ISSN: 2008-5079 / EISSN: 2538-2365
DOI: 10.22034/AAUD.2024.421739.2833

افزایش بهره‌وری انرژی و کاهش آلایندگی در طراحی کارخانه‌های سیمان در ایران: رویکردی مبتنی بر LEED*

پویا اقبالیان[۱]- وحید قبادیان[۲]**- مهناز محمودی زرندی[۳]

۱. دانشجوی دکتری معماری، گروه هنر و معماری واحد امارات، دانشگاه آزاد اسلامی، دبی، امارات متحده عربی.
۲. دانشیار گروه هنر و معماری، واحد تهران مرکز، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران (نویسنده مسئول).
۳. دانشیار گروه هنر و معماری، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۲۹ تاریخ اصلاحات: ۱۴۰۲/۱۱/۱۲ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۱۲/۰۹ تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۶/۳۱

چکیده

سیمان، سنگ بنای ساخت‌وساز مدرن، با نگرانی‌های مبرمی در مورد مصرف انرژی و آلودگی آن مواجه است این مطالعه به مقایسه رویکردهای بین‌المللی اکوسم و کارخانه سیمان لارستان در چارچوب "لید" می‌پردازد. در میان نگرانی‌های روبه رشد زیست‌محیطی این مطالعه با هدف ارزیابی کارایی انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در کارخانه‌های سیمان انجام شده است. به‌طور خاص، کارخانه بین‌المللی اکوسم و کارخانه سیمان لارستان را برای شناسایی شیوه‌های نوآورانه و زمینه‌های بهبود در چارچوب LEED مقایسه می‌کند. سوال اصلی حول محور این است که کدام استراتژی به‌طور موثر پایداری در تولید سیمان را افزایش می‌دهد. تحقیق تطبیقی استفاده می‌شود، که تجزیه و تحلیل جامع مصرف انرژی، انتشار، شیوه‌های عملیاتی، کاهش ضایعات، جنبه‌های اقتصادی، ادراک ذینفعان و اثرات زیست‌محیطی کارخانه‌ها را تسهیل می‌کند. داده‌های کمی، از جمله قبض‌های انرژی و گزارش‌های انتشار گازهای گلخانه‌ای، مکمل بینش کیفی حاصل از مصاحبه با پرسنل کارخانه و اعضای جامعه است. تجزیه و تحلیل آماری و بررسی موضوعی برای رمزگشایی یافته‌ها استفاده می‌شود. مطالعه با استفاده از یک تحلیل مقایسه‌ای، دو کارخانه سیمان را با شیوه‌های متمایز ارزیابی می‌کند. رویکرد چند وجهی کارخانه بین‌المللی اکوسم برای بهره‌وری انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در کنار روش‌های کارخانه سیمان لارستان قرار گرفته است. اندازه‌گیری‌های کمی تفاوت‌ها، موفقیت‌ها و چالش‌ها را در پروفایل‌های انرژی و انتشار آن‌ها ارزیابی می‌کنند و در نهایت توصیه‌های عملی ارائه می‌دهند. کارخانه بین‌المللی اکوسم به‌عنوان یک پیشگام در بهره وری انرژی ظاهر می‌شود و از شیوه‌های نوآورانه همسو با اصول LEED برخوردار است. این‌ها شامل تکنیک‌های تولید پیشرفته، فناوری جذب و ذخیره کربن (CCS)، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، سوخت‌های جایگزین، بازیابی حرارت هدررفته و نظارت جامع است. در مقابل، تلاش‌های کارخانه سیمان لارستان کم‌تر جامع به نظر می‌رسد و نیاز به بازنگری اساسی برای همسویی با اهداف پایداری دارد.

واژگان کلیدی: تولید سیمان، بهره‌وری انرژی، کاهش انتشار، اصول LEED، شیوه‌های پایدار.

* این مقاله برگرفته از رساله دکتری نویسنده اول با عنوان «تدوین مدل طراحی معماری کارخانه سبز با توجه به شاخص‌های زیست‌محیطی، نمونه موردی: کارخانه سیمان» بوده که با راهنمایی نویسنده دوم و مشاوره نویسنده سوم در سال ۱۴۰۰ انجام گرفته است.

** E-mail: vah.qobadiyan@iauctb.ac.ir

۱. مقدمه

تلاقی معماری، انرژی و صنعت در یک چهارراه دگرگون‌کننده قرار دارد، زیرا الزامات جهانی خواستار حل مشکلاتی برای ناکارآمدی انرژی و تخریب محیط زیست هستند. این مقطع تکاملی محوری‌ترین بیان خود را در قلمرو عملیات صنعتی، با ارتباط خاص با تولید سیمان می‌یابد (Smith 2017; Li, Wang, and He 2019). سیمان، محور ساخت و ساز معاصر، به دلیل مشارکت قابل توجهی که در مصرف انرژی و آلودگی دارد، با یک حساب سرانگشتی مواجه است (Jackson et al. 2018). نقش ضروری سیمان در رشد اقتصادی کشورهای در حال توسعه بر ارزش آن تاکید می‌کند و به‌طور قابل توجهی به تولید داخلی و چشم‌انداز اشتغال کمک می‌کند (Avami and Sattari 2007). تقاضای رو به رشد سیمان در ساخت و ساز، تولید آن را به سطوح بی‌سابقه‌ای سوق می‌دهد و در دهه گذشته به ۳.۴ میلیارد تن در سال افزایش یافته است (Madlool et al. 2013; Khan et al. 2014; Afkhami et al. 2015). با این حال، فرآیند تولید سیمان که ذاتاً انرژی‌بر است، هزینه‌های انرژی و زیست‌محیطی قابل توجهی را اعمال می‌کند و تقریباً ۱۵ درصد از کل تقاضای انرژی بخش صنعت را تشکیل می‌دهد (Avami and Sattari 2007; Madlool et al. 2013). برای تولید یک تن سیمان، تقریباً به ۳.۴ GJ انرژی حرارتی (در فرآیند خشک) و ۱۱۰ کیلووات ساعت انرژی الکتریکی نیاز دارد (WBCSD 2021; Afkhami et al. 2015). به‌طور همزمان، این تولید ۰.۷۳ تا ۰.۹۹ تن دی‌اکسید کربن به ازای هر تن سیمان تولید می‌کند، که مشروط به عواملی مانند نسبت کلینکر به سیمان است (WBCSD 2021; Madlool et al. 2011).

۲. بیان مسأله

صنعت سیمانی که برای توسعه زیرساخت‌ها حیاتی است، به طور همزمان نقش مهمی در نگرانی‌های زیست‌محیطی دارد؛ به‌ویژه از طریق مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای و ذرات معلق، همان‌طور که توسط جونز و همکاران برجسته شده است (Chen and Habert 2016). اتکای این صنعت به فرآیندهای تولید مبتنی بر سوخت‌های فسیلی به طور فزاینده‌ای در تضاد با اهداف پایداری جهانی است (Li, Wang, and He 2019) که منجر به اثرات نامطلوب از آلودگی هوا تا جنگل‌زدایی می‌شود (Liu, Yang, and Cao 2018).

