

بسم الله الرحمن الرحيم

تولید برق از گرمای زائد کارخانجات سیمان (WHR)

توسعه
پایدار
سایپرا



Sapra
Sustainable
Development

توسعه
پایدار
سایپرا



Sapra
Sustainable
Development

معرفی

تکنولوژی

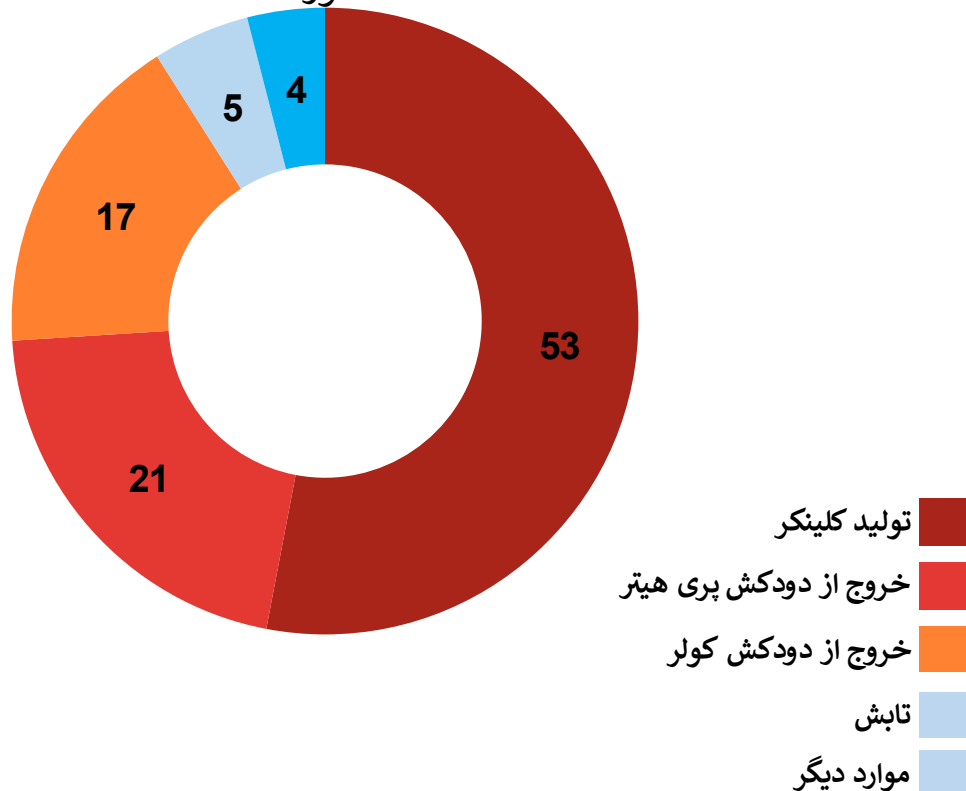
اقتصاد

محیط زیست

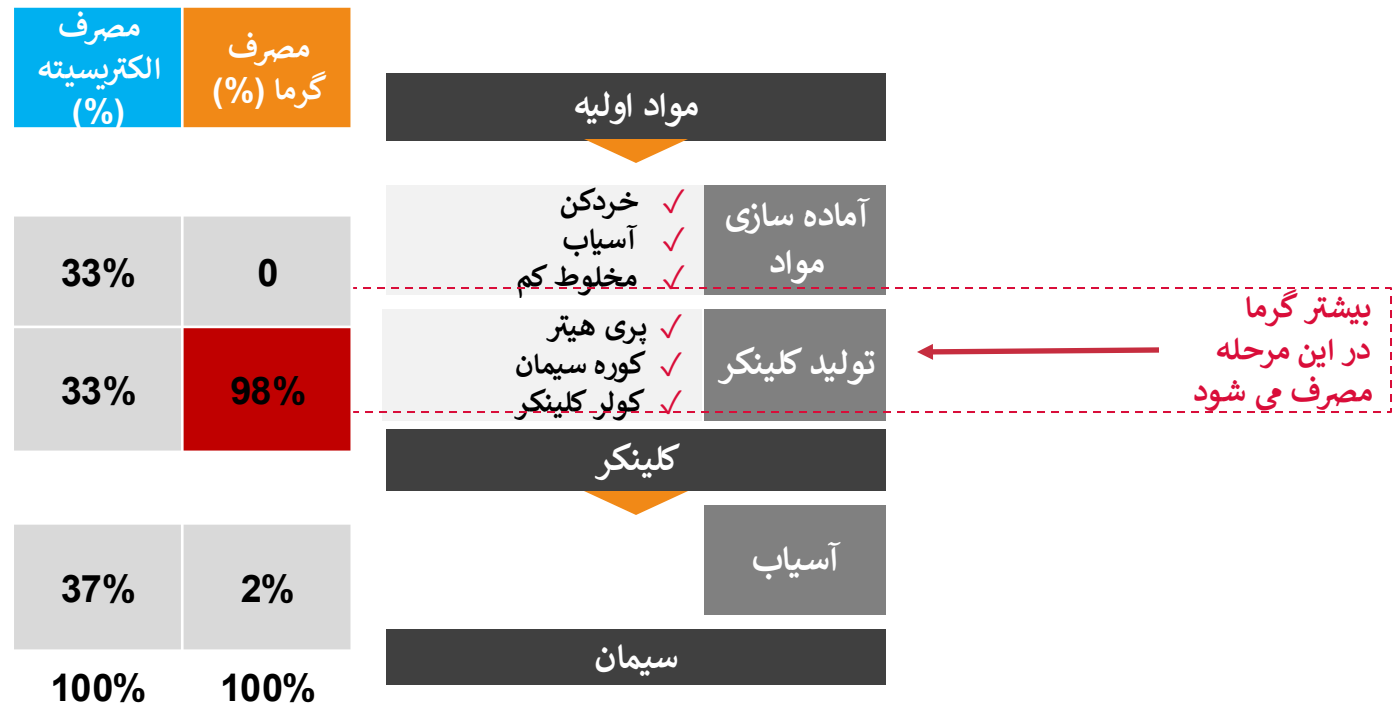
مشکل چیست :

