

ارائه برنامه کوتاه مدت، میان مدت و بلند مدت برای پیاده سازی راهکارهای بهینه سازی مصرف انرژی در صنعت ریخته گری چدن و فولاد

مرضیه مرادی زانیانی^۱، الهه باغبان^۲، دارا فتوحی^۳، محمد اکبری سیار^۴، مونا وثوقی فرد^۵

۱- کارشناس ارشد انرژی، m.moradi@ce.iut.ac.ir

۲- دکترای مهندسی شیمی

۳- کارشناس ارشد مکانیک

۴- رئیس گروه مدیریت انرژی در صنایع، سازمان بهره وری انرژی ایران سابا

۵- کارشناس مدیریت انرژی در صنایع، سازمان بهره وری انرژی ایران سابا

چکیده

در این مقاله، با توجه به هزینه مورد نیاز برای اجرای راهکارها و همچنین زمان بازگشت سرمایه آن ها، برنامه کوتاه مدت، میان مدت و بلند مدت از راهکارهای عمومی بهینه سازی مصرف انرژی در صنعت ریخته گری کشور مورد توجه قرار می گیرد. با توجه به این که راهکارهای مدیریتی جزء راهکارهای بی هزینه می باشد و همچنین اجرای آن ها، برای اجرای سایر راهکارها ضروری می باشد، این راهکارها جزء راهکارهای کوتاه مدت قرار می گیرند. علاوه بر راهکارهای مدیریتی، کلیه راهکارهای بی هزینه فنی و همچنین راهکارهای فنی با هزینه بسیار کم جزء برنامه های کوتاه مدت به شمار می روند. راهکارهای میان مدت و بلند مدت نیز با توجه به پتانسیل های موجود در ریخته گری و مقدار تسهیلات مالی موجود در این صنایع، شامل راهکارهای کم هزینه و پرهزینه هستند.

۱- مقدمه

بر اساس مطالعات آماری انجام شده بر روی تعدادی از کارخانه های ریخته گری چدن و فولاد کشور، مشاهده شد که مصرف ویژه انرژی در صنعت ریخته گری کشور فاصله قابل توجهی با سایر کشورها و نیز معیار مصوب اداره استاندارد و تحقیقات صنعتی کشور دارد، بر این اساس ارائه یک برنامه مدون شامل راهکارهای بی هزینه، کم هزینه و پرهزینه، برای پیاده سازی راهکارهای بهینه سازی مصرف انرژی در این صنعت ضروری به نظر می رسد.

برنامه کوتاه مدت بهینه سازی مصرف انرژی راهکارهای بی هزینه (راهکارهای مدیریتی) و راهکارهای با هزینه اجرای اندک را در بر می گیرد. برنامه میان مدت، بیشتر راهکارهای کم هزینه را در بر می گیرد که نیاز به ایجاد تغییراتی در سیستم داشته اما هزینه آن کم می باشد. برنامه بلند مدت، راهکارهای پرهزینه ای را در بر می گیرد که نیاز به ایجاد تغییر اساسی در سیستم کارخانه (مانند تعویض کل کوره یا تغییر کلی در ساختار تجهیزات و ...) و استفاده از تجهیزات گران قیمت دارد.

۲- معرفی نقاط با پتانسیل بالا برای صرفه جویی در مصرف انرژی

تعیین نقاط با مصرف عمده انرژی، ضایعات و مخصوصاً تشخیص نقاط با پتانسیل بالا، همچنین تخمین پتانسیل صرفه جویی در مصرف انرژی در صنایع ریخته گری، برای ارائه برنامه کوتاه مدت، میان مدت و بلند مدت از راهکارهای بهینه سازی مصرف انرژی در صنعت ریخته گری کشور ضرورت دارد. در تشخیص نقاط با پتانسیل بالا برای بهینه سازی مصرف انرژی، به عنوان نمونه می توان از جدول ۱ استفاده نمود [۱].

جدول ۱- خلاصه اطلاعات موجود برای میزان مصرف و پتانسیلهای صرفه جویی انرژی در بخش های مختلف صنایع ریخته گری^۱

Equipment / process	Consumption of total plant energy, %	Area savings potential %	Overall plant savings %
Melting	59	15	9
Fans and pumps	6	35	2
Lighting	6	30	2
Motors	12	10	1
Air compressors	5	20	1
Miscellaneous	12	10	1
Total	100	-	16

بر اساس اطلاعات ارائه شده در این جدول، قسمت عمده مصرف انرژی مربوط به بخش ذوب است و با صرفه جویی در مصرف انرژی این بخش (۱۵٪) می توان مصرف انرژی کارخانجات ریخته گری را تا ۹ درصد کاهش داد. همچنین ملاحظه می شود که با توجه به پتانسیل بالای صرفه جویی در بخش فنها، پمپها و سیستم روشنایی (۳۵٪-۳۰٪)، با صرفه جویی در این بخش ها می توان مصرف انرژی کارخانجات ریخته گری را به میزان ۴ درصد کاهش داد.

