

نسل چهارم دانش مدیریت و مهندسی سبز

در

کاشی و سرامیک

آنچه مخاطب در پایان این دوره خواهد آموخت:

- مفهوم نسل چهارم مدیریت و مهندسی سبز را درک کرده و تفاوت آن با نسل‌های قبلی را توضیح دهد.
- ساختار اجرایی برای مدیریت انرژی و کربن در کارخانه خود طراحی کند.
- ردپای کربن یک محصول سرامیکی را با استفاده از داده‌های واقعی محاسبه کند.
- منابع انتشار در کارخانه را به سه دامنه (Scope 1، 2، 3) تفکیک نماید.
- پروژه‌های بهبود را در سه محور انسانی، سیستمی و فناورانه شناسایی و اولویت‌بندی کند.
- مراحل انجام یک ارزیابی چرخه عمر (LCA) را برای محصولات خود تعریف و اجرا کند.
- اطلاعات LCA را به شکل بیانیه زیست‌محیطی محصول (EPD) تنظیم و مستندسازی کند.
- شاخص‌های کلیدی عملکرد محیط‌زیستی (KPI) مانند $\text{kg CO}_2\text{e/m}^2 \text{ tile}$ را پایش و تحلیل کند.
- نتایج زیست‌محیطی را در قالب گزارش مدیریتی و داشبورد انرژی ارائه نماید.
- با درک رویکرد انسان‌محور، نقش نیروی انسانی را به عنوان موتور نوآوری سبز در سازمان تقویت کند.



فهرست محتوای آموزشی

نسل چهارم دانش مدیریت و مهندسی سبز در صنعت کاشی و سرامیک

۱. مقدمه

- ضرورت حرکت به سمت نسل چهارم دانش مدیریت و مهندسی سبز
- چالش‌های جهانی انرژی، کربن و منابع
- فرصت‌های صنعت کاشی و سرامیک ایران در بازارهای سبز

۲. تحول مفهومی: از مدیریت زیست‌محیطی تا هوش سبز (Green Intelligence)

- مروری بر چهار نسل مدیریت سبز
- نقش انسان و داده در نسل چهارم
- تأثیر هوش سبز بر پایداری و رقابت‌پذیری

۳. فرایند محاسبه و مدیریت ردپای کربن (Carbon Footprint Management)

- تشکیل کارگروه انرژی و کربن
- آموزش و فرهنگ‌سازی کارکنان
- گردآوری داده‌ها و تعریف دامنه انتشار (Scope 1, 2, 3)
- تحلیل داده و شناسایی نقاط پرریسک
- شاخص‌های کلیدی کربن و انرژی

۴. پروژه‌های بهبود در صنعت کاشی و سرامیک

- پروژه‌های انسان‌محور (Human-Centered)
- پروژه‌های سیستم‌محور (System-Centered)
- پروژه‌های فناوری‌محور (Technology-Centered)
- مثال‌های واقعی از پروژه‌های سبز موفق در صنعت

۵. گزارش‌دهی و پایش مستمر (Reporting & Monitoring)

- تدوین گزارش ردپای کربن مطابق ISO 14064
- مقایسه با سال مبنا (Baseline)
- شاخص‌های عملکرد زیست‌محیطی (KPI)

۶. چرخه بهبود مستمر و PDCA سبز

- بازنگری سالانه اهداف
- مسیر حرکت به سمت کارخانه کربن‌صفر (Net Zero Carbon Factory)



۷. ارزیابی چرخه عمر محصول (LCA) در صنعت کاشی و سرامیک

- تعریف و مراحل (LCA (Goal & Scope, LCI, LCIA, Interpretation)
- مرز سیستم Cradle to Gate
- داده‌های نمونه و تحلیل اثرات زیست‌محیطی
- تحلیل نقاط داغ (Hotspot Analysis)
- اقدامات بهبود بر اساس نتایج LCA

۸. بیانیه زیست‌محیطی محصول (EPD) – Environmental Product Declaration

- ساختار و اجزای EPD
- داده‌های نمونه و شاخص‌های اثر
- نحوه ارتباط EPD با صادرات سبز
- ۹. محاسبه ردپای کربن محصول (نمونه عملی ۱۵ منبع)

- فهرست منابع مصرفی در تولید کاشی (گاز، برق، مواد، کاغذ، شیر و ...)
- ضرایب انتشار و محاسبه نهایی
- خلق خط مبنا (Baseline) برای کارخانه

