



ارزیابی چرخه عمر سازه های بتنی با رویکرد طبقات زیست محیطی

دکتر علیرضا تقدیری^{1*}، علی فلاح شیرازی²

1- استادیار و عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودهن، گروه معماری، رودهن، ایران، artaghdiri@gmail.com

2- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، رشته معماری، کرج، ایران، ali16716@hotmail.com

چکیده

بتن یکی از پرکاربردترین محصولات ساختمانی است که تولید جهانی آن در حدود 25 میلیارد تن در سال می باشد. بنابراین، تبعات محیطی آن در زمینه استفاده از منابع و تولید آلاینده ها قابل توجه است. امروزه مطالعات فراوانی در خصوص آسیب های بتن و سایر مصالح ساختمانی انجام میگردد که در آن ها چرخه عمر محصولات (LCA) خواسته می شود. اولین مرحله در هر LCA جمع آوری فهرست ارزیابی چرخه عمر (LCI) می باشد، که بر اساس آن تبعات چرخه عمر متعاقب با آن می تواند به دست آید (LCIA). در این مقاله طبقات محیطی LCI بتن ها مورد بررسی و مقایسه ای بین بتن متعارف با بتن بازیافتی (RCA) و همچنین سازه بتنی و فلزی میگردد تا به کمک بهره گیری از یافته های پژوهشی، پیشنهاد راهکارهای در جهت بهبود کیفیت بتن و دلایل استفاده آگاهانه تر از سیستم سازه ای بتن بیان گردد.

واژه های کلیدی: بتن، ارزیابی چرخه عمر، تولید سیمان، طبقات زیست محیطی، سازه های بتنی، بتن بازیافتی



1. مقدمه

امروزه بتن یکی از پرکاربردترین مصالح ساختمانی است. تخمین زده شده که تقریباً 25 میلیارد تن بتن هر ساله در جهان، یا بیش از 3.8 تن توسط هر شخص در هر سال، تولید می‌شود. در سرتاسر جهان، دو برابر بتن در ساخت و سازها به طور مخلوط و ترکیب با سایر مواد مصالح استفاده می‌شود. از مقدار کلی ضایعات تولید شده در اروپا در هر سال، تقریباً 40 درصد آن، ضایعات ساخت و ساز و تخریب (C&D) می‌باشد. (WBCSD, 2009). با توجه به اشتراک آن در کاربرد جهانی مواد و مصالح مختلف ساخت و ساز، ضایعات بتنی، بخش عمده‌ای از ضایعات C&D را تشکیل می‌دهد. مقدار ویژه‌ای از اثرات مضر که در یک واحد بتن گنجانده می‌شود، در مقایسه با سایر مصالح ساخت و ساز نسبتاً کم است. با این وجود به دلیل تولید و کاربرد جهانی بالای بتن، تاثیر نهایی منفی زیست محیطی سازه‌های بتنی، قابل توجه است: مصرف زیاد منابع طبیعی (خصوصاً مصرف سوخت‌های فسیلی برای مصالح سیمان، بتن، انرژی) و مقدار زیاد ضایعات تولید شده.

عملیات ساخت و ساز به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع تولید گازهای گلخانه‌ای (GHG) محسوب می‌شود. در ایالات متحده، ساختمان‌های مسکونی و تجاری در حدود 74٪ الکتریسیته سالیانه مصرف می‌کنند و 39٪ انرژی اولیه در سال 2006 را موجب گردیده است که این مقدار در حال افزایش می‌باشد. به طور جهانی 40٪ سهم انتشار گازهای گلخانه‌ای و 40٪ مصرف مصالح مربوط به ساختمان‌ها می‌باشد. اخیراً محصولات بتنی در تولید کربن اکسید سهمی در حدود 5 درصد را دارا می‌باشند، که بیشتر آن مربوط به لعاب سیمان می‌باشد. در سال 2011، به طور جهانی در حدود 3 میلیارد تن سیمان پرتلند ساخته شد، که این مقدار منجر به تولید 2.6 تن کربن دی‌اکسید گردید. تقریباً نیمی از زایدات تولید شده، ناشی از احتراق سوخت فسیلی مانند سیمان پرتلند می‌باشند. نیم باقیمانده ناشی از آهکی شدن سنگ آهک است. تبعات زیست محیطی ناشی از بتن هرگز محدود به زایدات‌های دی‌اکسید کربن نمی‌شود. کاربرد LCA قویاً به دقت و درک از فهرست چرخه عمر آن (LCI) که شامل داده‌هایی چون ورودی و خروجی جرم و انرژی در طول پروسه‌های مختلف چرخه عمر تکمیل می‌شوند، می‌باشد. LCA‌های معتبر در محصولات بتنی به شدت بر اعتبار و درک LCI‌ها بستگی دارد.

گرچه با پیشرفت تکنولوژی بتن تخریب شده می‌تواند بازیافت شود، هرچند که نمی‌تواند به شکل اصلی و مواد تشکیل دهنده‌ی اولش برگردد. بتن به قطعاتی تقسیم و خرد می‌شود که توده قطعات بتنی بازیافت شده (RCA) برای استفاده در کاربردهای جدید نام دارند. در حال حاضر، RCA در کاربردهای نامحدود برای پی‌جاده، پشت‌بندی‌ها و غیره، پرکاربردترین است.

بازگردانی بتن‌های تخریب شده به قطعات، در خور تامین منافع زیست محیطی، با حفظ و نگه‌داری منابع طبیعی و کاهش ضایعات؛ یعنی حفظ فضای محل دفن زباله‌ها از سوی دیگر، خود فرایند بازیافت و آسیب‌بالای احتمالی سیمان در سازه‌های بتنی ساخته شده از RCA، موجب آسیب‌های زیست محیطی جدید می‌شود.

به علت بالا بودن حجم تولید بتن در جهان و بخصوص در ایران که عمر بتن تولید شده کمتر از استاندارد‌های جهانی بوده، باعث گردیده تولید بتن سه برابر سرانه جهانی آن شود، در نتیجه هدف این تحقیق پرداختن به تمام راهکارهای استاندارد سازی شده و مناسب در جهت کاهش میزان تولید بتن، متعلقات بتن و در نتیجه طبقات زیست محیطی آن در طول چرخه عمر می‌باشد. [1,2]



2. ارزیابی چرخه عمر چیست؟

ارزیابی چرخه عمر یا LCA بررسی و ارزیابی تبعات محیطی محصول، روند و یا سرویس می باشد. LCA تمامی مراحل عمر محصول را ارزیابی می کند و به نظر می رسد هر مرحله به یکدیگر وابسته است، به این معنا که هر عملکرد منجر به ایجاد دیگری می شود. چندین مرحله چرخه عمر برای یک سیستم یا روند مشخص وجود دارد. این مراحل، می تواند شامل مواد خام، و انرژی باشد. مراحل چرخه عمر ممکن است شامل استفاده از مواد خام، تولید، استفاده سازه ای یا عملکرد، و در نهایت بازسازی یا مدیریت زباله باشد. خروجی ها که محیط زیست را به طور منفی تحت تاثیر قرار می دهند، شامل آلودگی های جوی، زباله های مایع، زباله های جامد، محصولات بعدی و یا سایر مواد آزاد شده باشد. وقتی به تبعات محیطی سازه نظر می کنیم، ارزیابی هر مرحله از چرخه عمر مهم می باشد که می تواند شامل استخراج مواد خام، تولید و یا ساخت، عملکرد سازه و مرحله انتهایی عمر که در آن سازه خراب شده و از بین می رود، باشد. LCA یکی از رویکردهای شفاف برای تعیین تبعات محیطی چرخه عمر سازه می باشد و می تواند به عنوان یک ابزار برای ایجاد تصمیمات طراحی باشد که در نهایت منجر به کاهش تبعات محیطی می گردد. بر طبق استانداردهای LCA در چهار مرحله زیر انجام می شود:

1. تعریف هدف و طرح نهایی 2. فهرست آنالیزها 3. ارزیابی تبعات 4. تفسیر [2]

3. مروری بر طرح نهایی

مخلوط و تکمیل LCA های سیمان اصلی و محصولات بتنی قبل از سال 2000 در جدول S1 با عنوان مصالح تکمیلی طبقه بندی شده اند. اخیراً در تحقیقی که توسط Van den Heede و Belie انجام شده است، LCA های بتن مرور شده است و گستره ای از انرژی و زایدات ایجاد شده برای هر دو نوع مصالح سنتی و سبز تهیه گردیده است و زمینه ای از اطلاعات را برای وجوه مختلفی از بتن مانند دوام، پیش بینی عمر سرویس دهی بر اساس آزمایشات مختلف دوام، و همچنین پروسه LCA برای محتویات بتن را فراهم می کند. در مقایسه، مرور ما اساساً بر تناقضات و مفاهیم آن ها متمرکز می شود و توصیه هایی برای بهبود رویکرد و روش ها در LCA های بعدی فراهم می کند. تحقیقات پیمایشی از ژورنال ها و گزارشات با مرور مشابه (Peer reviewed) که راهنمای سیستماتیک LCA ها را دنبال می کنند، انتخاب شده است. مانند چارچوب ISO 14040 به منظور فراهم سازی مقایسه بین تحقیقات. این مرور شامل دو گروه از تحقیقات می باشد. اولی LCA های محصولات سیمانی را پوشش می دهد. دومی گردآوری LCA های محصولات بتنی می باشد. ارزیابی تحقیقات انتخاب شده بر اساس دو مرحله LCA ی زیر می باشد (دو مرحله از 4 مرحله اساسی):

- تعریف هدف و طرح نهایی
- تحلیل های مربوط به فهرست چرخه عمر (LCI)

در مرحله تعریف هدف و طرح نهایی، واحد تابع و مشابه سازی مرزهای سیستم که در تحقیقات مختلف با یکدیگر در تناقضند، تعیین می گردد. در تعیین مرحله LCI ها، مطالعات انتخاب شده با یکدیگر به عنوان ورودی های زیست محیطی (مصالح خام، مصرف آب و استفاده انرژی) و خروجی ها (زایعات محیطی، زایعات وارده به آب و زباله های تولید شده) مقایسه می گردند.

با توجه به دو مرحله ذکر شده، چگونگی رسیدن به نیازهای ذکر شده در قالب سه بعد مهم زیر درک گردد:

(1) تصمیم گیری جامع در اثنای تغییرات محیطی در فهرست چرخه عمر.



2) توانایی اعمال به تصمیم‌گیری‌های منطقه‌ای / محلی.
3) توانایی محاسبه نمودن اثرات مستقیم و وابسته به تولید پروسه‌های تولید در طول چرخه عمر بتن و محصولات سیمانی.
مرور طرح نهایی به سیمان و محصولات بتنی محدود می‌گردد، بنابراین این یک تحلیل از مبدا تا مقصد می‌باشد. برای تعیین تمامی تبعات محیطی محصولات بتنی، تعیین روندهای اصلی که در تولید سیمان و ترکیبات آن رخ می‌دهد، ضروری می‌باشد.
قسمت‌های بعدی آمیختن هدف و طرح نهایی و ویژگی‌های LCI را برای سیمان و LCA های بتنی را که در جدول S1 خلاصه شده است را تعریف می‌کند. در طول تحقیق یافته‌های اصلی تحقیق بیان و تفاوت‌ها توصیف می‌گردند.
[1,3]

4. تعریف هدف و طرح نهایی LCI های سیمان

LCA های محصولات سیمانی در تحقیق، از ابتدا تا انتها با توجه به محدوده سیستم آن‌ها بر اساس تغییرات تکنولوژی و ژئوگرافیکی متناسب با طرح نهایی آن‌ها تغییر می‌کند. پروسه معمول در محصولات سیمان پرتلند شامل موارد زیر است:

- 1) استخراج مواد خام (معادن سنگ و خرد کردن مواد خام)
- 2) آماده‌سازی و مخلوط مواد خام
- 3) واکنش شیمیایی
- 4) کوبیدن نهایی (آسیاب کردن) توسط سنگ گچ
- 5) بسته‌بندی، انتقال و فرستادن محصول نهایی

تهیه سوخت و SCM ها در پروسه‌ای موازی با تهیه سیمان رخ می‌دهد. علاوه بر این، تبعات ناشی از حمل و نقل یک مرحله ضروری در محاسبات LCI می‌باشد که در فاز چرخه عمر اصلی اتفاق می‌افتد و آثار محیطی همراه می‌تواند قابل توجه باشد.

پروسه تهیه سیمان اصلی (به عنوان مثال آماده‌سازی مواد خام و فرآیندهای تولید کلینکر) در تحقیق Josa در هر LCA به طور جداگانه تحلیل می‌گردد. تمامی تحقیق‌های موجود بیشتر بروی مرحله انرژی تهیه سیمان تمرکز دارند. این مرحله 90٪ انرژی کل را در تهیه سیمان مصرف می‌کند. از مرحله استخراج مصالح خام در چهار تحقیق از نه تحقیق موجود صرف نظر شده است، این می‌تواند به دلیل مصرف انرژی بی‌اهمیت قلمداد شده باشد (در حدود 2٪ از انرژی کل) و یا به دلیل فقدان داده‌ها. بر خلاف انرژی مصرفی پایین در این مرحله تبعات ناشی از ذرات معلق (PM) می‌تواند حائز اهمیت باشد. آماده‌سازی مواد خام، آسیاب نهایی و مرحله حمل و نقل معمولاً موجود هستند، اما در همه موارد در LCA های تهیه سیمان قرار نمی‌گیرند. مصرف انرژی در این مراحل نسبتاً کم و در حدود 2-5٪ از کل تولید است. با این حال از نظر تبعات ناشی از استخراج مواد خام، تبعات ناشی از این سه مرحله می‌تواند از نظر جهانی قابل توجه باشد. زمانی که تبعات با مقادیر جهانی مقیاس می‌شوند، حتی 2٪ مصرف انرژی می‌تواند به مقادیر غیرقابل انتظار برسد. موسسه پیمایش زمین‌شناسی آمریکایی (USGS) تخمین می‌زند که به ازای هر تن سیمان در حدود 5.2 گیگاژول از انرژی مورد نیاز می‌باشد و 2٪ از این مقدار (در حدود 0.1 گیگاژول) سالیانه به طور جهانی به مقدار 230 میلیون گیگاژول یا 5.09 میلیون تن انرژی مصرفی معادل نفت اضافه می‌گردد.

