

نقش نسوز در بهینه سازی مصرف انرژی در صنعت سیمان

فرهاد پورداد

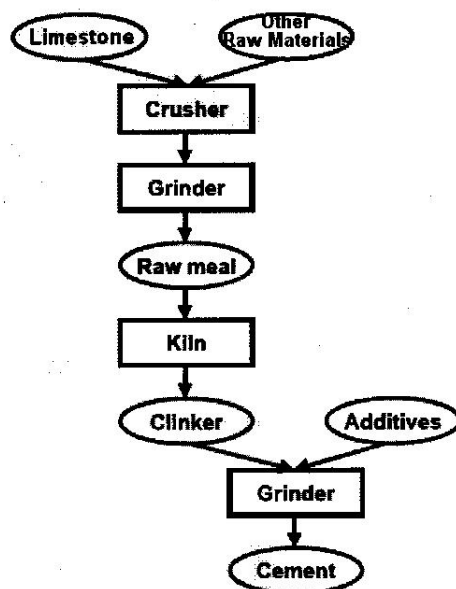
چکیده:

صنعت سیمان، یکی از صنایع پرمصرف انرژی می باشد. در این صنعت هزینه انرژی تا ۳۰٪ کل هزینه های تولید را به خود اختصاص می دهد (۱). لذا با کاهش هزینه های انرژی، هزینه های نهائی تولید، کاهش و سود افزایش خواهد یافت. ضمن اینکه کاهش انرژی در این صنعت به غیر از جنبه های اقتصادی از نقطه نظر زیست محیطی نیز اهمیت فراوانی است.

بیش از ۹۰٪ از انرژی مصرفی در صنعت سیمان، در بخش پخت کلینکر در وره که با لایه ای از نسوز پوشیده است، صرف می شود. از این رو نقش نسوز در کاهش مصرف انرژی در صنعت سیمان از اهمیت بالائی برخوردار می باشد. مقاله حاضر، ضمن بررسی اجمالی برآمار و ارقام موجود در ارتباط با میزان مصرف انرژی موضوع آن در قسمت های مختلف سیمان، نقش نسوز و پارامترهای مؤثر بر انتخاب بهینه نسوز مصرفی جهت کاهش مصرف انرژی بیان شده است.

- مصرف انرژی در صنعت سیمان:

صنایع سیمان به همراه صنایع فولاد، کاغذ و پتروشیمی یکی از صنایع پر مصرف انرژی می باشند. فرآیند تولید سیمان بطور خلاصه در شکل ۱ دیده می شود.



شکل ۱

با توجه به شکل فوق، صنعت سیمان را از لحاظ مصرف انرژی می توان به سه بخش زیر تقسیم نمود:

الف- بخش آماده سازی مواد اولیه

ب- بخش پخت کلینکر

ج- بخش آماده سازی نهائی محصول از کلینکر

ضمن اینکه بخشهای اول و دوم، خود می توانند به دو بخش پروسه تر و خشک تقسیم شوند.

اگر انرژی مصرفی در صنعت سیمان به دو بخش انرژی الکتریکی و انرژی ناشی از انواع سوخت ها تقسیم شوند، آنگاه بخش آماده سازی مواد اولیه ، بخشی است که به شدت به انرژی الکتریکی وابسته بوده و نزدیک به ۳۰٪ از کل انرژی الکتریکی مصرفی یعنی در حدود $\frac{35-25 \text{ kwh}}{\text{tonne}}$ ، صرف آماده سازی مواد اولیه می گردد (۳) . این در حالی است که شدت نیاز بخش پخت کلینکر به انواع انرژی بیش از سایر قسمتها بوده و بیش از ۹۰٪ از انرژی مصرفی در کل صنعت سیمان در این بخش مصرف می شود. در این بخش بیش از ۹۰٪ از انرژی سوختی (جهت گرمایش کوره) و نزدیک به ۳۰٪ از کل انرژی الکتریکی (جهت چرخش کوره و کار فن ها) مصرف می شود (۴)