۳- برنامه کوتاه مدت، میان مدت و بلند مدت برای پیاده سازی راهکارهای بهینه سازی مصرف انرژی در صنعت ریخته گری چدن و فولاد

راهکارهای کوتاه مدت، میان مدت و بلندمدت برای صنایع ریخته گری چدن و فولاد کشور در ادامه آورده شده اند.

۳-۱- برنامه کوتاه مدت بهینه سازی مصرف انرژی در صنعت ریخته گری چدن و فولاد

۳-۱-۱- استقرار استاندارد مدیریت انرژی در کارخانه های ریخته گری

- استاندارد مدیریت انرژی، استراتژی تنظیم و بهینه سازی مصرف انرژی با استفاده از سیستمها و روشهای موجود در جهت کاهش مستمر انرژی لازم به ازای واحد محصول است. به طور کلی مدیریت انرژی مؤثر باید:
- ✓ یک برنامه سیستماتیک برای ارزیابی پیوسته و کاهش هزینه های انرژی تدوین نماید.
 - ✓ به صورت پیش گستر باشد، نه فقط مربوط به هنگام افزایش هزینه های انرژی
 - ✓ به صورت یک پروژه بهبود وضعیت انرژی گذرا نباشد، بلکه یک فرآیند مستمر باشد.
 - ✓ به صورت مجزا باشد یا در کنار سایر برنامه های مدیریتی مثل مدیریت محیط زیست و مدیریت کیفیت

^۱ . CANMET (Canada Centre for Mineral and Energy Technology).

موفق ترین برنامه های مدیریت انرژی توسط تیمی از افراد بخشهای اداری، مدیریت، مهندسی، تعمیر و نگهداری، عملیات و مالی توسعه و ابقاء می شود و حتی برای سیستم مدیریت انرژی با ابعاد کوچک یا متوسط، بازنگری دوره ای با افراد دارای تخصصهای مذکور، ارزشمند است [۲].

۳-۱-۲- اندازه گیری و ارزیابی صحیح مصرف ویژه در کارخانه های ریخته گری

تا زمانیکه مصرف ویژه و تلفات انرژی مشخص نباشد، هرگونه پیش بینی و تحلیل راهکارهای قابل اجرا در صنعت ریخته گری ممکن نیست. با توجه به اینکه در یک واحد ریخته گری از حاملهای انرژی متفاوتی استفاده می شود، طبق معیارها و مشخصات تدوین شده توسط موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران رعایت نکات زیر الزامی است [۳]:

- ✓ علاوه بر کنتور برق اصلی، هریک از بخشهای ریخته گری باید کنتور فرعی جداگانه داشته باشد.
- ✓ تمام کوره های ذوب الکتریکی، باید به کنتور نشانگر مصرف و آمپر مجهز باشد.
- ✓ علاوه بر کنتور گاز اصلی، هریک از بخشهای ریخته گری باید به کنتور فرعی مجهز باشد.
- ✓ مصرف سایر حاملهای انرژی نیز باید برای هر بخش مشخص باشد.
- ✓ کنتورها و سایر وسایل اندازه گیری حداقل هر سه ماه یکبار، باید کنترل و کالیبره شوند.

۳-۱-۳- ارتقاء مهارتهای کارکنان صنایع ریخته گری از طریق آموزش

باید اطمینان حاصل شود که کلیه پرسنل و کارمندان مرتبط با صنایع ریخته گری در موارد زیر به آگاهی کامل رسیده اند:

- ✓ سیاستهای انرژی و برنامه های مدیریت انرژی در صنعت ریخته گری.
 - ✓ کلیه فعالیتهای مرتبط با کنترل و بهبود مصرف انرژی.
 - ✓ تأثیرات واقعی و بالقوه مرتبط با مصرف انرژی ناشی از فعالیتهای افراد
 - ✓ وظایف و مسئولیتهای در جهت کنترل و بهبود مصرف انرژی
 - ✓ مزایای بهبود راندمان انرژی.
- همچنین باید کلیه ابزارهای آموزشی لازم مرتبط با بهینه سازی مصرف انرژی شناسائی و تعیین شود.