۱۰. پروژه‌های بهبود سبز – جدول نهایی سه‌محور

- انسان‌محور، سیستم‌محور، فناوری
- فرم نمونه ثبت داده و تحلیل مجدد انتشار



مقدمه

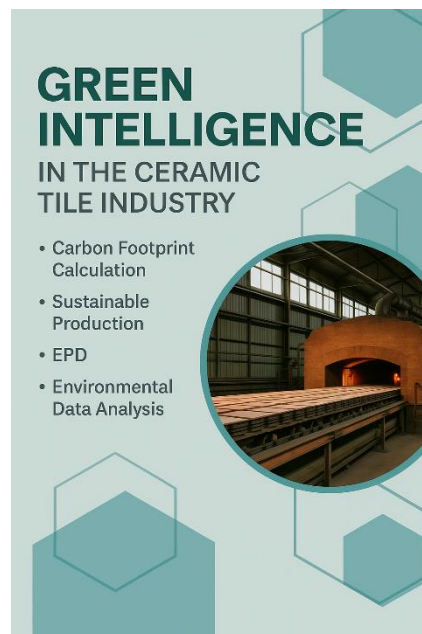
چرا صنعت کاشی و سرامیک باید به نسل چهارم دانش مدیریت و مهندسی سبز برسد؟

جهان امروز دیگر مثل گذشته نیست. تغییرات اقلیمی، کمبود منابع آب و انرژی، و محدودیت‌های تجاری ناشی از الزامات زیست‌محیطی، مرزهای جدیدی برای بقا و رقابت صنایع تعریف کرده‌اند. در چنین شرایطی، صنعت کاشی و سرامیک ایران نیز دیگر نمی‌تواند با مدل‌های قدیمی تولید و مدیریت ادامه دهد.

اگر می‌خواهیم نَفَس بکشیم، تولید کنیم و صادر شویم، باید سبز شویم.

از مدیریت زیست‌محیطی تا «هوش سبز»

در طول چهار دهه گذشته، مفهوم «مدیریت سبز» از یک نگاه آرمان‌گرایانه به یک دانش فناورانه و انسانی تبدیل شده است. این مسیر را می‌توان در قالب چهار نسل خلاصه کرد:



نسل	ویژگی اصلی	محدودیت
نسل اول	حفاظت از طبیعت در برابر صنعت	جدا کردن صنعت از محیط
نسل دوم	کنترل آلودگی در انتهای فرآیند (End-of-Pipe)	واکنشی، پرهزینه
نسل سوم	طراحی فناوری و محصول سبز	تمرکز صرف بر فناوری، بدون تحول رفتاری
نسل چهارم	هوش سبز (Green Intelligence) بازطراحی فرایندها با محوریت انسان، داده و آموزش	—

نسل چهارم دیگر فقط «تکنولوژی سبز» نیست، بلکه ترکیب دانش فنی، داده‌محوری و توانمندسازی منابع انسانی است. در این رویکرد، انسان نه مصرف‌کننده منابع، بلکه عامل تغییر و خالق بهره‌وری پایدار است.

ضرورت برای صنعت کاشی و سرامیک

صنعت کاشی و سرامیک یکی از انرژی‌برترین صنایع ایران است؛ در هر مترمربع کاشی، از استخراج خاک تا پخت نهایی، چندین کیلوگرم گاز طبیعی و برق مصرف می‌شود. از سوی دیگر، بازارهای هدف صادراتی — به‌ویژه اروپا، ترکیه و کشورهای خلیج فارس — در حال اجرای سیاست‌های صفرکربن (Net Zero) و تجارت سبز هستند.



به عبارتی: در آینده نزدیک، هیچ محصولی بدون محاسبه ردپای کربن (Carbon Footprint) و بیانیه زیست‌محیطی محصول (EPD) اجازه ورود به بازارهای جهانی نخواهد داشت. بنابراین، اگر بخواهیم صادرات کاشی و سرامیک ایران ادامه یابد، باید از امروز ساختار مدیریت خود را بر پایه داده، بهره‌وری انرژی، و شفافیت زیست‌محیطی بازطراحی کنیم — همان چیزی که نسل چهارم دانش مدیریت و مهندسی سبز ارائه می‌کند.

مزایای اقتصادی و رقابتی

۱. افزایش بهره‌وری انرژی:
کاهش ۱۰ تا ۲۰٪ در مصرف گاز و برق معادل ده‌ها میلیارد تومان صرفه‌جویی سالانه.
۲. افزایش قدرت صادرات:
محصولات دارای EPD امکان حضور در پروژه‌های ساختمانی سبز اروپا را خواهند داشت.
۳. دسترسی به تسهیلات مالی و مزایای گمرکی:
در بسیاری از کشورها، محصولات سبز مشمول تخفیف مالیاتی یا ترجیح صادراتی هستند.
۴. کاهش هزینه‌های پنهان و ضایعات تولید:
تحلیل داده‌محور در نسل چهارم باعث کشف گلوگاه‌های اتلاف انرژی و مواد می‌شود.

