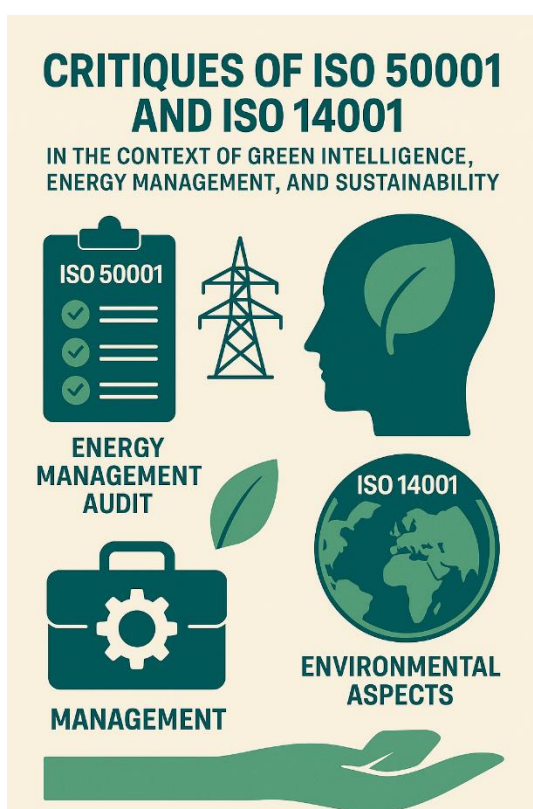


هندبوک دانش سبز ۲۰۲۵ بخش اول فنون ترجمه اقتصاد سازمان به زبان محیط زیست دانش ممیزی انرژی به زبان کربن

نسل چهارم دانش مدیریت و مهندسی سبز، هوش سبز،

و نسبت اقتصاد و محیط زیست،

در نسبت با استانداردهای ISO 50001 و ISO 14001



هندبوک دانش سبز ۲۰۲۵ بخش اول فنون ترجمه اقتصاد سازمان به زبان محیط زیست دانش ممیزی انرژی به زبان کربن

۱. مبانی و چشم انداز نسل چهارم مدیریت و مهندسی سبز

• **نسل چهارم مدیریت سبز یا هوش سبز (Green Intelligence)**، تلفیقی از سه محور است:

- **انسان محور** (رفتار، آموزش، انگیزش)
- **سیستم محور** (مدیریت داده، تصمیم گیری تحلیلی)
- **فناورانه** (نوآوری، دیجیتالی سازی، انرژی های پاک)

در این نسل، محیط زیست از «موضوعی حفاظتی» به «عامل خلق ارزش اقتصادی» تبدیل می شود. انسان نه مصرف کننده بلکه موتور تغییر و بهره وری پایدار است.

هدف نهایی: بازطراحی کل سیستم تولید و تصمیم گیری بر اساس تعادل میان اقتصاد، جامعه و محیط زیست.

۲. نسبت اقتصاد و محیط زیست در اندیشه نسل چهارم

در «کتاب مدیریت کربن»، رابطه ای سه گانه و هم افزا تعریف شده:

ابزار	هدف	حوزه
مدیریت انرژی، بهینه سازی فرآیندها	کاهش هزینه و افزایش بهره وری	اقتصاد
آموزش و مشارکت کارکنان	افزایش آگاهی و مسئولیت پذیری	جامعه
داده محوری، گزارش دهی شفاف، فناوری سبز	کاهش واقعی انتشار	محیط زیست

خلاصه: «اقتصاد سبز» و «محیط زیست سالم» دو روی یک سکه اند، نه در تقابل بلکه در همزیستی و هم افزایی.



هندبوک دانش سبز ۲۰۲۵ بخش اول فنون ترجمه اقتصاد سازمان به زبان محیط زیست دانش ممیزی انرژی به زبان کربن

۳. نقد استانداردهای ISO 50001 و ISO 14001 از دیدگاه نسل چهارم

محور	استاندارد	نقد از منظر هوش سبز
رویکرد	ISO 50001 و ۱۴۰۰۱ ساختاریافته، ولی «ایستا» هستند. بر چرخه PDCA (برنامه ریزی، اجرا، بررسی، اقدام) متکی اند.	در نسل چهارم، صرف PDCA کافی نیست؛ باید «هوش افزوده» (تحلیل داده، یادگیری سازمانی و تصمیم گیری خودکار) وارد شود. هوش سبز چرخه را از PDCA به Learn-Act-Evolve ارتقا می دهد.
نقش انسان	در ISO، کاربر «اجراکننده» الزامات است.	در نسل چهارم، انسان «عامل نوآوری» است. انگیزش، آموزش و مشارکت داوطلبانه محورند، نه صرف انطباق با بندهای استاندارد.
تمرکز داده	ISO 14001 داده محور نیست، بیشتر سند محور است.	هوش سبز بر «داده کاوی زیست محیطی» تأکید دارد KPI — ها، پایش بلادرنگ، داشبورد کربن و انرژی.
دیدگاه سیستمی	ISOها فرآیند محورند ولی نه بین رشته ای.	هوش سبز سیستم را در بستر «اقتصاد-جامعه-محیط زیست» می بیند؛ پیوند بین واحد مالی، تولید و HR برقرار می شود.
نوآوری و یادگیری	ISOابر «بهبود مستمر» تأکید دارد ولی یادگیری سازمانی ندارد.	نسل چهارم می گوید: بدون یادگیری و تحول فرهنگی، بهبود مستمر سطحی است.
پایداری واقعی	ISO 14001انمرکز بر کاهش آلودگی دارد.	نسل چهارم به دنبال «خنثی سازی کربن» (Net Zero) و «خلق ارزش سبز» است. هدف، صفر انتشار است نه صرف کنترل آلودگی.
نگاه به اقتصاد	ISOانگاه هزینه محور دارد.	نسل چهارم نگاه سرمایه گذاری سبز دارد — هر واحد کاهش انرژی، معادل افزایش بهره وری و برند اقتصادی است.