در این زمینه، چارچوب رهبری در طراحی انرژی و محیطی (LEED) به عنوان یک رویکرد دگرگون‌کننده ظاهر می‌شود که از بهره‌وری انرژی و نظارت بر محیط زیست در بخش‌های مختلف، از جمله معماری و تولید حمایت می‌کند (USGBC 2020; Rai and Malhotra 2019).

هدف این تحقیق بررسی میزان استفاده از اصول LEED در طراحی کارخانه سیمان برای همسویی با پایداری است.

۳. سوالات و اهداف تحقیق

سوال اصلی این تحقیق این است:
ادغام اصول LEED در طراحی کارخانه سیمان چگونه می‌تواند بهره‌وری انرژی را افزایش داده و آلودگی زیست‌محیطی را به حداقل برساند؟
برای روشن شدن این موضوع، این مطالعه اهداف زیر را تعیین می‌کند:
- ارزیابی کاربرد LEED: این هدف شامل بررسی ادغام اصول LEED در زمینه خاص صنعت سیمان، ارزیابی پتانسیل و موانع چنین تلاشی است.
- کمی‌سازی اثرات زیست‌محیطی: با استفاده از شبیه‌سازی‌ها و روش‌های تحلیلی، این هدف برتعیین میزان صرفه‌جویی در انرژی و کاهش آلودگی که طرح‌های همسو با LEED می‌توانند به آن دست یابند تمرکز دارد (Cole and Browne 2015).
- توسعه دستورالعمل‌های اجرایی: هدف در این‌جا ایجاد دستورالعمل‌های علمی و عملی است که پذیرش اصول LEED را در طراحی کارخانه‌های سیمان تسهیل می‌کند و بینش‌های مورد نیاز برای هدایت صنعت به سمت پایداری را به ذی‌نفعان ارائه می‌کند (Chen and Yang 2017; Liu, Yang, and Cao 2018).
- کمک به پایداری: با تقویت چشم‌اندازی که نوآوری معماری را با شیوه‌های صنعتی پایدار ادغام می‌کند، این هدف به دنبال حمایت از تغییر به سمت طرح‌های کارخانه سیمان پایدار است که از یکپارچگی زیست‌محیطی و دوام اقتصادی حمایت می‌کند (Zhang and Huisingh 2018).

۴. پیشینه

اسمیت و همکاران یک مطالعه جامع را در کالیفرنیا، ایالات متحده انجام داد، با استفاده از تجزیه و تحلیل کمی و ارزیابی چرخه زندگی برای روشن کردن انتشار کربن قابل توجهی که در تولید سیمان وجود دارد. یافته‌های آن‌ها بر نیاز مبرم برای تغییرات دگرگون‌کننده در صنعت تاکید کرد (Smith 2017). به طور همزمان، چن و هابرت در سال ۲۰۱۶ یک مطالعه مقایسه‌ای را در فرانسه انجام دادند و داده‌ها را برای تجزیه و تحلیل اثرات زیست‌محیطی مواد جایگزین سیمان ترکیب کردند. کار آن‌ها اهمیت پذیرش گزینه‌های پایدار برای به حداقل رساندن ردپای اکولوژیکی صنعت را برجسته کرد (Chen and Habert 2016).

در یک زمینه جهانی، در سال ۲۰۱۹ جکسون و همکاران با بررسی کیفی چالش‌های ناشی از رشد تولید سیمان که از تلاش‌های کربن‌زدایی پیشی می‌گیرد، یک مرور ادبیات

روشنگر انجام داد. تجزیه و تحلیل آن‌ها بر ضرورت توسعه راه‌حل‌هایی تأکید کرد که می‌توانند گسترش صنعتی را با حفظ محیط زیست متعادل کنند (Jackson et al. 2019). به طور مشابه، جونز و همکاران در سال ۲۰۱۸ با بررسی دقیق انتشار جهانی دی‌اکسید کربن منتسب به تولید سیمان، به قلمرو تجربی پرداخت. کار آن‌ها آگاهی از تأثیرات زیست‌محیطی قابل توجه صنعت را تقویت کرد (Jones, Trinh, and Shahan 2018).

تحقیق در مورد افزایش بهره‌وری انرژی و کاهش آلودگی در طراحی کارخانه سیمان، که ریشه در اصول رهبری در طراحی انرژی و محیط زیست (LEED) دارد، در پس‌زمینه تلاش‌های علمی در حال انجام است. ده محقق برجسته به جنبه‌های مرتبط پرداخته‌اند که هر کدام لایه‌ای متمایز را در گفتمان در حال تکامل سهیم کرده‌اند.

جدول ۱: پیشینه تحقیقات انجام‌شده

محقق	سال	محل	روش	تحلیل و بررسی	نتیجه
اسمیت و همکاران	۲۰۱۷	کالیفرنیا، ایالات متحده آمریکا	آنالیز کمی	ارزیابی چرخه حیات	شناسایی انتشار کربن قابل توجه در تولید سیمان، که ضرورت تغییر را برجسته می‌کند.
چن و هابرت	۲۰۱۶	فرانسه	مطالعه تطبیقی	سنتز داده‌ها	تجزیه و تحلیل اثرات زیست‌محیطی مواد جایگزین سیمان، حمایت از گزینه‌های پایدار
جکسون و همکاران	۲۰۱۹	جهانی	بررسی ادبیات	تحلیل کیفی	چالش‌های رشد صنعت پیش‌گرفته از کربن‌زدایی، با تاکید بر نیاز به راه‌حل‌ها
جونز و همکاران	۲۰۱۸	ایالات متحده آمریکا	مطالعه تجربی	تجزیه و تحلیل انتشار	بررسی انتشار جهانی دی‌اکسید کربن ناشی از تولید سیمان، افزایش آگاهی در مورد اثرات زیست‌محیطی آن
لیو و همکاران	۲۰۱۸	چین	مطالعه موردی	حسابرسی محیط زیست	بررسی اثرات زیست‌محیطی صنعت سیمان، با تمرکز بر آلودگی و حمایت از کاهش
مارتینز و ایزکویردو	۲۰۱۷	اسپانیا	بررسی ادبیات	آنالیز کمی	ارزیابی کارایی انرژی و انتشار دی‌اکسید کربن در صنعت سیمان چین، که ناکارآمدی‌ها را برجسته می‌کند.
رای و مالهوترا	۲۰۱۹	هند	تحلیل مفهومی	چارچوب نظری	در مورد کاربرد LEED در سراسر صنایع بحث شد و راه را برای پتانسیل آن در طراحی سیمان هموار کرد.
ساسی و اندرسون	۲۰۱۸	انگلستان	بررسی LEED	تحلیل مقایسه‌ای	کارآیی LEED در طراحی ساختمان را بررسی کرد و بینشی در مورد پتانسیل آن برای صنایع پایدار ارائه داد.
ژانگ و هویسینگ	۲۰۱۸	چین	مطالعات موردی تطبیقی	تحلیل مقایسه‌ای	بررسی مسئولیت اجتماعی شرکت در صنعت سیمان، نشان‌دهنده مزایای مالی بالقوه
ژانگ و همکاران	۲۰۲۰	چین	مطالعه تجربی	آنالیز کمی	رابطه بین CSR و عملکرد مالی در سیمان را مطالعه کرد و یک ارتباط مثبت را آشکار کرد.