۳-۱-۴- برنامه ریزی جهت کاهش تلفات زمان و جرم در بخشهای مختلف

تلفات صورت گرفته در بخشهای مختلف از یک طرف باعث افزایش مصرف فلز، (به دلیل نیاز به جبران تلفات) و از طرف دیگر باعث افزایش مصرف انرژی (برای ذوب فلز مورد نیاز برای جبران تلفات) می شود و لذا کاهش این تلفات باید در اهداف کوتاه مدت صنعت ریخته گری کشور قرار گیرد. اهداف کوتاه مدت مرتبط با کاهش تلفات به اختصار عبارتند از [۴]:

- ✓ کاهش تلفات در بخش ذوب
- ✓ کاهش تلفات پاششی
- ✓ کاهش تلفات راهگاه و تغذیه
- ✓ کاهش ضایعات
- ✓ کاهش توقفات قالبگیری
- ✓ اجتناب از سرعت پایین قالبگیری
- ✓ کاهش حجم قالبهای ضایعاتی

۳-۱-۵- برنامه ریزی جهت تعمیر و نگهداری منظم

یکی از مهمترین راهکارهای کاهش مصرف پیشگیرانه کم هزینه، اعمال برنامه تعمیر و نگهداری منظم برای تجهیزات موجود در کارخانه است. قسمت عمده ای از تلفات انرژی در تجهیزات به دلیل اشکالاتی است که به مرور زمان در عملکرد آن ها ایجاد شده و با اعمال برنامه تعمیر و نگهداری منظم به سادگی قابل رفع می باشد [۴].

در تدوین و پشتیبانی یک برنامه تعمیر و نگهداری باید:

- ✓ استراتژی و راهبرد تعمیر و نگهداری تعیین شود.
- ✓ تجهیزات مورد هدف مشخص شود.
- ✓ تعمیرات و نگهداری پیشگیرانه میسر گردد.
- ✓ پایش شرایط وضعیت تجهیزات و خط تولید مورد توجه قرار گیرد.
- ✓ حفظ و نگهداری از لوازم یدکی مناسب برای پشتیبانی از استراتژی و راهبرد تعمیر و نگهداری منظور شود.

۳-۱-۶- افزایش بازدهی الکتروموتورها با اجرای برنامه تعمیرات و نگهداری

مواردی که در نگهداری موتورهای الکتریکی دارای اهمیت بوده و در بازدیدهای برنامه ریزی شده بررسی می شوند، عبارتند از:

- ✓ تمیز بودن بدنه موتور و دریچه های سیستم تهویه
- ✓ روغنکاری قسمت های متحرک موتور
- ✓ محکم بودن اتصالات مکانیکی^۱
- ✓ بررسی تعادل ولتاژهای سه فاز
- ✓ تهیه چک لیست برای موتورهای بازدید شده

در جدول ۲ یک لیست پیشنهادی جهت زمانبندی بازرسی موتورها ارائه شده است که می تواند توسط کارخانجات مورد استفاده قرار گیرد [۵].

جدول ۲- لیست پیشنهادی برنامه زمانبندی بازمینی موتورها

شرح کار	پیشنهادهای	بازدید
هم راستایی اتصالات	بازدید محل اتصالات از نظر تجمع ذرات آهن و صدای غیرعادی	هفتگی
وضعیت موتور	بررسی میزان دما و لرزش موتور	هر سه ماه
تمیزکاری	پاک کردن بدنه موتورها به منظور بهبود فرآیند خنک سازی	هر سه ماه
روغنکاری	بررسی بلبرینگ ها از لحاظ روغنکاری طبق دستور سازنده	سالانه
بررسی محل نصب موتورها	محکم کردن موتورها در محل آنها	سالانه
بررسی ترمینال ورودی موتورها	محکم کردن اتصالات الکتریکی	سالانه
بررسی تعادل الکتریکی سه فاز	برطرف کردن مشکل عدم تعادل فازها در صورتی که از ۱٪ بیشتر باشد	سالانه
بررسی ولتاژ ورودی موتورها	بهبود ولتاژ ورودی در صورتیکه تفاوت زیادی با مقادیر طراحی داشته باشد	سالانه

۳-۱-۷- عایق بندی کوره ها، مبدل های حرارتی، دیگ بخار، لوله های بخار و آب گرم

مقداری از انرژی سیال داغ در کوره ها، مبدل های حرارتی، دیگ های بخار، لوله های بخار و آب گرم به صورت تشعشع و

^۱ Couplings

جایابی از پوسته به محیط اطراف منتقل می گردد، که با عایق بندی آن ها می توان مقدار این اتلاف را به طور قابل ملاحظه ای کاهش داد. همچنین عایق ها باید مرتباً بازبینی شده و در صورت نیاز تعویض شوند.

