ارزیابی فرصت‌های صرفه‌جویی مصرف انرژی در صنعت سیمان ایران

چکیده: روند رو به رشد مصرف انرژی در ایران در سال‌های اخیر باعث تشکیل گروه‌های مدیریت انرژی در صنایع گردیده است. صنعت سیمان یکی از صنایع انرژی‌در جهان است که این صنعت در ایران ۱۵ درصد مصرف انرژی بخش صنعت را در سال ۱۳۸۴ به خود اختصاص داده است. بنابراین، کاهش مصرف انرژی از طریق بهبود فرآیند، مدیریت تولید و معرفی تکنولوژی‌های جدید، نتایج مهمی را به دنبال خواهد داشت. بر پایه انجام ممیزی انرژی در ۳۳ کارخانه سیمان طی سال‌های ۱۳۸۳-۱۳۸۴، پتانسیل صرفه‌جویی انرژی معادل ۲۲۳/۵ میلیون کیلو وات ساعت برق و ۱۶۸ میلیون لیتر معادل نفت‌کوره انرژی حرارتی در سال برآورد شده است. به‌طورکلی سالانه ارزش اقتصادی صرفه‌جویی در مصرف انرژی در این صنعت برابر ۵۰/۷ میلیون دلار (فوب خلیج فارس) می‌باشد.

مقاله حاضر روند مصرف انرژی در این صنعت را از طریق انجام ممیزی انرژی بررسی کرده و پتانسیل‌های صرفه‌جویی، افزایش بهره‌وری و بهبود فرآیند را از طریق انجام ممیزی‌های انرژی در کارخانجات مربوطه، تعیین نموده است. همچنین تأثیر صرفه‌جویی در مصرف انرژی و کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی و استانداردهای مربوط به این صنعت را بررسی می‌کند. در نهایت در این مقاله استراتژی‌های صرفه‌جویی انرژی در گروه‌های انرژی الکتریکی، انرژی حرارتی، برنامه‌ریزی تولید، عملیات و تعمیر و نگهداری و آموزش مستمر، طبقه‌بندی شده است.

واژه‌های کلیدی: صرفه‌جویی در مصرف انرژی، صنعت سیمان، ممیزی انرژی.

سورنا ستاری[۱] اکرم عوامی[۲]

۱. مقدمه

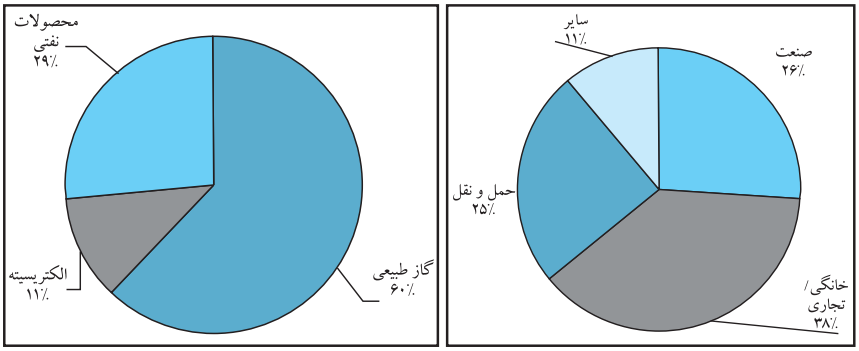
بخش صنعت، سهم قابل توجهی از مصرف انرژی کشور را به خود اختصاص داده است. از آنجا که تولید انرژی بر پایه سوخت‌های فسیلی انجام می‌شود، مسأله محیط زیست نیز دارای اهمیت است. قوانین و مقررات اقتصادی و زیست‌محیطی، صنایع را وادار نموده است که وضعیت خود را بهبود بخشند. به بیان دیگر مسائل زیست‌محیطی، انرژی و اقتصادی در بخش صنعت به شدت در هم تنیده‌اند. جهت هر گونه افزایش بازدهی و کاهش هزینه لازم است تأثیر همه این عوامل، در نظر گرفته شوند. مطالعات زیادی در زمینه تحلیل انرژی در صنایع مختلف از طریق انجام ممیزی انرژی منتشر شده است. شوخر روند مصرف انرژی در صنعت سیمان آلمان را مورد بررسی قرار داده و پتانسیل صرفه‌جویی حرارتی را برآورد نموده است[۳]. ورل تحلیل انرژی بر روی صنعت سیمان آمریکا طی سال‌های ۱۹۷۰ تا ۱۹۹۷ را انجام داده و پتانسیل‌های بهبود زیست‌محیطی و انرژی آن را بررسی نموده است[۴]. کورانا ارزیابی ایجاد یک واحد تولید همزمان در یک واحد تولیدی سیمان در هند را بررسی کرده است[۵]. مقاله حاضر وضعیت مصرف انرژی در صنعت سیمان در ایران و جایگاه آن در کل بخش صنعت را مورد مطالعه قرار می‌دهد و پتانسیل‌های افزایش بازدهی این صنعت را در بخش‌های انرژی حرارتی و الکتریکی بررسی می‌نماید.

