

ارائه فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی و برآورد کاهش مصرف انرژی در صنعت سیمان کشور

سمیرا فاضلی ویسری^۱، محمد اکبری سیار^۲، سعید ملک طاش^۳، امیر دودابی نژاد^۴

او ۲ و ۴: سازمان بهره‌وری انرژی ایران

۳: شرکت احداث کنترل

چکیده

در این مقاله تلاش شده است پس از ارائه خلاصه‌ای از وضعیت سیمان کشور از نظر تولید، انرژی مصرفی و سهم آن نسبت به کل انرژی مصرفی بخش صنعت و کشور و همچنین شاخص‌های انرژی در مقایسه با وضعیت جهانی پتانسیل صرفه‌جویی مصرف انرژی در کشور برآورد شود. بدین منظور پس از پایش وضعیت کارخانه‌های کشور با توجه به اطلاعات جمع‌آوری شده و تحلیل وضعیت موجود و پارامترهای موثر بر میزان بهره‌وری انرژی از نظر نوع تکنولوژی به کار رفته هر دپارتمان در خطوط تولید کشور، عمر تجهیزات و خطوط تولید و ظرفیت تولید و ... میزان اجرایی بودن هر راهکار با برآورد پتانسیل صرفه‌جویی انرژی و هزینه سرمایه‌گذاری مورد نیاز در کل کارخانه‌های کشور بررسی شده است. در ادامه خلاصه راهکارهای کاهش مصرف انرژی فرآیندی در سه قالب تغییر تکنولوژی، تغییر مواد اولیه به کار رفته و ارتقای کارایی تجهیزات، ارائه شده است. از جمله راهکارهای ارائه شده می‌توان به تبدیل سیستم انتقال مواد از پنوماتیک به مکانیکی، استفاده از نوار نقاله و الواتور به جای سیستم حمل با هوا، تعویض آسیاب گلوله ای با آسیابهای غلطکی راندمان بالا، تبدیل سیستم هموزنیسیون سیلو به سیستم ثقلی، استفاده از مواد کمک ذوب، جایگزینی کولر سیاره ای با کولرهای نسل جدید، استفاده از سرباره و ... اشاره کرد. در پایان پتانسیل صرفه‌جویی مصرف انرژی الکتریکی در کارخانه‌های کشور با استفاده از مقایسه متوسط شاخص مصرف انرژی الکتریکی در ایران با چند کشور پیشرو ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی: پتانسیل کاهش مصرف انرژی - راهکار بهینه‌سازی مصرف انرژی - شاخص مصرف انرژی الکتریکی

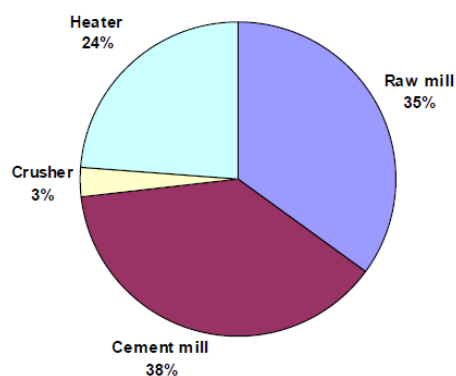
۱ - شهرک قدس- انتهای بلوار شهید دامن - پژوهشگاه نیرو- سازمان بهره‌وری انرژی ایران (سابا) -
fazeli@saba.org.ir
۲ - شهرک قدس- انتهای بلوار شهید دامن - پژوهشگاه نیرو- سازمان بهره‌وری انرژی ایران (سابا)
۳ - خیابان جلال آل احمد-خیابان ابراهیمی- خیابان ساجدی غربی- شماره ۱۲ - شرکت احداث کنترل
۴ - شهرک قدس- انتهای بلوار شهید دامن - پژوهشگاه نیرو- سازمان بهره‌وری انرژی ایران (سابا)

۱- مقدمه

در کشور ایران نزدیک به ۲۶ درصد از کل مصرف انرژی در بخش صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرد که از کل مقدار انرژی مصرفی در بخش صنعت ۲۹ درصد آن به صورت الکتریکی و ۶۰ درصد به صورت گاز طبیعی و ۱۱ درصد به صورت نفت خام مورد استفاده قرار می‌گیرد. و در میان صنایع تولیدی در ایران، صنعت سیمان و صنعت فولاد بالاترین رتبه را در مصرف انرژی به خود اختصاص داده‌اند.

