

نقش فرآیند در کاهش مصرف انرژی در صنعت سیمان

نوشته : منوچهر بکائیان

خلاصه مقاله

امروزه در تولید سیمان به روش های مدرن مصارف انرژی الکتریکی و حرارتی مقادیر حدود ۷۴۰ kcal/kg cli و ۹۵ kwh/ton را شامل می گردد. عمدت ترین مواد اولیه در تولید سیمان خاک رس و سنگ آهک و یا مخلوط هایی از این دو می باشد بنونه ای که برای تولید ۱ تن سیمان حدود ۱,۵ تن ماد اولیه مورد نیاز می باشد. تولید سیمان بطور اجمال در دپارتمان های زیر صورت می پذیرد :

- معدن - سنگ شکن

- آسیاب مواد خام

- اختلاط (بلبرینگ)-تغیه کوره

- پیش گرمکن-کوره-کولر

- آسیابهای سیمان

- بارگیر خانه

در این مقاله سعی می گردد و تأمین اشاره به مصارف ویژه و انرژی در هر دپارتمان، راهکاهای کاهش انرژی در هر بخش مورد مطالعه قرار گرفته و مقادیر ویژه انرژی بیان گردد. آنچه مسلم است کاهش مصارف ویژه انرژی در هر بخش نیازمند اجراء تغییرات اساسی در آن بخش هاست و آنچه در تکنولوژی های جدید نیز مورد نظر است، همان کاهش انرژی های مصرفی است.

امروزه در پروردهای جدید Green Field و افزایش ظرفیت Up-gradation/Modification کاهش مقادیر مصارف انرژی از شاخص های اصلی و تعیین کننده است بگونه ای که در انتخاب نوع دستگاه مقادیر مصرف انرژی و هزینه سالیانه آن نقش

تعیین کننده دارد. آنچه در این مقاله مورد مطالعه قرار می‌گیرد رابطه نزدیک کاهش انرژی و مقدار نشر گاز انیدرید کربنیک (CO_2) می‌باشد و تحولات در تکنولوژی سیمان امروزه در صورت کاهش هر دوی آنهاست.

اگر چه در سوخت اصلی نفت سنگین (مازوت) و گاز طبیعی با قیمت‌های نسبتاً پائین مصرف می‌گردد، لکن ملاحظات زیست محیطی بگونه‌ای است که مصرف سوختهای ضایعاتی نیز مورد توجه قرار دارد.

مشروح مقاله

سیمان ماده ای است که از اختلاط خاک رس و سنگ اهک یامصرف مخلوط های طبیعی آنها و حرارت تا حدود 1450° در تجهیزات مخصوص پس از انجام فرایش و سایش تولید سیمان امروزهaz مرز ۲ میلیارد تن در سال فراتر رفته است و این خود نشان دهنده اهمیت و جایگاه مخصوص این نوع ماده می باشد. کشورهای تولید کننده مهم این ماده در جهان بر حسب اولویت تولید عبارتند از :

- | | |
|----------------|---------------|
| ۱- چین | ۱/۰۳۸/۳۰۰/۰۰۰ |
| ۲- هند | ۱۴۵/۰۰۰/۰۰۰ |
| ۳- امریکا | ۱۰۰/۹۰۳/۰۰۰ |
| ۴- ژاپن | ۶۹/۶۲۹/۰۰۰ |
| ۵- اسپانیا | ۵۰/۳۴۷/۰۰۰ |
| ۶- روسیه | ۴۸/۷۰۰/۰۰۰ |
| ۷- کره | ۴۷/۱۹۵/۰۰۰ |
| ۸- ایتالیا | ۴۶/۴۰۴/۰۰۰ |
| ۹- ترکیه | ۴۲/۷۸۷/۰۰۰ |
| ۱۰- تایلند | ۳۷/۸۷۲/۰۰۰ |
| ۱۱- اندونزی | ۳۷/۰۰۰/۰۰۰ |
| ۱۲- بربزیل | ۳۶/۶۷۳/۰۰۰ |
| ۱۳- مکزیک | ۳۶/۰۰۰/۰۰۰ |
| ۱۴- ایران* | ۳۲/۶۵۰/۰۰۰ |
| ۱۵- مصر-ویتنام | ۲۹/۰۰۰/۰۰۰ |
| ۱۶- عربستان | ۲۶/۰۶۴/۰۰۰ |

کل تولید جهان در سال ۲۰۰۵ ، ۲/۳۱۰/۰۰۰/۰۰۰ تن

صنعت سیمان در جهان مصرف کننده ۲٪ از کل انرژی تولیدی و ۱,۵٪ از کل سوخت مصرفی در جهان می باشد.

