بسم الله الرحمن الرحیم

راهنمای ممیزی انرژی تجهیزات

و

فرآیندهای صنعتی

نویسندگان:

محمد شیخی – امیر دودابی نژاد

سمیرا فاضلی ویسری - محمد اکبری سیار

سازمان بهره وری انرژی ایران
(سابا)

عنوان و نام پدیدآور : راهنمای ممیزی انرژی تجهیزات و فرایندهای صنعتی/ نویسندگان محمد شیخی... [و دیگران].
مشخصات نشر : تهران : سازمان بهره‌وری انرژی ایران، ۱۳۹۵.
مشخصات ظاهری : ۶۲۰ ص: مصور(بخشی رنگی)، جدول ، نمودار(بخشی رنگی).
شابک : 978-964-6553-18-7
یادداشت : نویسندگان محمد شیخی، امیر دودابی‌نژاد، محمد اکبری‌سیار، سمیرا فاضلی و یسری.
موضوع : انرژی – حسابرسی - مصرف – مدیریت - استفاده بهینه -
شناسه افزوده : سازمان بهره‌وری انرژی ایران(سابا)
رده بندی کنگره : ۱۳۹۵ ۲ ر /TJ ۱۶۳/۲۴۵
رده بندی دیویی : ۶۵۸/۲۶
شماره کتابشناسی ملی : ۴۳۴۷۹۲۰

راهنمای ممیزی انرژی تجهیزات و فرآیندهای صنعتی

نویسندگان: محمد شیخی - امیر دودابی نژاد - سمیرا فاضلی ویسری - محمد اکبری سیار
ناشر: سازمان بهره‌وری انرژی ایران (سابا)
ویراستار: یاسر محمدی
ناظر کیفی: زهره اولیاء
صفحه آرایی: گروه صفحه‌آرایی طرحواره (فَرانَشر)
طرح جلد: گروه طراحی طرحواره
لیتوگرافی: اهل بیت(ع)
چاپخانه و صحافی: علوی
نوبت و سال چاپ: اول، ۱۳۹۵
شمارگان: ۴۰۰۰ نسخه
شابک: ۷ - ۱۸ - ۶۵۵۳ - ۹۶۴ - ۹۷۸

تمام حقوق اثر برای سازمان بهره‌وری انرژی ایران محفوظ است

فهرست مطالب

عنوان.....صفحه

مرحله یک: مقدمه‌ای بر ممیزی انرژی..... ۲۱

۱-۱ تعاریف و اصطلاحات ۲۳

۱-۲ مروری بر ادبیات ممیزی انرژی ۳۳

۱-۲- ۱ مقدمه‌ای بر مدیریت انرژی ۳۳

۱-۲-۱ مراحل یک برنامه مدیریت انرژی ۳۴

۱-۲-۳ مفهوم ممیزی ۳۵

۱-۲-۴ مفهوم ممیزی انرژی ۳۶

۱-۳ مروری بر استانداردهای جهانی ممیزی انرژی ۳۹

۱-۴ ضرورت‌ها و اهداف ممیزی انرژی ۴۱

۱-۴-۱ ضرورت‌های ممیزی انرژی ۴۱

۱-۴-۱-۱ ضرورت ممیزی انرژی از نگاه برون‌سازمانی ۴۱

۱-۴-۱-۲ ضرورت ممیزی انرژی از نگاه درون سازمانی ۴۱

۱-۴-۲ اهداف ممیزی انرژی ۴۲

۱-۴-۲-۱ اهداف کوتاه‌مدت ممیزی انرژی ۴۲

۱-۴-۲-۲ اهداف میان‌مدت ممیزی انرژی ۴۲

۱-۴-۲-۳ اهداف بلندمدت ممیزی انرژی ۴۴

۱-۵ تعیین حوزه و دامنه کار ممیزی انرژی ۴۴

۱-۶ تعریف انواع ممیزی انرژی ۴۷

۱-۶-۱ ممیزی انرژی قدم‌زنانه ۴۸

۱-۶-۲ ممیزی انرژی مقدماتی ۴۹

۱-۶-۳ ممیزی انرژی جامع ۵۰

۱-۷شرح خدمات انواع ممیزی انرژی ۵۳

۱-۷-۱ فعالیت‌های ممیزی انرژی ۵۳
۱-۷-۲ اقدامات تیم ممیزی پیش از اجرای ممیزی انرژی ۵۵
۱-۷-۳ اقدامات تیم ممیزی حین اجرای ممیزی انرژی ۵۷
۱-۷-۴ اقدامات ممیزی‌شونده پیش از اجرای ممیزی انرژی ۵۸
۱-۷-۵ اقدامات ممیزی‌شونده حین اجرای ممیزی انرژی ۵۹
۱-۷-۶ اقدامات ممیزی‌شونده پس از اجرای ممیزی انرژی ۶۰
۱-۷-۷ شرح فعالیت‌های قدم به قدم سطوح مختلف ممیزی انرژی ۶۱
۱-۸ تعیین توالی و زمان انجام ممیزی انرژی ۶۶
۱-۹ مسئولیت‌ها و منابع برنامه ممیزی انرژی ۶۸
۱-۹-۱ منابع برنامه ممیزی انرژی ۶۸
۱-۹-۲ انتخاب تیم ممیزی انرژی ۶۹
۱-۹-۳ اعضای تیم ممیزی انرژی ۷۱
۱-۹-۴ اصول کلی ممیزی ۷۱
۱-۹-۵ عوامل شایستگی ممیزین انرژی ۷۲
۱-۹-۶ عوامل شایستگی سرممیز انرژی ۷۹
۱-۹-۷ فرآیند ارزیابی ممیز انرژی ۸۰
۱-۱۰ صلاحیت‌های عمومی شرکت‌های ارائه‌دهنده خدمات انرژی ۸۴
۱-۱۰-۱ انواع شرکت‌های خدمات انرژی ۸۴
۱-۱۰-۲ معیارهای ارزیابی صلاحیت و توانمندی شرکتهای خدمات انرژی (طراحی و مهندسی) ۸۵
۱-۱۰-۳ معیارهای ارزیابی صلاحیت و توانمندی شرکتهای خدمات انرژی (اجرایی) ۸۶
۱-۱۱ آماده‌سازی مدارک ممیزی انرژی ۸۸
۱-۱۱-۱ انواع مدارک موردنیاز ممیزی انرژی ۸۸
۱-۱۱-۲ لیست مدارک مورد نیاز پیش از ممیزی ۸۸
۱-۱۱-۳ لیست مدارک مورد نیاز حین ممیزی ۹۲
۱-۱۱-۴ لیست مدارک مورد نیاز پس از ممیزی ۹۲
۱-۱۲ برآورد زمان، تعیین نفرات تیم فنی و نوع و مشخصات تجهیزات اندازه‌گیری در انواع ممیزی انرژی ۹۳
۱-۱۳ تجهیزات اندازه‌گیری مورد استفاده در برنامه ممیزی انرژی (قابلیت‌ها و عملکردها) ۹۷
۱-۱۳-۱ مزایای استفاده از تجهیزات پرتابل ممیزی انرژی ۹۸
۱-۱۳-۲ تجهیزات ممیزی انرژی برای اندازه‌گیری متغیرهای الکتریکی ۹۸
۱-۱۳-۳ تجهیزات ممیزی انرژی برای اندازه‌گیری پارامترهای حرارتی و مکانیکی ۱۰۸

۱-۱۳-۵ مروری بر جمع‌آوری و ثبت داده‌ها در سیستم‌های آنلاین پایش انرژی ۱۳۶
مرحله دو: جمع‌آوری و تحلیل داده‌های مورد نیاز ممیزی انرژی..... ۱۴۱
۲-۱ دستورالعمل نحوه جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز ۱۴۳
۲-۱-۱ هدف و دامنه کاربرد دستورالعمل نحوه جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز ۱۴۳
۲-۱-۲ مسئولیت جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز..... ۱۴۳
۲-۱-۳ واژگان دستورالعمل و نحوه جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز ۱۴۳
۲-۱-۴ شرح عملیات نحوه جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز ۱۴۴
۲-۱-۴-۱ مراحل جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز اولیه..... ۱۴۵
۲-۱-۴-۲ انواع داده‌های مورد نیاز اولیه..... ۱۴۶
۲-۱-۴-۳ لیست داده‌ها یا اطلاعات عمومی مورد نیاز..... ۱۴۶
۲-۱-۴-۴ لیست داده‌ها یا اطلاعات طراحی مورد نیاز..... ۱۴۷
۲-۱-۴-۵ لیست داده‌ها یا اطلاعات بهره‌برداری مورد نیاز ۱۴۸
۲-۱-۴-۶ لیست داده‌ها یا اطلاعات زمانی مورد نیاز ۱۴۸
۲-۲ دستورالعمل تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده ۱۴۹
۲-۲-۱ هدف و دامنه کاربرد دستورالعمل تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده ۱۴۹
۲-۲-۲ مسئولیت تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده..... ۱۴۹
۲-۲-۳ واژگان دستورالعمل تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده..... ۱۴۹
۲-۲-۴ شرح عملیات تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده..... ۱۵۰
۲-۳ دستورالعمل تعریف و نحوه محاسبه شاخص‌های مدیریتی..... ۱۵۶
۲-۳-۱ هدف و دامنه کاربرد دستورالعمل تعریف و نحوه محاسبه شاخص‌های مدیریتی ۱۵۶
۲-۳-۲ مسئولیت تعریف و نحوه محاسبه شاخص‌های مدیریتی..... ۱۵۶
۲-۳-۳ واژگان دستورالعمل تعریف و نحوه محاسبه شاخص‌های مدیریتی ۱۵۶
۲-۳-۴ شرح عملیات تعریف و نحوه محاسبه شاخص‌های مدیریتی..... ۱۶۵
۲-۴ دستورالعمل تعریف شاخص‌های عملیاتی مصرف انرژی..... ۱۸۵
۲-۴-۱ هدف و دامنه کاربرد دستورالعمل تعریف و نحوه محاسبه شاخص‌های عملیاتی..... ۱۸۵
۲-۴-۲ مسئولیت تعریف و نحوه محاسبه شاخصهای عملیاتی ۱۸۵
۲-۴-۳ واژگان دستورالعمل تعریف و نحوه محاسبه شاخص‌های عملیاتی ۱۸۵
۲-۴-۴ شرح عملیات تعریف و نحوه محاسبه شاخص‌های عملیاتی..... ۱۸۵
مرحله سه: تحلیل شبکه‌ها، تجهیزات انرژی‌بر و مبدل انرژی..... ۱۸۹
۳-۱ دستورالعمل تحلیل احتمال خطر (ریسک) تجهیزات انرژی‌بر و مبدل انرژی ۱۹۱
۳-۱-۱ هدف و دامنه کاربرد دستورالعمل تحلیل احتمال خطر تجهیزات انرژی‌بر و مبـدل

انرژی..... ۱۹۱
۳-۱-۲ مسئولیت تحلیل احتمال خطر تجهیزات انرژی‌بر و مبدل انرژی..... ۱۹۱
۳-۱-۳ واژگان دستورالعمل تحلیل احتمال خطر تجهیزات انرژی‌بر و مبدل انرژی..... ۱۹۲
۳-۱-۴ شرح عملیات تحلیل احتمال خطر انرژی، تجهیزات انرژی‌بر و مبدل انرژی..... ۱۹۴
۳-۲ دستورالعمل نحوه تحلیل شبکه توزیع انرژی الکتریکی یک واحد صنعتی..... ۲۰۳
۳-۲-۱ هدف و دامنه کاربرد دستورالعمل نحوه تحلیل شبکه توزیع انرژی الکتریکی..... ۲۰۳
۳-۲-۲ مسئولیت تحلیل شبکه توزیع انرژی الکتریکی..... ۲۰۴
۳-۲-۳ واژگان دستورالعمل نحوه تحلیل شبکه انرژی الکتریکی..... ۲۰۴
۳-۲-۴ شرح عملیات تحلیل شبکه توزیع انرژی الکتریکی..... ۲۳۱
۳-۳ دستورالعمل نحوه تحلیل شبکه توزیع گاز طبیعی و سایر حامل‌های انرژی فسیلی..... ۲۶۰
۳-۳-۱ هدف و دامنه کاربرد دستورالعمل نحوه تحلیل شبکه توزیع گاز طبیعی..... ۲۶۰
۳-۳-۲ مسئولیت تحلیل شبکه توزیع گاز طبیعی..... ۲۶۱
۳-۳-۳ واژگان دستورالعمل نحوه تحلیل شبکه توزیع گاز طبیعی..... ۲۶۱
۳-۳-۴ شرح عملیات تحلیل شبکه توزیع گاز طبیعی..... ۲۷۶
۳-۴ دستورالعمل نحوه تحلیل شبکه توزیع بخار و آب گرم..... ۲۷۹
۳-۴-۱ هدف و دامنه کاربرد دستورالعمل نحوه تحلیل شبکه توزیع بخار و آب گرم..... ۲۷۹
۳-۴-۲ مسئولیت تحلیل شبکه توزیع بخار و آب گرم..... ۲۸۰
۳-۴-۳ واژگان دستورالعمل نحوه تحلیل شبکه توزیع بخار و آب گرم..... ۲۸۰
۳-۴-۴ شرح عملیات تحلیل شبکه توزیع بخار و آب گرم..... ۳۱۰
۳-۵ دستورالعمل نحوه تحلیل شبکه هوای فشرده..... ۳۱۳
۳-۵-۱ هدف و دامنه کاربرد دستورالعمل نحوه تحلیل شبکه هوای فشرده..... ۳۱۳
۳-۵-۲ مسئولیت تحلیل شبکه هوای فشرده..... ۳۱۳
۳-۵-۳ واژگان دستورالعمل نحوه تحلیل شبکه هوای فشرده..... ۳۱۳
۳-۵-۴ شرح عملیات تحلیل شبکه هوای فشرده..... ۳۱۶
۳-۶ دستورالعمل نحوه تحلیل شبکه آب فرآیندی..... ۳۲۰
۳-۶-۱ هدف و دامنه کاربرد دستورالعمل نحوه تحلیل شبکه آب فرآیندی..... ۳۲۰
۳-۶-۲ مسئولیت تحلیل شبکه آب فرآیندی..... ۳۲۰
۳-۶-۳ واژگان دستورالعمل نحوه تحلیل شبکه آب فرآیندی..... ۳۲۰
۳-۶-۴ شرح عملیات تحلیل شبکه آب فرآیندی..... ۳۲۶
۳-۷ دستورالعمل موازنه جرم و انرژی در واحدهای صنعتی..... ۳۳۵
۳-۷-۱ هدف و دامنه کاربرد دستورالعمل موازنه جرم و انرژی..... ۳۳۵
۳-۷-۲ مسئولیت انجام موازنه جرم و انرژی..... ۳۳۵

۳-۷-۳ واژگان دستورالعمل موازنه جرم و انرژی ۳۳۵
۳-۷-۴ شرح عملیات انجام موازنه جرم و انرژی ۳۳۹
۳-۸ دستورالعمل نحوه انتخاب زمان و دوره اندازه‌گیری ۳۵۴
۳-۸-۱ هدف و دامنه کاربرد دستورالعمل نحوه انتخاب زمان و دوره اندازه‌گیری ۳۵۴
۳-۸-۲ مسئولیت انتخاب زمان و دوره اندازه‌گیری ۳۵۴
۳-۸-۳ واژگان دستورالعمل نحوه انتخاب زمان و دوره اندازه‌گیری ۳۵۴
۳-۸-۴ شرح عملیات انتخاب زمان و دوره اندازه‌گیری ۳۵۵
۳-۹ دستورالعمل نحوه عملکرد، اندازه‌گیری و تعریف شاخص‌های انرژی سیستم پمپاژ ۳۵۹
۳-۹-۱ هدف و دامنه کاربرد دستورالعمل نحوه تحلیل عملکرد انرژی سیستم پمپاژ ۳۵۹
۳-۹-۲ مسئولیت تحلیل عملکرد انرژی سیستم پمپاژ ۳۶۰
۳-۹-۳ واژگان دستورالعمل نحوه تحلیل عملکرد انرژی سیستم پمپاژ ۳۶۰
۳-۹-۴ شرح عملیات تحلیل عملکرد انرژی سیستم پمپاژ ۳۶۳
۳-۱۰ دستورالعمل نحوه عملکرد، اندازه‌گیری و تعریف شاخص‌های انرژی فن و دمنده ۳۷۹
۳-۱۰-۱ هدف و دامنه کاربرد دستورالعمل نحوه تحلیل عملکرد انرژی فن و دمنده ۳۷۹
۳-۱۰-۲ مسئولیت تحلیل عملکرد انرژی فن و دمنده ۳۷۹
۳-۱۰-۳ واژگان دستورالعمل نحوه تحلیل عملکرد انرژی فن و دمنده ۳۸۰
۳-۱۰-۴ شرح عملیات تحلیل عملکرد انرژی فن و دمنده ۳۸۲
۳-۱۱ دستورالعمل نحوه عملکرد، اندازه‌گیری و تعریف شاخص‌های انرژی کمپرسور ۳۹۵
۳-۱۱-۱ هدف و دامنه کاربرد دستورالعمل نحوه تحلیل عملکرد انرژی کمپرسور ۳۹۵
۳-۱۱-۲ مسئولیت تحلیل عملکرد انرژی کمپرسور ۳۹۵
۳-۱۱-۳ واژگان دستورالعمل نحوه تحلیل عملکرد انرژی کمپرسور ۳۹۶
۳-۱۱-۴ شرح عملیات تحلیل عملکرد انرژی کمپرسور ۳۹۹
۳-۱۲ دستورالعمل نحوه عملکرد، اندازه‌گیری و تعریف شاخص‌های انرژی کوره حرارتی ۴۱۳
۳-۱۲-۱ هدف و دامنه کاربرد دستورالعمل نحوه تحلیل عملکرد انرژی کوره حرارتی ۴۱۳
۳-۱۲-۲ مسئولیت تحلیل عملکرد انرژی کوره حرارتی ۴۱۴
۳-۱۲-۳ واژگان دستورالعمل نحوه تحلیل عملکرد انرژی کوره حرارتی ۴۱۴
۳-۱۲-۴ شرح عملیات تحلیل عملکرد انرژی کوره حرارتی ۴۱۶
۳-۱۳ دستورالعمل نحوه عملکرد، اندازه‌گیری و تعریف شاخص‌های انرژی الکتروموتور ۴۳۴
۳-۱۳-۱ هدف و دامنه کاربرد دستورالعمل نحوه تحلیل عملکرد انرژی الکتروموتور ۴۳۴
۳-۱۳-۲ مسئولیت تحلیل عملکرد انرژی الکتروموتور ۴۳۴
۳-۱۳-۳ واژگان دستورالعمل نحوه تحلیل عملکرد انرژی الکتروموتور ۴۳۴
۳-۱۳-۴ شرح عملیات تحلیل عملکرد انرژی الکتروموتور ۴۵۱

۳-۱۴ دستورالعمل نحوه عملکرد، اندازه‌گیری و تعریف شاخص‌های انرژی بویلر ۴۵۸
۳-۱۴-۱ هدف و دامنه کاربرد دستورالعمل نحوه تحلیل عملکرد انرژی بویلر ۴۵۸
۳-۱۴-۲ مسئولیت تحلیل عملکرد انرژی بویلر ۴۵۸
۳-۱۴-۳ واژگان دستورالعمل نحوه تحلیل عملکرد انرژی بویلر ۴۵۹
۳-۱۴-۴ شرح عملیات تحلیل عملکرد انرژی بویلر ۴۶۰
۳-۱۵ دستورالعمل نحوه عملکرد، اندازه‌گیری و تعریف شاخص‌های انرژی توربین بخار ۴۷۹
۳-۱۵-۱ هدف و دامنه کاربرد دستورالعمل نحوه تحلیل عملکرد انرژی توربین بخار ۴۷۹
۳-۱۵-۲ مسئولیت تحلیل عملکرد انرژی توربین بخار ۴۷۹
۳-۱۵-۳ واژگان دستورالعمل نحوه تحلیل عملکرد انرژی توربین بخار ۴۷۹
۳-۱۵-۴ شرح عملیات تحلیل عملکرد انرژی توربین بخار ۴۸۷
۳-۱۶ دستورالعمل نحوه عملکرد، اندازهگیری و تعریف شاخص‌های انرژی توربین گاز ۴۹۶
۳-۱۶-۱ هدف و دامنه کاربرد دستورالعمل نحوه تحلیل عملکرد انرژی توربین گاز ۴۹۶
۳-۱۶-۲ مسئولیت تحلیل عملکرد انرژی توربین گاز ۴۹۷
۳-۱۶-۳ واژگان دستورالعمل نحوه تحلیل عملکرد انرژی توربین گاز ۴۹۷
۳-۱۶-۴ شرح عملیات تحلیل عملکرد انرژی توربین گاز ۵۰۱
مرحله چهار: تحلیل داده‌ها و ارائه راهکارها ۵۱۳
۴-۱ دستورالعمل نحوه تحلیل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری ۵۱۵
۴-۱-۱ هدف و دامنه کاربرد دستورالعمل نحوه تحلیل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری ۵۱۵
۴-۱-۲ مسئولیت تحلیل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری ۵۱۵
۴-۱-۳ واژگان دستورالعمل نحوه تحلیل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری ۵۱۵
۴-۱-۴ شرح عملیات تحلیل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری ۵۳۷
۴-۲ دستورالعمل نحوه شناسایی راهکارهای صرفه‌جویی انرژی ۵۳۷
۴-۲-۱ هدف و دامنه کاربرد دستورالعمل نحوه شناسایی راهکارهای صرفه‌جویی انرژی ۵۳۷
۴-۲-۲ مسئولیت شناسایی راهکارهای صرفه‌جویی انرژی حاصل از ممیزی انرژی ۵۳۸
۴-۲-۳ واژگان دستورالعمل شناسایی راهکارهای صرفه‌جویی انرژی حاصل از ممیزی انرژی ۵۳۸
۴-۲-۴ شرح عملیات شناسایی راهکارهای صرفه‌جویی انرژی حاصل از ممیزی انرژی ۵۶۲
۴-۳ تدوین روش محاسبات فنی و اقتصادی راهکارهای بهینه‌سازی انرژی ۵۶۲
۴-۳-۱ مقدمه ۵۶۲
۴-۳-۲ تعاریف و اصطلاحات تحلیل اقتصادی ۵۶۴
۴-۳-۳ منابع تأمین اعتبار مالی پروژه‌های بهبود ۵۶۷
۴-۴ تعیین متدلوژی اولویت‌بندی راهکارها ۵۸۳

۴-۴-۱ معیارهای اولویت‌بندی راهکارها ۵۸۳
۴-۴-۲ همراستایی با راهبرد شرکت ۵۸۵
۴-۴-۳ ارزیابی مالی اقتصادی ۵۸۵
۴-۴-۴ ارزیابی سختی اجرا ۵۸۶
۴-۴-۵ ارزیابی منابع موجود ۵۸۶
۴-۴-۶ ارزیابی (خطر احتمالی) ریسک ۵۸۷
۴-۵ تعیین محدودیت‌ها و موانع فنی و تکنولوژیکی اجرای راهکارها ۵۸۹
۴-۶ تعیین الزامات ارائه هر راهکار صرفه‌جویی انرژی ۵۹۲
۴-۶-۱ الزامات ارائه راهکار ۵۹۲
۴-۶-۲ توجیه فنی راهکار ۵۹۳
۴-۶-۳ توجیه اقتصادی راهکار ۵۹۶
۴-۶-۴ توجیه زیست‌محیطی راهکار ۵۹۸
۴-۶-۵ توجیه اجتماعی راهکار ۵۹۸
۴-۷ دستورالعمل تعیین متغیرهای مورد نیاز برای ارائه هر راهکار ۵۹۹
۴-۷-۱ هدف و دامنه کاربرد دستورالعمل تعیین متغیرهای مورد نیاز برای ارائه هر راهکار ۵۹۹
۴-۷-۲ مسئولیت تعیین متغیرهای مورد نیاز برای ارائه هر راهکار ۶۰۰
۴-۷-۳ تعاریف/واژگان دستورالعمل تعیین متغیرهای مورد نیاز برای ارائه هر راهکار ۶۰۰
۴-۷-۴ شرح عملیات تعیین متغیرهای مورد نیاز برای ارائه هر راهکار ۶۰۳
۴-۸ تدوین دستورالعمل گزارش ممیزی انرژی ۶۰۷
۴-۸-۱ هدف و دامنه کاربرد دستورالعمل گزارش ممیزی انرژی ۶۰۷
۴-۸-۲ مسئولیت تدوین گزارش ممیزی انرژی ۶۰۷
۴-۸-۳ واژگان دستورالعمل تدوین گزارش ممیزی انرژی ۶۰۷
۴-۸-۴ شرح عملیات تدوین گزارش ممیزی انرژی ۶۱۲
منابع و مآخذ ۶۱۵

فهرست شکل‌ها

عنوان.....صفحه

شکل (۱-۱) عوامل مؤثر بر تعیین حوزه و دامنه کار ممیزی انرژی.....۴۶
شکل (۱-۲) تفاوت سطوح ممیزی انرژی.....۴۷
شکل (۱-۳) فعالیت‌های فرآیند ممیزی انرژی.....۵۴
شکل (۱-۴) نمونه‌ای از گردآوری داده‌های اولیه مورد نیاز ممیزی انرژی صنعتی در قالب شناسنامه انرژی ۶۱
شکل (۱-۵) محتوای برنامه ممیزی انرژی.....۶۹
شکل(۱-۶) معیارهای شایستگی ممیزین انرژی.....۷۳
شکل (۱-۷) معلومات و مهارت‌های عمومی ممیزین انرژی.....۷۵
شکل (۱-۸) فرآیند ارزیابی ممیز انرژی.....۸۱
شکل (۱-۹) نمایی از یک ست کامل تحلیل‌گر کیفیت نوان نمونه.....۱۰۱
شکل (۱-۱۰) نمونه‌ای از پنل اتصالات تحلیلگر کیفیت توان ۱-پراب‌های ولتاژ، ۲-کلمپ‌های جریان و ۳-کابل‌های اتصال به کامپیوتر.....۱۰۲
شکل (۱-۱۱) نحوه اتصال دستگاه تحلیل‌گر کیفیت توان به شبکه برق شرکت.....۱۰۲
شکل (۱-۱۲)تعیین پارامترهای مورد نیاز اندازه‌گیری در تحلیل‌گر کیفیت توان.....۱۰۲
شکل (۱-۱۳) تعیین هارمونیک‌های مورد نیاز برای اندازه‌گیری در تحلیل‌گر کیفیت توان.....۱۰۳
شکل (۱-۱۴) مشاهده مقادیر کلیه هارمونیک‌های ولتاژ و جریان خط و مقادیر THD در تحلیل‌گر کیفیت توان.....۱۰۳
شکل (۱-۱۵) مشاهده وضعیت کلی سیستم برق شرکت در تحلیل‌گر کیفیت توان.....۱۰۳
شکل (۱-۱۶) نمایش شکل موج‌های ولتاژ سه فاز و جریان سه فاز در تحلیل‌گر کیفیت توان ...۱۰۴
شکل (۱-۱۷) نمایی از یک کلمپ‌متر نمونه.....۱۰۴
شکل (۱-۱۸) نمایی از یک دستگاه روشنایی‌سنج نمونه.....۱۰۵
شکل (۱-۱۹) تجهیزات نمونه ممیزی انرژی الکتریکی در یک نگاه.....۱۰۸
شکل (۱-۲۰) نمایی از یک دستگاه ترمومتر تماسی نمونه.....۱۱۰
شکل (۱-۲۱) نمایی از یک دستگاه ترمومتر غیرتماسی (مادون قرمز) نمونه.....۱۱۱
شکل (۱-۲۲) نمایی از یک نمونه Fuel efficiency Monitor.....۱۱۳
شکل (۱-۲۳) نمایی از یک نمونه Fyrite.....۱۱۴
شکل (۱-۲۴) نمایی از یک نمونه Gas analyzer.....۱۱۴

شکل (۱-۲۵) نمونه‌ای از یک تستر سلامت تله بخار ۱۱۶
شکل (۱-۲۶) نمونه‌هایی از دبی‌سنج مافوق صوت نوع داپلر به همراه متعلقات ۱۲۲
شکل (۱-۲۷) نمونه‌هایی از دبی‌سنج مافوق صوت نوع زمان گذر به همراه متعلقات ۱۲۳
شکل (۱-۲۸) مکانیزم اندازه‌گیری دبی‌سنج مافوق صوت نوع داپلر ۱۲۳
شکل (۱-۲۹) مکانیزم اندازه‌گیری دبی‌سنج مافوق صوت نوع زمان گذر ۱۲۴
شکل (۱-۳۰) نمونه‌ای از یک دوربین ترموویژن ۱۲۴
شکل (۱-۳۱) نمونه‌ای از یک دیتالاگر ۱۲۷
شکل (۱-۳۲) نمونه‌ای از لوله پیتوت با اندازه‌گیری اختلاف فشار ۱۲۹
شکل (۱-۳۳) نمونه‌ای از تاکومتر دیجیتال ۱۲۹
شکل (۱-۳۴) نمونه‌ای از استروبوسکوپ ۱۳۰
شکل (۱-۳۵) نمونه‌ای از یک آشکارساز نشتی مافوق صوت ۱۳۱
شکل (۱-۳۶) تجهیزات نمونه ممیزی انرژی حرارتی و مکانیکی در یک نگاه ۱۳۴
شکل (۲-۱) مشخصات نمودار خطی مصرف ویژه انرژی ۱۵۲
شکل (۲- ۲) نمودار سوابق مصارف برق یک واحد تولیدی از یک کارخانه ۱۵۳
شکل (۲- ۳) نمودار سوابق میزان تولید یک واحد تولیدی از یک کارخانه ۱۵۳
شکل (۲- ۴) نمودار الگوی مصرف برق یک واحد تولیدی از یک کارخانه ۱۵۴
شکل (۲- ۵) نمودار جمع انباره برق یک واحد تولیدی از یک کارخانه ۱۵۴
شکل (۲- ۶) روند بررسی عملکرد انرژی ۱۵۸
شکل (۲- ۷) سطوح مختلف شرکت برای تعریف عملکرد انرژی ۱۵۹
شکل (۲-۸) روش‌های هدف‌گذاری شاخص‌های عملکرد انرژی ۱۶۱
شکل (۳- ۱) نمودار مربوط به توان‌های ظاهری، اکتیو و راکتیو ۲۰۵
شکل (۳-۲) سطوح اندازه‌گیری انرژی الکتریکی در یک شرکت ۲۰۸
شکل (۳-۳) نمایی از یک ترانسفورماتور ۲۲۳
شکل (۳-۴) آشنایی با کمیت‌های روشنایی ۲۲۵
شکل (۳-۵) نمایی از انواع لامپ‌های LED ۲۲۹
شکل (۳-۶) نمایی از انواع لامپ‌ها ۲۲۹
شکل (۳-۷) ادوات کنترل سیستم روشنایی ۲۳۰
شکل (۳-۸) انجام نگهداری و تعمیرات منظم سیستم روشنایی در داخل و خارج ساختمان‌های شرکت ۲۴۸
شکل (۳-۹) مقایسه لامپ‌های کم مصرف و رشته‌ای از لحاظ هزینه و طول عمر ۲۴۸

شکل (۳- ۱۰) استفاده از انرژی خورشید برای تامین روشنایی ساختمان..... ۲۴۹
شکل (۳-۱۱) محاسبات طراحی دقیق براساس فعالیت‌های متفاوت..... ۲۴۹
شکل (۳- ۱۲) جانمایی مناسب ساختمان برای استفاده حداکثر از روشنایی روز..... ۲۵۰
شکل (۳-۱۳) نماهای نمونه از جانمایی لامپ‌ها در سقف..... ۲۵۱
شکل (۳-۱۴) معادلات و نمودارهای دما- فشار- حجم سیالات ۲۶۹
شکل (۳- ۱۵) روش ایجاد نمودار فشار- دمای تغییر فاز..... ۲۷۰
شکل (۳- ۱۶) نمودار فشار- دمای تغییر فاز ۲۷۲
شکل (۳-۱۷) نقطه بحرانی در نمودار فازی آب..... ۲۷۳
شکل (۳- ۱۸) نمودار فشار- دما- حجم مخصوص یک ماده تک جزیی..... ۲۷۴
شکل (۳-۱۹) نمودار فشار- حجم مخصوص آب ۲۷۴
شکل (۳-۲۰) نمودار دما- حجم مخصوص آب..... ۲۷۵
شکل (۳-۲۱) منحنی دما- حجم مخصوص آب در فشارهای مختلف..... ۲۷۶
شکل (۳-۲۲) چارت نمونه تعیین اندازه خط لوله بر مبنای افت فشار..... ۲۸۱
شکل (۳-۲۳) چارت نمونه تعیین اندازه خط لوله بر مبنای سرعت بخار..... ۲۸۱
شکل (۳-۲۴) ابعاد پیشنهادی نمونه‌ای برای یک سیستم تخلیه (درین) ۲۸۲
شکل (۳-۲۵) نمونه‌ای از یک خط انشعابی بخار..... ۲۸۲
شکل (۳-۲۶) نمایی از انواع صافی‌های سیستم توزیع بخار ۲۸۳
شکل (۳-۲۷) نمایی از فیلتر افقی در سیستم توزیع بخار..... ۲۸۳
شکل (۳-۲۸) انواع جداکننده‌های متداول در سیستم بخار..... ۲۸۴
شکل (۳-۲۹) جایگاه تله بخار در سیستم بخار..... ۲۸۵
شکل (۳-۳۰) موقعیت‌های متفاوت دریچه هوا..... ۲۸۵
شکل(۳-۳۱) چهار نوع خط کندانس..... ۲۸۶
شکل (۳-۳۲) نمونه‌ای از آبنمای تله بخار ۲۸۹
شکل (۳-۳۳) سیستم آزمایش با استفاده از خاصیت رسانایی سیال..... ۲۹۲
شکل (۳-۳۴) نمونه‌ای از نمودار مرجع نرخ اتلاف حرارت لوله‌های با دمای ۵۰ درجه سانتیگراد برای ضخامت‌های عایقی مختلف..... ۳۰۰
شکل (۳-۳۵) تعیین ضخامت اقتصادی عایق ۳۰۳
شکل (۳-۳۶) نمونه‌ای از نمودار هزینه انرژی سیستم توزیع بخار ۳۱۰
شکل (۳-۳۷) نمایی از یک سیستم هوای فشرده..... ۳۱۵

شکل (۳- ۳۸) اجزای اصلی یک برج خنک‌کننده ۳۲۶
شکل (۳-۳۹) نمایی از یک برج خنک‌کننده ۳۲۷
شکل (۳-۴۰) موازنه جرم فرآیند دوواحدی ۳۳۶
شکل (۳- ۴۱) شماتیکی از موازنه انرژی ۳۳۸
شکل (۳-۴۲) شماتیک مراحل موازنه جرم و انرژی و روابط داخلی بین آن‌ها ۳۴۰
شکل (۳-۴۳) تعریف محدوده برای تحلیل موازنه جرم و انرژی ۳۴۱
شکل (۳-۴۴) نمونه‌ای از ورودی و خروجی‌های جرم و انرژی یک واحد تولیدی معدنی ۳۴۲
شکل (۳-۴۵) نمونه‌ای از ورودی و خروجی‌های جرم و انرژی به همراه برچسب‌ها و واحدهای آن‌ها در یک واحد تولید آمونیاک ۳۴۹
شکل (۳-۴۶) نمونه‌ای از جریان جرم و فاصله انرژی در یک شرکت تولید نوشابه ۳۵۰
شکل (۳-۴۷) شماتیک نمونه موازنه جرم و انرژی یک شرکت تولید نوشابه با داده‌های سالانه. ۳۵۳
شکل (۳-۴۸) شماتیک نمونه موازنه جرم و انرژی واحدهای یک شرکت تولید نوشابه با داده‌های سالانه .. ۳۵۳
شکل (۳-۴۹) نمونه‌ای از منحنی مشخصه پمپ ۳۶۶
شکل (۳-۵۰) نمایی از عملکرد یک فن به همراه مسیر عبور هوا از فن ۳۸۰
شکل (۳- ۵۱) نمایی از اجزای یک فن ۳۸۱
شکل (۳-۵۲) نمونه‌ای از منحنی مشخصه فن ۳۸۴
شکل (۳-۵۳) نمودار مصرف انرژی در کمپرسورها ۳۹۸
شکل (۳-۵۴) هزینه‌های مربوط به یک کمپرسور در طول عمر مفید کاری ۳۹۸
شکل (۳-۵۵) دیاگرام سنکی بالانس انرژی در یک کوره حرارتی ۴۱۷
شکل (۳-۵۶) انواع تلفات انرژی در یک کوره حرارتی ۴۱۸
شکل (۳-۵۷) نمونه‌ای از صفحات پارامترهای ورودی برنامه محاسباتی کوره ۴۲۲
شکل (۳-۵۸) نمونه‌ای از صفحات پارامترهای خروجی برنامه محاسباتی کوره ۴۲۳
شکل (۳-۵۹) نمودار محاسبه فاکتور تشعشع کلی کوره ۴۲۶
شکل (۳-۶۰) نمودار محاسبه تشعشع بدنه سیاه ۴۲۷
شکل (۳-۶۱) نمودار محاسبه تلفات ناحیه گرمایش (سقف و دیواره ها) ۴۲۸
شکل (۳-۶۲) نمودار محاسبه تلفات ناحیه غیر گرمایش ۴۲۹
شکل (۳-۶۳) مقایسه هزینه انرژی با سایر هزینه‌ها در چرخه عمر یک موتور الکتریکی ۴۳۵
شکل (۳-۶۴) ویژگی‌های موتورهای پربازده ۴۳۶
شکل (۳-۶۵) نمودار مقایسه منحنی مشخصه موتورهای پربازده با موتورهای استاندارد ۴۳۷

شکل (۳- ۶۶) نمودار روند بازگشت سرمایه یک موتور پربازده ۴۳۷
شکل (۳-۶۷) بررسی اثر کم‌باری بر تلفات یک موتور ۵۰ اسب بخار با دور ۱۸۰۰ ..... ۴۳۹
شکل (۳-۶۸) نمودار اثر کم‌باری روی بازده موتور ۴۳۹
شکل (۳-۶۹) اثر کمباری روی ضریب توان الکتروموتور ۴۴۰
شکل (۳-۷۰) نمودار تصمیم بر تعویض یا اصلاح موتور ۴۴۱
شکل(۳-۷۱) وجود بانک خازنی و افزایش PF ۴۴۴
شکل(۳-۷۲) نمای شماتیک یک کنترل‌کننده سرعت متغیر ۴۴۵
شکل (۳-۷۳) ساختار شماتیک یک کنترل‌کننده سرعت ۴۴۷
شکل (۳- ۷۴) صرفه‌جویی انرژی ناشی از کنترل سرعت در پمپ توسط VSD ۴۴۹
شکل (۳-۷۵) صرفه‌جویی انرژی ناشی از کنترل سرعت در کمپرسور توسط VSD ۴۴۹
شکل (۳-۷۶) انواع بار و شدت تأثیر ادوات کنترل سرعت ۴۵۰
شکل (۳-۷۷) نمونه‌ای از فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی در الکتروموتورها در یک نگاه ۴۵۴
شکل (۳-۷۸) نمایی از یک بویلر صنعتی ۴۶۰
شکل (۳-۷۹) دیاگرام سنکی بالانس انرژی بویلر ۴۶۳
شکل (۳-۸۰) نمونه‌ای از برگه اطلاعات توربین بخار به عنوان محرک مکانیکی ۴۸۱
شکل (۳-۸۱) نمونه‌ای از منحنی Willans lineیک توربین بخار ۴۸۲
شکل (۳-۸۲) نمونه‌ای از منحنی تصحیح توربین بخار ۴۸۴
شکل (۳-۸۳) نمونه‌ای از منحنی‌های extraction steam enthalpy/temperature توربین بخار ۴۸۴
شکل (۳-۸۴) نمونه‌ای از منحنیExhaust enthalpyتوربین بخار ۴۸۵
شکل (۳-۸۵) نمونه‌ای از صفحات سیستم کنترلی ۴۸۶
شکل (۳-۸۶) نمایی از یک سیستم توربین گاز ۴۹۷
شکل (۳-۸۷) سیکل ایده‌آل برایتون ۴۹۸
شکل (۳- ۸۸) مقایسه سیکل برایتون در حالت‌های ایده‌آل و واقعی ۵۰۰
شکل (۳- ۸۹) نمودار ضریب تصحیح دمای هوای محیط ۵۰۴
شکل (۳- ۹۰) نمودار ضریب تصحیح ارتفاع ۵۰۵
شکل (۳- ۹۱) نمودار ضریب تصحیح رطوبت هوای محیط ۵۰۶
شکل (۳- ۹۲) نمودار ضریب تصحیح فشار ورودی و خروجی ۵۰۷
شکل (۴-۱) نمودار توزیع نرمال داده‌ها برای بررسی انحراف معیار ۵۲۲
شکل (۴-۲) نمونه‌ای از خطای دینامیکی یک دماسنج ۵۳۴

شکل (۴-۳) نمایش زمان عکس‌العمل یا پاسخگویی دستگاه اندازه‌گیری ۵۳۵
شکل (۴-۴) اساس شناسایی راهکار ۵۳۸
شکل (۴-۵) عوامل انسانی افزایش بهره‌وری انرژی ۵۴۶
شکل (۴-۶) نمونه‌ای از آگاه‌سازی با استفاده از ابزار رسانه‌های عمومی- بیلبورد ۵۴۷
شکل (۴-۷) نمونه‌ای از آگاه‌سازی با استفاده از ابزار رسانه‌های عمومی- پیامک ۵۴۷
شکل (۴-۸) نمونه‌ای از آگاه‌سازی با استفاده از ابزار فناوری اطلاعات-نرم‌افزارهای تخصصی و عمومی انرژی ۵۴۸
شکل (۴-۹) نمونه‌ای از آگاه‌سازی با استفاده از ابزار فناوری اطلاعات-تبلت انرژی ۵۴۸
شکل (۴-۱۰) نمونه‌ای از آگاه‌سازی با استفاده از انتشارات-پوستر فرهنگ‌سازی ۵۴۹
شکل (۴-۱۱) نمونه‌ای از آگاه‌سازی با استفاده از انتشارات-پوستر حساس‌سازی ۵۴۹
شکل (۴-۱۲) نمونه‌ای از شعارهای آگاه‌سازی با استفاده از هدایای تبلیغاتی به کارکنان ۵۵۰
شکل (۴-۱۳) نمونه‌ای از آگاه‌سازی با استفاده از انتشارات-پوستر آگاه‌سازی ۵۵۰
شکل (۴-۱۴) نمونه‌ای از آگاه‌سازی با استفاده از انتشارات-چاپ کتاب ۵۵۱
شکل (۴-۱۵) نمونه‌ای از آگاه‌سازی با استفاده از کانال‌های عمومی- فرهنگ‌سازی با طراحی مسابقه علمی برای خانواده‌ها ۵۵۱
شکل (۴-۱۶) نمونه‌ای از آگاه‌سازی با استفاده از کانال‌های عمومی- فرهنگ‌سازی با طراحی سرگرمی علمی برای خانواده‌ها ۵۵۲
شکل (۴-۱۷) نمودار جریان نقدی ۵۶۶
شکل (۴-۱۸) نمودار انباشت جریان نقدی ۵۶۶
شکل (۴-۱۹) نمودار جریان نقدی و نمودار انباشت وابسته به آن ۵۶۹
شکل (۴-۲۰) نمودار جریان نقدی و نمودار انباشت وابسته به آن در طول عمر اقتصادی طرح ..۵۶۹
شکل (۴-۲۱) معیارهای اولویت‌بندی راهکارها ۵۸۴
شکل (۴-۲۲) الزامات ارائه راهکار ۵۹۲
شکل (۴-۲۳) مروری بر پارامترهای مورد نیاز برای ارائه راهکار صرفه‌جویی انرژی ۶۰۴

فهرست جدول‌ها

عنوان.....صفحه

جدول (۱-۱) لیست برخی از نظام‌نامه‌های ممیزی انرژی موجود ۴۰
جدول (۱-۲) چند نمونه استاندارد منتشر شده تجهیزات و سیستم‌های انرژی‌بر ۴۰
جدول (۱-۴) مقایسه ویژگی‌های سطوح ممیزی انرژی..... ۵۱
جدول (۱-۳) برنامه و فعالیت‌های کلی ممیزی انرژی در یک نگاه ۵۴
جدول (۱-۴) شرح فعالیت‌های ممیزی انرژی قدم‌زنانه..... ۶۲
جدول (۱-۵) شرح فعالیت‌های ممیزی انرژی مقدماتی ۶۳
جدول (۱-۶) شرح فعالیت‌های ممیزی انرژی جامع ۶۴
جدول (۱-۷) بازه زمانی و توالی تخمینی انجام سطوح مختلف ممیزی انرژی به تفکیک نوع صنعت ... ۶۷
جدول (۱-۸) روش‌های ارزیابی ممیز انرژی..... ۸۲
جدول (۱-۹) فرآیند ارزیابی ممیز انرژی..... ۸۲
جدول (۱-۱۰) چک لیست مدارک مورد نیاز پیش از ممیزی..... ۹۰
جدول (۱-۱۱) برآورد زمانی انجام انواع ممیزی انرژی..... ۹۳
جدول (۱-۱۲) تعداد و شرایط نفرات تیم فنی در انواع ممیزی انرژی..... ۹۵
جدول (۱-۱۳) تجهیزات اندازه‌گیری مورد نیاز در انواع ممیزی انرژی..... ۹۶
جدول (۱-۱۴) لیست ویژگی‌های فنی تجهیزات ممیزی انرژی الکتریکی..... ۱۰۰
جدول (۱-۱۵) لیست ویژگی‌های فنی تجهیزات ممیزی انرژی حرارتی و مکانیکی..... ۱۰۹
جدول (۲-۱) محکزنی بیرونی یک واحد فرآیند صنعتی با معیارهای مختلف..... ۱۵۵
جدول (۲-۲) ویژگی‌های یک شاخص عملکرد انرژی..... ۱۶۰
جدول (۲-۳) مزایا و معایب روش استفاده از روند گذشته ۱۶۲
جدول (۲-۴) مزایا و معایب روش نیازها و انتظارات ذی‌نفعان..... ۱۶۲
جدول (۲-۵) مزایا و معایب روش الزامات قانونی و مقررات حاکم یا مقاصد استراتژیک..... ۱۶۳
جدول (۲-۶) جدول مزایا و معایب روش استانداردهای صنعتی براساس بهترین تجارب در صنعت.. ۱۶۴
جدول (۲-۷) مزایا و معایب روش الگوبرداری از بهترین‌ها در صنعت ۱۶۴
جدول (۲-۸) محاسبه مصرف ویژه برق واحد ۱۶۸
جدول (۲-۹) محاسبه مصرف ویژه گاز طبیعی واحد..... ۱۶۸
جدول (۲-۱۰) محاسبه مصرف ویژه آب دمین واحد ۱۶۹

جدول (۲-۱۱) محاسبه مصرف ویژه بخار واحد ۱۷۰
جدول (۲-۱۲) امتیازبندی و رتبه‌بندی سیستم موجود مدیریت انرژی شرکت..... ۱۷۲
جدول (۲-۱۳) چک لیست‌های تعیین رتبه سیستم مدیریت انرژی شرکت ۱۷۳
جدول (۲-۱۴) نمونه پایش شاخص‌های عملکرد انرژی..... ۱۸۴
جدول (۳-۱) شناسایی انواع، منابع و هزینه‌های تلفات انرژی ۱۹۳
جدول (۳-۲) نحوه ارزیابی ضریب احتمال وقوع..... ۱۹۷
جدول (۳-۳) ارزیابی عوامل مؤثر بر ضریب شدت تأثیر..... ۱۹۸
جدول (۳-۴) تعیین ضریب شدت تأثیر ۱۹۹
جدول (۳-۵) تعیین ضریب احتمال تشخیص ۲۰۰
جدول (۳-۶) تعیین عدد و درجه احتمال خطر (ریسک) تجهیزات ۲۰۱
جدول (۳-۷) تعیین محدوده درجه خطر احتمالی (ریسک)..... ۲۰۱
جدول (۳-۸) فرم شناسایی نحوه کنترل جنبه‌های بارز انرژی..... ۲۰۳
جدول (۳-۹) مقایسه مشخصات انواع لامپ‌ها..... ۲۲۸
جدول (۳- ۱۰) میزان کیلووار ظرفیت بانک خازنی مورد نیاز برای اصلاح ضریب توان..... ۲۳۵
جدول (۳-۱۱) حدود پیشنهادی برای مقدار حداکثر مولفه‌های هارمونیکی و THD ۲۳۶
جدول(۳-۱۲) محدوده استاندارد IEEE-519 برای اعوجاج هارمونیکی(I_{hT})..... ۲۳۷
جدول (۳-۱۳) ارزیابی شاخص‌های شبکه برق شرکت..... ۲۴۰
جدول (۳- ۱۴) پرسش‌نامه شبکه انرژی الکتریکی..... ۲۵۵
جدول (۳- ۱۵) پرسش‌نامه شبکه سوخت..... ۲۷۸
جدول (۳-۱۶) عوامل مؤثر در تعیین تعداد دفعات بازرسی تله بخار..... ۲۹۳
جدول (۳-۱۷) نمونه‌ای از جداول تعیین ضخامت اقتصادی عایق (برای یک بویلر نیروگاه گازی)۲۹۹
جدول (۳-۱۸) ضریب تصحیح سرعت باد ۳۰۰
جدول (۳-۱۹) هزینه سوخت و دوره ارزیابی برای تعیین ضخامت اقتصادی عایق ۳۰۱
جدول (۳-۲۰) مقایسه هزینه سوخت‌های متفاوت و دوره ارزیابی برای تعیین ضخامت اقتصادی عایق..... ۳۰۲
جدول (۳-۲۱) جدول نمونه تعیین ضخامت اقتصادی عایق ۳۰۳
جدول (۳-۲۲) داده‌های مورد نیاز برای محاسبه هزینه توزیع بخار..... ۳۰۴
جدول (۳-۲۳) محاسبه کارایی سیستم تولید بخار..... ۳۰۵
جدول (۳-۲۴) محاسبه تلفات سیستم توزیع بخار به واسطه عایق کاری نامناسب لوله‌های بخار و اتصالات .۳۰۵
جدول (۳-۲۵) محاسبه درصد تلفات سیستم توزیع بخار به واسطه نشتهای بخار ۳۰۶

جدول (۳-۲۶) محاسبه درصد تلفات سیستم توزیع بخار به‌واسطه تخلیه کندانس به درین.....۳۰۷
جدول (۳-۲۷) محاسبه درصد تلفات سیستم توزیع بخار به‌واسطه بخار فلش در سیستم بازگشت کندانس.۳۰۷
جدول(۳-۲۸) محاسبه درصد تلفات سیستم توزیع بخار از لوله سیستم بازگشت کندانس ۳۰۸
جدول(۳-۲۹) محاسبه درصد نهایی تلفات سیستم توزیع بخار.....۳۰۸
جدول (۳-۳۰) محاسبه هزینه استاندارد شده تلفات توزیع بخار.....۳۰۸
جدول (۳-۳۱) GCV سوخت (به‌طورنمونه).....۳۰۹
جدول۳-۳۲ فاکتورهای هزینه سوخت.....۳۰۹
جدول (۳- ۳۳) پرسش‌نامه مدیریت انرژی در شبکه بخار.....۳۱۲
جدول (۳-۳۴) پرسش‌نامه مدیریت انرژی شبکه هوای فشرده.....۳۱۸
جدول (۳- ۳۵) پرسش‌نامه مدیریت انرژی برج خنک‌کننده.....۳۳۳
جدول (۳-۳۶) داده‌های نمونه تشکیل جدول موازنه جرم و انرژی برای یک واحد تولیدی.....۳۴۳
جدول (۳-۳۷) نمونه‌ای از گستره صحت قابل قبول موازنه جرم و انرژی.....۳۴۶
جدول (۳-۳۸) موازنه جرم و جریان‌های جرم واحد شربت‌سازی کارخانه.....۳۵۰
جدول (۳-۳۹) موازنه جرم و جریان‌های جرم شربت‌سازی کارخانه.....۳۵۰
جدول (۳-۴۰) موازنه جرم و جریان‌های آب.....۳۵۱
جدول (۳-۴۱) موازنه انرژی و گرمایش.....۳۵۱
جدول (۳-۴۲) موازنه انرژی و سرمایش.....۳۵۲
جدول (۳-۴۳) اندازه‌گیری متغیرهای تجهیزات الکتریکی.....۳۵۷
جداول (۳-۴۴) فرمهای نمونه اندازه‌گیری تجهیزات مختلف انرژی‌بر و مبدل انرژی ۳۵۸
جدول (۳-۴۵) شناسنامه انرژی پمپ.....۳۶۴
جدول (۳- ۴۶) شناسایی سیستم‌های پمپ.....۳۶۴
جدول (۳-۴۷) مروری بر شاخص‌های عملکرد انرژی پمپ.....۳۷۴
جدول (۳-۴۸) اندازهگیری شاخص‌های عملکرد انرژی پمپ.....۳۷۵
جدول (۳-۴۹) پرسش‌نامه مدیریت انرژی پمپ.....۳۷۸
جدول (۳-۵۰) شناسنامه انرژی فن.....۳۸۲
جدول (۳-۵۱) شناسایی سیستم‌های فن.....۳۸۳
جدول (۳-۵۲) شاخص‌های عملکرد انرژی فن و دمنده.....۳۹۰
جدول (۳-۵۳) اندازه‌گیری شاخص‌های عملکرد انرژی فن/ دمنده.....۳۹۱
جدول (۳-۵۴) پرسش‌نامه مدیریت انرژی فن و دمنده.....۳۹۴

جدول (۳-۵۵) مقایسه مشخصات انواع کمپرسورها..... ۳۹۶
جدول (۳-۵۶) مشخصات نامی کمپرسور..... ۳۹۹
جدول (۳-۵۷) شاخص‌های عملکرد انرژی کمپرسور..... ۴۰۸
جدول (۳-۵۸) اندازه‌گیری شاخص‌های عملکرد انرژی کمپرسور ۴۰۹
جدول (۳-۵۹) پرسش‌نامه مدیریت انرژی کمپرسور..... ۴۱۲
جدول (۳-۶۰) مشخصات نامی کوره..... ۴۱۶
جدول (۳-۶۱) نحوه محاسبه شاخص‌های عملکرد انرژی کوره (روش غیر مستقیم)..... ۴۲۰
جدول (۳-۶۲) پرسش‌نامه مدیریت انرژی کوره حرارتی..... ۴۳۳
جدول (۳-۶۳) هارمونیک در یک نگاه..... ۴۴۲
جدول (۳-۶۴) تأثیر عدم تعادل ولتاژ بر بازده الکتروموتور ۴۴۳
جدول (۳-۶۵) میزان ظرفیت خازن مورد نیاز برای اتصال مستقیم به الکتروموتور القایی..... ۴۴۴
جدول (۳- ۶۶) شناسنامه انرژی موتور الکتریکی..... ۴۵۲
جدول (۳-۶۷) استاندارد اروپایی رتبه‌بندی انرژی موتورهای الکتریکی برحسب درصد بارگذاری ۴۵۲
جدول (۳-۶۸) شاخص‌های عملکرد انرژی الکتروموتور ۴۵۳
جدول (۳-۶۹) نحوه اندازه‌گیری شاخص‌های عملکرد انرژی الکتروموتور..... ۴۵۳
جدول (۳-۷۰) پرسش‌نامه مدیریت انرژی موتور الکتریکی ۴۵۷
جدول (۳-۷۱) شناسنامه انرژی بویلر ۴۶۱
جدول (۳-۷۲) نحوه محاسبه شاخص‌های عملکرد انرژی بویلر (روش غیرمستقیم)..... ۴۷۴
جدول (۳-۷۳) پرسش‌نامه مدیریت انرژی بویلر..... ۴۷۷
جدول (۳-۷۴) شناسنامه انرژی توربین بخار ۴۸۷
جدول (۳-۷۵) نحوه محاسبه شاخص‌های عملکرد انرژی توربین بخار..... ۴۹۰
جدول (۳-۷۶) نحوه محاسبه شاخص‌های عملکرد انرژی توربین بخار..... ۴۹۱
جدول (۳-۷۷) پرسش‌نامه مدیریت انرژی توربین بخار..... ۴۹۵
جدول (۳-۷۸) پرسش‌نامه مدیریت انرژی توربین گاز..... ۵۱۰
جدول (۴-۱) روش‌های پیشبینی صرفه‌جویی انرژی..... ۵۴۰
جدول (۴-۲) چک لیست نمونه برنامه اجرای برنامه آگاه‌سازی..... ۵۵۲
جدول (۴-۳) چک لیست نمونه فعالیت‌های چاپی برنامه آگاه‌سازی شرکت..... ۵۵۳
جدول (۴-۴) چک لیست نمونه فعالیت‌های فناوری اطلاعات برنامه آگاه‌سازی شرکت..... ۵۵۵
جدول (۴-۵) چک لیست نمونه فعالیت‌های ارتباطات عمومی برنامه آگاه‌سازی شرکت ۵۵۵

جدول (۴-۷) نمونه فرم شناسایی موارد تلفات انرژی واحدها در زمان عدم تولید ۵۵۸
جدول (۴-۸) مروری بر روابط محاسبات اقتصادی ۵۷۲
جدول (۴-۹) ارزیابی همراستایی راهکار با راهبرد شرکت ۵۸۵
جدول (۴-۱۰) ارزیابی مالی اقتصادی ۵۸۶
جدول (۴-۱۱) ارزیابی سختی اجرا ۵۸۶
جدول (۴-۱۲) ارزیابی منابع موجود ۵۸۷
جدول (۴-۱۳) ارزیابی خطر احتمالی ۵۸۷
جدول (۴-۱۴) تعیین امتیاز راهکارهای صرفه‌جویی انرژی جهت اولویت‌بندی آن‌ها ۵۸۸
جدول (۴-۱۵) شناسایی رتبه اولویت راهکارهای صرفه‌جویی انرژی ۵۸۹
جدول (۴-۱۶) محاسبه صرفه‌جویی انرژی پس از ارائه راهکار ۵۹۵
جدول (۴-۱۷) محاسبه ریز صرفه‌جویی‌ها پس از ارائه راهکار در موارد دیگر (غیر انرژی) ۵۹۵
جدول (۴-۱۸) ریز هزینه سرمایه‌گذاری راهکار ۵۹۷
جدول (۴-۱۹) مشخصات نهایی راهکارها ۵۹۹
جدول (۴-۲۰) شناسنامه راهکار ۶۰۵

مرحله یک

مقدمه‌ای بر ممیزی انرژی

۱-۱ تعاریف و اصطلاحات[۱]

استفاده انرژی[۲]: روش یا نوع کاربرد انرژی: انرژی در صنعت (فرآیندها و خطوط تولید)، ساختمان (تهویه، روشنایی، گرمایش، سرمایش و ...) و حمل و نقل کاربرد دارد.

اصلاح[۳]: اصلاح به عملیات برطرف نمودن عدم انطباق شناسایی شده که به افزایش بهره‌وری انرژی می‌انجامد، گفته می‌شود.

اقدام پیشگیرانه[۴]: عملیاتی برای برطرف نمودن دلایل عدم انطباق بالقوه فعالیت‌های صرفه‌جویی انرژی است. به عبارتی دیگر اقدامی است که برای از بین بردن علل به وجود آورنده عدم انطباق یا عیب یا سایر شرایط نامطلوب بالقوه و به منظور پیشگیری از وقوع آن‌ها انجام می‌گیرد.

اقدام اصلاحی[۵]: عملیاتی است که برای برطرف نمودن دلایل عدم انطباق شناسایی شده فعالیت‌های صرفه‌جویی انرژی انجام می‌پذیرد.

نکته: میان اصلاح و اقدام اصلاحی تفاوت وجود دارد. اصلاح، در مورد دوباره کاری،

۱- ذکر این نکته ضروری است که تعاریف بیان شده با موضوع نظام‌نامه و بهره وری انرژی آمده است.

2- Energy Use

3- Correction

4- preventive action

5- corrective action

بازکاری یا تنظیم مجدد به کار می‌رود و به تعیین تکلیف برای عدم انطباق بالفعل مرتبط است؛ در حالی‌که اقدام اصلاحی، به رفع علل عدم انطباق، مرتبط می‌شود.

اندازه‌گیری[1]: فرآیندی که تعیین می‌کند یک متغیر چه مقدار از یک ویژگی برخوردار است.

انرژی: توانایی انجام کار که دارای دو حالت جنبشی و پتانسیل می‌باشد. همچنین انرژی از لحاظ منابع به سه دسته تقسیم می‌شود. انرژی اولیه-ثانویه، تجاری-غیرتجاری، تجدیدپذیر- تجدیدناپذیر

انرژی اولیه[2]: نوعی انرژی که مستقیم در طبیعت پیدا یا ذخیره می‌شود. مانند نفت، گاز طبیعی، زغال‌سنگ، انرژی هسته‌ای، مواد رادیو اکتیو، انرژی گرمایی اعماق زمین، انرژی پتانسیل ناشی از جاذبه زمین.

انرژی ثانویه: نوعی انرژی که غیرمستقیم از انرژی اولیه به دست می‌آید. مانند برق تولیدی از نیروگاه‌های سیکل ترکیبی، گازی، بادی و آبی.

انرژی تجاری: انواع انرژی که بتوان روی واحد آن قیمت مشخص، تعیین نمود. مانند گاز طبیعی، نفت، برق.

انرژی تجدیدپذیر[3]: منابع انرژی که به‌طور پیوسته، مستقیم یا غیرمستقیم از طریق فرآیندهای طبیعی (خورشید و باد) به دست می‌آیند و به اشکال انرژی الکتریکی و انرژی حرارتی تبدیل می‌شوند. مانند انرژی موجود در نور خورشید، باد، آبشار، امواج دریا، گرمای زمین، زیست توده.

انرژی تجدیدناپذیر: آن دسته از انرژی‌هایی که تجدید آن‌ها میسر نیست، زیرا به میلیون‌ها سال زمان نیاز می‌باشد و البته استفاده از این منابع، آلودگی محیط زیست و

1- Measurement
2- Primary Energy
3- Renewable energy

اکولوژی را به همراه خواهد داشت. مانند نفت، گازطبیعی، زغال‌سنگ، اورانیوم و...

اهداف خرد انرژی[1]: مجموعه‌ای از اهداف قابل دستیابی و مشخص برای برآورده شدن اهداف کلان انرژی را اهداف خرد انرژی می‌نامند. مانند افزایش راندمان تجهیزات انرژی‌بر یا مبدل انرژی از مقدار موجود به مقدار مطلوب مشخص شده.

اهداف کلان انرژی[2]: مجموعه‌ای از اهداف قابل دستیابی و مشخص برای برآورده شدن خط مشی مجموعه در زمینه بهره‌وری انرژی، اهداف کلان انرژی می‌باشد. مانند کاهش مصرف انرژی به ازای واحد تولید از مقدار موجود به مقدار مطلوب مشخص شده.

بازده انرژی[3]: رابطه عددی بین انرژی خروجی (استفاده شده) و انرژی ورودی (مورد نیاز) را بازده انرژی می‌گویند.

برنامه مدیریت انرژی: طرح اجرایی دستیابی به اهداف کلان و خرد انرژی، برنامه مدیریت انرژی می‌باشد.

برنامه ممیزی انرژی: برنامه ممیزی انرژی طرحی کلی از راهبرد و روند ممیزی انرژی برای محدوده زمانی مشخص و دستیابی به هدفی خاص است که شامل موارد زیر می‌باشد:

- تعیین اهداف ممیزی انرژی (توسط متقاضی ممیزی انرژی)
- تعیین معیارهای ممیزی انرژی (تعیین معیارها بین متقاضی ممیزی انرژی و راهبر تیم ممیزی انرژی و اطلاع به ممیزی شونده)
- دامنه ممیزی انرژی
- تعیین توالی و زمان انجام مراحل ممیزی انرژی
- مسئولیت‌ها و وظایف اعضای تیم ممیزی انرژی
- چارچوب و رئوس محتوای گزارش ممیزی انرژی

1- energy targets
2- energy objectives
3- Energy efficiency

پایش و هدف‌گذاری انرژی[1]: مجموعه‌ای از فعالیت‌ها برای جمع‌آوری، دسته‌بندی و اعتبارسنجی داده‌های مورد نیاز انرژی و تعریف، محاسبه، مقایسه و تحلیل شاخص‌های عملکرد انرژی در دو حالت عملیاتی و هدف و نهایتاً شناسایی و گزارش‌دهی فرصت‌های بهبود کارایی انرژی است.

تحلیل ریسک انرژی: روشی تحلیلی برای شناسایی میزان بالقوه و علل تلفات انرژی موجود در تجهیزات و فرآیندهای صنعتی می‌باشد.

تجهیز انرژی‌بر[2]: تجهیزی است که حداقل یکی از حامل‌های انرژی را مصرف می‌کند. مانند کوره، ریفرمر، پمپ، کمپرسور، فن، دمنده و مبدل‌های‌حرارتی مصرف کننده انرژی.

تجهیز انرژی‌بر عمده: طبق نظریه پارتو[3]، ۲۰ ٪ تجهیزات انرژی‌بر الکتریکی و حرارتی هستند که ۸۰٪ انرژی شرکت را مصرف می‌کنند.

تجهیز مبدل انرژی[4]: تجهیزات تبدیل‌کننده انرژی از حالتی به حالت دیگر می‌باشد. مانند بویلر (گاز به بخار)، توربین بخار (بخار به انرژی مکانیکی)، توربین گاز (گاز به انرژی مکانیکی) و الکتروموتور (برق به انرژی مکانیکی)

تیم مدیریت انرژی: یک تیم مدیریت انرژی به شخص یا اشخاص مسئول اجرای مؤثر فعالیت‌های منجر به بهبود عملکرد انرژی گفته می‌شود.

چارت سازمانی: سلسله مراتب و پست‌های یک شرکت با در نظر گرفتن اولویت رتبه یا بخش می‌باشد که قابل ترسیم به صورت گرافیکی است.

حامل‌های انرژی: انواع منابع انرژی ثانویه مورد نیاز در صنعت را حامل انرژی می‌گویند. مانند برق، سوخت‌ها، بخار، هوای فشرده، آب صنعتی و موارد مشابه.

1- Energy Monitoring and Targeting
2- Energy consumer
3- Pareto
4- Energy converter

خدمات انرژی: فعالیت‌ها یا نتایج مرتبط با تولید، توزیع و مصرف انرژی را خدمات انرژی می‌نامند.

خطا[1]: خطا عبارت است از تفاوت بین میزان اندازه‌گیری شده و مقدار درست کمیت تحت اندازه‌گیری.

نکته: خطا شامل قرائت نادرست یا اشتباهات اپراتوری نمی‌شود. خطا علتی است که باعث می‌شود مقادیر به دست آمده در اثر تکرار اندازه‌گیری تغییر کنند و هیچ‌کدام از نتایج نباید بر دیگری ترجیح داده شود. گرچه امکان حذف کامل خطا از اندازه‌گیری وجود ندارد، اما می‌توان آن‌ها را کنترل کرد. خطای کلی، ترکیبی از خطای سیستماتیک و خطای تصادفی است.

خطای سیستماتیک: تغییر نتایج حاصل از تکرار اندازه‌گیری است که قابل پیش‌بینی و اصلاح با ضریب تصحیح می‌باشد.

خطای تصادفی: خطای غیر قابل پیش‌بینی و تصحیح و ایجاد مقادیر نامرتبطی در نتیجه تکرار اندازه‌گیری است که علل بروز آن موارد ذیل می‌باشد:

- حساسیت پایین تجهیز اندازه‌گیری به تغییرات کوچک در اندازه یک کمیت و عدم ثبت آن
- اغتشاشات غیرقابل پیش‌بینی در تجهیز اندازه‌گیری در نتیجه طراحی نامناسب و حساسیت آن نسبت به تأثیرات محیطی
- تعریف نادرست و نادقیق یک اندازه به عنوان مثال طول یک ترک (عدم امکان تعیین دقیق دو انتهای آن)

خط مبنای انرژی[2]: مقادیر عددی فراهم شده به عنوان مبنا برای مقایسه عملکرد انرژی را خط مبنای انرژی می‌گویند

1- Error

2- Energy Baseline

خط مشی انرژی: چارچوب تعیین و بازنگری اهداف کلان انرژی، شامل تعهد به مطابقت با الزامات قانونی انرژی یا سایر الزامات مجموعه و بهبود مستمر الگوی مصرف انرژی را خط مشی انرژی می‌گویند.

دستورالعمل: سندی است که در آن نحوه انجام یک وظیفه، منجر به بهبود عملکرد انرژی برای افراد تشریح می‌گردد. مانند دستورالعمل نحوه جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز ممیزی انرژی.

دقت[1]: میزان شباهت نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های مستقل یک کمیت تحت شرایط یکسان را دقت می‌گویند.

نکته: منظور از دقت، اندازه درست یک کمیت نمی‌باشد. تعداد تقسیمات روی مقیاس ابزار اندازه‌گیری، بر دقت آن مؤثر است. از آنجایی‌که دقت بر مبنای یک اندازه درست از پیش توافق شده نیست، فقط به توزیع خطاهای تصادفی بستگی دارد.

درستی[2]: میزان نزدیکی مقدار متوسط ناشی از تعداد زیادی اندازه‌گیری به یک مقدار درست مورد توافق است. این واژه تعریفی شبیه به صحت دارد، اما درستی به مقدار متوسط ناشی از تعداد زیادی آزمایش مربوط می‌شود.

روش اجرایی: روش اجرایی سندی است که در آن، راه‌های مشخص برای اجرای فعالیت یا فرآیند منجر به بهینه‌سازی مصرف انرژی تبیین می‌شود.

سازمان مدیریت انرژی: مجموعه‌ای متشکل از افراد، با سوابق کاری و مهارت‌های متفاوت برای تحقق کنترل مصرف انرژی در کشور می‌باشد.

سطوح ممیزی انرژی: ممیزی انرژی در سطوح مختلف انجام می‌پذیرد که با توجه به میزان زمان و هزینه‌ای که کارفرما جهت انجام آن صرف می‌کند، سطح آن تعیین می‌شود.

- ممیزی انرژی قدم زنانه[3]

1- Precision

2- Trueness

3- Walk Through Energy Audit

- ممیزی انرژی مقدماتی[۱]
- ممیزی انرژی جامع[۲]

سوابق: سوابق به مستندات موجودی گفته می‌شود که حاوی نتایج یا شواهد اجرای فعالیت‌های مدیریت انرژی می‌باشد. مانند گزارش‌های موجود ممیزی انرژی دوره‌ای شرکت طی سال‌های گذشته.

سیستم: مجموعه‌ای از عناصر که با ارتباط متقابل و اهداف خاص و دارای اجزای ورودی، خروجی، پردازش محیط و کنترل می‌باشد را سیستم می‌نامند.

سیستم مدیریت انرژی: تنظیم مرتبط و متعامل اجزای شرکت جهت استقرار خط مشی انرژی و رسیدن به اهداف کلان و خرد انرژی را سیستم مدیریت انرژی می‌گویند.

شاخص عملکرد انرژی[۳]: مقدار عددی یا اندازه‌گیری شده عملکرد انرژی شرکت در دو سطح مدیریتی و عملیاتی، شاخص عملکرد انرژی نامیده می‌شود.

شبکه حامل‌های انرژی: شبکه حامل‌های انرژی عبارت است از شبکه تولید، توزیع و مصرف برق، سوخت، بخار، هوای فشرده و آب صنعتی.

شرکت: شرکت‌های تولیدی مرتبط با صنایع انرژی‌بر اعم از فلزی، غیرفلزی، شیمیایی، غذایی و...

شرکت خدمات انرژی[۴]: شرکتی از نوع خدماتی و مهندسی است که در تمام بخش‌های تولید، توزیع و مصرف انرژی، پروژه‌های مرتبط با بهبود کارایی انرژی را پیشنهاد، طراحی، اجرا و تأمین مالی می‌کند.

صحت[۵]: میزان نزدیکی مقدار اندازه‌گیری شده به مقدار درست را صحت گویند.

1- Elementary Energy Audit
2- Comprehensive Energy Audit
3- Energy Performance Indicator
4- Energy Service Company
5- Accuracy

صنعت انرژی‌بر: صنعتی است که در آن، هزینه حامل‌های انرژی، نسبت به قیمت تمام شده سایر عوامل مستقیم محصول اعم از سرمایه‌گذاری ثابت اولیه، مواد اولیه و نیروی انسانی، قابل صرف‌نظر نباشد. این صنایع به ۵ دسته کلی تقسیم می‌شوند:

- صنایع فلزی (آهن، فولاد، نورد، مس، آلومینیوم، سرب، روی و...)
- صنایع کانی غیرفلزی (سیمان، کاشی و سرامیک، شیشه، گچ، آهک و...)
- صنایع شیمیایی (پالایشگاه نفت و گاز، صنایع پتروشیمی اعم از آروماتیک، کلر آلکالی، اوره و آمونیاک، متانول، صنایع شیمیایی و...)
- صنایع غذایی (روغن، آرد، تولید کنسرو مواد غذایی و...)
- صنایع متفرقه (کشاورزی، لاستیک و...)

عدم انطباق: برآورده نشدن الزامات قانونی و استانداردهای مرتبط با مدیریت و ممیزی انرژی را عدم انطباق می‌گویند.

عدم قطعیت[1]: مهم‌ترین متغیر تخمین صحت اندازه‌گیری پیرامون مقدار گزارش شده براساس دستورالعمل‌های راهنما و بازه‌ای که هر تکراری از اندازه‌گیری، نتیجه‌ای درون آن بازه به دست می‌دهد را عدم قطعیت نامند.

عملکرد انرژی[2]: عملکرد انرژی به نتایج قابل اندازه‌گیری مرتبط با استفاده، مصرف و بازده انرژی در شرکت که به صورت شاخص تعریف می‌شود، گفته می‌شود.

فرآیند صنعتی: فرآیند صنعتی عبارت است از فرآیندهای انرژی‌بر تولیدی که به سه صورت تولید پیوسته، انبوه یا جدا از هم موجود هستند.

متقاضی ممیزی[3]: شرکت یا شخص درخواست‌کننده ممیزی انرژی که می‌تواند ممیزی‌شونده یا هر شرکت دیگری باشد و از نظر قانونی یا قراردادی حق درخواست ممیزی را دارا است.

1- Uncertainty
2- Energy Performance
3- Energy Audit Client

محک‌زنی (داخلی و خارجی)[1]: فرآیند مداوم و سیستماتیک اندازه‌گیری و مقایسه یک شرکت با شرکت‌های پیشرو در صنعت مشابه، برای به دست آوردن اطلاعاتی که به بهبود عملکرد شرکت کمک خواهد کرد را محک‌زنی گویند.

مدیریت ارشد: مدیریت ارشد شخص یا گروهی است که در بالاترین سطح برای هدایت و کنترل شرکت قرار دارد.

مدیریت انرژی[2]: مدیریت انرژی مجموعه اقداماتی است که بدون کاهش کیفیت محصول، بتواند افزایش بهره‌وری انرژی و نهایتاً کاهش میزان و هزینه‌های انرژی و قیمت تمام شده محصول را به دنبال داشته باشد.

مستندات: اطلاعات مکتوب سیستم مدیریت انرژی مانند شیوه‌نامه، خط‌مشی، روش‌اجرایی، دستورالعمل و فرم را مستندات گویند.

مصرف انرژی[3]: مقدار عددی حامل انرژی مصرف شده را مصرف انرژی نامند.

معیارهای ممیزی انرژی:

- هدف کلان ممیزی
- نوع ممیزی
- روش و استاندارد ممیزی
- نحوه و میزان مشارکت کارکنان
- محدوده ممیزی
- مدت زمان اجرای ممیزی
- الزامات گزارش ممیزی

ممیز: شخصی، شایسته‌ی هدایت و اجرای ممیزی انرژی شرکت می‌باشد.

1- Benchmarking
2- Energy Management
3- Energy Consumption

ممیزی: ممیزی فرآیندی مستند، مستقل و سیستماتیک برای ارزیابی مستندات و تعیین میزان سازگاری سیستم مدیریت انرژی با معیارهای مشخص شرکت است.

ممیزی انرژی: روش مناسبی برای تعیین فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی در واحد صنعتی است که در آن وضعیت تولید، توزیع و مصرف انرژی، بررسی و پیشنهادهایی برای بهبود مصرف و کارآیی انرژی در بخش‌های مختلف واحد ارائه می‌دهد.

ممیزی شونده انرژی[1]: شرکت مورد ممیزی انرژی، ممیزی شونده انرژی است.

نتیجه ممیزی انرژی: نتیجه اجرای یک پروژه ممیزی انرژی توسط تیم ممیزی انرژی (داخلی، خارجی یا توأمان) بعد از درنظر گرفتن اهداف و کلیه یافته‌های ممیزی انرژی است که چند مورد آن را می‌توان به صورت زیر نام برد:

- ایجاد بینشی درست از بخش‌های اساسی به کارگیرنده انرژی برای مدیران شرکت و برنامه‌ریزان کشور
- انجام اقدامات بی‌هزینه و کم‌هزینه صرفه‌جویی انرژی با آگاه‌سازی کارکنان و مدیریت، از چگونگی مصرف انرژی
- تعیین نحوه جریان جرم و انرژی موجود در واحدهای مصرف‌کننده (تولیدی) و واحدهای جانبی مولد حامل‌های انرژی (یوتیلیتی)
- تعریف، تحلیل و مقایسه شاخص‌های عملکرد انرژی شرکت در شرایط عملیاتی و بهینه به منظور شناسایی نقاط ضعف کارکرد تجهیزات و بهره‌برداری
- تعیین و اولویت‌بندی فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی به همراه امکان‌سنجی‌های فنی و اقتصادی لازم
- تهیه برنامه اجرایی مناسب مدیریت انرژی جهت کنترل و حفظ شرایط بهینه فرآیند و تجهیزات از منظر عملکرد انرژی

1- Energy Auditee

شیوه‌نامه ممیزی انرژی: این شیوه‌نامه شامل راهنمایی‌ها برای فعالیت‌های ممیزی انرژی در یک شرکت، جهت استفاده عمومی و مکرر مدیران و کارشناسان کلیدی مرتبط در صنایع انرژی‌بر و شرکت‌های خدمات انرژی است که از طریق هم‌رأیی و با نظارت مرجع رسمی، تهیه و توسط سازمان شناخته شده‌ای تصویب می‌شود و هدف از آن دست‌یابی یکسان و یکنواخت کلیه مخاطبین خاص و عام به محتوای آن و کاهش زمان و هزینه اجرای ممیزی انرژی صنایع انرژی‌بر است.

نگهداری و تعمیرات: تمامی فعالیت‌های انجام شده در جهت حفاظت یا اعاده وضع یک جزء یا کل سیستم موجود بوده و با اهداف زیر صورت می‌پذیرد:

- افزایش کارآیی و بهره‌وری، ایمنی کار و محصول، طول عمر دستگاه‌ها و تجهیزات و جلوگیری از فرسودگی آن‌ها
- کاهش ساعات توقف کار، هزینه‌های انرژی و بهره‌برداری و مصرف قطعات یدکی
- پیش‌بینی میزان و زمان مصرف قطعات، بازسازی مصرف مجدد قطعات و تأمین کیفیت مناسب کار یا محصول تولیدی

۱-۲ مروری بر ادبیات ممیزی انرژی

۱-۲-۱ مقدمه‌ای بر مدیریت انرژی

انرژی، واژه‌ای ۵ حرفی می‌باشد و عبارت از توانایی انجام کار است، ولی در سده اخیر به مهم‌ترین موضوع تنش‌ها و جنگ‌های متعدد در نقاط مختلف جهان خصوصاً خاورمیانه تبدیل شده است. در این میان کشورهای دارنده این منابع نیز دارای جغرافیای سیاسی ویژه‌ای می‌باشند. به هر حال تمام کشورهای جهان به نوعی تولیدکننده، صادرکننده و یا واردکننده کالای راهبردی و حیاتی انرژی هستند و در آینده کشورهایی در این عرصه موفق هستند که با مدیریت مناسب تولید، توزیع و

مصرف حامل‌های انرژی، راهبری مناسبی بر این کالای راهبردی داشته باشند. از اقداماتی اینچنین در کشورمان می‌توان به ارتقای فرهنگ صرفه‌جویی انرژی در سطح مصرف‌کنندگان و پرهیز از خام‌فروشی سوخت‌های فسیلی و تبدیل آن‌ها به تولیداتی با ارزش افزوده اشاره نمود. برای مثال به جای صادرات مازاد گاز طبیعی خام، می‌توان از این کالای مهم به عنوان خوراک بسیاری از کارخانجات فولاد و پتروشیمی استفاده نمود.

با افزایش رشد مصرف و کاهش روزافزون منابع موجود سوخت‌های فسیلی کشور و انجام قانون هدفمندی یارانه‌ها، نزدیک شدن قیمت حامل‌های انرژی به مقدار واقعی تمام شده (مجموع قیمت تولید و انتقال حامل‌های انرژی تا مصرف کننده) و در نتیجه افزایش روزافزون سهم انرژی در تراز هزینه واحد محصول[1] بخش صنعت، افزایش بهره‌وری انرژی را ضروری نموده است. از این‌رو برای بقاء در بازار رقابت، باید انرژی را مدیریت نمود و تا حد امکان هزینه‌های تولید ناشی از استفاده حامل‌های انرژی در بخش‌های تولید، توزیع و مصرف را کاهش داد. در یک کلام، مدیریت انرژی مجموعه اقداماتی است که بدون کاهش کیفیت محصول، افزایش بهره‌وری انرژی و در نهایت کاهش میزان و هزینه‌های انرژی و قیمت تمام شده محصول و سود (بنگاهی و یا ملی) را به دنبال داشته باشد که البته در صورت اجرای مناسب آن اقدامات در قالب برنامه مدیریت انرژی، مزایای ناشی از شناسایی فرصت‌های بهبود تولید، توزیع و مصرف انرژی به سرعت قابل دست‌یابی است.

۲-۲-۱ مراحل یک برنامه مدیریت انرژی

اجرای یک برنامه مدیریت انرژی، شامل هفت مرحله است:

۱- ایجاد تعهد مدیریت انرژی در سازمان (تشکیل و سازمان‌دهی تیم مدیریت انرژی با تدوین شرح وظایف، شایستگی‌ها و حدود اختیارات مدیر انرژی و سایر اعضای تیم و

۱- هزینه واحد محصول، مجموع هزینه‌های مواد اولیه و نیروی انسانی و انرژی، به ازای واحد محصول است.

تدوین خط مشی و راهبرد انرژی)

۲- ارزیابی عملکرد انرژی (جمع‌آوری و دسته‌بندی داده‌ها و اطلاعات انرژی، تعیین خطوط مبنا و معیارسنجی داخلی و خارجی، ممیزی انرژی شامل اندازه‌گیری و تحلیل و ارزیابی)

۳- تنظیم اهداف کلان و خرد انرژی (شناسایی متغیرهای زمانی و سازمانی اهداف، تخمین فرصت‌های صرفه‌جویی، تعریف اهداف)

۴- تدوین یک طرح اجرایی (تدوین شرح خدمات فنی و اهداف، تعیین نقش‌ها و منابع)

۵- اجرای طرح اجرایی (ایجاد یک طرح با هدف افزایش حساسیت، اطلاع‌رسانی، آگاه‌سازی و توسعه فرهنگ مدیریت انرژی، افزایش تعهد، مشارکت و انگیزه کارکنان، ایجاد سیستم ردیابی و پایش شاخص‌های عملکرد انرژی)

۶-ارزیابی پیشرفت (اندازه‌گیری نتایج، مروری بر طرح اجرایی)

۷- شناسایی یافته‌ها

از عوامل برنامه‌ریزی مناسب و اجرای موفقیت‌آمیز برنامه مدیریت انرژی، می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- ایجاد ساختار سیستماتیک مدیریت انرژی.
- جمع‌آوری، دسته‌بندی و اعتبارسنجی داده‌های مورد نیاز انرژی در قالب شناسنامه انرژی
- انجام ممیزی انرژی با توجه به اهداف و معیارهای مورد نظر
- شناسایی، ارزیابی، اولویت‌بندی و انجام راهکارهای صرفه‌جویی انرژی
- پایش و هدف‌گذاری مستمر، ارزیابی و پیگیری پیامدهای ناشی از اقدامات مدیریت انرژی

۳-۲-۱ مفهوم ممیزی

ممیزی به عنوان یک ابزار اثربخش و قابل اعتماد جهت پشتیبانی از خط مشی‌ها و

کنترل‌های مدیریتی است و اطلاعاتی را فراهم می آورد تا بر مبنای آن، بتوان عملکرد را بهبود بخشید.

ممیزی، فرآیندی نظام‌یافته، مستقل و مدون است به منظور به دست آوردن شواهد و ارزیابی آن‌ها به صورت عینی جهت تعیین میزانی که معیارهای ممیزی برآورده می‌شوند.

انواع ممیزی در استاندارد ایزو ۱۹۰۱۱، چنین دسته‌بندی شده است:

۱- ممیزی شخص اول (داخلی).

این نوع ممیزی، توسط مجموعه یا از جانب آن انجام می‌گیرد و می‌تواند مبنایی برای خوداظهاری سازمان در مورد انطباق باشد. در بسیاری موارد و به خصوص در مجموعه‌های کوچک، مستقل بودن از طریق عدم مسئولیت در فعالیتی که تحت ممیزی است، به اثبات می‌رسد.

۲- ممیزی شخص دوم

این نوع ممیزی توسط طرف‌هایی مانند مشتریان که در مورد سازمان یا از جانب آنان ذی‌نفع هستند، بر پایه معیار یا استاندارد توافق شده انجام می‌گیرد.

۳- ممیزی شخص ثالث (بیرونی)

این نوع ممیزی توسط ارگان‌های برون سازمانی مستقل معتبر و دارای صلاحیت، انجام می‌شود. این ارگان‌ها انطباق با الزامات قانونی را گواهی یا ثبت می‌کنند.

یک سازمان می‌تواند برنامه ممیزی خود را چنان طراحی نماید که هر یک از این سه نوع ممیزی، یک یا چند بار به صورت انفرادی یا تیمی صورت گیرد.

۴-۲-۱ مفهوم ممیزی انرژی

همان‌گونه که یک پزشک متخصص با انجام نمونه‌گیری و آزمایشات مختلف و تحلیل نتایج آن، پی به سلامتی یا بیماری افراد می‌برد، یک کارشناس یا تیم متخصص

انرژی در بخش صنعت نیز با استفاده از دانش، تجربه و مهارت، بـه کمـک انـدازه‌گیـری جریان انرژی با تجهیزاتی مانند تحلیـل‌گـر تـوان، تحلیـل‌گـر احتـراق، روشـنایی‌سـنج، دماسنج، دبی‌سنج و... و با تحلیل نتایج حاصل از اندازه‌گیری، می‌تواند نسخه بهبود را در قالب راه‌کارهای مدیریت تولید، توزیع یا مصرف حامل‌های مختلف انرژی و در بخش‌های مختلف یک واحد صنعتی پیشنهاد دهد. البته ذکر این نکته ضروری اسـت کـه متولیـان صنایع انرژی‌بر کشور، به این نکته مهم واقف هستند همـان‌طـور کـه یـک بیمـار فقـط بـا نسخه‌پیچی یک پزشک متخصص یا عمومی بهبود نمی‌یابد و علاوه بـر انجـام توصـیه‌هـای اولیه پزشک، باید جهت تهیه دارو به داروخانه مراجعه نماید و پس از خرید و استفاده دارو، به بهبودی کامل یا نسبی دست یابد، در صنعت نیز پس از انجام ممیزی انـرژی، نوبـت بـه اجرای پیشنهادهای عملی توسط کارکنـان آن شـرکت، مشـاوران انـرژی و پیمانکـاران در قالب پروژه‌های بدون هزینه، کم هزینه و پرهزینه مدیریت مصرف انرژی خواهد رسید.

پس در یک جمع‌بندی، انتظار صنعت از نتیجه ممیـزی انـرژی بـه جـای کـاهش یـا حذف بدون درنگ منابع و میزان تلفات انرژی، باید شناسـایی وضـعیت موجـود جریـان انرژی و ارائه راهکارهای اولویت‌دار کاهش یا حذف گلوگاه‌های تلفات انرژی باشد. البته با انجام اقدامات اولیه بدون هزینه یا کم‌هزینه و به اصطلاح بالینی، می‌توان بـا شناسـایی و کنترل تلفات انرژی در سطح شرکت، تا حدودی به وضعیت جریان انرژی در سازمان سر و سامان داد. ممیزی انرژی، یک ابزار مؤثر برای تعریف و اجرای برنامـه جـامع مـدیریت انرژی است.

ذکر این نکته ضروری است که در خصوص امکان اجرای یک ممیزی انرژی صـنعتی مناسب و مؤثر، موارد زیر باید در نظر گرفته شود:

- وجود اطلاعات کافی و مناسب برای طرح‌ریزی ممیزی انرژی
- همکاری‌های لازم از طرف متقاضی ممیزی و ممیزی‌شونده

- تخصیص زمان و منابع کافی

البته در بسیاری از کشورها به جای واژه ممیزی انرژی، از ارزیابی انرژی[1] هم استفاده می‌شود.

نمونه‌ای از تعریف ممیزی انرژی از منظر انجمن بهره‌وری هند[2] به شرح زیر است:

«ممیزی انرژی، ترجمان ایده‌های صرفه‌جویی انرژی به واقعیت، از طریق ارائه راه‌حل‌های فنی و امکان‌پذیر از لحاظ اقتصادی و ملاحظات سازمانی و در یک چارچوب زمانی مشخص با هدف اولیه تعیین راه‌های کاهش مصرف انرژی در هر واحد از محصول یا کاهش هزینه‌های عملیاتی می‌باشد. ممیزی انرژی نوعی بهینه‌کاوی مدیریت انرژی را در شرکت تولیدی فراهم می‌سازد و مبنایی برای طراحی مؤثرتر استفاده از انرژی در کل شرکت را ارائه می‌کند.»

تعاریفی از ممیزی انرژی در دیگر مراجع مختلف معتبر به شرح زیر است:

۱- بررسی جریان انرژی (وضعیت موجود) و ارائه نسخه بهبود (وضعیت مطلوب)

۲- مجموعه اقداماتی برای بررسی و شناسایی کیفیت و کمیت مصرف حامل‌های انرژی در یک فرآیند تولیدی

۳- شناسایی گلوگاه‌های تلفات مصرف انرژی و ارائه راهکارهای صرفه‌جویی مصرف انرژی

۴- فرآیند سیستماتیک و مستند پایش و تحلیل مصرف حامل‌های انرژی به همراه برنامه افزایش بهره‌وری انرژی و ارائه پیشنهادات با توجیه فنی، اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی

۵- تبدیل ایده‌های صرفه‌جویی انرژی به واقعیت، از طریق امکان‌سنجی راه‌حل‌های متناسب با سایر ملاحظات سازمانی در یک چارچوب زمانی مشخص

---

1 - Energy Assessment.

2- National Productivity Council.

۱-۳ مروری بر استانداردهای جهانی ممیزی انرژی

در کشورهای توسعه یافته با فرهنگ صرفه‌جویی انرژی و درآمد سرانه بالاتر، عموماً مصرف انرژی سرانه (به ازای درآمد) پایین‌تر می‌باشد و کشورهای مختلف با توجه به اقلیم، فرهنگ بهره‌وری، تکنولوژی موجود، سطح درآمد، دسترسی به منابع انرژی فسیلی و... دارای مراجعی به صورت پیشنهاد و توصیه راهکارهای صرفه‌جویی انرژی در بخش‌های صنعت، حمل و نقل و ساختمان هستند؛ ولی مرجعی به عنوان «استاندارد ممیزی انرژی[1]» فقط در قاره اقیانوسیه به صورت استاندارد مشترکی بین کشورهای استرالیا و نیوزلند با نام AS/NZ S3598 وجود دارد. این استاندارد ۳۱ صفحه‌ای شامل ۶ صفحه جلد و مقدمه و مؤخره،۱۴ صفحه متن اصلی و ۱۱ صفحه ضمائم می‌باشد. این متن شامل موارد زیر است:

- دامنه استاندارد
- اهداف تدوین استاندارد
- کاربرد استاندارد
- تعاریف
- مراجع
- برنامه مدیریت انرژی
- انواع ممیزی انرژی
- انتخاب ممیزین انرژی
- پایش و اندازه‌گیری
- نقش و مسئولیت‌های کاربران انرژی
- الزامات ممیزی انرژی
- الزامات گزارش ممیزی انرژی

1- Energy Audit Atandard.

البته در بقیه کشورها نیز مراجع معتبری با عنوان نظام‌نامه ممیزی انرژی[1] وجود دارد که به چند نمونه آن در قالب جدول زیر اشاره می‌شود:

جدول (۱-۱) لیست برخی از نظام‌نامه‌های ممیزی انرژی موجود

Title	Country	Published Date
Energy Audit Manual	New Zealand	June 2007
Energy Audit Manual	India	
Energy Audit Manual	USA	November 2010
Working Manual on Energy Auditing in Industries	Japan	2008
An Energy audit Manual and Tool	Canada	

بیشترین مراجع معتبر موجود، تدوین مطالب مربوط به ارزیابی تجهیزات انرژی‌بر، تجهیزات مبدل انرژی، شبکه‌ها و سیستم‌های انرژی‌بر می‌باشد که در ادامه به‌طورنمونه به چند استاندارد و آدرس الکترونیکی مرجع معتبر بین‌المللی اشاره شده است.

