

آثار محیط‌زیستی چرخه عمر ساختمان‌های مسکونی با اسکلت بتنی و فولادی، مطالعه موردی شهر اصفهان

مسعود طاهریون^{۱*}، مهدی هدایی^۲، پیام اسدی^۱، اصغر فلاحي زرندي^۳

۱- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲- کارشناسی مهندسی عمران - دانشگاه صنعتی اصفهان

۳- دانشجوی دکترای مهندسی عمران - مدیریت و مهندسی منابع آب، دانشگاه صنعتی اصفهان

*taheriyoun@iut.ac.ir

تاریخ دریافت: []

تاریخ پذیرش: []

چکیده

با توجه به اهداف توسعه پایدار و افزایش آلودگی محیط‌زیستی، توجه به آثار تولیدی هر محصول بیش از پیش افزایش یافته است. در این میان صنعت ساختمان نقش عمده‌ای در آلودگی‌های محیط‌زیستی ایفا می‌کند چرا که بخش عمده‌ای از پسماندهای شهری از این صنعت ناشی می‌شود. از مهمترین عوامل موثر در مقدار و چگونگی آثار محیط‌زیستی، نوع سیستم ساختمانی است. تحلیل چرخه عمر روشی است که برای ارزیابی آثار محیط‌زیستی همراه با تمامی مراحل گوناگون عمر یک محصول از گهواره تا گور استفاده می‌شود. در این پژوهش چارچوبی برای ارزیابی چرخه عمر محیط‌زیستی ساختمان‌ها تشریح شده است. با توجه به این که در ایران بیشتر ساختمان‌ها دارای قاب‌های فولادی یا بتنی هستند، آثار محیط‌زیستی دو نوع ساختمان فولادی و بتنی در شهر اصفهان به عنوان مطالعه موردی، برآورد و مقایسه شده است. تحلیل چرخه عمر در چهار مرحله تولید و فرآوری مواد و مصالح، ساخت، بهره‌برداری و پایان عمر بررسی می‌شود. آثار محیط‌زیستی در قالب گروه‌های پتانسیل گرمایش زمین، پتانسیل اسیدی شدن، تغذیه گرایبی آب، کاهش منابع سوخت فسیلی، آلاینده‌های هوا، سلامت انسان، پتانسیل تشکیل مه دود فتوشیمیایی، تخریب لایه ازن و انتشار مواد سمی طبقه بندی شده است. نتایج نشان داد بیشترین سهم از تولید گازهای گلخانه‌ای را دی‌اکسید کربن تشکیل می‌دهد که میزان انتشار آن در ساختمان بتنی ۲۴۶۰۰۰ کیلوگرم و در ساختمان اسکلت فولادی ۱۸۳۰۰۰ کیلوگرم است. همچنین تاثیر ساختمان بتنی در تولید گازهای گلخانه‌ای و ذرات معلق بیشتر بوده و در مقابل ساختمان فولادی در تولید مواد سرطان‌زا و سمی سهم بسیار بیشتری دارد. نرمال کردن تمام تاثیر محیط‌زیستی نشان داد که ساختمان اسکلت فولادی به دلیل انتشار مواد سرطان‌زا مانند کروم چند ظرفیتی تاثیر بسیار مخرب‌تری روی محیط‌زیست دارد.

واژگان کلیدی: توسعه پایدار، آثار محیط‌زیستی، تحلیل چرخه عمر، ساختمان بتنی و فولادی، مواد سرطان‌زا

۱- مقدمه

بهبود مصرف انرژی ساختمان‌ها و صرفه‌جویی برای تولید کمتر

گازهای گلخانه‌ای و CO_2 قابل انجام است. این موارد کلید اصلی کاهش اثر چرخه عمر ساختمان روی محیط زیست

یکی از پیش‌نیازهای بهبود شرایط محیط‌زیست، کم کردن اثر ساختمان‌ها روی محیط زیست است. این عمل از دو طریق

آلاینده‌ها بر سلامتی انسان است و به دو دسته ترکیبات سرطان‌زا و غیر سرطان‌زا تقسیم می‌شوند.

محدود فتوشیمیایی در شرایط جوی خاصی از واکنش آلاینده‌های هوا با نور خورشید تولید می‌شود و آثار مضر بر سلامت انسان و پوشش گیاهی دارد [5]. کاهش تراکم لایه ازن در استراتوسفر به دلیل انتشار ترکیب کلروفلوروکربن (CFC) باعث می‌شود که تابش بیشتری از امواج فرابنفش مضر به سطح زمین برسد. این مساله باعث تغییرات نامطلوب در اکوسیستم‌ها و کاهش بهره‌وری کشاورزی می‌شود. در مورد انسان، موجب افزایش سرطان پوست، آب مروارید چشم و همچنین ضعف سیستم ایمنی بدن می‌شود.

سمیت اکولوژیکی به انتشار مواد شیمیایی خطرناک در محیط‌زیست اشاره دارد که موجب آسیب رساندن به اکوسیستم‌ها می‌شود. این مواد آثار بلند مدت و انباشتگی بیولوژیکی در موجودات زنده را به همراه دارد [5].

تاکنون پژوهش‌های زیادی در زمینه مقایسه سیستم‌های متداول اسکلت ساختمانی از لحاظ فنی، اقتصادی و اجرایی انجام شده، ولی پژوهش بسیار کمی در زمینه ارزیابی آثار محیط‌زیستی انواع سیستم‌ها موجود است.

گوگمز و هوارث (۲۰۰۵) مقایسه آثار محیط‌زیستی چرخه عمر دو ساختمان اسکلت بتنی و فولادی پنج طبقه را به مساحت ۴۴۰۰ متر مربع بررسی کردند. در آن پژوهش مشخص شد در گزینه ساختمان اسکلت بتنی مصرف انرژی، مصرف مواد طبیعی و تولید گازهای گلخانه‌ای بیشتر است و ساختمان اسکلت فولادی مواد آلی سبک و فلزات سنگین (کروم، نیکل و منیزیم) بیشتری به محیط‌زیست وارد می‌کند که مربوط به بخش رنگ‌آمیزی و جوشکاری و برش قطعات آن است [6]. شوور و همکاران (۲۰۰۳) با در نظر گرفتن یک ساختمان تازه تاسیس در دانشگاه میشیگان و اندازه‌گیری مصرف انرژی و عملکرد محیط‌زیستی ساختمان در طول چرخه عمر آن میزان مصرف انرژی کل ساختمان را ۳۱۶ گیگاژول بر متر مربع

است، به همین علت دو عامل پایداری^۱ و سودمندی توسعه^۲ دارای اهمیت هستند [1]. تحلیل چرخه عمر^۳ روشی است که برای ارزیابی نتایج محیط زیستی همراه با تمامی مراحل گوناگون عمر یک محصول از گهواره تا گور^۴ استفاده می‌شود. تحلیل چرخه عمر به صورت روشی برای طراحی پایدار سازه‌ها و شناسایی آثار محیط‌زیستی مواد و اجزاء در چرخه عمر برای انتخاب بین گزینه‌های مختلف و انتخاب شاخص مناسب ارزیابی کاربرد دارد [2-4].

در فرآیند تحلیل چرخه عمر، آثار محیط‌زیستی که مرتبط با صنعت ساختمان در نظر گرفته می‌شود شامل پتانسیل گرمایش زمین، پتانسیل اسیدی شدن باران‌ها، تغذیه گرایی، کاهش منابع سوخت فسیلی^۵، آلاینده‌های معیار هوا^۶، سلامت انسان^۷ (شامل انتشار مواد سرطان‌زا و غیر سرطان‌زا)، پتانسیل تشکیل مه دود فتوشیمیایی^۸، تخریب لایه ازن^۹ و سمیت اکولوژیکی^{۱۰} است. پتانسیل گرمایش زمین برای بیان افزایش اثر انتشار گازهای گلخانه‌ای مانند دی اکسید کربن و متان به کار می‌رود. جذب تابش خورشید توسط این گازها سبب نگهداشت بیشتر انرژی در جو زمین شده و موجب گرمایش زمین می‌شود.

