

بررسی تطبیقی اثرات زیست‌محیطی یک ساختمان با اسکلت فلزی و بتنی در شهر تهران با رویکرد ارزیابی چرخه حیات در مرحله طراحی

مریم پورکریدشکوهی¹، محسن فیضی²، عباس ترکاشوند³ و مهدی خاکزند⁴

تاریخ دریافت: 98/04/12

تاریخ پذیرش: 99/06/24

چکیده: برای داشتن ساختمانی پایدار ارزیابی اثرات زیست‌محیطی آن مفید است. ارزیابی چرخه حیات¹ بهترین روش برای اندازه‌گیری و ارزیابی ضایعات کربن و اثرات مخرب زیست‌محیطی ناشی از مصالح ساختمان است. این مقاله به منظور پاسخ به این سؤال که آیا تفاوت‌های قابل توجهی درباره اثرات زیست‌محیطی استفاده از فولاد یا بتن برای اسکلت ساختمانی در تهران وجود دارد، چرخه حیات یک ساختمان را در فاز ساخت و تخریب یک‌بار با اسکلت فولادی و دیگری با اسکلت بتنی بررسی و مقایسه می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که بر اساس چهار شاخص گرمایش جهانی²، اسیدی شدن³، یوتروفیک⁴ و پتانسیل تخریب ازن⁵، ساختمان‌های فولادی انتشار مواد مضر زیست‌محیطی کمتری از ساختمان‌های بتنی دارند. در حالی که در شاخص‌های مصرف انرژی اولیه⁶ و پتانسیل تشکیل ازن در اتمسفر پایین⁷، ساختمان بتنی نتایج بهتری نشان داد. در نتیجه شبیه‌سازی و آنالیز با نرم‌افزار One Click Lca، انتشار کربن و مواد مخرب زیست‌محیطی ساختمان بتنی در مقایسه با ساختمان فولادی در تمام دوره عمر ساختمان به دست آمد. این مطالعه نشان داد که اسکلت فولادی در اقلیم تهران عملکرد زیست‌محیطی بهتری از بتن دارد.

واژگان کلیدی: ارزیابی چرخه حیات، اسکلت فولادی، اسکلت بتنی، انتشار کربن.

¹ دانشجوی کارشناسی ارشد، معماری پایدار، دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران.

m_poorkaridshokoohi@cmps2.iust.ac.ir

² استاد، معماری، دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران.

³ استادیار، معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران.

⁴ دانشیار، معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران.

1- مقدمه

ساختمان‌ها مسئول مصرف مواد و انرژی قابل توجه در جوامع صنعتی هستند (M. Nasir Shafiq, 2016). سطوح بسیار بالای آلودگی محیط زیست با صنعت ساخت و ساز همراه است که ناشی از مصرف انرژی در حین استخراج و پردازش مواد خام و تولید و حمل و نقل مواد ساختمانی در سراسر جهان است (J.C. Morel, 2001). به منظور به حداقل رساندن تأثیرات زیست محیطی ساخت و ساز، راهکار طراحی سبز قبلاً اتخاذ شده است و در حال حاضر در صنایع ساختمان در بخش‌های مختلف جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد. بررسی میزان اثرات مخرب زیست محیطی مصالح ساختمانی می‌تواند نقش مهمی در کاهش مصرف انرژی و انتشار کربن صنعت ساختمان داشته باشد (M.Y.M. Han, 2013). با توجه به تأثیر چشم‌گیر صنعت ساختمان بر مخاطرات زیست محیطی، یکی از اقدامات مهم در این زمینه، انتخاب مصالح پایدار برای استفاده در پروژه‌های ساختمانی است (Vakili Ardebili Ali and Shateri Faezeh, 2016). دو ماده فولاد و بتن، به‌طور فزاینده‌ای در ساختمان‌های مدرن مورد استفاده قرار می‌گیرد. در تحقیق شاه‌محمدی روی یک پروژه واقعی در جهت بررسی سودمندی رویکرد ارزیابی چرخه حیات ساختمان، نشان داده می‌شود که در هر سه بخش پتانسیل تخریب لایه اوزن، پتانسیل گرمایش زمینی و سوخت‌های فسیلی، المان ستون‌ها و تیرها بیشترین تأثیرات زیست محیطی را دارند (Shahmohammadi Sogand et al., 2018). در مقایسه با ساختمان بتنی، ساختمان فولادی دارای مزایای آشکاری است، مانند صرفه‌جویی در آب در شرایط ساخت و ساز خشک، ایجاد سروصدای کمتر و از بین بردن منابع کمتری از زمین، در عین حال ساخت و ساز بتنی ضایعات جامد کمتری تولید می‌کند و در مرحله پایان عمر قابل بازیافت است (Kofoworola, 2008). با این حال، مطالعات دقیق‌تر برای تعیین اثرات زیست محیطی این دو ماده لازم است تا انتخاب‌هایی که باعث کاهش تولید کربن شود، به دست آید. اقبالی در مطالعه خود نشان داد که

اسکلت بتنی در دیدگاه ملی و دیدگاه سازنده نمره بهتری را کسب نموده است و این موضوع باعث ترغیب دولت و سازنده به استفاده از این نوع اسکلت می‌شود (Amir Eghbali et al., 2019). در این مطالعه تلاش می‌شود، با توجه به ویژگی‌های اقلیمی شهر تهران و ارزیابی چرخه حیات دو ماده بتن و فولاد بتوان به انتخاب دقیق‌تری دست یافت. برخلاف اکثر مطالعات مشابه که چرخه حیات ساختمان را تنها از یک جنبه زیست محیطی بررسی می‌کنند، در این مقاله میزان آثار مخرب اسکلت ساختمان در هر 6 بخش تعریف شده، توسط شورای ساختمان سبز⁸ (گرمایش جهانی، اسیدی شدن، یوتروفیک، تخریب ازن، تشکیل ازن در اتم سفر پایین و انرژی اولیه) بررسی می‌شود، تا بتوان نتیجه جامع‌تری به دست آورد. در عین حال این مطالعه یک رویکرد جدید و مفید برای طراحی معماری در جهت بهینه‌سازی انرژی در مراحل اولیه طراحی ارائه می‌دهد. این روش برخلاف روش‌های طراحی پایدار با تحمیل المان‌های از پیش تعریف شده در مراحل پایانی طراحی، تلاش دارد که ساختمان، از مراحل اولیه طراحی و کانسپت، ویژگی دوستانه محیط زیست داشته باشد. دانستن اینکه چگونه بیشترین انتشار مواد زائد زیست محیطی اتفاق می‌افتد، می‌تواند طراحی خود را پیمان‌کاران را قادر به بهبود تصمیم‌گیری‌های خود در راستای حفاظت از محیط زیست در مراحل اولیه طراحی نماید. ارزیابی چرخه حیات ساختمان یک ابزار مؤثر برای این منظور است.

1-1- مروری بر پیشینه پژوهش

ساخت و ساز ساختمان یکی از مهمترین منابع انتشار کربن است، که محیط زیست را آلوده می‌کند، زیرا انرژی زیادی مصرف و در نتیجه حجم زیادی از گاز دی‌اکسید کربن را آزاد می‌کند (J. Basbagill, 2013). کاهش اثرات زیست محیطی ساختمان‌ها در دهه گذشته توجه محققان، سیاست‌گذاران و شرکت‌ها را جلب کرده است. با افزایش رشد مفهوم چرخه حیات تلاش در کاهش مصرف انرژی و استفاده از مواد سازگار با محیط زیست همچنان ادامه دارد (J. Basbagill, 2013). بر طبق