مصرف بالای انرژی و الکتریسیته و همچنین آلودگی زیست محیطی بالای کارخانجات سیمان از مشکلات این حوزه می باشد. تولید هر تن سیمان حدود ۴۰۰۰ مگاژول انرژی نیاز دارد همچنین حدود ۴۰% کل انرژی ورودی به هدر می رود .

درصد سهم هر بخش از گرمای مصرفی در سیستم کوره



فرایند تولید سیمان و مصرف انرژی



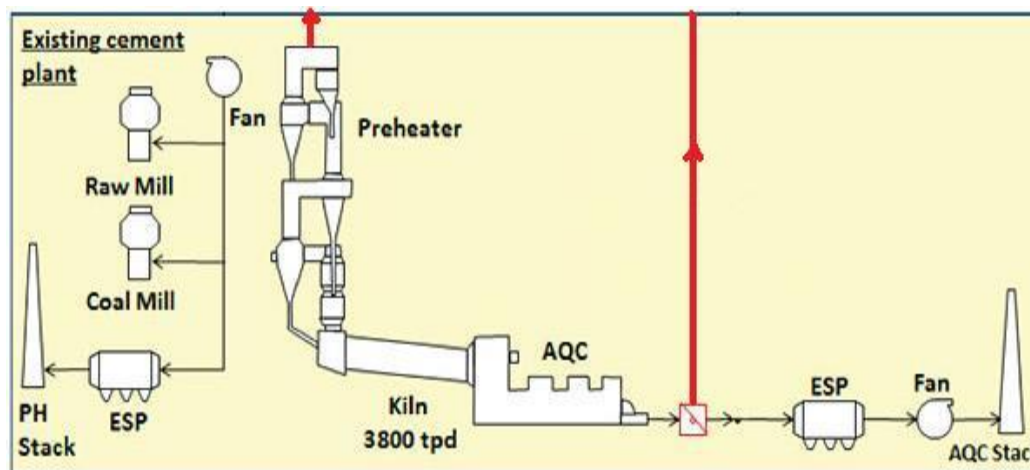
برای تولید سیمان 4 گیگاژول انرژی به ازای هر تن سیمان نیاز است. بیشتر این انرژی به صورت گرما در مرحله تولید کلینکر مصرف می شود

تبدیل تهدید به فرصت:

مقدار زیادی گرما از دودکش پری هیتر و کولر کلینکر به اتمسفر نشر و هدر می رود. و این پدیده تهدید برای بخش انرژی است اما فناوری WHR یا بازیافت حرارت هدررفته می تواند با تبدیل دوباره انرژی هدر رفته به برق این تهدید را به یک فرصت استراتژیک تبدیل کرد.