تولید سیمان در دپارتمانهای مختلفی صورت می پذیرد که هر کدام از آنها مقادیر مصارف ویژه انرژی خاصی را به خود اختصاص می دهند. مصرف ویژه انرژی الکتریکی در کل خط تولید سیمان امروزه به مرز 90 kwh/ton of cement امروزه به مرز 700 kcal/kg cli Pyro-Processing صورت می پذیرد، به کمتر از 700 kcal/kg cli رسیده است. امروزه تأمین کنندگان عده تجهیزات سیمانی در هنگام عرضه محصولات خویش اعداد شاخص مقادیر مصرف انرژی را بعنوان امتیازات و ویژگی های محصولات خویش معرفی می نمایند. این مقادیر ویژه در دپارتمان های آسیاب های مواد خام و سیمان و دپارتمان پخت از اهمیت فوق العاده برخوردار است. اگر چه هزینه مصرف انرژی در کشور ما هنوز در مقادیر بسیار پائین قرار دارد، لکن توجه به مقادیر ویژه مصرف انرژی در هر دستگاه در ارزیابی عملکرد آن دستگاه مؤثر بوده و پائین بودن آن می تواند بعنوان یک امتیاز مورد توجه قرار داشته باشد. مقدار مصرف ویژه انرژی در هر دستگاه رابطه مستقیم با ظرفیت آن دستگاه دارد ولی تغییرات آنها غیر همسو می باشد. همانگونه که در ادامه این مقاله خواهیم دید، در واحدهای تولید سیمان همواره پتانسیلهای کاهش مصرف ویژه انرژی در صورت سرمایه گذلری در انها وجود دارد بگونه ای که با احتساب هزینه سالیانه مصرف انرژی معمولاً هزینه سرمایه گذلری پس از چند سال مستدک می گردد. با توجه به آمار تولید سیمان در گشور مان و روند رو به رشد آن، توجه به مقادی ویژه مصرف انرژی در واحدهای تولیدی اهمیت و دارد که می تواند بیان کننده نقش آن در کیفیت محصول تولیدی نیز باشد.

صرف انرژی در صنعت سیمان از دهه ۱۹۷۰ حدود ۳۰٪ کاهش یافته است و این امر عمدتاً از طریق ارای تکنولوژی های جدید و تجهیزات مدرن صورت پذیرفته است. این امر امروزه در بعضی از واحدهای کشورمان نیز بصورت تعطیل کردن کوره های کوچک قدیمی بعلت غیر اقتصادی بودن آنها صورت پذیرفته است. از طرف دیگر با توجه به بالا بدن مصرف انرژی در واحدهای مرتبط، امروزه روند اصلاحات در جهت تبدیل واحدهای مرتبط به خشک می باشد.

امروزه با بهینه سازی سیستم های احتراق و بکارگیری گرماهای تلف شده در خش های مختلف تولید از قبیل مصرف انرژی گرمایی در گازهای خروجی از پیس گرمکن در خشک کردن مواد در آسیاب مواد خام م یا استفاده از گازهای تلف شده در خروجی کولر چه در خط تولید و چه بصورت جداگانه در گرمایش یا تولید برق صنعتی سعی در کاهش میزان نشر گاز CO_2 از کارخانه دارند.

مرثترین این راهکارها بقرار زیر است :

- کاهش درجه حرارت و حجم گازهای خروجی از سیستم بوسیله بهینه سازی سیستم و کاهش میزان هوای نشتی
- اعمال بازیافت حرارتی در سیستم
- بهینه سازی سیستم احتراق و کاهش هوای اولیه از طریق بکارگیری های مدرن
- کاهش تلفات حرارتی از بدنه کوره ها و سیستم پخت
- بکارگیری پیش گرمکن های ۵ و ۶ طبقه با ای بافت فشار کم
- بهره برداری از تجهیزات با مصرف انرژی پایین مانند آسیاب های غلطکی، رولیرس، سپراتورهای راندمان بالا، موتورهای دور متغیر و غیره
- اعمال سیستم مدیریت بار برای بهره برداری بهینه از انرژی
- حذف کارکرد بدون بار از تجهیزات بویژه تجهیزات فرعی
- بهینه سازی دانه بندی در مواد ورودی و محصول آسیابها
- اعمال سیستم تعمیر و نگهداری تجهیزات برای راهبری بهینه آنها

برای اساس آنچه گفته شد، راهکارهای مرثر در کاهش مصرف انرژی در این صنعت بصورت زیر

است:

آماده سازی مواد خام :

- سیستم های انتقال مواد مؤثر

- سیستم های سلبزینگ پیشرفته

- آسیابهای غلطکی

- سپراتورهای راندمان بالا

سیستم پخت :

- مدیریت انرژی و سیستم کنترل فرآیند

- بهینه سازی سیستم احتراق

- کاهش تلفات حرارتی از بدن

- بکارگیری سوخت های ضایعاتی

- بهینه سازی کولرهای گریت

- بازیابی حرارتی بهینه از گازها و مواد

- بکارگیری سیکون هایی با افت فشار کم در پیش کرمکن ها

- تبدیل کوره های بلند به کوره های کوتاه مجهز به کلسایز

آسیابهای سیمان :