گرفت (Björklund et al., 1996). در پژوهش کول مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای (به استثناء مرحله پایانی زندگی) برای ساختارهای چوبی، فولادی و بتنی مقایسه شده است (Canadian Wood, 1997). کول مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای ساختمان‌های اداری با اسکلت فولاد و بتن (به استثنای فاز استفاده) را مقایسه کرد (R.J.Cole, 1996). کول و کرنان با بررسی اسکلت‌های فولادی بتنی و چوبی در یک ساختمان اداری چندطبقه در کانادا مشخص کردند، که میزان انرژی مصرف شده در سازه‌های بتنی و فولادی به ترتیب 6 و 14 درصد کاهش خواهد یافت، اگر سازه‌های چوبی را جایگزین کرد (Cole and Kernan, 1996). گوستاو سوناند با بررسی یک ساختمان 4 طبقه در سوئد با دو اسکلت چوبی و بتنی مشخص کردند که ساختمان با اسکلت چوبی دارای انرژی نهفته و میزان انتشار دی‌اکسید کربن کمتری به محیط است (Gustavsson and Sathre, 2005). آیتال با بررسی اسکلت فولادی یک ساختمان 7 طبقه در استرالیا نشان داد که می‌توان بیش از 81 درصد از اسکلت اولیه ساختمان فولادی را مجدداً استفاده کرد (Aye et al., 2011). گوگینز و همکاران با بررسی یک ساختمان اداری از لحاظ مواد ساختاری نشان دادند استفاده از بتن با درصد متفاوت از سیمان بر اساس اقلیم می‌تواند تا 30 درصد در انرژی نهفته ساختمان کاهش نشان دهد (J. Goggins et al., 2010). پینتو در دانشگاه ریرسون دو گزینه فریم در کانادا را مقایسه کردند: به‌طور کلی، مواد ساختاری مورد استفاده در گزینه اسکلت بتن، در مقایسه با گزینه اسکلت فولادی سهم بالاتری را در تأثیر در گرمایش جهانی داشتند (Pinto, 2011). گوگموس اثرات محیطی ساختمان‌های فولادی و قاب‌های بتنی را با استفاده از ارزیابی چرخه حیات ساختمان مقایسه کردند. دو ساختمان پنج طبقه با مساحت 4400 متر مربع مورد مطالعه قرار گرفتند که در غرب ایالات متحده واقع شده و انتظار می‌رفت تا 50 سال استفاده شوند. نتایج نشان داد که ساختار بتونی دارای بیشترین مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای به دلیل فرایند نصب طولانی‌تر است (Guggemos, 2005).

نظر عمر و همکاران، ارزیابی مصالح ساختمانی می‌تواند، تأثیر قابل توجهی بر ارزیابی اثرات زیست‌محیطی ساختمان‌ها داشته باشد (W.M.S.W.Omar et al., 2014). با توجه به مطالعات انجام شده، بررسی اثرات زیست‌محیطی مصالح ساختمانی باعث کاهش قابل توجه اثرات زیست‌محیطی مخرب صنعت ساختمان می‌شود و انتخاب‌های مناسب‌تر برای کاهش مصرف انرژی به دست می‌آید. بر طبق تحقیق بلنجینی و دی کارلو، انتخاب مصالح ساختمانی باعث ایجاد اثرات مرتبط با انتشار کربن می‌شود که تنها می‌تواند با استفاده از مصالح با مصرف انرژی اولیه کمتر کاهش یابد (Blengini and Di Carlo, 2009). همچنین زابالزا استفاده از مواد طبیعی محلی، قابل بازیافت در هر منطقه را توصیه کرد (I.Zabalza Bribia, 2009). به همین ترتیب، دیکسیت و همکاران تأکید کردند که مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر تنها در صورتی کاهش می‌یابد که مصالح با مصرف انرژی کم در مراحل اولیه طراحی ساختمان انتخاب شوند (M.K.Dixit et al., 2012). پیوپورتر و همکاران همچنین اعلام می‌کنند، انتخاب مواد، به‌طور کلی در مصرف انرژی مرحله ساخت و در نهایت میزان کربن آن تأثیر به‌سزایی دارد (Peuportier et al., 2012). بهبود در عملکرد محیط ساخته شده، تأثیر قابل توجهی در توسعه جامعه‌ی سازنده ایفا می‌کند؛ بنابراین، ارزیابی و تجزیه و تحلیل اثرات زیست‌محیطی مصالح ساختمانی در مراحل برنامه‌ریزی و طراحی حیاتی است (D.J.Harris, 1999). مطالعات متعدد منتشر شده برای ارزیابی تأثیر مصالح ساختمانی بر محیط زیست سعی کردند چارچوبی برای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی ساختمان‌ها در طول کل عمر خود با استفاده از استانداردهای ایزو ایجاد کنند (M. Moradi, 2013).

ارزیابی زیست‌محیطی شمع‌های فولادی از جهت استفاده از انرژی و دیگر اثرات مخرب در فرآیند ساخت، بازیافت و استفاده مجدد با استفاده از ارزیابی چرخه حیات انجام شده است (Gorgolewski, 1999). در پژوهش جورکلاند و همکاران چرخه حیات اسکلت ساختمان به جز مرحله تخریب مورد ارزیابی قرار

2- روش تحقیق

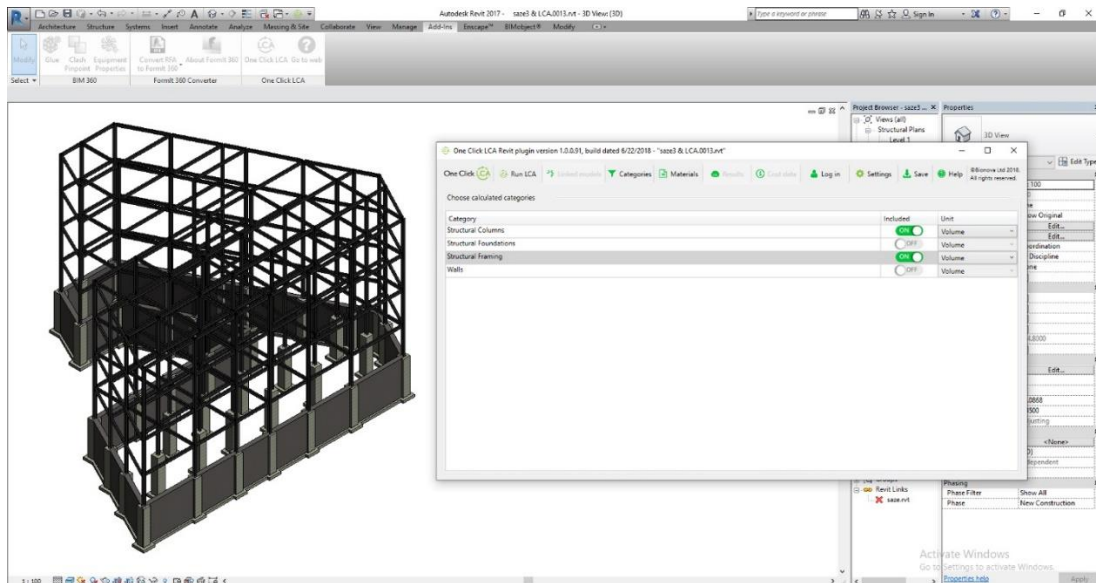
چرخه حیات یک ساختمان اداری با دو اسکلت فولادی و بتنی در اقلیم تهران (استفاده از اطلاعات اقلیمی ایستگاه هواشناسی مهرآباد با فرمت epw) مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است. ساختمان پنج طبقه با زیربنای 1000 مترمربع و دوره زندگی 50 سال طراحی شد (احتمال داده شد این ساختمان به مدت 50 سال مورد استفاده قرار خواهد گرفت). تنها تفاوت بین دو ساختمان نوع اسکلت: فولاد یا بتن است. این ساختمان با استفاده از ابزار (Autodesk Revit Architecture) و (Autodesk Revit Structure) به ترتیب برای قسمت معماری و سازه، طراحی شد. در قسمت Manage نرم افزار رویت و زبانه Project Location موقعیت مکانی پروژه و ایستگاه هواشناسی مهرآباد انتخاب شد، تا فایل epw مورد نظر در نرم افزار اعمال شود. سپس کلیه اطلاعات از برنامه Revit به نرم افزار شبیه ساز One Click Lca از طریق پلاگین متصل به نرم افزار Revit، جهت ارزیابی منتقل شد (شکل 1). پس از انتخاب اسکلت ساختمان جهت بررسی از میان گزینه های پلاگین به صورت خودکار تعداد و حجم تیرها و ستون ها در پلاگین نمایش داده می شود و با انتخاب پایگاه داده مصالح و کشور مورد نظر، می توان مصالح اسکلت ساختمان را انتخاب نمود (شکل 2). بعد از وارد شدن به حساب کاربری (شکل 3) می توان با کلیک بر روی RUNLCA، مستقیماً وارد سایت www.oneclicklca.com شد و نتایج حاصل از بررسی چرخه حیات اسکلت ساختمانی مورد نظر را بر اساس استاندارد انتخابی کاربر مطالعه و مقایسه نمود (شکل 4). مشخصات بتن و فولاد اجرا شده برای مدل ها در جدول یک و دو ارائه شده است. با وجود تأکید بر داده های محلی برای حصول بهترین نتایج، به علت در دست نبودن پایگاه داده ایران، از پایگاه داده مصالح اروپا استفاده شد. با توجه به حذف مرحله حمل و نقل مصالح به محل بحث تعمیم پذیری پایگاه داده، تأمین شد. برای

سنجش پایایی نتایج حاصل، از روش باز آزمایی در دو نوبت و تحت شرایط مشابه استفاده شد.