۳-۱-۸- تقارن الکتریکی سه فاز

در یک سیستم سه فاز متقارن، ولتاژ هر یک از فازها از لحاظ اندازه با یکدیگر برابر بوده و ۱۲۰ درجه اختلاف فاز دارند. فاکتورهای بسیاری در تعادل الکتریکی فازها تأثیرگذار می باشد، از جمله بارهای تکفاز، متفاوت بودن سائز کابل ها در هر یک از فازها، یا بروز خطای تک فاز. عدم تقارن فازها باعث افزایش تلفات سیستم توزیع و کاهش راندمان موتورهای می شود. علاوه بر این، بسیاری از موتورهای جدید حساسیت بیشتری نسبت به عدم تقارن ولتاژ دارند. مهمترین تأثیر این پدیده بر روی موتورهای الکتریکی، آسیب دیدن موتور به علت افزایش دما و در نتیجه شکست عایقی می باشد، چرا که عدم تقارن ولتاژ می تواند جریان های نامتقارنی ۶ تا ۱۰ برابر ولتاژ به وجود آورد [۶].

۳-۱-۹- بررسی ضریب بار

بهترین شکل مصرف زمانی رخ می دهد که ضریب بار با حفظ تولید، در حالی که انرژی مصرفی کاهش یافته است، به یک نزدیکتر باشد. طبق تعریف، ضریب بار برابر است با انرژی مصرفی در یک دوره زمانی به حاصلضرب ماکزیمم توان مصرفی (دیمانند خوانده شده در قبوض) در ساعات کارکرد دوره مذکور که از معادله (۱) محاسبه می شود [۷].

$$Load\ Factor = Energy\ Consumption / (Power\ Demand * Period) \quad (1)$$

۳-۱-۱۰- برنامه کوتاه مدت بهینه سازی مصرف انرژی کوره های فسیلی و الکتریکی

همان طور که گفته شد، قسمت عمده مصرف انرژی مربوط به بخش ذوب است و کوره ها بالاترین سهم مصرف در بخش ذوب را به خود اختصاص می دهند، بنابراین صرفه جویی در مصرف انرژی کوره های ذوب باعث کاهش قابل توجه در مصرف انرژی کارخانجات ریخته گری خواهد شد. راهکارهای بی هزینه برای بهینه سازی مصرف انرژی در کوره های الکتریکی و فسیلی مورد استفاده در صنعت ریخته گری در جدول ۳ آورده شده است [۸].

جدول ۳- برنامه کوتاه مدت بهینه سازی مصرف انرژی کوره های ریخته گری

نوع کوره	برنامه کوتاه مدت
کوره های الکتریکی	استفاده از کوره ها در بالاترین سطح توان
	انتخاب سطح مقطع مناسب الکتروود برای کوره های قوس
	بستن درپوش کوره های القایی
کوره های فسیلی	کاهش اتلاف حرارت از نشتی ها
	تنظیم میزان مکش

۳-۲- برنامه میان مدت بهینه سازی مصرف انرژی در صنعت ریخته گری چدن و فولاد

۳-۲-۱- استفاده از قراضه های تمیز

آلودگی های موجود در قراضه ها (شامل زنگ، روغن و ...) باعث به وجود آمدن سرباره و در نتیجه افزایش انرژی مصرفی می شود. بنابراین باید در کارخانجات ریخته گری حتی الامکان از قراضه های تمیز استفاده نمود و همچنین نگهداری قراضه ها باید

به گونه ای باشد که از زنگ زدن آن ها جلوگیری شود. قیمت قراضه های تمیز حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد بیشتر از قیمت قراضه های معمولی است. اما مقدار تلفات در صورت استفاده از قراضه های تمیز (با توجه به کاهش سرباره تولیدی) کمتر بوده و مصرف انرژی نیز در این حالت ۱۰ تا ۱۵٪ کاهش خواهد یافت [۹].

۳-۲-۲- استفاده از قراضه های فشرده یا قراضه های خرد شده

یکی از عواملی که تأثیر بسزایی در میزان مصرف انرژی کوره ها دارد، ابعاد و شکل قراضه های ورودی به کوره می باشد. هر چه ابعاد قراضه های شارژ شده به کوره کوچکتر باشد، فرآیند ذوب با انرژی کمتری انجام می شود. در واقع با وارد کردن قراضه خرد شده و قراضه های فشرده به داخل کوره، به دلیل زیاد شدن سطح تماس و امکان بستن درب کوره، سرعت ذوب بالا رفته، زمان ذوب و مصرف انرژی کاهش می یابد [۹].