۴. جمع بندی تحلیلی

ایزو ۵۰۰۰۱ و ۱۴۰۰۱ گام های ضروری هستند، اما کافی نیستند.

نقاط قوت آنها:

- چارچوب پایه ای برای انضباط، پایش و مستندسازی.
- کمک به ایجاد نظام داده و فرآیند کنترل شده.

محدودیت ها از نگاه هوش سبز:

- انسان در آنها «منفعل» است.
- اقتصاد و محیط زیست هنوز جدا از هم دیده می شوند.
- هوشمندی داده، پیش بینی، یادگیری و خلق ارزش غایب است.
- نوآوری و فرهنگ سبز در ساختار رسمی آنها ادغام نشده است.





هندبوک دانش سبز ۲۰۲۵ بخش اول فنون ترجمه اقتصاد سازمان به زبان محیط زیست دانش ممیزی انرژی به زبان کربن

بنابراین نقد اصلی این است که ایزوها مدیریت را قانون محور می خواهند، نه آگاه محور. در حالی که نسل چهارم، تحول سبز را در پیوند انسان، داده و تصمیم هوشمند می بیند.

۵. پیشنهاد تکمیلی برای آینده صنایع ایران

با تکیه بر آموزه های اسناد شما:

۱. تلفیق ISO با سامانه های هوشمند داده (AI, IoT, Dashboard کربن).

تا پایش به پیش بینی تبدیل شود.

۲. ایجاد فرهنگ «هوش سبز» درون سازمانی

آموزش کارکنان به عنوان عامل تغییر، نه صرف مجری دستور.

۳. حرکت از ممیزی به آینده پژوهی

پیش بینی ریسک های زیست محیطی و اقتصادی.

۴. طراحی KPI های انسانی و اجتماعی در کنار زیست محیطی

(مثلاً رضایت کارکنان از سیاست های سبز یا نرخ مشارکت در پروژه های بهبود)

۱. تعریف کلاسیک جنبه های زیست محیطی در ISO 14001

در ساختار رسمی ISO 14001،

"جنبه زیست محیطی (Environmental Aspect) یعنی:

«بخشی از فعالیت ها، محصولات یا خدمات سازمان که می تواند بر محیط زیست اثر بگذارد (مثبت یا منفی).»

نمونه ها:

- مصرف انرژی و آب
- تولید پسماند
- انتشار آلاینده ها
- استفاده از مواد شیمیایی
- آلودگی صوتی یا حرارتی

در استاندارد، سازمان باید:

۱. جنبه ها را شناسایی کند.

۲. اثرات آن ها را ارزیابی و رتبه بندی کند.

۳. برای جنبه های «مهم» (Significant Aspects) «برنامه کنترل یا بهبود تدوین نماید.

بنیاد توانمندسازی منابع انسانی ایران





هندبوک دانش سبز ۲۰۲۵ بخش اول فنون ترجمه اقتصاد سازمان به زبان محیط زیست دانش ممیزی انرژی به زبان کربن

این نگاه، توصیفی و واکنشی است:

یعنی «چه چیزی اثر دارد؟» و «چگونه کنترلش کنیم؟»

۲. نگاه نسل چهارم و هوش سبز به جنبه‌های زیست محیطی

در نگاه نسل چهارم دانش مدیریت و مهندسی سبز (هوش سبز) که در اسناد شما آمده است، جنبه‌های زیست محیطی دیگر فقط «نقاط آلودگی» نیستند، بلکه نقاط یادگیری و ارزش آفرینی سازمان‌اند.

یعنی: هر جنبه زیست محیطی، یک فرصت داده برای یادگیری، پیش‌بینی و خلق مزیت اقتصادی است.

۳. تفاوت در نوع نگاه – جدول مقایسه‌ای

هوش سبز (نسل چهارم)	ISO 14001 کلاسیک	محور مقایسه
خلق ارزش از داده‌های زیست محیطی	کنترل اثرات منفی	هدف
شاخص یادگیری و فرصت بهبود	ریسک و تهدید	ماهیت جنبه‌ها
کل زنجیره ارزش (تأمین، مصرف، بازیافت)	درون کارخانه	دامنه تحلیل
تحلیل داده، LCA، KPI، هوش مصنوعی	چک لیست و ممیزی	ابزار ارزیابی
پیش‌نگری، نوآوری، مشارکت انسانی	انفعال در برابر مقررات	رفتار سازمانی
عامل هوشمند تغییر و تصمیم	مجری دستور کنترل	نقش انسان
بینش سیستمی برای پایداری و رقابت	گزارش انطباق	خروجی

۴. بازتعریف عملی جنبه‌های زیست محیطی در چارچوب نسل چهارم

برای درک امروزی از «جنبه‌های زیست محیطی»، باید آن‌ها را در سه لایه تحلیل کنیم:

لایه ۱: جنبه‌های فنی

- مصرف انرژی، آب، مواد اولیه
- انتشار گازهای گلخانه‌ای
- تولید پسماند و فاضلاب

ابزار تحلیل: ممیزی انرژی، LCA، KPI، Carbon Footprint

لایه ۲: جنبه‌های انسانی

- رفتار مصرفی کارکنان
- فرهنگ سازمانی سبز





هندبوک دانش سبز ۲۰۲۵ بخش اول فنون ترجمه اقتصاد سازمان به زبان محیط زیست دانش ممیزی انرژی به زبان کربن

- آموزش و انگیزش برای کاهش اتلاف
- ابزار تحلیل: شاخص مشارکت، آموزش سبز، رضایت کارکنان

لایه ۳: جنبه‌های اقتصادی و سیستمی

- اثر زیست‌محیطی در زنجیره تأمین
 - هزینه و منافع پروژه‌های سبز
 - سرمایه‌گذاری در انرژی‌های پاک
- ابزار تحلیل: ارزیابی فنی-اقتصادی (TEA)، حسابداری کربن، تحلیل چرخه عمر اقتصادی (E-LCA)

در نتیجه: جنبه زیست‌محیطی در نگاه نسل چهارم، فقط «اثر بر طبیعت» نیست، بلکه «تقش هر عامل در تعادل سه‌گانه اقتصاد-انسان-محیط» است.