پتانسیل اسیدی شدن به دلیل انتشار گازهای اکسید گوگرد و نیتروژن ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی و زیست توده است که با از بین رفتن در آب باران می‌توانند به صورت ترکیبات اسیدی وارد زیست بوم‌ها شوند و تأثیر مخرب بگذارند. تغذیه‌گرایی از طریق ورود مواد مغذی مانند نیتروژن و فسفر در اکوسیستم‌های آبی و کاهش تنوع زیستی به دلیل رشد بیش از حد جلبک‌ها رخ می‌دهد. پیامد چنین اثری در آب، عدم تعادل اکسیژن و در نتیجه مرگ سایر آبزیان است.

کاهش منابع سوخت‌های فسیلی با توجه به تخریب و کاهش منابع و ارزشی که جامعه برای این مسئله قائل است در سازوکارهای قیمت‌گذاری سوخت در بازار، در نظر گرفته می‌شود. آلاینده‌های معیار هوا از منابع مختلف در صنعت، معدن، حمل و نقل و کشاورزی منتشر می‌شوند. برخی آثار نهفته این

6 Criteria Air Pollutants
7 Human Health
8 Smog Formation Potential
9 Ozone Depletion
10 Ecological Toxicity

1 Sustainability
2 Profitability of a development
3 Life Cycle Assessment (LCA)
4 From cradle to grave
5 Fossil Fuel Depletion

برآورد کردند که ۲/۲ درصد آن مربوط به ساخت مصالح ساختمانی و انتقال آن به محل ایجاد ساختمان است. همچنین در آن پژوهش آلودگی‌های مربوط به بخش‌های مختلف چرخه عمر برآورد شده است [7]. قاتاس و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی چرخه‌های عمر مختلف و بررسی اجزاء مختلف آن پرداختند که در آخر بر لزوم توجه به دو بخش ساخت و بهره برداری در کنترل آلودگی‌های ساختمان تأکید شده است [8]. اسداله‌فردی و همکاران (۲۰۱۵) با روش تحلیل چرخه عمر، اثر گرم شدن زمین و پتانسیل اسیدی شدن در مرحله ساخت ساختمان‌های یک شهرک نوساز را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که بیشترین اثر محیط‌زیستی مربوط به بتن و کمترین مربوط به چوب است [8]. چو و یه (۲۰۱۵) به بررسی و مقایسه آثار محیط زیستی بتن درجا و بتن پیش‌ساخته پرداخته و با در نظر گرفتن کربن معادل نشان داده است که بتن درجا از لحاظ محیط زیستی، مناسب‌تر است [9]. هبی و همکاران (۲۰۱۵) چرخه عمر مربوط به ساختمان برای پنجره با چارچوب آلومینیومی و چوبی را برای شیشه‌های معمولی، دوجداره و سه‌جداره در نظر گرفتند و در کنار آن اثر محیط‌زیستی هر کدام را هم بررسی کردند؛ در پایان ضمن بیان نتایج مربوط به هدررفت انرژی در انواع شیشه‌ها با ویژگی‌های مختلف توصیه شده است با توجه به مباحث مالی، بین کاهش آثار زیست‌محیطی و هزینه‌های مربوطه بهینه‌یابی صورت پذیرد [10]. موریس (۲۰۱۷) به بررسی چرخه عمر یک ساختمان مسکونی پرداخته و با در نظر گرفتن سناریو سوخت ارزان قیمت و یا گران قیمت در آینده به بررسی گزینه‌های مختلف عایق‌سازی پرداخته است [11]. اوانجلیستا و همکاران (۲۰۱۸) به تعیین کمیت عملکرد ساختمان‌های مسکونی معمولی برزیل از طریق ارزیابی کامل چرخه زندگی (LCA) پرداختند. در این مطالعه، گروه‌های اثر مختلف را شامل انتشار کربن و تقاضای انرژی همچنین فرآیندهای مختلف چرخه زندگی در نظر گرفته شده‌اند. مرحله ساخت و ساز شامل اجرای فونداسیون، سازه، مصالح بنایی، پوشش‌ها و نماها از اصلی‌ترین مراحل و دارای بیشترین آثار زیست محیطی هستند [12].

توکبالت و همکاران (۲۰۲۰) ساختمان‌های مسکونی در قزاقستان را مورد ارزیابی چرخه زندگی قرار دادند. یافته‌ها

نشان می‌دهد که مرحله عملیاتی در همه حالات در بیش از نیمی از انتشارات گازهای گلخانه‌ای نقش داشته است. نتایج مطالعه همچنین نشان داد هرچه سطح آسایش و رفاه ساختمان بالاتر باشد تأثیر زیست‌محیطی آن به ویژه از منظر انتشار گازهای گلخانه‌ای بیشتر است [13].

بهرامیان و یتلمزو (۲۰۲۰) به بررسی ادبیات مروری ارزیابی چرخه زندگی صنعت ساختمان در دو دهه اخیر ساختمان‌های تجاری و مسکونی با توجه به ارتفاع آنها پرداختند. در مقاله ایشان با ارائه میزان انتشارات و تأثیر زیست‌محیطی ساختمان های کم ارتفاع (کمتر از ۵ طبقه) و ساختمان‌های بلند (بیشتر از ۵ طبقه) اطلاعات مفیدی برای مقایسه با مطالعات در دست پژوهش در اختیار گذاشته است. همچنین از دید نرم‌افزارهای مورد استفاده، SimaPro با ۴۰ درصد استناد در میان بررسی‌های انجام شده، بر نرم افزارهای رایانه‌ای دیگر غالب است [14].

خضری و کمالان (۲۰۲۱) به بررسی چرخه عمر ساختمان‌ها در تهران با استفاده از نرم‌افزار SimaPro پرداختند. نتایج نشان داد در بین مصالح ساختمانی، تولید سنگ و تولید فولاد با دارای بیشترین تأثیر زیست محیطی هستند. علاوه بر این، تأثیری زیست محیطی ساختمان‌های سازه‌های فلزی در مقابل ساختمان‌های بتنی انجام شد که نتایج حاکی از وضعیت نامطلوب ساختمان های فلزی بود [15].

جمع‌بندی مطالعات قبلی نشان می‌دهد با وجود پژوهش‌هایی در زمینه ارزیابی چرخه عمر صنعت ساختمان و همچنین اهمیت مقایسه انواع مختلف ساختمان‌ها از لحاظ آثار محیط زیستی در طول چرخه عمر آنها، مطالعات معدودی به مقایسه ارزیابی چرخه عمر دو سیستم مهم اسکلت فلزی و بتنی پرداخته اند؛ از طرفی دیگر، بررسی‌ها نشان می‌دهد یافته‌ها و نتایج ارزیابی چرخه عمر ساختمان‌ها با هرگونه تغییری در هدف و دامنه ارزیابی شامل طراحی (سازه و مصالح)، نوع ساختمان، طول عمر، واحد عملکردی و منطقه جغرافیایی تغییر پیدا می‌کند [14]، و نیاز است برای مقایسه این دو نوع ساختمان نیز با توجه به هدف و دامنه مدنظر ارزیابی مجزا انجام شود؛ بر این اساس، در این پژوهش به بررسی و مقایسه آثار محیط‌زیستی چرخه عمر دو نوع سیستم اسکلت بتنی و فولادی در شهر اصفهان پرداخته شده است.

چارچوب مراحل انجام تحلیل چرخه عمر، ورودی مواد اولیه و انرژی و خروجی آلودگی‌ها نشان داده شده است. با کمک این چارچوب هر دو گزینه اسکلت بتنی و فولادی تحلیل شده‌اند.

۲- روش انجام تحقیق

مبنای روش‌شناسی این پژوهش بر اساس مراحل ارزیابی چرخه عمر است که در استاندارد ایزو ۱۴۰۴۰ پیشنهاد شده است. ساختار کلی این فرایند در شکل ۱ نشان داده شده است؛ مطابق شکل، ارزیابی چرخه عمر از چهار مرحله کلی شامل تعریف هدف و دامنه^۱، تجزیه و تحلیل فهرست^۲ چرخه عمر، تجزیه و تحلیل آثار^۳ و تفسیر^۴ تشکیل شده است [16].