۳-۲-۳- استفاده از قراضه های پیشگرم شده

پایین بودن دمای مواد شارژ شده به کوره باعث پایین آمدن عملکرد کوره می شود، در حالی که پیشگرمایش یا خشک کردن قراضه ها قبل از ورود به کوره باعث حذف رطوبت و مواد فرار از شارژ کوره و لذا جلوگیری از انفجار، کاهش تولید سرباره، کاهش انرژی مورد نیاز برای ذوب و افزایش ظرفیت ذوب کوره می شود. پیشگرمایش قراضه ها معمولاً توسط گاز طبیعی انجام می شود. همچنین می توان از گازهای احتراق کوره ذوب برای پیشگرمایش مواد ورودی استفاده نمود [۹].

۳-۲-۴- کاهش دمای مذاب

با توجه به اتلافات دمایی که هنگام انتقال مذاب و تخلیه آن به داخل قالب صورت می گیرد، باید دمای مذاب را کمی بالاتر برد تا بعد از این تلفات، دما به اندازه کافی بالا باشد. کاهش دمای مذاب تولیدی مستلزم کاهش تلفات حرارتی هنگام انتقال و تخلیه مذاب است که برای این منظور موارد زیر توصیه می شود [۹]:

- ✓ پیشگرمایش پاتیلها، برای جلوگیری از افت دمای مذاب
- ✓ استفاده از درپوش برای پاتیلها، برای جلوگیری از تلفات تابشی
- ✓ نزدیک بودن کوره ذوب با محل قالب گیری برای کاهش زمان انتقال

۳-۲-۵- کاهش تلفات داخلی الکتروموتور

یکی از عوامل افزایش تلفات در موتورهای الکتریکی، کم باری آنها در زمان کار می باشد که موجب کاهش ضریب توان و در نتیجه افزایش جریان می شود. همچنین موتورهای بزرگتر به علت استفاده از حجم بیشتر هسته های مغناطیسی تلفات آهن بزرگتری دارند که این به معنی افزایش تلفات ثابت موتور می باشد.

جهت بهینه سازی در چنین مواردی ۳ راه وجود دارد. یکی تعویض موتور که بیشتر در مواقعی صورت می پذیرد که موتور سوخته باشد؛ در این حالت می توان از موتورهای جدید با راندمان بالاتر استفاده نمود. راه دیگر استفاده از راه اندازی های نرم با متدهای بهینه سازی مصرف انرژی می باشد که معمولاً هزینه آن از تهیه الکتروموتور جدید نیز بیشتر بوده ولی فوایدی نظیر کنترل و حفاظت اضافی بر روی موتور را دارد. راه حل سوم استفاده از مبدل های ستاره مثلث و یا قرار دادن اتصال ستاره برای الکتروموتورهایی که به طور دائم در زیر ۴۰ درصد بار نامی کار می کنند [۱۰].

۳-۲-۶- بهبود عملکرد الکترو موتورهای و سیستم‌های مرتبط

اقدامات مختلفی برای صرفه جویی انرژی الکتریکی در الکتروموتورهای صنعتی، انجام می‌گیرد. برخی از این اقدامات مربوط به مرحله طراحی بوده که در هنگام خرید تجهیزات مورد توجه قرار می‌گیرند و برخی دیگر باید در هنگام بهره برداری به انجام برسند. اقداماتی نظیر تهویه مناسب، روغن کاری، بارگذاری مناسب و استفاده از درایوهای کنترل سرعت در هنگام بهره برداری باعث بهبود عملکرد تجهیزات الکتریکی موتوری خواهد شد [۱۱].

۳-۲-۷- بهبود کیفیت توان

کیفیت توان تأثیر زیادی در بهبود یا اتلاف انرژی دارد. از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [۱۲]:

- ✓ نامتعادلی ولتاژ
- ✓ افت ولتاژ
- ✓ سیستم ارتینگ ناقص
- ✓ هارمونیک

۳-۲-۸- ولتاژ مناسب شبکه

ولتاژ اعمال شده به ترمینال باید در حد امکان نزدیک به ولتاژ کار موتور باشد. تغییرات ولتاژ در حدود $\pm 5\%$ الی 10% مجاز می‌باشد. تغییر ولتاژ اعمال شده در الکتروموتورها اثرات زیر را به همراه خواهد داشت [۱۲].

- ✓ افت ضریب قدرت
- ✓ کاهش عمر مفید موتور
- ✓ کاهش راندمان موتور

با تغییر 5% در ولتاژ القایی، راندمان موتور بین ۲ تا ۴ درصد کاهش خواهد داشت و دمای موتور حدود ۱۵ درجه سانتیگراد افزایش خواهد یافت که این افزایش دما موجب افزایش دمای عایق و در نتیجه کاهش عمر الکتروموتور خواهد شد.