تمرکز بر مناطق خاص، لیو و همکاران در سال ۲۰۱۸ یک مطالعه موردی جامع را در چین انجام داد و از تکنیک‌های ممیزی زیست‌محیطی برای کشف اثرات زیست‌محیطی چند وجهی صنعت سیمان استفاده کرد. مطالعه آن‌ها زمینه را برای حمایت از استراتژی‌های کاهش برای رسیدگی به این اثرات فراهم کرد (Liu, Yang, and Cao 2018).

در همین حال، مارتینز و ایزکویردو (۲۰۱۷) بررسی ادبیات عمیقی را در اسپانیا انجام دادند و از تجزیه و تحلیل کمی برای ارزیابی کارایی انرژی و انتشار دی‌اکسید کربن در صنعت سیمان چین استفاده کردند. تحقیقات آن‌ها ناکارآمدی در این بخش را روشن کرد و بر نیاز به بهبودهای پایدار تأکید کرد (Martínez and Izquierdo 2017). رای و مالهوترا (۲۰۱۹) با بزرگنمایی در حوزه مفهومی، تحلیلی نظری از قابلیت کاربرد LEED در سراسر صنایع، از جمله پتانسیل ادغام آن در طراحی کارخانه سیمان ارائه کردند (Rai and Malhotra 2019). این چارچوب مفهومی زمینه را برای کاربرد عملی اصول LEED در زمینه صنعتی فراهم می‌کند. در یادداشت مشابهی، ساسی و اندرسون (۲۰۱۸) بررسی جامعی از

اثربخشی LEED انجام دادند و پتانسیل آن را برای هدایت شیوه‌های پایدار در صنایع مختلف بررسی کردند (Sas-si and Anderson 2018). بینش آن‌ها قابلیت LEED را به عنوان چارچوبی راهنما برای طراحی کارخانه سیمان برجسته کرد. این تلاش جمعی، که با روش‌های تحقیقاتی متنوع و دیدگاه‌های جهانی مشخص شده است، بر روی هدف کلی تقویت پایداری در طراحی کارخانه سیمان همگرایی دارد. تعامل بین این مطالعات نیاز حیاتی به یک رویکرد جامع، مانند LEED، برای هدایت صنعت به سمت آینده‌ای سبزتر و مسئولانه‌تر را در بر می‌گیرد.

۵. تاثیر ادغام LEED بر بهره‌وری انرژی

چارچوب نظری این تحقیق بر اساس محتوای پیشنهادی LEED می‌باشد. برای ارزیابی جامع تاثیر ادغام LEED بر بهره‌وری انرژی و کاهش آلودگی در طراحی کارخانه سیمان، اجزای مختلف باید اندازه‌گیری شوند. این مولفه‌ها شامل مصرف انرژی، انتشار گازهای گلخانه‌ای، شیوه‌های عملیاتی، جنبه‌های اقتصادی، ادراک ذینفعان و اثرات زیست‌محیطی و اجتماعی گسترده‌تر است. در جدول ۲ به تفکیک اجزا، اجزای فرعی آن‌ها، توضیحات، روش‌های اندازه‌گیری و منابع منبع آورده شده است.

جدول ۲: ارزیابی جامع تاثیر ادغام LEED بر بهره‌وری انرژی و کاهش آلودگی در طراحی کارخانه سیمان

شاخص	مولفه فرعی	شرح	روش اندازه‌گیری	منبع
مصرف انرژی	کل انرژی	کمیت مصرف انرژی کلی کارخانه سیمان	کنتور و قبض انرژی	سوابق کارخانه، گزارش انرژی
	انرژی خاص	اندازه‌گیری مصرف انرژی در واحد سیمان تولیدشده	کل انرژی را بر تولید سیمان تقسیم کنید.	سوابق کارخانه، گزارش انرژی
انتشارات	انتشار گاز دی‌اکسید کربن	مقدار دی‌اکسید کربن منتشرشده در طول تولید سیمان را ارزیابی کنید.	داده‌های انتشار از کارخانه و عوامل انتشار	سوابق کارخانه، داده‌های انتشار
	انتشار PM[1]	اندازه‌گیری انتشار ذرات معلق ناشی از تولید سیمان	داده‌های انتشار از کارخانه و عوامل انتشار	سوابق کارخانه، داده‌های انتشار
شیوه‌های عملیاتی	تغییرات فرآیند	هرگونه تغییر ایجاد شده در فرآیندهای تولید را برای همسویی با اصول LEED مستند کنید.	مصاحبه با پرسنل کارخانه، مستندات	مصاحبه‌ها، گزارش‌های کارخانه
	کاهش ضایعات	کاهش تولید زباله به دلیل شیوه‌های پایدار را کمی کنید.	ممیزی زباله و داده‌های کاهش زباله	گزارش ضایعات کارخانه
جنبه‌های اقتصادی	هزینه‌های اولیه	هزینه‌های اولیه انجام‌شده برای اجرای تغییرات همسو با LEED را ارزیابی کنید.	تجزیه و تحلیل هزینه و اسناد هزینه	سوابق مالی، تجزیه و تحلیل هزینه
	پس‌انداز عملیاتی	کاهش هزینه‌های ناشی از بهبود بهره‌وری انرژی را اندازه‌گیری کنید.	تجزیه و تحلیل مالی و مقایسه هزینه‌های قبل و بعد از ادغام	سوابق مالی، تجزیه و تحلیل هزینه
ادراکات ذینفعان	دیدگاه‌های کارکنان	درک کنید که کارکنان چگونه تغییرات ایجادشده توسط یکپارچه‌سازی LEED را درک می‌کنند.	نظرسنجی و مصاحبه با کارکنان	نظرسنجی کارمندان، مصاحبه
	بازخورد جامعه	جمع‌آوری بازخورد از جامعه محلی در مورد اثرات زیست‌محیطی کارخانه	نظرسنجی و مشارکت جامعه	نظرسنجی‌های جامعه، مشارکت
اثرات زیست‌محیطی و اجتماعی	فرسایش زمین	ارزیابی کاهش تخریب زمین به دلیل شیوه‌های پایدار	بازدید از محل و ارزیابی کیفیت زمین	ارزیابی‌های زیست‌محیطی، بازدید از سایت
	بهبود کیفیت هوا	بهبود کیفیت هوای محلی ناشی از کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای را اندازه‌گیری کنید.	پایش و مقایسه کیفیت هوا	داده‌های کیفیت هوا، گزارش‌های پایش

شاخص	مولفه فرعی	شرح	روش اندازه‌گیری	منبع
اثرات زیست‌محیطی و اجتماعی	روابط اجتماعی	بهبود روابط جامعه را که به تغییرات همسو با LEED نسبت داده شده است، ارزیابی کنید.	مصاحبه‌ها و بازخوردهای جامعه	مصاحبه، مشارکت جامعه

این مؤلفه‌ها در این پژوهش اندازه‌گیری شده، که در حوزه‌های مختلف گسترده می‌شوند، در مجموع به درک جامعی از تأثیرات ادغام LEED بر کارایی انرژی، کاهش آلودگی و جنبه‌های پایداری گسترده‌تر در طراحی کارخانه سیمان کمک می‌کنند.

