

# بهینه سازی مصرف انرژی و آلاینده‌ها در صنعت سیمان

میثم ریاحی<sup>۱</sup>  
سهیلا خوشنویسان<sup>۲</sup>  
امیر محمد جدیدی<sup>۳</sup>

## چکیده:

در دنیای امروز و عصر تکنولوژی با توجه به روند رو به رشد جمعیت جهان و افزایش سطح رفاه جوامع که در بسیاری موارد منجر به افزایش مصرف انرژی با ایجاد مصارف جدید انرژی می‌شود، بحران سوخت و انرژی یکی از مهمترین دغدغه‌های کشورها می‌باشد. در کشور ما نیز کافی است به این نکته توجه کرد که در صورت ادامه روند فعلی رشد مصرف انرژی، در چشم‌انداز ۱۴۰۴ ایران از صادرکننده خالص انرژی به یک کشور واردکننده مبدل خواهد شد و مزیت نسبی درآمدهای سرشار ناشی از صادرات انرژی خود را از دست خواهد داد. براساس مطالعات صورت گرفته، در صورت انجام اقدامات بهینه سازی و کاهش تنها یک درصد نرخ رشد مصرف و به بیان دیگر کاهش ۲۷ درصدی شدت انرژی، می‌توان وقوع این بحران را سال‌ها به تعویق انداخت. لازم بذکر است که صنایع با مصرف انرژی بالا، به ترتیب شامل تولید محصولات اولیه آهن و فولاد، تولید سیمان و ... می‌باشد که در این بین صنعت سیمان به عنوان یکی از صنایع پایه، نقشی اساسی در توسعه زیربنای‌های اقتصادی کشور به خصوص در بخش ساختمان و مسکن بر عهده دارد. در این مقاله روش‌های بهینه سازی مصرف انرژی و کاهش تولید آلاینده‌ها در صنعت سیمان مورد بررسی قرار می‌گیرد.

## ۱- مقدمه

در دهه اخیر به دلیل افزایش قیمت انرژی هزینه‌های مربوط به انرژی سهم بالاتری را در مقایسه با دیگر هزینه‌های تولید به خود پایه، نقشی اساسی در توسعه زیربنای‌های اقتصادی کشور بر عهده دارد. مصرف انرژی در این صنعت حدود ۱۳ درصد انرژی در بخش اختصاص داده است. زیر بخش‌های صنایع بزرگ و با مصرف انرژی بالا، به ترتیب شامل تولید محصولات اولیه آهن و فولاد،



انجمن‌تر اقلیان

صرف انرژی در کارخانجات سیمان با توجه به انواع فرآیندهای تولید سیمان، خصوصیات آنها و زمان ساخت کارخانه برای ساخت های متفاوت تدوین شده است. در قسمت های بعدی به راهکارهای صرفه جویی انرژی در بخش های مختلف تولید سیمان اشاره شده است.

## ۲- راهکارهای صرفه جویی انرژی در آسیاب مواد خام

- (۱) تنظیم دانه بندی خوراک آسیاب در محدوده مطلوب
- (۲) توقف دستگاه های جانبی در صورت توقف آسیاب
- (۳) کنترل مداوم شارژ آسیاب
- (۴) کنترل رطوبت مواد در فصول بارندگی بوسیله دپو سازی
- (۵) استفاده از سپراتورهای راندمان بالا
- (۶) عایق کاری مناسب داکت های انتقال گاز داغ به آسیاب به منظور تأمین انرژی حرارتی مورد نیاز جهت خشک نمودن مواد
- (۷) نصب سیستم پیش خردکن جهت افزایش ظرفیت و کاهش

صرف ویژه انرژی  
۸) جایگزینی آسیاب های غلطکی به جای آسیاب های گلوله ای

## ۳- راهکارهای صرفه جویی در مصرف انرژی در بخش کوره

با سیستم خنک کن در سیستم پخت:

با استفاده از درایوهای دور متغیر جهت کنترل میزان هوا به جای دمپر در این حالت تا ۴۰٪ کاهش مصرف انرژی داریم. برای تبدیل فرآیند تر به خشک، تا حدود ۲۵ کیلو کالری صرفه جویی صرف انرژی حرارتی خواهیم داشت. نصب emersion tube (که ابزارهای جدیدی برای تبادل بیشتر گاز و غبار است) در سیستم های پیش گرمایشی<sup>۱</sup> به راندمان غبارگیری و تبادل حرارت در سیستم پخت و صرفه جویی در مصرف انرژی کمک می کنند.