جدول (۱-۲) چند نمونه استاندارد منتشر شده تجهیزات و سیستم‌های انرژی‌بر

Title	Country	Published Date
ASME EA-1-Energy Assessment for Process Heating Systems	USA	2009
ASME EA-2-Energy Assessment for Pumping Systems		2009
ASME EA-3-Energy Assessment for Steam Systems		2009
ASME EA-4-Energy Assessment for Compressed Air Systems		2010
BEE CODE/ BEST PRACTICE MANUALDRYERS	India	2006
BEECODE/BESTPRACTICEMANUALFLUIDPIPING SYSTEMS		2006
BEE CODE/ BEST PRACTICE MANUALHVAC CHILLERS		2006
BEE CODE/ BEST PRACTICE MANUALLIGHTING		2006
BEE CODE-TRANSFORMER		2006

1- Energy Audit Manual.

۱-۴ ضرورت‌ها و اهداف ممیزی انرژی

۱-۴-۱ ضرورت‌های ممیزی انرژی

ضرورت ممیزی انرژی در سطح یک شرکت می‌تواند در دو بخش برون‌سازمانی و درون‌سازمانی تبیین گردد:

۱-۴-۱-۱ ضرورت ممیزی انرژی از نگاه برون‌سازمانی

۱- کمک به تصمیم‌گیران و تصمیم‌سازان متولی مدیریت انرژی کشور در قوای مجریه و مقننه برای تدوین و نظارت بر اجرای مناسب قانون کارایی انرژی کشور

۲- کمک به کاهش آلودگی زیست‌محیطی کشور، منطقه و جهان با شناسایی پروژه‌های بهره‌وری انرژی.

۳- موازنه عرضه و تقاضای انرژی در سطح ملی و در یک عبارت امنیت انرژی که باید راهبرد مدیریت انرژی[1] هر کشور باشد.

۱-۴-۱-۲ ضرورت ممیزی انرژی از نگاه درون سازمانی

۱- الزامات قانونی[2] ابلاغی توسط سازمان‌های ذیصلاح جهت رعایت معیار مصرف انرژی.

۲- بررسی سهم انرژی از تراز هزینه قیمت تمام شده محصول جهت تبیین نقش بهره‌وری انرژی در سود شرکت و بازار رقابت به ذی‌نفعان (مدیران، سهامداران و کارکنان).

۳- شناسایی گلوگاه‌های تلفات آشکار و نهان انرژی جهت شروع یا ادامه فعالیت‌هایی در راستای کاهش یا حذف آن تلفات.

۴- ارائه فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی در بخش‌های مختلف و تحلیل فنی و اقتصادی و اولویت‌بندی راهکارها.

1- Energy Management Strategy

2- Legal Requirements

۵- شناسایی نقش مصارف انرژی بر میزان و کیفیت تولید.

۶- کاهش تلفات و ضایعات تولید.

۱-۴-۲ اهداف ممیزی انرژی

اهداف ممیزی انرژی با توجه به شرایط و مقتضیات کاری مجموعه می‌تواند متفاوت باشد. اگرچه در یک جمله هدف از ممیزی انرژی را می‌توان تعیین چگونگی استفاده (تولید، توزیع و مصرف) انرژی و شناسایی فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی تعریف نمود، ولی در نگاهی جزئی‌تر اهداف بلندمدت، میان‌مدت و کوتاه‌مدت زیر را برای انجام ممیزی انرژی می‌توان برشمرد:

۱-۴-۲-۱ اهداف کوتاه‌مدت ممیزی انرژی

- آشنایی سطوح مختلف مجموعه با ادبیات ممیزی انرژی
- تشکیل کمیته عالی انرژی و تیم ممیزی انرژی برون سازمانی
- تربیت ممیزین انرژی مقیم درجه سه در مجموعه
- بررسی میزان، شدت و هزینه مصارف انرژی کل، به تفکیک حامل‌ها، واحدهای عملیاتی و تجهیزات عمده
- بررسی کلی عوامل مؤثر بر تغییر مصارف حامل‌های انرژی اعم از میزان تولید و آب و هوا
- تدوین برنامه میان‌مدت مدیریت انرژی به منظور تخصیص بهینه منابع

۱-۴-۲-۲ اهداف میان‌مدت ممیزی انرژی

- تهیه شناسنامه انرژی شرکت با جمع‌آوری و دسته‌بندی داده‌ها و اطلاعات موردنیاز
- شناسایی گلوگاه‌های تلفات انرژی و مطالعه و امکان‌سنجی فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی

- برآورد پتانسیل‌های صرفه‌جویی انرژی، هزینه‌های اجرا، دوره بازگشت سرمایه و اولویت‌بندی راه‌کارهای پیشنهادی
- تهیه و انتشار خط مشی انرژی شرکت
- افزایش سطح حساس‌سازی مدیران، آگاه‌سازی کارشناسان کلیدی انرژی و فرهنگ‌سازی عموم کارکنان در زمینه بهره‌وری انرژی با تغییر نگرش، اصلاح رفتار و ترک عادت‌های نادرست و ارتقای فرهنگی بهره‌وری انرژی.
- ایجاد انگیزه به کارکنان در زمینه صرفه‌جویی انرژی با تدوین شیوه‌نامه بهره‌وری انرژی
- ایجاد فرهنگ استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر
- تربیت ممیزین انرژی مقیم درجه دو در مجموعه
- تعریف، محاسبه، تحلیل و پایش شاخص‌های عملکرد انرژی مجموعه
- تعریف و انتشار اهداف شاخص‌های عملکرد انرژی در سطح شرکت
- ارزیابی عملکرد مجموعه با مقایسه شاخص‌های عملکرد انرژی در حالات موجود و مطلوب
- کاهش میزان مشخص مصرف انرژی در زمان معین
- گزارش سالیانه بهبود عملکرد انرژی مجموعه
- تهیه و ارائه لیست پیشنهادات بی‌هزینه صرفه‌جویی انرژی به کارکنان جهت انجام آن‌ها
- انتخاب سالیانه کارکنان نمونه صرفه‌جویی انرژی
- تدوین خط مشی خرید فرآیندها و تجهیزات، با بازده بالای انرژی
- ایجاد ساختار مناسب مدیریت انرژی در شرکت
- استقرار سیستم پایش و هدف‌گذاری شاخص‌های انرژی (آنلاین یا آفلاین)
- تهیه گزارش‌های منظم ماهیانه میزان مصرف و هزینه حامل‌های انرژی

- ارتقای شاخص‌های عملیاتی عملکرد انرژی مجموعه با هدف افزایش بهره‌وری انرژی
- بودجه‌بندی سالانه جهت انجام مدیریت انرژی
- انجام پروژه‌های اولویت‌دار کم‌هزینه صرفه‌جویی انرژی
- تدوین برنامه بلندمدت مدیریت انرژی با راهبرد امنیت پایدار انرژی

۱-۴-۲-۳ اهداف بلندمدت ممیزی انرژی

- تعهد و مسئولیت‌پذیری شرکت در قبال مدیریت انرژی
- هموار شدن مسیر فرهنگی مجموعه برای هر فعالیت بهره‌ور توجیه‌پذیر اقتصادی
- کاهش اثرات مخرب زیست‌محیطی مانند کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای خصوصاً دی‌اکسیدکربن
- کاهش سرعت اتمام منابع انرژی تجدیدناپذیر مانند سوخت‌های فسیلی
- استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر تا حد امکان
- تربیت ممیزین انرژی مقیم درجه یک در مجموعه
- انجام پروژه‌های اولویت‌دار و پرهزینه صرفه‌جویی انرژی
- ارتقای شاخص‌های مدیریتی عملکرد انرژی شرکت با هدف توسعه امنیت پایدار انرژی

۱-۵ تعیین حوزه و دامنه کار ممیزی انرژی

براساس استاندارد ایزو ۱۹۰۱۱ ویرایش ۲۰۱۱، تعریف حوزه و دامنه کار ممیزی به شرح زیر است:

دامنه یا گستره ممیزی معمولاً شامل شرحی از مکان‌های فیزیکی، واحدهای سازمانی، فعالیت‌ها، فرآیندها و همچنین مدت زمانی است که ممیزی به طول می‌انجامد.

حوزه و دامنه کار ممیزی انرژی متناسب با موارد زیر تعیین می‌شود:

- هدف مشخص از ممیزی: صرفه‌جویی انرژی، شناسایی روند مصارف انرژی و فرصت‌های صرفه‌جویی بالقوه، شناسایی شرایط فنی و زیست‌محیطی با تکیه بر انرژی، تدوین گزارش اندازه‌گیری‌های پرتابل انرژی
- با توجه به منابع انسانی، زمان موجود (کارکنان ماهر، ممیزان انرژی مقیم، غیرمقیم) و زمان اجرا
- محدوده ممیزی (کل شرکت، شبکه حامل انرژی منتخب، فرآیندهای تولیدی منتخب، تجهیزات انرژی‌بر عمده منتخب، انواع ساختمان‌های اداری و صنعتی و عمومی منتخب شرکت)
- سطح تحلیل با توجه به تعریف شاخص‌های عملکرد انرژی (مدیریتی یا عملیاتی)
- نتایج مورد انتظار که مرجعی برای انجام فعالیت‌های صرفه‌جویی انرژی می‌شود
- درجه جزئیات انجام ممیزی با توجه به تعداد فرآیندها، تجهیزات عمده انرژی‌بر و متغیرها، شاخص‌های مورد نظر هر یک از آن‌ها
- بودجه انجام ممیزی با توجه به سطح ممیزی (قدم‌زنانه، مقدماتی، جامع)
- این حوزه ممکن است مطابق با برنامه ممیزی دولت (خارجی) یا شرکت متقاضی ممیزی (داخلی) تعریف شده و برای صنایع پرمصرف اعم از صنایع فلزی، کانی غیر فلزی، شیمیایی، غذایی و...، به‌جای حوزه کل مصرف انرژی شرکت، فقط یک یا چند واحد عملیاتی آن باشد

عوامل مؤثر بر تعیین حوزه و دامنه کار ممیزی انرژی به‌طورخلاصه درشکل ۱-۱ ارائه شده است.

شکل (۱-۱) عوامل مؤثر بر تعیین حوزه و دامنه کار ممیزی انرژی

با توجه به نوع ممیزی انرژی، محدوده کار آن می‌تواند مستقل از نوع صنعت انرژی‌بر به صورت زیر متفاوت باشد:

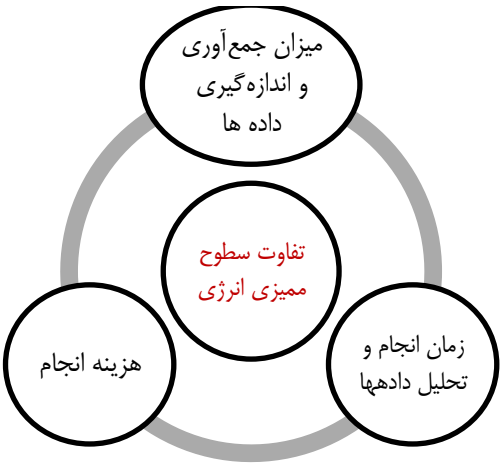
- کل شرکت شامل واحدهای عملیاتی و یوتیلیتی (تولید بخار، آب گرم، هوای فشرده، آب صنعتی و ...) و انواع ساختمان‌های شرکت (صنعتی، اداری و عمومی)
- بخش تولیدی شامل واحدهای عملیاتی و یوتیلیتی
- فرآیندهای منتخب واحدهای عملیاتی
- تجهیزات عمده انرژی‌بر و مبدل انرژی منتخب بخش‌های تولیدی/یوتیلیتی
- ساختمان‌های منتخب صنعتی، اداری و عمومی شرکت

۱-۶ تعریف انواع ممیزی انرژی

نوع ممیزی انرژی در یک واحد صنعتی، به عملکرد، اندازه و نوع صنعت، عمق و جزئیات ممیزی مورد نیاز، میزان و پتانسیل صرفه‌جویی انرژی و کاهش مطلوب هزینه، بستگی دارد. بر همین اساس، ممیزی انرژی صنعتی را می‌توان به سه نوع زیر طبقه‌بندی کرد.

- ممیزی انرژی قدم‌زنانه
- ممیزی انرژی مقدماتی
- ممیزی انرژی جامع

ممیزی‌شونده (کاربر نهایی گزارش ممیزی انرژی) ممکن است فقط یکی از سطوح ممیزی انرژی مذکور را انجام دهد، یا ممکن است با نوع اول ممیزی انرژی شروع کند و بعد از مشاهده نتایج آن تصمیم بگیرد که آیا نیاز به انجام دیگر سطوح ممیزی می‌باشد یا خیر. در گزارش هر سطح ممیزی انرژی، پتانسیل‌های صرفه‌جویی انرژی را می‌توان شناسایی و پیشنهادهای عملی افزایش بهره‌وری انرژی را ارائه نمود.



شکل (۱-۲) تفاوت سطوح ممیزی انرژی

انواع ممیزی انرژی با هم یکسان نیستند؛ به همین دلیل باید به بررسی تعاریف، مزایا، معایب و شرح خدمات هر یک از انواع مختلف ممیزی انرژی پرداخت. در وهله نخست، تفاوت عمده‌ای بین انواع ممیزی انرژی، مقدار داده‌ها یا اطلاعات جمع‌آوری شده است و پس از آن، زمان مورد نیاز برای انجام ممیزی، زمان صرف شده برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و هزینه انجام هر ممیزی و تیم ممیزی‌کننده نیز از تفاوت‌های دیگر انواع مختلف ممیزی است.

۱-۶-۱ ممیزی انرژی قدم‌زنانه[1]

ممیزی انرژی قدم‌زنانه شامل بازدید از محل واحد صنعتی[2] یا به عبارتی تور پیاده‌روی برای بازرسی کلی کیفیت و کمیت جریان انرژی توسط ممیز یا تیم ممیزی انرژی خصوصاً برای شناسایی تلفات آشکار انرژی شرکت ممیزی شونده است. داده‌های انرژی موجود در طول یک یا چند سال می‌تواند برای تجزیه و تحلیل، درخواست شود. قرائت نمونه‌ها و اندازه‌گیری‌های صورت گرفته از جمله توان، شدت روشنایی، دمای مطلوب ثبت شده و فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی و یافته‌ها، برای اجرا توسط تیم مدیریتی به صورت مکتوب و خلاصه گزارش می‌شود.

از جمله مزایای اجرای ممیزی انرژی قدم‌زنانه، دسترسی سریع‌تر به نتایج و کم بودن هزینه آن است. ضمن آن‌که ممیز ممکن است در صورت شناسایی فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی، ممیزی پیچیده‌تری را برای بخشی خاص از یک سیستم یا فرآیند به کار گیرد و اقدامات مورد نیاز، سریع‌تر اجرا گردد.

از معایب این نوع ممیزی انرژی نسبت به انواع دیگر ممیزی انرژی، آن است که به اندازه ممیزی انرژی مقدماتی و جامع پیچیده نیست و داده‌های کمتری جمع‌آوری، تجزیه و تحلیل می‌شود.

1- Simple /Screening /Walk-Through Energy Audit

2- Site visit

هدف از این ممیزی، نقطه شروع بهینه‌سازی انرژی، تعریف نوع و طبیعت سیستم‌های انرژی شرکت، ارزیابی مصرف انرژی کلی برای تعیین اینکه آیا این مصارف، معقول یا بیش از حد است و همچنین بررسی و شناسایی میزان و هزینه انرژی مصرف‌کنندگان عمده در شرکت ممیزی‌شونده است. در جریان این ممیزی، فرصت‌های آشکار صرفه‌جویی انرژی تعیین و به اختصار اشاره می‌گردد. نتیجه این ممیزی باید منجر به مقدمه‌سازی ممیزی انرژی سطوح بالاتر، تحلیل انرژی مصرفی کل شرکت و خروجی آن و در نهایت گزارش کوتاهی از یافته‌های ممیزی (فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی) گردد.

نکته: مرور کلی مصارف انرژی، راهکارهای صرفه‌جویی انرژی و هزینه‌های کلی انجام راهکارها با درصد خطای قابل قبول، توقع از این سطح ممیزی است.

۱-۶-۲ ممیزی انرژی مقدماتی

این سطح از ممیزی شامل بررسی مفصل‌تری نسبت به ممیزی انرژی قدم‌زنانه است. داده‌های انرژی موجود در طول سه سال یا بیشتر براساس عوامل تغییر مصارف اعم از تولید و آب و هوا (در صورت لزوم) تجزیه و تحلیل می‌شود. شروع این ممیزی می‌تواند با مروری بر گزارش و نتایج ممیزی انرژی قدم‌زنانه (در صورت وجود) آغاز گردد. سپس باید با جزییات بیشتر، تحلیل سیستم‌های انرژی‌بر اعم از تحلیل منحنی بار مصارف حامل‌های انرژی، بررسی نقش عوامل تغییردهنده مصارف و سهم هزینه‌ای انرژی هر یک از سیستم‌ها و واحدهای عملیاتی در قیمت نهایی انرژی و قیمت تمام شده محصول انجام پذیرد.

از مزایای انجام این نوع ممیزی انرژی، جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل داده‌ها و اطلاعات بیشتر نسبت به ممیزی انرژی قدم‌زنانه بوده و عیب آن صرف زمان و هزینه بیشتر به علت استفاده از دیتالاگرها برای جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز، می‌باشد.

هدف از ممیزی انرژی مقدماتی، تعیین پتانسیل صرفه‌جویی انرژی مصرفی و محاسبه هزینه انرژی قابل صرفه‌جویی در واحد ممیزی‌شونده است.

خروجی این سطح ممیزی، گزارشی شفاف و کوتاه از اقدامات مدیریت انرژی در قالب لیستی از پتانسیل‌های صرفه‌جویی انرژی (میزان و هزینه انرژی قابل صرفه‌جویی) به صورت بی‌هزینه و کم‌هزینه با قابلیت برگشت سریع سرمایه‌گذاری (اندک برای اقدامات کم‌هزینه) می‌باشد. اقدامات با هزینه بالا در سطح ممیزی انرژی بالاتری، تحلیل هزینه و فایده می‌شوند.

نکته: توقع از این سطح ممیزی، مرور سهم مصارف و هزینه حامل‌های انرژی به تفکیک واحدها و سیستم‌های انرژی‌بر و در نهایت تهیه لیست اقدامات (بی‌هزینه و کم‌هزینه) صرفه‌جویی انرژی و هزینه‌های انجام راهکارها با درصد خطای قابل قبول است.

۱-۶-۳ ممیزی انرژی جامع

این نوع ممیزی انرژی، بالاترین سطح و پیچیده‌ترین نوع ممیزی است که نیاز به تجزیه و تحلیل دقیق جریان انرژی در سطوح مختلف، با استفاده از داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز موجود، برداشت شده یا اندازه‌گیری شده دارد. معمولاً دامنه و حوزه کاری ممیزی انرژی جامع از خروجی گزارش ممیزی انرژی مقدماتی تعیین می‌شود. البته ذکر این نکته ضروری است که امکان دارد سطح ممیزی، کل سایت یا یک یا چند بخش خاص اعم از واحد تولیدی یا شبکه حامل‌های انرژی از جمله بررسی بهبود فناوری یا اصلاح یک فرآیند صنعتی با رویکرد افزایش بهره‌وری انرژی را تحت پوشش قرار دهد.

با توجه به آنکه بعضی از اقدامات بهبود یا اصلاحی، مستلزم انجام سرمایه‌گذاری بالایی بوده و در سطح ممیزی انرژی مقدماتی به علت محدودیت در منابع اعم از منابع مالی، منابع انسانی ماهر و... در توجیه فنی و اقتصادی آن کاری اساسی صورت نمی‌پذیرد، شایسته است مسئول تیم ممیزی، کارشناسان ماهری را برای اجرای بخش‌های خاص مورد ممیزی (واحد، فرآیند، تجهیز)[1] به کار گیرد و برای بررسی بیشتر و جزئی‌تر مورد

1- Unit/Plant/Equipment

ممیزی، از نرم‌افزارهای تخصصی شبیه‌سازی و تحلیل جریان انرژی و تجهیزات اندازه‌گیری و ثبت پرتابل متغیر مورد نیاز جهت تحلیل دقیق و صحیح، استفاده نماید.

از مزایای انجام این سطح ممیزی، ارزیابی دقیق جریان انرژی است و با توجه به شناسایی تمامی منابع و میزان تلفات آشکار و نهان انرژی مورد ممیزی‌شونده، نباید شناسایی هیچ فرصت مدیریت انرژی از دست برود و از معایب این سطح، وقت‌گیر بودن و هزینه بالای آن به علت دقیق بودنش می‌باشد.

هدف از ممیزی انرژی جامع، بررسی جامع و کامل کل یا چند فرآیند خاص تولید، توزیع و مصرف انرژی شرکت، شناسایی میزان و منابع تلفات انرژی در واحدهای تولیدی یا تجهیزات عمده انرژی‌بر شرکت، یا هر دوی آن‌ها و در نهایت ارائه راهکارهای عملی کاهش یا حذف تلفات انرژی است.

خروجی این سطح ممیزی، گزارشی جامع از لیست فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی بدون هزینه، کم‌هزینه یا پرهزینه به همراه توجیه فنی، اقتصادی و اولویت‌بندی آن‌ها می‌باشد.

در ادامه برای جمع‌بندی سطوح ممیزی انرژی، ویژگی‌ها و خروجی‌های هر یک از سطوح در جدول ۱-۴ آمده است.

جدول (۱-۴) مقایسه ویژگی‌های سطوح ممیزی انرژی

ویژگی/خروجی		نوع/سطح ممیزی انرژی		
		قدم‌زنانه	مقدماتی	جامع
گزارش	گزارش کلامی	✓	✓	✓
	گزارش مکتوب مختصر	✓	✓	✓
	تجزیه و تحلیل کامل وگزارش	×	✓	✓
	ارائه رسمی به مدیران ارشد	×	در صورت درخواست	✓

اندازه‌گیری	اندازه‌گیری	×	✓	✓
	پایش متغیرهای کلیدی (دما، دبی، فشار، توان،شرایط محیطی)	×	×	✓
	اندازه‌گیری شدت روشنایی	×	(مرتبط باشد)	✓
راهکارها	تهیه لیست اولویت‌دار راهکارها	لیست مختصر اقدامات با اولویت بالا	✓	ارزیابی جامع
	سطح دقیق راهکارها برای اجرا	توصیه‌هایی برای اقدامات آتی	توصیه‌هایی با توضیح مختصری از کارهای لازم	توصیه‌های دقیق برای شروع طراحی و مستندسازی
تحلیل و تفسیر	بازدید دقیق از سایت و تفسیر تلفات عمده	×	✓	✓
	تحلیل قبوض ۳ ساله و مقایسه با روش محک‌زنی	✓	✓	✓
	تهیه پروفایل ماهانه و فصلی مصارف انرژی	✓	✓	✓
	تهیه اهداف و شاخص‌های انرژی	×	(مدیریتی) ✓	(مدیریتی/عملیاتی) ✓
	تحلیل تعرفه قبوض انرژی	✓	✓	✓
	لیست مصارف عمده انرژی	×	مربوط به ممیزی است	✓

تحلیل و تفسیر	الگوی مصرف انرژی	×	در صورت درخواست	✓
	منحنی‌های بار روزانه برای سایت	×	✓	✓
	منحنی‌های بار روزانه انرژی	×	در صورت درخواست	✓
پس از ممیزی	طرح اجرایی مدیریت انرژی	×	در صورت درخواست (فعالیت پس از ممیزی)	در صورت درخواست (فعالیت پس از ممیزی)
	مذاکره در مورد تعرفه‌های انرژی	×	در صورت درخواست (فعالیت پس از ممیزی)	در صورت درخواست (فعالیت پس از ممیزی)
	پایش قبوض برای ۱۸ ماه بعد از تحویل گزارش	×	در صورت درخواست (فعالیت پس از ممیزی)	در صورت درخواست (فعالیت پس از ممیزی)

۱-۷شرح خدمات انواع ممیزی انرژی

۱-۷-۱ فعالیت‌های ممیزی انرژی

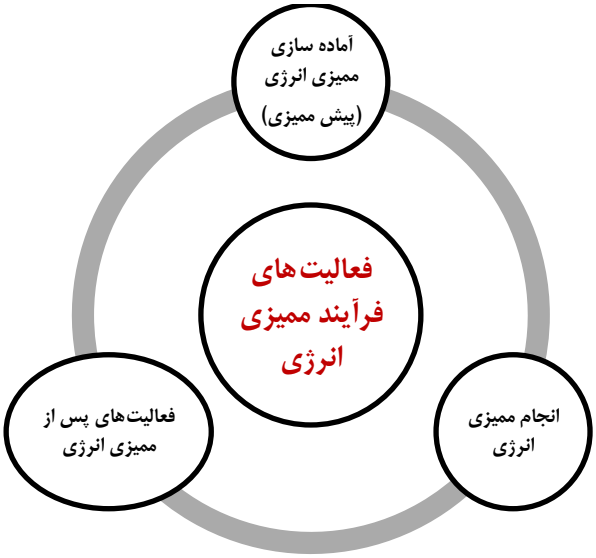
ماهیت و وزن فعالیت‌های مرتبط با انجام هر یک از انواع یا سطوح ممیزی انرژی متفاوت می‌باشد. وزن فعالیت‌های هر یک از انواع ممیزی انرژی، تابع نوع، اندازه و ظرفیت، فناوری صنعت ممیزی‌شونده، شرایط محیطی و محلی و... است. به منظور برخورداری از یک رویه

مشخص و یکنواخت در اجرای انواع ممیزی در صنایع، تشریح خدمات انواع ممیـزی انـرژی در ادامه ارائه می‌گردد. تمامی سطوح ممیزی انرژی شامل سه مرحله فعالیت هستند:

۱- فعالیت‌های پیش‌ممیزی

۲- انجام ممیزی

۳- فعالیت‌های پس از ممیزی



شکل (۱-۳) فعالیت‌های فرآیند ممیزی انرژی

جدول (۱-۳) برنامه و فعالیت‌های کلی ممیزی انرژی در یک نگاه

شماره	عناوین برنامه	فعالیت‌ها	مسئول انجام	
			ممیزی شونده	تیم ممیزی
۱	پیش‌ممیزی	انتخاب معیار ممیزی	✓	-
		انتخاب دامنه ممیزی	✓	-
		انتخاب تیم ممیزی	-	✓

۱	پیش‌ممیزی	طرح ممیزی	-	✓
		آماده سازی چک لیست‌ها	-	✓
		شروع بازدید از واحدها با رویکرد انرژی	-	✓
		جمع‌آوری قبوض و دیگر داده‌های مورد نیاز موجود	-	✓
		تحلیل اولیه	-	✓
۲	انجام ممیزی انرژی	تهیه لیست و اندازه‌گیری/برداشت داده‌های مورد نیاز	-	✓
		تحلیل الگوهای مصارف حامل‌های انرژی	-	✓
		محک‌زنی و تحلیل مقایسه‌ای	-	✓
		شناسایی پتانسیل‌های صرفه‌جویی انرژی	-	✓
		تحلیل فنی- اقتصادی (هزینه فایده) راهکارهای عملی	-	✓
		نوشتن گزارش ممیزی انرژی به همراه پیشنهادات	-	✓
۳	پس از ممیزی	آماده‌سازی طرح اجرایی پیشنهادات عملی برای اجرا	✓	-
		اجرای طرح اجرایی پیشنهادات عملی صرفه‌جویی انرژی	✓	-

۱-۷-۲ اقدامات تیم ممیزی پیش از اجرای ممیزی انرژی

الف- برقراری ارتباط اولیه تیم ممیزی با ممیزی‌شونده

برقراری ارتباط اولیه تیم ممیزی با ممیزی‌شونده باید توسط سرممیز به عنوان مسئول برنامه‌ریزی ممیزی با انجام فعالیت‌های زیر انجام پذیرد:

- درخواست از شرکت ممیزی‌شونده جهت معرفی نماینده
- معرفی کانال‌های ارتباطی با نماینده ممیزی‌شونده
- تأیید اختیار برای انجام ممیزی انرژی
- مهیا نمودن اطلاعات در خصوص زمان‌های تخصیص داده شده برای ممیزی‌شوندگان به‌خصوص برنامه اندازه‌گیری
- درخواست دست‌یابی به مدارک و سوابق مورد نیاز در حین ممیزی انرژی
- درخواست دست‌یابی به قوانین ایمنی و بهداشت حرفه‌ای ممیزی‌شونده و طی دوره مرتبط در محل، جهت اخذ مجوز لازم
- توافق متقابل برای انتخاب فرد راهنمای هر واحد ممیزی‌شونده

ب- آماده‌سازی برنامه ممیزی انرژی

سرممیز، مسئول تهیه برنامه ممیزی می‌باشد که در این برنامه زمان‌بندی شده، هماهنگی‌های لازم بین ممیز، ممیزی‌شونده و متقاضی ممیزی برقرار می‌شود. این برنامه باید طوری تنظیم گردد تا تغییرات در آن را بتوان به راحتی جایگزین نمود. این برنامه با توجه به اینکه قبلاً در آن شرکت، یکی از انواع ممیزی انرژی انجام شده باشد یا نه، می تواند از جزئیات کمتر یا بیشتر برخوردار باشد. به عبارتی در هر یک از سطوح ممیزی انرژی که برای اولین بار انجام می‌پذیرد، جزئیات بیشتری لازم است که در ممیزی‌های دوره‌ای بعدی پیگیری آن‌ها لازم نمی‌باشد. به عنوان مثال شناسنامه انرژی، لیست تجهیزات انرژی‌بر و مبدل انرژی شرکت به تفکیک واحدهای عملیاتی.

ج- آماده‌سازی اسناد و مدارک کاری

- لیست مشخصات تیم ممیزی انرژی (سرممیز به علاوه ممیزین درجه سه، درجه دو، درجه یک).
- چک‌لیست‌های مورد نیاز ممیزین با توجه به سطح ممیزی مانند لیست داده‌های اولیه مورد نیاز

- فرم‌های مخصوص برداشت، اندازه‌گیری داده‌ها، اطلاعات و یافته‌ها از ممیزی

۱-۷-۳ اقدامات تیم ممیزی حین اجرای ممیزی انرژی

الف- اجرای جلسه افتتاحیه

در جلسه افتتاحیه باید مدیر ارشد شرکت، کمیته عالی انرژی و مدیران واحدهای ممیزی‌شونده شرکت کنند. از اهداف تشکیل این جلسه می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- تأیید برنامه زمان‌بندی ممیزی انرژی
- تشریح خلاصه‌ای از برنامه ممیزی انرژی
- تأیید کانال‌های ارتباطی
- موقعیتی برای پاسخ به ابهامات یا پرسش‌های ممیزی‌شوندگان قبل از آغاز ممیزی انرژی در محل

ب- برقراری ارتباط در طول ممیزی انرژی

در حین ممیزی با توجه به نوع و دامنه ممیزی، تیم ممیزی انرژی بهتر است طی جلسات کوتاه، کانال‌های ارتباطی خود را حفظ نماید تا یکدیگر را از داده‌ها و اطلاعات جمع‌آوری شده و به‌دست آمده آگاه سازند. در مواردی که شواهد نشان بدهند که بخش‌هایی از ممیزی انرژی مانند اندازه‌گیری برخی از متغیرها، غیرقابل دستیابی است، سرممیز باید مراتب را از طریق نماینده به مدیریت ارشد شرکت اطلاع دهد تا مدیریت بتواند تصمیمات جدیدی بگیرد. این تصمیمات به تغییر در برنامه، تغییر در دامنه ممیزی یا قطع ممیزی منجر شود.

ج- تشکیل جلسه اختتامیه

به منظور ارائه یافته‌ها و جمع‌بندی اولیه ممیزی انرژی توسط سرممیز نیاز

است جلسه اختتامیه تشکیل شود. هدف از این کار اطمینان از درک صحیح ممیزی‌شوندگان و تصدیق نتایج و یافته‌های اولیه ممیزی است. چنانچه احتیاج باشد، زمان برای ارائه گزارش نهایی و نحوه انجام اقدامات بهینه‌سازی انرژی بدون هزینه و یا کم‌هزینه در قالب فعالیت‌های اصلاحی و پیشگیرانه مورد بحث قرار می‌گیرد. افراد شرکت کننده در جلسه اختتامیه شامل مدیران ارشد و میانی ممیزی‌شونده و در صورت نیاز متقاضی ممیزی و دیگر مراجع ذی‌صلاح می‌باشند. البته تیم ممیزی انرژی به سرپرستی سرممیز باید قبل از جلسه اختتامیه با یکدیگر مشورت کنند تا:

- یافته‌ها و نتایج هر یک از ممیزین مورد بازنگری قرارگیرد
- ممیزی انرژی شرکت به توافق نهایی برسند
- مروری بر راهکارهای مورد نظر بهینه‌سازی مصرف انرژی و بحث درباره پیگیری‌های لازم انجام شود

۱-۷-۴ اقدامات ممیزی‌شونده پیش از اجرای ممیزی انرژی

- برگزاری دوره آموزشی و آگاه‌سازی «آشنایی با ممیزی انرژی صنعتی» برای مدیران ارشد و میانی
- برگزاری دوره آموزشی تخصصی «تربیت ممیزی انرژی درجه سه» برای کارشناسان کلیدی انرژی
- انتخاب سطح ممیزی با توجه به نوع و پیچیدگی صنعت، زمان و بودجه در دسترس برای ممیزی انرژی و اقدامات بعدی
- فراهم نمودن اطلاعات اولیه مورد نیاز زیر برای تیم ممیزی انرژی:

۱- اعلام سطح و شرح خدمات مورد درخواست ممیزی انرژی

۲- اطلاعات تماس نماینده خود

۳- تعیین زمان آغاز و پایان انجام ممیزی (تاریخ تکمیل و تحویل گزارش ممیزی)

۴- داده‌های تولید به تفکیک واحدهای عملیاتی

۵- گزارش‌ها و یافته‌های حاصل از ممیزی‌های انرژی قبلی

۶- اطلاعات پایه درباره فعالیت‌های مدیریت انرژی در سایت، تا کنون

۷- تاریخچه قبوض انرژی در ۳۶ ماه گذشته

۸- پروفایل بار حامل‌های انرژی اصلی (برق، گاز یا سوخت‌های دیگر) سایت

۹- برنامه‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت شرکت که ممکن است بر اجرای راهکارها تأثیر بگذارد

۱۰- محدودیت‌های دسترسی به سایت (در صورت وجود)

- علاوه بر این، برای رسیدن به سطوح ممیزی انرژی مقدماتی و جامع، باید اطلاعات زیر نیز برای تیم ممیزی فراهم گردد:

۱- اطلاعات جزئی‌تر از برنامه‌های مدیریت انرژی و جزئیات نتایج این ممیزی برای برنامه مدیریت انرژی شرکت

۲- تعیین قیمت حامل‌های انرژی و سهم انرژی در قیمت تمام شده محصول (سند حسابداری صنعتی)

۳- لیستی از قرائت‌های تجهیزات اندازه‌گیر و مکان نصب آن‌ها

۴- برنامه زمانی تعمیر و نگهداری واحدهای تولیدی، یوتیلیتی (در صورت وجود) و تجهیزات عمده

۵- لیستی از داده‌های نامی مورد نیاز فرآیندها و تجهیزات

۶- تشریح فرآیندهای واحدهای تولیدی و یوتیلیتی (در صورت وجود)

۱-۷-۵ اقدامات ممیزی‌شونده حین اجرای ممیزی انرژی

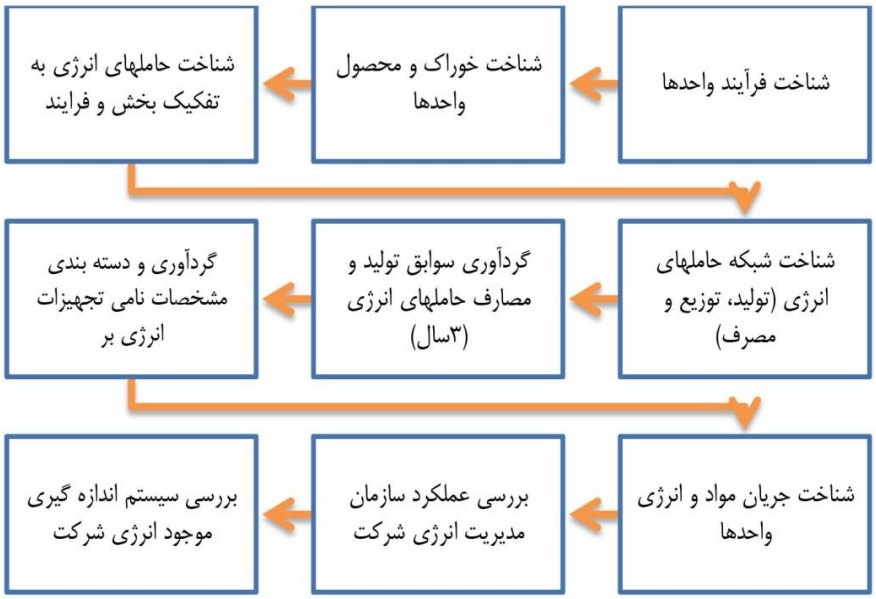
- هماهنگی تشکیل جلسات بین ممیز و ممیزی‌شونده

- هماهنگی دسترسی و بازدید از نقاط مختلف مورد ممیزی (در صورت نیاز)
- حصول اطمینان از آشنایی تیم ممیزی با قوانین ایمنی و ضوابط موجود در شرکت
- گماردن کارشناس مطلع از طرف ممیزی‌شونده خصوصاً در اندازه‌گیری متغیرهای شرکت
- کمک در جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات (از سه طریق مصاحبه، مطالعه مستندات و مشاهده اندازه‌گیری‌ها و برداشت‌ها)

نکته: پس از جمع‌آوری، دسته‌بندی و اعتبارسنجی داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز ممیزی انرژی، شاخص‌های عملکرد انرژی باید تعریف، محاسبه و تحلیل گردند و در مقایسه با معیارهای تعریف شده، عدم انطباق‌ها شناسایی شوند.

۱-۷-۶ اقدامات ممیزی شونده پس از اجرای ممیزی انرژی

- تحویل گزارش ممیزی نهایی پس از انجام اصلاحات مورد نظر و تکمیل توسط سرممیز
- در صورت انجام ممیزی قدم‌زنانه یا مقدماتی، تصمیم‌گیری درخصوص اقدام به انجام سطوح دیگر ممیزی
- تدوین طرح اجرایی راهکارها شامل اولویت اجرا، وظایف و هزینه اجرای هر راهکار، تخصیص وظایف و جدول زمانی اجرای آن‌ها
- مشاوره با طرف‌های ذی‌نفع در زمینه نحوه اجرای راهکارهای صرفه‌جویی انرژی طبق طرح اجرایی
- پایش منظم نتایج حاصل از اقدامات اجرایی و بازنگری طرح اجرایی



شکل (۱-۴) نمونه‌ای از گردآوری داده‌های اولیه مورد نیاز ممیزی انرژی صنعتی در قالب شناسنامه انرژی

۱-۷-۷ شرح فعالیت‌های قدم به قدم سطوح مختلف ممیزی انرژی

همان‌طور که پیشتر اشاره شد، شرح فعالیت‌های مرتبط با انجام هر یک از سطوح ممیزی انرژی با توجه به نوع ممیزی و در صنایع مختلف، به ظرفیت، نوع فناوری، شرایط محیطی و محلی و غیره بستگی دارد و متفاوت است. در ادامه این شرح فعالیت‌ها به منظور داشتن رویه مشخص و یکنواخت در اجرای ممیزی انرژی مستقل از نوع صنعت و سطح ممیزی در چهار مرحله آمده است:

۱- هماهنگی و آماده‌سازی

۲- شناخت و جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات،

۳- تحلیل

۴- تهیه گزارش

جدول (۱-۴) شرح فعالیت‌های ممیزی انرژی قدم‌زنانه

مرحله	نوع فعالیت	شرح فعالیت
۱	هماهنگی و آماده‌سازی	توجیه ممیزی‌شونده در مورد ضرورت انجام ممیزی انرژی آگاه‌سازی ممیزی‌شونده از فعالیت‌های قدم بـه قـدم ممیـزی انـرژی قدم‌زنانه تعیین تیم ممیزی شامل سرممیز و ممیزین انرژی تهیه چک‌لیست و ابزارآلات لازم برای ممیزی قدم‌زنانه درخواست از ممیزی‌شونده برای آماده کردن اطلاعات مورد نیاز ۱-۷-۴ تهیه برنامه زمانی ممیزی
۲	شناخت و جمـع‌آوری داده‌هـــا و اطلاعات	گفتگو با کارکنان کلیدی انرژی جهت: ۱- آشنایی با عادات درست و نادرست همکاران در زمینه صرفه‌جویی انرژی ۲- شناسایی موارد مصرف انرژی غیر مولد ۳- شناسایی تلفات آشکار انرژی در سایت انجام سایت ویزیت انرژی از فرآیندها و سیستم‌های انرژی‌بر عمده جمع‌آوری اطلاعات میزان و هزینه حامل‌های انرژی مصرفی ارائه گزارش اولیه از دستاوردها، نتایج و مزایای ممیزی صورت گرفته
۳	تحلیل	ارزیابی از سهم میزان و هزینه حامل‌های انرژی به تفکیک واحـدهای عملیاتی، یوتیلیتی و ساختمان تحلیل کلی از میزان کارایی انرژی تهیه خلاصه‌ای از بخش‌های دارای پتانسیل صرفه‌جویی انرژی بررسی برنامه موجود مدیریت انرژی و ارائه نظرات اصلاحی در مـورد فعالیت‌های انجام شده قبلی
۴	تهیه گزارش	ارائه گزارش ممیزی قدم‌زنانه شامل فهرست فرصت‌های موجود برای برنامه‌های مدیریت انرژی

جدول (۱-۵) شرح فعالیت‌های ممیزی انرژی مقدماتی

مرحله	نوع فعالیت	شرح فعالیت
۱	هماهنگی و آماده‌سازی	مروری بر گزارش ممیزی قدم‌زنانه که قبلاً انجام شده است. (در صورتی که این ممیزی صورت نگرفته است، سریعاً باید به انجام آن اقدام کرد.) آگاه‌سازی ممیزی‌شونده از فعالیت‌های قدم به قدم ممیزی انرژی مقدماتی تعیین بخش‌های مورد ممیزی با هماهنگی متقاضی ممیزی و ممیزی‌شونده تکرار مراحل ارائه شده در مرحله آماده‌سازی ممیزی انرژی قدم‌زنانه
۲	شناخت جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات	بازدید از بخش‌های مورد ممیزی و جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز از آن‌ها تعیین نقاط دارای پتانسیل صرفه‌جویی انرژی هر بخش جهت بررسی بیشتر در حین بازدید از هر بخش، باید توصیه‌های لازم داده شود و نتایج هر روز از ممیزی گزارش شود
۳	تحلیل	بررسی روند تغییرات کارایی و متغیرهای اثرگذار با استفاده از اطلاعات جمع‌آوری شده ۳۶ ماهه اخیر تعیین میزان کارایی انرژی در بخش‌های موردنظر با ارائه جزئیات کامل تعیین میزان تلفات انرژی و تعیین بخش‌های دارای پتانسیل صرفه‌جویی انرژی تحلیل کامل از سهم انرژی مصرفی هر یک از بخش‌های ممیزی شده دارای پتانسیل صرفه‌جویی

۳	تحلیل	تهیه گزارشی از بخش‌های موردنظر برای پیاده‌سازی فعالیت‌های مدیریت انرژی و تهیه برنامه‌ای زمان‌بندی برای پیاده‌سازی این فعالیت‌ها ارائه نتایجی از فعالیت‌های قبلی مدیریت انرژی به تفکیک بخش‌های مورد ممیزی
۴	تهیه گزارش	ارائه گزارش ممیزی انرژی مقدماتی در برگیرنده: ارائه الگوی مصارف انرژی به تفکیک بخش‌های مورد ممیزی میزان و هزینه انرژی قابل صرفه‌جویی کل تعیین میزان و هزینه انرژی قابل صرفه‌جویی به تفکیک بخش‌های مورد ممیزی ارائه پیشنهادات فنی صرفه‌جویی انرژی (بی‌هزینه، کم هزینه) به علاوه لیستی از راهکارهای پرهزینه

جدول (۱-۶) شرح فعالیت‌های ممیزی انرژی جامع

مرحله	نوع فعالیت	شرح فعالیت
۱	هماهنگی و آماده‌سازی	مروری بر گزارش‌های ارائه شده از ممیزی‌های قدم‌زنانه و مقدماتی که قبلاً انجام شده‌اند. (درصورتی‌که قبلاً ممیزی صورت نگرفته است، انجام ممیزی قدم‌زنانه یا مقدماتی می‌تواند انجام گیرد یا فعالیت‌های آن‌ها در همین سطح با بقیه فعالیت‌های ممیزی انرژی جامع ادغام گردد.) آگاه‌سازی ممیزی شونده از فعالیت‌های قدم به قدم ممیزی انرژی جامع تکرار مراحل ارائه شده در مرحله آماده‌سازی ممیزی انرژی قدم‌زنانه

۲	شناخت و جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات	بازدید از بخش‌های با احتمال خطر بالای انرژی یا گلوگاه‌های بالقوه تلفات انرژی گفتگو با کارکنان کلیدی انرژی بخش‌های مورد ممیزی در مورد برنامه ممیزی جمع‌آوری اطلاعات با جزئیات کامل از میزان و هزینه انرژی مصرفی برداشت و اندازه‌گیری متغیرهای مورد نیاز فرآیندها و تجهیزات، جهت محاسبه شاخص‌های عملکرد انرژی
۳	تحلیل	تحلیل کامل الگوی مصارف حامل‌های انرژی به تفکیک بخش تحلیل کامل و جامع از کیفیت و کمیت شاخص‌های عملکرد انرژی بررسی گزارش‌هایی که در ممیزی‌های پیشین از میزان انرژی قابل صرفه‌جویی ارائه شده است امکان‌سنجی تحقق پروژه‌های پیشنهادی مدیریت انرژی از جنبه‌های فنی و اقتصادی ارائه طرح اجرایی برای پروژه‌های پیشنهادی مدیریت انرژی تهیه جدول زمان‌بندی برای اجرای پروژه‌های پیشنهادی مدیریت انرژی پیشنهاد بودجه لازم برای پیاده‌سازی برنامه‌های پیشنهادی ارائه راه‌کارهایی برای تأمین مالی پروژه‌های پیشنهادی مدیریت انرژی در صورت امکان
۴	تهیه گزارش	ارائه گزارش ممیزی انرژی جامع در برگیرنده: توصیه‌های فنی و ارائه تخمینی از هزینه قابل صرفه‌جویی در مصرف انرژی ارائه تحلیل کامل اقتصادی از فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی ارائه طرح اجرایی برای پیاده‌سازی هر کدام از توصیه‌های فنی اولویت‌دار

۱-۸ تعیین توالی و زمان انجام ممیزی انرژی

سطح اولیه ممیزی (ممیزی انرژی قدم‌زنانه)، بهتر است هر سال به عنوان بخشی از بازنگری برنامه‌های مدیریت انرژی و ترجیحاً در زمان بیشترین مصارف انرژی (معادل) انجام شود. ولی سطوح بالاتر ممیزی یعنی ممیزی انرژی مقدماتی و جامع باید هر ۳ تا ۵ سال یا در مواقعی که یک یا چند مورد زیر به وقوع بپیوندد، انجام شود:

۱- ایجاد تغییر قابل توجه در مصرف انرژی یا فرآیند سایت

۲- توسعه یا نوسازی سایت

۳- تغییرات قابل توجهی در قیمت یا در سطح دسترسی به منابع انرژی (کاهش امنیت انرژی)

۴- افزایش قابل توجه میزان شاخص عملکرد انرژی برای سایت.

۵- به‌کارگیری فناوری‌های جدید در فرآیندها

البته ذکر این نکته ضروری است که برای بررسی دقیق‌تر روند و الگوی مصارف انرژی در سطوح مختلف شرکت، در صنایعی که تغییرات محسوسی نسبت به تغییرات دمایی آب و هوا دارند، این ممیزی برای فرآیندها و تجهیزاتی با تأثیرپذیری زیاد از تغییرات دمایی آب و هوا، بهتر است دو بار در سال یعنی در فصول گرم (تابستان) و سرد (زمستان) انجام پذیرد. به‌طور مثال برای بررسی عملکرد انرژی کمپرسور، با توجه به وابستگی شدید کارآیی کمپرسور به دمای محیط، دو کارایی تابستان و زمستان برای آن تعریف شود. در جدول زیر بازه زمانی و توالی تخمینی انجام سطوح مختلف ممیزی انرژی به تفکیک نوع صنعت - از لحاظ اندازه- ذکر شده است که در آن باید چهار مرحله ممیزی انرژی اعم از: الف- هماهنگی و آماده‌سازی، ب- شناخت و جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات، ج- تحلیل و د-تهیه گزارش انجام شود.

جدول (۱-۷) بازه زمانی و توالی تخمینی انجام سطوح مختلف ممیزی انرژی به تفکیک نوع صنعت

نوع صنعت		ممیزی انرژی قدم‌زنانه		ممیزی انرژی مقدماتی		ممیزی انرژی جامع	
		بازه زمانی❖	توالی انجام❖❖	بازه زمانی	توالی انجام	بازه زمانی	توالی انجام
فلزی	فولاد ذوب	۴	۱۲	۳۰	۲۴	۱۲۰	۳۶-۶۰
	ذوب آهن	۴	۱۲	۳۰	۲۴	۱۲۰	۳۶-۶۰
	نورد	۲	۱۲	۲۰	۲۴	۹۰	۳۶-۶۰
	سایر صنایع فلزی (سرب، روی، مس، آلومینیوم و ...)	۳	۱۲	۲۵	۲۴	۱۰۵	۳۶-۶۰
غیرفلزی	سیمان، کاشی و سرامیک، آجر و ...	۲	۱۲	۲۰	۲۴	۹۰	۳۶-۶۰
شیمیایی	پالایش نفت	۴	۱۲	۳۰	۲۴	۱۲۰	۳۶-۶۰
	پالایش گاز	۳	۱۲	۲۵	۲۴	۱۰۵	۳۶-۶۰
	پتروشیمی (الفین، آروماتیک،کلرآلکالی، اوره و آمونیاک، متانول)	۳	۱۲	۲۵	۲۴	۱۰۵	۳۶-۶۰
	صنایع شیمیایی پایین‌دستی	۲	۱۲	۲۰	۲۴	۹۰	۳۶-۶۰
غذایی		۳	۱۲	۲۵	۲۰	۱۰۵	۳۶
متفرقه	خودروسازی، لاستیک، لوازم خانگی و ...	۲	۱۲	۲۰	۲۴	۹۰	۳۶-۶۰

❖ اعداد مربوط به بازه زمانی، همگی به روز می‌باشند.

❖❖ اعداد مربوط به توالی انجام، همگی به ماه می‌باشند.

۱-۹ مسئولیت‌ها و منابع برنامه ممیزی انرژی

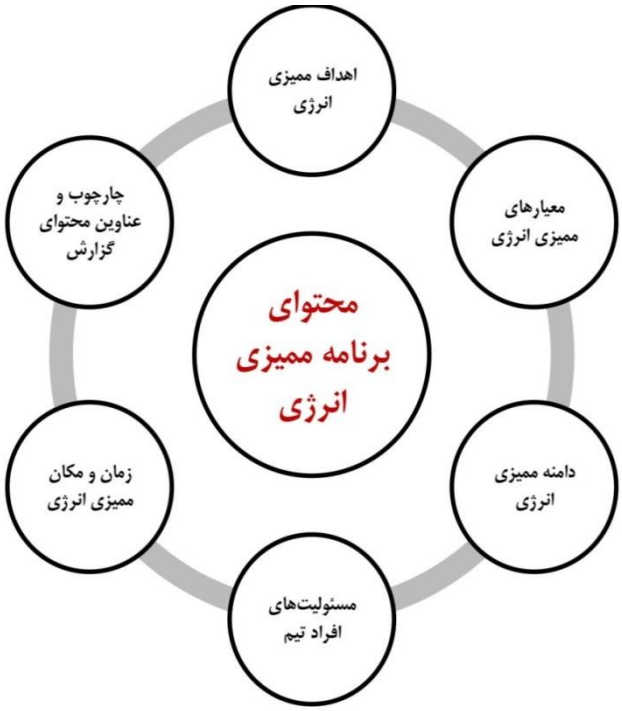
۱-۹-۱ منابع برنامه ممیزی انرژی

یک برنامه ممیزی انرژی باید دارای سه منبع اصلی مغزافزار (تیم ممیزی انرژی)، سخت‌افزار و نرم‌افزار باشد.

با توجه به بحث در مورد زمان، هزینه، تجهیزات اندازه‌گیری و نرم‌افزارهای تحلیل در بخش‌های قبل و بعد، در این بخش به منابع مغزافزاری برنامه ممیزی انرژی یا همان تیم ممیزی پرداخته می‌شود.

نخست، مدیران ارشد شرکت ممیزی‌شونده، باید تصمیم بگیرند که آیا ممیزی انرژی توسط کارشناسان مقیم داخلی شرکت انجام شود یا به یک مشاورخارج از شرکت، برون‌سپاری شود. تیم ممیزی نیز به کمک نمایندگان ممیزی‌شونده، برنامه ممیزی انرژی را مشخص می‌کند که این برنامه باید شامل طرح جامعی از فعالیت‌های مورد نیاز ممیزی مطابق با سه زمان پیش از ممیزی، در طول ممیزی و پس از ممیزی باشد. این طرح جامع، راهبرد و روند ممیزی انرژی برای محدوده زمانی مشخص و جهت دستیابی به هدفی خاص است که شامل موارد زیر می‌باشد:

- تعیین اهداف ممیزی انرژی (توسط متقاضی ممیزی انرژی)
- تعیین معیارهای ممیزی انرژی (تعیین، بین متقاضی ممیزی انرژی و راهبر تیم ممیزی انرژی و اطلاع، به ممیزی‌شونده)
- دامنه ممیزی انرژی
- تعیین توالی و زمان انجام مراحل ممیزی انرژی
- مسئولیت‌ها و وظایف اعضای تیم ممیزی انرژی
- چارچوب و رئوس محتوای گزارش ممیزی انرژی



شکل (۱-۵) محتوای برنامه ممیزی انرژی

۱-۹-۲ انتخاب تیم ممیزی انرژی

انتخاب تیم ممیز انرژی، تصمیمی کلیدی برای مدیران کارخانجات صنعتی است. مدیریت ارشد شرکت بعد از مشورت با مدیران بخش‌های مختلف شرکت، باید در مورد اینکه ممیزی انرژی توسط کارکنان داخلی (مقیم[1]) شرکت یا مشاور برون سازمانی (شرکت مشاور خدمات انرژی[2]) اجرا شود، تصمیم‌گیری کند. اگر شرکتی واحدهای[3] متعددی دارد، کارکنان یک شرکت می‌توانند اجرای ممیزی دیگر واحدها را نیز به عهده بگیرند تا شرط مستقل بودن ممیز حفظ گردد.

1- Residental
2- Energy Service Company
3- Plant

ممیزین انرژی می‌توانند بر اساس شایستگی و صلاحیتشان به‌طورجداگانه ممیزی انرژی الکتریکی یا ممیزی انرژی حرارتی انجام دهند یا ممیزی انرژی کامل سایت را به عهده بگیرند. در صورت استفاده از مشاوران برون سازمانی، بهتر است مشاوران دولتی یا خصوصی تأیید شده و معتبر را انتخاب نمود که در ادامه به شرایط احراز صلاحیت ممیزین انرژی پرداخته می‌شود. سرممیز انرژی نیز به عنوان رهبر تیم ممیزی، نقش‌ها و مسؤلیت‌های هر یک از اعضای تیم ممیز را تعیین می‌کند. اگر از مشاور برون سازمانی استفاده می‌شود، اعضای تیم ممیزی انرژی (که باید حرفه‌ای، شایسته و آشنا با فرآیند ممیزی انرژی و تکنیک‌های آن باشند) هم از بیرون شرکت هستند تا با برخی کارکنان داخل شرکت (ترجیحاً کارکنان کلیدی انرژی) به عنوان همکار صنعتی، در مورد ممیزی همکاری کنند.

البته در انتخاب تیم ممیزی که توسط سرممیز انجام می‌پذیرد، موارد زیر باید لحاظ گردد:

- نوع یا سطح ممیزی انرژی
- اهداف، دامنه، معیارها و مدت زمان تخمینی ممیزی انرژی
- حصول اطمینان از شایستگی ممیز در راستای رسیدن به اهداف ممیزی انرژی با شناسایی معلومات و مهارت‌های لازم ممیزین
- آشنایی با الزامات قانونی انرژی یا سایر الزامات موجود در شرکت متقاضی ممیزی و ممیزی‌شونده
- استقلال افراد تیم ممیزی انرژی از واحد ممیزی‌شونده (در صورت استفاده از ممیزی انرژی مقیم)
- انتخاب و گزینش افراد تیم ممیزی به نحوی‌که کلیه مهارت‌های مورد نیاز در تیم ممیزی باشد
- اطمینان از اینکه تیم ممیزی بتواند ارتباط مناسب و همکاری‌های لازم را با شرکت ممیزی‌شونده داشته باشد

۱-۹-۳ اعضای تیم ممیزی انرژی

یک تیم ممیزی انرژی، شامل یک راهبر یا سرپرست تیم به عنوان سرممیز انرژی، به همراه تعدادی ممیز انرژی دارای مهارت و شایستگی لازم است که این خصوصیات به همراه تعداد نفرات آن‌ها می‌تواند متفاوت باشد. در خصوص محول نمودن کارها به افراد تیم ممیزی، سرممیز موظف است که مسئولیت‌های هر فرد در تیم ممیزی را در خصوص واحدها، فرآیندها و فعالیت‌های درگیر ممیزی انرژی، روشن سازد.

۱-۹-۴ اصول کلی ممیزی

۱. اصول اخلاقی

اصول اخلاقی، اساس مهارت حرفه‌ای در انجام هر کاری می‌باشد که شامل اعتماد، استحکام شخصیتی، رازداری و قدرت تشخیص است.

۲. ارائه منصفانه

یافته‌ها، نتایج و گزارش‌های ممیزی، منعکس کننده درستی و راستی فعالیت‌های ممیزی است. موانع عمده‌ای که در طی ممیزی با آن برخورد می‌شود و نظرات متباین حل نشده بین اعضای تیم ممیزی و ممیزی‌شونده باید گزارش شود.

۳. رعایت نکات حرفه‌ای

ممیزین باید در رابطه با اهمیت کاری که انجام می‌دهند و اعتمادی که ممیزی-شونده و سایر طرف‌های ذی‌نفع به آنان می‌کنند، احتیاط‌های لازم را به عمل آورند. از خصوصیات اصلی ممیزین نیز باید شایستگی آن‌ها باشد.

۴. استقلال

استقلال یک ممیز مبنای بی‌طرفی در ممیزی و عینیت نتایج نهایی ممیزی می‌باشد. لذا ممیزین باید از فعالیت مورد ممیزی مستقل و از تعصب (یک سونگری) و منفعت به دور باشند. ممیزین باید آزادی و استقلال فکر را در سرتاسر فرآیند ممیزی حفظ کنند

تا این اطمینان حاصل گردد که یافته‌ها و نتایج نهایی ممیزی فقط بر شواهد عینی متکی است.

۵. رویکرد بر مبنای شواهد

رویکرد، بر مبنای شواهد در انجام ممیزی، روشی منطقی برای دست‌یابی به نتایج ممیزی قابل اعتماد و تکرار پذیر در یک فرآیند ممیزی می‌باشد. شواهد ممیزی قابل تصدیق هستند که بر نمونه‌هایی از اطلاعات قابل دسترس و موجود، متکی است، زیرا ممیزی در یک مدت زمان معین و با استفاده از منابع محدود انجام می‌گیرد. استفاده مناسب از نمونه‌گیری، مرتبط با سطح اعتمادی است که می‌تواند در نتیجه‌گیری نهایی ممیزی مؤثر باشد.

۱-۹-۵ عوامل شایستگی ممیزین انرژی

اعتماد به نفس و اطمینان از انجام درست فرآیند ممیزی، بستگی به شایستگی تیم ممیزی دارد. این تیم که متشکل از یک سرممیز و تعدادی ممیز انرژی است، نقش مهمی در اجرای مؤثر و مناسب ممیزی انرژی دارد. به همین خاطر شناسایی شرایط متناسب با احراز صلاحیت و شایستگی تیم ممیزی انرژی، از اهمیت فراوانی برخوردار است. در ادامه به بررسی عوامل شایستگی یک ممیز انرژی پرداخته می‌شود. بررسی شایستگی و ارزش‌یابی ممیزین انرژی، باید در سه بخش زیر انجام پذیرد:

الف- خصلت‌های شخصی

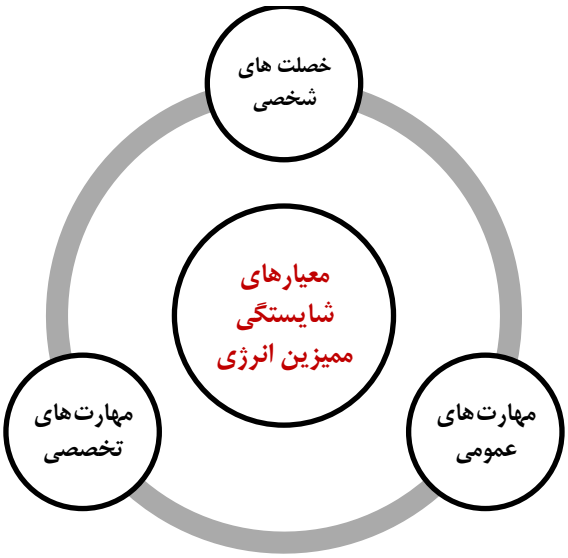
ب- توانایی‌های بکارگیری معلومات و مهارت‌های عمومی

ج- توانایی‌های بکارگیری معلومات و مهارت‌های تخصصی

الف- خصلت‌های شخصی ممیز انرژی:

- دارای اخلاق خوب (مؤدب، منصف، راستگو، صمیمی، رازدار)
- روشنفکر (آماده پذیرش نقطه نظرات و ایده‌های خوب و جایگزین)

- سیاست‌مدار (دارای روابط عمومی خوب و حضور ذهن در هنگام بحث با افراد)
- هوشیار (آگاه از اطراف خود)
- درک صحیح از مسائل و قابل انعطاف (توانا برای درک موقعیت‌ها)
- مصمم و قاطع (دارای قابلیت جمع‌بندی به موقع مبتنی بر استدلال و تحلیل‌های منطقی)
- پیگیر (دارای پشتکار مناسب برای دست‌یابی به اهداف)
- امیدوار و امیددهنده به دیگران
- متکی به نفس (عملکردی مستقل در حالی که با دیگران به صورت اثربخش دارای تعامل باشد)



شکل(۱-۶) معیارهای شایستگی ممیزین انرژی

ب- توانایی‌های به‌کارگیری معلومات و مهارت‌های عمومی

- معلومات و مهارت‌های عمومی ممیزین

معلومات و مهارت‌های عمومی ممیزین انرژی باید در ۳ بخش زیر مناسب باشد:

۱- آشنایی با اصول ممیزی، روش‌ها و فنون ممیزی:

این آشنایی، ممیز را قادر می‌سازد تا با به‌کارگیری روش‌ها و منش‌های جذاب، بتواند ممیزی را اداره کند. ضمن آنکه یک ممیز باید بتواند:

- اصول، روش‌ها و فنون ممیزی را به‌کار گیرد
- ممیزی را به‌طور مؤثر اداره کند
- ممیزی را در زمان تعریف شده به انجام برساند
- روی موارد بارز، اولویت و تمرکز داشته باشد
- داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز را با تیزبینی از طریق مصاحبه مؤثر، گوش دادن، بازنگری مستندات و سوابق و نهایتاً اندازه‌گیری یا برداشت، جمع‌آوری نماید
- درک صحیح استفاده درست از روش‌های اندازه‌گیری یا برداشت
- تأیید صحت اطلاعات جمع‌آوری شده
- تأیید کفایت و مناسب بودن شواهد ممیزی برای تهیه و جمع‌بندی ممیزی
- ارزیابی عواملی که می‌توانند بر قابلیت اطمینان یافته‌ها و جمع‌بندی‌های ممیزی اثرگذار باشند
- استفاده از تجهیزات کالیبره شده برای ثبت فعالیت‌های ممیزی
- تهیه و آماده‌سازی گزارش‌های ممیزی
- محرمانه نگه داشتن و امنیت اطلاعات
- روابط اثربخش از طریق مترجم (در صورت ایرانی نبودن مشاور)

۲- آشنایی با وضعیت شرکت ممیزی‌شونده:

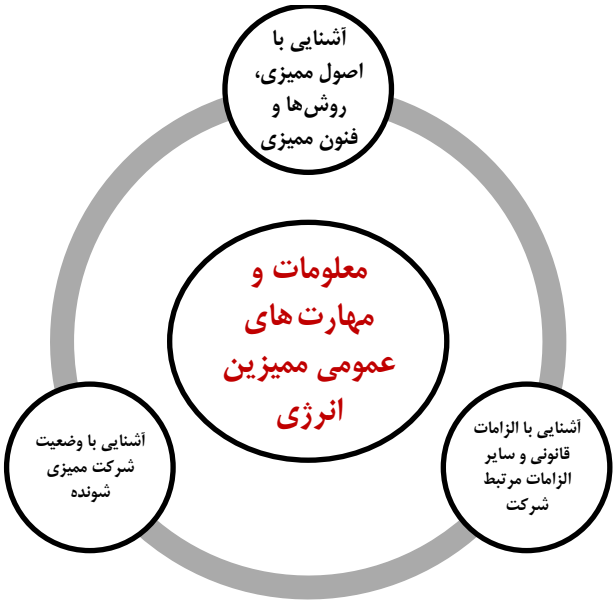
این آشنایی، ممیز را قادر می‌سازد که عملکرد شرکت و معلومات و مهارت‌های هر بخش را پوشش دهد. معلومات و مهارت‌ها باید در موارد ذیل به‌کار آیند:

- اندازه شرکت، ساختار، فعالیت‌ها و روابط

- فرآیندهای عمومی تجاری و اصطلاحات مربوطه
- رسوم فرهنگی و اجتماعی کارکنان ممیزی‌شونده

۳- آشنایی با الزامات قانونی و سایر الزامات مرتبط شرکت ممیزی‌شونده:

این آشنایی، ممیز را قادر می‌سازد تا از الزامات قانونی انرژی و سایر الزامات مرتبط شرکت آگاهی داشته باشد. این معلومات و مهارت‌ها، باید قوانین محلی و ملی، قراردادها و موافقت‌نامه‌ها، معاهده‌های بین‌المللی و سایر الزامات شرکت که ممکن است قانون نباشند را پوشش دهد.



شکل (۱-۷) معلومات و مهارت‌های عمومی ممیزین انرژی

ج- توانایی‌های به‌کارگیری معلومات و مهارت‌های تخصصی

معلومات و مهارت‌های یک ممیز انرژی باید در چهار بخش زیر ارزیابی گردد:

- تحصیلات مرتبط با انرژی
- تجربه و سابقه کاری در فرآیند مورد ممیزی انرژی

- آموزش دوره‌های عمومی و تخصصی مرتبط با ممیزی انرژی صنعتی
- تجربه انجام ممیزی انرژی صنعتی

ممیزین انرژی باید بتوانند که جریان تولید، توزیع و مصرف انرژی شرکت ممیزی‌شونده را با توجه به سطح و محدوده ممیزی انرژی در قالب شرح خدمات تهیه شده در برنامه ممیزی مورد بررسی قرار داده تا یافته‌ها و جمع‌بندی مطلوبی را در قالب گزارش ممیزی انرژی تهیه کنند. البته ممیزین انرژی به لحاظ سطح معلومات و مهارت‌های خود، می‌توانند یکی از رده‌های زیر را دارا باشند:

الف) ممیزین انرژی درجه سه

ب) ممیزین انرژی درجه دو

ج) ممیزین انرژی درجه یک

معلومات و مهارت‌های مورد نیاز ممیز انرژی درجه سه

- داشتن حداقل مدرک کارشناسی در یکی از رشته‌های مهندسی انرژی، برق- قدرت/کنترل، مکانیک- سیالات، متالورژی، شیمی، صنایع
- داشتن تجربه مشاوره و انجام امور پیمانی و یا سابقه کار در بخش‌های بهره‌برداری، خدمات فنی و مهندسی و نگهداری و تعمیرات در صنایع انرژی‌بر (فلزی، غیرفلزی، شیمیایی، غذایی و متفرقه)
- داشتن تجربه سرممیزی انرژی، ممیزی انرژی صنعتی یا کارآموز ممیزی انرژی صنعتی (حداقل یک مورد)
- شرکت در دوره تربیت ممیز انرژی درجه۳، با رئوس مطالب زیر و قبولی در دوره و اخذ گواهینامه معتبر ممیز انرژی درجه ۳
  - آشنایی با مفاهیم، واژگان و تعاریف انرژی
  - آشنایی با سیستم مدیریت انرژی (براساس استاندارد ایزو ۵۰۰۰۱)
  - آشنایی با مفاهیم مدیریت انرژی

- آشنایی با انواع تلفات انرژی (آشکار و پنهان) در صنعت
- آشنایی با مفاهیم ممیزی انرژی صنعتی
- آشنایی با مفاهیم پایش و هدف‌گذاری انرژی صنعتی
- آشنایی با استاندارد ایزو ۱۹۰۱۱ (راهنمای معتبر بین‌المللی ممیزی)

شرح وظایف یک ممیز انرژی درجه سه

- جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات اولیه مورد نیاز از منابع مورد نظر اعم از نقشه‌ها، کاتالوگ‌ها، دیتاشیت‌ها.
- اندازه‌گیری پرتابل متغیرهای مورد نیاز ممیزی انرژی (دبی، فشار، دما، توان الکتریکی، داده‌های آب و هوا)
- تکمیل چک‌لیست‌های مدیریت انرژی شبکه‌ها، سیستم‌ها، تجهیزات و فرآیندهای انرژی‌بر
- کمک در تحلیل خطر احتمالی انرژی و اندازه‌گیری‌های ممیزی انرژی و شاخص‌های عملکرد انرژی
- ارائه راهکارهای بی‌هزینه و کم‌هزینه صرفه‌جویی انرژی

معلومات و مهارت‌های مورد نیاز ممیز انرژی درجه دو

- دارا بودن گواهینامه ممیز انرژی درجه سه
- داشتن تجربه سرممیزی انرژی و ممیزی انرژی صنعتی (حداقل دو مورد)
- شرکت در دوره تربیت ممیز انرژی درجه ۲ با رئوس مطالب زیر و قبولی در دوره و اخذ گواهینامه معتبر ممیز انرژی درجه ۲

- طی دوره تربیت ممیز سیستم مدیریت انرژی (بر اساس استاندارد ایزو ۵۰۰۰۱).
- آشنایی با شاخص‌های عملکرد انرژی در تجهیزات انرژی‌بر و مبدل انرژی
- آشنایی با نحوه ممیزی انرژی (جمع‌آوری اطلاعات، نحوه اندازه‌گیری متغیرها و تحلیل شاخص‌های عملکرد)، تجهیزات انرژی‌بر و مبدل انرژی

- آشنایی با فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی، تجهیزات انرژی‌بر و مبدل انرژی (چک‌لیست‌های نگهداری و تعمیرات، کنترل بهینه، ادوات دارای فناوری پیشرفته)

شرح وظایف یک ممیز انرژی درجه دو

- سرپرست تیم ممیزی انرژی در صورت عدم وجود ممیز انرژی درجه یک.
- تربیت ممیزان انرژی درجه سه
- تهیه لیست داده‌ها و اطلاعات اولیه مورد نیاز از منابع مورد نظر اعم از نقشه‌ها، کاتالوگ‌ها، دیتاشیت‌ها
- تدوین برنامه زمانی و نظارت بر اندازه‌گیری‌های پرتابل ممیزی انرژی.
- تحلیل ریسک انرژی و اندازه‌گیری‌های ممیزی انرژی و محاسبه و تحلیل شاخص‌های عملکرد انرژی
- تدوین چک‌لیست‌های مدیریت انرژی شبکه‌ها، سیستم‌ها، تجهیزات و فرآیندهای انرژی‌بر
- ارائه راهکارهای صرفه‌جویی انرژی در تجهیزات انرژی‌بر در بخش‌های نگهداری و تعمیرات، ارتقای شاخص‌های عملکرد، طراحی یا خرید مناسب
- اولویت‌بندی راهکارهای صرفه‌جویی انرژی در تجهیزات انرژی‌بر

معلومات و مهارت‌های مورد نیاز ممیز انرژی درجه یک

- دارا بودن گواهینامه ممیز انرژی درجه دو
- داشتن تجربه سرممیزی انرژی، ممیزی انرژی صنعتی (حداقل دو مورد در صنعت مربوطه)
- شرکت در دوره تربیت ممیز انرژی درجه۱ با رئوس مطالب زیر و قبولی در دوره و اخذ گواهینامه معتبر ممیز انرژی درجه۱

- آشنایی با مفاهیم، واژگان و تعاریف صنعت انرژی‌بر مورد نظر (فلزی،

غیرفلزی، شیمیایی، غذایی و متفرقه)

- آشنایی با تکنیک‌های مدیریت انرژی صنعت انرژی‌بر مورد نظر
- آشنایی با مفاهیم ممیزی و شاخص‌های عملکرد انرژی فرآیندهای انرژی‌بر صنعت مورد نظر
- آشنایی با نحوه پایش و هدف‌گذاری فرآیندهای انرژی‌بر صنعت مورد نظر

شرح وظایف یک ممیز انرژی درجه سه

- تربیت ممیزان انرژی درجه دو و درجه سه
- ریاست یا نظارت بر تیم ممیزی انرژی مقیم و غیرمقیم
- تدوین راهکارهای صرفه‌جویی انرژی در فرآیندهای تولید صنعت مرتبط
- تدوین توجیه فنی و اقتصادی راهکارهای صرفه‌جویی انرژی
- اولویت‌بندی راهکارهای صرفه‌جویی انرژی در فرآیندهای تولید صنعت مرتبط

۱-۹-۶ عوامل شایستگی سرممیز انرژی

سرممیز انرژی نیز علاوه بر داشتن معلومات و مهارت‌های عمومی و تخصصی ممیزین انرژی، باید راهبری یک ممیزی مؤثر و کارا را با توانایی‌های زیر تسهیل بخشد:

- طراحی ممیزی و استفاده مؤثر از منابعی که در حین ممیزی در اختیار دارد
- به عنوان نماینده تیم ممیزی بتواند با ممیزی شوندگان ارتباط مؤثر داشته باشد
- اداره و سازماندهی تیم ممیزی
- راهنمای آموزش ممیزین در حین کارآموزی
- هدایت تیم ممیزی برای رسیدن به هدف و جمع‌بندی ممیزی
- پیشگیری و حل اختلافات احتمالی
- نظارت بر تهیه و تکمیل گزارش ممیزی

۱-۹-۷ فرآیند ارزیابی ممیز انرژی

ارزیابی ممیزین و سرممیزین باید براساس طرح مدون، برنامه‌ریزی، اجرا و ثبت گردد تا نتایجی هدفمند، هماهنگ، دقیق و معتبر به‌دست آید. ضمن آنکه فرآیند ارزیابی باید شناسایی و نیازسنجی آموزشی و دیگر مهارت‌های تقویت‌کننده را به همراه داشته باشد. ارزیابی ممیزین می‌تواند در مراحل مختلف زیر انجام پذیرد:

- ارزیابی اولیه شخصی که تمایل به ممیز شدن دارد
- ارزیابی ممیزین جهت انتخاب تیم ممیزی انرژی
- ارزیابی مستمر از عملکرد ممیز جهت شناسایی نیازهای جدید (برای نگاه داشت و بهبود معلومات و مهارت‌ها)

فرآیند ارزیابی ممیز انرژی مشتمل بر چهار مرحله است:

مرحله ۱- شناسایی خصلت‌های شخصی و معلومات و مهارت‌های ممیز.

در تعیین معلومات و مهارت‌های تخصیص داده شده، موارد زیر هم باید لحاظ شود.

- اندازه، طبیعت و پیچیدگی شرکت ممیزی‌شونده
- اهداف و گستره برنامه ممیزی
- الزامات شرکت‌های گواهی‌دهنده، اعتباردهنده
- ضوابط احتمالی فرآیند ممیزی از طرف مدیریت شرکت ممیزی‌شونده
- سطح اعتماد لازم از برنامه ممیزی
- پیچیدگی فرآیندهای انرژی‌بری که ممیزی می‌شوند

مرحله ۲- تعیین معیارهای ارزیابی

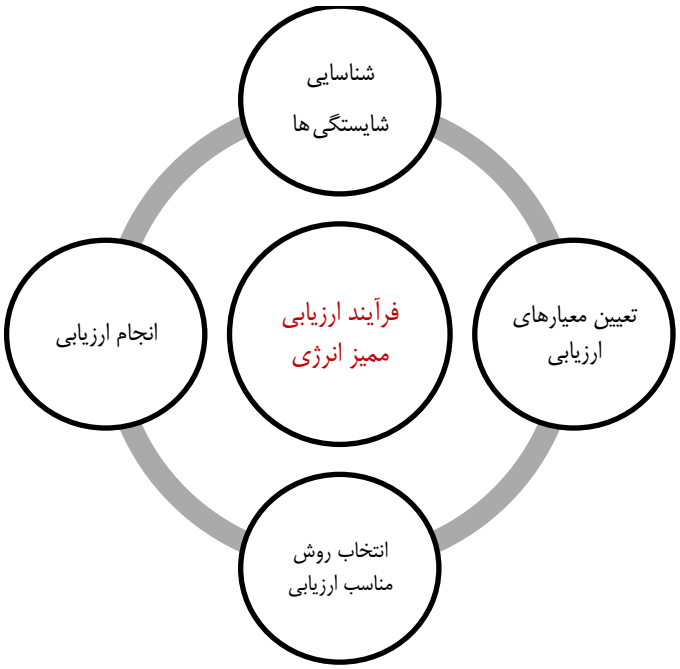
معیارها می‌تواند به صورت کمّی شامل سال‌ها تجربه‌های کاری، تحصیلات، تعداد ممیزی‌های انجام شده، گواهینامه‌های پایان دوره و ساعات آموزش در سطوح متفاوت ممیزی یا به صورت کیفی مثل نمایش و گواه دادن بر خصلت‌های شخصی، معلومات یا عملکرد مهارت‌ها در آموزش یا در محل کار باشند.

مرحله ۳- انتخاب روش مناسب ارزیابی

ارزیابی باید توسط شخص یا یک هیأت منصفه ارزیاب (ترجیحاً از طرف متقاضی ممیزی یا سازمان‌های دولتی مرتبط با مدیریت انرژی) طبق یک یا چند روش ذکر شده در جدول ۱-۸ انجام پذیرد.

مرحله ۴- انجام ارزیابی

در این مرحله اطلاعات جمع‌آوری شده در مورد شخص با معیارهای مرحله ۲ مقایسه می‌شوند. در مواردی که شخص نتواند معیارها را پوشش دهد، بازآموزی، کار یا تجربیات ممیزی بیشتری برای او مورد نیاز است و در نهایت ارزیابی مجدد صورت می‌پذیرد.



شکل (۱-۸) فرآیند ارزیابی ممیز انرژی

در ادامه برای آشنایی و درک بیشتر روش‌ها و فرآیند ارزیابی ممیز انرژی، جداولی به عنوان نمونه آمده است:

جدول (۱-۸) روش‌های ارزیابی ممیز انرژی

روش ارزیابی	اهداف	مثال ها
بازنگری سوابق	تصدیق سوابق کاری ممیز	تحلیل سوابق تحصیلی/ آموزشی/ شغلی/ تجربه ممیزی
بازخوردهای مثبت و منفی	تهیه اطلاعات درباره چگونگی عملکرد ممیز	سنجش/ پرسش‌نامه/معرف شخصی/ توصیه‌نامه/ شکایات/ ارزیابی عملکرد و بازنگری دقیق
مصاحبه	ارزیابی خصلت‌های شخصی، مهارت‌های ارتباطات، تصدیق اطلاعات و آزمون معلومات و به‌دست آوردن اطلاعات مازاد	مصاحبات رودررو/تلفنی
مشاهده	ارزیابی خصلت‌های شخصی، مهارت‌ها و معلومات	نمایش/ شاهد ممیزی در حین اجرای ممیزی
آزمون	ارزیابی خصلت‌های شخصی، مهارت‌ها و معلومات	آزمون‌های کتبی، شفاهی، روانشناسی
بازنگری ممیزی فوقانی	تهیه اطلاعاتی که به‌وسیله مشاهدات مستقیم امکان‌پذیر نباشد.	بازنگری گزارش ممیز/ تبادل نظر با متقاضی ممیزی، ممیزی‌شونده، همکاران و خود ممیز

جدول (۱-۹) فرآیند ارزیابی ممیز انرژی

موضوع شایستگی	مرحله اول: خصلت‌های شخصی، معلومات و مهارت‌ها	مرحله دوم: معیارهای ارزیابی	مرحله سوم: روش‌های ارزیابی
خصلت‌های شخصی	دارای اخلاق خوب، روشنفکر، سیاستمدار، هوشیار، درک صحیح از مسائل و قابل انعطاف، مصمم و قاطع، پیگیر، امیدوار و امیددهنده به دیگران، متکی به نفس	رضایت‌مندی عملکرد در محیط کار	ارزیابی عملکرد

معلومات و مهارت‌های عمومی ممیزی انرژی			
آشنایی با اصول و روش‌های ممیزی	توانایی انجام ممیزی طبق روش‌های اجرایی شرکت، ارتباط داشتن با همکاران	طی دوره ایزو ۱۹۰۱۱	بازنگری سوابق آموزشی
آشنایی با وضعیت شرکت ممیزی‌شونده	توانایی اجرای مؤثر در چارچوب فرهنگ شرکت و ساختار گزارش‌دهی	حداقل یک سال سابقه مدیریت/ کارشناسی	بازنگری سوابق شغلی
آشنایی با الزامات قانونی و سایر الزامات	توانایی در شناسایی و فهم الزامات قانونی انرژی و سایر الزامات شرکت	طی دوره الزامات قانونی انرژی فعالیت/ صنعت/ فرآیند موردممیزی	بازنگری سوابق آموزشی
معلومات و مهارت‌های خاص ممیزی انرژی			
ممیز انرژی درجه ۳	توانایی انجام ممیزی انرژی (قدم‌زنانه/ مقدماتی)	طی دوره ممیز انرژی درجه۳+سابقه انجام ۲ ممیزی انرژی قدم‌زنانه/ مقدماتی	بازنگری سوابق شغلی و آموزشی
ممیز انرژی درجه ۲	توانایی انجام ممیزی انرژی جامع تجهیزات انرژی‌بر/ مبدل انرژی	طی دوره ممیز انرژی درجه۲+سابقه انجام ۲ ممیزی انرژی جامع تجهیزات	
ممیز انرژی درجه ۱	توانایی انجام ممیزی انرژی در فرآیند/صنعت مورد نظر	طی دوره ممیز انرژی درجه۱+سابقه انجام ۲ ممیزی انرژی جامع فرآیند/ صنعت	

۱-۱۰ صلاحیت‌های عمومی شرکت‌های ارائه‌دهنده خدمات انرژی

۱-۱۰-۱ انواع شرکت‌های خدمات انرژی

همان‌طور که در تعاریف این بخش آمده است، شرکت خدمات انرژی، شرکتی از نوع خدماتی و مهندسی است که در تمام بخش‌های تولید، توزیع و مصرف انرژی در صنعت و ساختمان، پروژه‌های مرتبط با بهبود کارایی و بهره‌وری انرژی را پیشنهاد، طراحی، اجرا و در صورت تمکن مالی یا حمایت بخش‌های دولتی یا بانک‌های عامل، تأمین مالی می‌کند.

از انواع شرکت‌های خدمات انرژی با فعالیت‌های مختلف بهبود کارایی و بهره‌وری انرژی، می‌توان به‌طورکلی آن‌ها را به دو دسته شرکت‌های اجرایی[1] و شرکت‌های طراحی و مهندسی[2] تقسیم نمود:

۱- شرکت‌های اجرایی با توانمندی انجام پروژه‌های پیمانکاری ساخت، نصب و راه‌اندازی صرفه‌جویی انرژی (مانند حذف یا کاهش انواع تلفات آشکار و پنهان انرژی، بازیافت گرما، احداث، نصب و راه‌اندازی نیروگاه‌های کوچک)

۲- شرکت‌های طراحی و مهندسی با توانمندی انجام پروژه‌های مشاوره و طراحی به عنوان مثال:

- انجام پروژه‌های ممیزی انرژی در سطوح مختلف (قدم‌زنانه/ مقدماتی/جامع)
- انجام مانیتورینگ آنلاین شاخص‌های انرژی (پایش و هدف‌گذاری در سطوح شرکت/ واحدهای عملیاتی/ فرآیندها/ تجهیزات)
- انجام پروژه‌های استقرار و نگهداری سیستم مدیریت انرژی

1- Construction
2- Engineering

- انجام فعالیت‌های آگاه‌سازی کارکنان در زمینه صرفه‌جویی انرژی (با استفاده از ابزار نشر کاغذی، کالاهای تبلیغاتی، رسانه‌های عمومی و فناوری اطلاعات)
- برگزاری دوره‌های آموزشی عمومی و تخصصی انرژی و ...

هریک از شرکت‌های خدمات انرژی را با توجه به معیارهای مرتبط با فعالیت مورد نظر می‌توان در سه بخش معیارهای عمومی، فنی و مالی مورد ارزیابی صلاحیت قرار داد.

۱-۱۰-۲ معیارهای ارزیابی صلاحیت و توانمندی شرکت‌های خدمات انرژی (طراحی و مهندسی)

الف- مشخصات عمومی و ساختاری شرکت شامل:

- تاریخ تأسیس شرکت
- نمودار سازمانی
- شرح وظایف طبق اساسنامه
- تجارب و تحصیلات کلاسیک مدیران شرکت در رشته‌های مرتبط با مدیریت
- نظام برنامه‌ریزی پروژه و کنترل پروژه
- به‌کارگیری ابزارهای کنترل پروژه
- استقرار نظام کیفیت
- رتبه‌بندی و گواهینامه‌های مرتبط با انرژی از سازمان‌ها و مراجع زیربط

ب- قابلیت‌های مغزافزاری[1]، سخت‌افزاری و نرم‌افزاری مرتبط با ممیزی انرژی

توانمندی مغزافزاری شرکت برای هر یک از افراد امتیازآور شامل موارد زیر است:

۱- افراد امتیازآور شرکت

- سوابق تحصیلی
- سوابق شغلی
- تجارب شغلی مرتبط (لیست و مشخصات پروژه‌های مرتبطی که فرد در آن مشارکت داشته است)
- سوابق آموزشی مرتبط

توانمندی سخت‌افزاری شرکت:

- لیست سخت‌افزار پرتابل اندازه‌گیری متغیرهای الکتریکی، مکانیکی و حرارتی یا تست سلامت یا آشکار ساز تلفات

توانمندی نرم‌افزاری شرکت:

- لیست نرم‌افزارهای موجود تحلیل جریان انرژی

ج- سوابق اجرایی و ارزیابی کارفرمایان قبلی مرتبط با ممیزی انرژی

- لیست پروژه‌های مرتبط انجام شده توسط شرکت

د- مشارکت شرکت در مدیریت و انتشار دانش (سوابق آموزشی/ پژوهشی) مرتبط با انرژی

- تولید نرم‌افزار تخصصی در زمینه مورد ارزیابی
- مشارکت در تدوین یا بازنگری استاندارد و معیارهای مصرف انرژی
- گردآوری و ثبت اختراع در زمینه مورد ارزیابی
- عضویت در مجامع و انجمن‌های تخصصی انرژی
- مقالات علمی در نشریات یا همایش‌های معتبر در زمینه مورد ارزیابی.
- انتشار کتب تخصصی در زمینه مورد ارزیابی

ه- توانمندی مالی شرکت

- لیست صورت‌های مالی شرکت در ۵ سال گذشته

۱-۱۰-۳ معیارهای ارزیابی صلاحیت و توانمندی شرکت‌های خدمات انرژی (اجرایی)

شرکت‌های اجرایی خدمات انرژی دو دسته‌اند:

دسته اول: شرکت‌هایی که پروژه‌های بهبود و صرفه‌جویی انرژی را به صورت یکپارچه اجرا می‌کنند.

دسته دوم: شرکت‌هایی که پروژه‌های بهبود و صرفه‌جویی انرژی را به صورت یکپارچه اجرا می‌کنند و پس از عقد قرارداد، نتیجه اجرا یعنی صرفه‌جویی انرژی را نیز تضمین می‌کنند.

الف- مشخصات عمومی و ساختاری شرکت شامل:

- تاریخ تأسیس شرکت
- نمودار سازمانی
- شرح وظایف طبق اساس‌نامه
- تجارب و تحصیلات کلاسیک مدیران شرکت در رشته‌های مرتبط با مدیریت
- نظام برنامه‌ریزی پروژه و کنترل پروژه
- به‌کارگیری ابزارهای کنترل پروژه
- استقرار نظامات کیفیت
- رتبه‌بندی و گواهینامه‌های مرتبط با انرژی از سازمان‌ها و مراجع ذیربط

ب- توانمندی مغزافزاری شرکت که برای هر یک از افراد امتیازآور شامل موارد زیر است:

- سوابق تحصیلی
- سوابق شغلی
- تجارب شغلی مرتبط (لیست و مشخصات پروژه‌های مرتبطی که فرد در آن مشارکت داشته است)

ج- سوابق اجرایی و ارزیابی کارفرمایان قبلی مرتبط با ممیزی انرژی

- لیست پروژه‌های اجرایی مرتبط انجام شده توسط شرکت

د- توانمندی مالی شرکت

- میانگین سرمایه‌گذاری انجام شده در پنج سال گذشته
- لیست صورت‌های مالی شرکت در سال گذشته

ه- توانمندی ارائه خدمات انرژی

۱-۱۱ آماده‌سازی مدارک ممیزی انرژی

۱-۱۱-۱ انواع مدارک مورد نیاز ممیزی انرژی

جهت انجام مناسب ممیزی انرژی، باید داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز جمع‌آوری گردد. مدارک مورد نیاز در ممیزی انرژی باید در سه مرحله پیش از شروع ممیزی، در حین انجام ممیزی و پس از اتمام ممیزی انرژی توسط ممیز یا ممیزی‌شونده آماده گردد که در ادامه به آن‌ها اشاره شده است. این نوع مدارک عبارتند از:

- داده‌ها/ اطلاعات مربوط به طراحی
- داده‌ها/ اطلاعات مربوط به بهره‌برداری (داده ها و خروجی‌های اندازه‌گیری/ برداشت دستگاه‌های پرتابل یا ثابت)
- داده‌ها/ اطلاعات مربوط به آزمودن عملکرد تجهیزات
- داده‌ها/ اطلاعات مربوط به نتیجه شبیه‌سازی، اندازه‌گیری و ...
- داده‌ها/ اطلاعات مربوط به هدف‌گذاری شاخص‌ها شامل استانداردهای جهانی، منطقه‌ای و فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی

در هر یک از موارد زیر، نوع مدرک و مسئول تهیه آن آمده است. البته صحت این داده‌ها و اطلاعات باید به تأیید و امضای نماینده شرکت ممیزی‌شونده برسد.