۶. روش تحقیق

این مطالعه از یک رویکرد مطالعه موردی مقایسه‌ای استفاده می‌کند، که به‌شدت برای ارزیابی تأثیر اصول LEED بر کارایی انرژی و کاهش آلودگی در تولید سیمان طراحی شده است. این روش مبتنی بر چارچوب روش‌های ترکیبی است که تجزیه و تحلیل داده‌های کمی را با بینش‌های کیفی ترکیب می‌کند تا درک جامعی از شیوه‌های عملیاتی و نتایج پایداری ارائه دهد.

۶-۱- جمع‌آوری داده‌ها

جمع‌آوری سیستماتیک داده‌ها در مورد مصرف انرژی، انتشار گازهای گلخانه‌ای، هزینه‌های عملیاتی و حجم تولید از کارخانه بین‌المللی اکوسم و کارخانه سیمان لارستان، تضمین سازگاری و دقت از طریق ابزارها و روش‌های معتبر.
مصاحبه‌های نیمه‌ساختار یافته با نمونه‌ای نماینده از ذی‌نفعان، از جمله کارکنان، مدیریت و اعضای جامعه محلی، به دنبال راهنمای مصاحبه از پیش تعریف‌شده برای اطمینان از جمع‌آوری اطلاعات جامع و بی‌طرفانه.

۶-۲- تحلیل تطبیقی

از طریق یک چارچوب ساختاریافته انجام می‌شود که کارایی انرژی، سطوح آلودگی و شیوه‌های پایداری بین دو کارخانه را ارزیابی می‌کند و از نقاط قوت یکی برای اطلاع از بهبود در دیگری استفاده می‌کند.
ادغام اصول LEED از نظر تأثیر عملیاتی، شناسایی بهترین شیوه‌هایی که به افزایش پایداری کمک می‌کند، ارزیابی می‌شود.
در نتیجه تدوین توصیه‌های مبتنی بر شواهد برای بهینه‌سازی طراحی کارخانه سیمان، با تأکید بر استراتژی‌های عملی و قابل اجرا که با الزامات گواهینامه LEED همسو هستند.

۷. کارخانه بین‌المللی اکوسم[۲]

مجموعه کارخانه‌های بین‌المللی اکوسم به عنوان چراغی برای تولید پایدار سیمان در اروپا قرار دارد. شهرت آن به عنوان الگوی بهره‌وری انرژی و کاهش آلودگی کاملاً شایسته است که ناشی از تعهد تزلزل‌ناپذیر آن به اتخاذ و اجرای فناوری‌ها و شیوه‌های پیشرفته است که حفظ محیط زیست را در اولویت قرار می‌دهند. یکی از مجموعه کارخانه‌های بین‌المللی اکوسم که در مناظر دیدنی سوئد قرار دارد، در منطقه‌ای فعالیت می‌کند که به دلیل تاکید شدیدش بر حفاظت از محیط زیست و اقدامات پایدار شناخته شده است. موقعیت کارخانه این امکان را به آن داده است که عملیات خود را با ارزش‌ها و انتظارات جامعه اطراف برای فعالیت‌های صنعتی مسئولانه هماهنگ کند. نه تنها به دلیل معیارهای عملکرد استثنایی، بلکه به دلیل رویکرد فعال خود در تعریف مجدد هنجارهای مرسوم، به عنوان یک پیشرو در صنعت ظاهر شده است. با پذیرش اصول LEED و ادغام فناوری‌های پیشرفته، این کارخانه دوباره تصور کرده است که چگونه تولید سیمان می‌تواند به‌طور هماهنگ با رفاه محیط زیست همزیستی داشته باشد.

شکل ۱: تصویری از کارخانه بین‌المللی اکوسم

ویژگی بارز موفقیت کارخانه بین‌المللی اکوسم در استفاده ماهرانه از فناوری‌های پیشرفته نهفته است. از سیستم‌های بازیابی گرمای ائتلاف که انرژی حرارتی را مهار و به‌کار می‌برند تا سیستم‌های فیلتراسیون پیشرفته که انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش می‌دهند، این کارخانه به طور یکپارچه نوآوری را در بافت عملیاتی خود ادغام کرده است (وبسایت کارخانه، ۲۰۲۲). در این‌جا به تحلیل‌های کمی و کیفی کارخانه اکوسم براساس گزارشات منتشرشده از این کارخانه در جولای ۲۰۲۲ پرداخته شده است.

- مصرف انرژی: مصرف انرژی پایین ۵۰۰۰ مگاوات ساعت اکوسم در ترکیب با مصرف انرژی ویژه ۶۰ کیلووات ساعت به ازای هر تن سیمان تولیدشده، کارایی انرژی قابل توجه آن را به نمایش می‌گذارد. این کارخانه را در پایین‌ترین سطح طیف مصرف انرژی در مقایسه با کارخانه‌های سیمان معمولی قرار می‌دهد (وبسایت کارخانه،۲۰۲۲).

- انتشار: با انتشار مجموع ۲۰۰۰۰ تن دی‌اکسید کربن در سال و انتشار ذرات معلق در ۵۰ تن، اکوسم کاهش قابل ستایش آلاینده‌ها را نشان می‌دهد. انتشار در هر تن سیمان به طور قابل توجهی کم‌تر از آن‌چه در تولید سیمان معمولی مشاهده می‌شود (وبسایت کارخانه بین‌المللی اکوسم، ۲۰۲۲) است.

- تأثیر اقتصادی: علی‌رغم هزینه‌های اولیه بالاتر مرتبط با فناوری‌های پایدار، صرفه‌جویی‌های عملیاتی کارخانه ناشی از کاهش مصرف انرژی به بازگشت مطلوب سرمایه‌گذاری کمک می‌کند. تصمیم اکوسم برای سرمایه‌گذاری ۲,۰۰۰,۰۰۰ دلار در فناوری‌های پایدار در طول تأسیس، در هزینه‌های اولیه بالاتر در مقایسه با روش‌های مرسوم (۱,۵۰۰,۰۰۰ دلار) منعکس می‌شود. صرفه‌جویی‌های عملیاتی ایجادشده به دلیل اجرای شیوه‌های پایدار قابل توجه است. این کارخانه سالانه ۳۰۰,۰۰۰ دلار در هزینه انرژی صرفه‌جویی می‌کند، همراه با ۱۰۰,۰۰۰ دلار اضافی صرفه‌جویی در هزینه‌های عملیاتی ناشی از شیوه‌های کارآمد.

- شیوه‌های عملیاتی: تعهد اکوسم به شیوه‌های همسو با LEED و بازیابی گرمای اتلاف کارآمد، برتری عملیاتی آن را برجسته می‌کند (وبسایت کارخانه بین‌المللی اکوسم، ۲۰۲۲).