- مدیریت انرژی و سیستم کنترل فرآیند

- بهینه سازی شارژ آسیابهای گلوله ای

- بهینه سازی سپراتورها

- بکارگیری رولپرس ها

تمهیدات کلی :

- پیاده نمودن سیستم تعمیرات و نگه داری باز دارنده
- بکارگیری موتورهای DC در فن ها
- بهینه سازی سیستم هوای فشرده
- تولید سیمانهای مخلوط

آنچه مسلم است، تمامی موارد بالا برای هر کارخانه ای مصدق ندارد، ولی یکی از عوامل تأثیر گذار در انجام سرمایه گذاری در این جهات داشتن ذخایر قابل برداشت برای حدود ۵۰ سال یا بیشتر است تا امکان سرمایه گذاری در جهت کاهش مصرف انرژی قابل توجیه باشد.

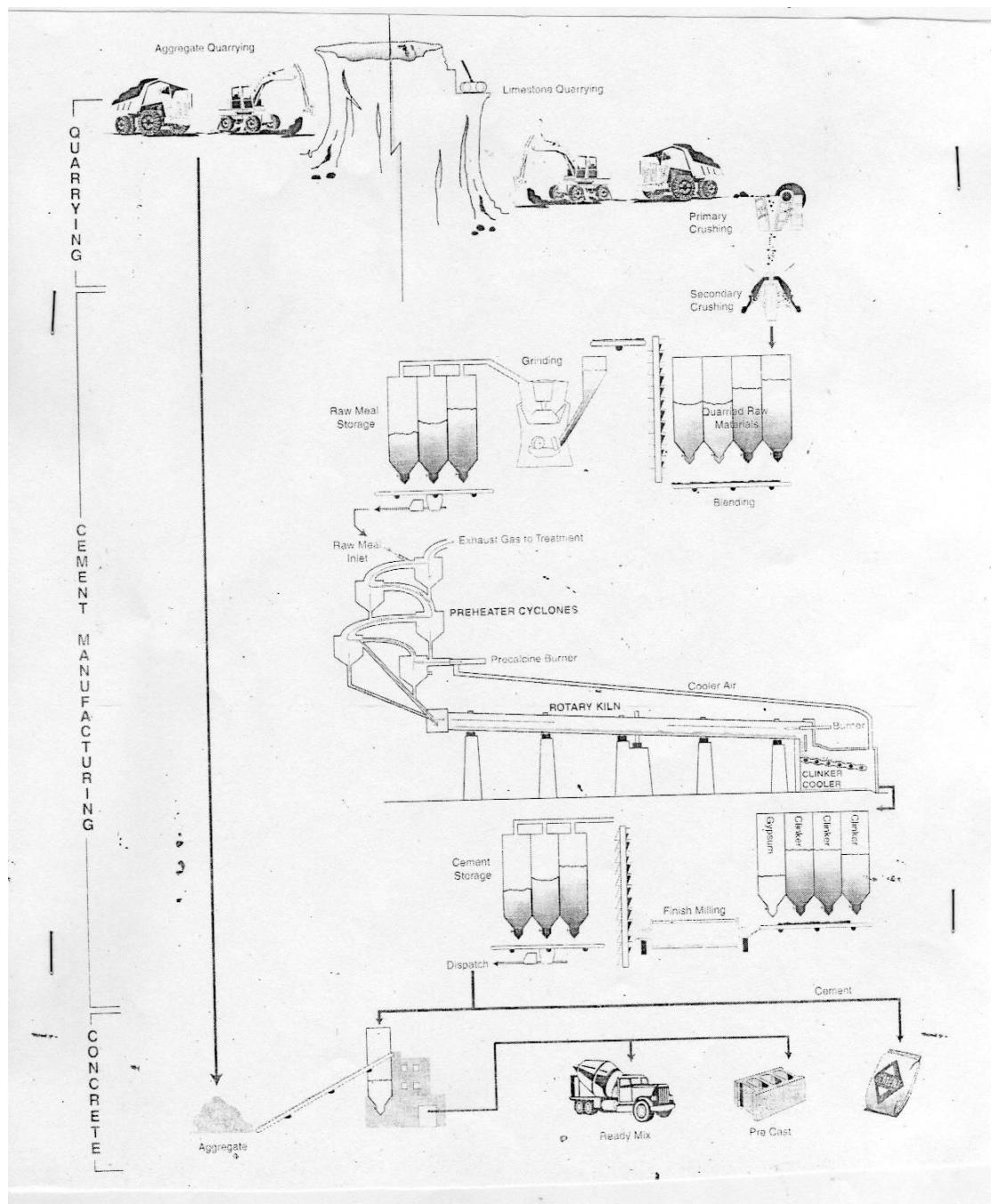
در این مورد تأسیس واحدهای انرژی در هر کارخانه امری ضروری در جهت ثبت مقادیر مصرف انرژی در دپارتمان های مختلف و بررسی روزانه مصارف و تلاش در جهت محدود کردن دائمی آنها می باشد.