۵. نقد نهایی بر ISO 14001 در زمینه جنبه‌های زیست‌محیطی

نقد	توضیح
۱. نگاه تک‌بعدی به اثرات	ISO جنبه‌ها را فقط بر اساس "شدت و احتمال اثر" می‌سنجد؛ اما هوش سبز پیشنهاد می‌کند «فرصت اثر مثبت» نیز ارزیابی شود (مثلاً پروژه‌ای که آموزش سبز را تقویت می‌کند).
۲. ضعف در ارتباط با داده و شاخص‌های بلادرنگ	استاندارد عمدتاً بر اسناد و ممیزی سالانه متکی است؛ در حالی که نسل چهارم بر داشبوردهای آنلاین KPI و تحلیل داده‌های واقعی تأکید دارد.
۳. غفلت از بعد انسانی و فرهنگی	ISO فقط به فرآیند می‌پردازد، نه به رفتار. در حالی که رفتار کارکنان می‌تواند ۳۰-۴۰٪ از بهبود زیست‌محیطی را رقم بزند.
۴. محدود بودن به سطح کارخانه	بسیاری از اثرات (مثلاً حمل‌ونقل، مصرف پس از فروش) در ISO لحاظ نمی‌شوند، اما در رویکرد چرخه عمر (LCA) و هوش سبز، بخش جدایی‌ناپذیری هستند.
۵. هدف کنترل، نه نوآوری	ISO به دنبال انطباق است، اما نسل چهارم به دنبال نوآوری سبز و خلق ارزش است.

۶. جمع‌بندی نهایی

در نسل چهارم، «جنبه زیست‌محیطی» فقط بخشی از ممیزی نیست، بلکه زبان داده‌ای است که انسان، فناوری و اقتصاد را برای پایداری در یک سیستم هوشمند به هم پیوند می‌دهد.

به بیان ساده‌تر: ISO 14001 اثر را می‌سنجد، اما هوش سبز معنا را می‌فهمد.



هندبوک دانش سبز ۲۰۲۵ بخش اول فنون ترجمه اقتصاد سازمان به زبان محیط زیست دانش ممیزی انرژی به زبان کربن

LHV (Lower Heating Value)

یا ارزش حرارتی پایین یکی از کلیدی ترین پارامترها در ممیزی انرژی (Energy Audit)

و محاسبه رد پای کربن (Carbon Footprint) است.

۱- تعریف LHV

kJ/kg (یا LHV) یا kJ/m^3 بیانگر مقدار انرژی مفیدی است که از احتراق کامل سوخت آزاد می شود، بدون در نظر گرفتن انرژی نهفته در بخار آب حاصل از احتراق.

به عبارت دیگر، در LHV فرض می شود بخار آب متراکم نمی شود و گرمای نهفته تبخیرش از بین می رود.

- برای سوخت های گازی (مثل گاز طبیعی): بر حسب kJ/m^3
- برای سوخت های مایع یا جامد (مثل گازوئیل، مازوت، زغال سنگ): بر حسب kJ/kg

۲- کاربرد LHV در ممیزی انرژی

در ممیزی انرژی، هدف اندازه گیری و تحلیل کل انرژی مصرفی است. فرمول اصلی برای سوخت ها در فایل شما آمده است:

$$E_{\text{fuel}} = m \times \text{LHV}$$

که در آن:

- (E_{fuel}) انرژی حاصل از سوخت: (MJ یا kJ)
- (m) مقدار سوخت مصرفی: (kg یا m^3)
- (LHV) ارزش حرارتی پایین سوخت

بنابراین:

- هرچه LHV سوخت بیشتر باشد، انرژی مفید بیشتری از مقدار معینی سوخت تولید می شود.



هندبوک دانش سبز ۲۰۲۵ بخش اول فنون ترجمه اقتصاد سازمان به زبان محیط زیست دانش ممیزی انرژی به زبان کربن

- از طریق این محاسبه، می‌توان راندمان بویلرها، مشعل‌ها، و کل فرآیند حرارتی را تعیین کرد.

مثال:

مصرف شود $LHV = 35,000 \text{ kJ/m}^3$ گاز طبیعی با 1000 m^3 اگر

$$E_{\text{fuel}} = 1000 \times 35,000 = 35,000,000 \text{ kJ} = 35 \text{ GJ}$$

این انرژی مبنای محاسبه راندمان تجهیزات و شاخص‌های مصرف ویژه (SEC) است.

۳- کاربرد LHV در محاسبه ردپای کربن

برای محاسبه‌ی ردپای کربن، انرژی حاصل از سوخت باید به انتشار CO_2e تبدیل شود. فرمول پایه‌ای فایل شما چنین است:

$$\text{CO}_2\text{e} = E \times EF$$

که در آن:

- E (به دست می‌آید $(m \times LHV)$ از طریق) انرژی مصرفی:
- EF (Emission Factor) ضریب انتشار: $\text{kg CO}_2\text{e/kJ}$ یا $\text{kg CO}_2\text{e/kWh}$ بر حسب

در نتیجه:

$$\text{CO}_2\text{e} = (m \times LHV) \times EF$$

مثال:

مصرف شود و kg/L و چگالی ≈ 0.84 $LHV = 43,000 \text{ kJ/kg}$ (با) اگر 500 لیتر گازوئیل

$$m = 500 \times 0.84 = 420 \text{ kg}$$

$$E = 420 \times 43,000 = 18,060,000 \text{ kJ} = 18,060 \text{ MJ}$$

$$\text{CO}_2\text{e} = 18,060 \times 0.074 = 1,337 \text{ kgCO}_2\text{e}$$

بنابراین این مقدار نشان‌دهنده‌ی انتشار سالانه یا دوره‌ای CO_2 ناشی از مصرف سوخت است.