۱-۱۱-۲ لیست مدارک مورد نیاز پیش از ممیزی

- نامه درخواست از ممیزی‌شونده برای آماده کردن اطلاعات موردنیاز- ممیز

- نامه معرفی نماینده ممیز به ممیزی‌شونده – ممیز
- نامه درخواست تحویل گزارش ممیزی‌های انرژی که قبلاً صورت گرفته است- ممیز
- نامه درخواست برگزاری جلسه افتتاحیه ممیزی با حضور مدیران ارشد- ممیز
- نامه درخواست اخذ مجوز ورود تجهیزات اندازه‌گیری پرتابل به سایت ممیزی شونده- ممیز
- لیست برنامه و شرح فعالیت‌های قدم به قدم ممیزی انرژی- ممیز
- لیست اسامی و مشخصات تیم ممیزی شامل سرممیز و ممیزین انرژی- ممیز
- لیست داده‌ها و اطلاعات اولیه‌ای که باید جمع‌آوری شوند. (قبوض انرژی، داده‌های آب و هوا و ...)- ممیز
- لیست تجهیزاتی که باید اندازه‌گیری شوند (به تفکیک واحد و نوع تجهیز)- ممیز
- لیست اندازه‌گیری‌های مورد نیاز در طول ممیزی انرژی و لیست متغیرهایی که باید اندازه‌گیری شوند- ممیز
- لیست تجهیزات اندازه‌گیری پرتابل- ممیز
- برنامه زمانی ممیزی انرژی-ممیزی‌شونده و ممیز
- لیست واحدهای ممیزی‌شونده به همراه مسئول و رابط هر واحد با سرممیز-ممیزی شونده
- نامه معرفی نماینده ممیزی شونده به ممیز- ممیزی شونده
- لیست الزامات قانونی و سایر الزامات شرکت در زمینه انرژی - ممیزی شونده

- لیست تجهیزات عمده انرژی‌بر و مبدل انرژی (به تفکیک واحد و نوع تجهیز)-ممیزی شونده
- جدول زمانی توقفات برنامه‌ریزی شده احتمالی (جهت تعمیرات و...) برای تنظیم مجدد برنامه اندازه‌گیری‌ها-ممیزی شونده
- تحویل گزارش ممیزی‌های انرژی که قبلا صورت گرفته است- ممیزی شونده

جدول (۱-۱۰) چک لیست مدارک مورد نیاز پیش از ممیزی

نوع مدرک	موضوع مدرک	زمان آماده‌سازی (هفته)	مسئول/کارشناس تهیه		علت عدم وجود/ نقص در جمع‌آوری
			ممیزی شونده	تیم ممیزی	
نامه‌های درخواست	آماده‌سازی مدارک توسط ممیزی شونده		-	✓	
	معرفی نماینده ممیز به ممیزی شونده توسط سر ممیز		-	✓	
	تحویل گزارش ممیزی‌های انرژی پیشین		-	✓	
	برگزاری جلسه افتتاحیه ممیزی با حضور مدیران		-	✓	
	اخذ مجوز ورود تجهیزات اندازه‌گیری به سایت		-	✓	
	معرفی نماینده ممیزی شونده به ممیز		-	✓	

مدارک	لیست برنامه و شرح فعالیت‌های ممیزی انرژی		-	✓	
	لیست اسامی و مشخصات تیم ممیزی		-	✓	
	لیست داده‌ها و اطلاعات اولیه مورد نیاز		-	✓	
	لیست واحدهای ممیزی شونده و نماینده هر واحد		✓	-	
	لیست تجهیزات عمده انرژی‌بر/مبدل انرژی به تفکیک واحد		✓	-	
	برنامه زمانی ممیزی انرژی		✓	✓	
	لیست الزامات قانونی و سایر الزامات شرکت		✓	-	
	لیست تجهیزاتی که با توافق طرفین باید اندازه‌گیری شوند		✓	✓	
	لیست متغیرهای اندازه‌گیری و ملاحظات آن‌ها		✓	-	
	لیست تجهیزات اندازه‌گیری پرتابل		-	✓	
	تحویل گزارش ممیزی‌های انرژی قبلی		✓	-	
	جدول زمانی توقفات برنامه-ریزی شده احتمالی		✓	-	

۱-۱۱-۳ لیست مدارک مورد نیاز حین ممیزی

- نامه درخواست اجازه اندازه‌گیری پس از طی دوره ایمنی- ممیز
- چک لیست آشنایی با عادات درست ونادرست کارکنان ممیزی شونده در زمینه صرفه‌جویی انرژی- ممیز
- چک لیست شناسایی موارد مصرف انرژی غیر مولد- ممیز
- چک لیست شناسایی تلفات آشکار انرژی در سایت- ممیز
- لیست نگرانی‌های عمده و دیگر ملاحظات- ممیز
- نامه درخواست برگزاری جلسه اختتامیه ممیزی با حضور مدیران ارشد- ممیز
- فرم‌های شناسنامه عمومی و تخصصی انرژی شرکت (شبکه حامل‌های انرژی/ فرآیندها/تجهیزات)- ممیزی شونده
- فرم‌های اندازه‌گیری پارامترهای مورد نیاز- ممیزی شونده
- لیست سنسورهای مرتبط با فرآیندها/ تجهیزات مورد ممیزی که ممیزی‌شونده به صحت و دقت آن مشکوک است- ممیزی شونده

۱-۱۱-۴ لیست مدارک مورد نیاز پس از ممیزی

- لیست نهایی راهکارهای صرفه‌جویی انرژی بدون هزینه به ترتیب اولویت ممیزی شونده
- لیست نهایی راهکارهای صرفه‌جویی انرژی کم‌هزینه به ترتیب اولویت ممیزی شونده
- لیست نهایی راهکارهای صرفه‌جویی انرژی پرهزینه به ترتیب اولویت ممیزی شونده
- طرح اجرایی پیشنهادات عملی اجرا-ممیزی شونده

۱-۱۲ برآورد زمان، تعیین نفرات تیم فنی و نوع و مشخصات تجهیزات اندازه‌گیری در انواع ممیزی انرژی

برآورد زمان، تعیین نفرات تیم فنی و نوع و مشخصات تجهیزات اندازه‌گیری در انواع ممیزی انرژی در مراجع مختلف متفاوت است ولی می‌توان گفت با توجه به میزان مصرف انرژی در صنعت مورد ممیزی (فرآیندی، پالایشگاهی، صنایع فلزی، کانی‌های غیرفلزی و ...) ولی مستقل از نوع صنعت مورد ممیزی و با توجه به میزان همکاری، اندازه، نوع فناوری و پیچیدگی صنعت ممیزی شونده، دامنه ممیزی، سطح مهارت‌های تیم ممیزی، برآورد زمانی انواع ممیزی انرژی در جدول زیر آمده است:

جدول (۱-۱۱) برآورد زمانی انجام انواع ممیزی انرژی

سطح کارخانه	مراحل ممیزی	سطح ممیزی انرژی		
		ممیزی قدم‌زنانه	ممیزی مقدماتی	ممیزی جامع
کوچک❖	هماهنگی و آماده سازی	یک روز	یک روز	دو روز
	شناخت و جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات	یک روز	یک روز	دو روز
	تحلیل	یک روز	دو روز	سه روز
	تهیه گزارش	سه روز پس از ممیزی	یک هفته پس از ممیزی	دو هفته پس از ممیزی
	مجموع	یک هفته	ده روز	سه هفته

متوسط ❖❖	هماهنگی و آماده‌سازی	یک روز	دو روز	یک هفته
	شناخت و جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات	یک روز	سه روز	یک ماه
	تحلیل	دو روز	سه تا چهار روز	یک تا دو ماه
	تهیه گزارش	یک هفته پس از ممیزی	دو تا سه هفته پس از ممیزی	دو ماه پس از ممیزی
	مجموع	ده روز	بیست تا سی روز	چهار تا پنج ماه
بزرگ ❖❖❖	هماهنگی و آماده‌سازی	یک روز	سه روز تا یک هفته	یک هفته
	شناخت و جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات	یک تا دو روز	چهار تا پنج روز	یک تا دو ماه
	تحلیل	دو روز	یک هفته	دو ماه
	تهیه گزارش	یک هفته پس از ممیزی	یک ماه پس از ممیزی	سه ماه پس از ممیزی
	مجموع	ده روز	شش تا هفت هفته	شش تا هفت ماه

❖کارخانه‌های پرمصرف: کارخانه‌هایی با مصرف سالیانه انرژی (معادل مجموع برق و سوخت مصرفی) بیشتر از ۵ میلیون‌لیتر معادل نفت کوره هستند. (معادل ۲۰ میلیون‌کیلووات ساعت برق مصرفی سالیانه یا بیش از ۴/۳مگاوات دیماند برق)

❖❖کارخانه‌های با مصرف متوسط: کارخانه‌هایی با مصرف سالیانه انرژی بین ۳ تا ۵ میلیون لیتر معادل نفت کوره هستند. (معادل ۱۲ تا ۲۰ میلیون کیلووات‌ساعت برق مصرف سالیانه یا معادل ۲ تا ۴/۳ مگاوات دیماند برق)

❖❖❖کارخانه‌های کم‌مصرف: کارخانه‌هایی با مصرف سالیانه انرژی کمتر از ۳ میلیون لیتر

معادل نفت کوره هستند. (معادل ۱۲ میلیون کیلووات‌ساعت برق مصرفی سالیانه یا معادل ۲ مگاوات دیماند برق)

جدول (۱-۱۲) تعداد و شرایط نفرات تیم فنی در انواع ممیزی انرژی

سطح کارخانه	مراحل ممیزی	سطح ممیزی انرژی		
		ممیزی قدم‌زنانه	ممیزی مقدماتی	ممیزی جامع
کوچک	هماهنگی و آماده‌سازی	سرممیز	سرممیز	سرممیز
	شناخت و جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات	م.ا.۳❖/م.ا.۲ ❖❖	سرممیز+م.ا.۲/م.ا.۱ ❖❖❖	سرممیز+م.ا.۲/م.ا.۱
	تحلیل	م.ا.۳/م.ا.۲	سرممیز+م.ا.۲/م.ا.۱	سرممیز+م.ا.۲/م.ا.۱
	تهیه گزارش	م.ا.۳/م.ا.۲	سرممیز+م.ا.۲/م.ا.۱	سرممیز+م.ا.۲/م.ا.۱
متوسط	هماهنگی و آماده‌سازی	سرممیز	سرممیز	سرممیز
	شناخت و جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات	سرممیز/م.ا.۲/م.ا.۱	سرممیز+۲*م.ا.۲/م.ا.۱	سرممیز+۲*م.ا.۲/م.ا.۱
	تحلیل	سرممیز+م.ا.۲/م.ا.۱	سرممیز+۲*م.ا.۲/م.ا.۱	سرممیز+۳*م.ا.۲/م.ا.۱
	تهیه گزارش	سرممیز+م.ا.۲/م.ا.۱	سرممیز+۲*م.ا.۲/م.ا.۱	سرممیز+۲*م.ا.۲/م.ا.۱

بزرگ	هماهنگی و آماده‌سازی	سرممیز	سرممیز	سرممیز
	شناخت و جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات	سرممیز+م.ا.۲/م.ا.۱	سرممیز+۲*م.ا.۲/م.ا.۱	سرممیز+۴*م.ا.۲/م.ا.۱
	تحلیل	سرممیز+م.ا.۲/م.ا.۱	سرممیز+۳*م.ا.۲/م.ا.۱	سرممیز+۴*م.ا.۲/م.ا.۱
	تهیه گزارش	سرممیز+م.ا.۲/م.ا.۱	سرممیز+۲*م.ا.۲/م.ا.۱	سرممیز+۴*م.ا.۲/م.ا.۱

❖م.ا.۳: ممیز انرژی درجه ۳/❖❖م.ا.۲: ممیز انرژی درجه ۲/❖❖❖م.ا.۱: ممیز انرژی درجه ۱

جدول (۱-۱۳) تجهیزات اندازه‌گیری مورد نیاز در انواع ممیزی انرژی

نوع تجهیز	سطح ممیزی انرژی						
	ممیزی قدم‌زنانه	ممیزی مقدماتی	ممیزی جامع				
			فلزی/آهنی	فلزی/غیرآهنی	غیرفلزی	شیمیایی	غذایی
دیتالاگر	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓
تحلیل‌گر توان	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓
روشنایی سنج	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓
تحلیل‌گرکیفیت توان	-	-	✓	✓	✓	✓	✓
دماسنج تماسی	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓
دماسنج مادون قرمز	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓

ترموویژن	-	-	✓	✓	✓	✓	✓
تحلیلگر احتراق	-	-	✓	✓	✓	✓	✓
اشکارساز نشتی	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓
دبی‌سنج مافوق صوت	-	-	✓	✓	✓	✓	✓
تستر تله بخار	-	-	-	-	-	✓	✓
استروبوسکوپ	-	-	✓	✓	✓	✓	✓
دما/رطوبت/سرعت باد	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓

۱-۱۳ تجهیزات اندازه‌گیری مورد استفاده در برنامه ممیزی انرژی (قابلیت‌ها و عملکردها)

بهترین حالت برای تحلیل عملکرد انرژی یک صنعت انرژی‌بر، آن است که یک سیستم آنلاین اندازه‌گیری متغیرهای مؤثر بر مصرف انرژی و پایش شاخص‌ها موجود باشد تا در آن داده‌ها، جمع‌آوری، اعتبارسنجی، دسته‌بندی و تحلیل شوند؛ اما به دلایل مختلف اعم از عدم احساس نیاز بهره‌بردار به بعضی متغیرها در تولید و کنترل فرآیند، عدم صرف هزینه‌های مالی جهت خرید حس‌گرهای مورد نیاز، محدودیت‌های ایجاد شده از طرف شرکت صاحب فناوری خصوصاً در ثبت و ضبط داده‌های سیستم اتاق کنترل، عدم توجیه اقتصادی جهت تعیین و بررسی بعضی متغیرهای عملکرد انرژی و ... در کمتر شرکتی این سیستم مستقر گردیده است. لذا برای بررسی عملکرد انرژی تجهیزات و فرآیندهای انرژی‌بر صنعتی باید متغیرهای مورد نیاز مؤثر بر عملکرد انرژی اندازه‌گیری شوند و سپس شاخص‌های مورد نظر تجهیز یا فرآیند محاسبه و تحلیل گردند. این اندازه‌گیری‌ها معمولاً برای چهار متغیر مؤثر بر عملکرد انرژی تجهیزات و فرآیندهای انرژی‌بر صنعتی شامل دما، فشار، دبی و توان انجام می گردد. در اندازه‌گیری متغیرهای لازم برای ممیزی انرژی تجهیزات، مدت زمان اندازه‌گیری، تعداد

نمونه‌برداری، نوع تجهیز اندازه‌گیری و متغیرهای قابل اندازه‌گیری مورد نیاز باید مشخص شوند که در بخش سوم به‌طور مشروح پرداخته می‌شود. از مزایای دیگر اندازه‌گیری پرتابل به موارد زیر می‌توان اشاره نمود.

۱-۱۳-۱ مزایای استفاده از تجهیزات پرتابل ممیزی انرژی

- اندازه‌گیری کلیه متغیرهای مورد نیاز ممیزی انرژی که به علت محدودیت‌های مالی یا فنی توسط حس‌گرهای موجود اندازه‌گیری نمی‌شوند
- ثبت متغیرهای مورد نیاز ممیزی انرژی که توسط سیستم کنترل مرکزی در قالب قابل دریافت مانند فایل اکسل یا متنی، ثبت نمی‌شوند
- آزمایش صحت و دقت اندازه‌گیری حس‌گرهای موجود
- تعیین ضریب تصحیح برای حسگرهای موجود با استفاده از تجهیزات پرتابل در بعضی از حس‌گرها که به اعداد اندازه‌گیری شده توسط آن‌ها علیرغم برنامه کالیبراسیون شک وجود دارد. لیست این حس‌گرها قبل از شروع ممیزی انرژی می‌تواند توسط ممیزی شونده استخراج گردد
- بررسی زمانی رفتار مصرف انرژی برخی تجهیزات، در صورت عدم وجود تاریخچه (بک آپ) از داده‌های مورد نیاز یا عدم وجود فرمت قابل نمایش بر روی تجهیز و یا در سیستم کنترل مرکزی شرکت

تجهیزاتی که برای اندازه‌گیری متغیرهای مورد نیاز ممیزی انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرند، در دو گروه اصلی طبقه‌بندی می‌شوند:

الف: تجهیزات ممیزی انرژی برای اندازه‌گیری متغیرهای الکتریکی

ب: تجهیزات ممیزی انرژی برای اندازه‌گیری متغیرهای حرارتی و مکانیکی

۱-۱۳-۲ تجهیزات ممیزی انرژی برای اندازه‌گیری متغیرهای الکتریکی

تجهیزات ممیزی انرژی الکتریکی برای اندازه‌گیری متغیرهای شبکه الکتریکی به‌کار می‌روند.

- بخش تولید انرژی الکتریکی (فیدرهای ورودی برق از شبکه سراسری، نیروگاه اختصاصی به شرکت)
- بخش توزیع انرژی الکتریکی در شرکت (ترانسفورماتور، کابل‌های انتقال و سیستم کنترل توان راکتیو)
- بخش مصرف انرژی الکتریکی در شرکت (هیترها و کوره‌های الکتریکی، موتورهای الکتریکی و روشنایی)

متغیرهای اندازه‌گیری جهت انجام ممیزی انرژی الکتریکی (بررسی کمیت و کیفیت توان الکتریکی) عبارتند از:

- ولتاژ سه فاز (V3φ)
- جریان سه فاز (I3φ)
- ضریب قدرت یا ضریب توان (cosΘ)
- توان اکتیو (P-kW)/ توان راکتیو (Q-kVAr)
- توان ظاهری (S-kVA)
- انرژی الکتریکی (kWh)
- فرکانس (Hz)
- پارامترهای کیفی و کمی هارمونیک[1] (کیفیت توان)
- شدت روشنایی (lux)

نکته: برای انتخاب و خرید سخت‌افزارهای ممیزی انرژی الکتریکی باید به قابلیت‌های عمومی زیر دقت گردد:

- اندازه‌گیری متغیرهای الکتریکی مورد نیاز
- قابلیت نمایش مقادیر روی صفحه نمایش

1- IEEE519-Power Quality Standard

- قابلیت ذخیره‌سازی مناسب در حافظه خود یا اتصال به حافظه جانبی
- قابلیت استخراج داده‌های اندازه‌گیری شده به صورت فایل یا پرینت

جدول (۱-۱۴) لیست ویژگی‌های فنی تجهیزات ممیزی انرژی الکتریکی

نام تجهیز	متغیرهای قابل اندازه‌گیری	سطح مهارت اپراتور	هزینه تجهیز	ملاحظات ایمنی
تحلیل‌گر کیفیت توان[1]	ولتاژ و جریان سه فاز ضریب توان توان‌های اکتیو-راکتیو-ظاهری انرژی الکتریکی فرکانس متغیرهای کیفیت توان	بالا	بالا	دارد
تحلیل‌گر توان[2]	ولتاژ و جریان ضریب توان توان‌های اکتیو-راکتیو-ظاهری فرکانس	متوسط	پایین	دارد
روشنایی‌سنج[3]	شدت روشنایی	پایین	پایین	ندارد

مشخصات پیشنهادی دستگاه تحلیلگر کیفیت توان

قابلیت اندازه‌گیری متغیرهای الکتریکی اعم از ولتاژ، جریان، ضریب توان و توان (ظاهری، اکتیو و راکتیو)، درصد اعوجاج هارمونیکی ولتاژ و جریان، دامنه هارمونیک‌های ولتاژ و جریان به‌صورت منحنی و در یک دوره زمانی معین در فیدرهای اصلی ورودی به شرکت، ترانسفورماتورهای توزیع و موتورهای الکتریکی.

1- Power Quality Analyzer
2- Power meter/Clamp meter
3- Lux meter

- دارای سه کلمپ جریان، سه پراب ولتاژ
- دارای کابل RS 232 و قابلیت اتصال به کامپیوتر
- قابلیت ثبت مناسب متغیرهای الکتریکی با یک حافظه مناسب
- قابلیت اتصال حالات مختلف دستگاه به سیستم قدرت
- دارای منوی تنظیم شرایط ضبط اطلاعات

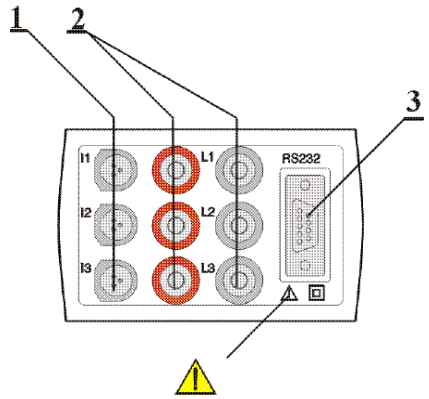
- تعیین متغیرهای مورد نیاز اندازه‌گیری (برای هر سه فاز به‌طورجداگانه)
- تعیین تمامی هارمونیک‌های مورد نیاز برای اندازه‌گیری به‌طورجداگانه برای هر سه فاز
- تنظیم اندازه‌گیری از لحاظ سخت‌افزاری

- دارای منوی تنظیم وضعیت ضبط داده‌ها روی صفحه LCD

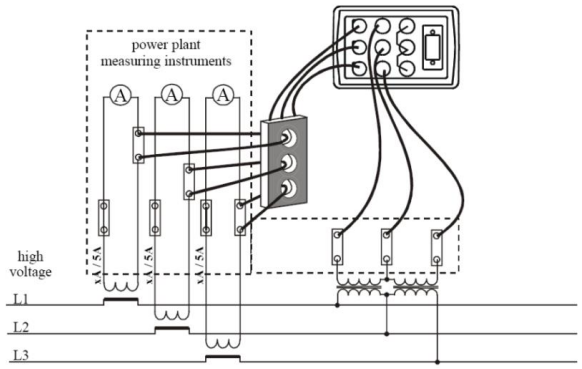
- نمایش نوع مد ضبط، مقدار فضای خالی حافظه، تعداد کل رکوردهای موجود در حافظه و وضعیت دستگاه
- تعیین آغاز و پایان ضبط به صورت دستی یا اتوماتیک
- نمایش اطلاعاتی که در رکورد جاری در حال ثبت می‌باشد. (مقدار فضای باقی مانده از حافظه، تعداد پریودهایی که در رکورد جاری ثبت شده، زمان هر پریود، زمان باقی مانده از پریود جاری و...)

- نمایش شکل موج‌های ولتاژ و جریان سه فاز و مقادیر هارمونیک‌های ولتاژ و جریان خط و مقادیر THD

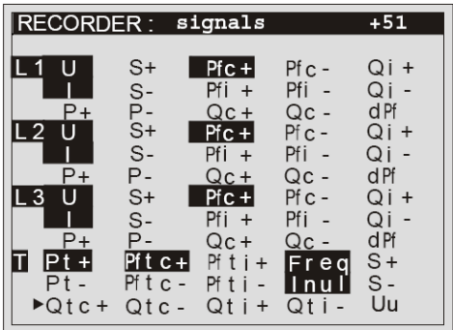
شکل (۱-۹) نمایی از یک مجموعه کامل تحلیل‌گر کیفیت توان نمونه



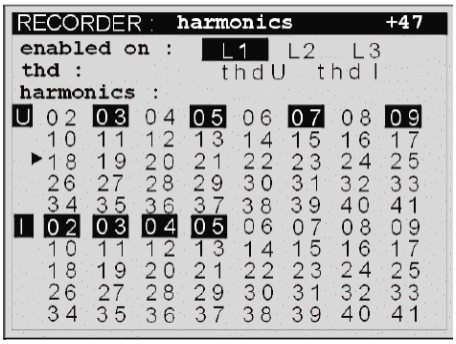
شکل (۱-۱۰) نمونه‌ای از پنل اتصالات تحلیل‌گر کیفیت توان: ۱- پراب‌های ولتاژ،۲-کلمپ‌های جریان و۳-کابل‌های اتصال به کامپیوتر



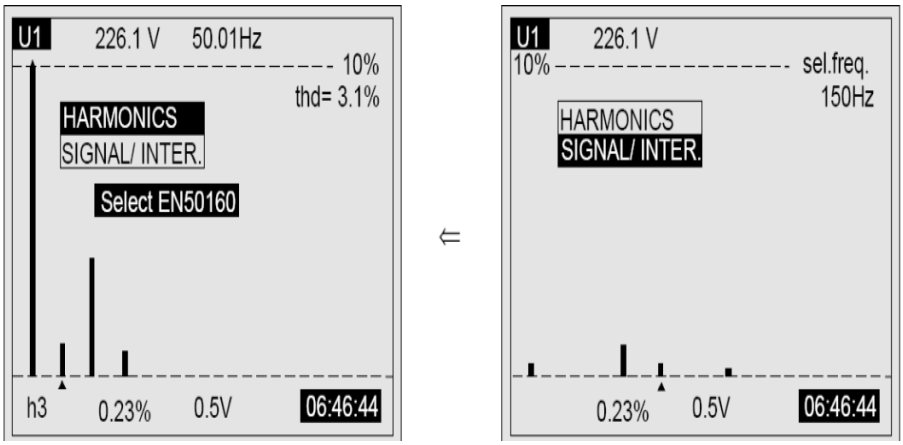
شکل (۱-۱۱) نحوه اتصال دستگاه تحلیل‌گر کیفیت توان به شبکه برق شرکت



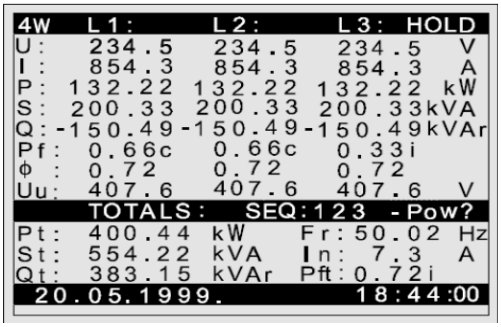
شکل (۱-۱۲) تعیین متغیرهای مورد نیاز اندازه‌گیری در تحلیل‌گر کیفیت توان



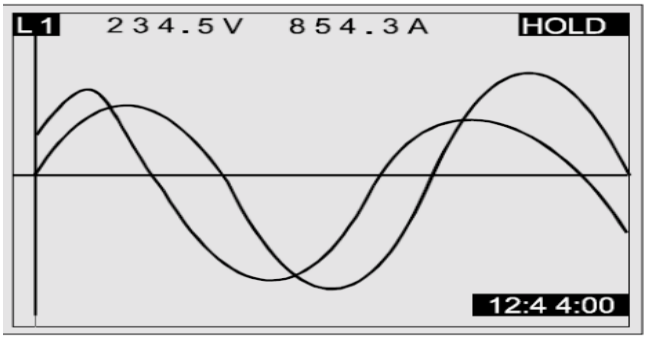
شکل (۱-۱۳) تعیین هارمونیک‌های مورد نیاز برای اندازه‌گیری در تحلیل‌گر کیفیت توان



شکل (۱-۱۴) مشاهده مقادیر کلیه هارمونیک‌های ولتاژ و جریان خط و مقادیر THD در تحلیل‌گر کیفیت توان



شکل (۱-۱۵) مشاهده وضعیت کلی سیستم برق شرکت در تحلیل‌گر کیفیت توان



شکل (۱-۱۶) نمایش شکل موج‌های ولتاژ سه فاز و جریان سه فاز در تحلیل‌گر کیفیت توان

مشخصات پیشنهادی دستگاه تحلیل‌گر توان (کلمپ‌متر)

شکل (۱-۱۷) نمایی از یک کلمپ‌متر نمونه

- اندازه‌گیر و ثبات متغیرهای الکتریکی اعم از ولتاژ، جریان، ضریب توان، فرکانس شبکه و مقدار انرژی مصرفی و توان تجهیز به‌صورت لحظه‌ای
- قابلیت اندازه‌گیری تک‌فاز و سه فاز
- ملاحظات اندازه‌گیری به صورت تک‌فاز:

- قابلیت تعیین شماره فازی که پراب مربوط به آن وصل شده است با استفاده از کلید گردان

- قابلیت اتصال پراب‌های com و فاز به سیم نول و یکی از فازهای سیستم

- قابلیت انداختن کلمپ دستگاه دور فاز مربوط جهت نمونه‌برداری از جریان

- دارای صفحه نمایش جهت نمـایش متغیرهـای انـدازه‌گیـری شـده (ولتـاژ، جریان، توان و فرکانس و...)

- قابلیت مشاهده کمترین و بیشترین مقدار اندازه‌گیری شده دستگاه بـر روی LCD

- قابلیت ذخیره لحظه‌ای و مشاهده اطلاعات توسط دستگاه

- قابلیت تعیین تعداد رکوردها، حرکت بین رکوردهای موجود و انتخـاب هـر یک از آن‌ها

- ملاحظات اندازه‌گیری به صورت سه فاز:

- قابلیت اندازه‌گیری سه فاز با داشتن سه پراب ولتاژ مربوط به فازها و پـراب نول و کلمپ جریان

- نمایش متغیرهای مانند حالت تکفاز (با این تفاوت که باید ولتـاژ را در $\sqrt{3}$ و کلیه توان‌ها در ۳ ضرب شود.)

- مشخصات پیشنهادی دستگاه روشنایی‌سنج

شکل (۱-۱۸) نمایی از یک دستگاه روشنایی‌سنج نمونه

برای تعیین وضعیت سیستم روشنایی، شدت نور در قسمت‌های مختلف شرکت باید توسط دستگاه روشنایی‌سنج اندازه‌گیری شود. از مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده با مقادیر استاندارد، نتایج زیر حاصل می‌شود:

۱- در صورت کمتر بودن مقادیر اندازه‌گیری شده از مقادیر استاندارد، افزایش میزان روشنایی قسمت مربوطه

۲- در صورت زیاد بودن بیش از حد روشنایی، روشنایی‌های اضافی حذف یا اصلاح چینش سیستم روشنایی

۳- ارائه راهکارهای بی‌هزینه، کم‌هزینه‌و پرهزینه بخش روشنایی با توجه به ویژگی‌های طراحی و ساختار سیستم

اندازه‌گیری میزان نور در محیط‌های مختلف شرکت (محوطه و ساختمان‌های اداری، صنعتی و عمومی) به صورت نقطه‌ای انجام شده با این تفاوت که چون شرایط محیطی، دائم در حال تغییر است، باید این اندازه‌گیری در زمان‌ها و شرایط مختلف انجام شود. این کار به وسیله دستگاه روشنایی‌سنج یا لوکس‌متر انجام شده و شرایط اندازه‌گیری به قرار زیر است:

- اندازه‌گیری در روز تنها با استفاده از نور طبیعی خورشید[1]
- اندازه‌گیری در روز با استفاده از نور لامپ‌ها
- اندازه‌گیری در روز با استفاده از نور طبیعی روز و نور لامپ‌ها
- اندازه‌گیری در شب با استفاده از نور لامپ‌ها

دستگاه روشنایی‌سنج باید دارای مشخصات پیشنهادی زیر باشد:

- دارای تنظیمات اندازه‌گیری در شرایط مختلف (اندازه‌گیری در روز و اندازه گیری در شب)
- دارای قابلیت انتخاب واحد اندازه‌گیری Lux/FC

1- Daylight

- دارای قابلیت تغییر محدوده اندازه‌گیری (از ۰ تا ۱۰۰/۰۰۰لوکس)
- دارای قابلیت مشاهده بیشترین و کمترین مقدار انـدازه‌گیـری تـا قبـل از خاموشی دستگاه
- دارای قابلیت ثبت، نگهداری و حذف مقادیر اندازه‌گیری شده در حافظه

نمونه‌ای از یک دستگاه روشنایی‌سنج و یک دستگاه تحلیل‌گر توان

نمونه‌ای از یک دستگاه تحلیل‌گرکیفیت توان و متعلقات آن

شکل (۱-۱۹) تجهیزات نمونه ممیزی انرژی الکتریکی در یک نگاه

۱-۱۳-۳ تجهیزات ممیزی انرژی برای اندازه‌گیری پارامترهای حرارتی و مکانیکی

این تجهیزات برای اندازه‌گیری متغیرهای حرارتی یا مکانیکی موجود در فرآیندهای صنعتی انرژی‌بر اعم از شبکه سوخت، آب صنعتی، سیستم‌های کولینگ و هوای فشرده و تجهیزات انرژی‌بر اعم از کوره، ریفرمر، مبدل حرارتی، توربوماشین‌ها اعم از انواع پمپ، کمپرسور، فن و دمنده و تجهیزات مبدل انرژی اعم از بویلر، توربین گاز و توربین بخار به کار می‌رود. مهم‌ترین این متغیرها عبارتند از:

- دما (T)
- فشار(P)
- دبی (Q)
- رطوبت (H)
- گازهای احتراق اعم از CO2-CO -O2 -NOx –SOx
- لرزش یا ارتعاش
- سرعت دوران یا دور بر دقیقه
- سرعت باد

این متغیرها بعضاً به صورت لحظه‌ای یا جهت تحلیل‌های دقیق‌تر باید به صورت نمودار

در یک دوره زمانی مشخص ثبت و ضبط شوند که در این صورت نیاز به دستگاه‌های مناسب ثبات[1] با حافظه مناسب است.

جدول (۱-۱۵) لیست ویژگی‌های فنی تجهیزات ممیزی انرژی حرارتی و مکانیکی

شماره	نام تجهیز	کاربرد	سطح مهارت اپراتور	هزینه تجهیز	ملاحظات ایمنی
۱	دماسنج دیجیتال	دما	پایین	پایین	ندارد
۲	دماسنج مادون قرمز[2]	دما	پایین	پایین	ندارد
۳	دیتالاگر	سرعت باد/فشار/رطوبت	متوسط	متوسط	ندارد
۴	ترموویژن	دما	متوسط	بالا	ندارد
۵	تحلیل‌گر احتراق	کارآیی احتراق	متوسط	متوسط	دارد
۶	آشکارساز نشتی[3]	آشکارساز مافوق صوت	متوسط	متوسط	دارد
۷	دبی‌سنج مافوق صوت[4]	دبی سیال (مایع و گاز)	بالا	بالا	ندارد
۸	تستر تله بخار	نمونه سلامت تله بخار	بالا	متوسط	دارد
۹	اندازه‌گیر کارکرد	ساعت کارکرد تجهیز	پایین	پایین	دارد
۱۰	استروبوسکوپ	سرعت	پایین	متوسط	ندارد

1- Data Logger
2- Infrared Thermometer
3- Leakage Detector
4- Ultrasonic Flowmeter

مشخصات پیشنهادی دستگاه‌های حرارت‌سنج

ترمومتر تماسی

شکل (۱-۲۰) نمایی از یک دستگاه ترمومتر تماسی نمونه

در ممیزی انرژی، دما از جمله متغیرهای مهمی است که به منظور تعیین اتلاف یا انجام بالانس حرارتی، اندازه‌گیری می‌شود. اندازه‌گیری دما به منظور ممیزی انرژی تهویه مطبوع، بویلرها، کوره‌ها، سیستم بخار، سیستم بازیابی حرارت تلف شده، مبدل‌های حرارتی و غیره انجام می‌گیرد. در طول یک ممیزی انرژی، دماهای هوای محیط، آب سرد در دستگاه تبرید، هوای ورودی به دستگاه تهویه مطبوع، آب کولینگ ورودی و خروجی در برج خنک‌کن، سطوح داغ لوله‌های بخار، بویلرها و کوره‌ها، آب ورودی به بویلر، گازهای خروجی حاصل از احتراق سوخت، سطح عایق‌ها، کندانس برگشتی، هوای پیش‌گرم شده که برای احتراق تدارک دیده شده است، دمای سوخت و اختلاف دمای بین دو نقطه، اندازه‌گیری می‌شود.

ترمومترها به دو دسته ترمومتر تماسی و ترمومتر غیر تماسی (مادون قرمز) طبقه‌بندی می‌شوند. ترمومتر تماسی برای اندازه‌گیری دما به دلیل وجود ترموکوپل، دارای دقت بالایی است. ترموکوپل، شامل دو فلز غیرمشابه می‌باشد که از انتها به هم

متصل شده‌اند. وقتی محل اتصال دو فلز، گرم و سرد می‌شود، ولتاژی تولید می‌گردد که بر حسب دما نمایش داده می‌شود. یک پراب به داخل جریان مایع یا گاز وارد گشته تا دمای گاز خروجی، هوا یا آب گرم را اندازه‌گیری کند.

با توجه به وجود دماهای متفاوت در صنایع و شرکت‌های مختلف، مشخصه مهم پیشنهادی تهیه ترمومتر (چه تماسی و چه مادون قرمز)، با کیفیت مناسب و قابلیت اندازه‌گیری دما در محدوده دمایی شرکت است. به موارد زیر نیز باید دقت شود:

- پرتابل دوکاناله با قابلیت نمایش اختلاف دما

محدوده اندازه‌گیری دما (با توجه به بیشترین و کمترین دمای فرآیندها یا نقاط داغ یا سرد)

- دقت اندازه‌گیری یک درجه سانتی‌گراد و دقت نمایش یک‌دهم درجه سانتی‌گراد
- واحدهای اندازه‌گیری درجه سانتی‌گراد و فارنهایت
- دارا بودن اخطار[1] هشدار

شکل (۱-۲۱) نمایی از یک دستگاه ترمومتر غیرتماسی (مادون قرمز) نمونه

1- Alarm

این تجهیز، اندازه‌گیری دما را بدون تماس فیزیکی بین ترمومتر و چیزی که دمای آن اندازه‌گیری می‌شود، انجام می‌دهد. تجهیز مذکور برای اندازه‌گیری نقاط داغ کوره‌های الکتریکی و حرارتی، دماهای سطح و غیره استفاده شده و به کاربر اجازه می‌دهد تا در کاربردهایی که سنسورهای متداول نمی‌توانند استفاده شوند و یا قرائت دقیق از دما داشته باشند (مانند موارد زیر)، دما را اندازه‌گیری کند.

- جایی که اندازه‌گیری‌های غیرتماسی به دلیل آلودگی و خطراتی نظیر ولتاژ بالا نیاز باشد
- فواصل یا ارتفاعات خیلی زیاد
- دماهای خیلی بالا و خارج از محدوده برای ترموکوپل‌ها یا دیگر سنسورهای تماسی
- شیئی که دمای آن اندازه‌گیری می‌شود به وسیله یک میدان الکترومغناطیس احاطه شده باشد. (مثل گرمایش القایی)

نحوه اندازه‌گیری، چنان است که ترمومتر به طرف سطح مورد نظر گرفته شده و یک قرائت فوری از دما می‌دهد.

مبنای عملکرد بر این اصل استوار است که همه اشیاء، انرژی مادون قرمز را منتشر می‌کنند. مولکول‌های شیء داغ‌تر فعال‌تر هستند و بنابراین انرژی مادون قرمز بیشتری از آن ساطع می‌شود. ترمومتر مادون قرمز، دارای یک لنز است که انرژی مادون قرمز جمع‌آوری شده از شیء را روی یک آشکارساز متمرکز می‌کند. آشکارساز، انرژی را به سیگنال الکتریکی تبدیل و تقویت می‌کند و پس از اعمال ضریب تصحیح دمای محیط، در واحد دما نمایش داده می‌شود.

مشخصات پیشنهادی دستگاه تحلیل‌گر احتراق

تحلیل‌گر احتراق، تجهیزی برای اندازه‌گیری ترکیب گازهای خروجی از دودکش

است که بعد از احتـراق شـکل مـی‌گیرنـد. بـا توجـه بـه تجهیـزات محترقـه، مـی‌تـوان تحلیل‌گرهای احتراق مختلفی سفارش داد. همه تحلیل‌گرهای احتـراق درصـد اکسـیژن (O_2) و دی‌اکسیدکربن (CO_2) گازهای خروجی از دودکش را اندازه‌گیـری و سـپس اگـر نیاز باشد، از یک برنامه داخلی برای محاسبه کارایی احتراق استفاده می‌کنند.

انواع آنالیزور احتراق

Fuel Efficiency Monitor

این وسیله درصد اکسیژن و دمای گازهای خروجی از دودکش را اندازه‌گیری می‌کند. با وارد کردن ارزش‌گرمایی[1]، کارایی احتراق توسط میکروپروسسور داخـل دسـتگاه قابـل محاسبه است.

شکل (۱-۲۲) نمایی از یک نمونه Fuel Efficiency Monitor

Fyrite

یک پمپ دستی، نمونه گاز خروجی را به داخل یک محلول، درون Fyrite می‌کشـد. یک واکنش شیمیایی، حجم مایع را تغییر می‌دهد و مقدار گاز را معلوم می‌کنـد، درصـد اکسیژن یا CO_2 می‌تواند از درجه‌بندی خوانده شود.

1- Calorific Value

شکل (۱-۲۳) نمایی از یک نمونه Fyrite

تحلیلگر احتراق

شکل (۱-۲۴) نمایی از یک نمونه Gas Analyzer

این تجهیز با استفاده از سلول‌های شیمیایی داخلی، گازهای مختلفی نظیر SOx،NOx،CO،CO_2 و... را اندازه‌گیری می‌کند. تحلیل‌گر احتراق برای تعیین ترکیب گازهای خروجی در کانال یا داکت (لوله بزرگ مستطیل شکل برای انتقال گازهای احتراق به دودکش) استفاده می‌شود. مقادیر هر یک از اجزای تشکیل‌دهنده گازهای خروجی بر مبنای حجمی می‌باشند. اغلب این تجهیزات، درصد اکسیژن و دی‌اکسیدکربن و دمای گازهای خروجی را اندازه‌گیری می‌کنند. در طول ممیزی انرژی و برای ارزیابی شرایط احتراق، کارآیی و نشت هوای اتمسفریک به داخل سیستم، بهتر است ترکیب گازهای خروجی مشخص باشد. بهترین نوع پیشنهادی تحلیل‌گر احتراق برای شرکت‌های تولیدی نیز، این نوع می‌باشد که قابلیت‌ها و مشخصات آن در ادامه آمده است:

- قابلیت تشخیص عیب تجهیز
- تست اتوماتیک نشت تجهیز
- نمایش وضعیت باتری قابل شارژ
- نمایش وضعیت سنسور
- مانیتور سطح کندانس در تله بخار
- نمایش ظرفیت پمپ $(\frac{lit}{\min})$
- نمایش وضعیت خطا با توضیح و تشخیص عیب
- نمایش زمان آخرین تعمیر
- نمایش دمای آنالیزور
- دارای شمارش‌گر ساعات عملکرد
- نمایش گرافیکی داده‌های کالیبره کردن سنسورها
- اندازه‌گیری‌های اضافی
- اندازه‌گیری دما
- اندازه‌گیری فشار (اختیاری)

- اندازه‌گیری m/s (اختیاری)
- مدیریت حافظه
- ذخیره حدود ۱۰۰ فولدر و ۱۰ موقعیت در هر فولدر
- ذخیره حدود ۲۰۰ داده در هر سایت (با تعداد فولدرها و موقعیت‌ها محدود می‌شود)
- اینترفیس برای انتقال اطلاعات به نوت بوک یا کامپیوتر
- مشخصه‌های اضافی
- اندازه‌گیری برای همه سنسورها به‌طورهمزمان (انتخابی)
- فرمت سنسورهای گاز بدون خارج کردن پراب از کانال گاز خروجی
- محاسبه متغیرهای دیگر مانند نقطه شبنم گاز خروجی
- محافظت در برابر ضربه و دارای کلاس محافظت مناسب مانند IP40
- عمر مناسب باتری قابل شارژ به‌طور مثال بیشتر از ۵ ساعت با پمپ
- دارای باتری قابل شارژ و پرتابل تا بتواند داخل یا خارج دستگاه شارژ شود
- قابلیت تعریف سوخت‌های مختلف توسط کاربر
- پرینت داده‌های کالیبراسیون سنسور
- طول مناسب لوله پلاستیکی نمونه‌گیری گاز

تستر سلامت تله بخار

شکل (۱- ۲۵) نمونه ای از یک تستر سلامت تله بخار

تله بخار، شیر اتوماتیکی است که مانع خروج بخار از سیستم شده و در صورت لـزوم، آب یا گازهای نامحلول موجود در سیستم را تخلیه می‌نماید. تلـه‌هـای بخـار بـه‌صـورت موازی با سیستم نصب شده و کندانس موجود در خطوط را تخلیه می‌کنند.

انواع تله بخار:

- ترمودینامیکی
- سطلی معکوس
- ترمواستاتیک شناور
- ترمو استاتیک/رادیاتور
- ترمو استاتیک/کلی
- بی متال

برای اینکه قرائت‌ها به درستی تفسیر شوند، قبل از تست هر تله بخار، اطلاعـات زیـر باید مشخص شود:

الف- نوع تله بخار (ترمودینامیکی- سطلی معکوس- ترموستاتیک و...)

ب- فشار کاری بخار

ج- عملکرد تله بخار و بار چگالیده مورد انتظار (تریسر[1]، فرآیند و...)

این دستگاه، یک دستگاه قابل حمل است که با باتری کار می‌کند و فرکانس‌های آلتراسونیک را به‌صورت شاخص‌های قابل دیدن و شنیدن نشان می‌دهد. این دستگاه به عنوان یک ابزار تشخیص عیب در آنالیز عملکـرد تلـه بخـار مـورد اسـتفاده قـرار می‌گیرد و می‌تواند برای آشکارسازی نشت در سیستم‌های بخار و هوای فشـرده نیـز استفاده شود. مقداری تجربه همراه با دانش عملی از عملکرد تلـه هـای بخـار بـرای تفسیر صحیح سیگنال‌ها نیاز است. با داشتن اطلاعات قبل از تست (نوع تلـه بخـار،

1- Tracer

فشار کاری بخار و عملکرد تله بخار و بار چگالیده مورد انتظار)، پیش‌بینی نوع و تراز صدایی که باید شنیده شود امکان پذیر می‌شود و کمک خواهد کرد تا سطح حساسیت به درستی تنظیم شود. جریان چگالیده، نسبت به بخاری که از اریفیس تله بخار نشت می‌کند، فرا صوت کمتری تولید می‌کند. صدای زیاد (ترق و تروق جریان)، به خاطر فلاش چگالیده در ناحیه فشار پایین در پایین دست اریفیس می‌باشد. نشت بخار مقدار ثابتی از فرا صوت تولید می‌کند، اما همیشه مقداری چگالیده در آن آمیخته می‌شود.

نکاتی در مورد تست انواع تله بخار

استفاده از دستگاه تستر برای تشخیص تله بخارهای خوب یا دارای نشتی، تجربه‌ای گران‌بها در انجام بازرسی تله‌های بخار خواهد بود. پراب باید برای تست همه ترپ‌ها، با سطح خارجی ترپ یا لوله همجوار محکم در تماس باشد. هنگامی که پراب در حال حرکت کردن است، قرائت‌های انجام شده معتبر نمی‌باشند.

تله بخار ترمودینامیکی: این ترپ دارای یک تخلیه انفجاری و دوره off/on است. از آنجایی‌که قرائت صفر و صد ترپ تستر روی این ترپ خواهد داد، معمولاً پیشنهاد می‌شود تا روی تراز حساسیت پایین تنظیم شود. ترپی که درست سایز شده است، در عملکرد خوب بین صفر تا پنج دوره در دقیقه تخلیه خواهد کرد. ترپی که دارای نرخ تخلیه ده یا تعداد بیشتر دوره در دقیقه باشد، باید برای کثیفی یا خوردگی بازرسی شود. تخلیه پیوسته به مفهوم این است که به دلیل کثیف بودن ترپ یا خوردگی شدید، در معرض فشار برگشتی بالا می‌باشد، یا اینکه جرم‌گرفتگی دیسک را از بسته شدن باز می‌دارد.

تله بخار سطلی معکوس: الگوی تخلیه معمولاً نیم دوره می‌باشد. در بارهای متوسط تا سنگین، ترپ دارای دوره off/on خواهد بود. قرائت تستر آلتراسونیک، حرکت رفت و

برگشتی، عقب و جلو خواهد بود. اگر خرابی تله بخار به خاطر نشت بخار باشد، دستگاه، یک قرائت کامل ٪۱۰۰ خواهد داد و اگر به خاطر آب‌بند آسیب دیده باشد، عملکرد off/on نامنظم را نشان خواهد داد.

تله بخار ترمواستاتیک شناور: الگوی تخلیه این ترپ، جریان متعادل پیوسته[1] می‌باشد. در ابتدا لازم است نوع کاربرد تعیین شود که فرآیندی یا بار سبک است. اگر بار چگالیده سبک باشد، نظیر آنچه روی تریسرها یافت می شود، ترازهای صدا معمولاً پایین خواهند بود و یک قرائت پیوسته تراز پایین خواهد داد. قرائت تراز بالا به مفهوم این است که برخی بخش‌های ترپ خراب شده است. هنگام تست کردن، باید توجه کرد که این نوع ترپ دو اریفیس دارد؛ اریفیس اصلی زیر تراز چگالیده نرمال و air vent ترموستاتیک در بالای فضای بخار قرار گرفته است. در عملکرد نرمال تجهیزات فرآیندی نظیر مبدل حرارتی و air handler، جریان، پیوسته و در تراز صدای بالا خواهد بود. برای اینکه تست آلتراسونیک دقیق باشد، بار باید حذف شود یا سبک شود تا ترپ بسته یا از جریان آن کاسته شود.

قرائت‌ها در بارهای سبک و سنگین باید مقایسه شوند. برای کاهش بار، جریان هوا روی کویل باید قطع شود؛ در مبدل حرارتی، جریان مایع قطع یا یک شیر بلودان قبل از ترپ باز شود تا بار کاهش یابد. جریان ترپ در هر مورد، باید قطع یا به نقطه‌ای که تست به خوبی بتواند انجام شود، کاهش یابد. وقتی بار کاهش و یا قطع شود، اگر اریفیس محکم بسته شده باشد، قرائت آلتراسونیک باید خیلی کم یا در تراز صفر باشد.

تله بخار ترموستاتیک، رادیاتور: این ترپ‌ها اغلب در فشار پایین عمل می‌کنند و الگوی تخلیه[2] معمول است. از آنجاکه تله بخارهای ترموستاتیک در هنگام سرد

1- Continuously Modulating Flow
2- Dribbling Type Action

بودن، کاملاً باز هستند، ترپ را هم برای باز بودن و هم برای بسته بودن می‌توان با قطع کردن بخار ورودی به ترپ و اجازه دادن به آن برای سرد شدن، تست کرد. وقتی ترپ سرد شد، باید شیر بخار در حالی که دستگاه تستر در تماس با بیرون ترپ است باز شود. تخلیه ترپ باید کاملاً باز و سپس سریعاً بسته شود. این تست، عملکرد کامل ترپ را نشان می‌دهد و هنگامی استفاده می‌شود که تست نرمال بی‌نتیجه و غیر قاطع باشد.

ترپ ترموستاتیک، کلی: در این ترپ معمولاً در بار سبک الگوی تخلیه dribbling type action و در بارهای سنگین الگوی تخلیه modulating یا دوره‌ای on/off می‌باشد. در تریسرها جایی که بارها سبک هستند، باید یک قرائت پایین و سیکل on/off بدهد. در بیشتر فرآیندها، ترپ تمایل به عملکرد modulating یا گاهی اوقات عملکرد دوره‌ای خواهد داشت. برای تست، رویه‌ای یکسان با آنچه در مورد تله بخارهای ترموستاتیک شناور در کاربرد فرآیندی بیان شد، باید استفاده شود. قطع جریان ترپ و اجازه دادن به ترپ برای سرد شدن، شیر را به‌طورکامل باز خواهد کرد. وقتی جریان ترپ برقرار شود، ترپ به حالت انفجاری کاملاً باز می شود و سپس در یک دقیقه بسته می گردد. دستگاه تستر قادر خواهد بود تا هر دو شرایط جریان کامل و قطع جریان را نشان دهد. این روش هنگامی استفاده می‌شود که قرائت حاصل از تست نرمال به طور واضح مشخص نکند که آیا ترپ خوب کار می‌کند یا نشت بخار دارد.

تله بخار بی متال: این ترپ به سرعت انواع دیگر ترپ، به تغییر بار پاسخ نمی‌دهد و الگوی تخلیه معمولاً modulating یا dribbling است. تله بخار بی‌متال معمولاً در تریسرها و کاربردهای بار سبک یافت می‌شوند. بنابراین تخلیه معمولاً پیوسته و با تراز صدای پایین می‌باشد. تخلیه چگالیده قبل از ترپ، باید آن را ببندد و تراز مافوق صوت باید به صفر تنزل کند. تله بخارهای بی‌متال وقتی سرد هستند، کاملاً باز می‌شوند،

بنابراین هنگامی که جریان برقرار می‌شود، ترپ به حالت انفجاری کاملاً باز شده تا اینکه بی‌متال منبسط و ترپ بسته شود. قرائت مافوق صوت در راه‌اندازی، باید بالا برده و وقتی ترپ گرم و بسته می‌شود، باید نزدیک به صفر یا صفر باشد. هنگامی که روش‌های تست نرمال قاطع نباشد، تست «Cool down/start» مورد استفاده قرار می‌گیرد. باید مراقب بود که بسیاری از تله بخارهای بی متال، یک مرحله عملکرد دارند. اگر گردنه شیر به‌طوردوره‌ای روی این شرایط عملکرد تنظیم نشوند، این ترپ‌ها دچار نشت بخار خواهند شد.

وسایل درین اوریفیس: این ترپ‌ها، تله بخارهای اتوماتیک نیستند؛ اما برای جریان پیوسته با مقداری نشت بخار در بار کم طراحی شده‌اند. تستر آلتراسونیک تنها می‌تواند بگوید که بخار از دستگاه عبور می‌کند یا کندانس. ترپ مسدود نمی‌شود و تنها اگر اریفیس برای بار مناسب نباشد، نشت بخار، بیش اندازه نشان داده خواهد شد.

مشخصات پیشنهادی یک دستگاه تست سلامت تله بخار

- قابلیت تشخیص وضعیت سلامت انواع تله‌های بخار
- دارای صفحه نمایش نمودار میله‌ای
- دارای دکمه انتخاب حساسیت
- دارای چراغ نمایش‌گر وضعیت باتری دستگاه
- پاسخ فرکانسی بین ۲۰ تا ۱۰۰ کیلوهرتز
- دارای متعلقات حداقل اعم از:

- چارچوب (غلاف) تپانچه مانند
- یک پراب[1] به‌همراه میله

1- Stethoscope

- یک گوشی به همراه کابل
- یک کیف انعطاف‌پذیر برای حمل دستگاه

دبی سنج مافوق صوت

این دستگاه، به صورت غیرتماسی و از اثر داپلر/زمان گذر اصل مافوق صوت استفاده می‌کند. یک فرستنده و یک گیرنده در دو طرف لوله قرار می‌گیرند و این دستگاه، به‌طورمستقیم اما لحظه‌ای و موقت دبی آب و سایر مایعات نیوتنی را به سادگی اندازه می‌گیرد. از مزایا و قابلیت‌های استفاده از این دستگاه می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

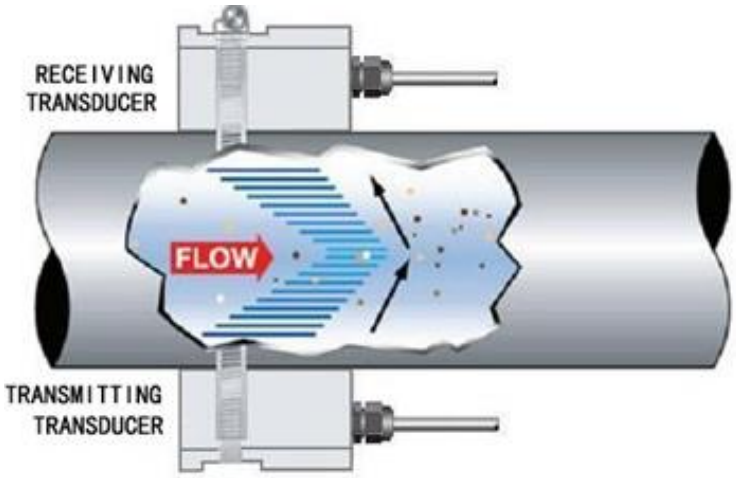
- اندازه‌گیری دبی سیالات بدون هیچ‌گونه تداخل در مسیر جریان مایعات
- اندازه‌گیری بدون توقف فرآیند
- نصب آسان و سریع جهت اندازه‌گیری
- دامنه وسیع اندازه‌گیری (0.001m/s-99m/s)
- قابلیت اندازه‌گیری بدون نیاز به دانستن فشار مایعات
- قابل استفاده از یک دستگاه برای سایزهای مختلف لوله

شکل (۱-۲۶) نمونه‌هایی از دبی‌سنج مافوق صوت نوع داپلر به همراه متعلقات

شکل (۱-۲۷) نمونه‌هایی از دبی‌سنج مافوق صوت نوع زمان‌گذر به همراه متعلقات

نحوه عملکرد دبی سنج نوع داپلر

در این نوع دبی‌سنج، با ارسال امواج مافوق صوت به داخل لوله، اختلاف فرکانس ارسال شده با فرکانس برگشتی حاصل از برخورد این امواج با مواد معلق داخل سیال اندازه‌گیری می‌شود. با اندازه‌گیری این اختلاف فرکانس مقدار دبی سیال به‌دست می‌آید. با توجه به اساس کار فلومتر نوع داپلر، کاربرد آن در مواردی است که ذرات معلق یا حباب، به میزان کافی در سیال وجود داشته باشند.



شکل (۱-۲۸) مکانیزم اندازه‌گیری دبی‌سنج مافوق صوت نوع داپلر

نحوه عملکرد دبی سنج نوع زمان گذر

در این نوع دبی‌سنج، با ارسال امواج مافوق صوت به داخل لوله، اختلاف زمان ارسال (رفت) و برگشت موج، اندازه‌گیری می‌شود. در قطر ثابت لوله، اختلاف زمان فوق، تابعی از سرعت یا دبی سیال است. کاربرد عمده دبی سنج مافوق صوت نوع زمان گذر در اندازه‌گیری دبی مایعات در لوله‌ها بدون تماس با سیال و قطع لوله است. برخلاف نوع داپلر، در این روش مایع باید عاری از مواد معلق و حباب باشد.

شکل (۱-۲۹) مکانیزم اندازه‌گیری دبی‌سنج مافوق صوت نوع زمان‌گذر

ترموویژن

شکل (۱- ۳۰) نمونه ای از یک دوربین ترموویژن

آنالیز ترموگرافی که به نام‌های گرمانگاری، ترمـوویژن و تصـویربرداری حرارتـی نیـز شناخته می‌شود، تکنیک مهمی است که دامنه کاربردهای آن بسیار گسـترده و فراتـر از بحث مراقبت وضعیت CM تجهیزات و ماشین آلات (بازرسی فنی) اسـت. بـا اسـتفاده از دوربین ترموگرافی، کلیه عیوبی کـه منجـر بـه تغییـر در الگـوی توزیـع دمـای سـطحی می‌شوند، قابل شناسایی خواهد بود.

کاربرد دوربین ترموگرافی (ترمو ویژن) کارخانجات

۱- بررسی وضعیت سلامت عایق، ولوها، تله‌های بخار، تشخیص ساییدگی و خوردگی لوله‌ها

۲- شناسایی نقاط داغ[1] برای بررسی سلامت عایق‌ها و نسوزهای کوره‌ها

۳- شناسایی نشتی‌ها مثلاً در داکت‌های فن‌های صنعتی

۴- بررسی گرفتگی لوله‌های بخار و لوله‌های هیدرولیک و پنیوماتیک

۵- بررسی دمای ماشین آلات گوناگون، یاتاقان‌ها، کوپلینگ‌ها (بسـیاری از عیـوب بـا افزایش دما می‌باشند)

۶- بازرسی آلودگی‌ها و ناخالصی‌ها

۷- بررسی دمای فولاد در حال ذوب، دمـای شـمش فـولاد و دمـای پاتیـل ذوب در کارخانه‌های ذوب فولاد

۸- بررسی سطح سیال در مخزن، تست لوله‌های نفت در زیر زمین و بررسی خطوط انتقال نفت

کاربرد دوربین ترموگرافی (ترمو ویژن) در برق فشار قوی

۱- بررسی عایق‌ها

۲- بررسی افزایش دما در اتصالات محوری

۳- بررسی گرمای بیش از حد در اتصالات

1- Hot Spot

۴- اختلال در اتصالات شبکه برق

۵- پست‌های برق (ترانسفورماتورها، سیستم خنک‌کاری، تب چنجرها، اتصالات، رله‌ها و بریکرها)

۶- بررسی تمام عیوبی که با افزایش دما همراه باشند

کاربرد دوربین ترموگرافی (ترمو ویژن) در بازرسی ساختمان‌ها

۱- پیدا کردن حفره در دیوار ساختمان‌ها

۲- یافتن لوله بخاری درون دیوارها

۳- یافتن نشتی‌های درون دیوار و زیر زمین

۴- بررسی تلفات حرارتی در ساختمان‌ها

همان‌طوری که در کاربرد دوربین ترموویژن در صنعت آمده است، سه کاربرد اول آن شامل بررسی وضعیت سلامت عایق و تله‌های بخار، شناسایی نقاط داغ برای بررسی سلامت عایق‌ها و نسوزهای کوره‌ها و شناسایی نشتی‌ها مثلاً در داکت‌های فن‌های صنعتی، می‌تواند در ممیزی انرژی کاربرد داشته باشد.

ویژگی‌ها و متغیرهای مهم پیشنهادی

- محدوده حرارتی مناسب با دماهای سرد و گرم صنعت مورد نظر و قابلیت ارتقاء
- دارا بودن حساسیت بالای حرارتی مثلا ۰/۰۵ درجه سانتی‌گراد
- قابلیت ثبت و ضبط سکانس‌های حرارتی بر روی کامپیوتر
- ترکیب هوشمند تصاویر حرارتی و طبیعی جهت شناسایی بهتر عیوب بر روی تصاویر طبیعی
- دارا بودن دریچه اتوماتیک لنز جهت جلوگیری از رسیدن آسیب به لنز
- دارا بودن ورژن‌ها و رزولوشن‌های حرارتی مختلف با توجه به نوع کاربرد
- دارا بودن نرم‌افزار حرفه‌ای با قابلیت گزارش‌گیری سریع بدون محدودیت نصب

انواع جمع‌کننده داده‌ها

شکل (۱-۳۱) نمونه‌ای از یک دیتالاگر

دیتا لاگر، وسیله‌ای الکترونیکی است که داده‌هایی که به وسیله حسگرهای تعبیه شده در دستگاه یا ابزار و حسگر خارجی تأمین می‌شوند را در طول زمان یا در رابطه با مکان ذخیره می‌کند. اکثر دیتالاگرها بر پایه یک پردازنده رقمی (یا رایانه) طراحی و ساخته می‌شوند. آن‌ها عموماً کوچک و قابل حمل بوده و به وسیله باتری تغذیه می‌شوند. به علاوه به یک ریزپردازنده مجهز هستند که دارای حافظه داخلی جهت ذخیره‌سازی داده و تعدادی حسگر می‌باشند. برخی از دیتالاگرها به رایانه متصل می‌شوند و می‌توان با استفاده از نرم‌افزار، آن‌ها را فعال و داده‌های کنترل شده را مشاهده، تجزیه و تحلیل کرد؛ در حالی که بقیه دارای رابط محلی (مانند صفحه کلید و صفحه نمایش) بوده و می‌توان از آن‌ها به صورت وسیله‌ای مستقل استفاده کرد. دیتالاگرها انواع گوناگونی دارند؛ از دیتالاگرها هرکاره که برای دامنه مصارف عادی استفاده می‌شود، تا وسایل بسیار خاص که فقط برای اندازه‌گیری در یک محیط استفاده می‌شود و یا انواع دیگری که کاربرد از پیش تعیین شده‌ای دارند. این دستگاه‌ها می‌توانند متغیرهایی از قبیل درجه حرارت، رطوبت نسبی، سرعت سیال، فشار و افت فشار و ... را اندازه‌گیری و ذخیره کنند. مزیت استفاده از دیتالاگر، آن

است که با توجه به پراب‌های مورد استفاده، این دستگاه می‌تواند به صورت همزمان، اطلاعات مورد نیاز را اندازه‌گیری نماید. از دیگر مزایای استفاده از آن‌ها، قابلیت جمع‌آوری ۲۴ ساعته اطلاعات است. دیتالاگرها معمولاً به محض فعال‌سازی، بدون مراقبت رها شده تا در طول دوره دیده‌بانی، اندازه‌گیری و اطلاعات را ذخیره کند. این قابلیت اجازه می‌دهد تا تصویری جامع و دقیق از شرایط محیط تحت نظر مانند دمای هوا یا رطوبت به دست آید.

خصوصیات یک دیتالاگر

۱- تعداد کانال‌ها: تعداد کانال‌ها بیانگر تعداد حسگرها و مبدل‌هایی است که هم‌زمان قابل اتصال به دیتالاگر هستند.

۲- فرکانس نمونه‌برداری: این عدد نشانگر تعداد دفعاتی است که دیتالاگر، داده‌های هر حسگر را خوانده و به کامپیوتر یا حافظه منتقل می‌کند. برای مثال وقتی گفته می‌شود یک دیتالاگر دارای فرکانس نمونه‌برداری ۳۰۰ هرتز است، به این معنی است که در هر یک سیصدم ثانیه، داده‌های به دست آمده از حسگرها به کامپیوتر منتقل می‌شود.

۳- نوع حسگرهای پشتیبانی کننده: معمولاً هر دیتالاگری از حسگرها و مبدل‌های خاصی پشتیبانی می‌کند. مثلاً یک دیتالاگر ممکن است تنها قادر به پشتیبانی حسگرهای حرارتیRTD باشد، ولی قادر به پشتیبانی ترموکوپل‌ها نباشد.

۴- نرم‌افزار: معمولاً هر دیتالاگر مجهز به یک نرم‌افزار است که امکان اعمال تنظیمات آن و مشاهده نمودارهای به‌دست آمده از حسگرها را حین نمونه‌برداری ممکن می‌کند.

۵- حافظه ذخیره‌سازی: یک متفیر اساسی در سیستم‌های دیتالاگر قابلیت ثبت اطلاعات برای مدت زمانی طولانی مثلاً چندین سال است. برای دست‌یابی به این هدف، لازم است سیستم‌های دیتالاگر دارای رسانه‌های ذخیره‌سازی در حجم‌های بالا و مصرف انرژی بسیار کم باشند.

لوله پیتوت و فشارسنج

شکل (۱-۳۲) نمونه‌ای از لوله پیتوت با اندازه‌گیری اختلاف فشار

سرعت جریان سیال در کانال‌ها را می‌توان با یک لوله پیتوت و فشار سنج مورب، برای محاسبه جریان اضافی (به کمک اندازه‌گیری فشار رکود[1]) اندازه گرفت.

سرعت‌سنج (دور سنج)

شکل (۱-۳۳) نمونه‌ای از تاکومتر دیجیتال

1- Stagnation Pressure

شکل (۱-۳۴) نمونه‌ای از استروبوسکوپ

اندازه‌گیری سرعت، در هر فعالیت ممیزی با توجه به امکان تغییر آن با فرکانس، لغزش تسمه و بارگذاری، مورد نیاز است. یک سرعت‌سنج ساده، ابزاری تماسی در مکان‌هایی با دسترسی مستقیم یا غیرتماسی (مانند تاکومتر یا استروبوسکوپ) برای اندازه‌گیری‌های پیچیده‌تر و ایمن‌تر است.

تاکومتر، ابزاری پرتابل، سبک و مناسب جهت تعیین سرعت دورانی تجهیزات روتاری، تسمه نقاله‌ها، مکانیزم‌ها و موتورهای الکتریکی است که با استفاده از تکنولوژی اپتیک، سرعت مورد نظر را محاسبه می‌کند.

اندازه‌گیری غیر تماسی توسط تاکومتر از نوع لیزری به گونه‌ای قابل اجرا است که بر روی هدف مورد نظر یک برچسب قرار داده و در زمان چرخش هدف براساس هر بار انعکاس نور از طرف برچسب، یک دور محاسبه می‌شود. استفاده از برچسب در زمان‌هایی که فاصله تاکومتر تا هدف کمتر از ۳۰ سانتی‌متر است، ضروری نمی‌باشد.

استروبوسکوپ پرتابل، جهت مشاهده نوسانات و تحولاتی که در زمان کار در تجهیزات دوار به‌وجود می‌آیند، مناسب است. این ابزار با استفاده از خطای چشم،

تجهیز دوار را به صورت ثابت به کاربر نشان می‌دهد و عیوب هدف در زمان کار به سادگی برای اپراتور نمایان می‌شود. مشاهده ترک بر روی شفت‌ها، لغزش تسمه بر روی پولی در زمان کار و... از نمونه عیوبی هستند که با استروبوسکوپ به سادگی قابل مشاهده‌اند.

از ویژگی‌های پیشنهادی علاوه بر موارد بالا، می‌توان به قابلیت تنظیم فرکانس فلش با استفاده از کلیدهای تعبیه شده و دارا بودن تریگر ورودی و خروجی و همچنین نمایش فرکانس چرخش هدف، استفاده از باطری‌های قابل شارژ و دارا بودن نور پشتیبان صفحه نمایش جهت کار در فضاهای تاریک اشاره نمود.

آشکارساز نشتی

شکل (۱-۳۵) نمونه ای از یک آشکارساز نشتی مافوق صوت

به‌طورکلی برای حس کردن گاز توسط سنسور از روش‌های مختلف مافوق صوت، الکتروشیمیایی، مادون قرمز، یونیزاسیون شعله، یونیزاسیون نوری و... استفاده می‌کنند که هر کدام نسبت به دیگری دارای نقاط ضعف و قدرت مختلفی هستند.

برای مثال در روش مادون قرمز از این حقیقت استفاده شده است که بسیاری از گازها، پرتوهای مادون قرمز را در طول موج‌ها یا باندهای به‌خصوصی جذب می‌کنند که از مشخصات ساختار شیمیایی مولکول‌ها در گاز است. تمامی گازهای هیدروکربنی،

پرتوهای مادون قرمز را جذب می‌کنند اما در درجات مختلف و با مشخص بودن درصد جذب آن‌ها می‌توان به نوع گاز پی برد.

البته ابزارهای مافوق صوتی هم وجود دارند که از آن‌ها می‌توان برای آشکارسازی نشتی هوای فشرده و سایر گازها (در یک محدوده یا قسمتی از یک سیستم)که از منابع تلفات انرژی در یک واحد صنعتی است و شاید تشخیص آن توسط کارکنان شرکت ممکن نباشد، استفاده نمود. جدیدترین نشت‌یاب که بسیار دقیق و حساس می‌باشد، نشت‌یابی مافوق صوت است. این دستگاه مجهز به تکنولوژی مافوق صوت برای شنیدن بوده و دارای حساسیت و نفوذپذیری دقیق و قدرتمندی برای تشخیص دقیق محل نشت ماده سرمازا از سیستم می‌باشد. این دستگاه می‌تواند صداهای بسیار ضعیف از نشت مبرد در هر نقطه سیستم حتی در حال روشن بودن و کار کردن سریع را تشخیص داده و بیابد و صدای نشت را از صداهای دیگر جدا نماید. این دستگاه برای یافتن دیگر گازهای غیر مبرد و بخار در تحت فشار و وکیوم، کاربرد گسترده‌ای دارد و به کمک آن می‌توان صدای سالم یا معیوب کارکردن بلبرینگ‌ها، ولوها، سلونوییدها و دیگر تجهیزات را تشخیص داد.

30.0

755.3 FPM

GRAPHTEC

شکل (۱-۳۶) تجهیزات نمونه ممیزی انرژی حرارتی و مکانیکی در یک نگاه

در پایان این بخش ذکر این نکته ضروری است که علاوه بر نکات فنی که در مورد تجهیزات اندازه‌گیری مرتبط با ممیزی انرژی بیان گردید، موارد زیر باید توسط تیم ممیزی در فرآیند پایش و اندازه‌گیری رعایت شوند:

مدت اندازه‌گیری

مدت و زمان اندازه‌گیری یک متغیر به عوامل زیادی از جمله شرایط بهره‌برداری، سطح بارگذاری، شرایط محیطی، شرایط اندازه گیری و تجهیزات و امکانات اندازه‌گیری بستگی دارد. برخی از این عوامل خارج از کنترل تیم ممیزی و برخی دیگر به‌خصوص فراهم آوردن تجهیزات و نیروی انسانی متخصص در اختیار تیم می‌باشد.

به منظور برخورداری از نتایج و یافته‌های مناسب در ممیزی انرژی، اندازه‌گیری‌های مورد نیاز باید در مدت زمان مناسب صورت گیرد که در شرایط پایدار، بهره‌برداری از واحد کمیت‌های موردنظر در مقدار پایدار خود قرار گرفته باشند.

محل نصب تجهیزات اندازه‌گیری

محل نصب تجهیزات اندازه‌گیری مورد استفاده در ممیزی انرژی تابع محدودیت‌های فیزیکی بوده و لذا با توجه به محدودیت‌ها و امکانات فنی باید نسبت به انتخاب محل مناسب اقدام نمود. از نکات مهم تجهیزات اندازه‌گیری سیالی که متغیرهای فیزیکی آن

مثل دما، فشار و دبی مورد نظر می‌باشد، این است کـه محـل نصـب ایـن تجهیـزات، در شرایط آشـفته قـرار نداشـته باشـد. در غیـر ایـن صـورت مقـادیر انـدازه‌گیـری شـرایط ترمودینامیکی حاکم بر سیال را به درستی بیان نخواهد نمود.

نکات ایمنی

رعایت اصول ایمنی در مراحل مختلف عملیات ممیزی از نکات بسیار حائز اهمیـت است. در این رابطه موضوع ایمنی از دو دیدگاه ایمنی فردی و ایمنـی تجهیـزات بایـد مورد توجـه خـاص قـرار گیـرد. در خصـوص ایمنـی فـردی بـا توجـه بـه گسـتردگی فعالیت‌های میدانی و شرایط محیط کـار در شـرکت‌هـای تولیـدی متوسـط و بـزرگ، رعایت اصل«اول ایمنی بعد کار» باید در سرلوحه هرگونه برنامه فعالیت میـدانی قـرار گیرد. لذا لازم است تیم ممیزی حاضر در محیط سـایت تولیـدی از تجهیـزات ایمنـی کامل برخوردار بوده و صدور مجوز فعالیت تیم ممیزی از طرف ممیزی شـونده منـوط به رعایت این امر باشد.

در رابطه با ایمنی تجهیزات، باید متذکر شد که در طول عملیات اندازه‌گیری با توجه به اینکه عدم رعایت نکات فنی و عـدم اطـلاع کـافی از خصوصـیات تکنیکـی و شـرایط بهره‌برداری هر یک از تجهیزات به‌کار رفتـه در صـنایع، مـی‌توانـد منجـر بـه صـدمات و خسارات سنگین به تجهیزات ممیزی شونده گردد، لذا هرگونه عملیات در این رابطه باید با ممیزی شونده و نمایندگانی که برای اینکار مشخص شده‌اند همـاهنگی کامـل شـود و پس از صدور مجوز عملیات صورت پذیرد.

کالیبراسیون تجهیزات اندازه‌گیری

به منظور صحت و اعتبار نتایج حاصل، تجهیزات اندازه‌گیری باید در مراحـل مختلـف کار با رعایت اصول فنی کالیبره شوند.

۱-۱۳-۵ مروری بر جمع‌آوری و ثبت داده‌ها در سیستم‌های آنلاین پایش انرژی

کاهش تلفات و کنترل هزینه مصارف حامل‌های انرژی و نیز کاهش آلودگی زیست‌محیطی همواره از اولویت‌های مدیریتی هر شرکت تولیدی می‌باشد، ولی برای نیل به این هدف در حوزه انرژی معمولاً نیاز است که پتانسیل و دامنه صرفه‌جویی انرژی برای مدیران مشخص شود تا با توجه به آن، تصمیم‌گیری لازم را انجام دهند. برای این منظور لازم است که پایش و هدف‌گذاری داده‌های مرتبط با مصارف حامل‌های انرژی به صورت آنلاین یا آفلاین انجام شود. پایش و هدف‌گذاری انرژی، فرآیندی پیوسته جهت جمع‌آوری، تفسیر و گزارش مصرف انرژی با هدف استفاده از اطلاعات، برای بهبود کارایی انرژی و کاهش هزینه‌های آن است. تدوین و فرمول‌بندی این تکنیک، از منطق اجتناب از مصارف انرژی غیر دخیل در فرآیند تولید، اقتباس شده است. اساس آن مبتنی بر ایجاد یک سیستم برای پیش‌بینی مصرف انرژی از طریق اطلاعات گذشته و پیش‌گویی مصرف، محاسبه اختلاف بین مقدار پیش‌بینی شده و واقعی، تعیین دلایل اختلاف و تفسیر تغییر در روند و الگوی مصرف و نهایتاً کنترل مصرف و حتی‌الامکان بهبود آن است. پایش و هدف‌گذاری انرژی اصولاً یک تکنیک مدیریتی است که از اطلاعات انرژی استفاده می‌کند تا به سبب آن اتلاف انرژی را حذف و سطح انرژی مورد استفاده را کاهش داده و کنترل کند. در واقع این تکنیک براساس این اصل بنا شده است که «شما نمی‌توانید چیزی را که اندازه‌گیری نکرده‌اید، مدیریت کنید». در این تکنیک اصول مصرف انرژی و آمار با یکدیگر ترکیب می‌شوند. پایش به سمت ایجاد تصویری از الگوی جاری مصرف انرژی پیش می‌رود و هدف‌گذاری، سطح مصرف انرژی را با توجه به اهداف مدیریتی طوری تنظیم می‌کند که صرفه‌جویی انرژی حاصل شود.

هدف از استقرار سیستم پایش و هدف‌گذاری مصرف انرژی در یک شرکت تولیدی به منظور جمع‌آوری و مشاهده منظم و مداوم متغیرهای مرتبط با مصرف انرژی، استفاده از

آن‌ها جهت ایجاد الگوی مصرف و مقایسه مستمر روند مصرف انرژی با الگوهـای تعیـین شده است. سیستم پایش و هدف‌گذاری انرژی داده‌های مصرف انرژی را بـا تولیـد، آب و هوا و سایر درایورهای انرژی به شکلی مرتبط می‌کند کـه فهـم بهتـری از رونـد مصـرف انرژی به دست آید.

- از مزایای این سیستم می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:
- شناسایی افزایش یا کاهش در استفاده انرژی
- رسم نمودارهای مصرف انرژی در بازه‌های زمانی مختلف
- محاسبه میزان توان و مصرف انرژی تجهیزات
- محاسبه شاخص‌های مصرف انرژی در سطوح مختلف
- محاسبه میزان صرفه‌جویی و اتلاف انرژی و هزینه
- تعیین مصرف انرژی در آینده
- تشخیص نقاط هدر رفت انرژی
- مشاهده رفتار انرژی مجتمع در گذشته
- ایجاد اهداف عملکرد[1] برای برنامه‌های مدیریت انرژی

عناصر اصلی سیستم پایش و هدف‌گذاری انرژی به شرح زیر است:

سخت‌افزار: سخت‌افزارهـای مـورد نیـاز بـرای اسـتقرار سیسـتم مانیتورینـگ شـامل سنسورها، تجهیزات ابزار دقیق و کارت‌های واسط می‌باشد. تجهیزات اندازه‌گیری شـامل ادوات اندازه‌گیری جریان انرژی، ادوات اندازه‌گیری متغیرهـای مـؤثر بـر مصـرف انـرژی (نظیر دبی، دما، فشار، توان الکتریکی و ...) است. بـرای انتخـاب سنسـورهای مـورد نیـاز حتی‌الامکان سعی می‌شود از سنسورهای موجود در فرآیند استفاده شود.

امروزه بیشتر این ادوات و سنسـورها دارای خروجـی آنـالوگ (4-20mA)، سـریال RS232 یـا RS485 و یـک درگـاه جهـت ارسـال اطلاعـات از طریـق شـبکه (نظیـر

1-Performance Target

Ethernet، RTU و...) هستند. بعد از انتخاب تجهیزات انـدازه‌گیـری، سنسـورها و ادوات اندازه‌گیری انرژی معمولاً به سیستم مانیتورینگ و کنترل فرآیند متصل مـی‌شـوند. ایـن سیستم می‌تواند سیستم کنترل توزیع شده DCS[1] یا سیستم SCADA/PLC باشد.

-نرم‌افزار: نرم‌افزار سیستم مانیتورینگ انرژی، دارای ویژگی‌های زیر است:

الف- جمع‌آوری داده‌ها:

اولین قدم برای انجام پایش داده‌های انرژی، جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز (بر اساس متغیرهای تعیین شده توسط تـیم‌هـای مربوطـه) اسـت. ایـن داده‌هـا شـامل داده‌هـای فرآیندی، الکتریکـی، تولیـد، قبـوض انـرژی و داده‌هـای آب و هـوا هسـتند. جمـع‌آوری داده‌های فرآیندی و الکتریکی می‌تواند به صورت دریافت اتوماتیک از اسکادا یا برداشـت دستی (دریافت داده‌ها از لاگ شیت یا اندازه‌گیری) و یا ترکیبی از هر دو باشد. در حالت اتوماتیک (ایده‌آل) تمامی این داده‌ها توسط حسگرها و ادوات اندازه‌گیری حـس شـده و در اسکادا نمایش داده و در بازه‌های زمانی مساوی ثبت مـی‌شـود. جمـع‌آوری داده‌هـای تولید، تعرفه‌های انرژی و آب و هوا نیز می‌تواند به صورت دستی یا اتوماتیک انجام شـود. کلیه داده‌های جمع‌آوری شده اعم از دستی و اتوماتیک به نرم‌افزار پایش و هدف‌گـذاری وارد می‌شوند.

ب- دسته‌بندی داده‌ها:

همان‌طور که گفته شد، جمع‌آوری داده‌ها در بازه‌های زمانی منظم و بـه‌طورپیوسـته انجام می‌شود. بنابراین با گذشت زمان حجم داده‌های جمع‌آوری شـده افـزایش خواهـد یافت. لذا به مکانیسمی برای ذخیره این داده‌ها به صورت دسته‌بندی و سازماندهی شـده نیاز است. برای این منظور از یک پایگاه داده به شکلی استفاده می‌شـود کـه بـا افـزایش حجم داده‌ها امکان ذخیره و بازیابی بـا سـرعت و کـارایی مناسـب وجـود داشـته باشـد.

1- Distributed Control System

طراحی و پیاده‌سازی این پایگاه داده به گونه‌ای است که هرگونه گزارش مورد نیاز از آن، با سرعت و کارایی بالا قابل استخراج باشد.

ج- تحلیل داده‌ها:

داده‌های خام جمع‌آوری شده و به خودی خود نمی‌توانند کمک زیادی به بهبود کارایی انرژی و کاهش هزینه‌های آن بکنند، چه بسا با انباشت این داده‌ها تصمیم‌گیری پیچیده‌تر خواهد شد. بنابراین لازم است تا تحلیل‌هایی روی این داده‌ها انجام شود و به اطلاعات قابل استفاده تبدیل شوند. این تحلیل‌ها شامل تحلیل‌های آماری و محاسباتی، تحلیل رگرسون، محاسبه شاخص‌های مصرف انرژی و مرتبط کردن میزان مصرف انرژی به درایورهایی نظیر تولید و آب و هوا به کمک تکنیک‌های SEC، CUSUM و... می‌باشد. همچنین می‌توان سطحی از مصرف انرژی را به عنوان هدف تعیین نمود و میزان مصرف واقعی انرژی هر تجهیز، واحد یا مجتمع در هر لحظه از زمان را با مقدار هدف‌گذاری شده مقایسه نمود و اختلافات را کشف و تفسیر نمود.

د- گزارش‌دهی:

سیستم پایش و هدف‌گذاری قادر است انواع گزارشات فنی و مدیریتی را در قالب‌های گوناگون و در سطوح مختلف (تجهیز، واحد و کل شرکت) ارائه نماید. این سیستم، قابلیت تولید گزارش به صورت‌های مختلف اعم از جدول، نمودارهای خطی، پراکندگی، میله‌ای، جمع انباره، سه بعدی و... را دارد.

مرحله دو

جمع‌آوری و تحلیل داده‌های مورد نیاز

ممیزی انرژی

۲-۱ دستورالعمل نحوه جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز

۲-۱-۱ هدف و دامنه کاربرد دستورالعمل نحوه جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز

هدف از تدوین این دستورالعمل، آشنایی ممیزان انرژی با نحوه جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز ممیزی انرژی و دامنه کاربرد این دستورالعمل با توجه به نوع و سطح ممیزی انرژی، تمامی داده‌ها و اطلاعات موردنیاز مرتبط با تجهیزات، فرآیندهای صنعتی یا واحدهای عملیاتی شرکت ممیزی شونده می‌باشد.

۲-۱-۲ مسئولیت جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز

مسئولیت جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز ممیزی انرژی با تیم ممیزی انرژی و به خصوص ممیزان درجه سه به کمک کارشناسان بهره‌برداری یا تولید، نگهداری و تعمیرات، مدیریت انرژی و خدمات فنی و مهندسی (واحدهای مهندسی عمومی و آرشیو) است.

۲-۱-۳ واژگان دستورالعمل و نحوه جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز

اندازه‌گیری: فرآیندی که تعیین می‌کند یک متغیر چه مقدار از یک ویژگی برخوردار است.

خطا: تفاوت بین میزان اندازه‌گیری شده و مقدار درست کمیت تحت اندازه‌گیری

نکته: خطا شامل قرائت نادرست یا اشتباهات اپراتوری نمی‌شود. خطا علتی است که باعث می‌شود مقادیر به‌دست آمده در اثر تکرار اندازه‌گیری تغییر کنند و هیچکدام از نتایج نباید بر دیگری ترجیح داده شود. گرچه امکان حذف کامل خطا از اندازه‌گیری وجود ندارد، می‌توان آن‌ها را کنترل کرد. خطای کلی ترکیبی از خطای سیستماتیک و خطای تصادفی است.

دقت: میزان شباهت نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های مستقل یک کمیت تحت شرایط یکسان است.

نکته: منظور از دقت، اندازه درست یک کمیت نیست. تعداد تقسیمات روی مقیاس ابزار اندازه‌گیری بر دقت آن مؤثر است. از آنجایی‌که دقت بر مبنای یک اندازه درست از پیش توافق شده قرار ندارد، تنها وابسته به توزیع خطاهای تصادفی است.

درستی: درستی، میزان نزدیکی مقدار متوسط ناشی از تعداد زیادی اندازه‌گیری به یک مقدار درست مورد توافق است. این واژه تعریفی شبیه به صحت دارد؛ لیکن درستی، به مقدار متوسط ناشی از تعداد زیادی آزمایش مربوط می‌شود.

صحت: میزان نزدیکی مقدار اندازه‌گیری شده به مقدار درست را صحت گویند.

عدم قطعیت: مهم‌ترین متغیر تخمین صحت اندازه‌گیری بر اساس دستورالعمل‌های راهنما و بازه‌ای حول مقدار گزارش شده است که هر تکراری از اندازه‌گیری، نتیجه‌ای درون آن بازه به دست می‌دهد.

محک‌زنی (داخلی و خارجی): فرآیند مداوم و سیستماتیک اندازه‌گیری و مقایسه یک شرکت با شرکت‌های پیشرو در صنعت مشابه برای به دست آوردن اطلاعاتی که به بهبود عملکرد شرکت کمک خواهد کرد.

۲-۱-۴ شرح عملیات نحوه جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز

همان‌گونه که در بخش‌های قبلی گزارش اشاره شده است، در مراحل پیش از ممیزی

انرژی و در حین انجام ممیزی، ممیز باید با ارسال نامه‌ای درخواست نماید که ممیزی شونده، لیست داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز اولیه موجود را در اختیارش قرار دهد و در تهیه بقیه اطلاعات درخواستی با اعضای تیم ممیزی در زمان مشخص همکاری نماید.

۲-۱-۴-۱ مراحل جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز اولیه

- تهیه لیست داده‌ها و اطلاعات موردنیاز اولیه توسط ممیز
- مهر و امضا نمودن تفاهم‌نامه رازداری ممیزی شونده توسط ممیز و ارسال آن به ممیزی شونده
- ارسال نامه درخواست از ممیزی شونده برای آماده کردن و ارسال اطلاعات مورد نیاز موجود در زمان مشخص
- تشکیل تیمی از ممیزی شونده برای جمع‌آوری اطلاعات درخواستی ممیز
- آماده‌سازی اطلاعات درخواستی ممیز و ارسال آن.
- پاسخ به پرسش‌ها یا ابهامات احتمالی ممیزی شونده (در صورت نیاز)
- تهیه لیست اطلاعات درخواستی ارسال و یا آماده نشده و درخواست تعیین تکلیف توسط ممیزی شونده (در صورت نیاز)
- نامه معرفی نفر یا نفرات جمع‌آوری کننده اطلاعات باقیمانده توسط ممیز به ممیزی شونده (در صورت نیاز)
- اعزام نفرات جهت جمع‌آوری اطلاعات باقیمانده (در صورت نیاز).
- تهیه لیست داده‌ها و اطلاعات موردنیازی که موجود نیستند
- تهیه صورت جلسه‌ای با حضور نمایندگان ممیز و ممیزی شونده با موضوع تعیین تکلیف اطلاعات مورد نیازی که موجود نیستند
- کاهش یا افزایش احتمالی شرح خدمات ممیزی انرژی با توجه به عدم وجود برخی از اطلاعات مورد نیاز

۲-۱-۴-۲ انواع داده های مورد نیاز اولیه

داده‌های اطلاعات با توجه به سطح، دامنه، زمان، بودجه ممیزی و با توجه به فناوری‌های به کار رفته، ظرفیت، موقعیت اقلیمی و جغرافیایی شرکت، می‌تواند متفاوت باشد. به‌طورکلی شناسنامه انرژی شرکت که حاوی داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز اولیه و به‌صورت مکتوب است، می‌تواند به چهار دسته زیر تقسیم شود:

الف- داده‌ها یا اطلاعات عمومی

ب- داده‌ها یا اطلاعات طراحی

ج- داده‌ها یا اطلاعات بهره‌برداری

د- داده‌ها یا اطلاعات زمانی

۲-۱-۴-۳ لیست داده‌ها یا اطلاعات عمومی مورد نیاز

این داده‌ها و اطلاعات در قالب یک پرسش‌نامه تحت عنوان پرسش‌نامه عمومی انرژی شرکت، دربرگیرنده مشخصات عمومی مرتبط با انرژی به شرح زیر می‌باشد.

- چارت سازمانی و ساختار مدیریت انرژی شرکت
- لیستی از مشخصات ممیزی‌های انرژی صورت گرفته (سطح، دامنه، تاریخ انجام ممیزی، نام ممیز)
- متن گزارش ممیزی‌های انرژی که قبلاً صورت گرفته است
- لیست دوره‌های آموزشی عمومی و تخصصی انرژی شرکت به همراه اسامی دوره دیده‌گان
- لیست فعالیت‌های مدیریت انرژی که تا به حال صورت گرفته است
- لیست تجهیزاتی که باید اندازه‌گیری شوند (به تفکیک واحد و نوع تجهیز)
- لیست اندازه‌گیری‌های مورد نیاز در طول ممیزی انرژی و لیست متغیرهایی که باید اندازه‌گیری شوند

- لیست تجهیزات اندازه‌گیری پرتابل موجود ممیزی شونده
- لیست واحدهای ممیزی شونده به همراه مسئول و رابط هر واحد با سرممیز
- لیست الزامات قانونی و سایر الزامات شرکت در زمینه انرژی
- چک لیست آشنایی با عادات درست و نادرست صرفه‌جویی انرژی کارکنان ممیزی شونده (تکمیل توسط ممیزی شونده)

۲-۱-۴-۴ لیست داده‌ها یا اطلاعات طراحی مورد نیاز

این داده‌ها و اطلاعات معمولاً در زمان تحویل کارخانه توسط سازنده یا صاحب تکنولوژی در اختیار مالکین قرار می‌گیردکه شامل مشخصات فیزیکی و بهره‌برداری از واحدها، فرآیندها و تجهیزات می‌باشد.

- تشریح فرآیند واحدهای عملیاتی شرکت
- PFD[1] و P&ID واحدها
- نقشه دیاگرام تک خطی برق شرکت
- بلوک دیاگرام ورودی‌ها و خروجی‌های جرم و انرژی شرکت (به تفکیک واحد و فرآیند)
- لیست مشخصات نامی تجهیزات عمده انرژی‌بر اعم از کوره الکتریکی (قوس، القایی)، کوره حرارتی، ریفرمر، پمپ، فن، دمنده و کمپرسور (به تفکیک واحد و نوع تجهیز)
- لیست مشخصات نامی تجهیزات عمده مبدل انرژی اعم از بویلر، موتور الکتریکی، توربین بخار و توربین گاز (به تفکیک واحد)
- شناسنامه شبکه تولید، توزیع و مصرف برق
- شناسنامه شبکه تولید، توزیع و مصرف سوخت

1- Process Flow Diagram

- شناسنامه شبکه تولید، توزیع و مصرف بخار
- شناسنامه شبکه تولید، توزیع و مصرف آب صنعتی

۲-۱-۴-۵ لیست داده‌ها یا اطلاعات بهره‌برداری مورد نیاز

این داده‌ها و اطلاعات، شامل مقادیر متغیرهای فرآیندی مثل دبی، دما، فشار و توان در شرایط متفاوت ظرفیت تولید یا راه‌اندازی زمان تحویل[1] می‌باشد.

- داده‌های آب و هوای منطقه در حین ممیزی
- جدول زمانی توقفات برنامه‌ریزی شده احتمالی (جهت تعمیرات و ...) برای تنظیم مجدد برنامه اندازه‌گیری‌ها
- چک لیست شناسایی موارد مصرف انرژی غیر مولد (تکمیل توسط ممیزی شونده)
- فرم‌های اندازه‌گیری پارامترهای مورد نیاز
- لیست سنسورهای مرتبط با فرآیندها یا تجهیزات مورد ممیزی که ممیزی شونده به صحت و دقت آن مشکوک است
- چک لیست شناسایی تلفات آشکار انرژی در سایت (تکمیل توسط ممیزی شونده)

۲-۱-۴-۶ لیست داده‌ها یا اطلاعات زمانی مورد نیاز

این داده‌ها و اطلاعات برای بازه زمانی سه ساله جمع‌آوری شده و معمولاً حاوی اطلاعات مرتبط با وضعیت تولید، ساعات کارکرد، مصارف حامل‌های انرژی و... است.

- داده‌های آب و هوای منطقه در سه سال گذشته (در صورت نیاز، درخواست ممیزی شونده از سازمان هواشناسی)

1- Test Run

- سوابق مصرف حامل‌های انرژی و تولید (در صورت تعدد محصولات به تفکیک واحد)
- قبوض حامل‌های انرژی (برق، گاز، سایر سوخت‌های فسیلی، آب صنعتی، بخار و ...)

۲-۲ دستورالعمل تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده

۲-۲-۱ هدف و دامنه کاربرد دستورالعمل تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده

هدف از تدوین این دستورالعمل، آشنایی ممیزان انرژی با نحوه تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده ممیزی انرژی و دامنه کاربرد این دستورالعمل با توجه به نوع و سطح ممیزی انرژی، تمامی داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز مرتبط با تجهیزات، فرآیندهای صنعتی یا واحدهای عملیاتی شرکت ممیزی شونده است.