حرارت خروجی از
پری هیتر در C
300

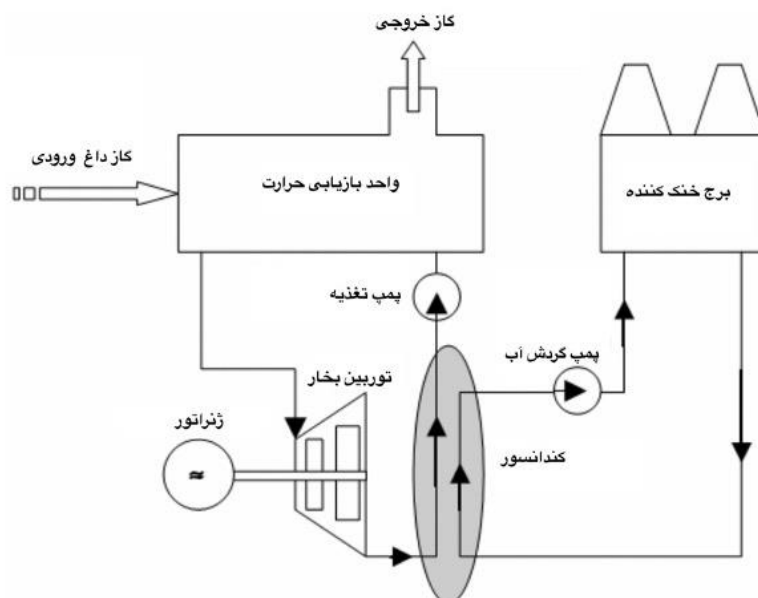
حرارت خروجی از
کولردر C 350



شکل سیماتیک واحد سیمان و منابع اصلی نشر گرما

آشنایی با فناوری : WHR

- در بسیاری از صنایع انرژی بر مانند سیمان، فولاد، پتروشیمی و پالایشگاه‌ها، بخش زیادی از انرژی ورودی به شکل گرمای هدررفته از بین می‌رود. این اتلاف می‌تواند از دودکش‌ها، گازهای خروجی، تجهیزات داغ یا حتی سطوح گرم باشد.
- فناوری بازیافت حرارت هدررفته (WHR) راهکاری برای استفاده دوباره از این انرژی پنهان است. در این سیستم، گرمای اتلاف‌شده جذب و به برق، بخار یا آب گرم تبدیل می‌شود؛ بدون نیاز به مصرف سوخت اضافه.
- WHR در واقع یک منبع انرژی دوم از دل همان فرآیند تولید ایجاد می‌کند (ساده، قابل اعتماد و اقتصادی).



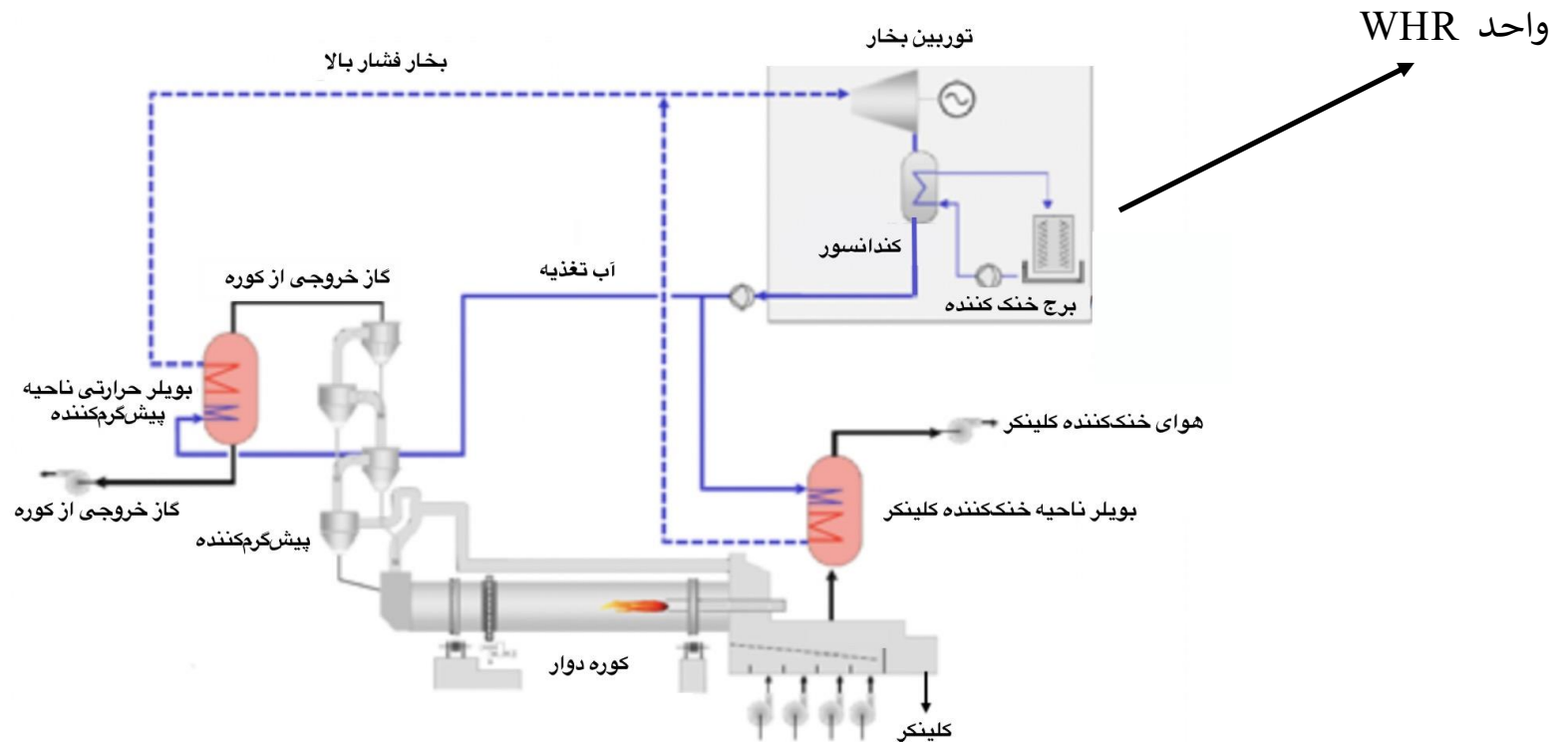
شکل ساده شده مدار WHR



WHR راهبردی برای صنعت سیمان ایران :

