

بررسی و تحلیل جامع یک مجتمع مس و ارائه راهکارهای بهینه سازی انرژی آن

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱۶	فصل اول: ارائه راهکارهای کاهش مصرف انرژی الکتریکی در یک مجتمع مس.....
۱۶	۱-۱. مقدمه.....
۱۷	۲-۱. کلاس بندی الکترو موتورهای کارخانه بر اساس میزان بار گذاری.....
۱۷	۳-۱. راهکارهای کاهش مصرف پیشگیرانه بدون هزینه.....
۱۷	۱-۳-۱. بهبود عملکرد الکتروموتورها و سیستمهای مرتبط.....
۱۸	۲-۳-۱. استفاده از تسمه های COGGED - BELT و SYNCHRONUS-BELT بجای تسمه های FLAT-BELT و V-BELT در الکتروموتورها.....
۲۳	۳-۳-۱. راه حل های عملی جهت کاهش اثرات نامتعادلی ولتاژ.....
۲۴	۴-۳-۱. ضریب قدرت.....
۲۵	۵-۳-۱. افزایش بازدهی الکتروموتورها با اجرای برنامه تعمیرات و نگهداری.....
۲۷	۶-۳-۱. استفاده از روش هایی به منظور کاهش تلفات داخلی الکتروموتور.....
۲۸	۴-۱. تعیین میزان انرژی الکتریکی، تعیین تعرفه و انتخاب گزینه مناسب (راهکارهای کم هزینه، مدیریتی و ترویجی).....
۲۸	۱-۴-۱. برنامه ریزی مدیریت بار با هدف کاهش هزینه های انرژی و دستیابی به مقادیر بهینه مصرف انرژی:.....
۲۹	۵-۱. بررسی شبکه روشنایی کارخانه و راهکارهای کاهش مصرف انرژی الکتریکی در بخش روشنایی.....
۳۰	۶-۱. ارائه راهکارهای کاهش مصرف در بخش روشنایی ساختمان های اداری.....
۳۰	۱-۶-۱. استفاده از لامپ های فلورسنت قطر کم (T8).....
۳۱	۲-۶-۱. استفاده از بالاست های الکترونیکی.....
۳۱	۳-۶-۱. ارائه سیستم تعمیر و نگهداری مدون.....
۳۳	۷-۱. راهکارهای پرهزینه جهت کاهش مصرف انرژی الکتریکی.....
۳۳	۱-۷-۱. استفاده از موتورهای پربازده.....
۳۴	۲-۷-۱. استفاده از درایو کنترل دور (VSD) بر روی موتورها.....
۳۵	۱-۷-۲. نصب سیستم کنترل و درایو کنترل سرعت (VSD) بر روی دمنده های سیستم فلو تاسیون واحدهای تغلیظ جدید و قدیم:.....
۳۵	۳-۷-۲. نصب سیستم کنترل و درایو کنترل سرعت (VSD) بر روی کمپرسور مربوط به sootblower های واحد ذوب:.....
۳۶	فصل دوم: بررسی وضعیت کوره های مجتمع مس مورد بررسی.....
۳۷	۱-۲. مقدمه ای بر کوره ها.....
۳۷	۱-۱-۱. کاربرد کوره ها در صنایع.....
۳۷	۲-۱-۲. طبقه بندی انواع کوره ها.....
۳۸	۲-۲. توضیحاتی در مورد کوره ها و عملکرد آنها.....
۳۸	۱-۲-۲. انتقال حرارت در کوره ها.....
۳۹	۲-۲-۲. لزوم مدیریت انرژی در کوره ها.....

۳۹	۳-۲-۲. کوره ایده‌ال (از دیدگاه انرژی).....
۳۹	۴-۲-۲. ارزیابی عملکرد کوره.....
۴۱	۵-۲-۲. شناسایی و برطرف کردن نشتیهای کوره.....
۴۱	۶-۲-۲. فاکتورهای مؤثر در تضعیف عملکرد کوره.....
۴۲	۷-۲-۲. پارامترهای تعیین کارایی کوره.....
۴۲	۸-۲-۲. پارامترهای موردنیاز برای بالانس انرژی و بررسی کارایی کوره‌ها.....
۴۳	۹-۲-۲. توصیه‌هایی برای بهره‌برداری مناسب و عملکرد بهینه سیستم.....
۴۴	۱۰-۲-۲. عوامل مؤثر بر مصرف انرژی کوره‌های ذوب.....
۴۴	۱۱-۲-۲. محاسبات بازده کوره.....
۵۰	۱۲-۲-۲. فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی در کوره‌ها.....
۵۰	۱-۱۲-۲-۲. کاهش تلفات حرارتی گازهای خروجی دودکش.....
۵۶	۲-۱۲-۲-۲. کنترل و مونیتورینگ.....
۵۷	۳-۱۲-۲-۲. اصلاح نحوه توزیع حرارت.....
۵۸	۴-۱۲-۲-۲. بهره‌برداری در درجه حرارت مطلوب.....
۵۸	۵-۱۲-۲-۲. استفاده از ظرفیت بهینه کوره.....
۵۸	۶-۱۲-۲-۲. کاهش تلفات حرارتی منافذ.....
۵۹	۷-۱۲-۲-۲. به حداقل رساندن تلفات حرارتی دیواره‌ها.....
۶۳	۳-۲. کوره‌های موجود در مجتمع مس ممیزی شده.....
۶۳	۱-۳-۲. کوره خشک‌کن.....
۶۳	۲-۳-۲. کوره ذوب ریورب.....
۶۳	۳-۳-۲. کوره کنورتور.....
۶۳	۴-۳-۲. کوره تصفیه آندی.....
۶۴	۴-۲. تحلیل شرایط تولید و کارایی کوره خشک‌کن مجتمع مس ممیزی شده.....
۶۴	۱-۴-۲. اطلاعات موردنیاز برای بررسی عملکرد کوره خشک‌کن.....
۶۶	۲-۴-۲. بررسی و تحلیل شرایط احتراق و گازهای داغ خروجی از دودکش کوره خشک‌کن.....
۶۶	۱-۲-۴-۲. بررسی شرایط احتراق کوره خشک‌کن.....
۶۷	۲-۲-۴-۲. تلفات ناشی از بالا بودن دمای دود خروجی از کوره خشک‌کن.....
۶۸	۳-۴-۲. تعیین میزان اتلاف انرژی از سطوح بدون عایق.....
۶۸	۴-۴-۲. ارائه راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی حرارتی به همراه تحلیل فنی و اقتصادی.....
۶۸	۱-۴-۴-۲. راهکارهای کم‌هزینه.....
۶۹	۲-۴-۴-۲. راهکارهای با هزینه متوسط.....
۶۹	۵-۲. تحلیل شرایط تولید و کارایی کوره‌های ریورب مجتمع مس ممیزی شده.....
۶۹	۱-۵-۲. اطلاعات موردنیاز برای بررسی عملکرد کوره‌های ریورب.....
۷۳	۲-۵-۲. تعیین شدت مصرف انرژی کوره‌های ریورب و مشخص کردن عملکرد و کارایی آنها.....
۷۴	۳-۵-۲. بررسی و تحلیل شرایط احتراق و گازهای داغ خروجی از دودکش کوره‌های ریورب.....
۷۵	۱-۳-۵-۲. بررسی شرایط احتراق کوره‌های ریورب.....
۷۷	۲-۳-۵-۲. تلفات ناشی از بالا بودن دمای دود خروجی از کوره‌های ریورب.....
۷۷	۴-۵-۲. تعیین میزان اتلاف انرژی از سطوح بدون عایق.....

۷۹.....	۵-۵-۲. ارائه راهکارهای بهینه سازی مصرف انرژی حرارتی به همراه تحلیل فنی و اقتصادی.....
۷۹.....	۵-۵-۲-۱. راهکارهای کم هزینه.....
۷۹.....	۵-۵-۲-۲. راهکارهای با هزینه متوسط.....
۸۰.....	فصل سوم : بررسی وضعیت نیروگاه های مجتمع مس ممیزی شده در گزارش.....
۸۰.....	۳-۱. تحلیل عملکرد نیروگاه حرارتی مجتمع مس.....
۸۱.....	۳-۱-۱. خلاصه نتایج مدلسازی نیروگاه حرارتی مجتمع مس ممیزی شده با استفاده از نرم افزار ترموفلو.....
۸۴.....	۳-۱-۲. راندمان بویلر بازیافت حرارت.....
۸۵.....	۳-۱-۳. محاسبه (E) EFFECTIVENESS بویلر بازیافت حرارت.....
۸۶.....	۳-۱-۴. راندمان ایزنتروپیک توربین بخار.....
۹۰.....	۳-۱-۵. فرصتهای بازیافت انرژی در بویلرهای بازیافت حرارت.....
۹۰.....	۳-۱-۵-۱. پیش گرم کردن آب تغذیه با استفاده از اکونومایزر.....
۹۰.....	۳-۱-۵-۲. پیش گرم کردن هوای احتراق.....
۹۱.....	۳-۱-۵-۳. بازیافت حرارت از Blow down.....
۹۲.....	۳-۱-۵-۴. کاهش رسوبات و تلفات ناشی از آن.....
۹۳.....	۳-۱-۵-۵. کنترل دور متغیر فن ها، بلورها و پمپ ها.....
۹۴.....	۳-۱-۵-۶. تأثیر بار بویلر بر راندمان.....
۹۵.....	۳-۲. تحلیل عملکرد نیروگاه گازی مجتمع مس ممیزی شده در گزارش.....
۹۶.....	۳-۲-۱. ارائه راهکارهای کاهش مصرف انرژی در نیروگاه گازی مجتمع مس ممیزی شده.....
۹۶.....	۳-۲-۱-۱. تعمیر و نگهداری.....
۹۷.....	۳-۲-۱-۲. ارتقاء سیستم پایش.....
۹۸.....	۳-۲-۱-۳. بازیابی حرارت از گازهای خروجی از دودکش توربین های گازی بهای انرژی و کیفیت منبع گرمایی.....
۱۰۱.....	۳-۲-۲. شناسایی عوامل تأثیر گذار بر عملکرد سیکل و بررسی تأثیر آنها.....
۱۰۱.....	۳-۲-۲-۱. بررسی تأثیر رطوبت هوا بر عملکرد سیکل.....
۱۰۲.....	۳-۲-۲-۲. بررسی تأثیر دمای هوا بر عملکرد سیکل.....
۱۰۴.....	۳-۲-۲-۳. بررسی تأثیر افت فشار در ورودی هوا، بر عملکرد سیکل گازی.....
۱۰۶.....	۳-۲-۲-۴. بررسی تأثیر میزان بار (ضریب بار)، بر عملکرد سیکل.....
۱۰۷.....	۳-۲-۲-۵. بررسی تأثیر فشار محیط بر عملکرد سیکل.....
۱۱۰.....	فصل چهارم : بررسی وضعیت کمپرسورهای مجتمع مس ممیزی شده.....
۱۱۰.....	۴-۱. آشنایی با کمپرسورها و روش تحلیل آنها.....
۱۱۰.....	۴-۱-۱. تقسیم بندی کمپرسورها.....
۱۱۳.....	۴-۱-۲. اهمیت بررسی مصرف انرژی در کمپرسورها.....
۱۱۴.....	۴-۱-۳. تعاریف راندمان.....
۱۱۴.....	۴-۱-۳-۱. راندمان آیزوترمال.....
۱۱۴.....	۴-۱-۳-۲. راندمان آیزنتروپیک.....
۱۱۵.....	۴-۱-۳-۳. راندمان متراکم سازی (مکانیکی).....
۱۱۵.....	۴-۱-۳-۴. بررسی انواع تعاریف ارائه شده برای راندمان.....

۱۱۷.....	۲-۴. کمپرسورهای موجود در مجتمع مس ممیزی شده
۱۱۷.....	۳-۴. تحلیل شرایط تولید و کارایی کمپرسورهای هوای فشرده مجتمع مس ممیزی شده در گزارش
۱۱۸.....	۲-۳-۴. تحلیل شرایط تولید و کارایی کمپرسورها
۱۱۸.....	۱-۲-۳-۴. اطلاعات عملیاتی کمپرسورها
۱۱۹.....	۲-۲-۳-۴. تعیین شدت مصرف انرژی کمپرسور
۱۲۰.....	۳-۲-۳-۴. شبیه سازی کمپرسور مجتمع مس ممیزی شده در گزارش حاضر
۱۲۳.....	۳-۳-۴. تحلیل عملکرد کمپرسورهای مجتمع مس ممیزی شده در گزارش حاضر
۱۲۴.....	۴-۳-۴. ارائه راهکارهای بهینه سازی مصرف انرژی
۱۲۶.....	۱-۴-۳-۴. عوامل پایین آورنده بازده سیستم هوای فشرده
۱۲۹.....	۲-۴-۳-۴. فرصتهای صرفه جویی در سیستم هوای فشرده
۱۴۳.....	فصل پنجم: بررسی راهکارهای کاهش هزینه مربوط به پمپها و فنها
۱۴۳.....	۱-۵. مقدمه
۱۴۳.....	۲-۵. عوامل مؤثر بر کاهش هزینه سیستم های پمپاژ
۱۴۳.....	۱-۲-۵. انتخاب صحیح پمپ با توجه به نیاز سیستم
۱۴۴.....	۳-۵. فرصتهای صرفه جویی انرژی و هزینه
۱۴۵.....	۱-۳-۵. تعمیر و نگهداری سیستم های پمپاژ
۱۴۶.....	۲-۳-۵. تغییر و اصلاح پمپها
۱۴۷.....	۱-۲-۳-۵. انتخاب صحیح پمپ
۱۴۷.....	۲-۲-۳-۵. تغییر سایز پروانه
۱۴۹.....	۳-۲-۳-۵. انتخاب پمپ کوچکتر
۱۵۰.....	۴-۲-۳-۵. استفاده از موتورهای با راندمان بالا
۱۵۰.....	۵-۲-۳-۵. برآورده ساختن نیازهای متغیر با استفاده از پمپهای موازی
۱۵۱.....	۶-۲-۳-۵. حذف شیر کنترل دبی
۱۵۱.....	۷-۲-۳-۵. حذف کنترل کنارگذر
۱۵۱.....	۸-۲-۳-۵. استفاده از پوشش داخلی مناسب
۱۵۳.....	۹-۲-۳-۵. اصلاح عملکرد موتورها و پمپها
۱۵۶.....	۳-۳-۵. مونیتورینگ
۱۵۶.....	۱-۳-۳-۵. تست راندمان پمپها
۱۵۷.....	۲-۳-۳-۵. مونیتورینگ پمپها
۱۵۷.....	۳-۳-۳-۵. مونیتورینگ سیستم
۱۵۸.....	۴-۵. محاسبات مربوط به پمپهای مجتمع مس ممیزی شده در گزارش حاضر
۱۵۸.....	۱-۴-۵. پمپ آب تغذیه بویلرهای بازیافت حرارت واحد یک نیروگاه حرارتی
۱۵۹.....	۲-۴-۵. پمپ آب کندانس نیروگاه (CONDENSING WATER PUMP)
۱۶۱.....	۳-۴-۵. پمپ سیرکولاسیون آب کندانس
۱۶۲.....	۴-۴-۵. پمپهای آبرسانی
۱۶۳.....	۵-۴-۵. ایستگاه های پمپاژ سد باطله

۱۶۸	۵-۵. بررسی شرایط موجود دمنده‌های کارخانه مس.....
۱۶۸	۵-۵-۱. دمنده کوره کنورتور.....
۱۷۰	۵-۵-۲. دمنده ریورب.....
۱۷۲	فصل ششم: تحلیل پارامترهای مؤثر بر تولید و برنامه جامع بهینه‌سازی خط تولید.....
۱۷۲	۶-۱. تحلیل پارامترهای مؤثر بر تولید و راهکارهای کاهش مصرف انرژی در واحدهای فرآیندی تولید مس.....
	۶-۲. بررسی و تحلیل اطاعات بدست آمده با رویکرد تدوین استاندارد با استفاده از روشهای علمی و آماری و در نظر گرفتن BEST PRACTICE و متوسط شاخص در هر کارخانه.....
۱۷۹	
۱۹۰	فصل هفتم: ارائه روشهای گسترش فرهنگ بهینه‌سازی مصرف انرژی در سطح مدیریت و کارکنان.....
۱۹۰	۷-۱. مقدمه.....
۱۹۰	۷-۲. آموزش مدیریت انرژی.....
۱۹۰	۷-۲-۱. محدوده فعالیت‌های حوزه مدیریت انرژی.....
۱۹۱	۷-۲-۲. محدوده فعالیت‌های ممیزی انرژی.....
۱۹۲	۷-۲-۳. رابطه بین ممیزی انرژی و مدیریت انرژی.....
۱۹۲	۷-۲-۴. مراحل ممیزی انرژی.....
۱۹۲	۷-۲-۴-۱. شروع ممیزی انرژی.....
۱۹۳	۷-۲-۴-۲. انجام کار ممیزی انرژی.....
۱۹۳	۷-۲-۴-۳. خاتمه کار ممیزی انرژی.....
۱۹۳	۷-۲-۵. انواع سطوح ممیزی انرژی.....
۱۹۳	۷-۲-۵-۱. ممیزی انرژی مقدماتی.....
۱۹۳	۷-۲-۵-۲. ممیزی انرژی جامع (مفصل).....
۱۹۴	۷-۲-۶. روشهای اجرایی در انجام ممیزی انرژی مقدماتی.....
۱۹۴	۷-۲-۶-۱. مقدمات.....
۱۹۴	۷-۲-۶-۲. پس از ممیزی.....
۱۹۴	۷-۲-۷. روشهای اجرایی ممیزی انرژی جامع (مفصل).....
۱۹۴	۷-۲-۷-۱. مقدمات.....
۱۹۴	۷-۲-۷-۲. پیش زمینه‌ها.....
۱۹۵	۷-۲-۷-۳. پس از ممیزی.....
۱۹۵	۷-۲-۸. نقش اندازه‌گیری در ممیزی انرژی.....
۱۹۶	۷-۲-۸-۱. اندازه‌گیری‌های مربوط به مصرف انرژی.....
۱۹۶	۷-۲-۸-۲. اندازه‌گیری‌های لازم جهت کارآیی مصرف انرژی.....
۱۹۶	۷-۲-۸-۳. اندازه‌گیری‌های مربوط به عملکرد و تعمیرات و نگهداری.....
۱۹۷	۷-۲-۹. وسائل متداول (رایج) برای اندازه‌گیری‌های انرژی.....
۱۹۷	۷-۲-۱۰. ارائه گزارش نهایی.....
۱۹۸	۷-۲-۱۱. ارائه برخی از راهکارهای مهم جهت صرفه‌جویی انرژی در فرآیندها و تجهیزات.....
۲۰۱	۷-۳. تشکیل واحد مدیریت انرژی و معرفی اعضا.....
۲۰۴	۷-۴. شرح وظایف و تدوین اهداف کمیته انرژی.....

