دریافت: ۲۷ خرداد ۱۴۰۳ تاریخ پذیرش: ۲۳ آذر ۱۴۰۳ صفحات ۹۱ الی ۱۱۷

ارزیابی پوسته ساختمان های مسکونی میان مرتبه از دیدگاه ارزیابی چرخه عمر ساختمان در شهر تهران با رویکرد انتشار کربن مصالح رایج و جاذب کربن

امیرحسین جانزاده
دانشجوی دکتری دانشگاه ازاد اسلامی واحد قزوین (نویسنده مسئول)
amirhosein.janzadeh@gmail.com

دکتر ساسان مرادی
استادیاز دانشگاه ازاد اسلامی واحد قزوین
ssn.arc.95@gmail.com

دکتر مریم ارمغان
استادیار دانشگاه ازاد اسلامی واحد قزوین
maryam.armaghan@gmail.com

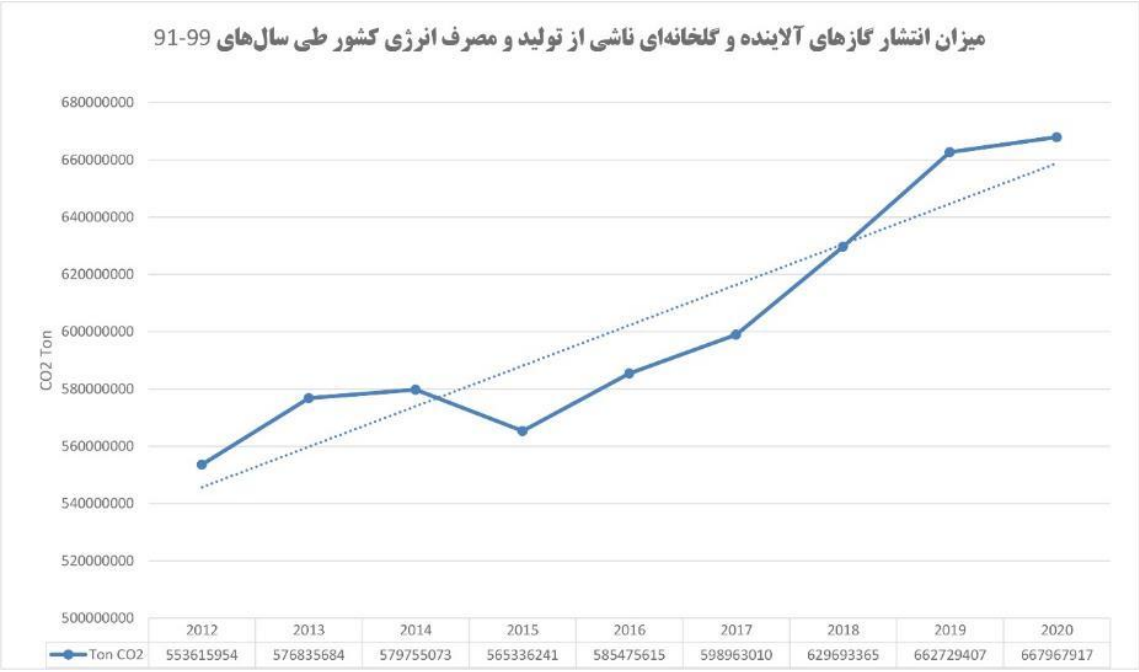
چکیده: طراحی پوشش های ساختمانی پایدار مستلزم تجزیه و تحلیل عملکردهای محیطی در هر مرحله از چرخه عمر آنها است. فاز تولید مصالح و اجزای ساختمانی در کنار فرآیند ساخت و بهره برداری می تواند به میزان قابل توجهی در تعیین میزان انتشار دی اکسید کربن، مصرف انرژی کل و بارهای زیست محیطی ساختمان ها موثر باشد. با این حال، سیستم‌های نما در ایران مانند سیستم‌های رایج ساخت و ساز در بخش پوسته ساختمان معمولاً با در نظر گرفتن جنبه‌های مربوط به چرخه عمر آنها طراحی نمی‌شوند. علاوه بر این، هنوز مطالعات کمی در مورد بهینه‌سازی و اثر ترکیبی ویژگی‌های طراحی مختلف پوسته های ساختمانی بر عملکردهای محیطی و انرژی وجود دارد. در این مطالعه بر پایه روش توصیفی و تحلیلی و شبیه سازی علی تلاش شده است تا چهار نوع از مصالح رایج در ساخت و ساز ایران به همراه دیوار بلوک بتن کنفی به عنوان مصالح جاذب کربن از منظر میزان انتشار کربن در مرحله ساخت و بهره برداری ارزیابی شود. برای این منظور از ابزار شبیه سازی دیزاین بیلدر و هم چنین ابزار تحلیل انتشار کربن One Click LCA استفاده شده است. نتایج نشان می دهد که میزان انتشار کربن کل در مراحل (A1-A3,A5,B6) برای دیوار ساخته شده از بلوک لیکا کمترین و برا ی دیوار ساخته شده از بلوک سفالی بیشترین است که اگر میزان جذب کربن دیوار بلوک بتن کنفی در طول چرخه عمر در نظر گرفته شود این دیوار می تواند کمترین انتشار را در میان پنج نوع دیوار انتخاب شده داشته باشد.

کلمات کلیدی: ارزیابی چرخه عمر، انتشار کربن، ساختمان های مسکونی، نمای ساختمان، مصالح رایج، مصالح جاذب کربن

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-08-13]

۱-مقدمه

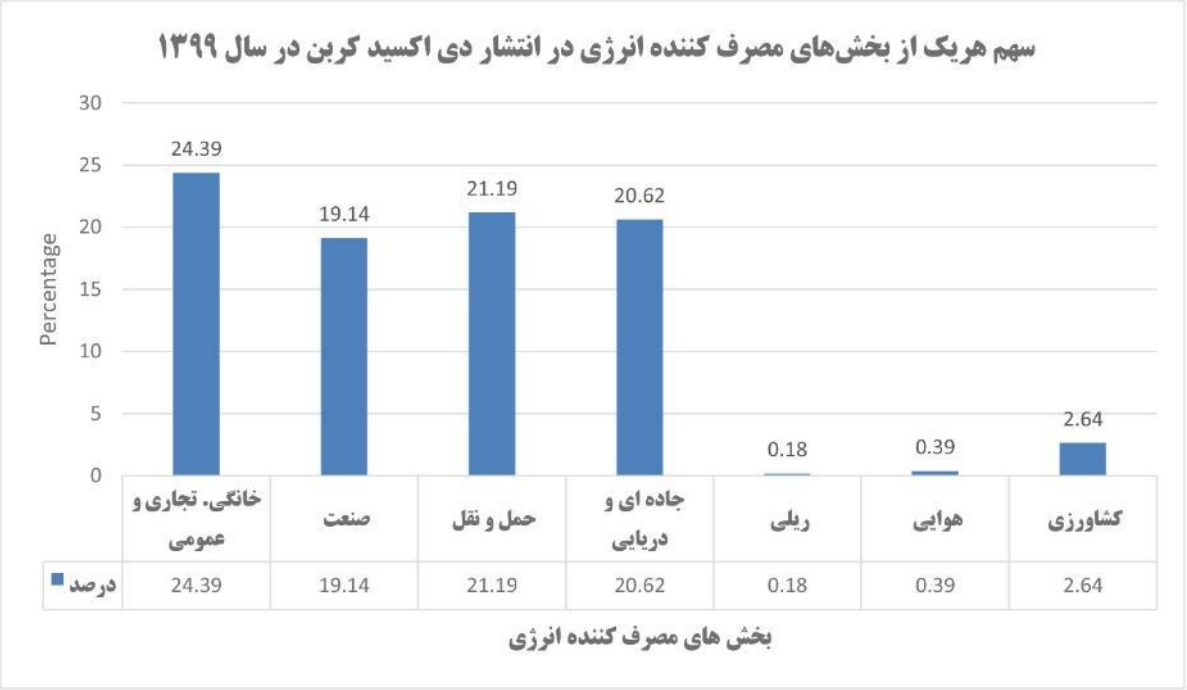
بحران آب و هوایی در حال ظهور باعث ایجاد تغییرات سریع و اساسی در بسیاری از مناطق جهان شده است. در این میان محیط ساخته شده به دلیل انتشار حدود ۴۰٪ از گازهای گلخانه ای جهانی نقش مهمی را در تغییرات اقلیمی ایفا می کند (World GBC, 2019). و ظرفیت زیادی نیز برای بهبود دارد (UKGBC, 2015). در ایران نیز مصرف بیش از اندازه سوخت های فسیلی و عدم توجه کافی به مصرف بهینه و منابع تجدید پذیر در بخش انرژی، قرار گرفتن کشور در کمربند خشک جهان و هم چنین ناترازی و کمبود انرژی علاوه بر ایجاد خطر کمبود منابع، سبب آلودگی هوا، آب و خاک شده است، که این مهم اگر به صورت وسیع و گسترده و با نظارت منظم و دقیق مدیریت نشود در آینده ای نه چندان دور کشور را در معرض آسیب های جدی و جبران ناپذیر قرار خواهد داد و حیات، سلامت و امنیت آن را تهدید خواهد کرد. مطابق آمار ارائه شده آژانس المللی انرژی سال 2023، ایران ششمین کشور از منظر تولید دی اکسید کربن در جهان پس از چین، امریکا، هند، روسیه و ژاپن است. (شکل ۱)(https://www.iea.org/countries/Iran/). نمودار زیر تغییرات میزان خروجی دی اکسید کربن در ایران طی سال های 2012 تا ۲۰۲۰ را نشان می دهد. به علاوه مطابق با آمار ترازنامه انرژی ایران (تراز نامه انرژی ایران، ۱۳۹۹) از میان بخش های مصرف کننده انرژی در کشور، بخش ساختمان ها (خانگی، تجاری و عمومی) بیشترین سهم را در رابطه با انتشار دی اکسید کربن به خود اختصاص داده اند. (شکل ۲). در این میان ساخت وساز ساختمان ها اثر بسیار مهمی بر محیط زیست نیز دارد (Dodman, 2017). اثرات مستقیم به مصرف مواد، انرژی و زمین مورد استفاده برای ساخت و ساز ساختمان ها مربوط می شود. اثرات غیرمستقیم ساخت و ساز ساختمان نیز شامل انرژی مورد نیاز برای بهره برداری و نگهداری سازه ها در طول عمر آن، اثرات مکان ساختمان و توسعه مستمر چشم انداز شهری است (Lall et al, 1991, Labonnote et al, 2016).



شکل ۱: میزان انتشار دی اکسید کربن در ایران بین سال های ۲۰۱۲ تا ۲۰۲۰، (ترازنامه انرژی ایران، ۱۳۹۹).

https://www.iea.org/countries/Iran/

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-08-13]



شکل ۲: سهم هریک از بخش‌های مصرف کننده انرژی در انتشار دی اکسید کربن در سال ۱۳۹۹

اثرات زیست محیطی و مصرف انرژی ساختمان ها بر اساس نوع و مقدار مواد استفاده شده متفاوت است (Alshamrani, 2021). مهمترین عواملی که تأثیر زیست محیطی مواد را تعیین می کند، روش تولید آنها و روش تحویل و جابجایی آنها است (Atkinson-Palombo, 2010). در این زمینه بخش ساختمان می‌تواند از طریق به کارگیری ارزیابی‌های چرخه عمر[1]، برای کاهش اثرات زیست‌محیطی بهینه شود (Asdrubali, et al, 2009).

ارزیابی چرخه حیات عمر ابزاری برای ارزیابی اثرات زیست محیطی بالقوه از مرحله استخراج و تولید مواد، ساخت و ساز، فاز بهره برداری تا تصفیه زباله و پایان عمر محصول است (Curran, 2013). ارزیابی چرخه عمر ساختمان[2] یک روش تحلیل علمی است که برای تعیین میزان اثرات زیست محیطی یک ساختمان در طول عمر آن مورد استفاده قرار می گیرد. این روش به منظور اندازه گیری و کاهش "کربن ساخت[3]"، کربن دوره بهره برداری[4]" و "کربن کل[5]" در نظر گرفته می شود. هم چنین این روش اغلب جهت دستیابی به انواع گواهینامه های مرتبط با ساختمان سبز نظیر LEED و BREEAM می باشد. به گفته ویلچس و همکاران (Vilches et al, 2017)، برای دستیابی به هدف کاهش انتشار دی اکسید کربن، یک رویکرد چرخه عمر برای جزئیات ردپای کربن در ساختمان ها و استراتژی کاهش کربن امکان پذیر مورد نیاز است. به طور کل می توان گفت ارزیابی چرخه عمر یکی از بهترین ابزارها برای ارزیابی اثرات زیست محیطی در تمام مراحل ساختمان است (Schlanbusch et al, 2016). به طور کل تخمین زده می شود که در بخش ساختمان مرحله ساخت (از گهواره تا دروازه) چیزی حدود ۱۰ تا ۳۰ درصد و مرحله بهره برداری رقمی معادل ۷۵ تا ۹۰ درصد انتشار کل کربن چرخه عمر را شامل می شود (Zhang, 2018, Robert, 2020). و از آنجایی که به طور خاص، نمای ساختمان ها بین ۶۰ تا ۷۰ درصد از انتقال حرارت بین محیط داخلی و خارجی را تشکیل می دهند (Han et al., 2015). و هزینه یک نما یک چهارم کل هزینه ساخت را تشکیل می دهد (Kovacic et al.,

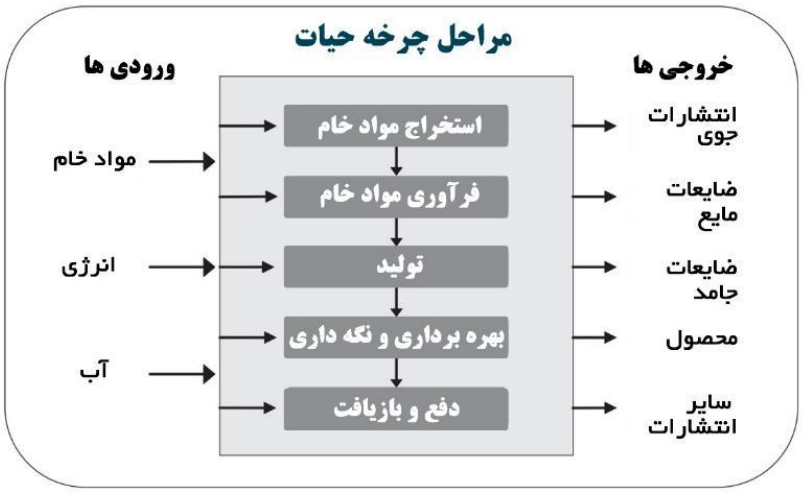
[1] Life Cycle Assessment: LCA
[2] Building LCA
[3] Embodied carbon
[4] Operational carbon
[5] Whole-life carbon (WLC)

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-08-13]

2015)، و هم چنین مصالح مورد استفاده درایران اغلب مصالحی با انتشار کربن ساخت بالا هستند، این پژوهش به بررسی تأثیرات پوشش بیرونی ساختمان را از منظر ارزیابی چرخه عمر در دو بخش کربن ساخت و کربن بهره برداری می پردازد. از این رو در این پژوهش گزینه های مختلف جهت پوشش نمای یک ساختمان مسکونی در شهر تهران با استفاده از مصالح گوناگون رایج و در عین حال منطبق با مبحث ۱۹ در کنار یک نوع مصالح جاذب کربن با رویکرد ارزیابی چرخه عمر ساختمان در دو بخش انتشار کربن نهان (ساخت) و انتشار کربن عملیاتی (دوران بهره برداری) مورد بررسی قرار گرفته اند تا از این مجرا بتوانند الگویی جهت اهتمام و توجه به بحث های زیست محیطی ساختمان ها را ایجاد کند.