- صنعت سیمان ایران طی سال های گذشته با چالش جدی تأمین انرژی مواجه بوده است . طبق پیش بینی انجمن کارفرمایان صنعت سیمان ایران ، تولید سیمان باید تا سال ۱۴۰۲ به بیش از ۱۰۰ میلیون تن می رسد، اما این رقم در عمل تنها حدود ۷۰ میلیون تن باقی مانده است؛ سطحی معادل تولید سال ۱۳۹۲.
- کمبود گاز در زمستان و قطعی برق در تابستان، یکی از دلایل های اصلی این رکود است . این کمبودها باعث شده اند نسبت تولید به ظرفیت نصب شده به شکل محسوسی کاهش یابد.
- نتیجه این وضعیت، کاهش سودآوری شرکت ها و افت رقابت پذیری در بازارهای داخلی و صادراتی است . در چنین شرایطی، فناوری WHR به عنوان یک راهکار برای تأمین انرژی پایدار از درون خود فرآیند، ارزش ویژه ای دارد.
- شرکت ساپرا از اوایل دهه ۱۳۹۰ با درک اهمیت این چالش، مطالعات لازم برای انتقال و بومی سازی بخشی از فناوری WHR را آغاز کرد و امروز آماده ارائه راهکارهای اجرایی و قابل اعتماد برای صنعت سیمان کشور است.
- بسیاری از کشور های بزرگ در تولید سیمان از این فناوری بهره مند هستند (برای مثال چین در سال ۲۰۱۱ استفاده از فناوری WHR را برای صنایع سیمان اجباری کرد) (استفاده از این فناوری می تواند در رقابت با برندهای خارجی موثر باشد .

راه حل:
 تکنولوژی WHR قسمتی از گرمای هدر رفته را به الکتریسیته تبدیل می کند. از این روش می توان در حدود 30% الکتریسیته مورد نیاز کارخانه سیمان را تولید کرد.



شکل سیماتیک واحد سیمان و فناوری WHR

مزیت شرکت توسعه پایدار ساپرا: شرکت توسعه پایدار ساپرا تکنولوژی WHR را با توجه به امکانات موجود در کشوربومی کرده است. همچنین این شرکت با شرکت های EPC مشهور فعال در حوزه WHR همکاری می کند.

- شرکت ما آگاهی کامل از وضعیت بازار سیمان ایران، کارخانجات سیمان و پتانسیل موجود برای تولید برق به روش WHR داشته و همچنین استراتژی های ثابت شده ای برای راه اندازی این فناوری در ایران دارد.

آگاهی کامل از بازار داخلی

- این شرکت تیمی بسیار قوی و باتجربه از افراد حاضر در کشور و افراد خارجی را در اختیار داشته که به کمک آن ها می تواند تمامی نیازهای کارفرمایان در مراحل مهندسی، خرید کالا، نصب و راه اندازی را رفع کند

تسلط کامل به فناوری WHR

- این شرکت قراردادهای همکاری با شرکت های EPC بین المللی داشته که تا کنون بیش از 300 واحد WHR در جای جای دنیا طراحی، نصب و راه اندازی کرده اند. در کنار آن این شرکت با شرکت های توانمند داخلی همکاری می کند.

همکاران بین المللی و داخلی توانمند

توسعه
پایدار
سایپرا



Sapra
Sustainable
Development

معرفی

تکنولوژی

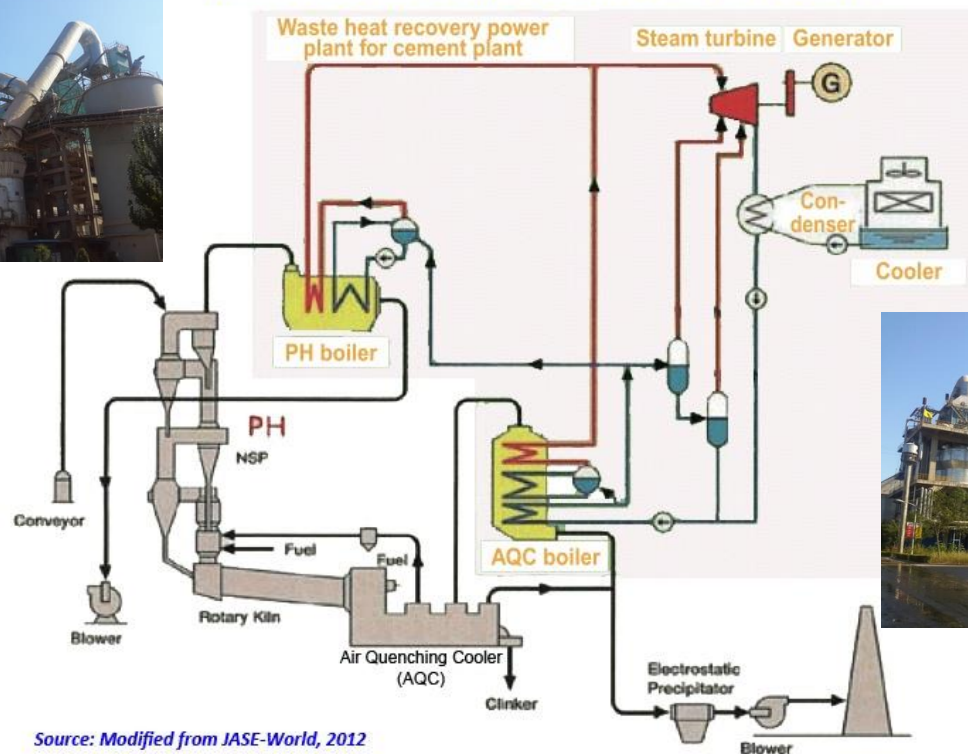
اقتصاد

محیط زیست

شکل شماتیک سیستم WHR از توانمندی های شرکت های مشاور بین المللی ما



Waste Heat Recovery System for Cement Plants



پتانسیل موجود در کارخانجات سیمان: به طور متوسط 30% برق مصرفی در کارخانه می تواند توسط فناوری WHR تولید شود.