هندبوک دانش سبز ۲۰۲۵ بخش اول فنون ترجمه اقتصاد سازمان به زبان محیط زیست دانش ممیزی انرژی به زبان کربن

۴- جمع بندی کاربردها

فرمول کلیدی	توضیح	کاربرد
$(E = m \times LHV)$	محاسبه انرژی حاصل از سوخت برای ارزیابی راندمان تجهیزات	ممیزی انرژی
$(SEC = E_{total} / Product)$	تعیین MJ انرژی مصرفی به ازای واحد محصول	محاسبه شاخص مصرف ویژه (SEC)
$(CO_2e = (m \times LHV) \times EF)$	برآورد انتشار گازهای گلخانه ای ناشی از مصرف سوخت	محاسبه ردپای کربن (CO ₂ e)

هندبوک دانش سبز ۲۰۲۵ بخش اول فنون ترجمه اقتصاد سازمان به زبان محیط زیست دانش ممیزی انرژی به زبان کربن

شاخص‌های عملکرد انرژی (EnPIs)

کاربرد آن در ممیزی انرژی و نقش آن در محاسبه ردپای کربن (Carbon Footprint)

۱- تعریف Energy Performance Indicators (EnPIs)

EnPIs = Energy Performance Indicators «یعنی شاخص‌های عملکرد انرژی».

این شاخص‌ها اعدادی هستند که نشان می‌دهند چقدر انرژی برای تولید یک واحد محصول یا انجام یک فعالیت مصرف می‌شود.

به زبان ساده، EnPI به شما می‌گوید: "برای هر واحد تولید، چقدر انرژی مصرف کرده‌اید؟"

۲- کاربرد EnPIs در ممیزی انرژی

در ممیزی انرژی (Energy Audit)، هدف اصلی این است که:

- بدانیم انرژی کجا و چگونه مصرف می‌شود؛
- نقاط اتلاف را شناسایی کنیم؛
- و بتوانیم کارایی سیستم را قبل و بعد از بهبود مقایسه کنیم.

EnPIs ابزار عددی برای انجام همین مقایسه هستند. دو شاخص اصلی در فایل شما تعریف شده‌اند:

Simple EnPI (الف)

$$\frac{\text{Total Energy Consumption}}{\text{Total Production}} = \text{EnPI}$$

این شاخص نشان می‌دهد چه مقدار انرژی برای تولید کل محصول مصرف شده است. مثلاً اگر کارخانه کاشی در سال ۱۰,۰۰۰ MWh برق و گاز مصرف کرده و ۱,۰۰۰,۰۰۰ مترمربع کاشی تولید کرده:

$$0.01 \text{ MWh/m}^2 = \frac{10,000 \text{ MWh}}{1,000,000 \text{ m}^2} = \text{EnPI}$$

یعنی برای هر مترمربع کاشی، ۰.۰۱ مگاوات ساعت انرژی مصرف شده است.



بنیاد توانمندسازی منابع انسانی ایران



هندبوک دانش سبز ۲۰۲۵ بخش اول فنون ترجمه اقتصاد سازمان به زبان محیط زیست دانش ممیزی انرژی به زبان کربن

(ب) Specific Energy Consumption (SEC):

$$\frac{\text{Energy Consumption}}{\text{Product Amount}} = SEC$$

واحد آن معمولاً kWh/ton یا MJ/m² یا MJ/unit است. SEC شاخص دقیقی تری از EnPI است و برای مقایسه عملکرد در بازه‌های زمانی مختلف استفاده می‌شود.

کاربرد در ممیزی انرژی:

- مقایسه بین خطوط تولید مختلف
- مقایسه قبل و بعد از اقدامات بهینه‌سازی
- تعیین اهداف صرفه‌جویی انرژی
- بررسی اثر تغییرات فرآیند یا بار تولید

۳- نقش EnPIs در محاسبه ردپای کربن (Carbon Footprint)

در محاسبه ردپای کربن، EnPI به عنوان پل بین مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای عمل می‌کند. فرمول پایه ردپای کربن از فایل شما چنین است:

$$CO_2e = E \times EF$$

که در آن (E) همان مصرف انرژی محاسبه شده از EnPI است. بنابراین:

$$EF \times EnPI = \text{Carbon Intensity per product}$$

مثال:

اگر:

- $EnPI = 0.01 \text{ MWh/m}^2$



هندبوک دانش سبز ۲۰۲۵ بخش اول فنون ترجمه اقتصاد سازمان به زبان محیط زیست دانش ممیزی انرژی به زبان کربن

- $EF = 0.6 \text{ kg CO}_2\text{e/kWh}$ ضریب انتشار برق

آنگاه:

$$\text{CO}_2\text{e} = 0.01 \times 1000 \times 0.6 = 6 \text{ kgCO}_2\text{e/m}^2$$

یعنی هر مترمربع محصول ۶ کیلوگرم دی اکسید کربن معادل منتشر می کند.

