

ممیزی مصرف انرژی در صنعت تولید آجر

فهرست مطالب

عنوان

صفحه

۶	فصل اول : کلیاتی راجع به صنعت آجر
۶	۱-۱. وضعیت مصرف انرژی در کارخانجات آجر
۷	۲-۱. تاریخچه صنعت آجر
۱۰	فصل دوم : فرآیند تولید در کارخانه آجر ممیزی شده
۱۱	۱-۲. مقدمه
۱۱	۲-۲. فرایند تولید آجر در کارخانه آجر ممیزی شده
۱۲	۱-۲-۲. آماده سازی مواد
۱۳	۲-۲-۲. شکل دهی
۱۴	۳-۲-۲. خشک کردن
۱۶	۴-۲-۲. پخت
۱۷	۳-۲. کوره های پخت آجر
۱۷	۴-۲. کوره های نوبتی یا ناپیوسته
۱۹	۲-۴-۲. کوره های نیمه پیوسته
۲۱	۳-۴-۲. کوره های پیوسته
۲۲	۴-۴-۲. کوره های تونلی (Tunnel Kiln)
۲۷	فصل سوم : ممیزی انرژی کلی کارخانه آجر ممیزی شده
۲۷	۱-۳. مقدمه
۲۸	۲-۳. معرفی تجهیزات انرژی بر کارخانه آجر ممیزی شده
۳۰	فصل چهارم : ممیزی انرژی تفصیلی کارخانه آجر ممیزی شده (بخش حرارتی)
۳۰	۱-۴. مقدمه
۳۰	۲-۴. نحوه قرار گیری تجهیزات مختلف در کارخانه آجر ممیزی شده
۳۱	۳-۴. توصیف مراحل انجام ممیزی انرژی حرارتی در کارخانه آجر مورد نظر

۳۳	فصل پنجم: ممیزی انرژی تفصیلی کارخانه آجر ممیزی شده (بخش الکتریکی)
۳۳	۱-۵. مقدمه
۳۳	۲-۵. نحوه توزیع انرژی الکتریکی در کارخانه آجر ممیزی شده
۳۴	۳-۵. میزان مصارف انرژی الکتریکی واحدها
۳۷	فصل ششم: ارائه راهکارهای کاهش مصرف انرژی حرارتی در کارخانه آجر ممیزی شده
۳۷	۱-۶. مقدمه
۳۷	۲-۶. ارائه راهکارهای کاهش مصرف سوخت در خشک کن های کارخانه آجر
۳۸	۱-۲-۶. اصلاح عایقکاری
۳۸	۱-۲-۶. اصلاح مکانیسم دمش و مکش هوای گرم و رطوبت از خشک کن
۳۸	۳-۲-۶. ترسیم بهترین منحنی کاری خشک کن
۳۹	۴-۲-۶. استفاده از مشعل های شعله مستقیم به جای کانال انتقال هوای گرم
۳۹	۳-۶. بهینه کردن سیستم کوره هوفمن
۳۹	۱-۳-۶. راهکارهای ساختاری کوره
۴۱	۲-۳-۶. راهکارهای فنی کوره
۴۲	۴-۶. بررسی راهکارهای پرهزینه و بلند مدت در کارخانه آجر ممیزی شده
۴۴	فصل هفتم: ارائه راهکارهای کاهش مصرف انرژی الکتریکی در کارخانه آجر ممیزی شده
۴۴	۱-۷. مقدمه
۴۵	۲-۷. راهکارهای بدون هزینه و کم هزینه کاهش مصرف انرژی الکتریکی
۴۵	۱-۲-۷. بررسی تعرفه ها، گزینه انتخابی و دیماند برق مصرفی
۴۷	۲-۲-۷. پیک سابی در بخش آماده سازی مواد به وسیله پیش بینی انبار گل
۴۷	۳-۲-۷. اجرای برنامه های تعمیرات یا تعطیلات سالانه از ۱۵ تیر تا ۱۵ شهریور
۴۷	۴-۲-۷. استفاده از تسمه های Cogged-belt و Synchronous-belt بجای تسمه های V-belt در الکتروموتورها
۴۷	۵-۲-۷. اجرای برنامه های تعمیرات و نگهداری دوره ای و پیشگیرانه PM در مورد الکتروموتورهای الکتریکی و سایر تجهیزات و ماشین آلات خط تولید
۴۸	
۴۹	۳-۷. راهکارهای پرهزینه کاهش مصرف انرژی الکتریکی در کارخانه آجر ممیزی شده

فهرست شکل ها

عنوان

صفحه

۶	شکل ۱-۱. سهم بخشهای مختلف کشور از کل مصرف انرژی
۷	شکل ۱-۲. سهم گروه های مختلف صنعتی از کل مصرف انرژی بخش صنعت
۱۰	شکل ۱-۳. انواع مختلف و متنوعی از طرحهای آجر
۱۳	شکل ۲-۱. آسیاب والس
۱۴	شکل ۲-۲. دستگاه اکسترودر
۱۹	شکل ۲-۳. تصویری از کوره گل اندود
۲۰	شکل ۲-۴. نمایی از داخل یک کوره هوفمن که اتاقک ها (قمیرها) مشخص می باشد
۲۳	شکل ۲-۵. کوره تونلی جدید با راندمان بالا
۲۵	شکل ۲-۶. کوره VSBK
۲۹	شکل ۳-۱. چگونگی فرآیند تولید و موازنه جرم و انرژی تولید آجر ماشینی
۳۱	شکل ۴-۱. نقشه جانمایی کارخانه آجر ممیزی شده
۳۵	شکل ۵-۱. مصرف هر یک از واحدها نسبت به مصرف کل کارخانه
۳۵	شکل ۵-۲. نمودار سانکی مصرف انرژی الکتریکی کارخانه آجر ممیزی شده
۴۰	شکل ۶-۱. اتلاف حرارت حاصل از درب قمیر کوره ها
۴۲	شکل ۶-۲. مقایسه شدت مصرف انرژی کوره تونلی و هوفمن
۴۲	شکل ۶-۳. مقایسه شدت مصرف کوره تونلی و هوفمن با بازیافت و بدون بازیافت حرارت
۴۳	شکل ۶-۴. مقایسه شدت مصرف خشک کن تونلی و اتاقی با بازیافت و بدون بازیافت حرارت

فهرست جداول

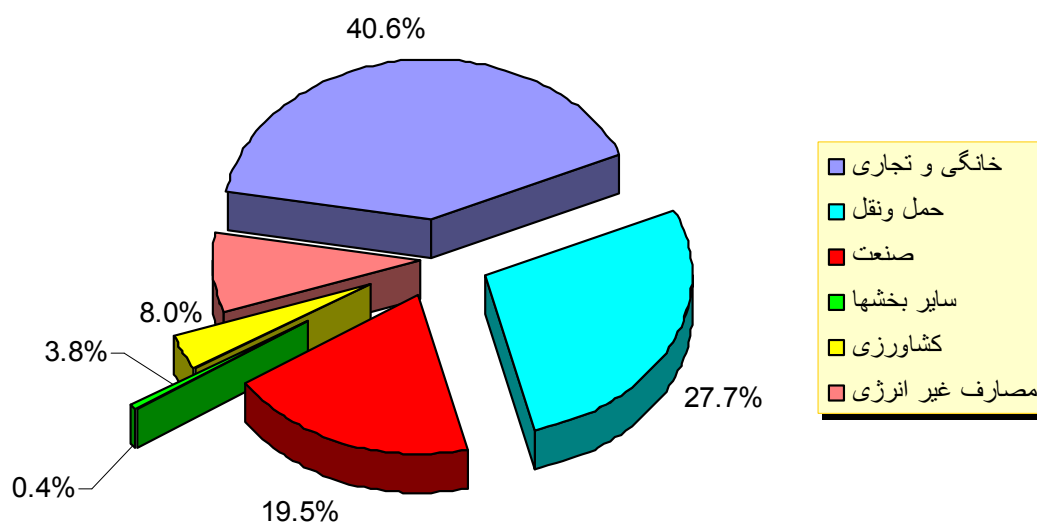
صفحه	عنوان
۱۱	جدول ۱-۲. ظرفیت اسمی روزانه کارخانه آجر ممیزی شده
۱۹	جدول ۲-۲. دما و زمان پخت محصول در کوره هوفمن
۲۳	جدول ۳-۲. مقایسه کلی پارامترهای موثر در کارایی حرارتی کوره های تونلی قدیمی و نسل جدید کوره های تونلی
۲۳	جدول ۴-۲. مصرف ویژه انرژی کوره های مختلف
۲۵	جدول ۵-۲. شدت مصرف ویژه انرژی در کوره های پخت مختلف در کشورهای متفاوت
۲۸	جدول ۱-۳. میزان پتانسیل صرفه جویی در بخش آجر
۳۱	جدول ۱-۴. تجهیزات و پارامترهای حرارتی تعیین شده در کارخانه آجر مورد نظر
۳۴	جدول ۱-۵. اطلاعات موتورهای توان بالا در کارخانه آجر ممیزی شده
۴۵	جدول ۱-۷. تقسیم بندی ساعات در فصل ها مختلف سال
۴۶	جدول ۲-۷. هزینه تعرفه ها در سال ۱۳۸۶

فصل اول

کلیاتی راجع به صنعت آجر

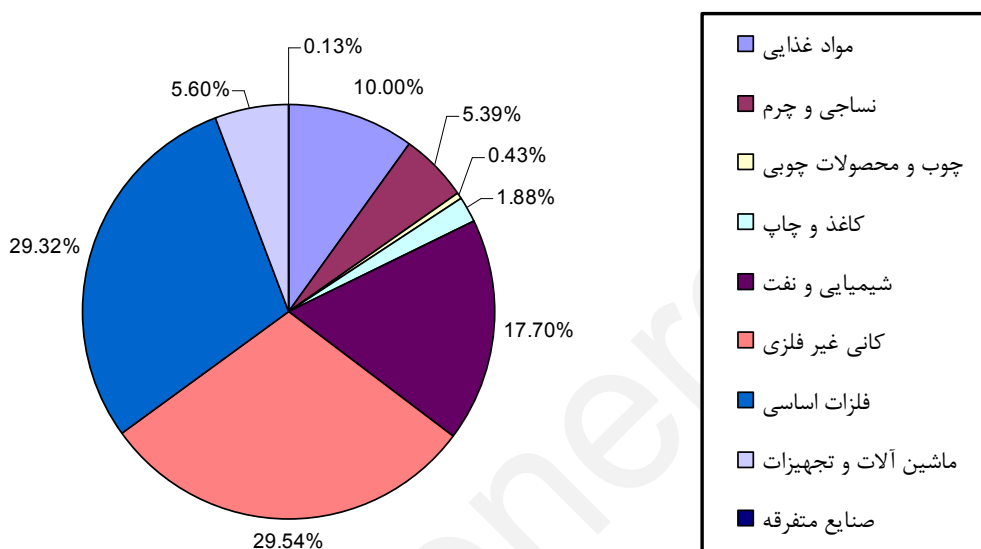
۱-۱. وضعیت مصرف انرژی در کارخانجات آجر

بر اساس مطالعات انجام شده سهم مصرف انرژی در بخشهای حمل و نقل، خانگی و تجاری، صنعت و سایر بخشها بصورت نشان داده شده در شکل ۱-۱ می باشد. همانگونه که مشاهده می گردد بخش صنعت حدود ۱۹/۵ درصد کل مصرف انرژی کشور را به خود اختصاص می دهد.



شکل ۱-۱. سهم بخشهای مختلف کشور از کل مصرف انرژی

به علاوه سهم گروههای مختلف صنعتی از کل مصرف انرژی بخش صنعت بصورت ارائه شده در شکل ۱-۲ است. با توجه به شکل مذکور بیشترین سهم مصرف انرژی متعلق به صنایع کانی غیر فلزی می باشد. در میان صنایع کانی غیر فلزی، گروه کارخانجات آجر، کاشی، سرامیک، و چینی بیشترین مقدار مصرف انرژی را نسبت به بقیه گروههای موجود دارد که این مقدار معادل ۱۴/۴۶ درصد کل مصرف صنایع انرژی بر می باشد.



شکل ۱-۲. سهم گروه های مختلف صنعتی از کل مصرف انرژی بخش صنعت

با توجه به آمار و ارقام ارائه شده فوق و نیز قدیمی بودن اکثر کارخانجات آجر کشور، اهمیت موضوع بهینه سازی مصرف انرژی از اهمیت ویژه ای برخوردار است. هم اکنون در کشور حدود ۱۷۰۰ کارخانه آجر فعال موجود می باشد که در مجموع، کل تولید سالیانه آنها ۲۳ میلیون تن می باشد. اکثر کارخانجات آجر در شهرهای اصفهان، یزد، تبریز و اطراف تهران مستقر می باشند. در این کارخانجات عمده ترین سوخت فسیلی مورد استفاده، نفت کوره و گاز طبیعی می باشد. با بررسی های انجام شده بر روی کارخانجات آجر کشور حدود ۹۵ درصد این کارخانجات دارای کوره های پخت قدیمی از نوع هوفمن و تنها ۵ درصد آنها دارای کوره های تونلی می باشند. با توجه به اینکه کوره های هوفمن نسبت به کوره های تونلی دارای مصرف انرژی بالایی می باشند، می توان نتیجه گرفت که در کارخانجات آجر پتانسیل بالایی جهت صرفه جویی مصرف انرژی وجود دارد.

۲-۱. تاریخچه صنعت آجر

آجر از قدیمی ترین مصالح ساختمانی است که قدمت آن به ده هزار سال پیش می رسد. نیاز به سکونت و ساختن

خانه در مکانهای مورد نظر انسان اولیه، او را بر آن داشت که به فکر استفاده از مصالح طبیعی مانند سنگ که در دسترس او بود بیافند. به مرور زمان و با الهام از طبیعت و پیشرفت تکنولوژی و همچنین با شناخت انرژی گرمایی نور خورشید اقدام به تهیه ماده ای با ابعاد هندسی منظم به نام آجر نمود. در حقیقت آجر از جمله اولین مصالح مصنوعی ساخت دست بشر به شمار می رود که قابلیت های متنوعی دارد. به عنوان مثال مواد اولیه آن به فراوانی در دسترس است یا با اضافه کردن آب به خاک با هر فرم و شکل دلخواه می توان محصولی سخت، همگن، دارای وزن، اندازه و مشخصات تقریباً یکسان و متناسب با کاربرد تولید نمود.

در ایران بقایای کوره های سفال پزی و آجر پزی در شوش و سیلک کاشان که تاریخ آنها به هزاره چهارم پیش از میلاد مسیح می رسد، پیدا شده است. همچنین نشانه هایی از تولید و مصرف آجر در هندوستان به دست آمده که حاکی از سابقه شش هزار ساله آجر در آن کشور است.

آجر کلمه ای بابلی است و نام خشت هایی بوده که بر روی آنها منشورها، قوانین و نظایر آن را می نوشتند. گمان می رود نخستین بار از پخته شده خاک دیواره ها و کف اجاق ها به پختن آجر پی برده اند.

فن استفاده از آجر از آسیای غربی به سوی غرب مصر و سپس به روم و به سمت شرق هندوستان و چین رفته است. در سده چهارم اروپایی ها شروع به استفاده از آجر کردند ولی پس از مدتی آجر از رونق افتاده و رواج مجدد استفاده از آن از سده ۱۲ میلادی بوده که ابتدا از ایتالیا شروع شد.