در این میان صنعت سیمان با تولید ۶۴ میلیون تن در مجموع کارخانجات و مصرف حدود ۷۲۰۰ میلیون کیلووات ساعت انرژی الکتریکی معادل با حدود ۳ درصد از کل برق تولید شده در کشور و ۹.۷ درصد از سهم انرژی الکتریکی مصرف شده در بخش صنعت را به خود اختصاص داده است.

در شکل (۱) سهم مصارف انرژی واحدهای عمده مصرف‌کننده انرژی در کارخانجات سیمان ارائه شده است.



شکل ۱: سهم مصارف انرژی واحدهای عمده مصرف‌کننده انرژی در کارخانجات سیمان

بیشترین مصرف انرژی الکتریکی مربوط به قسمت آسیاب سیمان و فن‌ها و کولرها و سرنده می‌باشد، از این رو برای کاهش مصرف انرژی بیشتر باید به این بخش‌ها توجه بیشتر نمود و طراحی این قسمت‌ها را مورد ارزیابی قرارداد.

۲- پتانسیل کاهش مصرف انرژی در صنعت سیمان کشور در مقایسه با شاخص‌های جهانی:

در ابتدا با توجه به مقایسه متوسط شاخص مصرف انرژی الکتریکی در کارخانه‌های سیمان کشور با چند کشور که در زمینه بهینه‌سازی مصرف انرژی در صنعت سیمان پیشرو می‌باشند و متوسط تولید سیمان در کارخانه‌های کشور (حدود ۷۰ میلیون تن در سال)، پتانسیل کاهش مصرف انرژی در کشور به شرح جدول ذیل ارائه می‌شود:

کشور	متوسط مصرف انرژی ویژه الکتریکی (kwh/ton)	کل تولید کارخانجات سیمان کشور (میلیون تن)	متوسط مصرف انرژی ویژه الکتریکی در ایران (kwh/ton)	پتانسیل صرفه جویی سالانه کارخانجات سیمان کشور نسبت به شاخص مصرف در کشور مذکور (میلیون کیلووات ساعت)
آلمان	۱۰۵	۷۰	۱۱۰	۳۵۰
ژاپن	۹۵			۱۰۵۰
سوئیس	۹۵			۱۰۵۰
هندوستان	۱۰۰			۷۰۰
بهترین عملکرد دنیا	۶۵			۳۱۵۰

۳- برآورد پتانسیل کاهش مصرف انرژی در صنعت سیمان کشور با امکان‌سنجی اجرای راهکارها در کارخانجات مختلف

در این مرحله راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی براساس درجه اهمیت مختصر توضیح داده خواهد شد، سپس با توجه به تکنولوژی موجود در کارخانه‌های کشور، پتانسیل صرفه‌جویی انرژی مربوط به هر راهکار در کل کارخانه‌های کشور، میزان سرمایه‌گذاری تقریبی مورد نیاز و مدت زمان بازگشت سرمایه ارائه می‌گردد.

راهکارهای مربوط به بهبود فرآیند تولید:

- استفاده از رولر پرس قبل از آسیاب سیمان گلوله ای

این روش، روشی مناسب جهت بهبود کارایی سیستم‌های در حال بهره برداری می‌باشد. معمولاً چون اکثر عملیات نصب بدون توقف صورت می‌پذیرد استقبال از این روش بسیار خوب بوده و بازگشت مناسبی را دارد. استفاده از این روش در حدود ۸۰ خط تولید کشور با ظرفیت تولید بیش از ۱۶۰۰۰۰ تن سیمان در روز قابلیت اجرا دارد. مقدار تقریبی کاهش شاخص انرژی و هزینه اجرای این راهکار ۱۵ کیلو وات ساعت و حدود ۵۰۰۰۰ ریال به ازای هر تن سیمان تولیدی بوده و بازگشت سرمایه اجرای آن با احتساب قیمت‌های بدون تعرفه حدود ۳ سال می‌باشد.