۲. جایگاه صنعت سیمان در ایران

۲۶ درصد از کل مصرف انرژی ایران در بخش صنعت به وقوع می‌پیوندد، که از این مقدار ۲۹ درصد فرآورده‌های نفتی، ۶۰ درصد گاز طبیعی و ۱۱ درصد الکتریسیته است (نمودار ۱).

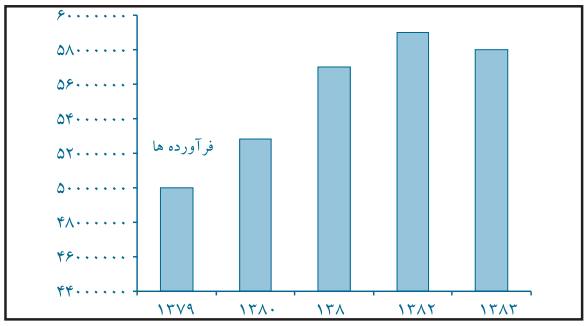
نمودار ۲ حجم آلاینده دی‌اکسید کربن منتشر شده توسط بخش صنعت در سال‌های اخیر را نشان می‌دهد.

نمودار ۱. وضعیت مصرف انرژی در ایران و مقادیر مختلف حامل‌های انرژی سال ۱۳۸۳

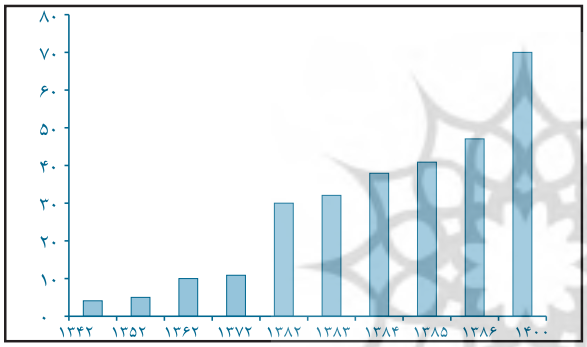


منبع: www.ifco.ir

نمودار ۲. میزان دی‌اکسیدکربن منتشر شده توسط آلاینده‌های گازی در ایران



نمودار ۳. روند تاریخی و چشم‌انداز تولید سالانه سیمان ایران



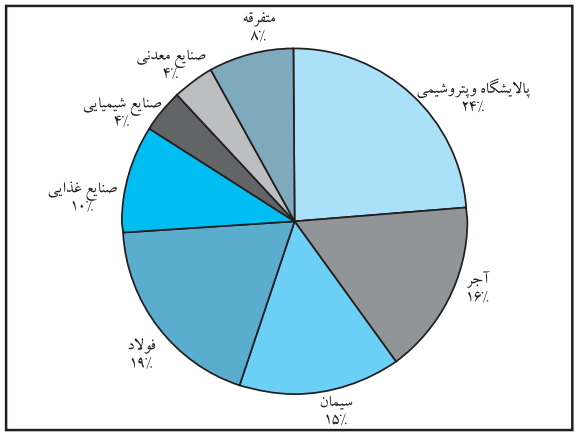
منبع: www.lrancement.com

میزان کل سیمان تولیدی در ایران حدود ۳۰ میلیون تن در سال ۱۳۸۴ بوده که توسط ۳۳ کارخانه حاصل شده است. طی ۱۰ سال گذشته ۱۵ میلیون تن افزایش ظرفیت با نرخ رشد ۴ درصد وجود داشته است. از سال ۱۳۲۹ تا سال ۱۳۸۱ سهم تولید سیمان ایران از کل سیمان تولیدی دنیا از ۰/۰۴ درصد به ۱/۶۱ درصد رسیده است.