نمونه های عظیم و در عین حال زیبا، ارزنده و پیچیده کاربرد آجر در معماری باستان، نشاندهنده پیشرفت درخشان ایرانیان در تولید و کاربرد آجر می باشد.

طاق کسری در غرب ایران قدیم، آرامگاه شاه اسماعیل سامانی در گنبد کاووس و مسجد اصفهان و همچنین پلها و سدهای قدیمی مانند پل دختر سد کبار در قم از جمله بناهای قدیمی می باشند که در بنای آنها از آجر استفاده شده است.

در ایران هر جا سنگ کم بوده و به علاوه خاک هم در دسترس بوده است، آجر پزی و مصرف آجر معمول شده است. آجر عیلامی در زمان ساسانیان تولید و در ساخت آتشکده ها به کار برده شده است. بعنوان نمونه این نوع آجر در چغازنبیل استفاده می شده است و ابعاد آن $۱۰*۳۸*۳۸$ سانتی متر بوده است.

در فرش کردن کف ساختمان از آجر بزرگتری به نام ختائی به ابعاد $۵*۲۵*۲۵$ سانتی متر و یا بزرگتر از آن به نام نظامی $۴۰*۴*۵$ سانتی متر استفاده می شده است. از انواع دیگر آجر در گذشته آجر قزاقی می باشد که قبل از جنگ جهانی اول روسها آن را تولید می کردند که ابعاد آن $۶*۱۱*۲۲$ سانتی متر بوده که تقریباً نصف آجر ختائی است.

خاک آجر مخلوطی از خاک رس، ماسه، فلدسپات، سنگ آهک، سولفات ها، سولفورها، فسفات ها، کانی های آهن، منگنز، منیزیم، سدیم، پتاسیم و مواد آلی می باشد.

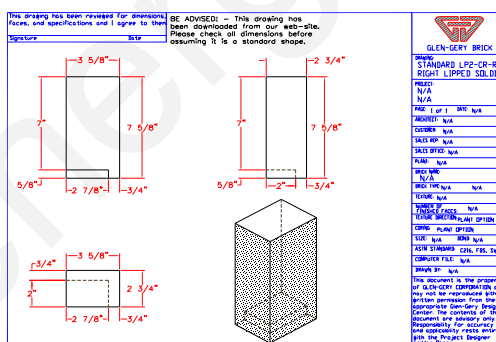
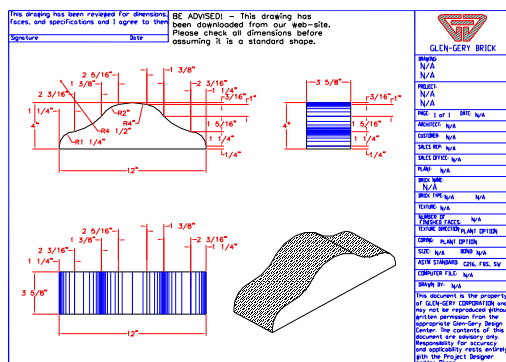
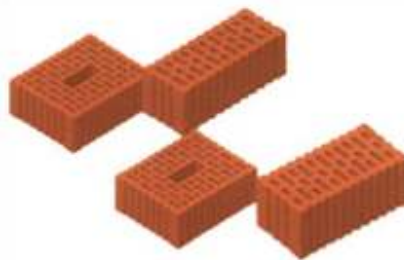
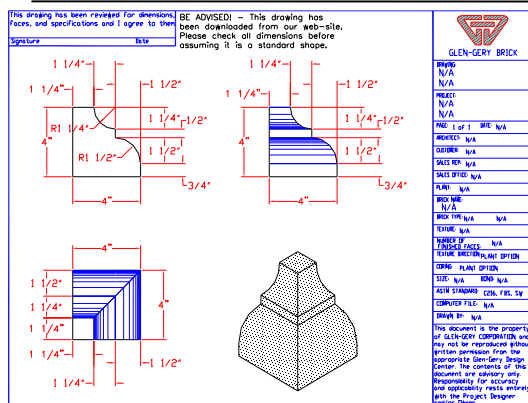
آجر مناسب باید در برخورد با آجر دیگر صدای زنگ بدهد صدای زنگ نشانه سلامت، توپری، مقاومت و کمی میزان

جذب آب آن است. همچنین باید در مقابل آتش سوزی از خود مقاومت نشان دهد و به حالت خمیری و ذوب در نیاید رنگ آجر خوب باید یکنواخت و سطح آن بدون حفره باشد.

آجرها را به دو نوع دستی و ماشینی تقسیم بندی می کنند. آجرهای دستی خود به دو نوع فشاری و قزاقی سفید و آجر ماشینی نیز به انواع توپر و سوراخ دار گروه بندی شده اند.

میزان جذب آب مطابق استاندارد ایران در آجرهای دستی حداکثر ۲۰٪ و در آجرهای ماشینی ۱۶٪ و حداقل برای هر دو نوع آجر ۸٪ تعیین شده است.

هم اکنون در کشورهای صنعتی اروپا آجرهایی تولید می شوند که هنوز تولید آن در ایران مرسوم نشده است. از آن جمله می توان به بلوک های توخالی آتش بند برای نصب دور ستون ها اشاره کرد. در شکل های زیر میزان توجه به ساخت آجر، طراحی و جنس آن نشان داده شده است.



شکل ۱-۳. انواع مختلف و متنوعی از طرحهای آجر

فصل دوم

فرآیند تولید در کارخانه آجر ممیزی شده

۱-۲. مقدمه

کارخانه ممیزی شده در گزارش حاضر در سال ۱۳۵۷ با یک کوره سنتی و یک کوره هوفمن تأسیس گردید و سپس در سالهای ۱۳۶۲، ۱۳۷۵ و ۱۳۸۶ تعداد سه کوره دیگر از نوع هوفمن به خط تولید آن اضافه گردید. همچنین کارخانه دارای دو خط تولید قدیم و جدید می باشد که خط قدیم در سال ۱۳۷۸ و خط جدید در سال ۱۳۸۶ شروع بکار نموده است.

در حال حاضر کارخانه آجر مورد نظر دارای محصولات مختلفی از جمله بلوک سقفی ۶۰*۲۰، آجر نما و آجر تیغه ۱۰*۲۰، ۱۵*۲۰ و ۷*۲۰ می باشد و می تواند بسته به سفارش، تنوع محصول بیشتری داشته باشد. ظرفیت اسمی روزانه این کارخانه با توجه به تنوع محصولات در جدول ۱-۲ آمده است.

جدول ۱-۲. ظرفیت اسمی روزانه کارخانه آجر ممیزی شده

آجر	بلوک سقفی	تیغه ۷	تیغه ۱۵	تیغه ۱۰	
۱۰۰,۰۰۰	—	۷۰,۰۰۰	۳۸,۰۰۰	۴۵,۰۰۰	خط قدیم
—	۶۰,۰۰۰	—	۸۰,۰۰۰	۱۰۰,۰۰۰	خط جدید

۲-۲. فرایند تولید آجر در کارخانه آجر ممیزی شده

بطور کلی فرایند تولید آجر در کارخانجات آجر ماشینی از جمله کارخانه آجر شامل مراحل زیر می باشد:

۱. آماده سازی مواد

۲. شکل دهی

۳. خشک کردن

۴. پخت

۲-۱-۲. آماده سازی مواد

یکی از مهمترین پارامترهای تأثیر گذار در تولید آجر و سفال مرغوب و عاری از عیب و نقص، مصرف مواد اولیه (خاک) مناسب می باشد. خاک مورد نیاز کارخانه آجر از برداشت خاک موجود در کارخانه بوسیله لودر صورت می گیرد. همچنین در صورت نیاز بیشتر به خاک، بعضاً نیز خریداری هم می شود.

به منظور سهولت نفوذ آب به قسمتهای مختلف خاک ورودی، کلوخهای خاک توسط آسیاب به اندازه کافی خرد شده و سپس سرند می گردد. خاک حاصل توسط نوار نقاله وارد مخلوط کن شده و مقداری آب به آن اضافه می شود. در ادامه محصول خروجی که حالت خمیری شکل دارد، وارد دستگاه والس می شود. در این دستگاه گلوله های خمیری حاصل له شده و ماده خمیری نسبتاً همگنی تولید می شود. سپس گل همگن شده به سیلوی میانی و دستگاه خلاء و شکل دهی^۱ فرستاده می شود. قابل ذکر است کلیه عملیات حرکت خاک و حمل آن توسط نوار نقاله ها، سرندها، خردکردن و همگن کردن آن بوسیله الکتروموتورهای بکارگیری شده در این واحد صورت می گیرد. در شکل ۲-۱ نمایی از آسیاب والس آمده است.

۱-Vacuum & Extruder



شکل ۲-۱. آسیاب والس

۲-۲-۲. شکل دهی

در دستگاه خلاء ساز و شکل دهی، دو عمل اساسی انجام می گیرد که به ترتیب عبارتند از:

- خارج سازی هوای محبوس شده بین ذرات گل
- شکل دهی مطابق قالب مورد نظر

در کارخانه آجر ممیزی شده به منظور تولید خلاء یک دستگاه پمپ خلاء وجود دارد که از طریق یک خط لوله، مقدار خلاء مورد نیاز (۰/۷۵-۰/۷۰ بار) را تأمین می کند. در دنیا روشهای مختلفی جهت شکل دادن وجود دارد. از جمله می توان به روشهای پرس، پرس نیمه خشک^۱ و اکستروژن^۲ اشاره نمود. امروزه روش اکستروژن متداول ترین روش شکل دهی در کارخانجات تولید آجر بشمار می رود. در شکل ۲-۲ یک دستگاه اکسترودر نمایش داده شده است.

در کارخانه مذکور نیز از روش پرس جهت شکل دهی استفاده می شود. بدین ترتیب که هوای محبوس شده درون گل تحت تأثیر مکش انتهایی دستگاه خارج شده و در مرحله بعد گل فشرده شده وارد مخلوط کن دیگری شده و پس از ترکیب با آب، وارد دستگاه پرس شده و از داخل قالب که گل را به شکل آجر یا سفال در می آورد، عبور می کند.

پس از خروج گل از قالب که بصورت آجر خام با ضخامت طولانی و پیوسته است، یک سیم نازک و محکم آنرا به طولهای معین برش می دهد. با حرکت گل فرم داده شده، دستگاه سیم برش دیگری آنرا به اندازه های مساوی به صورت آجر نما یا بلوک خام برش می دهد. بلوک و آجرهای خام توسط غلطکهایی به ماشین انتقال^۳ هدایت شده و پس از تکمیل و پر شدن ماشین انتقال، به سمت خشک کن هدایت می شوند. ماشین انتقال بر روی ریلهای مشخص حرکت کرده و

۱-Semi-dry pressing

۲-Extrusion

3-Transfer Car

خشتهای خام به درون خشک کن وارد می شوند.



شکل ۲-۲. دستگاه اکسترودر

۳-۲-۲. خشک کردن

در مورد خشک کردن باید گفت که آجر خام که از اکسترودر خارج می شود حتی قادر به تحمل وزن یک آجر دیگر نیست. پس از تبخیر رطوبت اضافی و رسیدن به میزان رطوبت بحرانی (پایان انقباض آجر)، آجر تا حد کافی برای جابجایی و روی هم چیدن مقاوم خواهد شد. علاوه بر این بر اثر تبخیر رطوبت، آجر با انقباض و کاهش ابعاد مواجه می گردد. بنابراین ورود مستقیم و ناگهانی آجر به کوره و تبخیر آب و کاهش ناگهانی حجم باعث ایجاد تنش های حرارتی و سپس متلاشی شدن آجرها می شود. بنابراین برای کاهش احتمال وقوع این پدیده، آجرها قبل از ورود به کوره بایستی خشک گردند. انرژی مصرفی کوره با کاهش هر چه بیشتر رطوبت آجر خام کاهش می یابد. بنابراین خشک بودن آجر خام باعث کاهش مصرف انرژی نیز خواهد شد.

فرآیند خشک شدن باید با کمترین مقدار تغییر شکل و حداقل ترک خوردگی و ضایعات همراه باشد. سرعت تبخیر رطوبت از سطح نبایستی از سرعت تبخیر آب از منافذ درون آجر خام بیشتر باشد. در غیر اینصورت، تفاوت میزان انقباض در سطح و درون آجر، ناشی از تبخیر سریع از سطح آجر باعث ترک خوردگی آن می گردد. بنابراین دلیلی برای برقراری جریان هوای بیشتر روی سطح وجود ندارد. دما و رطوبت داخل خشک کن ها بوسیله سیستم دمپر و مکش (دودکش) در قسمت های مختلف کنترل می شود، بطوریکه نرخ خشک کردن ثابت بوده و باعث ترک خوردگی نمی شود. منبع حرارتی خشک کن ها از بخار بویلرها، مشعلها و یا حرارت بازیافتی از ناحیه خنک کاری کوره های تونلی تامین می شود. در

کارخانجات بزرگ، خشک کردن به روش مصنوعی انجام می پذیرد که به سه نوع عمده زیر تقسیم می شود:

۱. خشک کن چند طبقه

۲. خشک کن اتاقی

۳. خشک کن تونلی

در خشک کن های چند طبقه حرارت مشعلها یا هوای داغ بدست آمده از بویلرها، میزان رطوبت هوا و آجرها را می کاهد و با افزایش دما فرآیند خشک کردن را امکان پذیر می سازد. مصرف انرژی در این نوع خشک کن ها زیاد است. خشک کن های اتاقی دارای ظرفیت مناسب برای هر نوبت تولید می باشند. مصرف انرژی آنها اغلب بصورت استفاده از حرارت مشعلها بوده که با فن هوای گرم به درون خشک کن هدایت می شود. این خشک کن ها پس از هر نوبت خشک کردن کاملاً تخلیه می شوند. همواره مقداری از انرژی در این خشک کن ها بعلت تخلیه و شارژ مجدد تلف می شود. خشک کن های تونلی بطور پیوسته عمل می کنند، بطوریکه در زمانهای معین با ورود هر واگن آجرهای خام، یک واگن از سمت دیگر که حامل آجرهای خشک شده است، خارج می شود. مدت زمانی که طول می کشد تا یک واگن آجر نما وارد خشک کن شده و آنرا ترک کند ۲۴-۲۰ ساعت است. این زمان برای آجر تیغه و بلوک، ۱۸ ساعت می باشد. اگر دما نصف شود (60°C) زمان خشک کردن دو برابر می شود. توزیع هوای گرم به اینصورت می باشد که بیشترین دما در قسمت خروجی ($110-70^{\circ}\text{C}$) و کمترین دما در قسمت ورودی است. آرایش دمنده های هوای گرم نیز بر این اساس می باشد. معمولاً بیشتر یا تمام انرژی حرارتی مورد نیاز این خشک کن ها از حرارت اتلافی بازیافت شده کوره های تونلی (بازیابی حرارت از ناحیه خنک کاری کوره های تونلی) تأمین می شود. در موارد خاص (بعنوان مثال فصول سرد و موارد دیگر) یک یا چند مشعل کمکی تعبیه شده، که در صورت لزوم برای جبران انرژی حرارتی مورد نیاز خشک کن تونلی روشن و فعال می شوند. مقدار انرژی لازم برای خشک شدن هزار قالب آجر بین ۳ تا ۸ MJ محاسبه شده است. که بترتیب خشک کن تونلی، اتاقی و خشک کن چند طبقه، کمترین و بیشترین مصرف انرژی را دارا می باشند.

