



## **روشهای کاهش مصرف انرژی در کارخانجات سیمان**

**تهیه کننده : مهندس نجمه قاسمی نژاد**

**امور مهندسی کارخانه سیمان کنگان**

**بهمن ۱۳۸۸**

## مقدمه

حفاظت از منابع انرژی یک امر ضروری است که همه ما باید به سمت آن پیش رویم. این حرکت باعث می شود تا بر مشکل بحران انرژی دنیا چیره شویم. به طور خاص، کشورهای در حال توسعه علاقه مند به افزایش اطلاعات خود در زمینه افزایش راندمان تولید انرژی و مصرف انرژی هستند. به هر حال، عمدتاً تنها راه کار در زمینه این اطلاعات از استفاده خردمندان انرژی موجود سرچشمه می گیرد. بنابراین، اطلاعات در زمینه تکنولوژی های حفاظت از منابع انرژی و روش های مدرن کاهش مصرف انرژی باید در اختیار دولت و مراکز مدیریت انرژی در کشورهای در حال توسعه قرار گیرد. این سهولت دسترسی به این اطلاعات باید به گونه ای باشد که مهندسين و اپراتورهای کارخانه های سیمان موجود در این کشورها بتوانند به راحتی به این اطلاعات دسترسی داشته باشند و به لازم است که آنها به اطلاعات کاربردی در زمینه تکنولوژی محافظت از منابع سوخت دست پیدا کنند. صنعت سیمان انرژی زیادی مصرف می کند. این صنعت همچنین به خاطر سهم بالای انرژی در هزینه کلی تولید نیز مورد توجه است. (درصد بالایی از قیمت کلی یک تن سیمان مربوط به مصرف انرژی آن است)

در صنعت سیمان، مقدار محسوسی انرژی را می توان با جلوگیری از خروج انرژی از کوره ها، اصلاح و تعدیل وسایل در جهت بازیافت گرما در پروسه تولید، صرفه جویی کرد. (اصلاح و تعدیل وسایل می تواند بواسطه اضافه کردن بخش های پیش گرم و یا خنک کننده در تولید سیمان انجام گردد) همچنین استفاده از ضایعات صنعتی نیز می تواند درصد مصرف انرژی را کاهش دهد.

مصرف انرژی در ایران در ۱۵ سال گذشته با سرعت قابل ملاحظه ای افزایش یافته است. رشد افزایش انرژی در سالهای ۹۷-۱۹۷۵ متوسط ۶/۴٪ در سال بوده است. رشد بالای مصرف انرژی همزمان با عرضه بالای نفت و گاز در این سالها صورت گرفته در حالیکه سوخت جامد مانند زغال سنگ و چوب نقش خود را در مصرف انرژی از دست داده است. مدیریت انرژی و اعمال کنترلهای دقیق بر مصرف صحیح در کارخانجات و رعایت کاهش مصرف در دوره زمانی پیک روزانه از یکسو و نگهداری و بهره برداری اصولی از تجهیزات در کارخانه به نحوی که هر کدام در ظرفیت اسمی خود کار کنند، از سوی دیگر، عواملی هستند که می توانند به پایین تر آمدن قابل توجه مصرف انرژی و طبعاً هزینه های جاری کارخانه کمک نمایند. در هر صنعتی، سه عامل مهم در هزینه ها وجود دارد، انرژی، نیروی انسانی و مواد اولیه. اگر امکان کاهش هزینه ها در این سه مورد بررسی گردد، انرژی بالاترین پتانسیل را خواهد داشت. بررسی مصرف انرژی می تواند منجر به راههای بهتر برای بهینه سازی مصرف انرژی در صنعت و کمک به شناسایی نقاطی که باعث اتلاف انرژی می شوند گردد. میزان مصرف انرژی الکتریکی و حرارتی برای تولید هر کیلوگرم کلینکر، ۸۰۰ کیلووات ساعت و ۷۰۶

کیلوکالری در دنیا است این میزان در سال ۷۹ در ایران به ترتیب برابر با ۱۱۵۰ کیلووات ساعت و ۸۰۰ کیلوکالری برای تولید هر کیلوگرم کلینکر بوده است. کارشناسان این صنعت معتقدند که صنعت سیمان قابلیت دارد تا حدود ۳۰/۴ درصد مصرف انرژی الکتریکی و ۱۱/۸ درصد مصرف انرژی اجرای روش های مدیریت مصرف انرژی و افزایش کارایی این صنعت امکانپذیر است. راههای بسیاری جهت کاهش مصرف انرژی در صنعت سیمان وجود دارد که برخی از آنها به شرح زیر می باشد:

- کاهش مصرف برق
- خوراک کوره مطلوب
- استفاده از سوختهای جایگزین
- نگهداری و تعمیرات بهینه

### مصرف برق در کارخانجات سیمان

برق یکی از منابع پر مصرف انرژی در صنعت سیمان می باشد. با در نظر گرفتن پروسه تولید سیمان، صرفه جویی در مصرف برق در کوتاه مدت خیلی آسان نخواهد بود، اما سیاست گذاری دراز مدت در جهت صرفه جویی مصرف برق مانند قیمتهای متفاوت در ساعات شبانه روز، می تواند در مصرف انرژی موثر باشد. صنعت برق کشور با بیش از صد سال قدمت یکی از مهمترین صنایع زیر بنایی کشور بوده که همانند صنعت سیمان توسط بخش خصوصی احداث و شروع بکار نموده است، ولی با توجه به دلایلی از قبیل رشد سریع صنعتی کشور، افزایش درآمد سالانه و تغییرات زندگی مردم از سنتی به امروزی و تقاضای روزافزون جامعه برای انرژی الکتریکی، رفته رفته از دسترس بخش خصوصی خارج شده و با احداث شرکتهای تخصصی دولتی از حدود چهل سال قبل، به طور کلی در انحصار دولت قرار گرفته است. نرخ رشد بالا و روز افزون مصرف سالیانه برق، کار را به جایی رسانیده که ادامه دولتی بودن این صنعت در بخش تولید، از توان دولت خارج شده، از این رو تامین برق جهت مصارف عمومی و بویژه واگذاری آن برای مصارف کلان به صنایع توسط دولت دچار محدودیتهای شدیدی گردیده است. بدین جهت رویکرد آتی وزارت نیرو، پشتیبانی مصارف بزرگ است نه تامین مستمر برق مصرفی آنها. در این میان چنانچه کارخانه های سیمان قادر به تولید برق مصرفی خود باشند، به دلیل توانمندی کارخانجات در کاهش مصرف برق در ساعات اولیه شب (اوج بار) و کمک به شبکه به لحاظ اقتصادی برای کارخانه، موضوع تبادل انرژی با شبکه برق دارای اهمیت فراوانی خواهد بود. تاریخچه صنعت سیمان نیز شاهد همراه بودن ادوات تولید برق بوده، ولی چون این ادوات صرفا برای تولید برق مورد استفاده قرار گرفته اند، با گسترش صنعت برق دولتی در کشور و واگذاری برق سوبسید دار از همان ابتدا،