مزایای انسانی و مدیریتی

۱. تبدیل نیروی انسانی به عامل نوآوری:
آموزش و مشارکت کارکنان باعث می‌شود ایده‌های بهبود از دل خط تولید بجوشد، نه فقط از اتاق مدیریت.
۲. افزایش رضایت و وفاداری کارکنان:
وقتی کارکنان ببینند در صنعتی کار می‌کنند که به آینده و سلامت محیط اهمیت می‌دهد، احساس ارزشمندی و تعلق بیشتری پیدا می‌کنند.
۳. ایجاد فرهنگ یادگیری مداوم:
داده‌محوری و آموزش سبز، سازمان را از تصمیم‌گیری سنتی به تصمیم‌گیری علمی می‌برد.
۴. اعتبار اجتماعی و برند کارفرما:
کارخانه‌ای که هوش سبز دارد، برای نیروی کار، مشتری و سرمایه‌گذار جذاب‌تر است.

بنابراین صنعت کاشی و سرامیک ایران اگر می‌خواهد در دنیای پرقاب‌ت آینده نفس بکشد و صادراتش پایدار بماند، باید از «مدیریت انرژی» به «هوش سبز» برسد. نسل چهارم مدیریت و مهندسی سبز، پلی است میان اقتصاد، کیفیت و محیط‌زیست، مسیری که از بقا آغاز می‌شود و به پایداری و سودآوری بلندمدت می‌رسد.





فرایند محاسبه و مدیریت ردپای کربن در صنعت کاشی و سرامیک

(Carbon Footprint Management Process)

۱- تشکیل کارگروه مدیریت انرژی و کربن

هدف: ایجاد ساختار تصمیم‌گیری و هماهنگی

ترکیب پیشنهادی تیم:

- مدیر کارخانه یا نماینده مدیریت (Sponsor)
- مسئول HSE یا محیط‌زیست
- کارشناس انرژی و تعمیرات
- نماینده واحد مالی
- نماینده منابع انسانی
- یک نفر از بخش تحقیق و توسعه یا کنترل کیفیت

وظایف اصلی:

- تعیین اهداف کمی (مثلاً کاهش ۱۰٪ انتشار تا دو سال آینده)
- تصویب سیاست انرژی و محیط‌زیست کارخانه
- نظارت بر جمع‌آوری داده و اجرای پروژه‌ها

۲- آموزش و فرهنگ‌سازی (Training & Awareness)

هدف: درک مشترک از مفهوم "کربن" و نقش کارکنان

فعالیت‌ها:

- برگزاری دوره آموزشی کوتاه برای همه کارکنان (۲ ساعت) درباره‌ی:
- گازهای گلخانه‌ای (CO_2 , CH_4 , N_2O)
- مفاهیم **Scope 1, 2, 3**
- چگونگی مصرف انرژی در خط تولید
- نصب تابلوهای اطلاع‌رسانی در خطوط تولید: هر مترمربع کاشی = ۱۰ کیلوگرم CO_2e

نتیجه: کارکنان درک می‌کنند که هر تصمیم کوچک (مثلاً خاموش کردن کوره در زمان توقف تولید) بر ردپای کربن اثر دارد.



۳۳- گردآوری داده‌ها (Data Gathering)

هدف: شناسایی و ثبت دقیق منابع انتشار

منابع داده: 

محدوده (Scope)	مثال‌ها	نوع منبع
Scope 1	گاز طبیعی، گازوئیل، LPG، پسماند	(Direct) مستقیم
Scope 2	برق خریداری شده، بخار	(Indirect) غیرمستقیم
Scope 3	حمل و نقل، بسته‌بندی، آب، کاغذ، چای و پذیرایی	(Other) سایر

روش کار: 

- جمع‌آوری فاکتورها و قبض‌های انرژی ماهانه
- ثبت داده‌ها در فرم استاندارد یا نرم‌افزار (Excel یا ISO Template)
- تعیین سال مبنا (Baseline Year)
- محاسبه ضریب انتشار هر منبع (Emission Factor)
- محاسبه کل انتشار:

$$(\text{Emission Factor} \times \text{Activity Data}) \sum = \text{Total CO}_2\text{e}$$

۴- تحلیل داده و شناسایی نقاط پرریسک (Hotspot Analysis)

هدف: مشخص کردن اینکه کدام بخش بیشترین انتشار را دارد

ابزارها:

- نمودار سهم منابع (Pie Chart)
- شاخص شدت کربن:

نتیجه نمونه برای کاشی:

$$\frac{\text{Total CO}_2\text{e}}{\text{مترمربع تولید}} = \text{Carbon Intensity}$$

سهم انتشار (%)	بخش
55%	کوره و پخت
20%	آماده‌سازی بدنه
10%	لعب و خشک‌کن
10%	حمل و نقل و بسته‌بندی
5%	سایر (اداری و خدماتی)



۵ - طراحی و اجرای پروژه‌های بهبود (Improvement Projects)

هدف: کاهش انتشار از طریق اقدام‌های واقعی

پروژه‌های بهبود انسان‌محور (Human-Centered Improvement Projects)

هدف: تغییر رفتار، فرهنگ و مهارت کارکنان برای کاهش مصرف انرژی، منابع و انتشار کربن.