یکی دیگر از روشهای خشک کردن، خشک کردن طبیعی است. مهمترین امتیاز این روش نسبت به خشک کردن مصنوعی در میزان سوخت مصرفی می باشد. ایرادی که به این روش وارد است، نیاز به نیروی انسانی بیشتر برای حمل آجرها و وجود تلفات و ضایعات می باشد. در خشک کردن آجر به طور طبیعی بسته به اینکه آجرها کاملاً روباز بوده یا دارای پوشش موقتی باشند و یا اینکه در زیر یک سقف ثابت و دائمی خشک شوند، دو روش وجود دارد که عبارتند از: خشک کردن روی زمین و چیدن آجرها بر روی هم و خشک کردن آجر در زیر طاق (یکی از روشهای خشک کردن محصولات سرامیکی که اخیراً کاربرد وسیعتری پیدا کرده است، استفاده از خشک کن های بدون هوا می باشد).

ابعاد گرمخانه قدیمی کارخانه آجر ممیزی شده $6\text{ m} * 6\text{ m} * 9.5$ و گرمخانه جدید $7\text{ m} * 7\text{ m} * 10$ می باشد.

شایان ذکر است مکانیزم خشک کن های کارخانه از نوع تونلی می باشد. در این نوع خشک کن ها در زمانهای معین با ورود هر واگن خشت خام، یک واگن از سمت دیگر که حامل آجرهای خشک شده است، خارج می شود. هوای گرم مورد

نیاز در گرمخانه قدیم از طریق یک مشعل با سوخت مازوت که هوای محیط را گرم کرده و یک فن سانتریفوژ و توسط کانالهای تعبیه شده در کلیه مناطق گرمخانه تأمین می گردد. این عمل در گرمخانه جدید از طریق سه مشعل و دو فن انجام می گیرد. توزیع هوای گرم گرمخانه ها بدین صورت است که بیشترین دما در قسمت خروجی و کمترین دما در قسمت ورودی است. در گرمخانه های مذکور دریچه های مکش رطوبت در سقف و دریچه های دمش هوای گرم در کف تعبیه شده اند.

ظرفیت خشک کن های کارخانه آجر ممیزی شده همانند جدول ۲-۱ می باشد و کنترل دما و رطوبت در کلیه فصول سال با توجه به عدم وجود سیستمهای کنترل و مونیتورینگ، به صورت تجربی صورت می گیرد.

۲-۲-۴. پخت

منظور از پختن آجر، گرما دادن به خشت می باشد تا حدی که آب تبلور خاک رس از بین برود و دانه های خاک به یکدیگر چسبیده، به یک جسم سخت و همگن که دارای تاب زیاد است و در شرایط جوی و مکانیکی پایداری نماید، تبدیل شود. پس از خشک شدن خشت ها، آنها را به طوریکه به یکدیگر نچسبد و حرارت و هوای داغ، شعله و دود از لابه لای آنها عبور نماید می چینند و سپس در شرایط گرمای مورد نظر قرار می دهند.

تأثیر حرارت های گوناگون درون کوره بر روی خشت ها متفاوت است. بدین ترتیب که:

در گرمای تا یکصد درجه خشت خشک شده و آب فیزیکی آن خارج می شود و حالت خمیری و چسبناکی خود را از دست می دهد. در گرمای بالاتر از ۵۰۰ درجه سانتیگراد کم کم خاک رس می پزد.

در گرمای بالاتر از ۹۰۰ درجه، خشت می پزد و دانه های خاک به هم چسبیده ای که آب خود را از دست داده اند جسمی یکپارچه می سازند. گرمای تا ۱۴۰۰ درجه سفال ها و سرامیک ها را می پزد.

بر اثر پخت، ساختمان فیزیکی آجر خام تغییر می کند و این امر باعث افزایش استحکام خواص مکانیکی و افزایش پایداری آن در برابر آب می گردد. چنانچه فرآیند پخت به طور صحیح انجام گرفته باشد، وقوع پدیده های زیر به حداقل می رسد:

- ترک خوردن آجر بعلت خشک شدن ناقص قبل از ورود به کوره پخت
 - استحکام کم آجر بعلت پخت ناقص
 - شکافتن در مجاورت آب بواسطه عدم کنترل صحیح دمای کوره
 - ترک های ریز در سطح آجر ناشی از تغییرات سریع و ناگهانی دما (هنگام گرم یا خنک شدن)
 - جوش خوردن و ذوب شدن آجرها در اثر زیاد بودن دمای کوره
 - اختلاف دما در نقاط مختلف کوره که باعث عدم پخت یکنواخت آجرها می شود
- در فرآیند پخت، بایستی که مراحل مختلف آن از یک منحنی پخت که کاملاً یکنواخت و پیوسته و منظم

می باشد پیروی کند. بدین صورت که مراحل پیش گرم، پخت و خنک شدن، در زمان، سرعت، دمای مناسب و بهینه انجام گیرد.

۲-۳. کوره های پخت آجر

در صنعت آجر کوره های مختلف با ظرفیت های گوناگون وجود دارند که می توان آنها را به سه گروه کلی تقسیم بندی کرد:

۱. کوره های تک پخت یا نوبتی یا نا پیوسته (intermitten)

۲. کوره های نیمه پیوسته (Semi-Continuos)

۳. کوره های پیوسته (Continuos)

۲-۴. کوره های نوبتی یا نا پیوسته

در کوره های نوبتی پس از پر شدن کوره از آجرهای خام و مسدود شدن درب های کوره، ابتدا دما به حداکثر می رسد و در مرحله بعد، قبل از تخلیه کوره سرد می شود. بدین ترتیب طی فرآیند پخت، ساختمان کوره نیز مقداری از حرارت را جذب می کند و در مرحله خنک کاری آجرها و کوره، حرارت به محیط تلف می شود. این کوره ها از جهت کارایی مصرف انرژی چندان مطلوب نیستند و ضمناً بازیافت انرژی در این کوره ها صورت نمی پذیرد. مهم ترین انواع این کوره ها عبارتند از:

کوره کلامپ (Clamp)، گل اندود (scove)، اسکاچ (Scotch) و کوره تهویه دار.

۲-۴-۱. کوره کلامپ (Clamp)

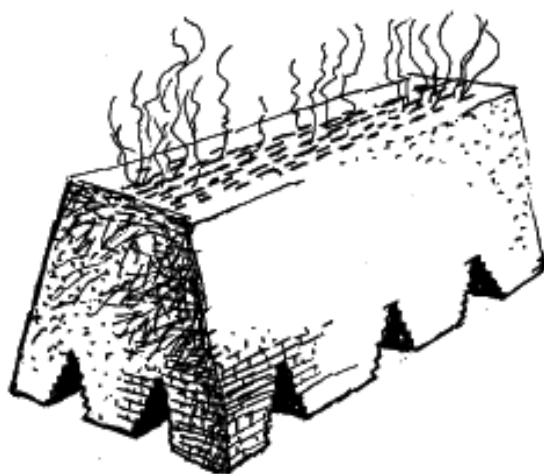
این نوع کوره را می توان ابتدایی ترین نوع کوره دانست. این کوره هیچگونه ساختمان دائمی را به همراه ندارد. اساس کوره کلامپ، توده ای از آجر محصور شده با مواد محترقه می باشد. معمولاً خاک مصرفی در قالب گیری آجرها نیز دارای سوخت است. سوخت معمولاً به شکل کک، خاک زغال یا تکه های زغال سنگ است که بین ردیف های شطرنجی آجرها ریخته می شود. در این کوره ها کنترل سرعت احتراق آسان نیست و بستگی به عوامل متعددی همچون شدت و جهت وزش باد دارد. بعلاوه عدم توزیع یکنواخت شعله و حرارت، آجرهای نامرغوب، نیم پز و متوسط خارج می شوند، که آجرهای برگشتی بایستی برای تکمیل پخت دوباره در کوره بعدی قرار گیرند که این خود موجب افزایش شدت انرژی مصرفی در این نوع از کوره ها می شود. همچنین درصد بالای ضایعات پخت در این نوع از کوره ها از عوامل بسیار مهم در افزایش میزان انرژی مصرفی می باشد. مصرف انرژی در این نوع از کوره ها تا 8 MJ/kg می رسد که این رقم بسیار بالایی می باشد.

۲-۴-۱. کوره گل اندود (Scove)

این کوره ها در واقع نوع متحول شده کلامپ هستند و تونلهایی در زیر کوره وجود دارد که تغذیه مکرر سوخت را امکان پذیر می سازد. معمولاً سطح خارجی کوره با قشری از گل، اندود می شود. آجرهای خام از سطوح فوقانی تونل به صورت عمود بر هم تا ارتفاع حداقل سه متری زمین چیده می شوند. پس از اتمام کار ساختمان کوره دور آن دیواری از آجر پخته به عنوان عایق حرارتی چیده می شود. کارآیی انرژی در کوره های گل اندود همچون کوره کلامپ کم است. با افزایش ارتفاع این کوره ها، بازده حرارتی آنها افزایش پیدا می کند. این کوره ها در مقایسه با کوره های بزرگتر بازده حرارتی کمتری دارند. همچنین به علت عدم توزیع یکنواخت حرارت، آجرهای نا مرغوب از این کوره خارج می شوند، که این درصد بالای ضایعات موجب افزایش شدت انرژی مصرفی در این نوع از کوره ها می شود. مصرف انرژی در این نوع کوره ها رقمی در حدود 17 MJ/kg می باشد. تصویری از این نوع کوره در شکل ۲-۳ آمده است.

۲-۴-۳. کوره اسکاچ (Scotch)

این کوره دائمی بوده و اتاقی بدون سقف است، آجرهای خام در داخل کوره چیده می شوند و بدین ترتیب از تکرار عملیات ساختمانی کوره پیشگیری می شود. در این کوره تونلهایی برای تغذیه سوخت در کف وجود دارد. با این وجود نصب مشعلهای نفت سوز یا دریچه های تغذیه ذغال سنگ نیز امکانپذیر است. نقص عمده کوره اسکاچ همانند کوره کلامپ و گل اندود، وجود تعداد قابل توجهی آجرهای نپخته و سوخته بعلت غیر یکنواختی حرارت کوره است که این مساله موجب افزایش شدت انرژی مصرفی در این نوع از کوره ها می شود. گازهای حاصل از احتراق مانند دو کوره قبل از میان آجرها به سمت بالا متصاعد می شود که این خود به معنی هدر رفتن انرژی از سیستم و افزایش شدت مصرف انرژی می باشد. بازده حرارتی این کوره ها بسیار پایین بوده و شدت انرژی مصرفی در آنها گاهی اوقات به 17 MJ/kg نیز می رسد.



شکل ۲-۳. تصویری از کوره گل اندود

۲-۴-۲. کوره های نیمه پیوسته

در این کوره ها مشعل روشن و متحرک وجود داشته و بطور مداوم آجرهای پخته شده در آن تخلیه، و آجرهای خام جایگزین آنها می گردند. در نتیجه میزان بازده این کوره ها تقریباً ثابت است. کوره هوفمن (Huffman)، کوره بول (Bull) از انواع مهم این کوره ها می باشد. در کوره هوفمن دما و زمان پخت بر اساس نوع محصول در جدول ۲-۲ نشان داده شده است.

جدول ۲-۲. دما و زمان پخت محصول در کوره هوفمن

دما و زمان پخت محصولات		
نوع محصول	زمان پخت (ساعت)	حداکثر دمای پخت (درجه سانتیگراد)
آجر نما	۲۴	۸۰۰
آجر تیغه	۲۰	۸۰۰
آجر بلوک	۱۸	۸۰۰

۲-۴-۲-۲. کوره هوفمن (Hoffman) - نوع مدور (قدیمی)

نوعی کوره چند اتاقکی (قمیری) می باشد (شکل ۲-۴) که در آن خنک شدن آجرها در تعدادی از اتاقکها (انتقال

حرارت از آجرهای در حال خنک شدن) باعث گرم شدن هوای احتراقی می گردد که بعداً برای پخت مصرف می شود و هوای داغ حاصل از احتراق، آجرهای خام را گرم می کند. در این نوع از کوره ها آجرها توسط نیروی انسانی (بصورت دستی و یا توسط لیفتراک) در کوره چیده و تخلیه می شوند. مهم ترین امتیاز این کوره مصرف سوخت کمتر نسبت به کوره های ذکر شده قبلی است. کوره های هوفمن قدیمی بصورت مدور و به دور یک دودکش مرکزی ساخته می شدند. تغذیه سوخت از طریق سوراخهای قابل انسداد موجود در سقف کوره انجام می گیرد. مشکل اساسی این نوع از کوره ها نسبت به کوره های جدیدتر این است که علاوه بر آجرهای خشکی که قرار است پخته شوند، آجرهای اطراف کوره نیز انرژی حرارتی جذب می کنند و به هنگام سرد کردن کوره آنها نیز سرد می شوند و این اینرسی حرارتی ایجاد شده موجب افزایش مصرف سوخت در این نوع کوره ها نسبت به کوره های با تکنولوژی جدیدتر می گردد. همچنین به علت عدم وجود کنترل دقیق دما در نقاط مختلف کوره و فقدان سنسورهای حرارتی، منحنی حرارتی پخت، بصورت دقیق اجرا نشده که این امر موجب افزایش میزان ضایعات و همچنین آجرهای نامرغوب می گردد که این امر باعث افزایش شدت مصرف انرژی می گردد. مصرف انرژی در این نوع از کوره ها به $5/5 \text{ MJ/kg}$ می رسد.



شکل ۲-۴. نمایی از داخل یک کوره هوفمن که اتاقک ها (قمیرها) مشخص می باشد

۲-۴-۳. کوره هوفمن (نوع جدید)

به دلیل مشکلاتی که کوره های مدور هوفمن در نرخهای بالای تولید ایجاد می نمودند (محدودیت های ساخت، مشکل انحنای کوره در موقع آجر چینی، هزینه بالای کوره برای تولیدات بالا و بزرگ شدن قطر کوره و ...) طرح اولیه هوفمن به

صورت کوره های بیضوی تحول یافت. در طرح جدید، کوره دارای دیوارهای مستقیم طویل و چند اتاقک قوسی در دو سر آن می باشد.

در اتاقکهایی که آجرهای پخته شده خنک می گردند، این هوای داغ برای احتراق تدریجی دراتاقک های دیگر استفاده می گردد و از طریق دودکش اصلی کوره، گازهای حاصل از احتراق جریان یافته و آجرها را در بعضی از اتاقک ها پیشگرم می کند و در انتها گاز احتراق از کوره خارج می شود. برای استفاده بیشتر از گازهای حاصل از احتراق و افزایش کارایی انرژی می توان کانالهای ثانویه مرتبط با تمام اتاقکها ایجاد کرد. همچنین استفاده از مشعل های جدیدتر با سیستم سوخت پاشی بهتر و دارای ترموکوپل موجب افزایش کارایی انرژی و کنترل دقیق تر دما و کاهش ضایعات می گردد. مشکل ضایعات و افزایش شدت مصرف انرژی در این نوع از کوره ها نیز وجود دارد. مصرف انرژی در این نوع از کوره ها نسبت به کوره های هافمن قدیمی کمتر و در حدود $3-4 \text{ MJ/kg}$ می باشد.