ضرورت تولید برق در صنایع سیمان بجز در حدود نیازهای اضطراری از بین رفته است. در اولویت بندی صنایع و بررسی های انجام شده ملاحظه می گردد در مجموع ۵۶۰ مگاوات پتانسیل پیک سایبی در بخش صنعت طی یک برنامه چهار ساله وجود دارد که بیشترین پتانسیل صرفه جویی در صنعت سیمان قابل دستیابی می باشد. از آنجایی که فرآیند این صنعت بگونه ای است که از چندین دپارتمان مجزا از یکدیگر تشکیل شده است، حدود ۷۰٪ پتانسیل صرفه جویی در ساعت پیک وجود دارد. بررسی های انجام شده بیانگر آن است که با خاموش کردن موتورهای فشار متوسط بخش سنگ شکن اصلی، بخش آسیاب مواد و بخش آسیاب سیمان که هر یک دارای موتورهایی با توان حدود یک الی چهار مگاوات هستند و ایجاد و افزایش ظرفیت انبار سازی مواد امکان دستیابی به پیک سایبی مورد نظر امکان پذیر است.

### بخشی از استانداردهای موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران :

معیار مصرف انرژی الکتریکی ( حداکثر مصرف مجاز )			نوع فرآیند
مصرف ویژه انرژی الکتریکی Ee در سالهای ۸۹-۹۰ ( مرحله سوم ) کیلو وات ساعت بر تن سیمان	مصرف ویژه انرژی الکتریکی Ee در سالهای ۸۷-۸۸ ( مرحله دوم ) کیلو وات ساعت بر تن سیمان	مصرف ویژه انرژی الکتریکی Ee در سالهای ۸۵-۸۶ ( مرحله اول ) کیلو وات ساعت بر تن سیمان	
$Ee \leq 112$	$Ee \leq 115$	$Ee \leq 118$	۱
$Ee \leq 110$	$Ee \leq 110$	$Ee \leq 112$	۱-۲
$Ee \leq 105$	$Ee \leq 108$	$Ee \leq 112$	۲-۲
$Ee \leq 114$	$Ee \leq 118$	$Ee \leq 120$	۱-۳
$Ee \leq 105$	$Ee \leq 107$	$Ee \leq 113$	۲-۳
$Ee \leq 140$	$Ee \leq 144$	$Ee \leq 148$	۴

نوع فرآیند	نوع کوره	نوع خنک کن	نوع آسیاب مواد
۱	خشک دارای پیش گرمکن	گریت	گلوله ای
۱-۲	خشک دارای پیش گرمکن	ماهواره ای	گلوله ای
۲-۲	خشک دارای پیش گرمکن	ماهواره ای	غلتنکی
۱-۳	خشک با پیش گرمکن و پیش تکلیس	گریت	گلوله ای
۲-۳	خشک با پیش گرمکن و پیش تکلیس	گریت	غلتنکی
۴	تر	.....	گلوله ای

## روشهای کاهش مصرف برق در صنعت سیمان :

- ۱ - برنامه ریزی تعمیرات موتورهای برق
- ۲ - بر نوشتن شمار قطع و وصل موتور های برق فشار قوی و تحلیل آن در مقایسه با وضع مجاز
- ۳ - بررسی فاصله دو راه اندازی
- ۴ - بررسی کلاس عایقی موتور های برق
- ۵ - غبار زدایی موتورهای برق فشار قوی و سیستم خنک کننده آن
- ۶ - آزمایش مدار رله های حفاظتی
- ۷ - تغییر سیستم آسیاب از مدار بسته به مدار باز و حذف جدا کننده ( separator ) برای بهبود بازده و کاهش مصرف برق آسیاب
- ۸ - افزایش بازده سنگ شکنها
- ۹ - بازسازی سیستمهای آبخاری ( cascade ) به منظور مهار سرعت الکترو موتور های بزرگ به ویژه موتور های حلقه سایشی
- ۱۰ - کاربرد سیستم هرتسگردان ( مبدل فرکانسی ) به منظور مهار سرعت موتور های فشار قوی به جای کاربرد سیستم دی سی مهار دور برای کاهش مصرف برق
- ۱۱ - موازی بستن ولتگردانهای نیرو ( power Transformer ) بر مبنای محاسبه اتصال کوتاه
- ۱۲ - نصب کنتور های سه تعرفه برای فراهم کردن امکان کاهش مصرف برق در پیک بار و انتقال بخش عمده مصرف به نوبت کار سوم
- ۱۳ - نصب مجموعه خازنی به منظور تعدیل و ترازمندی توان راکتیو ( سلفی یا اندوکتیو ) ، اصلاح ضریب توان ، کاهش ظرفیت تجهیزات ( مانند ولتگردان ، کابل و دیگر ) وعدم پرداخت جریمه ضرر و زیان بابت مصرف راکتیو
- ۱۴ - شارژ مناسب آسیابهای سیمان ، که از عوامل مهم در بازده و کاهش مصرف آسیابها تلقی می شود .
- ۱۵ - نصب سیستم نوار نقاله به جای کاربرد سیستم بادی ( air lift ) برای انتقال سیمان از آسیاب به سیلو های ذخیره در راستای کاهش مصرف برق .

## نقش پوزولان در کاهش شدت انرژی الکتریکی در آسیابهای سیمان :

گفتنی است پوزولان به عنوان ماده افزودنی برای فرآورش سیمان مرغوب در ایران و دیگر کشور ها فراوان بکار برده می شود . در فرآورش سیمان پوزولانی نزدیک به ۱۵ تا ۳۰ درصد پوزولان به همراه ۶۵ تا ۷۰ درصد کلینکر مصرف می شود .

