوژانیرو و در سمینار سازمان ملل این مطالعات تکمیل شد و در ادامه نیز این مطالعات با سمینارها و همایش های بسیاری در سطوح ملی و بین المللی توسعه یافت. هدف اصلی این سمینارها و گزارشات در راستای حفظ محیط زیست برای نسل های آینده تعریف شد که اصلی ترین نتیجه آنها ابداع نظریه توسعه پایدار بود. (۲۸-۱۰)

با توجه به تعاریفی که از پایداری محیطی ارائه شده است و در ادامه به بررسی آنها خواهیم پرداخت، در صورتی که این توسعه بدون توجه به تاثیرات محیطی سیستم های ساختمانی صورت پذیرد، نتیجه آن افزایش مصرف سوخت های فسیلی، افزایش تولید گازهای گلخانه ای، افزایش آلودگی محیط و تولید دهها عامل مخرب دیگر است. به همین دلیل طبق توافق نامه های بین المللی از جمله توافق نامه کیوتو، تمامی کشورهای جهان ملزم به کاهش تولید گازهای گلخانه ای خود در حد معینی شده اند.

این حرکت در ادامه نیز با روش هایی برای توسعه ابزارهای ارزیابی بر اساس ترجیهات محیطی (۳۱) و روش ارزیابی ساختمان سبز (۳۲) روش LEED (۳۳) و سایر روش ها ادامه یافت. به این ترتیب مشاهده می شود که لزوم ارزیابی پایداری محیطی ساختمان بر کسی پوشیده نیست. اغلب کشورهای توسعه یافته جهان برنامه هایی را برای کنترل تاثیرات مخرب صنعت ساختمان بر مبنای ارزیابی محیطی سیستم های ساختمانی تدوین نموده و یا به اجرا در آورده اند. (۳۴)

1- Life Cycle Assessment

تا کنون تعاریف مختلفی از توسعه پایدار ارائه شده است که برخی از مهم ترین آنها را جهت ورود به بحث پایداری در ساخت و ساز مطرح می نماییم. براساس سمینار sage توسعه پایدار مرهون تامین نیازهای انسان از طریق پیشرفت همزمان تکنولوژیکی، اجتماعی و اقتصادی در عین حفظ منابع زمین است. (۳۵) در تعریف دیگری که مجمع حمایت از توسعه پایدار در بریتانیا ارائه داده است توسعه پایدار، فرآیندی معرفی شده است که طی آن افراد استعدادهای خود را باربر نموده و کیفیت زندگی را به گونه ای افزایش می دهند که به طور هم زمان محافظت لازم از منابع پشتیبان طبیعی انجام گیرد. (۳۶) در نگاهی دیگر توسعه پایدار به عنوان موضوعی چند وجهی در ارتباط با حوزه های محیط زیست، صنعت، اقتصاد، تکنولوژی، سیاست و رسانه در نظر گرفته می شود. (۳۷)

در تعریف دیگری که DERT ارائه نموده است، توسعه پایدار در ارتباط با تضمین کیفیت بهتری از زندگی برای همگان در نسل حاضر و نسل های آینده است که این هدف با به کارگیری عوامل زیر قابل دستیابی می باشد. (۳۸-۴۰)

- توسعه اجتماعی بر اساس شناخت نیازهای همه افراد
- حفاظت موثر از محیط
- برداشت محتاطانه از منابع طبیعی
- حفظ نرخ رشد اقتصادی و اشتغال در سطح بالا و ثابت

تعریف نسبتا معروف دیگری که از توسعه پایدار ارائه شده است مربوط به کمیسیون جهانی محیط زیست و توسعه

WCED می باشد. در این تعریف که در سال ۱۹۸۳ برای نخستین بار بیان شد، توسعه پایدار گونه ای از توسعه معرفی شده است که طی آن نیازهای نسل کنونی بدون تاثیر منفی در توانایی نسل آینده برای تامین نیازهایشان بر آورده می شود. (۳۷ و ۴۱)

آن چه از تعاریف ارائه شده می توان یافت ماهیت چند وجهی توسعه پایدار است که اصلی ترین جنبه های این توسعه را می توان در بخش اجتماعی، اقتصادی و محیطی خلاصه نمود. با چنین رویکردی می توان توسعه پایدار را حاصل واقیعتی برخواسته از سه عنصر پایداری اجتماعی، پایداری اقتصادی و پایداری محیطی دانست. به بیان دیگر زمانی که توسعه در این حوزه های سه گانه به صورت همزمان حاصل گردد می توان اعلام نمود که توسعه پایدار ایجاد شده است. (۴۲-۴۳)