۵-۷. شرح وظایف مدیر انرژی	۲۰۸
فصل هشتم : مبانی استقرار واحد مدیریت انرژی در صنایع مس ایران	۲۱۰
۱-۸. مقدمه	۲۱۰
۲-۸. مفاهیم مدیریت انرژی	۲۱۰
۱-۲-۸. اهداف واحد مدیریت انرژی	۲۱۱
۲-۲-۸. ماتریس مدیریت انرژی و جایگاه آن در برنامه ریزی	۲۱۱
۳-۲-۸. مراحل اجرای مدیریت مناسب انرژی	۲۱۴
۳-۸. استقرار واحد مدیریت انرژی در صنایع مس ایران	۲۱۵
۱-۳-۸. ضرورت تشکیل واحد مدیریت انرژی	۲۱۵
۲-۳-۸. مدیریت انرژی و ساختار آن در صنایع مس ایران	۲۱۵
۳-۳-۸. ساختار پیشنهادی واحد مدیریت انرژی صنایع مس ایران	۲۱۶
۲-۳-۳-۸. شرح وظایف فعالیت های واحد مدیریت انرژی کارخانه های صنایع مس	۲۱۶
۳-۳-۳-۸. شرح وظایف رئیس واحد مدیریت انرژی	۲۱۸
۴-۳-۳-۸. شرح وظایف گروه ممیزی و بهینه سازی انرژی	۲۱۸
۵-۳-۳-۸. شرح وظایف گروه ارزیابی اقتصادی پروژه ها	۲۱۸
۴-۳-۸. مفهوم ممیزی انرژی	۲۱۸
۵-۳-۸. روش انجام پروژه های صرفه جویی انرژی	۲۲۰

فهرست اشکال

صفحه	عنوان
۱۹	شکل ۱-۱. نمونه ای از تسمه های FLAT-BELT و COGGED
۲۰	شکل ۲-۱. منحنی مصرف توان یک موتور با دو نوع تسمه FLAT-BELT و COGGED در بارهای مختلف
۲۱	شکل ۳-۱. اثرات تغییرات ولتاژ بر عملکرد الکتروموتورها
۲۲	شکل ۴-۱. ارتباط تغییرات مربوط به افزایش دما با عمر عایق
۲۴	شکل ۵-۱. افزایش دما با توجه به ولتاژهای نامتعادل
۲۴	شکل ۶-۱. تغییرات ضریب قدرت متناسب با بار موتور
۲۷	شکل ۷-۱. دلایل انتخاب نامناسب ساینز موتورها
۲۸	شکل ۸-۱. صرفه جویی انرژی به وسیله تغییر اتصالات در یک موتور ۷/۵ کیلووات
۳۲	شکل ۹-۱. تأثیر شستشوی چراغها بر روی افت نور چراغها
۳۳	شکل ۱۰-۱. منحنی بازده موتورهای الکتریکی
۳۵	شکل ۱۱-۱. مصرف انرژی الکتروموتور فن ها و پمپ ها در سرعت های مختلف موتور
۳۷	شکل ۱-۲. نمایی از داخل و خارج یک کوره
۳۸	شکل ۲-۲. طبقه بندی انواع کوره
۳۹	شکل ۳-۲. نحوه انتقال حرارت در یک کوره
۴۰	شکل ۴-۲. نحوه عملکرد یک کوره و راههای اتلاف انرژی در کوره
۴۸	شکل ۵-۲. ضریب تعیین میزان حرارت منتشر شده از منافذ نسبت به حرارت منتشر شده از جسم سیاه کامل
۴۸	شکل ۶-۲. نمودار تعیین تشعشع جسم سیاه در یک درجه حرارت معین
۴۹	شکل ۷-۲. میزان حرارت آزاد شده در درجه حرارتهای مختلف
۵۱	شکل ۸-۲. اثر کنترل هوای اضافی در راندمان کوره
۵۱	شکل ۹-۲. میزان اتلاف حرارت از طریق گازهای خروجی
۵۲	شکل ۱۰-۲. تغییرات راندمان حرارتی بر حسب دما و درصد دی اکسید کربن در گازهای خروجی از دودکش
۵۳	شکل ۱۱-۲. تغییرات راندمان حرارتی بر حسب درصد هوای اضافی برای سوخت مازوت
۵۳	شکل ۱۲-۲. تأثیر فشار کوره بر نفوذ هوا
۵۵	شکل ۱۳-۲. میزان صرفه جویی سوخت با استفاده از پیش گرم کردن هوای احتراق برای سوخت مازوت
۵۶	شکل ۱۴-۲. میزان صرفه جویی سوخت با استفاده از پیش گرم کردن هوای احتراق برای سوخت گاز طبیعی
۵۶	شکل ۱۵-۲. شمایکی از بازیابی حرارت از دودکش کوره

شکل ۲-۱۶. اصلاح نحوه توزیع درجه حرارت در کوره.....	۵۷
شکل ۲-۱۷. اتلاف حرارت تشعشی از منافذ کوره.....	۵۹
شکل ۲-۱۸. اتلاف حرارت تشعشی از دیواره‌های کوره.....	۶۰
شکل ۲-۱۹. کاربرد ترکیبی انواع مختلفی از آجرهای عایق.....	۶۱
شکل ۲-۲۰. ضریب هدایت مواد نسوز.....	۶۲
شکل ۲-۲۱. تصویری از سیستم پایش خشک کن ۱ در مجتمع مس.....	۶۶
شکل ۳-۱. شمایی از سیکل نیروگاه حرارتی مجتمع مس.....	۸۱
شکل ۳-۲. نمایش گرافیکی نیروگاه حرارتی مجتمع مس در شرایط طراحی.....	۸۲
شکل ۳-۳. نمایش گرافیکی نیروگاه حرارتی مجتمع مس (دمای خروجی کندانسور ۴۰ درجه سانتیگراد).....	۸۳
شکل ۳-۴. راندمان مراحل مختلف توربین بخار شماره ۱ مجتمع مس مورد نظر در شرایط طراحی.....	۸۷
شکل ۳-۵. راندمان مراحل مختلف توربین بخار شماره ۱ مجتمع مس در شرایط بهره‌برداری (با دمای خروجی کندانسور ۴۰ درجه سانتیگراد).....	۸۸
شکل ۳-۶. راندمان مراحل مختلف توربین بخار شماره ۱ مجتمع مس در شرایط بهره‌برداری (با خلاء کندانسور ۵۲ سانتیمتر جیوه).....	۸۹
شکل ۳-۷. افزایش راندمان احتراق با پیش گرم کردن آب تغذیه.....	۹۰
شکل ۳-۸. میزان صرفه‌جویی سوخت بویلرهای بخار با سوخت گاز طبیعی با استفاده از پیش گرم کردن هوای احتراق.....	۹۱
شکل ۳-۹. میزان اتلاف سوخت در اثر تخلیه بویلر بخار (بلودان).....	۹۱
شکل ۳-۱۰. شماتیک پیش گرمایش آب تغذیه بویلر توسط بلودان.....	۹۲
شکل ۳-۱۱. میزان تلفات سوخت بویلر بر حسب ضخامت رسوب لوله‌ها.....	۹۲
شکل ۳-۱۲. عملکرد FD فن قدیمی قبل از نصب سیستم دور متغیر.....	۹۳
شکل ۳-۱۳. عملکرد FD فن اصلاح شده با سیستم دور متغیر.....	۹۳
شکل ۳-۱۴. شمایی از پروفایل دما در نقاط مختلف یک بویلر بازیافت حرارت.....	۹۸
شکل ۳-۱۵. نمایش گرافیکی نتایج شبیه‌سازی بازیافت انرژی از گازهای داغ خروجی توربین گازی مجتمع مس با نرم‌افزار ترموفلو.....	۱۰۰
شکل ۳-۱۶. تأثیر رطوبت هوا بر توان ناخالص تولیدی هر یک از واحدهای گازی.....	۱۰۱
شکل ۳-۱۷. تأثیر رطوبت هوا بر راندمان ناخالص هر یک از واحدهای گازی.....	۱۰۲
شکل ۳-۱۸. تأثیر رطوبت هوا بر GROSS HEAT RATE هر یک از واحدهای گازی.....	۱۰۲
شکل ۳-۱۹. تأثیر دمای محیط بر توان ناخالص تولیدی هر یک از واحدهای گازی.....	۱۰۳
شکل ۳-۲۰. تأثیر دمای محیط بر راندمان ناخالص هر یک از واحدهای گازی.....	۱۰۳

شکل ۳-۲۱. تأثیر دمای محیط بر GROSS HEAT RATE هر یک از واحدهای گازی.....	۱۰۴
شکل ۳-۲۲. تأثیر افت فشار ورودی هوا به سیکل بر تولید ناخالص هر یک از واحدهای گازی.....	۱۰۵
شکل ۳-۲۳. تأثیر افت فشار ورودی هوا به سیکل بر راندمان ناخالص هر یک از واحدهای گازی.....	۱۰۵
شکل ۳-۲۴. تأثیر افت فشار ورودی هوا به سیکل بر GROSS HEAT RATE هر یک از واحدهای گازی.....	۱۰۶
شکل ۳-۲۵. تأثیر میزان بار بر راندمان ناخالص هر یک از واحدهای گازی.....	۱۰۷
شکل ۳-۲۶. تأثیر میزان بار واحد گازی بر GROSS HEAT RATE هر یک از واحدهای گازی.....	۱۰۷
شکل ۳-۲۷. تأثیر فشار محیط بر توان ناخالص تولیدی هر یک از واحدهای گازی.....	۱۰۸
شکل ۳-۲۸. تأثیر فشار محیط بر راندمان ناخالص هر یک از واحدهای گازی.....	۱۰۸
شکل ۳-۲۹. تأثیر فشار محیط بر GROSS HEAT RATE هر یک از واحدهای گازی.....	۱۰۹
شکل ۴-۱. تقسیم‌بندی انواع کمپرسورها بر اساس نوع فشرده‌سازی.....	۱۱۱
شکل ۴-۲. مقایسه هزینه‌ها در طول عمر یک کمپرسور.....	۱۱۳
شکل ۴-۳. جدول مورد استفاده برای بدست آوردن دبی هوای فشرده تولیدی کمپرسورها.....	۱۱۸
شکل ۴-۴. نمودارهای جریان- توان و جریان- فلو برای کمپرسورهای مجتمع مس مورد نظر.....	۱۱۸
شکل ۴-۵. شبیه‌سازی کمپرسور در شرایط عملیاتی در HYSYS.....	۱۲۱
شکل ۴-۶. سهم هزینه‌های مختلف یک کمپرسور در طول عمر آن.....	۱۳۰
شکل ۵-۱. سهم هزینه‌های مختلف یک پمپ در طول عمر آن.....	۱۴۴
شکل ۵-۲. تغییرات بر روی مشخصه‌های پمپ.....	۱۴۶
شکل ۵-۳. نمونه‌ای از منحنی عملکرد پمپ سانتریفوژ ارائه شده توسط سازنده.....	۱۴۷
شکل ۵-۴. تأثیر کاهش قطر پره بر مشخصه‌های پمپ.....	۱۴۸
شکل ۵-۵. تأثیر استفاده از پمپهای کوچکتر.....	۱۴۹
شکل ۵-۶. مقایسه راندمان در موتورهای پر بازده و معمولی.....	۱۵۰
شکل ۵-۷. نمونه‌ای از منحنی عملکرد پمپهای موازی.....	۱۵۱
شکل ۵-۸. کنترل دبی پمپ از طریق شیر.....	۱۵۱
شکل ۵-۹. تأثیر پوشش‌گذاری بر روی یک پمپ جدید.....	۱۵۲
شکل ۵-۱۰. سیکل کاری یک موتور در یک ساعت.....	۱۵۳
شکل ۵-۱۱. تأثیر کاهش سرعت در مشخصه‌های پمپ.....	۱۵۴
شکل ۵-۱۲. تغییرات هد، دبی و راندمان با توجه به تغییرات سرعت.....	۱۵۵
شکل ۵-۱۳. اثر VSD.....	۱۵۶

شکل ۵-۱۴. شکل دمنده کوره های کنورتور	۱۶۸
شکل ۶-۱. بررسی تغییرات مصرف ویژه کل انرژی معدن مس ممیزی شده با نسبت کانی مفید	۱۷۴
شکل ۶-۲. بررسی تغییرات مصرف ویژه کل انرژی معادن مورد ممیزی با نسبت کانی مفید	۱۷۴
شکل ۶-۳. روند تغییرات مصرف ویژه انرژی تولید کلاف لوله های مسی از سنگ معدن مس براساس عیار سنگ معدن	۱۷۵
شکل ۶-۴. بررسی تغییرات مصرف ویژه انرژی الکتریکی تغلیظ مس مربوطه با عیار سنگ ورودی	۱۷۶
شکل ۶-۵. بررسی تغییرات مصرف ویژه انرژی الکتریکی تغلیظ معادن مورد ممیزی با عیار سنگ ورودی	۱۷۶
شکل ۶-۶. دو نمونه نمودار بررسی تأثیر تغییر مشخصات سوخت مصرفی بر راندمان دو نیروگاه حرارتی و گازی	۱۷۸
شکل ۷-۱. ساختار سازمانی پیشنهادی واحد مدیریت انرژی برای مجتمع مس	۲۰۳
شکل ۷-۲. برنامه ریزی مدیریت انرژی	۲۰۶
شکل ۸-۱. نمونه ای از نمودار سازمانی مدیریت انرژی یک کارخانه صنعت مس	۲۱۵
شکل ۸-۲. ساختار سازمانی واحد مدیریت انرژی برای صنایع مس ایران	۲۱۶
شکل ۸-۳. فلوچارت ممیزی انرژی و نتایج آن	۲۲۰
شکل ۸-۴. دایره PDCA	۲۲۱