- استفاده از مواد کمک ذوب

استفاده از این راهکار علیرغم این که می‌تواند منجر به کاهش مصرف انرژی حرارتی سیستم شود، ولی بدلایلی که در ذیل می‌آید استفاده از آن برای اکثر کارخانجات مقرون به صرفه نمی‌باشد:

- عدم دسترسی به معادن و منابع مواد که باعث تحمیل هزینه حمل بالا می‌شود
- گرانی مواد کمک ذوب
- لزوم استفاده از تجهیزات توزین دقیق برای این افزودنی بدلیل میزان کم مصرف
- وجود ناخالصی همراه با کمک ذوب که باعث بروز برخی مشکلات بهره برداری می‌شود.

وجود موارد ذکر شده باعث می شود که تعداد کمی از کارخانجات بتوانند از این پتانسیل استفاده نمایند. استفاده از این روش در حدود ۱۰ خط تولید کشور با ظرفیت تولید بیش از ۳۰۰۰۰ تن سیمان در روز قابلیت اجرا دارد. مقدار تقریبی کاهش شاخص انرژی بر اثر اجرای این راهکار حدود ۴۰ کیلوکالری به ازای هر تن کلینکر تولیدی بوده و هزینه اجرای آن با توجه به شرایط کارخانجات متغیر می باشد.

- استفاده از مواد کمک سایش

مصرف کننده های عمده انرژی در آسیابها، موتورهای اصلی، سپراتورها، فن ها و کمپرسورها می باشند. یکی از راه های کاهش مصرف انرژی الکتریکی ، بالا بردن بازده این تجهیزات است. استفاده از مواد کمک سایش (Grinding Aids) که عمدتاً از مواد آلی چرب تشکیل شده اند می تواند از چسبندگی مواد به یکدیگر تا اندازه ای جلوگیری کند و با کاهش نیروهای جاذبه بین ذرات باعث عدم حرکت دانه های نرم همراه با دانه های زبر بویژه در سپراتورها شده و لذا منجر به افزایش راندمان آنها گردد. این مواد در آسیابهای سیمان و مواد خام بکار می روند ولی انواع آنها در دو سیستم متفاوت است. مواد کمک سایش در آسیابهای گلوله ای عمدتاً از دو نوع گلیکول ها و اتانول امین ها می باشند. با استفاده از اضافه کردن این مواد ظرفیت تولید آسیاب حدود ۱۷٪ تا ۳۴٪ افزایش داشته و راندمان سایش (Grinding Efficiency) از ۳۰٪ تا ۴۰٪ اضافه میشود. در اثر اجرای این راهکار مصرف ویژه انرژی به طور متوسط از ۱۵٪ تا ۲۵٪ کاهش می یابد.

- سرباره یا فلاش

استفاده از سرباره فولاد یا فلاش اش به عنوان مواد اولیه یا فرآیند تولید سیمان در آسیای سیمان (نگاه کنید به سیمانهای آمیخته) باعث کاهش میزان مواد اولیه برای تولید میزات ثابتی کلینکر خواهد شد. این کاهش منجر به کاهش انرژی مصرفی به میزان ۱/۱۲ میلیون بی تی یو به ازای تن سیمان خواهد شد. این مقدار ممکن است به میزان کمی به مقدار ۰/۷۰ میلیون میلیون بی تی یو که جهت خشک نمودن این دو ماده مصرف خواهد شد، کاهش یابد. وقتی به محصول کم آکالی نیاز باشد استفاده از این دو ماده منجر به کاهش آکالی در محصول خواهد شد. بر اساس یک تحقیق این عمل می تواند منجر به کاهش مصرف انرژی به میزان ۰/۱۶ میلیون بی تی یو به ازای تن سیمان جهت حذف استفاده از آکالی بای پاس می گردد. تحقیق دیگری برآورد می نماید که به دلیل کاهش میزان مواد اولیه، تولید افزایش می یابد، این افزایش تولید می تواند منجر به کاهش مصرف انرژی به میزان ۲ کیلووات ساعت به ازای تن سیمان شود. استفاده از این مواد در کلیه خطوط تولید سیمان کشور قابل اجرا بوده و با اجرای این راهکار سالانه حدود ۱۳۰ میلیون کیلووات ساعت صرفه جویی انرژی الکتریکی در کارخانجات کشور حاصل می شود.