تقاضای سیمان به عوامل زیادی مانند رشد جمعیت و رشد اقتصادی بستگی دارد. با افزایش ۱۰ درصدی سالانه تقاضا، کل میزان تولید سیمان به ۷۲/۲ میلیون تن در سال ۱۴۰۰ خواهد رسید. همانطور که در نمودار ۵ نشان داده شده است، کارخانه‌های سیمان ۱۵ درصد از کل انرژی مصرفی صنایع را به خود اختصاص داده‌اند.

بنابر شرایط مختلف عملیاتی، از کل مصرف انرژی صنعت سیمان کشور، به‌طور متوسط ۱۲ درصد توسط برق و

شکل ۴. مصرف انرژی در صنایع مختلف سال ۱۳۸۴



منبع: www.ifco.ir

۸۸درصد توسط سوخت‌های هیدروکربنی تأمین می‌شود.

نمودار ۶انواع هیدروکربن‌های مصرفی کارخانه‌های این صنعت را نشان می‌دهد.

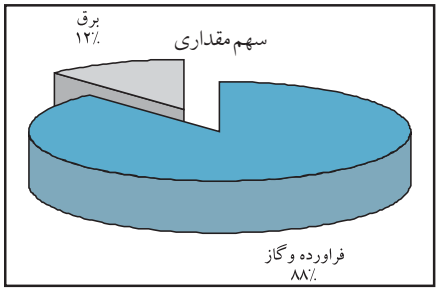
مصرف انرژی ویژه برای صنعت سیمان ایران ۱۰۵لیتر بر تن است که این مقدار برای دنیا ۸۰و مقدار هدف برای ایران ۹۵لیتر در ده سال آتی است. بنابراین با مقایسه مقدار شاخص در ایران و جهان، پتانسیل صرفه‌جویی قابل توجهی وجود دارد.

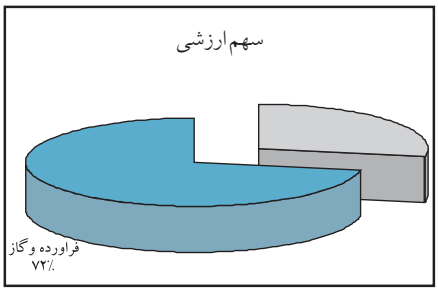
۳. روش‌شناسی انجام ممیزی انرژی

ممیزی انرژی ابزار جامعی برای ارزیابی بازده سیستم انرژی موجود است. این ممیزی می‌تواند باعث افزایش بازدهی انرژی، کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی از قبیل دی‌اکسید کربن و اکسیدهای نیتروژن و گوگرد گردند.

طی سال‌های ۱۳۸۳-۱۳۸۴ ممیزی انرژی در اکثر کارخانه‌های سیمان انجام گرفته است. تیم‌های ممیزی کار خود را در دو سطح انجام می‌دهند. در سطح اول روند تاریخی و اطلاعات تکنولوژیکی کارخانه را مطالعه کرده و پتانسیل‌های صرفه‌جویی را به‌صورت تقریبی برآورد می‌کنند و گزارش اولیه را آماده می‌سازند. در مرحله بعدی شاخص‌های الکتریکی و حرارتی را اندازه‌گیری نموده و آزمایشات را برنامه‌ریزی می‌کنند و شدت انرژی را با توجه به استانداردهای موجود، محاسبه می‌نمایند. این گروه‌ها موازنه جرم و انرژی را در بخش‌های مختلف انجام می‌دهند و جریان‌های اتلافی را شناسایی نموده و برای کاهش اتلاف انرژی، راه‌حل‌هایی را پیشنهاد می‌کنند. در نهایت مطالعات امکان‌سنجی و محاسبات اقتصادی را انجام داده و گزارش نهایی را آماده می‌کنند. تحقیق حاضر بر مبنای مطالعات ممیزی انرژی تک‌تک کارخانه‌ها صورت گرفته و نتایج و تحلیل‌های زیر حاصل شده است.