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۱. تقسیم بندی راهکارها با توجه به زمان بازگشت سرمایه.....	۱۶
کلاس A: الکتروموتورهای با بارگذاری بین ۷۰٪ تا ۱۰۰٪.....	۱۷
کلاس B: الکتروموتورهای با بارگذاری بین ۵۰٪ تا ۷۰٪.....	۱۷
کلاس C: الکتروموتورهای با بارگذاری کمتر از ۵۰٪.....	۱۷
جدول ۱-۲. عوامل مؤثر در بازدهی موتورهای الکتریکی.....	۲۶
جدول ۱-۳. لیست پیشنهادی برنامه زمان بندی بازبینی موتورها.....	۲۶
جدول ۱-۴. مقایسه مشخصات لامپهای فلورسنت.....	۳۰
جدول ۲-۱. محدوده راندمان حرارتی برای کوره های معمول.....	۴۲
جدول ۲-۲. درصد تلفات حرارتی در دود بر مبنای هوای اضافی در درجه حرارت ۹۰۰ °C.....	۵۲
جدول ۲-۳. میزان هوای اضافی بهینه با توجه به نوع سوخت و روش احتراق.....	۵۴
جدول ۲-۴. جزئیات پیش گرمایش هوای احتراق.....	۵۵
جدول ۲-۵. دمای مناسب بهره برداری از کوره های مختلف.....	۵۸
جدول ۲-۶. اطلاعات ثبت شده مورد نیاز برای بررسی عملکرد کوره خشک کن.....	۶۵
جدول ۲-۷. میزان اکسیژن و هوای اضافی مناسب برای احتراق سوخت های مختلف (برحسب درصد).....	۶۷
جدول ۲-۸. اطلاعات ثبت شده مورد نیاز برای بررسی عملکرد کوره ریورب ۱.....	۷۰
جدول ۲-۹. اطلاعات ثبت شده مورد نیاز برای بررسی عملکرد کوره ریورب ۲.....	۷۲
جدول ۲-۱۰. مصرف ویژه انرژی فسیلی کوره ریورب ۱ مجتمع مس ممیزی شده.....	۷۴
جدول ۲-۱۱. مصرف ویژه انرژی فسیلی کوره ریورب ۲ مجتمع مس ممیزی شده.....	۷۴
جدول ۲-۱۲. خلاصه نتایج آنالیز گاز در خروجی های دو کوره ریورب.....	۷۵
جدول ۲-۱۳. میزان هوای اضافی مناسب برای احتراق سوخت های مختلف.....	۷۶
جدول ۲-۱۴. دمای ماکزیمم و مینیمم اندازه گیری شده و متوسط دمای قسمتهای مختلف کوره ریورب ۱.....	۷۸
جدول ۲-۱۵. نتایج محاسبه تلفات حرارتی سطوح خارجی بدنه کوره ریورب مجتمع مس.....	۷۸
جدول ۳-۱. مشخصات گاز خروجی از توربین گازی شماره ۱ براساس نتایج اندازه گیری.....	۹۹
جدول ۳-۱. اطلاعات اندازه گیری شده برای کمپرسورهای مجتمع مس مورد نظر.....	۱۱۹
جدول ۳-۲. مصرف ویژه انرژی (SEC) در کمپرسور در شرایط عملیاتی.....	۱۱۹
جدول ۳-۳. کار مورد نیاز برای تغییر آنتالپی گاز در مراحل مختلف در حالت عملیاتی.....	۱۲۰
جدول ۳-۴. نتایج تحلیل راندمان برای کمپرسورهای مجتمع مس مورد نظر در شرایط عملیاتی.....	۱۲۴
جدول ۴-۵. نمونه ای از تأثیر افت فشار در فیلتر هوای ورودی بر میزان مصرف انرژی موتور کمپرسور.....	۱۲۷

جدول ۴-۶. نمونه‌ای از اتلاف انرژی ناشی از قطر کم لوله، برای جریان ۱۷۰ مترمکعب بر ساعت (۱۰۰ CFM).....	۱۲۹
جدول ۴-۷. معیارهای عمومی انتخاب کمپرسور.....	۱۳۰
جدول ۴-۸. مثالی از تأثیر کاهش فشار تولیدی بر میزان مصرف انرژی کمپرسور.....	۱۳۱
جدول ۴-۹. مثالی از تأثیر دمای هوای ورودی (بخش مکش) بر میزان مصرف انرژی موتور کمپرسور.....	۱۳۳
جدول ۴-۱۰. مثالی از تأثیر کولرها در میزان مصرف انرژی کمپرسور.....	۱۳۳
جدول ۴-۱۱. حرارت قابل بازیافت از چند کمپرسور پیچی خنک‌شونده توسط هوا در بار کامل بعنوان نمونه.....	۱۳۴
جدول ۴-۱۲. ارزیابی شرایط کار کمپرسورها.....	۱۳۶
جدول ۴-۱۳. خلاصه‌ای از اشکال مختلف کمپرسورها به همراه بازده نسبی آنها.....	۱۳۸
جدول ۵-۱. مقایسه گزینه‌های مختلف کاهش مصرف انرژی در پمپها.....	۱۴۸
جدول ۵-۲. اطلاعات طراحی و اندازه‌گیری شده مربوط به پمپ آب تغذیه بویلر.....	۱۵۸
جدول ۵-۳. هزینه اتلاfi با استفاده از نرخ تمام شده و نرخ برق کارخانه مس ممیزی شده.....	۱۵۹
جدول ۵-۴. اطلاعات طراحی و اندازه‌گیری شده مربوط به پمپ آب کندانس نیروگاه.....	۱۵۹
جدول ۵-۵. هزینه اتلاfi با استفاده از نرخ تمام شده و نرخ برق کارخانه مس مورد نظر.....	۱۶۰
جدول ۵-۶. اطلاعات طراحی و اندازه‌گیری شده مربوط به پمپ سیرکولاسیون آب کندانس.....	۱۶۱
جدول ۵-۷. جدول هزینه اتلاfi با استفاده از نرخ تمام شده و نرخ برق کارخانه مس مورد نظر.....	۱۶۲
جدول ۵-۸. اطلاعات طراحی و اندازه‌گیری شده مربوط به پمپ‌های آبرسانی.....	۱۶۲
جدول ۵-۹. جدول هزینه اتلاfi با استفاده از نرخ تمام شده و نرخ برق کارخانه مس مورد نظر.....	۱۶۳
جدول ۵-۱۰. اطلاعات طراحی و اندازه‌گیری شده مربوط به ایستگاه پمپاژ شماره ۴ سد باطله.....	۱۶۴
جدول ۵-۱۱. جدول هزینه اتلاfi با استفاده از نرخ تمام شده و نرخ برق کارخانه مس ممیزی شده.....	۱۶۵
جدول ۵-۱۲. اطلاعات طراحی و اندازه‌گیری شده مربوط به ایستگاه پمپاژ شماره ۳و۲ سد باطله.....	۱۶۵
جدول ۵-۱۳. جدول هزینه اتلاfi با استفاده از نرخ تمام شده و نرخ برق کارخانه مس ممیزی شده.....	۱۶۶
جدول ۵-۱۴. اطلاعات طراحی و اندازه‌گیری شده مربوط به ایستگاه پمپاژ شماره ۱ سد باطله.....	۱۶۶
جدول ۵-۱۵. جدول هزینه اتلاfi با استفاده از نرخ تمام شده و نرخ برق کارخانه مس مورد نظر.....	۱۶۷
جدول ۵-۱۶. اطلاعات طراحی و اندازه‌گیری شده مربوط به دمنده کنورتور.....	۱۶۸
جدول ۵-۱۷. هزینه اتلاfi با استفاده از نرخ تمام شده و نرخ برق کارخانه مس ممیزی شده.....	۱۶۹
جدول ۵-۱۸. اطلاعات طراحی و اندازه‌گیری شده مربوط به دمنده ریورب.....	۱۷۰
جدول ۵-۱۹. هزینه اتلاfi با استفاده از نرخ تمام شده و نرخ برق کارخانه مس.....	۱۷۱
جدول ۶-۱. معیار مصرف ویژه انرژی برای تولید مس با روشهای مختلف در صنایع مس آمریکا.....	۱۷۷
جدول ۶-۲. مقایسه مصرف ویژه انرژی معدن مس سه کارخانه ممیزی شده با مصرف ویژه واحدهای نسبتاً مشابه در دنیا.....	۱۷۹
جدول ۶-۳. پارامترهای موثر بر مصرف ویژه انرژی معدن مس براساس اطلاعات موجود در سه معدن مورد ممیزی.....	۱۸۰

جدول ۴-۶. مقایسه مصرف ویژه انرژی واحد تغلیظ مس در سه مجتمع ممیزی شده با مصرف ویژه واحدهای نسبتاً مشابه در دنیا.....	۱۸۱
جدول ۵-۶. پارامترهای موثر بر مصرف ویژه انرژی واحد تغلیظ سه مجتمع مس مورد ممیزی براساس اطلاعات موجود.....	۱۸۲
جدول ۶-۶. مقایسه مصرف ویژه انرژی کارخانه‌های ذوب ممیزی شده با مصرف ویژه کارخانه‌های نسبتاً مشابه در دنیا.....	۱۸۳
جدول ۷-۶. پارامترهای موثر بر مصرف ویژه انرژی واحد ذوب دو کارخانه مورد ممیزی براساس اطلاعات موجود.....	۱۸۴
جدول ۸-۶. مقایسه مصرف ویژه انرژی واحد پالایش مجتمع مس ممیزی شده با مصرف ویژه واحدهای نسبتاً مشابه در دنیا.....	۱۸۴
جدول ۹-۶. مقایسه مصرف ویژه انرژی واحد لیچینگ مجتمع مس مورد نظر با مصرف ویژه واحدهای نسبتاً مشابه در دنیا.....	۱۸۵
جدول ۱۰-۶. مقایسه مصرف ویژه انرژی مجتمع مس مورد نظر با مصرف ویژه واحدهای نسبتاً مشابه در دنیا.....	۱۸۷
جدول ۱-۷. مدیریت انرژی.....	۲۰۲
جدول ۲-۷. جدول ۴-۲- ماتریس انرژی برای صنعت مس کشور.....	۲۰۷
جدول ۱-۸. ماتریس مدیریت انرژی.....	۲۱۲
جدول ۲-۸. مراحل برنامه‌ریزی یک برنامه مدیریت انرژی.....	۲۱۴
جدول ۳-۸. نمونه‌ای از روش‌های صرفه‌جویی در مصرف انرژی.....	۲۲۲

چکیده

انرژی از دیرباز و خصوصاً در قرن اخیر، نقش ویژه‌ای در پیشرفت صنعتی و تکنولوژی کشورها داشته است. گزارش حاضر مشتمل بر هشت فصل می باشد که سعی کرده است یک مجتمع تولید مس را به طور کامل مورد تجزیه و تحلیل قرار دهد و در ادامه به راهکارهای بهینه سازی انرژی در یک مجتمع مس بپردازد.

در فصل اول گزارش به ارائه راهکارهای کاهش مصرف انرژی الکتریکی در یک مجتمع مس پرداخته شده است در این فصل راهکارهای بهینه سازی مصرف انرژی الکتریکی در سه بخش راهکارهای کاهش مصرف پیشگیرانه بدون هزینه، راهکارهای کم هزینه (مدیریتی و ترویجی) و راهکارهای پرهزینه جهت بهبود بازده دستگاه‌ها ارائه گردیده و میزان صرفه جویی انرژی و هزینه و مدت زمان بازگشت سرمایه جهت هر کدام از راهکارها آورده شده است. در فصل دوم گزارش به بررسی وضعیت کوره های مجتمع مس ممیزی شده در گزارش پرداخته شده است. کوره ها در صنایع گوناگون، کاربردهای متفاوتی دارند. کوره تجهیز می است برای ذوب فلزات جهت ریخته گری، گرم کردن مواد، تغییر شکل مواد (نورد، فورج و غیره) و تغییر خواص مواد (عملیات حرارتی). در فصل بعد وضعیت نیروگاه های مجتمع مس ممیزی شده در گزارش بررسی می شود. در فصل چهارم به بررسی وضعیت کمپرسورهای مجتمع مس مورد نظر پرداخته می شود. سیستم های هوای فشرده حدود ۱۰ درصد از مصرف انرژی الکتریکی در صنایع را به خود اختصاص می دهند که از این مقدار، به عنوان مثال در یک دوره ۱۰ ساله، حدود ۷۵ درصد هزینه کل یک سیستم هوای فشرده، صرف مصرف انرژی الکتریکی، ۱۵ درصد صرف سرمایه گذاری اولیه و حدود ۱۰ درصد نیز صرف تعمیرات آن می گردد. با توجه به این مطلب، با افزایش راندمان در این سیستم ها می توان از هزینه های جاری، که بخش اعظم هزینه سیستم را تشکیل می دهد، به مقدار قابل ملاحظه ای کاست. در این قسمت از گزارش، پس از آشنایی مختصر با کمپرسورها و اهمیت بررسی آنها از دید مدیریت انرژی، کمپرسورهای موجود در این مجتمع مس از نظر انرژی مورد بررسی قرار گرفته و تحلیل های لازم در خصوص روند مصرف انرژی در این تجهیزات انجام می پذیرد. در ادامه به بررسی راهکارهای کاهش هزینه مربوط به پمپ ها و فن ها پرداخته می شود. سهم هزینه های جاری (عملیاتی) پمپ ها بسیار بیشتر از هزینه های سرمایه گذاری اولیه می باشند. در صورتیکه در هنگام انتخاب پمپ، هرگونه افزایش دیماند آب در زمانهای طولانی مدنظر قرار گیرد، هزینه های عملیاتی نیز هم چون هزینه های سرمایه گذاری افزایش خواهد داشت. بنابراین سائز پمپ ها و موتور ها باید با توجه به نیاز سیستم در کوتاه مدت انتخاب شوند تا بتوان هزینه های جاری را به حداقل مقدار رساند. در ادامه پارامترهای مؤثر بر تولید و برنامه جامع بهینه سازی خط تولید مس مورد تحلیل قرار می گیرد. در این بخش به بررسی پارامترهای مؤثر بر تولید و عوامل خارجی تأثیرگذار بر مصرف ویژه انرژی واحدهای ذوب مس پرداخته می شود. در دو فصل آخر روشهای گسترش فرهنگ بهینه سازی مصرف انرژی در سطح مدیریت و کارکنان و همچنین مبانی استقرار واحد مدیریت انرژی در صنایع مس ایران بیان می گردد.

فصل اول

ارائه راهکارهای کاهش مصرف انرژی الکتریکی در یک مجتمع مس

۱-۱. مقدمه

با توجه به نوع راهکارهای مورد استفاده جهت کاهش مصرف انرژی الکتریکی، این راهکارها متناسب با مدت زمان بازگشت سرمایه و نوع راهکار به سه دسته کوتاه مدت، میان مدت و بلند مدت مطابق با جدول ۱-۱ طبقه بندی می شوند.

جدول ۱-۱. تقسیم بندی راهکارها با توجه به زمان بازگشت سرمایه

مدت زمان بازگشت سرمایه (سال)	نوع راهکار	ردیف
0 - 2	کوتاه مدت	1
2 - 5	میان مدت	2
5 - 10	بلند مدت	3

برای رسیدن به حد مطلوب استانداردهای جهانی، راهکارهای مدیریتی بهینه سازی مصرف انرژی مطرح می شود. در واقع مسئولیت مدیریت انرژی در امر بهینه سازی مصرف انرژی و مهار نمودن آن با تدابیر لازم به شکل عملی و کاربردی از اهم اموری است که باید مورد توجه قرار گیرد.

در ادامه، راهکارهای بهینه سازی مصرف انرژی الکتریکی در سه بخش راهکارهای کاهش مصرف پیشگیرانه بدون هزینه، راهکارهای کم هزینه (مدیریتی و ترویجی) و راهکارهای پرهزینه جهت بهبود بازده دستگاهها ارائه گردیده و میزان صرفه جویی انرژی و هزینه و مدت زمان بازگشت سرمایه جهت هر کدام از راهکارها آورده شده است. لازم به ذکر است پیش از ارائه راهکارها به دلیل اینکه، موتورهای الکتریکی سهم عمده، در مصرف انرژی الکتریکی دارند، لذا در ادامه گزارش مطابق با میزان بارگذاری تقسیم بندی خواهند شد.

۲-۱. کلاس بندی الكترو موتورهای کارخانه بر اساس میزان بار گذاری:

در مورد موتورهای الکتریکی بیشترین صرفه جویی را می توان با خاموش کردن موتورهای بی بار و در نتیجه حذف تلفات بی باری بدست آورد. روش ساده آن در عمل، نظارت دائم یا کنترل اتوماتیک است. اغلب به مصرف برق در بی باری اهمیت چندانی داده نمی شود در حالیکه غالباً موتور در بی باری جریان قابل توجهی دارد. در ادامه با استفاده از میزان بارگذاری الکتروموتورها، آنها را کلاس بندی کرده و وضعیت مصرف انرژی آنها را مورد بررسی قرار خواهیم داد. لذا الکتروموتورهای کارخانه را بر اساس میزان بارگذاری به سه دسته زیرتقسیم می کنیم:

کلاس a : الکتروموتورهای با بارگذاری بین ۷۰٪ تا ۱۰۰٪

کلاس b : الکتروموتورهای با بارگذاری بین ۵۰٪ تا ۷۰٪

کلاس c : الکتروموتورهای با بارگذاری کمتر از ۵۰٪

با توجه به این کلاس بندی، موتورهای کلاس a در وضعیت بهینه می باشند، کلاس b در وضعیت نرمال می باشند. یعنی از لحاظ بار گذاری وضعیت مطلوبی دارند اما امکان بهینه کردن آنها وجود دارد، و می توان برخی راهکارها را روی آنها اعمال کرد. موتور های کلاس c از لحاظ مصرف انرژی وضعیت مناسبی نداشته و می توان مورد بررسی قرار داد.