۴- جمع بندی ارتباط EnPI با ممیزی انرژی و رد پای کربن

مرحله	هدف	نقش EnPI
ممیزی انرژی	تحلیل مصرف انرژی و راندمان تجهیزات	EnPI کمک می کند نقاط اتلاف و بهبود مشخص شوند.
پایش عملکرد انرژی (ISO 50001)	بررسی تغییرات عملکرد در زمان	EnPI مبنای مقایسه قبل/بعد از اقدام بهینه سازی است.
محاسبه رد پای کربن	تبدیل انرژی مصرفی به انتشار گازهای گلخانه ای	EnPI به همراه ضریب انتشار، شدت کربن (Carbon Intensity) را به ازای هر واحد محصول مشخص می کند.



هندبوک دانش سبز ۲۰۲۵ بخش اول فنون ترجمه اقتصاد سازمان به زبان محیط زیست دانش ممیزی انرژی به زبان کربن

نقشه راه اجرایی استقرار مدیریت انرژی و محاسبه ردپای کربن

۱. تشکیل تیم و ساختار مدیریتی

- تعیین حامی اصلی (Top Management Sponsor) در سطح مدیریت ارشد.
- تشکیل یک تیم انرژی و کربن متشکل از: مدیر انرژی، مسئول محیط زیست، نماینده مالی، نماینده تولید و واحد HSE
- تعریف شرح وظایف، اختیارات و برنامه جلسات دوره‌ای تیم.

۲. تعیین خط‌مشی و اهداف

- تدوین خط‌مشی انرژی و کربن شامل تعهد به بهبود مستمر، رعایت الزامات قانونی و حرکت به سمت کربن صفر.
- تعیین اهداف کمی مثلاً کاهش ۱۰٪ مصرف انرژی طی سه سال، کاهش ۲۰٪ انتشار کربن در زنجیره تأمین.
- ابلاغ خط‌مشی و اهداف به کل کارکنان از طریق اطلاعیه‌ها، تابلوها و آموزش‌ها.

۳. جمع‌آوری داده‌ها و تعیین وضعیت موجود (Baseline)

- گردآوری داده‌های مصرف انرژی (برق، گاز، سوخت، بخار، آب) در سطح کل و فرآیندهای اصلی.
- شناسایی منابع انتشار مستقیم (Scope 1) و غیرمستقیم (Scope 2,3)
- استفاده از نرم‌افزار یا اکسل استاندارد برای ثبت داده‌ها.
- تعیین سال مبنا (Baseline Year) برای محاسبات کربنی.

۴. ممیزی انرژی و کربن

- انجام ممیزی انرژی برای شناسایی نقاط اتلاف، ناکارآمدی تجهیزات، و فرصت‌های بهبود.
- محاسبه ردپای کربن بر اساس ضریب انتشار (Emission Factor) برای هر منبع انرژی و فعالیت.
- تهیه گزارش ممیزی انرژی و کربن شامل نقاط پریسک (Hotspot Analysis).

۵. تحلیل و برنامه‌ریزی بهبود

- اولویت‌بندی پروژه‌ها بر اساس اثرگذاری، هزینه، زمان و بازگشت سرمایه (ROI).
- طراحی پروژه‌های بهبود انرژی مانند: بهینه‌سازی بویلرها، نصب سیستم‌های بازیافت حرارت، بهبود روشنایی.



هندبوک دانش سبز ۲۰۲۵ بخش اول فنون ترجمه اقتصاد سازمان به زبان محیط زیست دانش ممیزی انرژی به زبان کربن

- طراحی پروژه‌های کاهش کربن مانند: استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، کاهش سفرهای کاری، جایگزینی سوخت پاک.
- تهیه یک برنامه اقدام (Action Plan) با زمان‌بندی و مسئول مشخص.

۶. پیاده‌سازی و اجرای پروژه‌ها

- اجرای پروژه‌های منتخب به صورت پایلوت یا در مقیاس کامل.
- آموزش و فرهنگ‌سازی کارکنان برای تغییر رفتار مصرف انرژی.
- پایش مستمر روند اجرا با گزارش‌های ماهانه.

۷. پایش، اندازه‌گیری و صحت‌گذاری

- اندازه‌گیری دوره‌ای مصرف انرژی و انتشار کربن پس از اجرای پروژه‌ها.
- مقایسه نتایج با سال مبنا و اهداف تعیین شده.
- استفاده از حسابرسی داخلی یا شخص ثالث برای اعتبارسنجی داده‌ها.
- ثبت نتایج در داشبورد مدیریتی و گزارش‌های داخلی.

۸. گزارش‌دهی و بهبود مستمر

- تهیه گزارش جامع انرژی و کربن بر اساس استاندارد ISO 14064 و پروتکل GHG.
- انتشار گزارش به صورت داخلی (برای مدیریت) و خارجی (برای سهام‌داران، مشتریان و مراجع قانونی).
- بازنگری سالانه خط‌مشی، اهداف و پروژه‌ها بر اساس نتایج.
- تکرار چرخه بهبود (PDCA) برای حرکت به سمت کربن صفر (Net Zero).



هندبوک دانش سبز ۲۰۲۵ بخش اول فنون ترجمه اقتصاد سازمان به زبان محیط زیست دانش ممیزی انرژی به زبان کربن

یک مثال عملی از محاسبه ردپای کربن و ممیزی انرژی در یک صنعت نمونه

مثال: کارخانه سیمان

۱. داده‌های اولیه

یک کارخانه سیمان در سال ۱۴۰۳ داده‌های زیر را گزارش کرده است:

- مصرف برق شبکه: ۵۰,۰۰۰ مگاوات ساعت (MWh)
- مصرف گاز طبیعی: ۳۰ میلیون مترمکعب
- مصرف گازوئیل در دیزل ژنراتورها: ۱۰۰,۰۰۰ لیتر
- حمل و نقل مواد اولیه (کامیون): ۵,۰۰۰,۰۰۰ کیلومتر
- اقامت کارکنان در مأموریت‌ها: ۲,۰۰۰ شب