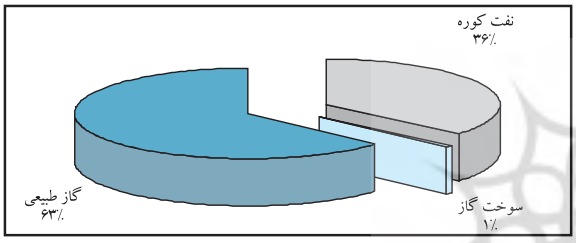
نمودار ۵. مقدار و ارزش حامل‌های انرژی به‌کار رفته در تولید سیمان سال ۱۳۸۳





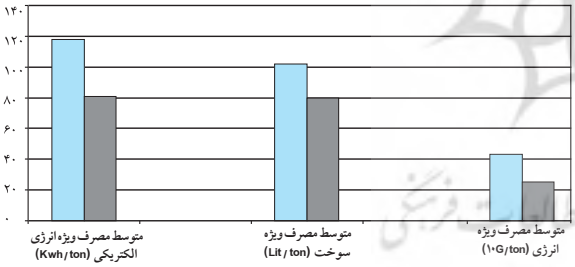
منبع: www.ifco.ir

نمودار ۶. انواع مختلف محصولات نفتی در کارخانه‌های سیمان ایران سال ۱۳۸۴



منبع: www.ifco.ir

نمودار ۷. مصرف ویژه انرژی در صنعت سیمان



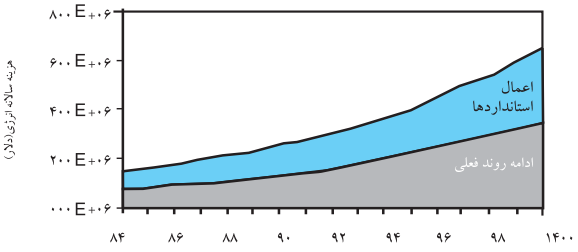
منبع: www.ifco.ir

۴. نتایج و بحث

در کارخانجات سیمان ایران شدت انرژی الکتریکی و نفت کوره به ترتیب ۱۱۷کیلووات ساعت بر تُن و ۱۰۵لیتر بر تن می‌باشند. شدت کلی مصرف انرژی در صنعت سیمان ۴/۳۱۹ گیگا ژول بر تن است (۱/۳۱ برابر متوسط جهانی).

یکی دیگر از تحولات عمده در کارخانجات سیمان، تغییر سوخت این صنایع به گاز طبیعی می‌باشد. گرچه هزینه سرمایه‌گذاری این تغییر

نمودار ۸. پتانسیل صرفه‌جویی در مصرف انرژی با بکار بردن استانداردها



منبع: www.ifco.ir

سوخت بالا می‌باشد ولی با توجه به قیمت پایین عرضه داخلی و مقایسه آن با قیمت‌های بین‌المللی، هزینه فرصتی را برای صادرات نفت کوره فراهم می‌آورد.

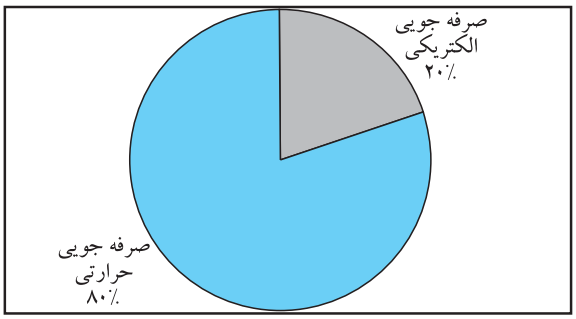
با استفاده از روش تحقیق حاضر (بررسی نتایج ممیزی انرژی تک‌تک کارخانجات)، میزان صرفه‌جویی حرارتی ۱۰۱۲×۱/۵ کیلو کالری در سال معادل ۳۹/۴ میلیون دلار در سال و صرفه‌جویی الکتریکی ۱۰۶×۲۲۳/۵ کیلو وات در سال معادل ۱۱/۳ میلیون دلار در سال ۱۳۸۴ محاسبه داده شده است. نمودار ۹ درصد صرفه‌جویی‌های ممکن را به صورت اقتصادی نشان می‌دهد.

در کل ۵۰/۶ میلیون دلار پتانسیل صرفه‌جویی انرژی در صنعت سیمان کشور در سال ۱۳۸۴ وجود داشته که این رقم از طریق انجام ممیزی‌های انرژی با توجه به بهبود تکنولوژی‌های موجود و شرایط عملیاتی تعیین گردیده است. در ادامه به بررسی برخی از استراتژی‌های افزایش بازده انرژی در کارخانه‌ها می‌پردازیم.