نوع پروژه	شرح اقدام	اثر بر کاهش کربن	شاخص پایش (KPI)
آموزش رفتار انرژی‌محور (Energy Awareness)	برگزاری کارگاه‌های کوتاه برای اپراتورها درباره تأثیر رفتارشان بر مصرف انرژی (مثلاً بازگذاشتن در کوره یا توقف فن‌ها در زمان‌های بی‌کاری).	کاهش برق و گاز 2-4%	کاهش مصرف انرژی به ازای ساعت تولید
ایده‌پردازی سبز کارکنان (Green Suggestion System)	ایجاد سامانه‌ای برای دریافت ایده‌های صرفه‌جویی از کارکنان و پاداش برای ایده‌های موفق.	بهبود بهره‌وری انرژی 1-3%	تعداد ایده‌های اجرا شده در سال
تیم‌های خودکنترل انرژی در خطوط تولید	هر شیفت یک "Energy Champion" داشته باشد که مصرف انرژی را در زمان شیفت پایش کند.	2-5%	گزارش‌های هفتگی شیفت‌ها
آموزش مفاهیم کربن و EPD به مدیران میانی	آموزش مدیران واحدها درباره‌ی اثر تصمیماتشان بر ردپای کربن کل کارخانه.	اثر غیرمستقیم، پایدار	تعداد مدیران آموزش‌دیده
کمپین "هر کاشی، نفس زمین"	برنامه فرهنگی برای ایجاد حس تعلق محیط‌زیستی در کارکنان (مثلاً کاشت درخت به‌ازای هر ۱۰۰۰ مترمربع تولید).	نمادین اما اثرگذار فرهنگی	مشارکت کارکنان و جامعه محلی
پروژه‌های رفاه و سلامت سبز	طراحی فضای سبز و تهویه طبیعی برای بهبود روحیه کارکنان و کاهش مصرف سرمایش/گرمایش مصنوعی.	کاهش مصرف برق 1-2%	رضایت کارکنان، دمای محیط کاری

پروژه‌های نمونه فناوری محور در صنعت کاشی:

نوع پروژه	اقدام	کاهش تخمینی انتشار
بهینه‌سازی احتراق	تنظیم مشعل و کنترل هوای اضافی	5-10%
بازيافت حرارت از دود کوره	نصب سیستم WHR	10-15%
جایگزینی روشنایی LED	کاهش برق مصرفی	2-3%
نصب اینورتر روی موتورهای بزرگ	افزایش راندمان	3-5%
آموزش کارکنان تولید	کاهش توقف‌ها و مصرف بی‌مورد انرژی	2-4%
مدیریت پسماند لعاب و خاک	بازيافت داخلی	1-2%



پروژه‌های بهبود سیستم‌محور (System-Centered Improvement Projects)

هدف: تغییر در ساختار مدیریتی، فرآیند تصمیم‌گیری و نظام داده‌محور برای کنترل پایدار انتشار کربن.

نوع پروژه	شرح اقدام	اثر بر کاهش کربن	شاخص پایش (KPI)
ایجاد داشبورد انرژی و کربن (Carbon Dashboard)	طراحی داشبورد روزانه که مصرف گاز، برق، و تولید را به صورت لحظه‌ای نشان دهد.	کاهش ناشی از 3-6% آگاهی مدیریتی	انحراف مصرف نسبت به هدف
سیستم مدیریت انرژی ISO 50001	استقرار فرآیند رسمی مدیریت انرژی با پایش، هدف‌گذاری و ممیزی داخلی.	5-10%	انطباق با الزامات استاندارد
یکپارچه‌سازی داده‌های تولید و محیط‌زیست (MES + EMS)	اتصال داده‌های تولید (میزان محصول) با داده‌های انرژی برای محاسبه شاخص انرژی هر مترمربع.	2-4%	انرژی مصرفی بر واحد تولید
زمان‌بندی هوشمند تولید (Smart Scheduling)	برنامه‌ریزی تولید به گونه‌ای که کوره‌ها و خشک‌کن‌ها کمترین زمان Idle داشته باشند.	3-5%	ضریب بهره‌وری تجهیزات (OEE)
سیستم ارزیابی عملکرد سبز (Green KPI System)	گنجاندن شاخص‌های محیط‌زیستی در ارزیابی عملکرد مدیران و شیفت‌ها.	پایدار و فرهنگی	میزان تحقق KPI سبز
حسابداری کربن و گزارش سالانه (Carbon Accounting System)	راه‌اندازی نرم‌افزار ساده برای محاسبه و ثبت انتشار سالانه بر اساس قبض‌ها و داده‌های واقعی.	شفافیت و پایه‌گذاری کاهش بلندمدت	انتشار گزارش سالانه کربن
ادغام استراتژی سبز در بودجه‌ریزی و سرمایه‌گذاری	تخصیص بودجه ویژه به پروژه‌های سبز (Green CapEx) در هر سال مالی.	5-15% بلندمدت	درصد بودجه اختصاصی به پروژه‌های سبز