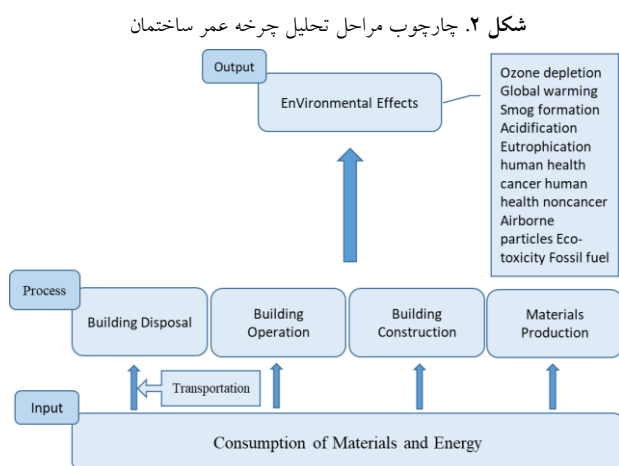


Fig. 2. The framework for the life-cycle analysis of buildings

برای ارزیابی آثار فعالیت‌های هر مرحله چرخه عمر از آمار و اطلاعات موجود و همچنین پایگاه داده EcoInvent استفاده شده است. این پایگاه داده برای تهیه سیاهه چرخه عمر^۵ تدوین شده و به عنوان یک مرجع معتبر جهانی برای ارزیابی آثار محیط زیستی محصولات و فعالیتهای صنعتی توسط شرکت‌ها و موسسات علمی مورد استفاده قرار گرفته است [17].

۲-۱- مصرف مواد اولیه

در این پژوهش ساختمان‌های مسکونی در منطقه یک شهرداری اصفهان مدنظر بوده است که با توجه به مقادیر میانگین متراژ ساخت و تعداد طبقات در سالنامه آماری شهر اصفهان در سال ۹۳، ساختمان‌ها با متراژ ۲۰۰ متر مربع در ۵ طبقه در دو گزینه اسکلت فولادی با مهاربندی و سقف کامپوزیت و اسکلت بتنی درجا با دیوار برشی و سقف تیرچه بلوک در نظر گرفته شده است. با توجه به هدف پژوهش در مقایسه دو سیستم اسکلت ساختمان، اجزای غیر سازه‌ای به دلیل مشابهت در دو گزینه لحاظ نشده‌اند [18].

شکل ۱. مراحل ارزیابی چرخه عمر [3]

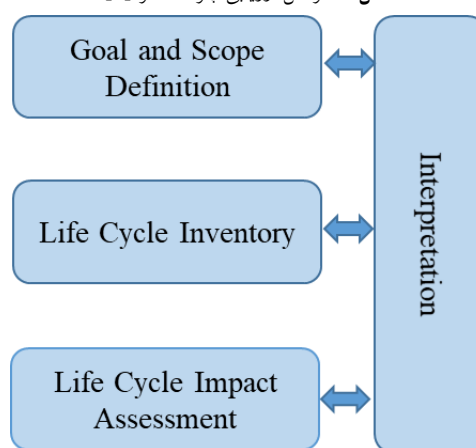


Fig. 1. Stages of Life Cycle Assessment

این مراحل شامل جمع‌آوری داده‌های جریان ورودی و خروجی متناظر با فرآیندهای مختلف در هر بخش از چرخه عمر سیستم است. جریان ورودی شامل مصرف انرژی و مواد خام و جریان خروجی شامل انتشار آلاینده‌های محیط‌زیستی به زمین، هوا و آب است.

دامنه ارزیابی چرخه عمر در این مطالعه محدود به اجزای سازه‌ای یک ساختمان معمولی با کاربری مسکونی در نظر گرفته شده است. مرز سیستم شامل مراحل مختلف چرخه عمر و زیر مجموعه‌های آن با توجه به ارتباط آن به خروجی مورد انتظار این پژوهش است.

مراحل چرخه عمر ساختمان‌های مورد مطالعه در این پژوهش شامل چهار مرحله تولید و فرآوری مواد اولیه و یا بازیافتی، ساخت ساختمان و پایان عمر ساختمان است. در شکل ۲

4 Interpretation

5 Life Cycle Inventories.

1 Aim & Scope

2 Inventory

3 Impact assessment

این بخش با استفاده از داده‌های بخش ۲-۱ که مصالح و مواد مورد نیاز دو نوع ساختمان اسکلت بتنی و فولادی این پژوهش را نشان می‌دهد، به تعیین آثار محیط‌زیستی تولید و فراوری این مصالح در محل تولید می‌پردازد.

۲-۲-۲- ساخت ساختمان

در مرحله ساخت، مواد و مصالح ابتدا باید از مکان‌های دپو و یا انبارها به محل ساخت انتقال یابند، فولاد باید پس از رنگ آمیزی و جوش‌کاری (در صورت نیاز) از کارخانه به محل احداث ساختمان فرستاده شود. بنابراین حمل و نقل مواد و مصالح جزئی از مرحله ساخت در نظر گرفته شده است. در پروژه مفروض در این پژوهش از ورق‌های فولادی شرکت فولاد مبارکه و از میلگردهای تولیدی ذوب‌آهن اصفهان استفاده شده است. همچنین از فاصله حمل فوق‌روان‌کننده و رنگ به علت ناچیز بودن در مقابل سایر عوامل صرف نظر شده است. فاصله تقریبی انتقال مصالح در جدول ۳ آورده شده است. در این برآورد برگشت وسایل نقلیه پس از تخلیه بار نیز در نظر گرفته شده است.

جدول ۳. فواصل حمل مصالح تا محل ساخت

Distance	Unit	Materials
16	Kilometre	Cement
16	Kilometre	Gravel
16	Kilometre	Sand
45	Kilometre	Reinforce Steel
75	Kilometre	Steel

Table.3. Materials transportation intervals to construction site

۲-۲-۳- بهره‌برداری ساختمان

میزان مصرف برق و گاز ساختمان برای مصارف سرمایشی، گرمایشی، روشنایی هر دو نوع ساختمان در این قسمت قرار می‌گیرد. اما در این پژوهش، به دلیل عدم دسترسی به اطلاعات مورد نیاز قابل اطمینان در تحلیل مصرف انرژی و همچنین انتشار آلاینده و احتراق سیستم‌های حرارتی در دوره بهره‌برداری این دو ساختمان، این مرحله در تعریف هدف و دامنه ارزیابی چرخه عمر نیامده است.

بر اساس فرضیه‌های گفته شده و مقادیر متره یک پروژه واقعی با مشخصات ساختمانی در نظر گرفته شده، مقادیر مصالح مورد استفاده برای ساختمان با اسکلت بتنی در جدول ۱ و برای اسکلت فولادی در جدول ۲ (۲) ارائه شده است. این مقادیر برگرفته از متره و برآورد مصالح مورد نیاز به ساختمان‌های بدست می‌آید. مطابق برآوردهای انجام شده، ساختمان اسکلت بتنی با وزن ۸۸۰ تن از ساختمان اسکلت فولادی با وزن ۳۶۳ تن بسیار سنگین‌تر است.

جدول ۱. نوع و مقدار مصالح مورد استفاده در ساختمان اسکلت بتنی

Amount	Unit	Material
105	Ton	Cement
261	Ton	Gravel
315	Ton	Sand
34.8	Ton	Water
0.6	Ton	Superplasticizers
40	Ton	Reinforce Steel
120	Ton	Cement block
876.4	Ton	Total Weight

Table.1. Type and amount of materials in concrete structure building

جدول ۲. نوع و مقدار مصالح مورد استفاده در ساختمان اسکلت فولادی

Amount	Unit	Material
65	Ton	Steel
42	Ton	Cement
104.4	Ton	Gravel
126	Ton	Sand
15.35	Ton	Water
0.24	Ton	Superplasticizers
10	Ton	Reinforce Steel
5	Ton	Weld
0.25	Ton	Dye
363.24	Ton	Total

Table.2. Type and amount of materials in steel structure building

۲-۲-۲- فرآیند تحلیل چرخه عمر

در این بخش مراحل تحلیل چرخه عمر دو تیپ ساختمان بتنی و فولادی در چهار مرحله تولید و فراوری مواد و مصالح، ساخت، بهره‌برداری و پایان عمر مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲-۲-۱- تولید و فراوری مواد و مصالح

محیط‌زیستی در کل چرخه عمر سیستم شناسایی و ارزش گذاری می‌شود. ورودی‌ها و خروجی‌هایی که در بخش قبلی در چرخه عمر تعیین شدند، در قالب مصرف منابع و انتشار آلودگی‌ها به عنوان آثار محیط‌زیستی تحلیل می‌شوند. این تجزیه و تحلیل در گام‌های طبقه‌بندی^۱، تعیین ضریب تاثیر یا ویژه سازی^۲، نرمال سازی^۳ و وزن‌دهی^۴ انجام می‌شود [19].