ابزارهای اندازه گیری میزان پایداری محیطی ساختمان ها

- **استاندارد BREEAM [1]**

این روش ابزاری برای مالکان، سازندگان و کاربران ساختمان است که امکان ارزیابی و بهبود بازدهی محیطی یک ساختمان را فراهم می نماید. (۴۴)

- **ابزار Eco homes**

این روش ابزاری است که امکان ارزیابی بازدهی محیطی ساختمان های مسکونی و رده بندی آنها از قابل قبول تا عالی را ایجاد می نماید. این ابزار را می توان نسخه ویژه ساختمان های مسکونی از BREEAM قلمداد نمود. این ابزار به راحتی قابل فهم است و امکان بررسی ساختمان های نوساز و بازسازی شده را دارا می باشند. رویکرد این روش به گونه ایست که بیشتر توصیه ها در مرحله طراحی در نظر گرفته شده اند، به این ترتیب هزینه اعمال این تکنیک ها در فاز طراحی بسیار کمتر از فازهای بعدیست. در این ابزار پارامترهای مختلفی اندازه گیری و تحلیل می شوند که از میان آنها می توان به انرژی، حمل و نقل، آب، محیط و بهره برداری از زمین، آلودگی، سلامتی و مصالح اشاره نمود. (۴۵-۴۷)

- **استاندارد رده بندی سازگاری محیطی ساختمان EIME [2]**

در سال ۲۰۰۷ میلادی در کشور انگلستان استاندارد EIME جهت اندازه گیری و رده بندی سطح پایداری محیطی ساختمان ها معرفی شد. این محصول حاصل همکاری نزدیک گروه های فعال محیط زیست، متخصصان صنعت ساختمان

و بسیاری از صنایع مرتبط بود. هدف اصلی این ابزار ارتقاء پایداری محیطی ساختمان هایی است که پس از آن در این کشور بنا خواهند شد. از سال ۲۰۰۸ میلادی با همکاری دولت تمامی افرادی که اقدام به فروش ساختمان های نوساز می نمایند موظف به اخذ رده بندی ساختمان خود طبق استاندارد EIME و ارائه آن به خریداران شده اند.

تدوبن این استاندارد با مدیریت BRE [3] و با استفاده از نرم افزار EcoHomes انجام گرفته است. از موارد مورد توجه در این استاندارد می توان به تولید دی اکسید کربن، آب، مصالح، تولید زباله، آلایندگی، ضریب سلامتی محیط، مدیریت و محیط زیست اشاره نمود. از جمله ابتکارات این استاندارد محدود کردن سازندگان ساختمان ها به تولید حد اکثر میزان مشخصی از نخاله های ساختمانی است. (۴۹) این استاندارد در نهایت هر ساختمان را در صورت اخذ حداقل استانداردهای زیست محیطی، در شش گروه یک تا شش ستاره رده بندی می نماید.

روش بررسی

بررسی امکان ارزیابی چرخه عمر ساختمان (LCA) [4]

میزان پایداری سیستم های ساختمانی را می توان با تبدیل این مفهوم به پارامترهای قابل اندازه گیری سنجید. به همین منظور تا کنون ابزار ها و روشهای مختلفی در جهت سنجش میزان پایداری محیطی سیستم های ساختمانی تدوین شده است. یکی از این روش ها، ارزیابی چرخه عمر LCA است. آنچه از کاربرد ارزیابی به روش LCA تا کنون می توان ذکر کرد، استفاده از آن در ارزیابی محصولات صنعتی است و این بدان معنی است که به کارگیری این روش در ارزیابی پسماندهای ساختمانی کمتر مورد استفاده قرار گرفته است. (۴۳-۴۸) ارزیابی چرخه عمر، فرآیندی چند مرحله ایست که طی آن اطلاعات لازم در چهارچوبی مشخص جمع آوری و دسته بندی می گردد. روش LCA را می توان به مثابه ماشینی دانست که مواد خام اولیه را

1- Building Research Establishment Environmental Assessment Method

2- Environmental Improvement Made Easy
3- British Research Establishment
4- Life Cycle Assessment