۳-۱. راهکارهای کاهش مصرف پیشگیرانه بدون هزینه

در این قسمت می توان به بهبود عملکرد الکتروموتورها و سیستم های مرتبط و افزایش بازدهی الکتروموتورها اشاره کرد که در ادامه توضیح داده می شوند.

۱-۳-۱. بهبود عملکرد الکتروموتورها و سیستم های مرتبط

در تمام بخش های صنعتی، برق از مهمترین منابع انرژی به شمار می رود و از آنجا که یکی از مصرف کنندگان عمده انرژی الکتریکی در کارخانجات صنعتی، موتورهای الکتریکی می باشند، لذا بهینه سازی مصرف انرژی در آنها از اهمیت ویژه ای برخوردار است. با توجه به ترازنامه سال ۱۳۸۳، میانگین وزنی سهم الکتروموتورها در کل کشور در حدود ۶۴/۵ درصد می باشد. [۱]

اقدامات مختلفی برای صرفه جویی انرژی الکتریکی در الکتروموتورهای صنعتی، به عمل می آید. برخی از این اقدامات مربوط به مرحله طراحی بوده که در هنگام خرید تجهیزات مورد توجه قرار می گیرند 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.

از آنجایی که یک موتور الکتریکی با دیگر اجزا سیستم قدرت در ارتباط بوده و عملکرد آن وابسته به کیفیت توان شبکه است، لذا در ادامه به بررسی برخی پارامترهای مؤثر در کیفیت توان و کارکرد موتور پرداخته می شود:

هرزگردی موتورها

بیشترین صرفه جویی را می توان با خاموش کردن موتورهای بی بار و در نتیجه حذف تلفات بی باری بدست آورد. روشی ساده آن در عمل نظارت دائم یا کنترل اتوماتیک است. اغلب به مصرف برق در بی باری اهمیت چندانی داده نمی شود در حالیکه غالباً جریان در بی باری حدود جریان در بار کامل است.

موتورهایی که مجدداً پیچیده می شوند

بازده موتورهایی که برای بار دوم پیچیده می شوند بین ۳٪ تا ۷٪ کاهش می یابد که مقدار کاهش بستگی به چگونگی سیم پیچی دارد. یک روش ساده برای ارزیابی کیفیت موتور پیچیده شده مقایسه جریان بی باری موتور می باشد. این مقدار در موتورهایی که بخوبی پیچیده نمی شوند افزایش می یابد. بررسی روشی که در کارگاه سیم پیچی استفاده می شود نیز می تواند کیفیت کار را مشخص کند. بنابراین در مورد برخی موتورها که راندمان آنها بعد از سیم پیچی مجدد کاهش می یابد. می توان از موتورهای راندمان بالا استفاده کرد.

در مورد سیم پیچی مجدد موتورهای نکات زیر را جهت بهبود کیفیت و راندمان باید مورد توجه قرار داد: وقتی موتوری را برای پیچیدن مجدد باز می کنند عایق بین ورقه ها خراب می شود و باعث افزایش تلفات جریان گردابی می گردد مگر این که باز کردن (سوزاندن) عایق در کوره ای با دمای قابل تنظیم انجام گیرد و ورقه های عایق غیر آلی جایگزین گردد.

گداختن و سوزاندن سیم پیچ کهنه (خراب شده) در دمای کنترل نشده یا استفاده از یک مشعل دستی برای نرم کردن و خرد کردن لاک بین سیم ها به منظور باز کردن آسان تر سیم پیچ به این معنی است که کار در این کارگاه بخوبی انجام نمی شود و باید به کارگاه دیگری برای پیچیدن موتور مراجعه نمود.

اگر در نتیجه باز کردن و سوزاندن نامناسب تلفات هسته افزایش یابد موتور در دمای بیشتری کار می کند و زودتر از موعد خراب می شود.

اگر تعداد دورهای سیم پیچ در استاتور کاهش یابد تلفات هسته استاتور افزایش می یابد این تلفات در نتیجه جریان ناشی (هارمونیک) القا شده توسط جریان بار به وجود می آید و اندازه آن برابر با توان دوم جریان بار است. در پیچیدن موتور اگر از سیم های با قطر کوچکتر استفاده شود مقاومت و در نتیجه تلفات RI^2 افزایش می یابد.

۱-۳-۲. استفاده از تسمه های *cogged - belt* و *synchronus-belt* بجای تسمه های *flat-belt* و *v-belt* در

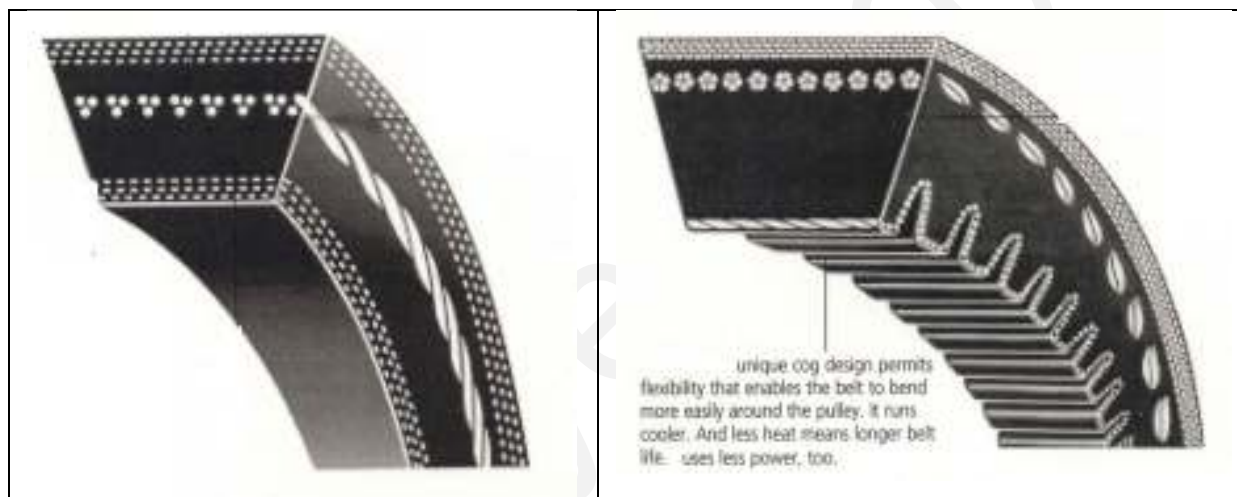
الکتروموتورها

تسمه های *v-belt* در زمان نصب بازدهی برابر با ۹۵٪ تا ۹۸٪ دارند. این تسمه ها به دلیل لغزش روی پولی حدود ۵٪ کاهش راندمان خواهند داشت. و راندمان این تسمه تا حدود ۹۳٪ خواهد رسید.

تسمه های *cogged* دارای دندانه هایی می باشند که باعث افزایش راندمان تا حدود ۲ درصد نسبت به تسمه های *v-belt* و *flat-belt* می شوند. این دندانه ها باعث کاهش مقاومت خم شدگی تسمه می شوند و در حرارت

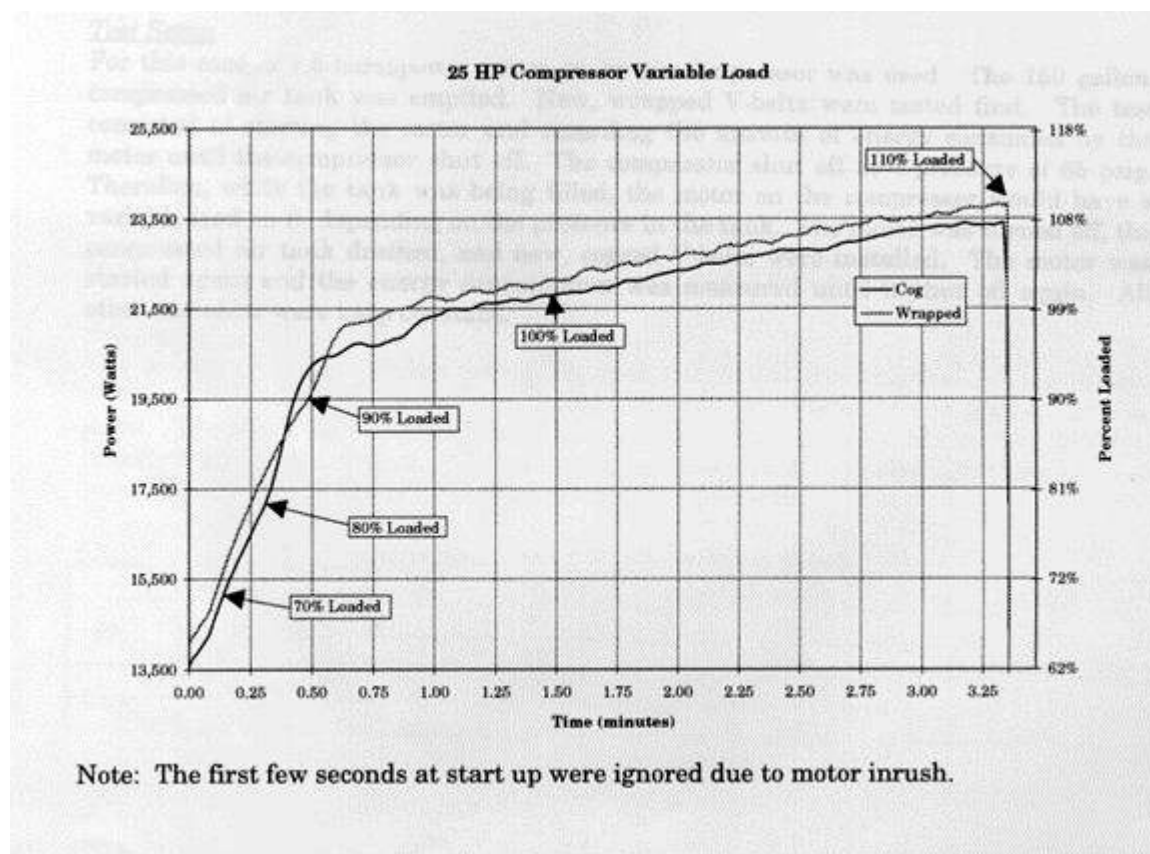
کمتری کار می کنند و طول عمر بیشتری دارند. همچنین تسمه های سنکرون علاوه بر دارا بودن دندانه های روی تسمه، یک سری شیارهایی روی خود پولی وجود دارد که باعث افزایش راندمان می شود و از لیز خوردگی تسمه روی موتور جلوگیری می کند. ویژگی های این تسمه ها کم بودن تعمیر و نگهداری آنها می باشد. ولی تنها عیب آنها این است که تمام لغزش ها را به بار انتقال می دهند.

بنابراین تسمه های سنکرون پر بازده 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. شکل ۱-۱ نمونه ای از این تسمه ها را نشان می دهد.



Standard and cogged V-belts. Source: Dayco CPT, www.cptbelts.com

شکل ۱-۱. نمونه ای از تسمه های *flat-belt* و *cogged* [۲]



شکل ۲-۱. منحنی مصرف توان یک موتور با دو نوع تسمه *flat-belt* و *cogged* در بارهای مختلف [۳]

جهت بررسی تأثیر کارکرد تسمه های راندمان بالا در کاهش مصرف انرژی الکتریکی به مثال زیر توجه کنید. در یک موتور ۱۰۰ hp که با تسمه های *v-belt* و راندمان ۹۳ درصد در ۷۵ درصد بار نامی کار می کند و میزان مصرف انرژی الکتریکی سالیانه آن برابر با ۵۲۷۰۰۰ کیلو وات ساعت می باشد در صورت استفاده از تسمه های سنکرون (با راندمان ۹۸ درصد) میزان صرفه جویی انرژی الکتریکی سالیانه به شرح زیر خواهد بود.

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

صرفه جویی انرژی الکتریکی

با فرض هزینه هر کیلووات ساعت برابر ۴۳۰ ریال مقدار صرفه جویی هزینه برابر است با:

$$\text{صرفه جویی هزینه} = 26888 \times 430 \text{ (Rials/kwh)} = 11,561,840 \text{ (Rials/year)}$$

به عنوان نمونه میکسرهای موجود در سلولهای فلو تاسیون از طریق تسمه با موتور خود در ارتباط می باشند. لذا توصیه می شود، این تسمه ها با تسمه های راندمان بالا تعویض شوند. بنابراین واحد مدیریت انرژی 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 پیشنهادات و توجیه پذیری جهت تعویض تسمه ها به مدیریت کارخانه ارائه

دهد.

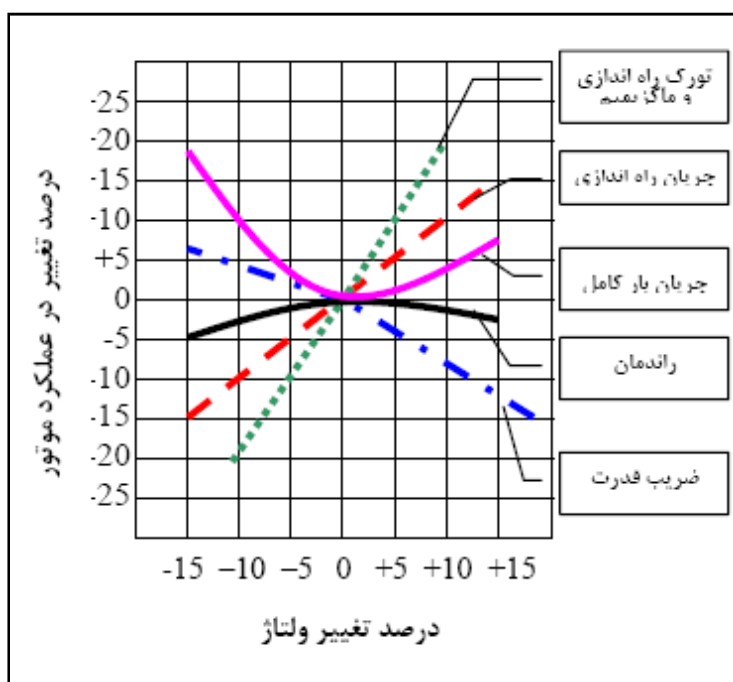
❖ ولتاژ مناسب شبکه

ولتاژ اعمال شده به ترمینال باید در حد امکان نزدیک به ولتاژ کار موتور باشد. تغییرات ولتاژ در حدود $\pm 5\%$ الی 10% مجاز می باشد (شکل ۱-۳). تغییر ولتاژ اعمال شده در الکتروموتورها اثرات زیر را به همراه خواهد داشت [۴]:

افت ضریب قدرت

کاهش عمر مفید موتور

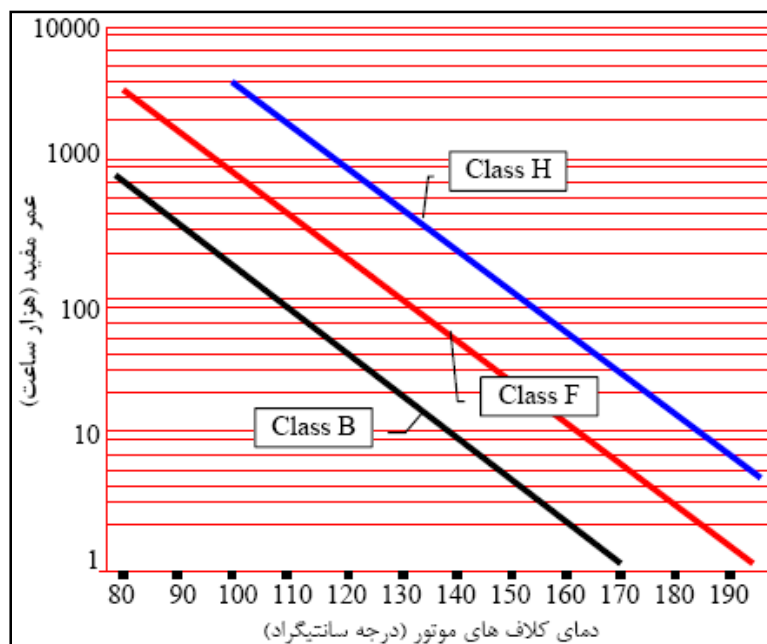
کاهش راندمان موتور



شکل ۱-۳. اثرات تغییرات ولتاژ بر عملکرد الکتروموتورها

همانگونه که در شکل فوق مشخص است، با تغییر 5% در ولتاژ القایی، راندمان موتور بین ۲ تا ۴ درصد کاهش خواهد داشت.