تولید سیمان

شلک زیر نموداری از خط تولید سیمان را نشان می دهد. همانگونه که بعداً اشاره خواهد رفت

مراکز مصرف انرژی در

شکل شماره ۱-نمودار تولید سیمان



سه بخش عمده آسیای مواد خام، سیستم پخت و آسیای سیمان است. ضمن آنکه سایر بخش های کارخانه نیز هر کدام سهمی از مصرف انرژی را به خود اختصاص می دهند.

همانگونه که می دانید مصرف ویژه انرژی در یک کارخانه سیمان شامل دو بخش الکتریکی با مقدار ایده ال 95 kcal/kg cl $700 \text{ kwh/ton cement}$ می باشد. اگر این دو انرژی را به یکدیگر تبدیل نمائیم داریم :

$$95 \text{ kwh} + (700 \times 1000) / 860 = 909 \text{ kwh/ton cement}$$

به عبارت دیگر مجموع انرژی های مصرفی در صورت تبدیل انرژی حرارتی به الکتریکی حدود 909 kwh برای تولید یک تن سیمان است که سهم واحد پخت از آن بیش از 90% و سهم سایر بخش ها نیز از آن کمتر از 10% می باشد. این امر اهمیت و جایگاه سیستم پخت را در مصرف انرژی در یک کارخانه سیمان و لزوم کاهش آنرا نمایان می سازد.

از طرف دیگر، مقدار سوخت مصرفی در تولید ۱ تن در صورت دانستن مصارف ایده ال بالا بشرح زیر خواهد بود :

$$1 \text{ بشکه نفت} = 159 \text{ لیتر}$$

$$1 \text{ کیلو وات ساعت} = 860 \text{ کیلو کالری} = 6,45 \times 10^{-4} \text{ بشکه}$$

مصرف انرژی در کارخانه سیمان برای تولید ۱ تن سیمان :

$$\text{بشکه نفت } 6,45 \times 10^{-4} \text{ بشکه نفت} = 0,591 \text{ بشکه نفت} \approx 0,591 \text{ (حرارتی)} + 0,53 \text{ (الکتریکی)}$$

$$\text{نفت } 0,061 \text{ بشکه نفت} = 700 / 1000 \text{ kcal}$$

در اینجا هم دیده می شود که سهم واحد پخت حدود پیش از 90% درصد از کل انرژی مصرفی می باشد.

جدول زیر نشان دهنده مصارف ویژه انرژی الکتریکی در دپارتمان های مختلف خط تولید سیمان

می باشد :

درصد	Kwh/ton	
۵	۲	۱- معدن - کراشر
.	۰,۴	۲- انبار اختلاط
۶	۲۸	۳- آسیاب مواد خام (گلوله ای)
۶	۱۴,۶	۴- سیلوی اختلاط و تغذیه کوره
-	۴,۴	۵- خشک کن مواد (در سیستم مرطوب)
۲۲	۱۹	۶- سیستم پخت
۳۸	۴۳,۵	۷- آسیاب سیمان (در آسیاب)
۵	۱,۱	۸- بارگیر خانه
	۱,۵	۹- سایر قسمت ها

۱۱۵

جمع

همانگونه که دیده می شود عمدہ ترین مصرف کنندگان انرژی الکتریکی به ترتیب آسیای سیمان، آسیای مواد خام و سیستم پخت می باشد. ضمن آنکه در واحدهای جدید سعی در کاهش مصرف کلی به کمتر از ۱۰۰ کیلو وات ساعت بر تن سیمان شده است.

۱- بخش معدن و خردايش

در بخش معدن مصارف انرژی برای چاله زنی تا انفجار، برداشت و استخراج شامل می گردد که در کارخانجات معمولاً معادن روباز مورد استفاده بوده و بیشتر هم برای سنگ آهک روشهای انفجاری بکار می رود.

در بخش معدن انواع سیستم ها (جدول زیر) وجود دارد که بسته به میزان مصرف انرژی قابل انتخاب می باشند. جدول زیر مقایسه انرژی را برای این سیستمها نشان می دهد :

جدول شماره ۱- مقایسه انواع سنگ شکن ها در صنعت سیمان

Crusher Type	Size Reduction	Specific Energy Consumption Kwh/t material
Gynatory Crusher	5-8	0.38-0.55
Jaw Cresher	5-8	0.46-1.1
Impact Crusher (Fixed Hammer)	80	0.4-0.6
Hammer Mill with grate		
Single rotor	20-30	1-2
Double rotor	30-40	1.3-2.0
Swing hammer without grate	10-20	0.75-0.8