به صورت اطلاعات دریافت می نماید و تحت شرایط خاص آنها را دسته بندی و آرایش می دهد. در پایان این ماشین می تواند نتایج حاصله را تحت استانداردهای تدوین شده با معیاری مشخص سنجیده و ارزیابی نهایی را انجام داد. ارزیابی یک محصول در تمام چرخه عمر روشی است که در سال های اخیر برای ارزیابی، اندازه گیری و اصلاح محصولات ساخته دست انسان به خصوص در حوزه تولیدات صنعتی مورد استفاده قرار گرفته است. شاید به توان نقطه آغاز شکل گیری این روش ارزیابی محصول را در سال ۱۹۹۷ یافت. در این سال موسسه بین المللی استانداردسازی ایزو استانداردی را برای مدیریت زیست محیطی تولیدات صنعتی ارائه کرد. استاندارد ایزو ۱۴۰۴۰ نخستین قوانین و چهارچوب ها را برای کنترل تاثیرات مخرب زیست محیطی تولیدات صنعتی تصویر نمود. از دیدگاه این استاندارد برای کنترل تاثیرات مخرب محیطی می بایست عوامل تاثیرگذار مانند میزان انرژی مصرفی، هزینه، نیروی کار، میزان مصرف آب، میزان تولید گازهای گلخانه ای و سایر عوامل را از زمان استخراج مواد و فرآوری آنها تا زمان تولید محصول و پس از آن در طول عمر آن مورد اندازه گیری قرار داد. در پایان چرخه نیز، ممکن است محصول تخریب و یا بازیافت گردد. در انتها با جمع بندی این عوامل در تمام طول عمر یک محصول می توان میزان کارایی و بازدهی محیطی آنرا اندازه گیری و اصلاح نمود. در ارتباط با ارزیابی پایداری ساختمان همواره نیاز به ابزارهایی که توانایی بررسی ساختمان در تمام چرخه زندگی از تولید تا تخریب را داشته باشند احساس می شد. روش LCA ابزار مناسبی در اختیار قرار می دهد که به وسیله آن می توان تاثیرات محیطی ساختمان را از زمان تولید تا تخریب مورد ارزیابی و اندازه گیری قرارداد. (۵۱-۵۰)

بر اساس استاندارد ایزو ۱۴۰۴۰، می توان چهار مرحله اصلی را برای ارزیابی چرخه عمر LCA در نظر گرفت: (۵۲)

- تعریف روش و هدف
- بررسی جزء به جزء چرخه عمر
- تحلیل میزان تاثیر زیست محیطی در چرخه عمر
- ارزیابی و جمع بندی نتایج

مرحله تعریف روش و هدف شامل تعریف کلی سرفصل‌ها، محدوده ها و مرزهای سیستم تحت مطالعه، منابع و اطلاعات مورد استفاده ایست که نتایج بر اساس آنها بدست خواهد آمد.

مرحله بررسی جزء به جزء چرخه عمر (LCI[1])

شامل تمامی جزئیات مربوط به تمامی ورودی های محیطی چرخه عمر مانند مصالح و انرژی و تمامی خروجی ها آن مانند آب، گازهای متصاعد شده و پسماندها در تمامی مراحل چرخه عمر محصول است.

مرحله ارزیابی میزان تاثیرات زیست محیطی چرخه عمر (LCIA[2]) را می توان یکی از مهم ترین بخش های ارزیابی چرخه عمر دانست. در این مرحله تمامی خروجی های مرحله LCI به شکل کمی و عددی تبدیل شده و تاثیر هر یک از آنها بر عوامل محیطی مورد نظر سنجیده می شود. (۹) این مرحله از LCA را می بایست تحت کنترل یکی از استانداردهای محدود کننده پیش برد. استاندارد ایزو متداول ترین شاخص در کنترل و نظارت بر این مرحله است (جدول۱).

1- Life Cycle Inventory
2 -Life Cycle Inventory Assessment

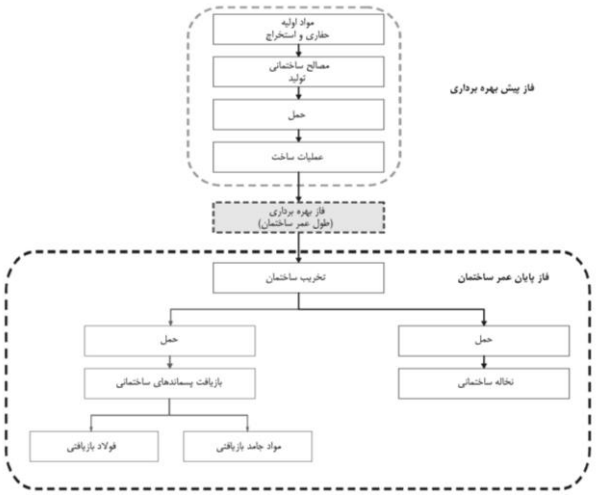
جدول ۱- ساختار بررسی استاندارد ایزو ۱۴۰۴۰ (۴۳)

