



روش های ارزیابی چرخه عمر مصالح ساختمانی با استفاده از چارچوب ارزیابی دایره ای و جایگزین های تجدیدپذیر

کارشناسی ارشد مهندسی عمران واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران
استادیار گروه عمران واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران
دانشیار گروه عمران واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

محمد بهرامی کیا
محمد امیر شرافتی*
علیرضا والی پور

چکیده مبسوط

مقدمه: به دلیل افزایش نگرانی های زیست محیطی، کاهش نرخ مصرف انرژی و تأثیرات مخرب محیط زیستی در صنعت ساخت، به یکی از اولویت های طراحی و اجرا در صنعت معماری، مهندسی و ساخت تبدیل شده است. ارزیابی چرخه عمر منابع انرژی های تجدیدپذیر یک عامل کلیدی در توسعه پایدار کشورها به شمار می رود. انجام ارزیابی چرخه عمر سیستم های انرژی تجدیدپذیر مبتنی بر شرایط محلی این منابع است. بنابراین یک منبع انرژی به علت تغییرات منابع در دسترس، آب و هوا، محیط زیست، شرایط اقتصادی و اجتماعی، سیاست و غیره نمی تواند گزینه توسعه پایدار برای تمام مناطق جغرافیایی باشد. بنابراین ارزیابی چرخه عمر را می توان به عنوان ابزار تشخیص امکان توسعه پایدار منابع انرژی های مختلف و موقعیت های مختلف استفاده کرد.

مواد و روش ها: در این تحقیق چرخه عمر مصالح ساختمانی با استفاده از چارچوب ارزیابی دایره ای و جایگزین های تجدیدپذیر بررسی شد. این تحقیق با هدف بررسی فاکتورهای اثرگذار در چرخه عمر ساختمان انجام گردید. با بررسی ادبیات موضوع عوامل تاثیرگذار بر چرخه عمر مصالح به چهار دسته عوامل زیست محیطی، عوامل اقتصادی، عوامل فنی و اجتماعی تقسیم شد. برای بررسی عوامل مد نظر در تحلیل چرخه عمر مصالح از نمونه آماری شامل ۱۰۰ نفر استفاده و به کمک پرسشنامه این عوامل مورد ارزیابی و سنجش قرار گرفت. به کمک تحلیل آماری نرمال بودن توزیع داده ها بررسی شد و به وسیله آزمون t فرضیات تحقیق بررسی شد.

نتایج و بحث: نتایج این تحقیق نشان داد به کارگیری مصالح مناسب سبب کاهش مصرف انرژی در ساختمان می گردد و جایگزین های تجدیدپذیر به میزان قابل توجهی از اتلاف انرژی جلوگیری می کند اما نقش اطلاعات استاندارد در خصوص مصالح قابل بازیافت در چرخه عمر آن ها به اثبات نرسید. از بین عوامل مورد بررسی، عامل زیست محیطی با وزن ۰/۳۹۸ از بیش ترین اهمیت برخوردار بوده و عوامل اقتصادی، فنی و اجتماعی، به ترتیب با اوزان ۰/۲۶۴، ۰/۲۰۳ و ۰/۱۳۵ در درجه اهمیت های بعدی قرار گرفته اند.

نتیجه گیری: با توجه به اولویت های پایداری در ایران، ارائه رویکردی به منظور بهینه سازی مصرف آب در مراحل مختلف چرخه عمر ساختمان و بخصوص مرحله عملیاتی برای رسیدن به یک راه حل پایداری در طراحی ساختمان، کمک بسیاری خواهد کرد. ارزیابی اثرات زیست محیطی و اقتصادی چرخه عمر پروژه و ادغام ارزیابی چرخه عمر با مدل سازی اطلاعات ساختمان نیز از دیگر راهکارهایی است که می تواند به بهبود چرخه عمر مصالح کمک کند. تدوین سند و استاندارد جامع ارزیابی ساختمان با توجه به ابزارهای بین المللی ارزیابی ساختمان های پایدار، با در نظر گرفتن چرخه عمر و مسائل مربوط به پایداری اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی در مورد ساختمان های مسکونی ایران نیز از دیگر مواردی است که سبب ارتقاء وضعیت چرخه عمر مصالح و بهبود وضعیت زیست محیطی آن می شود.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۳

واژه های کلیدی: چرخه عمر مصالح ساختمانی، چارچوب ارزیابی دایره ای، جایگزین های تجدیدپذیر

نویسنده مسئول: محمد امیر شرافتی

نشانی: استاد یار گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز تلفن: ۰۹۱۷۳۸۷۰۰۱۴ پست الکترونیکی: MA.Sherafati@iau.ac.ir

استاد: بهرامی کیا محمد، شرافتی محمد امیر، والی پور علیرضا. روش های ارزیابی چرخه عمر مصالح ساختمانی با استفاده از چارچوب ارزیابی دایره ای و جایگزین های تجدیدپذیر.

پژوهش های نوین در مهندسی محیط زیست. ۱۴۰۳؛ ۲(۸): ۶۳-۵۳.

حقوق نویسندگان محفوظ است. این مقاله با دسترسی آزاد و تحت مجوز مالکیت خلاقانه <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

در فصلنامه پژوهش های نوین در مهندسی محیط زیست منتشر شده است. هرگونه استفاده غیرتجاری فقط با استناد و ارجاع به اثر اصلی مجاز است.