همچنین تحقیقات نشان می دهد، با تغییر 5% در ولتاژ، دمای موتور حدود ۱۵ درجه افزایش خواهد یافت که با توجه به شکل ۱-۴ این افزایش دما موجب افزایش دمای عایق و در نتیجه کاهش عمر الکتروموتور خواهد شد.



شکل ۱-۴. ارتباط تغییرات مربوط به افزایش دما با عمر عایق

❖ 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 سایز کابل ها در هر یک از فازها، یا بروز خطای تک فاز و عدم تقارن فازها باعث افزایش تلفات سیستم توزیع و کاهش راندمان موتورها 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. معیار سنجش تعادل ولتاژ در یک سیستم سه فاز که توسط استاندارد *NEMA*^۱ تعریف شده است، درصد عدم تعادل ولتاژ^۲ نام دارد.

$$\% V_{unbalance} =$$

در رابطه ارائه شده، V_{ave} متوسط ولتاژ سه فاز و V_{max} ولتاژ فازی است که بیشترین اختلاف را با متوسط ولتاژ سه فاز دارد. درصد افزایش دمای ناشی از ولتاژهای نامتعادل به طور تقریبی توسط رابطه زیر به دست می آید، که نمودار شکل ۱-۵ نیز به همین موضوع اشاره دارد.

درصد افزایش دما

^۱ National Electrical Manufacturers Association

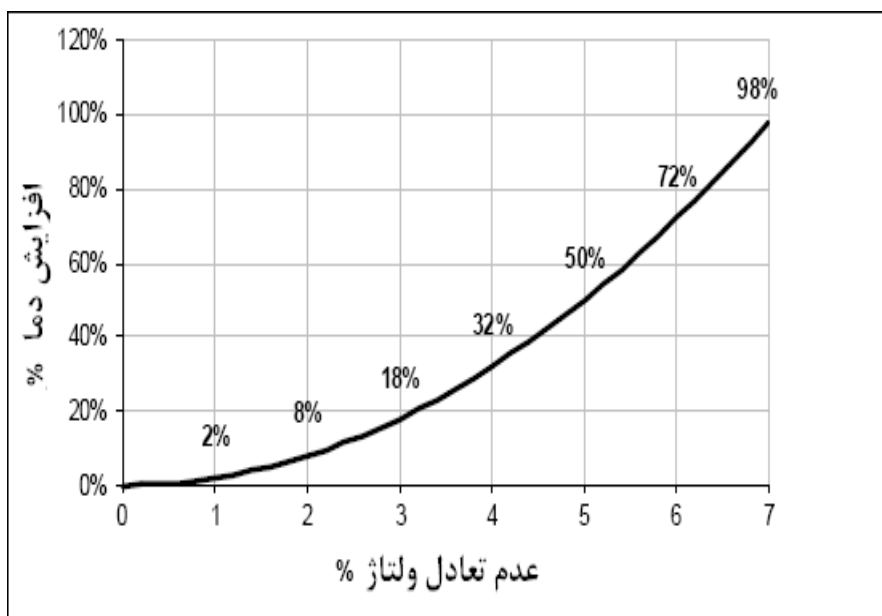
^۲ Voltage Unbalance Percent

با توجه به استاندارد درصد نامتعادلی ولتاژ که ۲ درصد است (مطابق استانداردهای برق ایران) [۴]، نامتعادلی ولتاژ در برخی از تجهیزات در حد مجاز و در برخی نقاط بیشتر از حد مجاز می باشد در ادامه راهکارهایی به منظور بهبود نامتعادلی ولتاژ آورده شده است.

۳-۳-۱. راه حل های عملی جهت کاهش اثرات نامتعادلی ولتاژ

به منظور کاهش نامتعادلی ولتاژ با راه های عملی تا اندازه زیادی می توانند این نامتعادلی را کاهش داد. اهم این اقدامات به طور خلاصه به شرح زیر می باشند:

- ۱- رعایت استانداردهای توسعه و نصب شبکه های توزیع در کارخانه ها
- ۲- داشتن یک سیستم زمین مناسب به طوری که سیم نول دارای زمین تکراری باشد، که هم از خطر احتمال قطع شدن سیم نول کاسته شود و هم اینکه با زیاد شدن تعداد زمین ها مقاومت کل کم شده و در نتیجه علاوه بر کاهش ولتاژ تماسی، مقدار تلفات در سیم نول نیز کاهش یابد.
- ۳- متعادل کردن بار فازها با تقسیم بار و مساوی کردن آن ها روی سه فاز شبکه کفایت ندارد و اگر ضریب قدرت فازها یکسان نباشد. سیم نول دارای جریان برگشتی بوده و تلفات انرژی به همراه خواهد داشت. لذا تاکید این مورد به جا خواهد بود که در نصب خازن بهترین روش سنجش ضریب توان هر فاز به طور جداگانه خواهد بود که با این سیستم هم افزایش و هم یکسان شدن ضریب قدرت فازهای شبکه تامین می گردد.
- ۴- از احداث شبکه ها به صورت تک فاز اجتناب شود. اگر واگذاری انشعاب سه فاز به جای تک فاز از نظر مقررات جاری مقدور نباشد تفهیم این مطلب به کادر طراحی و اجرایی کارخانه ها حائز اهمیت است که خطوط سرویس را به صورت سه فاز دایر نمایند و مشترکین مجاور را از جعبه انشعاب سه فاز تامین برق کنند و از احداث خط سرویس های تک فاز جداگانه برای هر مشترک اجتناب نمایند.
- ۵- با نصب متعادل کننده های ولتاژ در محلی از شبکه، نامتعادلی ولتاژها کاهش می یابد. نامتعادلی ولتاژ روی پارامترهای کارکرد موتور تاثیر بسزایی دارد و برای به حداقل رساندن آن، می توان از آرایش متناسب و معقول پخش بار سود جست و یا بهترین ایده استفاده از SVC ها جهت جبران هر نوع نامتعادلی در سیستم است. لازم به ذکر است جهت بررسی بیشتر عدم تعادل ولتاژ نیاز به تحلیل نقاط مختلف شبکه و شبیه سازی آن می باشد. [۴]

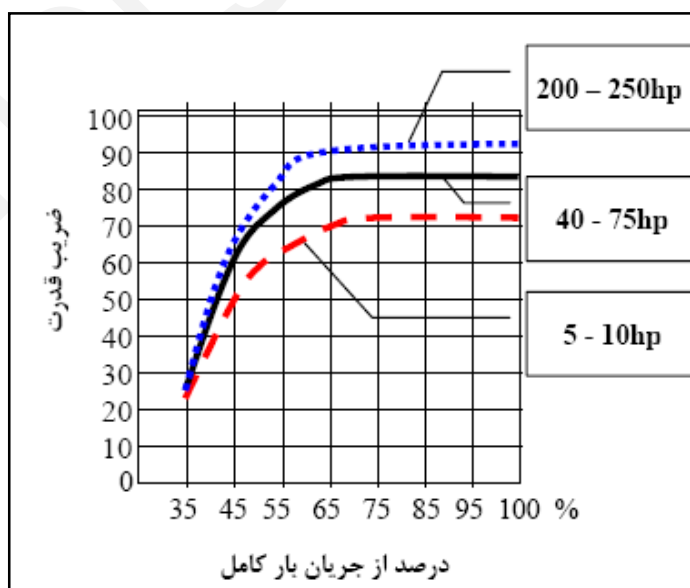


شکل ۱-۵. افزایش دما با توجه به ولتاژهای نامتعادل

به طور مثال موتوری را با دمای ۸۰ درجه سانتیگراد در نظر بگیرید، در صورتیکه ۲ درصد عدم تعادل ولتاژ داشته باشد، دمای آن ۶/۴ درجه افزایش خواهد یافت.

۴-۳-۱. ضریب قدرت

کاهش ضریب قدرت موجب افزایش جریان کابل‌ها، افزایش جریان ترانسفورماتورها، افت ولتاژ و در نتیجه کاهش ظرفیت تغذیه می‌شود.^[۵] ضریب قدرت پایین ناشی از بار کم در شفت موتور است. در شکل ۱-۶ منحنی‌های ضریب قدرت برای بارهای مختلف در رنج‌های توانی متفاوت موتورها آمده است. به وضوح مشاهده می‌شود که با کاهش بار موتور، ضریب قدرت کاهش قابل ملاحظه‌ای خواهد داشت.^[۶]



شکل ۱-۶. تغییرات ضریب قدرت متناسب با بار موتور

۱-۳-۵. افزایش بازدهی الکتروموتورها با اجرای برنامه تعمیرات و نگهداری

تلفات اهمی موتور با توجه به درصد بارگذاری، دمای محیط و حرارت ایجاد شده در سیم پیچ الکتروموتور در اثر عبور جریان متغیر می باشد. تلفات مکانیکی نیز عمدتاً در قسمت های متحرک و گردان، ناشی از اصطکاک و مقاومت هوا به وجود می آیند. بنابراین با اجرای برنامه های منظم تعمیرات و نگهداری به راحتی می توان میزان این تلفات را به حداقل رساند. در همین راستا نکات زیر قابل توجه می باشند:

تلفات مکانیکی موتورهای بستگی به شرایط نگهداری آنها دارد.

با نگهداری و سرویس به موقع موتورهای و اجرای برنامه های PM میزان تلفات به حداقل می رسد.

تلفات مکانیکی در موتورهای موجب افزایش درجه حرارت سیم پیچ ها و کوتاهی عمر آنها می شود.

مناسب بودن سیستم خنک کننده موتورهای تأثیر زیادی در کاهش درجه حرارت سیم پیچ موتورهای دارد.

در بسیاری از موارد به علت عدم نگهداری صحیح موتورهای و افزایش درجه حرارت بدنه آنها به جای رفع اشکال، به تعویض و جایگزینی آنها با موتور بزرگتر پرداخته می شود. این امر باعث افزایش هزینه های مربوطه در خرید موتور جدید و همچنین اتلاف انرژی خواهد شد. 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

روغن کاری قسمت های متحرک موتور

محکم بودن اتصالات مکانیکی^۱

بررسی تعادل ولتاژهای سه فاز

تهیه چک لیست برای موتورهای بازدید شده

خلاصه ای از عوامل مؤثر در بهره برداری از موتور که منجر به افزایش بازدهی آنها می شود، در جدول ۱-۲ آورده شده است.

¹ Couplings

جدول ۱-۲. عوامل مؤثر در بازدهی موتورهای الکتریکی

شرایط کارکرد موتور	توضیحات
وابسته به شرایط بارگذاری موتور	بار کامل انتخاب بار موتور در حدود ۸۰ تا ۱۰۰ درصد بار نامی جهت بازدهی حداکثر موتور
	بار ثابت برای جلوگیری از هرگونه تغییر سرعت موتور
	سرعت در صورت لزوم، تغییر سرعت توسط کنترل کننده های دور موتور (درايوها)
	ولتاژ ثابت برای جلوگیری از کاهش گشتاور موتور
وابسته به شرایط نگهداری موتور	تهویه برای اطمینان یافتن از عدم افزایش دمای موتور از حد مجاز و برخورداری از عمر مفید موردنظر
	روغن کاری برای جلوگیری از اعمال بار اضافی (مجازی) بر محور موتور ناشی از افزایش اصطکاک

در ادامه در جدول ۱-۳ یک لیست پیشنهادی جهت زمان بندی بازرسی موتورها ارائه شده است، که می تواند در مجتمع مس مورد استفاده قرار گیرد.

جدول ۱-۳. لیست پیشنهادی برنامه زمان بندی بازمینی موتورها

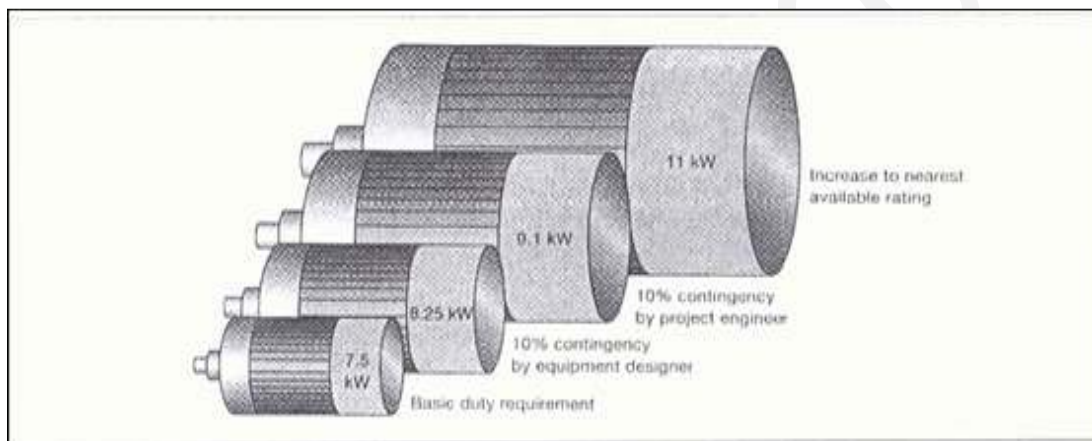
شرح کار	پیشنهادهات	بازدید
هم راستایی اتصالات	بازدید محل اتصالات از نظر تجمع ذرات آهن و شنیده شدن صدای غیرعادی	هفتگی
وضعیت موتور	بررسی میزان دما و لرزش موتور	هر سه ماه
تمیزکاری	پاک کردن بدنه موتورها به منظور بهبود فرآیند خنک سازی	هر سه ماه
روغن کاری	بررسی بلبرینگ ها از لحاظ روغن کاری طبق دستور سازنده	سالانه (یا بر اساس زمان کارکرد)
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 صورتیکه از ۲٪ بیشتر باشد	سالانه
بررسی ولتاژ ورودی موتورها	بهبود ولتاژ ورودی در صورتیکه تفاوت زیادی با مقادیر طراحی داشته باشد	سالانه

همانطور که مشاهده می شود مجموعه اقدامات ساده فوق، خصوصاً اقداماتی که به عوامل وابسته به شرایط

نگهداری موتور می‌شود، می‌تواند منجر به صرفه‌جویی اقتصادی قابل توجهی شود.

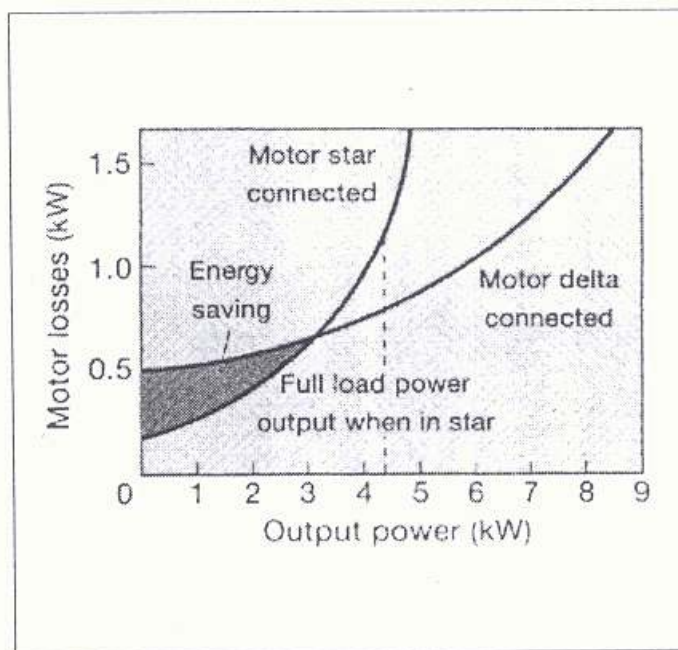
۱-۳-۶. استفاده از روش‌هایی به منظور کاهش تلفات داخلی الکتروموتور

یکی از عوامل افزایش تلفات در موتورهای الکتریکی، کم باری آنها در زمان کار می‌باشد که موجب کاهش ضریب توان و همچنین افزایش تلفات آهن می‌شود. همچنین موتورهای بزرگتر به علت استفاده از حجم بیشتر هسته‌های مغناطیسی تلفات آهن بزرگتری دارند که این به معنی افزایش تلفات ثابت موتور می‌باشد. بزرگ بودن سایز موتورهای الکتریکی عمدتاً به دلایل زیر می‌باشد، محاسبه بار موتور در مرحله طراحی و ضرب آن در یک ضریب جهت اطمینان از کارکرد موتور در شرایط واقعی، ضرب کردن این مقدار در ضریبی دیگر توسط مدیر پروژه و خریداری الکتروموتوری با سایز بزرگتر در صورتی که ظرفیت مورد نظر در بازار موجود نباشد. مجموعه این عوامل موجب می‌شود تا موتور نصب شده در شرایط عادی زیر بار نامی کار کند. (شکل ۱-۷)



شکل ۱-۷. دلایل انتخاب نامناسب سایز موتورها

جهت بهینه‌سازی در چنین مواردی سه راه وجود دارد. یکی تعویض موتور که به تنهایی توجیه‌پذیر نبوده و بیشتر در مواقعی صورت می‌پذیرد که موتور موجود سوخته و به جای تعمیر، تعویض می‌شود که علاوه بر تهیه موتور می‌توان از موتورهای جدید راندمان بالاتر نیز استفاده نموده و در این حالت صرفه‌جویی خوبی حاصل می‌گردد. راه دیگر استفاده از راه‌اندازی‌های نرم با متدهای بهینه‌سازی مصرف انرژی می‌باشد که معمولاً هزینه آن از تهیه الکتروموتور جدید نیز بیشتر بوده ولی فواید دیگر نظیر کنترل و حفاظت اضافی بر روی موتور را دارد. راه حل سوم استفاده از مبدل‌های ستاره مثلث و یا قرار دادن اتصال ستاره برای الکتروموتورهایی که به طور دائم در زیر ۴۰ درصد بار نامی کار می‌کنند. شکل ۱-۸ تلفات موتور را در دو حالت اتصال ستاره و مثلث برای یک الکتروموتور ۷/۵ کیلووات نشان می‌دهد.