بجز یکی از سازندگان جدیدالتاسیس سیمان مطالعات مربوط به LCA، مابقی سازندگان توجه خاصی به تغییرات تکنولوژی در مراحل اصلی ساخت سیمان ندارند. این تحقیق خاص خطوط تولید قدیمی و جدید تولید سیمان را با رویکرد بهترین تکنولوژی موجود اروپا (BAT) مورد مقایسه قرار می‌دهد. اگرچه این یک ضعف به شمار نمی‌رود، اما تفاوت‌های موجود در اروپا و ایالات متحده قابل توجه می‌باشند. در تحلیل‌های سیمانی اروپایی معمولاً شامل سیمان‌های مخلوط می‌شوند (سیمان مخلوط با خاکستر، خاکستر و پوزولان طبیعی) زیرا معمولاً 70٪ سیمان‌های مصرفی مخلوط می‌باشند. در ایالات متحده مصرف سیمان‌های مخلوط زیر 3٪ است. اما این اعداد می‌تواند گمراه‌کننده باشد به عنوان مثال در ایالات متحده ترکیب مکمل با مصالح سیمانی در طول اختلاط بتن روش متداول است نه در طول تولید سیمان. علاوه بر این، محدودیت‌های نظارتی، تطبیق آهسته استانداردها و عدم تمایل به استفاده از مصالح جدید می‌تواند از دلایل استفاده نکردن از سیمان‌های مخلوط در LCA‌های ایالات متحده باشد. بنابراین هنگامی که یک LCA اجرا می‌شود، محقق باید ظرفیت و آیین‌نامه‌های مربوط به آن منطقه را برای یک ارزیابی دقیق بررسی کند. [1,4]

5. LCA‌های ارائه شده در سیمان

در طول روند تولید سیمان، انرژی به شکل سوخت و الکتریسیته مصرف می‌شود. سوخت‌های فسیلی در پروسه‌ها اصلی‌ترین سوخت‌ها را تشکیل می‌دهند. کوره‌های سیمان در ایالات متحده توسط زغال سنگ و ترکیب کک نفتی روشن می‌شوند. اختلاط خاص منابع سوخت شدیداً وابسته به امکانات تولید بوده و می‌تواند شامل ترکیباتی چون گاز طبیعی، سوخت روغنی، تیرهای زاید، زباله‌های جامد و مایع و سوخت‌های رایج باشد. الکتریسیته برای آسیاب کردن، چرخ کردن، چرخش کوره، انتقال مصالح و کاربرد سایر دستگاه‌های الکتریکی برای تمیز کردن گازهای خروجی و خنک کردن کوره استفاده می‌شود.

تغییرات منطقه‌ای و تکنولوژی سوخت مصرفی در طول پروسه تولید معمولاً حاصل نمی‌شوند، در صورتی که محدودیت‌های کاربرد داده‌های LCI برای ناحیه به طور اساسی متفاوت از شرایط میانگین طبیعی هستند. برای مثال برخی از کارخانجات سیمان پرتلند در ایالات متحده از لعاب‌های وارداتی که با گچ مخلوط شده‌اند تا سیمان پرتلند بومی تولید کنند، استفاده می‌کنند. سیمان‌های صادراتی هشت درصد مصرف کل سیمان در سال 2009 در ایالات متحده را تشکیل می‌دادند. مشخصات لعاب وارداتی و انرژی مصرفی به کشور مبدا بستگی دارد، این انرژی و انرژی مصرفی برای انتقال کوره در ملاحظات مربوط به LCA وارد نمی‌گردند. کوره‌های بومی و وارداتی فرض می‌شود که با تکنولوژی یکسان ایجاد می‌گردند. توصیه می‌شود برای یک ارزیابی دقیق از محیط زیست، تفاوت‌های ظریف مربوط به انرژی در فن‌آوری‌های تولید در LCIs آینده در نظر گرفته شود.

در مقایسه با ایالات متحده، اروپا مطالعات سیمان در کاربرد الکتریسیته و تبعات ناشی از تولید سوخت و SCM‌ها در تحلیل‌هایشان در نظر می‌گیرند. ماحصل این مرحله از LCI‌های سیمان می‌تواند منجر به تخمین اولیه از تبعات مصرف الکتریسیته در طول پروسه‌های تولید سیمان گردد. تخمین‌های آمده در ادامه، مقادیر مسئله را مشخص می‌کند. برای مثال زغال سنگ در حدود 65٪ از گرمای لازم در صنعت سیمان را تأمین می‌کند. چرخ کردن زغال سنگ بستگی به نوع آن ممکن است در حدود 30-40 KW h/t انرژی نیاز داشته باشد. بر طبق USGS در سال 2009 حدود 5.5 میلیون تن از زغال سنگ در ساخت کوره‌ها استفاده شده‌اند. این مقدار معادل با 190 میلیون KW h مصرف الکتریسیته یک ساله در کارخانجات تولید سیمان می‌باشد. در همان سال مصرف الکتریسیته کارخانجات سیمان ایالات متحده در حدود 9,020 میلیون KW h گزارش شده است. این مقدار در حدود 2٪ مقدار مصرفی در

آماده سازی زغال سنگ است. سوخت های زباله ای نیز قبل از استفاده در کوره ها آماده سازی می شوند. انواع معمول شامل تایرها (در حدود 4٪ کل گرمای کوره های ایلات متحده) و خرده تایر ها می باشند که نیاز به انرژی 45KW h/t دارند. با نگاه به آمار جهانی، در نظر گرفتن تبعات ناشی از سوخت زباله ای حائز اهمیت خواهد بود. قبل از اختلاط توسط کوره، بایستی SCM ها خشک شده، ته نشین شده و آماده گردند. در مقایسه با سایر محصولات معدنی، آماده سازی خاکستر کوره ای سوخته دانه بندی شده (GGBFS) با بیشترین تبعات محیطی همراه است، زیرا آسیاب پذیری آن ها کمتر بوده و نیاز به خشک شدن بیشتر دارند. این فرایند در حدود 95KW h/t برای آماده سازی اولیه خاکستر برای اختلاط با سیمان در کوره نیاز دارد. برای خاکستر آماده سازی (خاکستری که بر خلاف GGBFS نیاز به چرخ کردن ندارد) در حدود 7KW h/t نیاز دارد. در حالت کلی، مطالعات به بخش های کم اهمیت توجهی ندارد، اما حتی 1٪ از انرژی مصرفی سیستم بتن از ابتدا تا انتها می تواند در صورت در نظر گرفتن مقادیر جهانی به مقدار قابل توجهی برسد. این قضیه برای سایر تبعات محیطی نیز صادق است (برای مثال تبعات وارده به هوا، آب و زمین). صنعت سیمان شرکت کننده اصلی در تبعات GHG جهانی می باشد. سایر تبعات اصلی همراه شده با تهیه سیمان شامل ذرات ریز (PM)، اکسید نیتروژن (NOx) و دی اکسید سولفور (SO₂) می باشد. علاوه بر این کربن مونوکسید (CO)، اجسام ارگانیک فرار (VOC) و سموم (فلزات سنگین، دیوکسین و furanها) ممکن است نگران کننده باشد. نوع و مقدار آلودگی هوا، با ترکیب مواد خام و سوخت مصرفی در روند ساخت سیمان تغییر می کند.

تبعات GHG، معمولا به شکل CO₂ می باشد و در تمامی LCA ها وجود دارد. دو منبع اصلی برای انتشار مستقیم CO₂ از تولیدات وجود دارد: احتراق سوخت ها و کلسیناسیون. در بیشتر LCA ها، انتشارات CO₂ بر اساس متوسط طبیعی محاسبه می شوند، بدون آنکه تغییرات تکنولوژی کوره و مصالح و یا ترکیب این دو را در نظر بگیرند. باید توجه داشت که مقدار CO₂ و تولید سایر گازهای گلخانه ای بستگی به اختلاط سوخت مورد مصرفی برای تولید الکتریسیته دارد که ممکن است عمومی و منطقه ای متفاوت باشد. در نظر گرفتن اثرات وابسته به سوخت و مصالح برای رویکرد جامع LCA ضروری می باشد.

مشابه سایر روندهای تولید سوخت احتراقی، تولید سیمان نیز آلودگی هوا را در بر خواهد داشت: این آلودگی ها شامل، VOC, PM, CO, NOx, SO₂ و CH₄ در کنار CO₂ می شوند. تحقیق Marceau تنها LCI است که شامل تمامی آلودگی های هوایی می شود و شش مورد از مطالعات اروپایی آلودگی های SO₂, Nox و PM را برای انواع مختلف سیمان پرتلند شامل میشود.