مقدمه

تخیله تصاعدی از سوخت‌های فسیلی معمولی با افزایش مصرف و تولید گازهای گلخانه‌ای منجر به حرکت به سمت منابع انرژی تجدیدپذیر و توسعه پایدار شده است. تولید انرژی پایدار مبتنی بر منابع تجدیدپذیر یک کار چالش برانگیز برای جایگزین کردن سوخت‌های فسیلی، به‌دست آوردن محیط‌زیست پاک، کاهش وابستگی به دیگر کشورها و همچنین چالش عدم اطمینان از قیمت سوخت است (زوکوفسکی ۲۰۲۱). همه این نگرانی‌های جدی مربوط به امنیت انرژی، محیط‌زیست و توسعه پایدار است که منجر به حرکت به سوی جایگزینی تجدیدپذیر، کارآمد و مقرون به صرفه منابع انرژی با کمترین انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌باشد (بیلگیلی ۲۰۲۲). ارزیابی چرخه عمر (LCA)^۱ منابع انرژی‌های تجدیدپذیر یک عامل کلیدی در توسعه پایدار کشورها به‌شمار می‌رود. انجام ارزیابی چرخه عمر سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر مبتنی بر شرایط محلی این منابع است (باربهویا ۲۰۲۳). بنابراین یک منبع انرژی به‌علت تغییرات منابع در دسترس، آب و هوا، محیط زیست، شرایط اقتصادی و اجتماعی، سیاست و غیره نمی‌تواند گزینه توسعه پایدار برای تمام مناطق جغرافیایی باشد. بنابراین ارزیابی چرخه عمر را می‌توان به‌عنوان ابزار تشخیص امکان توسعه پایدار منابع انرژی‌های مختلف و موقعیت‌های مختلف استفاده کرد (فتح الهی و کاپ ۲۰۲۱). تکنیک ارزیابی چرخه عمر اجازه تجزیه تحلیل دقیق از مواد و شار انرژی در مقیاس جهانی و ناحیه ای را می‌دهد. این تحلیل شامل ورودی غیرمستقیم به فرآیند تولید و ارتباط زیاله و گازهای گلخانه‌ای و سرنوشت محصولات تولیدی در آینده است. مطالعات ارزیابی چرخه عمر در تعریف خود در معیارهای مختلف ازجمله دامنه، هدف، مرزهای سیستم، سیستم مرجع و روش تخصیص متفاوت است. مطالعات ارزیابی چرخه عمر محاسبه اثرات زیست‌محیطی منابع انرژی‌های تجدیدپذیر است و می‌تواند مربوط به نتیجه برابر با معیارهای توسعه پایدار باشد (یونس و دودو ۲۰۲۲).

تاریخچه ارزیابی چرخه عمر:

مشکلات زیست‌محیطی در ۲۵ سال گذشته از دید کلی، بزرگتر شده، اهمیت بیشتری پیدا کرده و مورد بررسی قانونی قرار گرفته‌اند. عموم مردم نسبت به این مسئله آگاه‌تر شده و به مصرف کالا و خدمات و اثرات آن‌ها بر منابع طبیعی و کیفیت محیط‌زیست علاقه‌مند شده‌اند. در سال‌های اخیر بسیاری از واحدهای اقتصادی تمرکز خود را از رفع آلاینده‌ها بر جلوگیری از ایجاد آلودگی تغییر

داده‌اند. صنایع درک کرده‌اند که اثر محصولات آن‌ها بر محیط‌زیست با ساخت محصول به پایان نمی‌رسد. اثر محصول بر محیط‌زیست با طراحی محصول شروع شده و با دفع نهایی محصول پس از عمر مفید آن به پایان می‌رسد. ملاحظات مرحله طراحی بر کل چرخه عمر آن اثرگذار است. بنابراین به منظور کاهش اثرات زیست‌محیطی محصول، توجه به اثرات زیست‌محیطی محصول در طول مرحله برنامه‌ریزی و طراحی چرخه عمر محصول می‌تواند مؤثر باشد. ارزیابی چرخه عمر برای اولین بار در دهه ۱۹۶۰ مطرح شد. یکی از اولین انتشارات در این زمینه در کنفرانس جهانی انرژی در سال ۱۹۶۳ توسط هارولد اسمیت ارائه شد. وی محاسبات تقاضای تجمعی انرژی را برای کالاهای شیمیایی گزارش کرد (زیکوفسکی ۲۰۲۲). سپس در دهه ۱۹۶۰ مطالعات مدل‌سازی جهانی در گزارشات "محدودیت‌های رشد" (میداوز و همکاران ۱۹۷۲) و "برنامه کار برای زنده ماندن" (باشگاه رم) منتشر شد. این مطالعات شامل تقاضا برای منابع محدود مواد خام و انرژی می‌شد (کرکسner، ۲۰۲۵). در سال ۱۹۶۹، محققان مطالعه‌ای برای شرکت کوکاکولا انجام دادند که پایه‌ای برای روش‌های کنونی ارزیابی چرخه عمر محسوب می‌شود (کایز ۲۰۲۱). فرآیند تعیین کیفیت استفاده از منابع و رها کردن محصولات به محیط‌زیست در آمریکا تحت عنوان تحلیل پروفایل زیست‌محیطی و منابع (REPA)^۲ شناخته می‌شود. در اروپا نیز توازن اکولوژیکی نامیده می‌شود. حرکت سبز به‌ویژه تشکیل حزب‌های سیاسی سبز در اروپا، دوباره علاقه به این موضوع را برانگیخته کرد. وقتی مواد زائد جامد تبدیل به یک مسئله جهانی در اواخر دهه ۱۹۸۰ شد، روش ارزیابی چرخه عمر دوباره به‌عنوان ابزاری برای ارزیابی مشکلات زیست‌محیطی مطرح شد (هانت ۱۹۹۲). در سال ۱۹۹۱، نگرانی‌ها درباره استفاده نادرست از ارزیابی چرخه عمر در بازاریابی‌ها توسط سازندگان کالا موجب صدور بیانیه‌ای در آمریکا شد، مبنی بر عدم استفاده از نتایج ارزیابی چرخه عمر برای ترویج کالا تا زمانی که روش‌های یکسانی برای انجام چنین ارزیابی‌هایی توسعه داده شده و نتیجه گرفته شود که این مقایسات زیست‌محیطی به طرز غیر فریبنده در تبلیغات کالا مورد استفاده قرار بگیرد. این عمل، با فشار ناشی از سایر سازمان‌های زیست‌محیطی برای استانداردسازی روش ارزیابی چرخه عمر منجر به توسعه استانداردهای ارزیابی چرخه عمر در سازمان بین‌المللی استاندارد ایزو تحت استانداردهای سری ۱۴۰۰۰ گردید (فینک بینر ۲۰۱۴). در سال ۲۰۰۲، برنامه

۱- Life-Cycle Assessment

۲- Resource and environmental profile analysis

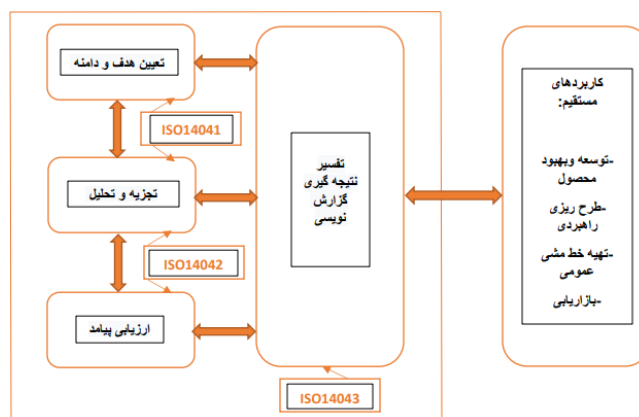
مشخص می‌کند. این قابلیت پیگیری انتقال اثرات زیست‌محیطی می‌تواند به تصمیم‌گیران و مدیران در شناخت ویژگی‌های زیست‌محیطی گزینه‌های محصول یا فرآیند کمک کند (گیبون ۲۰۱۷).