ظرفیت کارخانه (تن در روز)	مقدار برق تولیدی (مگاوات)
3000	3.0 – 5.5
3300	3.5 – 6.2
5000	5.0 – 9.0



همکاران بین المللی ما: همکاران ما تجربه فراوانی در طراحی، نصب و راه اندازی سیستم WHR در دنیا دارند. آن ها در حدود 300 واحد در کارخانجات سیمان و 350 واحد در دیگر صنایع نصب کرده اند.

به روز ترین فناوری

همکاران بین المللی ما جدیدترین انواع تکنولوژی WHR را در اختیار دارند. آن ها از تکنولوژی نسل دوم سیستم های تولید برق به روش سیکل بخار استفاده می کنند.

تجربه خوب

- همکاران بین المللی ما واحدهای بسیاری را در کشورهای مختلف همچون چین، هندوستان، تایلند، ترکیه، پاکستان، عربستان سعودی و دیگر کشورها نصب کرده و همچنین واحدهای بسیاری را در صنایع دیگر همچون صنایع فولاد، شیشه، پتروشیمی و نصب کرده اند
- تجربه خوب شرکت های همکار ما امکان خطا در طراحی، نصب و راه اندازی سیستم WHR را به حداقل می رساند.

مشارکت های کاربردی

- شرکت های همکار ما با شرکت هایی که لیسانس این تکنولوژی را دارند مشارکت دارند.

بر طبق تجربیات گذشته: نصب سیستم WHR بر روی تجهیزات کارخانه سیمان تاثیری نمی گذارد. برای اتصال واحد WHR به مابقی کارخانه تنها بین 15 تا 20 روز (زمان اورهال) نیاز است.

❖ اضافه نمودن WHR، تغییری در تجهیزات و سیستم کارخانه موجود، مصرف سوخت و همچنین در کیفیت سیمان تولیدی ایجاد نمیکند.

❖ زمان اجرای پروژه به صورت EP، 11 ماه و به صورت EPC، 18 ماه میباشد). برای پروژه های انجام شده در چین)

❖ زمان توقف کارخانه برای اجرای WHR، حدود 10 تا 15 روز برای اتصال داکتها میباشد که میتواند همزمان با اورهال کارخانه انجام پذیرد.

❖ زمان بهره برداری در کارخانجات سیمان حدود 300 روز در سال می باشد.

❖ همکاری و هماهنگی بین اتاق کنترل مرکزی کارخانه (CCR) و اتاق کنترل WHR پارامتر مهمی بعد از اجرای پروژه می باشد.

❖ حدود 90 درصد کارخانجات سیمان در کشور چین، از سیستم WHR بهره میبرند.

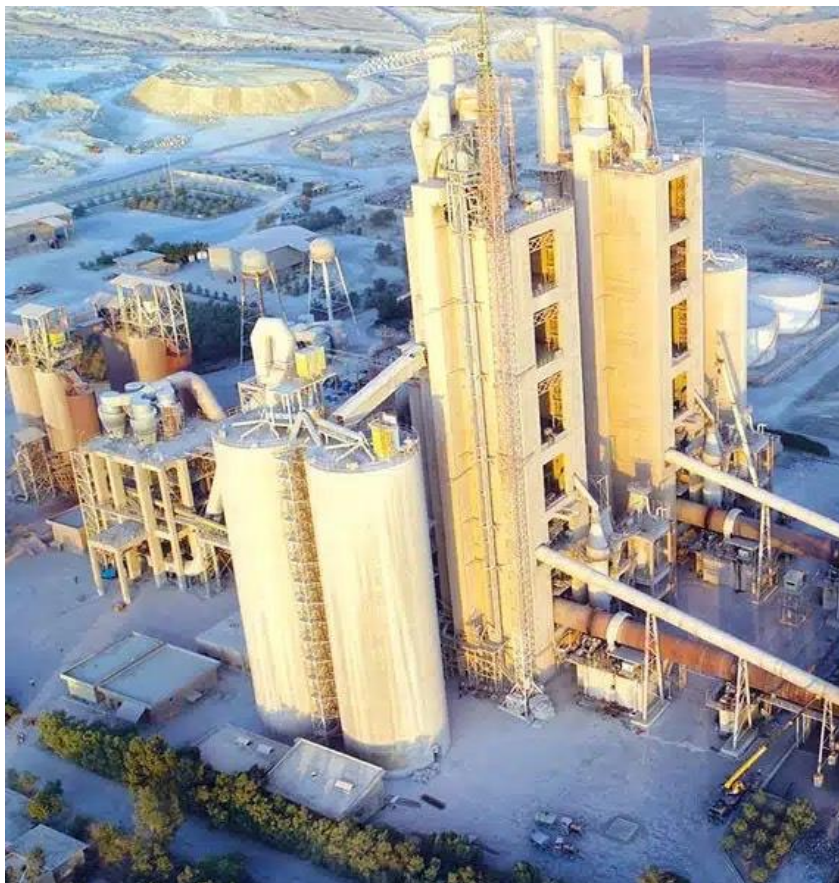
بازدید از واحد WHR در چین: کارخانه سیمان مورد نظر بسیار تمیز بوده و سیستم WHR نیز در فرایند آن هیچ مشکلی ایجاد نکرده است.