۲-۴-۴. کوره زیگزاکی (Habla)

می توان با زیگزاک نمودن اتاقکهای کوره، طول مؤثر تونل کوره هوفمن را افزایش داد. در این کوره ها سیکل حرارتی سریع تر از کوره های هوفمن است. این سیستم با انتقال حرارت بیشتر به آجرهای خام در مصرف سوخت صرفه جوئی می کند. در مقایسه با کوره های مذکور، سطح اشغال شده از ظرفیت نسبی بیشتری برخوردار است. ویژگی دیگر کوره زیگزاکی بازده زیاد سوخت در آن است که این موضوع ناشی از طول زیاد مسیر، مسیر مناسب هوای گرم در کوره و همچنین سهولت تبادل حرارتی هوای گرم با آجر است. در این نوع کوره ها قابلیت بازیافت حرارت برای خشک کن وجود دارد و این یکی از مزایای بسیار مهم این نوع کوره ها می باشد، به گونه ای که بنا بر ممیزی های انجام شده مصرف سوخت آنها با بازیافت در حدود $3/5 \text{ MJ/kg}$ می باشد. مشکل ضایعات در این نوع کوره ها، به علت عدم وجود کنترل دقیق دما، کماکان وجود دارد.

۲-۴-۳. کوره های پیوسته

در این کوره ها مشعل های در قسمت پخت، ثابت و دائماً روشن می باشد و آجرهای خام چیده شده بر روی واگن نسوز وارد کوره می شود و از قسمت های پیش گرم، پخت و خنک کاری گذشته و آجر پخته بطور پیوسته از سمت دیگر کوره خارج می شود. در کوره های پیوسته، معمولاً حرارت حاصل از خنک کاری آجرهای پخته را برای گرم کردن ابتدایی (پیشگرم کردن) آجرهای خام و هوای احتراق و همچنین برای خشک کردن کامل آجر قبل از ورود به کوره مورد استفاده قرار می دهند. بنابراین، کوره های پیوسته از نظر مصرف انرژی نسبت به بقیه کوره ها بهینه تر می باشند.

کوره مدرن و کوره تونلی از انواع دیگر این کوره‌ها می‌باشند. در کوره‌های تونلی، توده‌هایی از آجر خام که روی واگن نسوز قرار دارند در مجاورت حرارت کوره تونل قرار می‌گیرند که این دما تدریجاً زیاد شده و آجرها پخته می‌شوند و در پایان کار، قبل از خروج از تونل خنک می‌گردند. در کوره‌های پیوسته، حرارت حاصل از خنک کردن آجرهای پخته را برای گرم کردن ابتدایی آجرهای خام و هوای محفظه احتراق و همچنین برای خشک کردن کامل آجر قبل از ورود به کوره مورد استفاده قرار می‌دهند.

بنابراین، کوره‌های پیوسته از نظر مصرف سوخت اقتصادی تر هستند. حداکثر دمای پخت در کوره تونلی ۹۵۰-۱۰۰۰ درجه سانتیگراد می‌باشد.

مزایای کوره‌های پیوسته عبارتند از:

بازدهی حرارتی بسیار بیشتر و عمر مفید بالاتر دیر گدازهای بدنه کوره. بطور مثال زمان پخت همه محصولات در یک کوره ۴۵۰ تنی (آجرنما - تیغه و بلوک) به طور متوسط بین ۴۵-۴۰ ساعت طول می‌کشد و تنها فرق بین محصولات، چیدمان و تعداد آجر یا بلوکی است که روی هر واگن قرار می‌گیرد (روی هر واگن ۴۰۰ عدد بلوک ۲۵ و یا ۵۰۰ عدد بلوک ۲۰ و یا ۲۰۱۶ آجر تیغه و نما چیده می‌شود) البته زمان پخت به طول کوره نیز بستگی دارد.

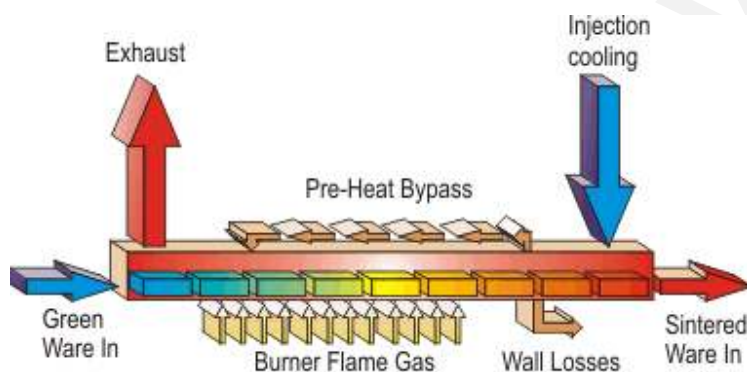
۲-۴-۴. کوره‌های تونلی (Tunnel Kiln)

کارایی و نرخ تولید این کوره‌ها نسبت به بقیه کوره‌ها بیشتر است. امتیاز اصلی این نوع از کوره‌ها تکنولوژی بالای کنترلی و سنسوری بکار رفته در ساختمان آنها می‌باشد، به گونه‌ای که کنترل دقیق دما و سایر پارامترهای مهم با استفاده از این کوره‌ها ممکن می‌شود. همچنین استفاده از سیستم‌های الکترونیکی پیشرفته و هوشمند، علاوه بر کاهش نیاز به اپراتور و کاستن هزینه‌های نیروی انسانی، کنترل دقیق و پیوسته فرآیند تولید آجر را متضمن می‌شود. یکنواختی توزیع حرارت و شعله روی آجرها، حرکت آرام و یکنواخت واگنها در تونل کوره، روند آرام و پیوستگی و کنترل دقیق منحنی پخت، همگی حاکی از حداقل آجرهای برگشتی و نامرغوب و ضایعات در این روش پخت دارد که این خود از عوامل مهم کاهش هزینه‌ها و کاهش شدت مصرف انرژی می‌باشد. همچنین بازیافت حرارت در این نوع از کوره‌ها بسیار بیشتر از سایر انواع کوره‌ها بوده و امکان بازیافت حرارت از کوره و تأمین درصد بالایی از انرژی مورد نیاز خشک‌کن، وجود دارد. شدت مصرف انرژی در انواع مدرن این نوع کوره‌ها به رقمی در حدود $1/5 \text{ MJ/kg}$ (بدون در نظر گرفتن حرارت بازیافتی برای خشک‌کن) و یا $0/9 \text{ MJ/kg}$ (با در نظر گرفتن حرارت بازیافتی برای خشک‌کن) می‌رسد و آلودگیهای زیست محیطی در مقایسه با سایر انواع کوره‌های ذکر شده بسیار کمتر می‌باشد. مقایسه‌ای میان پارامترهای موثر در کارایی حرارتی کوره‌های تونلی قدیمی و نسل جدید کوره‌های تونلی (بهینه از لحاظ مصرف انرژی و تولید)، در جدول ۲-۳ آورده شده است.

جدول ۲-۳. مقایسه کلی پارامترهای موثر در کارایی حرارتی کوره های تونلی قدیمی و نسل جدید کوره های تونلی

پارامتر	کوره جدید	کوره قدیمی
دمای سطح خارجی، °F	۱۴۸	۲۶۵
تلفات حرارتی، BTU /ft ² /hr	۱۳۶	۴۹۲
ذخیره گرمایی، BTU /ft ²	۳۲،۲۶۰	۶۷،۰۱۶

تصویر یک کوره تونلی جدید در شکل ۲-۵ آمده است.



شکل ۲-۵. کوره تونلی جدید با راندمان بالا

متداولترین کوره های پخت آجر در کشور از نوع تونلی و یا هوفمن (نوعی کوره نیمه پیوسته) می باشد. در جدول ۲-۴ مصرف ویژه انرژی در کوره های مختلف آمده است.

جدول ۲-۴. مصرف ویژه انرژی کوره های مختلف

نوع کوره	انرژی حرارتی مورد نیاز نوع کوره (مگاژول برای هر هزار آجر)
کلامپ	۷۰۰۰
گل اندود	۱۶۰۰۰
اسکاچ	۱۶۰۰۰
تهویه دار	۱۵۵۰۰
هوفمن قدیمی	۵۰۰۰

هوفمن جدید	۲۰۰۰
هابلا	۳۰۰۰
تونلی	۴۰۰۰

- کاربرد کوره های پخت عمودی (VSBK)^۱

این کوره های جدید نرخ تولید را افزایش می دهد و بطور چشمگیری نرخ انتشار آلاینده ها را با افزایش راندمان احتراق و دبی هوا کاهش می دهد.

مزایای یک کوره VSBK عبارتند از:

۱. راندمان بالای انرژی
 ۲. انتشار آلودگی کم
 ۳. کیفیت بهتر محصولات نهایی
 ۴. مساحت کم کوره
 ۵. حداقل دوره تعمیر و نگهداری
 ۶. بهره برداری و نصب آسان
- مصرف ویژه انرژی کوره نوع VSBK معادل MJ/Kg (۰/۷۵-۱) می باشد. در شکل ۲-۶ نمایی از یک کوره VSBK آمده است.

1-Vertical shaft brick kilns



شکل ۲-۶. کوره VSBK

شدت مصرف انرژی در کوره های مختلف در کشورهای متفاوت فرق می کند. در جدول ۲-۵ شدت مصرف انرژی در کوره های پخت مختلف در کشورهای متفاوت آمده است.

جدول ۲-۵. شدت مصرف ویژه انرژی در کوره های پخت مختلف در کشورهای متفاوت

کشور	تکنولوژی	شدت مصرف ویژه انرژی (کیلوگرم محصول / MJ)
چین	کوره متناوب	۲/۴۷
	خشک کن طبیعی و کوره حلقوی	۱/۱۶ - ۱/۴۶
	خشک کن مصنوعی و کوره حلقوی	۱/۳۹ - ۱/۵۶
	کوره تونلی	۱/۲۹ - ۱/۵۲
هند	کوره اسکاچ	۱/۵ - ۷
	کوره (BT)	۱/۸ - ۴/۲
	کوره هوفمن	۱/۵ - ۴/۳
	کوره تونلی	۱/۵ - ۲
سريلانكا	کوره (Down draft batch)	۵/۸۳
ویتنام	کوره عمودی	۶/۱۵ - ۹/۲۳
	کوره حلقوی	۲/۱۹ - ۳/۰۸
	کوره تونلی	۲/۴۲

در هر حال اکثر کوره های مورد استفاده در کارخانجات آجر کشور ما کوره های هوفمن می باشند. در کارخانه آجر ممیزی شده نیز چهار کوره هوفمن وجود دارد که یک کوره ۳۶ قمیری، دو کوره ۴۰ قمیری و یک کوره نیز ۴۴ قمیری می باشد.

نحوه عملکرد کوره های هوفمن بدین صورت است که همواره قالبهای آجر ثابت، و آتش در حال حرکت است. حرارت مورد نیاز پخت آجرها از طریق سوراخهای تعبیه شده در سقف کوره که به سوخت پاشها متصل می شوند تأمین می گردد. زمان پخت آجرها بصورت تجربی کنترل و تنظیم می گردد و پس از آنکه پخت آجرها به اتمام رسید اتصال سوخت پاشها از دریچه های سقفی قطع و درب قمیرها باز می شود. پس از مدتی که دمای آجرها کاهش یافت، آجر برای انتقال به کامیونهای حمل آماده می باشد. همواره در کوره های هوفمن چهار منطقه بارگیری، پیشگرم، پخت و تخلیه وجود دارد. ساختار کوره های هوفمن به شکلی است که هنگام پخت بخشی از آجرهای چیده شده داخل قمیرها، با کنترل دریچه های مخصوصی پیش گرمایش آجرهایی که در آینده بایستی پخته شوند صورت می گیرد.

فصل سوم

ممیزی انرژی کلی کارخانه آجر ممیزی شده

۳-۱. مقدمه

همانگونه که قبلاً نیز اشاره گردید، کارخانجات آجر سهم قابل توجهی از مصرف انرژی بخش صنعت را به خود اختصاص می دهند. در این فصل با بررسی مصارف انرژی کارخانه آجر ممیزی شده در گزارش حاضر و تفکیک واحدهای مختلف تولید از لحاظ سهم مصرف انرژی کل کارخانه، میزان مصرف ویژه حرارتی و الکتریکی هر واحد بطور مجزا محاسبه و با مقایسه مقادیر بدست آمده با معیارهای مصوب مصرف ویژه انرژی حرارتی و الکتریکی، میزان درصد صرفه جویی انرژی در هر بخش تعیین می گردد.

امروزه انرژی به عنوان یکی از اصلی ترین عوامل برای شکل گیری و پیشرفت جوامع صنعتی شناخته شده است، بطوریکه میزان دسترسی کشورها به منابع گوناگون انرژی نشانگر پیشرفت و قدرت سیاسی اقتصادی آنان می باشد. قیمت بالای انرژی و هزینه های بسیار زیاد بخش سرمایه ای آن از یک طرف و رشد بی پروای صنعتی شدن جوامع و نیاز روز افزون آنها به انرژی از طرف دیگر، کشورها را بر آن داشته است که برای جلوگیری از مصرف بی رویه و غیر بهینه انرژی و همچنین کاهش هزینه های تولید و افزایش رفاه عمومی، سیاستهایی را تحت عنوان بهینه سازی مصرف انرژی به مرحله اجرا در آورند.

کارخانجات تولید آجر ماشینی کشور را می توان از نقطه نظر تکنولوژی فرآیند تولید به دو دسته کلی تقسیم نمود:

- ۱- کارخانجاتی که برای پخت محصول خام از کوره های هوفمن استفاده می نمایند و عمدتاً از بهره وری انرژی کمتری برخوردار می باشند.

- ۲- کارخانجاتی که از کوره تونلی جهت پخت محصول خام استفاده می کنند و دارای سیستم بازیافت حرارت برای تأمین قسمتی از انرژی خشک کن ها می باشند و در مقایسه از بهره وری انرژی بیشتری بهره مند هستند.

با بررسی های انجام شده بر روی کارخانجات آجر ماشینی کشور، بطور متوسط مصرف ماهانه هر کارخانه از سوخت های فسیلی ۹۷۰ هزار متر مکعب معادل گاز طبیعی و ۴۵۰ مگا وات ساعت برق می باشد.

در جدول ۱-۳ مصارف ویژه انرژی فسیلی و برق و همچنین میزان پتانسیل صرفه جویی در صنعت آجر آمده است.