## ۴- راهکارهای صرفه جویی مصرف انرژی در بخش کوره

- (۱) کنترل یکنواختی ترکیب فیزیکی و شیمیایی خوراک کوره
- (۲) آب بندی کامل سیستم پخت
- (۳) استفاده از درایوهای دور متغیر جهت کنترل میزان هوا به جای دمپر
- (۴) بکار گیری سیستم انتقال مکانیکی (الواتور) بجای انتقال دهنده های با جریان هوا
- (۵) استفاده از سیکلون های بافت فشار کم
- (۶) کنترل میزان هوای اضافی در جهت بهبود راندمان احتراق و افزایش درجه حرارت منطقه پخت
- (۷) استفاده از مواد کمک ذوب مناسب جهت کاهش دمای پخت
- (۸) تبدیل فرآیند تر و نیمه خشک به فرآیند خشک با پری کلساینر
- (۹) اضافه نمودن پری کلساینر و طبقات پری هیتر و استفاده از داکت های معلق داخل سیکلون های با طرح های جدید

کارخانجات ملاحظه می گردد که در صورت عدم اصلاح بهره برداری از کارخانجات سیمان، عدم نوسازی و تجهیز خطوط قدیمی با فناوری های جدید و عدم اجرای مدیریت بر مصرف انرژی در کارخانجات مذکور روند مصرف انرژی نیز به طور بی رویه افزایش خواهد یافت. لازم به ذکر است که تأمین انرژی صنعت سیمان با ۶۱ خط تولید نیاز به حدود ۶۰۰ مگاوات توان نیروگاهی دارد و با دو برابر شدن ظرفیت تولید سیمان در کشور، نیاز این صنعت به توان الکتریکی در حدود ۱۰۰۰ مگاوات پیش بینی می گردد که تأمین آن به احداث یک نیروگاه در کشور نیاز خواهد داشت. در حال حاضر برای تولید ۳۰ میلیون تن سیمان در سال، ۲۲۰،۰۰۰ میلیون لیتر مازوت و ۸۱۰۰ میلیون متر مکعب گاز مصرف می شود. بطور کلی ضرورت بهینه سازی مصرف انرژی در کارخانجات سیمان به دلایل زیر حائز اهمیت می باشد:

۱- پر مصرف بودن این صنعت

۲- داشتن پرسوه تقریباً یکسان در کارخانجات مختلف

۳- بالا بودن سهم انرژی در قیمت تمام شده محصول (حدوداً ۲۰ درصدی) که از این نظر در بین صنایع دارای رتبه اول می باشد. از سال ۱۳۷۷ پروژه های بهبود کارآیی در مصرف انرژی در کارخانجات سیمان با هدف تعیین فرستاده های صرفه جویی در مصرف انرژی آغاز گردیده است و نتیجه این اقدامات را می توان در کاهش مصرف انرژی ویژه حرارتی والکتریکی در کارخانجات سیمان کشور ملاحظه نمود. جدول (۱) روند کاهش مصرف ویژه انرژی الکتریکی (SEC<sub>e</sub>) و حرارتی (SEC<sub>th</sub>) را برای صنایع سیمان نشان می دهد.

ردیف	عنوان	۱۳۷۹	۱۳۷۸	۱۳۷۷	۱۳۷۶
۳/۳۵	SEC <sub>th</sub>	۳/۴۳	۳/۶۴	۴/۶	۱
۱۱۵	SEC <sub>e</sub>	۱۱۸	۱۲۰	۱۲۲	۲

جدول (۱) روند کاهش مصرف ویژه انرژی در صنعت سیمان کشور

در کارخانجات سیمان شاخص مصرف ویژه انرژی در دو بخش حرارتی و الکتریکی بر حسب کیلو کالری بر کیلو گرم کلینکر و کیلو وات ساعت بر تن سیمان تعریف می شود. متوسط این شاخص در ایران در سال ۸۲ برای کارخانجات کشور در بخش الکتریکی ۱۱۲ و در بخش حرارتی ۹۰۰ می باشد. این در حالی است که متوسط جهانی این شاخص ۸۰ کیلو وات ساعت بر تن سیمان در بخش الکتریکی و ۷۰ کیلو کالری بر کیلو گرم کلینکر در بخش حرارتی می باشد. خوشبختانه استاندارد ملی، معیارها و مشخصات فنی مصرف انرژی الکتریکی و حرارتی و گروه های انرژی در فرآیند تولید سیمان به شماره ۷۸۷۳ تدوین شده است. معیار