روش ارزیابی چرخه عمر

ارزیابی چرخه عمر یک تکنیک جهت ارزیابی تمام ورودی‌ها و خروجی‌های یک محصول، فرآیند یا خدمات است که شامل داده‌ها و استانداردهای مربوط به فهرست موجودی چرخه عمر، ارزیابی زائدات، اثرات بر بهداشت انسان و اثرات اکولوژیکی (ارزیابی اثر) و تفسیر نتایج ارزیابی (تفسیر چرخه عمر) در طول کل چرخه عمر مورد مطالعه قرار می‌گیرد. دو سازمان بین‌المللی ISO و SETAC ارزیابی چرخه عمر را به‌عنوان یک ابزار مدیریت زیست‌محیطی توسعه داده‌اند. استانداردهای ایزو ۱۴۰۴۰ و ایزو ۱۴۰۴۴، ارزیابی چرخه عمر را در چهار مرحله زیر انجام می‌دهند (کلافر ۲۰۱۲):

- ۱- تعیین هدف و دامنه کاربرد
- ۲- تجزیه و تحلیل لیست موجودی
- ۳- ارزیابی پیامد
- ۴- تفسیر

این فرآیندها به منظور بهبود تصمیم‌گیری‌های مبتنی بر شواهد علمی و کاهش تأثیرات زیست‌محیطی در سراسر صنایع و خدمات، به کار می‌رود و در تدوین استراتژی‌ها و سیاست‌های مدیریت زیست‌محیطی تأثیر چشم‌گیری دارد. در شکل ۱ مراحل این فرآیند نشان داده شده است (فینکنبر ۲۰۲۴):



شکل ۱- مراحل ارزیابی چرخه عمر

محیط‌زیست سازمان ملل متحد (UNEP)^۳ همراه با جامعه سم‌شناسی و شیمی زیست‌محیطی (SETAC)^۴ اقدام به ایجاد Life Cycle Initiative به‌عنوان مشارکت بین‌المللی نمود. سه برنامه از این مشارکت بین‌المللی به ایجاد تفکر چرخه عمر به‌صورت عملی و بهبود ابزارهای پشتیبان از طریق داده‌های بهتر کمک کرد. برنامه مدیریت چرخه عمر^۵ از طریق تولید اطلاعات، ایجاد بازارهای تبادل تجربیات و اجرای برنامه‌های آموزشی در سراسر جهان موجب افزایش آگاهی و بهبود مهارت‌ها در تصمیم‌گیران شد. برنامه فهرست موجودی چرخه عمر دسترسی جهانی به داده‌های چرخه عمر را از طریق میزبانی و تسهیل گروه‌های کارشناسی بهبود داد. برنامه ارزیابی اثر چرخه عمر کیفیت و دسترسی جهانی به شاخص‌های چرخه عمر را از طریق ترویج تبادل دیدگاه‌ها بین کارشناسان افزایش داد (ورونز ۲۰۱۷).

کاربردهای ارزیابی چرخه عمر

کاربردهای اصلی ارزیابی چرخه عمر شامل موارد زیر می‌باشند (فنایس ۲۰۲۲):

- تجزیه و تحلیل منشأ مشکلات مرتبط با یک محصول خاص
- مقایسه پیشرفت متغیرهای یک محصول
- طراحی محصولات جدید
- انتخاب بین چند محصول قابل مقایسه

فواید ارزیابی چرخه عمر

فرآیند ارزیابی چرخه عمر می‌تواند به تصمیم‌گیران در انتخاب محصول یا فرآیند با کمترین اثرات زیست‌محیطی کمک کند. این اطلاعات می‌تواند همراه با سایر فاکتورها نظیر هزینه و عملکرد برای انتخاب محصول یا فرآیند استفاده شود. داده‌های ارزیابی چرخه عمر انتقال اثرات زیست‌محیطی را از یک محیط به محیط دیگر و از یک مرحله چرخه عمر به مرحله دیگر