جدول ۱-۳. میزان پتانسیل صرفه جویی در بخش آجر

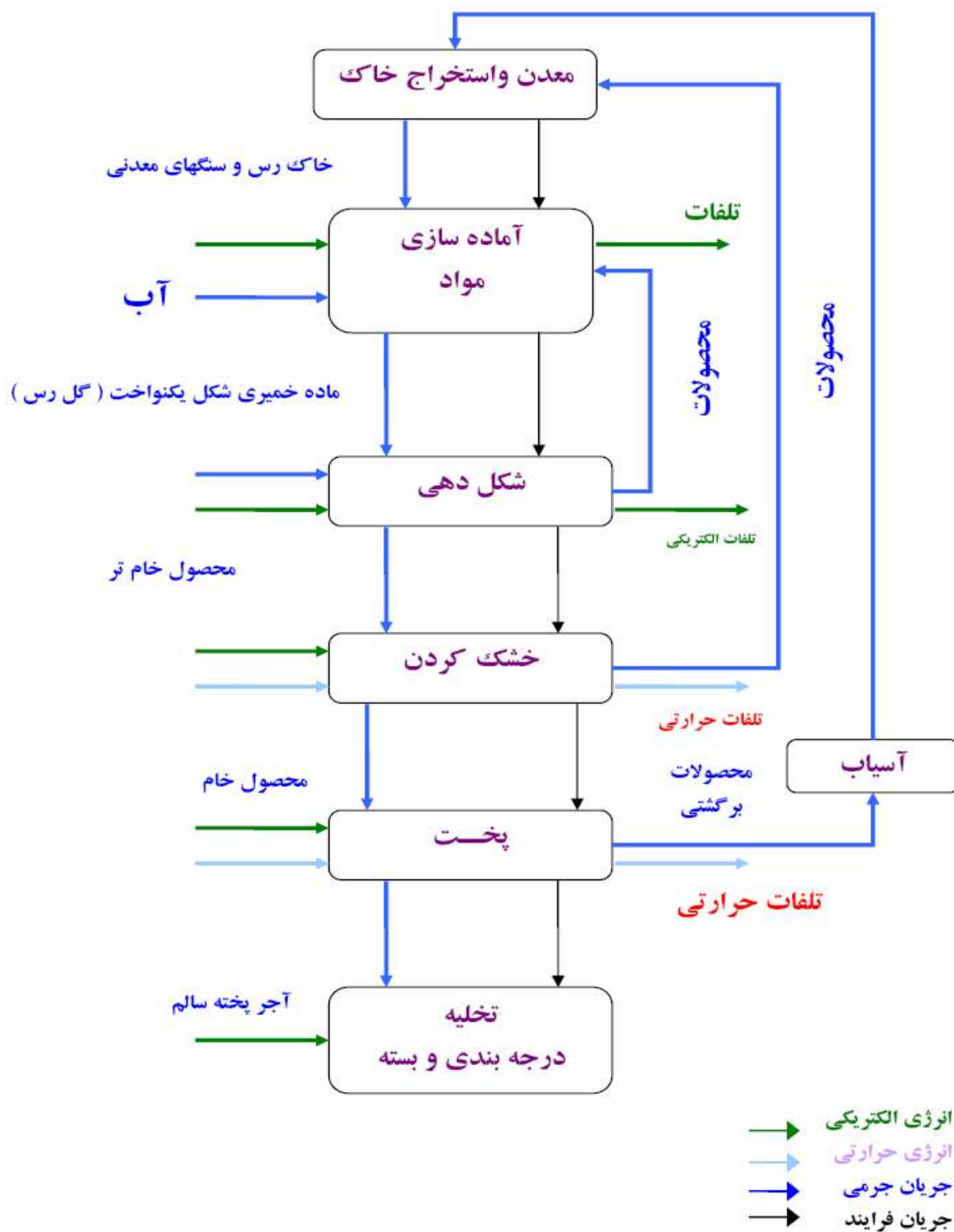
مصرف ویژه سوخت (GJ/ton)	مصرف ویژه برق (kwh/ton)	کل مصرف ویژه انرژی (GJ/ton)	پتانسیل قابل صرفه جویی نسبت به متوسط مصرف در سال ۱۳۸۱ (تراژول)
۴/۱	۵۱	۴/۷۳	۲۶۱۰

۲-۳. معرفی تجهیزات انرژی بر کارخانه آجر ممیزی شده

کلیه تجهیزات خط تولید کارخانه را می توان در سه دپارتمان کلی تقسیم بندی نمود:

- آماده سازی گل، پرس و قالب زنی
- گرمخانه
- کوره های هوفمن

کلیه تجهیزات موجود در دپارتمان آماده سازی گل، پرس و قالب زنی مصرف کننده انرژی الکتریکی می باشند، و عمده مصرف کننده های انرژی الکتریکی این بخش الکتروموتورها می باشند، در حالیکه در دپارتمان های گرمخانه و کوره های هوفمن عمده ترین حامل انرژی مورد استفاده، انرژی فسیلی (گاز طبیعی) است. البته در دو دپارتمان اخیر مصارف انرژی الکتریکی به منظور تأمین روشنایی و به حرکت در آوردن الکتروموتور فنهای موجود نیز وجود دارد. در شکل ۱-۳ چگونگی فرآیند تولید و موازنه جرم و انرژی در فرآیند تولید آجر ماشینی نشان داده شده است.



شکل ۱-۳. چگونگی فرآیند تولید و موازنه جرم و انرژی تولید آجر ماشینی

فصل چهارم

ممیزی انرژی تفصیلی کارخانه آجر ممیزی شده

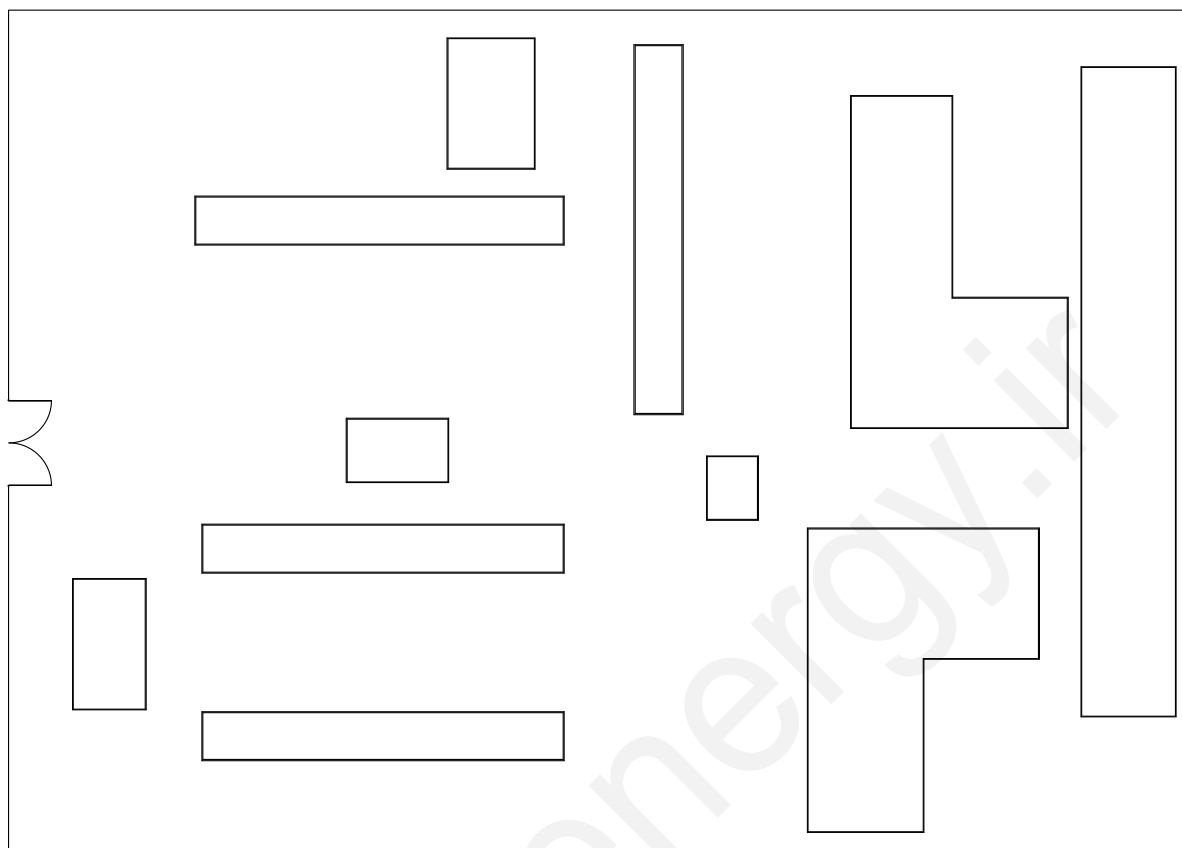
(بخش حرارتی)

۴-۱. مقدمه

جهت ممیزی انرژی تفصیلی کارخانه آجر ممیزی شده در راستای دستیابی به داده های مطمئن و قابل استناد، پارامترهای حرارتی واحد ها در شرایط زمان کاری کارخانه مورد اندازه گیری قرار گرفت. بر مبنای داده برداری های انجام شده، محاسبات بالانس جرم و انرژی و شدت مصرف انرژی حرارتی و کارایی تجهیزات صورت گرفت. در این بخش ضمن ارائه نتایج اندازه گیری، به تشریح مراحل کار و محاسبات انجام شده در راستای ممیزی تفصیلی انرژی حرارتی کارخانه مذکور پرداخته شده است.

۴-۲. نحوه قرار گیری تجهیزات مختلف در کارخانه آجر ممیزی شده

پس از بازدید از کارخانه، نقشه جانمایی کارخانه به صورت شماتیک ترسیم گردید که در شکل ۴-۱ مشاهده می شود.



شکل ۴-۱. نقشه جانمایی کارخانه آجر ممیزی شده

۴-۳. توصیف مراحل انجام ممیزی انرژی حرارتی در کارخانه آجر مورد نظر

به منظور تفکیک سهم انرژی هر بخش و انجام محاسبات انرژی، تجهیزات و پارامترهای حرارتی لازم جهت اندازه گیری و آنالیز حرارتی با توجه به شرایط خط تولید کارخانه، تعیین و در جدول ۴-۱ معرفی شده است. لازم بذکر است آمار تولید کارخانه طی دوره اندازه گیری جمع آوری و مورد بررسی قرار گرفت.

جدول ۴-۱. تجهیزات و پارامترهای حرارتی تعیین شده در کارخانه آجر مورد نظر

تجهیزات	پارامترهای اندازه گیری شده
۱ کوره های هوفمن	- اندازه گیری دمای درب قمیرهای در حال پخت - اندازه گیری دبی سوخت مازوت مصرفی کوره های ۱ و ۲ (خط رفت و برگشت)
۲ گرمخانه کارخانه	- اندازه گیری دما در قسمتهای مختلف گرمخانه - اندازه گیری دبی سوخت مازوت مصرفی مشعلهای گرمخانه جدید (سه)

مشعل) • اندازه گیری رطوبت در قسمتهای مختلف گرمخانه		
---	--	--

لازم به توضیح است که پارامترهای حرارتی توسط دستگاه فلو متر التراسونیک و پایرومتر (دماسنج غیر تماسی
آلتراسونیک) مورد اندازه گیری قرار گرفت.

فصل پنجم

ممیزی انرژی تفصیلی کارخانه آجر ممیزی شده

(بخش الکتریکی)

۵-۱. مقدمه

با توجه به نقش اساسی انرژی الکتریکی در صنعت و اینکه این انرژی به دلایل مختلف نظیر هزینه نهایی تولید، انتقال و توزیع نسبت به دیگر انرژی های مصرفی (گاز، سوخت های فسیلی و ..) بسیار گرانتر می باشد، بررسی آن و همچنین ارائه راهکارهای کاهش هزینه برای کارخانه حائز اهمیت است. در این فصل به منظور بررسی نحوه مصرف انرژی الکتریکی، ابتدا نحوه توزیع آن در بخش های مختلف بررسی شده و سپس مصرف کننده های مختلف از نظر نوع و توان مصرفی بطور کامل ارائه شده است

۵-۲. نحوه توزیع انرژی الکتریکی در کارخانه آجر ممیزی شده

با توجه به بازدید انجام گرفته از کارخانه و اطلاعات دریافتی از مسئولین، برق مصرفی کارخانه توسط دو ترانس (kv) 20/0.4 از شبکه توزیع، تأمین می گردد. یکی از ترانسها خط قدیم و دیگری خط جدید را تغذیه می کند. لازم به ذکر است که خط قدیم، پمپ های آب و برق ورودی چهار کوره پخت را نیز تغذیه می کند. ولتاژ خریداری شده توسط کارخانه، ولتاژ اولیه و دیماند خریداری شده ۱۸۰۰ کیلووات می باشد.

کارخانه دارای سه دیزل ژنراتور است که در مواقع بی برقی استفاده می شوند. یکی با قدرت نامی 550KVA مخصوص سالن خط قدیم، دیگری با قدرت نامی 1100KVA مخصوص خط تولید جدید و یکی نیز با قدرت نامی 100KVA مخصوص تغذیه پمپهای آب و برق کوره های هوفمن است.

عمده ترین مصرف کننده های انرژی الکتریکی، تجهیزات موجود در قسمت آماده سازی می باشند که دارای الکتروموتورهای با توان نسبتاً بالا هستند. در قسمت های خشک کن و کوره های هوفمن مصرف انرژی الکتریکی به نسبت پایین تر می باشد. مقادیر نامی الکتروموتورهای دارای توان بالا در قسمت های مختلف کارخانه در جدول ۵-۱ آمده است.

جدول ۵-۱. اطلاعات موتورهای توان بالا در کارخانه آجر ممیزی شده

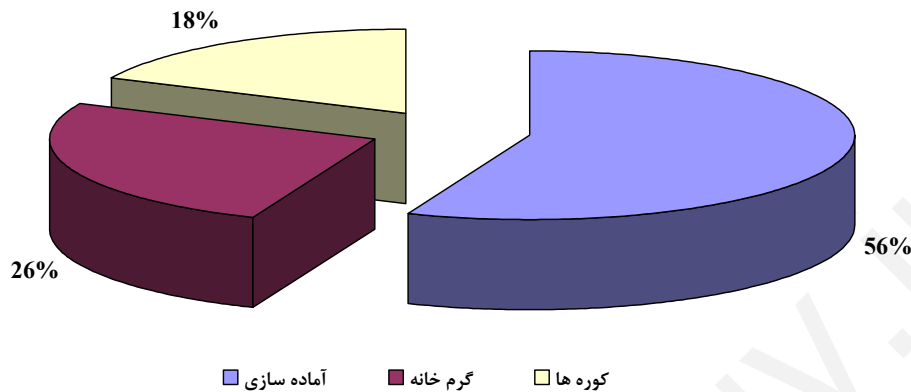
قسمت		نام تجهیز	Type	تعداد موتور	توان هر موتور (hp)
سالن تولید قدیم	آماده سازی	آسیاب	۳ φ - ۳۸۰V	۱	۱۰۰
		والس	۳ φ - ۳۸۰V	۲	۵۰
		مخلوط کن ۱ (کنار آسیاب)	۳ φ - ۳۸۰V	۱	۷۵
		مخلوط کن ۲ (ابتدای خط)	۳ φ - ۳۸۰V	۱	۷۵
		مخلوط کن ۳ (کنار پرس)	۳ φ - ۳۸۰V	۱	۱۰۰
		پرس	۳ φ - ۳۸۰V	۱	۱۸۰
		وکیوم	۳ φ - ۳۸۰V	۱	۳۰
		متفرقه	۳ φ - ۳۸۰V	_____	۲۰
خشک کن	فن مشعل	۳ φ - ۳۸۰V	۱	۷۵	
		۳ φ - ۳۸۰V	_____	۱۹۵	
سالن تولید جدید	آماده سازی	آسیاب	۳ φ - ۳۸۰V	۱	۱۰۰
		والس	۳ φ - ۳۸۰V	۲	۵۰
		مخلوط کن ۱ (کنار آسیاب)	۳ φ - ۳۸۰V	۱	۷۵
		مخلوط کن ۲ (ابتدای خط)	۳ φ - ۳۸۰V	۱	۶۰
		مخلوط کن ۳ (کنار پرس)	۳ φ - ۳۸۰V	۱	۱۸۰
		پرس	۳ φ - ۳۸۰V	۱	۲۵۰
		وکیوم	۳ φ - ۳۸۰V	۱	۳۰
		متفرقه	۳ φ - ۳۸۰V	_____	۲۰
	خشک کن	فن مشعل	۳ φ - ۳۸۰V	۲	۷۵
			۳ φ - ۳۸۰V	_____	۳۸۶
کوره های هوفمن		فن مکش کوره ۱ (۳۶ قمیری)	۳ φ - ۳۸۰V	۱	۷۵
		فن مکش کوره ۲ (۴۴ قمیری)	۳ φ - ۳۸۰V	۱	۷۵
		فن مکش کوره ۳ (۴۰ قمیری)	۳ φ - ۳۸۰V	۱	۶۰
		فن مکش کوره ۴ (۴۰ قمیری)	۳ φ - ۳۸۰V	۱	۶۰

لازم به ذکر است که الکتروموتورهای دیگری نیز در کارخانه وجود دارد که توان آنها نسبت به موارد ذکر شده در جدول فوق کم می باشد.

