مروری بر مطالعات ارزیابی چرخه حیات سیمان در ایران

فرناز طباطبایی

دانشجوی کارشناسی ارشد محیط زیست دانشگاه تهران

چکیده

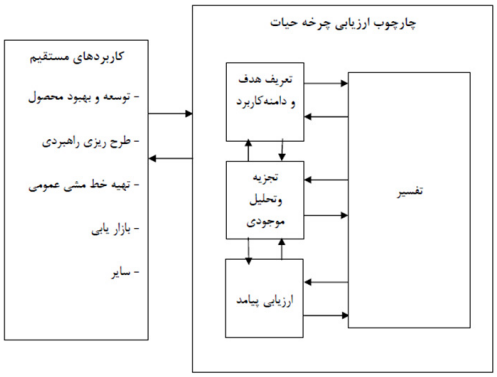
صنعت سیمان یکی از مصرف کنندگان مهم انرژی در بخش صنعت می‌باشد. به طوری که برای تولید هرتن سیمان ۴ گیگا ژول انرژی مصرف می‌شود. باتوجه به تولید و مصرف سیمان، این صنعت هم از طریق فرایند تولید و هم مصرف انرژی (حرارتی و الکتریکی) سبب آلودگی هوا می‌شود، اما امروزه نگرانی از تأثیر انتشار دی اکسید کربن انسان ساخت بر پدیده گرمایش جهانی افزایش یافته است. از این رو که صنعت سیمان بزرگترین منتشرکننده دی‌اکسیدکربن در بخش صنعت می‌باشد، لذا مطالعه برای کاهش اثرات زیست محیطی سیمان، دارای اهمیت به سزایی است. این مقاله مروری بر تحقیقات انجام شده در زمینه ارزیابی چرخه حیات سیمان داشته است. به طور کلی نتایج این مرور نشان می‌دهد که یکی از روش‌های کاهش اثرات زیست محیطی، ارزیابی چرخه حیات سیمان است و طبق نتایج حاصل بهبود سیمان‌های مخلوط، پتانسیل بیشتری در کاهش گرمایش جهانی نسبت به سیمان پرتلند معمولی داشته است و با کاهش تقاضای تولید کلینکر (از طریق جایگزینی)، در مقابل، اثرات زیست محیطی محصول نهایی سیمان نیز کاهش می‌یابد.

کلمات کلیدی: ارزیابی چرخه حیات، سیمان،کربن دی اکسید.

مقدمه

محیط‌زیست در اواسط دهه هشتاد به عنوان یک اولویت در نظر گرفته شده که باعث بحث در مورد سطح تخریب محیط‌زیست در فرآیند تولید برخی محصولات شده است. در نتیجه، چندین روش برای اندازه‌گیری اثرات زیست‌محیطی پیشنهاد شد. انجمن شیمی و شیمی محیط‌زیست (SETAC) نهاد اصلی مسئول توسعه این تکنیک‌ها است. از آن زمان، اصطلاحات «تحلیل چرخه حیات» و «ارزیابی چرخه حیات»[1] به طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Muller, 2010). دلیل ترجیح دادن ارزیابی چرخه حیات به دیگر اشکال سیستم‌ها و تکنیک‌های مدیریت زیست‌محیطی این واقعیت است که ارزیابی چرخه حیات اثرات زیست‌محیطی را از تمام منابع ممکن در تمام مراحل تولید، یعنی از استخراج مواد خام، تولید، عمر خدمات و تخریب در نظر می‌گیرد.

ارزیابی چرخه حیات یا ارزیابی چرخه عمر بسته به هدف و دامنه کاربرد مطالعه، به چهار دسته تقسیم می‌شود که عبارت است از ارزیابی چرخه حیات گهواره تا گور[2]، گهواره تا دروازه[3]، دروازه تا دروازه[4] و گهواره تا گهواره[5] تفاوت این ارزیابی‌ها در انتخاب مرز سیستم اختیار شده در آن‌ها می‌باشد. «گهواره تا گور» به این معناست که تمام گام‌های مهم در چرخه حیات یک محصول در تحلیل گنجانده شود؛ مشخصاً استخراج مواد خام از محیط (خاک، آب، هوا)، تولید مواد و محصولات نهایی، استفاده و دورریزی پسماند آن‌ها. همچنین تمام حمل‌ونقل‌هایی که در بین این گام‌ها رخ می‌دهد هم به حساب می‌آیند. تفاوت رویکرد «گهواره تا دروازه» با «گهواره تا گور» در این است که ارزیابی چرخه حیات «گهواره تا دروازه» شامل بخش استفاده و دور ریزی پسماند نمی‌شود بلکه به ارزیابی چرخه حیات از استخراج مواد خام از محیط تا تولید محصول در دم دروازه کارخانه جهت عرضه به بازار را بررسی می‌کند. به همین شکل رویکرد «دروازه تا دروازه» به ارزیابی چرخه حیات از مواد ورودی به دروازه کارخانه تا محصول خروجی از دروازه کارخانه اشاره دارد و به دنبال ارزیابی مواد از مبدا استخراجی و همچنین بخش استفاده از محصول و پسماند نمی‌پردازد. اما رویکرد «گهواره تا گهواره» نوع خاصی از دسته «گهواره تا گور» است که بخش نهایی آن به جای پسماند و دور ریزی محصول، بخش استفاده مجدد و بازیابی پسماند است به طوری که می‌توان از پسماند دوباره به عنوان مواد اولیه استفاده کرد (مشیرنیا، ۱۳۹۴).