^۳- United Nations Environment Programme

^۴- Society of Environmental Toxicology and Chemistry

^۵- Life Cycle Management

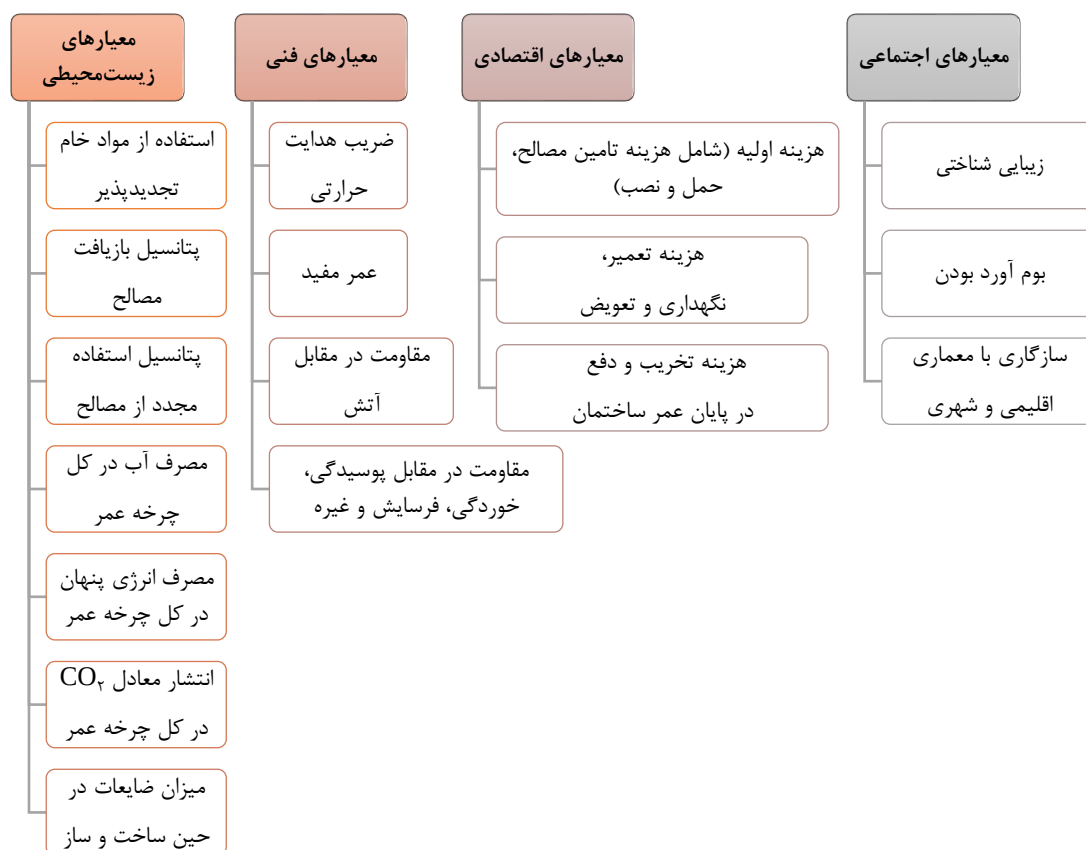
مواد و روش‌ها

در این پژوهش از روش تحقیق تلفیقی شامل فرآیند کیفی و کمی استفاده شد. فرآیند کیفی، به منظور دسته‌بندی و آماده‌سازی اطلاعات و داده‌ها و فرایند کمی، جهت محاسبه و آنالیز انرژی چرخه عمر ساختمان مورد استفاده قرار گرفت. جهت گردآوری اطلاعات از روش ترکیبی استفاده شد. برای آشنایی نسبی با چرخه عمر ساختمان و الزامات آن و مزایا و مشکلات موجود از روش کتابخانه‌ای استفاده شد و همچنین با روش میدانی و با هم‌فکری خبرگان صاحب‌نظران در این رشته، پرسش‌نامه‌ای تنظیم و به اشخاص حقیقی و حقوقی مورد نظر ارسال و پس از دریافت جوابیه پرسشنامه، آنالیز و بررسی بر روی پاسخ‌ها صورت گرفت.

معیارهای ارزیابی پایداری مصالح

با انجام مطالعات به‌صورت کتابخانه‌ای و مرور تحقیقات پیشین، معیارهای ارزیابی مصالح در چهار بعد اقتصادی، اجتماعی، محیط‌زیستی و فنی، در این پژوهش مورد بررسی قرار می‌گیرند. به منظور محاسبه میزان اهمیت هر یک از معیارها در انتخاب

مصالح برای عناصر ساختمان‌های مسکونی، یک پرسشنامه تهیه و در اختیار خبرگان صنعت ساختمان قرار می‌گیرد. خبرگان از میان دانشگاهیان، طراحان و متخصصان صنعت ساختمان، بر اساس تجربه آنها نسبت به ساختمان‌های مسکونی و ساخت‌وساز پایدار انتخاب می‌شوند. از پاسخ‌دهندگان خواسته شد درجه اهمیت نسبی هر یک از معیارها را جهت انتخاب مصالح برای عناصر یک ساختمان مسکونی با توجه به شرایط اقلیمی و اولویت‌های پایداری شهر شیراز و بر اساس طیف لیکرت در مقیاس ۱ تا ۵ امتیاز دهند. در پایان برای رتبه‌بندی معیارها و محاسبه وزن آنها از تحلیل شاخص نسبی^۶ (RI) استفاده می‌شود که به‌عنوان یک رویکرد مطلوب برای ادغام امتیازات متغیرهایی که توسط پاسخ‌دهندگان در یک مقیاس ترتیبی رتبه‌بندی شده‌اند، شناخته شده است. در شکل ۲، معیارهای ارزیابی پایداری مصالح در این پژوهش نشان داده شده است.



شکل ۲ - معیارهای ارزیابی پایداری مصالح

نتایج و بحث

برای بررسی عوامل مد نظر در تحلیل چرخه عمر مصالح از نمونه آماری شامل ۱۰۰ نفر استفاده شده خلاصه نتایج مربوط به آمار توصیفی مسئله در جدول ۱ آورده شده است:

جدول ۱ - آمار توصیفی مسئله تحقیق

جنسیت	فراوانی	درصد	تحصیلات	فراوانی	درصد	سن (سال)	فراوانی	درصد	سنوات (سال)	فراوانی	درصد
مرد	۸۹	۸۹٪	کارشناسی	۳۶	۳۶٪	۲۵ الی ۳۵	۱۹	۱۹٪	کمتر از ۳	۹	۹٪
زن	۱۱	۱۱٪	کارشناسی ارشد	۴۸	۴۸٪	۳۵ الی ۴۵	۳۲	۳۲٪	۳ الی ۵	۲۶	۲۶٪
			دکتری و بالاتر	۱۶	۱۶٪	۴۵ الی ۵۵	۴۱	۴۱٪	۵ الی ۱۰	۴۷	۴۷٪
کل	۱۰۰	۱۰۰٪				بیش از ۵۵ سال	۸	۸٪	بیشتر از ۱۰ سال	۱۸	۱۸٪
			کل	۱۰۰	۱۰۰٪	کل	۱۰۰	۱۰۰٪	کل	۱۰۰	۱۰۰٪

بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها

برای بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها در این تحقیق از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف^۲ استفاده شد. این آزمون، یک آزمون آماری ناپارامتریک است که برای بررسی توزیع داده‌ها استفاده می‌شود. به بیان آماری، آزمون کولموگروف-اسمیرنوف نوعی آزمون نیکوئی برازش برای مقایسه یک توزیع نظری با توزیع مشاهده شده است. هنگام بررسی نرمال بودن داده‌ها ما فرض صفر مبتنی بر اینکه توزیع داده‌ها نرمال است را در سطح

خطای ۵٪ تست شد. بنابراین اگر آماره آزمون بزرگتر مساوی ۰/۰۵ بدست آید، در این صورت دلیلی برای رد فرض صفر مبتنی بر اینکه داده نرمال است، وجود نخواهد داشت. به عبارت دیگر توزیع داده‌ها نرمال خواهد بود. برای آزمون نرمالیت فرض‌های آماری به صورت زیر تنظیم می‌شود:

H0: داده‌ها از توزیع نرمال پیروی می‌کنند.

H1: داده‌ها از توزیع نرمال پیروی نمی‌کنند.