2-1-ارزیابی چرخه عمر چیست؟

ارزیابی چرخه عمر به عنوان ابزاری جهت تعیین و ارزیابی اثرات محیطی یک محصول یا فرآیند خاص، از جمله اثرات مرتبط با فرآیندهای بالادستی در زنجیره تامین استفاده می‌شود (Curran, 1993). از این ابزار برای تجزیه و تحلیل تاثیرات زیست محیطی در کل چرخه عمر محصول یا فرآیند مورد مطالعه، از استخراج مواد خام از زمین تا دفع نهایی یا بازیافت محصول در پایان عمر مفید آن، استفاده می شود. اثرات زیست محیطی در طول چرخه عمر هر محصول یا فرآیند را می توان به ورودی ها و خروجی های مربوط به سیستم محصول مرتبط کرد. این ورودی ها و خروجی ها شامل مواد خام استخراج شده از زمین. مصرف انرژی و آب؛ انتشار در هوا، زمین و آب؛ زباله های جامد؛ محصولات مشترک؛ و سایر نسخه ها می باشد (شکل۳).



شکل 3: مراحل چرخه عمر یک مجصول (Curran, 1993)

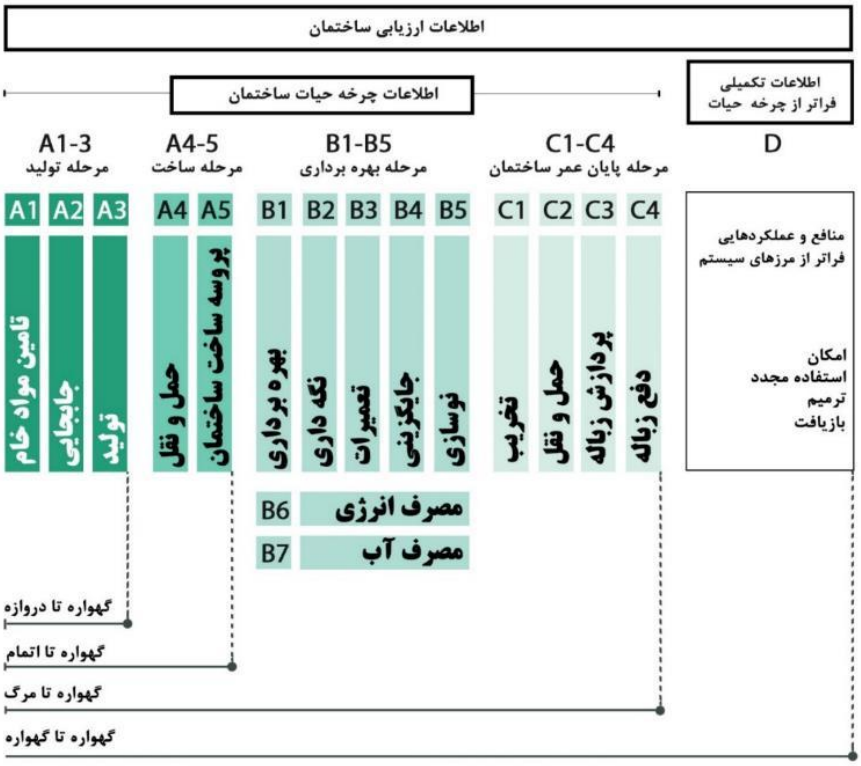
به طور کل ارزیابی چرخه عمر(LCA) به عنوان ابزاری کارآمد برای اندازه‌گیری پروفایل‌های زیست‌محیطی و انرژی ساختمان‌ها با محاسبه پایداری انرژی و مواد در طول عمر یک ماده در رابطه با محیط آن در نظر گرفته می‌شود (Asif et al., 2007). ارزیابی چرخه عمر (LCA) یک روش تثبیت شده برای ارزیابی طیف وسیعی از اثرات زیست محیطی در تمامی مراحل تولید، استفاده و دفع نهایی محصولات است (McManus, M. C., & Taylor, 2015. BS EN ISO 14040).

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-08-13]

۱-۳-ارزیابی چرخه عمر ساختمان در طول طراحی ساختمان

کاربرد LCA در محیط ساخته شده در ۱۵ سال گذشته پس از انتشار ISO 14040 و اخیراً EN 15978 که متدولوژی LCA را برای ساختمان ها توصیف می کند، جذابیت قابل توجهی پیدا کرده است (Anand & Amor, 2017). با این حال، همانطور که از مطالعات میکس و همکاران (Meex et al, 2018) و هم چنین ساندرز و همکاران (Saunders et al, 2013)، مشهود است، LCA همچنان با موانعی جهت کاربرد گسترده خود در صنعت مواجه است که تا حدی به این دلیل است که ارزیابی چرخه عمر با استفاده از روش های معمول می‌تواند زمان‌بر باشد و به مقادیر گسترده‌ای از اطلاعات نیاز داشته باشد (Jusselme et al, 2020). به این معنی که به طور کلی پس از نهایی شدن طراحی انجام می‌شود (Hakkinen et al, 2015)، که معمولاً برای کمک به طراحان مجرب در انتخاب راه حل های طراحی با کمترین تأثیر زیست محیطی استفاده نمی شود. مطالعات لم و همکاران (Lame et al, 2017)، نشان می‌دهد که رویکرد واکنشی به ارزیابی زیست‌محیطی در صنعت رایج‌ترین است، یعنی ارزیابی پس از تکمیل راه‌حل طراحی انجام می‌شود، بنابراین ارزیابی به طرح واکنش نشان می‌دهد یا به آن پاسخ می‌دهد. به طور کل پیاده‌سازی LCA در مراحل اولیه طراحی، بیشترین پتانسیل را برای هدایت طراحی به سمت راه‌حل‌های مبتنی بر محیط‌زیست دارد (UKGBC, 2017 & BSI, 2016).با این حال، در مراحل اولیه طراحی به دلیل سطح بالاتر عدم قطعیت و فقدان مشخصات دقیق ممکن است تحلیل ها به صورت کامل منجر به نتایج قطعی نشوند (Hakkinen et al, 2015, Jusselme et al, 2020) . مصرف انرژی در ساختمان ها در دو بخش مهم طبقه بندی می شود که شامل انرژی نهان (تجسم یافته یا ساخت) و انرژی بهره برداری یا عملیاتی است. انرژی نهان انرژی است که در فرآیند های مختلف مرتبط با مصالح از قبیل فرآیندهای تولید، نصب در محل، و تخریب و دفع نهایی استفاده می شود. انرژی بهره برداری اما شامل انرژی مصرف شده برای حفظ آسایش دمایی در محیط داخلی از طریق فرآیندهایی مانند گرمایش و سرمایش همراه با روشنایی و وسایل کاربردی است (Dixit et al, 2010). اثرات تجسم یافته (نهان) در مراحل مختلف در طول چرخه عمر یک ساختمان رخ می دهد. ته و همکاران (Teh et al, 2015) تأثیرات تجسم یافته را بر حسب تأثیرات تجسم یافته اولیه، تأثیرات تجسم یافته مکرر، و تأثیرات تجسم یافته تمام عمر، تعریف می کند. همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده است، مراحل چرخه عمر ساختمان را می توان به ماژول های تعریف شده توسط EN 15978، که شامل تولید مواد (A1-A3)، شیوه های ساخت و ساز (A4-A5)، استفاده از ساختمان (B1-B7)، پایان عمر ساختمان (C1-C4) و هرگونه مزایا یا بارهایی که فراتر از چرخه عمر ساختمان رخ می دهد (D) هستند، ترسیم کرد (ISO, BS-EN 15978).

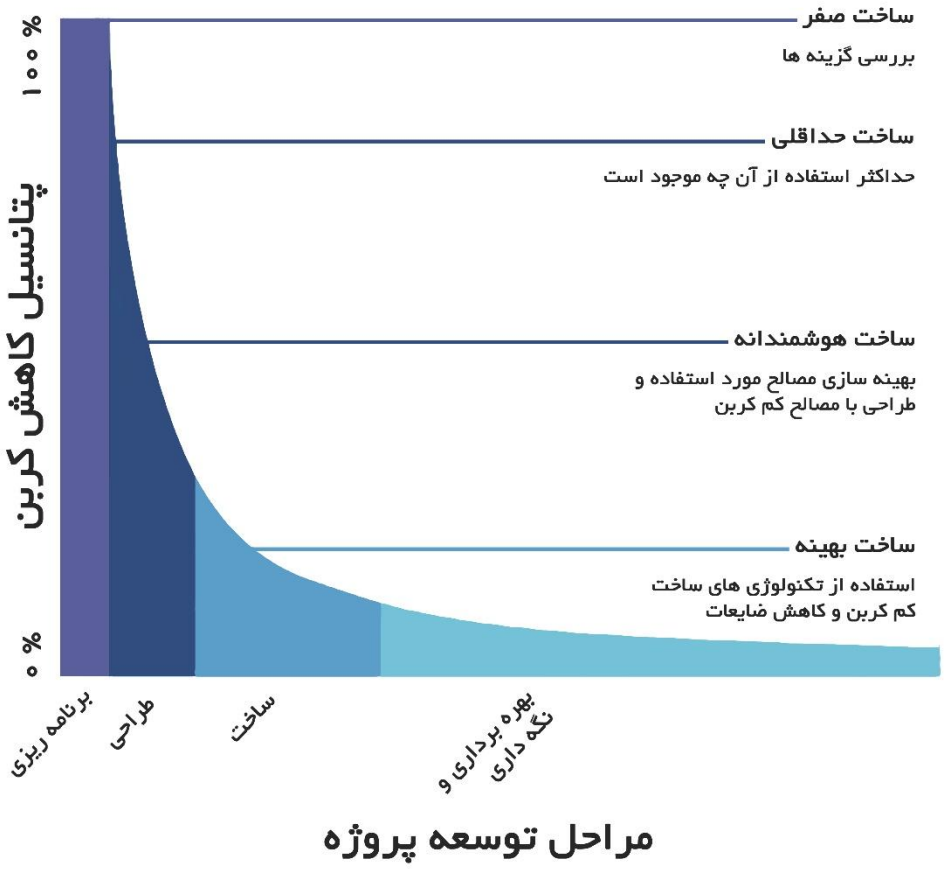
[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-08-13]



شکل ۴: مراحل چرخه عمر ساختمان (One Click LCA, 2021)

طراحان می توانند اثرات چرخه عمر را با انتخاب مواد با تاثیرات کم محیطی و بهینه سازی طراحی ساختمان ها کاهش دهند. بنابراین پرداختن به انتشارات اولیه یا همان کربن ساخت از ابتدای فرآیند می تواند تاثیر قابل توجهی داشته باشد (Giesekam, et al, 2018). بنابراین، طراحان این پتانسیل را دارند که تا حد زیادی بر اثرات محیطی طرح های خود تأثیر بگذارند. توانایی کاهش اثرات اولیه و کل عمر، بدون متحمل شدن زمان یا هزینه های سنگین، با پیشرفت طرح کاهش می یابد (Treasury, 2013). (شکل ۵).