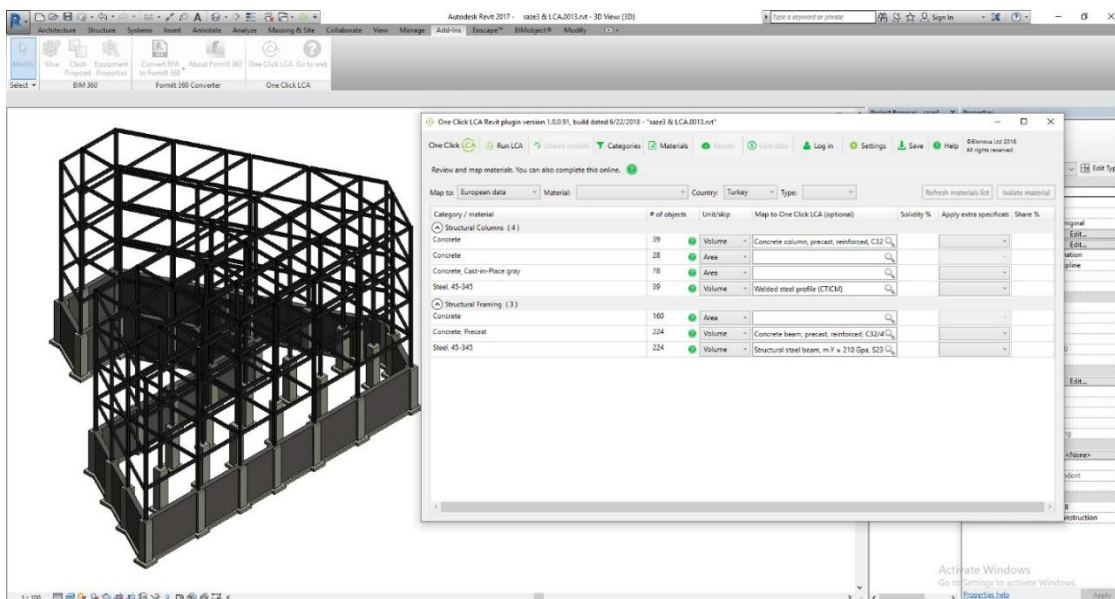
1-2 - نرم افزار شبیه ساز One Click Lca

این نرم افزار توسط کمپانی بی نووا⁹ (عضو اصلی شوراهای ساختمان سبز فنلاند، انگلستان و آمریکا) تهیه و در اندک زمانی به صورت پلاگین برای نرم افزارهای پرکاربرد در معماری مانند Revit، Architect و Sketchup توسعه یافت. به وسیله این برنامه می توان چرخه حیات ساختمان را بررسی و مصرف انرژی را با توجه به نتایج حاصله بهبود بخشید. کلیه محاسبات انجام شده در این برنامه مطابق با استاندارد ایزو اروپا برای ساختمان های سبز هست. نتایج حاصله را می توان با بارگذاری مستقیم برای دریافت تأییدیه های مختلف از جمله IEED¹⁰، BREEAM¹¹، ISO¹² در سایت های مربوطه آپلود نمود. این برنامه دارای بالاترین رتبه میان ابزار ارزیابی چرخه حیات برای دریافت گواهی نامه BREEAM معرفی شده است و توسط BRE¹³ با صد درصد تطابق محاسباتی رتبه یک در پشتیبانی تمام نسخه های BREEAM را کسب نموده است. با استفاده از این پلاگین می توان مدل های معماری و ساختاری را بررسی نمود. در بررسی مدل ساختمان، پس از وارد نمودن اطلاعات اقلیمی منطقه مورد بررسی (در این مقاله شهر تهران) به صورت فایل epw¹⁴ در ابتدا، مصالح مورد استفاده در ساختمان از پایگاه های داده متصل به نرم افزار انتخاب می شود. سرویس ابری متصل به این برنامه، مصالح مورد استفاده در مدل را بررسی و با اتصال به نرم افزار تحت وب، تأثیرات زیست محیطی را مشخص می نماید. این برنامه دارای یکی از بزرگ ترین پایگاه های داده های بین المللی و محلی با بیش از 65000 ماده اولیه برای بررسی چرخه حیات ساختمان است.

(<https://www.oneclicklca.com/construction/life-cycle-assessment-software>)

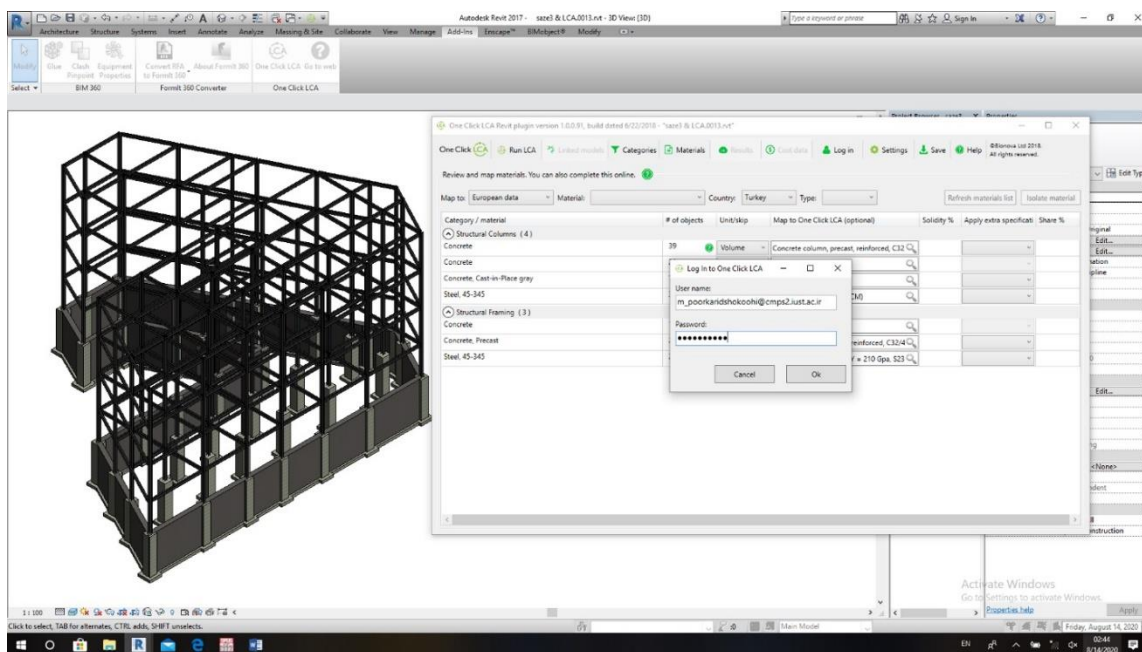


شکل 1- نحوه اتصال نرم افزار Revit به پلاگین One Click Lca (Autodesk Revit 2017)
Fig. 1 – How to connect the Revit software to the One Click Lca plugin, (Autodesk Revit 2017)



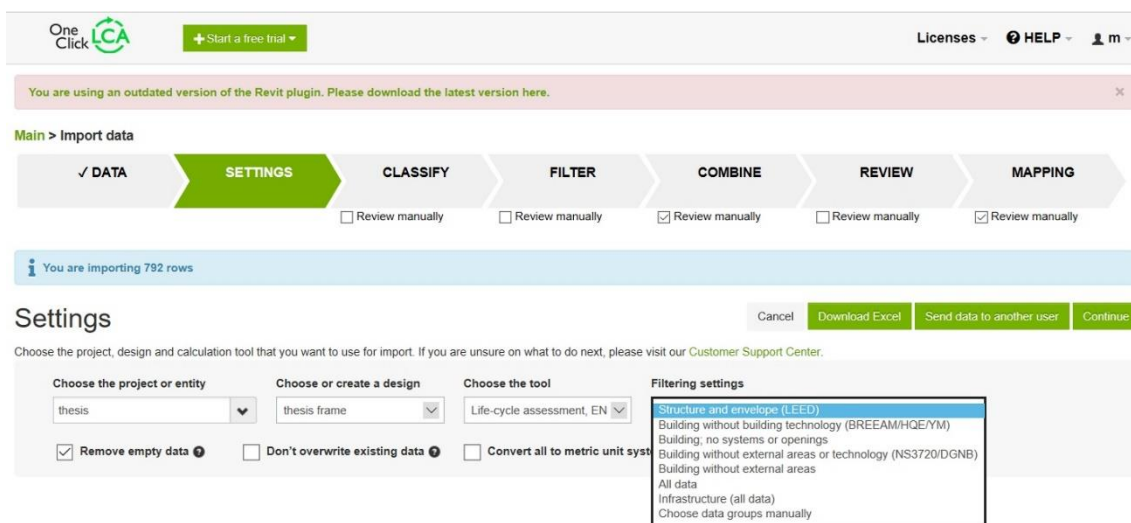
شکل 2- نمایش تعداد، حجم و مساحت المان های ساختمانی در پلاگین One Click Lca بر اساس مدل سازی Revit (Autodesk Revit 2017)