۴-۱. پتانسیل صرفه‌جویی الکتریکی

الکتریسیته در صنعت سیمان به صورت گسترده استفاده می‌گردد و آسیاب‌ها، بزرگ‌ترین مصرف‌کننده برق در این صنعت هستند. بنابراین هر گونه تغییری، نتایج چشمگیری را به دنبال خواهد داشت. برخی از این راه‌های صرفه‌جویی در مصرف برق عبارتند از:

شکل ۹. پتانسیل صرفه‌جویی اقتصادی



منبع: گزارش‌های داخلی مؤسسه مطالعات بین‌المللی انرژی، گردآوری دستاوردهای بهینه‌سازی مصرف انرژی، ۱۳۸۶.

- کاهش نشتی در قسمت‌های مختلف مانند: آسیاب‌ها و کوره‌ها (مواد خام و سیمان) پیش گرمکن و لوازم جانبی اصلاح ظرفیت در قسمت‌های مختلف که بر روی الکتریسیته مصرفی تأثیر دارد.
- کولر: تنظیم هوای ورودی، بازیافت حرارت و تعویض کولر
- سیستم‌های مکانیکی: نصب الواتور بجای ایرلیفت
- درایورها و موتورهای الکتریکی: با تغییر چینش موتورها از دلتا به ستاره می‌توان تا ۳۳ درصد مصرف برق را کاهش داد. همچنین کنترل موتورها نیز بر روی مصرف بهینه تأثیر دارد.
- بهینه‌سازی عملیات کمپرسورها، بهبود کیفیت هوای فشرده و کاهش اتلاف هوای فشرده
- نصب پیش آسیاب در آسیاب‌های مواد خام و سیمان

مقادیر پتانسیل‌های شناسایی شده در این بخش در جدول ۱ خلاصه شده‌اند.

شکل ۱۰ سهم هر گزینه را از صرفه‌جویی در کل کارخانجات سیمان نشان می‌دهد. عملیات صحیح موتورها و گرداننده‌ها، کاهش نشتی و اصلاح ظرفیت به ترتیب بیشترین تأثیر را در صرفه‌جویی در مصرف برق دارند. اکثر این راه‌حل‌ها نرخ بازگشت سرمایه کمی دارند.

۴-۲. پتانسیل صرفه‌جویی حرارتی

برخی از راه‌های صرفه‌جویی حرارتی عبارتند از:

- کاهش نشتی در تولید کلینکر و آماده سازی مواد خام، آب‌بندی مؤثر سیستم،
- اصلاح ظرفیت،
- افزایش بازده سیکلون‌ها،
- **فرآیند احتراق:** مونیتور فرآیند احتراق، اصلاح مشعل‌ها، کنترل پوسته کوره، تعویض آجرهای نسوز، تکنیک‌های بازیافت حرارت با کاهش دمای بخار یا در قسمت‌های پیش گرمکن، کاهش سوخت و کاهش اتلافات خروجی از کوره، تنظیم صحیح مقدار اکسیژن، بهینه کردن شکل مشعل‌ها و دمای عملیاتی آن‌ها،
- **بهبود آسیاب‌ها،**
- **کولر:** تنظیم صحیح کولر، نگهداری صحیح سیستم کاهش هوای خروجی از فن‌ها، تنظیم فشار، کاهش دمای گازهای خروجی، باز یابی هوای اضافی و....
- **پیش گرمکن:** بهبود ظرفیت سیستم و اضافه نمودن آن به سیستم

همانطور که در نمودار ۱۱ نشان داده شده است، بیشترین میزان اتلاف حرارت مربوط به نشتی‌هاست که به‌راحتی قابل اجتناب است.