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-08-13]



شکل ۵: میزان پتانسیل کاهش کربن در مراحل مختلف ساخت وتوسعه یک پروژه (One Click LCA,2021)

۱-۴- ارزیابی چرخه عمر ساختمان در فاز های مختلف یک پروژه

یک ساختمان تا مرحله بهره برداری چندین مرحله را طی می کند که عبارت است از: طراحی مفهومی، طراحی جزئیات، ساخت و ساز و تداراکات مرتبط و فاز بهره برداری. سطح جزئیات مورد نیاز برای انجام محسابات مرتبط با چرخه حیات ساختمان به داده های موجود در هر مرحله بستگی دارد. یک پایش جهت LCA به طور معمول در مرحله طراحی برای شناسایی داده های مرتبط با مصالح و عناصر ساختمان انجام می‌شود. یک LCA مقایسه ای را نیز به منظور مقایسه دو ساختمان با هم می توان در مرحله طراحی جزئیات انجام داد تا از داده های دقیق تر و مرتبط تری برای انتخاب بهترین گزینه های طراحی استفاده نمود. اما دقیق ترین LCA پس از مرحله ساخت و با استفاده از اطلاعات واقعی و دقیق مربوط به مواد انجام می شود. (شکل ۶)

۲- پیشینه پژوهش

در نظر گرفتن چشم انداز چرخه حیات ساختمان می تواند از تصمیم گیری در جهت پایداری محیط ساخته شده حمایت کند (Kjær, et al, 2015). در سال های اخیر توجه روزافزونی به اثرات زیست محیطی محیط ساخته شده نسبت داده شده است. این توجهات هم در قالب تحقیقات دانشگاهی و هم در قالب ابتکارات صنعتی است.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-08-13]

شکل۶: مراحل ساخت یک پروژه با توجه به فرآیند مرتبط با آن در چرخه حیات ساختمان (One Click LCA,2021)

در بخش مطالعات آکادمیک، ژنگ و چاینی تاکید کردند که تعداد سالانه انتشارات متمرکز بر ساختمان ها و کربن انتشار یافته از آن ها از چهار مورد در سال ۲۰۰۵ به ۷۶ مورد در سال ۲۰۱۵ افزایش یافته است (Zeng & Chini, 2017). ژنگ و چاینی مقالات منتشر شده ازسال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۵ را بررسی کردند و تأکید کردند که بیشتر مطالعات فقط انتشارات از گهواره به دروازه[6] را در نظر گرفته اند. انتشار از گهواره به دروازه تمام انتشارات کربن تا مرحله آماده سازی در کارخانه برای مصرف در ساختمان را در نظر میگیرد (Wolf et al., 2016). فنر و همکاران (Fenner et al., 2018)، روش‌های فعلی ارزیابی انتشار کربن یک ساختمان را بررسی و تاکید کردند که این روش های مختلف با یکدیگر سازگار نیستند، و مانع از مقایسه نتایج می‌شوند. هم چنین، نودو و آنومبا (Nwodo and Anumba, 2019)، مقالات متمرکز بر ارزیابی چرخه عمر ساختمان های مسکونی منتشر شده از سال ۱۹۹۰ تا آوریل ۲۰۱۹ را بررسی کردند. این بررسی چالش های کلیدی مانع استفاده از LCA از جمله تناقضات در طول عمر، عدم قطعیت و تعهدات زمانی را برجسته می کند.

با توجه به هدف این پژوهش، انواع مختلفی از مصالح را می توان برای ساخت ساختمان های بهینه در مصرف انرژی استفاده کرد، اما به طور کل مطالعات محدودی وجود دارد که چرخه عمر را در زمینه ساختمانی و در زمینه مصالح مختلف آن از منظر انرژی کارایی و کاهش تولید گازهای گلخانه ای و مقایسه آن با مصالح معمول بررسی کرده باشد (Pacheco and Jalali, 2011). به عنوان مثال، الشمرانی و الشیبانی یک فرآیند تصمیم سازی را توسعه دادند که به هیئت مدیره مدارس در انتخاب سازه و مصالح ساختمان مدارس کمک می کند. این سیستم پشتیبانی شامل سیستم های مدولار و سنتی در مدرسه بر اساس ارزیابی چرخه عمر است. این سیستم بر اساس تجزیه و تحلیل ۱۴ نمونه مختلف، از جمله موارد رایج و پایدار، توسعه یافته است. این مطالعه نشان داد که

[6] Gradle to Gate

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-08-13]

بیشترین میزان انتشار در بخش رایج مربوط به سیستم‌های سازه‌های فولادی است، در حالی که کمترین انتشار مربوط به سیستم‌های بتنی پیش ساخته است. همچنین دریافتند که انتشار را می توان با ساخت سیستم های پایدار در مقایسه با گزینه معمولی به نصف کاهش داد (Alshamrani and Alshibani, 2022). گوو و همکاران (Guo et al, 2018) اثرات مکانیکی و زیست محیطی سنگدانه های بتن بازیافتی را در بلوک های ساختمانی بتنی ارزیابی کردند. مطالعه آنها نشان می دهد که اثرات زیست محیطی بلوک های بتنی معمولی به دلیل فواصل حمل و نقل طولانی تر بسیار بیشتر است. بن آلون و همکاران (Ben-Alon et al., 2019) اثرات زیست محیطی کاهگل مورد استفاده در ایالات متحده را ارزیابی کرد و نشان دادند که اثرات دیوار کاهگلی به شدت به ضخامت دیوار و منبع مواد بستگی دارد. در پژوهشی دیگر که توسط ردی و همکاران (Venkatarama Reddy, et al. 2014) انجام شد، آن ها نشان دادند که انرژی تجسم یافته یک ساختمان خاکی تثبیت شده با سیمان در هند تقریباً ۶۰ درصد کمتر از یک جایگزین آجر سفالی پخته است. ساندانایاک و همکاران (Sandanayake et al. 2018) نیز اثرات زیست محیطی یک ساختمان بتنی و چوبی در استرالیا را مقایسه کرد که نشان داد بازیافت و استفاده از مواد منطقه ای بیشترین تأثیر را دارد. همچنین مطالعات کمی در مورد عملکردهای زیست محیطی نماهای کامپوزیت عایق[7] وجود دارد. در این میان، تنها ایلماز و همکاران (Yılmaz et al., 2019) یک LCA مقایسه ای را بر روی پانل های نمای کامپوزیتی گالوانیزه عایق شده پر شده از پشم سنگ و پلی اورتان در ترکیه انجام داند. این مطالعه نتیجه‌گیری می‌کند که برای نیاز عملکردی یکسان، پانل‌های پر شده از پلی اورتان به دلیل استفاده کمتر از فولاد گالوانیزه سازگارتر با محیط زیست هستند.

پوترچ و همکاران (Potrč et al., 2016) تأثیر چرخه عمر سیستم های کامپوزیت عایق حرارتی خارجی را با پلی استایرن منبسط شده (EPS)، پشم معدنی و پرکننده عایق تخته فیبر چوبی تجزیه و تحلیل کردند. این مطالعه ثابت می کند که مواد عایق باعث اثرات زیست محیطی عمده می شوند که در میان آنها EPS کمترین سهم را دارد. سیرا پرز و همکاران (Sierra-Pérez et al, 2014) نیز عملکرد زیست محیطی عایق های حرارتی در نمای تهویه شده و نمای عایق داخلی را برای مناطق مختلف آب و هوایی اسپانیا ارزیابی کرد و نشان داد که سیستم های عایق کامپوزیتی[8] با پر کردن پشم شیشه کمترین تأثیر زیست محیطی را دارد. در رابطه با توسعه مدل های مختلف ارزیابی چرخه عمر، مدل پیش بینی ANN که توسط حمیدا وهمکاران (Hamida et al, 2020)، توسعه یافته است، برای اندازه گیری انواع پوشش های ساختمانی بر پارامترهای محیط زیستی می باشد. این پارامترها شامل میزان مصرف انرژی، کربن ساخت در پوشش ساختمان، کربن بهره برداری وکربن کل است. مدل ANN مفاهیم عملی را برای دفاتر معماری/مهندسی با ارائه یک ابزار حمایتی برای پیش‌بینی تأثیرات زیست‌محیطی ساختمان‌ها در مراحل اولیه طراحی ممکن می‌سازد (Hamida et al, 2020).

طبق مطالعه ای که توسط شولتر و دسلینگ انجام شد، الزام طراحان ساختمان به اولویت بندی پارامترهای سازگار با محیط زیست منجر به ایده های طراحی قوی تر شد که هم نیازهای مشتریان را برآورده می کند و هم منجر به معماری پایدار می شود (Schlueter and Thesseling, 2009). پوشکار و همکاران نیز از LCA برای دسته بندی متغیرهای طراحی در چهار خوشه مختلف استفاده کردند و سپس محدودیت‌های اثرات زیست‌محیطی هر متغیر را به منظور تعیین تأثیر کلی در طول عمر یک ساختمان نشان دادند (Pushkar et al., 2005). در مطالعه آنها، اثرات زیست محیطی مصالح ساختمانی رایج اندازه گیری شد و تجزیه و تحلیل حساسیت با استفاده از پایانه های سوخت و روش های تولید متفاوت به منظور نشان دادن چگونگی تأثیر کمیت مواد بر اثرات زیست محیطی در طول زمان انجام شد و بر اساس آن یک روش توسعه یافته جهت گروه بندی و آزمایش اثرات زیست محیطی ارائه شد. علاوه بر

[7] ICF

[8] ETICS (External Thermal Insulation Composite System)

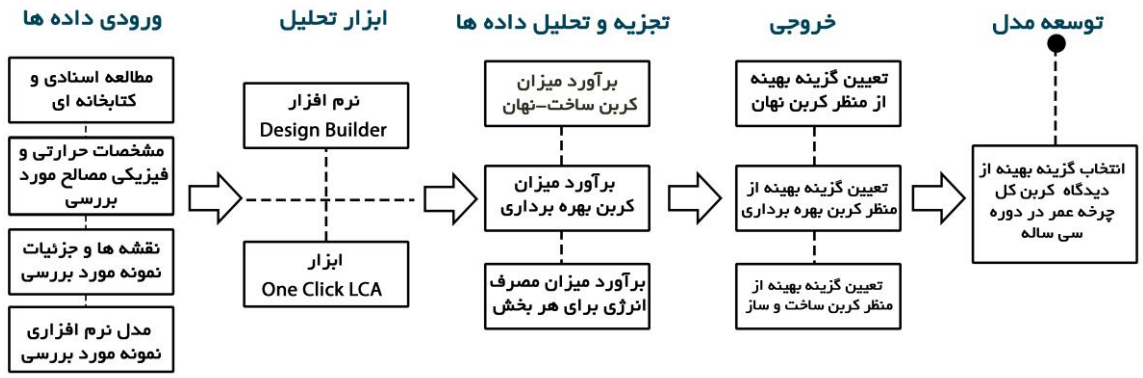
[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-08-13]

این، بریبیان و همکاران. LCA را برای طرح‌های ساختمانی اولیه، تجزیه و تحلیل اندازه اجزای ساختمانی و انواع مصالح، به منظور ارائه دستورالعمل‌های انتخاب مصالح بر اساس به حداقل رساندن اثرات زیست‌محیطی به کار بردند (Bribian et al., 2011). هم چنین در رابطه با بهره گیری از ارزیابی چرخه عمر در مراحل مختلف پروژه نیز تحقیقاتی انجام شده که اکثرا بر این نکته تاکید دارند که استفاده از چرخه عمر در مراحل اولیه طراحی بسیار کاراتر است. استفاده از ارزیابی چرخه عمر برای تعیین ویژگی‌های طراحی ساختمان از منظر پایداری و مصرف انرژی، قبل از ساخت ساختمان‌ها، به طور موثرتری اثرات زیست محیطی کلی را کاهش می دهد. به عنوان مثال، بروفی و لوییز نشان دادند که می توان با انتخاب محیط و مکان ساختمانی که از نظر زیست محیطی مطلوب باشد، تأثیرات زیست محیطی یک ساختمان را تا ۴۰ درصد کاهش داد. این کاهش تاثیر با مقایسه طرح های اولیه به دست آمد (Brophy, V, & Lewis, 2012). از بررسی ادبیات بالا، می توان مشاهده کرد که اثرات زیست محیطی مواد مختلف ساختمانی بیشتر به ترکیب آنها بستگی دارد. به علاوه در توسعه مدل های مختلف جهت ارزیابی چرخه عمر هم چنان محدودیت هایی وجود دارد. در این میان با توجه به افزایش مداوم تقاضا برای مسکن، انتظار می رود واحدهای مسکونی بیشتری با اثرات حیاتی بر محیط زیست ساخته شود. همچنین بررسی ادبیات منتشر شده نشان می دهد که تحقیقات کمی در این زمینه در ایران، به ویژه از نظر ارزیابی اثرات زیست محیطی ساختمان هایی با سیستم های ساخت و ساز رایج، انجام شده است. برخی از مطالعات موجود در این زمینه بر مبنای مطالعات تک مصالح یا رویکرد مقایسه ای بوده است (پاکدل و همکاران، ۲۰۲۱. یوسفی و همکاران، ۲۰۱۸. اولاد عطیمی، ۲۰۲۰). در ایران اکثر مطالعات به بخش مرتبط با انرژی بهره برداری معطوف شده است (هاشمی و حیدری، ۲۰۱۲)، و حتی در زمینه مقررات ملی ساختمان نیز که می توان به مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان در ایران (دفتر مقررات ملی ساختمان) اشاره کرد که تمامی راه کارها جهت بهینه سازی مصرف انرژی در آن بر بخش بهره برداری تمرکز دارد. از این رو و از آنجایی که ممکن است به کار گیری مصالح با مقاومت حرارتی بالاتر سبب افزایش میزان انرژی نهان و در نتیجه انتشار کربن ساخت بیشتری شود (Mateus et al, 2020)، پس بررسی میزان انرژی و کربن منتشر شده در طول دوره ساخت مصالح می تواند از جمله مباحث و ضروریات اصلی در برآورد میزان انتشارات یک ساختمان در چرخه عمر آن باشد. در این رابطه و از آن جایی که نمای ساختمان نقش مهمی در چرخه عمر ساختمان ها دارد و به زیبایی شناسی، عملکرد فنی و محافظت در برابر محیط های خارجی کمک می کند (مقتدرنژاد، ۲۰۱۳)، ضرورت توجه به این بخش در ارزیابی چرخه عمر ساختمان ها می تواند بسیار مهم قلمداد شود. انتخاب سیستم نما به طور قابل توجهی بر هزینه کل چرخه عمر ساختمان تأثیر می گذارد (). انتخاب گزینه های بهینه نما بر مبنای مصالح با انتشار کربن کم و تاثیری که بر تعدیل حرارتی فضای داخلی ساختمان دارد میتواند نقش تعیین کننده ای بر میزان انتشار ربن در طول چرخه عمر ساختمان ها داشته باشد (Tam & Wang, 2018). هم چنین مطالعتن نشان داده است که طراحی هوشمندانه نماها می تواند مصرف برق را تا ۵۰ درصد کاهش دهد (Peng et al, 2016). در این رابطه نیز عمدتاً عملکرد عملیاتی نماها توسط طراحان و محققان در اولویت قرار دارد، در حالی که اثربخشی آنها در کاهش اثرات چرخه عمر قابل بحث است (Chastas, Theodosiou, & Bikas, 2016). بنابراین، در این زمینه برای انجام یک طراحی پایدار کل نگر، ارزیابی چرخه زندگی (LCA) به عنوان یک معیار جامع برای پایداری نما در سطح جهانی پذیرفته شده است و از منظر زیست محیطی ارزیابی چرخه عمر ملزم به انتخاب نماهایی با کمترین اثرات زیست محیطی است. فرآیندی که این پژوهش با توجه به محدودیت های اشاره شده و هم چنین کمبود مطالعات در این زمینه در ایران به دنبال ارزیابی و ارائه پاسخ برای یافتن گزینه بهینه جهت آن است.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-08-13]