شکل ۱ مراحل LCA[6]

کاربردهای ارزیابی چرخه حیات:

کاربردهای اصلی ارزیابی چرخه حیات (LCA) شامل تجزیه و تحلیل منشأ مشکلات مرتبط با یک محصول خاص، مقایسه پیشرفت متغیرهای یک محصول، طراحی محصولات جدید و انتخاب بین چند محصول قابل مقایسه است (Feiz, Roozbe-h,et al,2015).

فواید ارزیابی چرخه حیات:

فرآیند ارزیابی چرخه حیات می‌تواند به تصمیم‌گیران در انتخاب محصول یا فرآیند با کمترین اثرات زیست محیطی کمک کند. (Feiz, Roozbeh,et al,2015). داده‌های ارزیابی چرخه حیات، انتقال اثرات زیست محیطی را از یک محیط به محیط دیگر و از یک مرحله چرخه حیات به مرحله دیگر مشخص می‌کند. همچنین منجر به جلوگیری از انتقال مشکلات زیست محیطی از مرحله‌ای به مرحله دیگر می‌شود.

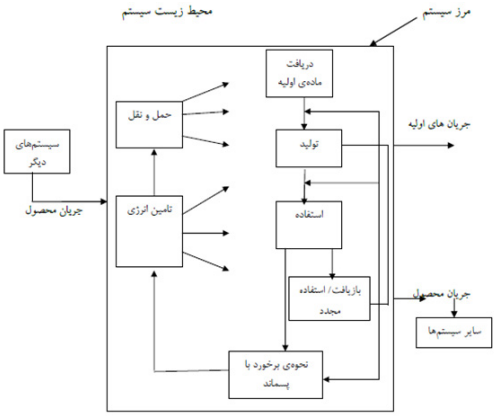
---

1 LCA
2 Cradle to grave
3 Cradle to gate
4 Haptophytes
5 Gate to gate
۶ مشیرنیا، ۱۳۹۴

به طور کلی با انجام ارزیابی چرخه حیات، تحلیلگران می‌توانند:
– ارزیابی سیستماتیک نتایج زیست محیطی همراه با محصول را توسعه دهند.
– اثرات زیست محیطی همراه با یک یا چند محصول یا فرآیند را مورد بررسی قرار دهند.
– به دریافت پذیرش افراد ذینفع (جامعه و غیره) برای یک برنامه طرح ریزی شده کمک کنند.
– انتشار به هوا، آب و زمین را در هر مرحله از چرخه حیات، کمک کنند.
– به شناخت جابجایی اثرات زیست محیطی در مراحل چرخه حیات و محیط زیست پذیرنده کمک کنند.
– اثرات انسانی و اکولوژیکی مصرف مواد و انتشار به محیط زیست را در جوامع محلی، منطقه‌ای و جهانی ارزیابی کنند.
– اثرات انسانی و اکولوژیکی بین دو یا چند محصول یا فرآیند را شناسایی و مقایسه کنند.
– اثرات مربوط به یک یا چند محیط تحت اثر را شناسایی کنند.
اجرای ارزیابی چرخه حیات، باید به دقت مطابق با هدف نهایی باشد که در این راستا لازم است صاحب ارزیابی چرخه حیات و سایر افراد ذینفع نیز بر هدف نهایی تمرکز داشته باشند. در ضمن، محققان ارزیابی چرخه حیات نیز باید هدف را در ذهن خود داشته باشند، با توجه به اینکه چگونه این هدف شرایط پروژه را تحت تاثیر قرار خواهد داد. همچنین، صاحب ارزیابی چرخه حیات باید به طرح، سازماندهی و مدیریت فرآیند توجه کند (مشیرنیا، ۱۳۹۴).
طبق استانداردهای ایزو ۱۴۰۴۰ و ایزو ۱۴۰۴۴، ارزیابی چرخه حیات در چهار مرحله انجام می‌شود.
صنعت سیمان بخش بزرگی از اشتغال و تولید را در جهان شامل می‌شود. بتن بعد از آب آشامیدنی دومین محصول پرمصرف در جهان است و سیمان جز اصلی تشکیل دهنده بتن هست و برای دستیابی به اهداف توسعه پایدار از مواد مصرفی بسیار با اهمیت می‌باشد. تقاضای سیمان عمدتا از کشورهای در حال توسعه مانند هند و چین، ناشی از شهرنشینی و رشد جمعیت آن‌ها است. این ماده برای ساخت مسکن، جاده‌ها، فرودگاه‌ها و سایر زیرساخت‌های مورد نیاز برای توسعه اقتصادی، کلیدی است. همچنین برای ساخت سدها، تاسیسات، بیمارستان‌ها و مدارس مورد استفاده قرار می‌گیرد که همگی به سلامت، آموزش و رفاه جامعه کمک می‌کنند.
سیمان یکی از مصرف‌کنندگان مهم انرژی در بخش صنعت می‌باشد. به طوری که برای تولید هر تن سیمان ۴ گیگا ژول انرژی مصرف می‌شود، البته این میزان در برخی از کشورهای جهان پایین‌تر از ۲ گیگاژول می‌باشد. بهره‌برداری نامناسب از تجهیزات مصرف‌کننده انرژی الکتریکی و فسیلی در صنعت سیمان، عدم توجه و دقت کافی به استفاده بهینه از انرژی در این صنعت، باعث افزایش مصرف انرژی به ویژه انرژی الکتریکی و حرارتی در فرایند تولید سیمان کشور شده است. به طوری که شدت مصرف انرژی این صنعت در کشور ۱۶ درصد بالاتر از استاندارد جهانی مربوط به آن است. با بررسی عملکرد جهانی مصرف انرژی در صنعت سیمان، این نکته به راحتی قابل استنباط است که کارخانه‌های تولید سیمان درکشور توان ذخیره سازی درصد خوبی از انرژی حرارتی و درصد نسبتا بالایی از انرژی الکتریکی مصرفی خود را دارا می‌باشند. هرچند طی سال‌های اخیر شاهد بهبود نسبی شاخص شدت انرژی در تولید سیمان بوده‌ایم؛ اما با توجه به متوسط جهانی، باز هم پتانسیل کاهش شدت مصرف انرژی در صنعت سیمان کشور وجود دارد (تیکا و همکاران، ۱۳۹۳).
صنعت سیمان هم از طریق فرایند تولید سیمان و هم مصرف انرژی (حرارتی و الکتریکی) سبب آلودگی هوا می‌شود. به ازای تولید هر تن سیمان به طور متوسط ۶۵۰ تا ۹۲۰ کیلوگرم (بسته به سطح فناوری) دی اکسید کربن تولید می‌شود که بیش از نصف آن از محل فرآیند تولید کلینکر و مابقی به طور عمده از محل مصرف انرژی (سوخت و برق) می‌باشد.
امروزه نگرانی از تأثیر انتشار دی اکسید کربن انسان ساخت بر پدیده گرمایش جهانی افزایش