۲- آسیاب مواد خام

امروزه برای این بخش عمدها از آسیابهای غلطکی استفاده می گردد ضمن آنکه در پاره ای موارد آسیاب های گلوله ای مجهرز به پیش خرد کن نیز بکار می رود. مصرف انرژی بسیار پایین، امکان مصرف مواد با دانه بندی درشت و رطوبت بالا، امکان خشک کردن همزمان مواد در داخل آسیاب و بالاخره تجهیز آسیاب به سپرаторهای رادمان بالا همگی از عوامل مؤثر در انتخاب آسیاب های غلطکی است. جدول زیر مقایسه مقادیر مصارف انرژی برای این دو نوع آسیاب است :

جدول شماره ۲- توزیع مصارف انرژی برای ۳ سیستم آسیاب های غلطکی، گلوله ای و رولپرس

برای تولید 150 t/h مواد خام با ۴٪ رطوبت

Specific energy consumption,, kwh/t material			
System Particulars	VRM	Ball Mill	High Pressure Roller Press
Secondary	0.00	0.60	0.30
Crusher	0.00	0.40	0.40
Tertiary	8.00	15.0	9.00
Crusher	0.70	0.70	0.70
Grinding Mill	0.00	0.00	1.50
Classifier	0.20	0.80	1.50
Disagglomerator	0.00	0.60	0.90
Bucket Elevator	5.31	2.50	3.20
Conveyors			
Mill Fans			
Total Power	14.20	20.60	17.50

۳- سیستم اختلاط مواد (هموژن-بلندینگ)

امروزه برای این بخش از انواع سیستم های وزنی (Gravity) استفاده میگردد که بر خلاف سیستم های قدیمی هوای فشرده (Continuous) اگر چه راندمان پایین تری دارد لکن مصرف انرژی در آن بسیار کمتر است در بعضی از انواع این سیستم های جدید با نصب محفظه اختلاط در زیر سیلو سعی در افزایش راندمان سیستم های جدید می نمایند. جدول زیر مقایسه مصرف انرژی در انواع این سیستم ها می باشد :

Blender type	Power Consumption
Mechanical system	200 to 2.50 kwh/ton
Air fluidized system	1.00 to 1.50 kwh/ton
Gravity system-inverted conw	0.25 to 0.50 kwh/ton
Gravity system-multi-outlet	0.10 to 0.13 kwh/ton

جدول شماره ۳- مصارف ویژه انرژی برای انواع مختلف سیستم های اختلاط مواد خام

۴- سیستم پخت

سیستم های مدرن امروزی مجهرز به سیکون های با افت فشار پایین می باشند که تأثیر زیادی در کاهش مصرف انرژی بویژه در بخش فن های پیش گرمکن دارند. این تأثیر بصورت کاهش $7\text{--}6\text{,0}$ کیلو وات ساعت به ازای هر $50^{\text{mm WG}}$ کاهش در افت فشار سیکون ها می باشد.

امروزه در طرح های بهینه سازی با تبدیل کوره های بلند به کوره های کوتاه مجهرز به پیش گرمکن ضمن افزایش 50 درصدی در ظرفیت باعث کاهش حدود $100^{\text{kcal/kg cli}}$ در مصرف حرارتی سیستم می گردند. این کاهش در صورت استفاده از سیستم پیش حدود $300^{\text{kcal/kg cli}}$ می باشد.

اما تحولات امروزه در محدوده های دیگری نظیر بکارگیری فیلترهای کیسه ای به جای الکترو فیلتر و لذا افزایش تحمل حرارتی بخش فیلتراسیون تا $260^{\circ\text{C}}$ و لذا حذف برج خنک کن از سیستم و استفاده از هوای اضافه (با یا بدون تزریق آب) می باشد. این تغییرات اگرچه از نظر سرمایه گذاری در جهت کاهش هزینه ها می باشد، لکن بعلت حذف برج خنک کن باعث افزایش حجم عملی گازهای خروجی از پیش گرمکن و لذا افزایش مصرف انرژی در بخش فن های پیش گرمکن و نیز فن فیلتر می گردد. در بخش کولر امروزه از تانواع کولرهای گریت مدرن به جای انواع قدیمی دور، سیلره ای، عمودی و یا گردشی (travelling) استفاده می گردد. که باعث کاهش درجه حرارت کلینکر تا $75^{\circ\text{C}}$ می شود ضمن آنکه بازیابی حرارتی از کلینکر داغ نیز حداکثر می شود. در طرح های بهینه سازی در پاره ای موارد با نصب سیستم ذره های ثابت شیبدار در ورودی کولر، راندمان بازیابی حرارتی کولرهای را $2\text{--}5$ درصد افزایش می دهند.

در بخش احتراق نیز با بکارگیری سیستم های احتراق پیشرفته ضمن برطرف کردن نا مطلوب و CO در گازهای خروجی امتداد هواي اضافي لازم (λ) و هواي اوليه به حداقل ميرسد. اين عمليات مصرف سوخت را ۲-۱۰ درصد کاهش مي دهد.