۲-۲-۲ مسئولیت تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده

مسئولیت تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده ممیزی انرژی با تیم ممیزی انرژی خصوصاً ممیزان درجه سه به کمک کارشناسان بهره‌برداری یا تولید، نگهداری و تعمیرات، مدیریت انرژی و خدمات فنی و مهندسی (واحدهای مهندسی عمومی و آرشیو) است.

۲-۲-۳ واژگان دستورالعمل تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده

سوابق مصرف حامل‌های انرژی و تولید: طبق مراجع معتبر بین‌المللی، منظور از داده‌های مصرف حامل‌های انرژی و تولید یک شرکت، جمع‌آوری داده‌های تولید و مصارف حامل‌های انرژی واحدهای تولیدی دو تا سه سال اخیر منتهی به شروع ممیزی انرژی می‌باشد. هدف اصلی از بررسی سوابق مصرف حامل‌های انرژی و تولید، دست‌یابی به منحنی‌های مصرف ویژه و جمع انباره واحدهای تولیدی است.

منحنی مصرف ویژه انرژی: نمودارهایی که دارای ضریب رگرسیون نزدیک به یک می‌باشند و دارای دقت خوبی هستند ولی برای برازش بقیه منحنی‌ها با ضریب رگرسیون پایین، باید از منحنی‌های با درجه بالاتری استفاده نمود. استفاده از نمودارهای درجه یک صرفاً به خاطر داشتن شیب خط و عرض از مبدأ است. البته ذکر این نکته ضروری است که منظور از الگوی مصرف انرژی، نحوه مصرف در سه سال اخیر می‌باشد و نه مقادیر هدفی که باید باشد. این نمودار رابطه بین مصرف انرژی با عوامل مؤثر بر تغییر مصرف حامل‌های انرژی نظیر میزان تولید یا درجه حرارت متوسط روزانه منطقه را نشان می‌دهد.

نمودار جمع انباره: این نمودار، جمع انباره تفاضل بین مصرف انرژی واقعی و پیش‌بینی شده را در فواصل زمانی مساوی بر حسب زمان رسم می‌نماید. با رسم منحنی‌هایSEC و CUSUM امکان تعقیب روند مصرف انرژی و بررسی تغییرات آن امکان‌پذیر است. منحنی جمع انباره در هر بازه نمونه‌برداری از مجموع تفاضل مقدار انرژی مصرف شده یا اندازه‌گیری شده در هر لحظه از مقدار انرژی پیش‌بینی شده (که از روی منحنی هدف به دست می‌آید) با مقدار جمع انباره در بازه زمانی قبل به دست می‌آید. این منحنی در هر لحظه میزان صرفه-جویی انرژی را نشان می‌دهد. اگر منحنی انرژی واقعی، زیر منحنی هدف واقع باشد، شیب منحنی جمع انباره منفی و به معنای صرفه‌جویی مصرف حامل‌های انرژی خواهد بود و اگر بالای آن باشد، این شیب مثبت و به معنای تلفات مصرف حامل‌های انرژی خواهد بود و هر تغییر اساسی در شیب این منحنی به منزله تغییر در عملکرد سیستم است. از موارد استفاده این نمودار می‌توان به نشان دادن تغییرات الگوی عملکرد انرژی به صورت زمانی و تعیین زمان آخرین تغییرات (که می‌تواند به عنوان مرجع کنترلی استاندارد انتخاب شود) اشاره نمود.

۲-۲-۴ شرح عملیات تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده

تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده ممیزی انرژی شامل سه مرحله زیر است:

الف- تحلیل قبوض حامل‌های انرژی

ب- تحلیل الگوی مصرف حامل‌های انرژی

ج- تحلیل عملکرد انرژی مقایسه‌ای

الف- تحلیل قبوض حامل‌های انرژی

با تحلیل قبوض حامل‌های انرژی می‌توان به موارد زیر دست یافت:

- تعیین سهم هزینه انرژی در قیمت تمام شده محصول
- تعیین سهم هر یک از حامل‌های انرژی در قیمت کل انرژی
- بررسی صحت و دقت اندازه‌گیری در کنتورهای ورودی برق، گاز و آب
- کنترل تعرفه‌های مختلف در طول روز یا ضرایب فصلی
- شناسایی عوامل بروز جرایم قبوض
- محاسبه بعضی از شاخص‌های انرژی

حال به تشریح هر یک از این موارد می‌پردازیم:

تعیین سهم هزینه انرژی در قیمت تمام شده محصول: با داشتن هزینه جاری سالیانه و ماهیانه تمام شده در سه مورد حامل‌های انرژی، نیروی انسانی و مواد اولیه شرکت و جمع هزینه قبوض حامل‌های انرژی در یک سال و یک ماه، می‌توان به سهم هزینه انرژی در قیمت تمام شده محصول رسید.

سهم هزینه انرژی در قیمت تمام شده محصول= هزینه قبوض حامل‌های انرژی / هزینه جاری شرکت (در یک دوره زمانی مشخص)

تعیین سهم هر یک از حامل‌های انرژی در قیمت کل انرژی: با تقسیم هزینه هر یک از قبوض حامل‌ها به جمع هزینه قبوض حامل‌های انرژی شرکت، سهم هر حامل از هزینه انرژی کل در یک دوره زمانی مشخص، به دست می‌آید.

شناسایی عدم انطباق‌ها خصوصاً در صحت و دقت اندازه‌گیری کنتورهای ورودی از ادارات برق، گاز و آب با مقایسه میزان مصرف انرژی اعلامی قبوض با مقادیر کنتورهای ورودی به کارخانه.

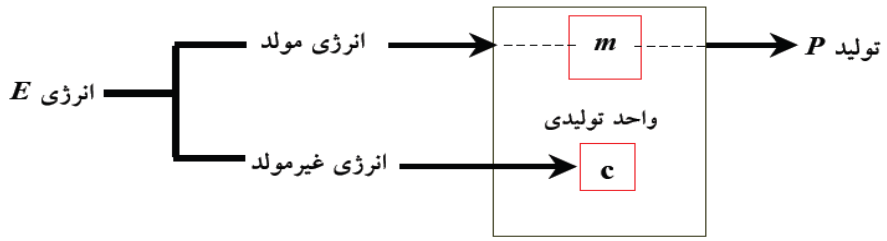
در صورت وجود تعرفه‌های مختلف در طول روز یا ضرایب فصلی و با مطالعه وآگاه‌سازی عمومی کارکنان، می‌توان این هزینه‌ها را بر اساس صرفه‌جویی در مصرف کنترل نمود.

در صورت وجود مواردی از درج جریمه (ماکزیمم دیماند، توان راکتیو) در قبوض، با تحلیل قبوض و شناسایی عوامل بروز این جرایم نسبت به حذف یا کاهش عوامل بروز اقدام نمود.

محاسبه بعضی از شاخص‌های مؤثر در کاهش هزینه‌های انرژی با تحلیل قبوض امکان‌پذیر است. مانند محاسبه مصرف متوسط روزانه برق (کیلووات‌ساعت بر روز) و ضریب بار در قبوض برق و انتخاب گزینه بهتر (تلفیق هزینه دیماند و مصرف انرژی الکتریکی در قالب گزینه‌های یک، دو و سه) در انعقاد یا اصلاح قرارداد خرید دیماند با ادارات توزیع برق عمل نمود.

ب- تحلیل الگوی مصارف حامل‌های انرژی

رسم و تحلیل نمودار مصرف ویژه انرژی: با رسم نمودار مصرف حامل‌های انرژی بر حسب عوامل مؤثر بر تغییر مصرف حامل‌های انرژی نظیر میزان تولید یا درجه حرارت متوسط روزانه می‌توان نوع و میزان حامل‌های انرژی غیر مولد را مشخص و نوع و میزان مصرف حامل‌های انرژی آینده مجموعه را پیش‌بینی نمود. ضمن آنکه مدیریت انرژی در این منحنی، کاهش m و c است.

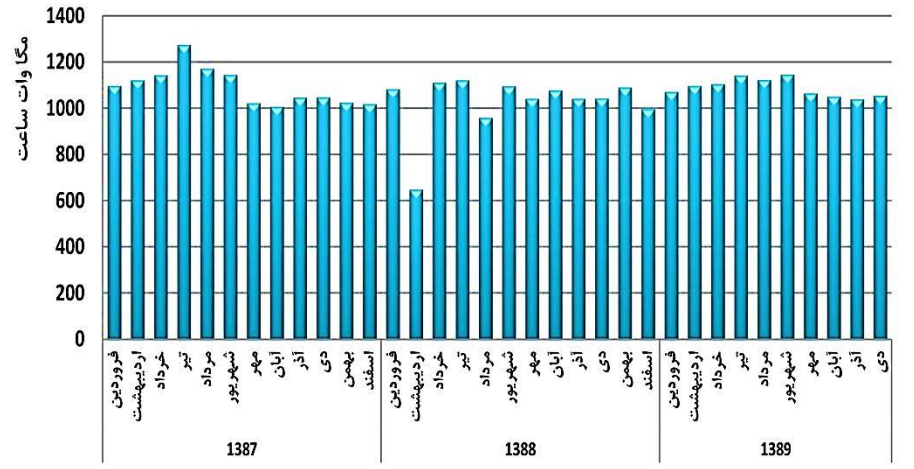


شکل (۲-۱) مشخصات نمودار خطی مصرف ویژه انرژی

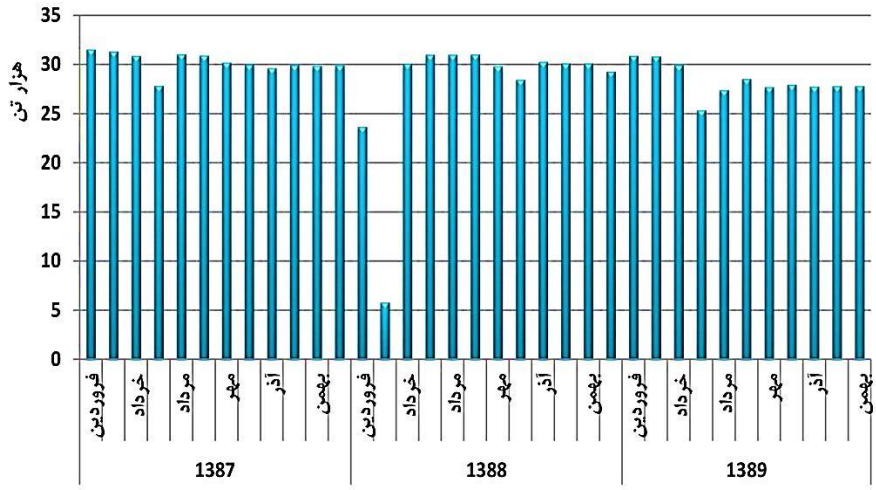
Energy=m * Production + c

m: SEC حامل انرژی یا میزان افزایش حامل انـرژی مصـرفی بـه ازای افـزایش یـک واحد تولید شرکت

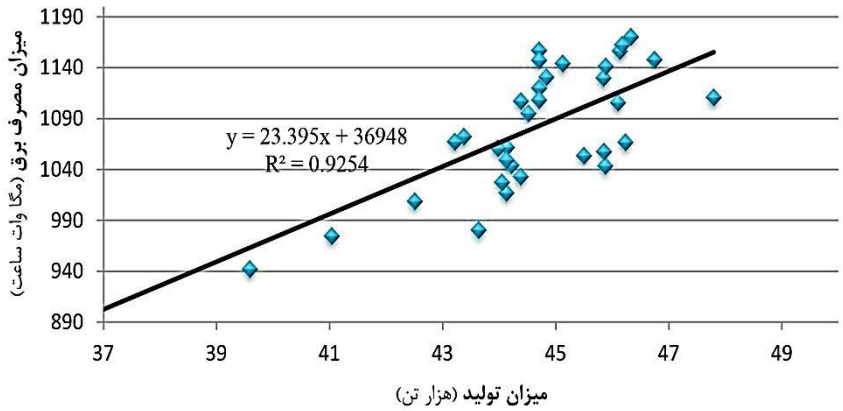
c: میزان انرژی غیر دخیل در فرآیند تولید



شکل (۲- ۲) نمودار سوابق مصارف برق یک واحد تولیدی از یک کارخانه



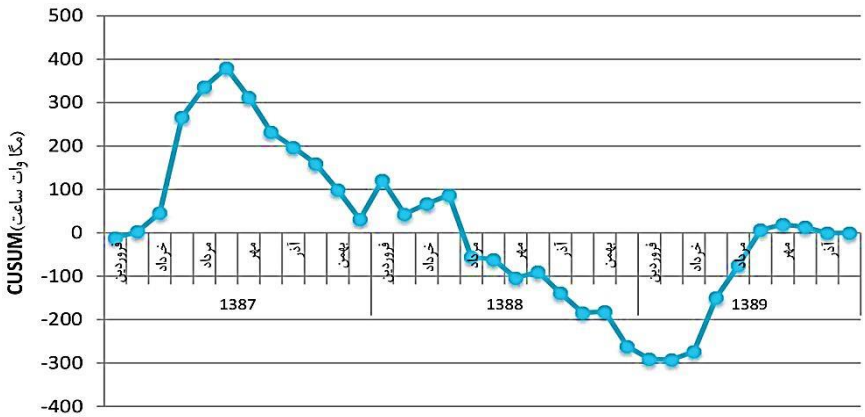
شکل (۲- ۳) نمودار سوابق میزان تولید یک واحد تولیدی از یک کارخانه



شکل (۲- ۴) نمودار الگوی مصرف برق یک واحد تولیدی از یک کارخانه.

مراحل لازم برای رسم منحنی جمع انباره:

- استفاده از فرمول به دست آمده مصرف ویژه انرژی جهت پیش‌بینی انـرژی مصرفی
- یافتن اختلاف بین انرژی مصرفی واقعی و پیش‌بینی شده برای هر دوره زمانی
- جمع اختلافات به دست آمده از اولین دوره زمانی
- ترسیم منحنی جمع انباره نسبت به زمان



شکل (۲- ۵) نمودار جمع انباره برق یک واحد تولیدی از یک کارخانه

ج- تحلیل عملکرد انرژی مقایسه‌ای

برای بررسی عملکرد کلی انرژی یک شرکت، باید تحلیل عملکرد انرژی مقایسه‌ای انجام پذیرد. مهم‌ترین و کلیدی‌ترین شاخص مدیریتی هر مجموعه، میزان مصرف انرژی (مصرف ویژه انرژی[1]) به ازای واحد تولید است. روش‌های متفاوتی برای تعیین هدف جهت این شاخص مدیریتی و مهم وجود دارد:

- میانگین مصرف ویژه انرژی در گذشته را به عنوان هدف در نظر می‌گیرند. (معیارسنجی داخلی)
- میانگین مصرف ویژه انرژی در آخرین دوره اندازه‌گیری (آخرین سال یا آخرین ماه و ...)
- ضریبی از مصرف ویژه انرژی در گذشته (با در نظر گرفتن چند درصد کاهش در SEC)
- مصرف ویژه انرژی فرآیند مشابه در شرکت‌های دیگر (معیارسنجی خارجی، محک‌زنی بیرونی)[2]
- الزامات قانونی یا شرکتی

جدول (۲-۱) محک‌زنی بیرونی یک واحد فرآیند صنعتی با معیارهای مختلف

سال	ممیزی شونده	الزام قانونی		الزام شرکتی		بین المللی		تکنولوژ	
	SEC محاسباتی	SEC_{T1}	درصد انحراف شرکت	SEC_{T2}	درصد انحراف شرکت	SEC_{T3}	درصد انحراف شرکت	SEC_{T4}	درصد انحراف شرکت

شاخص: مصرف ویژه انرژی – واحد: مگاژول بر تن

1- Specific Energy Consumption

2- External Benchmarking

۲-۳ دستورالعمل تعریف و نحوه محاسبه شاخص‌های مدیریتی

۲-۳-۱ هدف و دامنه کاربرد دستورالعمل تعریف و نحوه محاسبه شاخص‌های مدیریتی

این دستورالعمل، تشریح فرآیند تعریف و نحوه محاسبه شاخص‌های مدیریتی عملکرد انرژی در شرکت جهت ایجاد درک مشترک، هم‌افزایی و تقویت توان و قابلیت‌های موجود مدیریت ارشد و تمامی سطوح کارکنان[۱] در تحقق چشم‌انداز شرکت در بخش انرژی تدوین شده است.

۲-۳-۲ مسئولیت تعریف و نحوه محاسبه شاخص‌های مدیریتی

مسئولیت تعریف و نحوه محاسبه شاخص‌های مدیریتی بر عهده ممیزان انرژی درجه یک یا دو به تأیید مدیران ارشد شرکت می‌باشد.

۲-۳-۳ واژگان دستورالعمل تعریف و نحوه محاسبه شاخص‌های مدیریتی

عملکرد انرژی: نتایج قابل اندازه‌گیری مرتبط با مصرف، کاربرد و بهره‌وری انرژی (طبق متن استاندارد ایزو ۵۰۰۰۱)[۲]

شاخص عملکرد انرژی: مقدار عددی یا میزان عملکرد انرژی تعریف شده در شرکت (طبق متن استاندارد ایزو ۵۰۰۰۱)[۳]

اهداف راهبردی: موقعیت‌ها و مقادیر کمی تعریف شده جهت عناصر چشم‌انداز که در مقاطع زمانی مشخص باید شرکت به آن‌ها برسد. (میزان ظرفیت و تولید، میزان سوددهی و...)

۱- مدیران ارشد و میانی- کارشناسان کلیدی انرژی-عموم کارکنان

2-Energy Performance: Measurable Results Related to Energy Efficiency, use and Consumption

3-Energy Performance Indicator: Quantitative Value or Measure of Energy Performance as Defined by the Organization.

فاکتور اصلی موفقیت: عوامل کلیدی و مؤثر قابل شناسایی و هدف‌گذاری در محیط رقابت جهت موفقیت بنگاه و تحقق چشم‌انداز در مقایسه با رقبا، فاکتور اصلی موفقیت است.

شاخص‌های کلیدی عملکرد انرژی[1]: شاخص‌های کلیدی که بهبود آن‌ها در سطح کلان در راستای افزایش بهره‌وری انرژی شرکت مهم و کلیدی است.

شاخص‌های عمومی عملکرد انرژی: شاخص‌های عملکردی که بهبود آن‌ها در سطح کلان و خرد در راستای افزایش بهره‌وری انرژی شرکت مثبت است ولی اهمیت و تأثیر شاخص‌های کلیدی را ندارند.

اهمیت شاخص عملکرد انرژی: با توجه به وجود تحصیلات، مهارت‌ها و وظایف متفاوت کارکنان کلیدی انرژی در یک واحد تولیدی، ممکن است هر یک از کارکنان، برای بررسی عملکرد انرژی یک شرکت، واحد، فرآیند یا تجهیز، نظر متفاوتی داشته باشد. مثلاً در یک واحد تولیدی در مورد نحوه پایش عملکرد انرژی یک پمپ، ممکن است نظراتی از قبیل پایش آمپر توسط کارشناس برق، پایش دبی یا هد توسط کارشناس مکانیک و پایش نقطه کاری پمپ و مقایسه با BEP[2] توسط کارشناس بهره‌بردار عنوان گردد و با وجودی که ممکن است تمامی موارد اخیر جزء متغیرهای مؤثر بر بهره‌وری انرژی پمپ باشد، اما نکته مهم پراکندگی آرای کارشناسان مختلف است که شرکت را برای مدیریت یکپارچه انرژی دچار سردرگمی خواهد کرد. لذا به جای تمرکز بر متغیرها، باید با تعریف شاخص‌های کلیدی و عمومی انرژی در سطوح متفاوت شرکت بتوان به ایجاد درک مشترک، هم‌افزایی و تقویت توان و قابلیت‌های موجود و در نهایت بهبود بهره‌وری انرژی رسید.

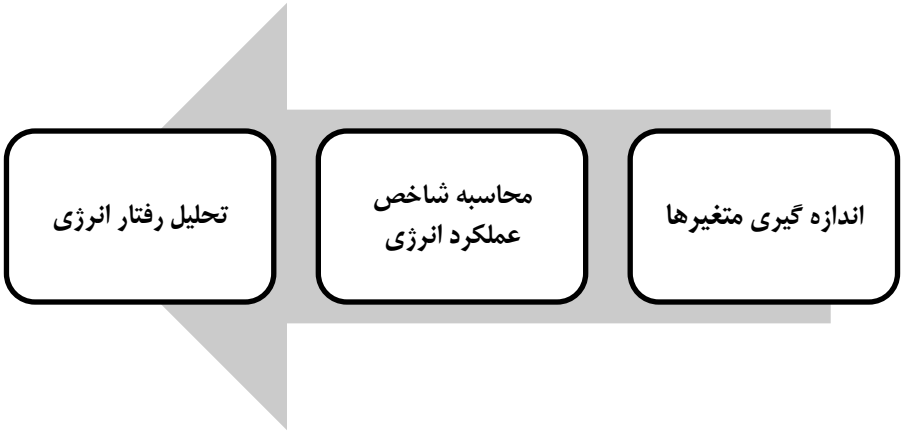
1- KEnPI:Key Energy Performance Indicator

2- Best Efficiency Point

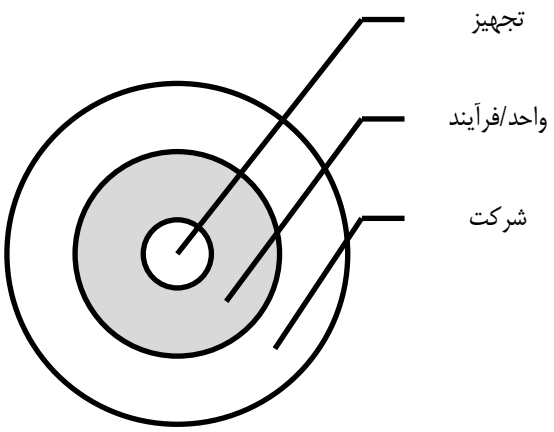
متغیرهای مؤثر بر مصرف انرژی: در یک واحد تولیدی متغیرهای مؤثر بر کنترل و حفاظت فرآیند، معمولاً توسط حسگرها، اندازه‌گیری، ثبت و ضبط می‌شوند که در این دستورالعمل، مجالی برای بررسی متغیرهای حفاظتی فرآیند وجود ندارد. همان‌گونه که مشخص است متغیرهای کنترلی مورد نظر تجهیزات صنعتی و فرآیندها عبارتند از: دما، فشار، دبی و توان که ابتدا باید این متغیرها با توجه به تعریف شاخص عملکرد انرژی، اندازه‌گیری یا برداشت شوند و پس از محاسبه شاخص‌های عملکرد انرژی، رفتار این شاخص را تحلیل و تفسیر نمود.

سطوح شرکت برای تعریف عملکرد انرژی: شاخص عملکرد انرژی همان‌گونه که از نامش مشخص است، شاخصی برای ارزیابی عملکرد انرژی در سطوح مختلف یک شرکت است.

این سطوح می‌تواند کل شرکت، واحدها، فرآیندهای تولیدی و تجهیزات انرژی‌بر و مبدل انرژی آن شرکت باشد. لذا ضروری به نظر می‌رسد تا به‌جای تمرکز بر متغیرها، بر شاخص‌های عملکرد انرژی متمرکز شد.



شکل (۲- ۶) روند بررسی عملکرد انرژی



شکل (۲- ۷) سطوح مختلف شرکت برای تعریف عملکرد انرژی

انواع شاخص‌های عملکرد انرژی: با توجه به آنکه تصمیم‌گیران و تصمیم‌سازان در زمینه برنامه و طرح اجرایی مدیریت انرژی شرکت، به ترتیب مدیران و کارشناسان کلیدی انرژی می‌باشند، لذا برای پایش و پاسخگویی باید دو نوع شاخص عملکرد انرژی مخصوص این دو سطح تعریف گردد:

- شاخص مدیریتی عملکرد انرژی
- شاخص عملیاتی عملکرد انرژی

البته برای هر یک از شاخص‌های مدیریتی و عملیاتی از جهت اهمیت، می‌توان شاخص‌های کلیدی و عمومی تعریف نمود.

ویژگی‌های شاخص عملکرد انرژی: با توجه به آنکه یک شاخص عملکرد انرژی باید ابتدا به صورت فرمولی تعریف و سپس در دو حالت موجود و هدف محاسبه و با هم مقایسه شود، لذا باید ویژگی‌های مندرج در جدول زیر را داشته باشد.

جدول (۲-۲) ویژگی‌های یک شاخص عملکرد انرژی

SMART	مشخصه شاخص
Specific	مشخص و شفاف و بدون نیاز به تفسیر
Measurable	قابل پایش و اندازه‌گیری
Achievable	دست‌یافتنی
Relevant	مرتبط و مناسب
Time bound	دارای برنامه و محدوده زمانی

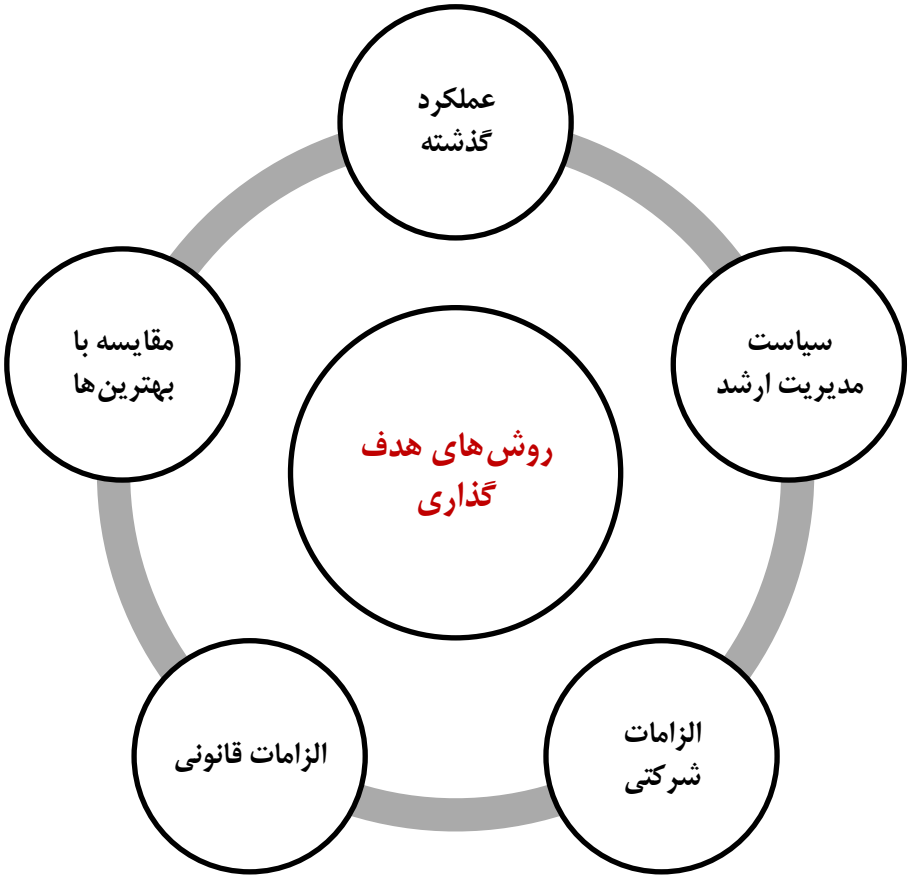
هدف‌گذاری شاخص عملکرد انرژی: برای بررسی روند بهبود شاخص‌های کلیدی/ عمومی عملکرد انرژی، باید هدف‌گذاری شاخص‌ها در یک دوره زمانی معین، با یکی و یا ترکیبی از روش‌های زیر انجام شود:

- براساس روند عملکرد گذشته انرژی شرکت، واحد، فرآیند، تجهیز
- بر اساس اسناد بالادستی، سیاست‌های مدیریت ارشد و ارزیابی‌های سیستم‌ها و ابزارهای مدیریتی
- بر اساس نیازها و انتظارات ذی‌نفعان به صورت الزامات شرکتی
- بر اساس الزامات قانونی و مقررات حاکم
- بر اساس مقایسه با بهترین‌ها در صنعت در سطح بین‌المللی، کشوری و ...

غالباً تدوین اهداف بر اساس ترکیبی از موارد فوق صورت می‌پذیرد و به‌طورکلی بر اساس منابع و قابلیت‌های داخلی (موجود و قابل کسب در دوره مورد پایش) و همچنین بر اساس فرصت‌ها و تهدیدها (استفاده از فرصت‌ها و تقویت نقاط ضعف داخلی، استفاده از نقاط قوت و تبدیل تهدید به فرصت یا محدود نمودن آثار تهدیدهای بیرونی) شکل خواهد گرفت.

هدف‌گذاری با استفاده از روند عملکرد گذشته: این روش برای هدف‌گذاری

شاخص‌های عملکرد انرژی با هدف کسب موقعیت بهتر و غالباً جهت بهبودهای تدریجی به‌کار می‌رود. در این شیوه معمولاً تغییرات و بهبودها، جزئی بوده و غالباً منابع و قابلیت‌های جدید نیاز ندارد. در صورت کسب نتایج چشمگیر و تحولی در اینگونه موارد، شاخص‌های مورد نظر احتمالاً در گذشته هدف‌گذاری نشده و منابع موجود به درستی مدیریت نشده است. لذا قابلیت جدید صرفاً به علت توجه و کاهش تلفات آشکار و قابل کنترل یا بهبود روش عملکرد بدون نیاز به منابع جدید حاصل شده است.



شکل (۲-۸) روش‌های هدف‌گذاری شاخص‌های عملکرد انرژی

جدول (۲-۳) مزایا و معایب روش استفاده از روند گذشته

مزایا	معایب
احتمال تحقق بالا وجود دارد.	منجر به تغییرات تحولی نمی‌شود.
به سادگی قابل درک و تشریح می‌باشد.	مقایسه با بهترین‌ها در صنعت وجود ندارد.
معمولاً نتایج در اهداف واقع‌بینانه توسط کارکنان پذیرفته می‌شود.	در صورت عدم وجود سوابق عملکردی، هدف‌گذاری با تأخیر انجام شده یا امکان هدف‌گذاری وجود ندارد. در مورد برخی شاخص‌ها که نتایج، نوسان دارد بازنگری میان دوره‌ای انجام می‌شود.

هدف‌گذاری با استفاده از روش نیازها و انتظارات ذی‌نفعان: استفاده از این روش در تدوین اهداف باعث می‌شود تمرکز شرکت بر ذی‌نفعان و انتظارات آن‌ها تقویت گردد. یکی از عوامل مؤثر موفقیت در این روش وجود مطالعات دقیق مربوط به ذی‌نفعان و تحلیل نیازها و انتظارات آن‌ها می‌باشد.در برخی موارد ممکن است انتظارات ذی‌نفعان از قابلیت‌ها و ظرفیت‌های موجود شرکت فراتر باشد. لذا باید تلاش نمود تا حد ممکن این نیازها مدیریت شده و جهت مطالعات و تدوین برنامه استراتژیک و برنامه‌های آتی مدنظر قرار گیرند و احتمالاً منشأ سرمایه‌گذاری و ایجاد تغییرات بنیادی و توسعه‌های بعدی باشند.

جدول (۲-۴) مزایا و معایب روش نیازها و انتظارات ذی‌نفعان

مزایا	معایب
مناسب و در جهت اهداف استراتژیک	در برخی موارد برآورده نمودن انتظارات ذی‌نفعان دشوار است.
به سادگی قابل تشریح و توجیه‌پذیر می‌باشند	تحقیقات مرتبط با ذی‌نفعان ممکن است نیازمند سرمایه‌گذاری در منابع باشد.
تحقیقات، شناسایی و درک انتظارات ذی‌نفعان در جهت اطلاع‌رسانی بهبودها و ارتقای خدمات مؤثر می‌باشند.	

هدف‌گذاری براساس الزامات قانونی و مقررات حاکم یا مقاصد استراتژیک: گاهی رسیدن به سطحی از عملکرد انرژی، جزء الزامات قانونی و مقررات حاکم بر حوزه فعالیت شرکت می‌باشد. همچنین در برخی موارد ممکن است اهداف، براساس خواست و دستورات مدیران ارشد و بر اساس انتظارات آن‌ها ترسیم شود. در برخی موارد هدف‌گذاری در راستای سیاست‌گذاری و خطوط استراتژیک انجام می‌شود. هدف‌گذاری در چنین وضعیتی بسیار واضح و روشن می‌باشد.

جدول (۲-۵) مزایا و معایب روش الزامات قانونی و مقررات حاکم یا مقاصد استراتژیک

مزایا	معایب
همراستا با اهداف و انتظارات ذی‌نفعان	ممکن است اهداف واقع‌بینانه نباشند.
اهداف به‌راحتی قابل توجیه هستند	با توجه به اینکه منشأ اینگونه اهداف از اسناد بالادستی یا مراجع بیرونی می‌باشد، انگیزه کافی برای مدیران و کارکنان جهت تحقق آن‌ها وجود ندارد.

هدف‌گذاری بر اساس استانداردهای صنعتی: در این روش خصوصاً در زمینه ارتباطات حرفه‌ای و حضور در مجامع و تشکل‌های رسمی، هدف‌گذاری‌ها براساس استانداردهای صنعتی یا نرم‌هایی انجام می‌شود که در صنعت به طور وسیعی به عنوان بهترین پذیرفته شده‌اند. استانداردهای صنعتی به صورت گسترده‌ای مورد بررسی و تحقیقات قرار گرفته و در حد قابل قبولی کنترل و به صورت آزمایشگاهی آزمایش شده‌اند. این استانداردها از متدلوژی و روش‌های مناسب برخوردار بوده و با توجه به اینکه بررسی شده و مناسب می‌باشند، قابل دست‌یابی بوده و هم‌راستا با اهداف کلان شرکت‌ها هستند.

چنانچه عملکرد و نتایج شاخص‌های مورد نظر پایین‌تر از سطح مورد انتظار باشند، این روش هدف‌گذاری می‌تواند تغییرات بنیادی را در فرآیندهای حوزه مرتبط با انرژی لازم داشته باشد. لذا ضمن سرمایه‌گذاری و نیاز به منابع و قابلیت‌های جدید، زمینه ارتقای بهره‌وری انرژی شرکت را فراهم می‌نماید. البته در این روش به علت تفاوت‌های ناشی از نیازهای متمایز ذی‌نفعان یا شرایط کسب و کار شرکت، اغلب لازم است تا استانداردهای موردنظر، متناسب با شرایط شرکت، تطبیق داده شود.

جدول (۲-۶) جدول مزایا و معایب روش استانداردهای صنعتی براساس بهترین تجارب در صنعت

مزایا	معایب
غالباً براساس تحقیقات و تحلیل‌های مناسب می‌باشند.	غالباً لازم است براساس شرایط منطقه‌ای تطبیق داده شود
روش مناسبی جهت ایجاد نظم و تعهد به مقررات و استانداردها.	انجام تطابق اغلب به زمان زیاد و تحلیل‌های پیچیده نیازمند است.
به راحتی قابل دفاع وتشریح است.	
می‌تواند منشأ تغییرات بنیادی و کلی شود.	

روش الگوبرداری از بهترین‌ها در صنعت[1]

در مواقعی که استانداردهای موجود نتوانند منشأ هدف‌گذاری مناسب باشند، می‌توان با بررسی شاخص‌های مورد نظر انرژی در حوزه‌های مشابه از نتایج رقبا و همتایان داخلی و خارجی جهت هدف‌گذاری استفاده نمود؛ البته ممکن است دست‌یابی به نتایج و مقادیر قابل مقایسه بهترین‌ها در صنعت، دشوار و نیازمند زمان طولانی باشد. چرا که یافتن شرکت‌هایی که بتوان نتایج آن‌ها را جهت مقایسه منطقی و سازنده استفاده نمود، کار دشواری است. علاوه بر این، اهداف تدوین شده بر اساس الگوبرداری از بهترین‌ها در صنعت ممکن است به دلیل عدم انجام آزمون‌های کافی و نداشتن اطلاعات و جزئیات مربوط به شاخص‌های مورد نظر، به سادگی مورد انتقاد کارکنان قرار گیرند.

جدول (۲-۷) مزایا و معایب روش الگوبرداری از بهترین‌ها در صنعت

مزایا	معایب
می‌تواند منشأ تغییرات بنیادی و کلی شود.	الگوها باید مناسب و قابل قیاس باشند.
می‌توانند محرکی جهت توسعه ظرفیت‌ها و قابلیت‌ها باشند.	یافتن روش دستیابی مناسب می‌تواند دشوار باشد.
اهداف دست‌یافتنی هستند چرا که دیگران آن را محقق نموده‌اند.	نیازمند تحلیل‌های طولانی و زمان‌بر می‌باشد.

1- External Benchmarking

۲-۳-۴ شرح عملیات تعریف و نحوه محاسبه شاخص‌های مدیریتی

مراحل بررسی رفتاری شاخص انرژی

مراحل زیر برای بررسی رفتاری شاخص انرژی در سطوح متفاوت شرکت باید قدم به قدم انجام پذیرد:

۱- برگزاری دوره آموزشی «شاخص‌های عملکرد انرژی» برای مدیران ارشد و میانی و کارشناسان کلیدی انرژی شرکت

۲- تعریف شاخص عملکرد انرژی در دو سطح مدیریتی (توسط کمیته عالی مدیریت انرژی شرکت) و عملیاتی (توسط کمیته انرژی واحدهای شرکت) برای هریک از سطوح و تهیه چک لیست با محتوای زیر:

- شاخص‌های عملکرد انرژی کلیدی مدیریتی
- شاخص‌های عملکرد انرژی عمومی مدیریتی
- شاخص‌های عملکرد انرژی کلیدی عملیاتی
- شاخص‌های عملکرد انرژی عمومی عملیاتی

۳- تعیین مقادیر هدف برای هر یک از شاخص‌ها براساس تکنیک‌های هدف‌گذاری

۴- جمع‌آوری، اندازه‌گیری داده‌ها و متغیرهای مورد نیاز برای محاسبه شاخص‌های موجود

۵- محاسبه شاخص‌های موجود عملکرد انرژی

۶- مقایسه بین شاخص‌های موجود و هدف عملکرد انرژی و محاسبه میزان انحراف از هدف

۷- تفسیر و شناسایی علل انحراف شاخص‌ها و شناسایی پتانسیل‌های صرفه‌جویی انرژی

۸- تدوین طرح اجرایی مدیریت انرژی شرکت بر اساس شاخص‌های عملکرد انرژی شرکت

شاخص‌های مدیریتی عملکرد انرژی: شاخص‌های مدیریتی عملکرد انرژی، شاخص‌هایی هستند که توسط مدیریت ارشد پایش پاسخگویی می‌شوند و از نگاه ملی یا از منظر ذی‌نفعان دارای اهمیت زیادی هستند. از شاخص‌های مدیریتی می‌توان به سه مورد زیر اشاره نمود که به نظر می‌رسد هر سه کلیدی نیز هستند:

الف- مصرف ویژه انرژی شرکت

ب- سهم هزینه انرژی در قیمت تمام شده محصولات شرکت

ج- رتبه سیستم مدیریت انرژی شرکت

در ادامه به نحوه محاسبه هر یک پرداخته می‌شود.

الف- مصرف ویژه انرژی شرکت: انرژی مصرفی معادل در یک دوره زمانی مشخص تقسیم بر تولید همان دوره (که ممکن است جزء الزامات قانونی باشد.)

نحوه محاسبه مصرف ویژه انرژی: یکی از شاخص‌های عملکرد انرژی مدیریتی، شاخص مصرف ویژه انرژی شرکت برای شرکت‌های با یک تولید و شاخص مصرف انرژی واحدهای تولیدی برای شرکت‌هایی با چند تولید می‌باشد. برای تعیین شاخص مصرف ویژه انرژی شرکت‌های تک محصوله، فرمول محاسبه آسان و عبارت است از: میزان مصرف انرژی به ازای واحد تولید در یک دوره زمانی مشخص.

برای شرکت‌های چند محصوله به منظور محاسبه مصرف ویژه هر واحد با محصول خاص، باید ابتدا حامل‌های انرژی، مشخص و میزان انرژی ورودی و خروجی حامل ها تعیین گردد. به‌طورکلی در یک واحد فرآیندی مهم‌ترین حامل‌های انرژی یا یوتیلیتی شامل آب دمین، برق، بخار، گازطبیعی (البته به عنوان سوخت نه خوراک)، هوای فشرده ابزار دقیق و پلنت، انواع گازها مانند ازت یا اکسیژن و... می‌باشند که میزان جریان آن‌ها تعیین‌کننده نقش آن‌ها در انرژی واحد می‌باشد. جهت بررسی و تعیین شاخص مصرف ویژه انرژی واحدها نیاز است که میزان مصرف و تولید حامل‌های انرژی و همچنین میزان تولید در یک بازه زمانی مشخص و جمع‌آوری گردد.

براساس استانداردهای جهانی عموماً شاخص مصرف ویـژه انـرژی یـک واحـد تولیـدی طبق حامل‌های اصلی و تأثیر گذارتر مانند بـرق، بخـار و گـاز بـه دسـت مـی‌آیـد و نقـش حامل‌های دیگر، جزئی خواهد بود. به هر حال جهت تعیین دقیق‌تر شاخص مصـرف ویـژه انرژی نیاز است میزان مصرف و تولید تمامی حامل‌ها وجود داشته باشـد. شـاخص مصـرف ویژه انرژی یک حامل انرژی از تقسیم میزان مصرف انرژی حامـل در یـک دوره زمـانی بـه تولید محصول شرکت یا واحد عملیاتی مربوط به آن حامل به دسـت مـی‌آیـد کـه انـرژی حامل می‌تواند انرژی نهفته در آن یا انرژی‌ای باشد که صرف تولید آن گردیده است.

$$\text{SEC حامل} = \frac{\text{میزان مصرف انرژی حامل در یک دوره زمانی}}{\text{تولید واحد در همان دوره زمانی}}$$

حامل‌های ورودی به واحد، انرژی را به سیستم داخل و حامل‌های خروجی انـرژی را از سیستم خارج می‌کنند. در جایی که واکنش شیمیایی گرمازا یا گرمـا گیـر نیـز وجـود داشته باشد، میزان انرژی آن در محاسبه SEC منظور می‌گردد.

Σ SEC حامل‌های خارج کننده انرژی-Σ SEC حامل‌های وارد کننده انرژی=SECکل

در پاره‌ای از فرآیندها، ماده ورودی یا خروجی نیز دارای مقدار زیاد انـرژی اسـت کـه در محاسبات لحاظ می‌گردد.

به‌طورمثال مصرف ویژه انرژی هر یک از حامل‌های انرژی یک واحد که بـرای تولیـد محصول خود، چهار حامل برق، گاز طبیعی، بخار و آب دمین مصرف می‌کند، از جـداول زیر محاسبه می‌شود. مصرف ویژه انـرژی واحـد، در صـورت نـاچیز بـودن مقـادیر بقیـه حامل‌های فرعی مثل هوای فشرده، کندانس، آب کولینگ و جریانات سرد وگـرم ورودی و خروجی به واحد، جمع جبری چهار عدد نهایی جداول (مصرف ویژه انرژی حامل‌هـای انرژی) است.

جدول (۲-۸) محاسبه مصرف ویژه برق واحد

ماه	تولید واحد (تن)	میزان مصرف برق (KWh)	KCal/KWh	GCal/month	SEC (GCal/ton)	SEC (T) (GCal/ton)	SEC (T) (GJ/ton)
فروردین							
اردیبهشت							
خرداد							
تیر							
مرداد							
شهریور							
مهر							
آبان							
آذر							
دی							
بهمن							
اسفند							

جدول (۲-۹) محاسبه مصرف ویژه گاز طبیعی واحد

ماه	تولید واحد (تن)	میزان مصرف گاز (نرمال متر مکعب)	Nm^3/hr	$KCal/Nm^3$	GCal/month	SEC (GCal/ton)	SEC (T) (GCal/ton)	SEC (T) (GJ/ton)
فروردین								
اردیبهشت								
خرداد								
تیر								
مرداد								

								شهریور
								مهر
								آبان
								آذر
								دی
								بهمن
								اسفند

جدول (۲-۱۰) محاسبه مصرف ویژه آب دمین واحد

SEC (T) (GJ/ton)	SEC (T) (GCal/ton)	SEC (GCal/ton)	GCal/hr	KCal/Kg	آب دمین (متر مکعب)	تولید واحد (تن)	ماه
							فروردین
							اردیبهشت
							خرداد
							تیر
							مرداد
							شهریور
							مهر
							آبان
							آذر
							دی
							بهمن
							اسفند

جدول (۲-۱۱) محاسبه مصرف ویژه بخار واحد

ماه	تولید واحد (تن)	بخار (تن)	KCal/Kg	GCal/month	SEC (GCal/ton)	SEC (T) (GCal/ton)	SEC (T) (GJ/ton)
فروردین							
اردیبهشت							
خرداد							
تیر							
مرداد							
شهریور							
مهر							
آبان							
آذر							
دی							
بهمن							
اسفند							

ب- سهم هزینه انرژی در قیمت تمام شده محصولات شرکت: هزینه انرژی سالیانه به هزینه مجموع هزینه‌های جاری تولید محصول اعم از مواد اولیه، نیروی انسانی و انرژی و...، (که ممکن است با اعمال نظر ذی‌نفعان جزء الزامات شرکتی باشد.)

ج-رتبه سیستم مدیریت انرژی شرکت (که ممکن است در راستای سیاست مدیریت ارشد باشد.)

با استفاده از این دستورالعمل، نماینده مدیریت در سیستم مدیریت انرژی شرکت به عنوان متولی استقرار و نگهداری سیستم مدیریت انرژی در شرکت می‌تواند هر سال، از

کمیته عالی انرژی شرکت متشکل از مدیران ارشد و میانی مرتبط با انرژی (بهره‌برداری-خدمات فنی و مهندسی-نگهداری و تعمیرات و ...)، جهت تشکیل یک کارگاه آموزشی تعیین رتبه سیستم مدیریت انرژی شرکت دعوت نماید. با تشکیل کارگاه آموزشی به مدیریت نماینده مدیریت، در قالب ۲ گروه و بحث و تبادل نظر بین گروه‌ها، پرسش‌نامه تعیین رتبه حاوی صد پرسش تکمیل می‌گردد. این ۱۰۰ پرسش، مجموعاً حداکثر دویست امتیاز دارند و باید با تأیید نهایی نماینده مدیریت برای هر یک از پاسخ‌ها و پس از تبادل نظر گروه‌ها تکمیل گردد. با تایید هر یک از پاسخ‌های پرسش‌نامه ۱۰۰ تایی که در فرم‌های ۱۲ گانه تعیین رتبه سیستم مدیریت انرژی شرکت در ادامه آمده است، نماینده مدیریت باید در صورت‌جلسه‌ای که به امضای ایشان و هر یک از اعضای کمیته حاضر در کارگاه رسیده است (که باید حداقل نصف به علاوه یک کل کمیته عالی انرژی شرکت باشند)، نسبت به محاسبه امتیاز و رتبه سیستم مدیریت انرژی شرکت اقدام نماید. با دست‌یابی به رتبه سیستم مدیریت انرژی (DیاC،B،A) نقاط ضعف و قوت این سیستم مدیریت انرژی، شناسایی خواهد شد و سازمان مدیریت انرژی شرکت (اعم از مدیرعامل، نماینده مدیریت در سیستم مدیریت انرژی، کمیته عالی مدیریت انرژی، بخش کنترل و مدیریت انرژی و کمیته‌های تخصصی انرژی بخش‌های تولیدی، سرویس‌های جانبی و ساختمان) باید نسبت به ارتقای این رتبه با استقرار و نگهداری مناسب قابل پایش و بهبود مستمر سیستم مدیریت انرژی با تدوین و اجرای برنامه‌های مدیریت انرژی جهت رسیدن به اهداف کلان و خرد انرژی آن شرکت اقدام نمایند.

برای آنکه بتوان رتبه سیستم مدیریت انرژی در شرکت را در زمان‌های مختلف به دست آورد، باید پرسش‌نامه صد پرسشی ماکزیمم ۲۰۰ امتیازی تکمیل گردد. پاسخ به پرسش‌ها باید یکی از پاسخ‌های کاملاً مطابق با الزامات سیستم مدیریت انرژی، تا حدودی مطابق با الزامات سیستم مدیریت انرژی و عدم یا نامناسب بودن مستند، با امتیازهایی به ترتیب ۲، ۱ و صفر باشد.

جدول (۲-۱۲) امتیازبندی و رتبه‌بندی سیستم موجود مدیریت انرژی شرکت

بخش	حداکثر امتیاز	درصد اهمیت از کل	امتیاز کسب شده
مسئولیت‌پذیری مدیریت	۱۰	۵	
مسئولیت‌پذیری مدیریت	۱۰	۵	
خط مشی انرژی	۱۲	۶	
بیانیه خط مشی یکپارچه و انرژی	۱۲	۶	
طرح‌ریزی	۶۴	۳۲	
بازنگری و جنبه‌های انرژی	۲۴	۱۲	
الزامات قانونی و سایر الزامات	۱۰	۵	
اهداف و مقاصد انرژی	۱۸	۹	
برنامه‌های انرژی	۱۲	۶	
اجرا و عملیات	۵۰	۲۵	
آگاهی و آموزش	۸	۴	
ارتباطات	۱۲	۶	
مستندسازی سیستم مدیریت انرژی	۶	۳	
کنترل مستندات	۱۴	۷	
کنترل عملیات	۱۰	۵	
بررسی عملکرد	۵۶	۲۸	
پایش و اندازه‌گیری	۱۲	۶	
عدم انطباق، اقدام اصلاحی یا پیشگیرانه	۱۰	۵	
کنترل سوابق	۲۰	۱۰	
ممیزی داخلی	۱۴	۷	
بازنگری مدیریت	۸	۴	
بازنگری مدیریت	۸	۴	
مجموع	۲۰۰	۱۰۰	

با توجه به نمره مجموع به‌دست آمده و طبق مراجع موجود، اگر امتیاز بین صفر تا ۵۰ باشد، رتبه سیستم مدیریت انرژی شرکت،D و اگر امتیاز مجموع بین ۵۱ تا ۱۰۱، بین ۱۰۲ تا ۱۸۰ و بین ۱۸۱ تا ۲۰۰ باشد، رتبه سیستم مدیریت انرژی شرکت به ترتیب C، B و A خواهد بود.

جدول (۲-۱۳) چک لیست‌های تعیین رتبه سیستم مدیریت انرژی شرکت

ردیف	چک لیست۱- تعیین امتیاز مسئولیت‌پذیری مدیریت	ارزیابی وضعیت موجود			امتیاز
		الف	ب	ج	
الف-کاملاً مطابق با الزامات سیستم مدیریت انرژی ب-تا حدودی مطابق با الزامات سیستم مدیریت انرژی ج-عدم یا نامناسب بودن مدرک					
۱	آیا وظایف، مسئولیت‌ها و سطح اختیارات در سطوح مرتبط تعریف و مشخص شده است؟				
۲	آیا منابع کافی اختصاص یافته است؟ (مانند آموزش‌های ویژه، منابع مالی و سرمایه‌گذاری در تکنولوژی)				
۳	آیا نماینده مدیریت تعیین شده است؟				
۴	آیا نماینده مدیریت، مسئولیت و قدرت اطمینان از اجرای منطبق بر استاندارد سیستم مدیریت انرژی را دارا می‌باشد؟				
۵	آیا گزارشات منظم جهت بررسی پیشرفت و عملکرد سیستم مدیریت انرژی به مدیریت ارائه می‌شود؟				
جمع امتیازات					

ردیف	چک لیست۲- تعیین امتیاز خط مشی	ارزیابی وضعیت‌موجود			امتیاز
		الف	ب	ج	
الف-کاملاً مطابق با الزامات سیستم مدیریت انرژی ب- تا حدودی مطابق با الزامات سیستم مدیریت انرژی ج- عدم یا نامناسب بودن مدرک					
۶	آیا شرکت، دارای خط مشی انرژی مورد تأیید مدیریت ارشد آن می باشد؟				
۷	آیا خط مشی انرژی، متناسب با همه فعالیت‌ها، محصولات و خدمات شرکت می‌باشد؟				
۸	آیا خط مشی شرکت، متعهد به برآورده سازی قوانین موجود، مقرارت و دیگر الزامات می‌باشد؟				
۹	آیا خط مشی شرکت، شامل تعهد به بهبود مستمر عملکرد انرژی است؟				
۱۰	آیا خط مشی شرکت، مستند، اجرا، نگهداری و برای تمام کارکنان توضیح داده شده است؟				
۱۱	آیا خط مشی شرکت برای عموم در دسترس است؟				
جمع امتیازات					

ردیف	چک لیست۳- تعیین امتیاز شناسایی جنبه‌های بارز انرژی	ارزیابی وضعیت موجود			امتیاز
		الف	ب	ج	
الف-کاملاً مطابق با الزامات سیستم مدیریت انرژی ب-تا حدودی مطابق با الزامات سیستم مدیریت انرژی ج-عدم یا نامناسب بودن مدرک					
۱۲	آیا شرکت، جنبه‌های عمده انرژی فرآیندهای عملیاتی را شناسایی کرده است؟				

۱۳	آیا لیست جنبه‌های انرژی به‌طورمنظم به‌روز می‌شود؟				
آیا موارد زیر در شناسایی‌ها آمده است:					
۱۴	خرید مواد اصلی یا جانبی، تجهیزات انرژی بر یا واحدهای عملیاتی و خدمات				
۱۵	تمامی فرآیندهای عملیاتی				
۱۶	تحلیل مصرف انرژی				
۱۷	جنبه‌های بارز مانیتورینگ (دراز مدت)				
۱۸	ارتباط بین اندازه‌گیران، مصرف‌کنندگان انرژی و فرآیندها				
۱۹	شاخص‌های کلیدی				
۲۰	تمامی حامل‌های مهم انرژی (برق، بخار، گاز و آب دمین)				
۲۱	آیا اهمیت مصرف انرژی در طول ایجاد واحد تولیدی یا یک فرآیند جدید مورد توجه قرار گرفته است؟				
۲۲	آیا تأثیر تغییرات ساختاری فعالیت‌های موقتی بر مصرف انرژی مشخص شده است؟				
۲۳	آیا لیست جنبه‌های انرژی به کارکنان مربوطه شرکت انتقال یافته است؟				
جمع امتیازات					

ردیف	چک لیست۴- تعیین امتیاز الزامات قانونی و سایر الزامات	ارزیابی وضعیت موجود			امتیاز
		الف	ب	ج	
الف-کاملاً مطابق با الزامات سیستم مدیریت انرژی ب-تا حدودی مطابق با الزامات سیستم مدیریت انرژی ج-عدم یا نامناسب بودن مدرک					
۲۴	آیا روشی جهت شناسایی الزامات قانونی و دیگر الزامات کاربردی مشخص و به‌طور منظم به‌روز می‌شود؟				

۲۵	آیا شرکت، الزامات قانونی و دیگر الزاماتی را که باید برآورده شود، مستند کرده است؟				
۲۶	آیا توافقات ایجاد شده با افراد با نفوذ و قدرتمند با مصرف انرژی مرتبط است و قابل ردیابی است؟				
۲۷	آیا الزامات قانونی و دیگر الزامات کاربردی مرتبط با مصرف انرژی، در سطح عملیاتی، شناخته شده‌اند؟				
۲۸	آیا الزامی جهت گزارش به افراد مربوطه وجود دارد؟				
جمع امتیازات					

ردیف	چک لیست۵- تعیین امتیاز اهداف کلان و خرد انرژی	ارزیابی وضعیت موجود			امتیاز
		الف	ب	ج	
الف-کاملاً مطابق با الزامات سیستم مدیریت انرژی ب-تا حدودی مطابق با الزامات سیستم مدیریت انرژی ج-عدم یا نامناسب بودن مدرک					
۲۹	آیا شرکت، طرح اجرایی مشخصی در زمینه صرفه‌جویی انرژی دارد؟				
۳۰	آیا به بهبود غیر مستقیم اثرات انرژی در تدوین اهداف خرد و کلان انرژی توجه شده است؟ (مانند: بهینه سازی مواد اولیه،کاهش مصرف سوخت سیستم ترابری مجتمع، آموزش افراد و ...)				
آیا در تعیین و ارزیابی اهداف خرد، موضوعات زیر مورد توجه قرار گرفته است؟					
۳۱	الزامات قانونی				
۳۲	جنبه‌های عمده انرژی				
۳۳	وضعیت فناوری				
۳۴	نیازهای مالی، تجاری و عملیاتی				
۳۵	تمایل شرکای سوم یا شرکای خارجی				

۳۶	کاهش مصرف انرژی در شرکت‌های مشابه یا فرآیندهای مشابه				
۳۷	آیا اهداف خرد و کلان انرژی با خط مشی انرژی سازگاری دارد؟				
جمع امتیازات					

ردیف	چک لیست۶- تعیین امتیاز برنامه‌های مدیریت انرژی	ارزیابی وضعیت موجود			امتیاز
		الف	ب	ج	
الف-کاملاً مطابق با الزامات سیستم مدیریت انرژی ب- تا حدودی مطابق با الزامات سیستم مدیریت انرژی ج- عدم یا نامناسب بودن مدرک					
آیا در برنامه‌های مدیریت انرژی موارد زیر مشخص شده است؟					
۳۸	مسئولیت‌ها برای دست‌یابی به اهداف خرد و کلان انرژی				
۳۹	اهداف خرد و کلان مرتبط با جنبه‌های عمده انرژی				
۴۰	روش‌های دست‌یابی به این اهداف				
۴۱	جدول زمان‌بندی دست‌یابی به این اهداف				
۴۲	آیا برنامه‌های مدیریت انرژی با سایر فعالیت‌های شرکت سازگاری دارد؟				
۴۳	آیا پیشرفت فعالیت‌ها پیگیری می‌شود؟				
جمع امتیازات					

ردیف	چک لیست۷- تعیین امتیاز آموزش و آگاه‌سازی	ارزیابی وضعیت‌موجود			امتیاز
		الف	ب	ج	
الف-کاملاً مطابق با الزامات سیستم مدیریت انرژی ب- تا حدودی مطابق با الزامات سیستم مدیریت انرژی ج- عدم یا نامناسب بودن مدرک					
۴۴	آیا شرکت، نیازهای آموزشی خود را مشخص کرده است؟ (نیاز سنجی آموزشی انجام می‌شود؟)				

۴۵	برای افراد مؤثر بر مصرف انرژی آموزش‌های اثر بخش جهت ارتقاء در نظر گرفته شده است؟				
۴۶	آیا لیستی از میزان تجربه کارمندان وجود دارد؟ (شناسنامه آموزشی)				
۴۷	آیا می‌توان نشان داد که فعالیت‌ها در جهت بهبود آگاهی کارکنان بوده است؟ (دوره‌های آموزشی اثر بخشند؟)				
جمع امتیازات					

ردیف	چک لیست۸- تعیین امتیاز ارتباطات	ارزیابی وضعیت موجود			امتیاز
		الف	ب	ج	
الف-کاملاً مطابق با الزامات سیستم مدیریت انرژی ب-تا حدودی مطابق با الزامات سیستم مدیریت انرژی ج-عدم یا نامناسب بودن مدرک					
۴۸	چگونگی ارتباطات داخلی در سطوح مختلف و پست‌های مختلف مشخص شده است؟				
۴۹	آیا روشی که از طریق آن، شرکت عملکرد انرژی را به شرکای خارجی خود انتقال دهد وجود دارد؟				
آیا موارد زیر مستند شده است؟					
۵۰	گروه‌های هدف مختلف منطبق بر جنبه‌های بارز انرژی				
۵۱	اطلاعات مرتبط با هر گروه هدف				
۵۲	روش های ارتباطی				
۵۳	مسئولیت‌های لازم برای اجرای ارتباطات				
جمع امتیازات					

ردیف	چک لیست۹- تعیین امتیاز مستندسازی سیستم مدیریت انرژی	ارزیابی وضعیت‌موجود			امتیاز
		الف	ب	ج	
الف-کاملاً مطابق با الزامات سیستم مدیریت انرژی ب-تا حدودی مطابق با الزامات سیستم مدیریت انرژی ج-عدم یا نامناسب بودن مدرک					
۵۴	آیا عناصر اصلی در سیستم مدیریت انرژی مستند شده است؟ (مانند بیانیه‌ها و اعلامیه‌های خط مشی، لیست جنبه‌های انرژی، لیست الزامات قانونی و دیگر الزامات، برنامه‌های انرژی، کنترل مدارک، اندازه‌گیری و سیستم ثبت، سوابق انرژی، گزارشات ممیزهای مدیریت انرژی و بازنگری‌های مدیریت)				
۵۵	آیا ارتباط بین این اجزا مشخص شده است؟ آیا عملکرد سیستم مدیریت انرژی توصیف شده است؟				
۵۶	آیا ارتباط با مستندات دیگر مشخص شده است؟				
جمع امتیازات					

ردیف	چک لیست۱۰- تعیین امتیاز کنترل مدارک	ارزیابی وضعیت موجود			امتیاز
		الف	ب	ج	
الف-کاملاً مطابق با الزامات سیستم مدیریت انرژی ب-تا حدودی مطابق با الزامات سیستم مدیریت انرژی ج-عدم یا نا مناسب بودن مدرک					
۵۷	آیا روش اجرایی برای کنترل مدارک وجود دارد؟				
۵۸	آیا این روش اجرایی به ارزیابی های دوره ای، اصلاحات و تأییدها مرتبط است یا روش اجرایی دیگری آن‌ها را پوشش می‌دهد؟ (آیا روش اجرایی دارای شاخص می‌باشد؟)				

۵۹	آیا تمامی مدارک مرتبط با سیستم مدیریت انرژی به‌صورتی مرتب و در دسترس هستند؟				
۶۰	آیا مدارک منسوخ سریعاً از چارچوب کاری حذف می‌شوند؟				
۶۱	آیا مدارک منسوخ هم به‌طور منظم نگهداری می‌شوند؟				
۶۲	آیا روشی که از طریق آن اطلاعات اتوماتیک و نرم‌افزارهای پایش انرژی مدیریت می‌شوند، مستند شده است؟				
۶۳	آیا مدتی که مدارک مختلف باید نگهداری شوند مشخص شده است؟				
جمع امتیازات					

ردیف	چک لیست۱۱- تعیین امتیاز کنترل عملیات	ارزیابی وضعیت موجود			امتیاز
		الف	ب	ج	
الف-کاملاً مطابق با الزامات سیستم مدیریت انرژی ب- تا حدودی مطابق با الزامات سیستم مدیریت انرژی ج- عدم یا نا مناسب بودن مدرک					
۶۴	آیا توجه ویژه‌ای به مدیریت جنبه‌های عمده انرژی می‌شود؟				
۶۵	آیا به روش اجرایی یا دستورالعمل کاری به خصوص در نواحی که عدم وجود مدارک می‌تواند منجر به افزایش مصرف انرژی گردد، توجه می‌شود؟				
۶۶	آیا معیارها و استانداردهای مصرف برای جنبه‌های عمده انرژی تعیین شده است؟				
۶۷	آیا در هنگام خرید تجهیزات انرژی بر و یا خدمات مرتبط با انرژی به جنبه‌های انرژی توجه می شود؟				
۶۸	آیا فعالیت‌های تأمین‌کنندگان و پیمان‌کاران با رویکرد انرژی ارزیابی می‌شود؟				
جمع امتیازات					

ردیف	چک لیست۱۲- تعیین امتیاز پایش و اندازه‌گیری	ارزیابی وضعیت موجود			امتیاز
		الف	ب	ج	
الف-کاملاً مطابق با الزامات سیستم مدیریت انرژی ب-تا حدودی مطابق با الزامات سیستم مدیریت انرژی ج-عدم یا نا مناسب بودن مدرک					
۶۹	آیا مصرف انرژی فعالیت‌های عملیاتی مشخص به طور منظم اندازه‌گیری، ثبت، آنالیز و گزارش می‌شود؟				
۷۰	آیا ارزیابی تطابق با الزامات استاندارد به صورت دوره‌ای حداقل سالی یک بار انجام می‌پذیرد؟				
۷۱	آیا نتایج اندازه‌گیری‌ها حداقل سالی یک بار به منظور ارزیابی عملکرد مکانیسم‌های مدیریت و اهداف خرد و کلان ارزیابی می‌شوند؟				
۷۲	آیا سوابق اندازه‌گیری ها با شاخص‌های کلیدی و الگوها مقایسه می‌شوند؟				
۷۳	آیا مسئول یا کارشناس انرژی در شرکت برای بررسی و گزارش‌دهی موارد فوق تعیین شده است؟				
۷۴	آیا ابزارهای اندازه‌گیری کالیبره، نگهداری و تعمیر شده‌اند و سوابق آن‌ها موجود است؟				
جمع امتیازات					

ردیف	چک لیست۱۳- تعیین امتیاز عدم انطباق، عملیات اصلاحی و پیشگیرانه	ارزیابی وضعیت‌موجود			امتیاز
		الف	ب	ج	
الف-کاملاً مطابق با الزامات سیستم مدیریت انرژی ب-تا حدودی مطابق با الزامات سیستم مدیریت انرژی ج-عدم یا نا مناسب بودن مدرک					
۷۵	آیا مسئولیت‌ها جهت ارزیابی عدم انطباق و اجرای اقدام اصلاحی و پیشگیرانه مشخص شده است؟				

در مواقع عدم انطباق:					
۷۶	آیا دلیل عدم انطباق بررسی شده و اقدام اصلاحی صورت گرفته است؟				
۷۷	آیا اثر بخشی اقدام اصلاحی و پیشگیرانه مشخص شده است؟				
۷۸	آیا سوابق اقدام اصلاحی و پیشگیرانه نگهداری می‌شود؟				
۷۹	آیا تأمین کنندگان از اقدامات اصلاحی و پیشگیرانه مؤثر بر توافقات مرتبط با انرژی مطلع می‌شوند؟				
جمع امتیازات					

ردیف	چک لیست۱۴- تعیین امتیاز کنترل سوابق	ارزیابی وضعیت موجود			امتیاز
		الف	ب	ج	
الف-کاملاً مطابق با الزامات سیستم مدیریت انرژی ب-تا حدودی مطابق با الزامات سیستم مدیریت انرژی ج-عدم یا نا مناسب بودن مدرک					
۸۰	آیا مستندات کنترل سوابق آماده شده است؟				
۸۱	آیا سوابق خوانا، قابل شناسایی و ردیابی هستند؟				
آیا موارد زیر در سوابق آمده است:					
۸۲	مصرف انرژی در هر دپارتمان یا واحد				
۸۳	شاخص‌های مصرف یا مالی				
۸۴	شاخص‌های فرآیند یا واحد				
۸۵	پایش				
۸۶	شاخص‌های فنی				
۸۷	ارزیابی پروژه				
۸۸	آنالیز گرافیکی				
۸۹	آیا مدت نگهداری سوابق مشخص شده است؟				
جمع امتیازات					

ردیف	چک لیست۱۵- تعیین امتیاز ممیزی داخلی	ارزیابی وضعیت موجود			امتیاز
		الف	ب	ج	
الف-کاملاً مطابق با الزامات سیستم مدیریت انرژی ب-تا حدودی مطابق با الزامات سیستم مدیریت انرژی ج-عدم یا نا مناسب بودن مدرک					
۹۰	آیا ممیزی داخلی در نواحی‌که مدیریت انرژی در آن اجرا شده است، حداقل یک بار در سال انجام می‌شود؟				
آیا ممیزی داخلی سیستم مدیریت انرژی به موارد زیر توجه دارد؟					
۹۱	عملیات مؤثر سیستم مدیریت انرژی (برنامه‌ها، روش اجرایی و دستورالعمل‌ها)				
۹۲	روش‌های ثابت کاری و مسئولیت‌ها در زمینه جنبه‌های انرژی برای مدیریت فعالیت‌ها و عملکرد ثبت و ارزیابی مکانیسم‌ها				
۹۳	آماده سازی مدیریت با اطلاعاتی در مورد ممیزی				
۹۴	آیا فعالیت‌های مدیریت مصرف انرژی در راستای برنامه مدیریت انرژی شرکت هستند؟				
۹۵	میزان تجربه و دانش اعضا و کارکنان متخصص				
۹۶	آیا یک برنامه زمان‌بندی شده ممیزی داخلی متناسب با اهمیت فعالیت‌های انرژی و نتایج ممیزی‌های قبلی وجود دارد؟				
جمع امتیازات					

ردیف	چک لیست۱۶- تعیین امتیاز بازنگری مدیریت	ارزیابی وضعیت‌موجود			امتیاز
		الف	ب	ج	
الف-کاملاً مطابق با الزامات سیستم مدیریت انرژی ب-تا حدودی مطابق با الزامات سیستم مدیریت انرژی ج-عدم یا نا مناسب بودن مدرک					
۹۷	آیا سیستم مدیریت انرژی توسط مدیریت حداقل، سالی یک بار بازنگری می‌شود؟				

۹۸	در این بازنگری آیا توجه ویژه‌ای به تأثیر سیستم و خط مشی وجود دارد؟				
۹۹	آیا اطلاعات لازم و کافی برای ارزیابی سیستم مدیریت انرژی گردآوری شده است؟				
۱۰۰	با توجه به تغییرات قوانین و لزوم بهبود مستمر، آیا خط مشی و اهداف عینی مورد بازنگری و تغییر قرار می‌گیرند؟				
جمع امتیازات					

همان‌گونه که در جمع‌بندی این بخش در جدول زیر مشخص است، می‌توان نقش شاخص‌های عملکرد انرژی را در بهبود وضعیت جریان انرژی در یک شرکت تولیدی بیشتر احساس نمود. با تعریف، پایش و بهبود شاخص‌های عملکرد انرژی می‌توان به افزایش بهره‌وری انرژی شرکت کمک نمود.

جدول (۲-۱۴) نمونه پایش شاخص‌های عملکرد انرژی

شاخص عملکرد انرژی	منبع تعریف شاخص/هدف	وضعیت موجود	وضعیت مطلوب	راهکار بهبود شاخص
مصرف ویژه انرژی	الزامات قانونی	۸۹۰kWh/ton	۷۰۰ kWh/ton	انجام ممیزی انرژی جامع
سهم انرژی در قیمت تمام شده محصول	ذی‌نفعان	٪۷	٪۶	کاهش تلفات آشکار انرژی
رتبه سیستم مدیریت انرژی	سیاست مدیریت ارشد	C	A	استقرار و نگهداری ایزو۵۰۰۰۱

۲-۴ دستورالعمل تعریف شاخص‌های عملیاتی مصرف انرژی

۲-۴-۱ هدف و دامنه کاربرد دستورالعمل تعریف و نحوه محاسبه شاخص‌های عملیاتی

این دستورالعمل، تشریح فرآیند تعریف و نحوه محاسبه شاخص‌های عملیاتی عملکرد انرژی در شرکت، جهت بررسی کیفیت و کمیت تولید، توزیع و مصرف انرژی شرکت است.

۲-۴-۲ مسئولیت تعریف و نحوه محاسبه شاخص‌های عملیاتی

مسئولیت تعریف و نحوه محاسبه شاخص‌های مدیریتی بر عهده کمیته انرژی واحدهای شرکت و ممیزان انرژی درجه یک یا دو به تأیید مدیران بخش‌های تولیدی شرکت می‌باشد.

۲-۴-۳ واژگان دستورالعمل تعریف و نحوه محاسبه شاخص‌های عملیاتی

شاخص عملیاتی عملکرد انرژی: شاخص‌هایی که موجب بررسی وضعیت و میزان مصارف انرژی در سطح فرآیندهای صنعتی و تجهیزات انرژی‌بر و مبدل انرژی تعریف، محاسبه و تحلیل می‌شوند و بر اساس اهمیت، می‌توانند کلیدی یا عمومی باشند.

۲-۴-۴ شرح عملیات تعریف و نحوه محاسبه شاخص‌های عملیاتی

پس از تعریف شاخص‌ها، باید در دو حالت موجود (شرایط پایدار بهره‌برداری) و هدف (که ممکن است نامی، مشخصات تکنولوژی، مقادیر بین‌المللی یا منطقه‌ای، الزامات قانونی، الزامات داخلی شرکت‌ها و ... باشد) محاسبه و مقایسه گردد. درصد انحراف شاخص عملکرد انرژی تجهیز در حالت‌های موجود و هدف، نشانگر میزان انحراف عملکرد انرژی از عملکرد بهینه می‌باشد. در ادامه، به تعریف و نحوه محاسبه برخی از شاخص‌های عملکرد انرژی تجهیز پرداخته شده است. البته مشروح هر یک از شاخص‌های عملکرد انرژی به تفکیک تجهیز در بخش سه آمده است.

الف- شاخص عملکرد انرژی عملیاتی- کلیدی

این شاخص که مهمترین شاخص عملکرد انرژی هر تجهیز می‌باشد، کارایی است که نسبت انرژی خروجی از تجهیز به انرژی ورودی است. این شاخص می‌تواند پس از اندازه‌گیری پرتابل یا قرائت میترهای مرتبط با متغیرهای مورد نیاز مانند دبی یا توان الکتریکی، از منحنی مشخصه تجهیز استخراج شود یا با اندازه‌گیری یا شبیه‌سازی انرژی‌های ورودی و خروجی و از فرمول انرژی خروجی از تجهیز به انرژی ورودی به آن، محاسبه گردد. بدیهی است در کارکرد تجهیز بهترین کارایی در شرایط بار نامی رخ خواهد داد.

ب- شاخص‌های عملکرد انرژی عملیاتی- عمومی

شاخص LOD

تعریف: درصد بارگذاری درایور تجهیز، اگر موتور الکتریکی باشد. این شاخص عبارت از نسبت توان مصرفی به توان نامی الکتروموتور است. با محاسبه این شاخص می‌توان دریافت که با فاصله گرفتن توان الکتریکی موتور از مقدار طراحی و کاهش درصد بارگذاری، کارایی موتور کاهش می‌یابد.

$$LOD = \frac{\text{توان الکتریکی مصرفی}}{\text{توان نامی}}$$

نحوه برداشت و محاسبه شاخص: توان نامی الکتروموتور از دیتاشیت یا پلاک مربوط به هر تجهیز به‌دست می‌آید. توان مصرفی، در صورت اندازه‌گیری پرتابل یا، برداشت از سنسورهای ثابت، لاگ شیت و یا با استفاده از شبیه‌سازی محاسبه می‌گردد.

شاخص SEC_1

انرژی ویژه به ازای محصول، یا شاخص جذب، نشان می‌دهد که تجهیز چه میزان انرژی به ازای تولید محصول مصرف می‌کند. این شاخص باید با شرایط طراحی مقایسه گردد.

برق مصرفی تجهیز به واحد تولید محصول SEC_1=kWh/ton

نحوه برداشت و محاسبه شاخص: توان نامی از دیتاشیت یا پلاک تجهیز و توان بهره‌برداری و میزان تولید از اندازه‌گیری پرتابل یا برداشت از سنسورهای ثابت یا لاگ شیت به‌دست می آید.

شاخص SEC_2

انرژی ویژه به ازای دبی جرمی، نشان می‌دهد که تجهیز چه مقدار انرژی برای ظرفیت واقعی عملیاتی خود مصرف کرده است. روند تغییرات این شاخص گویای صرفه‌جویی یا تلفات مقدار مصرف انرژی تجهیز خواهد بود.

نحوه برداشت/ محاسبه شاخص:

برق مصرفی تجهیز به دبی جرمی تجهیز $SEC_2=P/Q=$ kWh/kg

میزان مصرف برق و دبی جرمی تجهیز در شرایط طراحی (توان نامی) از دیتاشیت یا پلاک مربوط به هر تجهیز و میزان توان الکتروموتور و میزان دبی جرمی تجهیز بهره‌برداری از اندازه‌گیری پرتابل آنلاین یا برداشت از دستگاه یا سنسورهای ثابت یا لاگ شیت به‌دست می آید.

شاخص CAP

ظرفیت تجهیز، شاخص میزان دبی جرمی عبوری در حالت بهره‌برداری به میزان دبی نامی تجهیز می‌باشد. این شاخص نشان می‌دهد که ظرفیت تجهیز، نسبت به حالت طراحی آن چه میزان است. هر چه شاخص CAP به عدد یک نزدیک‌تر باشد، بدین معنی است که عملکرد تجهیز از لحاظ مصرف انرژی در شرایط مطلوب‌تری است. در واقع معمولاً بیشترین کارایی تجهیز در حالت دبی طراحی می‌باشد. با توجه به منحنی مشخصه تجهیزات، دور شدن از شرایط کارایی ایده‌آل علاوه بر ایجاد لرزش و صدای زیاد در تجهیز (که باعث افزایش فرسایش، تعمیرات و کاهش طول عمر تجهیز می‌گردد)، کارایی عملکرد تجهیز را کاهش و در نتیجه اتلاف انرژی را افزایش می‌دهد.

$$CAP = \frac{\text{دبی عملیاتی}}{\text{دبی نامی}}$$

نحـوه برداشـت و محاسـبه شـاخص: دبـی گذرنـده از تجهیـز در حالـت طراحـی از دیتاشیت و دبی گذرنده از تجهیز با استفاده از تگ دبـی (در صـورت وجـود)، موازنـه یـا شبیه‌سازی (در صورت امکان) یا اندازه‌گیری به‌دست می‌آید.

شاخص YEC

میزان مصرف انرژی سالانه تجهیز در شرکت تولیدی است.

- نحوه برداشت و محاسبه شاخص:

$$YEC = \sum HP/\eta \times OH \times LF \times K$$

که در آن

YEC = مصرف انرژی سالانه

N = تعداد تجهیز

HP = توان نامی تجهیز (کیلووات)

η = بازده نامی موتور

OH = ساعات کاری سیستم تجهیز در سال (week/yr . day/week . hr/day)

LF = ضریب بار تجهیز

شاخص YEP

قیمت انرژی سالانه تجهیز در شرکت تولیدی است.

نحوه برداشت و محاسبه شاخص:

YEP =YEC (kWh)× Energy Price (Rials/kWh)

مرحله سه

تحلیل شبکه‌ها، تجهیزات انرژی‌بر و مبدل انرژی

۳-۱ دستورالعمل تحلیل احتمال خطر (ریسک)[1] تجهیزات انرژی‌بر[2] و مبدل انرژی[3]

۳-۱-۱ هدف و دامنه کاربرد دستورالعمل تحلیل احتمال خطر تجهیزات انرژی بر و مبدل انرژی

هدف از تدوین این دستورالعمل، آشنایی ممیزان انرژی با نحوه تحلیل احتمال خطر انرژی در تجهیزات انرژی‌بر و مبدل انرژی به عنوان جنبه‌های انرژی[4] است. دامنه کاربرد این دستورالعمل با توجه به نوع و سطح ممیزی انرژی، تمامی تجهیزات انرژی‌بر و مبدل انرژی مرتبط با آن سطح ممیزی (کلیه تجهیزات موجود در یک فرآیند صنعتی یا واحد عملیاتی یا شرکت تولیدی) را شامل می‌شود.

۳-۱-۲ مسئولیت تحلیل احتمال خطر تجهیزات انرژی‌بر و مبدل انرژی

مسئولیت تحلیل احتمال خطر تجهیزات انرژی‌بر و مبدل انرژی با تیم تحلیل

1- Risk Analysis
2- Energy ConsumerEquipments
3- Energy Converter Equipments
4- Energy Aspects

احتمال خطر انرژی شرکت تولیدی است. پیشنهاد می‌شود این تیم، حداقل متشکل از کارشناسان بهره‌برداری یا تولید، نگهداری و تعمیرات و مدیریت انرژی باشد.

۳-۱-۳ واژگان دستورالعمل تحلیل احتمال خطر تجهیزات انرژی‌بر و مبدل انرژی

تجهیزات انرژی‌بر: تجهیزی است که حداقل یکی از حامل‌های انرژی را مصرف می‌کند. کوره حرارتی، کوره الکتریکی، پمپ، کمپرسور، فن و دمنده از جمله تجهیزات انرژی‌بر هستند.

تجهیزات مبدل انرژی: تجهیزات تبدیل کننده انرژی از حالتی به حالت دیگر هستند. مانند بویلر (گاز به بخار)، توربین بخار (بخار به انرژی مکانیکی)، توربین گاز (گاز به انرژی مکانیکی) و الکتروموتور (برق به انرژی مکانیکی) تجهیزات مبدل انرژی هستند.

تحلیل احتمال خطر انرژی: روشی تحلیلی برای شناسایی میزان بالقوه و علل تلفات انرژی موجود در تجهیزات و فرآیندهای صنعتی تحلیل احتمال خطر انرژی گویند.

انواع تلفات انرژی: تلفات انرژی در یک واحد صنعتی به دو صورت آشکار و پنهان است که اغلب هنگام تحلیل هزینه‌های تولید عمدتاً بر کاهش هزینه‌های نیروی انسانی و مواد اولیه تأکید می‌کنند. اما بررسی جامع عوامل مؤثر بر هزینه نهایی تولید، موارد دیگری را نیز در ارتباط با تلفات انرژی تجهیزات انرژی‌بر یا مبدل انرژی را شامل می‌شود که می‌توان آن‌ها را هزینه‌های تلفات پنهان انرژی نامید. این موارد عبارتند از:

- نگهداری و تعمیرات نامناسب شامل نقص فنی اساسی یا از کار افتادن، تنظیم نادرست، نقص فنی جزیی یا عملکرد بی‌بار تجهیزات انرژی‌بر یا مبدل انرژی
- شاخص‌های نامناسب عملکرد انرژی تجهیزات انرژی‌بر یا مبدل انرژی اعم از کار در خارج از نقطه و ناحیه بهینه، پایین بودن کیفیت مواد اولیه و خوراک تولید، تلفات راه اندازی تجهیزات انرژی‌بر یا مبدل انرژی

در واقع تلفات و هزینه‌های تولید را می‌توان شبیه یک کوه یخی دانست که قسمت اعظم آن در زیر آب و از نظر پنهان است. جدول زیر ارتباط بین تلفات عملکرد تجهیزات و مصرف انرژی را نشان می‌دهد.

جدول (۳-۱) شناسایی انواع، منابع و هزینه‌های تلفات انرژی

نوع تلفات	منبع تلفات	هزینه تلفات
آشکار	کیفیت پایین مواد اولیه	افزایش مصرف و هزینه انرژی، غیرقابل قبول شدن محصول، افزایش هزینه‌ها
	پایین بودن سطح دانش فنی پرسنل	بهره‌وری پایین نیروی انسانی، افزایش مصرف و هزینه انرژی
	استفاده از فناوری‌های قدیمی	افزایش مصرف و هزینه انرژی ناشی از بهره‌وری پایین فرآیندها و تجهیزات
پنهان	نقص فنی اساسی و از کار افتادن تجهیزات	توقف تولید، افزایش تلفات انرژی و هزینه
	کنترل نامناسب	افزایش تلفات انرژی و هزینه
	نقص فنی جزئی یا عملکرد بی‌بار تجهیزات	توقف برخی از بخش‌های تولید، افزایش تلفات انرژی و هزینه
	عملکرد تجهیز در خارج نقطه کاری	کاهش بازده، افزایش تلفات انرژی و هزینه
	پایین بودن کیفیت تولید	افزایش مصرف و هزینه انرژی جهت جبران عملکرد نامناسب پرسنل و تجهیزات
	راه‌اندازی تجهیزات	افزایش مصرف انرژی و هزینه، جهت جبران خطای پرسنل و طراحی ناکارای تجهیزات در راه‌اندازی

۳-۱-۴ شرح عملیات تحلیل احتمال خطر انرژی، تجهیزات انرژی‌بر و مبدل انرژی

مراحل هشت گانه تحلیل احتمال خطر انرژی، تجهیزات عبارتند از:

الف- تشکیل تیم تحلیل احتمال خطر

ب- شناسایی جنبه‌های انرژی (تجهیزات انرژی‌بر و مبدل انرژی)

ج- تعیین و ارزیابی شاخص احتمال وقوع

د- تعیین و ارزیابی شاخص شدت تأثیر

ه- تعیین و ارزیابی شاخص احتمال تشخیص

و- تعیین و ارزیابی عدد و رتبه احتمال خطر

ز- شناسایی و تهیه لیست جنبه‌های بارز انرژی

ح- تدوین برنامه مناسب کنترل و مدیریت جنبه‌های بارز انرژی

شروع یا ادامه هدفمند و برنامه‌ریزی شده فعالیت‌های مدیریت انرژی، برای کارشناسان شرکت‌های مختلف، می‌تواند متفاوت باشد. ولی در یک برنامه هدفمند مدیریت انرژی با توجه به معیارهای ممیزی انرژی، ابتدا باید اولویت‌های کاری فعالیت‌ها تعیین شود. به عبارتی این سؤال ذهن کارشناسان را مشغول نموده است که از کجا باید اقدامات مدیریت انرژی و به ویژه ممیزی انرژی را شروع کرد. برداشت برخی از مدیران و کارشناسان صنایع انرژی‌بر این است که تجهیزات پرمصرف‌تر (دارای شدت مصرف انرژی بالاتر)، پتانسیل و احتمال خطر بالاتری در تلفات انرژی دارند و لذا اولویت شروع فعالیت‌ها از تجهیزات با توان نامی یا توان مصرفی یا انرژی مصرفی سالیانه، بیشتر است. در این دستورالعمل، علاوه بر شدت مصرف انرژی، به عوامل دیگری که بر کیفیت و عملکرد انرژی در تجهیزات تأثیر دارند، توجه شده است.

از آنجایی‌که مصارف انرژی در تجهیزات، دارای آحاد و مقیاس‌های متفاوتی هستند، برای کمی نمودن، ارزیابی و اولویت‌بندی فعالیت‌های مدیریت مصرف انرژی خصوصاً در

تجهیزات انرژی‌بر و مبدل انرژی، از روش تحلیلی FMEA[1] استفاده می‌شود که مـی‌کوشـد تا حد ممکن احتمال خطرهای بالقوه یا بالفعل موجود در محدوده ارزیابی و علل و اثرات مرتبط با آن را شناسایی و رتبه‌بندی کند. این تحلیل، متأثر از سه عامل احتمـال وقـوع، شدت تأثیر و احتمال تشخیص بوده و برای هر یک از جنبه‌هـای انـرژی شناسـایی و بـا استفاده از این سه فاکتور، عدد[2] و رتبه احتمال خطر هر جنبه انرژی قابل محاسبه است. در ادامه هر یک از متغیرهای مؤثر در محاسبه شاخص RPN و جداول ارزیابی بـرای هـر یک از جنبه‌های انرژی[3] آمده است. در تعیین و ارزیابی شاخص‌های احتمال وقوع، شدت تأثیر و احتمال تشخیص، مواردی مانند بررسـی کیفیـت شـاخص‌هـای عملکـرد انـرژی تجهیزات، کیفیت نگهداری و تعمیرات تجهیزات با رویکـرد مـدیریت انـرژی، اسـتفاده از کنترل بهینه و تجهیزات با فناوری نوین، شدت مصـرف انـرژی تجهیـز، کـارکرد سـالانه تجهیز، اهمیت تجهیز در واحدهای بهره‌برداری از لحاظ اثرات غیر مستقیم خرابی تجهیز بر میزان تلفات انرژی و کیفیت پایش متغیرهای مؤثر بر شاخص‌های عملکـرد انـرژی در آن تجهیز لحاظ می‌شود. تحلیل احتمال خطر تجهیزات انـرژی‌بـر و مبـدل انـرژی یـک شرکت با تشکیل کمیته‌ای در شرکت، متشکل از کارشناسان خبـره واحـدهای مـدیریت انرژی، بهره‌برداری، خدمات فنی و نگهداری و تعمیـرات و تعیـین مـوارد مـورد نظـر در تحلیل توسط این کمیته به صورت کیفی مشخص می‌شود و با تدوین نرم‌افزاری، مـی‌تـوان شاخص و رتبه احتمال خطر انرژی تجهیزات را محاسبه نمـود. ضـرورت اجـرای تحلیـل احتمال خطر انرژی، محدودیت در بودجه و زمان انجام ممیـزی انـرژی بـه علـت تعـدد تجهیزات انرژی‌بر اعم از انواع کوره‌های الکتریکی و حرارتی، ریفرمر، مبـدل‌هـای حرارتـی، پمپ، فن، دمنده و کمپرسور و تجهیزات مبدل انرژی اعم از الکتروموتور و بـویلر و تـوربین‌هـای

1- Failure Mode and Effects Analysis

2- Risk Priority Number (RPN)

۳- تجهیزات انرژی‌بر، تجهیزات مبدل انرژی

گازی و بخار در یک واحد تولیدی است و خروجی این تحلیل، بعد از محاسبه عدد و رتبه احتمال خطر برای هر یک از تجهیزات، شناسایی جنبه‌های بارز انرژی و نهایتاً تدوین برنامه مناسب مدیریت انرژی شرکت در قالب فعالیت‌های با اولویت‌بندی تجهیزات با احتمال خطر بالاتر یا به عبارتی دارای پتانسیل بالاتر تلفات انرژی می‌باشد.

عوامل اصلی تحلیل احتمال خطر تجهیزات عبارتند از:

۱- احتمال وقوع، ۲- شدت تأثیر، ۳- احتمال تشخیص

در ادامه به نحوه ارزیابی هریک از عوامل و نهایتاً محاسبه شاخص احتمال خطر هر تجهیز اشاره شده است.

ارزیابی ضریب احتمال وقوع[1]

احتمال وقوع مشخص می‌کند که پیامد یک جنبه با چه تواتری یا در چه وضعیت هایی رخ می‌دهد. ضریب احتمال وقوع نوعی درجه‌بندی (ارزش) است که به منظور احتمال رخداد هر علت تخمین زده می‌شود. جهت تعیین این ضریب، باید عواملی که باعث احتمال وقوع بالقوه اتلاف می‌شود، تعیین و سپس برای هر کدام به صورت کیفی وضعیت آن در سه حالت خوب، بد و متوسط تعیین شود. عواملی که باید در تخمین ضریب احتمال وقوع اثرات و پیامدها (تلفات بالقوه، فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی) مورد بررسی کیفی قرار گیرند، عبارتند از:

- نگهداری و تعمیرات مناسب و مؤثر تجهیز
- استفاده از کنترل بهینه، تجهیزات تکنولوژی بالا (با فن آوری بالا[2])
- ملاحظات بهره‌وری انرژی در طراحی و خرید تجهیز
- بررسی عملکرد تجهیز

1- Occurrence (O)

2- High Tec

پس از تعیین چهار عامل مذکور، با فرض یکسان بودن وزن هر یک از عوامل وقوع بالقوه اتلاف تجهیزات، برای هر جنبه/تجهیز، ضریب احتمال وقوع در مقیاس ۱ تا ۱۰ براساس جدول زیر تعیین و در جدول ۳-۳ ثبت می‌شود.

جدول (۳-۲) نحوه ارزیابی ضریب احتمال وقوع

وضعیت عوامل مؤثر بر احتمال وقوع در تلفات بالقوه انرژی	ارزیابی ضریب	اتلاف
هر ۴ عامل در بهترین وضعیت	۱	جزیی
۳ عامل در وضعیت خوب و ۱ عامل در وضعیت متوسط	۲	کم
۳ عامل در وضعیت خوب و ۱ عامل در وضعیت بد		
۲ عامل در وضعیت خوب و ۲ عامل در وضعیت متوسط		
۲ عامل در وضعیت خوب،۱عامل در وضعیت بد و۱ عامل در وضعیت متوسط	۳	
۱ عامل در وضعیت خوب و ۳ عامل در وضعیت متوسط		
۲ عامل در وضعیت خوب و ۲ عامل در وضعیت بد	۴	متوسط
۱ عامل در وضعیت خوب،۱عامل در وضعیت بد و۲ عامل در وضعیت متوسط		
هر ۴ عامل در وضعیت متوسط	۵	
۱ عامل در وضعیت خوب،۲ عامل در وضعیت بد و۱ عامل در وضعیت متوسط	۶	
۱ عامل در وضعیت بد و ۳ عامل در وضعیت متوسط	۷	زیاد/ اتلاف تکرارپذیر
۱ عامل در وضعیت خوب و ۳ عامل در وضعیت بد		
۲ عامل در وضعیت بد و ۲ عامل در وضعیت متوسط	۸	
۳ عامل در وضعیت بد و ۳ عامل دروضعیت متوسط	۹	خیلی زیاد/ اتلاف اجتناب ناپذیر
هر ۴ عامل در وضعیت بد	۱۰	

ارزیابی ضریب شدت تأثیر[1]

ضریب شدت تأثیر، عددی است که نشانگر میزان جدی بودن اثرات جنبه‌های انرژی است و با توجه به موارد زیر تعیین می‌شود:

میزان مصرف انرژی تجهیز نسبت به مصرف کل مجموعه یا بالاترین مصرف واحد تولیدی[2]

وضعیت کارکرد سالیانه تجهیز

اهمیت تجهیز (میزان تأثیر مستقیم یا غیرمستقیم بر تلفات واحد در صورت خرابی یا کارکرد نامناسب آن)

جدول (۳-۳) ارزیابی عوامل مؤثر بر ضریب شدت تأثیر

عوامل مؤثر بر ضریب شدت تأثیر	وضعیت کیفی	بالا/خوب	متوسط	پایین/بد
	عدد ارزیابی	۳	۲	۱
	واحد			
میزان مصرف انرژی نسبت به مصرف کل مجموعه یا بالاترین مصرف واحد تولیدی	درصد	۶۷ تا ۱۰۰	۳۳ تا ۶۷	۰ تا ۳۳
وضعیت کارکرد سالیانه	ماه	بیش از ۸ تا ۱۲	بیش از۴ تا ۸	۰ تا ۴
اهمیت تجهیز در افزایش تلفات انرژی واحد در صورت خرابی	-	بالا	متوسط	پایین

1- Severity

۲- با توجه به نوع صنعت و به‌طورنمونه در صنایعی که برخی از مصارف عمده انرژی فقط به تعداد انگشت‌شماری تجهیزات محدود می‌شود، باید بالاترین مصرف هر واحد در مخرج کسر باشد.