یافتـه اسـت. صنعـت سـیمان بزرگتریـن منتشـرکننده دی‌اکسـیدکربن در بخـش صنعـت می‌باشـد. حـدود ۵٪ از گاز گلخانـه‌ای دی‌اکسـیدکربن انسـان سـاخت از صنعـت سـیمان سرچشـمه می‌گیـرد. بنابرایـن صنعـت سـیمان یـک منبـع مهـم بـرای برنامه‌ریـزی کاهـش انتشـار گاز دی‌اکسـیدکربن اسـت. فرآینـد تولیـد سـیمان عـلاوه بـر تولیـد دی اکسـید کربـن، انتشـار میلیون‌هـا تـن گـرد و غبـار کـوره سـیمان را نیـز بـه دنبـال دارد کـه ایجـاد ناراحتی‌هـای تنفسـی می‌نمایـد.

زائـری امیرانـی در تحقیقـی بـا عنـوان ارزیابـی چرخـه حیـات تولیـد سـیمان پرتلنـد، مقایسـه روش سـنتی بـا فن‌آوری‌هـای جایگزیـن، از ارزیابـی چرخـه حیـات (LCA) بـه منظـور ارزیابـی اثـرات زیسـت محیطـی دو فرآینـد تولیـد سـیمان ۱) تولیـد سـیمان پرتلنـد سـنتی، ۲) سـیمان مخلـوط (بـا اسـتفاده از پوزولان‌هـای طبیعـی) اسـتفاده کـرده اسـت؛ تجزیـه و تحلیل‌هـا در ایـن مطالعـه بـا اسـتفاده از نـرم افـزار SimaPro انجـام شـده اسـت. چرخـه حیـات بـرای هـر یـک از محصـولات، از مرحلـه اسـتخراج مـواد خـام تـا مرحلـه بسـته‌بندی و حمـل و نقـل محصـول بررسـی و اطلاعـات مـواد خـام، بـرق و حـرارت تولیـد شـده بـر اسـاس نـوع سـوخت مصرفـی در نـرم افـزار SimaPro وارد گردیـده اسـت. در نـرم افـزار منابـع سـوخت، میـزان انـرژی و بـرق تخصیـص یافتـه در هـر مرحلـه تولید محاسـبه گردیـد. نتایـج ایـن مطالعـه نشـان داد کـه اثـرات زیسـت محیطـی تولیـد سـیمان می‌توانـد محلـی، منطقـه‌ای و یـا در مقیـاس جهانـی باشـد. اثـرات محلـی عبارتنـد از: سـر و صـدا، کیفیـت هـوا و اختـلالات طبیعـی ناشـی از اسـتخراج مـواد خـام از قبیـل سـنگ آهـک، سـنگ آهـن و خـاک رس. تولیـد گازهـای گلخانـه‌ای ماننـد دی اکسـید گوگـرد (SO_2) و اکسـیدهای نیتـروژن (NOx) باعـث ایجـاد بـاران اسـیدی در مقیـاس منطقـه‌ای می‌شـود. کربـن منشـاء تولیـد گازهـای گلخانـه‌ای حاصـل از فرآینـد کلسیناسـیون و احتـراق سـوخت‌های فسـیلی (زغـال سـنگ، گاز طبیعـی، مـازوت) بـوده کـه بسـیاری از تغییـرات آب و هوایـی در سـطح جهانـی را بـه دنبـال خواهـد داشـت.