AQC
Boiler



PH
Boiler

مزیت استراتژیک فناوری WHR



فناوری WHR فقط یک راهکار فنی نیست، بلکه ابزاری استراتژیک برای کاهش ریسک، افزایش بهره‌وری و ایجاد مزیت رقابتی پایدار.

- کاهش پایدار هزینه‌های برق و گاز با تولید داخلی انرژی
 - حفظ تولید در شرایط بحرانی مانند قطعی گاز یا برق
 - کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و پاسخ به الزامات زیست‌محیطی
 - تقویت جایگاه صادراتی در بازارهایی با حساسیت محیط‌زیستی
 - ارتقای بهره‌وری، سودآوری و تصویر برند صنعتی
- استفاده از WHR، سرمایه‌گذاری برای امنیت انرژی و آینده پایدار کارخانه است.

WHR گامی واقعی به سوی توسعه پایدار :

توسعه پایدار یعنی تأمین نیازهای امروز بدون به خطر انداختن منابع فردا. فناوری بازیافت حرارت (WHR) با عملکرد مؤثر در سه بعد اصلی توسعه پایدار، انتخابی هوشمندانه برای آینده صنعت است:

پایداری زیست محیطی

- کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و کاهش انتشار گازهای آلاینده (CO_2)، NO_x ، D_2
- ارتقای برند به عنوان صنعت سبز و کمک به دریافت استانداردهای زیست محیطی
- تقویت برندینگ سبز: ما انرژی را هدر نمی‌دهیم، آن را دوباره زنده می‌کنیم

پایداری اقتصادی

- کاهش مستقیم هزینه‌های انرژی و افزایش بهره‌وری خطوط تولید
- کاهش ریسک‌های مرتبط با افت فشار گاز یا قطعی برق
- افزایش رقابت‌پذیری داخلی و صادراتی

پایداری اجتماعی

- حفظ اشتغال و پایداری تولید در شرایط بحران انرژی
- ایفای نقش در مسئولیت اجتماعی شرکت و بهبود تصویر عمومی
- حمایت از نسل‌های آینده با حفظ منابع و امنیت انرژی کشور



مقایسه با رقبا:

مزایای فناوری (WHR) بازیافت حرارت اتلاfi (نسبت به نیروگاه خورشیدی در کارخانه‌های سیمان - ویژه ایران ۱. پایداری و تداوم تولید برق

• WHR به صورت ۲۴ ساعته کار می‌کند و وابسته به تابش خورشید نیست



• برخلاف خورشیدی، نیاز به سیستم ذخیره‌سازی پرهزینه ندارد

• مناسب برای ماهیت شبانه‌روزی خطوط تولید سیمان ۲. سازگاری با شرایط صنعتی و اقلیمی ایران

• محیط کاری کارخانه‌های سیمان در مناطق پرگردوغبار است.