پروژه‌های فناوریانه فقط موتور کاهش انتشارند؛ اما پروژه‌های انسان‌محور و سیستم‌محور، سوخت و فرمان این حرکت‌اند. یک کارخانه سبز واقعی جایی است که:

- رفتار کارکنان سبز باشد،
- تصمیم‌های مدیریتی داده‌محور باشند،
- و فناوری‌ها در خدمت فرهنگ و ساختار قرار گیرند، نه برعکس.

۶- گزارش‌دهی و پایش مستمر (Reporting & Monitoring)

هدف: تثبیت فرایند و نشان دادن پیشرفت

فعالیت‌ها:

- تهیه گزارش سالانه مطابق ISO 14064 یا GHG Protocol
- ثبت نتایج در داشبورد مدیریتی





- مقایسه با سال مبنا (Baseline Comparison)
- انتشار داخلی برای آگاهی کارکنان

شاخص‌های کلیدی:

- $\text{kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2 \text{ tile}$
- Energy Intensity (kWh / m^2)
- Water Intensity (L / m^2)

۷- بازنگری و بهبود مستمر (Review & PDCA Cycle)

هدف: حرکت به سمت «کربن صفر» (هر سال، داده‌ها و اهداف باید بازنگری شوند تا سازمان به سمت **Net Zero Carbon Factory** حرکت کند).

چرخه: PDCA

- **Plan** → تعیین هدف و سیاست
- **Do** → اجرا و پایش پروژه‌ها
- **Check** → ارزیابی عملکرد
- **Act** → بازنگری و اصلاح

خروجی‌های نهایی سیستم

- گزارش ردپای کربن (Carbon Footprint Report)
- نقشه انرژی کارخانه (Energy Map)
- پروژه‌های اولویت‌دار کاهش انتشار
- پیش‌نویس (EPD) بیانیه زیست‌محیطی محصول
- گواهی حضور یا ثبت در سامانه‌های ملی/بین‌المللی



ارزیابی چرخه عمر محصول (LCA) در صنعت کاشی و سرامیک

Life Cycle Assessment of Ceramic Tile Products

1. تعریف و هدف LCA

LCA یا ارزیابی چرخه عمر، ابزاری تحلیلی است برای اندازه‌گیری و درک اثرات زیست‌محیطی یک محصول از «گهواره تا گور» (Cradle to Grave) یعنی از استخراج مواد اولیه تا بازیافت یا دفع نهایی آن.

در صنعت کاشی، این روش کمک می‌کند بفهمیم:

- بیشترین آلودگی در کدام مرحله تولید است؟
- چطور می‌توان مصرف انرژی، مواد و آب را کاهش داد؟
- و چه داده‌هایی باید در (EPD بیانیه زیست‌محیطی محصول) ثبت شوند؟

2. مراحل استاندارد LCA (بر اساس ISO 14040 و ISO 14044)

مرحله	عنوان	هدف و خروجی
تعریف هدف و دامنه (Goal & Scope Definition)	مشخص کردن هدف مطالعه، مرز سیستم، واحد عملکردی، و فرضیات	تعیین می‌شود که چرا LCA انجام می‌شود و چه چیزی بررسی می‌شود
تحلیل موجودی چرخه عمر (Life Cycle Inventory - LCI)	جمع‌آوری داده‌ها درباره مصرف مواد، انرژی، آب و انتشارها در هر مرحله	جدول داده‌های ورودی و خروجی تولید
ارزیابی اثر چرخه عمر (Life Cycle Impact Assessment - LCIA)	تبدیل داده‌ها به شاخص‌های اثرات زیست‌محیطی مثل CO ₂ ، اسیدسازی، مصرف منابع	گزارش عددی اثرات کلیدی محیط‌زیستی
تفسیر نتایج (Interpretation)	تحلیل نتایج، شناسایی نقاط پرریسک، پیشنهاد پروژه‌های بهبود	تصمیم‌سازی برای کاهش اثرات

3. مرز سیستم در LCA کاشی و سرامیک (Cradle to Gate) تا خروج محصول از کارخانه):

شامل مراحل زیر است:

1. استخراج مواد اولیه (خاک رس، فلدسپات، سیلیس)
2. حمل‌ونقل به کارخانه
3. آماده‌سازی بدنه و آسیاب
4. خشک‌کردن
5. پرس و شکل‌دهی
6. لعاب‌زنی
7. پخت (کوره رولری یا تونلی)
8. درجه‌بندی و بسته‌بندی
9. حمل‌ونقل تا انبار یا مشتری

(در مطالعات کامل‌تر می‌توان مرحله استفاده و پایان عمر را هم اضافه کرد.)