۲. ممیزی انرژی

در فرآیند ممیزی انرژی، مشخص می‌شود:

- مصرف ویژه انرژی: ۳.۵ (SEC) گیگاژول انرژی برای هر تن کلینکر (در حالی که شاخص جهانی حدود ۳ گیگاژول است).
- نقاط اتلاف:
 - بویلرهای قدیمی با راندمان پایین.
 - درایوهای مکانیکی بدون اینورتر.
 - روشنایی قدیمی (لامپ‌های پرمصرف).
- فرصت‌های بهبود:
 - نصب سیستم بازیافت حرارت → (WHR) صرفه جویی ۱۰٪ برق.
 - جایگزینی اینورتر در موتورهای بزرگ → صرفه جویی ۵٪ انرژی الکتریکی.
 - تعویض روشنایی با LED → صرفه جویی ۲٪ انرژی الکتریکی.

۳. محاسبه ردپای کربن

برای محاسبات از ضریب انتشار (Emission Factor) استاندارد استفاده می‌کنیم:

- برق شبکه: $183 \text{ kgCO}_2\text{e/MWh}$
- گاز طبیعی: $22.0 \text{ kgCO}_2\text{e/m}^3$



بنیاد توانمندسازی منابع انسانی ایران



هندبوک دانش سبز ۲۰۲۵ بخش اول فنون ترجمه اقتصاد سازمان به زبان محیط زیست دانش ممیزی انرژی به زبان کربن

- گازوئیل: $2.68 \text{ kgCO}_2\text{e/L}$
- کامیون باری: $0.9 \text{ kgCO}_2\text{e/km}$
- اقامت هتل: $29.53 \text{ kgCO}_2\text{e/شبه}$

محاسبات:

1. برق: $50,000 \times 183 = 9,150,000 \text{ kgCO}_2\text{e}$
2. گاز طبیعی: $30,000,000 \times 2.0 = 60,000,000 \text{ kgCO}_2\text{e}$
3. گازوئیل: $100,000 \times 2.68 = 268,000 \text{ kgCO}_2\text{e}$
4. حمل و نقل: $5,000,000 \times 0.9 = 4,500,000 \text{ kgCO}_2\text{e}$
5. اقامت کارکنان: $2,000 \times 29.53 = 59,060 \text{ kgCO}_2\text{e}$

۴. جمع بندی انتشار سالانه

- $\text{CO}_2\text{e کل انتشار} = 9,150,000 + 60,000,000 + 268,000 + 4,500,000 + 59,060 = 73,977,060 \text{ kgCO}_2\text{e}$
در سال CO_2e تن $73,977 \approx$

۵. تحلیل و نتیجه گیری

- بیشترین سهم انتشار مربوط به گاز طبیعی ۸۱٪ است.
- پروژه های بهبود انرژی در مرحله ممیزی WHR، اینورتر، LED می تواند در مجموع حدود ۱۵٪ کاهش مصرف انرژی الکتریکی و ۱۰٪ کاهش انتشار کلی ایجاد کند.
- با اجرای پروژه های انرژی تجدیدپذیر (مثل نصب پنل خورشیدی ۵ مگاواتی)، می توان انتشار برق را تا ۲۰٪ دیگر کاهش داد.

۶. گزارش دهی

- نتایج در قالب گزارش ممیزی انرژی و کربن تهیه می شود.
- گزارش شامل: داده های مبنا، روش محاسبات، نمودار سهم انتشار (Scope 1, 2, 3)، پیشنهاد پروژه های بهبود و محاسبه صرفه جویی.
- گزارش برای مدیریت و ذی نفعان ارسال می شود و مبنای برنامه ریزی کربن زدایی کارخانه قرار می گیرد.



فرمول کلی محاسبه انتشار گازهای گلخانه‌ای (CO₂e)

۱) تبدیل گازهای گلخانه‌ای به CO₂e

$$\{ \dots, \text{CO}_2, \text{CH}_4, \text{N}_2\text{O} \} \ni i, (i, 100 m_i \times \text{GWP}) \sum_i = \text{CO}_2\text{e}$$

۲) انتشار ناشی از احتراق سوخت (سوخت‌های فسیلی)

$$\begin{aligned} \frac{44}{12} \times F \times \text{NCV} \times \text{EF}_C \times \text{OXID} &= {}_2\text{CO}E \\ {}_4\text{CH}F \times \text{NCV} \times \text{EF} &= {}_4\text{CH}E \\ \text{N}_2\text{O}F \times \text{NCV} \times \text{EF} &= \text{N}_2\text{O}E \\ \text{N}_2\text{O}E {}_2\text{CO} + E {}_4\text{CH} \times \text{GWP} {}_4\text{CH} + E \text{N}_2\text{O} \times \text{GWP} &= \text{CO}_2\text{e} \end{aligned}$$

- F : مقدار سوخت (t یا m³)
- NCV : ارزش حرارتی خالص (TJ/واحد)
- EF_C (tC/TJ), $\text{EF}_{{}_4\text{CH}}$ (kg/TJ), $\text{EF}_{\text{N}_2\text{O}}$ (kg/TJ)
- OXID : ضریب اکسیداسیون (۰-۱)

۳) برق خریداری شده (Scope 2)

$$\text{gridEF} \times \text{grid}E = \text{برق CO}_2\text{e}$$

- $\text{grid}E$: برق مصرفی (MWh)
- gridEF : ضریب انتشار شبکه (tCO₂e/MWh)



هندبوک دانش سبز ۲۰۲۵ بخش اول فنون ترجمه اقتصاد سازمان به زبان محیط زیست دانش ممیزی انرژی به زبان کربن