- فرآیند Calera

این فرآیند به تازگی به جهت دریافت دی اکسید کربن تبدیل آن به کربنات ها توسعه داده شده. در این فرآیند از اسکرابر با آب با PH بالا و حاوی کلسیم، منیزیم، سدیم و کلرید استفاده می شود. دی اکسید کربن در این اسکرابرها جذب شده و به صورت جامد در می آیند. این مواد پس از خشک شدن می توانند به عنوان افزودنی در سیمان به کار گرفته شوند. آب باقیمانده می تواند جهت تصفیه و حذف کلرید سدیم به کار رود تا آب قابل شرب تولید نماید. بنابراین در این فرآیند، آب قابل شرب به عنوان محصول فرعی از آب دریا یا آب چاه تولید می شود. این فرآیند قابلیت دارد تا با استفاده از فرآیند شیمیایی با استفاده از ولتاژ پایین کلرور سدیم را حذف و به هیدروکسید یا بیکربنات سدیم تبدیل نماید. این محصول می تواند PH آب را بالا ببرد بنابراین این فرآیند هیچگونه پساب یا نخاله به محیط زیست باز نمی گرداند. این فرآیند هنوز نیز در مرحله آزمایش بوده و به

صورت صنعتی در سیمان مورد استفاده قرار گرفته است. استفاده از این روش در کلیه خطوط تولید سیمان کشور قابل اجرا بوده و منجر به کاهش حدود ۱۰ الی ۲۰ درصدی مصرف انرژی می‌شود.

- استفاده از سیمانهای آمیخته جهت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای

سیمانهای آمیخته از مخلوطی از کلینکر و یک ماده سیمانی طبیعی دیگر که جایگزین بخشی از کلینکر می‌گردد برای تولید سیمان پرتلند به کار می‌روند. این مواد جایگزین به دو گروه عمده مواد سیمانی و مواد پوزولانی تقسیم بندی می‌شوند. مواد سیمانی، خواصی مانند سیمان را از خود بروز می‌دهند. سرباره کوره بلند گرانول به عنوان ماده جایگزین سیمانی خوبی به عنوان جایگزین کلینکر به کار گرفته می‌شود. پوزولانها مواد هستند که با واکنش با هیدروکسید کلسیم، خواص سیمانی را بروز می‌دهند و مثالهایی برای پوزولانهای مورد استفاده در سیمان عبارتند از رس کلسینه شده، شیل کلسینه شده، متاکائولن و فلاش می‌باشد. استفاده از این مواد به عنوان جایگزین بستگی به عواملی مانند در دسترس بودن، خواص مواد، قیمت، استانداردهای موجود، پذیرش بازار و ... غیره دارد. استفاده از این روش منجر به کاهش حدود ۴۰ کیلوکالری به ازای تن کلینکر تولیدی شده و در کلیه خطوط تولید کارخانجات کشور قابلیت اجرا دارد.

