

## صرفه جوئی کلان در مصرف انرژی در کارخانجات سیمان

### خلاصه مقاله

در این مقاله تلاش شده است بر این موضوع تأکید نماید که مؤثرترین راه کار صرفه جوئی در مصرف انرژی در کارخانجات سیمان افزایش کلان بازدهی و یا راندمان کل سیستم میباشد.

برای تحقق این موضوع مقاله فرضیه پیشنهادی ایجاد سیکل ترکیبی تولید برق و سیمان در کنار یکدیگر را مورد تجزیه و تحلیل قرار داده و موضوع صرفه جوئی در سر جمع انرژی الکتریکی و فسیلی مورد مصرف کارخانه را در معرض دید و قضاوت قرار میدهد.

مقاله سعی مینماید این موضوع را به دو بخش تقسیم نموده و سپس از تلفیق آنها با یکدیگر نتیجه حاصله را به اثبات برساند.

اول: تولید برق در کنار کارخانه سیمان که شاید تا کنون بعثت تأمین برق دولتی سوبسید دار موجه نبوده است ولی اکنون با رشد روز افزون نرخ مصرف انرژی الکتریکی در کشور، تأمین آن توسط صنعت برق دولتی بویژه برای مصارف بزرگ صنعتی دچار محدودیت شدید شده و با احداث صنعت برق و بازار خصوصی آن در آینده نه چندان دور، این انرژی با قیمت تمام شده عرضه خواهد گردید. بنابراین حتی برای کارخانه هائی که در شروع احداث میباشد خرید برق مصرفی از نیروگاههای خصوصی و یا تولید آن توسط خود کارخانه اجتناب ناپذیر خواهد بود. از طرف دیگر تولید برق در کنار کارخانه دارای دو مزیت نسبی میباشد، یکی از مزایا حذف فاصله محل تولید برق تا مصرف کننده و بالنتیجه عدم اتلاف انرژی در شبکه های انتقال نیرو میباشد که هزینه های آن توسط مصرف کننده پرداخت میگردد. دوم آنکه چنانچه کارخانه قادر باشد کل برق مصرفی خود را تأمین نماید، با توجه به نحوه بهره برداری در کارخانجات سیمان و کاهش مصرف در ساعات اولیه شب (اوج مصرف) در همین ساعات کارخانه میتواند مازاد انرژی تولید خود را با شبکه مبادله نموده و با توجه به قیمت بالای انرژی در این ساعات از حد اکثر قیمت فروش برق بهره مند شود.

دوم: مقاله اشاره ای دارد به چگونگی تولید انرژی الکتریکی

در این بخش عنوان می‌گردد که در صد بالائی از برق کشور توسط توربین های گازی تولید می شود. این توربینها حتی در مدرن ترین و بزرگترین سازه های امروز، دارای راندمانی کمتر از ۴۰٪ میباشد. بعبارت دیگر بیش از ۶۰٪ از انرژی فسیلی ورودی به آنها در پروسه تولید انرژی الکتریکی اتلاف می شود که بخش بسیار عمده ای از آن بصورت گازهای انرژی با درجه حرارتی بیش از ۵۰۰ درجه از آگزوز توربین گازی بخارج هدایت میگردد.

حال چنانچه این انرژی قابل توجه در بخش نخست خط تولید سیمان، یعنی پیشگرمکن مورد استفاده قرار گیرد، سوخت مصرفی این بخش بشدت کاهش یافته و راندمان کلی سیستم ارتقاء مییابد.

آنچه محرز است آنکه که این روش سالهاست که در سایر صنایع زیر بنائی نظیر پتروشیمی، قند، نساجی و خود صنعت برق مورد استفاده قرار گرفته است. بدیهی است استفاده از آن در صنعت سیمان نیز امکان پذیر بوده ولی نیازمند بذل توجه و کنکاش بیشتر توسط صاحب نظران و متخصصین ارجمند این صنعت پرسابقه میباشد.