جدول ۵: آثار محیط‌زیستی مدل TRACI 2.1 [20]

Environmental Effects	Environment	Unit
Ozone depletion	Air	kg CFC-11 ^۱ eq
Global warming	Air	kg CO2 eq
Smog formation	Air	kg O3 eq
Acidification	Water , Air	kg SO2 eq
Eutrophication	Water	kg N eq
human health cancer	Water , Air soil &	CTUh ^۲
human health noncancer	Water , Air Soil &	CTUh
Airborne particles	Air	kg PM2.5 ^۳ eq
Eco-toxicity	Water , Air Soil &	CTUe ^۴
Fossil fuel depletion	-	MJ surplus

Table 5. Environmental effects of TRACI 2.1

Eq. =equivalent

CTUh= comparative toxic unit for human toxicity impacts

PM2.5= atmospheric particulate matter (PM) that have a diameter of less than 2.5 micrometers

CTUe= comparative toxic unit for aquatic ecotoxicity impacts

• طبقه‌بندی

در مرحله طبقه‌بندی منابع یا آلودگی‌ها که از نظر آثار محیط‌زیستی مشابه هستند، در یک گروه قرار می‌گیرند. گروه‌بندی آثار محیط‌زیستی در این قسمت با توجه به پیشنهاد مراجعی مانند سازمان حفاظت محیط‌زیست امریکا EPA^۵ انجام می‌شود. گروه‌های آثار شامل تغییرات اقلیم و گرمایش

۲-۴- پایان عمر ساختمان

پایان عمر ساختمان شامل تخریب و پاکسازی و انتقال مصالح به مکان دپو است. در این پژوهش آثار محیط‌زیستی مصالح بازیافت شده و یا موادی که دوباره استفاده می‌شود، در نظر گرفته شده است. برای مصالح بازیافتی محاسبه آثار محیط‌زیستی به صورت امتیاز منفی در نظر گرفته می‌شود که در مجموع موجب کاهش آثار محیط‌زیستی می‌شود. درصد بازیافت مصالح در نظر گرفته شده با توجه به کسب نظر از متخصصین مربوطه و با توجه به اطلاعات موجود از شرایط اجرایی و تخریب ساختمان در شهر اصفهان به شرح زیر فرض شده است:

- فولاد پروفیل ساختمانی: درصد بازیافت این فولاد پس از پایان عمر ساختمان ۱۰۰ است.
- فولاد آرماتور: پس از تخریب ساختمان در صورت امکان با خورد کردن بتن و خارج کردن آرماتورهای آن مقداری از آن را بازیافت می‌کنند که درصد آن بین ۶۰ تا ۷۰ درصد است، که در این مقاله مقدار آن ۶۵ درصد فرض شده است.
- سیمان شن و ماسه: متأسفانه در کشور ایران این مصالح بازیافت نخواهند شد و در محل‌های دپو دور ریخته می‌شوند که درصد بازیافت این مواد در این مقاله صفر درصد در نظر گرفته شده است.

جدول ۴: فواصل حمل مصالح حاصل از تخریب برای بازیافت یا دپو

Distance	Unit	Place
45	km	(Recycled Steel)Zob Ahan Co
22	km	(Materials Deposit) Zeinal Defile

Table.4. Materials transportation to deposit or recycle sites

فاصله متوسط حمل مصالح از سایت تا محل دپو یا بازیافت شامل رفت و برگشت وسایل نقلیه در جدول ۴ آمده است. همچنین وسیله حمل مصالح مشابه مرحله ساخت فرض شده است.

۲-۳- تجزیه و تحلیل آثار

در مرحله تجزیه و تحلیل آثار، بزرگی و اهمیت پیامدهای بالقوه

4 Weighting

5 U.S. Environmental Protection Agency

1 Classification

2 Characterization

3 Normalization

متفاوت است. در نتیجه، مقایسه مستقیم بین گروه‌ها امکان پذیر نیست. در مرحله نرمال‌سازی، هر اثر تجمیعی هر گروه اثر به یک مقدار مرجع مربوطه تحت عنوان فاکتور نرمال‌سازی^۳ تقسیم و مقایسه گروه‌های آثار مختلف امکان‌پذیر می‌شود. مقدار مرجع معمولاً متوسط بارگذاری زیست‌محیطی^۴ سالانه یک کشور یا قاره تقسیم بر جمعیت آن منطقه است؛ با این حال، این مقدار می‌تواند به دلخواه انتخاب شود. نرمال‌سازی سهم بارگذاری زیست‌محیطی هر گروه اثر (مانند گرم شدن کره زمین یا اسیدی شدن) را در چرخه عمر محصول نشان می‌دهد [15]. رابطه زیر چگونگی نرمال‌سازی را نشان می‌دهد:

$$N_i = S_i / NF_i \quad (2)$$

N_i : نتیجه نرمال‌سازی گروه اثر i

NF_i : فاکتور نرمال‌سازی ماده گروه اثر i [21]

جدول ۶ مقادیر فاکتورهای نرمال‌سازی به همراه منشأ اثر هر گروه را در مدل TRACI 2.1 (به صورت عامل ضرب‌شونده که معکوس فاکتور رابطه بالاست) آورده است. مطابق جدول ۶ تاثیر مواد سرطان‌زا بسیار بیشتر از سایر فاکتورها است که حاکی از اهمیت کنترل انتشار این گونه از آلاینده‌هاست.

• وزن‌دهی

وزن‌دهی، فرآیند تبدیل نتایج نرمال‌سازی یا ویژه‌سازی گروه‌های مختلف اثر با استفاده از فاکتورهای عددی مقداری است. خروجی این مرحله، ارائه نمره یا امتیاز مختص به هر گزینه با ملاحظه اثر آن‌ها در گروه‌های اثر همچنین اولویت نسبی گروه‌های اثر مختلف است به گونه‌ای که امکان رتبه‌بندی گزینه‌ها را فراهم کرده و به ذینفعان در تصمیم‌گیری مناسب کمک می‌کند [22, 23].

اما با توجه به اینکه تصمیم EPA از توسعه مدل TRACI تجمیع آثار گروه‌های مختلف نبوده است و شامل مراحل طبقه‌بندی، ویژه‌سازی و نرمال‌سازی است [20] از مرحله وزن‌دهی صرف‌نظر می‌شود.

جدول ۶. فاکتور نرمال‌سازی آثار محیط‌زیستی برای تعیین واحد یکسان مدل

جهانی، برداشت منابع آبی، تخریب لایه ازن، آلودگی آب و هوا، سلامتی انسان و عوامل دیگر هستند. در این پژوهش از ابزار ارزیابی آثار محیط‌زیستی^۱ TRACI مورد تایید EPA به دلیل به روز بودن و سادگی ارائه نتایج استفاده شده است. در این ابزار آثار محیط‌زیستی شامل مواد شیمیایی منتشر شده یا منابع مصرف شده برای هر یک از ورودی‌ها در قالب دسته‌بندی‌های ذکر شده در نظر گرفته شده که مشخصات آن در جدول ۵ ارائه شده است [20].

• ویژه‌سازی (تعیین ضریب تاثیر)

کمی‌سازی و تعیین یک شاخص واحد برای آثار تعریف شده در گروه‌های مذکور از طریق مراحل تعیین ضریب تاثیر هر اثر متعلق به یک گروه، نرمال‌سازی (تبدیل به یک مقیاس یکسان و قابل مقایسه) و نهایتاً وزن‌دهی اثر بر اساس اهمیت نوع اثر به دست می‌آید.