Table 1- ISO 14040 standard evalution structure

اقدامات اولیه	مراحل LCA
تعریف واحد عملکردی تعریف محدوده سیستم اطمینان از کیفیت داده ها تعریف چرخه عمر	تعریف هدف و روش
جمع آوری داده ها اندازه گیری ورودی ها و خروجی ها	بررسی جزء به جزء
دسته بندی داده ها تعیین موقعیت داده تعیین صرائب اهمیت در ابعاد مختلف	ارزیابی تاثیر
جمع بندی اطلاعات بازنگری	تحلیل نتایج

بخش های تشکیل دهنده چرخه عمر ساختمان

در بررسی چرخه عمر یک ساختمان می توان این چرخه را به سه مرحله اصلی و مشخص تفکیک نمود. (نمودار ۱) این مراحل شامل مرحله پیش از بهره برداری یا همان فاز تولید و ساخت به عنوان مرحله نخست، مرحله بهره برداری به عنوان دومین و طولانی ترین فاز عمر یک ساختمان و مرحله پایان عمر یک ساختمان به عنوان سومین و آخرین مرحله این چرخه است. (۵۳)



نمودار۱- بخش های مختلف طول عمر ساختمان (۹)

Chart 1- Bulding life cycle assessment different phases

مرحله پیش از بهره برداری در ابتدا شامل تولید و حمل مصالح ساختمانی به محل ساختمان است. بنابراین به منظور تحلیل جزء به جزء دقیق تر، می بایست تمامی موارد مصرف انرژی و تولید مواد مخرب در این مرحله به تفسیر مورد بررسی قرار گیرند. در این اندازه گیری برآورد دقیق مصالح مصرفی گام اول و ضروری در ارزیابی به شمار می رود به همین دلیل دستیابی به برآورد دقیق از مواردی مانند میزان سیم کشی و لوله های بکار رفته در ساختمان ضروری است. اما محاسبه موارد مربوط به المان های قابل حمل مانند مبلمان، تجهیزات آشپزخانه و سایر موارد مشابه از این دست در این بررسی ها منظور نمی شوند.(۹) به دلیل عدم امکان محاسبه مقادیر سیم و لوله در بسیاری از ساختمان ها به صورت دقیق و قابل استناد، به دلیل در دسترس نبودن نقشه های اجرایی دقیق برق و تاسیسات در برخی از موارد بررسی چرخه عمر، تنها مصالح ساختاری شامل مصالح مورد استفاده در سازه و دیوارهای داخلی و خارجی را شامل می شود و از سایر موارد به دلیل حجم بسیار کم آنها در مقایسه با مصالح ساختاری صرف نظر می شود. پس از برآورد مقادیر مصالح بکار رفته در ساختمان، بر اساس جداول و استانداردهای بین المللی میزان انرژی مورد نیاز برای تولید آنها محاسبه می گردد. (۵۴)

مرحله بهره برداری شامل تمامی فعالیت های انجام شده توسط ساختمان و سیستم های تاسیساتی آن در تمام بازه بهره برداری است. این فعالیت ها

شامل سرمایش، گرمایش، تولید آب مصرفی، روشنایی و پخت و پز و تمامی مواردی است که طی آنها انرژی مصرف شده است. در محاسبه میزان مصرف انرژی در این مرحله و میزان تولید گازهای گلخانه ای نیز می‌توان از استانداردهای بین المللی و یا آمار سازمان های مرتبط با تولید انرژی در هر منطقه استفاده نمود. (۸) برخی از محققان بر این باورند که تمامی بازسازی ها و تغییرات صورت گرفته در فاز بهره برداری نیز می بایست در برآورد نهایی منظور گردند. (۲و۴و۵)