۳-مواد و روش ها

به منظور دستیابی به اهداف این پژوهش، مطالعه حاضر یک روش دقیق برای برآورد، مقایسه و تحلیل اثرات زیست محیطی ساخت و ساز نمای ساختمان های میان مرتبه مسکونی در شهر تهران در بخش انتشار دی اکسید کربن، به عنوان یکی از مهم ترین شاخصه های گرمایش زمین، با استفاده از مصالح پرکاربرد ساختمانی و بر پایه روش توصیفی، تحلیلی و شبیه سازی علی است. روش شناسی مطالعه حاضر چهار مرحله اصلی مشخص شده توسط استاندارد ISO 14040 را برای روش شناسی ارزیابی چرخه عمر را دنبال می کند (ISO 14040, 2006) که یک رویکرد استاندارد و جامع است و تمام مراحل چرخه عمر ساختمان را ارزیابی می کند. ارزیابی چرخه عمر روشی است که عملکرد زیست محیطی منابع مصرف شده در طول چرخه عمر یک محصول را ارزیابی می کند (Minunno et al, 2020). چهار مرحله اصلی ارزیابی چرخه عمر (LCA) عبارتند از: تعریف هدف و دامنه LCA، تجزیه و تحلیل موجودی چرخه عمر[9]، ارزیابی تأثیر چرخه عمر[10]، و تفسیر چرخه عمر. از آنجایی که این مطالعه بر پایه بررسی نمونه موردی شکل گرفته است بنابریان مدل فرآیند محور که جزئیات مناسبی را در این زمینه شامل می شود برای این مطالعه در نظر گرفته شده است (Su et al, 2020). شکل ۷ مدل چارچوب محاسبه و منابع داده اختیاری و راه حل های پردازش داده مربوطه را نشان می دهد.



شکل ۷: مدل تحقیق بر اساس روش فرآیند محور

در این پژوهش به منظور ارزیابی چرخه عمر در دو بخش کربن ساخت و بهره برداری، مصالح پرکاربرد در پوسته خارجی ساختمان های مسکونی در شهر تهران با توجه به مبحث ۱۹ و به صورت مرحله ای مورد بررسی و تحلیل قرار گرفتند. روش کار به این صورت است که مصالح رایج به کار رفته جهت جداره ساختمان های مسکونی (جدول ۱) که دارای تاییدیه مبحث ۱۹ می باشند و به تایید سازمان نظام مهندسی نیز رسیده اند (سازمان نظام مهندسی، ۱۴۰۲) شامل دیوارهای دو جداره با هسته بلوک سبک سیمانی، بلوک سبک گازی (اتوکلاو شده)، بلوک لیکا، بلوک بتن کنفی (به عنوان مصالح جاذب کربن) و دیوارهای تری دی پنل، می باشند از منظر میزان کربن ساخت (گهواره تا دروازه) و هم چنین میزان کربن ناشی از بهره برداری در مدت ۳۰ سال و در مراحل A1-A3, A5 و B6 بر اساس شکل ۴ مورد ارزیابی قرار می گیرند و نتایج هر بخش به تفکیک ارائه خواهد شد تا در نهایت گزینه برتر در بخش کربن ساخت، کربن بهره برداری و کربن کل چرخه عمر مشخص شود.

[9] life cycle inventory analysis (LCI)
[10] life cycle impact assessment (LCIA)

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-08-13]

۳-۱-تعریف هدف و محدوده

مرحله تعریف هدف و محدوده، سیستم محصول هدف را از نظر واحد عملکردی و مرزهای سیستم توصیف می کند (Rebitzer et al, 2004). به طور کل اهداف پژوهش شامل: ۱-محاسبه میزان کربن ساخت[11] (نهان) مصالح رایج ساختمانی در بخش پوسته خارجی ساختمان های مسکونی در محدوده گهواره تا دروازه ۲- محاسبه میزان انرژی مصرف شده جهت تامین نیازهای گرمایشی و سرمایشی ساختمان با استفاده از هر کدام از مصالح تعریف شده در بخش یک در دوره عمر ساختمان (دوره سی ساله) ۳- تعیین گزینه مطلوب از منظر کربن ساخت، کربن بهره برداری و کربن کل ۴- مقایسه گزینه مطلوب با یک نمونه از دیوار خارجی ساخته شده با مصالح دوست دار محیط زیست و با پتانسیل جذب کربن. نتایج این مطالعه می تواند به عنوان معیاری برای مطالعات بیشتر در زمینه مصالح پرکاربرد در ایران مورد استفاده قرار گیرد. محدوده سیستم در این مطالعه شامل میزان انتشار کربن در بخش ساخت و هم چنین در بخش بهره برداری برای یک دوره سی ساله است. با توجه به مطالعات انجام گرفته عمر مفید ساختمان های بتنی را می توان بین ۳۰ تا ۵۰ سال در نظر گرفت (Stninska, & Struhala, 2015) که با توجه به کیفیت ساخت پایین اغلب ساختمان ها در ایران دوره ارزیابی در این پژوهش به میزان سی سال در نظر گرفته شده است. به بیان دیگر محدوده تحلیل شامل استخراج مواد خام، پردازش مواد، ساخت و ساز در محل و بهره برداری از ساختمان به مدت سی سال است. لازم به ذکر است که مراحل حمل و نقل، نگهداری، دفع و بازیافت، به دلیل نبود داده های معتبر در ایران، خارج از محدوده این مطالعه است.

۳-۱-۱-چگونگی جمع آوری داده ها

در این مطالعه داده های مرتبط با فیزیک ساختمان از نقشه های مصوب شهرداری و نظام مهندسی استان تهران به دست آمده است. در رابطه با میزان مصرف انرژی ساختمان در طول دوره سی ساله به دلیل آن که چینش متفاوت مصالح مطابق استاندارد های مبحث ۱۹ مد نظر است و هم چنین توجه به این نکته که ساختمان مورد بررسی هنوز در مرحله اجرا است و دسترسی به قبوض انرژی آن میسر نیست، از نتایج شبیه سازی رفتار حرارتی ساختمان در نرم افزار دیزاین بیلدر استفاده شده است. در رابطه با میزان کربن تجسم یافته نیز از ابزار One Click LCA به همراه داده های فهرست موجودی کربن و انرژی ICE که توسط دانشگاه باث[12] تهیه شده استفاده شده است (Hammond & Jones, 2011).

۳-۲-تحلیل موجودی چرخه عمر

فاز تجزیه و تحلیل موجودی چرخه عمر (LCI) موجودی های داده های ورودی مربوط به هر مرحله چرخه عمر محصول را نسبت به واحد عملکردی نشان می دهد (Monahan and Powell, 2011, Finnveden et al, 2009). در این مطالعه از آنجایی که پروژه مورد بررسی در مرحله ساخت است، داده های مصالح و ساخت به همراه نقشه های ساختمان مورد بررسی جهت مدلسازی در نرم افزار دیزاین بیلدر از اسناد طراحی معماری و دیتیل های ارائه شده توسط سازمان نظام مهندسی که منطبق با مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان است جمع آوری شدند. هم چنین یک نمونه از مصالح با جذب کربن به منظور کاهش انتشار کربن نیز جهت بررسی با چهار نمونه انتخاب شده در نظر گرفته شده است که شامل دیوار دو جداره با بلوک بتن کنفی و عایق کاه گندم فشرده است.

[11] Embodied Carbon
[12] Bath University

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-08-13]

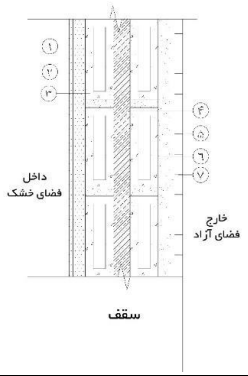
۳-۳-ابزار ارزیابی چرخه عمر

جهت تحلیل میزان کربن نهان (ساخت) و کربن بهره برداری چینش های مختلف دیوار خارجی (جدول ۱) در ساختمان مورد بررسی در این مطالعه، ابتدا ساختمان مورد نظر بر اساس داده ها و نقشه های موجود در نرم افزار دیزاین بیلدر مدلسازی شده تا برآورد میزان مصرف انرژی به دست آید و سپس جهت تعیین میزان انتشار کربن در بخش های مختلف مدل شبیه سازی شده در نرم افزار دیزاین بیلدر به ابزار One Click LCA جهت ارزیابی و محاسبه میزان انتشار کربن در بخش های مختلف فرستاده شده است.

۳-۳-۱-نرم افزار دیزاین بیلدر[۱۳]

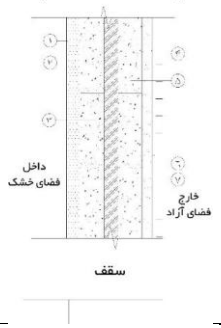
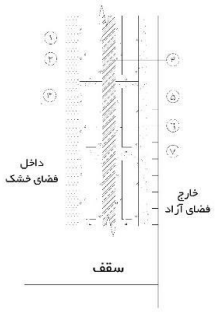
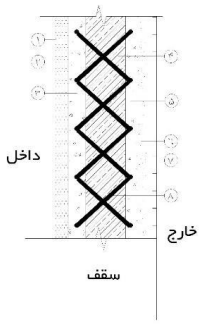
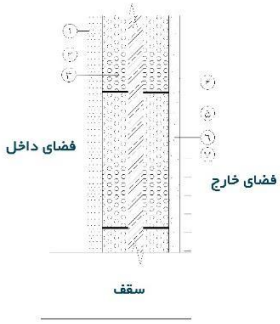
در این مطالعه به منظور برآورد میزان مصرف انرژی در دوره بهره برداری در ساختمان مورد بررسی، از نرم افزار Design-Builder استفاده شده است. از جمله قابلیت های این نرم افزار شامل محاسبه بار سرمایشی و گرمایشی ساختمان، تاثیر راه کار های غیر فعال بر میزان مصرف انرژی و تصویر سازی و برآورد کمی تاثیر تشعشعات خورشیدی بر بازشوها و سایر سطوح، ارزیابی میزان کربن ساخت و کربن بهره برداری، محاسبه سیستم های انرژی تجدید پذیر، تحلیل دینامیک جریانات هوایی، تحلیل اقتصادی پروژه و بسیاری دیگر از موارد مرتبط با رفتار حرارتی ساختمان می باشد. اعتبار نرم افزار دیزاین بیلدر در پژوهش های متعدد پیشین به اثبات رسیده است. از این رو می توان با مراجعه به وبگاه این نرم افزار[۱۴] ملاحظه نمود که در مراجع تصمیم گیری بسیاری از کشورها از جمله انگلستان، نتایج حاصل از شبیه سازی در این نرم افزار معتبر بوده و به رسمیت شناخته شده است. هم چنین نرم افزار DesignBuilder ابزاری قدرتمند برای انجام تجزیه و تحلیل کربن و چرخه عمر در صنعت ساختمان است (Kulahcioglu, 2012)، و این امکانات مناسبی را جهت تجزیه و تحلیل ارزیابی چرخه عمر فراهم می کند و کاربران را قادر می سازد تا با یک مدل سه بعدی از ساختمان کار کنند و به طور تعاملی تأثیرات زیست محیطی آن را تجزیه و تحلیل کنند.