کاربرد پوزولان در فرآورش سیمان دارای ویژگیهایی همچون صرفه جویی در مصرف انرژی ، افزایش تولید در زمان کوتاه ، سرمایه گذاری کم و افزایش کیفیت سیمان است .  
 با توجه به درجه مرغوب بودن پوزولان و مقدار استفاده از آن می توان نزدیک به ۳۰ درصد انرژی سوختی و ۲۵ درصد از انرژی الکتریکی را صرفه جویی کرد .

### کاربرد سیستم آبشاری یا چند طبقه ( Cascade ) در صنعت سیمان :

برای کنترل سرعت الکترو موتور های فشار قوی به منظور صرفه جویی و بازگرداندن بخشی از انرژی به شبکه سیستمهای آبشاری یا چند طبقه موجود در کارخانه های سیمان به دلیل ارزان بودن انرژی و مشکلات نگهداری ، کم و بیش بدون استفاده مانده است . با توجه به هزینه ارزی زیادی که در گذشته برای خرید این تجهیزات منظور گردیده است ، ضرورت بازسازی سیستمهای آبشاری یا کاسکاد به منظور مهار سرعت موتور های برق و بازگرداندن بخشی از انرژی مصرفی به شبکه حائز اهمیت است . سیستم مهار سرعت کاسکاد برای پروانه و پمپها ، که گشتاور آنها با توان دوم سرعت متناسب است پیشنهاد شده است. مشکل اصلی در کاربرد سیستم کاسکاد ، پهنه سرعت مورد استفاده است . به علت کوچک بودن ضریب توان در سرعتهای کم ، محدوده اقتصادی معینی برای تغییرات سرعت موتور هنگام کاربرد این سیستم به صورت زیر پیشنهاد شده است :

الف ) سیستمهای با گشتاور ثابت ۵۰ تا ۱۰۰ درصد سرعت بایسته یا نامی موتور

ب ) سیستمهایی که گشتاور با توان دوم سرعت متناسب است ، ۴۰ تا ۱۰۰ درصد سرعت بایسته یا نامی موتور .

کاربرد سیستمهای کاسکاد در صنعت سیمان برای الکترو موتور های بیش از ۱ مگاوات پیشنهاد شده است . میزات توان بازگشتی به شبکه به وسیله مبدل کنترل سرعت کاسکاد در یکی از کارخانه های سیمان انجام شده است ، که نتایج آن در جدول زیر داده شده است:

توان مورد نیاز شفت (kw)	سرعت نامی (rpm)	درصد باز بودن دریچه	سرعت مورد نیاز شفت (rpm)	توان مصرفی (kw)	توان بازگشتی (kw)
۱۷۲۱	۹۹۰	٪۶۰	۵۹۴	۶۲۴	۱۱۵

## نقش پروانه ها در مصرف برق

فرآیند فراورش سیمان به جابجایی حجم زیادی از گاز نیاز دارد. از اینرو پروانه های متعدد از توانهای کم تا چند مگاوات در خط فراورش سیمان بکار گرفته می شود. گفتنی است بیش از ۲۰ درصد برق مصرفی کارخانه سیمان صرف به حرکت درآوردن پروانه های آن می شود. هنوز که هنوز است انتخاب پروانه ها و کاربرد و نگهداری آنها به درستی صورت نمی گیرد و این امر بی گمان باعث افزایش تلفات انرژی الکتریکی می شود. توان پروانه ها معمولاً با در نظر گرفتن سخت ترین شرایط فرآیند صورت می پذیرد و بیش از نیاز است. از اینرو با نصب دریچه در محل مکش یا دمش، بار پروانه تنظیم می شود.

امروزه کاربرد الکتروموتور های دور متغیر برای پروانه های دور متغیر در صنایع رو به افزایش است. الکتروموتور های دور متغیری که درست انتخاب شده باشد، مصرف برق پروانه را کاهش می دهد و از فرسایش مکانیکی و اغتشاشات صوتی می کاهد. به تازگی یکی از کارخانه های سیمان در آلمان با استفاده از پروانه های دور متغیر برای پیش گرمساز موفق شده است که سالانه نزدیک به ۳۹۰ مگاوات ساعت در مصرف برق صرفه جویی کند. افزوده می شود چنانچه بنا به دلایلی، اعم از اقتصادی و فنی و دیگر ها، کاربرد پروانه های دور متغیر ناممکن باشد، با راستگردانیها یا اصلاحات دیگر می توان بر بازده پروانه افزود و از مصرف برق آن کاست.

اصلاحاتی که توصیه می شود:

- الف) کنترل یا مهار سازی سرعت یا تعداد دور به جای کنترل دریچه ها
- ب) بهبود بخشیدن کانالها یا گذرگاههای جریان گاز در جهت کاهش مقاومت مسیر
- ج) کاربرد پروانه های پر بازده به جای پروانه های مجهز به پره شعاعی

### انتخاب الکترو موتورها در صنعت سیمان:

با توجه به کاربرد فراوان الکترو موتور ها در صنعت سیمان و مصرف نزدیک به ۹۰ تا ۹۵ درصد کل مصرف انرژی الکتریکی توسط آنها، لازم است در استفاده بهینه الکترو موتور ها حداکثر تلاش صورت پذیرد. گفتنی است عدم تناسب توان و بار موتور باعث اتلاف انرژی در الکترو موتور های فشار قوی می شود. زیرا بزرگ انتخاب کردن الکترو موتور ها باعث کاهش بازده موتور و کاهش ضریب توان و افزایش تلفات می شود. از سوی دیگر کوچک انتخاب کردن الکترو موتور ها باعث تحمیل اضافه بار به موتور و گرم شدن آن و توقف خط تولید می شود. فزون بر آنچه گفته شد، عمل نکردن رها سازها یا رله های حفاظتی باعث سوختن موتور می شود. از اینرو سزاوار است که انتخاب موتور های برق پس از بررسی و سنجیدن یکایک عوامل مهم صورت

پذیرد ، در کارخانه های سیمان موتور های برق مصرف کننده عمده نیروی برق اند . خط فرآورش سیمان معمولاً دارای ۵۰۰ تا ۷۰۰ موتور برق است . توان این موتور ها از چند دهم کیلو وات تا چند مگاوات است . در خط فرآورش سیمان کاربرد موتور های قفس سنجایی سه فاز نسبت به موتور های دیگر بیشتر است . ویژگی این نوع موتور در ساختار ساده و محکم است واز کاستیهای آن می توان جذب توان راکتیو از شبکه و کاهش بازده و ضریب توان در بارهای کم را بر شمرد .