برای بررسی امکان وجود راهکار در کاهش مصرف انرژی در سیستم پخت، نگاهی به موازنه انرژی در این قسمت بصورت زیر می‌اندازیم:

Kcal/kg clinker	موازنہ حرارتی در سیستم پخت سیمان (مقادیر نمونه)
+۱۷۸	گرمای همواره با گاز و غبار خروجی از پیش گرمکن
-	" مدار فرعی (By-pass) "
+۴۲	تلفات حرارتی از بدنه پیش گرمکن
+۲۳	" کوره "
+۴۱۶	گرمای مورد نیاز برای پخت مواد
+۵	" تبخیر آب آزاد "
+۹۶	تلفات حرارتی در کولر
+۷	تلفات همراه با کلینکر خروجی
-۲۸	گرمای همراه (محسوس) با مواد خام، هوا و سوخت
+۷۱۴	جمع

جدول شماره ۴- موازنۀ حرارتی در سیستم پخت سیمان

همانگونه که دیده می شود، پس از مواد با 416 kcal/kg cli، بخش کولر با 96 kcal/kg cli پیش‌بین مصرف کننده در سیستم یخت می باشد.

لذا با بهینه سازی این قسمت می توان از گرمای موجود به ویژه در گازهای خروجی کولر با درجه حرارت حدود 30° بیشترین تأثیر را در کاهش انرژی حرارتی مصرفی داشت.

پس از آن بدنه پیش گرمکن و سپس کوره بیشترین مصرف کننده حرارتی می باشد که با انجام عایق کاری صحیح می توان جلوی این تلفات حرارتی را گرفت و این عایق کاری بصورت

انتخاب نسوزهای کوتینگ پذیر برای منطقه پخت و نسوزهایدو لایه برای منطقه کلسيناسیون با توجیه واکنش گرمگیر کلسيناسیون در این منطقه می باشد.

۵- سیستم های انتقال مواد

از دو سیستم شاخص الاتور و ایرانیت، بر اساس جدول زیر، سیستم الاتور دارای مصرف انرژی پایین تری می باشد. لکن جنبه های اقتصادی نیز در تصمیم گیری در این زمینه مؤثر است.

ضمن آنکه بکارگیری ایرانیت در بخش کوره باعث مصرف ۱۰٪ هوای اضافه و ورود آن به سیستم پخت می گردد که تأثیرات انرژی زایی دارد در حالی که با به کارگیری الاتور ضمن لزوم نصب اسلالیدرها در بالا نیاز به فیلتر کیسه ای در بالا نیز خواهد بود، لذا در هنگام تصمیم

در این باره باید جنبه های زیر را در نظر گرفت :

- مصرف ویژه انرژی
- هزینه سرمایه گذلری
- هزینه نصب
- انعطاف سیستم برای انجام تبدیلات در آینده

جدوا زیر مقایسه انرژی برای دو نوع متداول سیستم انتقال مواد را نشان می دهد :

جدول شماره ۵- توزیع مصارف ویژه انرژی در سیستم های مختلف تغذیه کوره

	Air lift	Dense phase	Screw pump	Elevator
Air power consumption (KW)	180.8	104.3	152.0	-
Mechanical power Consumption (KW)	11.2	-	81.9	74.5
Miscellaneous power Consumption (KW)	27.9	13.0	6.2	7.4
Total power Consumption (KW)	219.9	117.3	240.1	81.9
Power Consumption (kwh/ton)	1.1	0.59	1.2	0.41
Power Consumption based on kwh per ton of raw mill feed.				

۶- آسیاب های سیمان

بکارگیری آسیاب های گلوله ای اگرچه کیفیت مطلوب را برای محصول تضمین می نماید ولی مصرف انرژی بالایی را دارد. بهینه سازی آسیاب ها نظیر استفاده از رولپرس بصورت ترکیبی یه به تنهائی و به کمک یک سپراتور و یا با استفاده از آسیاب غلطکی باعث کاهش انرژی مصرفی تا حدود $20\text{--}30 \text{ kwh/ton}$ (بلین $3000 \text{ cm}^2/\text{gr}$) این میزان در آسیاب جدید 21 kwh/ton گزارش شده است مصرف انرژی در صورت تولید سیمان Horomill حدود $3500 \text{ cm}^2/\text{gr}$ بوسیله آسیاب های گلوله ای حدود $50\text{--}70 \text{ kwh/ton}$ ویژه در تولید سیمانهای روباره ای با بلین است.