۴) حرارت/بخار خریداری شده (Scope 2)

$$CO_2e \text{ حرارت} = Q_{\text{steam/heat}} \times EF_{\text{steam/heat}}$$

• Q : انرژی خریداری شده (MWh یا GJ)

۵) حمل و نقل (Scope 1/3)

بر مبنای سوخت:

$$CO_2e = V_{\text{fuel}} \times EF_{\text{fuel}}$$

بر مبنای مسافت:

$$CO_2e = d \times EF_{\text{km}}$$

۶) فعالیت های غیرانرژی بر (نمونه ها)

- اقامت: $CO_2e = N_{\text{شب}} \times EF_{\text{هتل}}$
- پرواز: $CO_2e = P \times d \times EF_{\text{پرواز}}$ یا $CO_2e = P \times EF_{\text{segment}}$
- مواد/غذا/آب/کاغذ: $CO_2e = \text{Activity} \times EF_{\text{مربوط}}$

۷) جمع کل ردپای کربن

$$CF_{\text{کل}} = \sum_j (A_j \times EF_j)$$

- A_j : مقدار فعالیت j
- EF_j : ضریب انتشار فعالیت j



۸) شدت انتشار (Carbon Intensity)

$$CI = \frac{CF_{\text{کل}}}{\text{خروجی تولید}} \quad (\text{tCO}_2\text{e} / \text{تن محصول})$$

۹) ممیزی انرژی — شاخص‌ها

مصرف ویژه انرژی (SEC):

$$SEC = \frac{E_{\text{کل}}}{\text{خروجی تولید}} \quad (\text{MJ یا kWh} / \text{واحد})$$

شاخص عملکرد انرژی (EnPI):

$$EnPI = \frac{E}{\text{عامل نرمال سازی}}$$

(عامل نرمال سازی: تولید، درجه روز، ساعت کارکرد، ...)

۱۰) صرفه جویی انرژی و کربن پس از پروژه

$$\Delta E = E - E_{\text{پایه پس از اجرا}}$$

$$\% \text{ کاهش انرژی} = \left(\frac{EnPI_{\text{پس از}}}{EnPI_{\text{پایه}}} - 1 \right) \times 100$$

$$CO_2e \text{ صرفه جویی} = \Delta E \times EF$$

۱۱) تنظیم خط مبنا (نرمال سازی)

$$E_{\text{پایه، تنظیم شده}} = EnPI \times \text{عامل نرمال سازی دوره مقایسه}$$



۱۲) تجميع بر اساس Scope

$$\begin{aligned} \sum (A \times EF)_{\text{انتشار مستقیم}} &= s_1 CF \\ \sum (E \times EF)_{\text{برق/حرارت خریداری شده}} &= s_2 CF \\ \sum (A \times EF)_{\text{سایر غیر مستقیم}} &= s_3 CF \\ s_3 CF + s_1 CF + s_2 CF &= \text{کل CF} \end{aligned}$$

۱۳) عدم قطعیت ساده (اختیاری)

$$\sqrt{\sum_k \left(\frac{f}{u} \frac{\partial f}{\partial u} \right)^2} \approx U_{\text{نتیجه}}$$

(برای تابع f از ورودی‌های u_k با عدم قطعیت u_k)

۱۴) بازگشت سرمایه پروژه انرژی (ساده)

$$SPP = \frac{\text{هزینه سرمایه‌گذاری}}{\text{صرفه‌جویی سالانه ریالی}}$$

نکته واحدها:

$1 \text{ tCO}_2\text{e} = 1000 \times \text{kgCO}_2\text{e}$ ، $1 \text{ MWh} = 3.6 \text{ GJ}$ ، استفاده از EF در واحد سازگار با فعالیت.



هندبوک دانش سبز ۲۰۲۵ بخش اول فنون ترجمه اقتصاد سازمان به زبان محیط زیست دانش ممیزی انرژی به زبان کربن

ممیزی انرژی صنعتی تجهیزات اصلی مصرف کننده انرژی

ممیزی انرژی در صنعت براساس تجهیزات

۱. دیگ بخار (Boiler)

• شاخص‌ها:

- راندمان دیگ = $\frac{Q_{\text{بخار مفید}}}{Q_{\text{سوخت ورودی}}}$
- تلفات دودکش = محاسبه بر اساس دمای دود و ترکیب گازهای خروجی.
- فرمول کلیدی:

$$\frac{m_{\text{steam}} \times (h_{\text{steam}} - h_{\text{feedwater}})}{m_{\text{fuel}} \times \text{NCV}} = \text{Boiler } \eta$$

- فرصت‌های بهبود: عایق کاری، کنترل O_2 ، بازیافت حرارت دودکش، بهبود کیفیت آب تغذیه.

۲. سیستم هوای فشرده (Compressed Air)

• شاخص‌ها:

- انرژی مصرفی کمپرسور بر حسب kWh/m^3 هوای فشرده.
- نشستی سیستم (% حجم).
- فرمول کلیدی:

$$\frac{P_{\text{هوا}} (\text{kW})}{P_{\text{ورودی}} (\text{kW})} = \text{Compressor } \eta$$

- فرصت‌های بهبود: کاهش نشستی، تنظیم فشار، استفاده از VSD (درایو دور متغیر)، بازیافت حرارت از کمپرسور.

۳. موتورهای الکتریکی (Electric Motors)

• شاخص‌ها:

- راندمان موتور = $\frac{P_{\text{خارجی}}}{P_{\text{ورودی}}}$
- ضریب بار (Load Factor).
- فرمول کلیدی:

$$\frac{P_{\text{واقعی}}}{P_{\text{نامی}}} = \text{Load Factor}$$

- فرصت‌های بهبود: جایگزینی موتورهای راندمان بالا (IE3/IE4)، نصب اینورتر، نگهداری منظم.