• گردوغبار باعث کاهش راندمان پنل‌های خورشیدی می‌شود

• WHR به محیط بیرونی حساس نیست و در داخل فرایند تولید نصب می‌شود

• فناوری های بکار رفته در WHR برای صنایع ایران کاملا شناخته

شده هستند مانند بویلر و توربین بخار

توسعه
پایدار
سایپرا



Sapra
Sustainable
Development

معرفی

تکنولوژی

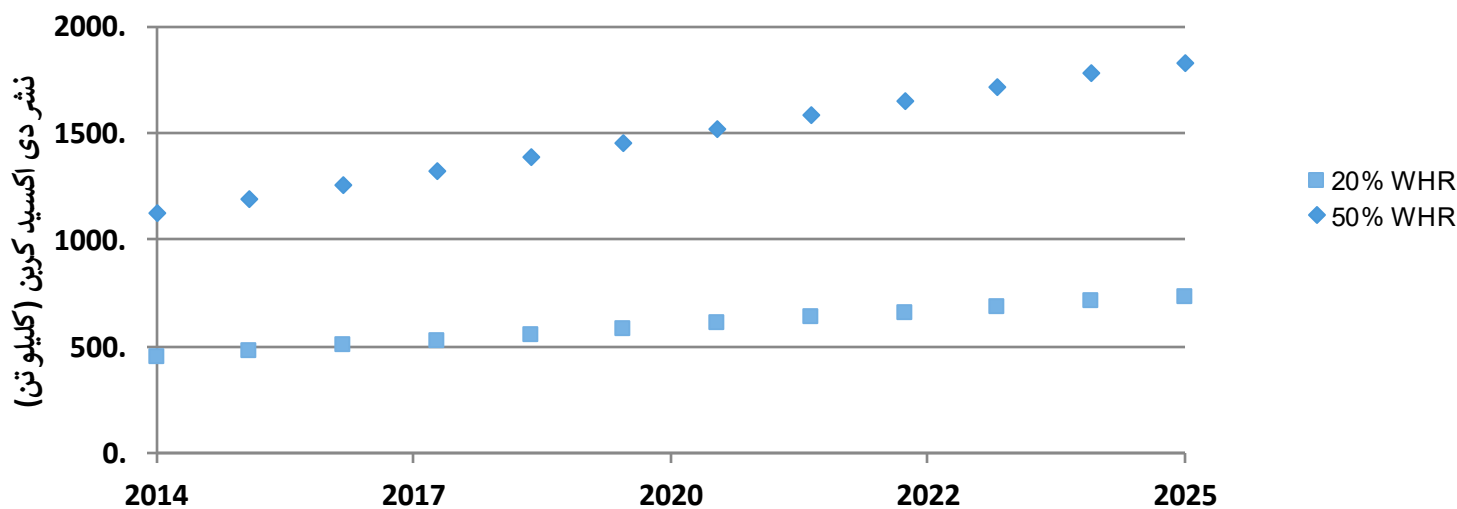
اقتصاد

محیط زیست

در صورت نصب 50% کارخانجات سیمان به سیستم WHR در حدود 1/1 میلیون تن کاهش نشر گاز دی اکسیدکربن خواهیم داشت .

فناوری WHR در حدود 30 کیلوگرم دی اکسیدکربن به ازای هر تن سیمان کاهش خواهد داد.

انتشار کربن دی اکسید دو سناریو استفاده ۲۰٪ و ۵۰٪ صنایع سیمان از WHR



تحلیل محیط زیستی :

در صورت نصب واحد نمونه ظرفیت ۳.۷ مگاوات علاوه بر صرفه جویی در بخش انرژی کاهش انتشارات گازهای آلاینده مانند CO، NO_x و SO₂ و گلخانه ای مانند کربن دی اکسید نیز صورت می گیرد و به ازای هر تن سیمان حدود ۳۰ کیلوگرم کربن دی اکسید کمتری مصرف می شود این کاهش انتشار معادل کاشت جنگلی با ۶۵۰۰۰۰ تا ۸۰۰۰۰۰ درخت بالغ است که علاوه بر مزایای اقتصادی مانند گواهی کربن میتواند در برندسازی به عنوان یک برند سبز نیز نقشی موثر داشته باشد



کارخانه سیمان در چین با فناوری WHR با هوای پاک

توسعه
پایدار
سایپرا



Sapra
Sustainable
Development

معرفی

تکنولوژی

اقتصاد

محیط زیست

WHR، از صرفه‌جویی انرژی تا خلق درآمد در بورس انرژی :

فناوری WHR فقط کاهش مصرف انرژی نیست؛ بلکه یک فرصت مالی قابل معامله در چارچوب بازار بهینه‌سازی انرژی ایران است.

• با اجرای WHR، صنایع می‌توانند «گواهی صرفه‌جویی انرژی» دریافت کنند که در بورس انرژی ایران قابل فروش است.

• این گواهی‌ها تبدیل به یک دارایی مالی جدید برای شرکت می‌شوند و منبع درآمد غیرفعال خواهند بود.

• صرفه‌جویی انرژی حالا تنها کاهش هزینه نیست، بلکه تولید یک ارزش مالی قابل نقد شدن است.

• مطابق ماده ۴۶ قانون برنامه هفتم، شرکت‌هایی که سقف مصرف انرژی را رعایت نکنند جریمه می‌شوند؛ اما با اجرای WHR، این جریمه‌ها حذف یا کاهش می‌یابد.

• اجرای WHR باعث کاهش محدودیت در تأمین برق در فصل‌های پیک و افزایش انعطاف‌پذیری تولید می‌شود.

WHR پلی است بین بهره‌وری انرژی، درآمد مالی و ارتقاء برند زیست‌محیطی شرکت

پارامترهای اقتصادی ظرفیت پروژه انیون WHR در ۳۰ تن ظرفیت سیمان حدود ۳۳۰۰ تن تولید دارد.
با فرض مصرف برق ۹۵ کیلووات ساعت برای هر تن سیمان، مصرف برق روزانه حدود ۳۱۳۵۰۰ کیلووات ساعت خواهد بود.

هدف پروژه: تأمین حدود ۲۳ درصد از این مصرف برق از طریق WHR، معادل ۳.۷ مگاوات توان تولیدی.
برآورد سرمایه گذاری:

- هزینه ساخت هر مگاوات WHR بین ۱.۶ تا ۲.۲ میلیون دلار
- سرمایه گذاری مورد نیاز برای واحد ۳.۷ مگاواتی: بین ۵.۹ تا ۸.۱ میلیون دلار
- پارامترهای مالی اصلی پروژه:
- نرخ تنزیل: ۱۰ درصد
- عمر مفید پروژه: ۱۰ سال
- هزینه O&M سالانه: حدود ۰.۵٪ از کل سرمایه گذاری
- قیمت فروش برق در بازار سبز: ۴۵۰۰ تومان به ازای هر کیلووات ساعت (برابر با ۵.۵ سنت دلار در نرخ ۸۰۰۰ تومان)
- قیمت متوسط برق در بازار در سال در سال ۱۴۰۲ برابر ۲۳۰۰ تومان برای هر کیولت ساعت بوده و در سال ۱۴۰۳ برابر ۳۹۰۰ تومان بوده است و در خرداد ۱۴۰۴ برابر ۶۳۰۰ تومان بوده به همین دلیل قیمت هایی نظیر ۵۵۰۰ تومان برای سال های آینده کاملاً محتمل است