شکل ۲ مراحل ارزیابی چرخه حیات[۱]

اصلی‌تریـن گاز گلخانـه‌ای حاصـل شـده از تولید سـیمان دی اکسـید کربـن (CO_2) اسـت. تقریبـا نیمـی از کربـن آزاد شـده در جریـان تولید سـیمان از فرایند کلسیناسـیون (CO_2) منتشـر شـده از سـنگ آهـک بـرای تشـکیل کلینکـر و کربـن بـه جـا مانـده از احتـراق سـوخت بـرای تولیـد حـرارت و سـایر انرژی‌هـای مـورد نیـاز حیـن فرآیندهـای تولیـد اسـت. بـا توجـه بـه مـدارک به دسـت آمـده از ارزیابـی چرخـه حیـات، انتظـار مـی‌رود، بهبـود سـیمان‌های مخلـوط، پتانسـیل بیشـتری در کاهـش گرمایـش جهانـی نسـبت بـه سـیمان پرتلنـد معمولـی داشـته باشـد و بـا کاهـش تقاضـای تولیـد کلینکـر (از طریـق جایگزینـی)، در مقابـل، اثـرات زیسـت محیطـی محصـول نهایـی سـیمان نیـز کاهـش می‌یابـد (زائـری امیرانـی، ۱۳۹۰).

تیـکا و همـکاران در مطالعـه دیگـری تحـت عنـوان کاربـرد مـدل LCA4 AFR در ارزیابـی زیسـت محیطـی چرخـه حیـات CO_2 (مطالعـه مـوردی کارخانه سـیمان) به منظـور ارزیابـی چرخـه حیـات دی اکسـیدکربن در یـک کارخانـه سـیمان، از مـدل LCA4AFR اسـتفاده کرده‌انـد. با جمع‌آوری اطلاعـات مورد نیـاز کارخانـه و ورود اطلاعات بـه سیسـتم مشـخص شـد کـه شـدت مصـرف انـرژی در ایـن کارخانـه ۳۰ ٪ بالاتـر از شـاخص‌های جهانـی می‌باشـد. بـه همیـن منظـور دو سـناریو بـرای ادامـه کار تعریـف گردیـد: ۱) سـناریو پایه (شـرایط موجـود کارخانه). ۲)سـناریو کاهـش ۳۰ درصـدی مصـرف انـرژی حرارتی. نتایـج بـه دسـت آمـده از اجـرای برنامـه، نشـان می‌دهـد کـه از تولیـد، تامیـن و انتقـال مـواد اولیـه و سـوخت‌های

[۱] زائری امیرانی، آزاده، ۱۳۹۰

فسیلی تا احتراق سوخت و مصرف مواد برای تولید کلینکر، ۷۱۵ کیلوگرم CO_2 در هوا منتشر شده است. از سوی دیگر مقایسه دو سناریو کاهش ۱۵ درصدی انتشار دی اکسید کربن را در سناریو دوم نسبت به سناریو پایه نشان می‌دهد (تیکا و همکاران، ۱۳۹۳). بالاتی و همکاران نیز در پژوهشی تحت عنوان بررسی آلاینده‌های صنعت سیمان و مدیریت و کنترل آن (مطالعه موردی کارخانه سیمان تهران)، بررسی فرآیندها و آلاینده‌های تولیدی کارخانه سیمان تهران و شبیه سازی انتشار آلاینده‌های این کارخانه از دودکش شماره هشت و در نهایت تهیه فهرست و مقادیر انتشار آلاینده‌های تولیدی در این کارخانه را دنبال کرده‌اند. کارخانه تولید سیمان تهران در حال حاضر به طور متوسط دارای ظرفیت تولید ۱۲۳۰۰ تن سیمان در روز می‌باشد. مواد اولیه اصلی مورد استفاده کارخانه سیمان تهران سنگ آهک و خاک رس و محصولات تولیدی هفت نوع می‌باشند. بررسی‌ها نشان داد که آلاینده‌های اصلی تولیدی در این کارخانه شامل غبار ناشی از پیش گرمکن‌ها و فرایند پخت مواد در کوره‌ها، غبار ناشی از فرایند ریزش مواد و آسیاب آن‌ها، گازهای خروجی از الکتروفیلترها و آجرهای نسوز مستعمل به جای مانده از کوره می‌باشند. براساس نتایج به دست آمده از شبیه سازی آلاینده‌های خروجی با مدل Screen View V ۳،۵،۱ مشخص شد که بیشترین غلظت آلاینده‌ها در فاصله ۱۰۰ متری از دودکش شماره ۸ رخ می‌دهد که جهت کنترل این آلاینده‌ها انجام اقدامات پیشگیرانه ضروری است (بالاتی و همکاران، ۱۳۹۱)