۵-۳. میزان مصارف انرژی الکتریکی واحدها

با استفاده از نتایج اندازه گیری های انجام شده، میزان مصرف هر یک از واحدها (آماده سازی، خشک کن و پخت) نسبت به مصرف کل سیستم مطابق با نمودار شکل ۵-۱ قابل ترسیم است. لازم به ذکر است که به دلیل زیاد بودن

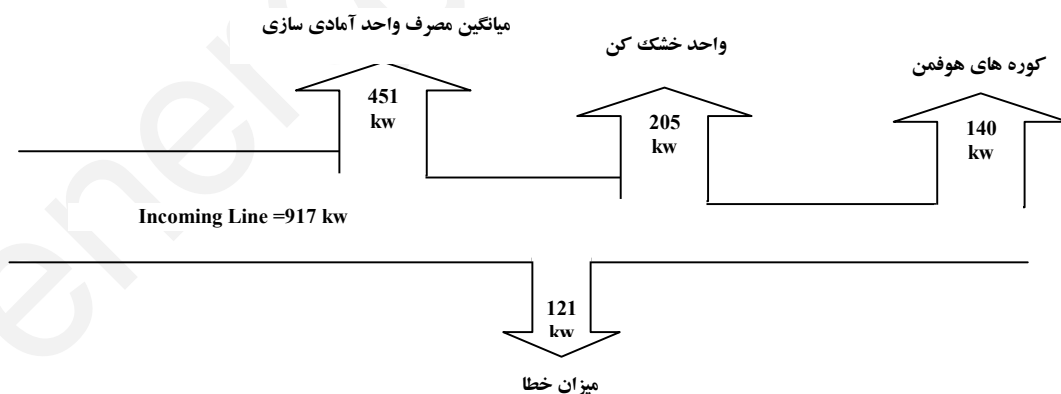
تجهیزات، اندازه گیری ها همزمان نبوده و بنابراین اعداد با درصد کمی تقریب محاسبه می شوند. ولی در کل، اعداد قابل اطمینان می باشند.



شکل ۵-۱. مصرف هر یک از واحدها نسبت به مصرف کل کارخانه

در شکل فوق منظور از واحدهای آماده سازی و خشک کن، مجموع دو خط تولید قدیم و جدید می باشند. با توجه به این دیاگرام می توان گفت، ۵۶ درصد از کل مصرف انرژی کارخانه به واحدهای آماده سازی، ۲۶ درصد به واحدهای خشک کن (گرم خانه ها) و ۱۸ درصد به کوره ها تعلق میگیرد. بنابراین مصرف انرژی الکتریکی در واحد آماده سازی، بیشینه مصرف انرژی الکتریکی کل کارخانه است و همین امر بیانگر لزوم بررسی و دقت بیشتر در مصرف کننده های این واحد است.

به این ترتیب و با استناد به میانگین مقادیر ثبت شده توسط دستگاه PHA و آنالیز صورت گرفته، اکنون می توان نمودار پخش توان متوسط ورودی و مصرف کل کارخانه را به صورت شکل ۵-۲ ترسیم کرد.



شکل ۵-۲. نمودار سانکی مصرف انرژی الکتریکی کارخانه آجر ممیزی شده

در شرح نمودار اخیر می توان گفت که میانگین توان ورودی به کارخانه برابر ۹۱۷ kw بوده و از این مقدار ۴۵۱ kw به واحدهای آماده سازی، ۲۰۵ kw به واحدهای خشک کن و ۱۴۰ kw به کوره ها می رسد و در این

میان میزان ۱۲۱ kw (حدود ۱۳ درصد)، اختلاف توان مصرفی اندازه گیری شده ورودی به سیستم با مجموع توانهای اندازه گیری شده واحدهای مختلف است. زیرا همانطور که قبلاً گفته شد، با توجه به اینکه اندازه گیری میزان انرژی الکتریکی مصرفی فیدر ورودی کارخانه و هر یک از مصرف کننده ها به طور همزمان نبوده است، لزوماً میزان کل انرژی الکتریکی مصرفی فیدر ورودی با مقادیر مصارف واحدهای مختلف برابر نمی باشد.

فصل ششم

ارائه راهکارهای کاهش مصرف انرژی حرارتی

در کارخانه آجر ممیزی شده

۶-۱. مقدمه

امروزه با توجه به روند افزایش جمعیت و تبعات آن و هر چه بیشتر مستهلک شدن منابع تولید انرژی نه تنها افراد بلکه جوامع نیز در موقعیتی نمی باشند که بتوانند به میزان مورد علاقه خود انرژی مصرف کنند. بلکه با افزایش جمعیت، به اجبار اهرمهای ملی به صورت محدودکننده وارد عمل خواهند گردید و ابتکار عمل در زمینه تولید و مصرف انرژی را به عهده خواهند گرفت.

اکنون سالیان متمادی است که کشورهای صنعتی پیشرفته که حتی از حداکثر امکانات طبیعی و صنعتی برای تولید انرژی برخوردار هستند، در کنار تلاش در جهت استفاده از انرژی های نو (خورشید، باد و امواج و ...) استفاده صحیح از انرژی را در راس اهداف خود قرار داده و با وضع دستورالعملها و در مواردی ضوابط و قوانین بازدارنده، صاحبان صنایع، صنعتگران، مدیران سازمانها و ... را تشویق، راهنمایی و حتی راهبری در جهت جلوگیری از اتلاف انرژی می نمایند. در سالهای اخیر نیز در کشور ما سازمان بهینه سازی مصرف سوخت اقدام به تهیه دستورالعملهای مختلفی جهت حساس سازی بخشهای مختلف صنعت نسبت به موضوع بهینه سازی مصرف انرژی نموده است. صنعت آجر از قدیمی ترین صنایع در کشور ما بشمار می رود و با توجه به اتلافات نسبتاً بالای انرژی مصرفی صنعت آجر، بهینه سازی مصرف انرژی در این صنعت از اهمیت خاصی برخوردار است.

در این فصل به بررسی جزء بجزء فرآیند تولید نمی پردازیم، بلکه با توجه به اینکه بیشترین میزان انرژی حرارتی مصرفی در دو بخش خشک کن و کوره می باشد، راهکارهای ارائه شده در این بخشها مورد بحث قرار می گیرد.

۶-۲. ارائه راهکارهای کاهش مصرف سوخت در خشک کن های کارخانه آجر

مصرف انرژی در خشک کن ها به صورت مستقیم به کیفیت خاک و تجهیزات مورد استفاده در مرحله شکل دهی

(اکسترودر) وابسته است. در بررسی های صورت گرفته مقدار رطوبت مورد نیاز برای شکل دهی شمش گل از ۱۵ تا ۲۳٪ برآورد شده است که در این بین نقش اکسترودر شایان توجه می باشد. در اغلب کارخانجاتی که کیفیت خاک آنها قابلیت تولید شمش با رطوبت پائین را دارا می باشد، به دلیل فشار نا کافی خلأ تولید شده در اکسترودر به ناچار از اکسترودر نمودن خاک با رطوبت ۵ تا ۷٪ بیش از مقدار مورد نیاز می باشد که باعث افزایش زمان و انرژی مورد نیاز برای خشک نمودن خاک تا حدود ۵۰٪ نسبت به شرایط ایده ال خواهد شد. لذا استفاده از اکسترودر با قدرت و کیفیت بالاتر هر چند نیازمند سرمایه گذاری اولیه بالاتری می باشد، ولی در بلند مدت به دلیل رطوبت پائین تر خشت و دانسیته بالاتر شمش تولید شده، که کاهش زمان و انرژی مورد نیاز و همچنین استحکام بیشتر خشت را به دنبال خواهد داشت، جبران می گردد. راهکارهای اصلاح مصرف انرژی در خشک کن ها محدود بوده و حداکثر صرفه جوئی حاصل شده از اصلاح خشک کن بیش از ۵٪ کل مصرف نخواهد بود. مهمترین راهکارهای کاهش مصرف انرژی در خشک کن ها عبارتند از :

۶-۲-۱. اصلاح عایقکاری

شامل استفاده از عایقکاری سنتی در مناطق کویری و پشم شیشه در مناطق سرد سیر می باشد. در برخی از کارخانجات به منظور جلوگیری از اتلاف حرارت از درب سلولهای واحد خشک کن، جنس درب از مواد غیر فلزی انتخاب می گردد.

۶-۲-۲. اصلاح مکانیسم دمش و مکش هوای گرم و رطوبت از خشک کن

به دلیل سنگین تر بودن رطوبت نسبت به هوای گرم، همواره مقدار رطوبت در کف بیش از سقف خشک کن است. لذا باید کانال ورودی هوای گرم در سقف و کانال تهویه رطوبت در کف تعبیه شود. همچنین در ساعتی اولیه پروسه خشک کردن، مقدار رطوبت باقی مانده در فضای خشک کن پس از هر بار تهویه رطوبت، باید حداقل ۲۰٪ از رطوبت خشتها بیشتر باشد. در این کارخانه کانال ورودی هوای گرم در کف و کانال تهویه رطوبت در سقف تعبیه شده بودند، لذا راهکار پیشنهادی اصلاح این سیستم از حالت فعلی به حالت بهینه می باشد.

۶-۲-۳. ترسیم بهترین منحنی کاری خشک کن

منحنی کاری خشک کن (Drying Cycle) با توجه به مشخصات خاک ترسیم شده و بهترین روند خشک شدن خشت را در اختیار قرار می دهد. از آنجائیکه هیچ گونه اطلاعاتی در خصوص خاک مورد استفاده در این کارخانه در اختیار این مشاور قرار نگرفت، لذا نصب سیستم ترسیم منحنی خشک کن برای کنترل بهینه تر پروسه خشک کردن، می تواند اقدامی کارآمد در جهت کاهش مصرف انرژی در خشک کن باشد. همانگونه که قبلاً نیز بیان شد، برای بررسی دما و رطوبت در گرمخانه و اثر آن بر روی فرایند خشک شدن آجر احتیاج به سیستم ثبت و مونیتورینگ دما و رطوبت می باشد. در حقیقت اطلاع دقیقی از دما و رطوبت در فرآیند خشک شدن آجرها در دست نیست. با نصب سنسورهای دما و رطوبت

می توان از میزان دقیق آنها در قسمتهای مختلف سالنهای گرمخانه اطلاع پیدا کرد. این سنسورها قابلیت ثبت و نمایش اطلاعات را داشته و در طول ۲۴ ساعت یعنی از زمان ورود یک محموله آجر به گرمخانه تا خروج آنها نسبت به ثبت دما و رطوبت اقدام می کنند.

پس از مکاتبه با شرکتهای مختلف سرانجام سنسور مدل ۱۷۱-۶ testostor ساخت شرکت testo انتخاب گردید. دامنه تغییرات دمای این سنسور بین ۵۰- تا ۱۲۰+ درجه سانتیگراد بوده و رطوبت بین ۰ تا ۱۰۰ درصد را نشان می دهد. علاوه بر این سنسور ها سیستم های کنترل کننده دما و رطوبت نیز وجود دارند که هزینه خرید و نصب آنها از این سنسورها بیشتر است.

۴-۲-۶. استفاده از مشعل های شعله مستقیم به جای کانال انتقال هوای گرم

کانالهای انتقال هوای گرم یکی از محلهای تلفات انرژی است. استفاده از مشعلهای شعله مستقیم کمک فابل توجهی به کاهش تلفات در این بخش نموده و کنترل پذیری راحت تر دما و رطوبت را در پی خواهد داشت. استفاده از این راهکار در این کارخانه می تواند از جمله راهکارهای پر هزینه باشد که بازگشت سرمایه آن میان مدت بوده و زمان پخت را کاهش داده و صرفه جویی انرژی قابل ملاحظه ای را در پی خواهد داشت.

۳-۶. بهینه کردن سیستم کوره هوفمن

راهکارهای کاهش مصرف انرژی در کوره ها در قالب دو گروه کلی بررسی می شود که عبارتند از :

۱-۳-۶. راهکارهای ساختاری کوره

- اصلاح فاصله باجه ها در هنگام بازسازی کوره

زیرا باجه های تعبیه شده در سقف کوره ها در کارخانه های مختلف و حتی در کوره های یک کارخانه یکسان نیستند.

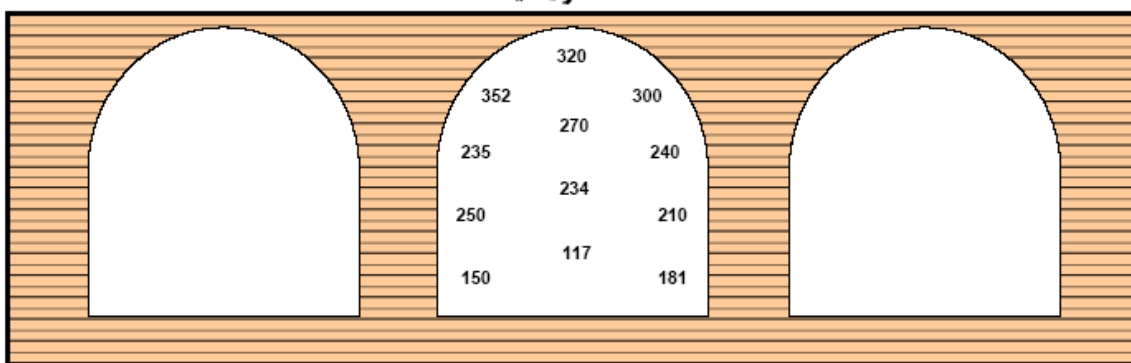
- استفاده از آرایش دو سر آتش بجای یک سر آتش

- دوجداره نمودن درب قمیر

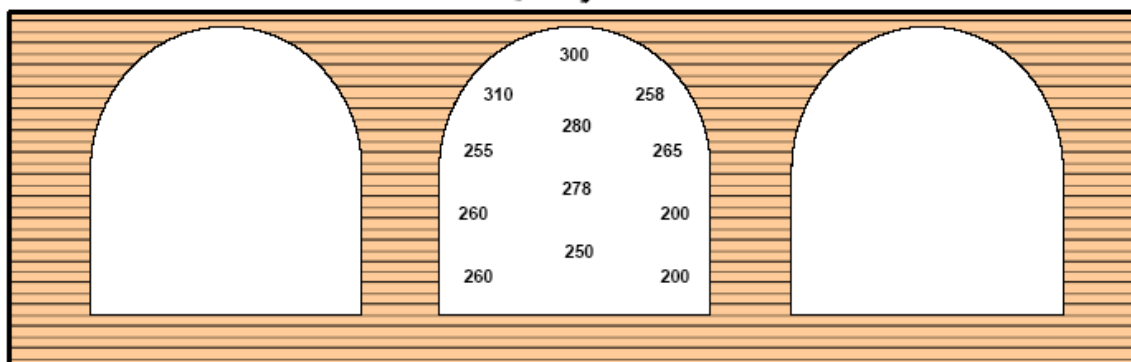
بوسیله دماسنج غیر تماسی اندازه گیری هایی از دمای درب قمیرهای در حال پخت دو کوره کارخانه انجام گرفت.