در مرحله ویژه‌سازی، ارزیابی کمی انتشارات چرخه زندگی برای بررسی تأثیر زیست محیطی آنها انجام می‌شود. بنابراین، میزان انتشار از یک گروه تأثیر در فاکتور ویژه‌سازی^۲ که نشان دهنده سهم عنصر یا ترکیب در گروه تأثیر مربوطه است ضرب می‌شود. برای نمونه، در گروه تغییر اقلیم، فاکتور ویژه‌سازی برای دی‌اکسید کربن، ۱ است در حالی که برای متان، ۱۱ است به این معنی که آزاد شدن یک کیلوگرم متان معادل آزاد شدن ۱۱ کیلوگرم دی‌اکسید کربن است. در نتیجه، همه جریان‌های انتشار مربوط به یک گروه به یک واحد مشترک تبدیل می‌شوند که قابلیت جمع‌بندی دارد [15] بر این اساس، داریم:

$$S_i = \sum_x CF_{X,i} \times M_x \quad (1)$$

S_i : اثر تجمیعی کلیه مواد منتشره در گروه اثر i

$CF_{X,i}$: فاکتور ویژه‌سازی ماده منتشره x در گروه اثر i

M_x : میزان جرم ماده منتشره x [20].

• نرمال‌سازی

همان‌گونه که در جدول ۵ مشاهده می‌شود واحدهای هر گروه مانند kg CFC-11 eq ، $\text{kg CO}_2 \text{ eq}$ با واحدهای دیگر گروه‌ها

3 Normalization Factor
4 Environmental Loading

1 Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and Other Environmental Impacts (TRACI)
2 Characterization Factor

آثار و شاخص میزان پایداری محیط‌زیستی در کل عمر سازه و ارائه پیشنهادات موثر به منظور بهبود و کاهش آثار محیط‌زیستی ایجاد شده برای تصمیم‌گیران است.

در این پژوهش برای ارزیابی چرخه عمر از نرم‌افزار SimaPro 8.2 به دلیل گستردگی کاربرد و نتایج قابل اطمینان استفاده شده است. از ویژگی این نرم‌افزار اتصال به پایگاه داده EcoInvent به عنوان معتبرترین پایگاه داده شامل سیاهه آثار چرخه عمر محصولات مختلف در دنیا است که توسط مرکز سیاهه چرخه عمر سوئیس تهیه شده است [19].

۳- نتایج

بر اساس نتایج به دست آمده از خروجی نرم افزار درصد تاثیر آثار مربوط به دو نوع سیستم ساختمانی برای هر گروه از آثار در نمودار شکل ۳ نشان داده شده است.

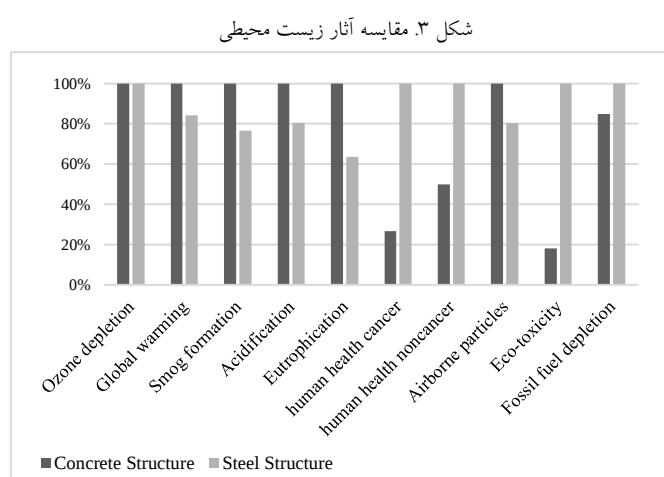


Fig.3. Compare environmental effects

درصد تاثیر فقط به منظور مقایسه آثار دو نوع ساختمان مورد استفاده قرار می‌گیرد به طوری که هر ساختمانی که تاثیر بیشتری در هر اثر محیط‌زیستی دارد به عنوان بیشترین مقدار تعیین شد (صددرصد) و سپس میزان تاثیر ساختمان بعدی روی محیط‌زیست نسبت به آن محاسبه شد. مطابق شکل ساختمان اسکلت فولادی در بیشتر آثار محیط‌زیستی از جمله گرمایش جهانی، ذرات معلق، اسیدی شدن، تغذیه گرای آب‌ها و مه دود آلودگی کمتری به نسبت اسکلت بتنی ایجاد نموده است. از طرفی ساختمان اسکلت فولادی در گروه آثار انتشار مواد

[19,20] TRACI 2.1

Environmental Effects	Created By	Normalization Factor
Ozone depletion	Chlorofluorocarbons (CFCs), foam blowing agents, solvents, and halons	6.859480
Global warming	Increased emissions of greenhouse gases from human activities	0.000040
Smog formation	Reactions between nitrogen oxides (NOx) and volatile organic compounds (VOCs)	0.000690
Acidification	Addition of acids (e.g., nitric acid and sulfuric acid)	0.010570
Eutrophication	Enrichment of an aquatic ecosystem with nutrients (nitrates, phosphates)	0.048240
human health cancer	Carcinogenic emissions (e.g., Chromium, nickel, Arsenic, Benzene and PAHs)	20099.481980
human health noncancer	Non- Carcinogenic emissions	968.249070
Airborne particles	Subset of the criteria pollutants, i.e., particulate matter and precursors to particulates	0.033830
Eco-toxicity	Subset of the toxic materials e.g., crude oil, benzene, dichloroethane, benzo(a)pyrene Emmisions	0.000090
Fossil fuel depletion	Over load in resource use	0.000040

Table 5. Normalization Factor of Environmental Effects of TRACI 2.1

۲-۴- تفسیر^۱

آخرین مرحله ارزیابی چرخه عمر، مرحله تفسیر آثار است که شامل تحلیل و تفسیر نتایج یک یا هر دو مرحله تجزیه و تحلیل فهرست آثار و ارزیابی آثار با توجه به اهداف و دامنه تعریف شده است. خروجی این مرحله، دستیابی به یک شاخص نهایی

آزاد می‌شود. منظور از دیگر عوامل در این شکل، موارد متعددی است که اصلی‌ترین آن‌ها در سازه‌های بتنی، تولید سیمان و در سازه‌های فولادی فرآیندهایی مانند استفاده از آجر نسوز هستند. در پژوهش اوانجلیستا و همکاران (۲۰۱۸) نیز تولید فولاد دارای بیشترین تأثیر در گروه انتشار مواد سرطان‌زا بوده است [12]. نتایج پژوهش گوگمز و هوارث (۲۰۰۵) نیز نشان از اثرگذاری بیشتر سازه‌های اسکلت فولادی در تولید فلزات سنگین (کرم، نیکل و منگنز) داشته است که با توجه به جدول ۶ این ترکیبات از عوامل سرطان‌زایی می‌باشند [6].

شکل ۴. مقایسه نوع و مقدار انتشار مواد سرطان‌زا در دو نوع ساختمان

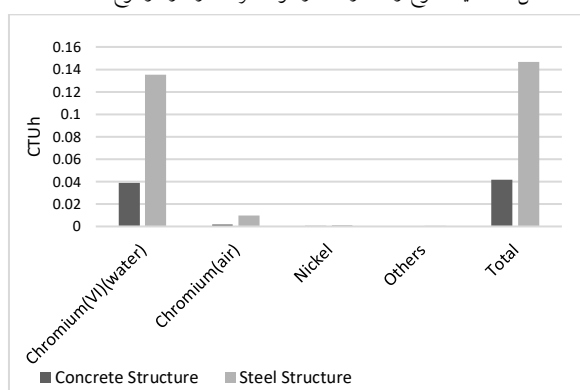


Fig. 4. Comparison of the type and amount of carcinogenic emissions in two types of buildings