با توجه به ارزیابی کیفی عوأمل مؤثر بر ضریب شدت تأثیر، با فرض یکسان بودن وزن هر یک از عوأمل شدت تأثیر تجهیزات طبق جدول زیر، ضریب شدت تأثیر از امتیاز ۱ تا ۱۰ قابل تغییر است.

جدول (۳-۴) تعیین ضریب شدت تأثیر

وضعیت عوامل مؤثر بر شدت تأثیر در تلفات بالقوه انرژی	ارزیابی ضریب
هر ۳ عامل در وضعیت پایین و بد	۱
۲ عامل در وضعیت پایین و بد و ۱ عامل در وضعیت متوسط	۲
۲ عامل در وضعیت پایین و بد و ۱ عامل در وضعیت بالا و خوب	۳
۱ عامل در وضعیت پایین و بد و ۲ عامل در وضعیت متوسط	۴
۱ عامل در وضعیت پایین و بد، ۱ عامل در وضعیت بالا و خوب و۱ عامل در وضعیت متوسط	۵
۳ عامل در وضعیت متوسط	۶
۱ عامل در وضعیت پایین و بد و ۲ عامل در وضعیت بالا و خوب	۷
۱ عامل در وضعیت بالا و خوب و ۲ عامل در وضعیت متوسط	۸
۲ عامل در وضعیت بالا و خوب و ۳ عامل در وضعیت متوسط	۹
هر ۳ عامل در وضعیت بالا و خوب	۱۰

ارزیابی ضریب احتمال تشخیص[1]

این ضریب قابلیت شناسایی و پایش[2] جنبه‌های انرژی را در سازمان نمایان می‌کند و ضرورت ایجاد سیستم‌های پایشی جهت تعیین شاخص‌های عملکرد و کنترل مناسب را مطرح می‌نماید. ضریب احتمال تشخیص از ۱ تا ۱۰ طبق جدول زیر قابل تغییر است.

1- Detection
2- Monitoring

جدول (۳-۵) تعیین ضریب احتمال تشخیص

وضعیت عوامل مؤثر بر احتمال تشخیص در تلفات بالقوه انرژی	ارزیابی ضریب	وضعیت پایش
هیچ یک از متغیرهای مؤثر پایش نمی‌شوند.	۱۰	کاملاً غیر ممکن
پایش به صورت چشمی	۹	خارج از کنترل
کمتر از ۳۰٪ از متغیرهای مؤثر به صورت نامنظم پایش می‌شوند.	۸	بعید
کمتر از ۳۰٪ از متغیرهای مؤثر به صورت دوره‌ای پایش می‌شوند.	۷	خیلی کم
۵۰٪ متغیرهای مؤثر به صورت نامنظم پایش می‌شوند.	۶	کم
۵۰٪ متغیرهای مؤثر به صورت دوره‌ای پایش می‌شوند.	۵	متوسط
بیش از ۷۰٪ متغیرهای مؤثر به صورت نامنظم پایش می‌شوند.	۴	متوسط رو به زیاد
بیش از ۷۰٪ متغیرهای مؤثر به صورت دوره‌ای پایش می‌شوند.	۳	زیاد
پایش به صورت اتوماتیک و قابل تشخیص	۲	خیلی زیاد
روش تشخیص مطمئنی وجود دارد.	۱	قطعی

محاسبه شاخص احتمال خطر و نحوه درجه‌بندی جنبه‌های انرژی

پس از تعیین ضریب هر یک از عوامل مؤثر در ارزیابی جنبه‌های انرژی، عدد انرژی احتمال خطر RPN از حاصل‌ضرب سه عدد S،O و D به دست می‌آید.

$$RPN = O \times S \times D$$

بر اساس عدد به دست آمده کلیه جنبه‌ها، امتیاز و رتبه‌بندی در جدول ۳- ۶ ردیف شده و پس از ارزیابی و طبقه‌بندی و به ترتیب از بالاترین امتیاز تا پایین‌ترین امتیاز، اولویت‌ها تعیین می‌شوند.

با توجه به تصمیمات گرفته شده در جلسات کمیته عالی انرژی شرکت و با توجه به معیارهای ممیزی انرژی، الزامات قانونی انرژی و پیامدهای آن، گزینه‌های فناوری، منابع مالی و عملیاتی و دیدگاه‌های طرف‌های ذینفع و در یک کلام سیاست‌های کلان شرکت در زمینه مدیریت انرژی، باید عدد قابل تحمل و نهایتاً درجه احتمال خطر تعیین شود که البته به صورت سالانه قابل بازنگری است. ولی به عنوان پیشنهاد در زیر جدول تعیین محدوده درجه احتمال خطر آمده است. برای احتمال خطرهایی که RPN بالاتر از امتیاز مشخص شده دارند، باید اهداف و برنامه‌های کنترلی مدیریت انرژی، تنظیم و به مرحله اجرا گذاشته شود.

جدول (۳-۶) تعیین عدد و درجه احتمال خطر (ریسک) تجهیزات

شماره فنی تجهیز	حامل انرژی مصرفی	احتمال وقوع (O)					شدت تأثیر (S)				احتمال شخیص (D)	عدد احتمال خطر (ریسک)	درجه احتمال خطر (ریسک)
		نگهداری و تعمیرات	کنترل / تجهیزات بهینه	طراحی /خرید	بررسی عملکرد	ضریب O	شدت مصرف	کارکرد سالانه	اهمیت	ضریب S	کیفیت پایش (ضریب D)		

جدول (۳-۷) تعیین محدوده درجه خطر احتمالی (ریسک)

معیار پیشنهادی	محدوده درجه خطر احتمالی
جنبه بحرانی	۶۰۰-۱۰۰۰
جنبه جدی	۲۵۰-۶۰۰
جنبه متوسط	۵۰-۲۵۰
جنبه ضعیف	۱-۵۰

با توجه به عدد RPN مربوط به جنبه‌های انرژی ارزیابی شده، در این مرحله باید برای کنترل جنبه‌های بارز انرژی، فعالیت‌های مدیریت انرژی و در رأس آن‌ها، ممیزی انرژی در قالب برنامه زمان‌بندی شده با تأمین منابع مالی و انسانی مورد نیاز را متناسب با امکانات و محدودیت‌های عملیاتی، مالی و فناوری تدوین و اجرایی نمود.

بدیهی است این امر موضوعاتی نظیر استفاده از افزایش سطح آگاه‌سازی، حساس سازی و فرهنگ‌سازی کارکنان در زمینه صرفه‌جویی انرژی، تدوین مستندات تخصصی اعم از روش‌های اجرایی و دستورالعمل‌های کاری کنترل عملیات با رویکرد تعیین شاخص‌های عملکرد انرژی، به‌کارگیری تجهیزات پربازده و دارای فناوری روز، کنترل بهینه، بازنگری اقدامات نگهداری و تعمیرات با رویکرد افزایش بهره‌وری انرژی و ... متناسب با عدد خطراحتمالی مذکور خواهد بود.

جنبه‌های بارز انرژی و اقدامات قابل انجام برای کنترل آن و سیستم‌های کنترلی مورد نیاز از جمله دستورالعمل‌های تدوین شده یا سایر اقدامات قابل انجام در جدول زیر با عنوان فرم شناسایی نحوه کنترل جنبه‌های بارز انرژی (تجهیزات دارای خطراحتمالی انرژی بالا) ثبت می‌شود. پس از خاتمه ارزیابی‌ها و شروع به اجرایی نمودن روش به کار گرفته شده، عملاً در فرآیند پایش و کنترل جنبه‌های انرژی‌که توسط مسئولین هر یک از فرآیندها و بر اساس فرم شناسایی و ارزیابی جنبه‌های بارز انرژی و همچنین مسئولین و کارشناسان واحد مدیریت انرژی طی بازدیدهای دوره‌ای انجام می‌شود، اجرای صحیح دستورالعمل‌های ابلاغی جهت حصول اطمینان از تحت نظارت بودن هر یک از جنبه‌ها کنترل می‌شود. بدیهی است براساس نتایج این بازدید یا کنترل‌ها، اقدامات اصلاحی لازم به نحو مقتضی انجام می‌پذیرد.

جدول (۳-۸) فرم شناسایی نحوه کنترل جنبه‌های بارز انرژی

شماره فنی تجهیز:				
نحوه کنترل جنبه بارز انرژی	واحدهای مسئول	برآورد مالی (م.ر.)	برآورد زمانی (هفته)	توضیحات
آموزش				
آگاه‌سازی				
تدوین دستورالعمل کاری				
نگهداری و تعمیرات				
کنترل بهینه				
تجهیزات با فن‌آوری بالا				
پایش آنلاین و آفلاین شاخص‌ها				
خرید تجهیز اندازه‌گیری				
سایر موارد				

۳-۲ دستورالعمل نحوه تحلیل شبکه توزیع انرژی الکتریکی یک واحد صنعتی

۳-۲-۱ هدف و دامنه کاربرد دستورالعمل نحوه تحلیل شبکه توزیع انرژی الکتریکی

هدف از تدوین این دستورالعمل، آشنایی ممیزان انرژی با نحوه تحلیل شبکه توزیع انرژی الکتریکی و دامنه کاربرد این دستورالعمل با توجه به معیارهای ممیزی انرژی (هدف کلان، نوع و سطح ممیزی، روش و استاندارد ممیزی، نحوه و میزان مشارکت کارکنان، محدوده و مدت زمان اجرای ممیزی و الزامات گزارش ممیزی)، شبکه توزیع انرژی الکتریکی موجود در یک فرآیند صنعتی یا واحد عملیاتی یا شرکت تولیدی است.

۳-۲-۲ مسئولیت تحلیل شبکه توزیع انرژی الکتریکی

مسئولیت تحلیل شبکه توزیع انرژی الکتریکی با تیم ممیزان انرژی شرکت تولیدی (درجه دو و سه، مقیم یا غیر مقیم) است. پیشنهاد می‌شود این تیم، حداقل متشکل از کارشناسان جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها و اطلاعات اولیه، اندازه‌گیری و تحلیل متغیرها و شاخص‌های عملکرد انرژی و ارائه راهکارهای عملی صرفه‌جویی انرژی شبکه توزیع انرژی الکتریکی باشد.

۳-۲-۳ واژگان دستورالعمل نحوه تحلیل شبکه انرژی الکتریکی

شبکه برق: ولتاژ تولیدی هر نیروگاه توسط پست‌هایی که در نیروگاه موجود می‌باشد و دارای ترانسفورماتورهای افزاینده می‌باشد، به ولتاژ ۲۳۰ یا ۴۰۰ کیلوولت تبدیل و از طریق خطوط انتقال نیرو توسط شبکه سراسری به پست‌های فوق توزیع منتقل می‌شود و از این پست‌ها توسط خطوط فوق‌توزیع ۱۳۲ و ۶۳ کیلوولت به پست‌های توزیع (فشار متوسط و فشار ضعیف) تبدیل و از آنجا به دست مصرف‌کننده با ولتاژهای متوسط و ضعیف یعنی ۲۲۰ ولت می‌رسد. شبکه برق در یک شرکت از قسمت‌های تولید، انتقال، توزیع و مصرف انرژی الکتریکی تشکیل شده است.

مدیریت انرژی الکتریکی: مدیریت انرژی الکتریکی یعنی بهینه‌سازی و کنترل مناسب در تولید، توزیع و مصرف این نوع انرژی. یکی از اهداف راهبردی انرژی در کشور، امنیت انرژی با استفاده از مدیریت انرژی به خصوص در بخش انرژی الکتریکی است.

ممیزی انرژی الکتریکی: ممیزی انرژی الکتریکی چک‌آپ انرژی الکتریکی در توزیع و مصرف انرژی الکتریکی و شناسایی منابع و میزان تلفات انرژی الکتریکی و ارائه راهکارهای مناسب جهت کمینه کردن این تلفات است.

توان اکتیو(P): مقدار توان مفیدی است که در تجهیزات برقی به مصرف می‌رسد و از روابط زیر قابل محاسبه است:

مصرف‌کنندگان تک فاز:

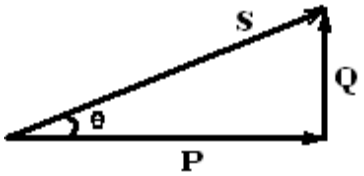
$P=VI\cos\varphi$

مصرف‌کنندگان سه فاز:

$$P = \sqrt{3}VI\cos\varphi$$

توان ظاهری: هر مصرف‌کننده برق غیراهمی، همزمان به توان‌های اکتیو و راکتیو نیاز دارد. با توجه به ماهیت تغییرات جریان و ولتاژ به صورت شکل موج سینوسی، توان کل با توان ظاهری (S) بر حسب kVA از جمع برداری توان اکتیو (P) و توان راکتیو (Q) به دست می‌آید.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$



شکل (۳- ۱) نمودار مربوط به توان‌های ظاهری، اکتیو و راکتیو

ضریب توان: $$P.F = \frac{P}{S} = \cos\theta$$

ضریب توان، نسبت توان اکتیو به توان ظاهری و همیشه کوچک‌تر یا مساوی یک است. مقادیر بالاتر (نزدیک به یک) برای ضریب توان مطلوب می‌باشند، زیرا حاکی از کوچک‌تر بودن مؤلفه راکتیو بار است. مقدار کم ضریب توان به معنی افزایش توان راکتیو مورد تقاضا از شبکه و اشغال ظرفیت خط برای تأمین این توان است که در واقع کاری انجام نمی‌دهد و به صورت رفت و برگشت بین فازها جا به‌جا می‌شود. از طرف دیگر اکثر تجهیزات الکتریکی کارخانجات، خاصیت سلفی دارند و مصرف‌کننده توان راکتیو هستند.

مدیریت بار: از آنجایی‌که ظرفیت تولید انرژی الکتریکی با توجه به هزینه سنگین سرمایه‌گذاری در آن محدود است، لذا افزایش میزان بهره‌وری از ظرفیت موجود، تأثیر

بسیار مطلوبی در زمینه هزینه و سرمایه‌گذاری در بخش تولید، انتقال و توزیع انرژی الکتریکی به دنبال خواهد داشت. یکی از ابزارهای مطرح در این بخش، استفاده از روش‌های مدیریت بار است. لذا معرفی مدیریت بار و اهداف آن، با استفاده از بررسی‌های انجام شده در صنایع مختلف ضرورت دارد. مدیریت بار عبارت است از کلیه اقداماتی که توسط مشترکین و شرکت‌های برق، برای تغییر شکل منحنی بار مشترکین صورت می‌گیرد تا به وسیله آن کاهش بار ساعات اوج مصرف، افزایش ضریب بار و بهبود استفاده از منابع سوخت‌های فسیلی و ظرفیت‌های تولید، انتقال و حداکثر بهره‌برداری حاصل شود.

مزایای مدیریت بار: منافع ناشی از اقدامات صرفه‌جویی در عین حال که به سود صنایع است، در ارتقای اقتصاد ملی و امکان بهره‌گیری از فرصت‌های اقتصادی ناشی از عدم سرمایه‌گذاری‌های کلان در بخش عرضه انرژی مفید خواهد بود. در مورد انرژی الکتریکی، توان مصرفی در اوقات پرباری به ویژه قله مصرف (نقطه اوج) و همین‌طور کاهش شدت انرژی به ازای واحد تولید با توجه به شرایط تکنیکی و تکنولوژیکی در بخش صنعت، به دلیل مدیریت پذیری بهتر در قالب اقدامات کوتاه‌مدت و میان‌مدت می‌تواند مؤثر باشد و باعث کاهش اختلاف بار پیک و پایه شود. علاوه بر روش‌های مدیریت انرژی، کاربرد روش‌های مدیریت بار، باعث کاهش حجم سرمایه‌گذاری‌ها و در نتیجه بهره‌برداری بهتر از منابع می‌شود.

منحنی بار: نمایش تغییرات توان الکتریکی هر مصرف‌کننده برق در یک بازه زمانی مشخص، منحنی بار نامیده می‌شود. تغییرات زمان بر حسب ثانیه، دقیقه، ساعت، شبانه-روز، هفته و ماه قابل رسم است. بررسی نوسانات مصرف برق از شبکه، به منظور تعیین حدود ساعات پیک و غیر پیک، حداکثر و حداقل توان تولیدی نیروگاه‌ها و تعیین ضریب بار در قالب منحنی بار قابل بررسی است.

دست‌یابی به منحنی بار: به منظور دسترسی به کیفیت و کمیت منحنی بار و بررسی توزیع بار بر حسب زمان در یک صنعت انرژی‌بر، لازم است بر روی فیدرهای اصلی

توسط دستگاه تحلیلگر کیفیت توان، به مدت یک شبانه روز تا یک هفته اندازه‌گیری به عمل آید. بدیهی است که باید دستگاه به تعداد فیدرهای ورودی، نصب شود و منحنی بار شرکت از جمع جبری تمام منحنی‌های حاصل از اندازه‌گیری دستگاه‌ها با رعایت دقت زمان به دست می‌آید. البته برای بررسی رفتار توانی و کیفیت توانی سطوح پایین‌تر، اعم از واحدها، فرآیندها و تجهیزات مصرف‌کننده برق، باید فیدرهای فرعی توزیع برق با نصب دستگاه، مورد اندازه‌گیری قرار گیرند. مدت اندازه‌گیری با توجه به هدف و مورد اندازه‌گیری می‌تواند (یک شیفت کاری، یک دوره فرآیند تولید، ۱۵ دقیقه) متفاوت باشد. نمودارهای استخراج شده از دستگاه‌های اندازه‌گیری که بیانگر تغییرات توان مصرفی برحسب زمان است، منحنی بار مربوط به هر فیدر را نشان می‌دهد. تعیین تراز انرژی الکتریکی، ضریب بار، وضعیت دیماند در ساعات اوج و غیر اوج، حداکثر و حداقل توان مصرفی با مشخص شدن زمان وقوع به تفکیک واحد عملیاتی یا فرآیند و یا تجهیز، متغیرهایی هستند که از منحنی بار فیدرهای فرعی قابل استخراج و بهره‌برداری می‌باشند.

با توجه به محدودیت اندازه‌گیری مستقیم ولتاژهای بالاتر از ۶۰۰ ولت به وسیله دستگاه‌های اندازه‌گیری، لازم است ولتاژ کاهش یابد تا بتوان آن‌را اندازه‌گیری نمود. به این منظور برای ولتاژهای بین ۶۰۰ ولت تا ۱۳۲ کیلوولت، از ترانسفورماتور ولتاژ[1] استفاده می‌شود. همچنین با توجه به محدودیت اندازه‌گیری مستقیم جریان به سبب امکان ایجاد خسارت به دستگاه اندازه‌گیر، باید به طریقی جریان را کاهش داد و سپس از دستگاه اندازه‌گیر استفاده شود. این کار توسط ترانسفورماتور جریان[2] انجام می‌شود. جریان ثانویه CT هم طبق استاندارد IEC 185، یک، دو یا پنج آمپر است.

اقدامات اصلاح منحنی بار: منحنی بار شبکه نه تنها در طول شبانه‌روز بلکه در ایام هفته و در ماه‌های مختلف سال، دائم در حال تغییر است و در همه حال، تولیدکننده

1- Potential/Voltage Transformer (PT/VT)

2- Current Transformer(CT)

سطح تولید خود را متناسب با نیاز مصرف‌کنندگان تغییر می‌دهد. ایده اصلی مدیریت بار، توزیع یکنواخت بار در طول شبانه‌روز و طی فصول مختلف سال است. اقدامات عمده اصلاح منحنی بار عبارتند از:

۱- پیک‌سایی یا حذف بار در ساعات پیک

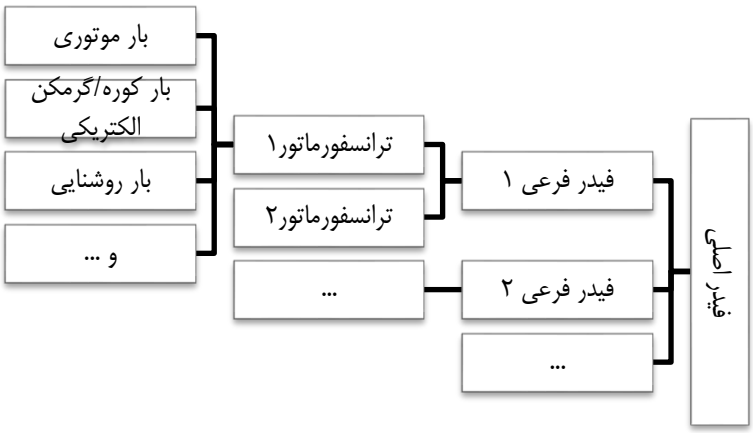
۲- افزایش بار در ساعات غیر اوج[1]

۳- انتقال بار از ساعات اوج[2] به ساعات غیر اوج

نتایج حاصل از مدیریت بار: هدف نهایی مدیریت بار، بهبود ضریب بار شبکه است که دو نتیجه مهم را در بر خواهد داشت:

۱- کاهش هزینه‌های تولید

۲- کاهش نیاز به سرمایه‌گذاری زیاد جهت ایجاد ظرفیت‌های جدید نیروگاهی و در نتیجه کاهش سرمایه‌گذاری ارزی برای احداث نیروگاه، حصول منافع ملی، بهبود محیط‌زیست با کاهش آلودگی هوا، حفظ منابع فسیلی



شکل (۳-۲) سطوح اندازه‌گیری انرژی الکتریکی در یک شرکت

1- Off Peak

2- Peak

ضریب تقاضا[1]: شرکت‌های تولید و توزیع برق به آمار حداکثر مصرف برق روزانه مشترکین نیاز دارند. این عامل، ظرفیت نیروگاهی که باید نصب و بهره‌برداری کنند تا پاسخگوی نیازهای توانی مصرف‌کنندگان باشد را تعیین می‌کند. این مقدار به وسیله ضریب تقاضا و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$DF = \frac{D_{\max}}{CL}$$

که در آن، Dmax تقاضای حداکثر (kW) و CL بار متصل شده (kW) است.

ضریب تقاضا در حالت عادی کمتر از واحد بوده و محدوده نمونه مقادیر، ۰/۲۵ تا ۰/۹ است.

عموماً، دیماند قراردادی (خریداری شده) توسط مشترکین برق از تولیدکننده نیروگاهی بیشتر از دیماند مصرفی است. در برخی موارد، این اختلاف زیاد می‌باشد. این در حالی است که اضافه بودن توان درخواستی موجب افزایش هزینه برق می‌شود، زیرا بهای دیماند محاسباتی بر اساس دیماند قراردادی است نه دیماند مصرفی.

روش‌های اعمال مدیریت تقاضا[2]

۱- کنترل مقدار تقاضا در شرایط اوج مصرف از طریق قطع بار اضافی

۲- اعمال نرخ چند تعرفه‌ای به منظور تشویق مشترکین برای استفاده در ساعات غیر اوج

۳- انتقال بعضی از بارها از زمان اوج به زمان‌های غیر اوج

۴- افزایش کارایی تجهیزات الکتریکی

۵- اعمال اقدامات مدیریت روشنایی

۶- اعمال مدیریت در انتخاب هادی‌ها و کابل‌ها برای کاهش تلفات

۷- اعمال مدیریت در بهره‌برداری ترانسفورماتورها

۸- اعمال مدیریت در انتخاب و بهره‌برداری موتورها

---

1 - Demand Factor

2- Demand Side Management

۹- کنترل مقدار توان راکتیو تجهیزات شبکه و مصرف‌کننده‌ها

۱۰- اصلاح ضریب بار

ضریب بار: ضریب بار متغیر دیگری است که توانایی شرکت مصرف‌کننده انرژی را برای استفاده مؤثر از توان الکتریکی اندازه‌گیری می‌کند. این ضریب در عمل نسبت بار متوسط برای دوره زمانی معین به حداکثر باری که در خلال همان دوره زمانی رخ می‌دهد را اندازه می‌گیرد. مؤثرترین شکل مصرف، زمانی رخ می‌دهد که ضریب بار در زمانی که E (انرژی مصرفی در دوره زمانی) حداقل شده است، در بالاترین مقدار ممکن باشد. ضریب بار طبق رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$LF = \frac{E}{(D_{\max})(p)}$$

که در آن، LF ضریب بار (بدون بعد)، E انرژی مصرفی در دوره زمانیP (kWh) ،Dmax حداکثر تقاضا در طی دوره زمانیP (kW) و P دوره زمانی است که در آن ضریب بار تعیین می‌شود. (برای مثال یک روز، یک ماه، یک سال)

از اقدامات افزایش ضریب بار، می‌توان به عدم راه‌اندازی همزمان موتورهای الکتریکی، کاهش ضریب همزمانی تجهیزات برقی پرمصرف و کاهش دیماند اضافی واحد صنعتی اشاره نمود.

انواع روش‌های کنترل ضریب بار: هزینه بهبود ضریب بار، لزوماً زیاد نیست و می‌تواند از چند هشداردهنده و نشانگر ساده تشکیل شده باشد. کنترل‌کننده‌های ساده بار می‌توانند با به تعویق انداختن بارها، اوج مصرف را کاهش دهند. در این موارد، زمان برگشت سرمایه کوتاه است. در موارد دیگر به ویژه در مورد مصرف‌کننده‌های بزرگ، در اغلب موارد نصب تجهیزات اتوماتیک برای کنترل بار (مثلاً انتقال بارها از زمان اوج مصرف به شب‌ها یا آخر هفته) توجیه مناسبی دارد. البته استفاده از تجهیزات کنترل بار به این معنی نیست که نمی‌توان بدون تغییر در روش‌های معمول تولید، ضریب بار را بهبود بخشید. در بسیاری از موارد، نیاز به هیچ تغییر اساسی در برنامه‌ریزی بهره‌برداری

وجود ندارد. اما امکان توزیع بار به دلیل منافع زیاد حاصله، باید در نظر گرفته شود.

در ادامه، پنج روش کنترل ضریب بار آمده است:

الف- بارزدایی دستی: هشداردهنده‌هایی به شکل زنگ و چراغ را می‌توان در قسمتی از یک مرکز کنترل یا در شرایطی که یک بار بزرگ می‌تواند برای مدتی بدون خسارت به فرآیند تولید، (با تصمیم مدیر ارشد شرکت) توسط اپراتور قطع یا کاهش داده شود، نصب کرد.

ب- بارزدایی اتوماتیک: بارهای از پیش تعیین شده می‌توانند در مواقع غیر ضروری توسط کنترل‌کننده‌ها به‌طوراتوماتیک قطع شوند. همچنین با کاهش مصرف کل به کمتر از مقدار تعیین شده، این نوع بارها را می‌توان مجدد وصل نمود.

ج- کنترل‌کننده ایده آل نرخ بار: این نوع کنترل‌کننده‌ها می‌توانند به روش‌های مختلف، بدون تداخل با بارهای اصلی، دو مرحله بارزدایی را در نظر بگیرند. به عنوان مثال اولین مرحله قطع بار شامل قطع بار غیر اساسی است و چنانچه قبل از پایان دوره نیم ساعت، بارها به اندازه کافی کاهش یابند، به‌طورخودکار مجدد وصل می‌شوند. در مواردی که بار، بیشتر از سطح قطع بارهای غیراساسی افزایش پیدا کند، در دومین مرحله بارهای کمتر غیر اساسی قطع می‌شوند. اگر مجدداً بار کاهش پیدا کرد، بارهای مرحله دوم تا پایان دوره اندازه‌گیری وصل نمی‌شوند، زیرا مدت قطع این بارها زیاد طول نمی‌کشد و از نظر تعداد تکرار، کمتر از قطع بارهای غیراساسی مرحله اول صورت می‌گیرد. اگر بار تا وصل مجدد آن، کاهش پیدا کند، بارهای غیراساسی دوباره وصل می‌شوند.

د- کنترل‌کننده پیش‌بینی‌کننده: این کنترل‌کننده‌ها به جای کار بر مبنای مقایسه، پیش‌بینی می‌کنند. در ابتدای هر دوره نیم ساعته نظارت، تمام بارها ارزیابی و محاسبه می‌شوند تا مشخص شود که این رشد میزان مصرف، از حد تعیین شده تجاوز می‌کند یا خیر. اگر مقدار پیش‌بینی شده بیش از حد مجاز باشد، قطع بار انجام و اگر مقدار پیش‌بینی شده به حد تعیین شده نرسد، بار مجدد وصل می‌شود.

ه- کنترل‌کننده نرخ لحظه‌ای بار: در جاهایی که بارگذاری پیچیده است، ممکن است بتوان قابلیت انعطاف کنترل بار را با استفاده از کنترل‌کننده نرخ لحظه‌ای بار بهبود بخشید. معیار در این نوع کنترل‌کننده، مقدار واقعی مصرف در هر نقطه از دوره نظارت است. اگر در هر زمان، نرخ لحظه‌ای مصرف از حد معینی بیشتر شود، بار قطع می‌شود. از طرف دیگر اگر مقدار بار زیر حد مجاز باشد، بار بیشتری پذیرفته می‌شود. مزیت این نوع کنترل این است که بر روی منحنی بار، قله و دره کمتری وجود دارد و در نتیجه ضریب بار بهتری حاصل می‌شود.

برنامه کنترل بار می‌تواند ساده باشد؛ یعنی بر اساس جداول از پیش تعیین شده، نشان دهد کدام بار، چه مقدار و برای چه مدت قطع شود. در حالت‌های پیچیده‌تر، بارها مدل‌سازی می‌شوند. بنابراین به داده‌های ورودی بیشتری اعم از اولویت بارها، اندازه بارها، حداکثر و حداقل دوره قطع، رشد مصرف بارها و تعداد دفعات مجاز راه‌اندازی در هر دوره زمانی نیاز است. با تکمیل داده‌های مورد نیاز و ورود به برنامه کنترلی، بارها طوری تنظیم می‌شوند که مقدارشان از حداکثر تعیین شده، بیشتر نشود. هر نوع برنامه‌ای که استفاده شود، لازم است با شناخت درست از عملکرد بار، تنظیم شده و تضمین کند که شرایط ایمنی برآورده شود، شرایط تولید به مخاطره نیفتد و بر شرایط کاری تأثیر منفی نگذارد.

قابلیت اطمینان شبکه قدرت: قابلیت اطمینان در شبکه قدرت[1] به معنی طراحی سیستم به نحوی است که برای ارائه انرژی الکتریکی، قابل اعتماد و از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه باشد. قابلیت اطمینان به عوامل زیر بستگی دارد:

۱- طراحی، ۲- تنظیمات، ۳- نصب، ۴- آزمایش، ۵- نگهداری و تعمیرات ۶- عملکرد سیستم حفاظتی

1- Power Network Reliability

۱- طراحی سیستم حفاظتی شبکه قدرت: طراحی یک طرح حفاظت، اهمیت بسیار زیادی دارد. منظور از این کار اطمینان از عملکرد سیستم تحت شرایط مورد نیاز و اجتناب از عملکرد در زمانی است که این امر ضروری نیست. این شامل خطایی هم که خارج از منطقه حفاظت شده رخ دهد و مهار خطا الزامی باشد، نیز می‌شود. لازم است به ماهیت، فرکانس و طول خطای احتمالی و تمامی متغیرهای مربوط به سیستم قدرت و نوع تجهیزات حفاظتی توجه شود. البته، طراحی تجهیزات حفاظتی مورد استفاده در این طرح به همان اندازه مهم است. در این مرحله هیچ حفاظتی نمی‌تواند استفاده از تجهیزات حفاظتی که نامناسب طراحی شده‌اند را جبران کند.

۲- تنظیمات سیستم حفاظتی شبکه قدرت: باید مطمئن شد که رله‌های حفاظتی و سیستم‌هایی که متغیرهای اولیه را مورد استفاده قرار می‌دهند (از جمله خطا و بار و عملکرد مورد نیاز و غیره) دارای تنظیمات درست هستند. ویژگی‌های سیستم-های قدرت به علت تغییرات در بار، محل، نوع و مقدار تولید و غیره با گذشت زمان تغییر می‌کنند. بنابراین، ممکن است لازم باشد تنظیم مقادیر رله در فواصل زمانی مناسب بررسی تا از مناسب بودن آن اطمینان حاصل شود. در غیر این صورت، احتمال دارد عملیات ناخواسته صورت پذیرد و یا در زمان مورد نیاز، سیستم عملکرد درستی نداشته باشد یا اصلاً عمل نکند.

۳- نصب و راه‌اندازی سیستم حفاظتی شبکه قدرت: سیستم‌های حفاظتی باید به طور صحیحی نصب شوند. پیچیدگی ارتباطات بسیاری از سیستم‌ها و ارتباط آن‌ها با بقیه قسمت‌های سیستم ممکن است باعث دشوار شدن بررسی نصب سیستم شوند. بنابراین لازم است سیستم در محل نصب بررسی شود. از آنجایی‌که ایجاد شرایط خطا به درستی دشوار خواهد بود، این آزمایشات باید نسبت به اثبات نصبشان، راه‌اندازی شوند. در مرحله نصب، بررسی‌ها باید صحت اتصالات، تنظیمات رله و نبود آسیب در تجهیزات را اثبات کنند.

۴- آزمایش سیستم حفاظتی شبکه قدرت: آزمایش، باید تمام جنبه‌های طرح حفاظت و باز تولید شرایط عملیاتی و زیست‌محیطی را پوشش دهد. تست تجهیزات حفاظتی و استانداردهای به رسمیت شناخته شده، در مرحله طراحی و تولید انجام می‌شود و بسیاری از این الزامات را برآورده می‌کند، اما همچنان، تست طرح حفاظت کامل (رله‌ها، ترانسفورماتورهای جریان و سایر قسمت‌های جانبی) لازم خواهد بود. این آزمون‌ها باید شرایط خطا را واقع‌بینانه شبیه‌سازی کنند.

۵- نگهداری سیستم حفاظتی شبکه قدرت: پس از نصب، تجهیزات شروع به خراب شدن خواهند کرد و ممکن است در نهایت این مسأله با عملکرد صحیح تداخل پیداکند. به عنوان مثال ممکن است کنتاکت‌ها به دلیل عملیات مکرر هرز شوند یا بسوزند، یا به دلیل آلودگی هوا مخدوش شود، کویل‌ها و مدارهای دیگر به مدار باز تبدیل شوند، قطعات الکترونیکی و دستگاه‌های کمکی بشکنند و قطعات مکانیکی خراب شوند.

ممکن است زمان بین عملیات رله‌ها مدت‌ها طول بکشد. احتمال دارد در این مدت، بدون اینکه کسی بفهمد نقصی بروز کند و عملکرد سیستم حفاظتی در پاسخ به خطا با اشکال مواجه شود. به همین دلیل، رله‌ها باید به طورمتناوب آزمایش شوند تا عملکرد صحیح آن‌ها بررسی شود.

آزمایش‌ها ترجیحاً باید بدون ایجاد اختلال در اتصالات دائم انجام شوند. می‌توان به کمک بلوک‌های آزمایشی یا سوئیچ، به این هدف دست یافت. پرسنل آزمایش‌کننده هنگام ارزیابی قابلیت اطمینان و بررسی وسایل باید دارای صلاحیت باشند. کارکنان برای پیشروی در یک روش سیستماتیک و به منظور دستیابی به پذیرش نهایی، باید از لحاظ فنی دارای صلاحیت بوده، به اندازه کافی آموزش دیده و نظم داشته باشند. مدارهای مهم که آسیب‌پذیر هستند را می‌توان با نظارت مداوم برق کنترل کرد، این کار معمولا به مدارشکن، مدارتریپ و مدار خودکار مربوط می‌شود. معمولا رله‌های دیجیتال و مدرن،

خود دارای امکانات تست و تشخیص هستند که به تشخیص شکست کمک می‌کند. با این نوع رله، ممکن است بتوان به صورت خودکار از طریق لینک‌های ارتباطی به یک مرکز عملیات از راه دور، شکست‌ها گزارش داد تا اقدامات مناسب برای اطمینان از ادامه عملیات ایمن سیستم قدرتی که برای تحقیق و تصحیح خطاها ساخته شده است، صورت گیرد.

۶- عملکرد سیستم حفاظتی شبکه قدرت: عملکرد سیستم حفاظتی اغلب به صورت آماری ارزیابی می‌شود. بدین منظور هر یک از خطاهای سیستم به عنوان یک حادثه طبقه‌بندی می‌شود و تنها آن‌هایی که توسط دام مدارشکن درست برطرف می‌شوند، طبقه‌بندی می‌شوند. سپس درصد پاکسازی صحیح را می‌توان مشخص کرد.

این اصل از ارزیابی، به ارزیابی دقیق سیستم حفاظتی کمک می‌کند. از بسیاری از رله‌ها برای تشخیص خطای سیستم استفاده می‌شود و همه باید برای ثبت عمکرد صحیح، درست عمل کنند.

بعید است بتوان قابلیت اطمینان کامل با پیشرفت‌های بیشتر در ساخت و ساز را به دست آورد. اگر سطح قابلیت اطمینان به دست آمده توسط یک دستگاه، قابل قبول نباشد، می‌توان از طریق افزایش سیستم حفاظتی آن را بهبود بخشید. در اینجا دو سیستم حفاظتی کامل و مستقل ارائه شده است. هر یک به نحوی تنظیم شده‌اند که هرکدام به خودی خود قادر به انجام عملکرد مورد نیاز هستند. اگر احتمال شکست هر یک از تجهیزات Xواحد باشد، احتمال شکست هر دو این تجهیزات به‌طور همزمان، در نتیجه افزونگی X_2 خواهد بود. زمانی که سیستم‌های حفاظت چندگانه استفاده می‌شوند، سیگنال خطا را می‌توان از راه‌های مختلفی به دست آورد. دو روش رایج عبارتند از:

- همه سیستم‌های حفاظت باید عمل کنند تا یک خطا مهار شود
- فقط لازم است یک سیستم حفاظت عمل کند تا عملیات حفاظت به‌طورکامل رخ دهد

واژگان کیفیت توان الکتریکی

کیفیت توان الکتریکی: انرژی الکتریکی، کالایی است که ده‌ها میلیون مشترک در سراسر کشور به‌طور شبانه‌روزی مورد استفاده قرار می‌دهند؛ لذا کیفیت مطلوب چنین کالایی بسیار مهم است. کیفیت مطلوب از دید توان الکتریکی به مشخصه‌های ولتاژ و جریان بستگی دارد که عبارتند از:

- دامنه ولتاژ
- فرکانس
- شکل موج ولتاژ و جریان
- نوسانات توان و عدم تعادل ولتاژ و جریان در سیستم سه فاز

هرگونه تغییر در مشخصه‌های فوق به عنوان پدیده‌های کیفیت توان خوانده می‌شود. مشخصات فنی و استانداردهای پدیده‌های کیفیت توان الکتریکی توسط صنعت برق تدوین شده است و شرکت‌های برق و مشترکین، ملزم به رعایت آن هستند. بنابراین شرکت‌های برق و مصرف‌کنندگان حساس، تلاش ویژه‌ای را در این زمینه شروع کرده‌اند و به‌خصوص مشترکین بزرگ به علل ضررهای اقتصادی زیاد ناشی از پدیده‌های کیفیت توان در این مورد حساسیت بیشتری دارند. این ضررها می‌تواند از خراب شدن تجهیزات برقی تا قطع خط تولید و خسارات ناشی از آن باشد.

اهمیت کیفیت توان الکتریکی: کیفیت توان الکتریکی به علل زیر در سه دهه گذشته اهمیت ویژه‌ای یافته است.

- گسترش روزافزون سیستم‌های الکتریکی حساس به پدیده‌های کیفیت توان
- گسترش شدید بارهای آلوده‌کننده در شبکه‌های برق
- ارتباط و به هم پیوستگی شبکه‌های الکتریکی

بارهای حساس به پدیده‌های کیفیت توان که این بارها عبارتند از:

- دستگاه‌های الکترونیکی دیجیتال و میکروپروسسورها

- کامپیوترها
- کنترلر پروسس در صنایع
- خازن‌ها
- رله‌ها و دستگاه‌های اندازه‌گیری الکترومکانیکی و دیجیتال
- کنترل دورهای صنعتی و...
- بارهای آلوده‌کننده عمده در شبکه برق که این بارها عبارتند از:
- دستگاه‌های الکتریکی قوسی نظیر کوره‌های قوس الکتریکی، دستگاه‌های جوش و لامپ‌های گازی
- دستگاه‌ها با کلیدهای نیمه هادی نظیر یکسوکننده‌ها
- منابع تغذیه سوئیچینگ، رگولاتورهای ولتاژ AC و گذرای ناشی از خطاهای ایجاد شده در شبکه و در اثر کلیدزنی خازن‌ها و جریان‌های نشتی و نویز ناشی از اشکالات در سیم زمین در تأسیسات الکتریکی ساختمان‌ها

پدیده‌های کیفیت توان، منبع و اثرات آن‌ها:

الف- هارمونیک‌ها: طبق استاندارد IEC61000-2-1-1990 هارمونیک‌ها از ترکیب ولتاژها و جریان‌های سینوسی با فرکانس‌هایی که مضرب صحیحی از فرکانس اصلی جریان یا ولتاژ می‌باشد، تشکیل شده است.

علت ایجاد هارمونیک: بارهای غیرخطی و قوسی

اثرات مخرب هارمونیک:

- عملکرد نادرست دستگاه‌های حساس مثلاً حسگرها و ادوات دیجیتال
- ترکیدن خازن‌ها یا سوختن فیوز آن‌ها
- تداخل با خطوط مخابراتی
- تلفات و استهلاک تجهیزات

ب- میان هارمونیک‌ها[1]: ولتاژها یا جریان‌هایی که مؤلفه فرکانس آن، مضرب صحیحی از فرکانس مؤلفه اصلی نباشد را میان هارمونیک گویند.

علل ایجاد میان‌هارمونیک‌ها بارهای قوسی و موتورهای القایی است.

ج- عدم تعادل ولتاژ: عدم تعادل ولتاژ به شرایطی اطلاق می‌شود که مقادیر ولتاژ سه فاز با یکدیگر متفاوت بوده یا اختلاف زاویه ۱۲۰ درجه بین فازها وجود نداشته باشد. هر دو حالت فوق نیز می‌تواند به طور همزمان اتفاق بیفتد. عدم تعادل ولتاژ همچنین می‌تواند با استفاده از مؤلفه‌های متقارن نیز تعریف شود. مؤلفه‌های ولتاژهای منفی یا صفر در سیستم عموماً ناشی از بارهای نامتعادلی است که موجب عبور جریان‌های مؤلفه منفی یا صفر می‌شود. نسبت مقادیر مؤثر مؤلفه صفر یا منفی ولتاژ به مقدار مؤلفه توالی مثبت آن، درصد عدم تعادل ولتاژ نامیده می‌شود.

علت ایجاد عدم تعادل ولتاژ، بارهای نامتعادل و خطاها در شبکه است.

اثرات عدم تعادل ولتاژ به شرح زیر است:

- افزایش تلفات انرژی
- کارکرد نادرست موتورها

د- شکاف[2]: در دستگاه‌های الکترونیک قدرت، هنگامی که کموتاسیون از یک فاز به فاز دیگر روی می‌دهد در ولتاژ سیستم شکاف ایجاد می‌شود. در زمان کموتاسیون دو فاز توسط منبع و از طریق امپدانس ترانسفورماتور به هم متصل می‌شوند که این باعث می‌شود ولتاژ در زمان خیلی کوتاه به شدت کاهش یابد.

اثرات شکاف می‌تواند عملکرد نادرست بعضی از لوازم الکترونیکی بسیار حساس باشد.

ه- نویز[3]: نویز، سیگنال‌های الکترونیکی ناخواسته‌ای با مؤلفه‌های طیفی وسیع کمتر

1- Interharmonics

2- Notch

3- Noise

از ۲۰kHz است که بر روی ولتاژ یا جریان سیستم تغذیه سوار شده‌اند. اصولاً نویز شامل کلیه اعوجاج‌های ناخواسته سیگنال قدرت است که آن‌ها را نمی‌توان در طبقه‌بندی هارمونیک‌ها جایگزین کرد.

علل ایجاد نویز به شرح زیر است:

- منابع سوئیچینگ
- بارهای قوسی
- زمین کردن نامناسب در سیستم

نویز می‌تواند منجر به عملکرد نادرست بعضی از لوازم الکترونیکی بسیار حساس شود.

ز- تغییرات فرکانس: تغییرات فرکانس قدرت عبارت از انحراف فرکانس شبکه نسبت به فرکانس نامی شبکه قدرت (۵۰ هرتز) است.

ح-گذراها[1]: طبق تعریف IEEE100:1992، گذرا، بخشی از تغییرات متغیری است که طی انتقال از یک نقطه کار در حالت مانا به نقطه دیگری در حالت ماندگار میرا می‌شود. در استاندارد IEC61000-2-5:1900 گذرا به دو دسته ضربه‌ای و نوسانی تقسیم می‌شود.

- گذرای ضربه‌ای: پدیده گذرای ضربه‌ای، تغییری ناگهانی در شرایط ماندگار ولتاژ، جریان یا هر دو است که فرکانسی غیر فرکانس قدرت را دارد و پلاریته آن یک‌جهته (مثبت یا منفی) است. علت ایجاد آن، برق آسمان (صاعقه) و اثر آن، خرابی تجهیزات و دستگاه‌های برقی می‌باشد.
- گذرای نوسانی: یک موج نوسانی گذرا، تغییری ناگهانی در شرایط ماندگار ولتاژ، جریان یا هر دو است که فرکانسی به غیر فرکانس قدرت در حالت بار نامی را داراست و مقدار آن، هر دو پلاریته مثبت و منفی دارد. علت ایجاد آن، کلیدزنی خازن‌ها و اثرات آن، تریپ کردن درایوها و افزایش ولتاژ ورودی خازن طرف فشار ضعیف است.

1- Transient

ط- فلیکر[1]: براساس تعریف ANSI-C84 ۱۹۸۱ فلیکر ولتاژ عبارت است از تغییرات منظم پوش ولتاژ یا یک سری تغییرات ولتاژ تصادفی با فرکانس بین ۸ تا ۳۰ هرتز که دامنه آن‌ها معمولاً از ۰/۹ تا ۱/۱ به ازای هر واحد است. عبارت فلیکر را به‌صورت تأثیر غیر ماندگار حسی یک منبع نوری، روی چشم انسان، تعریف می‌کنند.

علل ایجاد فلیکر به شرح زیر است:

- کوره‌های قوس و جوشکاری
- بارهای دارای قطع و وصل سریع

اثرات فلیکر به شرح زیر است:

- چشمک‌زنی لامپ‌ها
- عملکرد نادرست بارهای حساس

ی- تغییرات کوتاه‌مدت و بلندمدت دامنه ولتاژ: این تغییرات بر حسب زمان تداوم آن‌ها مطابق استاندارد IEC-61000-2-1 به سه دسته زیر تقسیم می‌شوند:

آنی: به محدوده زمانی ۰/۵ دوره تا ۳۰ دوره اطلاق می‌شود.

لحظه‌ای: به محدوده زمانی ۳۰ دوره تا ۳ ثانیه اطلاق می‌شود.

موقتی: به محدوده زمانی ۳ ثانیه تا یک دقیقه اطلاق می‌شود.

ک- کمبود ولتاژ[2]: کمبود ولتاژ عبارت از کاهشی بین ۰/۱ تا ۰/۹ به ازای هر واحد در مقدار مؤثر ولتاژ در فرکانس قدرت و زمان تداوم ۰/۵ دوره تا ۱ دقیقه است. کمبود به سه دسته آنی، لحظه‌ای و موقتی تقسیم می‌شود، در صورتی‌که این افت ولتاژ بیشتر از یک دقیقه طول بکشد، این پدیده افت ولتاژ نامیده می‌شود.

علل ایجاد کمبود ولتاژ به شرح زیر است:

- خطاهای روی شبکه

1- Flicker

2- Voltage Sag

- راه‌اندازی موتورها
- قطع بانک‌های خازنی
- وصل بارهای بزرگ

کمبود ولتاژ می‌تواند منجر به قطع دستگاه‌های حساس مشترکین و پروسس کنترلرها در خطوط تولید شود.

ل- بیشبود ولتاژ[1]: واژه بیشبود در مقابل کلمه کمبود معرفی شده است. بیشبود عبارت از افزایش موقتی در مقدار مؤثر ولتاژ به اندازه ۱/۱ تا ۱/۸ در هر واحد در مقدار مؤثر و برای مدت ۰/۵ دوره تا ۱ دقیقه است. در صورتی‌که زمان تداوم بیش از ۱ دقیقه طول بکشد، این پدیده را افزایش ولتاژ می‌نامند.

علل ایجاد بیشبود ولتاژ به شرح زیر است:

- خطای تک‌فاز به زمین
- قطع بارهای بزرگ
- وصل بانک‌های خازنی
- اثرات بیشبود ولتاژ به شرح زیر است:
- افزایش ولتاژ لحظه‌ای روی دستگاه‌ها
- خرابی برق‌گیرهای متال اکسید اگر به مرحله عمل برسند

م- قطعی ولتاژ: کاهش شدید (کمتر از ۱۰ درصد مقدار نامی) یا قطع کامل ولتاژ تغذیه از یک فاز یا بیشتر را در زمان بین ۰/۵ دوره تا یک دقیقه، قطعی ولتاژ گویند.

مراحل انجام ارزیابی و بهبود کیفیت توان:

۱- تکمیل فرم‌های اطلاعات شبکه و سابقه مشکلات‌کیفیت توان در محل

۲- بازدید و بررسی حضوری شبکه و بارها

1- Voltage Swell

۳- اندازه‌گیری‌های استاندارد کیفیت توان در نقاط حساس

۴- تحلیل و بررسی فرم‌های اطلاعات، برداشت‌های حضوری و اطلاعات اندازه‌گیری شده در جهت مشخص کردن اشکالات کیفیت توان و اولویت‌بندی آن‌ها

۵- ارائه روش‌های پیشگیری و جبران در جهت بهبود کیفیت توان انرژی

واژگان ترانسفورماتور

ترانسفورماتور: وسیله‌ای است که انرژی الکتریکی را به وسیله دو یا چند سیم‌پیچ و از طریق القای الکتریکی، از یک مدار به مداری دیگر منتقل می‌کند و به‌طور ایده‌آل فقط تغییردهنده سطح ولتاژ و جریان است. اما در عمل، این تجهیز نیز دارای تلفاتی می‌باشد که با محاسبه این تلفات بر حسب کیلووات در یک بازه زمانی، می‌توان به محاسبه انرژی مصرفی آن پرداخت.

انواع تلفات ترانسفورماتور:

۱- تلفات بی‌باری (آهنی) ترانسفورماتور شامل تلفات هسته (تلفات هیسترزیس[۱] و تلفات جریان گردابی[۲])، تلفات مقاومتی جریان اولیه و تلفات دی‌الکتریک در عایق‌ها.

مقدار تلفات هسته در بارهای مختلف ثابت و رابطه آن به‌صورت زیر است:

۱- هر بار که جهت جریان الکتریکی به‌خاطر وجود فرکانس عوض می‌شود، با توجه به جنس هسته، مقدار کمی انرژی در هسته باقی می‌ماند. به این ترتیب برای یک هسته با جنس ثابت این نوع تلفات با میزان فرکانس تناسب دارد و با افزایش فرکانس، تلفات پسماند هسته نیز افزایش می‌یابد.

۲- مواد فرومغناطیس معمولاً هادی‌های الکتریکی خوبی نیز هستند و بنابراین هسته ترانسفورماتور می‌تواند مانند یک مدار اتصال کوتاه شده عمل کند. بنابراین حتی با القای میزان کمی ولتاژ، جریان در هسته به شدت بالا می‌رود. این جریان جاری در هسته علاوه بر ایجاد تلفات الکتریکی باعث ایجاد حرارت در هسته نیز می‌شود. جریان گردابی در هسته با مجذور فرکانس منبع رابطه مستقیم و با مجذور ضخامت ورق هسته رابطه معکوس دارد. برای کاهش تلفات گردابی در هسته، هسته‌ها را ورقه ورقه کرده و آن‌ها را نسبت به یکدیگر عایق می‌کنند.

وزن هسته × (تلفات جریان گردابی + تلفات هیسترزیس) × m = تلفات بی‌باری

۲- تلفات بارداری[۱] (مسی) که این تلفات از نوع مقاومتی و با توان دوم بار متناسب است و در آن، R_1 و R_2، مقاومت سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه بر حسب اهم، I_1 و I_2 جریان‌های اولیه و ثانویه ترانسفورماتور هستند.

$$W_C = R_1 I_1^{\ 2} + R_2 I_2^{\ 2}$$

۳- تلفات مکانیکی[۲] و تهویه که با توجه به ناچیز بودن میزان آن و با انجام برنامه منظم نگهداری و تعمیرات می‌تواند صرفنظر شود. از جمله بهترین راه‌های کاهش تلفات تهویه، استفاده از یک سیستم مناسب خنک‌کننده در ترانسفورماتور است.

شکل (۳-۳) نمایی از یک ترانسفورماتور

۱- جریانی که در یک هادی جاری می‌شود، با توجه به میزان مقاومت الکتریکی هادی می‌تواند موجب به وجود آمدن حرارت در محل عبور جریان شود.

۲- با تغییر شکل بر اثر مغناطیس در یک ترانسفورماتور، بین قطعات آن نوعی حرکت به وجود می‌آید. این تحرک موجب ایجاد تلفات مکانیکی در ترانسفورماتور خواهد شد. در صورتی که قطعات ترانسفورماتور به خوبی در جای خود محکم نشده باشند، تحرکات و تلفات مکانیکی نیز افزایش خواهد یافت.

سیستم‌های خنک‌کننده در ترانسفورماتور عبارتند از:

الف- سیستم ONAN (روغن طبیعی- هوا طبیعی): در این سیستم، هوا به‌طور طبیعی در تماس با سطح خارجی رادیاتورها است و خنک می‌کند. گردش روغن در ترانسفورماتور نیز به‌طور طبیعی صورت می‌گیرد؛ به این صورت که روغن گرم بالا رفته، روغن سرد جای آن را می‌گیرد. این سیستم، ویژه ترانسفورماتورهای با توان کم (تا ۳۰ مگا ولت آمپر) است. زیرا با افزایش توان ترانسفورماتور، حرارت سیم‌پیچ‌ها زیاد می‌شود و روغن باید سریعتر در تماس با هوای بیرون قرار گرفته و عمل خنک‌کنندگی با سرعت بیشتری انجام شود.

ب- سیستم ONAF (روغن طبیعی – هوا اجباری): در این سیستم، گردش روغن در داخل ترانسفورماتور طبیعی صورت می‌گیرد ولی فن‌های نصب شده روی بدنه رادیاتورها، سرعت تماس هوای خارج با بدنه رادیاتور را افزایش می‌دهد، لذا روغن سریع‌تر خنک می‌شود و طبعاً می‌توان، توان ترانسفورماتور را بالا برد. دمیدن هوا توسط فن‌ها می‌تواند به‌طورمداوم یا با فاصله تناوبی انجام شود. (عملکرد فن تابعی از درجه حرارت روغن داخل ترانسفورماتور است). این سیستم، به‌طور وسیعی در ترانسفورماتورهای با توان بین ۳۰ تا ۶۰ مگا ولت آمپر، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

ج- سیستم OFAF (روغن اجباری-هوا اجباری): در این سیستم، گردش روغن در داخل ترانسفورماتور به کمک فن، سرعت داده می‌شود تا انتقال حرارت با سرعت بیشتری انجام گیرد. فن‌های هوا نیز بدنه رادیاتورها را در تماس بیشتری با هوا قرار می‌دهند تا روغن را سریع‌تر خنک کنند. در این سیستم با توجه به سرعت بالای خنک‌کنندگی سیم‌پیچ‌ها، می‌توان توان نامی ترانسفورماتور را به مقدار قابل توجهی افزایش داد. (بیش از ۶۰ مگا ولت آمپر)

د- سیستم OFWF (روغن اجباری- آب اجباری): در این سیستم، ابتدا روغن توسط پمپ از بالای ترانسفورماتور وارد رادیاتور می‌شود تا پس از عبور از آن، از پایین رادیاتور

وارد ترانسفورماتور شود. در رادیاتور، آب خنک‌کنندگی هم توسط پمپ در خلاف مسیر روغن عبور می‌کند که باعث کاهش دمای روغن می‌شود. از این نوع سیستم در ترانسفورماتورهای با توان بیش از ۶۰ مگا ولت آمپر استفاده می‌شود.

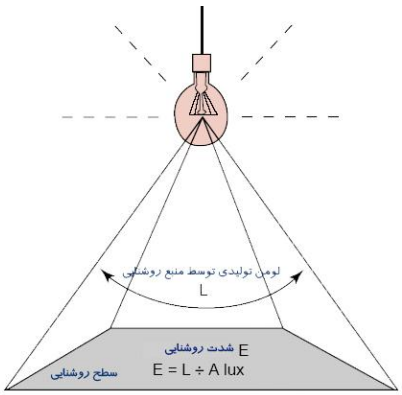
ه- سیستم ODWF (روغن اجباری در سیم‌پیچ و هسته-آب اجباری): در ترانسفورماتورهای با توان‌های بسیار بالا، به منظور کاهش هرچه بیشتر دمای سیم‌پیچ‌ها و هسته باید روغن را توسط پمپ‌ها، با فشار و جهت مناسب از قسمت تحتانی تانک ترانسفورماتور به داخل سیم‌پیچ‌ها و هسته هدایت نمود. همچنین مشابه روش قبل، با استفاده از رادیاتور و چرخش روغن در داخل آن و به واسطه تماس غیر مستقیم با آب خنک‌کنندگی، دمای روغن به مقدار مورد نظر کاهش می‌یابد.

واژگان روشنایی

لومن: لومن بیانگر نرخ جریان انرژی روشنایی است.

لوکس: معادل لومن در هر متر مربع ($\frac{lm}{m^2}$)، واحد شدت نور و میزان نوری است که به واحد سطح می‌رسد.

بهره نوری: رابطه نور خروجی منبع نور با توان مصرفی آن ($\frac{lm}{W}$)



شکل (۳-۴) آشنایی با کمیت‌های روشنایی

شاخص نمود رنگ [1](CRI): انسان از نور خورشید به عنوان منبع اصلی نـور اسـتفاده می‌کند، بنابراین بهترین منابع نوری از لحاظ بصری، منابع با طیف نور شـبیه بـه طیـف نور خورشید هستند. برای تعیین کیفیت یک منبع نور، از شاخص نمـود رنـگ اسـتفاده می‌کنند که بین ۰ تا ۱۰۰ متغیر و مقدارش با کیفیت تولید نور سـفید متناسـب اسـت. طیف نور خورشید دارای طیف طول موج کاملی (غیر طول موج‌هایی که در طـی مسـیر خود تا زمین تضعیف می‌شوند) از رنگ‌ها است و این موضوع باعث می‌شود که هر رنگی، در زیر نور خورشید جلوه و نمای خود را به خوبی نشان دهد. منابع نوری مختلف نیز هر کدام طیف‌های خاصی از رنگ‌های متفاوت را تولید می‌کنند.

درجه حرارت رنگ[2]:لامپ‌ها اعم از LED، فلورسنت، متال هالید یا رشته‌ای، نورشـان را با رنگ خاصی متصاعد می‌کنند. در واقع رنـگ نهـایی نـور مشـاهده شـده متشـکل از رنگ‌های مختلفی است که هر کدام دارای طول موج متفاوتی هسـتند. ایـن رنـگ‌هـا بـا یکدیگر ترکیب شده و رنگ نهایی مشاهده شـده را تشـکیل مـی‌دهنـد. پدیـده ترکیـب رنگ‌های مختلف با طول موج‌های متفاوت و تشکیل یک نور جدید را درجه حرارت رنگ می‌نامند و آن را با واحد کلوین می‌سنجند. درجه کلوین بالاتر، بیانگر نور متصـاعد شـده خنک‌تر و روشن‌تر و درجه پایین‌تر، بیانگر نورهای گرم مانند زرد و قرمز است.

عوامل اصلی تلفات نور: از عوامل اصلی اتلاف نور می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

۱- افت شدت نور لامپ (لومن) به مرور زمان

۲- کاهش شدت نور در اثر آلودگی و گرد و غبار

۳- افت ولتاژ به‌دلیل سیم‌کشی نامناسـب، اضـافه بـار مـدارها یـا تنظـیم بـد ولتـاژ، خروجی نور را کاهش می‌دهد

1- Color Rendering Index

2 - Colour Temperature

۴- کم بهره بودن چراغ و نامناسب بودن سطوح منعکس‌کننده

معیارهای مقایسه انواع لامپ‌ها: از مهم‌ترین معیارهای مقایسه لامپ‌ها می‌توان به بهره نوری، درجه حرارت رنگ، شاخص نمود رنگ و طول عمر تقریبی اشاره نمود.

۱- لامپ‌های التهابی: مهم‌ترین مشخصات این لامپ‌ها، راندمان و طول عمر پایین و کاهش زیاد نورشان با گذشت زمان می‌باشد، تنها مزیت لامپ‌های التهابی تظاهر رنگ خوب آن‌هاست.

۲- لامپ فلورسنت یا کم مصرف: مشخصات این نوع لامپ شامل، کارایی بالا (تا $۹۰\frac{Im}{w}$)، تظاهر رنگ متوسط، افت نور خیلی کم (گاهی فقط تا ٪۷) و حساسیت به درجه حرارت محیط (کارایی پایین در حرارت زیر $۴۰C^{\circ}$) است. لازم به ذکر است که کاربرد نامحدود و کنترل نشده این نوع لامپ، افزایش راکتانس سیستم توزیع برق و امکان ورود خسارت به شبکه برق را در پی خواهد داشت.

۳- لامپ‌های تخلیه‌ای: کارایی این لامپ‌ها نسبت به لامپ فلورسنت بالاتر و کاهش نورشان در اثر مرور زمان متوسط است. لامپ‌های تخلیه‌ای کم فشار (سدیم کم فشار) بیشتر در مکان‌هایی مانند روشنایی معابر و خیابان‌ها که رنگ نور اهمیت چندانی ندارد، کاربرد دارند. در مقابل، لامپ‌های تخلیه پر فشار (سدیم فشار بالا)، دارای گستردگی طیف بیشتر بوده و مخصوصاً جایگزین خوبی برای لامپ بخار جیوه هستند.

۴- لامپ‌های فوق کم مصرف LED که نسل جدید لامپ‌های کم مصرف هستند، مصرف بسیار کم، شدت روشنایی مناسب، قابلیت کاربرد در محل‌های گوناگون، تنوع رنگ، عمر طولانی نزدیک به ۲۰ هزار ساعت، ساخته شده بدون مواد سمی جیوه و سرب، سازگار با سرپیچ‌های معمولی و عملکرد بدون صدا و البته قیمت بالاتر ولی با بازگشت سرمایه مناسب، از ویژگی‌های منحصربه فرد این نوع لامپ‌ها است.

جدول (۳-۹) مقایسه مشخصات انواع لامپ‌ها

نوع لامپ	بهره نوری (لومن به وات)	درج حرارت رنگ (کلوین)	شاخص نمود رنگ (٪)	طول عمر تقریبی (ساعت)
نور خورشید	-	۵۵۰۰-۸۵۰۰	۱۰۰	-
تنگستن ولتاژ اصلی	۱۲	۲۶۰۰	۱۰۰	۱,۰۰۰ -۲,۰۰۰
تنگستن هالوژن ولتاژ اصلی	۱۸	۳۰۰۰	۱۰۰	۲,۰۰۰ -۸,۰۰۰
تنگستن هالوژن ولتاژ پایین IRC	۲۲	۳۰۰۰	۱۰۰	۵,۰۰۰
فلورسنت فشرده	۴۵-۹۰	۲۷۰۰-۴۰۰۰	۸۵	۱۲,۰۰۰
فلورسنت هالوفسفر /T_8/ قطر ۲۶ میلی‌متر	۳۷-۶۸	۲۷۰۰-۴۰۰۰	۵۸	۸,۰۰۰
فلورسنت تری‌فسفر/ T_8/ قطر ۲۶ میلی‌متر	۷۱-۹۲	۲۷۰۰-۶۰۰۰	۸۰	۱۲,۰۰۰ -۶۰,۰۰۰
فلورسنت پربازده/ T_5/ قطر ۱۶ میلی‌متر	۶۶-۸۲	۲۷۰۰-۶۵۰۰	۸۰	۲۰,۰۰۰
فلورسنت خروجی بالا/ T_5/ قطر ۱۶ میلی‌متر	۶۲-۷۶	۲۷۰۰-۶۵۰۰	۸۰	۲۰,۰۰۰
متال هالید (استاندارد)	۷۱-۸۳	۳۰۰۰-۶۰۰۰	۶۵-۸۵	۸,۰۰۰ -۱۰,۰۰۰
متال هالید (CDM)	۸۷-۹۵	۳۰۰۰-۶۰۰۰	۶۵-۸۵	۱۲,۰۰۰
سدیم سفید	۳۱-۴۶	۲۵۰۰	۸۰	۱۰/۰۰۰
LED	۵۰-۱۰۰	۳۰۰۰-۶۰۰۰	۷۰-۸۰	۵۰,۰۰۰ -۱۰۰,۰۰۰

شکل (۳-۵) نمایی از انواع لامپ‌هایLED

شکل (۳-۶) نمایی از انواع لامپ‌ها

سیستم‌های کنترل سیستم روشنایی: کنترل روشنایی را می‌توان به دو دسته دستی و خودکار تقسیم نمود. البته سیستم‌های تمام خودکار معمولاً امکان کنترل دستی هم دارند که به نوعی سیستم کنترل مرکب را به وجود می‌آورند.

انواع کنترل‌های سیستم روشنایی عبارتند از:

۱- سیستم‌های کنترل بر پایه زمان

۲- سیستم‌های کنترل بر پایه حضور افراد

۳- سیستم‌های کنترل بر پایه سطح روشنایی

شکل (۳-۷) ادوات کنترل سیستم روشنایی

۱- کنترل بر پایه زمان: این کنترل برای مکان‌هایی مناسب است که نیازمندی‌های روشنایی آن‌ها قابل پیش‌بینی و از قبل تعیین شده است. در مورد روشنایی خارجی بر اساس زمان طلوع و غروب خورشید و برای روشنایی داخلی با استفاده از جدول زمانی کار تنظیم می‌شود. این کنترل‌ها باید برای استفاده روشنایی در خارج از جدول زمانی نیز امکان کنترل دستی داشته باشند.

۲- کنترل بر پایه حضور افراد: این نوع کنترل، برای مکان‌هایی نظیر راهرو، راه پله، انبار مناسب هستند که دارای الگوی غیر قبل پیش‌بینی و متغیر برای حضور افراد می‌باشند. این نوع کنترل با استفاده از سنسورهای مافوق صوت یا مادون قرمز حضور افراد را تشخیص می‌دهند.

۳- کنترل بر پایه سطح روشنایی: مزیت این نوع کنترل، جبران روشنایی با استفاده از نور روز یعنی استفاده حداکثر از روشنایی طبیعی و استفاده حداقل از روشنایی لامپ‌های الکتریکی جهت تأمین سطح روشنایی مورد نظر است. این سیستم‌ها دارای وسیله تضعیف نور بوده و سنسورها، میزان تضعیف نور را مشخص می‌کنند.

۳-۲-۴ شرح عملیات تحلیل شبکه توزیع انرژی الکتریکی

یک شرکت تولیدی، برق مورد نیاز خود را می‌تواند از نیروگاه اختصاصی خود تـأمین کند که در این گزارش به نحوه ممیزی انرژی نیروگاه[۱] پرداخته نمی‌شود[۲] و یـا از شـبکه سراسری[۳]، برق خود را تامین می‌کند که کیفیت و کمیت برق ورودی به شرکت می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد و یا در مواقع اضطراری از دیزل ژنراتور اسـتفاده کنـد. در بخـش توزیع، ترانسفورماتورها، کابل‌ها و سیستم کنترل توان راکتیو، نقش ایفا می‌کننـد و بـرق نیز می‌تواند توسط هیترها، کوره‌های الکتریکی (قـوس الکتریکـی و القـایی)، روشـنایی و توربوماشین‌ها با درایور موتور الکتریکی مصرف گردد که بخش آشـنایی بـا فرصـت‌هـای بالقوه صرفه‌جویی انرژی در سیستم روشنایی در ادامه و موتور الکتریکی نیـز در قسـمت ۳- ۱۳ گزارش به تفصیل ارائه می‌شود. در این بخش سه موضوع بررسـی عملکـرد بـار و ترانسفورماتور از منظر انرژی در بخش توزیع و بررسی عملکرد روشنایی در بخش مصرف مورد بررسی قرار می‌گیرد.

مراحل تحلیل عملکرد انرژی شبکه توزیع برق

الف- تعریف شاخص‌های عملکرد شبکه توزیع برق

ب- اندازه‌گیری پارامترهای مورد نیاز

ج- محاسبه و تحلیل شاخص‌های عملکرد شبکه توزیع برق

د- شناسایی راهکارهای عملی بهینه‌سازی انرژی در شبکه توزیع برق

۱- تولید نیروگاه‌ها، توسط پست‌ها و خطوط موجود در شبکه به شبکه توزیع انتقال داده مـی‌شـود و در آخر به دست مصرف‌کننده نهایی و مشترک برق می‌رسد.

۲- به نظام‌نامه ممیزی انرژی نیروگاه‌های کشور که توسط سازمان بهره‌وری انرژی تدوین شده، رجوع شود.

۳- شبکه‌ای به‌هم پیوسته شامل نیروگاه‌ها، خطوط و پست‌های انتقال و فوق توزیع.

الف- تعریف شاخص‌های عملکرد شبکه توزیع برق

ممکن است یک شرکت، با تولید برق در نیروگاه اختصاصی خود و یا تأمین برق از شبکه سراسری، انرژی مورد نیاز خود را در اختیار مصرف‌کننده‌های خود قرار دهد که باید کیفیت آن مناسب و مطابق استاندارد باشد. در ادامه شاخص‌های شش‌گانه عملکرد شبکه توزیع برق ارائه می‌شود.

- ولتاژ متعادل
- تنظیم ولتاژ صفر
- ضریب توان[1] واحد
- عدم وجود هارمونیک‌های مزاحم
- ولتاژ و جریان نامتعادل
- ولتاژ نقطه صفر

۱- ولتاژ متعادل: در صورت تعادل ولتاژ و بار، جریان نیز متعادل خواهد بود. این مسأله به عهده مصرف‌کننده است تا با ایجاد تعادل در بار مصرفی خود، جریانی متعادل را از شبکه دریافت کند. عدم تعادل در بارهای مصرف‌کننده اصولاً با استفاده از بارهای تکفاز به دست می‌آید و مصرف‌کننده در صورت نیاز به استفاده از این بارها باید آن‌ها را به گونه‌ای میان فازها تقسیم کند که از دید شبکه، بار مصرف‌کننده متعادل باشد. در صورت عدم رعایت این مسأله از سوی مصرف‌کننده، انتظار ولتاژهای متعادل از سوی شبکه نیز انتظاری غیرعملی است.

از معایب نامتعادلی سیستم‌های سه فازی می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- ایجاد جریان مؤلفه صفر
- اشتباه در عملکرد تجهیزات حفاظتی
- اشباع ترانسفورماتورها

1- Power Factor (PF)

- ایجاد تلفات اضافی در تجهیزات
- گشتاور نوسانی در ماشین‌های ساده
- کاهش عمر مفید تجهیزات الکتریکی

۲- تنظیم ولتاژ صفر: عبور جریان از امپدانس خطوط، باعث می‌شود تا ولتاژ در محل پست با ولتاژ در محل بار، دارای اختلاف اندازه و فاز باشد. هر چه مقدار این اختلاف کمتر باشد، تنظیم ولتاژ مقدار مناسب‌تری است. در شرایط ایده‌آل این اختلاف باید صفر باشد ولی در شرایط بهینه مقدار ناچیزی است. اهمیت این مسأله در آن است که با کاهش و افزایش جریان بار، نباید ولتاژ در باس‌بار دچار تغییر شود. زیرا این مسأله نتایج نامطلوبی را در پی‌خواهد داشت که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- توقف واحدهای تولیدی شرکت ناشی از تریپ رله‌های حساس به کاهش ولتاژ
- اضافه بار و گرما
- توقف موتورها
- کاهش خروجی توان راکتیو خازن‌ها

عمر تجهیزات الکتریکی، برای کار در یک ولتاژ نامی استاندارد طراحی می‌شوند. کارکرد این تجهیزات در ولتاژی غیر از ولتاژ نامی باعث افزایش تلفات، کاهش کارایی، افت عملکرد و کاهش عمر مفید آن‌ها می‌شود. برای جلوگیری از این مسأله راهکارهای متفاوتی وجود دارد که از آن جمله استفاده از تپ‌چنجر در ترانسفورماتورها است و می‌تواند به صورت دستی یا اتوماتیک کنترل شود و با تنظیم درست، می‌توان ولتاژی مناسب را برای بار مهیا کرد.

۳- ضریب توان واحد: اهمیت ضریب توان، مربوط به مؤلفه راکتیو بار است. اگر چه مؤلفه راکتیو، توان تلف شده نیست (این مؤلفه در میدان‌های الکتریکی یا

مغناطیسی ذخیره می‌شود)، ولی تجهیزات پست‌های فشار قوی[۱] و سیستم توزیع برق، باید به اندازه‌ای باشند که از عهده جریان مورد نیاز توان ظاهری یا جمع برداری مؤلفه‌های توان اکتیو و راکتیو برآیند. این کار مستلزم سرمایه و هزینه‌های عملیاتی زیاد است. هزینه‌های عملیاتی به دلیل تلفاتی که هنگام تأمین مؤلفه راکتیو بار به وجود می‌آید، افزایش پیدا می‌کند. ضریب توان را می‌توان با ادوات کنترل توان راکتیو مانند افزودن خازن‌هایی به بار، به منظور جبران بخشی از راکتانس القایی، بهبود بخشید.

از تأثیرات منفی ضریب توان پایین می‌توان به افزایش جریان و در پی آن احتیاج به کابل‌های بزرگ‌تر برای انتقال توان در نتیجه افزایش تلفات اهمی و افت ولتاژ و کاهش کارایی تجهیزات توزیع برق در شرکت، کاهش ظرفیت و در نتیجه افزایش هزینه تجهیزات (مانند کلید، فیوز، کابل، ترانسفورماتور و ...) به لحاظ لزوم افزایش ظرفیت آن‌ها و افزایش هزینه برق به‌واسطه جریمه ضریب توان پایین اشاره نمود که باید با اقدامات زیر، ضریب توان تا حد امکان اصلاح شود:

- طراحی مناسب موتورها و پرهیز از انتخاب موتور با توان نامی بزرگ‌تر از بار
- استفاده از موتورهای سرعت بالا به جای موتورهای سرعت پایین
- نصب خازن یا در صورت امکان استفاده از موتور سنکرون
- در صورت امکان استفاده از ادوات کنترل توان راکتیو مانند SVC و STATCOM

مصرف‌کننده موظف است تا بار خود را به گونه‌ای تنظیم کند که در شرایط ایده‌آل، ضریب توان واحد و در شرایط بهینه نزدیک به ۱ مثلاً ۰/۹ داشته باشد.

۱- پست یا ایستگاه برق، مجموعه‌ای از تأسیسات و تجهیزات الکتریکی شامل ترانسفورماتورها، کلیدها، سکسیونرها، وسایل اندازه‌گیری، خطوط ورود و خروج سلف و خازن‌های مختلف برای انتقال و توزیع برق است.

جدول (۳- ۱۰) میزان کیلووار ظرفیت بانک خازنی مورد نیاز[۱] برای اصلاح ضریب توان

ضریب توان مطلوب								
1.00	**0.99**	**0.98**	**0.97**	**0.96**	**0.95**	**0.90**	**0.85**	**ضریب توان موجود**
2.288	2.146	2.085	2.037	1.998	1.959	1.805	1.668	0.40
1.732	1.590	1.528	1.481	1.441	1.403	1.248	1.112	0.50
1.334	1.192	1.131	1.083	1.043	1.005	0.849	0.714	0.60
1.169	1.027	0.966	0.918	0.878	0.840	0.685	0.549	0.65
1.108	0.966	0.905	0.857	0.817	0.779	0.624	0.488	0.67
1.079	0.937	0.876	0.828	0.788	0.750	0.595	0.459	0.68
1.049	0.907	0.840	0.798	0.758	0.720	0.565	0.429	0.69
1.020	0.878	0.811	0.769	0.729	0.691	0.536	0.400	0.70
0.992	0.850	0.783	0.741	0.701	0.663	0.508	0.372	0.71
0.963	0.821	0.754	0.712	0.672	0.634	0.479	0.343	0.72
0.936	0.794	0.727	0.685	0.645	0.607	0.452	0.316	0.73
0.909	0.740	0.700	0.658	0.618	0.580	0.425	0.289	0.74
0.882	0.713	0.673	0.631	0.591	0.553	0.398	0.262	0.75
0.855	0.687	0.652	0.604	0.564	0.526	0.371	0.235	0.76
0.829	0.661	0.620	0.578	0.538	0.500	0.345	0.209	0.77
0.808	0.633	0.594	0.552	0.512	0.474	0.319	0.183	0.78
0.776	0.608	0.567	0.525	0.485	0.447	0.292	0.156	0.79
0.750	0.582	0.541	0.499	0.459	0.421	0.266	0.130	0.80
0.724	0.556	0.515	0.473	0.433	0.395	0.240	0.104	0.81
0.698	0.530	0.489	0.447	0.407	0.369	0.214	0.078	0.82
0.672	0.504	0.463	0.421	0.381	0.343	0.118	0.052	0.83
0.645	0.478	0.437	0.395	0.355	0.317	0.162	0.026	0.84

۱- محاسبات از فرمول $Q_C = P(tg\theta_1 - tg\theta_2)$ انجام شده است که در آن θ_1 اختلاف فـاز موجـود و θ_2 مطلوب بین ولتاژ و جریان است.

۴- عدم وجود هارمونیک‌های مزاحم: هارمونیک‌ها می‌توانند توسط شبکه انتقالی از شبکه سراسری یا نیروگاه به مصرف‌کننده‌های شرکت تزریق شوند و یا از طریق مصرف‌کننده‌های شرکت به شبکه سراسری یا نیروگاه تزریق شوند. به طورکلی وجود سیگنال‌هایی با فرکانسی به جز فرکانس اصلی، در سیگنال جریان و ولتاژ، هارمونیک‌های مزاحم هستند. تجهیزات الکتریکی، در زمان کارکرد، هارمونیک‌های متفاوتی تولید می‌کنند، اما میزان تولید هارمونیک‌ها، در تجهیزات مختلف، متفاوت بوده و طبق یک قاعده کلی تولید هارمونیک در تجهیزات غیرخطی مانند کنورتورها و کوره‌های قوس الکتریکی و ... بیش از سایر تجهیزات است. جلوگیری از تولید هارمونیک‌ها با توجه به نیاز به این تجهیزات امری غیرممکن بوده و تنها کاری که می‌توان در این رابطه انجام داد، کنترل آن‌ها در حد مطلوب است.

برای کنترل هارمونیک‌ها راه‌های متفاوتی وجود دارد، اما استفاده از انواع فیلترها از رایج‌ترین راه‌حل‌های این مسأله است. طراحی فیلترها با توجه به نوع تجهیزات، انواع هارمونیک‌های تولید شده توسط آن‌ها و مقادیر استانداردی که باید رعایت شوند، صورت می‌گیرد. یکی از رایج‌ترین استانداردهای موجود در این زمینه استاندارد IEEE-519 است که در ادامه در مورد آن توضیح داده می‌شود. استاندارد IEEE-519، محدودیت‌هایی را در زمینه اعوجاج هارمونیکی ولتاژ برای شبکه برق معرفی کرده است. این حدود پیشنهادی برای حداکثر مؤلفه‌های هارمونیکی مجاز و درصد اعوجاج هارمونیکی می‌باشد که در جدول ۳-۱۱ آمده است.

جدول (۳-۱۱) حدود پیشنهادی برای مقدار حداکثر مولفه‌های هارمونیکی و THD

ولتاژ باس در PCC Vn (kV)	مقدار پیک هارمونیک‌های ولتاژ (%)	THD Vn (%)
Vn<۶۳	۳	۵/۰
۶۳≤ Vn≤ ۱۳۲	۱/۵	۲/۵
Vn >۱۳۲	۱/۰	۱/۵

نکته: تعریف اعوجاج هارمونیکی کل[1]، در جدول بالا با تعریف مرسوم، کمی متفاوت است. در این جدول، THD به عنوان تابعی از مقدار مؤثر ولتاژ نامی می‌باشد، در حالیکه در تعریف مرسوم، به عنوان تابعی از مؤلفه اول ولتاژ در زمان اندازه‌گیری است. دو نکته مهم، در زمینه این حدود پیشنهادی THD وجود دارد:

۱- جریان‌های هارمونیکی که توسط مصرف‌کننده (شرکت) به شبکه تزریق می‌شود، باید کنترل شود.

۲- اعوجاج هارمونیک‌های ولتاژ، با وجود جریان هارمونیکی تزریق شده بسیار محدود، می‌تواند شدید باشد.

این مورد زمانی اتفاق می‌افتد که یکی از فرکانس‌های جریان‌های هارمونیکی، به فرکانس رزونانس سیستم نزدیک شده و سبب شود سطح اعوجاج ولتاژ به طور غیرقابل قبولی افزایش یابد. ذکر این نکته ضروری است که مشکلات اساسی هارمونیکی، توسط بارهای غیرخطی و از جانب مصرف‌کننده‌ها پدید می‌آیند و البته اکثر این بارها در تأسیسات مصرف‌کننده[2] وجود دارند.

مشکلات حادتر زمانی رخ می‌دهند که بارهای غیرخطی، به همراه بانک‌های خازنی تصحیح ضریب توان، شرایط رزونانس (تشدید) را ایجاد کنند. استاندارد IEEE-519، محدودیت‌هایی را برای اعوجاج هارمونیکی جریان در PCC[3] معرفی کرده است که در جدول ۳-۱۲ آمده است.

جدول(۳-۱۲) محدوده استاندارد IEEE-519 برای اعوجاج هارمونیکی(I_{hT})

Vn<63 kV						
Isc/I_{max}	h<11	11< h ≤ 17	17< h ≤ 23	23< h ≤ 35	h ≤ 35	THD
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0

1- Total Harmonic Disturtion

2- End user facilities

3- Point of Common Coupling

20-50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50-100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100-1000	12	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0
63kV ≤ Vn <132 kV						
Isc/I_{max}	h<11	11< h ≤ 17	17< h ≤ 23	23< h ≤ 35	h ≤ 35	THD
<20 *	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
20-50	3.5	1.75	1.25	0.5	0.25	4.0
50-100	5.0	2.25	2.0	0.75	0.35	6.0
100-1000	6.0	2.75	2.5	1.0	0.5	7.5
>1000	7.5	3.5	3.0	1.25	0.7	10.0
Vn>132 kV						
Isc/I_{max}	h<11	11< h ≤ 17	17< h ≤ 23	23< h ≤ 35	h ≤ 35	THD
<50	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
50 ≥	3.0	1.50	1.15	0.45	0.22	3.75

* تجهیزات تولید توان در زمینه اعوجاج هارمونیکی جریان، صرف‌نظر از نرخ جریان اتصال کوتاه واقعی آن‌ها به اعداد این ردیف محدود می‌شوند.

I_{hT}: مقدار مؤثر مؤلفه جریان هارمونیکی h ام که از رابطه زیر محاسبه می‌شود. این جریان در این گزارش با نام جریان تعمیم یافته تعریف می‌شود.

$$I_{hT} = \frac{I_{hi}}{I_{max}}$$

I_{hT}: جریان تعمیم یافته در هارمونیک h ام

I_{max}: حداکثر جریان مؤلفه اصلی مورد تقاضای بار در PCC است. (برای محاسبه این مقدار، می‌توان از متوسط و حداکثر جریان درخواستی ماهانه در ۱۲ ماه گذشته استفاده کرد.)

I_{hi}: درصد هارمونیک در زمان‌های مختلف (جریان هارمونیکی محاسبه شده توسط دستگاه اندازه‌گیری)

I_{sc}: جریان اتصال کوتاه در PCC (جریان اتصال کوتاه با توجه به عدم وجود مقدار دقیق محاسبات اتصال کوتاه فیدر توزیع با توجه به نوع ترانسفورماتور به صورت فرمول زیر محاسبه می‌شود.)

$$I_{sc} = \frac{S * 100}{\sqrt{3} * V_l * u_k}$$

در این رابطه S توان ظاهری، V_l ولتاژ خطی و u_k امپدانس اتصال کوتاه ترانسفورماتور هستند.

حدود جدول فوق، برای مؤلفه‌های هارمونیکی فرد به‌کار می‌رود. در مؤلفه‌های هارمونیکی زوج، حدود تعیین شده، ٪۲۵ حدود فوق است.

اعوجاج هارمونیکی که منجر به ایجاد جریان DC در PCC می‌شود، مجاز نمی‌باشد.

THD طبق رابطه زیر تعریف می‌شود.

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{2} I^{2}_{h}}}{I_L} * 100$$

اگر بارهای هارمونیک‌زا، شامل کنورترهای قدرت با تعداد پالس بیشتر از ۶ باشند، حدود قید شده در جدول، با ضریب $\sqrt{\frac{\hbar}{6}}$ بیشتر می‌شوند، که $\hbar$ تعداد پالس‌ها است.

وجود هارمونیک، هم برای شبکه برق و هم برای مصرف‌کننده‌ها مضر است. به عنوان مثال در شبکه‌ها باعث اختلال در سیستم‌های حفاظتی، اندازه‌گیری، کنترلی و مخابراتی شده و در مصرف‌کننده‌ها باعث افزایش تلفات، اشباع هسته در ترانسفورماتورها و کاهش عمر مفید تجهیزات الکتریکی می‌شود. ولی یکی از بزرگ‌ترین مشکلاتی که وجود هارمونیک‌ها موجب آن می‌شود، پدیده‌ای به نام روزنانس است که در دو حالت سری و موازی اتفاق می‌افتد. این پدیده باعث ایجاد ولتاژها و جریان‌های با دامنه زیاد می‌شود که می‌تواند آسیب جدی به تجهیزات برساند. برای جلوگیری از این پدیده، باید فرکانس‌های هارمونیکی که به فرکانس تشدید سیستم نزدیک هستند را حذف کرد؛ این کار می‌تواند با استفاده از فیلترهای تله‌ای صورت گیرد. همچنین می‌توان فرکانس تشدید سیستم را عوض کرد که این کار نیز با جابجایی محل بانک‌های خازنی یا تغییر مقدار آن‌ها قابل انجام است.

۵- ولتاژ و جریان نامتعادل: معیار مناسبی برای میزان مجاز عدم تعادل فازی در جریان و ولتاژ در ترانسفورماتورها وجود ندارد. اما ولتاژ نامتعادل عامل ایجاد جریان نامتعادل بوده و در صورتی‌که عدم تعادل جریان بیش از ۱۰٪ وجود داشته باشد، عدم تعادل ولتاژ مورد توجه قرار گرفته است. این عدم تعادل می‌تواند ناشی از بار یا ناشی از ولتاژ ورودی ترانسفورماتور باشد.

۶- ولتاژ نقطه صفر: در یک شرکت تولیدی باید با وجود سیستم ارت مناسب و عدم وجود نامتعادلی جریان به همراه بارهای مولد هارمونیک سوم ولتاژ نقطه صفر تقریباً قابل صرف‌نظر باشد.

ب- اندازه‌گیری متغیرهای مورد نیاز

با استفاده از دستگاه تحلیل‌گر کیفیت توان سه فاز که مشخصات آن در گزارش اول بخش سخت‌افزارهای ممیزی انرژی الکتریکی آمده است، باید نسبت به نمونه‌برداری و اندازه‌گیری ولتاژ، جریان و ضریب توان سه فاز شبکه برق اقدام شود. با توجه به این سه متغیر، شاخص‌های مورد نظر با استفاده از نرم‌افزارهای تعریف شده برای سخت‌افزارهای اندازه‌گیری قابل دست‌یابی است.

جدول (۳-۱۳) ارزیابی شاخص‌های شبکه برق شرکت

نام شاخص	منبع دسترسی		دستگاه اندازه‌گیری
	نامی	بهره‌برداری	
ولتاژ متعادل	استاندارد IEEE-519	اندازه‌گیری	تحلیل‌گر کیفیت توان
تنظیم ولتاژ صفر		اندازه‌گیری	تحلیل‌گر کیفیت توان
ضریب توان واحد		اندازه‌گیری	تحلیل‌گر کیفیت توان
عدم وجود هارمونیک‌های مزاحم		اندازه‌گیری	تحلیل‌گر کیفیت توان
ولتاژ و جریان نامتعادل		اندازه‌گیری	تحلیل‌گر کیفیت توان

ج- محاسبه و تحلیل شاخص‌های عملکرد شبکه توزیع برق

با توجه به تعاریف شاخص‌های شبکه برق اعم از ولتاژ متعادل، تنظیم ولتاژ صفر، ضریب توان واحد، عدم وجود هارمونیک‌های مزاحم، ولتاژ و جریان نامتعادل و ولتاژ نقطه صفر، پس از اندازه‌گیری با دستگاه تحلیل‌گر کیفیت توان، می‌توان این شاخص‌ها را با مقادیر موجود در استاندارد IEEE ۵۱۹ مقایسه و مغایرت‌ها را شناسایی نمود.

د- شناسایی راهکارهای عملی بهینه‌سازی انرژی در شبکه توزیع برق

با شناسایی مغایرت‌ها بین شاخص‌های شبکه برق که درصد انحراف حالت بهره‌برداری (موجود و پس از دستیابی به مقادیر شاخص‌ها ناشی از اندازه‌گیری) و حالت هدف (مطلوب و همان مقادیر استاندارد IEEE ۵۱۹)، می‌توان با انجام تدابیری مغایرت‌ها (درصد انحراف)- را حذف و یا کاهش داد. از جمله این اقدامات می‌توان به مدیریت بار و مدیریت تقاضا، اصلاح توان راکتیو و ضریب توان و نیز فیلتر هارمونیک‌های مزاحم اشاره کرد.

شاخص‌های عملکرد انرژی ترانسفورماتور

نحوه ممیزی انرژی ترانسفورماتور چنین است که ابتدا باید شاخص‌های عملکرد انرژی ترانسفورماتور تعریف و سپس اندازه‌گیری و محاسبه شود. در پایان مقادیر محاسبه شده با مقادیر هدف مقایسه شده و در صورت انحراف مقادیر موجود با مقادیر مطلوب، باید نسبت به شناسایی منابع و میزان تلفات در ترانسفورماتور است. از جمله اقداماتی که در راستای شناسایی منابع تلفات انرژی انجام می‌شود، می‌توان به تکمیل پرسش‌نامه مدیریت انرژی ترانسفورماتور اشاره کرد. نحوه اندازه‌گیری و محاسبه شاخص‌های عملکرد و پرسش‌نامه مدیریت انرژی ترانسفورماتور در ادامه آمده است.

شاخص LOD_T: درصد بارگذاری ترانسفورماتور یا همان میزان متوسط توان اکتیو بهره‌برداری به توان نامی ترانسفورماتور است.

نحوه برداشت و محاسبه شاخص: پس از اندازه‌گیری با دستگاه تحلیل‌گر کیفیت

توان و با داشتن متوسط توان اکتیو ترانسفورماتور در حالت بهره‌برداری و تقسیم آن به توان نامی قابل برداشت از پلاک یا دیتاشیت ترانسفورماتور، درصد بارگذاری ترانسفورماتور محاسبه می‌شود.

شاخصEFF_T: کارایی (راندمان) ترانسفورماتور که همان نسبت انرژی الکتریکی خروجی به انرژی الکتریکی ورودی است.

- نحوه برداشت و محاسبه شاخص: روش محاسبه کارایی برای ترانسفورماتور به دو شیوه مستقیم و غیر مستقیم است.

الف- در روش مستقیم پس از اندازه‌گیری با دستگاه تحلیل‌گر کیفیت توان و با داشتن متوسط توان اکتیو ترانسفورماتور در حالت بهره‌برداری و محاسبه درصد بارگذاری ترانسفورماتور، می‌توان با مراجعه به منحنی کارایی درصد بارگذاری ترانسفورماتور، مستقیماً کارایی را محاسبه کرد.

ب- در روش غیر مستقیم با محاسبه تلفات سه‌گانه در ترانسفورماتور می‌توان مجموع تلفات و سپس کارایی را محاسبه کرد. تلفات عمده در ترانسفورماتورها، تلفات مسی (بارداری یا وابسته به بار)، تلفات آهنی(بی‌باری یا مستقل از بار) و تلفات مکانیکی (تهویه و روغنکاری) هستند که سومین نوع تلفات، تقریباً ناچیز و با تعمیر و نگهداری مناسب قابل صرف‌نظر است. لذا در این روش، کارایی ترانسفورماتور از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$P_{loss,total} = P_{fe} + P_{cuX}$

$EFF_T = P_{out} / (P_{out}+P_{loss,total}) = P_{out} / (P_{out}+P_{cuX}+P_{fe})$

P_{fe}= ثابت و قابل برداشت از پلاک یا دیتاشیت ترانسفورماتور

P_{out} = متوسط توان اکتیو که قابل اندازه‌گیری است.