۴-۳. برنامه‌ریزی تولید

کاهش توقف خط تولید بر روی بازده تولید، میزان اتلاف

جدول ۱. پتانسیل صرفه‌جویی سالانه الکتریکی

گزینه پیشنهادی	صرفه‌جویی الکتریکی (کیلو وات ساعت)	صرفه‌جویی اقتصادی (دلار)
مانیتورینگ	۳۵۱۱۲۰۰	۱۷۵۵۶۰
کاهش نشتی	۴۰۱۶۵۸۰۰	۲۰۰۸۲۹۰
اصلاح ظرفیت	۲۷۲۵۷۲۰۰	۱۳۶۲۸۶۰
کمپرسور	۳۷۰۲۶۰	۱۸۵۱۳
کولر	۵۳۴۴۰۰	۲۶۷۲۰
انتقال مواد خام	۲۵۶۰۸۰۰	۱۲۸۰۴۰
پیش سایش	۳۴۱۲۲۰۰۰	۱۷۰۶۱۰۰
موتورها و گرداننده‌ها	۱۱۷۱۵۹۷۹۳	۵۸۵۷۹۸۹,۶
جمع کل	۲۲۶۳۵۹۹۳۳	۱۱۳۱۷۹۹۷

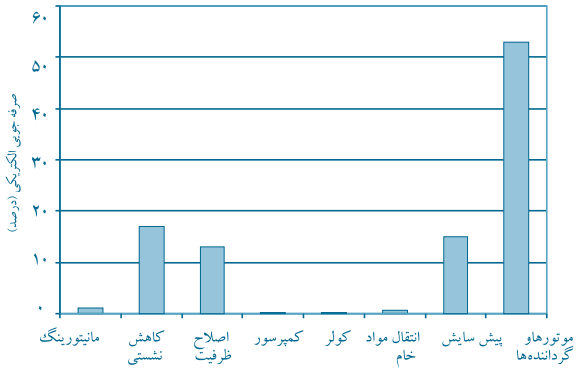
منبع: گزارش‌های داخلی مؤسسه مطالعات بین‌المللی انرژی، گردآوری دستاوردهای بهینه‌سازی مصرف انرژی، ۱۳۸۶.

سوخت‌ها، شرایط عملیاتی، کیفیت محصول و در نهایت اتلاف انرژی تأثیر می‌گذارد و در نهایت به کاهش هزینه و زمان تأثیر می‌انجامد. کاهش توقف آسیاب مواد خام باعث کاهش توقفات دستگاه‌های جانبی نیز می‌گردد. امکان صرفه‌جویی ۴۲۰۷۵ کیلووات ساعت مصرف برق معادل ۸۴۱۵۰۰ دلار و ۱۰۷×۴۹۵ کیلو کالری معادل ۱۳۰۷۳۸ دلار در سال ارزیابی شده است.

۴-۴. معرفی تکنولوژی‌های جدید

در مجموع بیشتر از ۵۰ میلیون دلار صرفه‌جویی انرژی در صنعت سیمان قابل دستیابی است که بیشترین مقدار مربوط به ارتقاء تکنولوژی سیستم‌های موجود است، ولی فرصت‌های زیادی نیز در به‌کارگیری تکنولوژی‌های جدید وجود دارد.۶

نمودار ۱۰. پتانسیل صرفه‌جویی الکتریکی



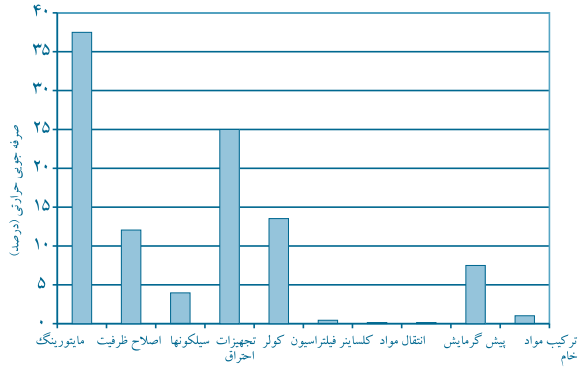
منبع: گزارش‌های داخلی مؤسسه مطالعات بین‌المللی انرژی، گردآوری دستاوردهای بهینه‌سازی مصرف انرژی، ۱۳۸۶.