۳-۲-۹- استفاده از جبران کننده های خازنی

توان راکتیو، یکی از مهمترین عواملی است که در طراحی و بهره برداری شبکه‌های الکتریکی در نظر گرفته می‌شود. اهمیت ضریب توان نیز مربوط به مولفه راکتیو بار می‌باشد، از این رو بهبود ضریب توان تجهیزات الکتریکی، باعث تنظیم بهتر ولتاژ، تلفات کمتر در خطوط توزیع و کاهش هزینه‌ها خواهد شد.

استفاده از خازن به عنوان تولیدکننده بار راکتیو، به منظور تنظیم ولتاژ و اصلاح ضریب توان به علت ارزانی و سادگی عملکرد آن بسیار متداول است. استفاده از بانک‌های خازنی موازی در کارخانه باعث کاهش جریان خط، افزایش ضریب توان، افزایش ولتاژ مصرف کننده و کاهش تلفات خواهد شد. بانک خازنی موازی، جریان تصحیح کننده ثابتی در محل بار تولید می‌کند که تمام مولفه راکتیو یا بخشی از آن را تأمین خواهد کرد [۱۲].

۳-۲-۱۰- برنامه میان مدت بهینه سازی مصرف انرژی کوره های فسیلی و الکتریکی

راهکارهای کم هزینه برای بهینه سازی مصرف انرژی در کوره های الکتریکی و فسیلی مورد استفاده در صنعت ریخته گری در جدول ۴ آورده شده است [۸].

جدول ۴- برنامه میان مدت بهینه سازی مصرف انرژی کوره های ریخته گری

نوع کوره	برنامه میان مدت
کوره های الکتریکی	کاهش زمان ذوب
	تزریق اکسیژن کافی به مذاب جهت احتراق تکمیلی در کوره های قوس
	ایجاد سرباره پفکی در کوره های قوس
	استفاده از جبران کننده های خازنی
کوره های فسیلی	تنظیم شرایط احتراق کوره و نصب آنالایزر گازهای احتراق
	ارتقاء سیستم مانیتورینگ
	کنترل رطوبت هوای دمشی برای کوره های کوپل

۳-۳- برنامه بلند مدت

۳-۳-۱- استفاده از الکتروموتورهای پربازده

با انتخاب موتورهای الکتریکی پربازده مقادیر تلفات داخلی کمتر خواهند شد. این الکتروموتورها دارای طول هسته بیشتری هستند و در ساختمان هسته آنها از ورقهای با تلفات کم استفاده شده است. برای کاهش تلفات مس، سطح مقطع هادی بزرگتری برای آنها بکار رفته است و با توجه به اینکه در این الکتروموتورها حرارت کمتری تولید می شود، لذا اندازه فن خنک کاری، کوچکتر انتخاب شده که باعث کاهش تلفات مکانیکی آن خواهد شد.

موتورهای پربازده علاوه بر اینکه دارای کارایی بیش از ۲ درصد نسبت به موتورهای عادی هستند، جریان های بیشتری را نیز در هنگام راه اندازی تحمل و حرارت و نویز کمتری تولید می کنند. بررسی ها نشان می دهد که با توجه به راندمان موتورهای مختلف و قیمت موتورهای معمولی و راندمان بالا، استفاده از موتورهای راندمان بالا تا قدرت ۱۵ اسب بخار دارای صرفه اقتصادی بوده و با توان های بیشتر توجیه اقتصادی ندارد [۵].

۳-۳-۲- بازیافت حرارت در چیلر جذبی

سرمایش جذبی یکی از فناوریهای کلیدی در زمینه سرمایش و گرمایش ساختمانها می باشد چرا که این سیستم امکانات قابل توجهی را برای تبدیل گرمای هدر رفته به سرمایش در اختیار ما قرار می دهد. گرمای مورد نیاز برای کارکرد این چیلرها^۱ می تواند به طور غیر مستقیم از گرمای فرآیندهایی مانند بخار کم فشار یا آب داغ صنایع، گرمای باز گرفته شده از دود خروجی توربین های گازی و کوره ها و یا بخار کم فشار از خروجی توربین های بخار تأمین شود [۱۳].

۳-۳-۳- استفاده از پمپ های گردش^۲

تلاطم نداشتن و راکد بودن مذاب در کوره ها باعث متمرکز شدن حرارت در سطح مذاب و در نتیجه بالارفتن دمای آن و همچنین افزایش اکسیداسیون سطحی و تولید بیشتر سرباره می شود. اختلاف دمای به وجود آمده در مذاب راکد تا 100°C نیز می رسد که در صورت اختلاط مذاب این مقدار را می توان تا 4°C کاهش داد. با استفاده از این نوع پمپ ها می توان مذاب را به

^۱ Driving heat source

^۲ Mechanical circulating pumps

حرکت درآورد و در نتیجه اتلاف انرژی از سطح کاهش پیدا می کند. یکسان بودن دمای مذاب باعث افزایش نرخ ذوب، کاهش زمان ذوب، بالا بردن کیفیت محصول و کاهش مصرف انرژی می شود. به علاوه، عمر نسوزها نیز با این کار افزایش می یابد، زیرا بیشتر حرارت به فلز منتقل شده و مقدار کمتری از آن جذب نسوزها می شود [۱۳].