نتایج در شکل ۶-۱ ارائه شده است.

کوره یک



کوره دو



شکل ۶-۱. اتلاف حرارت حاصل از درب قمیر کوره ها

همانطور که در شکل فوق مشهود است، اتلاف حرارت در درب قمیر کوره ها بسیار بالا بوده، لذا دو جداره نمودن درب قمیرها می تواند از این اتلاف حرارت تا حد قابل ملاحظه ای ممانعت کرده و راهکار مناسبی در جهت کاهش اتلاف انرژی در این کارخانه باشد.

• استفاده از مشعلهای با راندمان بالا

بهترین راهکار کم هزینه در کوره های هوفمن استفاده از مشعلهای با راندمان بالا و بازیافت حرارت از این کوره ها است. با استفاده از سوخت پاش های راندمان بالا در کوره های هوفمن می توان حدود ۲۰٪ صرفه جویی داشت. در سوخت پاشهای فعلی کارخانه، نسبت سوخت به هوای نرمال برای گاز طبیعی (حدود ۱۱-۱۰) رعایت نمی شود و لذا راندمان احتراق بسیار پایین است. این مطلب را می توان به سادگی از روی رنگ شعله نیز مشاهده نمود. اگر چه کنترل این نسبت در کوره های هوفمن بسیار مشکل می باشد. ولیکن در مشعلهای جدید، سوخت پاشهای با راندمان بالاتر طراحی شده اند که پیشنهاد می گردد از سازندگان مربوطه خریداری و نصب گردد.

۲-۳-۶. راهکارهای فنی کوره

• دما و زمان پخت

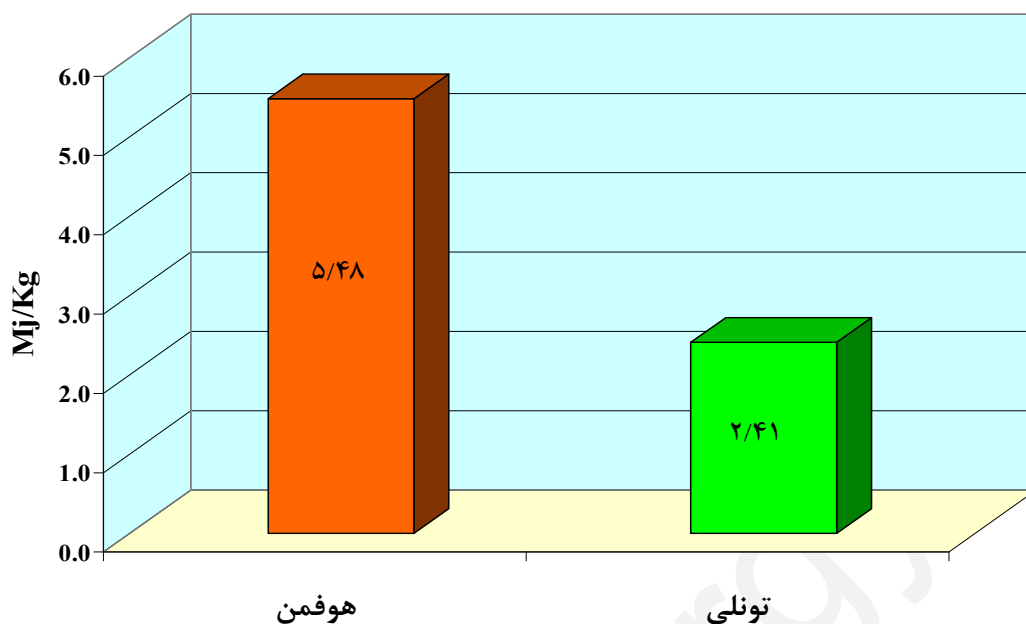
در کوره های هوفمن مقدار دما و زمان مورد نیاز برای پخت کامل با توجه به خواص خاک بدست می آید.

• جلوگیری از نفوذ هوای اضافی به داخل کوره

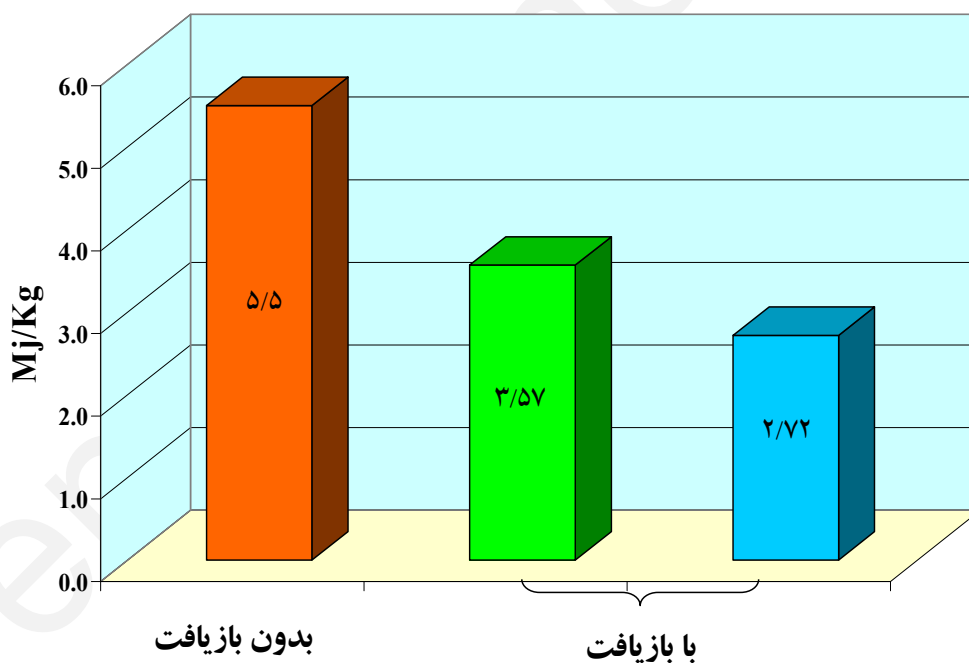
یکی دیگر از راهکارهای مهم در کوره های هوفمن جلوگیری از نشتی هوا و ورود هوای اضافه به داخل کوره می باشد. همان طور که فنهای دودکش هوای داخل کوره را مکیده و ضمن خروج دود عمل پیش گرمایش را انجام می دهند، هوای محیط نیز از طریق نشتی های بدنه کوره وارد می شوند. این هوای اضافه از بدنه کوره و از طریق ترک های روی بدنه به داخل کوره نفوذ کرده و سبب افت دمای کوره می گردد. افت دما باعث می گردد در زمان ثابت میزان سوخت بیشتری جهت پخت آجر مصرف گردد. با مرمت مجدد قسمت های ترک خورده و در حین نشتی کوره می توان سبب صرفه جویی انرژی گردید.

در اروپا امروزه این نوع کوره ها تنها در موزه ها نمایش داده می شود تا نسل جدید از تاریخچه و روند پیشرفت طراحی و ساخت کوره ها اطلاع داشته باشد درحالیکه عمده کوره های کشور ما از این نوع هستند. سیستم قدیمی، مبتدی، انرژی بر و همراه با ضایعات زیاد می باشد.

شدت مصرف انرژی دو کوره هوفمن و تونلی بعنوان نمایندگان کوره های قدیمی و مدرن مقایسه شده است. همچنین در شکل ۲-۶ و شکل ۳-۶ مقایسه ای بین کوره هوفمن و تونلی با بازیافت حرارت و بدون بازیافت حرارت صورت گرفته است.



شکل ۲-۶. مقایسه شدت مصرف انرژی کوره تونلی و هوفمن



شکل ۳-۶. مقایسه شدت مصرف کوره تونلی و هوفمن با بازیافت و بدون بازیافت حرارت

۴-۶. بررسی راهکارهای پرهزینه و بلند مدت در کارخانه آجر ممیزی شده

یکی از عمده ترین راهکارهای پرهزینه جایگزینی کوره تونلی بجای کوره هوفمن می باشد که دو تا سه برابر شدت مصرف انرژی را کاهش می دهد. بر اساس مکاتبات انجام شده با فروشندگان کوره های تونلی، برای برآورد قیمت کوره

تونلی احتیاج به آنالیز خاک مورد استفاده در کارخانه آجر می باشد که با توجه به هزینه و مدت زمان انجام این کار یعنی ارسال خاک به خارج کشور و آنالیز آن قیمت دقیق و مکتوبی به دست نیامد.

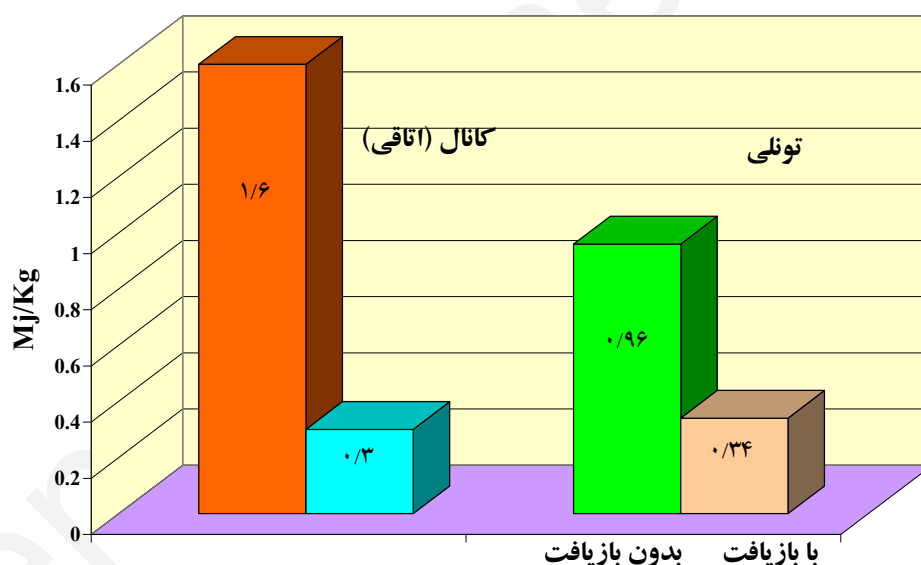
در حقیقت می توان گفت یک کوره مدرن با ظرفیت حدوداً ۴۰۰-۳۰۰ تن در روز نزدیک به ۷ میلیارد تومان سرمایه گذاری نیاز دارد، درحالیکه با یک کوره ۰/۵ تا ۱ میلیارد تومانی نیز می توان همین مقدار را به صورت روزانه تولید نمود که تفاوت این دو نوع کوره در مصرف انرژی و ضایعات تولید است.

از دیگر موارد راهکارهای پرهزینه می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- جایگزینی ماشین آلات مدرن در خط تولید شامل: تجهیزات سنگ شکن، میکسر و اکسترودر
- نصب خشک کن تونلی با بازیافت در جهت کاهش ضایعات و مصرف انرژی کمتر. در شکل ۴-۶ مقایسه ای بین خشک کن اتاقی و تونلی (با بازیافت و بدون بازیافت) صورت گرفته است.

- استفاده از سیستم بسته بندی مدرن بمنظور کاهش ضایعات

در وضعیت فعلی، ضایعات تولید از ابتدای خط تا انتها در کارخانجات آجر بین ۱۰ تا ۲۰ درصد می باشد که با مدرن شدن سیستم و اجرای بسته بندی تا حدود زیادی از آن جلوگیری خواهد شد.



شکل ۴-۶. مقایسه شدت مصرف خشک کن تونلی و اتاقی با بازیافت و بدون بازیافت حرارت

فصل هفتم

ارائه راهکارهای کاهش مصرف انرژی الکتریکی

در کارخانه آجر ممیزی شده

۷-۱. مقدمه

آنچه در ادامه این گزارش مطالعه می کنید، نتایج حاصل از بررسی پتانسیل صرفه جویی انرژی الکتریکی در ۲۵ کارخانه آجر ماشینی در کشور ایران است. مطابق با نظریه محققین انرژی در صنعت آجر در صورت اجرای اقدامات بهینه سازی مصرف انرژی بطور متوسط سالیانه می توان در مجموع به میزان ۱۵۰۰۰ MWh در مصرف برق صرفه جویی نمود. این میزان پتانسیل صرفه جویی انرژی عمده با اجرای راهکارهای بدون هزینه و کم هزینه قابل دستیابی است. از آنجا که کارخانه آجر ممیزی شده نیز یکی از صدها کارخانه آجر در سطح کشور است، انطباق راهکارها بر خط تولید این کارخانه قابلیت صرفه جویی در مصرف انرژی را الکتریکی را افزایش داده و کاهش هزینه ها را نیز در پی خواهد داشت. از جمله راهکارهای کلی و عمومی در بهینه سازی مصرف انرژی الکتریکی می توان به موارد ذیل اشاره کرد:

- ۱- بالا بردن راندمان و بهره وری ماشین آلات.
- ۲- استفاده از موتورهای الکتریکی در بار کامل.
- ۳- استفاده از تسمه های Cogged- belt و Synchronous- belt به جای تسمه های V-belt در الکتروموتورها.
- ۴- پیک سایه در بخش آماده سازی مواد به وسیله پیش بینی انبار گل.
- ۵- نصب کنتورهای مناسب به منظور تفکیک مصارف برق واحدهای تولید.
- ۶- اجرای برنامه های تعمیرات یا تعطیلات سالانه از ۱۵ تیر ماه تا ۱۵ شهریور.
- ۷- تطبیق دیماند قرارداد با میزان دیماند مصرفی واقعی.
- ۸- اصلاح ضریب قدرت با نصب خازن مناسب روی باس اصلی برق.

۹- اصلاح و بهبود سیستم های روشنایی با تعویض لامپها و استفاده از سیستم های کنترل روشنایی.

۱۰- اجرای برنامه های تعمیرات و نگهداری دوره ای و پیشگیرانه PM در مورد الکتروموتورها و سایر تجهیزات و ماشین آلات خط تولید.

با بررسی های انجام پذیرفته بر روی خط تولید و بازدیدها و اندازه گیری های انجام شده در کارخانه آجر ، راهکارهای کاهش مصرف انرژی در دو قسمت راهکارهای کم هزینه و راهکارهای پر هزینه ارائه می گردد.

۲-۷. راهکارهای بدون هزینه و کم هزینه کاهش مصرف انرژی الکتریکی

در این بخش به بررسی راهکارهای کم هزینه پرداخته می شود. تعدادی از این راهکارها بدون هزینه بوده و مدیریت صحیح و پیگیری را لازم دارد و تعدادی از آنها نیز کم هزینه بوده و دارای بازگشت سرمایه کوتاه مدت می باشد.

۱-۲-۷. بررسی تعرفه ها، گزینه انتخابی و دیماندر برق مصرفی

به طور کلی در قبض های برق، چهار نکته را باید جهت کاهش هزینه مورد بررسی قرار داد.