جدول شماره ۱: دیتیل مصالح مورد بررسی

مصالح	دیتیل	لایه ها
نوع اول (متغیر اول)-بلوک سفالی ۱-گچ رویه (0.5 cm) ۲-گچ و خاک (2 cm) ۳-بلوک سفالی ساده به ضخامت ۱۰ سانتی متر ۴-عایق حرارتی از نوع پشم سنگ تخته ای (5 cm) ۵- بلوک سفالی ساده به ضخامت ۱۰ سانتی متر ۶- ملات ماسه و سیمان ۷- نمای آجری ۴ سانتی متری		مقاومت حرارتی کل: R-Value: 2.01 m^2k/w ضریب انتقال حرارت کل: U-value: 0.54 W/m^2K ضخامت کل: 34 cm وزن هر مترمربع دیوار با نما و نازک کاری: 195 Kg/m^2

[13] Design Builder Software
[14] https://designbuilder.co.uk/

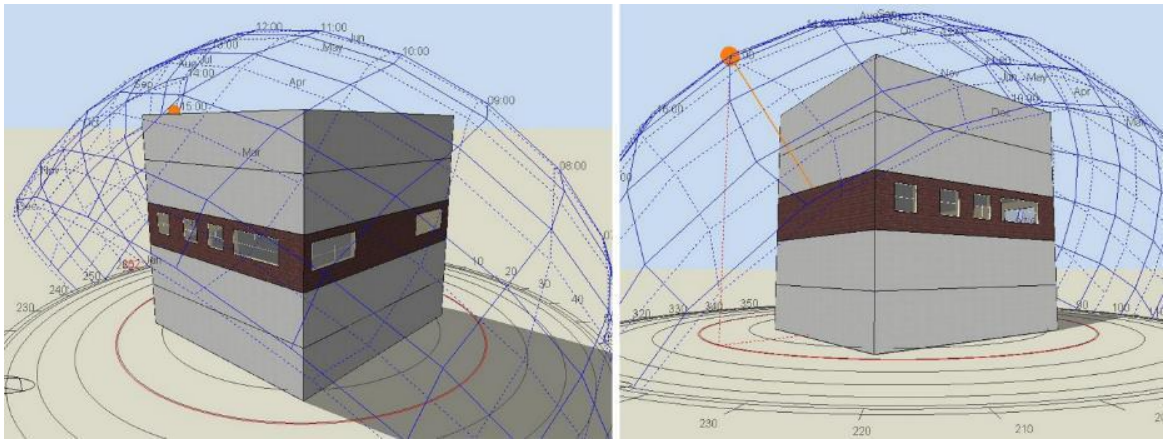
[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-08-13]

نوع دوم (متغیر دوم)-بلوک لکس ۱-گچ رویه (0.5 cm) ۲-گچ و خاک (2 cm) ۳-بلوک سبک گازی (10 cm) ۴-عایق حرارتی از نوع پشم سنگ تخته ای (4 cm) ۵- بلوک سبک گازی (10 cm) ۶- ملات ماسه و سیمان (2.5 cm) ۷- نمای آجری ۴ سانتی متری	(AAC-CLC)  	مقاومت حرارتی کل: R-Value: 3.1 m^2k/w ضریب انتقال حرارت کل: U-value: 0.32 W/m^2K ضخامت کل: 33 cm وزن هر مترمربع دیوار با نما و نازک کاری: 264 Kg/m^2
نوع سوم (متغیر سوم) ۱-گچ رویه (0.5 cm) ۲-گچ و خاک (2 cm) ۳-بلوک سبک سیمانی تیغه ای (10 cm) ۴-عایق حرارتی از نوع پشم سنگ تخته ای (5 cm) ۵- بلوک سبک سیمانی نیغه ای (10 cm) ۶- ملات ماسه و سیمان (2.5 cm) ۷- نمای آجری ۴ سانتی متری	(Leca - liper)  	مقاومت حرارتی کل: R-Value: 3.18 m^2k/w ضریب انتقال حرارت کل: U-value: 0.314 W/m^2K ضخامت کل: 34 cm وزن هر مترمربع دیوار با نما و نازک کاری: 395 Kg/m^2
نوع چهارم (متغیر چهارم) ۱-گچ رویه (0.5 cm) ۲-گچ و خاک (2 cm) ۳-ملات ماسه و سیمان پاششی (4 cm) ۴-عایق حرارتی یونولیت EPS (9 cm) با چکالی 15 kg/m^3 ۵- ملات ماسه و سیمان پاششی (4 cm) ۶- ملات ماسه و سیمان (2.5 cm) ۷- نمای آجری ۴ سانتی متری ۸- شبکه فلزی	3d panel  	مقاومت حرارتی کل: R-Value: 2.61 m^2k/w ضریب انتقال حرارت کل: U-value: 0.382 W/m^2K ضخامت کل: 26 cm وزن هر مترمربع دیوار با نما و نازک کاری: 252 Kg/m^2
نوع پنجم (متغیر پنجم) ۱-گچ رویه (0.5 cm) ۲-گچ و خاک (2 cm) ۳-بلوک بتن کنفی (10 cm) ۴-عایق حرارتی از کاه گندم (4 cm) ۵- بلوک بتن کنفی (10 cm) ۶- ملات ماسه و سیمان (2.5 cm) ۷- نمای آجری ۴ سانتی متری	 	مقاومت حرارتی کل: R-Value: 2.09 m^2k/w ضریب انتقال حرارت کل: U-value: 0.478 W/m^2K ضخامت کل: 33 cm وزن هر مترمربع دیوار با نما و نازک کاری: 315 Kg/m^2

جامعیت و تطبیق پذیری نرم افزار آن را به یک دارایی ارزشمند برای شرکت ها و متخصصان LCA تبدیل می کند (Spatari, 2001). با این حال، انتخاب نرم افزار برای تجزیه و تحلیل LCA و ردپای کربن باید بر اساس محدوده و اهداف خاص کاربر باشد (Ormazabal, 2014). ادغام نرم افزار DesignBuilder با سایر ابزارهای طراحی فرآیند می تواند قابلیت های آن را برای طراحی فرآیند پایدار بیشتر کند (Kalakul, 2014). بر این اساس یک طبقه از ساختمان مورد بررسی که شامل دو واحد شمالی و

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-08-13]

جنوبی است در نرم افزار دیزاین بیلدر مدلسازی شده است و تمامی داده های از جمله برنامه زمانی، کاربری، جنس جداره ها و بازشو ها و اطلاعات اقلیمی بر اساس مشخصات فیزیکی ساختمان و بستر طرح در آن وارد شده است (شکل ۸). مشخصات وارد شده در نرم افزار دیزاین بیلدر در بخش کاربری بر مبنای کاربری مسکونی و با تراکم افراد ۰.۰۱۸ فرد در متر مربع و با نقاط تنظیم دمایی ۲۱ درجه برای گرمایش و ۲۵ درجه برای سرمایش می باشد. هم چنین نرخ نفوذ هوا برابر 0.7 AC/H در نظر گرفته شده است و سیستم روشنایی روشنایی LED با توان 2.5 وات بر متربع در هر ۱۰۰ لوکس است. شایان ذکر است از آنجایی که مدل مورد بررسی یک واجد آپارتمانی است بنابراین طبقات بالایی و پایینی به صورت واحد های هم دما (Adiabatic) در نظر گرفته شده اند.



شکل ۸ : مدل ساختمان مورد بررسی در نرم افزار دیزاین بیلدر (ترسیم نگارندگان)

۳-۳-۲- ابزار ONE Click LCA

ابزار One Click LCA یک منبع ارزشمند برای انجام ارزیابی‌های چرخه عمر و ارزیابی اثرات زیست‌محیطی فرآیندها و محصولات مختلف است که در طیف وسیعی از کاربردها، از جمله ارزیابی فرآیندهای شیمیایی، پتروشیمی و بیوشیمیایی (Kalakul, 2014)، ارزیابی بازیافت حلقه بسته پلیمرهای تقویت شده با فیبر کربن (Tapper, 2020)، و ارزیابی جذب و انتشار CO_2 استفاده می شود. ادغام این ابزار با فرآیند طراحی و ابزارهای بهینه سازی می تواند بینش مناسبی را جهت تعیین میزان اثرات زیست محیطی یک ساختمان ارائه کند (Jacquemin, 2012). این ابزار می تواند میزان انتشار کربن در مراحل مختلف چرخه عمر ساختمان شامل بخش ساخت مصالح، بخش حمل و نقل، بخش ساخت در محل، بخش بهره برداری و بخش بازیافت و دفع موارد را به طور کامل و بر اساس شرایط و منطقه پروژه ارزیابی کند. هم چنین قادر است تمامی اثرات زیست محیطی را به تفکیک مصالح مختلف به کار رفته و هم چنین حامل های مختلف انرژی ارزیابی کند.

۳-۴-نمونه مورد مطالعه

پروژه در نظر گرفته شده جهت بررسی از منظر چرخه عمر یک آپارتمان مسکونی پنج طبقه با زیر بنای ۱۱۵۴.۵۶ مترمربع در منطقه ۵ تهران و محله جنت آباد جنوبی به نشانی خیابان آیت ا... کاشانی، خیابان محرابی پلاک ۴۶ است. از این رو مطالعه حاضر از منابع و فعالیت های ساخت و ساز مربوط به یک ساختمان مسکونی با استفاده از تکنیک های ساخت و ساز در محل استفاده کرده است. پلان طبقات ساختمان و هم چنین مقطع آن در شکل های ۹ و ۱۰ مشخص شده است که شامل دو واحد مسکونی با متراژ هریک ۲۳۱.۹۲ متر مربع در جبهه شمالی و جنوبی است. مشخصات ساختمان مورد مطالعه در این پژوهش در جدول 2 آورده شده است.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-08-13]

بنابراین آنچه در این پژوهش به عنوان محور اصلی در نظر گرفته شده است ارزیابی میزان انتشار کربن در دو بخش ساخت و بهره برداری در دوره چرخه عمر ساختمان (به مدت سی سال) جهت دیوارهای خارجی یک ساختمان مسکونی میان مرتبه در شهر تهران با استفاده از ۴ نوع مصالح رایج و یک نوع مصالح جاذب کربن است. خلاصه از فرآیند و بخش های مختلف پژوهش در شکل ۱۱ آورده شده است.

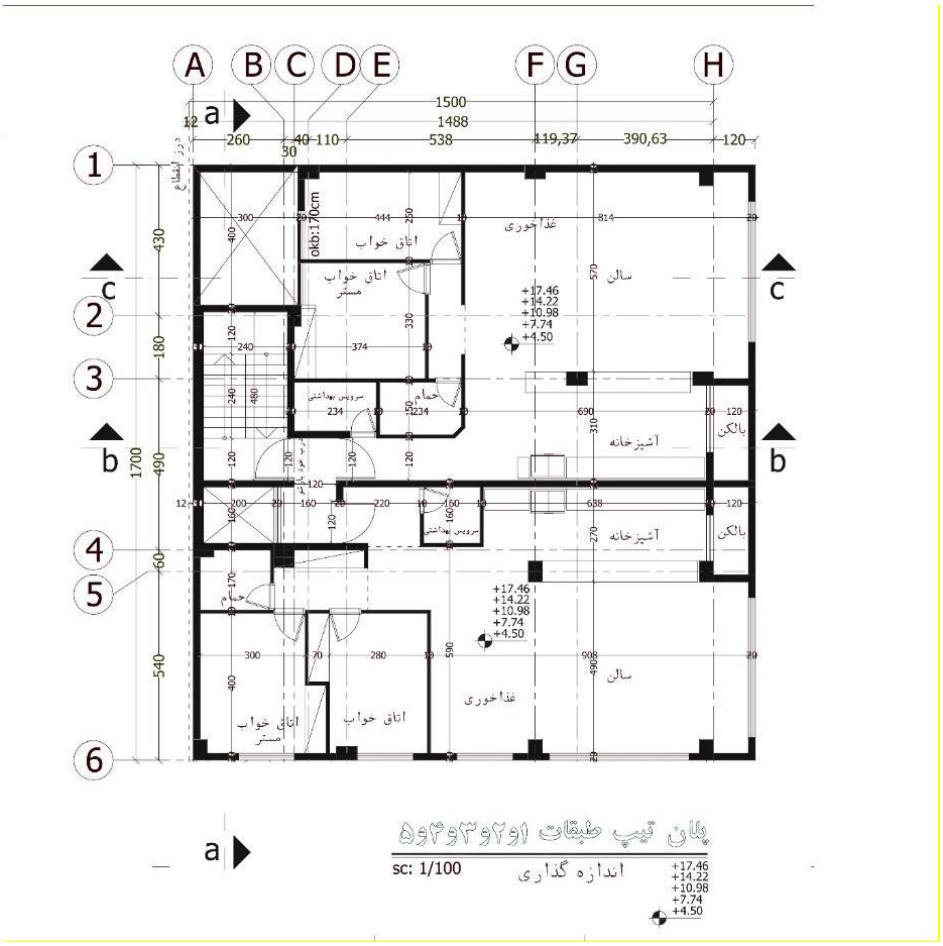
۴- یافته های تحقیق

در این بخش، میزان انتشار کربن در دو بخش ساخت یا نهان (گهواره تا دروازه) و هم چنین بخش بهره برداری که شامل میزان انتشار کربن ناشی از مصرف حامل های انرژی که در این پروژه برق و گاز در یک دوره سی ساله می باشند، ارزیابی شده است. همانگونه که قبلا نیز اشاره شد روش تحلیل میزان انتشار کربن در این مطالعه بر پایه روش EN 15978 می باشدکه پایه و اساس تحلیل میزان انتشار گازهای گلخانه ای در ابزار One Click LCA می باشد.