شکل ۸-۱. صرفه جویی انرژی به وسیله تغییر اتصالات در یک موتور ۷/۵ کیلووات

همانگونه که شکل ۸-۱ نشان می دهد، اگر موتور زیر ۴۰ درصد بار نامی کار کند، در صورت استفاده از اتصال ستاره به جای مثلث، تلفات کل موتور کاهش می یابد. ولی اگر بار موتور بالا برود، استفاده از اتصال ستاره نتیجه معکوس خواهد داد و باعث افزایش تلفات کل موتور و در بعضی مواقع حتی آسیب رساندن به موتور خواهد شد. بنابراین راهکار مذکور برای موتورهایی که به طور دائم در زیر ۴۰ درصد بار نامی کار می کنند، توجیه پذیر است. باید توجه داشت برای این کار فقط کافی است اتصالات موتورهایی که دائماً زیر ۴۰ درصد کار می کنند را از حالت مثلث به ستاره تبدیل کرد که این کار بدون هزینه می باشد. بررسی های انجام گرفته نشان می دهد، هنگامی که بار موتور به حدود ۴۰ درصد بار نامی می رسد، در مصرف انرژی حدود ۵ تا ۱۰ درصد صرفه جویی رخ می دهد. لازم به ذکر است که راهکار فوق برای موتورهای با توان پایین که از راه انداز ستاره مثلث استفاده می کنند، قابل اجراست [۷]

۴-۱. تعیین میزان انرژی الکتریکی، تعیین تعرفه و انتخاب گزینه مناسب (راهکارهای کم هزینه، مدیریتی و ترویجی)

در این بخش به ارائه راهکارهای کم هزینه (مدیریتی و ترویجی) که عمدتاً مربوط به آیتم های آورده شده در قبوض برق می باشد، پرداخته می شود.

۴-۱-۱. برنامه ریزی مدیریت بار با هدف کاهش هزینه های انرژی و دستیابی به مقادیر بهینه مصرف انرژی: مدیریت بار به معنی تغییر و بهینه سازی مصرف انرژی با حفظ سطح تولید می باشد. بنابراین کنترل رشد بار، تغییر شکل منحنی بار، صرفه جویی در مصرف برق و استفاده از منابع اختصاصی (مثل استفاده از دیزل) همگی در این مقوله می گنجد. راه های مختلفی جهت اصلاح منحنی بار وجود دارند. که از آن جمله می توان به پیک سابی،

پرو کردن دره ها و انتقال بار اشاره نمود. با توجه به اهمیت پیکسایی در مصرف انرژی الکتریکی، وزارت نیرو سیاستهای تشویقی خاصی برای کارخانههایی که در ساعات پیک بار، مصرف انرژی الکتریکی خود را کاهش میدهند اعمال مینماید. لذا این راهکار به عنوان روشی که در کاهش قیمت محصول تولیدی مؤثر است میتواند مدنظر قرار گیرد.

منحنی بار طی مدت شبانه روز دارای وضعیت حداکثر و حداقل مصرف می باشد. مدت زمان حداکثر بار، ساعات اوج یا پیک مصرف و مدت زمان حداقل بار، ساعات کم باری نامیده می شود. ساعات پیک مصرف پس از غروب آفتاب و تاریک شدن هوا تا نزدیک نیمه شب اتفاق می افتد. در تعرفه های برق مدت تعیین شده برای ساعات پیک ۴ ساعت و زمان آن در شش ماهه اول سال بین ساعات ۱۹ الی ۲۳ و در شش ماهه دوم سال بین ساعات ۱۸ الی ۲۲ می باشد.

در مجتمع های مس برخی قسمت های خط تولید هستند که امکان مدیریت بار و مدیریت خاموشی روی آنها وجود دارد و در ساعات پیک میتوان آنها را از مدار خارج کرد بدون اینکه تاثیری در خط تولید داشته باشند. به عنوان نمونه واحد سنگ شکن و نوار نقاله های مربوطه یکی از قسمت هایی است که در ساعات پیک میتواند از مدار خارج شوند.

در واحد سنگ شکن با برنامه ریزی روی ساعات کار این قسمت، میتوان زمان های کاری که در ساعات اوج بار می باشد، را به ساعات کم باری انتقال داد البته بحث کاهش مصرف در ساعات پیک باید طوری باشد که شرایط ایمنی لحاظ شده و بر شرایط تولید و بهره برداری تأثیر نامطلوب نداشته باشد. با توجه به اینکه در هر شبانه روز این واحد به طور ناپیوسته کار می کند، اگر انتقال مجموع ساعات کاری یاد شده از زمان اوج بار به کم باری انجام گیرد، هزینه ی قابل توجهی صرفه جویی می شود.

به همین ترتیب بخش هایی از کارخانه که بطور غیر مستقیم در پروسه خط تولید دخالت دارند را میتوان در زمان پیک از مدار خارج کرد. از جمله این بخش ها شامل قسمت های کارگاهی، پمپ های آب غیر ضروری و سنگ شکن ثانویه و نوار نقاله های مربوط به آن می باشد. علاوه بر این در زمان کاهش تولید میتوان برخی قسمت های پر مصرف را مدیریت کرد. که این مدیریت کردن نیاز به بررسی دقیق خط تولید ونحوه کار دقیق دستگاه ها دارد. لازم به ذکر است مصرف برق امور لیچینگ نیز از زمان اوج بار به زمان کم باری قابل تغییر می باشد.

۵-۱. بررسی شبکه روشنایی کارخانه و راهکارهای کاهش مصرف انرژی الکتریکی در بخش

روشنایی

تجربه نشان داده است که بهره و کیفیت انجام بسیاری از کارها به خصوص کارهای ظریف، با افزایش شدت روشنایی روی سطح کار بالا میرود. از طرفی شدت روشنایی بالاتر مستلزم هزینه های جاری بیشتر است. لذا در طراحی یک سیستم روشنایی باید به راحتی، بهره کاری و هزینه های جاری به صورت همزمان توجه گردد.

۶-۱. ارائه راهکارهای کاهش مصرف در بخش روشنایی ساختمان‌های اداری

۶-۱-۱. استفاده از لامپ‌های فلورسنت قطر کم (T8)

یکی از راهکارهای کاهش مصرف انرژی در ساختمان استفاده از لامپ‌های فلورسنت قطر کم (T8) و ترجیحاً از نوع ترای بند بجای لامپ‌های فلورسنت معمولی می‌باشد.

مزایای استفاده از لامپ فلورسنت قطر کم (T8) با پوشش ترای بند نسبت به لامپ‌های فلورسنت معمولی عبارتند از:

افزایش طول عمر لامپ

افزایش بهره نوری و شار نوری

افت نور کمتر

ثابت بودن شار نوری با گذشت زمان

توان مصرفی ثابت و همچنین کاهش مصرف به میزان حداقل ۱۰٪

شاخص نمود رنگ مناسب

در جدول ۴-۱ به مقایسه مشخصات لامپهای فلورسنت معمولی (T10) و لامپهای فلورسنت قطر کم (T8) با پوشش ترای بند پرداخته می‌شود. [۷]

جدول ۴-۱. مقایسه مشخصات لامپهای فلورسنت

مشخصات	لامپ فلورسنت معمولی (T10)	لامپ فلورسنت قطر کم (T8) با پوشش ترای بند
توان مصرفی (وات)	40	36
شار نوری (لومن)	2500	3250
طول عمر متوسط لامپ (ساعت)	13000	15000
قطر لامپ (میلیمتر)	32	26
پایه لامپ	G13	G13
افت شار نوری بعد از ۴۰۰۰ ساعت	20%	7%
طول لامپ (میلیمتر)	1200	1200
شاخص نمود رنگ (CRI)	70<Ra<80	80<Ra<90
بازده (لومن بر وات)	62.5	90

۱-۶-۲. استفاده از بالاست‌های الکترونیکی

تمامی لامپ‌های فلورسنت و تخلیه گازی به منظور راه‌اندازی و کار نیاز به تجهیزاتی به نام بالاست دارند. بالاست، ولتاژ بالایی را برای شروع تخلیه به لامپ اعمال می‌کند و پس از آن به سرعت جریان لامپ را محدود می‌کند. پیشرفت‌هایی که در فناوری ساخت بالاست برای سیستم روشنایی صورت گرفته منجر به بهبود عملکرد، افزایش بازده و کاهش مصرف انرژی در این سیستم شده است.

نمونه ای از این فناوری نوین تولید بالاست‌های الکترونیکی است که استفاده از آنها یکی از راهکارهای کاهش مصرف انرژی می‌باشد.

بالاترین‌های الکترونیکی دارای خصوصیات زیر هستند:

افزایش بازده نور

تلفات کمتر، بازده بیشتر

کاهش وزن مدار

افزایش ضریب توان مدار و کاهش توان راکتیو، عدم نیاز به خازن‌گذاری جهت ایجاد ضریب توان

راه‌اندازی کنترل شده و شرایط کاری مطلوب تر (افزایش عمر لامپ)

قابلیت روشن نمودن یک تا چهار لامپ به طور موازی

عدم مصرف انرژی در حالت لامپ سوخته

محافظت از لامپ در مقابل نوسانات برق

دارای طول عمر بالاتر نسبت به بالاست‌های القایی

به عنوان مثال تلفات بالاست به ازای یک لامپ ۳۶ وات به ۲ وات کاهش می‌یابد. [۷]

در بالاست‌های مغناطیسی به علت وارد کردن شوک در زمان قطع و وصل لامپ‌های فلورسنت، طول عمر لامپ‌ها از حد استاندارد کمتر می‌شود. این درحالیست که استفاده از بالاست‌های الکترونیکی از بروز چنین شوک‌هایی در زمان سوئیچینگ و قطع برق جلوگیری می‌نماید. همچنین با توجه به اینکه بالاست‌های الکترونیکی دارای طول عمر بالاتری نسبت به بالاست‌های مغناطیسی هستند و نیز قابل کنترل می‌باشند (جهت کنترل میزان روشنایی و کاهش مصرف)، لذا بازگشت سرمایه محاسبه شده در جدول فوق توجیه پیدا می‌کند.

۱-۶-۳. ارائه سیستم تعمیر و نگهداری مدون

با گذشت زمان و سپری شدن طول عمر، از میزان نوردهی لامپ‌ها کاسته می‌شود. لذا پس از سپری شدن مدت زیادی از عمر لامپ و قبل از سوختن کامل آن باید نسبت به تعویض لامپ اقدام نمود.

دو روش اصلی برای انجام این کار وجود دارد: ۱- تعویض لامپ به صورت نقطه‌ای ۲- تعویض لامپ به صورت گروهی.

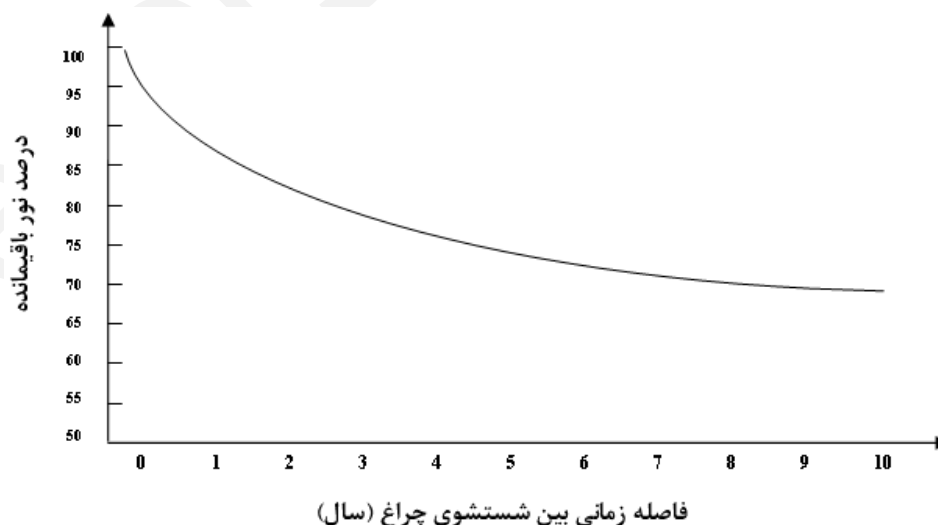
در روش اول وقتی که لامپی بسوزد یا نور آن تا حدی کاهش یابد که موجب بروز مشکل گردد، نسبت به

تعویض آن اقدام می‌شود. این روش وقتی که تعداد لامپ‌ها کم است و تعویض آن بوسیله خود کارکنان انجام می‌شود، مناسب می‌باشد. به هر حال این روش در طول زمان بسیار پر هزینه خواهد بود، زیرا با توجه به نوع قاب‌های استفاده شده در ساختمان، نگهدارنده و روکش‌های چراغها در هنگام تعویض لامپ باید از چراغها جدا شوند و امکان شکستن و خرابی در آنها وجود دارد.

روش دوم جایگزینی همه لامپ‌ها در یک سیستم روشنایی است، صرفه‌نظر از اینکه چه تعداد از آنها معیوب بوده و یا سوخته‌اند. از این روش در سیستم‌هایی استفاده می‌شود که تعداد لامپ‌ها زیاد است و تعویض لامپ‌ها توسط تعمیرکاران مجموعه و یا پیمانکاران انجام می‌شود. عموماً جایگزینی همه لامپ‌ها در زمانی صورت می‌پذیرد که لامپ‌ها حداقل ۷۰٪ طول عمر مفیدشان را طی کرده باشند. به عنوان مثال اگر طول عمر لامپی ۲۰۰۰۰ ساعت و لامپ سالانه ۲۵۰۰ ساعت روشن باشد، زمان تعویض آن در حدود ۵/۶ سال خواهد بود.

اجرای این روش (تعویض گروهی) عموماً به افزایش بهره‌وری سیستم روشنایی کمک می‌کند. زیرا اگر سیستم روشنایی بخوبی مورد تعمیر و نگهداری قرار گیرد، ممکن است که تعداد لامپ کمتر با وات کمتر نیز جوابگوی روشنایی موردنیاز باشند.

شایان ذکر است بعضی اوقات، بخصوص در فضاهایی که روشنایی کامل موردنیاز است، لازم خواهد بود که بعضی از لامپ‌های سوخته، خارج از برنامه تعویض گروهی، تعویض شوند تا سطح روشنایی موردنیاز کاربر فراهم شود. گرد و غبار و کثیفی که روی لامپ‌ها، قاب، شیشه و سطوح داخلی چراغها بوجود می‌آید، مقدار زیادی از نور خروجی لامپ‌ها را کاهش می‌دهد. علاوه بر آن تجمع گرد و غبار روی سطح چراغ موجب گرم شدن لامپ و بالاست می‌شود که این امر طول عمر آنها را کاهش می‌دهد. لذا نظافت منظم موجب افزایش کارایی لامپ خواهد شد. از دلایل افت شدت نور در طول زمان به کاهش نور لامپ به مرور زمان (طول عمر لامپ) و همچنین کثیف شدن سطوح انعکاس می‌توان اشاره نمود. در شکل ذیل تأثیر تمیز کردن چراغها (تعمیر و نگهداری) بر روی افت شدت نور لامپها و چراغها به وضوح قابل مشاهده است.



شکل ۱-۹. تأثیر شستشوی چراغها بر روی افت نور چراغها

همانگونه که در شکل فوق مشخص است چنانچه در سال اول شستشوی چراغها انجام نگیرد افت نور چراغ در حدود ده درصد و چنانچه در دو سال متوالی شستشوی چراغها انجام نگیرد میزان افت نور چراغ به میزان پانزده درصد خواهد بود.