# شکوفایی، توسعه و نشر داش و فرهنگ در صنعت سیمان

۱۰) بهینه سازی عملکرد خنک کن ها

#### ۵- راهکارهای صرفه جویی انرژی در بخش آسیاب سیمان

(۱) کنترل مستمر شارژ گلوله

(۲) کنترل مداوم دانه بندی و قابلیت خردشوندگی کلینکر

ورودی از طریق کنترل وزن کلینکر خروجی از کوره

(۳) کنترل دمای کلینکر ورودی به آسیاب

(۴) کنترل نرمی سیمان در حد استاندارد به منظور جلوگیری از

سایش بیش از حد

(۵) استفاده از مواد کمک سایش جهت افزایش ظرفیت و

کاهش شدت انرژی مصرفی

(۶) تبدیل سیستم مدار باز به مدار بسته

(۷) تولید سیمان های آمیخته و استفاده از مواد افزودنی

(۸) استفاده از سپراتورهای راندمان بالا

(۹) استفاده از ماشین آلات پیش ساینده

(۱۰) با استفاده از پرس غلطکی (Roller Press) می توانیم

ظرفیت سیستم را تا ۲ برابر افزایش دهیم

#### ۶- استفاده از تکنولوژی های نو

(۱) استفاده از سوخت های جایگزین (به عنوان مثال زباله) به

منظور کاهش هزینه انرژی

(۲) استفاده از تجهیزات راندمان بالا

(۳) استفاده از درایوهای دور متغیر به جای دمپرهای شیرها در

فن ها و پمپ ها

(۴) استفاده از سیستم های پیش خردکن قبل از آسیاب مواد

خام و سیمان

(۵) استفاده از آسیاب های عمودی غلطکی با رولرپرس جهت

سایش نهایی

(۶) استفاده از طرح های جدید لوله های معلق داخل سیکلون ها

جهت کاهش افت فشار و افزایش راندمان تبادل حرارت و

جداسازی

(۷) استفاده از مشعل های راندمان بالا

(۸) استفاده از کولرهای راندمان بالا

(۹) تولید انرژی الکتریکی از طریق بازیافت حرارت خروجی

از پری هیتر و خشک کن

(۱۰) استفاده از تکنولوژی تزریق اکسیژن در کوره های سیمان

لازم به ذکر است روند تکنولوژی با کاهش مصرف همراه بوده

و انتخاب ماشین آلات با ظرفیت بهینه از اهمیت بالای برخوردار

می باشد. آخرین تکنولوژی مورد استفاده سیستم خشک، آسیاب

غلطکی، تعداد طبقات سیکلونی پری هیتر ۶-۵ طبقه و دارای سیستم

پری کلساینر می باشد. در این شرایط مامی توانیم ۸۰-۸۵ کیلووات

ساعت برتن مصرف ویژه انرژی الکتریکی و همچنین ۷۰۰-۷۱۵

کیلوکالری بر کیلوگرم نیز مصرف ویژه انرژی حرارتی را کاهش دهیم.

#### ۷- پایش گازهای آلاینده و ذرات معلق در دودکش

آلاینده های اصلی ناشی از صنعت سیمان که ناشز محصولات

خروچی از دودکش است عبارتند از:

(۱) گرد و غبار<sup>۵</sup>: که مطابق مصوبه ۷۹/۷۸، می باشد مقدار آن

کمتر از ۱۵۰ (Mg/m<sup>3</sup>) باشد

(۲) اکسیدهای نیتروژن<sup>۶</sup>

(۳) اکسیدهای گوگرد

(۴) مونوکسید کربن<sup>۷</sup>

(۵) هیدروکربورهای نسوخته<sup>۸</sup>

(۶) دی اکسین<sup>۹</sup>

(۷) فلزات سنگین (Hg, Pb, Zn)

(۸) دی اکسید کربن<sup>۱۰</sup>

#### ۱۷- گرد و غبار

به علت قوانین موجود سازمان محیط زیست در خصوص پایش غبارهای خروچی، روش های متفاوتی در جهت کاهش غبارهای خروچی وجود دارد. به طور کلی غبارهای حاصل از فرآیند تولید سیمان به دو دسته غبارهای خشک و تر تقسیم می گردد که روش های کاهش هر یک به اختصار عبارت است از:

الف) روش های کنترل گرد و غبار خشک<sup>۱۱</sup>

Baghouse (۱)

Cyclones (۲)

Electrostatic precipitation (۳)

ب) روش های کنترل گرد و غبار تر<sup>۱۲</sup>

Packed column scrubber (۱)

Vertex scrubber (۲)

Venturi scrubber (۳)

#### ۲-۷- بررسی آنالیز گازهای خروچی دودکش در دونمونه کارخانه سیمان در سطح کشور

جدول (۲) میزان گازهای خروچی از دودکش دو نمونه

کارخانه سیمان در سطح کشور که توسط دستگاه TESTO 350 XL

توسط پروب صنعتی اندازه گیری شده است را نشان می دهد.