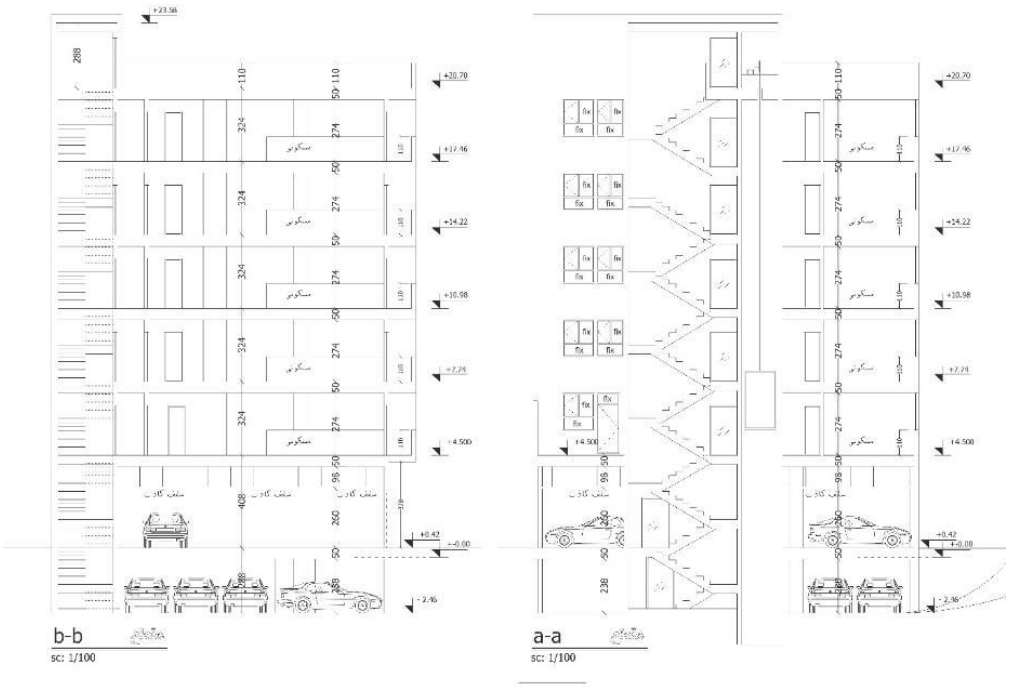
جدول شماره 2: مشخصات ساختمان مورد مطالعه

منطقه اقلیمی	زمستان های سرد و تابسان های گرم
رده ساختمانی	میان مرتبه
نوع سازه	بتنی
زیربنای کل	۱۱۵۴.۵۶ مترمربع
تعداد طبقات	۵ طبقه
تعداد واحد	۱۰ واحد
مساحت هر واحد	۲۳۱.۹۲ متر مربع
ارتفاع واحد ها	۳.۲۴ متر

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-08-13]



شکل ۹: پلان طبقات نمونه مورد مطالعه



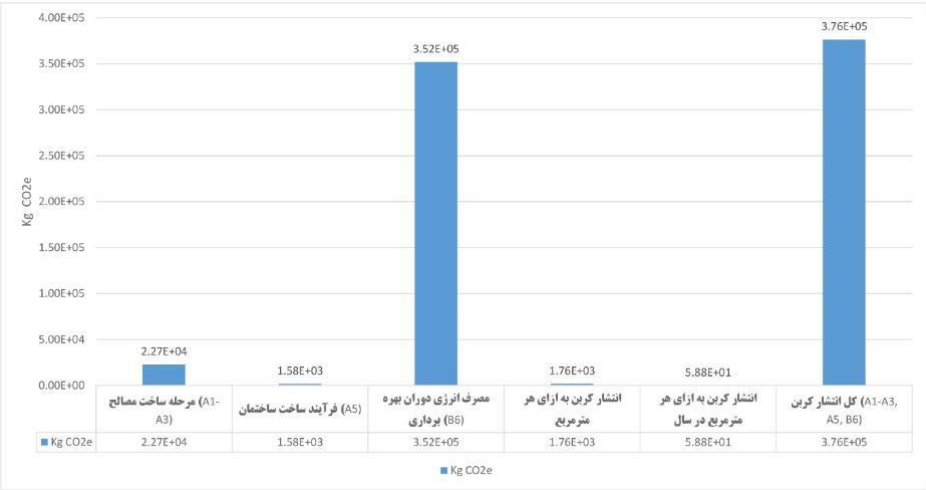
شکل ۱۰: مقطع نمونه مورد مطالعه

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-08-13]

در مرحله اول و پس از تعریف مصالح در نوع یک (مصالح با بلوک سفالی) جهت جداره بیرونی ساختمان مورد بررسی در نرم افزار دیزاین بیلدر و با توجه به داده های در نظر گرفته شده جهت ورودی نرم افزار مطابق آن چه در بخش قبل توضیح داده شد، میزان مصرف انرژی دو واحد مورد بررسی در طول یک سال با استفاده از چنیش مصالح مختلف معرفی شده در بخش قبل مشخص شد. در گام بعد داده های به دست آمده از نرم افزار دیزاین بیلدر از قبیل نوع مصالح، میزان مصرف انرژی و مساحت دو واحد مورد بررسی که در این مرحله برابر $213\ m^2$ است، وارد ابزار One Click LCA شده و پس از فرآیند همگام سازی و اصلاح، میزان انتشار کربن نمونه مورد بررسی در بخش های مختلف مشخص شده اند. شکل شماره ۱۱ میزان انتشار کربن ناشی از فرآیند ساخت مصالح یعنی مرحله گهواره تا دروازه و بخش بهره برداری را نشان می دهد (مراحل A1-A3, A5, B6). بنابراین در این مطالعه همانطور که اشاره شده میزان انتشار کربن در مراحل A1-A3 و A5 و B6 بررسی و محاسبه شده است. در تصاویر شماره ۱۲، ۱۳، ۱۴و۱۵ به ترتیب میزان انتشار کربن مرتبط با بخش های مختلف اشاره شده جهت دیوار بیرونی ساخته شده از بلوک های بتنی گازی اتوکلاو شده[15] (نوع دوم)، دیوار بیرونی ساخته شده از بلوک های لیکا[16] (نوع سوم)، دیوار بیرونی ساخته شده از پنل های سه بعدی[17] (نوع چهارم) و دیوار بیرونی ساخته شده از بتن کنفی و عایق کاه گندم فشرده به عنوان نوع پنجم نشان داده شده است.

۵- بحث

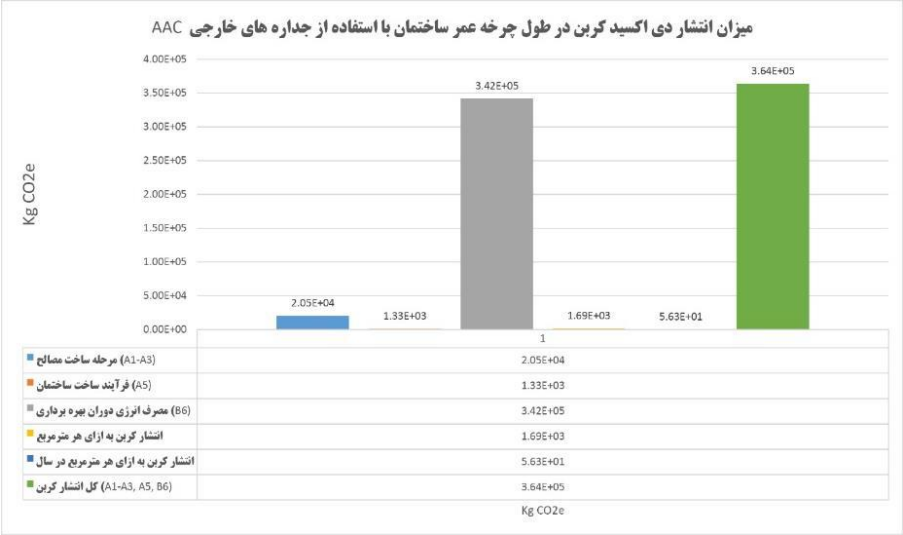
در بخش قبل با یک رویکرد تحلیلی و شبیه سازی علی داده های مرتبط با میزان انتشار کربن با استفاده از مصالح مختلف در دو بخش مرتبط با کربن نهان (ساخت) و کربن بهره برداری برای یک دوره سی ساله ارزیابی شد.



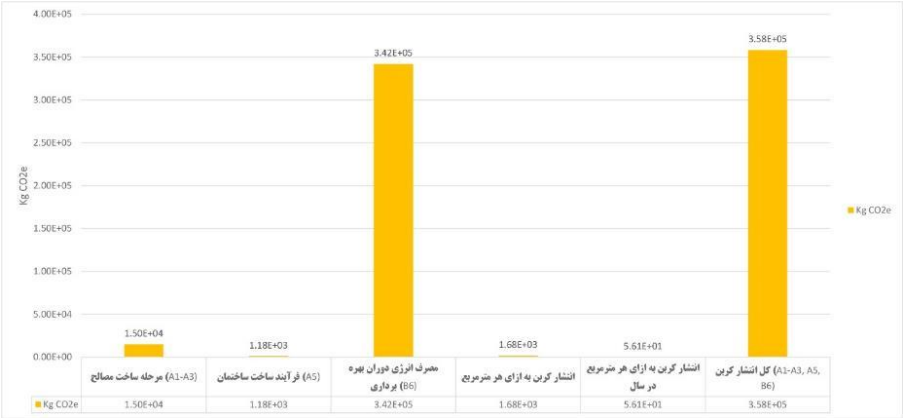
شکل ۱۱: میزان انتشار کربن نمونه مورد بررسی در مراحل مختلف (A1-A3, A5, B6) با استفاده از دیوار نوع اول (بلوک سفالی)

[15] AAC Block
[16] LECA
[17] 3D Panel

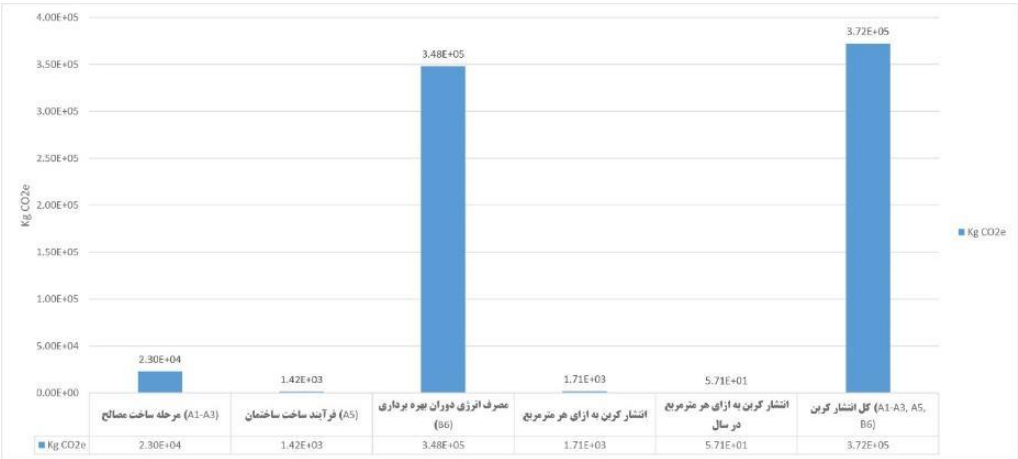
[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-08-13]



شکل ۱۲: میزان انتشار کربن نمونه مورد بررسی در مراحل مختلف (A1-A3, A5, B6) با استفاده از دیوار نوع دوم (بلوک هبلکس)

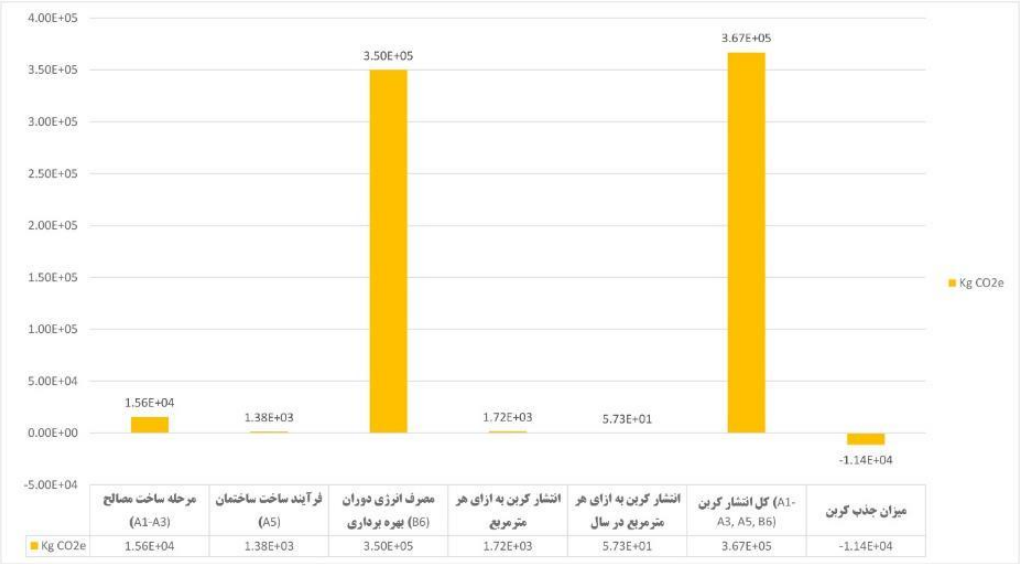


شکل ۱۳: میزان انتشار کربن نمونه مورد بررسی در مراحل مختلف (A1-A3, A5, B6) با استفاده از دیوار نوع سوم (بلوک لیکا)



شکل ۱۴: میزان انتشار کربن نمونه مورد بررسی در مراحل مختلف (A1-A3, A5, B6) با استفاده از دیوار نوع چهارم (پنل های سه بعدی)

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-08-13]



شکل ۱۵: میزان انتشار کربن نمونه مورد بررسی در مراحل مختلف (A1-A3, A5, B6) با استفاده از دیوار نوع پنجم (بلوک بتن کنفی و عایق کاه گندم)

در این ارزیابی میزان انتشار کربن در بخش ساخت که مرتبط با استخراج مواد، فرآوری تا مرحله ساخت در محل ساختمان می باشد به علاوه بخش بهره برداری که مرتبط با میزان مصرف انرژی ساختمان جهت تامین گرمایش، سرمایش، آبگرم و الکتریسیته و تجهیزات می باشد به همراه میزان انتشار کربن کل مرتبط با هر یک برآورد شد. در این بخش هدف ارائه بحث و تحلیل مقایسه ای میان مصالح مختلف به کار رفته از منظر پارامترهای اشاره شده جهت انتخاب گزینه بهینه در هر بخش و هم چنین انتخاب نوع بهینه در کل فرآیند است.