در گزارش دیگری Medgar و همکاران در پژوهشی تحت عنوان موجودی چرخه زندگی از بتن سیمان پرتلند، مخلوط آماده بتن، سنگ تراشی بتن و بتن پیش ساخته از نظر انرژی مورد نیاز و میزان تولید با نتایج تحقیقی که در سال ۲۰۰۶ انجام شده، مورد مقایسه قرار گرفت. مرز سیستم که دامنه را مشخص می‌کند، شامل تولید سیمان و سیمان سرباره است. اطلاعات مربوط به تولید کل؛ حمل و نقل، سوخت، سیمان، مواد سیمانی تکمیلی و سنگدانه‌های کارخانه بتن؛ و عملیات کارخانه بتن (از جمله شستشوی میکسر کامیون در مورد بتن مخلوط آماده) و همچنین اطلاعات مربوط به مصرف سوخت و برق در کارخانه‌های تولید بتن بررسی شد.

بررسی قبلی کارخانه‌های بتنی که در سال ۲۰۰۶ انجام شده است، اطلاعاتی از قبیل مصرف سوخت و برق و میزان انتشارات در هوا (کربن دی اکسید، مونوکسیدکربن، متان، اکسیدهای نیتروژن، ذرات معلق، دی اکسید گوگرد و ترکیبات آلی فرار) را مشخص کرده است. مطالعه جدید برای به روز رسانی اطلاعات انجام شد، که انتشار بیش از ده آلاینده را نشان می‌دهد. اطلاعات گزارش شده نیز در این گزارش بیشتر است، برای نمونه مخلوط بتن ۲۰–MPa (۳۰۰۰ psi)، انرژی تجسم یافته ۳۰٪ کمتر و انتشار CO_2 حدود ۷٪ پایین‌تر، برای سنگ تراشی بتنی، انرژی تجسم یافته حدود ۲۰٪ کمتر و انتشار CO_2 مشابه قبلی است. برای بتن پیش ساخته MPa ۵۰ (7500 psi)، انرژی تجسم یافته و CO_2 بدون تغییر می‌باشد زیرا ارزیابی چرخه حیات اکنون شامل انرژی و انتشار در کارخانه بتن پیش ساخته است (Medgar L. Marceau,2007).

Christopher نیز در پژوهشی تحت عنوان ارزیابی زیست محیطی سیمان و چرخه زندگی بتن در یونان، تمام پارامترهای فرآیندی که سهم عمده‌ای در تأثیرات زیست محیطی دارد را تجزیه و تحلیل و کمی سازی کرده است. سیستم بررسی شده شامل کسب مواد اولیه، تولید صنعتی، بسته‌بندی، حمل و نقل، استفاده از محصول، تخریب و دفع نهایی آن است. تمامی آلاینده‌ها و ضایعات تولیدی نیز برآورد شده است. بر اساس نتایج، مرحله تولید سیمان بیشترین سهم را در آلودگی محیط زیست دارد. اثرات زیست‌محیطی چرخه عمر بتن در یونان عمدتا به مرحله تولید سیمان مربوط می‌شود. سیمان پورتلند ۹۸.۹ درصد از کل انتشار (۲۱۶ کیلوگرم بر متر مکعب بتن) در چرخه عمر بتن را تشکیل می‌دهد CO_2 منتشر شده در طول مرحله تولید سیمان پورتلند به ۲۱۳.۶ کیلوگرم بر متر مکعب بتن می‌رسد، عملیات غیرمستقیم مانند تولید برق، ۳۸ کیلوگرم دی‌اکسید کربن دیگر به ازای هر متر مکعب از بتن تولید می‌کند. تولید آجر یک فرآیند بسیار انرژی بر است و به مقدار زیادی سوخت نیاز دارد. همچنین منجر به فرآیند قابل توجه انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود ارزیابی

چرخه حیات، نشان داد که استفاده از سوخت درجه پایین مانند پیت کوک با محتوای سولفور بالا عامل اصلی اثر اسیدی شدن است. انتشار دی‌اکسید کربن، گرد و غبار و اکسیده‌ای نیتروژن منتشر شده از سیستم تولید کلینکر از اهمیت زیادی برخوردار است و به ترتیب به پتانسیل گرم شدن جهانی، دود زمستانی و اثر یوتریفیکاسیون کمک می‌کند. تغییرات در طراحی سیستم تولید، به ویژه تغییر سوخت مورد استفاده می‌تواند منجر به عملیاتی با انتشار دی‌اکسید کربن کمتر شود(Christopher J. Koroneos,2009).