ریز گردها (PM) در طول کلیه مراحل اصلی تولید سیمان پرتلند ایجاد می گردد. دو مورد از LCA های سیمان پرتلند آمریکایی باعث ایجاد PM در پروسه های اصلی می شود. Marceau نشان داد که نشر PM از فعالیت های غربالگری و حمل و نقل مواد خام به محل تولید سیمان پرتلند نیز حاصل می گردد. به طور عمومی 90٪ مواد خام سیمان (سنگ آهک، سنگ رس، شیل و غیره) غربال می شوند. نشر PM، مصرف آب، پساب آب و استفاده از مواد منفجره از مسائل اصلی به هنگام غربال هستند. انتشارات حاصل از غربالگری می تواند در حدود 90٪ اجسام منتشر شده از فرایند تولید سیمان می باشد. مصرف آب در طول غربالگری در حدود 60٪ مصرف کل می باشد. هنگامی که مقادیر جهانی تولید سیمان را در نظر می گیریم (USGS 2009)، میزان تولید گازهای گلخانه ای و آب مصرفی در مرحله غربال می تواند از اهمیت بالایی برخوردار گردد.

مقدار کربن در مواد خام می تواند باعث ایجاد هیدروکربن (HC) و CO می باشد. نشر HC در طول روند تولید، معمولا از VOC و CH₄ حاصل می گردند. نشر حاصل از VOC ها و سایر HCs های حاصل روند تولید سیمان سنتی از درجه اهمیت کمتری برخوردار هستند. Cembureau دلیل بی اهمیت بودن این آلاینده ها را توضیح داده است: "



مواد دیگری که وارد سیستم کوره می شوند و می توانند باعث ایجاد انتشار گازهای نامطلوب شوند، به طور موثری در دمای بالای احتراق از بین می روند، و یا به محصول نهایی ملحق می شوند".

در مقالات بررسی تعدادی از LCA های سیمان پرتلند و مطالعات غیر LCA داده هایی را در مورد انتشار VOC، بنزین، Dioxin/furan، فلزات سنگین (Ar, Cr, Pb, Hg, Ni, Ti, Zn)، HF، و HCl به عنوان بخشی از تحلیل های محیطی ارائه می دهند. با نگاه به منبع داده ها، می توان نتیجه گرفت LCA های سیمان پرتلند که بر روی زباله مصالح خام و سوخت ها متمرکز می شود، همچنین باعث ایجاد آلودگی های سمی در هوا می شوند و این یکی از معضلات استفاده از این مواد خام می باشد. زباله ای که به عنوان سوخت یا به عنوان جانشینی برای مواد خام می باشد، ممکن است باعث تغییر در غلظت عناصر گردد. در شرایط خاص، مانند احتراق سوخت های زباله ای در کوره مرطوب نامناسب، می تواند منجر به آلودگی های سمی بیشتری گردد. برای مثال در تحقیق Ref تحلیل های محیطی ضایعات لاستیک ها، حلال ها و زباله های روغنی به وضوح نشان دهنده ی مقادیر بالای Zn, Pb, Cr, Cd نسبت به سوخت های سنتی هستند. همچنین برخی از مطالعات بر روی آلودگی های هوایی خطرناک (HAP) انجام گرفته اند که در آنها سوخت ترکیبی از ضایعات لاستیک ها و سوخت های مرسوم می باشد. بنابراین این مطالعات آلودگی های بحرانی هوا یا HAP ها را که از ضایعات لاستیک ها به تنهایی حاصل می شوند را از بقیه جدا نمی کند و به همین دلیل نتایج LCI برای سایر مخلوط های سوختی قابل کاربرد نمی باشد. برای تشخیص درست احتراق سوخت و آلودگی تحت تاثیر تکنولوژی باید در ملاحظات محاسبه تبعات در مراحل موجود در LCI در نظر گرفته شوند.

در حالت کلی سیمان یکی از اجزای بتنی است که بیشتر مورد مطالعه قرار می گیرد و فرآورده های آن از نظر انرژی و آلودگی دارای شدت زیادی هستند. اما LCA های محصولات سیمانی هنوز فاقد اطلاعات منعکس کننده دقیق در تکنولوژی و منطقه ای است و بیشتر محدود به مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه ای می باشد. آثار ناشی از آلودگی های سمی، فاضلاب آب، زباله های جامد (مانند گرد و خاک کوره سیمان) و مصرف آب معمولاً صرف نظر می شوند، زیرا نقش، زمان و داده های مربوط به این آثار بی اهمیت می باشند. این محدودیت ها باعث ایجاد آنالیزهای محیطی جدی می شوند و باید مسائل مربوط به آلودگی های در نظر گرفته شوند. [1,5]

6. مقایسه تعریف هدف و طرح نهایی LCI های محصولات بتنی

LCA های بتنی در مقاله ها در قالب واژه هایی چون طرح نهایی، ژئوگرافی و نوع محصولات بتنی مورد مطالعه بیان شده اند. در قالب واژه ژئوگرافیکی LCA های محصولات بتنی منتشر شده کاملاً گوناگون هستند. مطالعات LCA بتنی مرورشده LCI های مواد استخراج شده و مراحل تولید با یکدیگر تلفیق می شوند. برخلاف LCA های محصولات سیمانی، برای مواد استخراج شده محصولات بتنی شامل سنگدانه ها، افزودنی ها، SCM ها و مصرف آب در مقالات LCA خاصی وجود ندارد. تعداد کمی از مطالعات مرورشده، نتایج LCI را نه تنها برای سیمان و بتن بلکه برای سایر مصالح ساختمانی نظیر آجر، آلومینیوم، سرامیک، مصالح عایق بندی، چوب و محصولات فولادی و المان های ساختمانی ساخته شده از بتن، فولاد و چوب ارائه داده اند. [1,6]

6.1. تخصیص

مقاله مرور شده نشان داد که مطالعات LCA بتنی حاضر بر روی تبعات زیست محیطی محصولات بتنی سبز مانند ژئوپلیمر، خاکستر و یا GBFS ها متمرکز شده اند. همچنین سه عدد از این LCA ها با خصوصیات ژئوپلیمر و محصولات سبز تلفیق شده اند. برای مثال هر دو محقق Van den Heede و Chen به ندرت بر روی روند تخصیص

که مربوط به اضافه کردن خاکستر و GBFS به بتن است، تمرکز می‌کنند. آنها در مورد داده‌های LCI که برای محصولات آهن و تولید الکتروسیته از زغال سنگ است توضیح داده‌اند، به طوریکه GBFS محصول آهن و خاکستر محصول زغال سنگ است. در تحقیق آنها نویسنده پیشنهاد می‌کند در تحقیقات بعدی در زمینه LCA های صنعتی جرم و خصوصیات اقتصادی نیز باید اضافه گردد، با توجه به اینکه محصولات صنعتی زباله به نظر نمی‌رسند و در بتن به عنوان SCM می‌باشند. Habert بر روی طراحی افزودنی‌های ژئوپلیمری بتن متمرکز می‌شوند و آنالیزهای تخصیص را بر روی سه نوع از بتن‌های پلیمری ساخته شده با خاکستر، خاکستر انفجاری از کوره و متاکائولین انجام داده‌اند. به عبارت دیگر، مطالعه در دو بتن سبز دیگر، مسائل تخصیص را در نظر نمی‌گیرد. McLellan بر روی تبعات GHG ناشی از خمیرهای ژئوپلیمر تحقیق می‌کند، همچنین Prusinski داده‌های LCI مربوط به بتن با خاکستر را بدون در نظر گرفتن روند تخصیص را مشخص می‌کند. در مقالات LCA تخصیص به طور مکرر مورد بحث قرار گرفته است، اما هنوز نتوانسته است مسائل را کاملاً حل کند. تاثیر تخصیص در چرخه عمر بتن اجتناب ناپذیر است. تولید بتن (همچنین تمام محصولات صنعتی دیگر)، دارای فرایندهای متعدد متداول مصرف است، و بیشتر این فرایندهای متعدد مصرف را در قالب محصولات ایجاد می‌کنند و یا این روندها باعث بازیافت محصولات متوسط و یا دسته دوم می‌شوند (گرد کوره سیمان، بتن خرد شده) که می‌توانند به عنوان مواد خام برای سایر سیستم‌های تولید استفاده شوند. [1,6]