۷-۱. راهکارهای پرهزینه جهت کاهش مصرف انرژی الکتریکی

در این بخش به بررسی راهکارهای پرهزینه جهت کاهش مصرف انرژی الکتریکی در مجتمع های مس پرداخته می شود.

۱-۷-۱. استفاده از موتورهای پربازده

هدف استفاده از الکتروموتورهای پربازده، کاهش تلفات داخلی الکتروموتورها می باشد. تلفات داخلی الکتروموتورها شامل موارد زیر است:

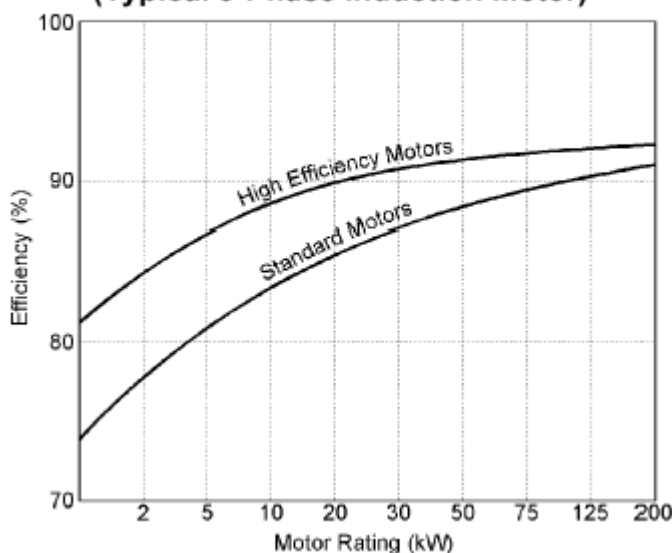
تلفات مسی که وابسته به جریان بار است.

تلفات هسته که مقدار ثابتی است و مستقل از جریان بار می باشد.

تلفات مکانیکی که به سرعت وابسته است ولی مستقل از بار می باشد.

با انتخاب موتورهای الکتریکی پربازده مقادیر تلفات داخلی کمتر خواهد شد. این الکتروموتورها دارای طول هسته بیشتری می باشند 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. در شکل ۱-۱۰ منحنی های بازده الکتروموتورهای استاندارد و الکتروموتورهای پربازده در اندازه های مختلف مقایسه شده اند.

**STANDARD vs HIGH EFFICIENCY MOTORS
(Typical 3-Phase Induction Motor)**



شکل ۱-۱۰. منحنی بازده موتورهای الکتریکی

استفاده از موتورهای پربازده علاوه بر اینکه دارای راندمان بیشتر نسبت به موتورهای عادی هستند، همچنین جریان‌های بیشتری را در هنگام راه‌اندازی تحمل و حرارت و نویز کمتری را تولید می‌کنند. اما هزینه خرید این موتورها بسیار زیاد می‌باشد و پیشنهاد می‌گردد هنگام تعویض موتورهای مستهلک از این راهکار استفاده شود.

۱-۷-۲. استفاده از درایو کنترل دور (VSD) بر روی موتورها

استفاده از تکنولوژی الکترونیک قدرت (*Power Electronic*) به طور مستمر بهره‌وری و کیفیت فرآیندهای صنعتی مدرن را بی‌وقفه بهبود می‌بخشد. تخمین زده می‌شود که با استفاده از این تکنولوژی، حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد امکان صرفه‌جویی انرژی الکتریکی وجود دارد.

نیروی محرکه بیشتر پمپ‌ها و فن‌ها، موتورهای القایی هستند که در دور ثابت کار می‌کنند. درایوها دستگاه‌هایی هستند که توان ورودی با ولتاژ و فرکانس ثابت را به توان خروجی با ولتاژ و فرکانس متغیر تبدیل می‌کنند. باید توجه کرد که دور یک موتور تابعی از فرکانس منبع تغذیه آن است.

استفاده از موتورهای مجهز به کنترل کننده دور، امکان اعمال تغییرات لازم در سرعت موتور فن یا پمپ را به طور دائم فراهم آورده و بدین ترتیب می‌توان با توجه به فرآیند مورد نظر از اتلاف انرژی ایجاد شده در اثر تنظیم کننده‌های مکانیکی جلوگیری کرد. با استفاده از درایو متناسب با بار، هرگونه نیاز به خاموش و روشن کردن موتور و یا ادوات تنظیم کننده نظیر شیر یا دمپر حذف می‌گردد. همچنین استفاده از درایوها، کنترل دقیق سرعت و متعاقب آن، توان خروجی قابل تنظیم را سبب می‌شود که با توجه به استفاده از مدارات الکترونیکی، استهلاک قسمت‌های کنترل کننده در حد بسیار پایین خواهد بود.

اگر چه هزینه اولیه این سیستم‌ها نسبتاً زیاد می‌باشد، ولی صرفه‌جویی حاصل از افزایش بازدهی در اثر استفاده از موتورهای مجهز به کنترل کننده دور، در طول زمان منجر به صرفه‌جویی اقتصادی می‌شود. معمولاً بسته به نوع کاربرد، زمان برگشت سرمایه متغیر خواهد بود.

VSD ها علاوه بر صرفه‌جویی انرژی دارای مزایای ذیل نیز می‌باشند:

کنترل بهتر فرآیند تولید

افزایش دوام تجهیزات

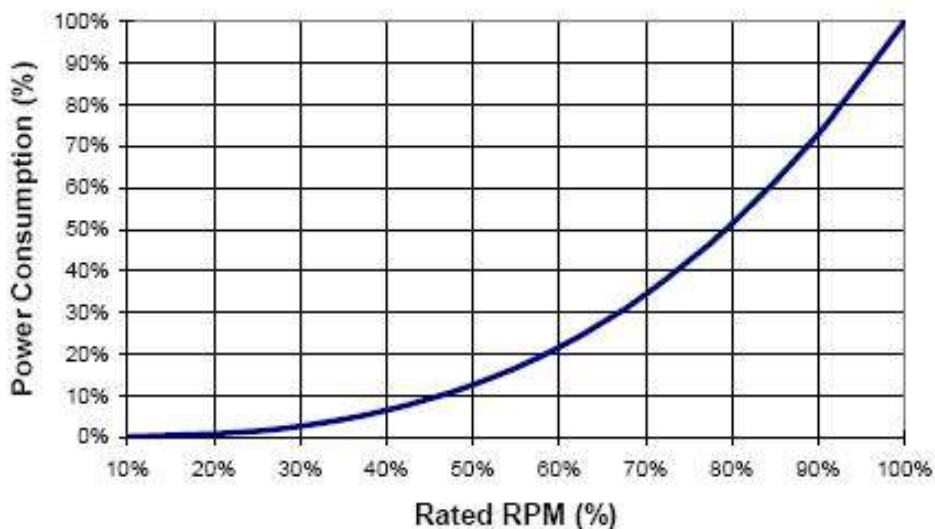
راه‌اندازی نرم (*Soft Start*)

تصحیح ضریب قدرت

جلوگیری از ضربات مکانیکی

در فن‌ها و دمنده‌ها، دبی سیال با سرعت فن متناسب است. از طرفی مصرف انرژی الکتروموتور با توان سوم سرعت آن متناسب است، بطوریکه با کاهش ۲۰ درصد سرعت، انرژی مصرفی به نصف کاهش پیدا می‌کند. این مطلب، در شکل ۱-۱۱ نشان داده شده است.

Motor Power Consumption Vs. Speed Fans and Pumps



شکل ۱-۱. مصرف انرژی الکتروموتور فن ها و پمپ ها در سرعت های مختلف موتور

کاهش انرژی الکتروموتور در اثر کم شدن سرعت آن را می توان توسط رابطه زیر بیان کرد:

$$Power_{final} = Power_{initial} \left(\frac{RPM_{final}}{RPM_{initial}} \right)^3$$

بنابراین ملاحظه می گردد که جایگزین کردن فن هایی که با دمپر کنترل می گردند، با موتورهای دور متغیر، کاهش قابل توجهی در مصرف انرژی را به دنبال دارد.

۲-۲-۷-۱. نصب سیستم کنترل و درایو کنترل سرعت (VSD) بر روی دمنده های سیستم فلوتاسیون واحدهای

تغلیظ جدید و قدیم:

یکی دیگر از قسمتهایی که می توان از سیستم کنترل دور روی آن ها استفاده کرد مربوط به دمنده های هوای سیستم فلوتاسیون می باشد. این دمنده ها بطور دائم در حال کار می باشند و هوای مورد نیاز سیستم را تولید می نمایند. این هوای تولیدی از طریق لوله های مربوطه به سلول های فلوتاسیون انتقال می یابد. روی هر سلول یک والو در مسیر این هوا وجود دارد و اپراتور های مربوطه هوای مورد نیاز را از طریق باز و بسته کردن این والوها تنظیم می کنند.

سیستم تنظیم فشار به این صورت است که یک والو تخلیه هوا روی خط نصب می باشد و در مواقعی که هوا مورد نیاز نمی باشد، مقداری هوا از سیستم تخلیه می شود تا فشار خط ثابت بماند. بنابراین توصیه می شود با نصب سیستم کنترل روی این دمنده ها مقدار فشار خط را با تغییر دور دمنده تنظیم نموده و از پرت هوا جلوگیری کرد. با توجه به بررسی های انجام شده در اتاق کنترل تغلیظ جدید مشخص شد، در حدود سی درصد از هوای

تولیدی توسط دمنده ها پرت می شود. لذا می توان با استفاده از نرم افزار *Fan Save* مقدار کاهش مصرف انرژی با نصب سیستم کنترل دور برای دمنده های واحد تغلیظ جدید را محاسبه کرد.

۱-۷-۲-۳. نصب سیستم کنترل و درایو کنترل سرعت (VSD) بر روی کمپرسور مربوط به *sootblower* های واحد ذوب:

با توجه به اینکه که همراه گاز خروجی از کوره های ذوب که به سمت لوله های بویلر می رود مقداری غبار وجود دارد. لذا این غبار روی لوله های بویلر که در مسیر این گاز قرار دارد نشسته و باعث می شود که عمل انتقال حرارت به خوبی انجام نشود. برای جلوگیری از این کار، با دمیدن هوای فشرده روی این لوله ها، این رسوب ها را از بین می برند.

با توجه به اینکه سوت بلورها موجود در اندازه های مختلف می باشند و هر کدام که در مدار قرار می گیرند در فشار ثابت یک دبی مشخصی را مصرف می کنند، لذا این کمپرسور دبی هوای متغیری در فشار ثابت تولید می کند و نحوه کار آن به این صورت است که شامل یک والو در مسیر هوای ورودی (*inlet valve*) و یک والو بای پاس (*bypass valve*) در مسیر خروجی می باشد. در زمانی که این کمپرسور زیر بار قرار می گیرد بسته به هوای مورد نیاز والو ورودی باز می شود تا فشار هوای ورودی تنظیم شود و والو بای پاس بسته می شود. و دبی مورد نیاز در فشار ثابت تامین می شود. به همین ترتیب اگر دبی هوای مورد نیاز کاهش یابد برای ثابت نگه داشتن فشار به طور اتومات والو بای پاس باز می شود و هوای تولیدی به خارج ونت می شود. به این صورت این کمپرسور یک هوایی با دبی متغیر و فشار ثابت تولید می کند.

فصل دوم

بررسی وضعیت کوره‌های مجتمع مس مورد بررسی

۱-۲. مقدمه‌ای بر کوره‌ها

کوره‌ها در صنایع گوناگون، کاربردهای متفاوتی دارند. در زیر انواع کاربرد کوره‌ها در صنایع آمده است.

۱-۱-۲. کاربرد کوره‌ها در صنایع

کوره تجهیز است برای:

ذوب فلزات جهت ریخته‌گری

گرم کردن مواد

تغییر شکل مواد (نورد، فورج و غیره)

تغییر خواص مواد (عملیات حرارتی)

در شکل ۱-۲ نمایی از داخل و خارج یک کوره ملاحظه می‌شود.

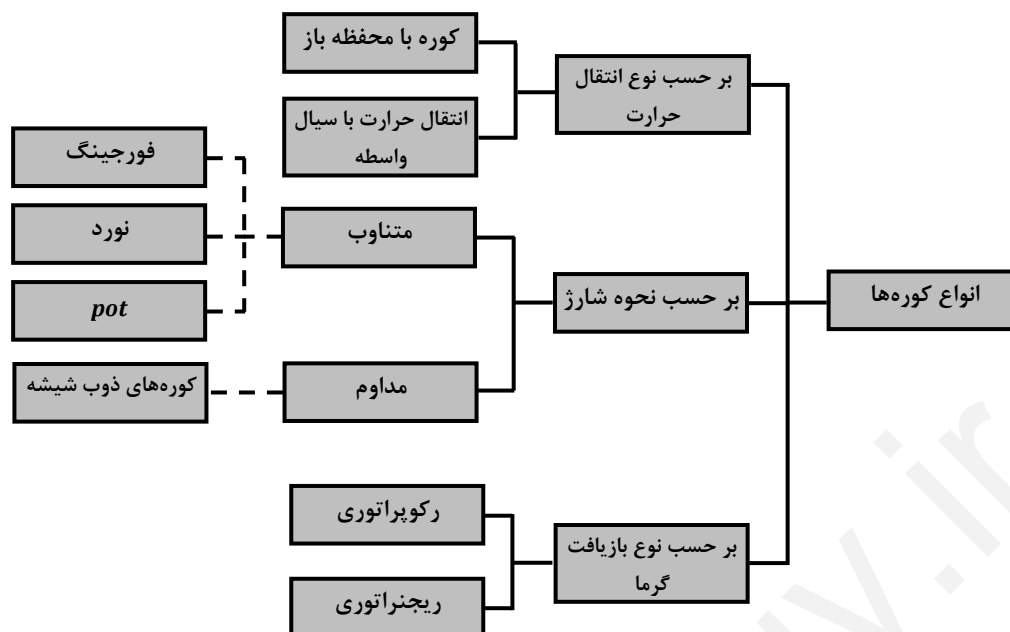


شکل ۱-۲. نمایی از داخل و خارج یک کوره

۲-۱-۲. طبقه‌بندی انواع کوره‌ها

کوره‌ها به طرق مختلف طبقه‌بندی می‌شوند. در شکل ۲-۲ طبقه‌بندی کوره‌ها بر اساس نوع انتقال حرارت، نحوه

شارژ و نوع بازیافت گرما آمده است.



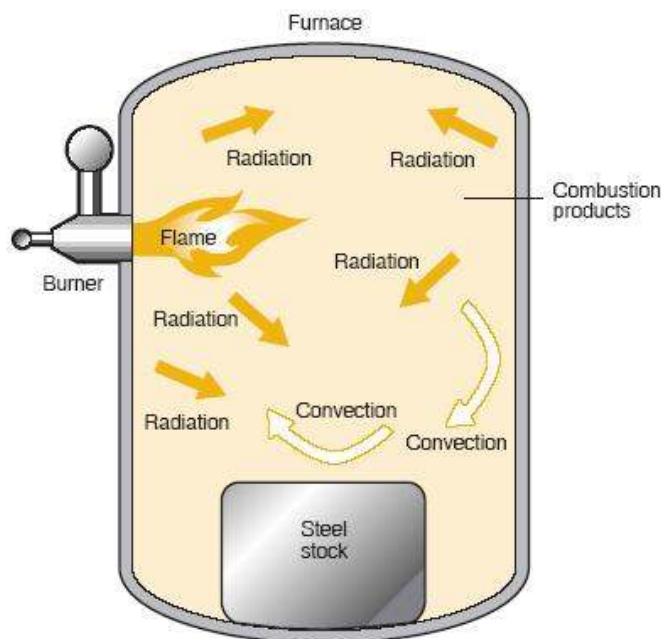
شکل ۲-۲. طبقه‌بندی انواع کوره

۲-۲. توضیحاتی در مورد کوره‌ها و عملکرد آنها

در این قسمت، موارد مختلف مربوط به کوره‌ها و عملکرد آنها بررسی و توضیح داده می‌شود.

۱-۲-۲. انتقال حرارت در کوره‌ها

انتقال حرارت در کوره به دو صورت تشعشع و جابجایی صورت می‌گیرد؛ که انتقال حرارت تشعشعی از شعله (به دلیل بالا بودن دما) به محصولات داغ احتراق، دیواره‌ها و سقف کوره وجود دارد و انتقال حرارت جابجایی به دلیل حرکت گازهای گرم بر روی سطح ماده انجام می‌گیرد. در شکل ۲-۳ نحوه انتقال حرارت در یک کوره بصورت شماتیک آورده شده است.