## صرفه جوئی کلان در مصرف انرژی در کارخانجات سیمان

### ۱- مقدمه:

مدیریت انرژی و اعمال کنترل های دقیق بر مصرف صحیح آن در کارخانجات و رعایت کاهش مصرف در دوره زمانی پیک روزانه از یکسو و نگهداری و بهره برداری اصولی از تجهیزات انرژی بر کارخانه به نحوی که هر کدام در شرایط اسمی خود کار کنند از سوی دیگر، عواملی هستند که میتوانند به پائین تر آمدن قابل توجه مصرف انرژی و طبعاً هزینه های جاری کارخانه کمک نمایند.

این موضوع که امروزه تحت عنوان مصرف بهینه انرژی از آن یاد میشود بیش از آنکه معادل واژه « صرفه جوئی در مصرف انرژی باشد» بیان کننده پیشگیری از اتلاف انرژی بالاتر از مصارف طراحی شده و راندمان اسمی تجهیزات میباشد. در این حال صرفه جوئی واقعی در مصرف انرژی دارای

مفاهیم اساسی و بنیادی تری بوده که چنانچه در حد کلان مورد توجه قرار گیرد میتواند ضمن کاهش قابل توجه قیمت تمام شده محصول، تأثیرات مثبتی نیز در خارج از چارچوب کارخانه و در راستای منافع ملی داشته باشد. برای نیل به این هدف میبایستی در وهله اول بجای توجه خاص به انرژی الکتریکی، سر جمع انرژی مصرفی کارخانه را مورد توجه قرار داد و در وهله بعدی با تغییرات مناسب ساختاری در تجهیزات اصلی و پر مصرف کارخانه و چیدمان آنها، نسبت به ارتقاء راندمان کل سیستم اقدام نمود.

به بیان روشنتر، در دنیای امروز صرفه جوئی عملی در مصرف انرژی و پائین آوردن قیمت تمام شده محصول، نه صرفاً از طریق استفاده بهینه از انرژی بلکه عمدتاً از طریق بهبود بازدهی و یا افزایش راندمان تجهیزات نصب شده کارخانه محقق میگردد.

۲- **برای نیل به این هدف:** نگاهی به منشاء تولید انرژی الکتریکی نیز راهگشا خواهد بود. انرژی الکتریکی در ایران عمدتاً توسط ماشین های حرارتی حاصل میگردد. در این ماشینها بواسطه الزام در تبدیل انرژی شیمیائی موجود در سوخته های فسیلی به انرژی حرارتی و سپس تبدیل انرژی حرارتی به مکانیکی و نهایتاً انرژی مکانیکی به انرژی

### ۳- **راهکارهای پیشنهادی برای صرفه جوئی در مصرف انرژی**

با عنایت به آنچه گذشت برای تحقق صرفه جوئی قابل توجه در مصرف انرژی، یکی از راهکارهای شناخته شده و بسیار مؤثر، تولید برق در کنار صنایع بوده که ضمن از بین بردن تلفات ناشی از انتقال انرژی از راه دور، همزمان میتوان از تلفات حرارتی آن در پروسه تولید کارخانه نیز استفاده نمود.

این امر در صنایعی مانند قند، نخریسی و پتروشیمی دارای پیشینه ای طولانی بوده و بعلت تأثیر گذاری قابل توجه و مثبت آن در طول زمان، توجه روزافزونی به آن شده است. در کشور عزیز ما ایران توربین های تولید برق قبل از اینکه وارد صنعت برق شود در بیش از ۸۰ سال پیش همراه با

صنایع قند وارد کشور شد که بدینوسیله نه تنها برق مورد نیاز کارخانه را تأمین می نمودند بلکه وظیفه پخت شکر را نیز عهده دار بوده اند.

تاریخچه صنعت سیمان نیز شاهد همراه بودن ادوات تولید برق بود، ولی چون این ادوات صرفاً برای تولید برق مورد استفاده قرار گرفته اند، با گسترش صنعت برق دولتی در کشور و واگذاری برق سوبسیددار از همان ابتدا، ضرورت تولید برق در صنایع سیمان بجز در حدود نیازهای اضطراری از بین رفته است. ولی امروز دلایل پراهمیتی برای بازنگری وجود دارد که بشرح ذیل بیان میگردد.