P_{cuX} = ??? =>

$$\frac{Pcu\ X}{Pcu\ N} = A^2$$

$$A=\frac{Iavg}{In}$$

که در آن، EFF_T: بازده ترانسفورماتور،

P_{out}: توان اندازه‌گیری شده،

P_{cuX}: تلفات مسی در حالت بهره‌برداری،

P_{cuN}: تلفات مسی نامی،

P_{fe}: تلفات آهنی،

I_{avg}: متوسط جریان اندازه‌گیری شده (تک‌فاز یا سه‌فاز) و

I_n: جریان نامی (تک‌فاز یا سه‌فاز) می‌باشد.

بررسی عملکرد انرژی روشنایی

انسان زمانی برای مطالعه کتاب از نور یک شمع استفاده می‌کرد، اما امروزه با پیشرفت تکنولوژی و فراهم آوردن منابع مختلف روشنایی، نوری که برای این فعالیت استفاده می‌شود، چندین برابر شده است. این روند همچنان با پیشرفت فناوری و اتوماسیون ادامه دارد. به عنوان مثال مصرف برق در اروپا و در ساختمان‌های اداری از ۵۰ به ۲۰۰ کیلووات‌ساعت بر مترمربع افزایش یافته است و در امریکا رشدی ۴ درصدی داشته و حدود ۱۷٪ توان الکتریکی فروخته شده، جهت روشنایی است. در ساختمان‌های اداری و تجاری ۲۰ تا ۵۰٪ از کل مصرف برق مربوط به روشنایی است. در واحدهای تولیدی و صنعتی اگر چه توان مصرفی بخش روشنایی در مقایسه با سایر تجهیزات الکتریکی کمتر است، ولی به دلیل تعدد ساعات استفاده از این بخش، سهم قابل توجهی از انرژی الکتریکی در بخش روشنایی مصرف می‌شود و از طرفی راه‌کارهای کاهش تلفات انرژی در این بخش زیاد است.

بررسی عملکرد انرژی روشنایی می‌تواند با دستیابی به ۴ شاخص انجام پذیرد:

شاخص منحنی بار روشنایی: منحنی بار روشنایی، منحنی تغییرات توان الکتریکی مصرفی در بخش روشنایی بر اساس زمان می‌باشد.

نحوه برداشت و محاسبه شاخص: برای بررسی کیفیت و کمیت بار روشنایی و اثر آن بر شبکه توزیع و مصرف برق باید با دستگاه تحلیل‌گر توان، منحنی بار و متغیرهای مختلف فیدری که بارهای روشنایی روی آن موجودند، (مانند تحلیل شبکه توزیع برق)، اندازه‌گیری و تحلیل شود. تحلیل بار روشنایی شبیه تحلیل بقیه منحنی‌های بار است.

شاخص شدت روشنایی: شدت روشنایی میزان نوری است که به واحد سطح می‌رسد. واحد شدت نور، لوکس یا همان لومن در هر متر مربع است.

نحوه برداشت و محاسبه شاخص: برای بررسی وضعیت شدت روشنایی در یک شرکت، باید شدت نور در قسمت‌های مختلف شرکت توسط دستگاه روشنایی‌سنج اندازه‌گیری شود. از مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده با مقادیر استاندارد روشنایی، نتایج زیر حاصل می‌شود:

۱- کمتر بودن مقادیر اندازه‌گیری شده از مقادیر استاندارد، منجر به افزایش میزان روشنایی قسمت مربوطه می‌شود.

۲- زیاد بودن بیش از حد روشنایی، منجر به حذف روشنایی‌های اضافی یا اصلاح چینش سیستم روشنایی می‌شود.

۳- ارائه راه‌کارهای بی‌هزینه، کم‌هزینه و پرهزینه بخش روشنایی با توجه به ویژگی‌های طراحی و ساختار سیستم.

اندازه‌گیری میزان روشنایی در محیط‌های مختلف به صورت نقطه‌ای انجام می‌شود، با این تفاوت که چون شرایط محیطی دائم در حال تغییر هستند، باید این اندازه‌گیری در زمان‌های مختلف و با شرایط مختلف انجام شود. این کار به وسیله دستگاه روشنایی‌سنج انجام شده و شرایط اندازه‌گیری به قرار زیر است:

- اندازه‌گیری در روز تنها با استفاده از نور روز
- اندازه‌گیری در روز با استفاده از نور لامپ‌ها
- اندازه‌گیری در روز با استفاده از نور طبیعی روز و نور لامپ‌ها
- اندازه‌گیری در شب با استفاده از نور لامپ‌ها

اندازه‌گیری در روز: در بیشتر اماکن با توجه به فرهنگ القا شده در میان افراد، استفاده از نور طبیعی روز[1] غیر مرسوم و افراد، نور مورد نیاز را به وسیله سیستم روشنایی (روشنایی مصنوعی) تامین می‌کنند. لذا اندازه‌گیری باید در دو صورت انجام گیرد:

۱- اندازه‌گیری در حالت خاموشی لامپ‌ها و استفاده از نور طبیعی روز (پرده‌ها باز).

۲- اندازه‌گیری در حالت روشنی لامپ‌ها و جلوگیری از ورود نور طبیعی روز به داخل محل (پرده‌ها بسته).

در نتیجه با این اندازه‌گیری، می‌توان دو حالت به‌دست آمده را با هم مقایسه کرد و تأمین کل نور یا قسمتی از نور محل را به عهده نور طبیعی روز گذاشت. این اندازه‌گیری باید در قسمت‌های اداری، صنعتی و عمومی انجام شود.

اندازه‌گیری در شب: در شب به علت نبود نور طبیعی روز، باید نور تأمین شده به‌وسیله سیستم روشنایی تأمین شود. لذا اندازه‌گیری در شب به این منظور صورت می‌گیرد که آیا شدت نور تولیدی لامپ‌ها، نسبت به مقدار مطلوب در استاندارد بیشتر یا کمتر است. با این مقایسه می‌توان روشنایی موجود در محل را در شب تنظیم نمود. این اندازه‌گیری بیشتر مربوط به قسمت تولید یا اداری شیفت است.

شاخص YEC_L[2] میزان مصرف انرژی سالانه سیستم روشنایی است.

نحوه برداشت و محاسبه شاخص:

$$YEC_L = \sum W \times OH \times BF \times K$$

که در آن

EC= مصرف انرژی سالانه سیستم روشنایی

N= تعداد لامپ‌ها در سیستم روشنایی

W= توان لامپ‌ها (وات)

1- Daylight

2- Yearly Energy Consumptionof Lighting System

OH = ساعات کاری لامپ در سال (week/yr . day/week . hr/day)

BF = ضریب بالاست برای هر لامپ

K = ضریب تبدیل وات به کیلو وات

شاخص YEP_L[1]: قیمت انرژی سالانه سیستم روشنایی است.

نحوه برداشت و محاسبه شاخص:

$YEP_L = YECL(kWh) \times$ Energy Price (Rials/kWh)

فرصت‌های بهینه‌سازی انرژی در بخش روشنایی

در صورتی که بهینه‌سازی مصرف انرژی در این بخش به خوبی صورت پذیرد، میزان بار مصرفی به‌طور مستقیم و میزان بار سیستم تهویه مطبوع به‌طور غیر مستقیم، کاهش خواهد یافت. به‌طور کلی رعایت موارد زیر در نگهداری و تعمیرات مؤثر، کنترل بهینه سیستم، طراحی یا خرید مناسب، شاخص عملکرد و بهره‌برداری مناسب از سیستم روشنایی موجب صرفه‌جویی مصرف برق خواهد شد. در ادامه این فرصت‌ها در بخش‌های مختلف سیستم روشنایی آمده است.

الف- نت مؤثر: با توجه به آنکه شدت روشنایی نصب شده اولیه در داخل یا خارج یک ساختمان، به مرور زمان به دلایلی همچون کاهش نور لامپ‌ها در اثر طول مدت استفاده از آن، کثیفی چراغ‌ها و نشستن جرم و گرد و غبار بر روی آن‌ها، سوختن بعضی از لامپ‌ها و کثیفی سطوح انعکاس دهنده نور از قبیل دیوار، کف، سقف و ... کاهش می‌یابد، لذا این عوامل موجب می‌شوند تا کارایی سیستم روشنایی تا ۶۰٪ افت کند. البته می‌توان فرض کرد با انجام نت مناسب مانند تمیز کردن منظم چراغ، کارایی را بهبود داد، مگر آنکه تجهیزاتی که باید جرم‌گیری و تمیز شوند، طوری تغییر رنگ داده یا کدر شوند که قابل تمیز کردن نباشند. یکی از روش‌های مؤثر تعویض گروهی لامپ‌ها،

1- Yearly Energy Price of Lighting System

به همراه تمیز کردن چراغ‌ها است. این کار بـه دو صـورت موجـب صـرفه‌جـویی انـرژی می‌شود. یکی اینکه طراح سیستم روشنایی مجبور نیست نور اولیه را در طراحی به علـت افت زیاد نور در طول زمان خیلی زیادتر از میزان مورد نیاز در نظر بگیرد کـه ایـن خـود موجب کاهش هزینه اولیه و هزینـه جـاری انـرژی سـالانه مـی‌شـود. دوم اینکـه هزینـه دستمزد کارگر به‌ازای تعویض هر لامپ و قیمت لامپ‌ها نیز به علت خرید عمده کـاهش می‌یابد و نیاز به اشغال فضایی از انبار جهت لامپ‌ها نیست. زمان اقتصادی برای تعـویض لامپ‌ها معمولاً ۷۰٪ تقویم عمر آن‌ها می‌باشد.

جهت این کار باید یک شناسنامه و برنامـه نگهـداری و تعمیـرات سیسـتم روشـنایی طرح‌ریزی کرد که شامل بندهای زیر باشد:

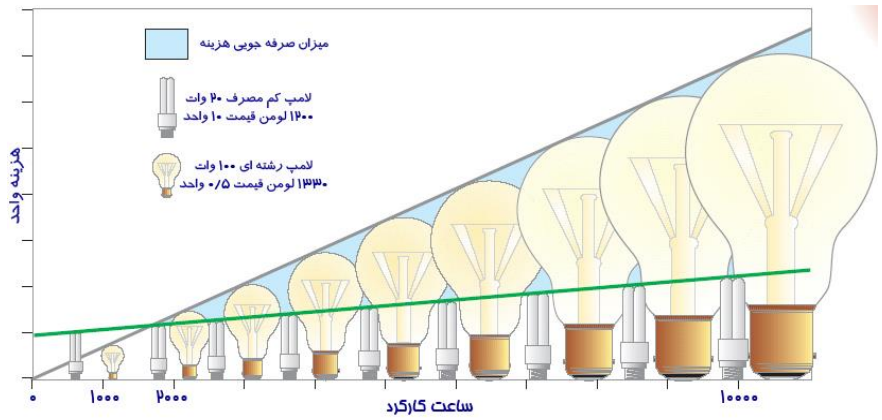
- اوزالید نقشه تأسیسات
- جداول چراغ‌ها و کنترل‌ها
- مشخصات وسایل و محصولات
- لیست و شماره تماس‌های تأمین کننده تجهیزات و خدمات
- جداول تمیز نگه داشتن چراغ‌ها (شامل لامپ و قاب چـراغ) و سـرویس و نگهداری از وسایل روشنایی به همراه گزارش انجام خدمات
- تدوین دستورالعمل کاری تعویض لامپ، بالاست و تمیـز کـردن چـراغ‌هـا (بالاست لامپ‌های سوخته مادامی که در مدار هستند، اتلاف انرژی دارند.)
- تدوین دستورالعمل کاری تنظیم انواع سنسورها (نوری، حضور افراد و ...)
- تدوین دستورالعمل کاری نحوه درست معدوم کردن چراغ‌ها و بالاست‌ها
- نصب دسـتورالعمل عمـومی نگهـداری و تعمیـرات سیسـتم روشـنایی در مکان‌های مناسب جهت اطلاع کارکنان

ب- کنترل بهینه و استفاده از تجهیزات پربازده یا فن‌آوری بالا

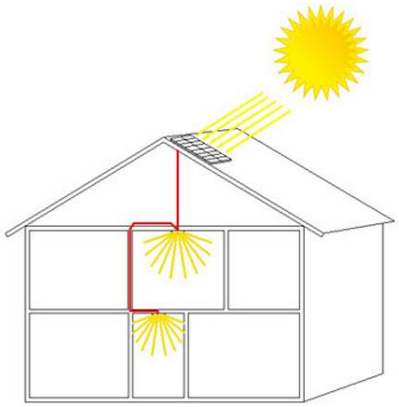
- استفاده از منابع نور با بهره و طول عمر بالا

- خاموشی لامپ‌های غیرضروری و از مدار خارج کردن لامپ‌هایی که وجودشان در هیچ یک از ساعات شبانه روز ضرورتی ندارد
- کاربرد سیستم‌های کنترلی
- نصب کلیدهای بیشتر یا کلیدهای منطقه‌ای
- استفاده از انرژی‌های نو مانند انرژی خورشید و باد در روشنایی

شکل (۳-۸) انجام نت منظم سیستم روشنایی در داخل و خارج ساختمان‌های شرکت



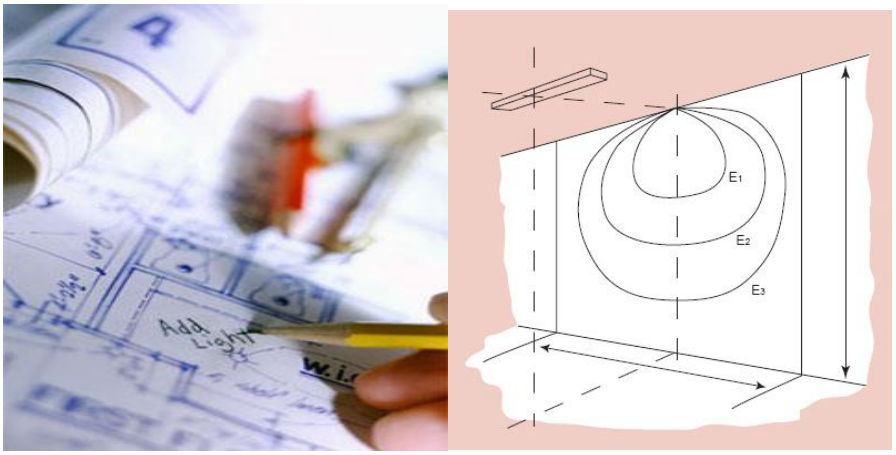
شکل (۳-۹) مقایسه لامپ‌های کم مصرف و رشته‌ای از لحاظ هزینه و طول عمر



شکل (۳- ۱۰) استفاده از انرژی خورشید برای تأمین روشنایی ساختمان

ج- تناسب اندازه

طراحی روشنایی متناسب با فعالیت مورد نظر



شکل (۳-۱۱) محاسبات طراحی دقیق براساس فعالیت‌های متفاوت

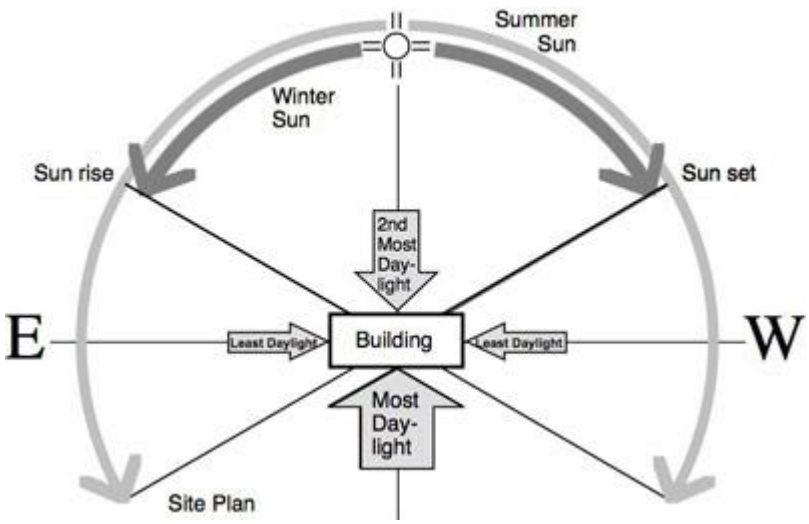
جانمایی مناسب روشنایی: تنظیم جانمایی مناسب تجهیزات روشنایی و میزهای تحریر، کار نسبتاً مشکلی است. برای جانمایی مناسب سطح کار مانند میزهای تحریر، باید موقعیت تجهیزات اداری، شکل سازمان، حرکت کارکنان و... را در نظر گرفت. به عبارت دیگر، تنظیم روشنایی معمولاً تنها برای مقدار متوسط روشنایی طراحی شده و

جهت تنظیم موقعیت روشنایی و میزهای تحریر ملاحظه‌ای صورت نمی‌پذیرد. لذا ممکن است مشکلاتی از نقطه نظر تأثیر مناسب روشنایی ایجاد شود. به‌طور نمونه، وقتی که راستای میز تحریر با راستای روشنایی بر هم عمود باشند، روشنایی روی میز غیریکنواخت می‌شود و زمانی‌که شخصی روی میز خم می‌شود، یک سایه رو به جلو ایجاد می‌شود. همچنین حرکت یک شخص ممکن است بر روی میز تحریر اشخاص دیگر سایه ایجاد کند. لذا مزایای جانمایی مناسب روشنایی به ویژه تنظیم مناسب راستای روشنایی عبارتند از:

- استفاده کمتر از تجهیزات سیستم روشنایی
- یکنواختی روشنایی در محل کار
- نگهداری و تعمیرات آسان تجهیزات سیستم روشنایی

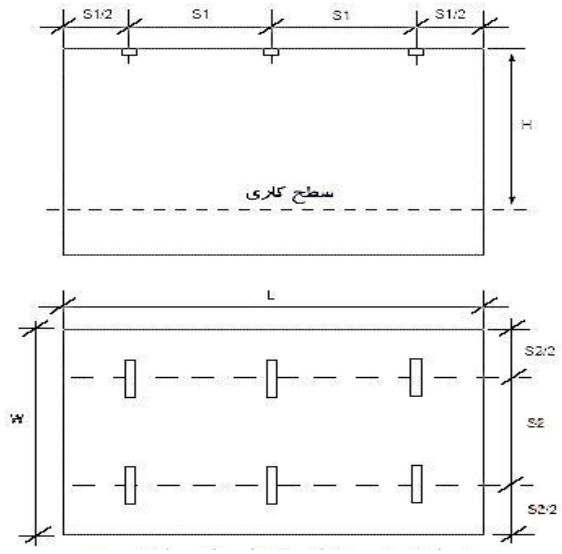
د- شاخص عملکرد

استفاده حداکثر از روشنایی روز (جهت مناسب ساختمان، تمیز نگه داشتن نورگیرها و شیشه پنجره‌ها و عدم استفاده نابجا از پرده)



شکل (۳- ۱۲) جانمایی مناسب ساختمان برای استفاده حداکثر از روشنایی روز

جانمایی روشنایی باید مؤثر باشد. (امتداد روشنایی و میزهای کار باید هم راستا باشد.)
کاهش ارتفاع چراغ‌ها از سطح زمین در سوله‌ها و سالن‌های تولید.



شکل (۳-۱۳) نماهای نمونه از جانمایی لامپ‌ها در سقف

فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی در شبکه برق

الف- فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی در نگهداری و تعمیرات شبکه برق

۱- وجود برنامه منظم نت پیشگیرانه در ترانسفورماتورها

۲- کارکرد مناسب سیستم فن خنک‌کننده ترانسفورماتور (در صورت وجود)

۳- بررسی منظم مقاومت اهمی و پاسخ فرکانسی سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور (دفرم یا آسیب‌های احتمالی دیگر)

۴- چک روزانه نشتی‌ها و سطح روغن کنسرواتور و حرارت غیرعادی و صحت سیستم تنفس روغن (سلیکاژل) در محدوده استاندارد

۵- بررسی کارکرد سیستم خنک‌کننده آب، خنک‌کننده روغن ترانسفورماتور

۶- بررسی کارکرد مناسب پمپ‌های چرخش روغن ترانسفورماتور

۷- بررسی منظم خواص شیمیایی و اندازه‌گیری میزان رطوبت و گازهای موجود در روغن ترانسفورماتور و سایر آزمایش‌های دی‌الکتریک مطابق استاندارد IEC

۸- عدم وجود برنامه منظم نت در سیستم تپ چنجر Onload ترانسفورماتور و فیلتراسیون روغن مربوطه

۹- بررسی و کالیبراسیون منظم تجهیزات اندازه‌گیر الکتریکی با دستگاه‌های پرتابل

۱۰- عدم وجود برنامه منظم نت پیشگیرانه در تجهیزات شبکه مرتبط (مقره‌ها، سوییچ‌گیرها، کابل‌ها و...)

۱۱- تعویض لامپ‌های رشته‌ای موجود با لامپ‌های کم‌مصرف فشرده

۱۲- استفاده از رنگ‌های روشن در سقف، دیوارها و کف اتاق‌ها به‌ویژه به هنگام تعمیرات و تغییر دکوراسیون

۱۳- تدوین و اجرای برنامه منظم نگهداری و تعمیرات سیستم روشنایی به منظور حفظ بازده و طول عمر مناسب

ب- فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی در استفاده از تجهیزات و کنترل بهینه در شبکه برق

۱- استفاده از ترانسفورماتورهای با کارایی بالا

۲- پایش متغیرهای مهم در ترانسفورماتورها (توان، ضریب توان، عدم تعادل بار، تلفات شبکه مرتبط با ترانسفورماتور)

۳- اندازه‌گیری قدرت عایقی ترانسفورماتور توسط دستگاه میگر

۴- عدم وجود سیستم‌های حفاظتی مناسب (سخت‌افزار و تنظیمات مناسب)

۵- آزمایش اتصال به زمین[1] ترانسفورماتورها

۶- تنظیم بهینه تپ‌های ترانسفورماتورها

1- Earting

۷- جا به جایی بارها به زمان‌های کم‌باری در صورت امکان

۸- کاهش دیماند حداکثر با خارج کردن بارهای کم‌اهمیت توسط کنترل‌کننده دیماند

۹- تنظیم تناوب زمان‌های راه‌اندازی تجهیزات با جریان راه‌اندازی بالا (برای کاهش مقادیر پیک بار و ماکزیمم دیماند)

۱۰- زمان‌بندی تولید و عملیات برای دسترسی به ضریب بار بالا

۱۱- هوشمندسازی مدیریت انرژی ساختمان‌های شرکت (صنعتی، اداری و عمومی)

۱۲- نصب سیستم‌های خودکار برای بستن درهای اصلی ورودی و خروجی ساختمان‌های اداری

۱۳- نصب تنظیم‌کننده زمان (تایمر) یا سلول‌های نوری (فتوسل) جهت کنترل روشنایی محوطه بیرونی ساختمان.

۱۴- نصب کلیدهای چندگانه جهت کنترل سطح روشنایی در راهروها و سالن‌های کنفرانس

۱۵- نصب تنظیم‌کننده (دیمر) جهت تنظیم و کاهش توان روشنایی برحسب نیاز

۱۶- نصب تنظیم‌کننده زمان (تایمر) دیواری با امکان تنظیم دستی در اتاق‌ها جهت کنترل خودکار روشنایی فضاها

۱۷- نصب کلیدهای تایمری در راهروها و فضاهای کم‌تردد

۱۸- اصلاح و بهبود ضریب توان در تابلوی برق اصلی به وسیله خازن

۱۹- استفاده از کنترل مرکزی دما مجهز به حسگر(سنسور) دمای هوای خارج

ج- فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی با طراحی/خرید مناسب

۱- تطابق نسبت تبدیل ولتاژ و جریان با مقدار ذکر شده برروی پلاک ترانس

۲- تطابق دامنه ولتاژ خروجی دیزل ژنراتور با مقدار نامی آن

۳- تناسب میزان بارگذاری ترانسفورماتور با توان نامی آن (بالاتر از ۴۰٪)

۴- انتقال ترانسفورماتورها نزدیک به بارهای اصلی

۵- بارگذاری مناسب بر روی دیزل ژنراتور

۶- استفاده از اندازه‌های مناسب برای کابل‌ها

۷- طراحی نیروگاه‌های کوچک در محل و یا نزدیک شرکت برای تلفات کمتر و بهره‌وری بالاتر

۸- تحویل توان اضافی تولیدی به شبکه در صورت رعایت مسائل ایمنی و حفاظتی

۹- طراحی مناسب سیستم تهویه مطبوع ساختمان‌های شرکت (صنعتی،اداری و عمومی)

۱۰- رعایت مقررات مبحث ۱۹ ساختمان در طراحی و ساخت ساختمان‌های شرکت

۱۱- تهیه قبوض برق مجازی برای واحدهای تولیدی و ساختمان‌ها

۱۲- استفاده از روشنایی موضعی برای اهداف خاص به‌جای افزایش سطح روشنایی کل

۱۳- استفاده از نور طبیعی در پیرامون مکان‌های اداری

۱۴- استفاده حداکثری از فناوری‌های انرژی‌های نو اعم از کلکتورهای خورشیدی برای تأمین آب گرم مصرفی

۱۵- استفاده از وسایل اداری برقی دارای برچسب انرژی با رتبه بالا.

۱۶- استفاده از لامپ‌های فوق کم‌مصرف LED

۱۷- استفاده از انرژی خورشیدی یا باد برای روشنایی داخل و خارج ساختمان

د- فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی در بررسی عملکرد شبکه برق

۱- تعادل سه فاز ترانسفورماتورها از نظر دامنه و اختلاف فاز (بر طبق استاندارد IEEE۵۱۹)

۲- تعادل سه فاز دیزل ژنراتور از نظر دامنه و اختلاف فاز

۳- بررسی ترانسفورماتور از نظر کیفیت توان (بر طبق استاندارد IEEE۵۱۹)

۴- بررسی گازهای موجود در روغن ترانسفورماتور از نظر شیمیایی

۵- میزان رطوبت مناسب در محل کار ترانسفورماتور (در محدوده استاندارد)

۶- قطع توان اولیه ترانسفورماتورها در صورت عدم وجود بارهای فعال

۷- تطابق ضریب توان دیزل ژنراتور با مقدار نامی آن

۸- محیط مناسب نصب دیزل ژنراتور (رطوبت و دمای نامناسب)

۹- اصلاح ضریب توان بارها به حداقل ۹۰٪ تحت شرایط بار نامی

۱۰- وجود متغیرهای کیفیت توان (اعم از توان راکتیو) در بازه استاندارد IEEE519

۱۱- خاموش کردن تجهیزات برقی اداری اعم از کامپیوتر، پرینتر و ... در صورت عدم نیاز یا ترک محل کار

۱۲- کاهش سطح روشنایی در مکان‌هایی که به سطح انرژی کمتری نیاز دارند

۱۳- بررسی قبوض برق شرکت و تحلیل مناسب و دقیق آن

جدول (۳- ۱۴) پرسش‌نامه شبکه انرژی الکتریکی

	پتانسیل صرفه‌جویی انرژی	بلی	خیر	توضیحات
نت مؤثر	عدم وجود برنامه منظم نت پیشگیرانه در ترانسفورماتورها			
	کارکرد نامناسب سیستم فن خنک‌کننده ترانسفورماتور			در صورت وجود
	بررسی نامنظم مقاومت اهمی و پاسخ فرکانسی سیم پیچ‌های ترانسفورماتور			دفرم/ آسیب احتمالی دیگر
	عدم بررسی روزانه نشتی، سطح روغن کنسرواتور، حرارت‌غیرعادی، صحت‌سیستم تنفس روغن(سلیکاژل)			در محدوده استاندارد
	عدم بررسی کارکرد سیستم خنک‌کننده آب، خنک کننده روغن ترانسفورماتور			
	عدم بررسی کارکرد مناسب پمپ‌های چرخش روغن ترانسفورماتور			

	عدم بررسی منظم خواص شیمیایی، اندازه‌گیری میزان رطوبت، گازهای موجود در روغن، سایر آزمایش‌های دی‌الکتریک ترانسفورماتور			مطابق استاندارد IEC
	عدم وجود برنامه منظم نت در سیستم تپ چنجر Onload ترانسفورماتور، فیلتر کردن روغن			
	عدم بررسی و کالیبراسیون منظم تجهیزات اندازه‌گیر الکتریکی با دستگاه‌های پرتابل			
	عدم وجود برنامه منظم نت پیشگیرانه در تجهیزات شبکه مرتبط			مقره، سوئیچ-گیر،کابل و...
	عدم وجود برنامه منظم نگهداری و تعمیرات سیستم روشنایی			
	عدم تعویض لامپ‌های رشته‌ای موجود با لامپ‌های کم مصرف فشرده			
	عدم استفاده از رنگ‌های روشن در سقف، دیوارها و کف اتاق‌ها			در تعمیرات/ تغییر دکوراسیون
استفاده از تجهیزات/ کنترل بهینه	عدم استفاده از ترانسفورماتورهای با کارایی بالا			
	عدم پایش متغیرهای مهم درترانسفورماتور			توان/ضریب توان/جریان/ولتاژ
	عدم وجود سیستم پایش تلفات شبکه مرتبط با ترانسفورماتور			
	عدم وجود سیستم‌های حفاظتی مناسب			سخت افزار/تنظیمات مناسب

	عدم آزمایش اتصال به زمین ترانسفورماتورها			
	تنظیم غیربهینه تپ‌های ترانسفورماتورها			
	عدم جا به جایی بارها به زمان‌های کم‌باری در صورت امکان			
	عدم کاهش دیماند حداکثر با خارج کردن بارهای کم اهمیت توسط کنترل‌کننده دیماند			
	عدم تنظیم تناوب زمان‌های راه‌اندازی تجهیزات با جریان راه‌اندازی بالا			کاهش مقادیر پیک بار/ ماکزیمم دیماند
	عدم زمان‌بندی تولید و عملیات برای دسترسی به ضریب بار بالا			
	عدم هوشمندسازی مدیریت انرژی ساختمان‌های شرکت			صنعتی، اداری و عمومی
	عدم نصب سیستم‌های خودکار برای بستن درهای اصلی ورودی و خروجی ساختمان‌های اداری			
	عدم نصب تنظیم‌کننده زمان (تایمر) / سلول‌های نوری (فتوسل)			کنترل روشنایی محوطه بیرونی ساختمان
	عدم نصب کلیدهای چندگانه			کنترل روشنایی راهروها/ سالنها
	عدم نصب تنظیم‌کننده (دیمر)			تنظیم/ کاهش توان روشنایی برحسب نیاز

	عدم نصب تنظیم‌کننده زمان(تایمر) دیواری با امکان تنظیم دستی در اتاق‌ها			کنترل خودکار روشنایی فضاها
	عدم نصب کلیدهای تایمری در راهروها و فضاهای کم‌تردد			
	عدم اصلاح و بهبود ضریب توان در تابلوی برق اصلی به وسیله خازن			
	عدم استفاده از کنترل مرکزی دما مجهز به حسگر (سنسور) دمای هوای خارج			
طراحی/خرید	عدم تطابق نسبت تبدیل ولتاژ و جریان با مقدار ذکر شده بر روی پلاک ترانس			
	عدم تطابق دامنه ولتاژ خروجی دیزل ژنراتور با مقدار نامی آن			
	عدم تناسب میزان بارگذاری ترانسفورماتور با توان نامی آن			بالاتراز ۴۰٪
	عدم انتقال ترانسفورماتورها نزدیک به بارهای اصلی			
	بارگذاری نامناسب بر روی دیزل ژنراتور			
	استفاده از کابل‌های با اندازه نامناسب			
	عدم طراحی نیروگاه‌های کوچک در محل یا نزدیک شرکت			تلفات کمتر و بهره‌وری بالاتر
	عدم تحویل توان اضافی تولیدی به شبکه در صورت رعایت مسائل ایمنی و حفاظتی			
	طراحی نامناسب سیستم تهویه مطبوع ساختمان‌های شرکت			صنعتی، اداری و عمومی
	عدم رعایت مقررات مبحث ۱۹ ساختمان در طراحی و ساخت ساختمان‌های شرکت			

	عدم تهیه قبوض برق مجـازی بـرای واحـدهای تولیـدی و ساختمان			
	عدم استفاده از روشنایی موضعی برای اهـداف خـاص بـه جای افزایش سطح روشنایی کل			
	عدم استفاده از نور طبیعی در پیرامون مکان‌های اداری			
	عدم استفاده حداکثری از فناوری‌های انرژی‌های نو			کلکتورهـــــای خورشیدی/باد
	عدم انتخاب وسایل اداری برقی دارای برچسـب انـرژی بـا رتبه بالا هنگام خرید			
	عدم استفاده از لامپ‌های فوق کم‌مصرف LED			
	عدم استفاده از انرژی خورشـیدی یـا بـاد بـرای روشـنایی داخل و خارج ساختمان			
بررسی عملکرد	عدم تعادل سه‌فاز ترانسفورماتورها از نظر دامنه و اخـتلاف فاز (طبق استاندارد IEEE۵۱۹)			
	عدم تعادل سه‌فاز دیزل ژنراتور از نظر دامنه و اختلاف فاز			
	عدم بررسـی ترانسـفورماتور از نظـر کیفیـت تـوان (طبـق استاندارد IEEE۵۱۹)			
	عدم بررسی گازهای موجود در روغن ترانسفورماتور از نظر شیمیایی			
	میزان رطوبت نامناسب در محل کار ترانسفورماتور			در محدوده غیر استاندارد
	عدم قطع توان اولیه ترانسفورماتورها در صورت عدم وجود بارهای فعال			

	عدم تطابق ضریب توان دیزل ژنراتور با مقدار نامی آن			
	محیط نامناسب نصب دیزل ژنراتور (رطوبت و دمای نامناسب)			
	عدم اصلاح ضریب توان بارها به حداقل ۰/۹ تحت شرایط بار نامی			
	عدم وجود متغیرهای کیفیت توان در بازه استاندارد IEEE519			
	عدم خاموش کردن تجهیزات برقی اداری (کامپیوتر، پرینتر و... در صورت عدم نیاز یا ترک محل کار)			
	عدم کاهش سطح روشنایی در مکان‌هایی که به سطح انرژی کمتری نیاز دارند.			
	عدم بررسی قبوض برق شرکت و تحلیل مناسب و دقیق آن			

۳-۳ دستورالعمل نحوه تحلیل شبکه توزیع گاز طبیعی و سایر حامل‌های انرژی فسیلی

۳-۳-۱ هدف و دامنه کاربرد دستورالعمل نحوه تحلیل شبکه توزیع گاز طبیعی

هدف از تدوین این دستورالعمل، آشنایی ممیزان انرژی با نحوه تحلیل شبکه توزیع گاز طبیعی و دامنه کاربرد این دستورالعمل با توجه به معیارهای ممیزی انرژی (هدف کلان، نوع و سطح ممیزی، روش و استاندارد ممیزی، نحوه و میزان مشارکت کارکنان، محدوده و مدت زمان اجرای ممیزی و الزامات گزارش ممیزی)، شبکه توزیع گاز طبیعی موجود در یک فرآیند صنعتی، واحد عملیاتی و یا شرکت تولیدی است.

۳-۳-۲ مسئولیت تحلیل شبکه توزیع گاز طبیعی

مسئولیت تحلیل شبکه توزیع گاز طبیعی با تیم ممیزان انرژی شرکت تولیدی (درجه دو و سه، مقیم یا غیر مقیم) است. پیشنهاد می‌شود این تیم، حداقل متشکل از کارشناسان جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها و اطلاعات اولیه، اندازه‌گیری و تحلیل متغیرها و شاخص‌های عملکرد انرژی و ارائه راهکارهای عملی صرفه‌جویی انرژی شبکه توزیع گاز طبیعی باشد.

۳-۳-۳ واژگان دستورالعمل نحوه تحلیل شبکه توزیع گاز طبیعی

شبکه توزیع گاز طبیعی: شبکه توزیع گاز طبیعی در یک شرکت تولیدی، نقش دریافت گاز از شرکت گاز و مصرف‌کنندگان داخلی را به عهده دارد. در این شبکه، معمولاً قسمت عمده آن در زیر زمین است و بخش اعظم تلفات در قسمت روی کار شبکه[1] اتفاق می‌افتد که ناشی از نشتی فلنج‌ها، ناکارآمدی فیلترها یا هیترها و سایر تجهیزات است. بنابراین داشتن یک شبکه گاز مطمئن و کارآمد جهت رساندن گاز به مصرف‌کنندگان داخل شرکت ضروری می‌باشد.

اجزای شبکه توزیع گاز طبیعی: مهم‌ترین اجزای شبکه توزیع گاز طبیعی عبارتند از:

- ایستگاه تقلیل فشار اصلی گاز شامل هیتر گرم‌کننده گاز، فیلتر خشک، رگلاتور، کنتور، شیر قطع‌کن گاز، شیر تخلیه اطمینان و لوله‌های ارتباط و انتقال ایستگاه
- لوله‌های انتقال گاز از ایستگاه به مصرف‌کننده
- ایستگاه ثانویه تقلیل فشار گاز که وجود آن بستگی به نیاز شرکت دارد و شامل شیرهای فشارشکن، شیرهای اطمینان، هیتر گرم‌کننده گاز و فیلتر است.

1- Above Ground

- مخزن[1]هایی جهت جداسازی و تخلیه کندانس‌های گاز در مسیر انتقال گاز

فشارها در شبکه گاز: به‌صورت کلی شبکه انتقال و توزیع گاز دارای فشارهای مختلفی است. خطوط انتقال گاز در ایران که وظیفه انتقال گاز از پالایشگاه‌های تصفیه گاز به نقاط مختلف ایران را دارد، دارای فشار ۱۰۵۰psi و اخیراً بعضی از خطوط دارای فشار ۱۳۰۵psi هستند. اکثر کارخانه‌ها، نیازمند دریافت و مصرف گاز با فشار به مراتب پایین‌تر از این میزان می‌باشند. بنابراین فشار گاز در ایستگاه‌هایی به نام CGS تا میزان ۲۵۰psi شکسته و به مصرف‌کننده تحویل می‌شود. با توجه به اینکه مصرف‌کننده در چه موقعیتی از خطوط گاز قرار دارد و یا تا چه میزان مصرف داشته باشد، این ایستگاه می‌تواند به کارخانه دور یا نزدیک باشد. گاز ورودی به کارخانه معمولاً جهت مصارف سوختی بوده و باید فشار، باز هم کاهش یابد. این کار توسط شیرهایی به نام رگلاتور در مسیر گاز انجام شده که براساس فشار مورد نیاز سیستم تنظیم و باعث کاهش فشار گاز به میزان مورد نظر می‌شوند.

پایپینگ شبکه گاز: یکی از اجزای مهم در شبکه انتقال و توزیع گاز، سیستم پایپینگ است که باید مناسب طراحی شود. به طور کلی در سیستم داخلی گازرسانی در یک واحد صنعتی، فشار گاز درون لوله در جهت حرکت به سمت مصرف‌کننده بر اثر اصطکاک کاهش می‌یابد. مقدار کاهش یا افت فشار به میزان عبور گاز، قطر و طول لوله، خواص فیزیکی گاز، فشار متوسط و دمای گاز بستگی دارد. محاسبات این کاهش فشار اغلب به این جهت صورت می‌گیرد که تعیین شود آیا پایپینگ طراحی شده یا مورد نظر قادر به تأمین گاز در یک فشار دلخواه، در مواقع حداکثر میزان مصرف می‌باشد یا خیر. برای انجام این محاسبات از معادله جریان (که افت فشار را به کمیت‌هایی که به آن‌ها بستگی دارد ربط می‌دهد) استفاده می‌شود. معادلات جریان زیادی برای گازها وجود دارد

1- Drum

که تعدادی از آن‌ها در سیستم پایپینگ گازرسانی استفاده می‌شود. از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به معادله مولر[۱]، معادله فریتز[۲]، پن هندل[۳]، ویموت[۴]، اسپتزگلاس[۵] و ... اشاره کرد که از هر یک از آن‌ها بر مبنای فشار خط لوله استفاده می‌شود. به عنوان مثال از معادله ویموت در فشارهای بالا (که جریان کاملاً متلاطم است) و برای لوله‌های ۱۰ تا ۲۰ اینچ با دقت خوبی می‌توان استفاده کرد. بنابراین با استفاده از اطلاعات میزان مصرف و فشار گاز مورد نیاز هر یک از قسمت‌های کارخانه، فاصله آن‌ها از منبع تغذیه گاز و بر اساس انتخاب معادله جریان مناسب می‌توان اندازه‌بندی[۶] مناسب خطوط گازرسانی را انجام داد. یکی از مهم‌ترین عوامل در طراحی و انتخاب اندازه لوله‌ها این است که سرعت در هیچ قسمتی از لوله و سراسر شبکه نباید از ۷۰ft/s یا ۲۰m/s تجاوز کند.

لوله‌های مورد استفاده در شبکه گازرسانی عموماً از جنس CS، در محدوده فشاری ۲-۱۰۰۰psi و در اندازه ۱/۴ اینچ به بالا هستند. این لوله‌ها علاوه بر قطر، نیازمند تعیین ضخامت می‌باشند که بستگی کامل به فشار گاز داشته و میزان آن از فرمول بارلو محاسبه می‌شود.

$P=2S.t/D \Rightarrow t=P.D/2S$

که در آن D قطر لوله، P فشار و S تنش لوله است. پس از تعیین قطر و ضخامت لوله‌های شبکه گازرسانی، با توجه به اینکه لوله در زیر زمین یا روی آن نصب شود، جهت جلوگیری از خوردگی لوله، از سیستم حفاظت کاتدیک برای لوله‌های زیرزمینی و از رنگ برای لوله‌های روی زمین استفاده می‌شود.

تحلیل حالات پایدار و گذرای شبکه گاز: با توجه به مصرف روزافزون گاز،

1- Mueller
2- Fritzche
3- pen Handle
4- Weymouth
5- Spitzglass
6- Sizing

سیستم‌های گازرسانی نیز پیچیده‌تر می‌شود. بنابراین جهت طراحی مناسب و کاهش هزینه‌های شبکه، علاوه بر داشتن اطلاعاتی دقیق در مورد فشار، دبی و دمای گاز، دانستن چگونگی رفتار گاز در خط لوله اهمیت بسزایی دارد. در بررسی رفتار گاز درون لوله به دلیل تغییرات ناگهانی اعمال شده در شرایط جریان مانند کاهش یا افزایش مصرف، تغییرات در فشار یا شرایط محیطی، تحلیل جریان گاز به صورت گذرا و غیر هم‌دما اهمیت دارد. با توجه به سرعت گاز می‌توان جریان گذرای گاز را به دو دسته جریان گذرای آرام و سریع تقسیم نمود. در جریان گذرای آرام به دلیل وجود زمان کافی برای انتقال حرارت با محیط پیرامون، می‌توان جریان را به صورت هم‌دما فرض و تحلیل کرد. اما در جریان گذرای سریع، گاز به تعادل دمایی با پیرامون نمی‌رسد، بنابراین جریان را نمی‌توان به صورت هم‌دما فرض کرد. با توجه به شرایط موجود، این جریان‌ها را می‌توان به صورت آدیاباتیک یا همراه با انتقال حرکت با محیط پیرامون در نظر گرفت. به‌طور کلی الگوی جریان برای حرکت سیال درون لوله به سه دسته جریان آرام[1]، آشفته[2] و نیمه آشفته[3] تقسیم می‌شود. این تقسیم‌بندی به واسطه سرعت و رفتار سیال در سرعت‌های مختلف صورت می‌گیرد. رینولدز اولین محققی بود که رفتار سیال را در سرعت‌های مختلف مورد بررسی قرار داد و عددی به دست آورد که به عدد رینولدز معروف است. در جریان‌های با عدد رینولدز کمتر از ۲۰۰۰، جریان آرام و در عدد بزرگ‌تر از ۲۰۰۰، جریان نیمه‌متلاطم یا آرام ناپایدار بوده و بین ۲۰۰۰ تا ۱۳۰۰۰ جریان کاملاً متلاطم خواهد بود. در سرعت‌های کم که جریان آرام است، حرکت سیال در جهت موازی با محور لوله ولی در سرعت‌های زیاد که نشان‌گر جریان آشفته است، مسیر حرکت سیال به‌صورت درهم می‌باشد که این مورد در اغلب شبکه‌های گاز هنگام

1- Laminar
2- Turbulent
3- Semiturbulent

استفاده حداکثری اتفاق می‌افتد. در جریان نیمه‌آرام شرایط بدین‌گونه است که چون با افزایش شدت مصرفی جریان گاز، گذر از جریان آرام به آشفته به‌صورت ناگهانی اتفاق نمی‌افتد، حرکت سیال در کناره‌های لوله هم راستا با لوله و در وسط لوله به صورت مغشوش است. همچنان‌که شدت جریان و بالطبع سرعت سیال بالا می‌رود، لایه مرزی نازک‌تر و حجم بخش متلاطم قطورتر می‌شود تا به مرحله جریان آشفته کامل برسد.

آشنایی با نحوه کنترل شبکه گاز: در هر شبکه توزیع گاز، وسایل مکانیکی متفاوت و گوناگونی جهت کنترل فشار به کار برده می‌شود که عمومی‌ترین وسیله برای کنترل فشار گاز در سیستم گازرسانی شیرهای کنترل فشار یا رگلاتور هستند. هر رگلاتور شامل سه جزء تنظیم‌کننده، احساس‌کننده و بارگذار است. جزء تنظیم‌کننده، در مسیر گاز مانع ایجاد کرده و با تغییر اندازه مانع، شدت گاز را تغییر می‌دهد. این قطعه معمولاً به‌صورت یک شیر است. جزء احساس‌کننده از فشار پایین دست متأثر شده و با کنترل یک نیروی متغیر باعث عملکرد جزء تنظیم‌کننده می‌شود. جزء بارگذار، نیروی مستقلی جهت جاگذاری وسیله تنظیم‌کننده را فراهم می‌کند. فنر، دیافراگم یا وزنه از متداول‌ترین اجزای بارگذاری هستند. رگلاتورها به دو دسته با عملکرد مستقیم و رله تقسیم می‌شوند.

رگلاتور با عملکرد مستقیم: این رگلاتورها به این دلیل با عمل مستقیم خوانده می‌شوند که از انرژی جریان گاز در جاگذاری وسیله تنظیم‌کننده در اثر کار اجزای احساس‌کننده و بارگذاری استفاده می‌شود. در این نوع رگلاتور یک شیر، وسیله تنظیم‌کننده، وزنه‌ها، وسیله بارگذاری و دیافراگم وسیله احساس‌کننده هستند. هنگامی که مصرف گاز در پایین دست رگلاتور برای مدت زمانی ثابت بماند، شیر رگلاتور طوری تنظیم می‌شود که جریان گاز با مصرف آن دو هماهنگ شود. فشار خروجی رگلاتور یا فشار خط، به این ترتیب ثبات پیدا می‌کند و نیروی بالابرنده وزنه با کل نیروهای پایین برنده برابر می‌شود. اگر مصرف گاز افزایش یابد، فشار پایین دست رگلاتور کاهش می‌یابد. در نتیجه نیروی حاصل از فشار پایین

دست به همین نسبت کاهش پیدا کرده و دهانه شیر بیشتر باز می‌شود. این عمل موقعی پایان می‌یابد که دهانه شیر به آن اندازه باز شده باشد که فشار خروجی برابر فشار تنظیم شود. به همین ترتیب کاهش مصرف گاز باعث حرکت شیر به طرف بسته شدن می‌شود.

رگلاتور رله‌ای: در رگلاتورهای رله‌ای همه انرژی لازم برای جا به جایی وسیله تنظیم‌کننده در اثر عمل مستقیم عوامل بارگذار و احساس‌کننده از جریان گاز گرفته نمی‌شود. در عوض، انرژی لازم از عملکرد یک نیروی بارگذار متغیر حاصل می‌شود. این نیرو به وسیله یک عامل احساس‌کننده کمکی کنترل می‌شود که به آن پایلوت می‌گویند. هنگامی که مصرف در پایین دست افزایش یابد، باعث کاهش فشار در آن سمت شده و در نتیجه توازن نیرو در دیافراگم به هم می‌خورد. نیروی خالص پایین بر دهانه شیر رگلاتور را بیشتر باز می‌کند. نیروهای روی دیافراگم پایلوت نیز از توازن خارج می‌شوند. در نتیجه دهانه شیر پایلوت نیز بیشتر باز شده و جریان گاز بیش از آن‌چه بتواند به هوا تخلیه شود، برقرار می‌شود. اگر افت فشار پایین‌دست به اندازه کافی دوام یابد، جریان اضافی گاز از پایلوت، فشار بارگذاری بر دیافراگم رگلاتور اصلی را افزایش داده و در نتیجه شیر آن بیشتر باز می‌شود. با ازدیاد جریان از داخل رگلاتور، فشار پایین دست به حد مطلوب افزایش خواهد یافت و تعادل فشارها در طرفین دیافراگم رگلاتورهای اصلی و پایلوت برقرار خواهد شد.

نحوه انتخاب شیرهای کنترل فشار در سیستم: انتخاب نوع شیرهای کنترل، بستگی به نوع کاربرد آن‌ها در سیستم و نیاز سیستم دارد. در مواقعی که دقت کنترل، حائز اهمیت باشد، معمولاً از نوع پایلوت‌دار استفاده می‌شود. به‌طور کلی عوامل مهم در انتخاب رگلاتور را می‌توان در نوع گاز مصرفی، نوع و مقدار مواد همراه گاز، دقت کنترل فشار خروجی، مقدار و شدت نوسانات مصرف، ضرورت تداوم و عدم قطع جریان گاز، مقدار فشار ورودی و خروجی و در نهایت حداکثر و حداقل نرخ گاز تحویلی خلاصه کرد. تعیین اندازه رگلاتور نیز یکی از مهم‌ترین عوامل کنترل شبکه خواهد بود. به عنوان

مثال رگلاتوری که کوچک‌تر از اندازه لازم باشد، در مواقع مصرف بالا و در شرایط اوج بار، کنترل را از دست خواهد داد و رگلاتورهای بزرگ‌تر از اندازه در مواقع مصرف کم، کنترل خوبی را ارائه نخواهند داد.

نحوه کنترل فشار سیستم به‌وسیله شیرهای کنترل: در سیستم‌هایی که کنترل فشار و دبی گاز از اهمیت بالایی برخوردار باشد، معمولاً این عمل با استفاده از دو یا چند شیر کنترل صورت می‌گیرد. در این حالت رگلاتورها به‌صورت موازی یا سری بسته شده و هر دو شیر کنترل باعث کنترل فشار خط و تضمین گازرسانی مناسب می‌شوند. در مواقعی نیز که سیستم در مقابل افزایش یا کاهش فشار بسیار حساس است، با نصب دو رگلاتور به‌صورت موازی یا سری، فشار خط را کنترل می‌کنند. در حالت سری هر کدام از دو رگلاتور می‌توانند فشار پایین دست را کنترل کنند. زیرا در هنگام بروز اشکال، رگلاتور معیوب به حالت کاملاً باز در می‌آید. این نوع کنترل به دو روش حذف[1] و دیده‌بان[2] امکان‌پذیر است. در نوع دیده‌بانی خط کنترل هر دو رگلاتور به بعد از رگلاتور پایین-دستی وصل می‌شود و یکی از دو رگلاتور کمی بالاتر از دیگری تنظیم می‌شود. در این حالت رگلاتوری که در فشار بالاتری تنظیم شده است، کاملاً باز می‌ماند و اگر فشار خط به حد تنظیم این رگلاتور برسد، رگلاتور کنترل خط را در دست می‌گیرد. رگلاتوری که در حالت عادی باز است را دیده‌بان می‌نامند. در مواقعی که دو رگلاتور به‌صورت موازی بسته شوند، خط کنترل آن دو، از خط اصلی جریان پایین‌دست گرفته می‌شود. دو رگلاتور در فشارهایی که اندکی با هم تفاوت دارند، تنظیم می‌شوند. تا هنگامی که میزان مصرف از ظرفیت رگلاتور در سرویس بالاتر برود، رگلاتور با فشار تنظیمی بالاتر بسته می‌ماند. در این هنگام رگلاتور دوم نیز به کمک آن آمده و باعث کنترل دبی و فشار خط می‌شوند. ذکر این نکته ضروری است که اگر هر دو رگلاتور در یک مقدار

1- Override
2- Monitor

تنظیم شوند، با هم جهت گرفتن کنترل خط به مقابله پرداخته و باعث نوسان بسیار بالایی در شبکه می‌گردند. در روش حذف، دو رگلاتور دائم در حال کار هستند. رگلاتور بالادستی که حذف‌کننده نامیده می‌شود، فشار را تا حد میانی کاهش می‌دهد. در صورتی‌که رگلاتور پایین‌دستی از کار بیفتد، رگلاتور حذف‌کننده کنترل کامل را به دست خواهد گرفت.

خواص وکیفیت، معادلات حالت و نمودارهای دما- فشار سیالات: معادله حالت[1] برای یک ماده خالص عبارت است از رابطه بین فشار، چگالی و دمای آن ماده. برحسب فاز ماده و گستره شرایطی که ماده تحت اثر آن است، یکی از چند معادله حالت قابل استفاده است. از طرف دیگر این معادله‌ها برای مایعات و جامدات چنان پیچیده و گستره و کاربرد آن ها به قدری محدود است که عموماً استفاده از جداول خواص ترمودینامیکی آسان‌تر است. برای گازها قانون گاز کامل، کاربرد نسبتاً وسیعی دارد و معمولاً به‌صورت زیر بیان می‌شود:

$$P = \rho RT$$

که در آن R ثابت گاز است و مقدارش بستگی به گاز مورد نظر دارد. برای هر گاز کامل

$$R = \frac{\bar{R}}{\bar{M}}$$

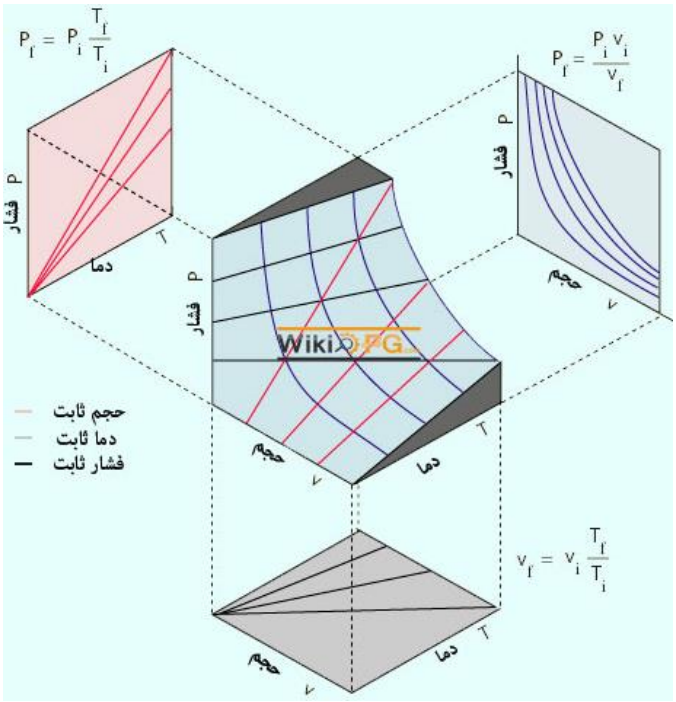
که در آن، $\bar{R}$ ثابت عمومی (جهانی) گاز= 8314.3 j/kg-mole.K و $\bar{M}$، جرم مولی گاز می‌باشد.

در استخراج قانون گاز کامل در نظریه جنبشی، از حجم مولکول‌های گاز و نیروهای بین مولکول‌ها صرفنظر می‌شود. این فرضیات مشروط بر این است که دما به اندازه کافی بالا باشد. برای گازهای واقعی حتی در فشارهای نسبتاً زیاد، تقریباً شبیه گازهای کامل رفتار می‌کنند. برای مثال، برای بخار آب در ۶Mpa و ۵۰۰°C ، انحراف فرض گاز ایده آل با گاز واقعی آن فقط حدود ۵٪ است. چنانچه بخار در این فشار خنک شود، حالت

1- Equation Of State

آن به خط اشباع نزدیک و انحراف آن مشخص‌تر می‌شود. معادلات حالت دقیق‌تری ارائه شده‌اند که حجم مولکول‌ها (معادله حالت کلازیوس) و نیروهای بین مولکولی (معادله حالت واندروالس) در استخراج آن‌ها به‌حساب آمده است. این معادله‌ها پیچیده‌تر از قانون گاز کامل هستند و باعث مشکل شدن حل معادله‌های جریان می‌شوند. قانون گاز کامل به خاطر سادگی، منجر به عبارت‌های نسبتاً ساده‌ای برای خواص مختلف ترمودینامیکی می‌شود و می‌توان آن را در گستره وسیعی از فشار و دما با دقت نسبتاً زیادی به‌کار برد. در فرآیند ایزوآنتروپیک در گاز کامل با ظرفیت گرمای ویژه ثابت، روابط زیر حاکم است:

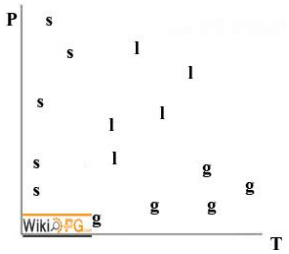
$$\frac{T_2}{T_1}=\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{(\gamma-1)/\gamma}=\left(\frac{\rho_2}{\rho_1}\right)^{\gamma-1} \quad \text{یا} \quad \frac{P_2}{P_1}=\left(\frac{\rho_2}{\rho_1}\right)^{\gamma}$$



شکل (۳-۱۴) معادلات و نمودارهای دما، فشار، حجم سیالات

نمودار فازی سیال[1]: نموداری است که در آن ارتباط بین فازهای مختلف سیال بررسی می‌شود. بسیاری از سیالات در دماهای مختلف حالت گاز، مایع و جامد در طبیعت وجود دارد. نوع تبدیل آن‌ها به یکدیگر، به خواص ترمودینامیکی بستگی دارد. در نمودار فازی به بررسی این خواص نیز پرداخته می‌شود. نمودار T-S یکی از مهم‌ترین نمودارها در ترمودینامیک و مهندسی مکانیک است.

نمودار فشار- دمای تغییر فاز: بیشتر مواد در بیشتر از یک فاز[2] موجود هستند، یعنی مواد می‌توانند جامد، مایع یا گاز نمودار فشار- دمای تغییر فاز باشند. حتی بعضی از مواد بیشتر از یک فاز جامد دارند. به‌عنوان مثال کربن می‌تواند به عنوان گرافیت، الماس یا خانواده C60 وجود داشته باشد. تصور کنید نموداری رسم شود که محور عمودی آن، فشار و محور افقی آن دما را نشان دهد. اکنون فرض کنید سیستم مورد نظر در یک فشار و دمای خاص قرار دارد. بنابراین می‌توان فاز سیستم را در این حالت مشاهده کرد. این فازها، گاز (g)، مایع (L) یا جامد (S) است. اگر نقطه مربوط به فشار و دمای موجود بر روی نمودار فشار-دمای ترسیم شده، علامت زده شده و علامت اختصاری مربوط به فاز ماده در آن نقطه نوشته شود، برای چندین حالت ترکیبی از فشار و دما می‌توان به نموداری مشابه نمودار زیر رسید:



شکل (۳- ۱۵) روش ایجاد نمودار فشار- دمای تغییر فاز

1- Diagram of Material Phase

۲- فاز قسمتی از ماده است که دارای خواص فیزیکی و شیمیایی یکسان است.

اگر این عمل در نقاط زیادی با فشارها و دماهای مختلف انجام و فاز ماده در نقاط مورد نظر مشاهده و بر روی نمودار مشخص شود، ملاحظه می‌شود که این فازها در نواحی خاصی از هم جدا می‌شوند. اگر این عمل در حالت حدی در بی‌نهایت نقطه انجام شود، این نواحی توسط منحنی‌هایی از یکدیگر جدا می‌شوند.

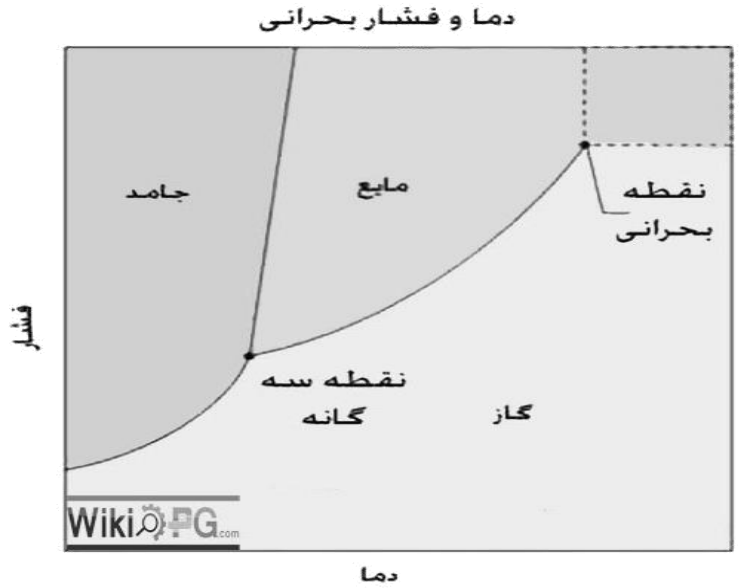
خطی که نواحی جامد و مایع را از یکدیگر جدا می‌کند، منحنی ذوب[1]، خطی که نواحی مایع و گاز را از یکدیگر جدا می‌کند، منحنی تبخیر[2] و خطی که نواحی جامد و گاز را از یکدیگر جدا می‌کند، منحنی تصعید[3] نامیده می‌شود. برای تغییر فاز سیال، انرژی‌ای لازم است که به آن انرژی نهان گویند. به‌عنوان مثال انرژی لازم برای سیال به منظور تغییر فاز یافتن از حالت مایع به گاز را انرژی نهان تبخیر یا آنتالپی تبخیر می‌نامند. علت این نام‌گذاری، آن است که در زمان تغییر فاز هیچ تغییر دمایی در سیستم اتفاق نیفتاده و تغییر فاز در دمای ثابت روی می‌دهد. در نواحی بین خطوط، تنها همان فازی که علامت اختصاری آن ملاحظه می‌شود، وجود دارد. بر روی خطوط، دو فازی که در دو طرف خط دیده می‌شوند با یکدیگر در تعادلند و همراه با یکدیگر، در ترکیب وجود دارند. نقطه‌ای که در آن سه منحنی با یکدیگر برخورد می‌کنند، نقطه سه‌گانه[4] نامیده می‌شود. در نقطه سه‌گانه، هر سه فاز با یکدیگر در تعادل هستند. قابل ذکر است که این سه فاز تنها می‌توانند در همین نقطه با یکدیگر در تعادل باشند. اگر نقطه سه‌گانه فشاری کمتر از فشار اتمسفر داشته باشد، نقطه ذوب و جوش آن نرمال تعریف می‌شود. نقطه ذوب نرمال، دمایی است که در آن دما ماده در فشار اتمسفر ذوب می‌شود. نقطه ذوب با تغییر فشار تغییر می‌کند. نقطه جوشش نرمال، دمایی است که در آن، ماده در فشار یک اتمسفر می‌جوشد.

1- Melting Curve
2- Vaporization Curve
3- Sublimation Curve
4- Triple Point

شکل (۳- ۱۶) نمودار فشار- دمای تغییر فاز

نقطه بحرانی در نمودار فازی آب: در نمودار فازی، نقطه‌ای به نام نقطه بحرانی تعریف می‌شود که در بالای آن، ماده به هیچ وجه نمی‌تواند به مایع تبدیل شود. این موضوع به این معناست که منحنی فشار بخار باید در این نقطه تمام شود. از آنجا که تعریف نقطه بحرانی با ابهامات زیادی همراه است، این نقطه با حساسیت بیشتری معرفی خواهد شد. در دماهای بالا، ذرات گاز انرژی جنبشی خیلی بالایی دارند. این انرژی در حدی بالاست که به هیچ عنوان نمی‌توانند به مایع تبدیل شوند. بالاترین دمایی که در آن گاز و مایع می‌توانند با یکدیگر در تعادل باشند، به عنوان نقطه بحرانی شناخته می‌شود. فشاری که برای مایع کردن گاز در دمای بحرانی مورد نیاز است، فشار بحرانی است. اطلاعات مربوط به فشار و دمای بحرانی در روی نمودار به عنوان نقطه بحرانی تعریف می‌شود. در دماهای بالاتر از نقطه بحرانی، ماده به عنوان سیال فوق بحرانی[1] نام‌گذاری می‌شود. رفتار ماده در این حالت بسیار جالب است. یک سیال فوق بحرانی کشش سطحی نداشته و لزجت بسیار کمی دارد، در حالی که چگالی آن هنوز همان چگالی مایع بوده و حلال بسیار خوبی است.

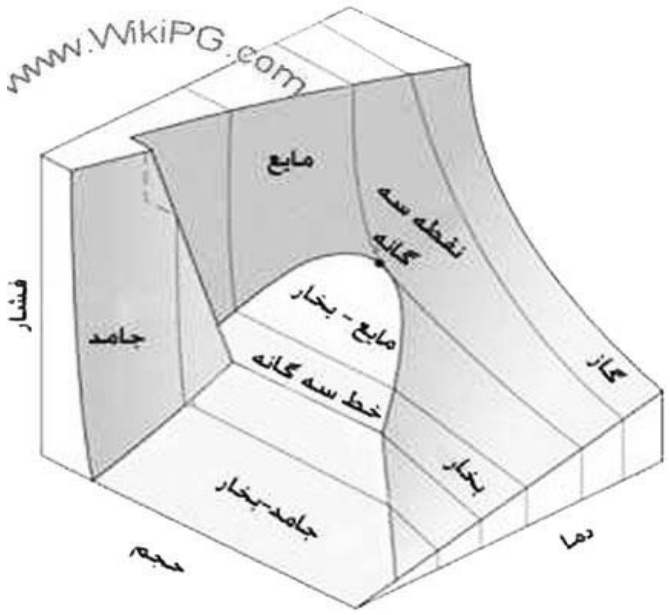
1- Supercritical Fluid



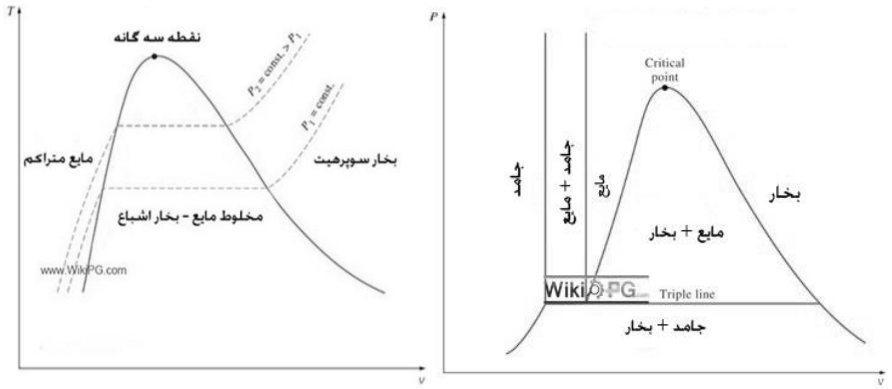
شکل (۳-۱۷) نقطه بحرانی در نمودار فازی آب

معرفی خواص ترمودینامیکی سیال: می‌دانیم که حالت یک ماده تراکم‌پذیر ساده، با دو خاصیت مستقل مشخص می‌شود. دو خاصیت وقتی مستقل می‌شوند که یکی از آن‌ها ثابت بوده و دیگری بتواند تغییر کند. هنگامی که دو خاصیت مناسب انتخاب شدند، باقی خواص وابسته می‌شوند. به‌عنوان مثال دما و حجم مخصوص همیشه دو خاصیت مستقل از هم بوده و می‌توانند با هم حالت یک سیستم تراکم‌پذیر ساده را مشخص کنند. دما و فشار برای سیستم‌های تک فازی، مستقل از هم بوده ولی برای سیستم‌های چند فازی، وابسته به هم می‌باشند. در شکل زیر نمودار فشار، دما و حجم مخصوص یک ماده تک جزئی مثل آب مشاهده می‌شود. (ماده تک جزیی ماده‌ایست که در حالت جامد تنها یک ساختار دارد.)

می‌توان این نمودار را در هر دو صفحه دلخواهی مشاهده کرد. اگر این نمودار را در صفحه فشار و حجم مخصوص ملاحظه کنیم، به شکل ۳-۱۸ خواهد بود:



شکل (۳- ۱۸) نمودار فشار، دما و حجم مخصوص یک ماده تک جزئی

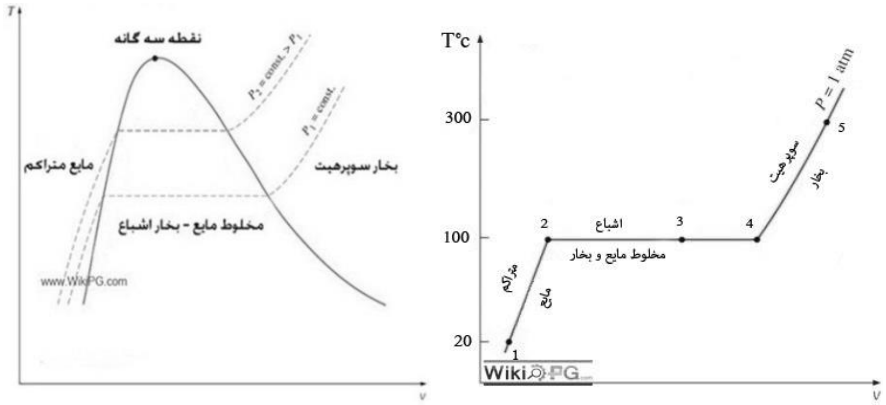


شکل (۳-۱۹) نمودار فشار، حجم مخصوص آب

در شکل‌های بالا ملاحظه می‌شود که در نمودار، منحنی‌هایی به نام‌های مایع اشباع و بخار اشباع وجود دارند. واژه اشباع به این معنی است که اگر اندکی حرارت به سیال

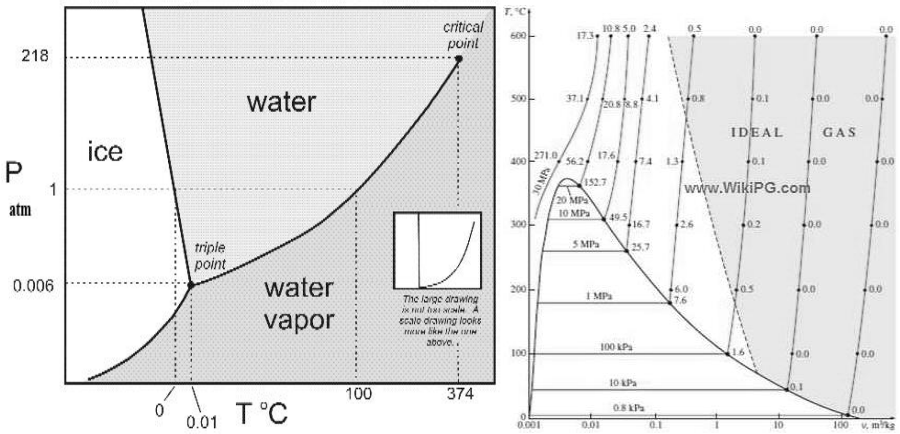
داده شود یا از آن گرفته شود، بلافاصله تغییر فاز صورت می‌گیرد. مایع اشباع با جذب اندکی حرارت بلافاصله تبدیل به بخار شده و بخار اشباع با از دست دادن اندکی حرارت بلافاصله تبدیل به مایع می‌شود. به مخلوط مایع اشباع و بخار اشباعی که در فضای محفظه حاوی آن‌ها وجود دارد نیز مخلوط اشباع می‌گوییم.

بخار فوق اشباع: بخار فوق اشباع بخاری است که حرارتی بیشتر از حالت اشباع را در خود جای داده است. به معنای دیگر، این بخار با از دست دادن انرژی بلافاصله مایع نمی‌شود. بخار در سمت راست منحنی بخار اشباع قرار می‌گیرد. در این فضا، ماده تک فازی است و می‌توان در جداول مربوط به آن، از دما و فشار به عنوان خواص مستقل ترمودینامیکی استفاده کرد. همچنین مایع متراکم، مایعی است که در شرف تبدیل شدن به بخار قرار ندارد. به این معنا که با جذب حرارت تنها افزایش دما می‌دهد. در صورت نداشتن اطلاعات مربوط به مایع متراکم، می‌توان آن را در دمای داده شده به صورت مایع اشباع در نظر گرفت. این مطلب به این معنا است که مایع متراکم تابع قوی‌تری از دما نسبت به فشار می‌باشد.



شکل (۳-۲۰) نمودار دما، حجم مخصوص آب

در شکل۳-۲۱ منحنی دما، حجم مخصوص آب را در فشارهای مختلف ملاحظه می‌کنید. اعدادی که در ناحیه بخار بر روی نمودار نوشته شده‌اند، مقادیر خطایی هستند که در صورت فرض بخار به عنوان گاز ایده آل در آن نقطه رخ می‌دهند.



شکل (۳-۲۱) منحنی دما، حجم مخصوص آب در فشارهای مختلف

۳-۳-۴ شرح عملیات تحلیل شبکه توزیع گاز طبیعی

شبکه توزیع گاز طبیعی با شناسایی فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی در این شبکه و تکمیل پرسش‌نامه مربوطه تحلیل می‌شود.

الف- فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی در نگهداری و تعمیرات شبکه سوخت

۱- برنامه‌ریزی و اجرای منظم شناسایی و رفع نشتی‌های احتمالی

نکته: با توجه به وجود فلنج و تجهیزات دیگر در سیستم توزیع گاز و همچنین خطرات ناشی از آتش‌سوزی در شبکه، بازدید و شناسایی نقاط آسیب‌پذیر و نشت‌های احتمالی مستلزم ایجاد یک برنامه مدون و دقیق است.

۲- بازدید مؤثر روزانه از ایستگاه گاز

۳- برنامه‌ریزی و اجرای منظم نگهداری و تعمیرات ایستگاه گاز

۴- برنامه‌ریزی و اجرای منظم نت روی تجهیزات ایستگاه‌های گاز

۵- کارآیی مناسب سیستم تخلیه کندانس‌های جداکننده‌های مسیر گاز

نکته: در یک شبکه توزیع گاز، با توجه به طول شبکه و نوع مصرف، احتمال ایجاد و ته‌نشینی مایعاتی که از فیلترهای گاز گذشته‌اند، وجود دارد. بنابراین در فواصل مختلف یا نزدیک مصرف‌کننده‌ها، از دستگاه‌های جداکننده مایعات[1] استفاده می‌شود. این جداسازها باید کاملاً تحت نظر و بررسی باشند تا با کیفیت مناسبی به مصرف‌کننده برسد.

۶- مدیریت مناسب بر مسیر گاز ورودی به مشعل‌ها

۷- برنامه‌ریزی و اجرای منظم نت روی مخزن

۸- عایق‌کاری مناسب مسیر شبکه توزیع گاز شرکت

۹- برنامه‌ریزی و اجرای منظم تعمیرات جهت ردیابی بخار مسیر شبکه توزیع گاز

۱۰- انجام کالیبراسیون مستمر و منظم کنتورها و اصلاح‌کننده‌های موجود در ایستگاه‌های گاز

ب- فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی در استفاده از تجهیزات و کنترل بهینه در شبکه سوخت

۱- استفاده از گاز با کیفیت مطلوب و ثابت

۲- به کارگیری رگولاتورها و شیرهای مناسب در ایستگاه‌های گاز

نکته: با توجه به احتمال کاهش یا افزایش مصرف گاز در یک مجتمع تولیدی، لزوم به کارگیری رگولاتورهایی که در صورت وجود نوسانات جریان گاز، باز هم عملکرد مناسبی داشته باشند و باعث قطعی گاز نشوند، ضروری است.

۳- طراحی مناسب شبکه توزیع گاز (اندازه‌بندی، نوع لوله و اتصالات)

۴- استفاده از فیلترهای مناسب در ایستگاه گاز

1- Knock Out Drum

۵- تنظیم مناسب دمای گاز خروجی از هیترها و مبدل‌های داخلی

۶- استفاده از تجهیزات پایش ترکیب درصد گاز ورودی

۷- پایش دبی، فشار و دمای گاز ورودی به شرکت

۸- استفاده از اصلاح‌گرهای پیشرفته کنتور گاز

۹- وجود سیستم گرمایش مناسب روی مسیر شبکه توزیع گاز

جدول (۳- ۱۵) پرسش‌نامه شبکه سوخت

	پتانسیل صرفه‌جویی انرژی	بلی	خیر	توضیحات
نت مؤثر	عدم وجود برنامه‌ریزی و اجرای منظم شناسایی و رفع نشتی‌های احتمالی			
	عدم بازدید مؤثر روزانه از ایستگاه گاز			
	عدم وجود برنامه‌ریزی و اجرای منظم نگهداری و تعمیرات ایستگاه گاز			
	عدم وجود برنامه‌ریزی و اجرای منظم نت روی تجهیزات ایستگاه‌های گاز			
	عدم کارآیی مناسب سیستم تخلیه کندانس‌های جداکننده‌های مسیر گاز			
	مدیریت نامناسب بر مسیر گاز ورودی به مشعل‌ها			
	عدم وجود برنامه‌ریزی و اجرای منظم نت روی مخزن ورودی			
	عایق‌کاری نامناسب مسیر شبکه توزیع گاز شرکت			
	عدم وجود برنامه‌ریزی و اجرای منظم نت			ردیابی بخار مسیر شبکه توزیع گاز
	عدم انجام کالیبراسیون مستمر و منظم کنتورها و اصلاح‌کننده‌های موجود در ایستگاه‌های گاز			

استفاده از تجهیزات/ کنترل بهینه	استفاده از کنتور نامناسب جهت اندازه‌گیری دبی جریان گاز			
	عدم استفاده از گاز با کیفیت مطلوب و ثابت			
	به کارگیری رگولاتورها و شیرهای نامناسب در ایستگاه‌های گاز			
	طراحی نامناسب شبکه توزیع گاز			
	عدم استفاده از فیلترهای مناسب در ایستگاه گاز			
	عدم تنظیم مناسب دمای گاز خروجی از هیترها و مبدل‌های داخلی			
	عدم استفاده از تجهیزات پایش ترکیب درصد گاز ورودی			
	عدم پایش دبی، فشار و دمای گاز ورودی به شرکت			
	عدم استفاده از اصلاح‌گرهای پیشرفته کنتور گاز			
	عدم وجود سیستم گرمایش مناسب روی مسیر شبکه توزیع گاز			

۳-۴ دستورالعمل نحوه تحلیل شبکه توزیع بخار و آب گرم

۳-۴-۱ هدف و دامنه کاربرد دستورالعمل نحوه تحلیل شبکه توزیع بخار و آب گرم

هدف از تدوین این دستورالعمل آشنایی ممیزان انرژی با نحوه تحلیل شبکه توزیع بخار و آب گرم و دامنه کاربرد این دستورالعمل با توجه به معیارهای ممیزی انرژی (هدف کلان، نوع و سطح ممیزی، روش و استاندارد ممیزی، نحوه و میزان مشارکت کارکنان، محدوده و مدت زمان اجرای ممیزی و الزامات گزارش ممیزی)، شبکه توزیع بخار و آب گرم موجود در یک فرآیند صنعتی یا واحد عملیاتی یا شرکت تولیدی است.

۳-۴-۲ مسئولیت تحلیل شبکه توزیع بخار و آب گرم

مسئولیت تحلیل شبکه توزیع بخار و آب گرم با تیم ممیزان انرژی شرکت تولیدی (درجه دو و سه / مقیم یا غیر مقیم) است. پیشنهاد می‌شود این تیم، حداقل متشکل از کارشناسان جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها و اطلاعات اولیه، اندازه‌گیری و تحلیل متغیرها و شاخص‌های عملکرد انرژی و ارائه راهکارهای عملی صرفه‌جویی انرژی در زمینه شبکه توزیع بخار و آب گرم باشد.

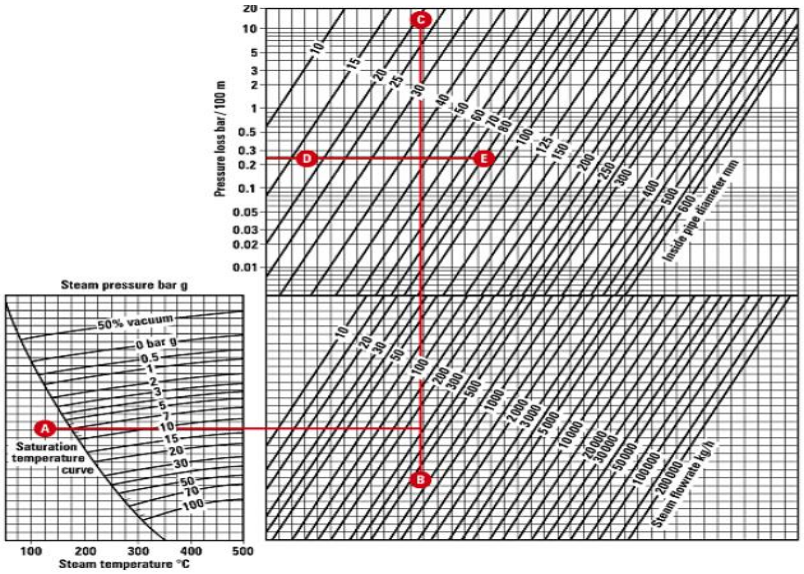
۳-۴-۳ واژگان دستورالعمل نحوه تحلیل شبکه توزیع بخار و آب گرم

سیستم توزیع بخار: سیستم توزیع بخار رابط بین تولیدکننده و مصرف‌کننده بخار است. روش‌های مختلفی برای انتقال بخار از مولد بخار (مانند بویلر) به نقاط مصرف وجود دارد. صرف‌نظر از نوع مولد بخار، جهت انتقال بخار با کمیت و کیفیت مناسب به مصرف‌کنندگان بخار، یک سیستم توزیع بخار کارآمد ضروری است.

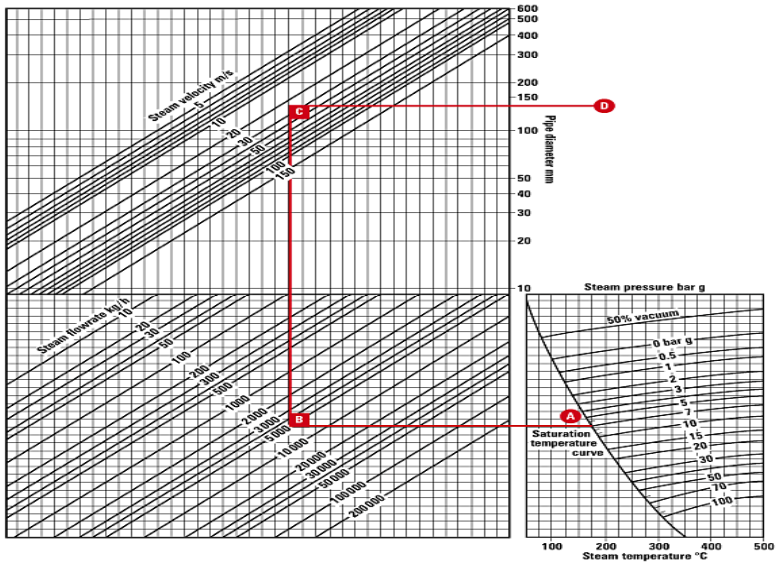
اجزای یک سیستم توزیع بخار: مهم‌ترین اجزای یک سیستم توزیع بخار عبارتند از:

- لوله‌ها
- نقاط تخلیه[1]
- خطوط انشعابی[2]
- صافی‌ها[3]
- فیلترها
- جداکننده‌ها
- تله‌های بخار و
- منافذ هوا[4]

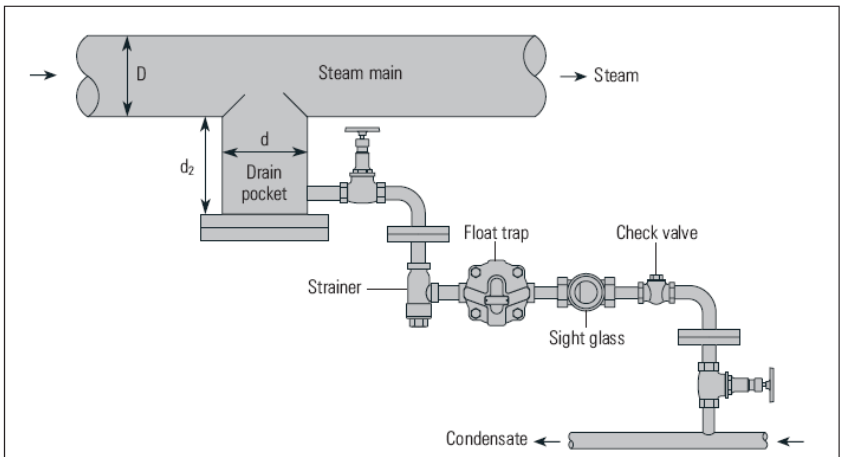
1- Drain Points
2- Branch Lines
3- Strainers
4- Air Vent



شکل (۳-۲۲) نقشه نمونه تعیین اندازه خط لوله بر مبنای افت فشار

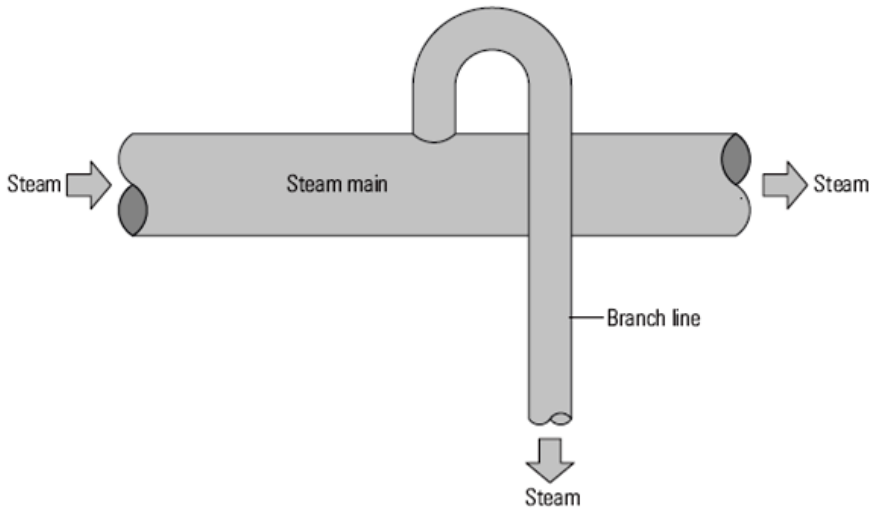


شکل (۳-۲۳) نقشه نمونه تعیین اندازه خط لوله بر مبنای سرعت بخار

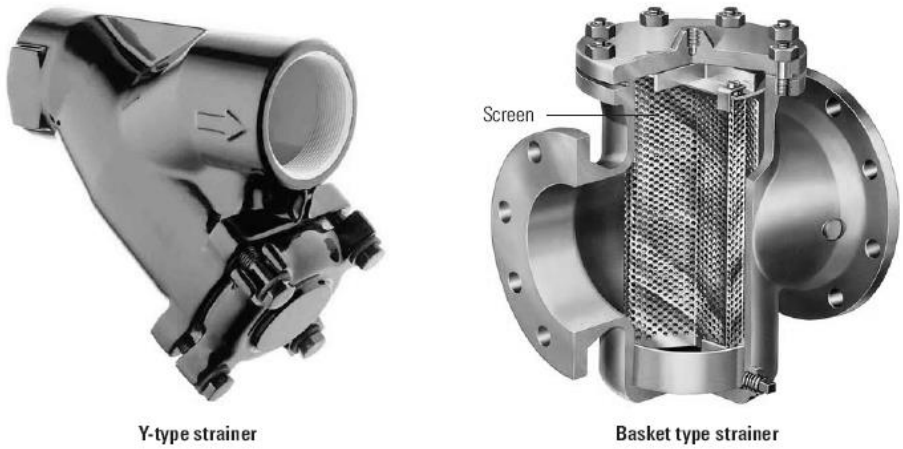


Main diameter D	Pocket diameter d_1	Pocket depth d_2
Up to 100 mm	$d_1 = D$	Minimum d_2 = 100 mm
125 mm - 200 mm	d_1 = 100 mm	Minimum d_2 = 150 mm
250 mm and above	$d_1 = D/2$	Minimum $d_2 = D$

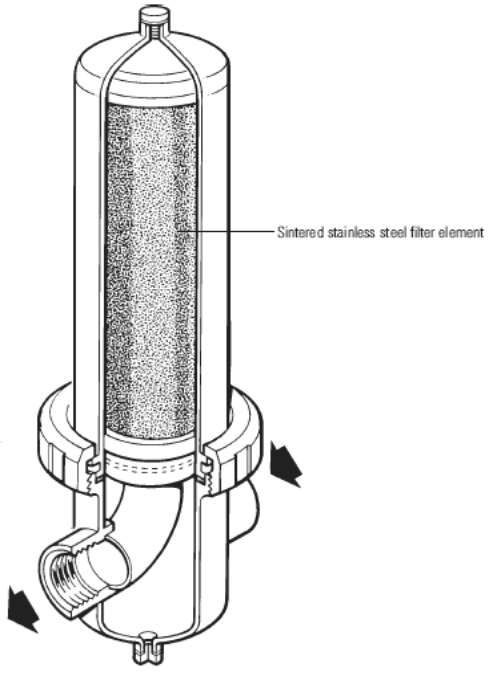
شکل (۳-۲۴) ابعاد پیشنهادی نمونه‌ای برای یک سیستم تخلیه (درین)



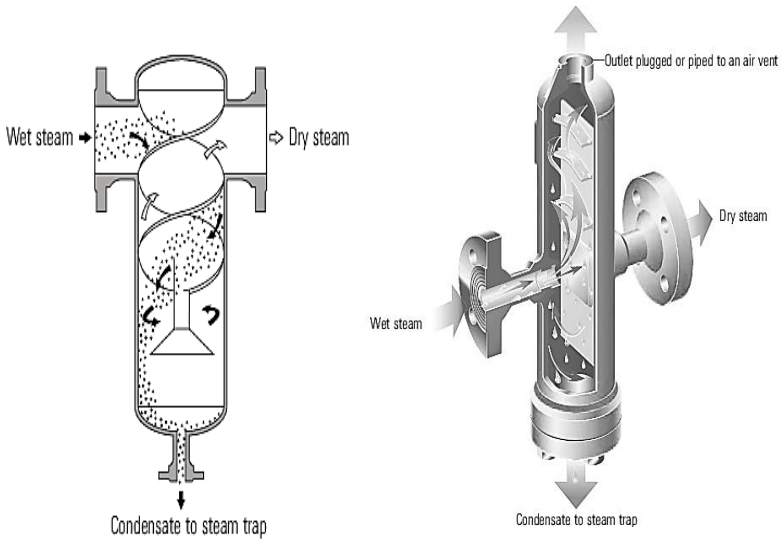
شکل (۳-۲۵) نمونه‌ای از یک خط انشعابی بخار

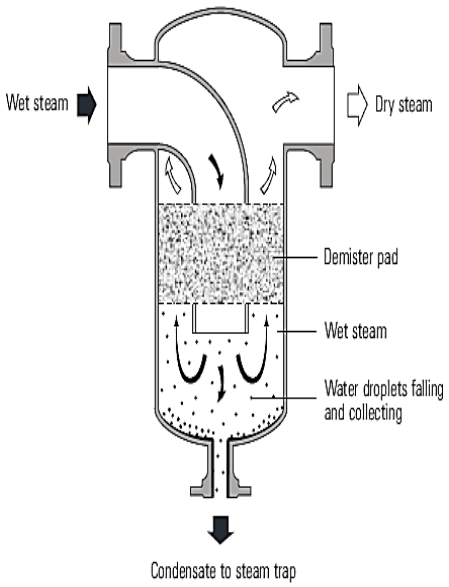


شکل (۳-۲۶) نمایی از انواع صافی‌های سیستم توزیع بخار

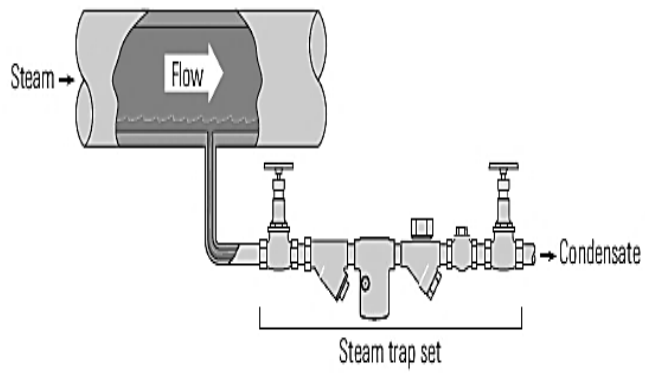


شکل (۳-۲۷) نمایی از فیلتر افقی در سیستم توزیع بخار

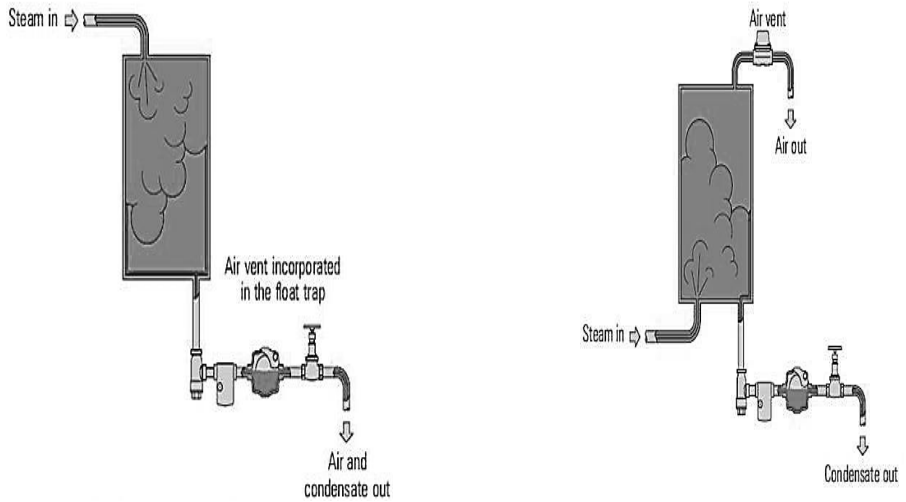




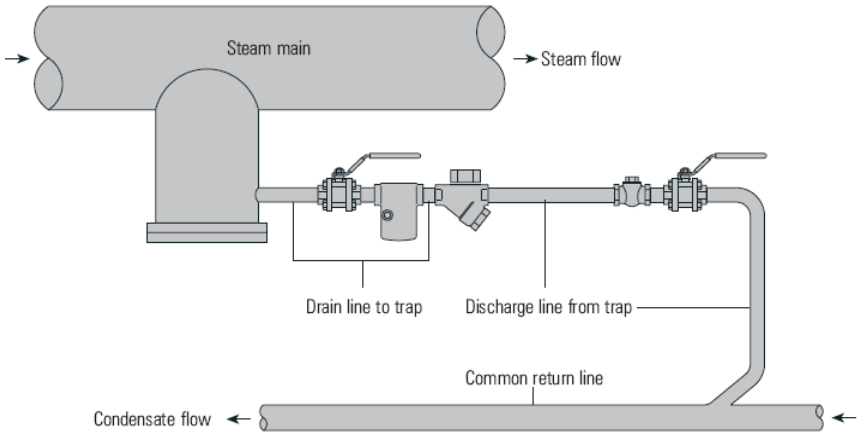
شکل (۳-۲۸) انواع جداکننده‌های متداول در سیستم بخار



شکل (۳-۲۹)جایگاه تله بخار در سیستم بخار



شکل (۳-۳۰) موقعیت‌های متفاوت دریچه هوا



Type of condensate line	Condensate line is sized to carry the folllowing:
Drain line to trap	Condensate
Discharge line from trap	Flash steam
Common return line	Flash steam
Pumped return line (not shown)	Condensate

شکل(۳-۳۱) چهار نوع خط کندانس

لزوم به‌کارگیری تله بخار:

- جمع‌آوری و استفاده مجدد کندانس (آب خالص، مقطر)که باصرف هزینه زیاد، سختی موجود در آن گرفته شده است
- قابل ملاحظه بودن هزینه سوخت مصرفی ناشی از دمای کندانس
- خوردگی لوله‌ها به علت سرعت بالای برخورد آب موجود در خطوط توزیع بخار
- کاهش کارایی سیستم بخار و نرخ انتقال حرارت در مصرف‌کننده‌ها و مبدل‌های حرارتی (عایق بودن آب در برابر انتقال حرارت)
- کاهش نرخ انتقال حرارت به علت وجود هوا و گازهای نامحلول در سیستم
- کاهش سطح مقطع مفید برای عبور بخار و تولید صدا به علت وجود هوا در سیستم

- خوردگی لوله‌ها، مصرف‌کننده‌ها و اجزای سیستم بخار (جذب هوا به‌وسیله کندانس، کاهش PH کندانس و تولید اسید کربنیک)

علل تلفات در تله‌های بخار

نشتی بخار: نشیمن شیر در تله بخار می‌تواند در معرض خوردگی یا فرسایش قرار گیرد. زمانی که این نشیمن صدمه ببیند، شیر نمی‌تواند به خوبی در جای خود قرار گیرد و در نتیجه، بخار فعال از تله، نشت خواهد کرد. اگر تله بخار دارای اندازه‌ای بیش از حد لازم باشد، این نشتی می‌تواند مقدار قابل توجهی را از بخار هدر دهد. یک تله ترمودینامیکی که به خوبی کار می‌کند نیز اگر فشار کندانس کمی داشته باشد، ممکن است نتواند کاملاً بسته شود.