6.2. واحدهای وابسته

برای داشتن یک مقایسه صحیح و شفاف از نتایج LCA، تعیین واحدهای وابسته ضروری می‌باشد. واحدهای وابسته مورد استفاده معمول برای مخلوط‌های بتنی و بتن پیش‌تنیده یک مترمربع در هر المان مانند تیر یا ستون می‌باشد (یا یک یاردمکعب یا فوت). در مقایسه با سایر مصالح ساختمانی، بتن چند جزئی است زیرا می‌تواند در گستره‌ای وسیع از افزودنی‌ها ایجاد گردد. بر طبق نیاز طراحان، و نوع کاربرد بتن، طراحی مخلوط‌های بتنی و ویژگی‌های آن به طور قابل ملاحظه‌ای تغییر می‌کند. برای داشتن نتایج صحیح LCA و برای اهداف مقایسه‌ای برخی ویژگی‌های بتن باید به طور شفاف تعیین گردد. این ویژگی‌ها شامل مقاومت فشاری، وزن واحد حجم، نفوذپذیری، کارایی و هدایت گرمایی می‌باشد. کارایی و مقاومت فشاری بتن با تغییر ویژگی‌های مخلوط‌های متفاوت شدیداً تحت تاثیر قرار می‌گیرد. تغییر در طراحی مخلوط می‌تواند باعث تغییر در تبعات محیطی و ویژگی‌هایش گردد. این نتایج LCI همراه با ویژگی‌های مخلوط بتنی بر اساس جرم اجزاء بتن، مخلوط و حمل و نقل می‌توانند با یکدیگر جمع شوند، تا یک LCA سیستماتیک بسازد. هیچ یک از مطالعات، سیستماتیک ایجاد نشده‌اند و یک رویکرد وسیع برای آنالیز چرخه عمر گستره وسیعی از مخلوط‌های بتنی که ویژگی‌های سازه‌ای، دوام و سایر ویژگی‌های مخلوط را در نظر بگیرد، ندارند. در حالت کلی، نتایج LCI سازندگان بتن به شکل مقادیر تکی برای یک نوع عمومی از مخلوط بتن می‌باشد یا اینکه به شکل گستره‌ای از مقادیر است که مقدار آن‌ها با تغییر در جرم هر یک از اجزای بتن، با ثابت در نظر گرفتن مقاومت، دوام، و کارایی تغییر می‌کند. دسته دوم از مطالعات دارای فرمولاسیون متفاوتی هستند تا تاثیر خاکستر، GBFS، متاکائولین و سایر جایگزین‌های سیمانی در کاهش تبعات بتنی بررسی گردد. اما اطلاعات هنوز هم محدود به مخلوط بتنی طراحی شده می‌باشد که به دلیل فقدان وجود یک دستورالعمل سیستماتیک نمی‌توان LCI‌های آماده شده را برای هر نوع از مخلوط‌های بتنی به کار برد. می‌توان LCA های مربوط به انواع مختلف مخلوط‌های بتنی را با یکدیگر جمع کرد تا تبعات مستقیم و وابسته مربوط به مراحل مختلف تولید بتن و مصالح آن تعیین

گردد. یکپارچگی تغییرات ناحیه ای و تکنولوژی در طرح تولید مصالح در یک LCA می تواند گستره ی وسیعی از کاربرد و انعطاف پذیری را برای سازندگان سیمان و بتن ایجاد کند.[1,6]

6.3. محصولات افزودنی به بتن

به جز برای سه LCA بتنی، افزودنی ها به ندرت در مقالات وارد می شوند، زیرا محصولات افزودنی، حمل و نقل و یا اختلاط آنها با سایر محصولات بتنی بدون و یا دارای مقادیر کم تبعات محیطی هستند و بعد از بتن سخت می شوند. در حالت کلی به دلیل مقدار کم افزودنی ها در بتن (کمتر از 1٪ جرم بتن)، بنابر پیشنهادات راهنمای LCA از تبعات آنها در مطالعات گوناگون صرفنظر شده است. بدون وجود یک تخمین دقیق، آثار آن ها نمی تواند قابل صرفنظر کردن باشد. استفاده از افزودنی های شیمیایی باعث ایجاد نگرانی از جنبه سمی بودن آنها می شود. از میان افزودنی های متفاوت بتن، روان کننده ها و فوق روان کننده ها بیشترین استفاده را دارند، به طوریکه 80٪ در اروپا و 70٪ در آمریکا مورد استفاده قرار می گیرند. نتایج نشان می دهد برای 1 مترمکعب بتن با مقاومت فشاری MP35 (با جرم حجمی 2370Kg/m^3) نیاز به 3.24 کیلوگرم روان کننده دارد. تولیدکنندگان می توانند منبع خوبی از اطلاعات باشند، اما داده های آن ها معمولا محرمانه بوده و تمایلی به انتشار آن ها ندارند. به عنوان بخشی از تحقیقات آینده، LCA گسترده ای از افزودنی های شیمیایی برای داشتن یک تخمین کامل از بتن لازم و ضروری است.[1,6]

7. نمایش LCI در LCA های محصولات بتنی

تبعات همراه شده با بتن پخته شده بیشتر به الکتریسیته و سوخت های دیزلی استفاده شده در جریان پخت می باشد. مصرف انرژی در بتن های مخلوط آماده به حدود 4٪ انرژی جسمی بتن می رسد. در کارخانه بتن، سوخت و الکتریسیته، برای اختلاط، انتقال، پمپاژ اجزای بتن و مخلوط و گرم و سرد کردن تجهیزات مورد نیاز است. انرژی اولیه مورد استفاده در کارخانجات بتن بستگی به مخلوط سوخت مورد استفاده در تولید الکتریسیته دارد. تمامی LCA های تولید بتن در این مرور از مقدارهای متوسط برای جرم و جریان انرژی استفاده شده است. LCA های بتن سبز و ژئوپلیمر بر روی آلودگی های GHG به عنوان افزودنی جدید بتن تمرکز می کند. O'Brien و همکاران برای برآورد آلودگی GHG و آب در بتن دارای خاکستر، معادله ای را پیشنهاد داده اند. آنها همچنین فاصله انتقال بحرانی را برای خاکستر محاسبه کردند که با افزایش استفاده از خاکستر آلودگی های GHG ناشی از بتن افزایش می یابد. Flower و Sanjayan بر روی معادل CO₂ همراه شده با تولید بتن متمرکز شده اند که شامل سیمان پرتلند، GBFS، خاکستر و آلاینده ها در استرالیا می شود. در میان آلاینده های بحرانی و GHG، VOC در طول و یا اندکی بعد از روند ساخت بتن پراکنده می شود و نیاز به توجه بیشتری دارد، به خصوص برای بتن های با افزودنی های شیمیایی. در تعداد کمی از LCA ها VOC در نظر گرفته شده است. همچنین حضور فلزات سنگین و آلاینده های سمی نیز به ندرت در LCA ها در نظر گرفته شده است. سه عدد از دوازده مطالعه فلزات سنگین، دیوکسین و فوران و سایر مواد سرطان زا در پروسه تولید بتن در نظر گرفته اند. در طول این سه تحقیق، Prusinski و همکارانش داده های مربوط به آلاینده ها را برای تولید و انتقال بتن سیمانی در نظر گرفته اند. به طور مشابه، Chen و همکارانش پیشنهاد داده اند که آلودگی های سمی همراه با تولید GBFS و خاکستر در تولید آهن و الکتریسیته که منجر به تولید محصول مورد نظر همچون SCM ها می شود باید در نظر گرفته شوند. Kuhlman و Paschmann آلودگی های سمی ساده را که در جریان مراحل چرخه عمر تولید بتن و

مراحل پایان عمر ایجاد می شوند را مورد بررسی قرار داده است. Marceau آلودگی های سمی را برای مخلوط بتنی سنتی در ایالات متحده مورد بررسی قرار داده است.