گام نهایی در بررسی چرخه عمر یک ساختمان شامل تخریب و بازیافت پسماند های حاصل از تخریب است. میزان انرژی مصرف شده برای تخریب ساختمان و حمل پسماندهای آن از موارد مهم در این فاز محسوب می گردد. (۹) در این مرحله پسماندها را می توان در دو گروه دسته بندی نمود. (جدول۲) گروه اول شامل پسماندهای فلزی و قابل ذوب حاصل از میلگرد، پروفیل های فولادی، درب و پنجره و موارد مشابه است که بخش اعظم آن را فولاد تشکیل می دهد و برای تولید مجدد فولاد در شکل های مختلف به کوره ذوب فرستاده می شود. گروه دوم مصالح جامد و غیر قابل ذوب مانند بتن، آجر، ملات، اندودها، شیشه و سرامیک را در بر می گیرد. این دسته از مصالح قابلیت بازیافت مستقیم را دارا نیستند، لذا با انجام عملیاتی به مواد دست دوم تبدیل شده و در ساخت محصولات جدید با مواد اولیه دست دوم استفاده خواهند شد. در محاسبات این مرحله انرژی مورد نیاز برای خرد کردن و جداسازی تمامی پسماندها نیز می بایست در نظر گرفته شوند.

جدول۲- بخش ها و زیر بخش های چرخه عمر ساختمان (۹)

Table 2- Bulding life cycle phases and sub-phases

مراحل چرخه عمر ساختمان	زیر بخش ها
پیش از بهره برداری	تولید مصالح ساختمانی
	حمل
	فرآیند ساخت
بهره برداری	مصرف برق و سوخت به منظور سرمایش، گرمایش، آب مصرفی و روشنایی
پایان عمر	تخریب
	بازیافت مواد غیرقابل ذوب
	بازیافت محصولات فولادی

یافته ها

مولفه های مورد اندازه گیری در مرحله LCIA

پیش از اینکه ارزیابی چرخه عمر به روشی متداول در تحقیقات اندازه گیری تاثیرات زیست محیطی تولیدات صنعتی تبدیل شود، تنها پارامتر مورد توجه در مطالعات، میزان انرژی مصرف شده در فرآوری مواد اولیه و محصول بود. اما با ورود روش LCA به عرصه تحقیقات و تدوین مراحل مختلف آن، پارامترهای متعدد و بسیاری در فاز بررسی جزء به جزء LCI مورد توجه قرار گرفت. به این ترتیب مراحل عمر یک محصول به غیر از فاز تولید شامل فاز بهره برداری و تخریب نیز گردید. به این ترتیب مراحل و اجزاء مورد بررسی افزایش قابل توجهی یافت.

در مرحله بعدی LCA که مربوط به اندازه گیری میزان مصرف انرژی و تاثیرات مخرب تمامی این مراحل چندگانه است، پارامترهای بسیار مهمی مورد ارزیابی قرار گرفت. بر اساس استاندارد ایزو ۱۴۰۴۲ چهارچوب کلی LCIA موارد مشخصی را شامل می شود، که بررسی آنها الزامی است. (۵۵) به این ترتیب در این مراحل می بایست تمامی موارد حاصل از مرحله LCI را به کمیت های عددی تبدیل کرد تا با بررسی این اعداد به توان میزان دقیق پایداری محیطی یک ساختمان را اندازه‌گیری نمود. (۹) از سوی دیگر تنها موضوع دارای اهمیت مقادیر عددی این پارامتر ها نیست بلکه ضریب تاثیر هر یک از آنها می بایست بر اساس وزن زیست محیطی در انجام این محاسبات مورد توجه قرار گیرند. به این ترتیب در مرحله LCIA می توان شش پارامتر زیست محیطی مهم و قابل اندازه گیری را معرفی و مورد بررسی قرار داد:

- ER (Gross Energy Requirement)شاخصی است که بر اساس آن می توان میزان کل انرژی مصرفی ساختمان به طور مستقیم و غیر مستقیم را در تمام مراحل چرخه عمر مورد اندازه گیری قرار داد.
- GWP (Global Warming Potential) شاخص پتانسیل جهانی گرمایش زمین نیز بر اساس میزان تولید گازهای گلخانه ای توسط ساختمان و بر اساس IPCC (۵۶) قابل اندازه گیری می باشد.

- ODP (Ozone Depletion Potential) شاخصی برای اندازه گیری پتانسیل تخریب لایه اوزون محسوب می شود.
- AP (Acidification Potential) این شاخص معیاری برای سنجش ظرفیت اسیدی نمودن محیط زیست توسط هر فعالیت است.
- EP (Eutrophication Potential) شاخصی در ارتباط با میزان آلایندگی آبهای سطحی را نشان می دهد.
- POCP (Photochemical Ozone Creation Potential) این شاخص نیز آشکارسازی مربوط به توانایی هر فعالیت در تولید پدیده photo-smog (نور-دود) شناخته می شود.