در جدول ۲ خلاصه نتایج مربوط به این آزمون آورده شده است:

جدول ۱ - نتایج مربوط به آزمون کولموگروف اسمیرنوف

متغیر مورد بررسی	آماره آزمون	معناداری آزمون	نتیجه آزمون
معیارهای زیست محیطی	۰/۴۱۴	۰/۲۶	توزیع نرمال داده‌ها
معیارهای فنی	۰/۲۹۷	۰/۰۹۸	توزیع نرمال داده‌ها
معیارهای اقتصادی	۰/۱۱۶	۰/۱۱	توزیع نرمال داده‌ها
معیارهای اجتماعی	۰/۲۹۷	۰/۰۹۸	توزیع نرمال داده‌ها

بررسی فرضیات تحقیق

با توجه به تایید نرمال بودن توزیع داده‌ها امکان استفاده از آزمون‌های پارامتریک برای مسئله فراهم شد در نتیجه به کمک

آزمون t فرضیات مسئله بررسی شد که نتایج آن برای فرضیات تحقیق در جدول ۳ الی ۵ آورده شده است:
فرضیه اول: بخش عمده ای از اتلاف بیش از حد انرژی در بخش ساختمان به دلیل کاربرد نامتناسب مصالح می‌باشد.

جدول ۲ - نتیجه آزمون لون (Levenes Test) و t برای فرضیه اول

معیارها	فرض واریانس	F	Sig (سطح معناداری)	t	آزمون تی (t) برای برابری میانگین‌ها
زیست محیطی	با فرض برابری واریانس‌ها	۳۰/۸۴۶	۰/۰۰	۵/۱۲۶	۰/۰۰۱
فنی	با فرض برابری واریانس‌ها	۸/۷۴۳	۰/۰۲۴	۱/۹۶۵	۰/۰۰۲
اقتصادی	با فرض برابری واریانس‌ها	۵/۶۷۸	۰/۰۰۵	۳/۶۷۴	۰/۰۰
اجتماعی	با فرض برابری واریانس‌ها	۳/۴۱۵	۰/۰۱۳	۱/۸۱۹	۰/۰۴۱

بر اساس جدول ۳ چون Sig مربوط به آزمون لون^۸ در تمامی معیارها با فرض برابری واریانس‌ها، کمتر از ۵٪ می‌باشد، بنابراین فرض برابری واریانس‌ها پذیرفته می‌شود و فرض تحقیق تأیید می‌گردد.

به عبارت دیگر به کارگیری مصالح مناسب سبب کاهش مصرف انرژی در ساختمان می‌گردد.

فرضیه دوم: استفاده از اطلاعات استاندارد در خصوص مصالح قابل بازیافت نقش کلیدی در چرخه عمر آن‌ها ایفا می‌کند.

جدول ۳ - نتیجه آزمون لون و t برای فرضیه دوم

معیارها	فرض واریانس	F	Sig (سطح معناداری)	t	آزمون تی (t) برای برابری میانگین‌ها
زیست محیطی	با فرض برابری واریانس‌ها	۲/۵۸۷	۰/۴۴۱	۱/۴۶۱	۰/۰۵۷
فنی	با فرض برابری واریانس‌ها	۱/۰۹۸	۰/۷۶۵	۲/۲۳۸	۰/۲۰۱
اقتصادی	با فرض برابری واریانس‌ها	۱/۴۲۳	۰/۶۵۸	۲/۷۳۱	۰/۱۱۶
اجتماعی	با فرض برابری واریانس‌ها	۰/۸۹۱	۰/۶۰۹	۱/۶۳۷	۰/۱۰۹

بر اساس جدول ۴ چون Sig مربوط به آزمون لون در تمامی معیارها با فرض برابری واریانس‌ها، بیشتر از ۵٪ می‌باشد، بنابراین فرض برابری واریانس‌ها پذیرفته می‌شود و فرض تحقیق رد می‌گردد. به عبارت دیگر استفاده از اطلاعات استاندارد در خصوص مصالح قابل بازیافت نقش چندانی در چرخه عمر آنها ایفا نمی‌کند.

فرضیه سوم: جایگزین‌های تجدیدپذیر به میزان قابل توجهی از اتلاف انرژی جلوگیری کرده و از نظر زیست‌محیطی وضعیت مطلوب‌تری نسبت به سوخت‌های فسیلی دارند.

جدول ۵ - نتیجه آزمون لون و t برای فرضیه سوم

معیارها	فرض واریانس	F	Sig سطح معناداری	t	آزمون تی (t) برای برابری میانگین‌ها
زیست محیطی	با فرض برابری واریانس‌ها	۳/۴۳۶	۰/۰۱۷	۳/۶۷۱	۰/۰۰۳
فنی	با فرض برابری واریانس‌ها	۲/۸۹۱	۰/۰۰۹	۲/۴۶۹	۰/۰۰۱
اقتصادی	با فرض برابری واریانس‌ها	۲/۱۱۲	۰/۰۰۳	۴/۰۱۲	۰/۰۰۳
اجتماعی	با فرض برابری واریانس‌ها	۱/۰۱۹	۰/۰۳۴	۱/۶۸۱	۰/۰۱۳

بر اساس جدول ۵ چون Sig مربوط به آزمون لون در تمامی معیارها با فرض برابری واریانس‌ها، کمتر از ۵٪ می‌باشد، بنابراین فرض برابری واریانس‌ها پذیرفته می‌شود و فرض تحقیق تأیید می‌گردد. به عبارت دیگر جایگزین‌های تجدیدپذیر به میزان قابل توجهی از اتلاف انرژی جلوگیری کرده و از نظر زیست‌محیطی وضعیت مطلوب‌تری نسبت به سوخت‌های فسیلی دارند.

۸- Levene's Test

تعیین اولویت معیارهای اصلی بر اساس هدف

برای انجام تحلیل سلسله‌مراتبی نخست معیارهای اصلی بر اساس هدف به صورت زوجی مقایسه شده‌اند. تکنیک AHP، یک تکنیک رتبه‌بندی است و رتبه‌بندی در این تکنیک براساس مقایسه‌های زوجی صورت می‌گیرد.

در این پژوهش ۴ معیار اصلی وجود دارد که شامل موارد زیر است:

۱- معیارهای زیست‌محیطی

۲- معیارهای فنی

۳- معیارهای اقتصادی

۴- معیارهای اجتماعی

ماتریس مقایسه زوجی معیارهای فوق در جدول ۶ نشان داده شده است. برای تشکیل ماتریس زوجی معیارها، داده‌های حاصل از پرسش‌نامه را در نرم افزار Expert Choice وارد نموده و اوزان معیارهای اصلی را تعیین نموده و پس از تعیین معیارهای اصلی به رتبه‌بندی زیر معیارهای موجود پرداخته شد (شکل ۳).