## خوراک کوره مطلوب

در صنعت سیمان ، سیستم کنترل کیفی مواد و محصولات بگونه ای طراحی شده که طی حداقل آزمایشات با حداقل زمان ممکن نتایج کاربردی قابل قبولی جهت تنظیم فرامه و ادامه عملیات در محدوده های مجاز میسر گردد . استفاده از تجهیزات و تشکیل یک تیم از افراد متخصص بگونه ای که مکمل یکدیگر باشند و تهیه برنامه کاربردی و گردش کار ، تشکیل یک سیستم کنترل و ممیزی می نماید . انجام ممیزی در قالب سیستم کنترل بصورت دوره ای یا مستمر باعث شناخت گلوگاهها و رفع آنها خواهد شد . استفاده از خوراک کوره مطلوب موجب افزایش پایداری سیستم پخت و کاهش مصرف انرژی حرارتی خواهد شد . تامین چنین خوراکی مستلزم استقرار سیستم کنترل خودکار و پویا متشکل از نیروی انسانی متخصص و تجهیزات مختلف بهمراه ثبت نتایج اندازه گیری و مشاهدات عینی در قالب سیستم ممیزی مواد و چگونگی ارتباط بخشها و گردش کار بین آنها ، تفکر و روح مسلط بر آن با ارائه نمونه ای کاربردی از نحوه اجرا و پیاده سازی عملی سیستم و نتایج بسیار مطلوب حاصله بیان می شود .

### - تاثیر دانه بندی خوراک کوره بر مصرف انرژی

یکی از مهمترین عوامل موثر در فرآیند تبدیل مواد خام به کلینکر ، دانه بندی خوراک کوره است . با افزایش نرمی مواد ، سرعت واکنش شیمیایی بین مواد جامد افزایش می یابد . معمولاً نرمی عبارتست از مقدار ماده ای که از الک ۹۰ میکرون عبور می کند . در صورتی که این مقدار ۸۵-۸۰ درصد باشد ، پخت خوب قابل حصول خواهد بود . برای خوراک کوره هایی که حاوی کانی های سیلیس آزاد با فعالیت کم می باشند ( نظیر کوارتز ) بکار بردن الکهای ریزتر از ۷۵ میکرون نیاز می باشد . بر اساس پاره ای تحقیقات عده ای از کارشناسان ، حالت مطلوب دانه بندی خوراک کوره آن است که حداقل ۵۰ درصد آن کوچکتر از ۴۴ میکرون باشد . نرمی بیش از حد نیز مشکلاتی را در پمپ کردن مواد ، برگشت غبار در کوره ها که منجر به گرفتگی می شود را موجب می گردد . در ارتباط با نرمی بیش از حد خوراک کوره دو نظریه وجود دارد . یک نظر آن است که نرمی بیش از حد مثلاً ۹۵ درصد عبوری از الک ۷۵ میکرون ، خروج

گردو غبار از سیستم را افزایش می دهد . حال آنکه نظریه دیگر بیان میکند که در کوره های دوار ، پودر های نرم نسبت به مواد زبر تماس بیشتری برای متراکم شدن دارند و دانه های کوچک تشکیل شده در جریان گاز نمی توانند به حالت معلق در آیند . با بکار گیری نمودار مربوط به توزیع دانه بندی و پخت نرمال ، نتیجه می شود که درشتی ذرات باعث افزایش مصرف انرژی حرارتی بدلیل تشکیل هاله های واکنشی در اطراف ذرات و افزایش زمان واکنش می گردد .

پارامتر	خوراک کوره سخت پز	خوراک کوره با پخت نرمال
شیب نمودار توزیع دانه بندی	۰/۹۷۸	۰/۶۱۱
پارامتر نرمی	۱۹/۲۵	۱۷/۵۲

#### - تاثیر درصد اکسیدهای تشکیل دهنده خوراک کوره در مصرف انرژی حرارتی

تاثیر چهار اکسید اصلی کلسیم ، سیلیس ، آهن و آلومینیم در خوراک کوره ، بصورت سه مدول اصلی LSF ، SIM ، ALM مورد ارزیابی قرار می گیرد . همواره بین LSF و مصرف ویژه حرارتی کوره ، یک رابطه منطقی وجود دارد . تغییرات مصرف حرارتی به صورت تئوری نسبت به LSF در محدوده ۸۰ تا ۹۵ بدون توجه به واکنش قلیایی ها با سولفات به صورت زیر تعریف میشود :

$$\text{KJ/KG cal} = 11\text{LSF} + 755$$

به عبارت دیگر افزایش هر ۵ واحد در مقدار LSF مصرف انرژی تقریباً ۵۵ کیلوژول به اندازه هر کیلوگرم کلینکر افزایش خواهد یافت . مدول دیگر که تاثیر قابل توجهی در مصرف انرژی دارد ، مدول سیلیس است . با افزایش مدول سیلیس درجه حرارت لازم برای کلینکر شدن افزایش پیدا می کند . تغییرات مصرف انرژی نسبت به مدول سیلیس بصورت خطی نیست . می توان گفت به طور تقریبی افزایش ۰/۵ درصد در مدول سیلیس ، درجه حرارت مورد نیاز پخت در حدود ۵۰ درجه افزایش پیدا می کند .

#### - تاثیر هموژناسیون بر مصرف انرژی حرارتی

عدم یکنواختی خوراک کوره باعث عدم تنظیم مدولها در دانه بندی مختلف خوراک کوره می شود و این عامل خود نیز باعث بوجود آمدن مناطق با LSF زیاد ، مناطق با LSF کم و متناظر با آن عدم تنظیم سایر مدولها ، خواهد شد . عدم یکنواختی مواد باعث عدم بهره برداری یکنواخت و متناسب با آن مصرف انرژی حرارتی افزایش خواهد یافت .

## - تاثیر مواد افزودنی بر مصرف انرژی حرارتی

مواد افزودنی غالباً بر دو دسته می باشند. گروهی که نقش کمک ذوب را داشته و دمای تشکیل فاز مایع را تا ۱۰۰ درجه کاهش داده و گروهی دیگر از مواد افزودنی نقش کانی ساز را به عهده داشته و باعث بهبود توزیع و گسترش فازها در کلینکر خواهد شد. موادی نظیر فلورین، اکسید روی، اکسید سرب و سایر اکسیدهای فسفر و منگنز از این دسته اند. به عنوان مثال استفاده از ۰/۵-۰/۲ درصد فلورین می تواند بین ۷۰-۵۰ درجه سانتیگراد، حرارت مورد نیاز در پخت را کاهش دهد.