Fig. 2 – Displaying the number, volume and area of structural elements in the Oneclick plugin based on the Revit modeling, (Autodesk Revit 2017)



شکل 3- وارد شدن به حساب کاربری و اتصال به سایت www.oneclicklca.com (Autodesk Revit 2017)

Fig. 3 – Login to the account and connect to www.oneclicklca.com, (Autodesk Revit 2017)



شکل 4- مشاهده نتایج ارزیابی چرخه حیات بر اساس استاندارد انتخابی (One Click Lca Revit plugin version 1.0.0.91)

Fig. 4 – View life cycle evaluation results based on the selected standard (One Click Lca Revit plugin version 1.0.0.91)

2-2- شاخص‌های تجزیه و تحلیل
 مصرف انرژی، گازهای گلخانه‌ای و انتشار آلودگی،
 معیارهای موجود در ارزیابی چرخه عمر سیستم‌های
 ساختمانی برای صدور گواهی‌نامه‌های سبز است.
 گازهای گلخانه‌ای از CH_4 ، CO_2 ، SO_2 و CFC تشکیل
 شده است. معیارهای انتشار آلودگی در این نرم‌افزار
 مطابق با گواهی‌نامه‌های شورای ساختمان سبز CH_4 ¹⁵،
 CO_2 ¹⁶، CFC¹⁷، PO_4 ¹⁸ و SO_2 ¹⁹ است. واحد عملیاتی
 محاسبات، مساحت 1 متر مربع است
[https://www.oneclicklca.com/construction/life-](https://www.oneclicklca.com/construction/life-cycle-assessment-software)
[cycle-assessment-software](https://www.oneclicklca.com/construction/life-cycle-assessment-software).

مطابق با گواهی‌نامه‌های شورای ساختمان سبز CH_4 ¹⁵،
 CO_2 ¹⁶، CFC¹⁷، PO_4 ¹⁸ و SO_2 ¹⁹ است. واحد عملیاتی
 محاسبات، مساحت 1 متر مربع است
[https://www.oneclicklca.com/construction/life-](https://www.oneclicklca.com/construction/life-cycle-assessment-software)
[cycle-assessment-software](https://www.oneclicklca.com/construction/life-cycle-assessment-software).

بخشی از مرحله ساخت و ساز در نظر گرفته می شود، اما به دلیل عدم وجود اطلاعات پایگاه داده ایران، از اطلاعات پایگاه داده اروپا استفاده شد. به همین دلیل محاسبه مرحله انتقال از محل تولید به ساخت مقدور نیست. لذا برای تأمین تعمیم پذیری مرحله حمل و نقل به طور یکسان از هر دو محاسبه ارزیابی چرخه حیات مصالح حذف شد و دو مرحله ساخت و تخریب از لحاظ مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای بررسی شد. از مصالح موجود در پایگاه داده اروپا، مصالح ثبت شده از کشور ترکیه به دلیل نزدیکی اقلیمی به تهران در مقایسه با سایر شهرهای این پایگاه داده، مورد استفاده قرار گرفت.

جدول شماره یک خروجی نرم افزار One click Ica در مرحله اول بررسی چرخه حیات یعنی مرحله ساخت و ساز است. بررسی ارقام جدول شماره یک، در مرحله تولید مصالح، سازه‌های عمودی بتن، تخریب اوزون و یوتروفیک بالاتری را نشان داد، در حالی که سازه‌های عمودی فولادی در بخش‌های گرمایش جهانی، اسیدی شدن، تخریب اوزون در اتمسفر پایین و مصرف انرژی اولیه، درصد بالاتری از تأثیرات مخرب زیست محیطی را نشان داد. در همین مرحله و در بخش سازه‌های افقی، تیر بتنی در کلیه شش معیار سنجش، درصد بالاتری از آثار مخرب زیست محیطی را نشان داد (جدول 1)

3-2- مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای به محیط زیست در مرحله تخریب

مرحله پایان عمر شامل تخریب ساختمان و همچنین حذف مواد تخریب شده از سایت است. این مرحله شامل کاهش اثرات مواد تخریب شده به محیط زیست، از جمله بازیافت، استفاده مجدد یا دفن زباله است (A Guide to Life Cycle Assessment of Buildings, 2010). طبق خروجی های نرم افزار در مرحله تخریب، سازه بتنی در هر دو ساختار عمودی و افقی اثرات زیست محیطی مخربتری در هر 6 معیار مورد بررسی داشت، در حالی که فولاد با اختلاف قابل توجه در مرحله تخریب و بازیافت عملکرد بهتری را نشان داد (جدول 2).

2-3- مراحل ارزیابی چرخه حیات²⁰

هر محصول یا فرآیند از مراحل مختلف زندگی خود می گذرد. برای محصولات صنعتی، این مراحل را می توان به طور گسترده‌ای شامل استخراج مواد، ساخت، استفاده و نگهداری و پایان زندگی تعریف کرد (A Guide to Life Cycle Assessment of Buildings, 2010). در مورد ساختمان‌ها، این مراحل به طور خاص به شرح زیر است:

← تولید مواد²¹: استخراج مواد خام از زمین، انتقال مواد به مکان‌های تولید، تولید مواد نیمه تمام یا مصالح، ساخت محصولات تولید و بسته بندی و توزیع محصولات ساختمانی

← ساخت و ساز²²: تمام فعالیت‌های مرتبط با ساخت و ساز ساختمان

← استفاده و نگهداری²³: عملیات ساختمان شامل مصرف انرژی، مصرف آب، تولید زباله‌های زیست محیطی، تعمیر و تعویض مجموعه‌ها و سیستم‌های ساختمان و استفاده از حمل و نقل و تجهیزات برای تعمیر و تعویض است.

← پایان زندگی²⁴: شامل انرژی مصرف شده و زباله تولید شده به علت تخریب ساختمان و دفع مواد زائد و دفن زباله و حمل و نقل مواد زائد است. فعالیت‌های بازیافت و استفاده مجدد مربوط به زباله‌ها را نیز می تواند شامل شود و «تأثیر منفی» داشته باشد (A Guide to Life Cycle Assessment of Buildings, 2010). در این مطالعه بخش‌های تولید مصالح و پایان زندگی (تخریب) در چرخه حیات ساختمان مورد بررسی قرار می گیرد.

3- نتایج و بحث

یافته‌ها در دو مرحله از فرآیند ارزیابی چرخه حیات، بر اساس خروجی‌های نرم افزار بررسی می شود:

3-1- مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای به محیط زیست در مرحله تولید مصالح

مصالح باید از محل تولید به محل ساخت و ساز ارسال شوند. فولاد ابتدا به کارگاه پیش‌نصب و سپس به سایت ارسال می شود. حمل و نقل مواد و تجهیزات به عنوان

جدول 1- نتایج حاصل از ارزیابی مصالح اسکلت ساختمان، در مرحله تولید، (One Click LCA Revit plugin version 1.0.0.91)

Tab. 1- Results of The Evaluation of Building Structure Materials, in The Production Stage (One Click LCA Revit plugin version 1.0.0.91)

ارزیابی چرخه حیات: مرحله تولید مصالح ساختمانی							
مصالح	منبع	ورودی کاربر	جهانی کیلوگرم دی اکسید کربن	اسیدی شدن کیلوگرم so2	یوتروفیک کیلوگرم po4	پتانسیل تخریب اوزون کیلوگرم cfc11	تشکیل اوزون در اتمسفر پایین کیلوگرم اتان
مصالح ساختمانی <المان‌های عمودی و نما > ستون‌ها و اسکلت عمودی باربر							
	ستون بتنی، پیش‌ساخته، تقویت شده C32/40	59/13 مترمربع	%39	%39	%59	%85	%16
	فولاد CTICM	7.01 مترمربع	61%	61%	41%	15%	84%
مصالح ساختمانی <سازه‌های افقی: تیرها، کف و سقف > دال کف، سقف‌ها، عرشه‌های بام، تیرها							
	تیر بتنی، پیش‌ساخته، تقویت شده C32/40	208.75 مترمربع	85%	84%	92%	91%	68%
	تیر فولادی M.Y=210Gpa	5.78 مترمربع	15%	16%	8%	9%	32%