بکارگیری سپراتورهای راندمان بالا در آسیاب های قدیمی که در طرح های بهینه سازی مورد استفاده قرار می گیرد بعلت جدایش بولینه ذرات نرم از زیر و لذا کاهش زمان توقف مواد در آسیاب و جلوگیری از $Over-grinding$ باعث کاهش حدود 4 kwh/ton در انرژی مصرفی و افزایش 25 درصدی در ظرفیت آسیاب می گردد. شارژ مناسب و استفاده از سیستم های بهینه لاینرها نیز می تواند حدود $1,5\text{--}2 \text{ kwh/ton}$ صرفه جویی در مصرف انرژی الکتریکی را به همراه داشته باشد.

۷- بکارگیری سیستم کنترل های پیشرفته

بررسی ما نشان می دهد بکارگیری سیستم های کنترل پیشرفته مانند Fuzzy Logic، سیستم کنترل Expert یا سیستم DCS و انواع دیگر ضمن افزایش ضریب راهبری سیستم، بعلت تولید کلینکر با ویژگی های سایشی مطلوب تر کلاً باعث $3\text{--}8$ درصد کاهش در مصرف انرژی می گردند. مدت زمان برگشت سرمایه در این زمینه حدود 2 سال برآورد می گردد. از جمله سایر انواع سیستم های کنترلی مانند سیستم آنالیز پیوسته مواد

که بعلت کنترل یکنواخت تر و مداوم مواد، اثر مثبت در Online Cross-belt Analyser

کیفیت و کاهش انرژی مصرفی دارد.

۸- انواع فن ها

انتخاب فن ها در صنعت سیمان از اهمیت خاص چه از نظر طبیعت گاز مورد انتقال (هوای گاز با غبار، بدون غبار) یا محدودیت جا برای نصب و یا درجه حرارت و صدا دارد. جدول زیر نشان دهنده مصرف ویژه انرژی برای انواع فن ها در این صنعت می باشد :

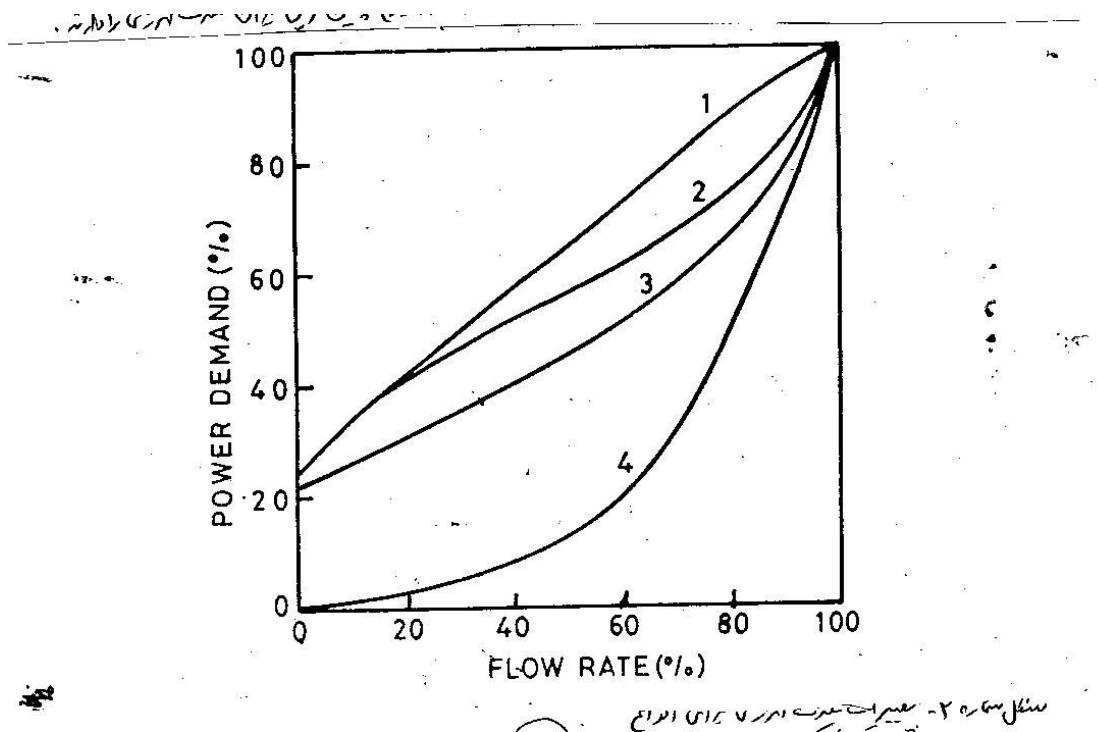
Section Particulars	Fan-Blowers Installation capacity, kW	Total Equipment Installation capacity, kW
Crushing Dept	200	2700
Raw Material grinding Dept	2000	8000
Kiln and Kiln feed	3100	3800
Cooler Dept	1700	2550
Coal Mill Dept.	750	1750
Cement Mill Dept.	475	6700
Packing Plant	250	750
Total Capacity	8475	28250
Percentage of Total Installed Power	30%	100%
Typical Energy consumption kwh/t	36 kwh	130 kwh
Energy Saving with 10% Increase In	3.6 kwh	-

جدول شماره ۶- مصارف انرژی الکتریکی فن ها در دپارتمان های مختلف یک کارخانه سیمان به

ظرفیت ۱ میلیون تن در سال

همانگونه که ملاحظه می کنید حدود ۳۰ درصد از انرژی نصب شده در یک کارخانه سیمان به فن ها اختصاص دارد. کنترل دبی و فشار فن ها به ۴ طریق می باشد که رابطه آن با مصرف انرژی در شکل زیر آورده شده است.