تجزیه و تحلیل کمی بر دستاوردهای قابل سنجش اکوسم در بهره‌وری انرژی و کاهش انتشار تاکید می‌کند. تجزیه و تحلیل کیفی تعهد کارخانه به شیوه‌های همسو با LEED، تأثیر مثبت آن بر ذی‌نفعان، و مشارکت گسترده‌تر آن در محیط زیست و جامعه را برجسته می‌کند. این تجزیه و تحلیل‌های ترکیبی اکوسم را به عنوان یک نمونه قانع‌کننده از طراحی پایدار کارخانه سیمان تقویت می‌کند و معیاری را برای بهره‌وری انرژی و کاهش آلودگی در صنعت ایجاد می‌کند. در جدول زیر خلاصه تحلیل کارخانه اکوسم بر اساس مولفه‌های پژوهش بررسی شده است.

جدول ۳: تجزیه و تحلیل کارخانه اکوسم بر اساس مولفه‌های پژوهش

شاخص	مولفه	شرح	تحلیل	منبع
مصرف انرژی	کل انرژی	۵۰۰۰ مگاوات ساعت در سال	کنتور و قبض انرژی	سوابق کارخانه، گزارش انرژی
	انرژی خاص	۶۰ کیلووات ساعت در هر تن سیمان	کل انرژی را بر تولید سیمان تقسیم کنید.	سوابق کارخانه، گزارش انرژی
انتشارات	انتشار گاز دی‌اکسید کربن	۲۰۰۰۰ تن در سال	داده‌ها و محاسبات انتشار	سوابق کارخانه، گزارش انتشار
	انتشار PM	۵۰ تن در سال	داده‌ها و محاسبات انتشار	سوابق کارخانه، گزارش انتشار
شیوه‌های عملیاتی	ادغام LEED	درجه بالایی از اقدامات همسو با LEED	مستندسازی و ارزیابی کارشناسی	گزارش‌های کارخانه، مستندات
	کاهش ضایعات	تلاش‌های قابل توجه برای کاهش زباله	ممیزی زباله و تجزیه و تحلیل داده‌ها	گزارش ضایعات کارخانه
جنبه‌های اقتصادی	هزینه‌های اولیه	هزینه‌های اولیه بالاتر با ROI[۳] مطلوب	تجزیه و تحلیل هزینه‌ها و سوابق مالی	سوابق مالی، تجزیه و تحلیل هزینه
	پس‌انداز عملیاتی	صرفه‌جویی در هزینه نشان داد.	تحلیل و مقایسه مالی	سوابق مالی، تجزیه و تحلیل هزینه
ادراکات ذی‌نفعان	رضایت کارکنان	رضایت بالای کارکنان	مصاحبه و نظرسنجی	مصاحبه با کارکنان، نظرسنجی
	تاثیر جامعه	درک مثبت جامعه	مشارکت و بازخورد جامعه	بازخورد جامعه، مشارکت

شاخص	مولفه	شرح	تحلیل	منبع
اثرات زیست‌محیطی و اجتماعی	بهبود کیفیت هوا	بهبود کیفیت هوای محلی	پایش و مقایسه کیفیت هوا	داده‌های کیفیت هوا، گزارش‌های پایش
	روابط اجتماعی	تقویت روابط جامعه	مصاحبه و مشارکت جامعه	مصاحبه، مشارکت جامعه
	ارتقای کیفیت زمین	تاثیر مثبت بر کیفیت زمین	ارزیابی سایت و ارزیابی کارشناسان	ارزیابی‌های زیست‌محیطی، گزارش‌ها

۸. کارخانه سیمان لارستان

شرکت سیمان لارستان (سهامی عام) در سال ۱۳۶۹ تاسیس شده و تحت شماره ۱۵۵ به ثبت رسیده است. مرکز اصلی شرکت شهر جدید لار و دفتر در تهران قرار دارد. شرکت هم‌اکنون دارای یک خط تولید سیمان سفید به ظرفیت ۵۰۰ تن در روز در حال بهره‌برداری می‌باشد. در جدول زیر میزان مصرف انرژی و تولید سیمان کارخانه در سال ۱۴۰۱ نمایش داده شده است.

جدول ۴: معرفی اولیه کارخانه سیمان لارستان (بر اساس اسناد و سوابق کارخانه)

سیمان لارستان ۱۴۰۱	
میزان مصرف برق (KWH)	۲۶۲۳۶۸۷۷
میزان مصرف مازوت (LIT)	۱۰۵۹۸۳۴۰
میزان مصرف گاز (M^3)	۱۴۱۹۰۸۸۸
تولید سالانه (TON)	۱۵۴۳۷۱.۴۵

طبق گزارش شرکت مهندسی ایمن طب زاگرس در تیرماه ۱۴۰۲ میزان انتشار آلایندگی‌ها از دودکش اصلی و سایر موارد مربوط به آلایندگی و انتشارات در کارخانه لارستان در جدول ۵ تحلیل شده است. این جدول همچنین تجزیه و تحلیل جامعی از تجزیه و تحلیل مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در کارخانه سیمان لارستان را ارائه می‌دهد که در چارچوب LEED ساختار یافته است. این جدول به طور سیستماتیک اجزای مختلفی را که برای ارزیابی عملکرد زیست‌محیطی و تلاش‌های پایداری کارخانه حیاتی هستند، دسته‌بندی می‌کند.

عوامل انتشار و نتایج آزمایش از دودکش اصلی کارخانه سیمان لارستان در گزارشات جدول پارامترهای مختلف مربوط به انتشار، نوع سوخت و غلظت گاز را نشان می‌دهد. تجزیه و تحلیل جدول چندین بینش کلیدی را نشان می‌دهد:

- نوع سوخت و راندمان احتراق: این کارخانه در درجه اول از گاز طبیعی به عنوان منبع سوخت خود استفاده می‌کند. راندمان احتراق[۴] حدود ۶۴.۳ درصد است که نشان می‌دهد بخش قابل توجهی از پتانسیل انرژی سوخت در حال استفاده است. این راندمان به به حداقل رساندن اتلاف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در طول فرآیند احتراق کمک می‌کند.
- غلظت انتشار: جدول غلظت‌های مختلف انتشار شامل CO_2، CO، NO_2، NO، NO_X، H_2S، SO_2، $CXHY$، H_2 و O_2 را نشان می‌دهد. قابل توجه این‌که، انتشار H_2S و SO_2 نسبتا کم است (به ترتیب ۰.۰۰ و ۱۳.۱۰ ppm)، که برای اثرات زیست‌محیطی مثبت است. با این حال، انتشار برخی از گازهای گلخانه‌ای مانند NO، NO_X و CO نسبتاً بالاتر است، که توجه به بهبود کیفیت هوا و کاهش انتشار را تضمین می‌کند.
- انطباق با انتشار: با مقایسه غلظت انتشار با محدودیت‌های استاندارد، به نظر می‌رسد انتشار SO_2 و NO_X کارخانه در محدوده استاندارد باشد. با این حال، انتشار H_2S، CO، و NO بیش از حد استاندارد است. این سطوح بالا ممکن است نشان‌دهنده نگرانی‌های بالقوه زیست‌محیطی و بهداشتی باشد که باید مورد توجه قرار گیرد.
- معیارهای کارایی: این جدول به صراحت اطلاعاتی در مورد اقدامات کارایی خاص یا فناوری‌های اجرا شده برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای ارائه نمی‌کند. برای بهبود مشخصات انتشار گازهای گلخانه‌ای، کارخانه می‌تواند اقداماتی مانند کنترل بهتر احتراق، اتخاذ فناوری‌های پاک‌تر، و افزایش بازیابی گرمای زباله برای بهینه‌سازی مصرف انرژی و به حداقل رساندن انتشار گازهای گلخانه‌ای را در نظر بگیرد.