جدول 2- نتایج حاصل از ارزیابی مصالح اسکلت ساختمان در مرحله تخریب (One Click LCA Revit plugin version 1.0.0.91)

Tab. 2 -Results of Evaluation of Building Structure Materials in Demolition Stage(One Click LCA Revit plugin version 1.0.0.91)

ارزیابی چرخه حیات: مرحله تخریب							
مصالح	منبع	ورودی کاربر	جهانی کیلوگرم دی اکسید کربن	اسیدی شدن کیلوگرم so2	یوتروفیک کیلوگرم po4	پتانسیل تخریب اوزون کیلوگرم cfc11	تشکیل اوزون در اتمسفر پایین کیلوگرم اتان
مصالح ساختمانی <المان‌های عمودی و نما > ستون‌ها و اسکلت عمودی باربر							
	ستون بتنی، پیش‌ساخته، تقویت شده C32/40	59.13 مترمربع	74%	74%	74%	74%	74%
	فولاد CTICM	7.01 مترمربع	26%	26%	26%	26%	26%
مصالح ساختمانی <سازه‌های افقی: تیرها، کف و سقف > دال کف، سقف‌ها، عرشه‌های بام، تیرها							
	تیر بتنی، پیش‌ساخته، تقویت شده C32/40	208.75 مترمربع	93%	93%	93%	93%	93%
	تیر فولادی M.Y=210Gpa	5.78 مترمربع	7%	7%	7%	7%	7%



تأثیرات مخرب بیشتری در محیط زیست خواهد داشت (شکل 8). اسکلت بتنی ساختمان مورد بررسی با تولید 0.065 کیلوگرم CFC، تفاوت محسوسی با اسکلت فلزی با تولید 0.0042 کیلوگرم CFC در بخش پتانسیل تخریب ازن دارد (شکل 14). در تخریب اوزون، المان‌های افقی و عمودی اسکلت بتنی، بیشترین میزان تولید دی‌اکسید کربن را نشان داد (جدول 6).

پتانسیل تشکیل ازن فتوشیمیایی در اتمسفر پایین: در بخش تخریب اتمسفر پایین، اسکلت فولادی با 57% در مقابل اسکلت بتنی با 43% تولید گاز اتان، تأثیرات مخرب بیشتری در محیط زیست خواهد داشت (شکل 9). اسکلت بتنی ساختمان مورد بررسی با تولید 157.97 کیلوگرم اتان، تفاوت محسوسی با اسکلت فلزی با تولید 142.28 کیلوگرم اتان در بخش پتانسیل تشکیل ازن در اتمسفر پایین ندارد (شکل 15). در تخریب اتمسفر پایین، المان‌های عمودی اسکلت فولادی، بیشترین میزان تولید دی‌اکسید کربن را نشان دادند، در حالی که در المان‌های افقی اسکلت بتنی در رتبه دوم تولید دی‌اکسید کربن قرار گرفت (جدول 7).

انرژی اولیه: در بخش انرژی اولیه، اسکلت فولادی با 54% در مقابل اسکلت بتنی با 46% مصرف انرژی اولیه، تأثیرات مخرب بیشتری در محیط زیست خواهد داشت (شکل 10). اسکلت فولادی 3013069 مگا ژول انرژی و اسکلت بتنی 2508413 مگا ژول انرژی اولیه مصرف خواهد کرد (شکل 16). در انرژی اولیه، المان‌های افقی اسکلت بتنی، بیشترین میزان تولید دی‌اکسید کربن را نشان داد (جدول 8).

جدول 3- درصد تأثیر مصالح برافزایش گرمایش جهانی با تفکیک عناصر ساختاری بر اساس هشدار CO₂ (One Click LCA Revit plugin version 1.0.0.91)
Tab. 3- effect of materials on global warming by separating structural elements based on CO₂ warning, (One Click LCA Revit plugin version 1.0.0.91)

هشدار CO ₂	مصالح مؤثر در گرمایش جهانی (GWP) A1--A3
قرمز	1. تیر بتنی پیش‌ساخته تقویت‌شده < 55.4%
زرد	2. پروفیل فولادی < 21.4%
نارنجی	3. ستون بتنی پیش‌ساخته تقویت‌شده < 13.7%
سبز	4. تیر فولادی < 9.5%

3-3- بررسی و مقایسه داده‌های حاصل از آنالیز 6 بخش مؤثر در آلودگی زیست‌محیطی در چرخه حیات ساختمان

گرمایش جهانی: در بخش گرمایش جهانی، اسکلت بتنی با 69% در مقابل اسکلت فولادی با 31% تولید CO₂ از مجموع کربن محاسبه شده برای ساختمان مورد بررسی، تأثیرات مخرب بیشتری بر محیط زیست داشت (شکل 5). اسکلت بتنی ساختمان مورد بررسی با تولید 505719.45 کیلوگرم CO₂، تفاوت محسوسی با اسکلت فلزی با تولید 284905.95 کیلوگرم CO₂ در بخش گرمایش جهانی دارد (شکل 11). المان‌های افقی اسکلت بتنی در مجموع بیشترین میزان تولید دی‌اکسید کربن را نشان دادند، در حالی که المان‌های افقی اسکلت فولادی کمترین دی‌اکسید کربن را تولید کردند (جدول 3).

اسیدی شدن: در بخش اسیدی شدن، اسکلت بتنی با 68% در مقابل اسکلت فولادی با 32% تولید SO₂ از مجموع تولید گوگرد محاسبه شده برای ساختمان مورد مطالعه، تأثیرات مخرب بیشتری بر محیط زیست داشت (شکل 6). اسکلت بتنی ساختمان مورد بررسی با تولید 1355.63 کیلوگرم SO₂، تفاوت محسوسی با اسکلت فلزی با تولید 706.56 کیلوگرم SO₂ در بخش پتانسیل اسیدی شدن دارد (شکل 12). در اسیدی شدن، المان‌های افقی اسکلت بتنی، بیشترین میزان تولید دی‌اکسید گوگرد را نشان داد (جدول 4).

یوتروفیک: در بخش یوتروفیک، اسکلت بتنی با 84% در مقابل اسکلت فولادی با 16% تولید PO₄ از مجموع تولید یون اورتو فسفات برای ساختمان مورد مطالعه، تأثیرات مخرب بیشتری در محیط زیست خواهد داشت (شکل 7). اسکلت بتنی ساختمان مورد بررسی با تولید 305.22 کیلوگرم PO₄، تفاوت محسوسی با اسکلت فلزی با تولید 60.38 کیلوگرم PO₄ در بخش پتانسیل اسیدی شدن دارد (شکل 13). در یوتروفیک، المان‌های افقی و عمودی اسکلت بتنی، بیشترین میزان تولید دی‌اکسید کربن را نشان داد (جدول 5).