الف) تطبیق دیماندر مصرفی با میزان خریداری شده

ب) بررسی ضریب زیان و توان راکتیو مصرفی

ج) بررسی تعرفه و محاسبه گزینه مناسب

د) کنترل تعرفه جمعه

پارامترهای موجود در فیش برق همراه با تعاریف آنها در پیوست دو آمده است.

در ابتدا لازم است نحوه تقسیم بندی ساعات پیک بار، عادی و کم باری در فصول مختلف سال مشخص گردد. که این موارد در جدول ۱-۷ آمده است.

جدول ۱-۷. تقسیم بندی ساعات در فصل ها مختلف سال

ساعات کم باری	ساعات اوج بار	ساعات عادی	
۲۳-۷	۱۹-۲۳	۷-۱۹	نیمه اول سال
۲۲-۶	۱۸-۲۲	۶-۱۸	نیمه دوم سال

در صورت استفاده از کنترل سه زمانه هزینه انرژی در ساعات کم باری، یک چهارم ساعات عادی و کمتر از یک سیزدهم ساعات اوج بار است. از این رو با انتقال مصارف ساعات اوج بار به ساعات کم باری، کاهش قابل ملاحظه ای از مجموع هزینه های برق میسر است.

الف) تطبیق دیماندر مصرفی با میزان خریداری شده

اگر مشترک صنعتی حداقل یک و نیم سال به بخشی از دیماندر خریداری شده نیاز نداشته باشد، می تواند برای پرهیز

از پرداخت ماهیانه مبلغ دیماند استفاده نشده، تقاضای کاهش موقت دیماند کند. مشترک در صورت عدم نیاز می تواند برای شش دوره یک و نیم ساله متوالی و جمعاً نه سال، تقاضا را تمدید کند. اگر مشترک در مدت زمان کاهش موقت از مقدار دیماند حاصله تجاوز کند بایستی کل مبلغ دیماند، از شروع تاریخ کاهش تا تجاوز از دیماند را بپردازد. همچنین در صورتیکه میزان دیماند مصرفی مشترک از میزان خریداری شده فراتر رود، هزینه دیماند درخواستی بر اساس تعرفه صنعتی و مابقی بر اساس تعرفه آزاد محاسبه و از مشترک دریافت می گردد.

نحوه محاسبه دیماند مصرفی به این صورت است که حاصلضرب عدد ماکسیمتر در ضریب کنتور برابر با دیماند مصرفی می باشد. اگر این مقدار از ۹۰ درصد دیماند قراردادی کمتر باشد، ۹۰ درصد دیماند قراردادی را به عنوان دیماند مصرفی محاسبه می کنند. در صورتیکه این مقدار بین ۹۰ تا ۱۰۰ درصد دیماند قراردادی واقع شود، همان عدد محاسبه شده از ضرب عدد ماکسیمتر در ضریب کنتور را به عنوان دیماند مصرفی در نظر می گیرند و در غیر اینصورت میزان عدد محاسبه شده از دیماند قراردادی بیشتر می شود و به این ترتیب هزینه مازاد بر دیماند قراردادی بر اساس تعرفه آزاد صنعتی محاسبه و دریافت می گردد.

ب) بررسی ضریب زیان و توان راکتیو مصرفی

جریمه ضریب زیان برای ضریب قدرت کمتر از ۰/۹ است و با فرمول زیر محاسبه میگردد.

$$۱- \text{ضریب زیان} = \frac{۰/۹}{\text{ضریب قدرت}}$$

این ضریب در بهای انرژی و دیماند، ضرب می شود و حداکثر مبلغ جریمه به ازای هر دیلو وار ساعت ۱۲۳/۸ ریال می باشد.

ج- انتخاب گزینه مناسب

همانطور که در جدول ۷-۲ مشاهده می کنید از طرف برق منطقه ای برای مشترکین، نحوه محاسبه هزینه برق به دو صورت ارائه می شود که هر مشترک با توجه به شرایط کاری خود یکی از گزینه ها را می تواند انتخاب کند.

جدول ۷-۲. هزینه تعرفه ها در سال ۱۳۸۶

۴-۳		کد تعرفه
۲	۱	گزینه
۵۹۳۵/۰۵	۱۱۸۷۰/۱	دیماند (ریال)

۱۶۲/۱۹	۱۴۲/۴۶	میان باری	انرژی ریال / kwh
۵۳۵/۳	۴۷۰/۰۱	اوج بار	
۴۰/۵۵	۳۵/۶۴	کم باری	

در گزینه یک، هزینه دیماند بیشتر و هزینه انرژی کمتر است. جهت انتخاب گزینه مناسب، بهتر است برای چند دوره هزینه دیماند و انرژی با استفاده از مبالغ هر دو گزینه محاسبه شود. مجموعه هزینه کمتر، گزینه مناسب تر را مشخص می کند.

د) کنترل تعرفه جمعه

استفاده از کنترل تعرفه جمعه باعث می شود که هزینه مصرف برق در ساعات اوج بار روزهای جمعه ۲۴ درصد نسبت به روزهای دیگر کمتر مورد محاسبه قرار گیرد.

با توجه به اینکه کارخانه آجر مورد نظر در روزهای جمعه به صورت کامل تعطیل است، و تنها میزان مصرف در این روز، مقادیر مربوط به فن های واحد خشک کن است که مقدار قابل ملاحظه ای نمی باشد، استفاده از این تعرفه در مجموع، تأثیر قابل ملاحظه ای در هزینه نخواهد داشت.

۲-۲-۷. پیک سایی در بخش آماده سازی مواد به وسیله پیش بینی انبار گل

یکی از روش های مهم در بهینه سازی مصرف انرژی الکتریکی و به تبع آن کاهش هزینه های برق، کاهش مصارف ساعات اوج مصرف و انتقال آنها به ساعات کم باری یا ساعات عادی است. این کار توسط برآورد ضریب بهای انرژی با توجه به نوع کنترل (دو زمانه یا سه زمانه بودن آن) قابل انجام می باشد.

۳-۲-۷. اجرای برنامه های تعمیرات یا تعطیلات سالانه از ۱۵ تیر تا ۱۵ شهریور

در تابستان ۲۰٪ به کل بهای قبض برق افزوده می شود، انجام تعمیرات و نیز منظور نمودن برنامه های تعطیلات سالانه در تابستان، هزینه های برق را کاهش می دهد. همچنین در صورتیکه مشترکین برنامه تعطیلات یا تعمیرات تابستانی خود را از ۱۵ تیر تا ۱۵ شهریور تنظیم و بطور مکتوب اعلام نمایند، از ۵٪ تخفیف در بهای انرژی ساعات غیر اوج بار ۶ ماهه دوم به ازای هر هفته تعطیلات در تابستان (و حداکثر ۴ هفته) برخوردار می شوند.

۴-۲-۷. استفاده از تسمه های Cogged-belt و Synchronous-belt بجای تسمه های V-belt در

الکتروموتورها

تسمه های V-belt در زمان نصب بازدهی ۹۵ درصد تا ۹۸ درصد دارند. این تسمه ها به دلیل لغزش روی پولی حدود ۵ درصد بازدهی را کاهش داده و سبب افت راندمان موتور تا حدود ۹۳ درصد می شود. تسمه های Cogged دارای دندانه هایی می باشند که باعث افزایش راندمان تا حدود ۲ درصد نسبت به تسمه های V-belt می شوند. این دندانه ها باعث کاهش مقاومت خم شدگی تسمه می شوند و در حرارت کمتری کار می کنند و طول عمر بیشتری دارند. همچنین تسمه های سنکرون علاوه بر دارا بودن دندانه های روی تسمه، یک سری شیارهایی روی خود پولی وجود دارد که باعث افزایش راندمان می شود و از لیز خوردگی تسمه روی موتور جلوگیری می کند. ویژگی های این تسمه ها کم بودن تعمیر و نگهداری آنها می باشد ولی تنها عیب آنها این است که تمام لرزش ها را به بار انتقال می دهند.

بنابراین تسمه های سنکرون پربازده ترین نوع تسمه ها می باشند. اما برای بارهایی که دارای لغزش می باشند. یعنی شوک در بار ایجاد می شود بهتر است از تسمه های Cogged استفاده شود. جهت بررسی تأثیر کاربرد تسمه های راندمان بالا در کاهش مصرف انرژی الکتریکی به روش زیر باید عمل نمود.

در یک موتور ۱۰۰hp که با تسمه v-belt و راندمان ۹۳ درصد در ۷۵ درصد بار نامی کار می کند و میزان مصرف انرژی الکتریکی سالیانه آن برابر با ۵۲۷۰۰۰ kwh می باشد، در صورت استفاده از تسمه های سنکرون (با راندمان ۹۸ درصد) میزان صرفه جویی انرژی الکتریکی سالیانه به شرح ذیل خواهد بود.

$$\text{میزان صرفه جویی انرژی الکتریکی} = \left(1 - \frac{E1}{E2}\right) \times (527000 \text{ kwh/year}) \left(1 - \frac{93}{98}\right) = 26888 \text{ kwh/year}$$

که E1 و E2 به ترتیب راندمان تسمه های v-belt و سنکرون می باشند.

بنابراین مسئولین کارخانه باید طی بازدید و بازبینی از وضعیت تسمه های کلیه الکتروموتورهای موجود کارخانه (به ویژه موتورهای توان بالا) و با توجه به روش فوق و در نظر گرفتن هزینه ها برنامه ای جهت تعویض تسمه ها در دستور کار خود قرار دهند.

۷-۲-۵. اجرای برنامه های تعمیرات و نگهداری دوره ای و پیشگیرانه PM در مورد الکتروموتورهای الکتریکی و سایر تجهیزات و ماشین آلات خط تولید

یکی دیگر از راهکارهای کاهش مصرف انرژی اجرای تعمیرات و نگهداری الکتروموتورها در یک زمانبندی مشخص است. پیشنهاد می گردد به منظور اطلاع از وضعیت کارکرد الکتروموتورها و افزایش طول عمر آنها از طریق تشخیص به موقع اشکال در آنها جدولی از مشخصات قابل رؤیت تهیه گردد تا مسئولین با پر کردن آنها بصورت مستمر و در بازه های

زمانی مشخص، قادر به بررسی روند عملکرد الکتروموتور باشند. نکته قابل تأمل، ایجاد آگاهی در اپراتور مربوطه است تا در صورت رویت تغییر در پارامترها، سریعاً به مسئولین اطلاع دهد.

۷-۳. راهکارهای پرهزینه کاهش مصرف انرژی الکتریکی در کارخانه آجر ممیزی شده

استفاده از تجهیز ADLS (AUTOMATIC DELSTAR CONVERTOR)

ADLS یک تبدیل کننده اتوماتیک اتصال ستاره مثلث است. این تجهیز بر روی موتورهای که دارای اتصال ستاره مثلث هستند بسته می شود و می تواند تا ۴۰ درصد در مصرف انرژی الکتریکی صرفه جویی کند. کارکرد این تجهیز بدین صورت است که، وقتی بار موتور کمتر از ۵۰ درصد باشد، این تجهیز به طور اتوماتیک اتصال موتور را به حالت ستاره می برد و هنگامی که بار موتور بیشتر از ۵۰ درصد بشود، اتصال موتور را به حالت مثلث می برد. قابل ذکر است وقتی موتور در حالت ستاره باشد، مصرف جریان آن تا یک سوم کاهش می یابد. این عمل باعث کاهش توان مصرفی به همان اندازه می شود.

توان نامی در حالت مثلث سه برابر توان نامی در حالت ستاره است :

$$p_{n\Delta} = 3 p_{nY}$$

با توجه به اینکه

$$p_e = \sqrt{3} V_L I_L \cos \phi \quad \text{و} \quad T = \frac{P}{w}$$

که در رابطه اخیر w دور موتور و p توان الکتریکی موتور است.

از آنجا که گشتاور متناسب با ولتاژ به توان دو است و همچنین در اتصال ستاره و مثلث داریم :

$$V_Y = \frac{V_L}{\sqrt{3}}$$

در نتیجه نسبت گشتاور الکتروموتور در حالت ستاره به حالت مثلث بصورت زیر محاسبه می گردد:

$$V_{\Delta} = V_L$$

$$\frac{T_Y}{T_{\Delta}} = \left(\frac{V_Y}{V_{\Delta}}\right)^2 = \left(\frac{V_L}{\sqrt{3} \times V_L}\right)^2 = \frac{1}{3}$$

بدین ترتیب میتوان گفت که در حالت ستاره میزان توان نامی الکتریکی $\frac{1}{3}$ حالت مثلث است، در نتیجه میزان گشتاور مکانیکی حاصل نیز $\frac{1}{3}$ حالت مثلث است.

در کارخانه آجر ممیزی شده، همانگونه که اندازه گیری ها نشان می دهد، اکثر موتورها در کمتر از ۵۰ درصد بار نامی کار می کنند. بنابراین ADLS می تواند نقش به سزایی در کاهش مصرف انرژی در این کارخانه داشته باشد. برای مثال صرفه جویی محاسبه شده برای موتور مخلوط کن ۲ (ابتدای خط قدیم) که به طور دائم در کمتر از ۵۰ درصد بار نامی کار می کند، در زیر آورده شده است.

توان نامی موتور : ۷۵ کیلو وات

توان متوسط اندازه گیری شده بر روی این موتور : ۱۵ کیلو وات

ساعات کارکرد در روز: ۱۲ ساعت

تعداد روز کاری در سال : ۳۰۰ روز

با توجه به اطلاعات فوق مقدار مصرف انرژی سالانه این موتور در صورتیکه اتصال آن مثلث باشد، برابر است با ۵۴،۰۰۰ کیلو وات ساعت.

$$۱۵ * ۱۲ * ۳۰۰ = ۵۴,۰۰۰$$

در صورتیکه اتصال این موتور به صورت ستاره باشد، توان مصرفی و در نتیجه انرژی آن یک سوم خواهد بود، یعنی ۱۸،۰۰۰ کیلو وات ساعت. بنابراین صرفه جویی انرژی به مقدار ۳۶،۰۰۰ کیلو وات ساعت خواهیم داشت.

$$۵۴,۰۰۰ - ۱۸,۰۰۰ = ۳۶,۰۰۰$$

اگر قیمت هر کیلو وات ساعت برق (با توجه به ساعات کارکرد و تعرفه کارخانه مذکور) به طور متوسط ۲۰۰ ریال در نظر گرفته شود، در سال مبلغی در حدود ۷،۲۰۰،۰۰۰ ریال صرفه جویی می شود.

$$۳۶,۰۰۰ * ۲۰۰ = ۷,۲۰۰,۰۰۰$$

با توجه به اینکه قیمت یک دستگاه ADLS کمتر از یک میلیون ریال می باشد، بنابراین زمان بازگشت سرمایه برای این موتور کمتر از یکسال خواهد بود. همچنین باید متذکر شد که استفاده از این دستگاه، مزایای دیگری از جمله کاهش مقدار دیماند و افزایش طول عمر موتور را در پی دارد.

با توجه به اینکه تقریباً تمام موتورهای توان بالا در کارخانه آجر مذکور بصورت ستاره مثلث بسته شده اند، و تعدادی از آنها در بیشتر ساعات کارکرد خود در زیر ۵۰ درصد بار نامی کار می کنند و بقیه نیز دارای زمانهای بی باری زیاد می باشند، بنابراین می توان تجهیز ADLS را بر روی تمام موتورها نصب نموده و صرفه جویی قابل ملاحظه ای، هم در

مصرف انرژی و هم در هزینه بدست آورد.

energyenergy.ir