انرژی سوخت مصرفی، صرف تبخیر آب غیرترکیبی موجود در مواد ورودی (در سیستم های تر)کلسیناسیون و تشکیل میزالهای سیمان (کلینکراسیون) می گردد. اکثر کوره های ساخت سیمان حال حاضر، کوره های دوار می باشند که لوله هائی با قطر تا ۸ متر بوده که تا ۳ دور در دقیقه چرخیده و شیبی تا ۴ درصد نسبت به افق دارند. در این کوره ها خوراک آسیاب شده از بالای کوره به داخل آن تغذیه شده و در اثر شیب و چرخش کوره به سمت شعله و انتهای کوره حرکت می نماید که در اثر آن مواد اولیه خشک و کلسینه شده و به منطقه زنتیرینگ(پخت) وارد می شوند. در منطقه زنتیرینگ، گازهای احتراقی دما را به $2000 - 1800^\circ \text{C}$ می رسانند.

در پروسه ترنومیه سیمان، مواد ورودی حدود ۴۰-۳۵٪، رطوبت خواهند داشت لذا در ابتدا نیاز است که این آب تبخیر گردد. از این رو، طول کوره ها در این روش، بسیار بلند (تا ۲۳۰ متر) بوده و نسبت طول به قطر حتی به ۳۸ هم میرسد (۵). در این کوره ها مقدار انرژی مصرفی متفاوت بوده و تا بین ۵/۳ تا ۷/۱ cy/tonne clinker هم میرسد (۳و۴). این در حالی است که در یک پروسه خشک، رطوبت مواد ورودی بسیار کمتر (حدود ۰/۵٪) بوده و لذا بخش تبخیر آب حذف شده و طول کوره کمتر خواهد شد. اگر چه این کوره ها در ابتدا پری هیتر نداشتند، اما در اولین قدم توسعه پری هیترهای چند مرحله ای

(مثل سیکلونها) ویا پری هیترهای ایستاده (Shaft) اضافه شدند. در ادامه این تحولات تکنولوژی پری کلساینر، آخرین دستاورد در این زمینه می باشد که با قرار دادن محفظه احتراق ثانویه بین کوره و پری هیترهای معمول، اجازه کاهش هر چه بیشتر انرژی مصرفی کوره را می دهد. انرژی مصرفی در یک کوره دارای پری هیتر چهار الی پنج مرحله ای، بین $3/2$ تا $3/5$ cj/ tonne clinker متغیر است این در حالی است که یک کوره با پری هیتر شش مرحله ای، بین $2/9$ تا 3 cj/tonne clinker و یک کوره دارای پری کلساینر کمتر از $2/9$ cj/ tonne clinker، انرژی مصرف می نماید(۴). البته در کوره های دارای سیستم بای پس (bypass) قلیائی، سولفات و کلرید ، مقداری انرژی با گازهای خروجی از سیستم خارج شده و لذا انرژی مصرفی کمی افزایش خواهد یافت.

در این قسمت ذکر یک نکته لازم است و آن اینکه انتخاب پروسه تولید به عواملی همچون نوع و خواص مواد اولیه، هزینه انرژی، شرایط محلی و... بستگی دارد. حقیقت آن است که برای پروسه تر تولید سیمان هزینه سازه و ساختمان کمتر و کیفیت محصول نهائی بیشتر از یک پروسه خشک تولید سیمان خواهد بود. از طرف دیگر پروسه خشک انرژی بسیار کمتری مصرف کرده و لذا از هزینه تولید کمتری برخوردار است. بهر حال آنچه که به نظر میرسد آن است که در آینده سهم تولید به روش تر به دلیل ملاحظات انرژی بسیار کمتر خواهد بود.(۵)

پس از تولید کلینکر، در سومین مرحله تولید ، نوبت به سایش آنها و تولید سیمان میرسد.