همانگونه که در جدول رو برو بالا مشاهده می گردد

اکسیدهای نیتروژن، مهمترین گاز آلاینده خروچی

کارخانجات سیمان می باشد. دمای بالای کوره صنایع سیمان و

در نتیجه اکسید شدن نیتروژن واکنشی گرماگیر بوده و در دماهای بالا

تشکیل اکسید شدن نیتروژن واکنشی گرماگیر بوده و در دماهای بالا

انجام می گردد. و همچنین واکنش اکسیژن اضافی موجود در

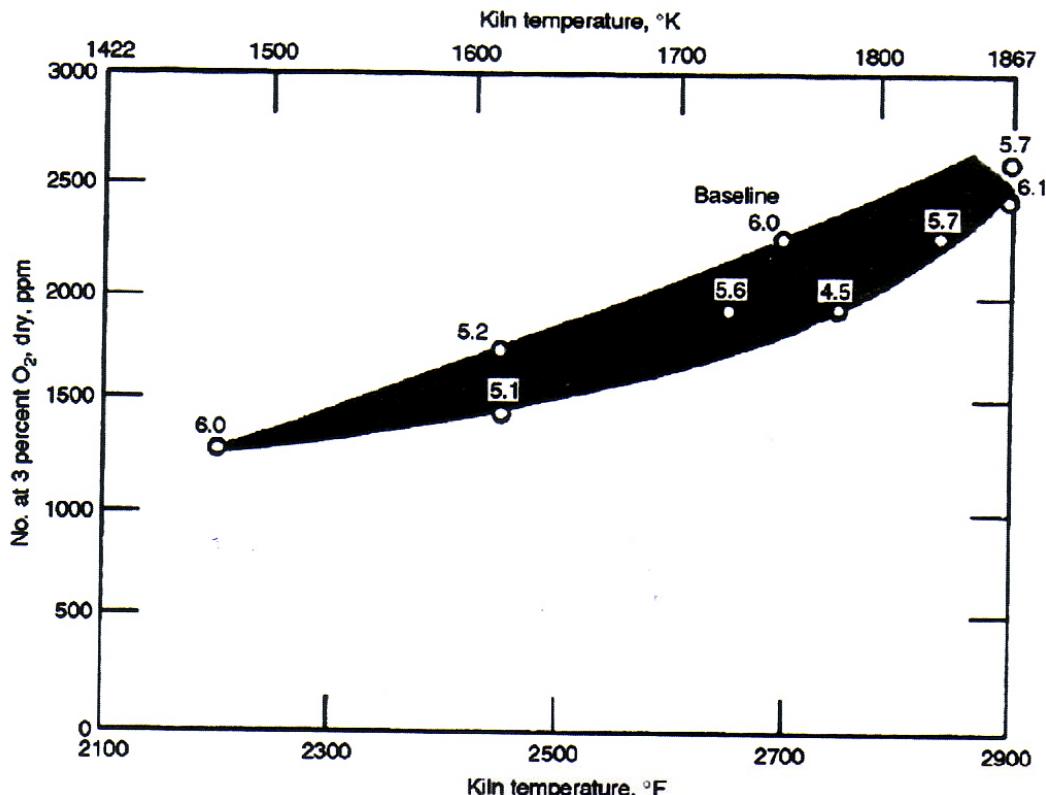
هوای ورودی با نیتروژن موجود در مواد اولیه، عوامل اصلی



C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> (%)	NO <sub>x</sub> (ppm)	CO (ppm)	O <sub>2</sub> (%)	
·	1071	·	5/14	کارخانه ۱
0/1	99	467	15/15	کارخانه ۲

جدول (۲) میزان گازهای خروجی از دودکش کوره دوار دو نمونه کارخانه سیمان

تولید این گاز آلا ینده می باشد. شکل (۱) وابستگی میزان تشکیل مونوکسید نیتروژن به دمای کوره را نشان می دهد.



شکل (۱) وابستگی میزان تشکیل مونوکسید نیتروژن به دمای کوره

۳- (شرکت بهینه سازان صنعت تاسیسات)

منابع و مأخذ:

4- Preheater

[1] <http://www.doe.gov> , "Cement Kiln Flue Gas Recovery" , 2001

5- Dust emissions

[2] "هندبوک جیبی مهندسی سیمان" ، منوچهر بکاییان ،

6- NOx

شرکت سیمان آبیک ۱۳۸۵ ،

7- SOx

[3] "سیمان ۹۰۰" ، مهندس محمد رضا عزیزیان ، شرکت

8- CO

سیمان آبیک ۱۳۸۴ ،

9- CxHy

[۴] "اقدامات انجام شده در راستای بهینه سازی مصرف انرژی

10- Dioxin

در کارخانه سیمان هگمتان" ، سازمان بهرهوری انرژی ایران ۱۳۸۱ ،

11- CO2

[۵] استاندارد ملی ایران، شماره ۷۸۷۳

12- Dry dust

زیرنویس:

13- Wet dust

۱- (شرکت بهینه سازان صنعت تاسیسات)

۲- (سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران)

شکوفایی، توسعه و نشر داش و فرهنگ در صنعت سیمان