الکتریکی، در چند مورد تبدیل انرژی صورت می پذیرد. از سوی دیگر با توجه به اینکه راندمان نهائی کل سیستم از حاصل ضرب راندمانهای جزء حاصل میشود (همه ارقام کوچکتر از ۱) حاصل بشدت کاهش می یابد.

در تعاریف کلاسیک و در عمل گفته میشود که ماشین های حرارتی دارای فقر راندمان میباشند. بعنوان مثال توربین های گازی که امروزه از تجهیزات عمده تولید برق در نیروگاههای ایران میباشند، در بهترین حالت و مدرن ترین دستگاههای امروزی دارای راندمانی کمتر از ۴۰٪ بوده که در این حالت بیش از ۶۰٪ از انرژی ورودی به آنها در مراحل تولید انرژی الکتریکی از میان میرود. بخش بسیار عمده ای از این اتلاف بصورت هوای کاملاً داغ و انرژی از انگروز توربین های گازی بخارج هدایت می شود. اینک این برق تولید شده در نیروگاه که برای مصارف گوناگون از طریق شبکه های توزیع و فوق توزیع به مصرف کنندگان مختلف منتقل می شود نیز به نوبه خود دارای

( یک خط ناخوانا )

فاصله مصرف کنندگان از نیروگاه متفاوت ولی در هر صورت قابل توجه

### ۱-۳- نصب نیروگاه در کارخانه سیمان بواسطه تولید برق

صنعت برق کشور با بیش از یک صد سال قدمت یکی از مهمترین صنایع زیربنائی کشور بوده که همانند صنعت سیمان توسط بخش خصوصی احداث و شروع بکار نمود ولی با توجه به دلایل

متفاوتی منجمله رشد سریع صنعتی کشور، افزایش درآمد سرانه و تفاوت شکل زندگی مردم از سنتی به امروزی و تقاضای روزافزون جامعه برای انرژی الکتریکی، رفته رفته از دست بخش خصوصی خارج شده و با احداث شرکت های تخصصی دولتی از حدود چهل سال قبل، بکلی در انحصار دولت قرار گرفت که بررسی فوائد و مضار آن از حوصله این مقاله خارج است. اما نکته مهم در این است که نرخ رشد بالا و روزافزون مصرف سالیانه برق، کار را بجائی رسانیده که ادامه دولتی بودن این صنعت بویژه در بخش تولید و هزینه نمودن از خزانه عمومی برای احداث نیروگاههای جدید که ظرفیت تولید آنها میبایستی در یک دهه آینده به دو برابر ارتقاء پیدا نماید، از توان دولت خارج شده از این رو تأمین برق جهت مصارف عمومی و بویژه واگذاری آن برای مصارف کلان به صنایع توسط دولت دچار محدودیت شدید گردیده است. بدین جهت رویکرد آتی وزارت نیرو، پشتیبانی مصارف بزرگ و نه تأمین مستمر برق مصرفی آنها میباشد.

بعبارت دیگر مصرف کنندگان بزرگ میبایستی یانسبت به تأمین نیروی الکتریکی مورد نیاز خود راساً اقدام نمایند و یا برای عقد قرارداد به نیروگاههای خصوصی مراجعه کنند. قابل ذکر است که بحث خصوصی سازی در صنعت برق که از دو دهه قبل مطرح بوده است با تدوین قانونمندی لازم و تغییر الگوهای دولتی به خصوصی با احداث بازار برق و تصویب آئین نامه ای مرتبط با آن هم اکنون کاملاً اجرائی بوده بگونه ای که دهها شرکت خصوصی در حال احداث نیروگاه بوده و با پیگیر اخذ مجوزهای لازم برای احداث آن می باشند. در این میان مقررات احداث نیروگاههای کوچک در کنار صنایع و امکان تبادل انرژی با شبکه برق رسانی ملی نیز پیش بینی شده و جایگاه خاص خود را دارا می باشد.