راهکارهای مربوط به بهبود تکنولوژی تولید

- استفاده از سیراتورهای راندمان بالا

پس از سایش، سیراتورها جهت جداسازی ذرات از روی سایزشان به کار می‌روند، بدین ترتیب که ذرات بزرگتر جهت فرایند دوباره به سیستم باز می‌گردند تا به ذرات کوچکتری تبدیل شوند و ذرات ریزتر به عنوان محصول جداسازی می‌شوند. استفاده از سیراتورهای راندمان بالا با دقت جدایش بالا، منجر به کاهش ۸ درصد انرژی الکتریکی آسیاب خواهد گردید. بهینه سازی عملیات به وسیله به کارگیری یک سیراتور راندمان بالا بین ۳/۸ تا ۵/۲ کیلووات ساعت به ازای تن سیمان کاهش انرژی الکتریکی در بر داشته است. استفاده از این روش در حدود ۴۰ خط تولید کشور با ظرفیت تولید بیش از ۱۴۰۰۰۰ تن سیمان در روز قابلیت اجرا دارد. مقدار تقریبی کاهش شاخص انرژی و هزینه اجرای این راهکار ۴ کیلو وات ساعت و حدود ۹۰۰۰ ریال به ازای هر تن سیمان تولیدی سالانه می‌باشد.

- ارتقای بهره وری در سیستم انتقال مواد

درصنعت سیمان جهت انتقال خوراک کوره، غبار کوره، سیمان و سوخت جامد از روشهای مختلف انتقال مکانیکی و پنوماتیک (انتقال به وسیله هوا) استفاده می‌شود. نصب نوارهای نقاله لاستیکی و الواتورهای کاسه‌ای ممکن است با هزینه سرمایه گذاری حدود ۵۰ هزار ریال به ازای تن سیمان و کاهش هزینه‌های عملیاتی ۲/۶ هزار ریال به ازای تن سیمان باعث کاهش ۱/۵ تا ۳ کیلووات ساعت به ازای تن سیمان گردند. برای جایگزینی تجهیزات مکانیکی به جای سیستم‌های انتقال با هوا افزایش قابلیت اعتماد عملکرد و کاهش زمان توقف نیز مطرح است. استفاده از این روش در حدود ۴۰ خط تولید کشور با ظرفیت تولید بیش از ۸۲۰۰۰۰ تن سیمان در روز قابلیت اجرا دارد. مقدار تقریبی کاهش شاخص انرژی و هزینه اجرای این راهکار ۴ کیلو وات ساعت و حدود ۹۰۰۰ ریال به ازای هر تن سیمان تولیدی سالانه می‌باشد.

- آسیابهای غلطکی راندمان بالا

در کارخانجات قدیمی معمولاً از آسیابهای گلوله‌ای جهت سایش مواد خام استفاده می‌شود. گزینه‌های بهتر از نظر کارایی شامل آسیابهای غلطکی راندمان بالا ترکیب رولر پرس و آسیاب گلوله‌های و نیز آسیابهای غلطکی افقی می‌باشند. تعویض آسیاب گلوله‌های با آسیاب غلطکی ممکن است منجر به کاهش ۱۱ الی ۱۵ کیلووات ساعت به ازای تن سیمان گردد که این میزان معادل با کاهش ۹ الی ۱۱ کیلووات ساعت به ازای تن سیمان است. میزان سرمایه گذاری طبق این مطالعه حدود

۵۰ هزار ریال به ازای تن ظرفیت تولید سالانه سیمان است. استفاده از این روش در حدود ۵۳ خط تولید کشور با ظرفیت تولید بیش از ۱۵۰۰۰۰ تن سیمان در روز قابلیت اجرا دارد.

- مخلوط سازی مواد خام

خوراک کوره از مخلوطی از چند ماده تشکیل گشته است. جهت بهبود فرایند تولید کلینکر در کوره می بایستی این مخلوط از همگنی خوبی برخوردار باشد.

این مخلوط سازی ممکن است به وسیله هوادهی و یا استفاده از سیستم های مکانیکی در سیلوهای مواد صورت پذیرد. سیلوهای (gravity – type silos) بین ۱/۴ تا ۳/۵ کیلووات ساعت به ازای تن سیمان انرژی ویژه الکتریکی را کاهش می دهند. بهسازی سیلوهها هزینه ای معادل با حدود ۷/۵ هزار ریال به ازای تن تولید سیمان سالانه را دربر خواهد شد. استفاده از این روش در حدود ۸۰ خط تولید کشور با ظرفیت تولید بیش از ۱۵۰۰۰۰ تن سیمان در روز قابلیت اجرا دارد.