Muller پژوهشی تحت عنوان سیمان پورتلند: کاربرد ارزیابی چرخه حیات انجام داده است. در این مطالعه اطلاعات مربوط به تولید، منابع انرژی، حمل و نقل و استفاده را به دست آورده و داده‌هایی ارائه شد که این داده‌ها با در نظر گرفتن نرخ تولید یک تن سیمان برآورد شدند. یکی از روش‌های مورد استفاده نیز برای ارزیابی نتایج به‌دست‌آمده توسط ارزیابی چرخه حیات، اتخاذ دسته‌بندی اثرات زیست‌محیطی مانند گرم شدن جهانی هوای کره زمین، یوتریفیکاسیون، اسیدی شدن، اثر فتوشیمیایی و غیره است. این روش که اکوشاخص ۹۵ نامیده می‌شود، عملکرد محیطی مرتبط با محصول یا فرآیند را در طول چرخه عمر آن کمی می‌کند. ارزیابی با ضرب هر داده نرمال شده به وسیله یک فاکتور وزن تعیین‌شده با توجه به آسیبی که هر دسته از اثرات می‌توانند به محیط وارد کند، انجام می‌شود. این روش امکان مقایسه بین چرخه حیات محصولات یا فرایندهایی را فراهم می‌کند که شرایط مشابهی را برآورده می‌کنند و اثرات زیست‌محیطی آن را کمی می‌کنند. اثرات زیست‌محیطی ایجاد شده در طول فرآیند تولید سیمان پورتلند می‌تواند اثرات زیست‌محیطی محلی مانند سر و صدا، کاهش کیفیت هوا، تغییرات اکوسیستم محلی را به دلیل استخراج مواد اولیه ایجاد کند. در منطقه نیز به دلیل انتشار دی‌اکسید گوگرد[1] و اکسیدهای نیتروژن[2]، می‌تواند باعث باران اسیدی شود و در حال حاضر سوزاندن سوخت‌های فسیلی مانند نفت، زغال‌سنگ و گاز طبیعی ممکن است باعث تغییرات آب و هوایی در سراسر جهان شود. علاوه بر تولید کربن دی اکسید[3] در فرآیند تولید سیمان، سالانه میلیون‌ها تن زباله (ذرات معلق کوره سیمان) تولید می‌شود که به آلودگی و خطرات سلامت تنفسی کمک می‌کند. در فرآیند کلسیناسیونCaO از CO_2، $CaCO_3$ تولید می‌شود و در تولید حدود نیمی از CO_2 منتشر شده مشارکت می‌کند، در حالی که بقیه از مصرف انرژی در طول فرآیند تولید می‌آید. همچنین به دلیل ویژگی‌های فرآیند تکنولوژیکی و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و سم‌شناسی مواد خام و ورودی‌های مورد استفاده در ساخت سیمان، کلینکر و خود سیمان، کارخانه‌های سیمان باعث ایجاد خطر برای سلامت کارگران، بهداشت عمومی و محیط‌زیست می‌شوند. آن‌ها عمدتا با قرار گرفتن در معرض ذرات معلق مرتبط هستند که در کل زنجیره تولید و انتشار آلاینده‌ها نفوذ می‌کنند که به طور مداوم رخ می‌دهند و حتی در غلظت‌های کوچک، ریسک مزمن را مشخص می‌کنند. در برزیل، مطالعات نشان می‌دهد که استفاده از پسماندهای کشاورزی می‌تواند استفاده از سیمان را کاهش دهد و در نتیجه انتشار CO_2 را کاهش دهد. خاکستر باگاس نیشکر، پوسته برنج و بقایای صنعت سرامیک در حال ورود به نامزدهای آماده‌سازی بتن و کاهش حضور سیمان در آماده‌سازی این محصول است. علاوه بر این، صنعت سرامیک برزیل حدود ۵ تا ۶ میلیون تن زباله در صنعت تولید کاشی، آجر و سرامیک ایجاد می‌کند. این ماده، پس از کلسیناسیون و آسیاب کردن، می‌تواند تا ۲۰٪ از کل سیمان را جایگزین کند. روش دیگر برای کاهش اثرات زیست‌محیطی، استفاده از سرباره به عنوان سنگدانه برای سیمان است. به طور کلی فرآیند تولید سیمان به آسیب رساندن به محیط‌زیست کمک می‌کند که در این فرآیند اثر گلخانه‌ای، ناشی از سوزاندن سوخت‌های فسیلی، آلودگی توسط فلزات سنگین به دلیل فعالیت‌های استخراج معدن و دود ناشی از انتشار ذرات معلق، برجسته می‌باشد. با این حال، سیمان برای توسعه ضروری است. بنابراین، اثرات زیست‌محیطی باید با فرآیندهای کارآمد زیست‌محیطی، بازیافت مواد، تصفیه پساب جوی و همچنین بازیابی مناطق معدنی از پیش تاریخ شده، با احیای جنگل به حداقل برسد (Elbert, Muller Nigri,2010).