جدول ۴ - ماتریس مقایسه زوجی معیارهای اصلی

معیارها	زیست محیطی	فنی	اقتصادی	اجتماعی
زیست محیطی	۱	۱/۳۴۵	۱/۶۳۱	۱/۸۸۷
فنی	۰/۸۱۶	۱	۴/۲۳۰	۱/۲۴۶
اقتصادی	۰/۷۴۵	۲/۱۰۲	۱	۰/۸۸۸
اجتماعی	۰/۵۳۰	۱/۲۱۷	۳/۲۱۴	۱

Priorities with respect to:
Goal: Life cycle of building materials



Inconsistency = 0.05
with 0 missing judgments.

شکل ۱ - اوزان معیارهای اصلی

آمد که چون کوچکتر از ۰/۱ می‌باشد، بنابراین می‌توان به مقایسه‌های انجام شده اطمینان کرد.

رتبه‌بندی معیارها و زیرمعیارهای و تعیین اوزان نهایی آنها
مراحل محاسبات و تعیین وزن معیارها و زیرمعیارها، اوزان نهایی زیرمعیارها با ضرب وزن نسبی آن زیرمعیار در همان خوشه حاصل می‌گردد. نتایج حاصل از رتبه‌بندی معیارها و زیرمعیارهای پژوهش در جدول ۷ ارائه شده است.

پس از ورود داده‌ها در نرم‌افزار Expert Choice، معیار زیست‌محیطی با وزن نرمال شده ۰/۳۹۸ در اولویت اول، معیار اقتصادی با وزن نرمال شده ۰/۲۶۴ در اولویت دوم، معیار فنی با وزن نرمال شده ۰/۲۰۳ در اولویت سوم و در نهایت معیار اجتماعی با وزن نرمال شده ۰/۱۳۵ در اولویت آخر قرار می‌گیرد. همچنین نرخ ناسازگاری مقایسه‌های انجام شده نیز برابر ۰/۰۵ به دست

جدول ۵ - رتبه بندی معیارها و زیرمعیارها و تعیین اوزان نهایی آنها

رتبه	وزن نهایی زیر معیار	وزن زیرمعیار در خوشه	زیرمعیار	وزن معیار	معیار
۳	۰/۰۸۹	۰/۲۲۳	پتانسیل بازیافت مصالح		
۴	۰/۰۸۳	۰/۲۰۹	استفاده از مواد خام تجدیدپذیر		
۵	۰/۰۷۱	۰/۱۷۸	پتانسیل استفاده مجدد از مصالح		
۹	۰/۰۵۶	۰/۱۴۱	میزان ضایعات در حین ساخت و ساز	۰/۳۹۸	زیست محیطی
۱۴	۰/۰۴۰	۰/۱۰۲	مصرف انرژی پنهان در کل چرخه عمر		
۱۵	۰/۰۳۴	۰/۰۸۶	مصرف آب در کل چرخه عمر		
۱۶	۰/۰۲۴	۰/۰۶۱	انتشار معادل CO ₂ در کل چرخه عمر		
۱	۰/۱۱۰	۰/۴۱۶	هزینه اولیه (شامل هزینه تامین مصالح، حمل و نصب)		
۲	۰/۰۹۰	۰/۳۴۴	هزینه تعمیر، نگهداری و تعویض	۰/۲۶۴	اقتصادی
۸	۰/۰۶۳	۰/۲۴۰	هزینه تخریب و دفع در پایان عمر ساختمان		
۷	۰/۰۶۳	۰/۲۹۸	عمر مفید		
۱۰	۰/۰۵۰	۰/۲۴۴	مقاومت در برابر پوسیدگی، خوردگی، فرسایش و غیره	۰/۲۰۳	فنی
۱۱	۰/۰۴۷	۰/۲۳۲	ضریب هدایت حرارتی		
۱۲	۰/۰۴۶	۰/۲۲۷	مقاومت در برابر آتش		
۶	۰/۰۷۰	۰/۵۱۷	سازگاری با معماری اقلیمی و شهری		
۱۳	۰/۰۴۴	۰/۳۳۱	بوم آورد بودن	۰/۱۳۵	اجتماعی
۱۷	۰/۰۲۰	۰/۱۵۲	زیبا شناختی		

با توجه به جدول ۷ اوزان نهایی زیر معیارها و هم‌چنین رتبه‌بندی آن‌ها به‌صورت زیر تعیین گردید. زیرمعیار هزینه اولیه (شامل هزینه تامین مصالح، حمل و نصب) با وزن نهایی ۰/۱۱ در رتبه اول، زیرمعیار هزینه تعمیر، نگهداری و تعویض با وزن نهایی ۰/۰۹ در رتبه دوم، زیرمعیار پتانسیل بازیافت مصالح با وزن نهایی ۰/۰۸۹ در رتبه سوم، زیرمعیار استفاده از مواد خام تجدیدپذیر با وزن نهایی ۰/۰۸۳ در رتبه چهارم، زیرمعیار پتانسیل استفاده مجدد از مصالح با وزن نهایی ۰/۰۷۱ در رتبه پنجم، زیرمعیار سازگاری با معماری اقلیمی و شهری با وزن نهایی ۰/۰۷ در رتبه ششم، زیرمعیار عمر مفید با وزن نهایی ۰/۰۶۳ در رتبه هفتم، زیرمعیار هزینه تخریب و دفع در پایان عمر ساختمان با وزن نهایی ۰/۰۶۳ در رتبه هشتم، زیرمعیار میزان ضایعات در حین ساخت و ساز با وزن نهایی ۰/۰۵۶

در رتبه نهم، زیرمعیار مقاومت در برابر پوسیدگی، خوردگی، فرسایش و غیره با وزن نهایی ۰/۰۵ در رتبه دهم، زیرمعیار ضریب هدایت حرارتی با وزن نهایی ۰/۰۴۷ در رتبه یازدهم، زیرمعیار مقاومت در برابر آتش با وزن نهایی ۰/۰۴۶ در رتبه دوازدهم، زیرمعیار بوم آورد بودن با وزن نهایی ۰/۰۴۴ در رتبه سیزدهم، زیرمعیار مصرف انرژی پنهان در کل چرخه عمر با وزن نهایی ۰/۰۴ در رتبه چهاردهم، زیرمعیار مصرف آب در کل چرخه عمر با وزن نهایی ۰/۰۳۴ در رتبه پانزدهم، زیرمعیار انتشار معادل CO₂ در کل چرخه عمر با وزن نهایی ۰/۰۲۴ در رتبه شانزدهم و زیرمعیار زیباشناختی با وزن نهایی ۰/۰۲ در رتبه هفدهم می‌باشد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