4. داده‌های نمونه برای LCA در تولید کاشی (برای ۱ مترمربع)

منبع داده	واحد	مقدار مصرف	مورد
معدن محلی	kg	15	خاک رس
داخلی	kg	5	فلدسپات
داخلی	kg	3	سیلیس
داخلی	kg	1.2	لعاب
کوره رولری	m ³	2.5	گاز طبیعی
شرکت برق	kWh	6	برق
مصرفی کارخانه	L	8	آب صنعتی
کارتن محلی	kg	0.15	بسته‌بندی
کامیون ۲۰t	km·ton	3	حمل و نقل مواد
دفع	kg	0.1	ضایعات بازیافت نشده

5. نتایج نمونه ارزیابی اثرات زیست‌محیطی (LCIA)

تفسیر	نتیجه برای ۱ m ² کاشی	واحد	شاخص اثر زیست‌محیطی
اثر بر تغییر اقلیم	9.8	kg CO ₂ e	Global Warming Potential (GWP)
انرژی مصرف‌شده کل	180	MJ	Primary Energy Demand (PED)
مصرف کل آب	8	L	Water Use
آلودگی هوای اسیدی	0.035	kg SO ₂ e	Acidification Potential (AP)
آلودگی آب‌ها	0.006	kg PO ₄ ³⁻ e	Eutrophication Potential (EP)
پسماند فرآیند	0.12	kg	Solid Waste Generated

6. تحلیل نتایج (Hotspot Analysis)

نکات کلیدی	سهم از کل انتشار CO ₂	مرحله تولید
بیشترین مصرف گاز طبیعی	55%	پخت در کوره
برق و آسیاب‌ها	20%	آماده‌سازی بدنه
گرما و برق	10%	لعاب و خشک‌کن
سوخت کامیون	10%	حمل و نقل
انتشار غیرمستقیم	5%	سایر بخش‌ها (اداری، خدماتی)





7. مثال عددی ساده برای آموزش کلاس

فرض کنید داده‌ها برای کارخانه X به این شکل است:

منبع	مقدار مصرف	(واحد / $\text{kg CO}_2\text{e}$) ضریب انتشار	انتشار کل ($\text{kg CO}_2\text{e}$)
گاز طبیعی	2.5 m^3	2.0	5.0
برق	6 kWh	0.45	2.7
حمل و نقل مواد	3 km·ton	0.12	0.36
سایر منابع	—	—	1.8
جمع کل انتشار	—	—	$9.86 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2$

نتیجه: هر مترمربع کاشی تولیدی باعث انتشار تقریبی ۱۰ کیلوگرم CO_2 معادل می‌شود.

اگر کارخانه سالانه ۳ میلیون مترمربع تولید دارد:

$$\text{tons CO}_2\text{e/year } 000,30 = \text{kg CO}_2\text{e/year } 000,000,30 = 10 \times 000,000,3$$

8. اقدامات بهبود پیشنهادی از نتایج LCA

حوزه	اقدام پیشنهادی	اثر مورد انتظار
انرژی	نصب سیستم بازیافت حرارت از دود کوره	کاهش ۱۰-۱۵ GWP %
مواد اولیه	جایگزینی بخشی از خاک با پودر ضایعات بازیافتی	کاهش ۵٪ مصرف منابع
حمل و نقل	استفاده از کامیون‌های LNG یا حمل ریلی	کاهش ۵٪ انتشار سوخت
رفتار انسانی	آموزش اپراتورهای کوره برای کنترل دقیق دما	۳-۲٪ کاهش مصرف گاز
مدیریت	استقرار ISO 14064 یا نرم‌افزار LCA داخلی	بهبود پایش و تصمیم‌گیری

9. خروجی نهایی LCA

- گزارش فنی (LCA مطابق ISO 14040)
- داده‌های آماده برای EPD
- نقشه انرژی و انتشار کارخانه (Energy & Carbon Map)
- پروژه‌های کاهش انتشار با اولویت‌بندی عددی

جمع‌بندی

- ارزیابی چرخه عمر (LCA) برای کاشی و سرامیک، مثل یک "اکسری سبز" از کل فرایند تولید است. با آن می‌فهمیم کجا بیشترین آسیب زیست‌محیطی داریم، و چطور می‌توانیم با علم و رفتار درست، محصولی واقعاً سبز تولید کنیم.