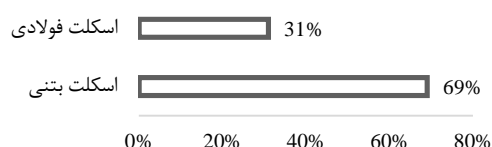
پتانسیل تخریب ازن: در بخش تخریب اوزون، اسکلت بتنی با 90% در مقابل اسکلت فولادی با 10% تولید گاز CFC از مجموع تولید CFC برای ساختمان مورد مطالعه،

جدول 8- درصد تأثیر مصالح در انرژی اولیه با تفکیک عناصر ساختاری بر اساس هشدار CO₂ (One Click LCA Revit plugin version 1.0.0.91)

Tab. 8- effect of materials on primary energy by separating structural elements based on CO₂ warning (One Click LCA Revit plugin version 1.0.0.91)

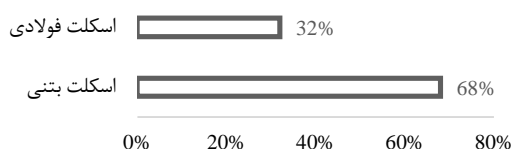
هشدار CO ₂	مصالح مؤثر در انرژی اولیه (A1-A3-(EP)
قرمز	1. تیر بتنی پیش ساخته تقویت شده < 38.9%
زرد	2. ستون بتنی پیش ساخته تقویت شده < 35.6%
نارنجی	3. پروفیل فولادی < 18.5%
سبز	4. تیر فولادی < 7.1%

گرمايش جهانی



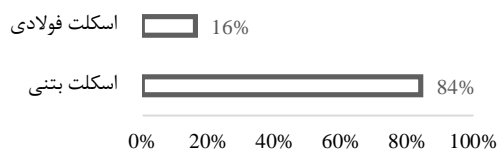
شکل 5- درصد آثار مخرب بر گرمایش جهانی به تفکیک مصالح، (One Click LCA Revit plugin version 1.0.0.91)
Fig. 5- Percentage of the destructive effects on global warming by materials (One Click LCA Revit plugin version 1.0.0.91)

پتانسیل اسیدی شدن



شکل 6- درصد آثار مخرب بر پتانسیل اسیدی شدن به تفکیک مصالح، (One Click LCA Revit plugin version 1.0.0.91)
Fig. 6- Percentage of destructive effects on the potential of acidization by materials (One Click LCA Revit plugin version 1.0.0.91)

یوتروفیک



شکل 7- درصد آثار مخرب بر یوتروفیک به تفکیک مصالح، (One Click LCA Revit plugin version 1.0.0.91)
Fig. 7- Percentage of destructive effects on eutrophic by materials (One Click LCA Revit plugin version 1.0.0.91)

جدول 4- درصد تأثیر مصالح بر افزایش پتانسیل اسیدی شدن با تفکیک عناصر ساختاری بر اساس هشدار CO₂ (One Click LCA Revit plugin version 1.0.0.91)

Tab. 4- effect of materials on the increase of acidization potential by separation of structural elements based on CO₂ warning (One Click LCA Revit plugin version 1.0.0.91)

هشدار CO ₂	مصالح مؤثر در اسیدی شدن (A1-A3-(AP)
قرمز	1. تیر بتنی پیش ساخته تقویت شده < 55.3%
زرد	2. پروفیل فولادی < 21%
نارنجی	3. ستون بتنی پیش ساخته تقویت شده < 13.1%
سبز	4. تیر فولادی < 10.6%

جدول 5- درصد تأثیر مصالح بر یوتروفیک با تفکیک عناصر ساختاری بر اساس هشدار CO₂ (One Click LCA Revit plugin version 1.0.0.91)

Tab. 5- effect of materials on eutrophic by separating structural elements based on CO₂ warning (One Click LCA Revit plugin version 1.0.0.91)

هشدار CO ₂	مصالح مؤثر در یوتروفیک (A1-A3-(EP)
قرمز	1. تیر بتنی پیش ساخته تقویت شده < 70.6%
زرد	2. ستون بتنی پیش ساخته تقویت شده < 13.8%
نارنجی	3. پروفیل فولادی < 9.4%
سبز	4. تیر فولادی < 6.2%

جدول 6- درصد تأثیر مصالح بر پتانسیل تخریب ازن با تفکیک عناصر ساختاری بر اساس هشدار CO₂ (One Click LCA Revit plugin version 1.0.0.91)

Tab.6- effect of materials on ion degradation potential by separation of structural elements based on CO₂ warning (One Click LCA Revit plugin version 1.0.0.91)

هشدار CO ₂	مصالح مؤثر در تخریب ازن (A1-A3-(ODP)
قرمز	1. تیر بتنی پیش ساخته تقویت شده < 71.4%
زرد	2. ستون بتنی پیش ساخته تقویت شده < 18.3%
نارنجی	3. تیر فولادی < 7.1%
سبز	4. پروفیل فولادی < 3.2%

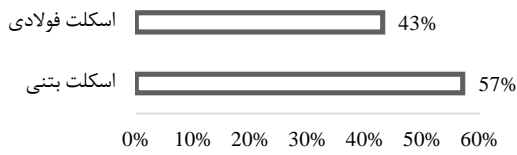
جدول 7- درصد تأثیر مصالح بر تشکیل ازن فتوشیمیایی با تفکیک عناصر ساختاری بر اساس هشدار CO₂ (One Click LCA Revit plugin version 1.0.0.91)

Tab. 7- effect of materials on photochemical esten formation by separation of structural elements based on CO₂ warning (One Click LCA Revit plugin version 1.0.0.91)

هشدار CO ₂	مصالح مؤثر در تشکیل ازن در اتمسفر پایین (A1-A3-(POCP)
قرمز	1. پروفیل فولادی < 40.5%
زرد	2. تیر بتنی پیش ساخته تقویت شده < 35.3%
نارنجی	3. تیر فولادی < 16.6%
سبز	4. ستون بتنی پیش ساخته تقویت شده < 7.6%



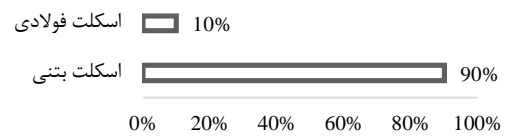
تشکیل ازن فتوشیمیایی



شکل 9- درصد آثار مخرب بر تشکیل ازن فتوشیمیایی در اتمسفر پایین به تفکیک مصالح، (One Click LCA Revit plugin version 1.0.0.91)

Fig. 9- Percentage of destructive effects on photochemical ion formation in low atmosphere by materials (One Click LCA Revit plugin version 1.0.0.91)

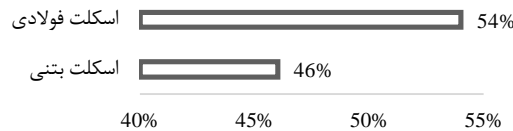
تخریب لایه ازن



شکل 8- درصد آثار مخرب بر تخریب لایه ازن به تفکیک مصالح (One Click LCA Revit plugin version 1.0.0.91)

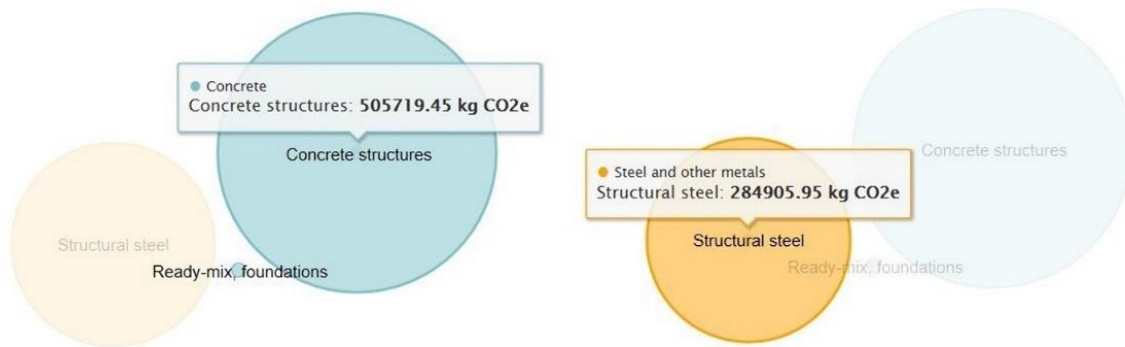
Fig. 8- Percentage of the destructive effects on the destruction of the ion layer by materials (One Click LCA Revit plugin version 1.0.0.91)

مصرف انرژی اولیه



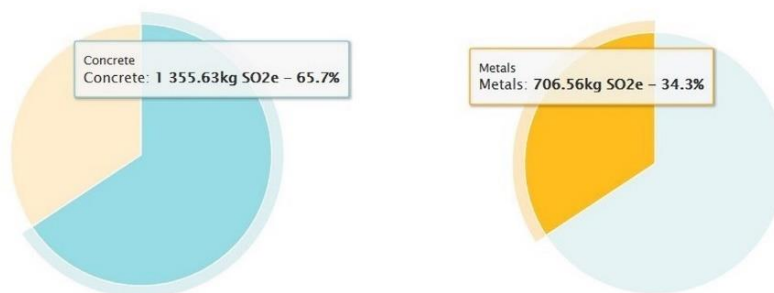
شکل 10- درصد آثار مخرب بر افزایش مصرف انرژی اولیه به تفکیک مصالح، (One Click LCA Revit plugin version 1.0.0.91)

Fig. 10- Percentage of destructive effects on the increase of primary energy consumption by materials (One Click LCA Revit plugin version 1.0.0.91)



شکل 11- میزان تولید دی اکسید کربن بر حسب کیلوگرم در بخش گرمایش جهانی به تفکیک مصالح، (One Click LCA Revit plugin version 1.0.0.91)