۴. سیستم روشنایی (Lighting)

• شاخص‌ها:

- شدت روشنایی (Lux) در مقابل توان مصرفی (W).
- LPD (Lighting Power Density) = وات بر مترمربع.

• فرمول کلیدی:

$$\frac{\text{Lighting } P}{\text{Floor } A} = \text{LPD}$$

- فرصت‌های بهبود: جایگزینی LED، نصب سنسور حضور و نور طبیعی (Daylight Control).

۵. سیستم HVAC (گرمایش، سرمایش و تهویه)

• شاخص‌ها:

$$\frac{\text{Cooling/Heating } Q}{\text{Input } W} = \text{COP (Coefficient of Performance)}$$

• فرمول کلیدی:

$$\frac{Q}{W} = \text{COP}$$

- فرصت‌های بهبود: نگهداری منظم چیلرها، بازیافت حرارت، بهبود عایق کاری، استفاده از BMS (سیستم مدیریت ساختمان).

۶. کوره‌ها و فرآیندهای حرارتی (Furnaces & Kilns)

• شاخص‌ها:

$$\text{مصرف ویژه انرژی (SEC) = MJ/تن محصول.}$$

• فرمول کلیدی:

$$\frac{E_{\text{کل}}}{\text{تناژ محصول}} = \text{SEC}$$

- فرصت‌های بهبود: عایق کاری نسوزها، کنترل دقیق احتراق، بازیافت حرارت از گازهای خروجی.



هندبوک دانش سبز ۲۰۲۵ بخش اول فنون ترجمه اقتصاد سازمان به زبان محیط زیست دانش ممیزی انرژی به زبان کربن

۷. پمپ ها و فن ها

• شاخص ها:

• راندمان $\frac{Q \times H}{P}$ (برای پمپ).

• راندمان $\frac{Q \times \Delta P}{P}$ (برای فن).

• فرمول کلیدی:

$$\frac{Q \times H \times \rho \times g}{P_{\text{input}}} = \eta$$

• فرصت های بهبود: تنظیم پره ها، نصب VSD، حذف افت فشارهای غیرضروری.

جمع بندی

- در ممیزی انرژی صنعتی، هر تجهیز یک مرجع جداگانه برای محاسبه راندمان و فرصت بهبود دارد.
- داده های ممیزی معمولاً شامل: توان ورودی، محصول خروجی، وضعیت بهره برداری، و شرایط محیطی است.
- با استفاده از این شاخص ها، می توان پروفایل انرژی کارخانه را ترسیم و پروژه های کاهش مصرف را اولویت بندی کرد.

جدول ممیزی انرژی در یک نگاه

Equipment	Key Indicator	Main Formula	Improvement Opportunities
Boiler	Boiler efficiency, flue losses	$\eta = (m_{\text{steam}} \times (h_{\text{steam}} - h_{\text{feed}})) / (m_{\text{fuel}} \times \text{NCV})$	Insulation, O ₂ control, heat recovery
Compressed Air System	Compressor efficiency, leakage rate	$\eta = P_{\text{air}} / P_{\text{in}}$	Leak reduction, VSD, heat recovery
Electric Motors	Motor efficiency, Load Factor	Load Factor = $P_{\text{actual}} / P_{\text{rated}}$	High efficiency motors, VSD, maintenance
Lighting System	Illuminance, LPD (W/m ²)	$\text{LPD} = P_{\text{lighting}} / A$	LED, occupancy/daylight sensors
HVAC System	COP (Coefficient of Performance)	$\text{COP} = Q / W$	Chiller maintenance, BMS, heat recovery
Furnaces & Kilns	SEC (MJ/ton of product)	$\text{SEC} = E_{\text{total}} / \text{Product output}$	Insulation, combustion control, heat recovery
Pumps & Fans	Hydraulic/Aerodynamic efficiency	$\eta = (Q \times H \times \rho \times g) / P_{\text{input}}$	VSD, impeller optimization, pressure drop reduction

هندبوک دانش سبز ۲۰۲۵ بخش اول فنون ترجمه اقتصاد سازمان به زبان محیط زیست دانش ممیزی انرژی به زبان کربن

جدول مرجع سریع ممیزی انرژی براساس تجهیزات

فرصت‌های بهبود	فرمول اصلی	شاخص کلیدی	تجهیز
عایق کاری، کنترل O ₂ ، بازیافت حرارت	$\eta = (m_{\text{steam}} \times (h_{\text{steam}} - h_{\text{feed}})) / (m_{\text{fuel}} \times \text{NCV})$	راندمان دیگ، تلفات دودکش	دیگ بخار (Boiler)
کاهش نشتی، VSD، بازیافت حرارت	$\eta = P_{\text{هوای}} / P_{\text{ورودی}}$	راندمان کمپرسور، درصد نشتی	سیستم هوای فشرده
موتور راندمان بالا، اینورتر، نگهداری	Load Factor = $P_{\text{نامی}} / P_{\text{واقعی}}$	راندمان موتور، Load Factor	موتورهای الکتریکی
سنسور حضور و LED، نور طبیعی	$\text{LPD} = P_{\text{Lighting}} / A$	شدت روشنایی، LPD (W/m ²)	سیستم روشنایی
نگهداری چیلر، BMS، بازیافت حرارت	$\text{COP} = Q / W$	(ضریب عملکرد) COP	سیستم HVAC
عایق کاری، کنترل احتراق، بازیافت حرارت	کل / تناژ = $\text{SEC} = \text{E}_{\text{ناژ}} / \text{محصول}$	SEC (MJ/ton محصول)	کوره‌ها و فرآیندهای حرارتی
VSD، بهینه‌سازی پره‌ها، کاهش افت فشار	$\eta = (Q \times H \times \rho \times g) / P_{\text{input}}$	راندمان هیدرولیکی/آیرودینامیکی	پمپ‌ها و فن‌ها