شکل ۵. عوامل انتشار مواد سرطان‌زا

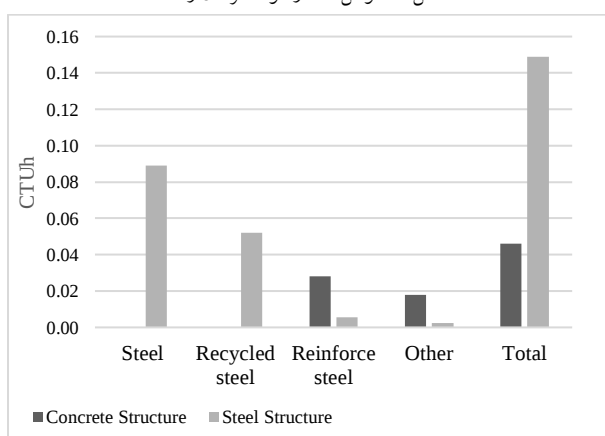


Fig. 5. Emission of cancerous substances

۳-۲- انتشار مواد سمی

مطابق شکل ۶ انتشار مواد سمی نیز در ساختمان اسکلت فولادی بسیار بیشتر است، دلیل آن استفاده از مس در فرایند بازیافت فولاد است. انتشار مس در آب ۹۱ درصد آلودگی در این دسته را تشکیل می‌دهد. نتایج مشابهی درخصوص اثر

سرطان‌زا، انتشار مواد غیر سرطان‌زا و انتشار مواد سمی آلودگی بسیار بیشتری ایجاد می‌کند. میزان انتشار آلاینده‌های محیط‌زیستی مربوط به هر یک از ساختمان‌ها در جدول ۷ آورده شده است.

جدول ۷. میزان انتشار آلاینده‌های محیط‌زیستی هر یک از ساختمان‌ها

Steel Structure	Concrete Structure	Unit	Environmental Effects
0.02	0.02	kg CFC-11 eq	Ozone depletion
219932	261485	kg CO2 eq	Global warming
11212	14643	kg O3 eq	Smog formation
894	1113	kg SO2 eq	Acidification
780	1228	kg N eq	Eutrophication
0.15	0.04	CTUh	human health cancer
0.12	0.06	CTUh	human health noncancer
400	498	kg PM2.5 eq	Airborne particles
56026564	10116790	CTUe	Eco-toxicity
179540	152210	MJ surplus	Fossil fuel depletion

Table 6. The amount of pollutants emitted by each of the structures

در ادامه به بررسی دقیق‌تر مهمترین آثار محیط‌زیستی شامل انتشار مواد سرطان‌زا و سمی، آلودگی هوا و گرمایش جهانی که در حال حاضر جزء مهمترین مسایل محیط زیست کلان شهرها و دنیاست پرداخته شده است.

۳-۱- انتشار مواد سرطان‌زا

در شکل ۴ نوع و مقدار مواد سرطان‌زا بین دو سیستم ساختمانی مورد مقایسه قرار گرفته و در شکل ۵ عوامل انتشار نشان داده شده است. چون مقدار نیکل بسیار ناچیز بوده در شکل اشاره‌ای نشده است. مطابق شکل ۵ انتشار مواد سرطان‌زا در ساختمان اسکلت فولادی بسیار بیشتر است که که دلیل آن انتشار کروم شش ظرفیتی در آب و هوا و همچنین درصد کمتری نیکل است. مطابق این شکل، دلیل اصلی انتشار این مواد، تولید و بازیافت فولاد است زیرا در ساخت فولاد از کروم استفاده می‌شود که این ماده هنگام مراحل مختلف ساخت در آب و هوا

شکل ۷. عوامل انتشار گازهای گلخانه‌ای

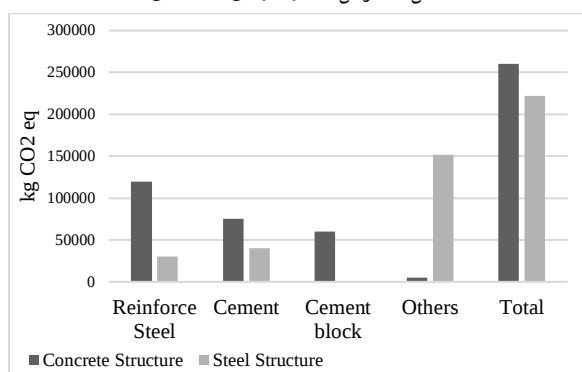


Fig. 7. Emission of greenhouse gases

در شکل ۸ نوع و مقدار گازهای گلخانه‌ای را به تفکیک نشان داده است. بیشترین سهم از تولید گازهای گلخانه‌ای را دی-اکسید کربن تشکیل می‌دهد که میزان انتشار آن در ساختمان بتنی ۲۴۴۰۰۰ کیلوگرم و در ساختمان اسکلت فولادی ۱۸۳۰۰۰ کیلوگرم است.

شکل ۸. نوع و مقدار گازهای گلخانه‌ای

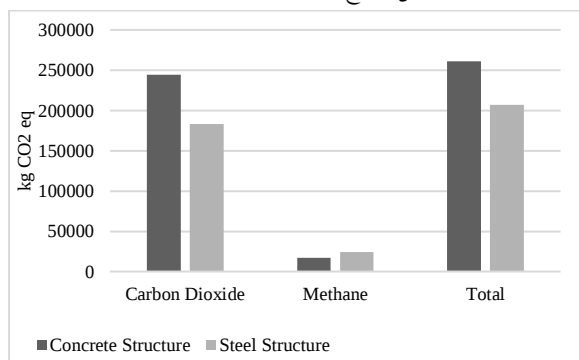


Fig. 8. Type and amount of greenhouse gases

۳-۴- آلودگی ذرات معلق هوا

سهم انتشار هر یک از ذرات معلق در ساختمان بتنی و فولادی در شکل ۹ و به‌طور خاص مقدار انتشار ذرات معلق PM2.5 مربوط به هر تفکیک مراحل دو نوع ساختمان در جدول ۸ ارائه شده است. همان‌گونه که در قسمت پایان عمر ساختمان توضیح داده شد مواد بازیافتی به صورت منفی در محاسبات وارد شدند. در ساختمان اسکلت فولادی بازیافت فولاد به میزان ۱۵۱ کیلوگرم از تولید ذرات معلق جلوگیری می‌کند. انتشار آلودگی ذرات معلق هوا ناشی از وجود ذرات کوچکتر از ۲/۵ میکرون است که تولید آن به شکل مجموع در

مخرب زیست‌محیطی مس در پژوهش خضری و کمالان (۲۰۲۱) نیز مشاهده شد [15]. منظور از دیگر عوامل در شکل ۶، موارد متعددی است که اصلی‌ترین آن‌ها در سازه‌های بتنی، تولید سیمان و در سازه‌های فولادی فرآیندهایی مانند تولید سوخت کارخانه‌های فولادسازی (کک‌سازی) است.

شکل ۶. عوامل انتشار مواد سمی

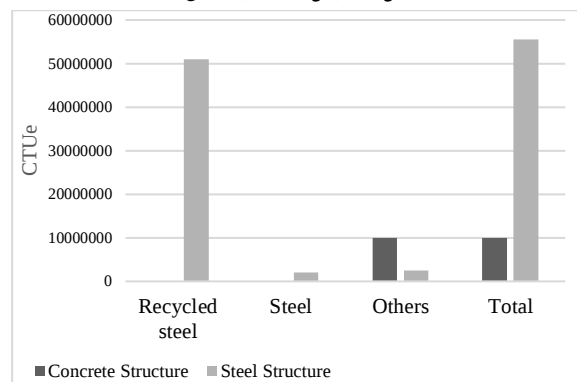


Fig. 6. Emission of Toxic substances

۳-۳- گرمایش جهانی

همان‌طور که در شکل ۷ نشان داده است ساختمان اسکلت بتنی سهم بیشتری در انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد. دلیل آن تولید آرماتور فولادی، تولید سیمان و بلوک سبک سیمانی و همچنین حمل نقل بیشتر مواد به سبب حجم بسیار زیاد آن نسبت به ساختمان فولادی است. منظور از دیگر عوامل در این شکل، موارد متعددی است که اصلی‌ترین آن‌ها در سازه‌های فولادی تولید پروفیل فولادی و تولید سوخت کارخانه فولادسازی (کک‌سازی) است. این نتایج را می‌توان با یافته‌های پژوهشی خضری و کمالان (۲۰۲۱) مقایسه کرد؛ در آن پژوهش نیز تولید میلگردهای فولادی، برش و صیقل دادن سنگ، بتن و سیمان پرتلند دارای بیشترین انتشار دی‌اکسید کربن بوده است [15]. همچنین در مقاله ژو همکاران (۲۰۲۰) نیز تولید فولاد، بتن، سیمان و سرامیک دارای بیشترین پتانسیل گرمایش جهانی بوده اند [24]. علاوه بر این، در پژوهش گوگمز و هوارث (۲۰۰۵) نیز انتشار گازهای گلخانه‌ای در ساختمان‌های بتنی بیش از ساختمان‌های فلزی گزارش شده است [6].