- تبدیل گریت کولر

گریت کولر جهت خنک کردن سریع کلینکر به محض خروج از کوره به کار گرفته می شود وظیفه دیگر این تجهیز بازیافت حرارت از کلینکر خروجی از کوره می باشد. بنابراین این تجهیز می تواند نقش اساسی در کاهش میزان تلفات انرژی حرارت را ایفا نماید.

تعویض کولر سیاره ای با یک گریت کولر می تواند منجر به کاهش مصرف ۰/۸ سوخت گردد در حالیکه استفاده از گریت کولر باعث افزایش مصرف انرژی الکتریکی به میزان ۲/۵ کیلووات ساعت بر تن می گردد. میزان سرمایه گذاری برای گریت کولرهای با ظرفیت های کمتر از ۵۵۰ تن در روز بسیار بالا می باشد. کولرهای سیاره ای امکان استفاد از هوای تالشیه برای استفاد هاز کلساینر را مهیا نمی نمایند.

تبدیل به گریت کولر زمانی که بهره برداری از پری کلساینر مدنظر باشد بیشتر مقرون به صرفه می باشد. هزینه سرمایه گذاری برای یک گریت کولر با ظرفیت ۶۶۰ تن در روز برابر با ۲۲/۵ الی ۳۰ میلیون ۳۳۷/۵ الی ۴۵۰ میلیون هزار ریال می باشد. هزینه واقعی بستگی زیادی به شرایط ویژه سایت دارد. استفاده از این روش منجر به کاهش مصرف ۸ درصدی انرژی فسیلی معادل ۸۱ الی ۲۵۱ مگاژول بازای تن سیمان و افزایش ۱ تا ۵ کیلووات ساعت بازای تن سیمان می شود. استفاده از این روش در ۱۲ خط تولید سیمان در کشور اجرایی می باشد.

- تبدیل به پری هیتر چند مرحله ای

در کارخانجات مدرن سیمان از پری هیتر های چند مرحله ای (۴ تا ۵ مرحله ای) جهت تولید کلینکر بهره برداری می گردد. سیکلونهای به کار رفته در این پری هیترها ممکن است از نوع با افت فشار کم نباشند. به هر حال ممکن است در کوره های قدیمی عملیات پیش گرم شدن مواد به صورت کامل صورت بپذیرد و شاید در یک یا در مرحله صورت پذیرد. ارتقای پری هیتر باعث بالا رفتن ظرفیت کوره و کاهش مصرف انرژی حرارتی خواهد شد. گرچه میزان بهبود بسیار وابسته به شرایط سایت دارد، ولی یک عملیات بهسازی منجر به کاهش ۰/۴ میلیون میلیون بی تی یو سیمان گشته در حالیکه ظرفیت کوره نیز ۵۰٪ افزایش پیدا نموده. میزان سرمایه گذاری برابر با ۴۹۵ الی ۵۱۰ هزار ریال به ازای ظرفیت سیمان سالانه تولیدی بوده است. در یک مطالعه دیگر هزینه برآورد شده جهت نصب یک پری هیتر برابر با ۳۴۵ هزار ریال به ازای تن سیمان تولیدی سالانه بوده است. اضافه نمودن یک طبقه به پری هیتر منجر به بازیافت حرارت از گازهای خروجی خواهد شد. این بازیافت معادل ۱۰۸/۲۰۰ بی تی یو به ازای تن سیمان و ۳ درصد افزایش تولید برآورد می گردد. با به کارگیری یک طبقه سیکلون بیشتر، به میزان ۱ کیلووات ساعت الکتریسیته به ازای تن سیمان افزوده خواهد شد. میزان هزینه سرمایه گذاری برابر با ۱۹۲ هزار ریال به ازای تن سیمان برآورد می شود. به منظور نمایش میزان کارایی پری هیترهای چند مرحله ای یک تحقیق میزان انرژی حرارتی مورد نیاز برای پری هیترهای چند مرحله ای را مطابق با اعداد زیر عنوان می کند :