زباله خشک ایجاد شده در تولید بتن تنها در سه مطالعه LCA گزارش شده است. زباله های خشک در طول تولید سیمان و بیشتر به شکل گرد کوره سیمان CKD و در طول تولید سنگدانه ها و SCM ها و پخت بتن ایجاد می شوند. زباله خشک ناشی از بتن شامل شستشو مخلوط کننده، لجن های ناشی از رسوب حوضچه ها می باشد. در مورد میزان زباله ها جامد و اجزای آن اطلاعاتی در دسترس نیست و اینکه می تواند با تغییر در مخلوط بتن و اجزای آن تغییر کند. در بیشتر LCA های بتن، تبعات محیطی ناشی از روغن ها عموماً در نظر گرفته نشده است. بر طبق یک مطالعه، که بر روی یک بتن آبکی با شستشوی مخلوط ها، هیدروکربن ها حاصل شده اند. این موقعیت ها می توانند خطر نشت هیدروکربن ها را به آب های زیرزمینی افزایش می دهند. منبع اصلی هیدروکربن ها در بتن، روغن ها می باشد. در حدود 180 میلی لیتر از روغن/مترمکعب در بتن استفاده می شود. تولید سالیانه بتن در حدود 25 گیگاتن تخمین زده می شود که برای بتن با وزن مخصوص 2370Kg/m^3 به معنای استفاده از 1.9 گیگالتر مصرف سالیانه روغن می باشد که می تواند تبعات مهمی را بر روی محیط زیست داشته باشد. اطلاعات بیشتر در مورد ترکیب های شیمیایی این روغن ها برای ایجاد یک تخمین درست از اثرات چرخه عمر بتن ضروری می باشد.

مواد شیمیایی استفاده شده در مواد افزودنی بتن می تواند به عنوان یک نگرانی باشد، هنگامیکه خصوصیات سمی آن ها در نظر گرفته می شود. هنگامی که برای بتن آماده استفاده می شود، نگرانی اصلی در مورد زباله های جامد حاصل از شست و شوی کامیون میکسر ها می باشد. اما این مسئله معمولاً در LCI های بتنی در نظر گرفته نمی شوند. افزودنی ها در مقیاس زیاد معمولاً در چهل سال پیش مورد استفاده قرار گرفته اند. بنابراین می توانیم فرض کنیم بتن خراب شده عاری از هرگونه افزودنی است. برای بررسی تبعات نشت افزودنی ها در بتن، می توان آزمایشاتی را با دانستن مقدار افزودنی ها انجام داد. تنها یک تحقیق انجام شده توسط Kuhlman مشخصاً بر روی نشت از بتن در طول کل مراحل چرخه عمر از استخراج مواد تا بازیافت تمرکز دارد. در طول تولید بتن آماده نشت به محیط از نگرانی های اصلی می باشد. سرچشمه این نگرانی قلیایی گشتن است که شامل فلزات سنگین می شود و همچنین اجزای ارگانیکی در افزودنی ها که در بتن یافت می شود. تحقیق Kuhlman نشان داد که بجز برای Cr نشت بقیه فلزات سنگین در اثر قابلیت انحلال پایین آنها در محیط قلیایی حاصل از بتن آماده به نظر نمی رسد. تحقیقی مشابه نیز نشان داد که نشت آلاینده های محیطی مهمی در پایان عمر بتن خرد شده انتظار نمی رود.

در LCA های بتن، مصرف آب و تبعات آن در طول تولید سیمان و بتن، به دلیل فقدان داده های LCI معمولاً در نظر گرفته نمی شوند. هنگامی که پمپاژ آب به بتن مورد نیاز باشد، از الکتریسیته استفاده می شود. تبعات ناشی از بازگیری آب نیاز به تحلیل های علمی دارد. نیاز به الکتریسیته در مصرف آب شامل پروسه های تامین کردن، تاثیر موادهای شیمیایی و فرایند های توزیع می شود. در میان منابع اصلی LCI ها که چرخه عمر را تحلیل می کند، تخمین آب مورد تقاضا باعث محاسبه GWP برای مواد شیمیایی مورد استفاده در آب می شود که در این صورت تبعات ناشی از آب سوخت ها تعیین می گردد.

در کل، داده های زباله های جامد و مایع در پخت بتن و داده های مصرف آب و تولید سیمان موارد اصلی برای ایجاد داده های LCI هستند. در مقاله، قابل دسترس بودن داده ها و کیفیت آنها به عنوان یک مشکل اصلی در جمع آوری لیست مربوط به آنالیز ها بود. در بیشتر LCA ها از داده های غیرموجود صرفنظر شد و یا تخمین زده شدند، که منجر به یک ارزیابی ناقص شده. پرکردن این شکاف ممکن است نیاز به همکاری نزدیکتر بین صنعت و علم داشته باشد. برای رسیدن به یک فهرست کامل از داده های بتن و پروسه تولید آن به این موارد نیاز می باشد. [1,7]

8. مقایسه ای بین بتن متعارف با بتن بازیافتی (RCA)

بتن تخریب شده می تواند بازیافت شود، هرچند که نمی تواند به شکل اصلی و مواد تشکیل دهنده ی اولش برگردد. بتن به قطعاتی تقسیم و خرد می شود که توده قطعات بتنی بازیافت شده (RCA) برای استفاده در کاربردهای جدید نام دارند. در حال حاضر، RCA در کاربردهای نامحدود برای پی جاده، پشت بندی ها و غیره، پرکاربردترین است. اما تحت شرایط خاص نیز می تواند به عنوان جایگزین کلی یا جزئی قطعات بتنی درشت در سازه های جدید بتنی مورد استفاده قرار گیرد.

بازگردانی بتن های تخریب شده به قطعات، متمایل به تامین منافع زیست محیطی، با حفظ و نگه داری منابع طبیعی و کاهش ضایعات؛ یعنی حفظ فضای محل دفن زباله ها. همچنین در اینجا پتانسیلی برای کاهش حمل و نقل بار وجود دارد، زیرا بتن اغلب در سایتهای تخریب یا نزدیک به مناطق شهری که مجددا مورد استفاده قرار خواهد گرفت، می تواند بازیافت شود. از سوی دیگر، خود فرایند بازیافت و آسیب بالای احتمالی سیمان در سازه های بتنی ساخته شده از RCA، موجب آسیب های زیست محیطی جدید می شود. یک ارزیابی زیست محیطی از یک چرخه ی زیستی کامل برای پاسخ به این سوال، مورد نیاز است: آیا بازگردانی، حقیقتاً می تواند صدمات زیست محیطی بتن را کاهش دهد؟ یک مطالعه ی موردی بر روی ارزیابی زیست محیطی از چهار نوع بتن با ماهیت متفاوت و مصالح بتنی بازیافتی، با استفاده از روش LCA انجام شد. نتایج این مطالعه ویژه، همراه با نتایج سایر محققان، نشان داده که سهم فاز تولید مصالح به کل اثرات بتن، نسبتاً کم است، در بیشترین حالت تقریباً 5 درصد وابسته به نوع اثر. گرچه تولید مصالح بتنی بازیافتی، انرژی زیادی نسبت به تولید مصالح طبیعی مصرف می کند، بر روی نتیجه تاثیر چشم گیری ندارد. تاثیرات زیست محیطی از بتن بازیافتی RAC و بتن طبیعی NAC (با مصالح ماسه ای) تحت شرایط زیر، بسیار مشابه هم است:

- افزایش مقدار سیمان در مصالح بتنی بازیافتی در مقایسه با مصالح بتنی طبیعی کم است، بیش از چند درصد در مقدار زیاد؛ این احتمال در RAC با 100 درصد جایگزینی مصالح درشت، البته در صورتی که RAC کیفیت خوبی داشته باشد؛ و خصوصاً در RAC با 50 درصد جایگزینی مصالح درشت، وجود دارد.
- فاصله ی حمل RCA کمتر از فاصله ی حمل NA است، برای مثال در این مطالعه، نسبت فاصله ی حمل و نقل RCA به NA، 15 به 100 کیلومتر در نظر گرفته شده بود، به این معنی که کارخانه ی بازیافت باید بسیار نزدیک به کارخانه ی بتن، نسبت به محل استخراج NA مکانیابی شود، البته در صورتی که تاثیرات زیست محیطی مشابهی، مورد انتظار باشد.

اهمیت مقدار سیمان و فاصله ی حمل و نقل و نوع، به خوبی همراه با مثالی از بتن با مصالح طبیعی در این مطالعه، مشاهده شد. این نوع بتن بیشترین تاثیر را به دلیل افزایش مقدار بتن و مسافت حمل و نقل فرضی، در مصرف انرژی دارد. تاثیر حالت یا فاز حمل و نقل بررسی شده و محدوده مسافت حمل و نقل مصالح ماسه ای برای شاخص های دسته بندی مختلف، محاسبه گردیده.

با این وجود، استفاده از RAC باعث مزایای زیست محیطی، از طریق نگه داری منابع طبیعی و محل دفن بهداشتی زباله، می گردد. این مزایا را نمی توان با شاخص های دسته بندی خاصی بیان کرد، زیرا بیشتر روش های پیشنهاد شده، دربرگیرنده ی ظرفیت دفن / تولید ضایعات جامد به عنوان یک نوع از آسیب نیست، یا شن و ماسه و سنگ را به عنوان منابع غیرزنده در نظر گرفته که می توانند تهی شوند.

مزیت دیگری که میتواند از بازیافت حاصل شود، جذب مجدد CO₂ از بتن، در طول حیات ثانویه ی سازه است. نتایج تحقیق منتشر شده نشان می دهد که جذب CO₂ در این حالت می تواند، وابسته به استفاده ی بعدی از ساختار بتن، چشم گیر باشد. [8]

9. مقایسه ای بین سازه بتنی با سازه فلزی

سوالی که برای اکثر کارفرمایان به وجود می آید این است که کدام سیستم باربر را برای سازه خود انتخاب و اجرا نمایند. شاید استمرار این ابهام به این دلیل باشد که اصولاً انتخاب نوع سازه تابعی است از مسائل اقتصادی، اقلیمی، فنی، اجرایی و دلایل دیگر و به عبارتی هیچکدام از این نوع سازه ها برتری مطلقى نسبت به یکدیگر نداشته باشند، بلکه در هر شرایطی هر کدام به یک برتری نسبی بر دیگری دست یابند. در اینجا سعی می کنیم تفاوت این دو سیستم را به طور مختصر در چند حوزه بررسی و به صورت ساده بیان کنیم.

مقاومت در برابر زلزله: معمولاً این باور غلط وجود دارد که ساختمان اسکلت فلزی در برابر زلزله مقاوم تر است و یا برعکس. این ایده اصولاً اشتباه است بدین صورت که هم سیستم بتنی و هم سیستم فلزی را می توان برای مقاومت های مختلف طراحی نمود که هر دو نیز به صورت مورد نظر در زلزله عمل کنند. در حقیقت عامل مهم طراحی صحیح سازه و به گفته Dr.U.E. Dorka مهندس معروف ساختمان، عملکرد کارگران و تکنسین های ساختمانی در زمان ساخت سازه می باشد. البته لازم به ذکر است که سیستم های اسکلت بتنی به دلیل افزایش وزن سازه، در زلزله، نیروی بیشتری را متحمل می شوند.

طول عمر: این واقعیت وجود دارد که سازه های بتنی دارای عمر طراحی هستند بدین مفهوم که یک سازه بتنی برای عمری معین طراحی می شود گرچه این عمر 50 یا 60 سال باشد. بتن با گذشت عمر دچار افت و خزش می شود که نهایتاً باعث تاثیر منفی در عملکرد سازه هنگام وقوع زلزله می شود. اما در سازه فلزی مشکل افت مقاومت با افزایش عمر وجود ندارد که این یک مزیت برای اسکلت فلزی محسوب می شود.

ارزش اسقاط: معمولاً در ساخت و سازهای رایج در کشور به مسئله اسقاط سازه کمتر توجه می شود بدین مفهوم که در زمان تخریب سازه ساختمان های فلزی دارای ارزش اسقاط به مراتب بالاتر و هزینه تخریب کمتر می باشند. که این نیز می تواند یک مزیت برای اسکلت فلزی محسوب شود.

مقاومت در برابر آتش سوزی: مقاومت فولاد در آتش سوزی پائین می باشد بدین صورت که با گرم شدن مقاومت خود را از دست می دهد در صورتی که اسکلت بتنی مقاومت به مراتب بیشتری در برابر آتش از خود نشان می دهد. البته لازم به ذکر است با ایجاد تمهیداتی در سازه فلزی که بعضاً هزینه بر نیز می باشند می توان مقاومت آن در برابر آتش را افزایش داد. بنابراین مقاومت بیشتر اسکلت بتنی در آتش سوزی به عنوان یک مزیت قلمداد می گردد. سهولت در اجرا: مطلب مهم در انتخاب سیستم سازه باربر فلزی و یا بتنی امکانات اجرای سازه در زمان ساخت است. اسکلت فلزی به علت حساسیت در عملیات برش کاری، جوش کاری و حمل و نصب، تخصص و دقت بیشتری را نسبت به اجرای اسکلت بتنی می طلبد. بنابراین باید پذیرفت که اجرای سازه بتنی نسبت به سازه فلزی نیاز به تخصص و مهارت و نظارت و کنترل کمتری دارد و با توجه به وضع موجود کشور ما این یک مزیت برای سازه بتنی محسوب می شود.

هزینه ساخت: فولاد استفاده شده در ساخت یک سازه فولادی دارای یک مقاومت مشخص در صورت طراحی صحیح، نسبت به مقدار فولاد استفاده شده در سازه بتنی دارای همان مقدار مقاومت، معمولاً در حدود 30 درصد بیشتر می

باشد. از این رو هزینه اجرای اسکلت فلزی بالاتر می باشد. بنابراین کافرمانی که به دنبال کاهش هزینه در ساخت هستند اسکلت بتنی گزینه مناسب تری می باشد.