۵-۱-کربن نهان (کربن ساخت-Embodied Carbon-A1-A3)

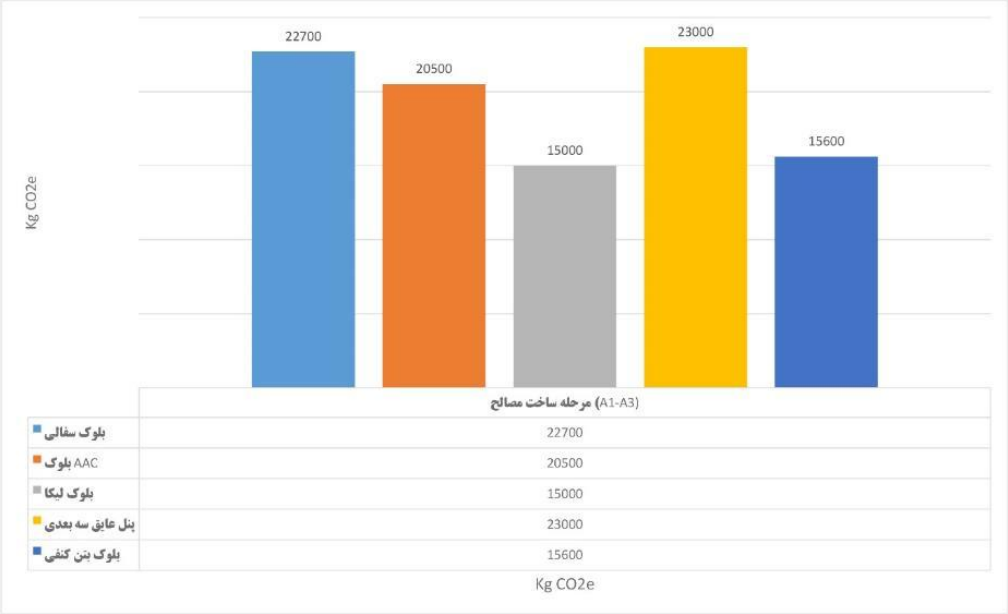
در این بخش میزان کربن ساخت جهت مصالح مختلف بررسی می شود. این بخش میزان کل کربن تولید شده در مراحل ساخت مصالح را مشخص می کند که می توان آن را برابر مرحله گهواره تا دروازه[18] دانست که شما مراحل A1-A2-A3 است. با توجه به ارزیابی ها و شبیه سازی ها انجام گرفته در بخش قبل نتایج مرتبط با انتشار کربن ساخت توسط هر یک از مصالح مورد بررسی در شکل ۱۶ آورده شده است. همانطور که در نتایج به دست آمده مشخص است، کمترین میزان تولید دی اکسید کربن در مرحله گهواره تا دروازه برای دیوار ساخته شده توسط بلوک لیکا در نظر گرفته شده است. هم چنین پس از آن بلوک بتن کنفی بهترین گزینه از منظر انتشار دی اکسید کربن محسوب می شود و پس از آن بلوک هبلکس، بلوک سفالی و پنل های سه بعدی قرار گرفته اند. پنل های سه بعدی در میان مصالح انتخاب شده در این مرحله بیشترین انتشار را دارد.

۵-۲-کربن منتشر شده در مرحله ساخت در محل (کربن ساخت و ساز در محل-Construction Carbon-A5)

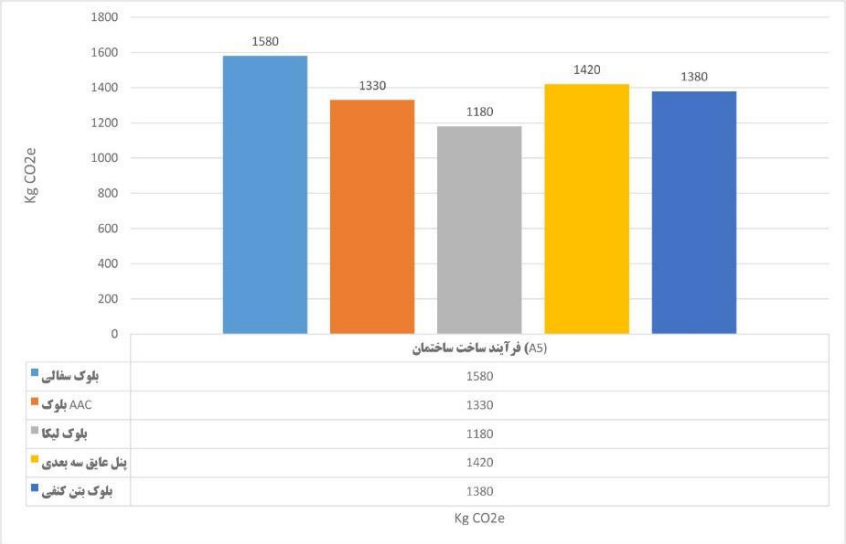
در این مرحله میزان انتشار دی اسید کربن ناشی از عملیات ساختمانی برای هر کدام از انواع مصالح مورد بررسی در این پژوهش برآورد شده است. شکل ۱۷ این میزان را بر اساس نوع مصالح هسته دیوار خارجی و بر پایه محاسبات انجام شده در بخش قبل نشان می دهد. در این بخش بیشترین میزان انتشار مرتبط با بخش بلوک سفالی است و کمترین مرتبط با بلوک لیکا است. سایر موارد در شکل ۱۸ آورده شده است. این داده ها با توجه به استاندارد های تعریف شده در ابزار One Click LCA جهت کشور ایران است.

[18] Cradle to Gate

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-08-13]



شکل ۱۶: میزان انتشار کربن ناشی از هر یک از مصالح مورد استفاده در مرحله گهواره تا دروازه (A1-A3)

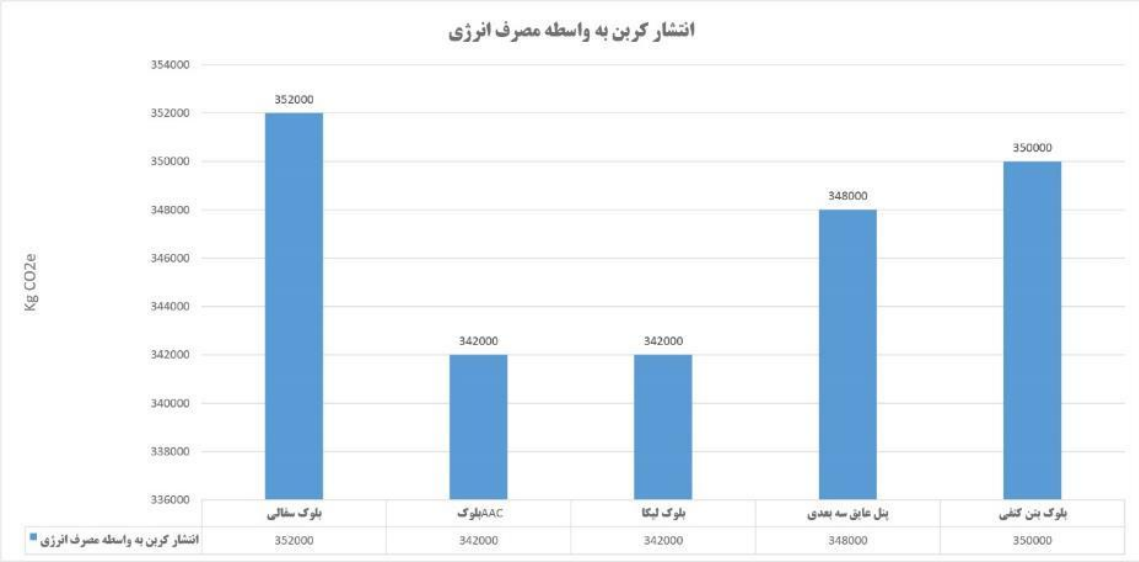


شکل ۱۷: میزان انتشار کربن در مرحله ساخت و ساز برای مصالح مورد استفاده (مرحله A5)

۵-۳-کربن منتشر شده در دوره بهره برداری (کربن ساخت و ساز در محل-Energy Consumption-B6)

در این بخش میزان انتشار کربن به واسطه مصرف انرژی در دوره سی ساله در ساختمان مورد بررسی که شامل دو واحد مسکونی است با استفاده از مصالح مورد بررسی در این پژوهش با هم مقایسه شده است. ضریب تبدیل مصرف انرژی به کربن بر اساس مراجع ارائه شده در بخش قبل و استاندارد های ابزار One Click LCA جهت کشور ایران در نظر گرفته شده است. نتایج این بخش نشان می دهد که بیشترین انتشار دی اکسید کربن را در بین مصالح مورد بررسی به واسطه میزان مصرف انرژی بلوک سفالی به خود اختصاص داده است و پس از آن دیوارهای بلوک بتن کنفی، پنل سه بعدی، بلوک لیکا و بلوک هبلکس به ترتیب روند نزولی در انتشار کربن را دارا هستند. (شکل ۱۸).

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-08-13]



شکل ۱۸: میزان انتشار کربن به واسطه مصرف انرژی در دوره سی ساله

۵-۴-میزان انتشار کربن کل (A1-A3,A5 and B6)

میزان انتشار کربن کل برابر مجموع انتشار کربن در هر یک از بخش های ساخت مصالح، ساخت ساختمان و مصرف انرژی در دوره سی ساله است. با توجه به نتایج به دست آمده می توان نشان داد که در طول چرخه عمر ساختمان مورد بررسی که دو واحد از یکی از ساختمان های مسکونی میان مرتبه در شهر تهران بود، استفاده از بلوک بتن کنفی می تواند منجر به کمترین انتشار در بخش دی اکسید کربن و در نتیجه در پتانسیل گرمایش زمین شود. البته ذکر این نکته ضروری است که این مقدار با توجه به میزان جذب دی اکسید کربن توسط این نوع بلوک به دست آمده است و اگر این میزان جذب را در نظر نگیریم، دیوار ساخته شده از بلوک بتن کنفی یا همان دیوار خارجی نوع پنجم با انتشار کلی برابر ۳۶۷۰ کیلوگرم دی اکسید کربن در سال در جایگاهی حتی بالاتر از بلوک AAC قرار میگیرد. هم چنین در ادامه می توان دیوارهای ساخته شده از بلوک لیکا، بلوک هبلکس، دیوار پنل سه بعدی و دیوار ساخته شده از بلوک سفالی را به ترتیب از نظر انتشار کربن از کم به زیاد طبقه بندی نمود. (شکل ۱۹).

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-08-13]

شکل ۱۹: میزان انتشار کربن کل در طول چرخه عمر ساختمان با استفاده از مصالح مورد بررسی

۶-نتیجه گیری

در این مطالعه، یک رویکرد تحلیلی جامع و شبیه‌سازی برای ارزیابی گازهای گلخانه‌ای مرتبط با مواد ساختمانی مختلف در طی یک دوره سی‌ساله به کار گرفته شد، که شامل کربن نهان (ساخت و ساز) و کربن عملیاتی می‌شود. هدف ارائه بحث و تحلیل مقایسه‌ای میان مواد مختلف بر اساس پارامترهای کلیدی بود تا گزینه بهینه را برای هر فاز و همچنین فرآیند کلی انتخاب کند. کربن نهان (A1-A3) برای مواد مختلف ارزیابی شد، که نمایانگر کل کربن تولیدی در طول مراحل تولید مصالح و در دوره از گهواره تا دروازه است، هم چنین کربن مرتبط با مرحله ساخت و ساز (A5) و کربن منتشر شده مرتبط با میزان مصرف انرژی در طول دوره سی ساله بهره برداری (B6) نیز ارزیابی شد. در حالی که به محدودیت‌های دقت داده‌ها اشاره شد، نتایج از ارزیابی‌ها و شبیه‌سازی‌ها نشان داد که مقدار کربن مرتبط با هر نوع از دیوارها در هر بخش چه میزان است. همانطور که در بخش قبل نشان داده شده است، کم‌ترین انتشار کربن در فاز گهواره تا دروازه مرتبط با ئیار ساخته شده با بلوک لیکا (دیوار نوع سوم) است و بلوک بتن کنفی، بلوک هبلکس، بلوک سفالی و پنل‌های ۳ بعدی و بلوک سفالی به ترتیب دارای بیشترین دی اکسید کربن متصاعد شده به جو در این مرحله هستند. انتشار کربن مرتبط با مرحله ساخت و ساز در محل (A5) شامل تخمین دی اکسید کربنی است که ناشی از عملیات ساخت و ساز برای هر کدام از پنج دیوار مورد بررسی است. در این بخش بیشترین انتشار مرتبط با دیوار نوع اول یعنی دیوار خارجی ساخته شده از بلوک‌های سفالی است، در حالی که بلوک لیکا کمترین انتشارات را داشته است. هم چنین در مرحله بعد دی اکسید کربن متصاعد شده در طول فاز عملیاتی (فاز مرتبط با میزان مصرف انرژی B6) بر اساس مصرف انرژی در طول عمر سی‌ساله ساختمان، شامل دو واحد مسکونی، برای مصالح مورد بررسی ارزیابی شد. نتایج نشان داد که دیوار های ساخته شده از بلوک‌های سفالی بیشترین انتشار دی اکسید کربن را ناشی از مصرف انرژی داشتند و هم چنین بلوک‌های بتن کنفی، پنل‌های عایق ۳ بعدی، بلوک‌های لیکا و بلوک‌های هبلکس. در رده های بعدی به ترتیب انتشار کربن از زیاد به کم قرار میگیرند. در پایان نیز میزان انتشار کربن کل در طول چرخه عمر ساختمان برای دیوارهای خارجی مورد بررسی با یکدیگر مقایسه شدند که نتایج با

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-08-13]

احتساب جذب کربن توسط بلوک هبلکس بیانگر روند افزایشی انتشار کربن به ترتیب بلوک بتن کنفی، بلوک لیکا، بلوک هبلکس (AAC)، پنل عایق سه بعدی و بلوک سفالی می باشد.نتایج این مطالعه می تواند به عنوان معیاری برای مطالعات بیشتر در زمینه اثرات زیست محیطی مصالح پرکاربرد در ایران مورد استفاده قرار گیرد. ارزیابی اثرات زیست محیطی و کاربردی بودن این طرح نیز می تواند برای خوانندگان علاقه مند به استفاده از چنین مواد و تکنیک هایی برای ساخت و ساز ساختمان ها مفید باشد.

منابع

وزارت نیرو، (۱۳۹۹). ترازنامه انرژی ۱۳۹۹-۲۰۲۰، دفتر برنامه ریزی و اقتصاد کلان برق و انرژی.