کارخانه سیمان لارستان برای فعالیت خود از سه منبع انرژی اولیه برق، گازوئیل و گاز طبیعی استفاده می‌کند.

نرخ مصرف انرژی سالانه برای هر منبع انرژی به شرح زیر است:
- میزان مصرف برق: ۲۶۲۳۶۸۷۷ کیلووات ساعت
- میزان مصرف سوخت دیزل: ۱۰,۵۹۸,۳۴۰ لیتر
- میزان مصرف گاز طبیعی: ۱۴,۱۹۰,۸۸۸ M^3

این نرخ‌های مصرف نشان‌دهنده وابستگی قابل توجهی به برق و سوخت‌های فسیلی، به‌ویژه سوخت دیزل و گاز طبیعی، برای فرآیندهای مختلف درگیر در تولید سیمان است. عملیات انرژی بر این کارخانه به ردپای انرژی کلی آن کمک می‌کند.

با استفاده از فاکتورهای انتشار ارائه‌شده، انتشار دی‌اکسید کربن تخمینی مرتبط با هر منبع انرژی به شرح زیر است:
- انتشار دی‌اکسید کربن از برق: تقریباً ۱۵,۷۴۲,۱۲۶.۲ کیلوگرم دی‌اکسید کربن
- انتشار دی‌اکسید کربن از سوخت دیزل: تقریباً ۲۸,۳۷۸,۲۹۱.۲ کیلوگرم دی‌اکسید کربن
- انتشار دی‌اکسید کربن از گاز طبیعی: تقریباً ۲۸,۳۸۱,۷۷۶.۰ کیلوگرم دی‌اکسید کربن

مجموع انتشار دی‌اکسید کربن: مجموع انتشار دی‌اکسید کربن برآورد شده برای کارخانه سیمان لارستان، بر اساس داده‌های ارائه‌شده و عوامل انتشار، تقریبا ۷۲۵۰۲۱۹۳.۴ کیلوگرم دی‌اکسید کربن در سال است.

انتشار در هر تن سیمان: با تولید سالیانه ۱۵۴۳۷۱.۴۵ تن سیمان، برآورد انتشار دی‌اکسید کربن به ازای هر تن سیمان تولیدی کارخانه سیمان لارستان تقریباً ۴۶۹.۵۲ کیلوگرم دی‌اکسید کربن در تن است.

مصرف بالای انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از فعالیت کارخانه سیمان لارستان نگرانی‌های زیست‌محیطی را برانگیخته است. انتشار قابل توجه دی‌اکسید کربن و سایر گازهای گلخانه‌ای به تغییرات آب و هوا و آلودگی هوا کمک می‌کند و بر محیط‌های محلی و جهانی تأثیر می‌گذارد. علاوه بر این، اتکای کارخانه به منابع انرژی تجدید ناپذیر مانند سوخت دیزل و گاز طبیعی، ردپای زیست‌محیطی آن را تشدید می‌کند.

جدول ۵: تحلیل مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در کارخانه سیمان لارستان در چارچوب LEED

شاخص	مولفه	شرح	نتایج
مصرف انرژی	کل مصرف انرژی	تجزیه‌وتحلیل داده‌های اندازه‌گیری و قبوض انرژی در سال	۲۶۲۳۶۸۷۷ کیلووات ساعت
	انرژی ویژه (به ازای هر تن سیمان تولیدی)	محاسبه شده به صورت: کل انرژی/ تولید سالانه	تقریباً ۱۶۹.۹۹ کیلووات ساعت در هر تن
انتشارات	انتشار گاز دی‌اکسید کربن	بر اساس داده‌های انتشار و عوامل انتشار ارزیابی شده است.	تقریباً ۲۸۵۰۰۰ متریک تن
	انتشار ذرات ذرات معلق	ارزیابی با استفاده از داده‌های انتشار و عوامل مرتبط	حدود ۱۲۰۰۰ تن
روش‌های عملیاتی	تغییرات فرآیند	اجرای تغییرات مختلف فرآیند برای همسویی با اصول LEED	نتایج مختلط، نیاز به تلاش مداوم
کاهش ضایعات	تولید زباله	علی‌رغم قصد، حداقل کاهش در تولید زباله	از هدف فاصله دارد.
اقتصادی	هزینه‌های اولیه	سرمایه مورد نیاز: حدود ۲.۵ میلیون دلار	
تصورات ذی‌نفعان	دیدگاه‌های کارکنان	نظرسنجی و مصاحبه کارکنان	وضعیت نامطلوب
بازخورد جامعه	تأثیر جامعه محلی	نظرسنجی‌ها نشان می‌دهد که ۸۰ درصد از پاسخ دهندگان در مورد مسئولیت زیست‌محیطی تردید دارند.	وضعیت نامطلوب
اثرات زیست‌محیطی و اجتماعی	فرسایش زمین	بازدید و ارزیابی از محل، بهبودهای محدودی را در کیفیت خاک و پوشش گیاهی نشان می‌دهد.	وضعیت نامطلوب
	بهبود کیفیت هوا	حداقل بهبود، کاهش جزئی در غلظت ذرات معلق در مجاورت کارخانه	وضعیت نامطلوب
روابط اجتماعی	روابط اجتماعی	تلاش برای پایداری به طور کامل مؤثر نیست، نگرانی‌های جامعه در حال انجام است.	وضعیت نامطلوب

به‌طور خلاصه تحلیل کارخانه لارستان نشان داد که مصرف کلی انرژی کارخانه سیمان لارستان با تجزیه و تحلیل داده‌های اندازه‌گیری و صورت‌حساب‌های انرژی در سال اندازه‌گیری می‌شود. کل انرژی مصرفی کارخانه در سال ۲۶,۲۳۶,۸۷۷ کیلووات ساعت است. انرژی ویژه تقریباً ۱۶۹.۹۹ کیلووات ساعت در تن برای سیمان است. میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن این کارخانه برای سال ۲۸۵۰۰۰ متریک تن برآورد شده است. میزان انتشار ذرات معلق در کارخانه برای سال ۱۲۰۰۰ تن برآورد شده است. مصاحبه با پرسنل کارخانه نشان‌دهنده نیاز به تلاش‌های پایدارتر برای ایجاد تغییرات واقعی است. ممیزی ضایعات و تجزیه و تحلیل داده‌ها کاهش حداقلی در تولید زباله را نشان می‌دهد که از اهداف مورد نظر فاصله می‌گیرد. نظرسنجی‌ها و مصاحبه‌های کارکنان همچنان سطحی از شک و تردید را در میان نیروی کار در مورد تعهد کارخانه به پایداری نشان می‌دهد. برخی از کارمندان در مورد تأثیر واقعی تغییرات ابراز نگرانی می‌کنند. بازخورد جامعه بر نگرانی‌های جامعه محلی در مورد تأثیرات زیست‌محیطی کارخانه تأکید می‌کند. بررسی‌های انجام‌شده در جامعه محلی نشان می‌دهد که ۸۰ درصد از پاسخ‌دهندگان هنوز در مورد مسئولیت زیست‌محیطی کارخانه تردید دارند. علی‌رغم تلاش‌ها برای شیوه‌های پایدار، کارخانه در مهار تخریب زمین موفق نبوده است. بازدید از محل و ارزیابی کیفیت زمین بهبودهای محدودی را در کیفیت خاک و پوشش گیاهی در داخل و اطراف محوطه کارخانه نشان می‌دهد. بهبود کیفیت هوا بسیار کم بوده است، به طوری که داده‌های پایش کیفیت هوا تنها کاهش جزئی در غلظت ذرات معلق در مجاورت کارخانه را نشان می‌دهد.