زمان اجرا: سازه های فلزی به دلیل اجرای همزمان طبقات از سرعت پیشرفت بیشتری نسبت به سازه های بتنی برخوردار می باشند. همچنین در صورت ساخت اسکلت فلزی در کارخانه مدت زمان اجرا به صورت بیشتری نیز کاهش می یابد. اما در اسکلت بتنی با توجه به اجرای هر طبقه بعد از طبقه زیرین و همچنین رعایت زمان گیرش اولیه بتن سرعت پیشرفت به مراتب کمتر می باشد. همچنین سرعت بالا در اجرای سازه فلزی باعث کاهش هزینه های بالاسری و زمان بهره برداری پروژه می گردد که باعث جبران بخشی از هزینه گرانتر ساخت می باشد. تامین هزینه ساخت: برای آن دسته از کارفرمایانی که مایلند هزینه پروژه را به صورت خرد تر و با توجه به پیشرفت پروژه پرداخت کنند اسکلت بتنی گزینه مناسب تری خواهد بود. اما با توجه به اینکه عمده هزینه اجرای سازه فلزی هزینه خرید آهن خام مورد نیاز است مقدار بیشتری نقدینگی باید در شروع پروژه هزینه گردد. همچنین با توجه به این که در کشور ما پرداخت وام مسکن پس از تکمیل سقف طبقات پرداخت می گردد در سازه های بتنی می توان پس از اتمام هر سقف نسبت به دریافت وام اقدام و به پروژه تزریق نمود که این یک مزیت برای اسکلت بتنی محسوب می گردد. [9]

10. نتیجه گیری

در این مقاله تلاش بر این بود که بار زیست محیطی بتن (سازه های بتنی) از اولین مراحل پیش تولید تا تخریب و حتی بازیافت آن هر چند مجمل مورد بررسی قرار گیرد. دوام بتن یک مسئله مهم بوده و با توجه به اینکه متوسط عمر بتن تولید شده در ایران 10 سال و 90 سال کمتر از استانداردهای جهانی بوده همین امر باعث گردیده تا عمر ساختمان در این کشورها 100 سال و در ایران کمتر از 30 سال باشد و سرانه تولید بتن در ایران 3 برابر سرانه جهان است. همچنین مصرف سرانه سیمان (پرتلند) در کشور بسیار بالا بوده بطوریکه این مصرف 50 درصد بیشتر از سرانه جهانی و استاندارد است. [10]

ارزیابی چرخه عمر محیطی ابزارهای ارزشمند برای ارزیابی تبعات محیطی سازه می باشد. در نظر گرفتن مرحله عملکرد سازه در چرخه عمر بسیار مهم می باشد، زیرا تبعات مرحله عملکرد تبعات ناشی از مراحل استخراج مواد، تولید، ساخت و انتهای چرخه عمر را کم جلوه می دهد. LCA یک رویکرد علمی برای ارزیابی شایستگی گزینه های طراحی ایجاد می کند.

LCA بتنی و مواد خام آن، هنوز هم تحقیقاتی محدود به ناحیه هستند. تبعات محیطی مصالحی غیر از سیمان پرتلند، مانند افزودنی ها و مصرف آب، به ندرت در LCI های محصولات بتنی انتشار می یابد. تولید کنندگان می توانند منبع مناسبی از اطاعات LCA باشند اما داده های آنها به دلایلی معمولاً محرمانه بوده و تمایلی به انتشار آنها ندارند. بررسی های بیشتری برای آلودگی های سمی وارده به هوا علاوه بر آلودگی های بحرانی GHG نیاز است. مشابه LCI های محصولات سیمانی LCI های تولید بتن با تغییر در شرایط تکنولوژی و ژئوگرافیکی تغییر می کند. یک تخمین کامل و دقیق از LCA بتن و سیمان لازم و ضروری است اما متأسفانه در LCA آنها سه محدودیت مشاهده می گردد:

- 1) عدم تخمین همه جانبه تبعات محیطی در LCA های حاضر
- 2) عدم کاربرد تغییرات ناحیه ای و تکنولوژی در LCA های حاضر
- 3) چشم پوشی از بعضی از بخش های LCA که غیر مهم تلقی شده و بر اساس فرضیات و مطالعات پیشین تعیین می گردند



تحقیقات LCA بتن و سایر محصولات ساختمانی، با ایجاد تقاضا برای محصولات و سیستم‌های سبزتر طولانی‌تر می‌شود. با شروع تولید سیمان، مصرف انرژی، آلودگی‌های GHG و آلودگی‌های بحرانی هوا به خوبی پوشش داده شد، اما هنوز نیاز به بررسی اثرات آلودگی‌های سمی، انتشار آب، زباله خشک (مانند گرد کوره سیمان) و مصرف آب وجود دارد. نامعلوم بودن مصرف آب در تمامی فازهای چرخه عمر مصالح وجود دارد که منجر به فقدان داده‌های مربوط به مصرف می‌شود که همین امر برای کشورهای مانند ایران که دارای کمبود آب هستند مشکل‌ساز خواهد بود. همچنین استفاده از بتن نوع RAC بیشترین تاثیر را در بالا رفتن مصرف انرژی به دلیل افزایش مقدار بتن و مسافت حمل و نقل فرضی، دارد. اما با این وجود، پس از پایان عمر بتن و تخریب ساختمان‌های بتنی استفاده از RAC باعث مزایای زیست‌محیطی، از طریق نگه‌داری منابع طبیعی و محل دفن بهداشتی زباله، می‌گردد. مزیت دیگری که میتواند از بازیافت حاصل شود، جذب مجدد CO₂ از بتن، در طول حیات ثانویه‌ی سازه است. در نهایت با توجه به محدودیت‌ها و نقص تحقیقات LCA حال حاضر، هزینه‌های بالای تحقیقات، ناشناخته بودن آسیب‌های زیست‌محیطی حاصل از فرآیند بازیافت بتن RCA و عدم برتری سازه بتنی نسبت به سازه فلزی، باید ابتدا کیفیت بتن‌های تولید شده در ایران که باعث بهبود طول عمر سازه‌های بتنی می‌شود به استاندارد جهانی نزدیک کرد همچنین از تخریب بی‌رویه‌ی ساختمان‌ها که موجب نابودی سرمایه‌انرژی و محیط زیست می‌شود پرهیز کرد و در درازمدت از میزان تولید بتن با جایگزین کردن سیستم سازه‌های فلزی کاسته شود.

مراجع

- [1] Gursel P, Masanet E. Life-cycle inventory analysis of concrete production: A critical review. *Journal of Cement & Concrete Composite*, ASCE; 121(10): 1497-1506, 2014.
- [2] Lionel L. Life Cycle Assessment of Concrete Buildings. NATIONAL READY MIXED CONCRETE ASSOCIATION, 2011.
- [3] Bilec M, Ries R, Matthews HS, Sharrard AL. Example of a hybrid life-cycle assessment of construction processes. *J Infrastructure Syst* 2006;12:207-15.
- [4] Vieira PS, Horvath A. Assessing the end-of-life impacts of buildings. *Environ Sci Technol* 2008;42:4663-9.
- [5] DOE, Buildings Energy Data Book. Chapter:1 Buildings Sector. 1.1 Buildings Sector Energy Consumption. 1.1.1 U.S. Residential and Commercial Buildings Total Primary Energy Consumption. In: U.S. Department of Energy [DOE] – Energy Efficiency and Renewable Energy; 2011.
- [6] Lippiatt BC. BEES 4.0 – Building for environmental and economic sustainability technical manual and user guide. Gaithersburg MD: National Institute of Standards and Technology, U.S. Department Of Commerce. Building and Fire Research Laboratory; 2007.
- [7] Flower D, Sanjayan JG. Green house gas emissions due to concrete manufacture. *Int J Life Cycle Assess* 2007;12:282-8.
- [8] Marinkovic S.B. , Malesev M. Life cycle assessment (LCA) of concrete made using recycled concrete or natural aggregates. University of Belgrade , Republic of Serbia, DOI : 10.1533/9780857097729.2.239, 2014.
- [9] Saranj Sooleh Iran Company(Factory Building-Constructing Factory Building). Available at: http://www.saranjsooleh.com/index.php?option=com_content&view=article&id=51 (Accessed 10 September 2015).
- [10] Housing and Urban Development Research Centre. Available at: <http://www.bhrc.ac.ir/tabid/55/Default.aspx> (Accessed 12 September 2015).