- ۳ طبقه سیکلون : ۲/۸ الی ۲/۳ مگاژول به ازای تن سیمان

- ۴ طبقه سیکلون : ۲/۷ الی ۳/۰۰ مگاژول به ازای تن سیمان
- ۵ طبقه سیکلون : ۲/۶ الی ۲/۹ مگاژول به ازای تن سیمان
- ۶ طبقه سیکلون : ۲/۵ الی ۲/۸ مگاژول به ازای تن سیمان

برآورد می‌شود با اجرای این راهکار حدود ۱۹۰ میلیون کیلووات ساعت پتانسیل صرفه‌جویی انرژی الکتریکی در کارخانه‌های کشور وجود دارد.

راهکارهای مربوط به بهبود عملیات و اصلاح بهره برداری

- بهبود سیستم احتراق کوره

مانند تمامی سیستم‌های احتراق، ممکن است عدم کارایی مناسب در همین عملیات به وجود می‌آید. عدم احتراق کامل، مخلوط ضعیف سوخت و مواد تنظیم ضعیف شعله می‌تواند منجر به افزایش ظرفیت سوخت (و نیز افزایش انتشار NOX و CO) گردد.

صرفه‌جویی ۲ تا ۱۰ درصد در مصرف سوخت به وسیله بهبود فرایند احتراق می‌باشد. استفاده از یک سیستم بهبود دهند به نام Gyro-Therm که در چند کارخانه تولید باعث کاهش ۲/۷ تا ۱۰ درصد کاهش مصرف سوخت و بیش از ۱۰ درصد افزایش در تولید کوره گشته است. هزینه سرمایه‌گذاری متوسط برای این سیستم حدود ۱۲ هزار ریال به ازای تن سیمان تولیدی سالیانه است. استفاده از این روش در حدود ۸۷ خط تولید کشور قابلیت اجرا دارد.

- بهبود راندمان درایو کوره

با بزرگتر شدن کوره‌ها به منظور تولید بیشتر، میزان انرژی مورد نیاز جهت گرداندن کوره‌ها نیز افزایش یافت. هنگامی که از جریان مستقیم (DC) برای نیروی محرکه کوره‌ها استفاده می‌شد، راندمان کوره‌ها با استفاده از یک درایو با پینیون منفرد با یک کلاچ هوایی و یک موتور سنکرون افزایش یافت. این ترکیب باعث ۲ تا ۳ درصد کاهش میزان الکتریسیته می‌گردد که حدود ۲ کیلووات ساعت به ازای تن سیمان بود. به هر حال استفاده از سیستم با بازده بالاتر هزینه‌های سرمایه‌گذاری را ۶٪ افزایش داد. استفاده از موتورهای با جریان متغیر (AC) منجر به بازده کمی بالاتر شد. این موتورها با داشتن هزینه سرمایه‌گذاری کمتر در مصرف الکتریسیته نیز ۰/۵ تا ۱ درصد صرفه‌جویی داشتند امروزه استفاده از موتورهای با راندمان بالاتر به عنوان یک استراتژی کلی در بخش صنعت مطرح شده است. استفاده از موتورهای نو به جای موتورهای سیم‌پیچی شده مجدد باعث ۲ تا ۸ درصد کاهش در هزینه انرژی الکتریکی می‌گردند. استفاده از این روش در حدود ۸۷ خط تولید کشور قابلیت اجرا دارد.