Charles در این مطالعه تحت عنوان ارزیابی چرخه

---

1 SO_2
2 NOx
3 CO_2

حیات صنعت سیمان در زیمباوه، به کمی کردن اثرات زیست‌محیطی چرخه عمر کل تولید سیمان در زیمباوه پرداخته است. انتشارات دی‌اکسید کربن، دی‌اکسید سولفور، اکسیدهای نیتروژن و زباله‌های جامد در این صنعت اثرات زیان آوری بر روی آب و هوا، گیاهان گرم شدن کره زمین، جانوران، بدنه‌های آبی و انسان‌ها دارند. تعیین این موارد در یک چارچوب ارزیابی چرخه حیات در یک سطح محلی، داده‌هایی را فراهم می‌کند که می‌توان در سایر فعالیت‌های ارزیابی اثرات زیست‌محیطی، که صنایع سیمان در آن عمل می‌کنند، مورد استفاده قرار داد. این مطالعه از نسخه SimaPro ۷.۰ برای تحلیل نتایج استفاده کرده است. نتایج شناسایی نشان می‌دهد که گروه‌های مهم در صنعت سیمان، مواد آلی تنفسی و غیر آلی، تغییر آب و هوا، اسیدی شدن / اوتریفیکاسیون و استفاده از سوخت‌های فسیلی هستند. این مطالعه نشان داد که تولید پودر خام و فرآیند پیرسازی به دلیل موجودی قابل‌توجه گرد و غبار کوره سیمان و برق مورد استفاده در مراحل مختلف تولید سیمان، بیشترین اثرات را تولید می‌کند. بخش سنگ‌زنی نهایی انرژی الکتریکی بیشتری را نسبت به تمام مراحل دیگر مصرف کرد. اندام‌های تنفسی تولید شده به طور عمده از گرد و غبار کوره سیمان دارای بیشترین آسیب بالقوه به سلامتی بودند. همچنین تولید کلینکر بیشترین تاثیر را بر محیطزیست و پس از آن آسیاب سیمان، مرحله نهایی تولید سیمان دارد. پیشرفت‌های زیست‌محیطی می‌توانند در این دو حوزه متمرکز شوند تا بیشترین سود را ببرند (Charles, Mbohwa, 2008).

در مطالعه دیگری Diego ارزیابی چرخه حیات صنعت سیمان اسپانیا را بررسی کرده است. این پژوهش به این دلیل قابل‌توجه است که صنعت اسپانیا را مجبور به کاهش گازهای گلخانه‌ای[1] و انتشار صنعتی کرده است. در این رویکرد، به منظور مواجهه با مشکلات ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی، یک تغییر سوخت برای رسیدن به گزینه‌های آلایندگی کمتر مورد نیاز است. جایگزینی مواد یک راه‌حل خوب دیگر برای صنعت از نظر تاثیر است. علاوه بر آن، آمارها نشان می‌دهند که بیشترین گزینه هزینه – سود برای تولید کنندگان سیمان در اسپانیا، جایگزینی سوخت‌های فسیلی است. همچنین در این کار، در نظر گرفتن راه‌حل‌های جذب کربن برای کاهش انتشار دی‌اکسید کربن و اثرات زیست‌محیطی آن انجام شده است (Diego, García-Gusano,2014).

محمدی ارزیابی چرخه زندگی بتن معیار محصولات در استرالیا را به منظور بررسی اثرات زیست‌محیطی مرتبط با تولید ۱۴ محصول بتن معیار در استرالیا شامل بتن، ملات، ملات و رندر انجام داده است. این مطالعه مجموعه داده‌هایی را برای مواد ساخت و ساز سیمانی مرجع فراهم می‌کند که به صنعت ساخت و ساز کمک می‌کند تا اثرات زیست‌محیطی ساخت و ساز را به طور پایدارتر ارزیابی کند. نتایج نشان می‌دهد در تمامی موارد سیمان بیشترین سهم را در اثرات محصولات بتنی داشته‌است. استفاده از سیمان کمتر در محصولات بتنی یا با جایگزینی آن با محصولات سیمانی مکمل و یا تولید سیمان با افزودن مواد معدنی افزایش‌یافته، این پتانسیل را دارد که اثرات زیست‌محیطی را کاهش دهد. همچنین کاهش مقدار کلینکر سیمان از طریق افزایش افزودن مواد معدنی (سنگ آهک) به شدت پیشنهاد شده است (James Mohammadi, 2017).

نتیجه‌گیری

امروزه نگرانی از تأثیر انتشار دی اکسید کربن بر پدیده گرمایش جهانی افزایش یافته است. از این رو که صنعت سیمان بزرگ‌ترین منتشرکننده دی‌اکسیدکربن در بخش صنعت می‌باشد، استفاده از ارزیابی چرخه حیات تجزیه و تحلیل منشأ مشکلات مرتبط با تولید و مصرف سیمان راحت‌تر، سریع‌تر و دقیق‌تر انجام می‌شود. به طور کلی نتایج این مرور نشان می‌دهد که یکی از روش‌های کاهش اثرات زیست محیطی، ارزیابی چرخه حیات سیمان است و طبق نتایج حاصل بهبود سیمان‌های مخلوط، پتانسیل بیشتری در کاهش گرمایش جهانی نسبت به سیمان پرتلند معمولی داشته است و با کاهش تقاضای تولید کلینکر (از طریق جایگزینی)، در مقابل، اثرات زیست محیطی محصول نهایی سیمان نیز کاهش می‌یابد.