(۲۰۲۱) هماهنگی دارد؛ در آن پژوهش، دلیل این مسئله را وجود فرایندهای استخراج سنگ آهن، ذوب، تغییر شکل، نورد و جوشکاری در فرآیند تولید مصالح ساختمانی سازه‌های اسکلت فلزی بیان شده است [15].

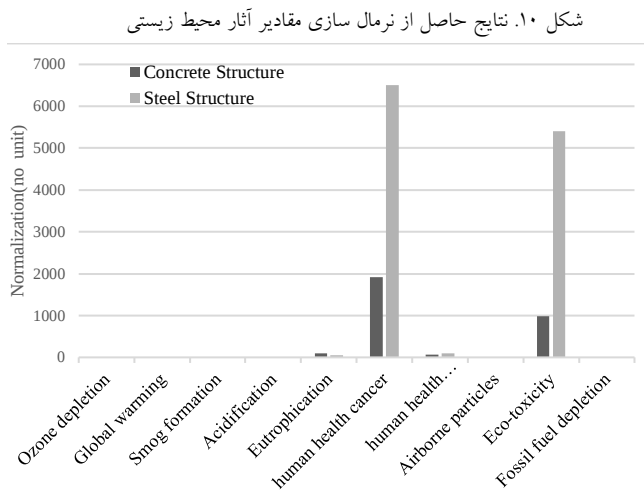


Fig. 10. Normalization of environmental effects

۳-۶- مقایسه آثار در طول چرخه ی عمر

چرخه عمر شامل سه مرحله تولید مصالح، ساخت و پایان عمر است. در شکل ۱۱ سهم هر یک از مراحل چرخه عمر در تولید هر یک از آلاینده‌ها در طول عمر سازه‌ها نمایش داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین سهم از آثار محیط‌زیستی در هر دو نوع ساختمان بتنی و فولادی مربوط به قسمت تولید مصالح است.

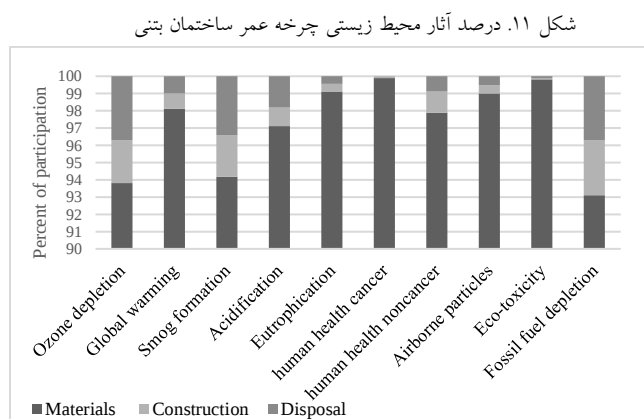


Fig. 11. Concrete building life cycle environmental impacts

این نتایج با یافته‌های پژوهش اوانجلیستا و همکاران (۲۰۱۸)،

ساختمان اسکلت بتنی ۴۹۸ کیلوگرم و در ساختمان فولادی کمتر از ساختمان‌های بتنی و در حدود ۳۸۹ کیلوگرم است. این نتیجه با یافته‌های پژوهش گوگمز و هوارث (۲۰۰۵) هم‌خوانی دارد [6].

شکل ۹. نوع و مقدار ذرات معلق

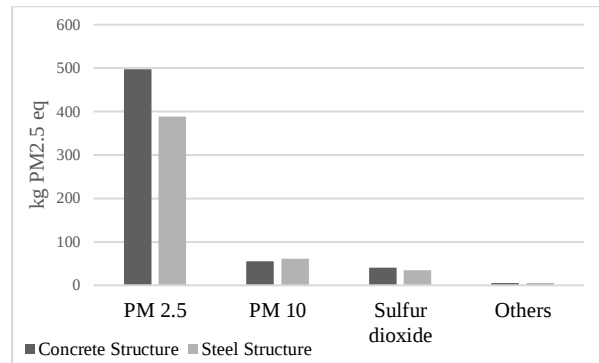


Fig. 9. Type and amount of suspended particles

جدول ۸: عوامل و میزان انتشار ذرات معلق PM2.5

Steel Structure	Concrete Structure	Unit	Materials
452	0	kg PM2.5 eq	Steel
59	235	kg PM2.5 eq	Reinforce Steel
-151	0	kg PM2.5 eq	Recycled Steel
0	230	kg PM2.5 eq	Cement Block
18	37	kg PM2.5 eq	Cement
389	498	kg PM2.5 eq	Total

Table 7. Comparison of the type and amount of Particles emissions in two types of buildings

۳-۵- نرمال کردن آثار

در این قسمت هر یک از آلاینده‌ها با کمک جدول ۶ به صورت مقادیر نرمال شده بدون بعد، ارائه شده است (شکل ۱۰). در شکل (۱۰) منظور از دیگر عوامل در این شکل، مجموعه‌ای از ذرات معلق دیگر است که ضمن ناچیز بودن، اطلاعات دقیقی از نوع ترکیبات آن‌ها موجود نیست.

نتایج نشان می‌دهد که ساختمان اسکلت فولادی- به دلیل انتشار مواد سرطان زا و سمی که از درجه اهمیت بیشتری نسبت به سایر پارامترها برخوردار هستند - آثار محیط زیستی بیشتری ایجاد می‌کند؛ این نتیجه با یافته پژوهش خضری و کمالان

for life cycle carbon footprint and life cycle cost minimisation: A building refurbishment case study. *Energy*, **97**: 58–68

[2] Hossain, K. and B. Gencturk, 2014. Life-Cycle Environmental Impact Assessment of Reinforced Concrete Buildings Subjected to Natural Hazards. *Journal of Architectural Engineering*, **22**(4): A4014001

[3] Hossain, K.A., 2013. Structural Optimization and Life-cycle Sustainability Assessment of Reinforced Concrete Buildings in Seismic Regions. University of Houston

[4] Liu, M. (Max) and B. Mi, 2017. Life cycle cost analysis of energy-efficient buildings subjected to earthquakes. *Energy and Buildings*, **154**: 581–589

[5] Lippiatt, B.C., 2000. BEES 2.0 Building for Environmental and Economic Sustainability: Technical Manual and User Guide

[6] Guggemos, A. and A. Horvath, 2005. Comparison of Environmental Effects of Steel and Concrete-Framed Buildings. *Journal of Infrastructure Systems*, **11**(2): 93

[7] Scheuer, C., G.A. Keoleian and P. Reppe, 2003. Life cycle energy and environmental performance of a new university building: modeling challenges and design implications. *Energy and Buildings*, **35**(10): 1049–1064

[8] Noori, M., R. Ghattas, J. Gregory, R. Miller, E. Olivetti and S. Greene, 2016. Life Cycle Assessment for Residential Buildings: A Literature Review and Gap Analysis Rev. 1

[9] Chou, J.-S. and K.-C. Yeh, 2015. Life cycle carbon dioxide emissions simulation and environmental cost analysis for building construction. *Journal of Cleaner Production*, **101**: 137–147

[10] Hee, W.J., M.A. Alghoul, B. Bakhtyar, O. Elayeb, M.A. Shameri, M.S. Alrubaih and K. Sopian, 2015. The role of window glazing on daylighting and energy saving in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **42**: 323–343

[11] Morrissey, J. and R.E. Horne, 2011. Life cycle cost implications of energy efficiency measures in new residential buildings. *Energy and Buildings*, **43**(4): 915–924

[12] Evangelista, P.P.A., A. Kiperstok, E.A. Torres and J.P. Gonçalves, 2018. Environmental performance analysis of residential buildings in Brazil using life cycle assessment (LCA). *Construction and Building Materials*, **169**: 748–761

[13] Tokbolat, S., F. Nazipov, J.R. Kim and F. Karaca, 2019. Evaluation of the environmental performance of residential building envelope components. *Energies*, **13**(1):

[14] Bahrāmian, M. and K. Yetilmezsoy, 2020. Life cycle assessment of the building industry: An overview of two decades of research (1995–2018). *Energy and Buildings*, **219**:

[15] Khezri, M.A. and H. Kamalan, 2021. Life Cycle Assessment of Residential Buildings Construction (Case Study: Tehran). *Environmental Energy and Economic Research*, **5**(1): s05

[16] Goedkoop, M., M. Oele, J. Leijting, T.