تعیین اندازه نامناسب: تله‌ای که اندازه آن کوچک‌تر از اندازه لازم باشد، باعث می‌شود که کندانس در بازدهی انتقال حرارت تأثیر منفی بگذارد، زیرا کندانس یک فیلم نازک روی سطح انتقال حرارت ایجاد می‌نماید. تله‌ها معمولاً با استفاده از یک ضریب ایمنی برای محاسبه ظرفیت تله، چند مرتبه بزرگ‌تر از اندازه لازم انتخاب می‌شوند. تله‌ای که ظرفیتی بالاتر از حد نیاز داشته باشد، باعث اتلاف هزینه و افت کارکرد شده و تولید فشار معکوس بالایی می‌کند که ممکن است عمر تله را به میزان قابل توجهی کاهش دهد.

آلودگی: کندانس بخار، اغلب دارای ذرات رسوب و محصولات خوردگی است که می‌تواند باعث فرسایش شیرهای تله شود. اگر این ذرات به اندازه کافی بزرگ باشند، ممکن است حتی باعث مسدود شدن شیر تخلیه شوند. برای اجتناب از این مشکل، باید در بالادست هر تله، اقدام به نصب یک صافی نمود. این صافی باید هنگام راه‌اندازی اولیه یا تعمیر و تعویض در لوله‌کشی سیستم، تمیز شود.

ایجاد صدا: به استثنای تله‌های ترمودینامیکی، اغلب تله‌ها نسبتاً بی‌صدا عمل

می‌کنند. در برخی موارد، تله‌ها ممکن است صدایی جزئی تولید کنند که ناشی از تخلیه کندانس به داخل بخار در پایین دست شیر تله است. ایجاد صدا در سیستم بخار معمولاً توسط حرکت کندانس در خطوط برگشت عمودی، ضربه قوچ یا تله‌های معیوب که بخار فعال در آن‌ها به کندانس خط برگشت نشت می‌کند، صورت می‌گیرد.

انسداد توسط بخار و هوا گرفتگی: زمانی که تله توسط یک لوله افقی بلند و با قطر کم به تأسیسات متصل می‌شود، ممکن است شرایطی به وجود آید که بخار، مانع از رسیدن کندانس به تله شود. کندانس تا زمانی که نتواند بخار را جا به جا نماید، قادر به رسیدن به تله نخواهد بود. برای اجتناب از این پدیده باید تله را تا حد امکان نزدیک به سیستم نصب یا مسیر مربوطه را تخلیه کرد. اگر تله درست زیر سیستم یا مسیر نصب شده باشد، یک لوله تبادل باید بین این دو بخش در نظر گرفته شود تا به عنوان مسیر تخلیه عمل کرده و از انسداد مسیر، توسط بخار جلوگیری نماید. همچنین می‌توان تله‌ها را با یک شیر آزاد کننده انسداد بخار نصب نمود.

ضربه قوچ: حرکت بخار با سرعت زیاد از روی لایه کندانس باعث ایجاد موج بر روی آن می‌شود. بخار پرسرعت می‌تواند کندانس را به حرکت درآورده و هنگام تغییر راستا، یک ضربه خطرناک ایجاد کند که آن را ضربه قوچ می‌نامند. زمانی که کندانس پرسرعت به مانعی برخورد می‌کند، انرژی جنبشی آن به انرژی فشاری تبدیل شده و این افزایش فشار ناگهانی می‌تواند باعث تخریب مکانیسم عملکردی در تله‌های شناور و تله‌های ترموستاتیک فشار متعادل شود. برای اجتناب از این پدیده باید از تله‌های قدرتمند مانند تله‌های ترمودینامیکی یا تله‌های سطل وارونه استفاده و یا راستای لوله‌کشی را عوض نمود.

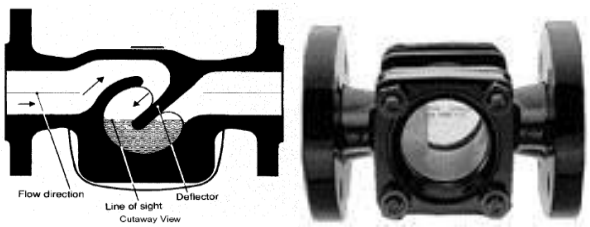
انجماد: اگر سیستم بخار در حالی که مقدار قابل توجهی کندانس در تله باقی مانده است، متوقف شود و دمای محیط به کمتر از دمای انجماد آب برسد، انجماد در داخل تله رخ خواهد داد. تله‌های شناور و تله‌های ترموستاتیک فشار متعادل، در اثر انجماد به

شدت صدمه می‌بیند. اگر احتمال بروز انجماد وجود داشته باشد، باید از تله‌های ترمودینامیکی یا بی‌متال که انجماد بر روی آن‌ها بی‌تأثیر است، استفاده نمود. راهکار دیگر، باز کردن شیرهای تخلیه بعد از توقف سیستم است.

فقدان شرایط راه‌اندازی: این مشکل در تله‌های سطل وارونه مشاهده می‌شود. این نوع تله‌ها زمانی شروع به کار می‌کنند که مقداری آب در داخل آن وجود داشته باشد. اگر یک افت فشار ناگهانی در سیستم رخ دهد یا اینکه بخار فوق داغ وارد تله شود، این عامل راه‌اندازی از بین رفته و تله مزبور قادر به عمل نخواهد بود. برای اجتناب از بروز این مشکل می‌توان از یک شیر یک‌طرفه در خط ورودی تله استفاده نمود.

روش‌های آزمایش سلامت تله‌های بخار

الف- آزمایش چشمی: مهم‌ترین نکته در آزمایش چشمی تله‌های بخار با استفاده از آبنما[1] این است که تنها در موارد نادری محصول خروجی از تله، آب خالص می‌باشد. در اغلب موارد، خروجی تله‌های بخار مخلوطی از آب و بخار با درصدهای متفاوت یا بخار فلاش است که با نشت بخار زنده از تله بخار اشتباه گرفته می‌شود.



شکل (۳-۳۲) نمونه‌ای از آبنمای تله بخار

این روش بهترین نوع آزمایش در مورد تله‌های بخار ترمودینامیکی و سطل معکوس خواهد بود. این تله‌ها دارای خاصیت تخلیه سیکلی کندانس بوده و در حالت‌های کاملاً باز در هنگام تخلیه کندانس یا کاملاً بسته هستند. باز و بسته شدن تله بخار، کلید و راهنمای

1- Sight Glass

اصلی جهت تشخیص چگونگی کارکرد تله بخار می‌باشد. با توجه به ضرورت نصب صافی در خط ورودی تله‌های بخار، با باز کردن خروجی صافی تله، از تخلیه کامل کندانس پشت تله اطمینان حاصل شده و در نتیجه سیال ورودی به تله چیزی به جز بخار نخواهد بود و از آنجایی که تمامی تله‌های بخار باید پس از احساس ورود بخار، کاملاً بسته شوند، در صورت رؤیت بخار در خروجی تله، اخلال در نحوه کارکرد آن کاملاً مشخص خواهد بود.

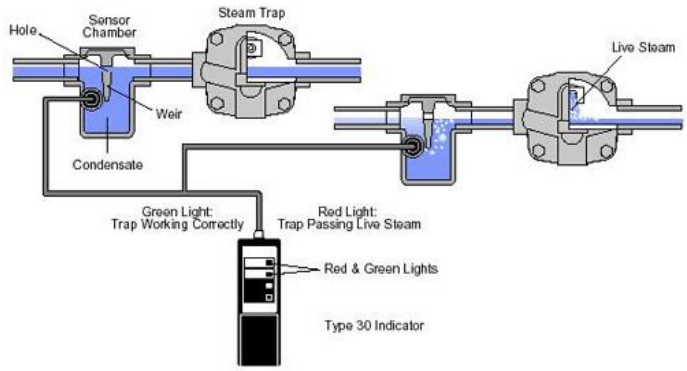
ب- تست با استفاده از امواج مافوق صوت: جریان‌های بخار و آب، ارتعاشات مشخصی دارند و متغیرهایی هستند که در این روش مورد استفاده قرار می‌گیرند. این روش نیز در مورد تله‌های بخاری که دارای خاصیت سیکلی و باز و بسته شدن هستند، مناسب‌تر است. در مورد انواع دیگر تله‌های بخار نظیر شناوری و ترموستاتیک که دارای تخلیه مداوم کندانس هستند، اپراتور باید مجدداً قسمت تخلیه صافی بخار را باز کرده و بدین ترتیب از هدایت کندانس به خارج از خط و رسیدن بخار خالص به تله بخار اطمینان حاصل نماید. در صورت عملکرد صحیح، تله باید کاملاً بسته و خروجی صفر داشته باشد. دستگاه‌های آزمایش مافوق صوت، قابلیت کالیبره شدن به‌منظور تشخیص و جداسازی صداهای خارجی موجود در لوله‌ها و عبور کندانس از بقیه تله‌ها را دارند و در صورت نصب نزدیک تعدادی از تله‌ها، بقیه آن‌ها به جز تله مورد نظر باید با استفاده از شیرهای قطع و وصل ایزوله و مجزا شوند. این روش می‌تواند تا حد بسیار دقیقی وضعیت کاری تله‌های بخار را مشخص نماید و البته این امر ارتباط مستقیمی با تجربه شخص آزمایش‌گر و آموزش‌های داده شده دارد. فرد مورد نظر باید از خصوصیات کاری انواع تله‌های بخار مطلع بوده و توانایی استفاده از روش چشمی را نیز داشته باشد.

ج- تست حرارتی: در این روش، با استفاده از اندازه‌گیری دمای ورودی و خروجی تله بخار، سلامت آن حدس زده می‌شود. از آنجا که دمای کندانس و بخار ناشی از فلاش در خط کندانس، ارتباط مستقیم با فشار خط کندانس دارد، این روش محدودیت‌هایی دارد.

در هنگام طراحی خطوط بخار، در مواردی فشار خط کندانس در حد صفر در نظر گرفته شده و بازگشت کندانس با استفاده از نیروی جاذبه انجام می‌شود. روش حرارتی بستگی به تغییرات دمای بالادستی[1] و پایین‌دستی[2] تله بخار دارد. این روش با استفاده از دستگاه پایرومتر[3]، ترمومتر مادون قرمز[4]، نوار گرمایی[5] (در اطراف تله بخار پیچیده می‌شود و با افزایش دما در اثر عبور بخار آب، تغییر رنگ می‌دهد) و چسب‌های گرمایی[6] (که در دمای بالا ذوب می‌گردند) انجام می‌شود.

د- آزمایش با استفاده از خاصیت رسانایی سیال: آخرین فناوری تست تله‌های بخار استفاده از خاصیت رسانایی الکتریکی کندانس یا بخار است. این کار با استفاده از نصب یک محفظه با یک مانع درونی در قبل از تله بخار صورت می‌گیرد. کندانس در حالت عادی کارکرد تله بخار، در زیر تیغه مذکور عبور کرده و به سمت تله بخار می‌رود. سوراخ کوچک تعبیه شده در تیغه، فشار دو طرف تیغه را متعادل می‌سازد. سنسور مستقر در این محفظه قادر به تشخیص وجود کندانس با استفاده از تکمیل یک مدار الکتریکی به کمک کندانس است. یک نمایش‌گر قابل حمل به سنسور مذکور متصل شده و وضعیت مدار (قطع یا وصل بودن) آن و در نتیجه وضعیت عبور کندانس را نمایش می‌دهد. اگر تله معیوب و دارای نشتی بخار باشد، تعادل فشار دو طرف تیغه به هم خورده و فشار بخار ورودی باعث راندن کندانس به زیر تیغه مذکور می‌شود. در این وضعیت سنسور خارج از کندانس مانده و مدار الکتریکی قطع خواهد شد و در نتیجه چراغ قرمز نشان‌دهنده تله بخار معیوب در روی صفحه نمایش، روشن خواهد شد.

1- Up-Stream
2- Down-Stream
3- Pyrometer
4- Infrared
5- Heat Band
6- Heat Sticks



شکل (۳-۳۳) سیستم تست با استفاده از خاصیت رسانایی سیال

سنسور مذکور قابلیت نصب در خود تله‌های بخار را دارد که در این صورت، سیستم نیازی به نصب محفظه قبل از تله بخار نخواهد داشت. مزیت استفاده از این سیستم، قابلیت قرائت صحیح نحوه کارکرد تله بخار بدون هیچ‌گونه برداشت شخصی یا نیاز به تجربه زیاد اپراتور است. استفاده از این سیستم ساده، کارآمد و برای انواع تله‌های بخار قابل استفاده است. همچنین قابلیت اتصال تعدادی از تله‌ها به یک سیستم پایش و بهره‌برداری سریع و راحت از آن وجود دارد و نیز آخرین تغییرات داده شده در این سیستم، تعبیه سنسور دما در همین محفظه می‌باشد که قادر به تشخیص تله بخار معیوب در حالت بسته است.

اقدامات پیش از ممیزی تله‌های بخار

۱- ممیزان تله بخار، باید در مورد انواع مختلف تله‌های بخار، اصول‌عملکرد، ویژگی‌های آن‌ها و دستگاه‌های آزمایش تله بخار، به طور کامل آموزش دیده باشند.

۲- قبل از انجام آزمایش، لازم است به منظور کمک به ممیز در تعیین مکان تله‌های بخار، نقشه موقعیت تله‌ها با کدبندی مناطق مختلف شرکت تهیه شود.

۳- ممیز باید به هر تله برچسب با شماره مخصوص تله نصب کند.

۴- برای شروع بررسی کارکرد تله‌ها نیاز به تهیه یک لیست به‌صورت فایل اکسل تله بخار است.

جدول (۳-۱۶) عوامل مؤثر در تعیین تعداد دفعات بازرسی تله بخار

عامل ممیزی	توضیحات
نوع تله	تله‌های سطلی معکوس و شناور ممکن است بدون مشکل، چندین سال متوالی کار کنند. در حالی که ممکن است مصرف بخار تله‌های دیسکی ترمودینامیکی تنها ظرف چند ماه افزایش یابد.
تعداد تله	هر چه تعداد تله‌ها در سیستم بیشتر باشد، احتمال نشتی تله‌های بخار در یک دوره زمانی معین، افزایش می‌یابد.
ظرفیت تله	ظرفیت تله بستگی به سایز اوریفیس و اختلاف فشار دو طرف آن دارد. بازرسی تله‌های بزرگ‌تر مهم‌تر است، زیرا در صورت خرابی تله، تلفات بخار بالاتر است.
دسترسی کارکنان	بررسی بین هزینه بخار اتلافی و هزینه کارکنان برای بازرسی تله‌های بخار، یکی از عوامل تعیین کننده است.
دسترسی تله	یکی از عوامل مؤثر در هزینه کارکنان، موقعیت و وضعیتی است که تله بخار در آن محل نصب شده است.
فشار بخار	با افزایش فشار بخار، اتلاف از تله‌های معیوب و احتمال معیوبی آن‌ها افزایش می‌یابد.
کاربرد تله	در یک برنامه مناسب نت باید کاربرد تله مشخص و تعیین شود که پیامد خرابی تله چیست و سپس با توجه به اهمیت آن، تعداد دفعات بازرسی در سال مشخص شود.

محاسبه نشت بخار از تله های بخار

۱- فرمول ناپیر برای محاسبه نشت بخار از تله بخار

$$steam\ loss_{\text{well-rounded covering}} \approx 51.43\ {d_{orific}}^2 \times P_{steam}$$

که در آن:

Steam Loss: میزان نشتی بخار از تله بخار (lbm/hr)

A_{orific}: مساحت اریفیس (in^2) که از رابطه $A_{orific} = \frac{\pi}{4} {d_{orific}}^2$ محاسبه می‌شود.

P_{steam}: فشار بخار (psia)

d_{orific}: قطر اریفیس (in)

این فرمول برای یک اریفیس «well-rounded covering» به‌دست آمده است. در یک اریفیس "sharp edged"، جریانی معادل ۶۰٪ این مقدار عبور خواهد کرد.

$$steamloss_{\text{sharp edged}} \approx 24.4\, {d_{orific}}^2 \times P_{steam}$$

در عمل، نشت بخار در یک تله بخار به خاطر موارد زیر ممکن است بین ۱۰٪ تا ۱۰۰٪ مقدار تئوری باشد.

- نشتی که تنها به اندازه باز شدن جزئی اریفیس تله بخار رخ می‌دهد در مقایسه با نشت با فشار بخار از اریفیس
- ضریب جریان C_V تله بخار
- چگالیده نیز ممکن است از اریفیس عبور کند
- امکان یک خط برگشت چگالیده تحت فشار
- تغییر معمول (کاهش) فشار ورودی تله بخار وقتی بارهای فرآیند متغیر (ناپایدار) وجود داشته باشد

۲- فرمول برنولی برای محاسبه نشت بخار از تله بخار

$$\boldsymbol{Q = \rho C_O A_{Orific} \sqrt{\frac{2(P_2 - P_1)}{\rho(1 - \beta^4)}}}$$

که در آن Q: نشت بخار (Kg/s)،

β: نسبت قطر اریفیس به قطر لوله (d/D)

CO: ضریب اریفیس، AOrific: مساحت اریفیس(m_2)

و (P_2-P_1): اختلاف فشار دو سر اریفیس هستند.

هزینه سالانه ناشی از نشت بخار

میزان اتلاف سالانه بخار (kg/year) از رابطه زیر به دست می‌آید:

تعداد ساعات عملکرد سالانه × اتلاف بخار = اتلاف بخار سالانه

اتلاف بخار (Kg/hr)که از یکی از فرمول‌های محاسبه نشت بخار محاسبه می‌شود.

تعداد ساعات عملکرد سالانه (hr/year)

هزینه اتلاف بخار سالانه (Rials/year) از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

۱۰۰۰/ هزینه بخار در تن × اتلاف بخار سالانه = هزینه اتلاف بخار سالانه

هزینه بخار در تن (Rials/ton)

صرفه‌جویی در هزینه عملکرد سالانه تله بخار اگر از اتلاف تله بخار جلوگیری شود = هزینه اتلاف بخار سالانه

ممیزی عایق

یک عایق حرارتی با ضریب هدایت حرارتی پایین، قادر است تا با جلوگیری از انتقال حرارت به محیط خارج، حرارت را در داخل یا خارج یک سیستم محبوس کند. مواد عایق‌کاری متخلخل بوده و شامل تعداد زیادی سلول هوایی هستند. بدون عایق‌کاری، با عایق‌های نامناسب و عایق‌کاری بد، مقدار زیادی انرژی حرارتی به هدر می‌رود. فوائد عایق‌کاری حرارتی را می‌توان در موارد زیر خلاصه کرد:

- کاهش مصرف سوخت
- کنترل بهتر فرآیند با ثابت نگه داشتن دماهای فرآیندی
- حفاظت در برابر خوردگی (دمای سطح بدون پوشش یک سیستم سرد را بالای نقطه شبنم نگه می‌دارد.)
- حفاظت تجهیزات در برابر آتش
- جذب لرزش

- بهبود شرایط ایمنی کارکنان با کاهش سطح نویز و محافظت از قرار گرفتن در معرض سطوح داغ و تشعشع حرارت

تجهیزات مورد نیاز برای ممیزی عایق عبارتند از:

- ترموکوپل (نوع تماس سطحی و تماس نقطه‌ای)
- پایرومتر، ترمومتر مادون قرمز (برای سطوح داغ یا با دسترسی مشکل)
- رطوبت‌سنج برای اندازه‌گیری رطوبت نسبی (RH)؛ (البته ترمومترهای حباب خشک و حباب تر نیز این کار را انجام می‌دهند.)
- آنیمومتر برای اندازه‌گیری سرعت باد (با گستره 0 m/s تا ۱۵)

متغیرهای عملیاتی مورد نیاز

۱- نوع سوخت مورد استفاده (گاز طبیعی، گاز مایع، نفت کوره و...)

۲- هزینه سوخت، ارزش حرارتی، کارایی بویلر برای دست‌یابی به هزینه واقعی سوخت

۳- ساعات عملکرد سالانه تجهیز

۴- دماهای عملکرد خطوط لوله و تجهیزات به‌طور مجزا

۵- قطر داخلی، قطر خارجی و طول لوله

۶- ابعاد تجهیز عایق‌کاری شده

۷- ضخامت عایق موجود

به علاوه داده‌های زیر:

۸- دمای محیط

۹- حداکثر دمای سطح مجاز

۱۰- سرعت باد

۱۱- قابلیت نشر سطح سیستم عایق‌کاری

۱۲- طراحی سیستم عایق‌کاری برای تقویت عایق موجود

اندازه‌گیری‌ها در ممیزی عایق

متغیرهای زیر در سایت، اندازه‌گیری و ثبت می‌شوند:

۱- دمای سطح سیستم عایق‌کاری در فواصل منظم روی تمام خطوط لوله و تجهیزات به‌صورت محیطی و طولی به وسیله تماس فیزیکی بین سنسور ترموکوپل و سطح سیستم عایق کاری اندازه‌گیری شود.

۲- دمای محیط در فاصله یک متری از سطح سیستم عایق اندازه‌گیری شود. در مقابل هر قرائت از دمای سطح سیستم، دمای محیط اندازه‌گیری شود. دمای محیط با نگهداشت و حرکت پراب ترموکوپل در هوا اندازه‌گیری شود.

۳- سرعت باد در محلی نزدیک سیستم عایق به وسیله آنیمومتر اندازه‌گیری شود.

۴- قابلیت نشر سطح سیستم عایق‌کاری مشخص شود. قابلیت نشر از جداول استاندارد براساس نوع ماده، وضعیت صیقلی و رنگ سیستم عایق‌کاری، خوانده شود.

۵- رطوبت نسبی نزدیک سیستم عایق به‌وسیله رطوبت‌سنج و فقط برای سیستم سرد اندازه‌گیری شود.

البته ذکر این نکته ضروری است که با توجه به طول و قطر سطح عایق‌کاری تا شش قرائت از دماهای سطح و محیط در یک محل خاص گرفته شود. نیاز است تا قرائت دمای سطح نرمالیزه، گردد یعنی اصلاح و با دمای محیط طراحی سازگار شود، به‌طوریکه مقایسه بین سیستم عایق‌کاری موجود و سیستم عایق‌کاری پیشنهادی، بر مبنای مفروضات یکسان انجام شود.

علاوه بر اندازه‌گیری‌های بالا، متغیرهای زیر بررسی و ثبت می‌شوند.

۱- موقعیت و ابعاد نواحی لوله‌کشی، تجهیز عایق‌بندی نشده

۲- وضعیت پرداخت نهایی (آلومینیوم، پلاستر و ...)، وضعیت صیقلی (روشن، کدر، پوشیده شده با گرد و غبار، جرم و ...)، رنگ روی پرداخت نهایی.

۳- اگر عایق آسیب دیده یا تخریب شده است، اندازه و محل آن مشخص شود.

نکاتی در مورد اندازه‌گیری

۱- سرعت باد و رطوبت نسبی، تنها برای فضای اطراف سیستم عایق اندازه‌گیری شود.

۲- تشعشع سطح داغ مثل شیر، فلنج و ... منجر به خطا در اندازه‌گیری دمای سطح سیستم عایق‌کاری و هوای محیط نشود.

۳- دمای سطح سیستم عایق‌کاری به‌وسیله پراب ترموکوپل نوع تماسی اندازه‌گیری می‌شود.

روش تحلیل

داده‌های جمع‌آوری شده در طول ممیزی، می‌تواند توسط نرم‌افزارهای معتبر تحلیل عایق مانند Eplus۳، با محاسبه ضخامت اقتصادی عایق، تخمین میزان اتلاف انرژی حرارتی و هزینه ناشی از عایق‌کاری نامناسب را به همراه داشته باشد. البته روش‌های محاسبه مستقیم زیر نیز علاوه بر نرم‌افزار برای تخمین ضخامت اقتصادی عایق (ضخامتی که در آن هزینه نهایی کمینه است) وجود دارد.

الف- استخراج مستقیم ضخامت اقتصادی عایق از جداول آماده استاندارد BS ۵۴۲۲:۱۹۹۰ برای گستره‌ای از اندازه و دمای سطح لوله (دمای جریان فرآیند) و ضریب هدایت حرارتی عایق که استفاده از این جداول، ساده ولی با مقداری خطا همراه است.

ب- محاسبه از طریق فرمولاسیون و جداول با لحاظ جزئیات و موارد کاربرد خاص و قابل اعتمادتر از روش الف.

ج- حل جبری معادلات ریاضی انتقال حرارت که این روش نیاز به مهارت ریاضی ولی فرضیات کمتر دارد. اگر مقادیر خیلی دقیق ضخامت اقتصادی عایق مورد نظر باشد، از این روش استفاده می‌شود.

جدول (۳-۱۷) نمونه‌ای از جداول تعیین ضخامت اقتصادی عایق (برای یک بویلر نیروگاه گازی)

Outside diameter of steel pipe on which insulation thickness has been based (in mm) [1]	Hot face temperature (in °C) (with ambient still air at +20°C)											
	+ 75				+100				+150			
	Thermal conductivity at mean temperature (in W/(m.K))											
	0.025	0.04	0.055	0.07	0.025	0.04	0.055	0.07	0.025	0.04	0.055	0.07
	Thickness of insulation (in mm)											
17.2	17	22	24	26	20	24	27	31	24	29	34	37
21.3	18	23	25	27	22	25	29	33	26	32	36	39
26.9	20	24	26	29	23	27	31	34	27	33	38	42
33.7	21	25	27	31	24	28	33	36	28	35	40	44
42.4	22	25	29	32	25	30	34	38	30	37	42	47
48.3	22	26	30	33	25	31	35	39	31	38	44	48
60.3	23	27	32	35	26	32	37	41	33	39	46	50
76.1	24	28	33	36	27	34	39	43	34	42	48	52
88.9	24	29	34	37	28	35	40	45	35	43	49	53
114.3	25	31	35	39	29	36	42	47	36	45	51	56
139.7	25	32	36	41	30	37	43	48	37	47	53	59
168.3	25	32	37	42	31	38	45	50	38	48	56	61
219.1	26	33	38	44	32	40	46	52	40	51	58	65
273.0	27	34	40	45	33	41	47	53	41	52	59	68
Above 323.9 and including flat surfaces	27	36	42	47	34	43	51	58	42	54	63	72

[1] Outside diameters are as in BS 3600. The same thickness of insulation would be used for copper pipework of approximately similar outside diameters.

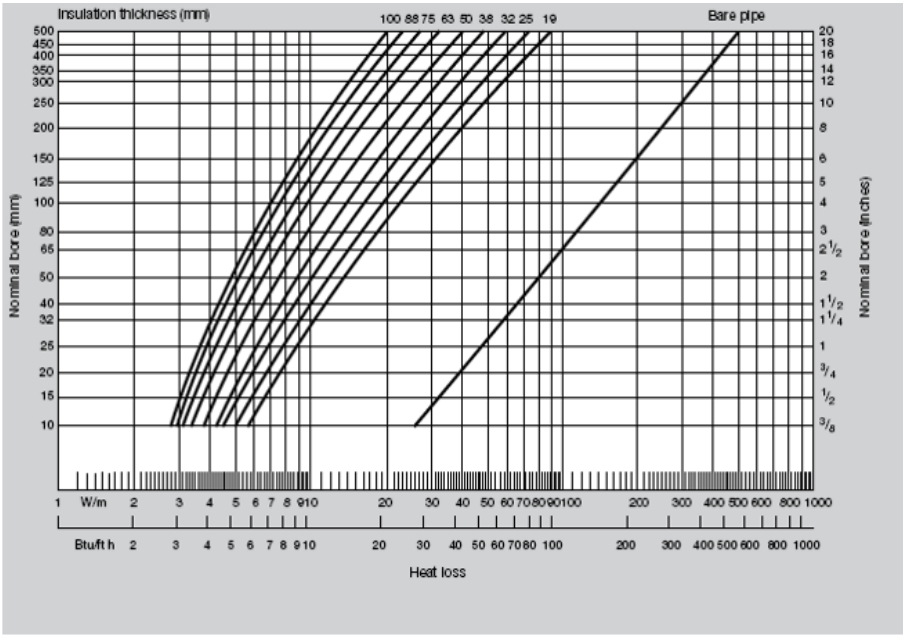
مراحل هشت‌گانه محاسبه ضخامت اقتصادی عایق[1]

مرحله اول- ضخامت عایق: تخمین ضخامت عایق با توجه به کاربرد خاص در جداول راهنما تعیین می‌شود.

مرحله دوم- محاسبه نرخ اتلاف حرارت: نرخ اتلاف حرارت بر حسب وات از هر متر از طول لوله، براساس دمای جریان فرآیند، قطر لوله و شرایط محیط از نمودارهای مرجع به دست می‌آید. حرکت هوا (معمولاً ناشی از باد) و تغییر درجه هوای محیط، اثر

۱- این محاسبات می‌تواند توسط ممیز با نرم‌افزار یا به صورت دستی انجام شود.

قابل ملاحظه‌ای روی نرخ اتلاف حرارت دارد. از آنجا که نمودارهای مورد استفاده برای شرایط هوای ساکن و دمای هوای ۲۵ درجه سانتی‌گراد هستند، جدول ۳-۱۸ با عنوان ضریب تصحیح باد در ادامه آمده است.



شکل (۳-۳۴) نمونه‌ای از نمودار مرجع نرخ اتلاف حرارت لوله‌های با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد برای ضخامت‌های عایقی مختلف

جدول (۳-۱۸) ضریب تصحیح سرعت باد

Wind Speed (m/s)		Multiplying Factors	
	High Emissivity Surface	Medium Emissivity Surface	Low Emissivity Surface
Still Air	1.00	1.00	1.00
1	1.35	1.44	1.58
2	1.65	1.81	2.11
3	2.00	2.25	2.72
5	2.60	3.00	3.86
10	4.00	4.75	6.32

مرحله سوم- محاسبه ضریب هزینه: این ضریب، هزینه یک وات اتلاف حرارتِ یک متر از طول لوله، در دوره ارزیابی می‌باشد که برای ضخامت‌های مختلف، یکسان است.

دوره زمانی ارزیابی(hr) = طول زمان سرمایه‌گذاری(year) × زمان عملکرد سالانه(hr)

اتلاف حرارت از هر متر لوله در دوره ارزیابی= تلفات حرارتی واحد × $\frac{3600}{10^6} \times \frac{1\,watt}{m}$

ضریب سوخت ($\frac{Rials}{watt}$) = تلفات حرارتی واحد × هزینه حرارت مفید (Rials/useful Mj)

هزینه حرارت مفید، هزینه سوخت (Rials/Mj) تقسیم بر راندمان بویلر بوده و از جداول مرجع برای گستره‌ای از قیمت‌های سوخت (Rials/ton) به‌دست می‌آید.

جدول (۳-۱۹) هزینه سوخت و دوره ارزیابی برای تعیین ضخامت اقتصادی عایق

		Fuel Cost pence per useful MJ	Evaluation Period hours
Non-domestic central heating and hot water services			
Fuel:	Solid Fuel	0.38	
	Gas	0.57	
	Oil	0.67	
Application:	Central Heating		20,000
	Hot water services		40,000
Domestic central heating and hot water services			
Fuel:	Gas	0.76	
Application:	Central Heating		17,000
	Hot water services		9,000
Process pipework		0.6 (2)	40,000
Notes:	*(1)*	*Each evaluation period is based on a typical intermittent operation for the number of hours shown over a five year period (e.g. continuous non-domestic operation for five years = 40,000 hours)*	
	(2)	*Deduced from data in BS 5422:1990*	

مرحله چهارم- محاسبه هزینه اتلاف حرارت در دوره ارزیابی:

هزینه اتلاف حرارت در دوره ارزیابی($\frac{Rials}{m}$) = تلفات گرمایی($\frac{watt}{m}$) × ضریب هزینه

تلفات گرمایی بیانگر نرخ اتلاف حرارت بر حسب وات از هر متر از طول لوله است.

مرحله پنجم- هزینه نصب عایق: کل هزینه عایق‌کاری در هر متر از طول لوله شامل هزینه مواد عایق، هزینه نصب، مواد نگهدارنده و... می‌باشد. این هزینه برای هر ضخامتی از عایق متفاوت است.

مرحله ششم- محاسبه هزینه نهـایی: مجمـوع هزینـه اتـلاف حـرارت در دوره بازیابی و هزینه نصب عایق است.

جدول (۳-۲۰) مقایسه هزینه سوخت‌های متفاوت و دوره ارزیابی برای تعیین ضخامت اقتصادی عایق

Cost of heat	Fuel oil at 70% efficiency	Natural gas at 70% efficiency	Solid fuel at 55% efficiency	Solid fuel at 70% efficiency	Electricity at 100% efficiency
pence/useful MJ	pence/l	pence/therm	£/t	£/t	pence/kWh
0.30	7.89	22.16	38.4	58.61	1.08
0.40	10.52	29.54	51.2	78.15	1.44
0.50	13.15	36.93	64.0	97.68	1.80
0.56	14.73	41.36	71.7	109.40	2.02
0.60	15.78	44.31	76.8	117.22	2.16
0.64	16.83	47.27	81.9	125.03	2.30
0.68	17.88	50.22	87.0	132.85	2.49
0.72	18.94	53.18	92.1	140.66	2.59
0.76	19.99	56.13	97.2	148.48	2.74
0.80	21.04	59.08	102.4	156.29	2.88
0.84	22.09	62.04	107.5	164.11	3.02
0.88	23.14	65.00	112.6	171.92	3.17
0.92	24.20	67.96	117.7	174.74	3.31
0.96	25.25	70.91	122.8	187.55	3.46
1.00	26.30	73.87	128.0	195.37	3.60
1.04	27.35	76.82	133.1	203.18	3.74
1.08	28.40	79.77	133.2	203.66	3.89
1.12	29.46	82.73	143.3	218.81	4.03
1.16	30.51	85.68	148.4	226.67	4.18
1.20	31.56	88.64	153.5	234.44	4.32

NOTE 1: The first column shows the basic costs required for economic thickness calculations. The range covers both past prices and possible future price increases.

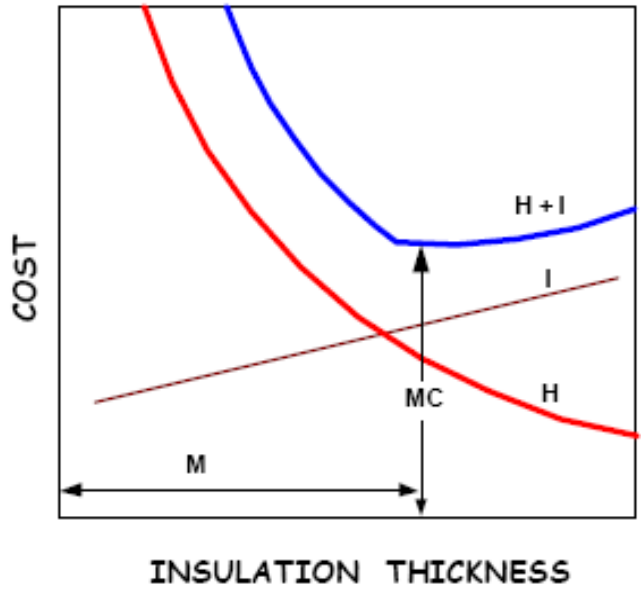
NOTE 2: The efficiencies given in the column headings indicate the values assumed in the calculations; they do not represent the actual operating efficiency. In practice the system efficiency for a particular application may be considerably lower than the values given.

مرحله هفتم- تشکیل جدول تحلیل عایق:

جدول (۳-۲۱) جدول نمونه تعیین ضخامت اقتصادی عایق

ضخامت عایق	تلفات حرارتی	ضریب هزینه	هزینه اتلاف حرارت در دوره ارزیابی	هزینه عایقکاری	هزینه نهایی
mm	W/m	Rs/W	Rs/linear m	Rs/linear m	Rs/linear m

مرحله هشتم- تعیین ضخامت اقتصادی عایق: ضخامت اقتصادی عایق، ضخامتی است که در آن مجموع هزینه اتلاف حرارت و هزینه عایق‌کاری (هزینه ماده عایق، هزینه نصب و تعمیر و نگهداری عایق)، کمینه شود.



شکل (۳-۳۵) تعیین ضخامت اقتصادی عایق

در این شکل I: هزینه عایق‌کاری، H: هزینه تلفات حرارتی، I + H : هزینه نهایی، M: ضخامت اقتصادی عایق و MC: هزینه کمینه است.

محاسبه هزینه‌های سیستم توزیع بخار

جدول (۳-۲۲) داده‌های مورد نیاز برای محاسبه هزینه توزیع بخار

عنوان	واحد
تعداد ساعات عملکرد سالانه	Hours
مصرف سوخت سالانه	litres gas oil/therms gas
هزینه واحد سوخت (واقعی)	Rs ÷litre/therm
میزان بخار تولید شده در سال	Tonnes
فشار بخار	bar (g)
دمای آب تغذیه بویلر	°C
درصد بخار بازیابی شده به‌صورت کندانس	%
درصد کندانس تخلیه شده به‌صورت پسآب	%
درصد بخار مصرفی به‌وسیله پاشش مستقیم برای گرمایش مستقیم فرآیند	%
دمای کندانس در اتاق بویلر	°C
لوله‌های سیستم بخار	m @ 150mm N.B. m @ 100mm N.B. m @ 75mm N.B. m @ 50mm N.B. m @ ..... mm N.B.
درصد لوله‌های عایق نشده	% @ 150mm N.B. % @ 100mm N.B. % @ 75mm N.B. % @ 50mm N.B. % @ .... mm N.B.
مساحت اتصالات عایق نشده	m^2
جزئیات نشت‌ها	

جدول (۳-۲۳) محاسبه کارایی سیستم تولید بخار

عنوان	اختصار	فرمول محاسباتی	واحد
انتالپی ویـژه بخـار در فشار سیستم	(A)	از جداول بخار	kJ/kg
انتالپی ویژه آب تغذیه	(B)	از جداول بخار	kJ/kg
حرارت جذب شده در کیلوگرم بخار تولیدی	(C)	= (A) – (B)	kJ/kg
جذب حرارت سالانه	(D)	= (C) ×(تن)بخار تولیدی سالانه ×10^{-3}	GJ/year
جذب حرارت سالانه	(E)	= (D) ÷ 3.6	MWh/year
حـرارت آزاد شـده از سوخت سالانه	(F)	=ارزش حرارتـی ×مصرف سالانه سـوخت (کیلووات ساعت)سوخت×10^{-3}	MWh/year
متوسـط کـارایی حرارتی تولید	η	= ((E) ÷ (F)) × 100	%

جدول (۳-۲۴) محاسبه تلفات سیستم توزیع بخار به واسطه عایق‌کاری نامناسب لوله‌های بخار و اتصالات

عنوان	اختصار	فرمول محاسباتی	واحد
اتلاف انرژی از لوله عایق شده	(A)	=تلفات حرارتی ×50×طول کلی لوله‌های عایق شده ÷1,000 واحد لوله‌های عایق شده	kW
اتلاف انرژی از لوله عایق نشده	(B)	= مجموع (طول لوله‌های عایق نشده×تلفات حرارتی واحد لوله‌های عایق نشده) برای هر قطر لوله	kW
اتـلاف انـرژی از اتصالات عایق نشده	(C)	=مساحت اتصالات عایق نشده ×تلفات حرارتی واحد ÷ 1,000	kW

اتلاف انرژی کلی از لوله‌ها و اتصالات	(D)	= (A) + (B) + (C)	**kW**
اتلاف انرژی سالانه از لوله‌ها واتصالات	E_{SP}	= (D) × ساعات عملکرد سالانه ÷ 1,000	**MWh**
حرارت آزاد شده از سوخت سالانه	(F)	=مصرف سوخت سالانه× ارزش حرارتی سوخت ÷ 1,000	**MWh/year**
درصد اتلاف انرژی بخار	L_{SP}	$= [E_{SP} \times 10{,}000] / [(F) \times \eta]$	**%**

جدول (۳-۲۵) محاسبه درصد تلفات سیستم توزیع بخار به واسطه نشت‌های بخار

عنوان	اختصار	فرمول محاسباتی	واحد
نشت بخار از هر واشر یا آب‌بند	m_L	$= 0.53 \times d^2 \times P^{0.8}$ d = قطر مسیر نشت (mm), P = فشار بخار (bar (g))	**kg/hour**
مجموع نشت‌های بخار	Σm_L		**kg/hour**
متوسط بخار تولید شده ساعتی	m_S	= (مقدار بخار تولیدی سالانه (تن) × 1,000) ÷ ساعات عملکرد سالانه	**kg/hour**
درصد اتلاف انرژی به‌واسطه نشت بخار	L_L	$= (110 \times \Sigma m_L)/m_S$ یا= $[7.6 \times \Sigma m_L \times$ ساعات عملکرد سالانه$]/[(F) \times \eta]$	**%**

جدول (۳-۲۶) محاسبه درصد تلفات سیستم توزیع بخار به‌واسطه تخلیه کندانس به درین

عنوان	اختصار	فرمول محاسباتی	واحد
مجموع کندانس تخلیه شده به درین	ΣmCD	= m_S ×درصد کندانس تخلیه شده به درین	kg/hour
درصد اتلاف انرژی به‌واسطه تخلیه کندانس به درین	L_C	= 22 × Σ mCD/mS یا = 1.5 × Σ mCD×ساعات عملکرد سالانه/((F)×η)	%
فرمول بالا، بازیابی حرارت از کندانس تلف شده را به حساب نمی‌آورد. جایی‌که مقداری از حرارت بازیابی می‌شود، یک ضریب تصحیح مناسب باید اعمال شود. بخار مصرفی برای گرمایش مستقیم فرآیند (پاشش مستقیم) نباید در Σ mCD در نظر گرفته شود.			

جدول (۳-۲۷) محاسبه درصد تلفات سیستم توزیع بخار به‌واسطه بخار فلش در سیستم بازگشت کندانس

عنوان	اختصار	فرمول محاسباتی	واحد
مقدار کندانس بازیابی شده قبل از فلاشینگ	Σ mCF	mS ×درصد کندانس بازیابی شده	kg/hour
درصد اتلاف انرژی به‌واسطه بخار فلش	L_F	= 10 x $\Sigma_{mCF/mS}$	%
درصد اتلاف انرژی به‌واسطه بخار فلش	L_F	یا = 0.7× Σ_{mCF} × ساعات عملکرد سالانه/((F) ×η)	%

جدول(۳-۲۸) محاسبه درصد تلفات سیستم توزیع بخار از لوله سیستم بازگشت کندانس

عنوان	اختصار	فرمول محاسباتی	واحد
مقدار کندانس بازیابی شده بعد از فلاشینگ	Σ_{mCP}	$= 0.9 \times \Sigma m_{CF}$	kg/hour
دمای کندانس وارد شده به اتاق بویلر	t_C		°C
درصد اتلاف انرژی از لوله بازگشت کندانس	L_{CP}	$= 0.17 \times \Sigma_{mCP} \times (100 - tC)/ ms$ ساعات عملکرد یا $= (100-t_C) \times \Sigma_{mCP} \times (86 \times (F) \times \eta)$/ سالانه	%

جدول(۳-۲۹) محاسبه درصد نهایی تلفات سیستم توزیع بخار

عنوان	اختصار	فرمول محاسباتی	واحد
درصد تلفات توزیع بخار نهایی	L_D	$= L_{SP} + L_L + L_C + L_F + L_{CP}$	%

جدول (۳-۳۰) محاسبه هزینه استاندارد شده تلفات توزیع بخار

عنوان	اختصار	فرمول محاسباتی	واحد
مصرف سوخت سالانه	(A)		
هزینه واحد سوخت (واقعی)	(B)		Rs/litre
هزینه سوخت سالانه	(C)	= (A) × (B)	Rs
میزان بخار تولید شده در سال	(D)		tonnes
هزینه هر تن بخار	(E)	= (C) ÷ (D) ÷ 6.78	Rs/kWh
تلفات توزیع بخار نهایی	L_D		%
هزینه کلی انرژی تدارک دیده شده به‌وسیله بخار در نقطه مصرف	(F)	$= (E) \times 100 \div (100 - L_D)$	Rs/kWh

هزینه انرژی توزیع بخار	(G)	= (F) – (E)	Rs/kWh
هزینه توزیع در هزینه سوخت واحد (ریال به یک کیلووات ساعت)	(H)	= (G) × ضریب از جداول مرجع	Rs/kWh
هزینه استاندارد شده کلی انرژی بخار در نقطه مصرف	(J)	= (F) × ضریب از جداول مرجع	Rs/kWh
متوسط کارایی حرارتی کل		= (قیمت واحد سوخت (ریال/کیلووات ساعت)) ÷ (J) x 100	%

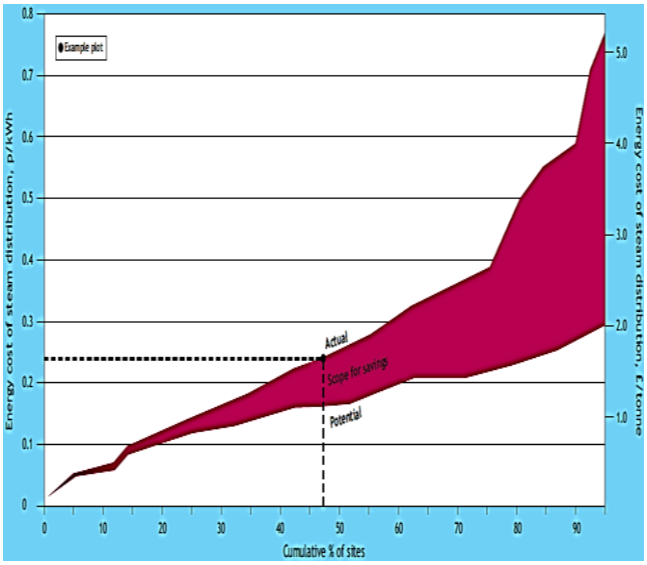
جدول (۳-۳۱) GCV سوخت (به‌طورنمونه)

Fuel	c.v. in BTU	c.v. in MJ	c.v. in kWh
Natural gas	1,040Btu/ft³	38.75MJ/m³	10.76kWh/m³
HFO (specific gravity 0.98)	18,400Btu/lb	42.80MJ/kg	11.65kWh/litre
Gas oil (specific gravity 0.84)	19,500Btu/lb	45.36MJ/kg	10.58kWh/litre
Coal (as fired)	12,000Btu/lb	27.91MJ/kg	7,753kWh/tonne

جدول ۳-۳۲ فاکتورهای هزینه سوخت

Fuel	Multiplying factor to give steam costs with fuel at 1.0p/kWh*
Natural gas	29.31 ÷ your cost of fuel in pence/therm OR 1.00 ÷ your cost of fuel in pence/kWh
Heavy fuel oil (HFO)	11.65 ÷ actual cost in pence/litre
Gas oil	10.53 ÷ actual cost in pence/litre
Coal	77.53 ÷ actual cost in £/tonne

Note: *Cost data from the surveyed sites (Figure 3) have been standardised to a fixed fuel price of 1.0p/kWh.



شکل (۳-۳۶) نمونه‌ای از نمودار هزینه انرژی سیستم توزیع بخار

۳-۴-۴ شرح عملیات تحلیل شبکه توزیع بخار و آب گرم

شبکه توزیع بخار و آب گرم با شناسایی فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی در این شبکه و تکمیل پرسش‌نامه مربوطه تحلیل می‌شود. فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی در شبکه بخار از دیدگاه نگهداری و تعمیرات، استفاده از تجهیزات و کنترل بهینه و بررسی عملکرد بررسی می‌شوند.

الف- فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی در نگهداری و تعمیرات شبکه بخار

۱- برنامه‌ریزی و اجرای منظم جهت شناسایی و کاهش یا حذف نشتی‌ها

۲- تهیه لیست نشتی‌های قابل رفع در زمان اورهال

۳- حذف و کاهش نشتی در خطوط بخار شرکت

۴- حذف و کاهش نشتی در سیستم ردیابی شرکت

۵- حذف و کاهش نشتی در سیستم کندانس شرکت

۶- کاهش دورریز آب گرم در درین

۷- برنامه‌ریزی و اجرای منظم تست سلامت تله‌های بخار

۸- عدم وجود هوا در تجهیزات مصرف‌کننده بخار

۹- تدوین شناسنامه تله بخارهای شبکه بخار

ب- فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی با استفاده از تجهیزات و کنترل بهینه در شبکه بخار

۱- استفاده از تله‌های بخار پربازده و هایتک

۲- استفاده از توربین‌های back pressure (جهت کاهش فشار بخار)

۳- استفاده از روش‌های پربازده دی‌سوپرهیتینگ

۴- پیش‌گرمایش آب تغذیه بویلر

۵- بازیافت بخار خروجی از تجهیزات

۶- استفاده از بخار تلفاتی جهت گرمایش آب

۷- استفاده از چیلر جذبی جهت‌کندانس بخار قبل از ورود به بویلر

۸- استفاده از پمپ الکتریکی به جای اجکتور بخار

ج- فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی در بررسی عملکرد شبکه بخار

۱- کنترل مناسب دمای فرآیند

۲- کنترل مناسب فشار بخار در فرآیند (پایین‌ترین میزان قابل قبول)

۳- بازیافت یا استفاده کندانس در فرآیند

۴- نرخ بهینه بازیافت آب بلودان

جدول (۳- ۳۳) پرسش‌نامه مدیریت انرژی در شبکه بخار

	فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی	بلی	خیر	توضیحات
نت مؤثر	عدم وجود برنامه منظم جهت شناسایی و کاهش یا حذف نشتی‌ها			
	عدم تهیه لیست نشتی‌های قابل رفع در زمان اورهال			
	وجود نشتی در خطوط بخار شرکت			
	وجود نشتی در سیستم ردیابی شرکت			
	وجود نشتی در سیستم کندانس شرکت			
	دور ریز زیاد آب گرم در درین			
	عدم وجود برنامه منظم تست سلامت تله‌های بخار			
	وجود هوا در تجهیزات مصرف‌کننده بخار			
	عدم وجود شناسنامه تله‌های بخار شبکه بخار			
استفاده از کنترل/تجهیزات بهینه	عدم استفاده از تله‌های بخار هایتک			
	عدم استفاده از توربین‌های back pressure			
	عدم استفاده از روش‌های پربازده دی‌سوپرهیتینگ			
	عدم پیش‌گرمایش آب تغذیه بویلر			
	عدم بازیافت بخار اتلاف شده از تجهیزات			
	عدم استفاده از بخار تلفاتی جهت گرمایش آب			
	عدم استفاده از چیلر جذبی جهت‌کندانس بخار قبل از ورود به بویلر			
	عدم استفاده از پمپ الکتریکی به جای اجکتور بخار			
بررسی عملکرد	عدم کنترل مناسب دمای فرآیند			
	عدم کنترل مناسب فشار بخار در فرآیند			
	عدم بازیافت یا استفاده کندانس در فرآیند			
	عدم بهینه بودن نرخ بازیافت آب بلودان			

۳-۵ دستورالعمل نحوه تحلیل شبکه هوای فشرده

۳-۵-۱ هدف و دامنه کاربرد دستورالعمل نحوه تحلیل شبکه هوای فشرده

هدف از تدوین این دستورالعمل، آشنایی ممیزان انرژی با نحوه تحلیل شبکه هوای فشرده و دامنه کاربرد این دستورالعمل با توجه به معیارهای ممیزی انرژی (هدف کلان، نوع و سطح ممیزی، روش و استاندارد ممیزی، نحوه و میزان مشارکت کارکنان، محدوده و مدت زمان اجرای ممیزی و الزامات گزارش ممیزی)، شبکه هوای فشرده موجود در یک فرآیند صنعتی یا واحد عملیاتی یا شرکت تولیدی است.

۳-۵-۲ مسئولیت تحلیل شبکه هوای فشرده

مسئولیت تحلیل شبکه هوای فشرده با تیم ممیزان انرژی شرکت تولیدی (درجه دو و سه / مقیم یا غیر مقیم) است. پیشنهاد می‌شود این تیم، حداقل متشکل از کارشناسان جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها و اطلاعات اولیه، اندازه‌گیری و تحلیل متغیرها و شاخص‌های عملکرد انرژی و ارائه راهکارهای عملی صرفه‌جویی انرژی شبکه هوای فشرده باشد.

۳-۵-۳ واژگان دستورالعمل نحوه تحلیل شبکه هوای فشرده

شبکه هوای فشرده: شبکه هوای فشرده یکی از سرویس‌های یوتیلیتی یک مجتمع صنعتی است که شامل هوای ابزار دقیق و هوای مصرفی[1] می‌باشد. در این سیستم، هوای محیط توسط کمپرسور فشرده و در شبکه دمیده می‌شود. از این هوا مستقیماً جهت مصارف مجتمع مانند تمیزکاری یا به عنوان محرک[2] در تجهیزات مکانیکی و...

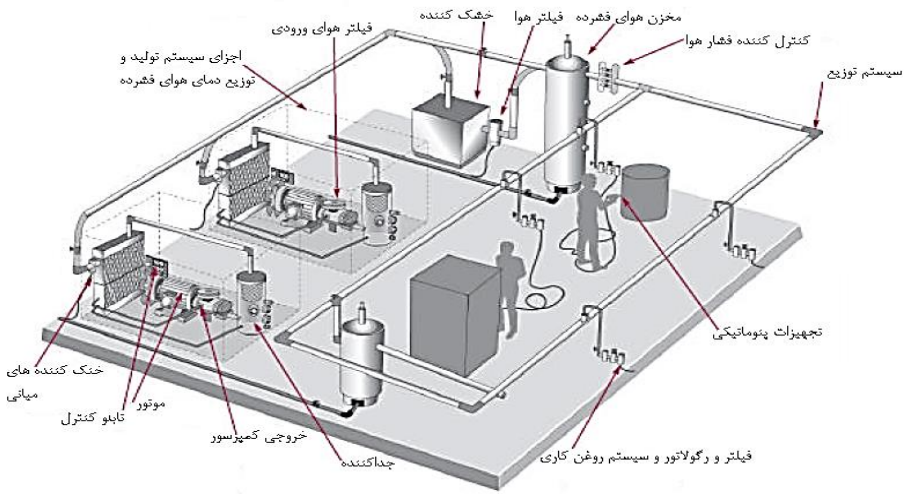
1- Plant Air
2- Driver

استفاده می‌شود. همچنین جهت تولید هوای ابزار دقیق، هوا داخل خشک‌کن‌هایی[1] می‌شود که از آلومیناژل پر شده‌اند و باعث جذب رطوبت هوا شده و این هوا بر روی تجهیزات ابزار دقیقی مانند شیرهای کنترل فرستاده می‌شود. یک سیستم هوای فشرده شامل بخش‌های تولید، تهیه و تقاضا است. بخش تولید و تهیه شامل کمپرسور و تصفیه‌کننده هوا بوده و بخش تقاضا شامل قسمت‌های پخش، ذخیره و تجهیزات مصرف‌کننده نهایی است. در بسیاری از کاربردهای صنعتی، کمپرسورهای هوا بیش از تمامی تجهیزات دیگر انرژی الکتریکی مصرف می‌کنند. بنابراین، بهینه نبودن عملکرد سیستم هوای فشرده می‌تواند بسیار پر اهمیت باشد. صرفه‌جویی در مصرف انرژی به وسیله بهبود سیستمی می‌تواند به کاهش ۵۰ درصدی مصرف انرژی الکتریکی بینجامد. سیستم هوای فشرده‌ای که به شکل مناسبی مدیریت شود، می‌تواند باعث کاهش مصرف انرژی، کاهش تعمیرات و تعطیلی سیستم، افزایش تولید و بهبود کیفیت محصول شود.

کاربرد هوای فشرده: از میان انواع حامل‌های انرژی بعد از آب و برق، هوای فشرده بیشترین موارد استفاده را در واحدهای صنعتی داراست. موارد عمده استفاده از هوای فشرده در واحدهای صنعتی عبارتند از:

- سیستم‌های کنترل مانند کنترل‌کننده‌های ترمواستاتیکی
- باز و بسته‌کردن شیرها و دمپرها
- ابزارهای بادی (دورانی و ضربه‌ای)
- انتقال مواد (عمدتاً مواد پودری وگرانول‌های سبک)
- ابزار و تجهیزات دقیق مانند تجهیزات اسپری‌کردن رنگ و پوشش‌دهی پودر
- تجهیزات فرایندی مانند قالب‌گیری شیشه مظروف

1- Dryer



شکل (۳-۳۷) نمایی از یک سیستم هوای فشرده

مزیت‌های هوای فشرده: دلایل استفاده از هوای فشرده به عنوان یکی از رایج‌ترین حامل‌های انرژی در صنعت به شرح زیر است:

- قابلیت تراکم‌پذیری بسیار زیاد هوا
- امکان ذخیره‌سازی هوای فشرده
- سادگی تولید، کنترل و توزیع هوای فشرده
- خنثی بودن هوا نسبت به بسیاری از سیستم‌ها و فرآیندهای صنعتی
- فراوانی و قابلیت دسترسی هوای مورد نیاز در سیستم هوای فشرده
- امکان استفاده تلفیقی از هوای فشرده به عنوان هوای مصرفی فرآیند محرکه ابزارهای بادی و سیستم‌های کنترلی

اجزای سیستم هوای فشرده

اجزای یک سیستم هوای فشرده عبارتند از:

- سیستم تولید و توزیع هوای فشرده (مخزن،کمپرسور، لوله‌های انتقال)
- فیلتر هوای ورودی

- خشک‌کن
- فیلتر هوا
- کنترلر فشار هوا
- سیستم روغن‌کاری
- جداکننده
- الکتروموتور
- خنک‌کننده‌های میانی

۳-۵-۴ شرح عملیات تحلیل شبکه هوای فشرده

شبکه هوای فشرده با شناسایی فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی در این شبکه و تکمیل پرسش‌نامه مربوطه تحلیل می‌شود.

الف- فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی در نگهداری و تعمیرات شبکه هوای فشرده

۱- وجود برنامه‌ریزی و اجرای منظم شناسایی و رفع نشتی‌ها

نکته: برخلاف بعضی از ذهنیت‌ها، هوای فشرده حامل انرژی گران قیمتی است. در عین حال عدم کارکرد بهینه سیستم‌های هوای فشرده بسیار رایج است. برای نمونه تنها یک برنامه ساده بازدید و اولویت‌بندی برای برطرف کردن نشتی‌ها می‌تواند تا ۳۰٪ در مصرف انرژی سیستم هوای فشرده صرفه‌جویی ایجاد کند.

۲- عدم وجود کندانس و رطوبت در نقاط مشخص و انتهایی

نکته: هوای شبکه شامل مقداری رطوبت است که در نقاط انتهایی شبکه جمع می‌شود. در صورت عدم تخلیه آب جمع شده در انتهای خط، احتمال همراهی آب با هوا در شبکه وجود دارد که باعث اختلال در سیستم می‌شود. ضمناً در مناطق سردسیر، احتمال یخ زدن آب جمع شده وجود دارد که باعث ترکیدگی لوله می‌شود.

۳- تنظیم نقاط مصرف عملیاتی در حداقل فشار مقبول

۴- بسته بودن مسیر تغذیه هوا به دستگاه‌های خارج از سرویس

۵- ایزوله بودن مصرف‌کننده‌های فشار بالا

۶- کاهش فشار خروجی تا حد امکان

نکته: گاهی مصرف‌کنندگان هوا نیاز به فشار بالای هوا ندارند. در این صورت با کاهش فشار خروجی کمپرسورها می‌توان به میزان قابل توجهی در مصرف انرژی صرفه-جویی کرد.

۷- تحویل هوای مورد نیاز به ورودی واحدهای تولیدی

۸- آموزش پرسنل در زمینه نت با رویکرد مدیریت انرژی سیستم

۹- وجود برنامه‌ریزی و اجرای منظم شناسایی و خارج نمودن کندانس از شبکه

۱۰- وجود برنامه‌ریزی و اجرای منظم و اتوماتیک جهت احیای خشک‌کن‌های هوای ابزار دقیق

۱۱- تهیه لیست نشتی‌های قابل رفع در زمان اورهال

۱۲- عملکرد مناسب سیستم تخلیه آب مخزن هوا

نکته: معمولاً مخزن هوا[1] دارای سیستم اتوماتیک تخلیه کندانس می‌باشد. بازرسی و کالیبراسیون این تجهیزات جهت عملکرد مناسب بسیار حائز اهمیت است.

۱۳- استفاده مناسب از هوای ابزار دقیق

۱۴- استفاده مناسب از هوای P.A

ب- فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی در استفاده از تجهیزات و کنترل بهینه شبکه هوای فشرده

۱- پایش افت فشار در لوله‌ها

1- Air Receiver

۲- استفاده از موتورهای پربازده به جای استاندارد

۳- استفاده از فناوری نوین خشک‌کن با فشار نقطه شبنم بالاتر

۴- پایش مناسب نقطه شبنم هوای ابزار دقیق

۵- استفاده از پمپ الکتریکی به جای اجکتور هوا

نکته: با توجه به اینکه تولید هوای فشرده مستلزم صرف هزینه زیاد می‌باشد، بهتر است به جای استفاده از هوا به عنوان درایور یک اجکتور تخلیه کندانس یا آب، از یک موتور الکتریکی استفاده کرد.

ج- فرصت صرفه‌جویی انرژی با طراحی و خرید مناسب

تناسب اندازه مخزن ذخیره هوا در مصارف زیاد

د- فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی در بررسی عملکرد شبکه هوای فشرده

۱- کارآیی مناسب سیستم تولید هوای ابزار دقیق

۲- بهینه بودن نقطه شبنم هوای ابزار دقیق

جدول (۳-۳۴) پرسش‌نامه مدیریت انرژی شبکه هوای فشرده

پتانسیل صرفه‌جویی انرژی		بلی	خیر	توضیحات
نت مؤثر	عدم وجود برنامه‌ریزی و اجرای منظم شناسایی و رفع نشتی‌ها			
	وجود کندانس و رطوبت در نقاط مشخص و انتهایی			
	عدم تنظیم نقاط مصرف عملیاتی در حداقل فشار مقبول			
	باز بودن مسیر تغذیه هوا به دستگاه‌های خارج از سرویس			
	ایزوله نبودن مصرف‌کننده‌های فشار بالا			

	عدم کاهش فشار خروجی تا حد امکان			
	تحویل هوای بالاتر از حد مورد نیاز به ورودی واحدهای تولیدی			
	عدم آموزش پرسنل در زمینه نت با رویکرد مدیریت انرژی سیستم			
	عدم وجود برنامه‌ریزی و اجرای منظم شناسایی و خارج نمودن کندانس از شبکه			
	عدم وجود برنامه‌ریزی و اجرای منظم احیای خشک‌کن‌های هوای ابزار دقیق			
	عدم تهیه لیست نشتی‌های قابل رفع در زمان اورهال			
	عملکرد مناسب سیستم تخلیه آب مخزن هوا			
	استفاده نامناسب از هوای ابزار دقیق			
	استفاده نامناسب از هوای P.A.			
استفاده از تجهیزات/ کنترل بهینه	عدم پایش افت فشار در لوله‌ها			
	عدم استفاده از موتورهای پربازده به جای استاندارد			
	عدم استفاده از فناوری نوین خشک‌کن با فشار نقطه شبنم بالاتر			
	عدم پایش مناسب نقطه شبنم هوای ابزار دقیق			
	استفاده از اجکتور هوا به جای پمپ الکتریکی			

طراحی/خرید	عدم تناسب اندازه مخزن ذخیره هوا در مصارف زیاد			
بررسی عملکرد	عدم کارآیی مناسب سیستم تولید هوای ابزار دقیق			
	بهینه نبودن نقطه شبنم هوای ابزار دقیق			

۳-۶ دستورالعمل نحوه تحلیل شبکه آب فرآیندی

۳-۶-۱ هدف و دامنه کاربرد دستورالعمل نحوه تحلیل شبکه آب فرآیندی

هدف از تدوین این دستورالعمل، آشنایی ممیزان انرژی با نحوه تحلیل شبکه آب فرآیندی و دامنه کاربرد این دستورالعمل با توجه به معیارهای ممیزی انرژی (هدف کلان، نوع و سطح ممیزی، روش و استاندارد ممیزی، نحوه و میزان مشارکت کارکنان، محدوده و مدت زمان اجرای ممیزی و الزامات گزارش ممیزی)، شبکه آب فرآیندی موجود در یک فرآیند صنعتی یا واحد عملیاتی یا شرکت تولیدی است.

۳-۶-۲ مسئولیت تحلیل شبکه آب فرآیندی

مسئولیت تحلیل شبکه آب فرآیندی با تیم ممیزان انرژی شرکت تولیدی (درجه دو و سه / مقیم یا غیر مقیم) است. پیشنهاد می‌شود این تیم، حداقل متشکل از کارشناسان جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها و اطلاعات اولیه، اندازه‌گیری و تحلیل متغیرها و شاخص‌های عملکرد انرژی و ارائه راهکارهای عملی صرفه‌جویی انرژی شبکه آب فرآیندی باشد.

۳-۶-۳ واژگان دستورالعمل نحوه تحلیل شبکه آب فرآیندی

برج خنک‌کننده: انواع برج‌های در بیشتر کارخانه‌های کوچک و بزرگ از جمله مهم‌ترین و اساسی‌ترین سیستم‌های انرژی‌بر، خنک‌کننده هستند. برج خنک‌کننده دستگاهی است که با ایجاد سطح وسیع تماس آب با هوا، عملیات تبخیر را آسان کرده و

باعث خنک شدن سریع آب می‌شود. عمل خنک شدن در اثر از دست دادن گرمای نهان تبخیر انجام می‌گیرد، در حالی‌که مقدار کمی آب، تبخیر می‌شود و باعث خنک شدن آن می‌شود. باید توجه داشت آب، مقداری از گرمای خود را از طریق تشعشع، هدایت و جا به جایی و بقیه را از راه تبخیر از دست می‌دهد. بیشتر دستگاه‌های خنک‌کننده از یک مدار بسته تشکیل شده‌اند که آب در این دستگاه‌ها نقش جذب، دفع و انتقال گرما را به عهده دارد. یعنی گرمای به وجود آمده توسط ماشین را جذب و سپس از دستگاه دور می‌کند. این کار باعث ادامه کار یکنواخت و پایداری دستگاه می‌شود. در دستگاه‌هایی که به دلایلی آب باید به گردش درآید یا به کار رود، لازم است به نحوی گرمای آب دفع شود. با به کار بردن برج‌های خنک‌کننده، این کار انجام می‌گیرد.

عامل خنک‌کننده (آب): در کارخانه‌های تولیدی تعداد زیادی دستگاه‌های مبدل حرارتی[1] وجود دارد که در بیشتر آن‌ها آب به دلایل زیر، عامل خنک‌کننده است.

۱- به مقدار زیاد و ارزان در دسترس است

۲- به آسانی آب را می‌توان مورد استفاده قرار داد

۳- قدرت سردکنندگی آب نسبت به اکثر مایعات (در حجم مساوی) بیشتر است

۴- انقباض و انبساط آب با تغییر درجه حرارت جزئی است

مشکلات استفاده از آب به عنوان خنک‌کننده: هر چند که آب برای انتقال گرما بسیار مناسب است، اما استفاده از آن باعث به وجود آمدن مشکلاتی نیز می‌شود. آب با سختی زیاد، باعث رسوب‌سازی در دستگاه‌ها می‌شود. همچنین از آنجایی‌که بیشتر این دستگاه‌ها از آلیاژ آهن ساخته شده‌اند، در آن‌ها مشکل خوردگی به وجود می‌آید. از طرف دیگر بیشتر برج‌های خنک‌کننده در معرض برخورد مستقیم با هوا و نور خورشید و محیط مناسبی برای رشد باکتری‌ها و میکروارگانیسم‌ها بوده و در نتیجه مشکلاتی

1- Heat Exchanger

همراه دارند. وارد شدن گرد و خاک به داخل برج نیز در بعضی مواقع ایجاد اشکال می‌نماید. در مجموع این مشکلات باعث می‌شود بازدهی سیستم برج خنک‌کننده کاهش یافته و در نتیجه از نظر اقتصادی مخارج بیشتری خواهند داشت.

اختلاف فشار بخار آب بین سطح آب و هوا باعث تبخیر می‌شود. این اختلاف بستگی به دمای آب و میزان اشباع هوا از آب دارد. مقدار گرمایی که به‌وسیله مایعی جذب یا دفع می‌شود، از رابطه زیر به دست می‌آید: $E=W\times S\times \Delta T$

که در رابطه بالا:

E: گرمای دفع یا جذب شده بر حسب BTU/hr یا cal/hr

W: دبی مایع خنک‌شونده بر حسب lb/hrS: گرمای ویژه مایع خنک‌کننده بر حسب lb.f/ Btu

ΔT: کاهش دمای مایع خنک‌شونده بر حسب f

در حالی‌که عمل خنک شدن از طریق تبخیر انجام می‌گیرد، گرمای نهان تبخیر از دست داده شده که برابر حاصل ضرب گرمای نهان تبخیر در دبی است، باید به آن اضافه شود. مقدار تبخیر به سطح برخورد آب با هوا و همچنین شدت جریان هوا بستگی دارد. برای اینکه حداکثر بهره‌برداری که در طرح آن به کار رفته است، رعایت شود، در برج‌های خنک‌کننده که آکنه‌های آن از نوع splash packing است، آب به صورت قطره در سطوح برج پخش می‌شود تا سطح وسیعی به وجود آید. البته برای این منظور می‌توان از آکنه‌های نوع film packing نیز استفاده کرد. جریان هوا در برج به صورت کشش طبیعی با استفاده از دودکش‌های[1] هذلولی شکل یا کشش مکانیکی به وسیله بادبزن‌های مناسب در جهت مخالف آب[2] یا به‌طورمتقاطع[3] با آن به جریان می‌افتد.

1- Stack
2- Counter-Flow
3- Cross-Flow

سیستم برج خنک‌کننده: در سیستم برج خنک‌کننده، آب گرم کندانسور از برج خنک‌کننده عبورکرده و با هوا تماس می‌یابد. در برج‌های خنک‌کننده با کشش طبیعی، پوسته خارجی برج از بتن مسلح ساخته شده و در روی پایه‌ها تکیه دارد. هوا از قسمت پایین وارد برج خنک‌کننده شده به طرف بالا جریان می‌یابد و سپس از دهانه بالای برج خارج می‌شود. آب گرم از کندانسور در ارتفاع ۱۰ تا ۱۵ متر بالاتر از سطح استخر به سیستم پخش‌کننده آب وارد می‌شود. در برج‌های قدیمی‌تر صفحه‌ای که آب خروجی از کندانسور به آن ریخته می‌شود، دارای سوراخ‌های منظمی در قسمت پایین است که آب از داخل این سوراخ‌ها به فنجان‌های زیرین می‌ریزد. این فنجان‌ها باعث پاشش آب و تبدیل آن‌ها به قطرات کوچک می‌شوند. یک سیستم جدید برای پخش آب در برج خنک‌کننده، به کار بردن لوله‌هایی است که در سطح بالای آن شیپوره‌هایی برای پاشش آب تعبیه شده است.

تبادل حرارت بین هوای بالارونده از برج و آبی که از برج سرازیر است، با تغییر حرارت محسوس در اثر اختلاف درجه حرارت بین آب و هوا انجام می‌شود. سهم این قسمت از تبادل حرارتی خیلی کم است و قسمت عمده تبادل در اثر تبخیر مقدار کمی آب که پیوسته همراه هوا است، انجام می‌شود. در اثر این عمل، مقدار زیادی گرما از آب سرازیر شده در برج خنک‌کننده (بستگی به مقدار آبی که تبخیر شده است) به هوا منتقل می‌شود. در ضمن مقداری از قطرات آب به وسیله هوا و باد به خارج از برج، پراکنده می‌شود. برای جلوگیری از خروج قطرات آب، یک شبکه چوب در اطراف برج و حدود ۳ متر بالاتر از توده تخته‌ها قرار دارد. کمبود آب تبخیر شده در سیستم برج خنک‌کننده باید از منبع خارجی جبران شود که به آن آب تکمیلی یا آب جبرانی می‌گویند. برای این منظور در صورت امکان باید از آب رودخانه و یا اینکه فاضلاب‌ها را تا حد امکان تصفیه و استفاده نمود. هنگامی‌که از نظر فضای ساختمان در برج

خنک‌کننده محدودیتی وجود داشته باشد، ظرفیت برج خن‌کننـده را تـا حـد امکـان بـا استفاده از بادبزن‌های مخصوص و بزرگی اضافه می‌کنند. این بادبزن‌ها مقدار عبور هـوای خنک‌کننده در داخل برج را زیاد می‌کند.

معیار طراحی برج خنک‌کننده: عوامـل مـؤثر در طراحـی بـرج‌هـای خنـک‌کننـده را به‌طورخلاصه می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

۱- میزان افت درجه حرارت (اختلاف دمای ورودی و خروجی برج)

۲- اختلاف بین درجه حرارت آب سرد و درجه حرارت مرطوب هوا

۳- دمای مرطوب محیط: اصولاً خنک کردن آب زیر این دما غیر ممکن است

۴- شدت جریان آب

۵- شدت جریان هوا

۶- نوع آکنه‌های برج

۷- روش پخش آب

تجربه ثابت کرده که برای هر ۱۰ درجه فارنهایت افت دما در برج خنک‌کننده میزان تبخیر در حدود یک درصد کل آب در حال گردش است.

چون نمک‌های کلرور حلالیت زیادی دارند، غلظت یون کلر در آب ورودی بـه بـرج و آب در حال گردش، راهنمای بسیار خوبی برای تعیین غلظـت بـوده و بنـابراین همیشـه باید آنرا بازدید و بررسی نمود.

افزایش غلظت مواد محلول و مواد معلق در آب در حال گردش در برج خنـک‌کننـده ایجاد اشکال می‌نماید. برای جلـوگیری از افـزایش غلظـت مـواد محلـول و مـواد معلـق مقداری از آب در حال گردش را تخلیه می‌کنند کـه ایـن آب در صـنعت، بـه زیـر آب و بلودان معروف است.

مقدار آب برج همچنین ممکن است تصادفی یا به وسیله بـاد تقلیـل یابـد. اصـولاً در

برج‌های خنک‌کننده مقداری آب به صورت گرد درآمده و توسط باد یا کشش، از برج خارج می‌شود .

مقدار تخلیه لازم در برج برای کنترل مواد محلول و معلق مجاز را می‌توان از رابطه زیر به دست آورد:

$$M=(E+B+W)*C$$

که در رابطه فوق

B: مقدار زیر آب بر حسب gal/hr یا m^3/hr

E: مقدار آب تبخیر شده بر حسبgal/hr یا m^3/hr

C: ضریب غلظت پیشنهاد شده برای برج

W: مقدار آبی که توسط باد خارج می‌شود بر حسب gal/hr یا m^3/hr

در رابطه بالا مقدار آبی که باد، همراه خود از برج خارج می‌سازد منفی است، زیرا آب مواد محلول و معلق را نیز با خود می‌برد. بنابراین تأثیری در غلظت و بالا بردن املاح آب ندارد.

مقدار آب لازم جهت آب کسری برج از رابطه زیر به دست آورد:

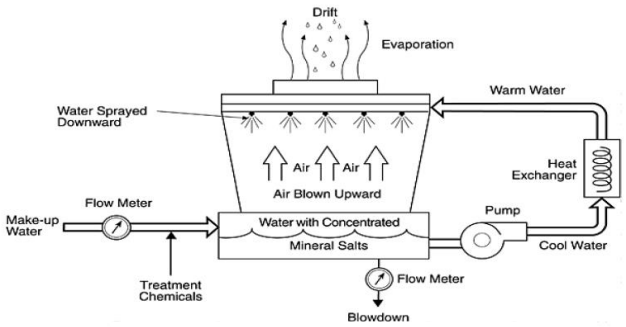
$$MAKE\ UP = E + B + W$$

اطلاعاتی مانند اختلاف دما، مقدار آب در حال گردش و مقدار زیر آب که از طرف خریداران در اختیار فروشندگان قرار می‌گیرد، در طراحی برج اهمیت فراوانی دارد. کمبود آب در اثر تبخیر و باد را با استفاده از رابطه‌های بالا بررسی می‌کنند.

اجزای سیستم آب فرآیندی: اجزای یک سیستم آب فرآیندی عبارتند از:

- سیستم تولید و انتقال آب به برج‌های خنک‌کننده (چاه، پمپ، لوله‌های انتقال)
- حوضچه‌ی آب
- پمپ
- فن

- پرکن‌های[1] برج خنک‌کننده
- سیستم توزیع آب در برج خنک‌کننده
- سیستم تزریق کلر و مواد شیمیایی
- فیلتر شنی
- لوله‌های انتقال



شکل (۳- ۳۸) اجزای اصلی یک برج خنک‌کننده

۳-۶-۴ شرح عملیات تحلیل شبکه آب فرآیندی

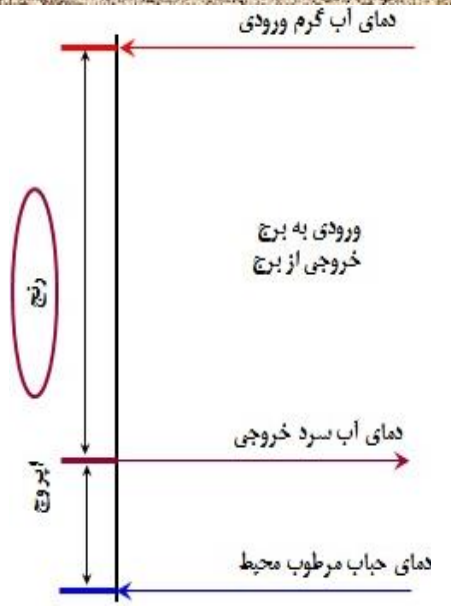
شبکه آب فرآیندی با تعریف، محاسبه و تحلیل شاخص‌های عملکرد انرژی در برج خنک‌کننده و شناسایی فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی در این شبکه و تکمیل پرسش‌نامه مربوطه تحلیل می‌شود.

متغیرهای اندازه‌گیری جهت محاسبه شاخص‌های عملکرد انرژی در برج خنک‌کننده. عبارتند از:

- دمای حباب مرطوب هوا و دمای حباب خشک هوا، دماهای آب ورودی و آب خروجی از برج خنک‌کننده

1- Filling

- دمای هوای خروجی
- متغیرهای الکتریکی موتورهای پمپ و فن
- دبی آب، دبی هوا



شکل (۳-۳۹) نمایی از یک برج خنک‌کننده

شاخص‌های عملکرد انرژی برج خنک‌کننده عبارتند از:

شاخص RNG[1]: این شاخص در اصطلاح محدوده نامیده شده و بیانگر تفاوت بین دمای آب خنک‌کننده ورودی و خروجی می‌باشد. بدیهی است هر چه اختلاف بیشتر باشد، عملکرد برج خنک‌کننده بهتر است.

Range (°C) =TCW inlet –TCW outlet

نحوه برداشت، محاسبه شاخص: دمای آب خنک‌کننده ورودی و خروجی با دماسنج‌هایی که روی مسیر ورودی و خروجی قرار دارد محاسبه و یا از طریق سیستم کنترل برداشت می‌شود. برای حالت طراحی نیز از دیتاشیت برج خنک‌کننده به دست می‌آید.

شاخص APR[2]: این شاخص در اصطلاح اپروچ نامیده شده و بیانگر تفاوت بین دمای آب سرد خروجی و دمای حباب مرطوب محیط است. بدیهی است هر چه اختلاف کمتر باشد، عملکرد برج خنک‌کننده بهتر است.

$$\text{Approach (°C)} = T_{\text{CW outlet}} - T_{\text{Wet bulb}}$$

نحوه برداشت و محاسبه شاخص: دمای آب سرد خروجی از دماسنجی که روی مسیر خروجی قرار دارد و یا سیستم کنترل، برداشت می‌شود و دمای حباب محیط نیز از نمودارهای هوای اشباع در دمای محیط به دست می‌آید.

شاخص EFC[3]: این شاخص کارایی (راندمان) نامیده شده و بیانگر میزان نسبت محدوده به مجموع محدوده و اپروچ می‌باشد. شاخص مذکور بر اساس درصد بیان می‌شود. بدیهی است هر چه این عدد بالاتر باشد، عملکرد برج خنک‌کننده بهتر است.

$$\text{Effectiveness}(\%) = \text{Range} / (\text{Range} + \text{Approach}) = 100 \times (T_{\text{CWinlet}} - T_{\text{CWoutlet}}) / (T_{\text{CWinlet}} - T_{\text{Wet bulb}})$$

1- Range
2- Approach
3- Effectiveness

نحـوه برداشـت و محاسـبه شـاخص: دمـای آب خنـک‌کننـده ورودی و خروجـی از دماسنج‌های روی مسیر ورودی و خروجی و یا از سیسـتم کنتـرل و دمـای حبـاب روی نمودارهای هوا در دمای مورد نظر به‌دست می‌آید.

شاخص CCP[1]: این شاخص ظرفیت خنک‌کنندگی نامیده شده و بیانگر میزان گرمای دفع شده یا تن تبرید می‌باشد. بدیهی است هر چه این عدد بـالاتر باشـد، عملکـرد بـرج خنک‌کننده بهتر است.

اختلاف دما×گرمای ویژه×دبی جرمی آب =(TR)یا تن تبرید Heat rejected (kCal/hr)

نحوه برداشت و محاسبه شاخص: دبی جرمی آب از روی فلومترهای مسیر ورودی یـا خروجی (در صورت وجود) و یا سیسـتم کنتـرل و گرمـای ویـژه از جـداول، نمودارهـا و دمای آب ورودی و خروجی از دماسنج‌های روی مسیر و یـا سیسـتم کنتـرل بـه دسـت می‌آید.

شاخص EVL[2]: این شاخص بیانگر میزان آب تبخیـر شـده از کـل ظرفیـت سیسـتم کولینگ (m3/hr) بوده که از منظر تئوری، ۱/۸ مترمکعب در هر ۱۰ میلیون کیلوکـالری دمای دفع شده است.

$$\text{Water quantity evaporated}_{\text{for cooling duty}} = 0.00085 \times 1.8 \times \text{circulation rate } (m^3/hr) \times (T_1 - T_2)$$

T_1-T_2= اختلاف دمای آب ورودی و خروجی

نحوه برداشت و محاسبه شاخص: دبی جرمی آب از روی فلومترهای مسیر ورودی یـا خروجـی (در صـورت وجـود) و یـا سیسـتم کنتـرل و دمـای آب ورودی و خروجـی از دماسنج‌های روی مسیر و یا سیستم کنترل به دست می‌آید.

شاخص COC[3]: این شاخص بیانگر نسبت ذرات معلق حل نشـده در آب گردشـی بـه ذرات معلق حل نشده در آب جبرانی است.

1- Cooling Capacity
2- Evaporation Loss
3- Cycles of Concentration

نحوه برداشت و محاسبه شاخص: میزان ذرات معلق در آب گردشی و آب جبرانی از طریق آنالایزر آنلاین (در صورت وجود) یا از طریق نمونه‌گیری و آزمایشگاه به دست می‌آید.

شاخص BDL[1]:

تلفات بلودان = تلفات تبخیر / (C.O.C – 1)

نحوه برداشت و محاسبه شاخص: تلفات تبخیر و مقادیر مورد نیاز جهت محاسبه آن، مطابق آنچه در شاخص EVL گفته شد و C.O.C نیز مطابق آنچه در شاخص C.O.C گفته شد، به‌دست می‌آیند.

شاخص LGR[2]: این شاخص بیانگر نسبت دبی جرمی آب به هوا است، از آنجا که میزان گرمای از دست رفته از آب، معادل گرمای جذب شده توسط محیط اطراف می‌باشد، لذا خواهیم داشت:

$$L(T_1 - T_2) = G(h_2 - h_1)$$
$$L/G = (h_2 - h_1) / (T_1 - T_2)$$

T_1 =دمای آب گرم(^oC)

T_2 =دمای آب سرد(^oC)

h_1 = آنتالپی مخلوط بخار آب و هوا در دمای حباب مرطوب ورودی

h_2 = آنتالپی دمای حباب مرطوب خروجی

نحوه برداشت و محاسبه شاخص: دمای آب ورودی و خروجی از طریق دماسنج‌های موجود در مسیر و یا سیستم کنترل و انتالپی مخلوط بخار آب و هوا از طریق جداول مربوطه به دست می‌آید.

پس از محاسبه و تحلیل شاخص‌های عملکرد انرژی در شبکه آب فرآیندی (برج

1- Blow Down Losses
2- Liquid / Gas Ratio

خنک‌کننده)، نوبت به شناسایی منابع بالقوه تلفات انرژی یا همان فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی می‌رسد. این منابع در چهار بخش نگهداری و تعمیرات، استفاده از تجهیزات، کنترل بهینه، طراحی، خرید مناسب و بررسی عملکرد موجود هستند.

الف- فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی در نگهداری و تعمیرات برج خنک‌کننده

۱- تدوین راهبرد مشخص نگهداری مناسب بر اساس طول عمر کولینگ (پمپ، فن، فیلینگ‌ها)

۲- جایگزینی تجهیزات فرسوده (کارکرد مفید ۱۰ سال به بالا) سیستم کولینگ با نوع پربازده (پمپ، فن، فیلینگ‌ها)

۳- زاویه مناسب پره‌های فن برج خنک‌کننده متناسب با فصل یا بار

۴- اصلاح زائده و ناصافی در نوک پره‌های فن‌ها (در صورت وجود)

۵- اصلاح خوردگی و شکستگی در پره‌های فن‌ها (در صورت وجود)

۶- برنامه‌ریزی و اجرای منظم روغن‌کاری و گریس‌کاری تجهیزات سیستم کولینگ (بازدید سیستم روان‌کاری)

۷- وضعیت عایق‌کاری مناسب مسیر ورودی و خروجی برج (Supply return)

۸- اجرای برنامه تحلیل[1] لرزش و صدای موتور و سایر قطعات مکانیکی تجهیزات

۹- موقعیت درست (بالانس مناسب) فن

۱۰- برنامه منظم و مناسب جلوگیری از رشد جلبک‌های حوضچه

۱۱- جانمایی مناسب کولینگ (گردش مناسب هوا)

۱۲- یکنواختی آب برگشتی روی فیلینگ‌ها

۱۳- اجرای برنامه منظم تمیزکاری نازل‌های برج خنک‌کننده (رفع گرفتگی و رسوب رایزرها)

1- Analysis

۱۴- اجرای برنامه کامل و جامع اصلاح کیفیت آب

۱۵- پایش منظم مواد شیمیایی اضافه شونده به آب

۱۶- وضعیت ظاهری مناسب برج خنک‌کننده (رفع وجود جلبک، گرفتگی مسیر ورودی هوا، شکستگی و خوردگی فیلینگ‌ها و...)

ب- فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی با استفاده از تجهیزات و کنترل بهینه.

۱- ثبت مقادیر آب بلودان و جبرانی[1]

۲- پایش مناسب ضریب مایع به گاز برج خنک‌کننده، نرخ جریان کولینگ متناسب با فصول

۳- پایش مناسب شاخص اپروچ، ضریب تأثیر و ظرفیت کولینگ با توجه به تغییرات فصول و بار

۴- اندازه‌گیری متغیرهای بهبود C.O.C جهت صرفه‌جویی در مصرف آب

۵- استفاده از پره‌های همگون F.R.P جهت صرفه‌جویی انرژی در فن

۶- استفاده از تجهیزات پربازده در سیستم کولینگ مانند پمپ و فن و...

۷- استفاده از کنترل دور در فن‌های برج خنک‌کننده براساس دمای خروجی آب

۸- اندازه‌گیری روتین کیفیت آب کولینگ شامل یون‌های سیلیس، کلسیم و ...