با توجه به موارد مطرح شده، بکارگیری سیستم ممیزی کنترل مواد به صورت مستمر نقش قابل توجهی در کاهش توقفات، تسریع در شناسایی عوامل ایجاد اشکال، دستیابی به راهکار حل مشکل از طریق سوابق اجرایی معزل مربوطه، کسب دانش فنی و خروج از حالت انحصاری و قائم به شخص، ایجاد زمینه جهت انتقال تجربیات و دانش فنی فراگیر و ... داشته و از این جهت پیشنهاد می گردد کارخانجات صنعت سیمان این سیستم را به صورت کامل اعم از تجهیز آزمایشگاه و وسایل، آموزش پرسنل و ... در مجموع تحت امر خویش جاری نموده تا بتوان در مواقع اضطراری تصمیم گیری صحیح و سریع در مقابل مشکلات پیش آمده به عمل آید.

## اثر استفاده از سوخته‌های جایگزین در صرفه جویی انرژی

تأمین مواد اولیه، مهمترین عامل در تولید سیمان محسوب می شود زیرا امروزه در دنیا تأمین انرژی در کنار تولید سیمان و در کنار تولید سایر محصولات صنعتی از جمله فولاد، آهن، شیشه، صنایع غذایی و روغن نباتی بیشترین مصرف کنندگان انرژی هستند. چین که بیش از نیمی از سیمان دنیا را تولید می کند، در مصرف ذغالسنگ بی همتا است. براساس اطلاعات موجود کشور چین در سال ۲۰۰۵ برای تولید سیمان ۲ هزار و ۲۰۰ میلیون تن ذغالسنگ مصرف کرده است. همچنین متوسط مصرف انرژی حرارتی نیز در صنعت سیمان چین در سال مذکور، برابر با ۹۰۰ کیلو کالری در ازای فرآوری هر کیلوگرم کلینکر بوده است. اگرچه کارشناسان چینی دلیل بالا بودن میزان مصرف انرژی حرارتی را فعالیت کوره های سنتی و قدیمی در چین می دانند اما چینی ها با توجه به افق چشم انداز ۲۰۱۰ میلادی به جایگزینی سوخت های دیگر با سوخت فسیلی اقدام کرده اند. براین اساس، چینی ها طرح هایی را اجرا می کنند که بتوانند به وسیله بازیافت انرژی گازهای خروجی از سیستم پخت بسیاری از کارخانجات، انرژی الکتریکی تولید کنند. در صورتی که چینی ها موفق شوند این سیستم را در کارخانجات تولیدی سیمان اجرا کنند ۳۰ تا ۳۵ درصد از انرژی مورد نیاز برای تولید این کالای معدنی در آن

کشور تأمین می شود. از سوی دیگر چینی ها برای جایگزینی سوخت در تولید سیمان به مصرف ضایعات و پسماندهای صنعتی و شهری روی آورده و نگاه ویژه ای به بازیافت ضایعات و تولید انرژی از آنها دارند به طوری که به خاطر صنعت سیمان، مدت یک سال یعنی از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۵ بیش از ۲۵ میلیون تن ضایعات صنعتی و شهری را امحا کرده است. چینی ها مصرف ضایعات، نوسازی صنعت و اجرای طرح های بهینه سازی مصرف سوخت را برای افزایش کیفی و کمی تولید سیمان الگوی خود قرار داده اند.

#### ● هند دومین بهینه ساز مصرف انرژی در تولید سیمان

کشور هند پس از چین دومین تولیدکننده سیمان در دنیا محسوب می شود. هندی ها در سال ۲۰۰۳ برابر با ۱۱۰ میلیون تن سیمان تولید کردند که برای این میزان تولید، ۱۶ میلیون تن ذغالسنگ و ۱۱ میلیون کیلووات ساعت برق مصرف کرده اند. از سوی دیگر و براساس آمارهای موجود میانگین مصرف انرژی حرارتی برای تولید سیمان در کشور هند ۸۰۰ کیلوکالری و انرژی الکتریکی نیز یک صد کیلووات ساعت است. اگرچه متوسط مصرف انرژی حرارتی در فرآیندهای خشک تولید سیمان ۷۳۰ کیلوکالری اعلام شده است اما هندی ها با استفاده از فرآیندهای خشک مجهز به پیش گرم کن ۶ مرحله ای میزان مصرف انرژی حرارتی را تا ۶۷۰ کیلوکالری کاهش دادند آنها همچنین توانستند با استفاده از این روش، میزان مصرف انرژی کیلوواتی را نیز تا ۷۰ کیلووات ساعت کاهش دهند.

#### ● آمریکا و جایگزینی زباله با انرژی فسیلی

به کشورهای عضو پیمان تجارت آزاد آمریکای شمالی که شامل آمریکا، کانادا و مکزیک می شوند "نفتا" می گویند. آمریکا که یکی از اصلی ترین اعضای گروه نفتا محسوب می شود ۹۹ میلیون تن سیمان در سال ۲۰۰۵ تولید کرد و هنوز سومین تولیدکننده سیمان جهان است. آمریکایی ها انرژی مورد نیاز برای تولید سیمان را از منابعی مانند ذغالسنگ، کک نفتی و زباله تأمین می کنند اما در ۲ سال اخیر آمریکایی ها برای کاهش میزان مصرف انرژی های فسیلی در تولید ذغالسنگ به استخراج انرژی از زباله ها روی آورده اند. در حال حاضر متوسط مصرف انرژی الکتریکی در صنعت سیمان آمریکا بیشتر از ۱۴۰ کیلووات ساعت است که طرح های بهینه سازی برای کاهش این میزان به سرعت در آن کشور اجرا می شود. آمریکایی ها به سرعت در حال حذف سیستم های قدیمی تولید سیمان هستند اگر چه هنوز این سیستم ها فعال هستند اما مصرف مازوت در صنعت سیمان آمریکا، به کمتر از ۱۲۴ میلیون لیتر و مصرف گاز نیز در آن صنعت به هزار میلیون متر مکعب رسیده است. در سال ۱۹۷۰ مصرف مازوت و گاز در صنعت سیمان این کشور به ترتیب هزار و ۵۴۹ میلیون لیتر و ۵ هزار و ۹۹۸ میلیون لیتر مکعب گاز بود.