Environmental Product Declaration (EPD) – Ceramic Tile

بیانیه زیست محیطی محصول – کاشی سرامیکی

(Draft Version – For Training and Demonstration)

1. General Information

Item	Description
Product Name	Glazed Ceramic Wall & Floor Tile
Manufacturer	[Sample Ceramic Co.]
Production Site	Yazd, Iran
Declared Unit	1 m ² of finished ceramic tile
Product Code / HS Code	6907 – Ceramic Tiles, Glazed
EPD Program Operator	Iran Green Management Association (IGMA)
Reference Standards	ISO 14025, ISO 14040/14044, EN 15804
Publication Date	October 2025
Validity Period	5 years (2025–2030)

2. Product Description

The product is a glazed ceramic tile used for indoor wall and floor applications in residential and commercial buildings. It is produced through raw material mixing, pressing, drying, glazing, firing, sorting, and packaging.

Average thickness: 8–10 mm.

Nominal weight: 18–20 kg/m².

3. System Boundary and Life Cycle Phases

This EPD covers the **cradle-to-gate** system boundary:

- **A1** – Raw material supply
- **A2** – Transportation to factory
- **A3** – Manufacturing

Excluded: product use, maintenance, and end-of-life stages.





4. Inventory Data (Life Cycle Data Inputs)

Input Material / Energy	Unit per m ²	Data Source
Natural Gas	2.5 m ³	Factory meter data
Electricity	6 kWh	Regional utility data
Water	8 L	Factory record
Clay	15 kg	Local quarry
Feldspar	5 kg	Domestic supplier
Silica Sand	3 kg	Domestic supplier
Glaze materials	1.2 kg	In-house
Cardboard packaging	0.15 kg	Local supplier
Diesel for transport	0.1 L	Logistics estimate

5. Life Cycle Impact Assessment (LCIA) Results

Impact Category	Unit	Result (per 1 m ²)	Description
Global Warming Potential (GWP)	kg CO ₂ e	9.8	Emissions of CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
Energy Use (Primary)	MJ	180	Total primary energy demand
Water Consumption	L	8	Direct + indirect
Solid Waste Generation	kg	0.12	Fired and unfired waste
Acidification Potential (AP)	kg SO ₂ e	0.035	Air emissions
Eutrophication Potential (EP)	kg PO ₄ ³⁻ e	0.006	Water emissions

6. Hotspot Analysis

Main contributors to carbon emissions:

- Firing (kilns): 55% of total GWP
- Electricity (motors, fans, dryers): 20%
- Raw material transport: 10%
- Glazing and packaging: 10%
- Administration and support services: 5%





7. Improvement Projects

Project	Description	Estimated Reduction
Heat recovery from kiln exhaust	Installation of WHR unit	10–12% GWP reduction
Variable Frequency Drives (VFDs)	On large motors and fans	5% electricity reduction
LED lighting	Production & warehouse	2% electricity reduction
Raw material transport optimization	Using higher load capacity trucks	3% total reduction

8. Verification

Item	Details
Verification Type	Independent third-party verification
Verifier	[To be assigned – accredited ISO 14025 auditor]
Review Date	Pending after full data submission

9. Additional Information

- All data refer to production year 2024.
- The company is committed to continuous improvement in energy efficiency and resource optimization.
- The EPD supports the company's roadmap toward **Net Zero Carbon 2040**.

10. Contact Information

Sample Ceramic Co.

Industrial Zone, Yazd, Iran

+98 (35) 1234 5678

www.sampleceramic.ir

sustainability@sampleceramic.ir





محاسبه ردپای کربن در صنعت کاشی و سرامیک

منابع مصرفی و ضرایب انتشار گازهای گلخانه‌ای برای یک واحد محصول / تولید یک مترمربع کاشی سرامیکی

خلق خط مبنا برای شرکت

ردیف	گردآوری داده از مالی/انبار/آرشیو و ...					ترجمه به زبان محیط‌زیست												
	نوع منابع مصرفی	محل مصرف	میزان مصرف	واحد (بعد)	ترجمه اقتصادی/ ارزش ریالی	محاسبه ردپای کربن				پسماند	محاسبه ردپای آب							
						دامنه گذاری			میزان انتشار ضریب انتشار (kg CO ₂ e / واحد)	میزان انتشار (kg CO ₂ e)	تفکیک منابع پسماند به ازای هر واحد محصول	نوع آب			میزان مصرف	میزان اتلاف	میزان تبخیر	
						S1	S2	S3				آبی	سبز	خاکستری				
1	گاز طبیعی	پخت در کوره رولری	2.5	m³					2.0	5.0								
2	برق	تجهیزات، فن‌ها، موتورها	6.0	kWh					0.45	2.7								
3	آب صنعتی	شست‌وشو و لعاب	8.0	L					0.0003	0.0024								
4	خاک رس (Clay)	استخراج و حمل‌ونقل	15	kg					0.02	0.3								
5	فلدسپات	ماده اصلی بدنه	5	kg					0.02	0.1								

$$\sum_i (\text{میزان مصرف}_i \times \text{ضریب انتشار}_i) = \text{Carbon Footprint}$$