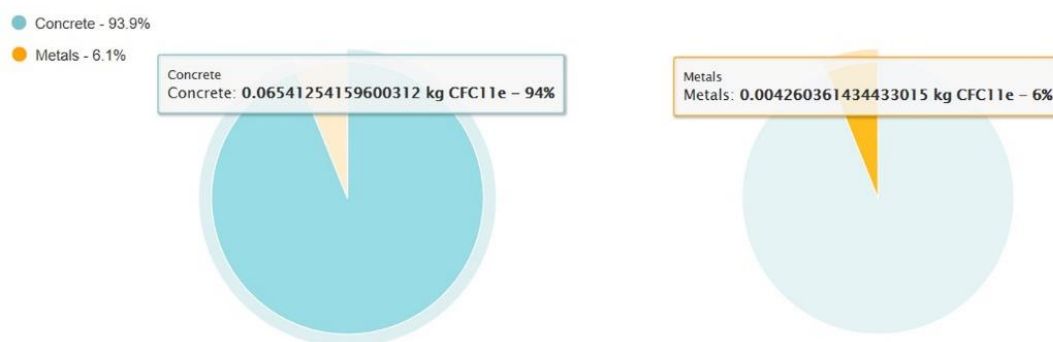
Fig. 11- Carbon dioxide production per kilogram in global warming by materials (One Click LCA Revit plugin version 1.0.0.91)



شکل 12 - میزان تولید دی‌اکسید گوگرد بر حسب کیلوگرم در بخش پتانسیل اسیدی شدن به تفکیک مصالح، (One Click LCA Revit plugin version 1.0.0.91)
 Fig. 12- Production of sulfur dioxide in kilograms in the potential for acidization by materials, (One Click LCA Revit plugin version 1.0.0.91)



شکل 13- میزان تولید اورتو فسفات بر حسب کیلوگرم در بخش پتانسیل یوتروفیک به تفکیک مصالح، (One Click LCA Revit plugin version 1.0.0.91)
 Fig. 13- Production of orthophosphate in kilograms in eutrophic potential section by materials (One Click LCA Revit plugin version 1.0.0.91)

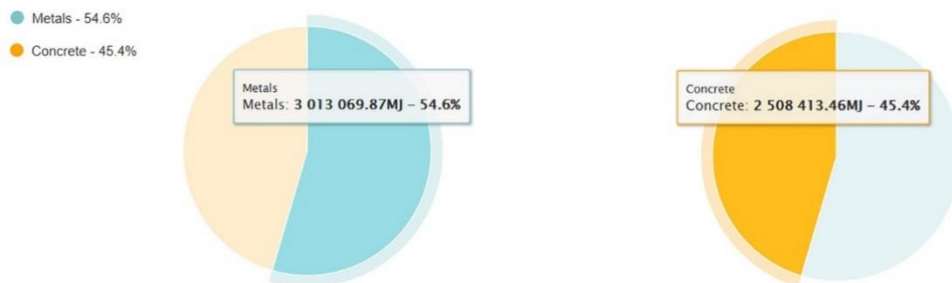


شکل 14- میزان تولید گاز کلروفلوروکربن بر حسب کیلوگرم در بخش تخریب ازن به تفکیک مصالح، (One Click LCA Revit plugin version 1.0.0.91)
 Fig. 14- Production of chlorofluorocarbon gas in kilograms in the ion degradation section by materials, (One Click LCA Revit plugin version 1.0.0.91)



شکل 15 - میزان تولید گاز اتان بر حسب کیلوگرم در بخش پتانسیل تشکیل ازن فتوشیمیایی به تفکیک مصالح، (One Click LCA Revit plugin version 1.0.0.91)

Fig. 15- The production of ethane gas in kilograms in the potential section of photochemical esten formation by materials, (One Click LCA Revit plugin version 1.0.0.91)



شکل 16- میزان مصرف انرژی اولیه بر حسب مگا ژول به تفکیک مصالح، (One Click LCA Revit plugin version 1.0.0.91)

قابل مقایسه‌ای به دست آمد. نتایج این مطالعه حاکی از آن بود که مصالح ساختمان، نقش مهمی در میزان انتشار کربن آن دارد. انرژی مصرفی و انتشار گازهای گلخانه‌ای اسکلت فولادی نسبت به اسکلت بتنی برای ساخت و در نهایت تخریب در اقلیم شهر تهران کمتر بود. داده‌های خروجی از نرم‌افزار نشان داد که ساختمان با اسکلت بتنی میزان بالاتری از دی‌اکسید کربن را تولید می‌کند و تنها با تفاوت در مصالح اسکلت ساختمان می‌توان به میزان زیادی از آثار مخرب زیست‌محیطی آن جلوگیری کرد. ساختمان با اسکلت فولادی با توجه به کل انرژی مصرفی و انتشار گازهای گلخانه‌ای و دی‌اکسید کربن، نتایج بهتری را نشان داد. نتایج این بررسی در تطبیق با مطالعه اولاد عظیمی است که اثرات زیست‌محیطی یک ساختمان را با دو اسکلت فولادی و بتنی در تهران بررسی نمود. در آن مطالعه طول عمر ساختمان صدسال در نظر گرفته شد

4- نتیجه‌گیری

در این مطالعه اسکلت ساختمانی فلزی و بتونی برای مقایسه در خصوص آثار مخرب زیست‌محیطی انتخاب شد. هدف پاسخ‌گویی به این سؤال بود که آیا پیامدهای محیطی انتخاب اسکلت ساختمان نیز مهم است و آیا تمرکز بر انتخاب مواد و روش‌های ساخت و ساز می‌تواند، باعث کاهش اثرات مخرب زیست‌محیطی شود؟ ارزیابی اثرات زیست‌محیطی ساختمان اداری در تهران با دو اسکلت بتنی و فولادی انجام شد. ساختمان مورد نظر در نرم‌افزار رویت مدل‌سازی و به‌وسیله پلاگین Ica Oneclick بررسی شد. در این مطالعه به دلیل عدم وجود پایگاه داده ایران، از پایگاه داده اروپا استفاده شد. محدوده مطالعه مرحله ساخت و ساز و تخریب و همچنین طول عمر ساختمان 50 سال در نظر گرفته شد. با توجه به کل انرژی مصرفی و انتشار گازهای گلخانه‌ای ساختمان‌های فولادی و بتنی، نتایج

- ⁷ Photochemical ozone creation potential (POCP)
⁸ Global building council (GBC)
⁹ BIONOVA LTD
¹⁰ Leadership in Energy and Environmental Design
¹¹ Building Research Establishment Environmental Assessment Method
¹² Building Research Energy
¹³ Energyplus Weather Data
¹⁴ گاز اتان
¹⁵ گاز دی‌اکسید کربن
¹⁶ گاز کلروفلوروکربن
¹⁷ گاز اورتوفسفات
¹⁸ گاز دی اکسید
¹⁹ گوگرد
²⁰ Life-Cycle Stages of a building
²¹ Materials Manufacturing
²² Construction
²³ Use and Maintenance
²⁴ End of Life

منابع

AIA Guide to Building Life Cycle Assessment in Practice, Georgia Institute of Technology (2010)49-60.

Amir Eghbali Ghazi Jahani, Reza Brune, Reza Maknoon, Environmental and Economic AI Scoring of Building Skeletons Using Life Cycle Assessment Method, 8th Congress of Civil Engineering, Shiraz University, May 11-13, 2019 [in persian].

Amir Oladazimi, Saeed Mansour, Seyed Abbas Hosseinijou, Comparative Life Cycle Assessment of Steel and Concrete Construction Frames: A Case Study of Two Residential Buildings in Iran, Buildings — Open Access Journal, Published: 12 March 2020.

Asghar Mohammad Moradi, Bagher Hosseini, Hamid Yazdani, Principles of Assessment and Improvement of Construction Systems Environmental Sustainability in Iran (by Life Cycle Numerical Parametric Measurement Approach) Volume 23, Issue 2 (12-2013).

Björklund, T. Jönsson, Å. and Tillman, A. LCA of building frame structures: Environmental impact over the life cycle of concrete and steel frames. Technical Environmental Planning Report. Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden. 1996(8).