- o نصب فیلتر هوای ورودی در کارخانه ارومیه باعث ۸-۱۱ کیلو کالری بر کیلوگرم صرفه‌جویی حرارتی می‌گردد.
- o جداکننده‌های جدید تا ۸ درصد مصرف انرژی الکتریکی را کاهش می‌دهند.
- o جایگزینی سوخت‌های با محتوای کربن بالا با سوخت‌های با کربن محتوای پایین (تغییر سوخت از نفت کوره به گاز طبیعی)
- o سیستم‌های انتقال با بازده بالا
- o استفاده از مشعل‌ها و کولرهای با بازده بالا
- o استفاده از سیستم‌های تولید همزمان
- o غنی سازی اکسیژن در مشعل‌ها
- o استفاده از سوخت‌های جایگزین مانند بیوماس، لاستیک، حلال‌ها و سوخت‌های جامد.
- o افزودن پیش گرمکن و پری کلساینر
- o بهبود کیفیت سیمان تولیدی
- o جمع آوری دی‌اکسیدکربن

۴-۵. عملیات واحد، تعمیر و نگهداری

تعمیرات و نگهداری دوره‌ای تجهیزات سبب کاهش توقف تولید و هزینه‌ها در هر کارخانه می‌گردد. موتورهای الکتریکی جزء اساسی‌ترین تجهیزات هر کارخانه محسوب شده و خرابی هر یک از آن‌ها سبب توقف قسمتی از فرآیند می‌گردد. بنابراین برنامه‌ریزی تعمیرات و نگهداری پیشگیرانه موتورهای الکتریکی، کاهش توقف فرآیند تولید، افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌های تولید را به‌دنبال خواهد داشت. از سوی دیگر اجرای برنامه تعمیرات و نگهداری دوره‌ای و پیشگیرانه موتورهای الکتریکی، سبب افزایش طول عمر و راندمان آن‌ها می‌گردد. درصد اعظمی از

نمودار ۱۱. پتانسیل صرفه‌جویی حرارتی



منبع: گزارش‌های داخلی مؤسسه مطالعات بین‌المللی انرژی، گردآوری دستاوردهای بهینه‌سازی مصرف انرژی، ۱۳۸۶.

جدول ۲. پتانسیل سالانه صرفه‌جویی حرارتی

گزینه پیشنهادی	صرفه‌جویی حرارتی (کیلو کالری)	صرفه‌جویی اقتصادی معادل حرارتی (دلار)
مانیتورینگ	۱۱۴۱۱۴۰۰۰۰	۳۰۱۳۹
کاهش نشتی	۵/۹۶*۱۰^۱۱	۱۵۷۵۴۱۸۱
اصلاح ظرفیت	۱/۸۹*۱۰^۱۱	۴۹۹۸۲۶۹
سیکلونها	۶۳۸۵۵۰۰۰۰۰۰	۱۶۸۶۵۲۸
فرآیند احتراق و کوره ها	۳/۹۸*۱۰^۱۱	۱۰۵۳۱۴۶۱
کولر	۱/۹۹*۱۰^۱۱	۵۲۵۸۵۷۳
فیلتراسیون	۹۰۹۱۵۰۰۰۰۰	۲۴۰۱۲۳
کلساینر	۳۸۲۸۰۰۰۰۰۰	۱۰۱۱۰۴
انتقال مواد خام	۲۷۴۵۶۰۰۰۰۰	۷۲۵۱۶
پیش گرمایش	۱/۰۹*۱۰^۱۱	۲۸۸۱۹۵۹
ترکیب مواد خام	۲۱۶۷۲۰۰۰۰۰۰	۵۷۲۳۹۷
جمع کل	۱/۵۹*۱۰^۱۲	۴۲۲۵۷۹۹۵

منبع: گزارش‌های داخلی مؤسسه مطالعات بین‌المللی انرژی، گردآوری دستاوردهای بهینه‌سازی مصرف انرژی، ۱۳۸۶.

موتورهای الکتریکی بین ۵ تا ۱۰ سال بعد از راه‌اندازی دچار نقص‌های الکتریکی می‌گردند. نقص‌های الکتریکی غالباً بر اثر عیوب مکانیکی همانند خرابی بلبرینگ رخ می‌دهند. علاوه بر موارد فوق، احتمال وقوع مشکلات الکتریکی نظیر نامتقارنی ولتاژ (که سبب ایجاد خرابی موتورها می‌گردد) نیز وجود دارد که باید بطور منظم مورد بازرسی قرار گیرند.