همانطور که ملاحظه می‌شود، معیار زیست‌محیطی به‌عنوان مهم‌ترین عامل از نظر کارشناسان انتخاب شده است. تولید مصالح و احداث ساختمان در سال‌های اخیر، انرژی بسیار زیادی را به خود

اختصاص داده و به آلودگی‌های زیست‌محیطی فراوانی نیز منجر شده است. انتشار گرد و غبار ناشی از عملیات ساختمانی در مناطق مختلف، پخش آلودگی‌های شیمیایی ناشی از تولید مصالح

انتخاب مناسب‌ترین مصالح ساختمانی در طرح‌های مختلف ساخت مسکن، باید مقایسه‌ای توسط کارشناسان مربوط بین خواص مصالح انجام شود. لذا سازمان‌هایی مانند نظام مهندسی و معاونت‌های فنی و مهندسی شهرداری می‌بایست با برگزاری سمینارها و کلاس‌های آموزشی، تلاش نمایند نحوه به‌کارگیری این نوع مصالح را در ساختمان در جامعه مهندسی ترویج دهند.

در بخش اجتماعی نیز می‌توان دریافت که استفاده از مصالح بومی هر منطقه در امر ساختمان‌سازی موجب کاهش خطرات زیست‌محیطی ساخت‌وساز می‌شود. توجه به شرایط و معماری بومی و استفاده از مصالح بومی می‌تواند راهکاری کارآمد برای طراحی ساختمان‌هایی با کارایی بالا و حداقل آسیب زیست‌محیطی باشد. احیای دانش بومی و ترکیب آن با فناوری‌های مدرن، نه تنها به حفظ هویت فرهنگی کمک می‌کند، بلکه تأثیرات زیست‌محیطی معماری را نیز کاهش می‌دهد. سیاست‌گذاران، معماران، و جامعه باید با همکاری یکدیگر به سمت توسعه معماری بومی و استفاده از مصالح پایدار حرکت کنند تا به‌طور هم‌زمان به اهداف اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی دست یابند.

با توجه به اولویت‌های پایداری در ایران، ارائه رویکردی به منظور بهینه‌سازی مصرف آب در مراحل مختلف چرخه عمر ساختمان و به‌خصوص مرحله عملیاتی برای رسیدن به یک راه‌حل پایداری در طراحی ساختمان، کمک بسیاری خواهد کرد. ارزیابی اثرات زیست‌محیطی و اقتصادی چرخه عمر پروژه و ادغام ارزیابی چرخه عمر با مدل‌سازی اطلاعات ساختمان نیز از دیگر راهکارهایی است که می‌تواند به بهبود چرخه عمر مصالح کمک کند. تدوین سند و استاندارد جامع ارزیابی ساختمان با توجه به ابزارهای بین‌المللی ارزیابی ساختمان‌های پایدار، با در نظر گرفتن چرخه عمر و مسائل مربوط به پایداری اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی در مورد ساختمان‌های مسکونی ایران نیز از دیگر مواردی است که سبب ارتقاء وضعیت چرخه عمر مصالح و بهبود وضعیت زیست‌محیطی آن می‌شود.

ساختمانی، آلودگی‌های گازی و ذرات معلق پخش شده در هوا که ناشی از حمل‌ونقل مصالح ساختمانی به محل‌های مورد نظر است و نیز تولید زباله‌های ساختمانی از جمله موارد عمده آلودگی‌های زیست‌محیطی تحت تأثیر صنعت ساختمان می‌باشد. مصالح ساختمانی سازگار با محیط‌زیست یکی از مواردی است که باعث افزایش بهره‌وری انرژی مصرفی شده و تأثیرگذاری کم‌تری بر رفاه انسان و محیط‌زیست دارد. درخصوص معیارهای اقتصادی استفاده از مصالح نوین ساختمانی به‌عنوان یک راهکار کلیدی مطرح می‌شود که می‌تواند به‌طور قابل توجهی هزینه‌های پروژه‌های ساختمانی را کاهش دهد. با پیشرفت تکنولوژی، مصالح نوین با ویژگی‌های منحصر به فردی مانند وزن سبک‌تر، مقاومت بیشتر، عایق‌بندی بهتر و سرعت نصب بالاتر به بازار عرضه شده‌اند. استفاده از مصالح نوین نه تنها به کاهش هزینه‌های مستقیم ساخت‌وساز کمک می‌کند، بلکه مزایای دیگری نیز به همراه دارد. این مزایا شامل کاهش زمان ساخت، کاهش مصرف انرژی در طول عمر ساختمان، کاهش ضایعات مصالح و افزایش کیفیت و دوام ساختمان می‌شود. به همین دلیل، شناخت و استفاده از مصالح نوین برای فعالان صنعت ساختمان امری ضروری به نظر می‌رسد. استفاده از مصالح نوین در ساخت‌وساز، اگرچه مزایای بسیاری به همراه دارد، نیازمند توجه به نکات مهمی است تا بتوان از این مزایا به‌طور کامل بهره‌مند شد. این نکات شامل مواردی از قبیل بررسی دقیق مشخصات و ویژگی‌های مصالح نوین، مطابقت با استانداردهای ملی و بین‌المللی، آموزش و تربیت نیروی کار متخصص جهت استفاده صحیح از این مصالح، بررسی سازگاری مصالح نوین با سایر مصالح ساختمانی برنامه‌ریزی دقیق و مدیریت پروژه، توجه به شرایط آب‌وهوایی و محیطی، بررسی هزینه‌های چرخه عمر مصالح و در نظر گرفتن ملاحظات زیست‌محیطی می‌باشد.