در این بخش نیز، وابستگی به انرژی بویژه انرژی الکتریکی بسیار شدید می باشد. در این قسمت میزان مصرف انرژی به عواملی همچون سطح مخصوص مورد نیاز محصول، ادی تیهوهای مصرفی و همچنین سختی مواد مصرفی (همچون سنگ آهک، کلینکر، پوزولان و...) بستگی خواهد داشت. بطور کلی انرژی

الکتریکی مصرفی در این بخش حدود 40% انرژی الکتریکی کل مصرفی و بین 32 تا $37 \frac{\text{KWh}}{\text{tonne}}$ برای

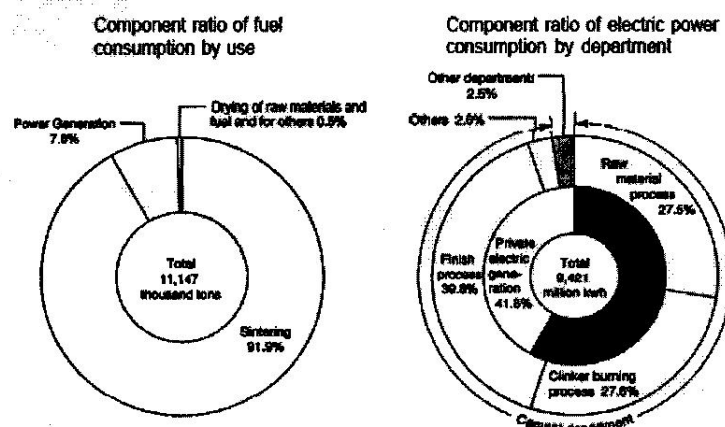
تولید سیمانی با بلین 3500 میباشد. این در حالی است که استفاده از سرباره کوره های فولادسازی

بدلیل سختی بالای آنها، مصرف انرژی را برای تولید سیمانی با همین یعنی حدود، $50 \frac{\text{KWh}}{\text{tonne}}$ افزایش می دهد.(۶).

در نهایت سیمان در سیلوها انبار شده و برای بسته بندی و حمل آماده می گردد . این قسمت نیز نیازمند انرژی می باشد با این تفاوت که کل انرژی مصرفی در این قسمت کمتر از ۵٪ کل انرژی

مصرفی و کمتر از $10 \frac{\text{KWh}}{\text{tonne}}$ می باشد.(۶)

شکل ۲ - نسبت مصرف انرژی را در اشکال سوخت والکتریسیته، در قسمتهای مختلف کارخانجات تولید سیمان در ژلین نشان می دهد.



شکل ۲

همانگونه که در این شکل نیز دیده می شود بیش از ۹۰٪ از سوخت در قسمت پخت کلینکر و حدود ۴۰٪ از انرژی الکتریکی در قسمت سایش نهائی محصول مصرف می شود. این مقادیر کمتر از ۳۰٪ انرژی الکتریکی در پروسه آماده سازی مواد اولیه همین مقدار برای پخت کلینکر می باشد. این انرژی در قسمت آماده سازی مواد اولیه و نهائی محصول، غالباً صرف آسیاب ها شده در حالیکه در قسمت پخت کلینکر، صرف فن ها می شود.(۷)

در مجموع و در یک نگاه، عوامل مؤثر بر مصرف انرژی در کارخانجات تولید سیمان در جدول ۱ دیده می شود..

	Raw material process	Clinker burning process	Finish process
First step	1) Selection of raw material 2) Management of fineness 3) Management of optimum grinding media	1) Prevention of stop due to failure (Refractories) 2) Selection of fuel 3) Prevention of leak	1) Management of fineness 1) Management of optimum grinding media
Second step	1) Use of industrial waste material (fly ash) 2) Replacement of fan rotor 3) Improvement of temperature and pressure control system 4) Improvement of mixing & homogenizing system	1) Use of industrial waste material (waste tires) 2) Recovery of preheater exhaust gas 3) Recovery of cooler exhaust gas (drying of raw material and generation of electricity) 4) Replacement of cooler dust collector from multiclone to E.P.	1) Installation of closed circuit (dynamic separator) 2) Installation of feed control system
Third step	1) From wet process to dry process 2) From ball and tube mills to roller mill	1) From wet process to dry process 2) Conversion of fuel (from petroleum to coal) 3) From SP to NSP 4) Use of industrial waste (slag and pozzolan) 5) From planetary and under coolers to grate cooler	