## ● ژاپن، پیشتاز در بازیافت انرژی برق

ژاپنی ها ۳ درصد از سیمان دنیا را تولید می کنند. آنها در سال ۲۰۰۵، ۶۶ میلیون تن سیمان تولید کردند و چهارمین تولیدکننده این کالای معدنی محسوب شدند. کشور ژاپن در بازیافت انرژی الکتریکی که به وسیله حرارت حاصل از گازهای خروجی سیستم پخت از کوره ها به دست می آید، پیشتاز هستند اما با این اوصاف ۲۰ تا ۴۰ درصد از قیمت تمام شده سیمان در ژاپن را هزینه انرژی تشکیل می دهد. ژاپنی ها نیز مانند چینی ها توانسته اند به وسیله بازیافت انرژی حرارتی ۳۰ درصد از انرژی مورد نیاز کارخانجات سیمان رافراهم کنند. صنعتگران این کشور برای بهینه سازی مصرف سوخت در تولید سیمان، زباله ها را در کوره ها می سوزانند و با استفاده از بازیافت انرژی الکتریکی از گازهای خروجی پیش گرمکن، سیمان های آمیخته تولید می کنند. میزان مصرف انرژی الکتریکی ژاپن در سال ۲۰۰۵ در تولید سیمان، با استفاده از روش های مذکور کمتر از ۹۳ کیلووات ساعت و میزان مصرف انرژی حرارتی به کمتر از ۲ هزار و ۴۸۰ کیلوکالری رسیده است.

## ● ایران و جایگزینی سوخت برای تولید سیمان

افزایش تعداد طرح های عمرانی و تکمیل طرح های نیمه تمام عمرانی توسعه زیرساخت ها، ایجاد اشتغال، ساخت سدهای جدید و تکمیل سدهای نیمه تمام، نیاز کشور به مسکن و سایر موارد، از جمله مواردی است که نشانگر ضرورت افزایش تولید و نیاز صنایع و بخش های مختلف کشور به سیمان است. موارد فوق از یک سو و حضور در بازارهای جهانی به وسیله صادرات سیمان از سوی دیگر در کنار بررسی برنامه غول های تولیدکننده سیمان در دنیا ضرورت اتخاذ تصمیمات به روز و راهگشا را برای افزایش تولید سیمان در کشور نشان می دهد اما انرژی ماده گرانی در تولید این کالای معدنی محسوب می شود. تجربه کشورهای پیشرو در تولید سیمان و اتخاذ راه های جدید برای صرفه جویی در مصرف انرژی کارخانجات تولیدی این کالا، مصداقی بر این مدعا است. براساس آمارهای موجود که چندی قبل نیز در "همایش مصرف انرژی در سیمان" عنوان شد، در سال ۸۴ میزان مصرف انرژی حرارتی در تولید سیمان از ۷۲۵ تا بیشتر از هزار و ۴۵۰ کیلووات ساعت در فرآیندهای مختلف متغیر بوده است. از سوی دیگر مصرف گاز در صنعت سیمان نیز که در سال های قبل ۳۵ درصد بود در سال ۸۴ به بیشتر از ۶۵ درصد افزایش یافت. کارخانجات تولیدکننده سیمان هنوز برای حذف سوخت مازوت در تولید این کالا برنامه دارند. در این میان فعالان صنعت سیمان نیز با توجه به لزوم اهمیت انرژی در تولید این کالا، میزان مصرف انرژی حرارتی در کارخانجات را تقریباً به ۸۵۰ کیلوکالری رساندند و میزان مصرف انرژی الکتریکی را کمتر از ۱۱۰ کیلووات ساعت کاهش دادند. با توجه به برنامه وزارت صنایع و معادن برای افزایش ظرفیت تولید و با در نظر گرفتن توانمندی فعالان صنعت سیمان، استفاده از سوخت های جایگزین در صنعت سیمان و به کارگیری سوخت های ضایعاتی، استفاده از تائیرهای مستعمل به عنوان سوخت جایگزین باید مدنظر

سیاستگذاران کلان این صنعت قرار گیرد و واحدهای تولیدی برای رقابت با بازار جهانی و عقب نماندن از برنامه های توسعه ای به اصلاح مصرف انرژی اقدام کنند. میزان مصرف سوخت کوره های قدیمی ۲ هزار کیلوکالری است و کوره های جدید نیز ۷۲۰ کیلوکالری انرژی مصرف می کنند. به گفته ابوالحسن پورخلیل دبیر انجمن کارفرمایان صنعت سیمان، اعتباری بالغ بر ۸۵۰ میلیارد تومان برای بهینه سازی مصرف سوخت و رعایت مسائل زیست محیطی، تخصیص داده شده است که از این میزان، ۶۰۰ میلیارد تومان برای رفع مشکلات زیست محیطی و اصلاح ساختار مصرف انرژی در کارخانجات تولید سیمان، هزینه شده است استفاده از سوخته های جایگزین در صنعت سیمان سبب صرفه جویی در هزینه های تامین سوخت و همچنین حل مشکلات زیست محیطی می گردد. از نقطه نظر زیست محیطی با توجه به فراهم بودن محیطی با دمای بالا، زمان اقامت طولانی، فقدان مواد باقیمانده جامد ( خاکستر )، و انهدام ضایعات بدون ازدیاد انتشار آلودگی استفاده از سوخته های مصرفی، دو عامل زیر بر آن موثر است:

الف - مقدار جانشینی حرارتی

ب - هزینه انرژی پایین برای سوخته های جایگزین

به طور کلی استفاده از سوخته های جایگزین مزایای زیر را در پی خواهد داشت:

- ۱ - کاهش هزینه تولید کلینکر به واسطه استفاده از سوخت جایگزین
- ۲ - حفظ منابع، استفاده کمتر از منابع فسیلی غیر قابل تجدید
- ۳ - کاهش واقعی ضایعات و پاکسازی محیط به این دلیل که نابود کردن ضایعات بسیار پر هزینه و مشکل است، کوره های دوار به علل زیر، وسیله مطمئنی برای این منظور هستند.

● به علت بالا بودن درجه حرارت شعله تمامی ترکیبات آلی، حتی هیدرو کربنها کلرینه شده و از بین می روند.