یوسفی، فاطمه ؛ قلی پور، یعقوب ؛ ارزیابی مصرف انرژی طول عمر یک ساختمان مسکونی واقعی در شهر تهران هنرهای زیبا، معماری و شهرسازی بهار ۱۳۹۷، دوره بیست و سوم - شماره ۱

Alshamrani, O. S. 2021. "Life Cycle Assessment for Modular Roof Systems of Large-Span Building." In Proceedings of the 18th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering. ICCCBE 2020. Lecture Notes in Civil Engineering, 98 vols., edited by E. Toledo Santos and S. Scheer. Cham: Springer. doi: 10.1007/978-3-030-51295-8_91.

Alshamrani, O., Alshibani, A., & Mohammed, A. (2022). Operational Energy and Carbon Cost Assessment Model for Family Houses in Saudi Arabia. *Sustainability*, *14*(3), 1278

Asdrubal, F. 2009. The role of Life Cycle Assessment (LCA) in the design of sustainable buildings: thermal and sound insulating materials, Conference: Euronoise at: Edinburgh, October, 2009

Asif, M., J. Currie, and T. Muneer. 2007. "Comparison of Aluminium and Stainless Steel Built-in-storage Solar Water Heater." *Building Services Engineering Research and Technology* 28 (4): 337–346. doi:10.1177/ 0143624407082390.

Atkinson-Palombo, C. 2010. New Housing Construction in Phoenix: Evidence of "New Suburbanism, Cities 27 (2): 77–86. doi: 10.1016/j.cities.2009.10.001.

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

Ben-Alon, L., Loftness, V., Harries, K. A., DiPietro, G., & Hameen, E. C. (2019). Cradle to site Life Cycle Assessment (LCA) of natural vs conventional building materials: A case study on cob earthen material. *Building and Environment*, *160*, 106150.

Bribián, I. Z., Capilla, A. V., & Usón, A. A. (2011). Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential. *Building and environment*, *46*(5), 1133-1140.

Brophy, V., & Lewis, J. O. (2012). *A green vitruvius: principles and practice of sustainable architectural design*. Routledge.

Chastas, P., Theodosiou, T., & Bikas, D. (2016). Embodied energy in residential buildings-towards the nearly zero energy building: A literature review. *Building and environment*, *105*, 267-282.

Curran, M. A. (1993). Broad-based environmental life cycle assessment. *Environmental Science & Technology*, *27*(3), 430-436.

Curran, M. A. 2013. "Life Cycle Assessment: a review of the methodology and its application to sustainability," Current Opinion in Chemical Engineering, vol. 2, no. 3, pp. 273-277

Ding, G. K. C. (2004). *The development of a multi-criteria approach for the measurement of sustainable performance for built projects and facilities* (Doctoral dissertation).

Dixit, M. K., Fernández-Solís, J. L., Lavy, S., & Culp, C. H. (2010). Identification of parameters for embodied energy measurement: A literature review. *Energy and buildings*, *42*(8), 1238-1247.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-08-13]

Dodman, D. 2017. "Environment and Urbanization." In International Encyclopedia of Geography: People, the Earth, Environment and Technology.

EN, B. 15978: 2011 (2011)"Sustainability of Construction works-Assessment of environmental performance of buildings-Calculation method".

Fenner, A. E., Kibert, C. J., Woo, J., Morque, S., Razkenari, M., Hakim, H., & Lu, X. (2018). The carbon footprint of buildings: A review of methodologies and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *94*, 1142-1152.

Geoffrey Hammond and Craig Jones, (2011), The inventory of Carbon and Energy (ICE), A BSRIA guid, University of Bath, Ed. Fiona Lowrie and Peter Tse.

Giesekam, J., Barrett, J., & Taylor, P. (2016, August). Scenario analysis of embodied greenhouse gas emissions in UK construction. In *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Engineering Sustainability* (Vol. 171, No. 4, pp. 178-190). Thomas Telford Ltd.

Guo, Z., Tu, A., Chen, C., & Lehman, D. E. (2018). Mechanical properties, durability, and life-cycle assessment of concrete building blocks incorporating recycled concrete aggregates. *Journal of Cleaner Production*, *199*, 136-149.

Häkkinen, T., Kuittinen, M., Ruuska, A., & Jung, N. (2015). Reducing embodied carbon during the design process of buildings. *Journal of Building Engineering*, *4*, 1-13.

Hamida, A., A. Alsudairi, K. Alshaibani, and O. Alshamrani. 2020. "Environmental Impacts Cost Assessment Model of Residential Building Using an Artificial Neural Network." *Engineering, Construction and Architectural Management* ahead-of-print (ahead–of–print). doi:10.1108/ECAM-06- 2020-0450.

Han, B., Wang, R., Yao, L., Liu, H., & Wang, Z. (2015). Life cycle assessment of ceramic façade material and its comparative analysis with three other common façade materials. *Journal of Cleaner Production*, *99*, 86-93.

Hashemi, F., & Heydari, S. (2012). Optimizing Energy Consumption in Residential Buildings in Cold Climates. *Soffeh*, *22*(1), 75-86.

International Enegy Agency, https://www.iea.org/countries/Iran, Achieve, 5/8/2023

ISO, I. (2006). ISO 14040. Environmental management–Life cycle assessment–Principles and framework (ISO 14040: 2006).

ISO, I. (2006). ISO 14040. Environmental management–Life cycle assessment–Principles and framework (ISO 14040: 2006).

Jacquemin, L., Pontalier, P. Y., & Sablayrolles, C. (2012). Life cycle assessment (LCA) applied to the process industry: a review. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *17*, 1028-1041.

Jusselme, T., Rey, E., & Andersen, M. (2018). An integrative approach for embodied energy: Towards an LCA-based data-driven design method. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *88*, 123-132.

Kalakul, S., Malakul, P., Siemanond, K., & Gani, R. (2014). Integration of life cycle assessment software with tools for economic and sustainability analyses and process simulation for sustainable process design. *Journal of cleaner production*, *71*, 98-109.

Kjær, L. L., Pagoropoulos, A., Hauschild, M., Birkved, M., Schmidt, J. H., & McAloone, T. C. (2015). From LCC to LCA using a hybrid input output model–a maritime case study. *Procedia CIRP*, *29*, 474-479.

Kulahcioglu, T., Dang, J., & Toklu, C. (2012). A 3D analyzer for BIM-enabled Life Cycle Assessment of the whole process of construction. *Hvac&R Research*, *18*(1-2), 283-293.

Labonnote, N., A. Rønnquist, B. Manum, and P. Rüther. 2016. "Additive Construction: State-of-the-art, Challenges and Opportunities." *Automation in Construction* 72: 347–366. doi:10.1016/j.autcon.2016.08.026

Lall, A. B., M. Pandit, N. Kulshreshta, and P. Appasamy. 1991. "Climate and Housing Form - a Case Study of New Delhi." *Energy and Buildings* 16 (3–4): 837–849. doi:10.1016/0378- 7788(91)90079-I.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-08-13]

Lamé, G., Leroy, Y., & Yannou, B. (2017). Ecodesign tools in the construction sector: Analyzing usage inadequacies with designers' needs. *Journal of Cleaner Production*, *148*, 60-72.

McManus, M. C., & Taylor, C. M. (2015). The changing nature of life cycle assessment. *Biomass and bioenergy*, *82*, 13-26.

Meex, E., Hollberg, A., Knapen, E., Hildebrand, L., & Verbeeck, G. (2018). Requirements for applying LCA-based environmental impact assessment tools in the early stages of building design. *Building and Environment*, *133*, 228-236.

Mateus, R., Fernandes, J., & Teixeira, E. R. (2020). Environmental life cycle analysis of earthen building materials.

Minunno, R., O'Grady, T., Morrison, G. M., & Gruner, R. L. (2020). Exploring environmental benefits of reuse and recycle practices: A circular economy case study of a modular building. *Resources, Conservation and Recycling*, *160*, 104855.

Moghtadernejad, S. (2013). Design, inspection, maintenance, life cycle performance and integrity of building facades.

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

Oladazimi, Amir, Saeed Mansour, and Seyed Abbas Hosseinijou. "Comparative life cycle assessment of steel and concrete construction frames: a case study of two residential buildings in Iran." *Buildings* 10, no. 3 (2020): 54.

Ormazabal, M., Jaca, C., & Puga-Leal, R. (2014). Analysis and comparison of life cycle assessment and carbon footprint software. In *Proceedings of the Eighth International Conference on Management Science and Engineering Management: Focused on Computing and Engineering Management* (pp. 1521-1530). Springer Berlin Heidelberg.

One Click LAC. (2021), Life Cycle Assesment for Building, why it matters and how to it use. One Click LCA Board.

Pacheco-Torgal, F., & Jalali, S. (2011). Nanotechnology: Advantages and drawbacks in the field of construction and building materials. *Construction and building materials*, *25*(2), 582-590.Kjær, L. L., Pagoropoulos, A., Hauschild, M., Birkved, M., Schmidt, J. H., & McAloone, T. C. (2015). From LCC to LCA using a hybrid input output model–a maritime case study. *Procedia CIRP*, *29*, 474-479.

Pakdel, A., Ayatollahi, H., & Sattary, S. (2021). Embodied energy and CO2 emissions of life cycle assessment (LCA) in the traditional and contemporary Iranian construction systems. *Journal of Building Engineering*, *39*, 102310.

Peng, C. (2016). Calculation of a building's life cycle carbon emissions based on Ecotect and building information modeling. *Journal of Cleaner Production*, *112*, 453-465.

Potrč, T., Rebec, K. M., Knez, F., Kunič, R., & Legat, A. (2016). Environmental footprint of external thermal insulation composite systems with different insulation types. *Energy Procedia*, *96*, 312-322.

Pushkar, S., R. Becker, and A. Katz. 2005. "A Methodology for Design of Environmentally Optimal Buildings by Variable Grouping." *Building and Environment* 40 (8): 1126–1139. doi:10.1016/j.buildenv.2004.09.004.

Rebitzer, G., Ekvall, T., Frischknecht, R., Hunkeler, D., Norris, G., Rydberg, T., ... & Pennington, D. W. (2004). Life cycle assessment: Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. *Environment international*, *30*(5), 701-720.

Roberts, M., Allen, S., & Coley, D. (2020). Life cycle assessment in the building design process–A systematic literature review. *Building and Environment*, *185*, 107274.

Sandanayake, M., Gunasekara, C., Law, D., Zhang, G., & Setunge, S. (2018). Greenhouse gas emissions of different fly ash based geopolymer concretes in building construction. *Journal of cleaner production*, *204*, 399-408.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-08-13]

Schlanbusch, R.D. Fufa, S. M. Häkkinen, T. Vares, S. H. Birgisdottir and P. Peter Ylmén. 2016. "Experiences with LCA in the Nordic building industry – challenges, needs and solutions," Tallinn and Helsinki.

Schlueter, A., & Thesseling, F. (2009). Building information model based energy/exergy performance assessment in early design stages. *Automation in construction*, *18*(2), 153-163.

Sierra-Pérez, J., Boschmonart-Rives, J., & Gabarrell, X. (2016). Environmental assessment of façade-building systems and thermal insulation materials for different climatic conditions. *Journal of cleaner production*, *113*, 102-113.

Spatari, S., Betz, M., Florin, H., Baitz, M., & Faltenbacher, M. (2001). Using GaBi 3 to perform life cycle assessment and life cycle engineering. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *6*, 81-84.

Stninska, Z., & Struhala, K. (2015). Impact of building's lifespan on the life cycle assessment.

Su, X., Tian, S., Shao, X., & Zhao, X. (2020). Embodied and operational energy and carbon emissions of passive building in HSCW zone in China: A case study. *Energy and Buildings*, *222*, 110090.

Tapper, R. J., Longana, M. L., Norton, A., Potter, K. D., & Hamerton, I. (2020). An evaluation of life cycle assessment and its application to the closed-loop recycling of carbon fibre reinforced polymers. *Composites Part B: Engineering*, *184*, 107665.

Teh, S. H., Wiedmann, T., Schinabeck, J., Rowley, H., & Moore, S. (2015). Integrated carbon metrics and assessment for the built environment. *Procedia CIRP*, *29*, 480-485.

Treasury, H. M. (2013). Planning for economic infrastructure. *National Audit Office*.

Tam, V. W., Le, K. N., & Wang, J. Y. (2018). Cost implication of implementing external facade systems for commercial buildings. *Sustainability*, *10*(6), 1917

UKGBC. 2015. Tackling Embodied Carbon in Buildings.

UKGBC. 2017. Embodied Carbon, Developing a client brief, London. https://www. ukgbc.org/wp-content/uploads/2017/09/UK-GBC-EC-Developing-Client-Brief. Pdf. Accessed 15 April 2022.

Venkatarama Reddy, B. V., & Latha, M. S. (2014). Influence of soil grading on the characteristics of cement stabilised soil compacts. *Materials and Structures*, *47*, 1633-1645.

Vilches, A., Garcia-Martinez, A., & Sanchez-Montanes, B. (2017). Life cycle assessment (LCA) of building refurbishment: A literature review. *Energy and Buildings*, *135*, 286-301.

Wolf, C., Klein, D., Weber-Blaschke, G., & Richter, K. (2016). Systematic review and meta-analysis of life cycle assessments for wood energy services. *Journal of Industrial Ecology*, *20*(4), 743-763.

WorldGBC, Bringing embodied carbon upfront, London. 2022. Toronto. https://www.worldgbc.org/sites/default/files/WorldGBC_Bringing_Embodied_Carbon_Upfront.pdf. Accessed 15 April 2022

Yılmaz, E., Arslan, H., & Bideci, A. (2019). Environmental performance analysis of insulated composite facade panels using life cycle assessment (LCA). *Construction and Building Materials*, *202*, 806-813.

Zeng, R., & Chini, A. (2017). A review of research on embodied energy of buildings using bibliometric analysis. *Energy and Buildings*, *155*, 172-184.

Zhang, X. (2018). Research on the Quantitative Analysis of Building Carbon Emissions and Assessment Methods for Low-carbon Buildings and Structures. *Harbi n Institute of Technology. M. Ph. thesis*.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-08-13]