در این حال چنانچه کارخانه های سیمان قادر به تولید برق مصرفی خود باشد موضوع تبادل انرژی با شبکه ( خرید و فروش برق) به ویژه در مورد کارخانجات سیمان به دلیل توانمندی آنها در کاهش مصرف کارخانه در ساعات اولیه شب ( اوج بار) و کمک به شبکه به لحاظ اقتصادی برای کارخانه، دارای مفهومی بسیار مهم می باشد.

## ۳-۲- امکان استفاده تلفیقی از واحد تولید برق در کنار خط تولید سیمان و صرفه جوئی

### کلی در انرژی فسیلی:

همچنان که گذشت یکی از انواع ماشینهای حرارتی که امروزه بعنوان رایج ترین وسیله تولید برق مورد استفاده قرار میگیرد توربینهای گازی میباشند که بازده آنها در اندازه های ۲۰ تا ۳۰ مگاوات بین ۲۵ تا ۳۵٪ متغیر بوده و در بهترین حالت بیش از ۶۵٪ از انرژی فسیلی مورد مصرف بصورت گازهای حاصل از احتراق و هوای داغ انرژی با حرارتی بیشتر از ۵۰۰ درجه از دودکش توربین خارج میگردد.

در دنیای امروز و کشورهای پیشرفته بویژه آنان که فاقد منابع انرژی فسیلی میباشند بندرت اتفاق می افتد که اینگونه ماشین ها بصورت تنها (سینگل) مورد بهره برداری قرار گیرند.

استفاده از حرارت خروجی برای تبخیر آب و نصب یک توربین بخار مولد برق بدون سوخت اضافی و بصورت موازی استفاده از بخش دیگری از حرارت مازاد برای تهیه آب گرم مصرفی شهرها و در پروسه تولید کارخانه راندمان سیستم را به حدود ۹۵٪ میرساند.

بنابراین بررسی استفاده از این حرارت در خط تولید سیمان همان جهش اساسی در صرفه جوئی قابل توجه در سر جمع انرژی فسیلی و الکتریکی خواهد بود.

برای توضیح بیشتر میتوان به مثال ذیل توجه نمود:

انرژی حرارتی مورد نیاز یک توربین گازی با توان ۲۵ مگاوات و راندمان ۳۰٪ را می توان از رابطه ذیل بدست آورد:

$$\eta = \frac{W}{Q} \rightarrow Q = \frac{W}{\eta} = \frac{250 \times 860}{0.3} = 716666666 \text{ kcal/h}$$

که با توجه به بازده مفید توربین ۷۰٪ این انرژی اتلاف گردیده و از این مقدار حد اقل ۶۰٪ آن بصورت گازهای انرژی از اگزوز توربین خارج میگردد این مقدار برابر است با:

$$716666666 \times 0.6 = 430000000 \text{ kcal/h} \quad \text{انرژی حرارتی}$$

$$\frac{4300000}{8150} - 5276 \text{ m}^3/\text{hr}$$

و یا معادل گاز طبیعی

حال چنانچه مصرف گاز طبیعی برای یک خط تولید سیمان با ظرفیت ۳۵۰۰ تن در روز ۱۵۰۰۰ متر مکعب در ساعت باشد بصورت طبیعی ۶۰٪ یعنی ۹۰۰۰ متر مکعب آن در پیش گرمکن مصرف میگردد.

حال کافی است با جذب انرژی خروجی توربین گاز با دمای ۵۰۰ درجه، در پروسه تولید سیمان بعنوان مثال در پری هیتر بتوان مصرف گاز پیش گرمکن را به حدود نصف مصرف طراحی شده آن تقلیل داد.

و در جمع بندی، فرضیه طراحی سیکل ترکیبی تولید برق و سیمان در کنار یکدیگر بصورت یک پیشنهاد اولیه میتواند امری قابل تصور، با توجیه قوی اقتصادی و به لحاظ صرفه جوئی مؤثر در منابع فناپذیر سوخت های فسیلی در راستای منافع ملی باشد.

بدیهی است عملیاتی نمودن این پیشنهاد مطالعات بیشتر توسط صاحب نظران و متخصصین محترم صنعت سیمان را طلب می نماید.

بهار ۱۳۸۶

محمد چوپانکاره

مدیر عامل شرکت سیمان زاوه تربت