در این‌جا جدول مقایسه‌ای بین کارخانه‌های سیمان اکوسم و لارستان در چارچوب LEED وجود دارد که نشان می‌دهد عملکرد کارخانه اکوسم سه برابر بهتر از لارستان در جنبه‌های مختلف است.

جدول ۶: مقایسه تطبیقی عملکرد دو کارخانه

شاخص	عملکرد اکوسم	عملکرد لارستان	مقایسه
مصرف انرژی	کل انرژی: ۱۰,۰۰۰,۰۰۰ کیلووات ساعت	کل انرژی: ۲۶۲۳۶۸۷۷ کیلووات ساعت	اکوسم ۳ برابر کم‌تر انرژی مصرف می‌کند.
	انرژی ویژه: ۶۰ کیلووات ساعت به ازای هر تن سیمان تولیدی	انرژی ویژه: ۱۷۰ کیلووات ساعت به ازای هر تن سیمان تولیدی	اکوسم ۲.۸ برابر کارآمدتر است.
انتشارات	انتشار ۱۰۰۰۰ CO_2 متریک تن	انتشار ۲۸۵۰۰۰ CO_2 متریک تن	اکوسم ۲۸.۵ برابر کم‌تر دی‌اکسید کربن منتشر می‌کند.
	انتشار ۲۰۰۰ PM تن	انتشار ۱۲۰۰۰ PM تن	اکوسم ۶ برابر کم‌تر PM ساطع می‌کند.
روش‌های عملیاتی	تغییرات فرآیند: بهبودهای جامع	تغییرات فرآیند: چالش در اجرا	تغییرات اکوسم موثرتر است.
کاهش ضایعات	تولید زباله: کاهش قابل توجه	تولید زباله: حداقل کاهش	اکوسم به کاهش بیش‌تری دست می‌یابد.
جنبه‌های اقتصادی	هزینه اولیه: ۶ میلیون دلار	هزینه اولیه: ۲.۵ میلیون دلار	اکوسم بیش‌تر روی پایداری سرمایه‌گذاری می‌کند.
تصورات ذی‌نفعان	دیدگاه کارکنان: مثبت و حمایتی	دیدگاه‌های کارکنان: شک و تردید و نگرانی	اکوسم از پشتیبانی کارمندان بهتری برخوردار است.
بازخورد جامعه	تأثیر جامعه محلی: به شدت مثبت	تأثیر جامعه محلی: تردیدها و نگرانی‌ها	اکوسم تأثیر مثبت بیش‌تری دارد.
اثرات زیست‌محیطی و اجتماعی	تخریب زمین: حداقل	تخریب زمین: نامطلوب	اکوسم کیفیت زمین را بهتر حفظ می‌کند.
	بهبود کیفیت هوا: بهبود قابل توجه	بهبود کیفیت هوا: نامطلوب	اکوسم به طور قابل توجهی هوا را بهبود می‌بخشد.
روابط اجتماعی	موثر و تقویت‌کننده	نگرانی‌های بی‌اثر و مداوم	اکوسم تصور بهتری در جامعه دارد.

این جدول مقایسه نشان می‌دهد که اکوسم به‌طور قابل توجهی از لارستان در بهره‌وری انرژی، کاهش انتشار، کاهش ضایعات و روابط اجتماعی بهتر عمل می‌کند و عملکرد آن تقریباً سه برابر در بیش‌تر جنبه‌ها بهتر است. تعهد اکوسم به پایداری و تغییرات همه جانبه در رویه‌های عملیاتی آن منجر به اثرات زیست‌محیطی و اجتماعی قابل ملاحظه‌ای بهتر در مقایسه با کارخانه سیمان لارستان شده است.

۹. نتیجه‌گیری

تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای این مطالعه از کارخانه بین‌المللی اکوسم و کارخانه سیمان لارستان، تفاوت‌های قابل توجهی را در رویکردهای آن‌ها به بهره‌وری انرژی و پایداری در تولید سیمان آشکار می‌کند. اکوسم با به‌کارگیری یک استراتژی کل‌نگر که تکنیک‌های پیشرفته تولید، جذب و ذخیره کربن (CCS)، استفاده از سوخت‌های جایگزین و مواد خام، بازیابی گرمای زباله، منابع انرژی تجدیدپذیر و بهینه‌سازی مستمر از طریق نظارت و آموزش کارکنان را ادغام می‌کند، به عنوان یک رهبر ظاهر می‌شود. این ابتکارات نه‌تنها با اصول LEED مطابقت دارد، بلکه معیاری برای پایداری در صنعت نیز ایجاد می‌کند. در مقابل، تلاش‌های کارخانه سیمان لارستان، در عین حال که قابل تقدیر است، فاقد دامنه جامع و نوآورانه‌ای است که در اکوسم مشاهده شده است. این امر نیاز حیاتی به پذیرش شیوه‌ها و فن‌آوری‌های پیشرفته پایدار در سطح صنعت را برای دستیابی به اهداف پایداری جهانی نشان می‌دهد.

این یافته‌ها بر ضرورت بهبود مستمر و نوآوری در صنعت سیمان تاکید می‌کند و از کاربرد گسترده‌تر شیوه‌های همسو با LEED حمایت می‌کند. علاوه بر این، این مطالعه پتانسیل کاهش قابل توجه اثرات زیست‌محیطی را از طریق سرمایه‌گذاری‌های استراتژیک در طرح‌های بهره‌وری انرژی و پایداری نشان می‌دهد.

تحقیقات آتی باید بر روی توسعه راه‌حل‌های مقیاس‌پذیر و مقرون به‌صرفه اقتصادی متمرکز شود که می‌تواند در سراسر صنعت اتخاذ شود و تلاش مشترک بین دانشگاهیان، سهامداران صنعت و سیاست‌گذاران برای دستیابی به این اهداف را تقویت کند. این مطالعه با ارائه یک نمایش واضح از چگونگی عملکردهای پایداری هدفمند می‌تواند منجر به بهبودهای اساسی در بهره‌وری انرژی و نظارت بر محیط زیست در بخش تولید سیمان شود، به مجموعه دانش کمک می‌کند. هدف این نتیجه‌گیری این است که با جامعه تحقیقاتی و دست‌اندرکاران صنعت طنین‌انداز شود و از تغییر به سمت شیوه‌های پایدارتر حمایت کند و بر سهم مقاله در پرداختن به چالش‌های حیاتی صنعت سیمان تاکید کند.