● به دلیل زیاد بودن طول کوره، زمان ماند سوخته های جایگزین در کوره زیاد بوده و در نتیجه زمان کافی برای نابودی کامل زباله ها و ضایعات وجود خواهد داشت.

● ترکیبات سمی و اسیدی متلاشی شده و خاکستر باقیمانده جذب مواد می گردد.

● گازهای خروجی با بکارگیری سیستم های مدرن غبارگیر تا ۵۰ گرم بر متر مکعب گردگیری می شوند

● نیازی به ساخت کارخانه های زباله سوزی وجود نخواهد داشت و در نتیجه میزان نشر گازهای گلخانه ای کاهش خواهد یافت.

## تأثیر سیستم نگهداری و تعمیرات مدرن در کاهش مصرف انرژی

یکی از ارکان اساسی و موثر در مدیریت انرژی، وجود یک سیستم نگهداری و تعمیرات مدرن در کارخانجات می باشد که می توان گفت غفلت از آن به نوعی نقص مدیریت انرژی سازمان محسوب می شود. قطعا تولید کالا با کیفیت بالاتر و هزینه کمتر (خصوصا با اعمال مدیریت صحیح انرژی) قدمی اساسی به سوی عملکرد جهانی به شمار می رود. نظارت دقیق بر شاخص مصرف انرژی و یا هزینه های مربوط به آن نشان می دهد که کدام یک از تجهیزات و یا کدام قسمت از یک ماشین به نگهداری و تعمیر نیاز دارد. به این ترتیب با انجام نگهداری و تعمیرات موثر امکان کاهش مصرف انرژی، کاهش هزینه عملکردی و در نتیجه افزایش سود دهی میسر می گردد. هم اکنون صنعت کشور در معرض رقابت پذیری فزاینده ای قرار دارد و برای آنکه بتواند در سطح استانداردهای جهانی مطرح باشد و کالا و خدمات خود را به بازارهای جهانی عرضه کند، نیاز به عملکرد منطبق با استانداردهای جهانی دارد و این بدان معنی است که در صنعت ارائه خدمات و تولید کالا، باید با کیفیتی بالا و و قیمت قابل رقابت و رعایت کلیه موازین بین المللی همراه باشد. بر کسی پوشیده نیست که وجود یک سیستم نگهداری و تعمیرات مدرن، نقش بسیار مهمی در کاهش شدت مصرف انرژی دارد که قطعا می تواند از پایه های اساسی مدیریت انرژی در یک شرکت باشد.

امروزه سازمانهای صنعتی کشور:

۱. بیشتر درگیر فعالیتهای تعمیراتی هستند.
۲. مواجه با توقعات اتفاقی و اضطراری هستند.
۳. بروی داده های تعمیراتی تحلیل و عیب یابی ندارند!
۴. سیستم تجزیه و تحلیل آماری وجود ندارد.
۵. وضعیت تعمیرات بر تجربه فردی متکی است.
۶. مشکل تامین قطعات یدکی دارند! بیشتر تعمیرات به تعویض قطعات منجر می گردد!
۷. همیشه منتظر توقف اتفاقی دیگری هستند و تنش و استرس روانی وجود دارد.
۸. خرید و استقرار نرم افزارهای نگهداری و تعمیرات را راه حل مشکلات می دانند!
۹. به آینده سلامت تجهیزات سازمان اطمینانی نیست.
۱۰. به خرید تجهیزات جدید می اندیشند!
۱۱. سلامت تجهیزات به طول عمر آنها وابستگی تمام دارد!

## - نقش خرابی ها و تعمیرات اضطراری در کاهش تولید و شدت مصرف انرژی :

باید توجه داشت که وقتی یک ماشین در کارخانه ای خراب می شود و یا بد کار می کند ، هزینه واقعی فقط هزینه تعمیرات نبوده و هزینه های پنهان دیگری نیز وجود دارد که به مراتب از هزینه تعمیرات مهمتر می باشند . از جمله این هزینه ها :

- ۱- مصرف بیشتر انرژی : وقتی ماشینی در نقطه کاری بهینه خود کار نکند ، مصرف انرژی آن بیشتر می شود ، در نتیجه با افزایش قیمت تمام شده محصول ، بهره وری و سود دهی کارخانه کاهش می یابد .
- ۲- قطع تولید : ضرر و زیان ناشی از متوقف شدن خط تولید می تواند هزینه ای به مراتب بیشتر از هزینه های تعمیرات یک ماشین خراب را در بر داشته باشد . بررسی ها نشان می دهد که به طور میانگین هزینه مربوط به قطع تولید ۶۵ درصد تمامی هزینه های ناشی از خرابی ماشین آلات را در بر می گیرد ( شدت مصرف انرژی را در بر خواهد داشت )
- ۳- تولید محصولات معیوب یا با کیفیت پایین : در صورتی که ماشینی در نقطه بهینه عملکردی عمل نکند ، انرژی ، زمان و هزینه های تولید صرف تولید محصولاتی با کیفیت پایین می شود ( شدت مصرف انرژی را در بر خواهد داشت ) و یا در بخش کنترل کیفیت مردود خواهد شد و یا عرضه آن به بازار مصرف ، خسارت بزرگتری به نام و اعتبار شرکت سازنده محصول وارد می نماید .
- ۴- کاهش بهره وری نیروی انسانی : بهره برداری از ماشین آلات معیوب ، اثر منفی بر روی نیرو و تمرکز فکری کارکنان داشته و از طریق کاهش بهره وری نیروی کار به افزایش هزینه ها می انجامد .
- ۵- از دست دادن موقعیتهای فروش : با متوقف شدن غیر قابل پیش بینی خط تولید ، انجام تعهدات شرکت و یا عقد قراردادهای جدید با مشکل مواجه می شود و این امر در بازار رقابت شدید جهانی ، می تواند خسارات جبران ناپذیری به شرکت وارد نماید .
- ۶- صدمه به محیط زیست : مصرف بیشتر انرژی یک ماشین که در نقطه کاری بهینه خود عمل نمی کند ، مترادف با تولید آلاینده های بیشتر زیست محیطی و در نتیجه صدمه به محیط زیست می باشد . هزینه های اجتماعی ناشی از الودگی محیط زیست در ابعاد ملی قابل ملاحظه خواهد بود .