B. Lippke, J. Wilson, J. Perez-Garcia, J. Bowyer, and J. Meil, CORRIM: Life-cycle environmental performance of renewable building

و چرخه حیات آن از نظر گرمایش جهانی، یوتروفیک، آلودگی آب، مصرف سوخت‌های فسیلی و اسیدی شدن بررسی شد و نتایج نشان داد که میزان آلودگی محیط زیست ناشی از اسکلت بتنی در کلیه فاکتورها، 219000 تن بیشتر از اسکلت فولادی است (Oladazimi, 2020). در مطالعه پیش رو میزان آلودگی زیست‌محیطی ناشی از کاربرد بتن در اسکلت ساختمان در دو مرحله تولید و تخریب به‌طور جداگانه و 6 معیار GBC (گرمایش جهانی، اسیدی شدن، یوتروفیک، پتانسیل تخریب ازن، پتانسیل تشکیل ازن فتوشیمیایی در اتم سفر پایین و مصرف انرژی اولیه) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از بررسی چرخه حیات در مرحله تولید مصالح نشان داد، بخش‌های افقی اسکلت بتنی در 6 معیار GBC آثار مخرب زیست‌محیطی بیشتری از فولاد دارند. در مرحله پایان عمر ساختمان سازه بتنی در هر دو بخش اسکلت افقی و عمودی در کلیه معیارهای سنجش آثار مخرب زیست‌محیطی بیشتری نشان داد. تیر بتنی از نظر تولید دی‌اکسید کربن در کلیه معیارها به‌جز POCP در حالت هشدار قرار گرفت و پروفیل فولادی تنها در بررسی POCP با اختلاف کم از تیر بتنی در حالت هشدار دی‌اکسید کربن است. اسکلت بتنی تنها در بخش مصرف انرژی اولیه نتایج بهتری نشان داد. این بررسی نشان داد که انتخاب آگاهانه نوع مصالح سازه‌ای می‌تواند، تأثیر چشم‌گیری در کاهش آلودگی زیست‌محیطی ناشی از صنعت ساختمان داشته باشد. این مطالعه با استناد به نتایج محاسبات انجام شده استفاده از اسکلت فولادی را در شهر تهران پیشنهاد می‌کند. توصیه می‌شود که در طراحی پروژه‌های ساختمانی آینده، عوامل دیگری نیز چون هزینه مواد، امکان استفاده از مواد بازیافتی و تأثیر اسکلت بر میزان هدر رفت انرژی در فاز استفاده از ساختمان با توجه به هدایت گرمایی بالاتر فولاد، نسبت به بتن بررسی شود.

پی‌نوشت

- ¹ Life cycle assessment (LCA)
² Global warming potential (GWP)
³ Acidification potential (AP)
⁴ Eutrophication (EU)
⁵ Ozone depletion potential (OPD)
⁶ Primery energy (EP)



materials, *Forest Prod. J.* 54 (2004), pp. 8–19.

B. Peuportier, S. Thiers, and A. Guiavarch, Eco-design of buildings using thermal simulation and life cycle assessment, *Journal of Cleaner Production* 39 (2013), pp. 73–78, doi:10.1016/j.jclepro.2012.08.041.

Canadian Wood Council. A case study: Comparing the environmental effects of building systems. Canada. 1997.

Citherlet S, Defaux T. Energy and environmental comparison of three variants of a family house during its whole life span. *Build Environ* 2007;42:591.

Cole, R. Energy and greenhouse gas emissions associated with the construction of alternative structural systems. *Build. Environ.* 1999(34):335–348.

Cole, Raymond J. and Paul C. Kernan. "Life-Cycle Energy Use in Office Buildings." *Building and Environment* 31.4 (1996): 307-317. PDF.

D.J. Harris, A quantitative approach to the assessment of the environmental impact of building materials, *Building and Environment* 34(6) (1999), pp. 751–758, doi:10.1016/S0360-1323(98)00058-4.

G.A. Blengini and T. Di Carlo, The changing role of life cycle phases, subsystems and materials in the LCA of low energy buildings, *Energy and Buildings* 42(6) (2010), pp. 869–880, doi:10.1016/j.enbuild.2009.12.009.

Gorgolewski, M. Environmental assessment of steel piling. Steel Construction Institute, Berkshire, England. 1999.

Gupta, A. K. and Moss, P. J., Guidelines for design of low-rise buildings subjected to lateral forces, CRC Press, Boca Raton, Fla, 1993.

I. Zabalza Bribia´ n, A. Aranda Uso´ n, and S. Scarpellini, Life cycle assessment in buildings: State-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification, *Building and Environment* 44 (12// 2009), pp. 2510–2520.

J. Basbagill, F. Flager, M. Lepech, and M. Fischer, Application of life-cycle assessment to early stage building design for reduced embodied environmental impacts, *Building and*

Environment 60 (2013), pp. 81–92, doi:10.1016/j.buildenv.2012.11.009.

J.C. Morel, A. Mesbah, M. Oggero, and P. Walker, Building houses with local materials: means to drastically reduce the environmental impact of construction, *Building and Environment* 36(10) (2001), pp. 1119–1126, doi:10.1016/S0360-1323(00)00054-8.

J. Goggins, T. Keane, and A. Kelly, The assessment of embodied energy in typical reinforced concrete building structures in Ireland, *Energy and Buildings* 42(5) (2010), pp. 735–744, doi:10.1016/j.enbuild.2009.11.013.

Junnila, S. A. Horvath, and A.A. Guggemos, Life-Cycle Assessment of Office Buildings in Europe and the United States. *Journal of Infrastructure Systems*, 2006. 12(1): p. 10-17.

Kofoworola oF, Gheewala SH. Environmental life cycle assessment of a commercial office building in Thailand. *Int J Life Cycle Assess* 2008;13:498–511.

L. Aye, T. Ngo, R.H. Crawford, R. Gammampila, and P. Mendis, Life cycle greenhouse gas emissions and energy analysis of prefabricated reusable building modules, *Energy and Buildings* 47 (2012), pp. 159–168, doi:10.1016/j.enbuild.2011.11.049.

L. Gustavsson and R. Sathre, Variability in energy and carbon dioxide balances of wood and concrete building materials, *Building and Environment* 41(7) (2006), pp. 940–951, doi:10.1016/j.buildenv.2005.04.008.

M.K. Dixit, J.L. Ferna´ ndez-Sol´ s, S. Lavy, and C.H. Culp, Need for an embodied energy measurement protocol for buildings: A review paper, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16(6) (2012), pp. 3730–3743, doi:10.1016/j.rser.2012.03.021.

M. Nasir Shafiq, F. Nuruddin, S.S.S. Gardezi, S.A. Farhan, A. Haiyl, and M. Al Rawy, Reduction of embodied CO₂ emissions from conventional buildings in Malaysia by recycled materials using Building Information Modeling 2016 (BIM).

M.Y.M. Han, G.Q.G. Chen, L. Shao, J.S.J. Li, A.A. Alsaedi, B.B. Ahmad, S. Guo, M. Jiang, and X. Ji, Embodied energy consumption of building construction engineering: Case study in E-town,



Beijing, *Energy and Buildings* 64 (2013), pp. 62–72, doi:10.1016/j.enbuild.2013.04.006.

P. Bo'rjesson and L. Gustavsson, Greenhouse gas balances in building construction: wood versus concrete from lifecycle and forest land-use perspectives, *Energy Policy* 28 (2000), pp. 575–588.

Pinto, Ivan L. LCA comparison of structural frame alternatives for office buildings. Toronto: Ryerson University, 2011. PDF.

R.J. Cole and P.C. Kernan, Life-cycle energy use in office buildings, *Building and Environment* 31(4) (1996), pp. 307–317, doi:10.1016/0360-1323(96)00017-0.

Shah Mohammadi Sogand, Ahmad Ekhlasse, Farzad Jalaie, 2018, Integration of life cycle assessment using building information technology in the initial stage of design, 1st International Conference on Building Information

Modeling, Tehran, Mehregan Risen Design and Construction Group. https://www.civilica.com/Paper-BIMCONF01-BIMCONF01_009.htm [in persian].

Vakili Ardebili Ali, Shateri Faezeh, Criteria affecting the selection of building materials with the aim of reducing environmental risks, *Journal of Environmental Hazards Management*, Autumn 2016, Volume 3, Number 3 from 253 to 267 [in Persian].

W.M.S.W. Omar, J.H. Doh, K. Panuwatwanich, and D. Miller, Assessment of the embodied carbon in precast concrete wall panels using a hybrid life cycle assessment approach in Malaysia, *Sustainable Cities and Society* 10 (2014), pp. 101–111, doi:10.1016/j.scs.2013.06.002. <https://www.oneclicklca.com/construction/life-cycle-assessment-software>.