در بخش معیار فنی، مقاومت ساختمان ساخته شده با مصالح تجدیدپذیر در برابر زلزله، خوردگی و دوام مصالح و نیاز به دانش و تجربه کافی درخصوص آشنایی با مصالح نوین و همچنین نحوه به‌کارگیری آن‌ها در ساختمان دارد. برای تصمیم‌گیری در مورد

Reference

1. Zhukovskiy, Y. L., Batueva, D. E., Buldysko, A. D., Gil, B., & Starshaia, V. V. (2021). Fossil energy in the framework of sustainable development: analysis of prospects and development of forecast scenarios. *Energies*, 14(17), 5268.
2. Bilgili, F., & Bağlıtaş, H. H. (2022). The dynamic analysis of renewable energy's contribution to the dimensions of sustainable development and energy security. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(50), 75730-75743.
3. Barbhuiya, S., & Das, B. B. (2023). Life Cycle Assessment of construction materials: Methodologies, applications and future directions for sustainable decision-making. *Case Studies in Construction Materials*, 19, e02326.
4. Fathollahi, A., & Coupe, S. J. (2021). Life cycle assessment (LCA) and life cycle costing (LCC) of road drainage systems for sustainability evaluation: Quantifying the contribution of different life cycle phases. *Science of the Total Environment*, 776, 145937.
5. Younis, A., & Dodoo, A. (2022). Cross-laminated timber for building construction: A life-cycle-assessment overview. *Journal of Building Engineering*, 52, 104482.
6. Idzikowski, A., & Walichnowska, P. (2022). The management of the technological process of a product on the example a shrink film in the aspect life cycle assessment. *System Safety: Human-Technical Facility-Environment*, 4(1), 1-9.
7. Krexner, T., Obriejetan, M., Bauer, A., & Kral, I. (2025). Comparative environmental life cycle assessment of urban green spaces and design elements—A case study in Vienna. *Landscape and Urban Planning*, 259, 105363.
8. Cays, J., & Cays, J. (2021). life cycle assessment. *An Environmental Life Cycle Approach to Design: LCA for Designers and the Design Market*, 79-101.
9. Hunt, R. G., Sellers, J. D., & Franklin, W. E. (1992). Resource and environmental profile analysis: A life cycle environmental assessment for products and procedures. *Environmental Impact Assessment Review*, 12(3), 245-269.
10. Finkbeiner, M. (2014). The international standards as the constitution of life cycle assessment: the ISO 14040 series and its offspring. *Background and future prospects in life cycle assessment*, 85-106.
11. Verones, F., Bare, J., Bulle, C., Frischknecht, R., Hauschild, M., Hellweg, S., ... & Fantke, P. (2017). LCIA framework and cross-cutting issues guidance within the UNEP-SETAC Life Cycle Initiative. *Journal of cleaner production*, 161, 957-967.
12. Fnais, A., Rezgui, Y., Petri, I., Beach, T., Yeung, J., Ghoroghi, A., & Kubicki, S. (2022). The application of life cycle assessment in buildings: challenges, and directions for future research. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 27(5), 627-654.
13. Gibon, T., Arvesen, A., & Hertwich, E. G. (2017). Life cycle assessment demonstrates environmental co-benefits and trade-offs of low-carbon electricity supply options. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 1283-1290.
14. Klöpffer, W. (2012). The critical review of life cycle assessment studies according to ISO 14040 and 14044: origin, purpose and practical performance. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 17, 1087-1093.
15. Finkbeiner, M. (2014). The international standards as the constitution of life cycle assessment: the ISO 14040 series and its offspring. *Background and future prospects in life cycle assessment*, 85-106.



Life Cycle Assessment Methods for Building Materials Using the Circular Assessment Framework and Renewable Alternatives

Mohammad Bahrami Kia

Master of Science in Civil Engineering, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran

Mohammad Amir Sherafati*

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran

Alireza Vali Poor

Associate Professor, Department of Civil Engineering, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran

Extended Abstract

Received: 28 Jan 2025

Accepted: 13 Mar 2025

Keywords: Life cycle of building materials, Circular Assessment Framework, Renewable alternatives

Introduction: Due to increasing environmental concerns, reducing energy consumption rates and the destructive environmental impacts in the construction industry, it has become one of the design and implementation priorities in the architecture, engineering and construction industries. Life cycle assessment of renewable energy sources is a key factor in the sustainable development of countries. Conducting life cycle assessment of renewable energy systems is based on the local conditions of these sources, therefore, an energy source cannot be a sustainable development option for all geographical areas due to changes in available resources, climate, environment, economic and social conditions, politics, etc. Therefore, life cycle assessment can be used as a tool to identify the possibility of sustainable development of different energy sources and different situations.

Materials and Methods: In this study, the life cycle of building materials was examined using a circular assessment framework and renewable alternatives. This study was conducted with the aim of investigating the factors affecting the life cycle of buildings. By reviewing the literature on the subject, the factors affecting the life cycle of materials were divided into four categories: environmental factors, economic factors, technical factors, and social factors. To investigate the factors considered in the life cycle analysis of materials, a statistical sample of 100 people was used and these factors were evaluated and measured using a questionnaire. The normality of the data distribution was examined using statistical analysis and the research hypotheses were examined using a t-test.

Results and Discussion: The results of this study showed that using appropriate materials reduces energy consumption in buildings and renewable alternatives significantly prevent energy waste, but the role of standard information about recyclable materials in their life cycle was not proven. Among the factors studied, the environmental factor with a weight of 0.398 was the most important, and the economic, technical and social factors were ranked next with weights of 0.264, 0.203 and 0.135, respectively.

Conclusion: Considering the sustainability priorities in Iran, presenting an approach to optimize water consumption in different stages of the building life cycle, especially the operational stage, will be of great help in achieving a sustainable solution in building design. Assessing the environmental and economic impacts of the project life cycle and integrating life cycle assessment with building information modeling are other solutions that can help improve the life cycle of materials. Developing a comprehensive building assessment document and standard, based on international sustainable building assessment tools, taking into account the life cycle and issues related to economic, environmental, and social sustainability in the case of residential buildings in Iran, are also other measures that will improve the life cycle of materials and improve their environmental status.

Corresponding author: Mohammad Amir Sherafati

Address: Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Shiraz

Tel: +989173870014

Email: MA.Sherafati@iau.ac.ir

Citation: Bahrami Kia M, Sherafati MA, Vali Poor A. Life Cycle Assessment Methods for Building Materials Using the Circular Assessment Framework and Renewable Alternatives. Journal of New Researches in Environmental Engineering. 2025; 2(8): 53-63.



© 2024, This article published in Journal of New Researches in Environmental Engineering (JNREE) as an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>). Non-commercial use, distribution and reproduction of this article is permitted in any medium, provided the original work is properly cited.