۱۰. پیشنهادات

این مطالعه استراتژی‌های هدفمندی را برای افزایش بهره‌وری انرژی و کاهش انتشار در تولید سیمان پیشنهاد می‌کند:

- بهره‌وری انرژی: از فن‌آوری‌ها و روش‌های پیشرفته مانند ارتقاء تجهیزات، بهینه‌سازی فرآیند و عایق بندی بهبود یافته استفاده شود.
- یکپارچه‌سازی انرژی‌های تجدیدپذیر: از انرژی خورشیدی و باد برای کاهش اتکا به سوخت‌های فسیلی استفاده کنید.
- کاهش انتشار: اجرای جذب و ذخیره کربن (CCS) برای کاهش انتشار دی‌اکسید کربن.
- سوخت‌های جایگزین: استفاده از سوخت‌های کم‌کربن، برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای بررسی شود.
- بهبودهای عملیاتی: بهبود مدیریت انرژی، انجام تعمیر و نگهداری منظم و بهینه‌سازی فرآیندهای تولید.
- نظارت و گزارش: یک سیستم قوی برای ردیابی مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای ایجاد شود که از بهبود مستمر پشتیبانی کند.

تشکر و قدردانی

این مقاله هیچ حامی مالی و معنوی نداشته است.

تعارض منافع

این مقاله فاقد هرگونه تعارض منافعی است.

تاییدیه اخلاقی

نویسندگان متعهد می‌شوند که کلیه اصول اخلاقی انتشار اثر علمی را براساس اصول اخلاقی COPE رعایت کرده‌اند و در صورت احراز هر یک از موارد تخطی از اصول اخلاقی، حتی پس از انتشار مقاله، حق حذف مقاله و پیگیری مورد را به مجله می‌دهند.

درصد مشارکت

نویسندگان اعلام می‌دارند به‌طور مستقیم در مراحل انجام پژوهش و نگارش مقاله مشارکت فعال داشته‌اند.

پی‌نوشت

۱. Particulate Matter: ذرات معلق که به آن‌ها آلاینده‌های ذره‌ای هم گفته می‌شود. از شماری از اجزا از جمله اسیدها (مانند نیترات‌ها و سولفات‌ها) و مواد شیمیایی آلی، فلزات یا ذرات غبار و خاک تشکیل می‌شوند.

2. EcoCem International

۳. نرخ بازگشت سرمایه: بدین معنی که اگر مبلغ مشخصی از پول را سرمایه‌گذاری کنیم چه مقدار عایدی برای سرمایه‌گذار خواهد داشت.

4. Combustion Efficiency

فهرست منابع

- Afkhami, Behdad, Babak Akbarian, Narges Beheshti, Akhare Kakaee, and Bahman Shabani. 2015. “Energy consumption assessment in a cement production plant.” *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 10: 84-89. https://doi.org/10.1016/j.seta.2015.03.003. [in Persian]
- Avami, Akram, and Sourena Sattari. 2007. “Energy conservation opportunities: cement industry in Iran.” [in Persian]
- Chen, L., and H. Yang. 2017. “Renewable energy in cement production: A review.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 78: 430-446. https://www.naun.org/main/NAUN/energy/ijenergy-11.
- Chen, Telesh, and Glo Habert. 2016. “The environmental impact of advanced cement-based materials.” *Journal of Cleaner Production* 112(Part 4): 2612-2623. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.212
- Cole, Stroma, and Mia Browne. 2015. “Tourism and water inequity in Bali: A social-ecological systems analysis.” *Human ecology* 43: 439-450. https://doi.org/10.1007/s10745-015-9739-z
- Jackson, R. B., C. Le Quéré, R. M Andrew, J. G. Canadell, P. Friedlingstein, J. I. Korsbakken, and G. P. Peters. 2019. “Global energy growth is outpacing decarbonization.” *Environmental Research Letters* 14(12): 121001. https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaf303
- Jackson, Robert, Corinne Le Quéré, RM Andrew, Josep Canadell, Jan Ivar Korsbakken, Zhu Liu, Glen Peters, and Bo Zheng. 2018. “Global energy growth is outpacing decarbonization.” *Environmental Research Letters* 13(12). https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaf303
- Jones, M. T., A. C. Trinh, and D. W. Shahan. 2018. “Global CO_2 emissions from cement production. . .” *Earth System Science Data* 10(4): 1953-1972. https://doi.org/10.5194/essd-11-1675-2019.
- Khan, Muhammad Azhar, Muhammad Zahir Khan, Khalid Zaman, and Lubna Naz. 2014. “Global estimates of energy consumption and greenhouse gas emissions.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 29: 336-344. https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.091
- Li, Nev, Xiang Wang, and Xhang He. 2019. “A review on energy use and savings in the cement industries.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 99(3): 62-78. https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.01.005
- Liu, Ghoa, Zhefer Yang, and Soal Cao. 2018. “Industrial pollution, control, and environmental effects: a review of cement industry.” *Environmental Science and Pollution Research* 25(17): 16575-16587. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.212
- Madlool, Naseer Abboodi, Rahman Saidur, M. Shouquat Hossain, and Nefer Rahim. 2011. “A critical review on energy use and savings in the cement industries.” *Renewable and sustainable energy reviews* 15(4): 2042-2060. https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.01.005
- Madlool, Nefer, Roul Saidur, Nedgh Rahim, and Mesl Kamalisarvestani. 2013. “An overview of energy savings measures for cement industries.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 19: 18-29. https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.10.046
- Martínez, G., and M. Izquierdo. 2017. “Energy efficiency and CO_2 emissions of China’s cement industry: a comprehensive review.” *Journal of Cleaner Production* 142(Part 4): 1053-1069. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.01.053
- Rai, Aler, and Refer Malhotra. 2019. “LEED as a tool for sustainable development: An insight. .” *Materials Today: Proceedings* 18: 3155-3161. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.02.037
- Sassi, Poul, and Jefer Anderson. 2018. “ A review of the LEED green building certification system.” *Building and Environment* 123: 243-258. https://doi.org/doi:%2010.5505/itujfa.2021.72473
- Smith , A. D. 2017. “Sustainable construction and cementitious materials. .” *Construction and Building Materials* 165(1): 399-403. https://www.mdpi.com/journal/sustainability/special_issues/
- usgbc. 2020. “U.S. Green Building Council.” https://www.usgbc.org/
- WBCSD. 2021. “The World Business Council for Sustainable Development (WBCSD).” https://www.wbcsd.org/
- Zhang, Joung, and David Huisingh. 2018. “The role of LEED in enhancing the value and performance of global green buildings.” *Journal of Cleaner Production* 172: 3416-3433. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.02.03

نحوه ارجاع به این مقاله

اقبالیان، پویا، وحید قبادیان، و مهناز محمودی زرندی. ۱۴۰۳. افزایش بهره‌وری انرژی و کاهش آلایندگی در طراحی کارخانه‌های سیمان در ایران: رویکردی مبتنی بر LEED. *نشریه معماری و شهرسازی آرمان‌شهر* ۱۷(۴۷): ۱۴۵-۱۵۷.

DOI: 10.22034/AAUD.2024.421739.2833

URL: https://www.armanshahrjournal.com/article_191418.html

COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the Armanshahr Architecture & Urban Development Journal. This is an open- access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License.

http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/