تعاریف و اطلاعات کامل مربوط به این شش پارامتر زیست محیطی در SEMC به عنوان مرجعی در ارتباط با تعاریف زیست محیطی ارائه شده است. (۵۷)

بر اساس استاندارد ایزو ۱۴۰۴۰ آخرین مرحله از فرآیند ارزیابی چرخه عمر LCA مربوط به جمع بندی نتایج حاصل از مراحل بررسی (LCI) و ارزیابی (LCIA) به گونه ایست که به توان نقاط ضعف و قوت چرخه را از نقطه نظر زیست محیطی اندازه گیری نموده و برای موارد مخرب و غیر قابل قبول آن راه حل های جایگزینی را ارائه نمود. (۹) آنچه در روش LCA نسبت به روش های پیشین اندازه گیری پایداری محیطی یک ساختمان قابل تامل است، گسترش داده های مورد بررسی در اندازه گیری نهایی است. همان طور که پیشتر نیز اشاره شد، در روشهای قبلی، بیشترین تمرکز بر میزان انرژی مورد استفاده و گازهای گلخانه ای تولید شده توسط ساختمان در فاز بهره برداری محدود شده بود. به این ترتیب تا پیش از این تنها دو شاخص , GER GWP در فاز بهره برداری مورد اندازه گیری قرار می گرفت، در صورتی که بخش قابل توجهی از انرژی مصرفی و گازهای گلخانه ای تولید شده توسط ساختمان، حاصل عملیات فاز تولید مواد اولیه و ساخت ساختمان و هم چنین فاز تخریب و بازیافت مصالح است.

بحث و نتیجه گیری

مفهوم توسعه پایدار در دهه های اخیر توجه بسیاری را بخود جلب نموده است. یکی از مصادیق توسعه پایدار، توسعه پایدار زیست محیطی است. در عرصه صنعت ساختمان بعنوان یکی از آلاینده ترین صنایع نیز تلاش هایی در جهت بهبود روش های ساخت از نقطه نظر زیست محیطی انجام گرفته است. اندازه گیری و کنترل میزان آلایندگی ساختمان ها هدف اصلی تمامی این تلاش ها به منظور حفظ محیط زیست برای نسلهای آینده است. بنابراین می توان دریافت که رفتار زیست محیطی یک ساختمان پدیده ای چند مرحله ای و متشکل از پارامترهای متعدد است و مفهوم پایداری بعنوان یک سر فصل نیاز به روش ها و ابزار هایی جهت اندازه گیری و اصلاح دارد. با استفاده از فرآیند LCA رفتار زیست محیطی یک ساختمان در تمام چرخه عمر را می توان مورد ارزیابی قرار داد. به این ترتیب می بایست چرخه عمر ساختمان را به مراحل کوچک تر و با پارامترهای قابل اندازه گیری تقسیم نمود. بر خلاف بیشتر تحقیقات صورت گرفته تا کنون که بر فاز بهره برداری ساختمان متمرکز بوده اند، در این روش می توان بر فاز تولید و وتخریب ساختمان به عنوان دو مرحله مصرف کننده انرژی و تولید کننده آلایندگی تمرکز نمود. در این تحقیق در مرحله LCIA شش پارامتر اصلی قابل اندازه گیری از اثرات مخرب ساختمان شامل: (ER, GWP, ODP, AP, EP, POCP) که تعاریف مربوط به این پارامترها پیشتر ارائه شد به عنوان شاخصه های اصلی ارائه گردید. در نتیجه با اندازه گیری این پارامتر ها میزان پایداری زیست محیطی یک ساختمان در تمام طول چرخه عمر قابل اندازه گیری خواهد بود. به این منظور فاز تولید ساختمان را می توان به سه مرحله فرآوری و تولید مصالح، حمل ماشین آلات و مصالح تا محل ساختمان و انرژی مصرفی در سایت تقسیم بندی نمود. فاز تخریب را نیز می توان بصورت مراحل تخریب، تفکیک، حمل و بازیافت ارزیابی نمود در نهایت با مقایسه سهم هر یک از این عوامل در مصرف انرژی و تولید آلانده ها می توان نقاط ضعف یک سیستم ساختمانی را شناسایی نمود و با ارائه جایگزین های مناسب می توان رفتار زیست محیطی ساختمان را اصلاح نموده و آن را از نظر مصرف انرژی و تولید آلودگی در فاز تولید و تخریب در محدوده قابل قبولی قرار داد. با رعایت این اصول می توان آیین نامه ای تدوین کرد تا بر اساس آن تمامی ساختمان ها مورد ارزیابی پایداری زیست محیطی قرار گرفته و سازگاری زیست محیطی آنها رده بندی گردد و پس از آن تنها ساختمان هایی مجوز ساخت دریافت نمایند که در تمامی مراحل چرخه عمر آنها استانداردهای زیست محیطی رعایت شده باشند. به این ترتیب مانند سایر صنایع تولیدی و آلاینده، صاحبان صنعت در بخش ساختمان نیز ملزم به کاهش تولید مواد آلاینده و پسماند تا سقفی مشخص و رعایت اصول حفظ محیط زیست خواهند شد.