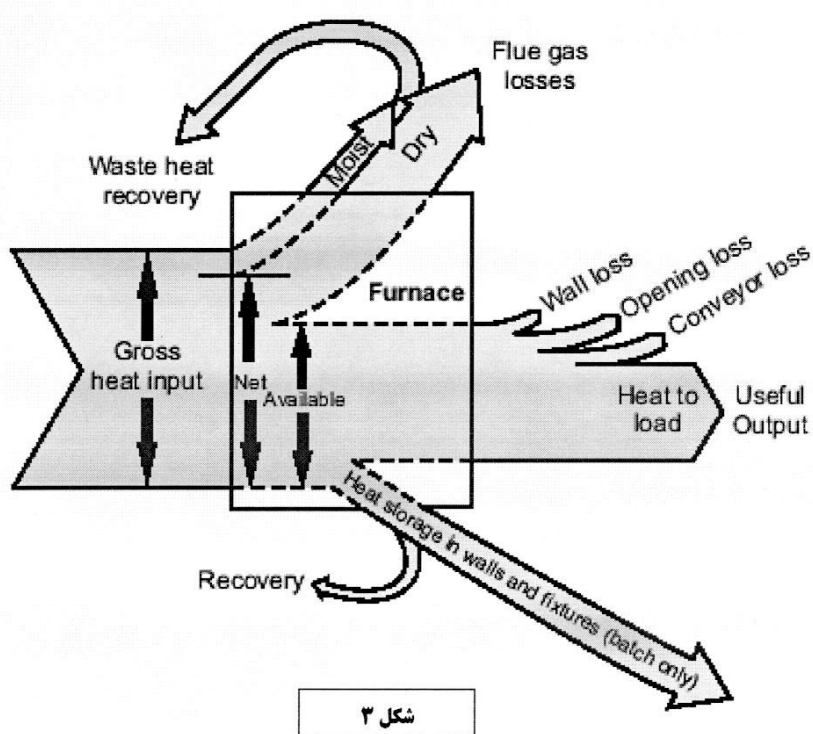
جدول ۱

همانگونه که دیده می شود در مبحث مصرف انرژی، نسوز یک عامل عمده محسوب می شود.

- نقش نسوز در کاهش مصرف سوخت در صنعت سیمان:

- همانگونه که اشاره شد کاهش مصرف انرژی در صنعت سیمان از دو جنبه اقتصادی و زیست محیطی حائز اهمیت می باشد که انتخاب صحیح نسوزهای مصرفی که تمام سطح داخلی کوره را پوشانده و از مقادیر کمی خیلی بالائی بر خوردار میباشد می تواند بر هر دو جنبه نام برده شده تأثیر مثبت و یا منفی بگذارد.

نحوه کلی مصرف انرژی و اتلاف آن در یک کوره در شکل ۳ دیده میشود.



شکل ۳

انتخاب صحیح نسوز از چند طریق به کاهش مصرف سوخت کمک می نماید:

- در گزارشات متعددی، صرفه جوئی ۳۰۰۸٪ انرژی با بهبود کارائی نسوزها در حدود ۲۵٪، مورد اشاره قرار گرفته است(۸و۹).

همانگونه که در شکل ۳ دیده میشود مقدار بالائی از انرژی حرارتی صرف گرم شدن بدنه کوره و لایه کاری نسوز آن می گردد که با فرسایش نسوزها و توقف کوره، این انرژی تجمع یافته در بدنه کوره از دست خواهد رفت چرا که نسوز چینی مجدد نیاز به سرمایش کوره دارد. از طرف دیگر پس از نسوز چینی کوره مجدداً مورد گرمایش قرار گرفته و در نتیجه درصد بالائی انرژی حرارتی مجدداً صرف گرم شدن بدنه کوره و لایه نسوز کاری آن خواهد شد. لذا بهبود کارائی نسوزها، باعث بهینه سازی مصرف انرژی در صنعت سیمان خواهد شد.