## - نگهداری پیش‌گویانه ( predictive maintenance ) - نگهداری و تعمیرات مدرن

به طور کلی نگهداری پیش‌گویانه به فعالیتهایی گفته می‌شود که جهت تعیین شرایط فنی کارکرد اجزای ماشین ( اندازه گیری میزان فرسایش ) در حین بهره برداری انجام گردیده و بر اساس نتایج حاصله از آن ، زمان و نوع فعالیت نت مورد نظر تعیین میگردد .

این روش شامل تحلیل حالت های خرابی و اثرات آن (FMEA:failure mode and effect analysis) نیز می‌گردد .

خصوصیات بارز روش نگهداری پیش‌گویانه به شرح زیر می‌باشد :

- نظارت دقیق بر وضعیت ماشین آلات انجام شده و زمان خرابی آن پیش‌بینی می‌شود .
- برنامه تعمیرات و نگهداری از قبل تهیه می‌گردد .
- ماشین آلات تنها زمانی تعمیر می‌شوند که به تعمیر نیاز دارند .
- تعمیرات فقط بر روی قسمت‌های خراب ماشین انجام می‌شود .

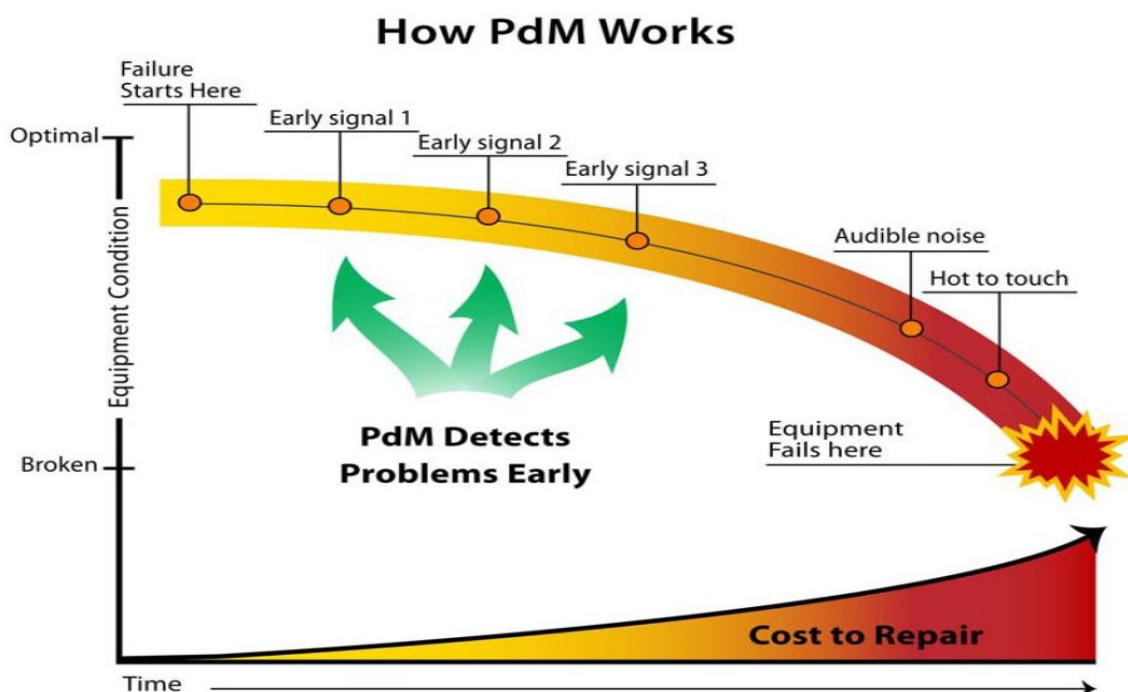
مزایای سیستم نگهداری پیش‌گویانه به شرح زیر می‌باشد :

- عملکرد بهتر و افزایش قابلیت در دسترس بودن ( کاهش توقفات موردی ) و افزایش قابلیت اطمینان ماشین آلات
- افزایش عمر مفید ماشین آلات
- ارتقا کیفیت محصولات تولیدی
- ایمنی بیشتر
- توجه بیشتر به محیط زیست
- افزایش بهره‌وری تولید
- در مجموعی می‌توان گفت فعالیتهای نت پیش‌گویانه عبارتند از :
  - بازرسی فنی توسط حواس انسانی
  - اندازه گیری فرسایش با استفاده از ابزار توسط انسان
  - بازرسی و اندازه گیری پیوسته توسط ابزار

PdM Predictive Maintenance ( نت پیشگویانه ) در برنامه های نگهداری و تعمیرات پیش بینانه  
عناصری زیر مدنظر می باشد :

- 1.Vibration Analysis (VA) Technology
- 2.Infra Red Thermography &Temperature (IRT) Analysis
- 3.Lubricant, Hydraulic Fluid & Wear Particle (LWP) Analysis
- 4.Motor Current/Power Analysis (MCA/MPA)
- 5.Electrical Insulation Testing (EIT)
- 6.Transformer Predictive Analysis (TPA)
- 7.Electrical Circuit Analysis (EcrA)
- 8.Ultrasonic Analysis (Passive – for Leaks & Other Applications – UA)
- 9.Breakaway & Coast-down Analysis (BCA)
- 10.Filtration & Debris Analysis (FDA)

نگهداری و تعمیرات پیش گویانه چگونه کار می کند ؟



همانطوری که گفته شد ، اجرای یک سیستم نگهداری و تعمیرات موثر و مدرن به جهت کنترل توقفات و کاهش توقفات موردی و در نهایت کاهش شدت مصرف انرژی بسیار ضروری است . به منظور اجرای مدیریت موثر انرژی در کارخانجات از طریق سیستم نت مدرن ، استفاده از متدهای پیشرفته ای مانند اثر بخشی جامع تجهیزات ، بهینه سازی مستمر نحوه استخراج ، ثبت و پردازش داده های نگهداری و تعمیرات ، ارتقا مستمر سطح تخصص ، مهارت و آموزش متخصصان نت و گروههای اجرایی نت ، بهینه سازی دستورالعملهای نت با ارتقا مناسب روشهای نظارتی بر وضعیت ماشین آلات ضروریست .

تهیه کننده : مهندس نجمه قاسمی نژاد  
امور مهندسی سیمان کنگان ( شرکت بین المللی ساروج بوشهر )

مراجع :

- وبلاگ سازمان برق
- سایت وزارت نیرو
- سایت سیمان ایران
- هند بوک مهندسی سیمان

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.