شکل ۳-۲. نحوه انتقال حرارت در یک کوره

۲-۲-۲. لزوم مدیریت انرژی در کوره‌ها

معمولاً تلفات انرژی در سیستم‌هایی با دمای بالا، نظیر فرآیند احتراق، بسیار زیاد است و با توجه به اهمیت بالای انرژی و استفاده منطقی و مناسب از آن، به دلیل محدود بودن ذخائر فسیلی و آلودگی بی‌رویه محیط‌زیست، اجرای مدیریت صحیح و بهینه‌سازی مصرف انرژی در صنعت، بویژه در بخش کوره‌ها به دلیل تلفات بالای انرژی، از اهمیت خاصی برخوردار است.

لازم به ذکر است که پتانسیل صرفه‌جویی انرژی در سیستم‌های احتراق یک واحد صنعتی، بیشتر از سایر قسمتهای آن است.

۳-۲-۲. کوره ایده‌ال (از دیدگاه انرژی)

کوره ایده‌ال از دیدگاه انرژی کوره‌ای است با:

بیشترین تناژ مواد شارژ شده

کمترین مصرف سوخت (کمترین تلفات)

دمای مطلوب

۴-۲-۲. ارزیابی عملکرد کوره

کوره‌ها می‌بایست به گونه‌ای طراحی شوند که در یک زمان معین حتی‌المقدور حداکثر مواد را با حداقل انرژی مصرفی، بطور یکنواخت، گرم کنند. جهت رسیدن به این هدف باید تا حد ممکن تلفات حرارتی انرژی را به حداقل رساند.

جهت کاهش تلفات انرژی قدم اول شناخت منابع اتلاف حرارت می باشد. تلفات انرژی حرارتی از کوره شامل:

تلفات انرژی از طریق دودکش

تلفات دیوار

تلفات ناشی از خروج مواد با دمای نسبتاً بالا

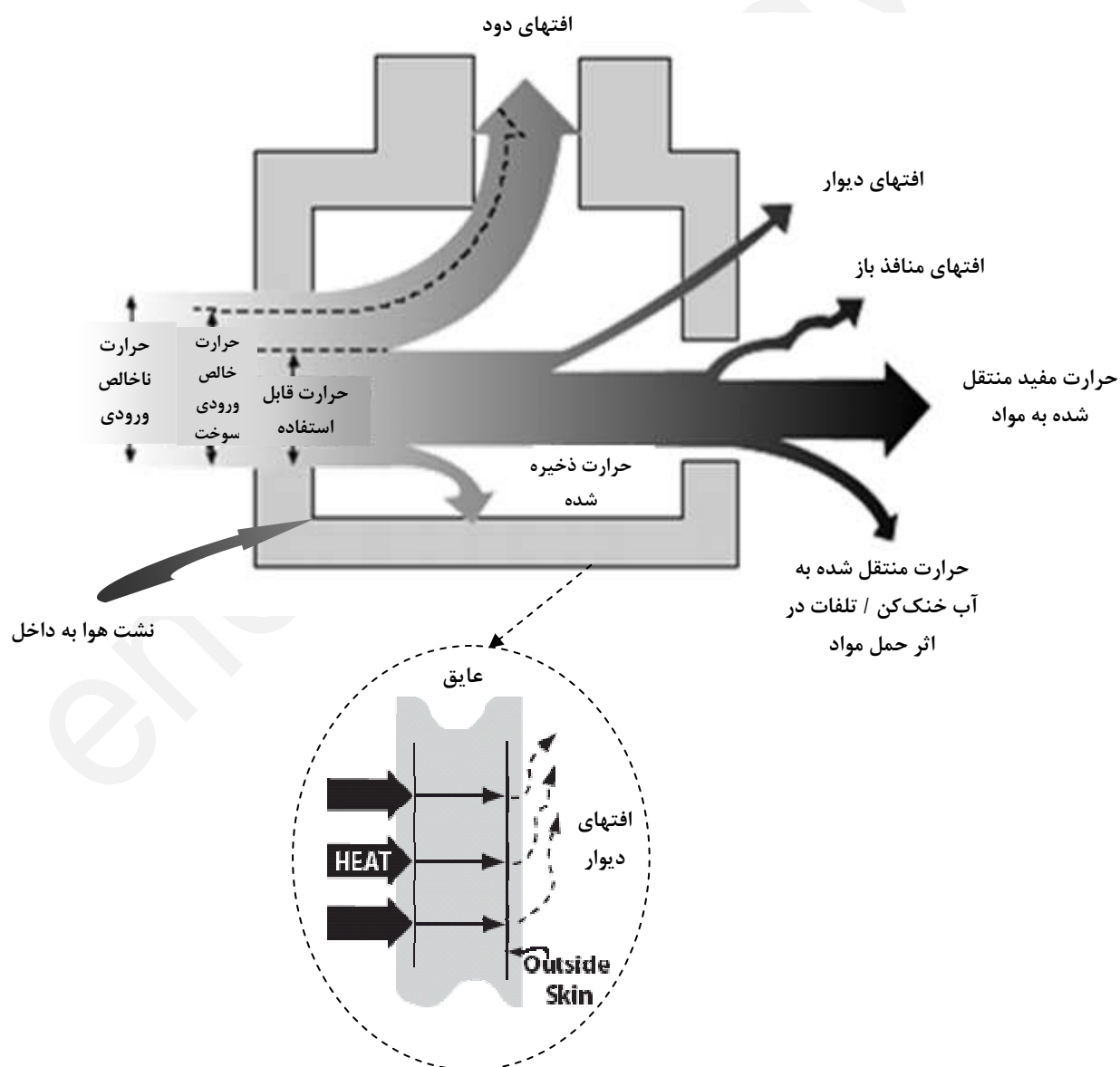
تلفات ناشی از انتقال حرارت به آب خنک کن

تلفات ناشی از منافذ

تلفات ناشی از نشت هوا به داخل

تلفات ناشی از احتراق ناقص سوخت

در شکل ۲-۴ نحوه عملکرد یک کوره و مسیرهای اتلاف انرژی در آن نمایش داده شده است.



شکل ۲-۴. نحوه عملکرد یک کوره و راههای اتلاف انرژی در کوره

۵-۲-۲. شناسایی و برطرف کردن نشتیهای کوره

وجود نشتیها در سیستم، به عنوان یک عامل مهم در اتلاف انرژی محسوب می شود. برای برطرف کردن نشتیها، نخستین گام، شناسایی موارد نشتی است. اغلب نشتیها در قسمتهایی به وجود می آید که عبارتند از:

- سوراخهای تعبیه شده برای نصب دستگاههای اندازه گیری
- دریچه های دسترسی
- درزبندی تجهیزات و یا شیشه های شفاف نصب شده بر روی کوره
- ترک و یا شکستگی در دیواره ها و یا آجرهای نسوز

برای شناسایی نشتیها، آزمایشاتی وجود دارد که عبارتند از:

- تست ساده با قرار دادن یک نورافکن قوی در داخل کوره و مشاهده نور ناشی از درزهای احتمالی، خارج از کوره.
- استفاده از یک پیرومتر که پروفیل دما در پوسته خارجی کوره را نمایان می سازد. بطور کلی این تست نقاطی را که در آنها مواد نسوز کارایی لازم را ندارند، نشان می دهد.
- انجام تست "پمپ دود" و بررسی آثار دود در خارج از کوره.
- استفاده از حباب صابون در نقاطی که احتمال وجود نشتی در آنها وجود دارد.
- استفاده از یک دستگاه حرارت نگار، برای پیدا کردن نقاط گرم که احتمال خرابی عایق بندی و همچنین نشتی در آنها بیشتر است.

۶-۲-۲. فاکتورهای مؤثر در تضعیف عملکرد کوره

فاکتورهای مهم مؤثر در تضعیف عملکرد کوره در زیر لیست شده است:

- عدم بارگیری صحیح
- طراحی نادرست
- استفاده از مشعلها با کارایی پایین
- درفت^۱ ناقص
- عدم وجود سیستمهای بازیافت حرارت
- نبودن تجهیزات کنترلی
- ضعف عملکرد، تعمیر و نگهداری
- تلفات بالای دودکش
- ضعف عایقکاری

۷-۲-۲. پارامترهای تعیین کارایی کوره

راندمان یک کوره بر حسب درصد حرارت خروجی نسبت به حرارت ورودی بیان می‌شود. راندمان کوره‌ها براساس ارزش حرارتی ناخالص یا خالص سوخت تعریف می‌شود. در رابطه زیر تعریف راندمان کوره ارائه شده است:

$$\text{راندمان (۱)} = \frac{\text{حرارت مفید خروجی}}{\text{حرارت ورودی}} \times 100$$

$$\text{انرژی مخصوص مصرفی (۲)} = \frac{\text{مقدار انرژی سوخت یا برق مصرفی}}{\text{مقدار مواد فرآیند (تولیدی)}}$$

محدوده راندمان حرارتی برای کوره‌های معمول در جدول ۱-۲ آورده شده است.

جدول ۱-۲. محدوده راندمان حرارتی برای کوره‌های معمول

راندمان حرارتی (%)	نوع کوره
(۱) کوره‌های دما پایین	
۲۰ - ۳۰	۵۴۰ - ۸۰ °C (نوع ناپیوسته)
۱۵ - ۲۵	۹۸۰ - ۵۴۰ °C (نوع پیوسته)
۵ - ۷	Coil Anneal (Bell) (نوع شعاعی)
۷ - ۱۲	Strip Anneal Muffle
(۲) کوره‌های دما بالا	
۷ - ۱۵	چرخشی و Pusher
۵ - ۱۰	forge (نوع ناپیوسته)
(۳) کوره‌های پیوسته	
۲۵ - ۹۰	هافمن
۲۰ - ۸۰	تونلی
(۴) آون	
۳۵ - ۴۰	آونهای شعله مستقیم (۳۷۰ °C - ۲۰ °C)
۳۵ - ۴۰	آونهای شعله غیرمستقیم (۳۷۰ °C - ۲۰ °C)

۸-۲-۲. پارامترهای موردنیاز برای بالانس انرژی و بررسی کارایی کوره‌ها

پارامترهای موردنیاز برای بالانس انرژی و بررسی کارایی کوره‌ها عبارتند از:

شدت جریان مواد خام ورودی
شدت جریان محصولات خروجی
درجه حرارت دیوارها و سقف کوره
درجه حرارت دود خروجی
میزان و آنالیز دود خروجی
میزان هوای اضافی احتراق
مقدار مصرف سوخت

۹-۲-۲. توصیه‌هایی برای بهره‌برداری مناسب و عملکرد بهینه سیستم

درصد اکسیژن یا هوای اضافی معادل، دمای هوای ورودی و دمای دودکش را در هر نوبت کاری، با در نظر گرفتن بار کوره و مقدار سوخت مصرف شده، در سطحی که توسط سازنده یا ممیزین انرژی توصیه شده، نگاه دارید تا به مقدار حداکثر بازدهی سیستم دست یابید.

در صورت استفاده از سوخت‌هایی که ایجاد دوده و یا خاکستر می‌نمایند، سطوح سیستم را، حداقل یکبار در هر نوبت کاری تمیز کنید. رسوب‌های خارجی را نیز در صورت مشاهده برطرف نمایید.

یک برنامه تجربی منظم برای تمیز کردن و یا تعویض سرمشعل‌ها تدوین کنید.

ترموستات‌ها و دماسنج‌های سیستم را بطور منظم بازرسی و کالیبره کنید. بهتر است برای سیستم از یک ترموستات قابل برنامه‌ریزی، متناسب با برنامه کاری سیستم، استفاده کنید.

با بازرسی منظم لوله‌ها و اتصالات، از سالم بودن لوله‌ها و عدم وجود گرفتگی و انسداد در آنها اطمینان حاصل کنید.

برای بررسی و کنترل نسبت هوا به سوخت، از سیستم‌های آنالیز گاز استفاده کنید، دستگاه اندازه‌گیری را کالیبره کرده و کالیبراسیون آنها را هفته‌ای یکبار کنترل کنید.

وضعیت فیزیکی پره‌های فن‌ها و دمپر‌ها باید در شرایط بهینه باشد. برای این منظور لازم است که در هر هفته، عملکرد فن و دمپر را بررسی نمایید. همواره باید دمپر را مطابق با مقدار هوای اضافی مورد نیاز تنظیم نمایید.

آنالیز سوخت تقریباً هر ماه یکبار پیشنهاد می‌شود تا در صورت ایجاد تغییرات اساسی در ترکیب آن، عملکرد مناسب برای شرایط جدید تدوین گردد.

شکل شعله و فشار سوخت را مرتباً کنترل کنید تا در صورت پخش غیر یکنواخت هوا و یا سوخت در مشعل، نسبت به رفع ایراد اقدام نمایید.

فیلترهای هوا و سوخت را مرتباً بازرسی و در صورت لزوم (معمولاً هر سه ماه یکبار) تعویض نمایید تا از گرفتگی سوراخ‌های مشعل و یا احتراق ناقص جلوگیری شود.

برنامه منظم دوره‌ای نگهداری و تعمیرات را مطابق با توصیه‌های سازنده، اجرا کنید.

۲-۱۰. عوامل مؤثر بر مصرف انرژی کوره های ذوب

از جمله عوامل مؤثر بر انرژی مصرفی کوره، موارد زیر است: [۸]

ظرفیت کوره

عیار مات

دمای هوای احتراق

استفاده از هوای غنی شده از اکسیژن برای دمش در کوره

نوع سوخت مصرفی کوره

در ادامه به بررسی تأثیر هر کدام از این عوامل بر انرژی مصرفی کوره ذوب پرداخته می شود.

ظرفیت کوره ذوب

انرژی مخصوص مصرفی کوره با ظرفیت کوره ارتباط عکس دارد. یعنی هرچه ظرفیت کوره بیشتر باشد مصرف انرژی آن به ازای تناژ تولیدی پایین می آید.

دمای هوای ورودی به کوره

در نگاه اول به نظر می رسد هرچه دمای هوای ورودی به کوره بالاتر باشد، انرژی مصرفی مخصوص کاهش می یابد.

غنی سازی اکسیژن هوا

نوع سوخت

۲-۱۱. محاسبات بازده کوره

مثال

درجه حرارت یک کوره پیش گرم با سوخت مایع حدود 1340°C است. دبی سوخت مایع مصرفی 400 لیتر در ساعت است. درجه حرارت دود خروجی پس از پیش گرمکن هوا 750°C است. درجه حرارت هوای ورودی از محیط 40°C بوده و تا 190°C در پیش گرمکن هوا گرم می شود. ضخامت دیواره کوره در قسمت خروجی شمش 460 mm بوده و دارای 1 متر ارتفاع و 1 متر پهنا می باشد. سایر مشخصات در زیر داده شده اند. راندمان کوره را از هر دو روش مستقیم و غیر مستقیم بدست آورید.

اطلاعات بدست آمده:

درجه حرارت دود پس از پیش گرمکن هوا $= 750^{\circ}\text{C}$ درجه سانتیگراد

درجه حرارت هوا (محیط) = 40°C درجه سانتیگراد

درجه حرارت هوا (پس از پیش گرمکن هوا) = 190°C درجه سانتیگراد

جرم حجمی یا دانسیته سوخت = 0.92

متوسط مصرف سوخت = $400 \text{ Liters/hr} = 400 \times 0.92 = 368 \text{ kg/hr}$

ارزش حرارتی جرمی سوخت = 10000 kcal/kg

متوسط اکسیژن موجود در دود (بر حسب درصد) = 12%

وزن مواد ورودی به کوره = 6000 kg/hr

گرمای ویژه شمش = $0.12 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$

درجه حرارت سقف و دیوارهای کوره = 122°C

درجه حرارت سایر قسمتها = 85°C

روش مستقیم

حل :

سوخت ورودی = 400 لیتر بر ساعت = 368 کیلوگرم بر ساعت

حرارت ورودی = $368 \times 10000 = 3680000$ کیلوکالری بر ساعت

حرارت خروجی = $936000 = 6000 \times 0.12 \times (1340 - 40) = m \times C_p \times \Delta T$ کیلوکالری بر ساعت

$$\text{راندمان} = \frac{\text{خروجی}}{\text{ورودی}} \times 100 = \frac{936,000}{3,680,000} \times 100 = 25/43$$

روش غیرمستقیم

حل :

۱- تلفات حرارتی گاز خروجی از دودکش (حرارت محسوس در دود)

شایان ذکر است بیشترین مقدار اتلاف انرژی در کوره‌ها از طریق دود خروجی از دودکش می‌باشد. میزان تلفات

حرارتی دود از رابطه زیر بدست می‌آید: [۹]

هوای اضافی $13.3\% = (O_2 \times 100) / (21 - O_2)$ = هوای اضافی مربوطه

14 kg/kg of oil = هوای تئوری موردنیاز برای سوختن یک کیلوگرم سوخت

$14 \times 2/33 \text{ kg/kg of oil}$ = کل هوای ورودی

$32/62 \text{ kg/kg of oil}$

$m \times C_p \times$ تلفات حرارتی محسوس دود