توکبالت و همکاران (۲۰۲۰) و بهرامیان و یتیلمزو (۲۰۲۰) قابل مقایسه است. در پژوهش آنان هم به دلیل اینکه در مرحله ساخت و ساز از مصالح فولاد و بتن استفاده شده است و تولید این مصالح دارای تأثیر زیست محیطی زیادی هستند این مرحله دارای بیشترین اثر است. [12–14]

شکل ۱۲. درصد آثار محیط زیستی چرخه عمر ساختمان فولادی

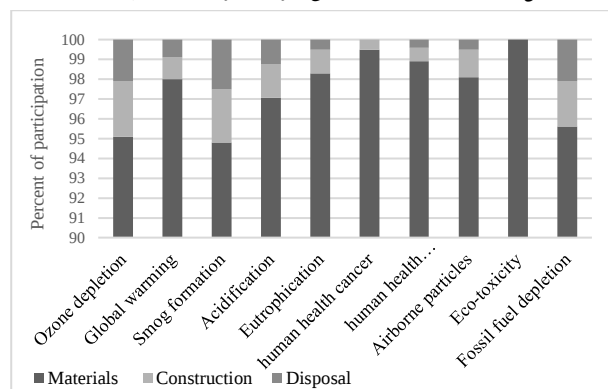


Fig. 12. Steel building life cycle environmental impacts

۴- جمع‌بندی

در این مطالعه، دو نوع اسکلت متداول قاب خمشی بتنی و فولادی ساختمانی در شهر اصفهان بر مبنای تحلیل چرخه عمر ارزیابی محیط‌زیستی شدند. آلاینده‌های مورد بررسی شامل تخریب لایه ازن، گرمایش جهانی، مه‌دود، اسیدی شدن، تغذیه-گرایی، انتشار مواد سرطان‌زا و غیر سرطان‌زا، آلودگی هوا، انتشار مواد سمی هستند. نتایج نشان داد بیشترین آلودگی مربوط به تولید مصالح و به ویژه ساخت فولاد است. درصد تأثیر مواد اولیه عموماً بیش از ۹۵ درصد بوده است. ساختمان اسکلت فولادی در بیشتر آثار محیط‌زیستی از جمله گرمایش جهانی، ذرات معلق، اسیدی شدن، تغذیه‌گرایی، مه‌دود آلودگی کمتری نسبت به اسکلت بتنی ایجاد نموده است. همچنین نرمال‌سازی آثار نشان داد که به دلیل اهمیت بیشتر انتشار مواد سرطان‌زا و سمی و اثر شدید آن بر سلامت انسان و نقش بیشتر فولاد در انتشار این آلودگی‌ها، آلودگی محیط‌زیستی اسکلت فولادی بسیار بیشتر از سازه بتنی است.

References

[1] Schwartz, Y., R. Raslan and D. Mumovic, 2016. Implementing multi objective genetic algorithm

۵- منابع

- [21] Aymard, V. and V. Botta-Genoulaz, 2017. Normalisation in life-cycle assessment: consequences of new European factors on decision-making. *Supply Chain Forum*, **18**(2): 76–83
- [22] Muhl, M., M. Berger and M. Finkbeiner, 2021. Distance-to-target weighting in LCA—A matter of perspective. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, **26**: 114–126
- [23] Andreas, R., S. Serenella and N. Jungbluth, 2020. Normalization and weighting: the open challenge in LCA. *International Journal of Life Cycle Assessment*, **25**(9): 1859–1865
- [24] Xue, Z., H. Liu, Q. Zhang, J. Wang, J. Fan and X. Zhou, 2020. The impact assessment of campus buildings based on a life cycle assessment-life cycle cost integrated model. *Sustainability (Switzerland)*, **12**(1): 1–24
- Ponsioen and E. Meijer, Introduction to LCA with SimaPro, 2016
- [17] Wernet, G., C. Bauer, B. Steubing, J. Reinhard, E. Moreno-Ruiz and B. Weidema, 2016. The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, **21**(9): 1218–1230
- [18] Municipality of Isfahan, **1393**. Statistics of Isfahan City, Department of Housing and Building
- [19] Mark Goedkoop, Michiel Oele, Marisa Vieira, Jorrit Leijting, Tommie Ponsioen, E.M., **2016**. SimaPro Tutorial
- [20] Bare, J., 2011. TRACI 2.0: the tool for the reduction and assessment of chemical and other environmental impacts 2.0. *Clean Technologies and Environmental Policy*, **13**(5): 687–696

Life cycle environmental impacts of residential buildings of concrete and steel structures, Isfahan case study

Masoud Taheriyoun^{1*}, Mahdi Hodaei², Payam Asadi³, Asghar Fallahi Zarandi⁴

1- Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering, Isfahan University of Technology

2- Bachelor of Civil Engineering - Isfahan University of Technology

3- PhD student in Civil Engineering - Management and Engineering of Water Resources, Isfahan University of Technology

* taheriyoun@iut.ac.ir

Abstract

Considering the goals of sustainable development and increasing environmental pollution, attention to the environmental effects of each product has increased more than ever. In the meantime, the building industry plays a major role in environmental pollution, as a major part of the urban waste comes from the industry. The most important factor affecting the amount and nature of environmental impacts is the type of building system. Life cycle analysis is a method used to assess environmental impacts along with all stages of the life of a product from cradle to grave. It is a method for designing sustainable structures, identifying environmental impacts of materials throughout the life cycle, providing financial and environmental details for choosing between different options by the relevant user, and the ability to select different indicators for assessing the life cycle of the application. In this research, a framework for evaluating the environmental life cycle of buildings is described. Due to the fact that in most buildings in Iran there are steel or concrete frames, the environmental impacts of two types of steel and concrete buildings in Isfahan have been estimated and compared. The analysis of the life-cycle analysis is carried out in four stages of the production and processing of materials, materials, construction, operation and end-of-life. Environmental impacts are categorized in the form of potential warming groups, acidification potential, water nutrition, reduction of fossil fuel resources, air pollutants, human health, photochemical smoke formation potential, ozone depletion and toxic emissions. . The analysis of effects is performed during the steps of classification, determination of the coefficient of influence and normalization and weighing. This analysis is performed in steps of classification, determination of the coefficient of influence and normalization and weighting. In the stage of classification of resources or contaminants that are similar in terms of environmental effects, Commitment and the determination of a single index for the effects defined in the groups through the process of determining the coefficient of influence of each work belonging to a group, normalization (converted to a comparable and comparable scale), and ultimately weighing the effect based on the importance of the type of effect is obtained. Weighing in these methods is performed as a triangle of weighting. It showed that the highest pollution was related to the production of materials and in particular the manufacture of steel. The percentage of the raw materials used was generally more than 95%. Steel structures have been contaminated with most of the environmental impacts, including global warming, suspended particles, acidification, nutrition, and smog emissions. The impact of concrete building on greenhouse gas and particulate emissions is much higher and contributes significantly to the production of steel in the production of cancerous and toxic substances. It also showed that due to the increased importance of the release of carcinogens and toxic substances in The whole effect is more and more severe on human health and environmental degradation, and the greater role of steel in the release of these contaminations, the environmental contamination of the steel structure for the release of toxic carcinogens and toxic chemicals such as chromium multiplicity, is much greater than the concrete structure.

Key word: Sustainable Development, Environmental Impacts, Life Cycle Analysis, Concrete and Steel Building, Carcinogenic Substances