۳-۳-۴- استفاده از تکنولوژی های نوین ذوب

با توجه به اهمیت روزافزون انرژی و کمبود ذخایر انرژی فسیلی، تکنولوژی های جدید ذیل برای ذوب فلز در صنایع ریخته گری در دست تحقیق می باشند [۱۳].

(۱) ذوب با استفاده از اشعه الکترونی^۱ (EBM)

این کوره ها از دستگاهی به نام تفنگ الکترونی^۲ برای ذوب استفاده می کنند. در این فرآیند قطعات فلز متراکم توسط اشعه های پرتوان الکترونی، به صورت لایه به لایه از پودر فلز ساخته می شود. تکنولوژی ذوب با اشعه های الکترونی با به کار بردن انرژی بالا، ظرفیت بالایی در ذوب و تولید محصولات ایجاد می کند. قطعات ساخته شده بدین روش نسبت به سایر قطعات ریخته گری از ویژگی های بهتری برخوردار بوده و مشابه قطعات شکل پذیر، قابلیت چکش خواری دارند.

(۲) هیترهای شناور^۳

این هیترها هنوز قابلیت ذوب فلزات با دمای ذوب بالاتر از روی را دارا نیستند. پوشش سرامیکی محافظ این هیترها باعث کاهش راندمان ذوب می شود. تحقیقات زیادی برای استفاده از این هیترها در صنایع ریخته گری در حال انجام است. برای این کار سعی شده که فلاکس حرارتی این هیترها را افزایش دهند تا قابلیت ذوب فلزات با دمای ذوب بالا را نیز دارا شوند.

(۳) گرمایش مادون قرمز^۴ (IR)

گرمایش مادون قرمز، یک روش سریع برای گرمایش بیلت هاست. در این تکنولوژی از لامپ های هالوژن تنگستن استفاده می شود که می توانند در دمای معمولی روشن شده و در عرض کمتر از یک ثانیه به ماکزیمم توان خود برسند. این گرمکن ها می توانند فلاکس حرارتی به بزرگی ۲۰ تا ۴۰ W/cm² را برآورده کنند. این روش منجر به صرفه جویی قابل ملاحظه ای در زمان و هزینه انرژی مصرفی می شود. همچنین مقدار ضایعات در این روش به علت توزیع دمای یکنواخت توسط گرمایش مادون قرمز، کاهش می یابد.

(۴) ذوب توسط امواج ماکروویو^۵

نفوذ امواج ماکروویو به داخل فلز ذوب شونده بسیار زیاد است، در حالی که در روش های قبلی گرما ابتدا به سطح خارجی و سپس به سطح داخلی فلز منتقل می شود. بنابراین سرعت انتقال حرارت در این روش بسیار بیشتر از روش های سنتی است که این مسئله باعث صرفه جویی در زمان و انرژی مصرفی می شود. در این روش، شارژ فلزی ابتدا وارد یک بوتله سرامیکی درباز می شود. این بوتله در یک محفظه عایق قرار دارد که کاملاً آن را می پوشاند. دیواره های گرم شده این بوتله، محتوای فلز بوتله را با استفاده از انتقال حرارت تشعشعی، هدایتی و جابجایی گرم می کنند. محفظه عایق اطراف این بوتله باعث افزایش راندمان انرژی

¹ Electron beam melting (EBM)

² Electron gun

³ Immersion heater

⁴ Infrared heating

⁵ Microwave Melting

سیستم ماکروویو می شود. این روش می تواند هزینه های ذوب را تا ۳۰٪ کاهش دهد.

۵) گرمایش پلاسما^۱

پلاسما به مجموع گازهای ذرات شارژ شده الکتریکی، مانند الکترون ها و پروتون ها گفته می شود. این ذرات حاوی انرژی بالایی هستند. وقتی جریان یونیزه شده پلاسما با سطح فلز تماس پیدا کند، انرژی آزاد می کند و فلز ذوب می شود. ثابت شده است که فرآیند ذوب پلاسما از لحاظ انرژی مؤثرتر از روش های قدیمی بوده و می تواند درجه حرارت را بسیار سریع تر بالا ببرد. با توجه به این انتقال حرارت سریع، فرآیند ذوب نیز بسیار سریع خواهد بود.