همانگونه که دیده می شود نوع ۱ (وجود دریچه در جلوی فن) پایین ترین میزان مصرف انرژی را دارند.



شکل شماره ۲- تغییرات مصرف انرژی برای انواع مختلف کنترل کننده های جریان در فن ها

۹- تولید سیمان های مخلوط

این امر ضمن کاهش مصرف انرژی در بخش آسیاب های سیمان باعث کاهش مصرف کلینکر و

لذا نشر CO_2 از سیستم می گردد.

این امر نیازمند تجهیزات لازم برای ذخیره سازی و تست مواد ورودی و یا سیلوهای لازم برای ذخیره سیمان تولیدی می باشد، ولی تغییراتی را نیز در آسیابهای سیمان نیاز دارد مانند تغییر در شارژ، سیراتور و غیره.

همانگونه که می دانید معمولاً تا ۵٪ مصرف سنگ آهک تغییرات در خواص سیمان را در ناحیه مجاز و لذا قابل قبول به دنبال دارد، ضمن آنکه کاهش سوخت در بخش کوره، کاهش در نشر CO_2 و کاهش kwh/ton^3 انرژی در بخش سایش را به همراه دارد.

میزان بلین (سطح مخصوص) سیمان تولیدی نیز در مصرف انرژی در بخش سایش سیمان را نشان می ده. بر این اساس تولید سیمان روبارخ ای در کل علیرغم بالاتر بودن انرژی در سایش در آسیاب سیمان، در مجموع در کل خط تولید پایین تر است. یکی از دلایل این امر بالاتر بودن درصد مصرف روباره در سیمان می باشد.

Energy MJ/t				
Portland Cement Clinker 94% g gypsum 6%	Composite cement clinker 77% filler 18% g gypsum 5%	Composite cement clinker 75% pozzolana 20% g gypsum 5%	Composite Cement Clinker 66% Slag (*) 30% gypsum 4%	
Clinker	3384	2772	2700	2376
Grinding, etc.	364	409	409	500
Total	3748	3181	3109	2876

(*)It has been supposed that the slag is dried by the heat of recovery of air cooling the grate. The energy for drying can influence significantly the processing costs when the slag moisture is high.

جدول شماره ۷- مصارف ویژه انرژی در تولید انواع سیمانهای مخلوط (واحد : MJ/ton) در مقایسه با سیمان پرتلند

۱۰- تکنولوژی های جدید

در اینجا اشاراتی مختصر به تکنولوژی های جدید تولید سیمان داریم :

• کوره بستر سیال (FBK)

در این سیستم کوره دوار بوسیله یک استوانه با بستر سیال جایگزین شده و خروج مواد از آن ب داخل کولر بصورت سریز انجام می گیرد. سایر بخش ها مانند کولر یا پیش گرمکن بدون تغییر باقی ماند. کاهش مصرف انرژی در این سیستم در مقایسه با سیستم های متعارف

۱۰-۱۵ درصد می باشد. در این سیستم که بیشتر در امریکا و ژاپن مورد استفاده قرار گرفته است، کاهش چشم گیری در میزان NU_X مشاهده شده است.

- سیستم های سایش غیر مکانیکی

در این سیستم ها با بکارگیری اوالتراسونیک، لیزر، شوکهای حرارتی یا الکتریکی و یا مخلوط های بروتی عمل فرسایش و پودر کردن مواد انجام می پذیرد. اگرچه این سیستم ها معایب سیستم های مکانیکی مانند تلفات انرژی به صورت گرما را ندارند، لکن هنوز در مقیاس صنعتی کاربرد پیدا نکرده اند.

- کلینکر یا سیمان پلیمری

در این روش با اختلاط ۳ جزئ خاک رس، دی سیلیکات های قلیایی و روباره یا خاکستر سبک، سیمان بر پایه Zoolite تولید می گردد. این نوع سیمان که در دمای پایین پخت می شود پس از ۴ ساعت به مقاومت 200 kg/cm^2 و پس از ۲۸ روز به مقاومت 1000 kg/cm^2 می رسد. اگرچه مقدار قلیایی در این سیمان بالا است، لکن واکنش مخرب قلیایی-سنگدانه ستان رخ نمی دهد. بعلت دمای پخت پیین، مقدار نشر CO_2 ستان کم می باشد.