- بازیافت حرارت جهت تولید برق

در فرایند تولید سیمان چند مسیر گاز وجود دارد که حاوی مقداری انرژی حرارتی می‌باشند، از جمله گازهای خروجی از گریت کولر و گازهای خروجی از پری هیتر. در مواردی ممکن است بازیافت این حرارت جهت تولید انرژی الکتریکی مقرون به صرفه باشد. تولید الکتریسیته می‌تواند بر مبنای چرخه تولید بخار و یا چرخه معمولی رانکین (تبدیل حرارت به کار) باشد. در هر مورد (آب جهت تولید بخار یا ترکیبات معمولی برای چرخه رانکین) به وسیله حرارت موجود در گاز در بویلرهای بازیافت حرارت تبدیل به بخار گشته و یک توربین را به چرخش در می‌آورند. بسته به سیستم بازیافت حرارت و نیز تکنولوژی تولید کوره، ۷ الی ۱۵ کیلووات ساعت به ازای تن سیمان تولید می‌تواند از گازهای خروجی از خنک کن و نیز ۱۰ الی ۱۵ کیلووات ساعت به ازای سیمان تولیدی برای گازهای خروجی از کوره می‌تواند تولید گردد. مجموع انرژی الکتریکی تولیدی بین ۲۰ الی ۳۰ کیلووات ساعت بر تن سیمان تولیدی می‌باشد. توربین‌های بخار تولید برق که ابتدا در ژاپن به همین منظور ساخته شدند، به طور وسیعی در چین و اروپا به کار گرفته شدند. هزینه نصب بین ۱۵۰ تا ۳۰۰ هزار ریال به ازای تن سیمان تولیدی

می باشد. برآورد میشود با اجرای این راهکار حدود ۱۱۰۰ میلیون کیلووات ساعت در مصرف انرژی الکتریکی کارخانه های سیمان کشور صرفه جویی حاصل شود.

۴- نتیجه گیری:

در این مقاله پتانسیل صرفه جویی انرژی الکتریکی در صنعت سیمان کشور با دو روش برآورد شده است. در مرحله اول با مقایسه متوسط شاخص های مصرف انرژی در کارخانجات کشور با چند کشور که در زمینه بهینه سازی مصرف انرژی در صنعت سیمان پیشرو می باشند، پتانسیل کاهش مصرف انرژی در مقایسه با هر کشور ارائه شده است. طبق این محاسبات به عنوان مثال با هدف قرار دادن شاخص های مصرف انرژی در صنعت سیمان کشور زاین حدود ۱۰۰۰ میلیون کیلووات ساعت صرفه جویی انرژی الکتریکی در صنعت سیمان کشور حاصل خواهد شد. در مرحله بعد پتانسیل کاهش مصرف انرژی در صنعت سیمان کشور با توجه به امکان سنجی راهکارهای ارائه شده در خطوط تولید کشور که هر راهکار در آن قابلیت اجرا دارد، برآورد شده است. با توجه به بررسی ها و محاسبات انجام شده، پتانسیل صرفه جویی انرژی الکتریکی در صنعت سیمان کشور با اجرای راهکارهای مذکور (بدون در نظر گرفتن راهکار بازیافت حرارت به منظور تولید الکتریسیته) حدود ۱۷۰۰ میلیون کیلووات ساعت در سال می باشد.

مراجع

- [1] cement technology road map carbon emissions reduction up to 2050 (2007). World business council for sustainable development & international energy efficiency (IEA)
- [2] Worrell, E., J.W. Bode, J.G. de Beer, 1997. "Energy Efficient Technologies in Industry – Analysing Research and Technology Development Strategies - The 'Atlas' Project", Dept. of Science, Technology & Society, Utrecht University, Utrecht, The Netherlands.
- [3] Lang, Theodor A., 1994. "Energy Savings Potential in the Cement Industry and Special Activities of the 'Holderbank' Group," in Industrial Energy Efficiency: Policies and Programmes Conference Proceedings (May 26-27, 1994). Paris: International Energy Agency and U.S. Department of Energy.

[۴] تدوین نقشه راه شناسایی و تنظیم پروژه اجرایی بهینه سازی مصرف انرژی در صنعت سیمان کشور - سازمان بهره وری انرژی ایران

(سابق) - ۱۳۹۱