- در کوره های پخت سیمان مقدار قابل توجهی اتلاف حرارتی از پوسته کوره بویژه در مناطق برزخ و پخت وجود دارد که با انتخاب بهینه نسوز جهت کاهش انتقال حرارت میتوان این اتلاف را کاهش داد. اما می بایست توجه داشت که با کاهش انتقال حرارت آجر و یا استفاده از نسوز عایق حرارتی درزیر لایه کاری نسوز، دمای کاری سطح آجر افزایش چشمگیری یافته که باعث خوردگی و فرسایش بیشتر نسوز و کاهش طول عمر کاری آن می گردد که مطابق نمونه فوق الذکر، خود باعث افزایش مصرف انرژی خواهد شد.

- راه حل این مطالب متضاد (کاهش انتقال حرارت بدون افزایش فرسایش نسوز بویژه در مناطق برزخ و پخت)، انتخاب نسوزی با خاصیت کوتینگ پذیری بالا است . چرا که در این صورت با تشکیل کوتینگ پایدار ، ضمن کاهش دمای سطح آجر، انتقال حرارت نیز کاهش چشمگیری یافته و لذا اتلاف حرارت از طریق پوسته کوره کم خواهد شد(۷).

تخمین های احتمالی حاکی از آن است که با بهبود عایق کاری نسوزها از این طریق، مصرف سوخت تا 0.4 cj / tonne کاهش خواهد یافت، در حالیکه هزینه انتخاب نسوز با کیفیت مطلوب کمتر از هزینه معادل 0.1 cj / tonne خواهد بود (۴).

ضمن اینکه این مسئله مزایای جانبی دیگری نیز از جمله کاهش توقفات، کاهش هزینه تولید و کاهش انرژی مورد نیاز برای راه اندازی مجدد کوره (پس از توقفات) خواهد داشت.

- لایه نسوز کاری پوسته کوره را در مقابل حرارت، تنشهای شیمیائی و مکانیکی محافظت می نماید. انتخاب نسوزهای مصرفی به مواد اولیه، سوخت، شرایط کاری و تکنولوژیکی مربوط است. افزایش طول عمر کاری نسوزها به افزایش زمان کاری کوره و در نتیجه کاهش توقف تولید منجر خواهد شد. لذا کاهش هزینه های تولید به افزایش کیفیت نسوزهای مصرفی بستگی خواهد داشت. این امر همچنین باعث صرفه جوی در مصرف انرژی در هنگام توقف کوره و گرمایش مجدد آن خواهد شد که بدلیل ایجاد شرایط پایدار حرارتی باعث کاهش NO_x تولیدی خواهد شد (۹).

- همانگونه که از شکل ۳ بر می آید مقدار قابل توجهی از انرژی مصرفی، صرف گرم کردن جداره کوره و لایه نسوزکاری آن میشود. از این رو انتخاب صحیح نسوزهای مصرفی بویژه استفاده از تکنولوژی نسوزهای با جرم حرارتی کم، باعث کاهش قابل توجه آن بخش از انرژی می شود که باعث گرم شدن لایه نسوز می گردد.

مراجع:

- 1- Energy conservation in ceramic Industry united nations Industrial development organization (UNIDO) 2005.
- 2- Ernst Worrell and Christina Galitsky Energy Efficiency Improvement Opportunities for cement Making U.S. Environmental protection Agency 2004
- 3- Cowi/Coasult march consulting Group and MAIN. Energy Technology in the cement Industrial sector Report prepared for CEC- DG-XVII. Brussels.2004
- 4- Dulnat 1 Engineering and Energy savings Efficiency in the cement Industry (Ed .J. Surchus). London England Elsevier Applied Science(pp. 109-117) 2003
- 5- Acocymous 1994. cement plant Modernization . on in current Europe world market (November): 35-38 (1994).
- 6- Cembureau . best Available technologies For the cement industry .Brussels cembureau 2001
- 7- Energy Conservation in cement industry , United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) and Ministry of International Trade and Industry (MITI).Japan, 2005.
- 8- Nathan Martin, Ernst Worrell, and Lynn Price, Energy Efficiency and Carbon Dioxide Emissions Reduction opportunities in the U.S. Cement Industry, Environmental Energy Technologies Division, 2005
- 9- David Sanders, NO_x Control Technologies for the Cement Industry. U.S. Environmental Protection Agency, Final Report, 2005.