۶-۴. آموزش و آگاه‌سازی

در زمینه ایجاد انگیزه در کارکنان برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی، لازم است موضوعات صرفه‌جویی در هزینه‌ها، افزایش سوددهی سازمان، بهبود کیفیت محصولات تولیدی، افزایش اعتبار سازمانی و همچنین منافع شخصی ناشی از صرفه‌جویی در مصرف انرژی (از قبیل کسب پاداش‌های مادی و غیرمادی) مطرح گردد. همچنین تأثیر بهینه‌سازی مصرف انرژی در جلوگیری از تخریب محیط زیست، حفظ ذخایر انرژی و افزایش درآمدهای ارزی کشور باید در آموزش‌ها عنوان شوند. ضمن آن که تغییر الگوی رفتار شخصی که امری درازمدت می‌باشد، باید مورد توجه بوده و آموزش‌های لازم برای پذیرش درونی الگوهای بهینه مصرف انرژی ارائه گردد.

در ارتباط با آموزش‌های تخصصی نیز لازم است تا روش‌های نوین بهره‌برداری از تجهیزات به کارکنان آموزش داده شود. همچنین باید روش‌ها، تکنولوژی‌ها و تجهیزات جدید تولید و نیز روش‌های نوین بهینه‌سازی مصرف انرژی و تکنولوژی‌های مربوط به آن‌ها در زمره موضوعات آموزشی قرار گرفته و به کارکنان آموزش داده شوند.

۵. نتیجه‌گیری

هدف از این بررسی، تعیین وضعیت مصرف انرژی در صنعت سیمان و پتانسیل‌های ممکن صرفه‌جویی الکتریکی و حرارتی در کشور می‌باشد. ممیزی انرژی یک ابزار قوی برای ارزیابی کارایی سیستم‌های انرژی است. مهم‌ترین نتایج حاصل از تحقیق حاضر بیانگر این است که نشتی، کوره‌ها و درایورها به ترتیب بیشترین فرصت صرفه‌جویی انرژی را دارا می‌باشند. هوای اتلافی نیز مقدار زیادی از انرژی را با خود به بیرون حمل می‌کند. لذا هوای ورودی باید کنترل شود و از گازهای خروجی جهت پیش گرمایش سیستم‌ها استفاده گردد. اعمال استانداردها نیز باعث کاهش هزینه‌های انرژی سیستم می‌گردد.

۶. مراجع

1. Scheuer A, Sprung S. Energy outlook in West Germany's cement industry. In: Sirchis T, editor. Energy Efficiency in the Cement Industry, London, UK: Elsevier Applied Science, 1990.
2. Ernst Worrell, Nathan Martin, Lynn Price, Potentials for energy efficiency improvement in the US cement industry, Energy, 25 (2000) 1189–1214
3. KHURANA Shaleen ; BANERJEE Rangan ; GAITONDE Uday ; Energy balance and cogeneration for a cement plant, Applied thermal engineering, vol. 22, pp. 485-494 (9 ref.) 2002,
4. T. Engin, V. Ari, Energy auditing and recovery for dry type cement rotary kiln systems—A case study. Energy Conversion and Management, Volume 46, Issue 4, Pages 551-562, 2005.
5. www.Irancement.com
6. www.ifco.ir
۷. گزارش‌های داخلی مؤسسه مطالعات بین‌المللی انرژی، گردآوری دستاوردهای بهینه‌سازی مصرف انرژی، ۱۳۸۶.

پی نوشت:

۱- رئیس گروه مدیریت انرژی (عرضه و تقاضا) موسسه مطالعات بین‌المللی انرژی
۲- کارشناس گروه مدیریت انرژی (عرضه و تقاضا)، موسسه مطالعات بین‌المللی انرژی

3. Scheuer A, Sprung S. Energy outlook in West Germany's cement industry. In: Sirchis T, editor. Energy Efficiency in the Cement Industry, London, UK: Elsevier Applied Science, 1990.
4. Ernst Worrell, Nathan Martin, Lynn Price, Potentials for energy efficiency improvement in the US cement industry, Energy, 25 (2000) 1189–1214
5. KHURANA Shaleen ; BANERJEE Rangan ; GAITONDE Uday ; Energy balance and cogeneration for a cement plant, Applied thermal engineering, vol. 22, pp. 485-494 (9 ref.) 2002,
۶ - گزارش‌های داخلی موسسه مطالعات بین‌المللی انرژی، گردآوری دستاوردهای بهینه‌سازی مصرف انرژی، ۱۳۸۶.