خلق خط مبنا برای شرکت

ردیف	گردآوری داده از مالی/انبار/آرشیو و ...					ترجمه به زبان محیط زیست											
	نوع منابع مصرفی	محل مصرف	میزان مصرف	واحد (بعد)	ترجمه اقتصادی / ارزش ریالی	محاسبه ردپای کربن				پسماند تفکیک منابع پسماند به ازای هر واحد محصول	محاسبه ردپای آب						
						دامنه گذاری			میزان انتشار ضریب انتشار (kg CO ₂ e / واحد)		میزان انتشار (kg CO ₂ e)	نوع آب			میزان مصرف	میزان اتلاف	میزان تبخیر
						S1	S2	S3				آبی	سبز	خاکستری			
6	سیلیس	پرکننده و سخت کننده	3	kg					0.015	0.045							
7	لغاب (Glaze)	شامل اکسیدها و ذرات فلزی	1.2	kg					0.25	0.3							
8	بسته بندی (کارتن، فیلم پلاستیکی)	هر مترمربع محصول	0.15	kg					2.0	0.3							
9	چسب یا رزین (Epoxy)	استفاده در برخی محصولات خاص	0.05	kg					3.0	0.15							
10	حمل و نقل مواد اولیه	کامیون از معدن تا کارخانه	3	km·ton					0.12	0.36							





ردیف	گردآوری داده از مالی/انبار/آرشیو و ...					ترجمه به زبان محیط زیست											
	نوع منابع مصرفی	محل مصرف	میزان مصرف	واحد (بعد)	ترجمه اقتصادی / ارزش ریالی	محاسبه ردپای کربن				پسماند تفکیک منابع پسماند به ازای هر واحد محصول	محاسبه ردپای آب						
						دامنه گذاری			میزان انتشار (kg CO ₂ e / واحد)		میزان انتشار (kg CO ₂ e)	نوع آب			میزان اتلاف	میزان مصرف	محل مصرف
						S1	S2	S3				آبی	سبز	خاکستری			
11	حمل و نقل محصول نهایی	تا بازار یا بندر	2	km·ton				0.12	0.24								
12	کاغذ مصرفی اداری	مدارک، بسته بندی ثانویه	0.005	kg				1.0	0.005								
13	خودکار و لوازم تحریر	منابع پشتیبانی ستادی	0.002	kg				4.0	0.008								
14	شیر، چای و پذیرایی کارکنان	منابع غیرمستقیم Scope 3	0.1	L				1.0	0.1								
15	پسماند (دفع در محل دفن)	ضایعات لعاب و خاک	0.1	kg				1.5	0.15								

جمع کل انتشار برای ۱ مترمربع محصول: ۹/۸ تا ۱۰/۵ kg CO₂e / m²

- بخش عمده (بیش از ۷۰٪) انتشار مربوط به گاز طبیعی و برق است (Scope 1) و ۲۰٪ (حدود ۲۰٪) دیگر مربوط به مواد اولیه و حمل و نقل است. منابع غیرمستقیم (مثل کاغذ و شیر) سهم بسیار کمی دارند، اما برای آموزش مفهوم Scope 3 بسیار مفیدند.





پروژه های بهبود سبز

ردیف	پروژه‌های بهبود سبز		محاسبه مجدد							ترجمه مجدد																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
			گردآوری داده از مالی/انبار/آرشیو و ...							ترجمه به زبان محیط‌زیست																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
										ترجمه ارزش ریالی اقتصادی/							محاسبه ردپای کربن			پسماند تفکیک منابع پسماند به ازای هر واحد محصول	محاسبه ردپای آب																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
																	دامنه گذاری				نوع آب			محل مصرف	میزان مصرف	میزان اتلاف	میزان تبخیر																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
واحد (بعد)	میزان مصرف	محل مصرف	نوع منابع مصرفی	فناور محور	سیستم محور	انسان محور	S3	S2	S1	ضریب انتشار (kg CO ₂ e / واحد)	میزان انتشار (kg CO ₂ e)	آبی	سبز	خاکستری																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
۱																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						