منابع

1- Sartori I, Hestnes AG. Energy use in the life cycle of conventional and low- energy buildings: a review article. Energy and Buildings 2007;39(3):249–57.
2- Adalberth K, Almgren A, Petersen EH. Life Cycle Assessment of four multi- family buildings. International Journal of Low Energy and Sustainable Buildings 2001; 2:1–21.
3- Thomark C. Environmental analysis of a building with reused building materials. International Journal of Low Energy and Sustainable Buildings 2000; 1:1–18.
4- Maddox B, Nunn L. Life cycle analysis of clay brick housing based on a typical project home. The Centre for Sustainable Technology, University of NewCastle; 2003.
5- Blanchard S, Reppe P. LCA of a residential home in Michigan. USA: School of Natural Resources and Environment, University of Michigan; 1998.
6- Huberman N, Pearlmutter D. A life-cycle energy analysis of building materials in the Negev desert. Energy and Buildings 2008; 40(5):837–48.

7- Chen TY, Burnett J, Chau CK. Analysis of embodied energy use in the residential building of Hong Kong. Energy 2001; 26(4):323–40.
8- ENEA. Rapporto Energia e Ambiente 2005, Rome, Italy, 2005.
9- Gian Andrea Blengini, Life cycle of buildings, demolition and recycling potential: A case study in Turin, Italy, Building and Environment 44 (2009) 319– 330
10- Parkin, S. (2000), Context and drivers for operationalizing sustainable development, Proceedings of ICE, Vol. 138, Nov. 2000, pp. 9 – 15.
11- Sage, A. P. (1998), Risk management for sustainable development, Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, Vol. 5, 1998, pp. 4815 – 4819.
12- Parkin, S. (2000), Sustainable development : the concept and the practical challenge, Proceedings of ICE, Vol. 138, Nov. 2000, pp. 3 – 8.
13- Chaharbaghi, K. and Willis, R. (1999), Study and practice of sustainable development, Engineering Management Journal, Vol. 9, No. 1, Feb. 1999, pp. 41 – 48.
14- Sustainable development: What it is and what you can do, DETR Green Ministers Report, March 2000.
15- http://www.cbpp.org.uk/cbpp/themes/suscon/intro_1/html, Introduction to sustainable construction.
16- http://www.arch.hk/research/BEER/
17- sustain.htm, Sustainable architecture and building design.
18- C. A. and Ding, G. K. C. (Eds.), Sustainable practices in the built environment, Langston, Butterworth-Heinemann, Oxford, 2001. Architecture: Is change required? Building, Feb. 1995.
19- http://products.bre.co.uk/breeam/breeam2.html, BREEAM.
20- Alisa, M. and Heasman, I. (2000), Concrete, Vol. 34, No. 1, Jan 2000, pp. 26.
21- Chris W. Scheuer and Gregory A. Keoleian, Life Cycle Assessment Methods, U .S. Department Of Commerce, National Institute Of Standards And Technology, September 2002,p:14)
22- Oscar Ortiz, Sustainability in the construction industry, Construction and building materials, 23-2009, p: 30-35.
23- Emison, G. A. (2001), Civil engineers and future environmental policies, Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice, Vol. 127, No. 3, July 2001, pp.130 – 138.
24- Raynsford, N. (2000), Sustainable construction: the Government's role, Proceedings of ICE, Vol. 138, Nov. 2000, pp. 16 – 22.
25- Miyatake Y. (1996), Technology development and sustainable construction , Journal of Management in Engineering, Vol. 12, No. 4, 1996, pp. 23 – 27.
26- Fisher, T. A. (1992), Principles of Environmental Architecture, AIA, Nov. 1992.
27- Cook, A., 'What is sustainable construction exactly?' Robert Lowe, Defining absolute environmental limits for the built environment, 2006, pp.1-30.
28- BRE 1990 BREEAM – Building Research Establishment Environmental Assessment Method. Version 1/90, BRE 183, Watford: BRE.
29- Cole, R. 2004 Changing context for environmental knowledge, Building Research & Information 32 (2) 91-109.
30- Anink, D. & Boonstra, C. 1996 Handbook of Sustainable Building: An Environmental Preference Method for Choosing Materials in Construction and Renovation, London: James & James (Science Publishers).
31- Cole, R. & Larsson, N.K. 1999 GBC '98 and GBTool, Building Research & Information 27 (4/5) 221-229.
32- USGBC 2003 Green Building Rating System for New Construction & Major Renovations (LEED-NC) Version 2.1 (revised edition), Washingon DC: US Green Building Council.
33- Atkinson, G.D., Dubourg, R., Hamilton, K., Munasignhe, M., Pearce, D.W., Young, C., 1997. Measuring Sustainable Development: Macroeconomics and the Environment. Edward Elgar, Cheltenham.
34- Sage, A. P. (1998), Risk management for sustainable development, Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, Vol. 5, 1998, pp. 4815 – 4819.
35- Parkin, S. (2000), Sustainable development : the concept and the practical challenge, Proceedings of ICE, Vol. 138, Nov. 2000, pp. 3 – 8.
36- Chaharbaghi, K. and Willis, R. (1999), Study and practice of sustainable development,