[1] GHG (Green house gases)

منابع

۱. بالاتی، علی، بیات، جواد، بررسی آلاینده‌های صنعت سیمان و مدیریت و کنترل آن (مطالعه موردی کارخانه سیمان تهران)، اولین کنفرانس بین المللی صنعت سیمان، انرژی و محیط زیست، دانشگاه تهران، ۱۳۹۱.

۲. زائری امیرانی، آزاده، ارزیابی چرخه حیات تولید سیمان پرتلند، مقایسه روش سنتی با فن آوری های جایگزین، ۱۳۹۰.

۳. سهراب، تیکا، صمدی، رضا، کاربرد مدل LCA4 AFR در ارزیابی زیست محیطی چرخه حیات CO_2 (مطالعه موردی کارخانه سیمان)، سومین کنفرانس بین المللی صنعت سیمان، انرژی و محیط زیست، دانشگاه تهران،۱۳۹۳.

٤. سیمان، فرآیند تولید و تکنولوژی آن، ماهنامه فناوری سیمان، ۱۳۹۵.

۵. ضیاء جهرمی، شیما، هاشمی، حسن، بررسی فرآیندها و آلاینده‌های صنعت سیمان و مدیریت و کنترل آن‌ها، مطالعه موردی کارخانه سیمان اصفهان، پنجمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران، ۱۳۹۰.

٦. عطاریان، پانیذ، مختارانی، نادر، ارزیابی چرخه حیات (LCA)، هفتمین همایش ملی محیط زیست، دانشگاه تهران، ۱۳۹۳.

۷. مشیرنیا، وحید، مدیریت زیست محیطی –ارزیابی چرخه حیات – اصول و چارچوب، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۹۴.

8. Available and Emerging Technologies for Reducing Greenhouse Gas Emissions from the Portland Cement Industry, Sector Policies and Programs Division Office of Air Quality Planning and Standards U.S. Environmental Protection Agency Research Triangle Park, North Carolina, 2010

9. Charles Mbohwa, Sibusiso Moyo, Life Cycle Assessment of the Cement Industry in Zimbabwe, 2008.

10. Christopher J. Koroneos, Aris Th. Dompros, Environmental assessment of the cement and concrete life cycle in Greece, 2009.

11. Diego Garcı´a-Gusano, Israel Herrera, Daniel Garrai´n, Yolanda Lecho´n, Helena Cabal, Life Cycle Assessment of the Spanish Cement Industry: Implementation of Environmental-Friendly Solutions, 2014.

12. Elbert Muller Nigri, Sonia Denise Ferreira Rocha, Eduardo Romeiro Filho, Portland cement: an application of life cycle assessment,

2010.

13. Feiz, Roozbeh, et al. "Improving the CO2 performance of cement, part I: utilizing life-cycle assessment and key performance indicators to assess development within the cement industry." Journal of Cleaner Production98 (2015): 272-281.

14. Huntzinger, Deborah N., and Thomas D. Eatmon. "A life-cycle assessment of Portland cement manufacturing: comparing the traditional process with alternative technologies." Journal of Cleaner Production17.7 (2009): 668-675.

15. Huntzinger, Deborah N., et al. "Carbon dioxide sequestration in cement kiln dust through mineral carbonation." Environmental science & technology43.6 (2009):1986-1992.

16. James Mohammadi, Warren South, Life cycle assessment (LCA) of benchmark concrete products in Australia, 2017.

17. K. Assawamartbunlue, P. Surawattanawan, and W. Luknongbu, "Specific energy consumption of cement in Thailand," Energy Procedia, vol. 156. pp. 212–216, 2019, doi:10.1016/j.egypro.2018.11.130.

18. Li, Chen, et al. "The LCA of Portland cement production in China." The International Journal of Life Cycle Assessment 20.1 (2015): 117-127.

19. Medgar L. Marceau, Michael A. Nisbet, and Martha G. VanGeem, Life Cycle Inventory of Portland Cement Concrete, 2007.

20. Specification, Publicly Available. "Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services." Bsi Br. Stand. Isbn978 (2008): 580.

21. Yang, Dong, et al. "Comparative study of cement manufacturing with different strength grades using the coupled LCA and partial LCC methods—A case study in China." Resources, Conservation and Recycling119 (2017): 60-68.

22. Zhang, Jieru, et al. "Analysis of CO2 emission for the cement manufacturing with alternative raw materials: a LCA-based framework." Energy Procedia61 (2014):2541-2545.

23. Ziegler, D., et al. "Guidelines on co-processing waste materials in cement production. The GTZ-Holcim Public-Private Partnership." (2007).