پارامترهای اقتصادی یک پروژه نمونه WHR در صنعت سیمان :

۴۵۰۰ تومان به ازای هر کیلووات ساعت

قیمت فناوری	سال Payback	% IRR	NPV (میلیون دلار)
(۱.۶ میلیون برای هر مگاوات) ۶ میلیون	5	14.4	1.18
(۱.۹ میلیون برای هر مگاوات) ۷ میلیون	6	10.5	0.15
(۲.۲ میلیون برای هر (۸.۱ میلیون مگاوات)	7	7.1	-0.97

۵۰۰۰ تومان به ازای هر کیلووات ساعت

قیمت فناوری	سال Payback	% IRR	NPV (میلیون دلار)
(۱.۶ میلیون برای هر مگاوات) ۶ میلیون	5	17.3	1.98
(۱.۹ میلیون برای هر مگاوات) ۷ میلیون	6	13.1	0.96
(۲.۲ میلیون برای هر (۸.۱ میلیون مگاوات)	7	9.5	-0.17

۵۵۰۰ تومان به ازای هر کیلووات ساعت

قیمت فناوری	سال Payback	% IRR	NPV (میلیون دلار)
(۱.۶ میلیون برای هر مگاوات) ۶ میلیون	4.2	19.8	2.79
(۱.۹ میلیون برای هر مگاوات) ۷ میلیون	5	15.3	1.76
(۲.۲ میلیون برای هر (۸.۱ میلیون مگاوات)	6	11.9	0.62

بومی سازی فناوری WHR در حدود 20 % - 18 کاهش هزینه به دنبال خواهد داشت

✓ با استفاده کردن از پتانسیل های داخلی می توان هزینه اجرای یک سیستم WHR را در کشور تا حدود **20%** کاهش داد.

✓ تولید کنندگان داخلی توانمندی بالای در تولید بویلر مخصوصا بویلرهای Waste Heat دارند.

✓ با توجه به پیشرفت صنعت تصفیه و چرخش آب در کشور مشکلی از لحاظ تولید این گونه پکیج ها نمی باشد

✓ در کشور پیمانکاران عمرانی بسیاری وجود داشته که با توجه به توانایی های خود قابلیت کاهش هزینه های اجرا تا مقادیر قابل توجهی نسبت به مقادیر جهانی دارند.

• بومی سازی بخشی از تجهیزات مورد نیاز سیستم WHR و همچنین کارهای اجرایی پروژه

بر اساس مطالعات شرکت ساپرا، بومی سازی فناوری بازیابی حرارت تلف شده (WHR) می تواند منجر به کاهش حدود ۲۰ درصدی هزینه ها شود. این امر با توجه به توانمندی بالای تولیدکنندگان داخلی در ساخت قطعات مرتبط با سیستم های (WHR) مانند بویلرهای بازیابی حرارت (محقق خواهد شد. علاوه بر کاهش هزینه ها، این طرح از دیگر صنایع داخلی حمایت کرده و بخشی از زنجیره ارزش محصول را نیز در داخل کشور تامین می کند.

صرفه جویی ارزی: از محل بومی سازی تجهیزات می توان برای یک واحد WHR در حدود 1/5 میلیون دلار و برای تمامی واحدهای موجود در کشور بیش از 100 میلیون دلار صرفه جویی ارزی داشت.

همچنین این طرح باعث تولید حدود 10000 فرصت شغلی پروژه ای و 1500 فرصت شغلی دائم در شرکت های مهندسی مربوطه، کارخانجات تولیدی تجهیزات مورد نیاز همچون بویلر، و همچنین شرکت های پیمانکار ساخت و افراد فعال در بهره برداری خواهد شد. لذا دارای مشوق ها و وام های مربوطه نیز می باشد.

ارامترهای اقتصادی یک پروژه نمونه WHR در صنعت سیمان (در حالت بومی سازی برخی قطعات:

۴۵۰۰ تومان به ازای هر کیلووات ساعت

قیمت فناوری	سال Payback	% IRR	NPV (میلیون دلار)
(۱.۳ میلیون برای هر مگاوات) ۴.۸ میلیون	4	20.5	2.39
(۱.۵ میلیون برای هر مگاوات) ۵.۴ میلیون	5	16.2	1.76
(۱.۸ میلیون برای هر مگاوات) ۶.۴ میلیون	6	12.1	0.65

۵۰۰۰ تومان به ازای هر کیلووات ساعت

قیمت فناوری	سال Payback	% IRR	NPV (میلیون دلار)
(۱.۳ میلیون برای هر مگاوات) ۴.۸ میلیون	4	23.4	3.18
(۱.۵ میلیون برای هر مگاوات) ۵.۴ میلیون	5	19.1	2.55
(۱.۸ میلیون برای هر مگاوات) ۶.۴ میلیون	5	14.6	1.44

۵۵۰۰ تومان به ازای هر کیلووات ساعت

قیمت فناوری	سال Payback	% IRR	NPV (میلیون دلار)
(۱.۳ میلیون برای هر مگاوات) ۴.۸ میلیون	3.3	26.8	3.98
(۱.۵ میلیون برای هر مگاوات) ۵.۴ میلیون	4	22.4	3.35
(۱.۸ میلیون برای هر مگاوات) ۶.۴ میلیون	5	17.7	2.24



Thank You !