Engineering Management Journal, Vol. 9, No. 1, Feb. 1999, pp. 41 – 48.

37- Sustainable development: What it is and what you can do, DETR Green Ministers Report, March 2000.

38- Fizal, M., An environmental assessment method for cleaner production technologies. Journal of Cleaner Production, 2007.

39- Li ZG. A new life cycle impact assessment approach for buildings. Building and Environment, 2006.

40- Ortiz O, Castells F, Sonnemann G. Important issues in LCA and ecodesign within the building sector for developing countries. In: International conference on life cycle assessment – CILCA 2007 – Sao Paulo, Brazil; 2007.

41- http://www.cbpp.org.uk/cbpp/themes/suscon/intro_1/html, Introduction to sustainable construction.

42- Blengini GA, Garbarino E. Sustainable constructions: ecoprofiles of primary and recycled building materials. In: Proceedings of the international symposium mining planning and equipment selection MPES2006, Turin, Italy, 20–22 September 2006.

43- http://products.bre.co.uk/breeam/breeam2.html, BREEAM.

44- B. De Meester, Exergetic life-cycle assessment (ELCA) for resource consumption evaluation in the built environment, Building and environment, 2009.

45- Peuportier BLP. Life cycle assessment applied to the comparative evaluation of single family houses in the French context. Energy and Building 2001.

46- Sonnemann G, Castells F, Schuhmacher M. Integrated life – cycle and risk assessment for industrial processes. Advanced methods in resource and waste management, 1st ed., vol.1. United States of America: Lewis Publishers; 2003.

47- Badino V, Blengini GA, Zavaglia K. Measuring sustainability of building aggregates by means of LCA tools. In: Proceedings of the international symposium of sustainable development indicators in the mining industry SDIMI 2007, Milos, Greece, 18–20 June 2007, p. 145–50. ISBN: 978-960-6746-00-0.

48- Alisa, M. and Heasman, I. (2000), Concrete, Vol. 34, No. 1, Jan 2000, pp. 26.

49- Curran M, editor. Environmental life cycle assessment. New York: McGraw-Hill; 1996. ISO 14040. Environmental management. Life cycle assessment: principles and guidelines. Geneva: International Organization for Standardization; 1997.

50- Blengini GA. Life cycle assessment tools for sustainable development: case studies for the mining and construction industries in Italy and Portugal. Ph.D. Dissertation. Lisbon, Portugal: Instituto Superior Tecnico, Technical University of Lisbon; 2006.

51- Brimacombe L, Shonfield P. Sustainability and steel recycling. International Iron and Steel Institute; 2001. ISO 14042. Environmental management. Life cycle assessment: life cycle impact assessment. Geneva: International Organization for Standardization; 2000.

52- IPCC.Revised1996IPCC guidelines fornational greenhousegasinventories, 1996.

53- SEMC.MSR1999:2—Requirements for environmental product declarations. Swedish Environmental Management Council, 2000. Availableonlineat:/http://www.environdec.com.