۶) کوره های خورشیدی^۲

متداولترین سیستم یک کوره خورشیدی متشکل از دو آینه تخت و کروی می باشد. نور خورشید به آینه تخت رسیده و توسط این آینه به آینه کروی بازتابیده می شود. در واقع انرژی خورشید از طریق این آینه ها به یک گیرنده^۳ می رسد. این گیرنده انرژی خورشیدی را ذخیره کرده و به تجهیز مورد نظر انتقال می دهد. طبق قوانین اپتیک هر گاه یک دسته پرتوی موازی محور آینه با آن برخورد نماید، در محل کانون متمرکز می شوند و به این ترتیب انرژی حرارتی گسترده خورشید در یک نقطه جمع می شود که این نقطه به دماهای بالایی می رسد. این تکنولوژی می تواند گرمایی به بزرگی ۱۰۰۰ kWh را تأمین کند.

۳-۲-۱۰- برنامه بلند مدت بهینه سازی مصرف انرژی کوره های فسیلی و الکتریکی

راهکارهای پرهزینه برای بهینه سازی مصرف انرژی در کوره های الکتریکی و فسیلی مورد استفاده در صنعت ریخته گری در جدول ۵ آورده شده است [۸].

جدول ۵- برنامه بلند مدت بهینه سازی مصرف انرژی کوره های ریخته گری

نوع کوره	برنامه بلند مدت
کوره های الکتریکی	بکارگیری یک سیستم اتوماسیون دقیق و جامع برای کوره های قوس
	استفاده از SVC در کوره های قوس
	جایگزین نمودن کوره های القایی فرکانس پایین با کوره های القایی فرکانس متوسط و متغیر
کوره های فسیلی	استفاده از حرارت گازهای احتراق در رکوپراتور
	استفاده از هوای دمشی پیشگرم شده برای کوره های کوپل
	استفاده از هوای دمشی غنی از اکسیژن برای کوره های کوپل
	استفاده از هوای دمشی ثانویه برای کوره های کوپل
	استفاده از سوخت های جایگزین به جای کک برای کوره های کوپل
	استفاده از مشعل های اکسی- سوخت در کوره های دوار

۴- بحث و نتیجه گیری

¹ Plasma heating

² Solar furnace

³ Receiver

در صنایع ریخته گری به عنوان یکی از صنایع انرژی بر، دسترسی به یک برنامه کوتاه مدت، میان مدت و بلند مدت برای پیاده سازی راهکارهای کاهش مصرف انرژی ضرورت دارد. با استفاده از برنامه ارائه شده در این تحقیق، اولویت راهکارهای قابل اجرا در صنعت ریخته گری کشور مورد توجه قرار گرفته است.

۵- مراجع

1. Energy Center of Wisconsin; " Wisconsin Metalcasting Roadmap"; 2000
2. Jim Bettinghaus, P.E., Thomas P. Kunes, P.E., John Nicol, P.E., Doug Presny, P.E., Craig Schepp, Nate Altfeather; " Metal Casting Industry Energy Best Practice Guidebook" ; Focus on Energy, 2006
۳. مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، " معیارها و مشخصات فنی مصرف انرژی حرارتی و الکتریکی در صنایع ریخته گری چدن- روش قالب ماسه ای " ICS:29، چاپ اول ۱۳۸۸
4. GEMCO, International Financial Corporation, "Resource Efficiency in the Ferrous Foundry Industry in Russia : Benchmarking Study", 2011.
5. Determining electric motor load and efficiency, motor.doe.org
6. Voltage Unbalance and Motors: pacific gas and electric company
۷. مرجع کاربردی مدیریت انرژی، تدوین مرکز مطالعات تکنولوژی دانشگاه صنعتی شریف، گروه نفت و انرژی با همکاری شرکت توسعه بهره وری انرژی فناوران، ناشر دانشگاه صنعتی شریف، مرکز مطالعات تکنولوژی ۱۳۸۵
8. EIPPCB , "Integrated Pollution Prevention and Control, Reference Document on Best Available Techniques in the Smitheries and Foundries Industry", May 2005.
9. The Energy conservation Center Japan, "Seminar On Energy Conservation In Iron Casting Industry", 1998.
10. Focus on optimizing life time performance on motors "Relof Timmer, Mikko .[Helinko, Ritva Eskola
11. Power factor correction and harmonic filtering in electrical plants : Technical Application Papers – ABB
۱۲. روشهای مدیریت و صرفه جویی انرژی الکتریکی : گروه مولف حسین بهرامی، محمدعلی شفیعی زاده، محمودرضا قهارپور و ..
13. BCS Incorporated, "Advanced Melting Technologies: Energy Saving Concepts and Opportunities for the Metal Casting Industry", Prepared for ITP Metal Casting, November 2005.