۹- استفاده از نازل‌های تکنولوژی جدید (مانند square spray ABS nozzle)

۱۰-وجود آنالایزر کیفیت آب در ورودی و خروجی آب

ج- فرصت صرفه‌جویی انرژی با طراحی و خرید مناسب

تناسب ظرفیت کولینگ

د- فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی در بررسی عملکرد

۱- شاخص عملکرد مناسب: محدوده و اپروچ (متناسب با فصل و بار)

1- Make up

۲- شاخص عملکرد مناسب: ظرفیت کولینگ (متناسب با فصل و بار)

۳- شاخص عملکرد مناسب: تلفات تبخیر (متناسب با فصل و بار)

۴- شاخص عملکرد مناسب: سیکل غلظت (متناسب با فصل و بار)

۵- شاخص عملکرد مناسب: تلفات بلودان (با توجه به مقدار C.O.C)

۶- شاخص عملکرد مناسب: ضریب مایع به گاز (متناسب با فصل و بار)

جدول (۳- ۳۵) پرسش‌نامه مدیریت انرژی برج خنک‌کننده

پتانسیل صرفه‌جویی انرژی		بلی	خیر	توضیحات
ن: موثر	عدم وجود استراتژی مشخص نگهداری مناسب بر اساس طول عمر کولینگ			
	عمرکارکرد مفید بالای ۱۰ سال تجهیزات سیستم کولینگ			
	مناسب نبودن زاویه پره‌های فن برج خنک‌کننده متناسب با فصل یا بار			
	وجود زائده و ناصافی در نوک پره‌ها، وجود خوردگی، شکستگی در پره‌های فن			
	عدم برنامه‌ریزی و اجرای منظم روغن‌کاری وگریس‌کاری تجهیزات سیستم کولینگ			
	مناسب نبودن وضعیت عایق‌کاری مسیر ورودی و خروجی برج			
	عدم وجود برنامه تحلیل لرزش و صدای موتور و سایر قطعات مکانیکی تجهیزات			
	موقعیت نادرست (بالانس ضعیف) فن			
	برنامه نامنظم و نامناسب جلوگیری از رشد جلبک‌های حوضچه			
	جانمایی نامناسب کولینگ			

	عدم یکنواختی آب برگشتی روی فیلینگ‌ها			
	عدم برنامه تنظیم تمیزکاری نازل‌های برج خنک‌کننده			
	عدم وجود برنامه کامل و جامع اصلاح کیفیت آب			
	عدم پایش مواد شیمیایی اضافه شونده به آب			
	مناسب نبودن وضعیت ظاهری برج خنک‌کننده			
استفاده از تجهیزات/ کنترل بهینه	عدم ثبت مقادیر آب بلودان و جبرانی			
	عدم پایش ضریب مایع به گاز برج خنک‌کننده، نرخ جریان کولینگ			
	عدم پایش شاخص اپروچ، ضریب تأثیر و ظرفیت کولینگ			
	عدم اندازه‌گیری متغیرهای بهبود C.O.C			
	عدم استفاده از پره‌های همگون F.R.P			
	عدم استفاده از تجهیزات پربازده در سیستم کولینگ			
	عدم کنترل دور فن‌های برج خنک‌کننده			
	عدم اندازه‌گیری روتین کیفیت آب کولینگ			
	عدم استفاده از نازل‌های با تکنولوژی جدید			
	عدم وجود آنالایزر کیفیت آب در ورودی و خروجی آب			
طراحی/خرید	عدم تناسب ظرفیت کولینگ			
بررسی عملکرد	شاخص نامناسب محدوده و اپروچ			
	ظرفیت نامناسب کولینگ			
	شاخص نامناسب تلفات تبخیر/ تلفات بلودان			
	شاخص نامناسب سیکل غلظت			
	شاخص نامناسب ضریب مایع به گاز			

۳-۷ دستورالعمل موازنه جرم و انرژی[1] در واحدهای صنعتی

۳-۷-۱ هدف و دامنه کاربرد دستورالعمل موازنه جرم و انرژی

هدف از تدوین این دستورالعمل، آشنایی ممیزان انرژی با نحوه موازنه جرم و انرژی و دامنه کاربرد این دستورالعمل با توجه به معیارهای ممیزی انرژی (هدف کلان، نوع و سطح ممیزی، روش و استاندارد ممیزی، نحوه و میزان مشارکت کارکنان، محدوده و مدت زمان اجرای ممیزی و الزامات گزارش ممیزی)، تمامی یا بخشی از یک فرآیند صنعتی یا واحد عملیاتی یا شرکت تولیدی است.

۳-۷-۲ مسئولیت انجام موازنه جرم و انرژی

مسئولیت انجام و تحلیل موازنه جرم و انرژی با تیم ممیزان انرژی شرکت تولیدی (درجه دو و سه، مقیم یا غیر مقیم) است.

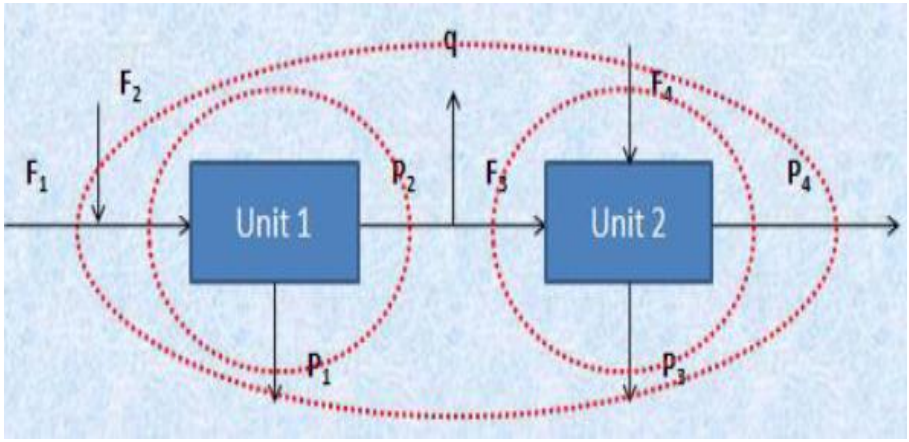
۳-۷-۳ واژگان دستورالعمل موازنه جرم و انرژی

موازنه جرم و انرژی: قانون اول ترمودینامیک را قانون پایستگی انرژی می‌نامند. برای یک سیستم پایدار که در آن مقداری جرم به سیستم وارد و مقداری از آن خارج می‌شود و تغییرات جرم متناسب با زمان نیست، با صرف‌نظر از انرژی جنبشی و پتانسیل، قانون اول به صورت $Q= W+m_eh_e - m_ih_i$ نوشته می‌شود. دانستن اصول و مبانی محاسبات مواد از ضروریات در حل مسائل ساده و پیچیده فرآیندهای مهندسی است. اساس موازنه مواد بر قانون بقای جرم که توسط لاووازیه بیان شده، استوار است. براساس این قانون برای یک سیستم پایدار، کل جرم ورودی برابر کل جرم خروجی می‌باشد.

موازنه جرم: اگر در یک فرآیند، واکنش شیمیایی انجام نشود و فقط پدیده فیزیکی

1- Energy Mass Balance (EMB)

رخ دهد، در این صورت موازنه مواد براساس جرم یا مول برقرار می‌شود. ولی در حالتی که واکنش شیمیایی رخ دهد و تعداد مول‌های هر ماده شرکت‌کننده در واکنش ثابت نباشد، موازنه مواد بر اساس تعداد مول مواد برقرار نمی‌شود، بلکه باید موازنه بر اساس جرم کل یا مول و جرم برقرار شود. اغلب فرآیندهای صنعتی از چندین واحد تشکیل شده‌اند. برای این نوع فرآیندها، عمل موازنه را می‌توان بر روی کل فرآیند یا بر روی قسمتی از آن برقرار کرد. به عنوان مثال فرآیند دو واحدی زیر را در نظر بگیرید.



شکل (۳-۴۰) موازنه جرم فرآیند دو واحدی

برای نوشتن معادلات موازنه برای فرآیند فوق، آن را به چند زیر سیستم، تقسیم کرده و عمل موازنه بر روی تک تک آن‌ها انجام می‌شود. یعنی موازنه می‌تواند پیرامون کل فرآیند، اطراف واحد ۱، اطراف واحد ۲ و یا محل‌هایی که عمل اختلاط یا انشعاب صورت می‌گیرد، انجام پذیرد. در فرآیندهای چند واحدی، انتخاب و تقسیم‌بندی زیرسیستم‌ها مهم است، به گونه‌ای که جریان‌هایی با تعداد مجهولات کمتر و محاسبات راحت‌تر انتخاب شوند. موازنه جرم، برنامه صرفه‌جویی جرم به منظور تجزیه و تحلیل سیستم‌های فیزیکی است. در هنگام محاسبه مواد ورودی و خروجی یک سیستم، موازنه جرم به منظور تخمین جریان‌های غیر قابل اندازه‌گیری استفاده می‌شود.

انواع موازنه جرم

دو نوع موازنه جرم وجود دارد: موازنه دیفرانسیل و موازنه انتگرال.

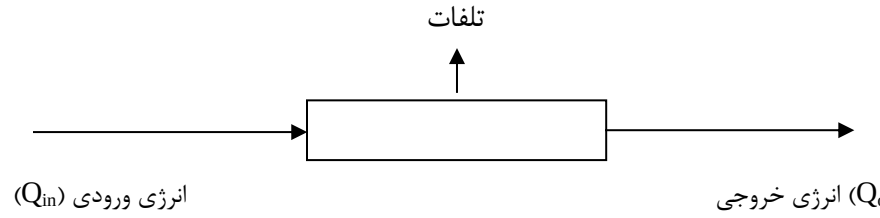
موازنه دیفرانسیل: موازنه در یک لحظه خاص زمان است که به‌طورکلی به یک فرآیند مستمر اعمال می‌شود.

موازنه انتگرال: موازنه در دو زمان خاص است که بیانگر آنچه که در دوره زمانی بین دو نقطه رخداده است، می‌باشد. موازنه انتگرال به‌طورکلی به آغاز و پایان یک بسته فرآیندی اعمال می‌شود.

موازنه انرژی: موازنه انرژی به زبان ریاضی به معنای صرفه‌جویی انرژی، محاسبه سیستماتیک جریان انرژی و انتقال آن در سیستم است. مبنای نظری موازنه انرژی، قانون اول ترمودینامیک است، طبق این قانون، انرژی نه ایجاد می‌شود و نه از بین می‌رود، بلکه شکل آن تغییر می‌کند. برخلاف موازنه جرم، یک سیستم تنها یک موازنه انرژی دارد که آن را توصیف می‌کند. از این‌رو انواع مختلف انرژی به لحاظ ریاضی قابل تبدیل هستند.

اهمیت موازنه جرم و انرژی: در بحث ممیزی انرژی و شناسایی نقاط اتلاف انرژی، بررسی جریان جرم و انرژی در واحدهای عملیاتی و فرآیندها و تجهیزات صنعتی اهمیت زیادی دارد. اولین قدم در موازنه انرژی تعیین مواد ورودی و خروجی سیستم است. بنابراین موازنه جرم در حقیقت پیش‌نیاز موازنه انرژی می‌باشد. نکته مهمی که در موازنه جرم وجود دارد، تعادل در فرآیند و سیستم است، بدین معنا که در شرایط تعادل پایدار، میزان جرم ورودی و جرم خروجی سیستم باید یکسان باشد. بالانس انرژی، یکی از مهم‌ترین مراحل شناسایی و کاهش مصرف ویژه انرژی است. اهمیت این موضوع در صنایع تولید ناپیوسته، به دلیل پیوستگی برخی از فرآیندها مانند نورد و... و همچنین مصرف زیاد انرژی می‌باشد. نمودار زیر شماتیک کلی از موازنه انرژی در یک سیستم را نشان می‌دهد.

$Q_{in} = Q_{out} + Q_{loss}$



شکل (۳- ۴۱) طرح اولیه از موازنه انرژی

موازنه انرژی، در واقع رابطه‌ای بین انرژی‌های ورودی و خروجی به یک سیستم (حجم کنترل) می‌باشد و از الزامات دیگری که در محاسبات بالانس انرژی باید مد نظر قرار گیرد، انتخاب حجم کنترل و سپس اندازه‌گیری میزان انرژی ورودی و خروجی به وسیله تجهیزات اندازه‌گیری می‌باشد.

فواید انجام موازنه جرم و انرژی: EMB، تجزیه و تحلیل جریان جرم و انرژی در یک سیستم است و اگر به خوبی طراحی شده باشد، فواید مهم زیر را خواهد داشت:

۱- EMB، میزان یوتیلیتی مورد نیاز یک بخش (به عنوان مثال بخار یا هوای فشرده) را تعیین می‌کند.

۲- نتایج EMB، باعث درک عمیق‌تر فرآیندها توسط ممیزان انرژی می‌شود.

۳- EMB، در محاسبه تحلیل اقتصادی با استفاده از تکنیک هزینه فایده به ممیز کمک می‌کند.

۴- طراحی درست EMB می‌تواند به بررسی دقیق فرآیندها توسط طیف وسیع‌تری از کارکنان منجر شده و راه‌های جدید تفکر و عملیات را تسهیل کند.

۵- EMB، برای یک سایت تولیدی، پایه اندازه‌گیری میزان صرفه‌جویی انرژی جهت سیستم‌ها، فرآیندها یا تجهیزات عمده انرژی‌بر یا مبدل انرژی است. در یک کلام، EMB که به خوبی طراحی شده باشد، در شناسایی ارزشمندترین فرصت‌های بهره‌وری انرژی کمک خواهد کرد.

از فواید مهم دیگری که از موازنه جرم و انرژی در واحد عملیاتی، فرآیند و تجهیزات به‌دست می‌آید، می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- نظارت منظم بر کارایی و عملکرد انرژی تجهیزات انرژی‌بر و مبدل انرژی
- محاسبه مقدار واقعی انرژی مصرفی در واحد عملیاتی، فرآیند و تجهیز
- تعیین اولویت برنامه‌ریزی و اجرای پروژه‌های مدیریت انرژی
- بررسی اثرات تغییر میزان مصرف انرژی ناشی از تغییر نوع واحد عملیاتی، فرآیند و تجهیز
- جمع‌آوری اطلاعات، به منظور بهبود کارآیی واحد عملیاتی، فرآیند و تجهیز و استقرار سیستم مدیریت داده‌های انرژی و در نهایت رسیدن به بهره‌وری و تولید بیشتر با مصرف انرژی کمتر

۳-۷-۴ شرح عملیات انجام موازنه جرم و انرژی

انجام EMB اولین گام حیاتی در درک مصرف انرژی است که شامل محاسبه جریان‌های جرم و انرژی برای یک سیستم می‌شود. انجام EMB یک فعالیت مستمر و تکرار شونده است. در ادامه هشت مرحله مورد نیاز برای اجرایEMB آمده است.

۱- طراحی یک نقشه برای انجام موازنه

۲- شناسایی محدوده‌هایی که باید جریان‌های ورودی و خروجی تعریف شود

۳- پیش‌نویس روند (شماتیک) نمودار جریان مواد در کارخانه

۴- شناسایی مجموعه داده‌های مورد نیاز

۵- پیاده‌سازی و اجرای راهبردهایی برای دستیابی به داده‌ها

۶- محاسبه جریان انرژی و جرم

۷- تحلیل نتایج موازنه

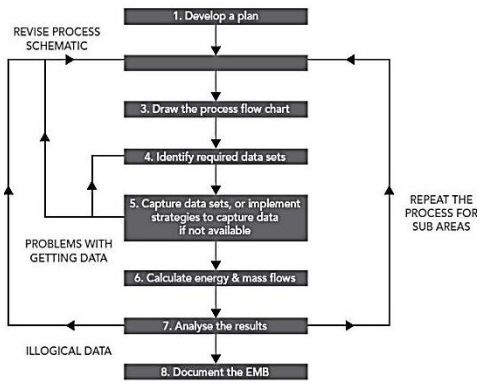
۸. مکتوب و مستندسازی موازنه

مرحله ۱– طراحی برنامه

ایجاد یک برنامه برای طراحیEMB که شامل تعیین سیستم‌های مورد تحلیل (محدوده‌ها)، چگونگی انجام کار (گردآوری داده‌ها) و شخص تکمیل‌کننده آن (ممیز انرژی) است. چندین درایور مختلف برای طراحیEMB وجود دارد که آشنایی با آن‌ها در طول مرحله برنامه‌ریزی مفید است.

- شناسایی محل تلفات انرژی به منظور کمک در شناخت فرصت‌های بالقوه بهره‌وری انرژی
- کمک به تعریف شاخص‌های عملکرد انرژی کلیدی در سطح واحد عملیاتی، فرآیند و تجهیز
- شناسایی مناطقی از فرآیند که به نظر می‌رسد نیاز به بررسی بیشتر دارد
- ایجاد مدلی از این سیستم برای مدیریت بهینه و ارزیابی آتی تغییرات و اثرات
- تعیین دقت و تکمیل داده‌ها در سراسر سایت، از طریق داده‌های مصرف انرژی در مقایسه با قبوض انرژی

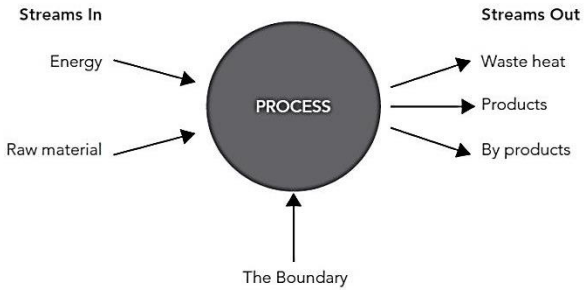
در ادامه طرح اولیه مراحل موازنه جرم و انرژی و روابط داخلی بین آن‌ها در شکل ۳-۴۲ آمده است.



شکل (۳-۴۲) طرح اولیه مراحل موازنه جرم و انرژی و روابط داخلی بین آن‌ها

مرحله ۲ – شناسایی محدوده‌های (مرزهای) سیستم مورد موازنه

این سیستم می‌تواند یک فرآیند فیزیکی، شیمیایی و یا بخشی از یک فرآیند باشد. مرز یا محدوده می‌تواند در هر نقطه‌ای تعریف شود و ممکن است با توجه به فرآیند و تجهیزات، ثابت بوده و یا کم و زیاد شود. البته جرم و انرژی در سرتاسر محدوده سیستم منتقل می‌شود. برخی نمونه‌های سیستم‌ها یا فرآیندها که به‌طورمعمول تحلیل می‌شوند عبارتند از: واکنش‌های شیمیایی، انتقال مواد مایع یا جامد، تولید و انتقال گرما، تقطیر، جذب گاز، استخراج مایع و...



شکل (۳-۴۳) تعریف محدوده برای تحلیل موازنه جرم و انرژی

طبقه‌بندی فرآیندها

۱. براساس چگونگی تغییر فرآیند باز مان

الف) فرآیند حالت پایدار که در آن هیچ‌یک از متغیرهای فرآیند با گذشت زمان تغییر نمی‌کند و در آن مقادیر تمام متغیرهای فرآیند در هر زمان ثابت است.

ب) حالت ناپایدار فرآیند (گذرا) که در آن متغیرهای فرآیند با گذشت زمان تغییر می‌کند. مقادیر متغیرهای فرآیند با گذشت زمان متغیر است.

۲. براساس چگونگی ایجاد یا عملیات فرآیند

الف) فرآیند پیوسته[1] و یکپارچه که جریان خوراک و تولید به‌طور دایم در حال

1- Continues

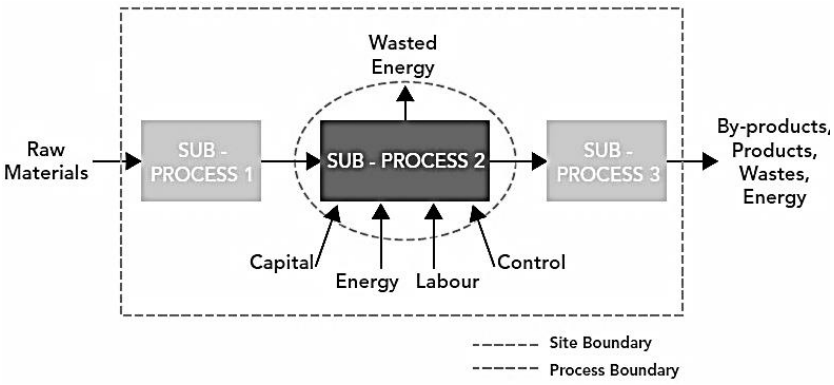
حرکت به داخل و خارج فرآیند است. به عنوان مثال فرآیندهای یک شرکت پالایش نفت یا شبکه برق.

ب) فرآیند Batch که در آن از جریان خوراک برای شروع استفاده می‌شود. سپس در مراحل مختلف، خوراک فرآوری شده و تولید نهایی در زمان‌های خاص استخراج می‌شود. در این نوع فرآیند، هیچ ماده‌ای در طول فرآیند با محیط اطراف مبادله نشده است.

ج) فرآیند پیوسته/ Batch، فرآیندی است که برخی از ویژگی‌های هر دو نوع فرآیند را داراست.

مرحله ۳ – پیش‌نویس فرآیند (شماتیک) نمودار جریان مواد در کارخانه

در این مرحله باید یک طرح اولیه یا کلی از فرآیند رسم نمود. سپس نوبت به تمامی منابع انرژی و جرم است که به محدوده مشخص شده می‌تواند وارد یا خارج شود. فرآیندها را می‌توان به‌طور کلی یا به عنوان یک سری از فرآیندهای فرعی یا واحدها مشاهده کرد. هر فرآیند یا زیر فرآیند را می‌توان جداگانه مانند شکل ۳-۴۴ نشان داد که در آن، مواد خام و انرژی وارد می‌شود و خروجی شامل محصولات مطلوب، محصولات جانبی، ضایعات و انرژی است. جریان جرمی ورودی و خروجی (از طریق محدوده، مرز فیزیکی یا مجازی) باید برابر باشد.



شکل (۳-۴۴) نمونه‌ای از ورودی و خروجی‌های جرم و انرژی یک واحد تولیدی معدنی

مرحله ۴ – شناسایی مجموعه داده‌های مورد نیاز

مرحله بعدی در انجام EMB، شناسایی داده‌های مورد نیاز تکمیل تحلیل است. برخی از پرسش‌ها برای کمک به شناسایی مجموعه داده‌های مورد نیاز عبارتند از:

- شناسایی واحد، فرآیند، تجهیز مورد موازنه و وظیفه هر یک
- نوع و میزان مواد ورودی و خروجی به واحد، فرآیند، تجهیز مورد موازنه مانند آب و جریان‌های فرآیندی به همراه واحد آن
- نوع و میزان انرژی ورودی و خروجی به واحد، فرآیند، تجهیز مورد موازنه مانند آب فرآیندی، جریان‌های فرآیندی، برق، بخار، گاز، آب گرم و سرد

جدول (۳-۳۶) داده‌های نمونه تشکیل جدول موازنه جرم و انرژی برای یک واحد تولیدی

Category		Quantifiable Parameter	Units
Mass Balance	Water	Incoming to site	m^3/y
		Discharge to sewer	m^3/y
		Water flows in each process and individual equipment	m^3/y
	Process streams	Raw material purchased	t/y
		Ingredients produced in factory	t/y
		Material flows through each processing stage	t/y
		Waste product	t/y
		Finished product	t/y
Energy Balance	Process water	Temp. before heating / cooling	°C
		Temp. after heating / cooling	°C
	Process streams	Temp. before heating / cooling	°C
		Temp. after heating / cooling	°C
	Electricity	Electricity	kWh/y
	Steam	Steam flow	t/y
	Gas	Gas flow	GJ/y or m^3/y
	Chilled water	Chilled water load	kWh/y
		Chilled water flow	m^3/y
	Hot water	Hot water load	kWh/y
		Hot water flow	m^3/y

برخی منابع داده‌های بالقوه عبارتند از:

- قبوض برق، گاز و آب شرکت
- سوابق تولیدات و رفتارهای فرآیند و تجهیزات مورد موازنه
- داده‌های ارائه شده از تولیدکننده اعم از داده‌های طراحی و دستورالعمل‌های مدون
- خواص فیزیکی و شیمیایی مواد ورودی و خروجی
- داده‌های مورد نیاز موازنه که اندازه‌گیری شده‌اند
- داده‌های مورد نیاز موازنه که محاسبه شده‌اند
- داده‌های مورد نیاز موازنه که تخمین زده شده‌اند

چک‌لیست زیر ممکن است به بهبود کیفیت گردآوری داده‌های مورد نیاز موازنه کمک کند:

- آیا متغیرهای اندازه‌گیری و نقاط اندازه‌گیری دقیق مشخص شده است؟
- آیا همه دستگاه‌های اندازه‌گیر مورد نیاز اصلی و اندازه‌گیرهای سطوح پایین‌تر، نصب و کالیبره شده‌اند؟
- آیا راهبردی برای گردآوری مجموعه داده‌هایی که اندازه‌گیری نمی‌شوند، وجود دارد؟
- آیا اطلاعات ورودی به سیستم فعال شده‌اند؟
- آیا داده‌های مورد نیاز به صورت خودکار یا دستی در لاگ‌شیت‌ها ثبت می‌شوند؟
- آیا داده‌ها در فواصل زمانی منظم جمع‌آوری شده‌اند؟
- آیا داده‌ها با توجه به شرایط مختلف در زمان‌های مورد نظر مانند بار فصلی، زمان‌های راه‌اندازی و حالات گذرا در هنگام قطع تولید، شرایط آب و هوایی و دیگر تغییرات فرآیند جمع‌آوری شده است؟

مرحله ۶ - محاسبه جریان انرژی و جرم

بهترین راه برای تشریح این مرحله، ارائه مثالی عملی است که در ادامه آمده است.

مرحله ۷ - تحلیل نتایج

یک مرحله مهم در انجام موازنه، تعیین این موضوع است که موازنه، نشانگر عملیات واقعی موجود می‌باشد. به عبارتی خطای محاسبات بر مبنای مفروضات مورد نیاز به دقت مورد آزمایش قرار گیرد. اگر نتایج غیر منطقی به دست آید، باید مراحل موازنه مورد بررسی مجدد قرار گیرد.

هنگام تحلیل نتایج، نکات زیر باید در نظر گرفته شوند:

- آیا موازنه انجام گرفته با اطلاعات و داده‌های اندازه‌گیری و محاسباتی مرتبط است؟
- چگونه می‌توان انجام موازنه را بهبود بخشید تا تصویر واقعی‌تری از وضعیت موجود، نشان داده شود؟
- چه مفروضاتی در موازنه انجام گرفته، نیاز به مرور و بازنگری دارد؟
- چگونه می‌توان داده‌های مورد نیاز را با کیفیت بالاتر به دست آورد؟

بررسی صحت محاسبات در جریان جرم و انرژی برای هر فرآیند مهم است. این بررسی برای اطمینان از اینکه موازنه به دقت نشانگر فرآیند واقعی موجود باشد، انجام می‌شود.

برخی دلایل ایجاد خطا در انجام موازنه عبارتند از:

- تلفات، محاسبه نشده باشد. (به عنوان مثال، تلفات بخار در سیستم توزیع بخار یا تلفات حرارتی از قطعات)
- استفاده از مفروضات نادرست

- استفاده از داده‌های نادرست در محاسبات

این دلایل خطا باید در صورت امکان به صورت سیستماتیک شناسایی و حذف شوند. ممکن است تکرار تمام یا بعضی از مراحل ۲ تا ۶ انجام موازنه نیاز باشد. مسلماً هر چه درصد خطا در انجام موازنه کمتر باشد، صحت موازنه جرم و انرژی بیشتر است. اگر درصد خطا در موازنه، خیلی بالا باشد، تحلیل باید بازبینی شود. جدول زیر نشان‌دهنده نمونه‌ای از گستره صحت قابل قبول موازنه جرم و انرژی است.

فرآیند تکمیل موازنه مزایای بسیاری دارد. یکی از نتایج کلیدی تکمیل موازنه، افزایش آگاهی از میزان مصرف انرژی است که به شناسایی فرصت‌های بهره‌وری انرژی پیش‌بینی نشده و تحلیل بهتر شبکه تولید، توزیع و مصرف انرژی کمک می‌کند.

جدول (۳-۳۷) نمونه‌ای از گستره صحت قابل قبول موازنه جرم و انرژی

گستره صحت	اقدام موردنیاز	صحت تحلیل موازنه جرم و انرژی
کمتر از ۵٪	-	قابل قبول
بین ۵٪ تا ۳۰٪	بررسی بیشتر	مرور مجدد
بیشتر از ۳۰٪	اجرای دوباره بخشی یا کل تحلیل (از قدم ۲)	غیر قابل قبول

همان‌طور که پیشتر نیز گفته شد، برخی از مزایای موازنه درست عبارتند از:

- تخمین ساده‌تر فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی از طریق افزایش آگاهی از جریان انرژی شرکت
- شناسایی و بهبود دستورالعمل‌های عملیاتی (مانند خاموش و روشن کردن تجهیزات، تغییر در شرایط عملیاتی برای هماهنگی بهتر)
- ارائه ابزاری برای مدیریت تقاضای انرژی

مرحله ۸ – مستندسازی EMB

یک مستندسازی خوب برای انجام موازنه جرم و انرژی باید در بردارنده ویژگی‌های زیر باشد:

- از ساختاری روشن و سازمان‌یافته برخوردار بوده و به راحتی قابل مطالعه یا مذاکره باشد
- بتوان از این مکتوب به عنوان ابزار یا بستری برای بررسی فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی استفاده نمود
- شامل نمودارها و نقشه‌هایی باشد که به سادگی و وضوح، فرآیند را توضیح دهد
- شامل مثال‌های دقیق، مشروح و مشخص باشد
- نشان‌دهنده موازنه جریان جرم و انرژی باشد
- نمای کلی سیستم و نتایج روشن و عملی را ارائه کند

برخی از نکات عملی انجام موازنه جرم و انرژی

الف- منبع مورد نیاز جهت موازنه جرم و انرژی واحدهای عملیاتی در حالت طراحی، نقشه‌های موجود دیاگرام جریان فرآیندی است.

ب- در واحدهای عملیاتی اگر واکنش هایی اتفاق افتد که گرماده باشند، به عنوان انرژی تولید شده در واحد و در صورتی که گرماگیر باشند، به عنوان انرژی مصرفی واحد در نظر گرفته می‌شوند.

ج- اگر در واحدهای عملیاتی، تجمع جرم وجود نداشته باشد، در نتیجه:

تجمع = جرم ورودی - جرم خروجی = ۰

ولی از نظر انرژی چون تلفات موجود است، موازنه به صورت زیر نوشته می شود:

[input] = [out put]±[generation]

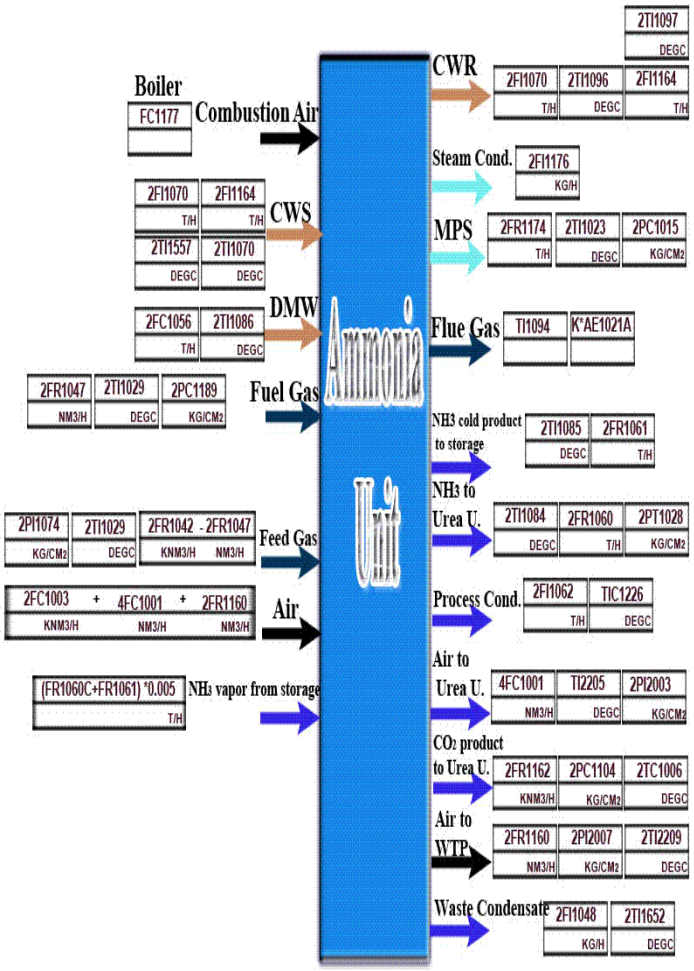
د- به منظور بررسی بالانس جرم و انرژی یک شرکت، باید در ابتدا یک حجم کنترل در نظر گرفت. برای شرکت‌های تولیدی چند واحدی، حجم کنترل می‌تواند به تفکیک واحدهای عملیاتی باشد؛ یعنی موازنه جرم و انرژی به صورت جداگانه برای هر کدام نوشته شود. در انجام موازنه هر واحد کلیه جریان‌های ورودی و خروجی واحد اعم از جریان‌های خوراک، محصولات فرعی و اصلی، بخار ورودی و کندانس‌های خروجی، باید در نظر گرفته شود.

ه- باید در نظر داشت در فرآیندهایی که بخار و هوا به عنوان یک ماده در فرآیند نیز حضور دارند، مقدار هوا، بخار ورودی و خروجی نیز در موازنه جرم بررسی شود.

و- فن‌های هوایی و کلیه مبدل‌های حرارتی که با جریان آب، خنک می‌شوند، به عنوان انرژی خروجی از واحد در نظر گرفته شود. در واحدی که کوره، ریفرمر دارد، میزان انرژی حاصل از سوخت (ارزش حرارتی سوخت) به عنوان انرژی ورودی به واحد در نظر گرفته شده و جریان خروجی از دودکش در قسمت جریان‌های خروجی واحد باید در نظر گرفته شود.

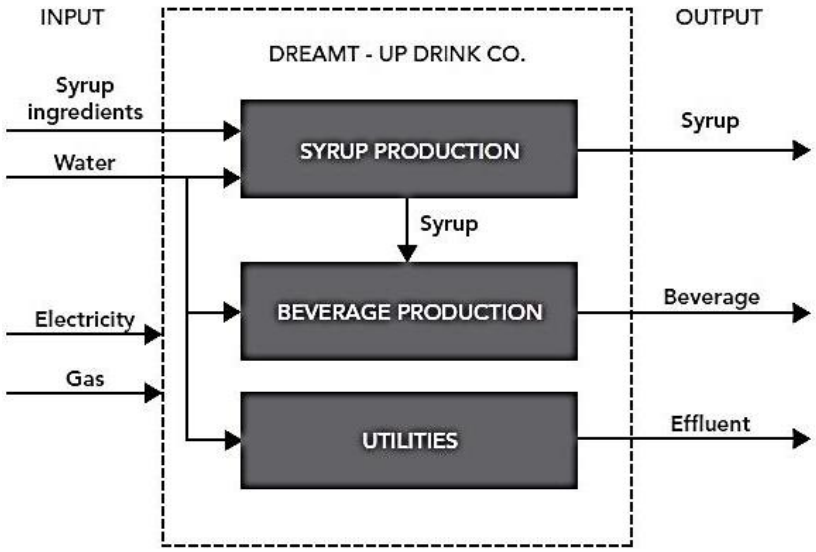
ز- جریان‌های یوتیلیتی شامل آب، بخار، هوا، N_2 و ... در موازنه جرم محاسبه نمی‌شوند. میزان انرژی که از طریق بخار وارد مبدل های حرارتی می‌شوند، در همان بخار ورودی به واحد در نظر گرفته شود.

ح- مقدار انرژی هر جریان با وارد کردن ترکیب درصد و شرایط دما و فشار جریان می‌تواند توسط نرم‌افزارهای شبیه‌ساز مانند aspen HYSYS شبیه‌سازی و محاسبه شود.



شکل (۳-۴۵) نمونه‌ای از ورودی و خروجی‌های جرم و انرژی به همراه تگ‌ها و واحدهای آن‌ها در یک واحد تولید آمونیاک

در ادامه نمونه‌ای از طرح اولیه انجام موازنه جرم و انرژی در یک کارخانه تولید نوشابه آمده است.



شکل (۳-۴۶) نمونه‌ای از جریان جرم و انرژی در یک شرکت تولید نوشابه

جدول (۳-۳۸) موازنه جرم و جریان‌های جرم واحد شربت‌سازی کارخانه

MASS BALANCE SYRUP FLOWS				
Line	Parameter	Total	Unit	Data source
1	Total syrup produced	144,259,500	kg/y	production records
2	Total syrup exported	59,607,200	kg/y	dispatch records
3	Expected syrup used	84,652,398	kg/y	calculation: 1–2
4	Total beverages produced	522,096,573	L/y	production records
5	Syrup : beverage ratio	0.164	kg/L	recipe
6	Syrup added to beverages	85,589,602	kg/y	calculation: 4 x 5
7	Syrup added to beverages	85,589,602	L/y	unit conversion from 6
8	Syrup – balance (litres missing for year)	937,204	kg/y	calculation: 6 – 3
9	Syrup balance (%)	0.6	%	calculation: 8 / 1

جدول (۳-۳۹) موازنه جرم و جریان‌های جرم شربت‌سازی کارخانه

Line	Parameter	Total	Unit	Data source
10	Syrup ingredients purchased	67,543,350	kg/y	inwards goods records
11	Syrup ingredients : syrup ratio	0.47	kg/L	recipe
12	Syrup ingredients used in syrup	68,090,484	kg/y	calculation: 1 * 11
13	Syrup ingredients – balance (loss)	-547,134	kg/y	calculation: 10–12
14	Syrup ingredients – balance (%)	-0.8	%	calculation: 13 / 10

جدول (۳-۴۰) موازنه جرم و جریان‌های آب

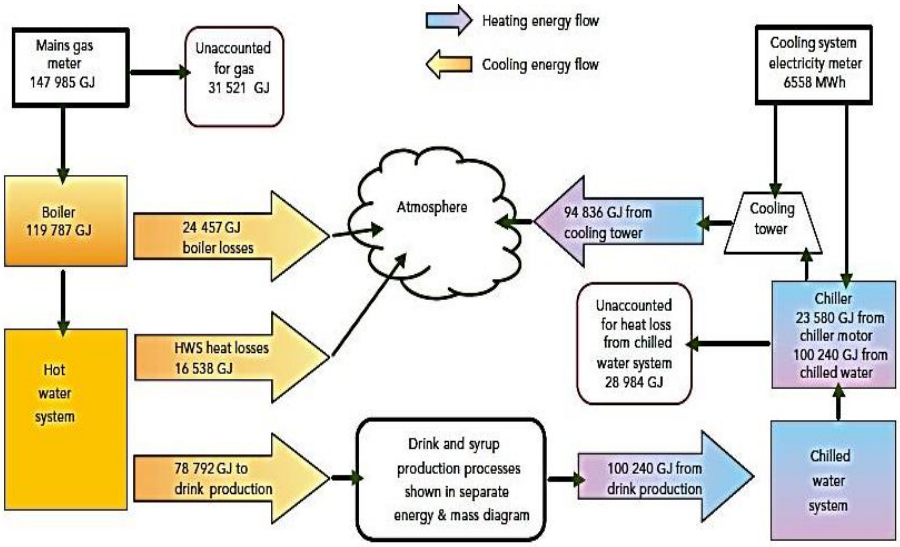
Line	Parameter	Total	Unit	Data source
15	Incoming water	1,102,897,551	L/y	water company invoices
16	Discharge to sewer	340,698,537	L/y	water company invoices
17	Net water used on site	712,199,014	L/y	water company invoices
18	Water used in syrup production	76,169,016	kg/y	calculation: 1–12
19	Water used in syrup production	76,169,016	L/y	conversion from 18
20	Water used in beverage production	436,506,971	L/y	calculation: 4–7
21	Water used for cleaning (to sewer)	80,625,358	L/y	meter
22	Water used in cooling towers	47,897,000	L/y	meter
23	Water from cooling towers to sewer	10	%	assumption
24	Water from cooling towers to sewer	4,789,700	L/y	calculation: 22 * 23
25	Water evaporated from cooling tower	43,107,300	L/y	calculation: 22–24
26	Subtotal – water used accounted for	641,225,345	L/y	calculation: sum of 19,20,21,22
27	Subtotal – water used unaccounted for	70,973,669	L/y	calculation: 17–26
28	Calculated water to sewer	547,114,264	L/y	calculation: 15–19–20–25
29	Water to sewer – balance	340,698,537	L/y	calculation: 28–16
30	Water to sewer – balance (%)	60.6	%	calculation: 29 / 16

جدول (۳-۴۱) موازنه انرژی و گرمایش

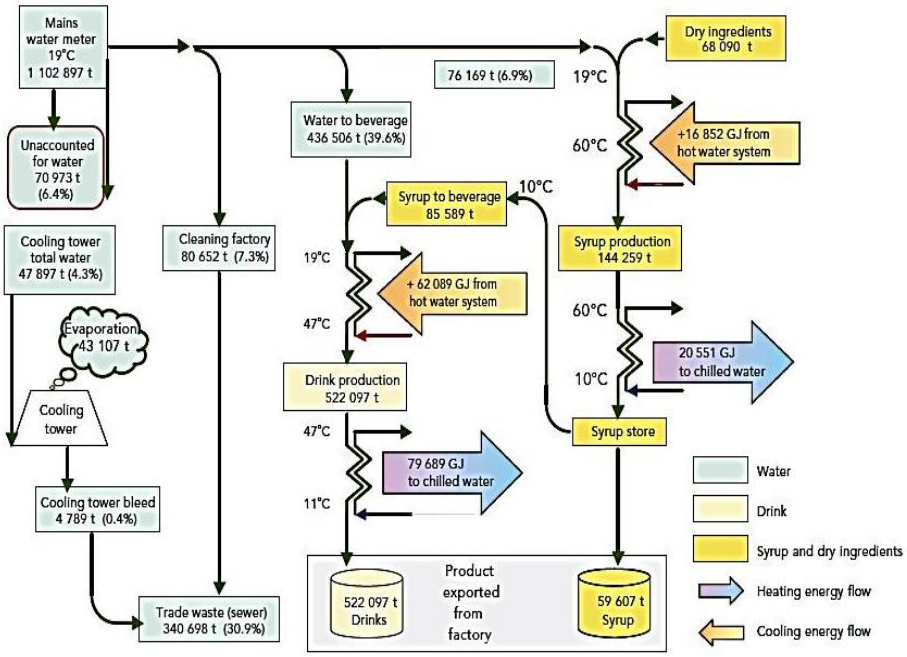
Line	Parameter	Total	Unit	Data source
44	Overall heating efficiency	67.8	%	from calculation: 42 * 43
45	Gas energy required	116,464	GJ/y	from calculation: 41 / 44
46	Gas energy purchased	147,985	GJ/y	from gas supplier invoices
47	Gas energy balance **(surplus)**	31,521	GJ/y	from calculation: 46 – 45
48	Gas energy balance (%)	21.3	%	from calculation: 47 / 46

جدول (۳-۴۲) موازنه انرژی و سرمایش

Line	Parameter	Total	Unit	Data source
49	Total heat removed from the process	79,689	GJ/y	Steps same as 40, details not shown
50	Chilled water reticulation system efficiency	92.5	%	from temperature measurements
51	Refrigeration system COP	4.1	–	from manufacturer data
52	Overall cooling system COP	3.8	–	from calculation: 50 * 51
53	Electricity required for cooling	21,012	GJ/y	from calculation: 49 / 52
54	Electricity required for cooling	5,836,757	kWh/y	from unit conversion
55	Electricity used in cooling system	6,558,154	kWh/y	from meter
56	Cooling sys. electricity – balance (surplus)	721,397	kWh/y	from calculation: 55–54
57	Cooling system electricity – balance (%)	11	%	from calculation: 56 / 55



شکل (۳-۴۷) شماتیک نمونه موازنه جرم و انرژی یک شرکت تولید نوشابه با داده‌های سالانه



شکل (۳-۴۸) طرح اولیه موازنه جرم و انرژی واحدهای یک شرکت تولید نوشابه با داده‌های سالانه

۳-۸ دستورالعمل نحوه انتخاب زمان و دوره اندازه‌گیری

۳-۸-۱ هدف و دامنه کاربرد دستورالعمل نحوه انتخاب زمان و دوره اندازه‌گیری

هدف از تدوین این دستورالعمل، آشنایی ممیزان انرژی با نحوه انتخاب زمان و دوره اندازه‌گیری در ممیزی انرژی و دامنه کاربرد این دستورالعمل با توجه به معیارهای ممیزی انرژی (هدف کلان، نوع و سطح ممیزی، روش و استاندارد ممیزی، نحوه و میزان مشارکت کارکنان، محدوده و مدت زمان اجرای ممیزی و الزامات گزارش ممیزی)، تمامی یا بخشی از اندازه‌گیری‌های موجود در تمامی سیستم‌ها، شبکه‌ها و تجهیزات انرژی‌بر است.

۳-۸-۲ مسئولیت انتخاب زمان و دوره اندازه‌گیری

مسئولیت انتخاب زمان و دوره اندازه‌گیری با تیمی متشکل از نمایندگان ممیزی‌شونده و تیم ممیزی انرژی شرکت تولیدی است.

۳-۸-۳ واژگان دستورالعمل نحوه انتخاب زمان و دوره اندازه‌گیری

اندازه‌گیری: فرآیندی که تعیین می‌کند یک متغیر چه مقدار از یک ویژگی برخوردار است.

تحلیل خطا نمایی انرژی: روشی تحلیلی برای شناسایی میزان بالقوه و علل تلفات انرژی موجود در تجهیزات و فرآیندهای صنعتی

پایش و هدف‌گذاری[1] انرژی: مجموعه‌ای از فعالیت‌ها برای جمع‌آوری، دسته‌بندی و اعتبارسنجی داده‌های مورد نیاز انرژی و تعریف، محاسبه، مقایسه و تحلیل شاخص‌های عملکرد انرژی در دو حالت عملیاتی و هدف و در نهایت شناسایی و گزارش‌دهی فرصت‌های بهبود کارایی انرژی

تجهیز مبدل انرژی: تجهیزات تبدیل‌کننده انرژی از حالتی به حالت دیگر مانند بویلر

1- Monitoring and Targeting

(گاز به بخار)، توربین بخار (بخار به انرژی مکانیکی)، توربین گاز (گاز به انرژی مکانیکی) و الکترو موتور (برق به انرژی مکانیکی)

تجهیز انرژی‌بر: تجهیزی که حداقل یک حامل انرژی مصرف می‌کند. مانند کوره، پمپ، کمپرسور، فن، دمنده و مبدل حرارتی

حامل‌های انرژی: انواع منابع انرژی ثانویه مورد نیاز در صنعت مانند برق، سوخت‌ها، بخار، هوای فشرده، آب صنعتی و موارد مشابه

۳-۸-۴ شرح عملیات انتخاب زمان و دوره اندازه‌گیری

آشکار است که بهترین حالت برای بررسی عملکرد انرژی تجهیزات عمده انرژی‌بر یک شرکت تولیدی آن است که یک سیستم، به‌هنگام پایش و اندازه‌گیری، متغیرهای مؤثر بر مصرف انرژی موجود باشد تا در آن داده‌ها، ثبت، اعتبارسنجی، جمع‌آوری و دسته‌بندی شده و سپس شاخص‌ها با استفاده از داده‌های به دست آمده محاسبه، تحلیل و تفسیر شوند؛ اما به دلایل زیر این سیستم در بیشتر شرکت‌های تولیدی موجود نیست.

- عدم احساس نیاز بهره‌بردار به بعضی متغیرها در کنترل فرآیند
- عدم صرف هزینه‌های مالی جهت خرید حسگرهای مورد نیاز
- محدودیت‌های ایجاد شده از طرف شرکت صاحب فناوری به خصوص در ثبت و ضبط داده‌های سیستم اتاق کنترل
- عدم توجیه اقتصادی جهت تعیین و بررسی بعضی متغیرهای عملکرد انرژی.
- و ...

لذا برای بررسی شاخص‌های عملکرد انرژی بعضی از فرآیندها و تجهیزات عمده انرژی‌بر، باید از دستگاه‌های اندازه‌گیری پرتابل استفاده کرد. جهت بررسی بهتر روند جریان انرژی، باید اندازه‌گیری پرتابل در نقاط با خطر احتمالی بالای انرژی یا نقاطی که امکان اندازه‌گیری به‌هنگام یا آف‌لاین متغیرهای مورد نظر موجود نیست، انجام پذیرد. برای

اندازه‌گیری و سپس تحلیل مناسب، باید متغیرهای مؤثر بر مصرف انرژی شبکه حامل‌ها، فرآیندها و تجهیزات انرژی‌بر و مبدل انرژی تعیین شود که در بخش‌های مختلف با تعریف شاخص‌های عملکرد انرژی شبکه‌ها، سیستم‌ها و تجهیزات انرژی‌بر، این متغیرها آمده است.

همان‌طور که پیشتر نیز ذکر شده است، متغیرهای موردنیاز برای محاسبه و تحلیل شاخص‌های عملکرد انرژی فرآیندها و تجهیزات، معمولاً دما، فشار، دبی و توان الکتریکی به علاوه شرایط محیطی (دما و درصد رطوبت محیط و سرعت باد) هستند که باید صحیح و دقیق توسط تجهیزات اندازه‌گیری شوند.

تجهیزات اندازه‌گیری متعدد با دامنه اندازه‌گیری وسیع و با کیفیت و کاربردهای متفاوت در بازار موجود است. انتخاب تجهیزات نیز متناسب با کاربرد مورد انتظار ممیز انرژی خواهد بود. برای نتیجه‌گیری مناسب از برداشت‌های مورد نیاز باید زمان، تعداد، دقت و دوره اندازه‌گیری، مورد توجه ویژه قرار گیرد.

در اندازه‌گیری متغیرهای لازم برای محاسبات انرژی تجهیزات، مدت زمان اندازه-گیری، تعداد نمونه‌برداری، نوع تجهیز اندازه‌گیری و متغیرهای قابل اندازه‌گیری مورد نیاز باید مشخص شوند.

ذکر این نکته نیز ضروری است که بهترین زمان برای شروع ممیزی انرژی جامع، تابستان به عنوان گرم‌ترین فصل سال و زمستان به عنوان سردترین فصل سال می‌باشد.

همچنین برای تحلیل بهتر و دقیق‌تر عملکرد انرژی شبکه‌ها، سیستم‌ها و تجهیزاتی که متأثر از شرایط محیطی خصوصاً دما باشند، باید جداگانه هدف تابستان و هدف زمستان تعریف شود. شبکه بخار، سیستم هوای فشرده، کمپرسور، توربین بخار از این نوع هستند. به عنوان مثال کارایی تابستان کمپرسور و کارایی زمستان کمپرسور باید به تفکیک مشخص شوند.

از نکات قابل ذکر دیگر این است که چون شاخص‌هایی مانند کارایی در دماهای

عادی محیطی تعریف شده‌اند، در مناطق گرمسیر مانند جنوب کشور یا سردسیر مانند شمال غرب کشور باید کارایی در ضرایب تصحیح مناسب ضرب شود. به عنوان مثال برای محاسبه کارایی نامی (هدف) الکتروموتور در دمای ۵۵ درجه شهر، باید راندمان نامی الکتروموتور (مندرج در کاتالوگ آن که در دمای ۴۵ درجه آمده است)، در ضریب تصحیح آن ضرب شود. به عبارتی دیگر دمای بالای محیط برخی از مناطق که باعث افت کارایی تجهیز می‌شود، دلیل بر عملکرد ضعیف تجهیز نیست.

نکته مهم دیگر، انجام ممیزی انرژی در زمانی است که تولید شرکت پایدار باشد. در شرایط ناپایدار مانند حالت‌های توقفات اضطراری و پیش‌بینی نشده یا توقفات برنامه‌ریزی شده و عدم تولید نباید ممیزی انرژی انجام پذیرد.

تجهیزات عمده انرژی‌بر مورد اندازه‌گیری در ممیزی انرژی به دو دسته تجهیزات الکتریکی و فرآیندی (حرارتی / مکانیکی) تقسیم می‌شوند. در جدول زیر مشخصات اندازه‌گیری این تجهیزات آمده است.

جدول (۳-۴۳) اندازه‌گیری متغیرهای تجهیزات الکتریکی

نام تجهیز الکتریکی	حداقل زمان اندازه‌گیری (ساعت)	دوره زمانی نمونه‌برداری	نام تجهیز اندازه‌گیر	متغیرهای قابل اندازه‌گیری جهت تحلیل توان و کیفیت توان						
				توان اکتیو	ولتاژ	جریان	ضریب توان	هارمونیک جریان	THDI,V	شدت روشنایی
فیدر اصلی	❖۲۴	۱۰ دقیقه	تحلیل‌گر توان یا کیفیت‌توان	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-
ترانسفورماتور	زمان کامل انجام فرآیند مورد ممیزی	۱۰ دقیقه		✓	✓	✓	✓	✓	✓	-

موتور الکتریکی	با توجه به فرآیند معمولاً ۱۵ دقیقه	۱ ثانیه		✓	✓	✓	✓	✓	✓	-
سیستم روشنایی	لحظه‌ای	-	روشنایی سنج	-	-	-	-	-	-	✓

برای اندازه‌گیری و بررسی متغیرهای کیفیت توان یک شرکت تولیدی، طبق استاندارد زمان اندازه‌گیری تا یک هفته نیز می‌تواند ادامه یابد.

اندازه‌گیری‌های مربوط به بخش حرارتی و مکانیکی شامل دما، دبی، تست سلامت تله بخار و نشتی، تحلیل گازهای خروجی از بویلر، کوره و ریفرمر نیز می‌تواند به صورت نقطه‌ای و گسسته انجام پذیرد. البته در برخی موارد می‌توان در صورت تقبل هزینه بالاتر توسط ممیزی‌شونده، ممیزین نسبت به اندازه‌گیری متغیرهای بیشتری در یک تجهیز اقدام نمایند. (مثلاً چندین دبی یا چندین دما). در جداولی که در ادامه آمده است با نمونه اندازه‌گیری ممیزی انرژی می‌توان آشنا شد.

جداول (۳-۴۴) فرم‌های نمونه اندازه‌گیری تجهیزات مختلف انرژی‌بر و مبدل انرژی

نام واحد تولیدی ..... علت اندازه‌گیری .....

تقاضاکننده اندازه‌گیری..... مدل دستگاه اندازه‌گیری .....

تاریخ اندازه‌گیری..... تکمیل‌کننده فرم ..... امضای تکمیل‌کننده فرم

شماره ترانسفورماتور/موتور	تاریخ شروع	زمان شروع	تاریخ پایان	زمان پایان

نام واحد تولیدی ..... علت اندازه‌گیری .....

تقاضاکننده اندازه‌گیری..... مدل دستگاه اندازه‌گیری .....

تاریخ اندازه‌گیری..... تکمیل‌کننده فرم ..... امضای تکمیل‌کننده فرم

شماره کوره/بویلر	O_2%	CO(ppm)	CO_2%	NO(ppm)	NO_x(ppm)	دمای خروجی (^oC)	NO_x(ppm)	SO_x(ppm)	E-AIR%	EFF-N%	Amb. Temp (OC)

نام واحد تولیدی ..... علت اندازه‌گیری .....

تقاضاکننده اندازه‌گیری..... مدل دستگاه اندازه‌گیری .....

تاریخ اندازه‌گیری..... تکمیل‌کننده فرم ..... امضای تکمیل‌کننده فرم

شماره پمپ	فشار ورودی	فشار خروجی	دمای ورودی	دمای خروجی	دبی	توان متوسط	ترکیب درصد جریان
منبع دسترسی	اسکادا/ لاگ‌شیت/ طراحی	لاگ شیت	اسکادا	محاسبه می‌شود	اسکادا	تحلیل گر توان	شبیه‌سازی/ نتایج آزمایشگاهی

۳-۹ دستورالعمل نحوه عملکرد، اندازه‌گیری و تعریف شاخص‌های انرژی سیستم پمپاژ

۳-۹-۱ هدف و دامنه کاربرد دستورالعمل نحوه تحلیل عملکرد انرژی سیستم پمپاژ

هدف از تدوین این دستورالعمل آشنایی ممیزان انرژی با نحوه تحلیل سیستم پمپاژ و دامنه کاربرد این دستورالعمل با توجه به معیارهای ممیزی انرژی (هدف کلان، نوع و سطح ممیزی، روش و استاندارد ممیزی، نحوه و میزان مشارکت کارکنان، محدوده و

مدت زمان اجرای ممیزی و الزامات گزارش ممیزی)، تمامی یا بخشی از سیستم‌های پمپاژ موجود در یک فرآیند صنعتی یا واحد عملیاتی یا شرکت تولیدی است.

۳-۹-۲ مسئولیت تحلیل عملکرد انرژی سیستم پمپاژ

مسئولیت تحلیل سیستم پمپاژ با تیم ممیزان انرژی شرکت تولیدی (درجه دو و سه / مقیم یا غیر مقیم) است. پیشنهاد می‌شود این تیم، حداقل متشکل از کارشناسان جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها و اطلاعات اولیه، اندازه‌گیری و تحلیل متغیرها و شاخص‌های عملکرد انرژی و ارائه راهکارهای عملی صرفه‌جویی انرژی سیستم پمپاژ باشد.

۳-۹-۳ واژگان دستورالعمل نحوه تحلیل عملکرد انرژی سیستم پمپاژ

پمپ: به‌طورکلی پمپ به دستگاهی اطلاق می‌شود که انرژی مکانیکی را از یک منبع گرفته و به سیالی که از آن عبور می‌نماید، انتقال می‌دهد.

انواع پمپ: مشخصات هیدرولیکی مدارهای مختلف، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی سیال از نظر وزن مخصوص، درجه حرارت، خورندگی، وجود ناخالصی‌ها و گازهای همراه با سیال سبب شده تا انواع پمپ‌ها با ساختمان‌ها و طرز کارهای مختلف ساخته و تولید شود. مکانیسم و نحوه انتقال انرژی مکانیکی از پمپ به سیال، در پمپ‌های مختلف به قدری متفاوت است که نمی‌توان یک تئوری جامع را در مورد اقسام پمپ‌ها به کار برد. تقسیم‌بندی پمپ‌ها براساس عوامل مختلفی صورت گرفته و می‌تواند بر مبنای مصرف، ساختمان داخلی، نحوه انتقال انرژی به سیال و سرانجام نوع سیال عبوری انجام شود. متداول‌ترین نحوه تقسیم‌بندی پمپ‌ها بر مبنای نحوه انتقال انرژی به سیال است و به دو دسته اصلی تقسیم‌بندی می‌شوند.

پمپ‌های دینامیکی که انتقال انرژی از آن‌ها به سیال به طوردائمی انجام می‌گیرد. این پمپ‌ها شامل توربوپمپ‌ها (پمپ‌های سانتریفوژ)، پمپ‌های محیطی و پمپ‌های خاص هستند.

پمپ‌های جا به جایی که انتقال انرژی از آن‌ها به سیال به‌طور متناوب یا پریودیک است. این پمپ‌ها شامل پمپ‌های رفت و برگشتی و گردشی هستند.

اجزای پمپ: اجزای تشکیل‌دهنده یک پمپ به‌طور کلی عبارتند از:

تیغه، پوسته حلزونی، پیش‌برنده، موتور، نازل مکش، رینگ‌های روغن، شافت، نازل تخلیه، یاتاقان‌ها و آب‌بند.

اجزای توربوپمپ‌ها:

۱- پخش‌کننده که وظیفه اصلی آن هدایت سیال از محیط خارج تا ورود به پمپ است.

۲- یک یا چند چرخ که هر یک دارای تعدادی پره هستند. وظیفه انتقال انرژی به سیال را دارند.

۳- کاهش‌دهنده که مقداری از انرژی جنبشی سیال را به انرژی پتانسیل تبدیل می‌نماید.

۴- جمع‌کننده یا ظرف حلزونی، که در ضمن پوسته پمپ را نیز تشکیل می‌دهد.

انواع توربوپمپ‌ها: نوع سیال عبوری از توربوپمپ‌ها مایع خالص یا مایع همراه با مقداری مواد جامد و گاز است. از این نظر توربوپمپ‌ها برای عبور سیالات یک یا چند فاز ساخته می‌شوند. متداول‌ترین روش تقسیم‌بندی توربوپمپ‌ها از دیدگاه طراحی و علمی، تقسیم‌بندی براساس مسیر حرکت سیال در چرخ است.

- توربوپمپ‌های سانتریفوژ یا با جریان شعاعی
- توربوپمپ‌های محوری
- توربوپمپ‌های نیمه‌سانتریفوژ یا با جریان مختلط

دبی حجمی: مقدار مؤثر حجم سیالی است که در واحد زمان از دهانه خروجی پمپ خارج می‌شود. به علت وجود درز اجباری بین قسمت گردنده و ثابت، همواره مقداری از سیال بین دهانه ورودی و خروجی چرخ در حال چرخش است، لذا دبی عبوری از چرخ با دبی پمپ یکسان نیست.

ارتفاع کل (هد): ارتفاع کل یک پمپ (H)، مقدار قدرت مفیدی است که توسط پمپ به واحد وزن سیال منتقل می‌شود. ارتفاع تولیدی پمپ، مستقل از وزن مخصوص سیال است، یعنی یک توربوپمپ، در یک سرعت دورانی ثابت، یک ارتفاع مساوی برای تمامی سیالات بدون توجه به وزن مخصوص آن‌ها تولید می‌کند.

ارتفاع مثبت خالص مکش[1] عبارت است از فشار کل سیال در دهانه مکش پمپ که نسبت به فشار تبخیر سیال در درجه حرارت پمپاژ سنجیده می‌شود.

کاویتاسیون: هرگاه در حین جریان مایع در داخل چرخ یک پمپ، فشار در نقطه‌ای از فشار تبخیر مایع در درجه حرارت مربوطه کمتر شود، حباب‌های بخاری به وجود می‌آید که به همراه مایع به نقطه‌ای دیگر با فشار بالاتر حرکت می‌کند. اگر در محل جدید، فشار مایع به اندازه کافی زیاد باشد، حباب‌های بخار در این محل تقطیر شده و در نتیجه ذراتی از مایع در مسیر اصلی خود منحرف شده و با سرعت فوق‌العاده زیاد به اطراف و از جمله پره‌ها برخورد می‌کنند. در چنین مکانی، با توجه به شدت برخورد، سطح پره‌ها خورده و متخلخل می‌شود. این پدیده را کاویتاسیون می‌نامند. پدیده کاویتاسیون برای پمپ، بسیار خطرناک بوده و ممکن است پس از زمانی کوتاه چرخ آن از بین برود.

منحنی‌های مشخصه: نشان دادن شرایط کاری یک پمپ توسط معادلات ریاضی یا سطوح فضایی از نظر استفاده عملی تولید. انواع منحنی‌های مشخصه پمپ‌ها عبارتند از:

- منحنی ارتفاع H-Q
- منحنی قدرت P-Q
- منحنی کارایی $\mu - Q$

بر روی منحنی‌های مشخصه پمپ‌ها، چند نقطه خاص حائز اهمیت وجود دارد که عبارتند از:

1- NPSH

- نقطه کارایی ماکزیمم بر روی منحنی $\mu - Q$ (که معمولاً انتخاب پمپ براساس این نقطه صورت می‌گیرد.)
- نقطه ماکزیمم منحنی H-Q (که کار پمپ را بر روی قسمتی از منحنی که $\frac{dH}{dQ} < 0$ است، محدود می‌کند.)
- نقطه ماکزیمم دبی بر روی منحنی H-Q (که محدودکننده کار پمپ از نظر کاویتاسیون است. در مورد پمپ‌های محوری، نقطه مینیمم دبی نیز مهم است.)
- نقطه دبی صفر (راه‌اندازی پمپ سانتریفوژ در آن انجام می‌شود و بر اساس آن گشتاور و قدرت راه‌اندازی محاسبه می‌شود.).
- نقطه ماکزیمم قدرت (که براساس آن قدرت موتور راه‌انداز محاسبه می‌شود.)

۳-۹-۴ شرح عملیات تحلیل عملکرد انرژی سیستم پمپاژ

برای تحلیل عملکرد انرژی پمپ می‌توان به این شیوه گام به گام عمل نمود.

الف- تهیه شناسنامه انرژی پمپ

ب- تعریف و محاسبه شاخص‌های عملکرد انرژی پمپ

ج- شناسایی فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی و تکمیل پرسش‌نامه مدیریت انرژی پمپ

الف- تهیه شناسنامه انرژی پمپ

به دلیل استفاده زیاد از پمپ‌ها در صنایع مختلف، این تجهیز سهم به‌سزایی در مصرف کل انرژی در دنیا دارد و به این جهت بررسی و تحلیل آن‌ها از لحاظ مصرف انرژی دارای اهمیت بالایی است. پمپ‌ها نیروی محرک خود را از موتورهای الکتریکی یا در بعضی موارد از توربین‌های بخار تأمین می‌کنند. در نتیجه درایور پمپ‌ها، توربو یا موتوری است. شناسنامه انرژی پمپ به صورت جدول زیر قابل تهیه است.

جدول (۳-۴۵) شناسنامه انرژی پمپ

شماره فنی پمپ	نوع پمپ	سازنده	مصرف کننده نهایی	نوع کنترل		دبی	توان	دمای ورودی	فشار ورودی	فشار خروجی	وجود موارد زیر		
				دستی	اتوماتیک	m^3/h	kW	OC	bar	bar	داده ها روی پلاک	منحنی مشخصه	جدول زمانی عملیاتی

البته علاوه بر تهیه شناسنامه هر یک از پمپ‌ها، می‌توان به صورت جدول زیر نسبت به تهیه شناسنامه هر یک از سیستم‌های پمپاژ شرکت نیز اقدام نمود.

جدول (۳- ۴۶) شناسایی سیستم‌های پمپ

ناحیه	نام سیستم	نوع واحد	تعداد پمپ‌ها	توان نامی (کیلووات)	نوع کنترل	کاربرد	وجود جدول زمانی عملیاتی

ب- تعریف و محاسبه شاخص‌های عملکرد انرژی پمپ

برای بررسی عملکرد انرژی تجهیزات انرژی‌بر و مبدل انرژی، می‌توان شاخص‌هایی تعریف کرد، این شاخص‌ها بر اساس ویژگی‌های مورد اشاره در بخش شاخص‌های عملکرد انرژی فصل اول شیوه‌نامه و با توجه به اهمیت، کلیدی یا عمومی هستند. پس از

تعریف این شاخص‌ها، باید در دو حالت موجود (شرایط پایدار بهره‌برداری) و هدف (که ممکن است نامی، مشخصات تکنولوژ، مقادیر بین‌المللی یا منطقه‌ای، الزامات قانونی، الزامات داخلی شرکت‌ها و... باشد) محاسبه و مقایسه شوند. درصد انحراف شاخص عملکرد انرژی تجهیز در حالت‌های موجود و هدف، نشانگر میزان انحراف عملکرد انرژی از عملکرد بهینه است. در ادامه، تعریف و نحوه محاسبه هر یک از شاخص‌های عملکرد انرژی پمپ ارائه شده است.

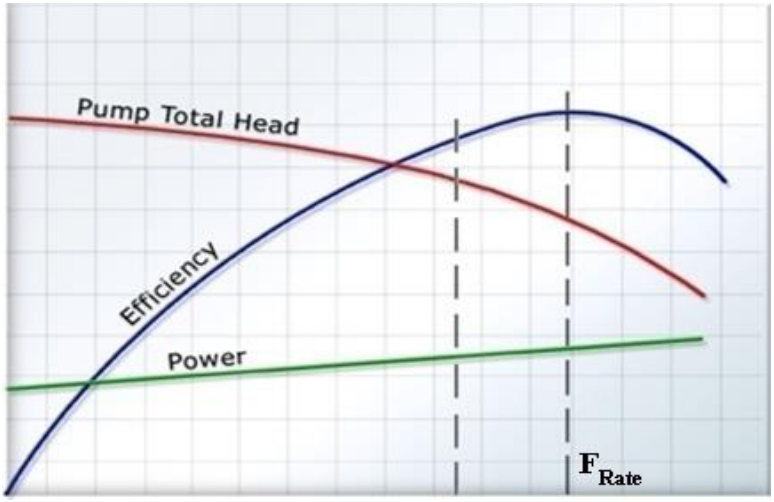
شاخص PH: توان هیدرودینامیک لازم برای جابه‌جایی سیال توسط پمپ یا همان میزان انرژی مفید انتقالی از پمپ به سیال است.

با توجه به اینکه پمپ‌ها معمولاً کمتر از میزان طراحی و ظرفیت اسمی خود سیال را پمپ می‌کنند، با استفاده از این شاخص و مقایسه آن با حالت طراحی، میزان دور بودن پمپ از شرایط طراحی و نحوه عملکرد پمپ به دست می‌آید. بر اساس فرمول ارائه شده در این شاخص، در صورتی که دبی و هد پمپ از مقدار طراحی کمتر باشد، باید انرژی بیشتری صرف کرد تا پمپ بتواند سیال را در دبی و هد نامی آن پمپاژ کند. بنابراین با محاسبه این شاخص، می‌توان مشکلات پمپ از نظر میزان دبی و هد آن را بررسی و نسبت به انجام اقدام اصلاحی جهت رفع آن‌ها اقدام کرد.

نحوه برداشت و محاسبه شاخص: برای بررسی عملکرد انرژی پمپ با استفاده از منحنی مشخصه و روابط موجود، می‌توان میزان انرژی مفید انتقالی از پمپ به سیال را محاسبه نمود. به این ترتیب که با استفاده از منحنی مشخصه پمپ، هد ایجاد شده در دبی مشخص، به دست می‌آید. توان هیدرودینامیک لازم برای جابه‌جایی سیال توسط پمپ برابر است با:

$$PH = (Q \times \rho \times g \times H)/1000$$

در این رابطه، PH توان هیدرودینامیک (kW)، Q دبی حجمی سیال (m^3/s)، ρ دانسیته سیال (kg/m^3)، g شتاب ثقل (m/s^2) و H هد کلی سیستم (m) است.



شکل (۳-۴۹) نمونه‌ای از منحنی مشخصه پمپ

شاخص DTY_P: توان مورد نیاز بر روی شفت است.

این شاخص نیز به مانند شاخص PH به‌طورمستقیم میزان مصرف انرژی در پمپ را به دست آورد. زیرا کارایی نیز در محاسبه این شاخص دخیل بوده و بر اساس آن، هر چه دبی گذرنده از پمپ کمتر باشد، کارایی پمپ از حالت بهینه دور شده و بالطبع انرژی مصرفی افزایش می‌یابد. معیار سنجش این شاخص، DTY پمپ در حالت طراحی آن است.

نحوه برداشت و محاسبه شاخص: در حالت طراحی از دیتاشیت پمپ و در حالت عملیاتی متغیرهای مورد نیاز، برداشت یا اندازه‌گیری و سپس از روابط زیر محاسبه خواهد شد.

$$DTY = P_{on\ shaft} = \frac{P_H}{\eta_P}$$

در این رابطه $P_{on\ shaft}$ توان روی شفت و η_P کارایی مکانیکی پمپ است که با استفاده از منحنی مشخصه پمپ در دبی مورد نظر به‌دست می‌آید.

شاخصEFF_P: کارایی که نسبت انرژی خروجی از پمپ به انرژی ورودی به آن است.

با توجه به اینکه این شاخص به طور مستقیم متأثر از دبی پمپ است، بنابراین با مقایسه این شاخص با حالت طراحی آن، میزان دور بودن دبی خروجی پمپ از میزان طراحی آن به‌دست می‌آید. در حقیقت، با کاهش کارایی پمپ، مشخص می‌شود دبی خروجی از پمپ در چه وضعیتی قرار داشته و پس از آن باید نسبت به بهبود و رفع مشکلاتی که باعث کاهش دبی پمپ شده است، اقدام نمود.

نحوه برداشت و محاسبه شاخص: این شاخص از منحنی مشخصه پمپ در دبی مشخص استخراج می‌شود.

شاخص LOD_P: این شاخص بیانگر درصد بارگذاری درایور پمپ (اگر موتور الکتریکی باشد) بوده و عبارت است از نسبت توان الکتریکی مصرفی در الکتروموتور در حالت بهره‌برداری به توان نامی. با محاسبه این شاخص می‌توان دریافت که با فاصله گرفتن توان الکتریکی موتور از مقدار طراحی (توان نامی) و کاهش درصد بارگذاری، کارایی موتور کاهش می‌یابد. همچنین هرچه شاخص LOD به عدد یک نزدیک‌تر باشد، عملکرد موتور سیستم پمپاژ از نظر میزان کارایی انرژی بهتر است.

$$LOD = \frac{\text{توان الکتریکی مصرفی}}{\text{توان نامی}}$$

همان‌گونه که مشخص است، توان الکتریکی مصرفی الکتروموتور کمتر از میزان توان نامی است. این امر می‌تواند ناشی از تلفات رایج الکتروموتور اعم از تلفات بارداری، تلفات بی‌باری، تلفات تهویه و یا تلفات انرژی ناشی از عدم کارآیی بهینه پمپ باشد. از جمله شاخص‌هایی که برای محاسبه میزان تلفات انرژی و کارآیی در پمپ‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، شاخص بارگذاری است که با محاسبه آن، وضعیت بارگذاری تجهیز مشخص می‌شود. اگر اختلاف توان مصرفی الکتروموتور در حالت واقعی نسبت به توان مصرفی آن در حالت طراحی به دست آید، تلفات انرژی تجهیز بر اساس کیلووات‌ساعت مشخص

می‌شود و در صورتی که در هزینه هر کیلو وات ساعت برق مصرفی ضرب شود، هزینه تلفات انرژی در تجهیز محاسبه می‌شود.

نحوه برداشت و محاسبه شاخص: توان نامی الکتروموتور از دیتاشیت یا پلاک مربوط به هر پمپ به دست می‌آید. همچنین توان الکتریکی مصرفی الکتروموتور، در صورت اندازه‌گیری پرتابل آنلاین (بر خط) و یا برداشت از دستگاه یا سنسورهای ثابت یا برگه‌های ثبت کننده یا با استفاده از شبیه‌سازی محاسبه شده و رابطه آن به صورت زیر می‌باشد:

$$P_{op} = \frac{Ponshaft}{\eta_M}$$

در این رابطه P_{op}، توان الکتریکی در حالت بهره‌برداری، $P_{on\ shaft}$ توان مورد نیاز بر روی شفت پمپ و η_M کارآیی الکتریکی الکتروموتور است.

شاخصSEC_{1P}: انرژی ویژه به ازای محصول است. این شاخص که با عنوان شاخص جذب نیز مشهور است، نشان می‌دهد که پمپ برای تولید واحد جرمی محصول و یا تولید محصول چه میزان انرژی مصرف می‌کند. این شاخص به صورت مقایسه‌ای است و باید با SEC پمپ در شرایط طراحی مقایسه شود.

SEC_1=(kW/Ton/h)برق مصرفی پمپ به واحد تولید محصول

همان‌گونه که از تعریف پیداست، عموماً این شاخص وضعیت یا به تعبیری اهمیت تجهیز را نسبت به کل سیستم از نظر مصرف انرژی مشخص می‌کند. با محاسبه این شاخص در مورد تمامی تجهیزات و مقایسه SEC_1 پمپ نسبت به آن‌ها، سهم مصرف انرژی پمپ نسبت به کل مصارف مشخص شده و با استفاده از آن می‌توان سهم تجهیزات را در مورد مصرف انرژی، تعیین نمود و اقدامات اصلاحی را جهت کاهش مصرف انرژی روی آن‌ها انجام داد. ضمناً اگر SEC_1 پمپ در حالت واقعی نسبت به حالت طراحی مقایسه شود، تا حدودی سهم و اهمیت میزان مصرف انرژی پمپ را می‌توان مشخص کرد.

نحوه برداشت و محاسبه شاخص: میزان مصرف برق در شرایط طراحی (توان نامی) از دیتاشیت یا پلاک مربوط به هر پمپ و توان بهره‌برداری و میزان تولید از اندازه‌گیری پرتابل بر خط (آنلاین) یا برداشت از دستگاه و یا سنسورهای ثابت و یا برگه های ثبت کننده به دست می‌آید.

شاخص SEC_{2P}: این شاخص بیانگر انرژی ویژه به ازای دبی جرمی بوده و نشان می‌دهد که پمپ چه مقدار انرژی برای ظرفیت واقعی عملیاتی خود مصرف کرده است. روند تغییرات این شاخص گویای صرفه‌جویی یا تلفات مقدار مصرف انرژی پمپ خواهد بود.

یکی از شاخص‌های پمپ جهت محاسبه میزان تلفات انرژی، شاخص SEC_2 است. اگر انرژی مصرف شده جهت پمپاژ سیال در حالت واقعی محاسبه شده و اختلاف آن با میزان مصرف انرژی پمپ در ظرفیت نامی به دست آید، تلفات انرژی در پمپ مشخص می‌شود. با کاهش دبی عبوری از پمپ، تلفات آن به‌طورمحسوسی بالا رفته و باید نسبت به ایجاد شرایط بهتر جهت کنترل دبی و تنظیم آن اقدام کرد.

نحوه برداشت و محاسبه شاخص:

$SEC_2=P/Q=$ برق مصرفی پمپ به دبی جرمی پمپ ($kW/kg/h$ یا $kW/m^3/s$)

میزان مصرف برق و دبی جرمی پمپ در شرایط طراحی (توان نامی) از دیتاشیت یا پلاک مربوط به هر پمپ و میزان توان الکتروموتور و میزان دبی جرمی پمپ بهره‌برداری از اندازه‌گیری پرتابل بر خط یا برداشت از دستگاه یا سنسورهای ثابت یا برگه‌های ثبت کننده به دست می‌آید.

شاخص CAP_P: این شاخص ظرفیت تجهیزات که میزان دبی جرمی عبوری در حالت بهره‌برداری به میزان دبی نامی پمپ بوده و نشان می‌دهد که ظرفیت پمپ چه میزان نسبت به حالت طراحی آن است. هر چه شاخص CAP به عدد یک

نزدیک‌تر باشد، عملکرد پمپ از لحاظ مصرف انرژی در شرایط مطلوب‌تری است. در واقع معمولاً بیشترین کارایی پمپ در حالت دبی طراحی می‌باشد. با توجه به نمودارهای مربوط به منحنی مشخصه پمپ‌ها، دور شدن از شرایط کارایی ایده‌آل[1] علاوه بر ایجاد لرزش و صدای زیاد در پمپ (که باعث افزایش فرسایش، تعمیرات و کاهش طول عمر پمپ می‌شود)، کارایی عملکرد پمپ را کاهش و در نتیجه اتلاف انرژی را افزایش می‌دهد.

$$CAP= \frac{\text{دبی عملیاتی پمپ}}{\text{دبی نامی پمپ}}$$

این شاخص که از مقایسه دبی عبوری پمپ در حالت واقعی نسبت به دبی عبوری از پمپ در حالت طراحی به دست می‌آید، بیانگر وضعیت پمپ از نظر فلودهی جرمی است.

در حقیقت این شاخص، نحوه کارکرد پمپ و کارایی آن را از نظر میزان عبور سیال به دست می‌آورد. بر این اساس می‌توان جهت بهبود و رفع مشکلاتی که باعث کاهش تغییرات در فلودهی پمپ شده‌اند، اقدامات اصلاحی را انجام داد.

نحوه برداشت و محاسبه شاخص: دبی گذرنده از پمپ در حالت طراحی از دیتاشیت مربوط به هر پمپ به دست می‌آید و با استفاده از تگ دبی (در صورت وجود)، موازنه یا شبیه‌سازی (در صورت امکان) یا اندازه‌گیری انجام می‌شود.

شاخصEEF_P: این شاخص کارآیی انرژی نامیده شده و به صورت نسبت کمیت انرژی به دبی، جریان در حالت عملیاتی به حالت طراحی تعریف می‌شود. این شاخص بیان می‌کند که دستگاه در شرایط فعلی، چه مقدار انرژی برای دبی جرمی گذشته از آن نسبت به حالت طراحی مصرف می‌کند. بالا رفتن این شاخص نشان می‌دهد که برای

1- Best Efficiency Point(BEP)

دبی مشخص جرمی، پمپ انرژی بیشتری مصرف می‌نماید که بیانگر پایین آمدن کارآیی دستگاه است. این کمیت به صورت درصد بیان می‌شود.

این شاخص تعریف دیگری از شاخص SEC_2 بوده و میزان مصرف انرژی در دبی واقعی را با میزان آن در حالت طراحی به صورت نسبی به دست می‌دهد. شاخص مذکور بر اساس درصد بیان شده و با استفاده از آن نمی‌توان تلفات پمپ را محاسبه کرد، اما یک حس کلی نسبت به وضعیت مصرف انرژی در پمپ به دست می‌آید.

نحوه برداشت و محاسبه شاخص: توان نامی الکتروموتور از دیتاشیت یا پلاک مربوط به هر پمپ و دبی گذرنده از پمپ در حالت طراحی از دیتاشیت مربوط به هر پمپ به دست می‌آید. همچنین توان الکتریکی مصرفی الکتروموتور، در صورت اندازه‌گیری پرتابل بر خط یا برداشت از دستگاه و یا سنسورهای ثابت و یا برگه های ثبت کننده و یا با استفاده از شبیه‌سازی محاسبه می‌شود و دبی گذرنده از پمپ با استفاده از تگ دبی (در صورت وجود)، موازنه یا شبیه‌سازی (در صورت امکان) و یا اندازه‌گیری، به دست می‌آید.

شاخص YEC_P[1]: میزان مصرف انرژی سالانه سیستم پمپاژ است.

نحوه برداشت و محاسبه شاخص:

$$YEC_P = \sum HP/\eta \times OH \times LF \times K$$

که در آن

EC = مصرف انرژی سالانه سیستم پمپ

N = تعداد پمپ‌ها در سیستم پمپ

HP = توان نامی پمپ‌ها در سیستم پمپ (به اسب بخار)

η = بازده نامی موتور

OH = ساعات کاری سیستم پمپ در سال (week/yr . day/week . hr/day)

1- Yearly Energy Consumption of Pump System

LF = ضریب بار پمپ‌ها در سیستم پمپ

K = ضریب تبدیل اسب بخار به کیلو وات

شاخص YEP_P[1]: این شاخص بیانگر قیمت انرژی سالانه سیستم پمپاژ است.

نحوه برداشت و محاسبه شاخص:

$YEP_P = YEC_P\,(kWh) \times$ Energy Price (Rials/kWh)

شاخص YEL_P[2]: میزان تلفات انرژی سالانه پمپ است.

نحوه برداشت و محاسبه شاخص: در محاسبات و تحلیل پیش‌رو، فرض می‌شود برای انجام عملیات پمپاژ، توان هیدرولیکی که سیال نیاز دارد مقدار ثابتی باشد، ولی به جای هر پمپ که دور از نقطه نامی[3] کار می‌کند، پمپی فرضی وجود دارد که در محدوده بهترین نقطه کاری خود کار می‌کند. به این ترتیب عملیات پمپاژ با کارایی بیشتری در پمپ انجام شده و در نتیجه تلفات پمپ کاهش می‌یابد. با توجه به روابط زیر:

$$\text{PH} = \frac{Q \times \rho \times g \times H}{1000}$$

$$\text{P\_on shaft} = \frac{P_H}{\eta_P}$$

H و η_P در روابط بالا از روی منحنی مشخصه پمپ در دبی عملیاتی خوانده می‌شود. محاسبات مربوطه، به این صورت انجام می‌گیرد که برای هر پمپ PH محاسباتی و با استفاده از منحنی مشخصه کارایی پمپ در دو حالت عملیاتی و طراحی (نامی) خوانده می‌شود. با استفاده از دو کارایی به دست آمده توان شفت مورد نیاز پمپ محاسبه می‌شود.

1- Yearly Energy Price of Pump System

2-Yearly Energy Losses of Pump System

3- Rate

❖$P_{sh-Op} = \frac{P_H}{\eta_{P-Op}}$

❖❖$P_{sh-BEP} = \frac{P_H}{\eta_{P-RATE}}$

P_{sh-op} توان شفت در حالت عملیاتی و $P_{sh-Rate}$ توان مورد نیاز شفت در حالتی است که پمپ در شرایط طراحی کار می‌کند. η_{P-op}و η_{P-Rate} به‌ترتیب کارایی پمپ در حالت طراحی و کارایی پمپ در نقطه طراحی می‌باشد. پس با استفاده از دو مقدار به دست آمده از روابط ❖و ❖❖و با استفاده از کارایی موتور الکتریکی (ηM)، مقدار توان الکتریکی مصرفی پمپ در هر دو حالت با توجه به روابط

$P_{in-Op} = \frac{P_{sh-Op}}{\eta_M}$ و $P_{in-Rate} = \frac{P_{sh-RATE}}{\eta_M}$

محاسبه می‌شود. در این روابط، P_{in-op} توان الکتریکی در حالت عملیاتی و $P_{in-Rate}$ توان الکتریکی در حالت طراحی و η_M کارایی الکتروموتور هستند. اختلاف توان به دست آمده از روابط مذکور بالا، توان الکتریکی تلف‌شده (kW_{loss}) است.

$kW_{loss} = P_{in-OP} - P_{in-RATE}$

به این ترتیب انرژی که در طول یک سال تلف می‌شود، از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$YEL_P = kW_{loss} \times$ Annual Operating hours

شاخص YLP_P[1]: هزینه ناشی از تلفات انرژی سالانه پمپ است.

نحوه برداشت و محاسبه شاخص: هزینه‌ای که بابت تلفات انرژی هر پمپ از بین می‌رود، از رابطه زیر به دست می‌آید:

$YLP_P = YEL_P \times$ Energy Price (Rials/kWh)

1- Yearly LossesPrice of Pump System

جدول (۳-۴۷) مروری بر شاخص‌های عملکرد انرژی پمپ

نام شاخص	اختصار	رابطه محاسباتی	متغیرها	واحد
توان مورد نیاز بر روی شفت	DTY_P	$DTY=\frac{P_H}{\eta_P}$ $PH=\frac{Q\times\rho\times g\times H}{1000}$	Q	Kg/h
			ρ	Kg/m^3
			H	m
			η_P	-
کارایی	EFF_P	-	-	-
درصد بارگذاری درایور پمپ	LOD_P	توان موتور بهره‌برداری به طراحی	توان بهره‌برداری/توان طراحی الکتروموتور	%
انرژی ویژه به ازای محصول	SEC_{1P}	برق مصرفی پمپ به واحد تولید	برق مصرفی پمپ/واحد تولید محصول	kW/Ton/h
انرژی ویژه به ازای دبی جرمی	SEC_{2P}	برق مصرفی پمپ به دبی گذرنده	برق مصرفی/دبی جرمی گذرنده از پمپ	kW/Kg/h
ظرفیت تجهیز	CAP_P	دبی پمپ بهره‌برداری به طراحی	دبی عملیاتی /دبی طراحی پمپ	-
کارآیی انرژی	EEF_P	انرژی به دبی پمپ عملیاتی به طراحی	(انرژی الکتریکی مصرفی/دبی عملیاتی پمپ)/(انرژی الکتریکی نامی/دبی نامی پمپ)	-

جدول (۳-۴۸) اندازه‌گیری شاخص‌های عملکرد انرژی پمپ

نام شاخص	پارامترها	منبع دسترسی		دستگاه اندازه‌گیری
		نامی	بهره برداری	
توان مورد نیاز بر روی شفت	Q	دیتاشیت	اندازه‌گیری/برداشت	تحلیل‌گر کیفیت توان
	ρ	دیتاشیت	شبیه‌سازی	-
	H	-	منحنی مشخصه	-
	η_P	دیتاشیت	منحنی مشخصه	-
کارایی	-	دیتاشیت	منحنی مشخصه	-
درصد بارگذاری درایور پمپ	توان بهره‌برداری	-	اندازه‌گیری/برداشت	تحلیل‌گر کیفیت توان
	توان نامی	دیتاشیت	-	-
انرژی ویژه به ازای محصول	برق مصرفی پمپ	دیتاشیت	اندازه‌گیری/برداشت	تحلیل‌گر کیفیت توان
	واحد تولید محصول	PFD	برداشت	-
انرژی ویژه به ازای دبی جرمی	میزان برق مصرفی پمپ	دیتاشیت	اندازه‌گیری/برداشت	تحلیل‌گر کیفیت توان
	دبی جرمی گذرنده از پمپ	دیتاشیت	اندازه‌گیری/برداشت	دبی‌سنج
ظرفیت تجهیز	دبی عملیاتی پمپ	-	اندازه‌گیری/برداشت	دبی‌سنج
	دبی نامی پمپ	دیتاشیت	-	-
کارآیی انرژی	برق مصرفی پمپ	-	اندازه‌گیری/برداشت	تحلیل‌گر کیفیت توان
	دبی عملیاتی پمپ	-	اندازه‌گیری/برداشت	دبی‌سنج
	میزان برق نامی پمپ	دیتاشیت	-	-
	دبی نامی پمپ	دیتاشیت	-	-

ج- شناسایی فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی و تکمیل پرسش‌نامه مدیریت انرژی پمپ

با شناسایی منابع بالقوه تلفات انرژی پمپ، می‌توان فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی در پمپ را مورد بررسی و شناسایی قرار داد. این منابع را می‌توان به چهار دسته تقسیم نمود.

۱- نگهداری و تعمیرات نامناسب سیستم پمپاژ

۲- عدم استفاده از تجهیزات و کنترل بهینه در سیستم پمپاژ

۳- طراحی و خرید نامناسب سیستم پمپاژ

۴- وضعیت نامناسب شاخص‌های عملکرد انرژی پمپ در حالت عملیاتی در مقایسه با مقادیر هدف

الف- فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی در نگهداری و تعمیرات سیستم پمپاژ

۱- وجود استراتژی مشخص نگهداری مناسب بر اساس طول عمر

۲- جایگزینی پمپ فرسوده (کارکرد مفید ۱۰ سال به بالا) با نوع پربازده

۳- برنامه‌ریزی و اجرای منظم بازرسی و تعمیر آب‌بندها

۴- بازدید و بررسی منظم جهت شناسایی، حذف یا کاهش نشتی در سیستم پمپ (در صورت وجود)

۵- برنامه‌ریزی و اجرای منظم روغن‌کاری و گریس‌کاری

۶- وضعیت عایق‌کاری مناسب در پمپ

۷- اجرای منظم برنامه تحلیل لرزش و صدای موتور و سایر قطعات مکانیکی

۸- بررسی اوریفیس مسیر مینیمم فلوی پمپ‌ها

۹- بررسی اوریفیس مسیر فلاشینگ پمپ‌ها و تجهیزات جانبی

۱۰- بررسی سیستم ردیابی پمپ‌ها

۱۱- دمای محیطی مناسب در اطراف دستگاه (دستگاه‌های در فضای بسته)

۱۲- وضعیت ظاهری مناسب پمپ (جرم روی فین‌های خنک‌کننده و خوردگی ظاهری پوسته)

ب- فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی در استفاده از تجهیزات و کنترل بهینه سیستم پمپاژ

۱- پایش مناسب متغیرهای مورد نیاز اعم از دبی، فشار و دما

۲- استفاده از پمپ‌های پربازده (دارای کارایی بالاتر)

۳- استفاده از موتورهای دوسرعته یا درایو کنترل سرعت (در صورت وجود دبی متغیر)

۴- وجود سیستم کنترل مناسب و مؤثر

۵- کنترل مناسب بار توسط سیستم پمپاژ موجود

ج- فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی با طراحی و خرید مناسب

۱- تناسب اندازه با درایور مربوطه (موتور توربین)

۲- ظرفیت بارگذاری (دبی) مناسب (بالای ۵۰ ٪)

۳- تناسب هد خروجی پمپ (کوتاه کردن یا تعویض پره‌ها)

۴- تناسب نوع پمپ با نوع سیال پمپاژ شده

د- فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی در بخش شاخص‌های عملکرد انرژی پمپ

۱- کارایی مناسب پمپ (با توجه به نوع و میزان کارایی نامی پمپ)

۲- کار در بهترین نقطه کاری خود (BEP)

۳- افت فشار کم (مناسب) در سیستم پمپاژ

۴- عدم وجود یا اصلاح لوله‌کشی غیر ضروری

۵- خاموش نمودن پمپ در موارد غیر ضروری

جدول (۳-۴۹) پرسش‌نامه مدیریت انرژی پمپ

نام بخش:	نام واحد:	شماره فنی تجهیز:		
	پتانسیل صرفه‌جویی انرژی	بلی	خیر	توضیحات
نت مؤثر	عدم وجود استراتژی مشخص نگهداری مناسب بر اساس طول عمر			
	آیا عمر کارکرد مفید پمپ بیش از ده سال است؟ (فرسوده)			
	عدم برنامه‌ریزی و اجرای منظم بازرسی و تعمیر آب‌بندها			
	وجود نشتی در سیستم پمپ			
	عدم برنامه‌ریزی و اجرای منظم روغن‌کاری وگریس‌کاری			
	مناسب نبودن وضعیت عایق‌کاری پمپ			
	عدم وجود برنامه تحلیل لرزش و صدای موتور و سایر قطعات مکانیکی			
	عدم بررسی اوریفیس مسیر مینیمم فلوی پمپ‌ها			
	عدم بررسی اوریفیس مسیر فلاشینگ پمپ‌ها و تجهیزات جانبی			
	عدم بررسی سیستم ردیابی پمپ‌ها			
	مناسب نبودن دمای محیط اطراف دستگاه			
	مناسب نبودن وضعیت ظاهری پمپ			
استفاده از تجهیزات/ کنترل بهینه	عدم پایش مناسب دبی، فشار و دما			
	عدم استفاده از پمپ پربازده			
	در صورت دبی متغیر، عدم استفاده از موتورهای دو سرعته یا VSD			
	عدم وجود سیستم کنترل مناسب و مؤثر			
	عدم کنترل مناسب بار توسط سیستم موجود			

طراحی/خرید	عدم تناسب اندازه با درایور مربوطه (موتور توربین)			
	ظرفیت بارگذاری نامناسب (دبی)			
	عدم تناسب هد خروجی پمپ			
	عدم تناسب نوع پمپ با نوع سیال پمپاژ شده			
بررسی عملکرد	عدم مناسب بودن کارایی پمپ/ عدم کار در بهترین نقطه کاری خود			
	افت فشار بالای سیستم پمپاژ			
	وجود لوله‌کشی غیر ضروری			
	روشن بودن پمپ حتی در موارد غیرضروری			

۳-۱۰ دستورالعمل نحوه عملکرد، اندازه‌گیری و تعریف شاخص‌های انرژی فن و دمنده

۳-۱۰-۱ هدف و دامنه کاربرد دستورالعمل نحوه تحلیل عملکرد انرژی فن و دمنده

هدف از تدوین این دستورالعمل، آشنایی ممیزان انرژی با نحوه تحلیل عملکرد انرژی فن و دمنده و دامنه کاربرد این دستورالعمل با توجه به معیارهای ممیزی انرژی (هدف کلان، نوع و سطح ممیزی، روش و استاندارد ممیزی، نحوه و میزان مشارکت کارکنان، محدوده و مدت زمان اجرای ممیزی و الزامات گزارش ممیزی)، تمامی یا بخشی از فن‌ها و دمنده‌های موجود در یک فرآیند صنعتی یا واحد عملیاتی یا شرکت تولیدی است.

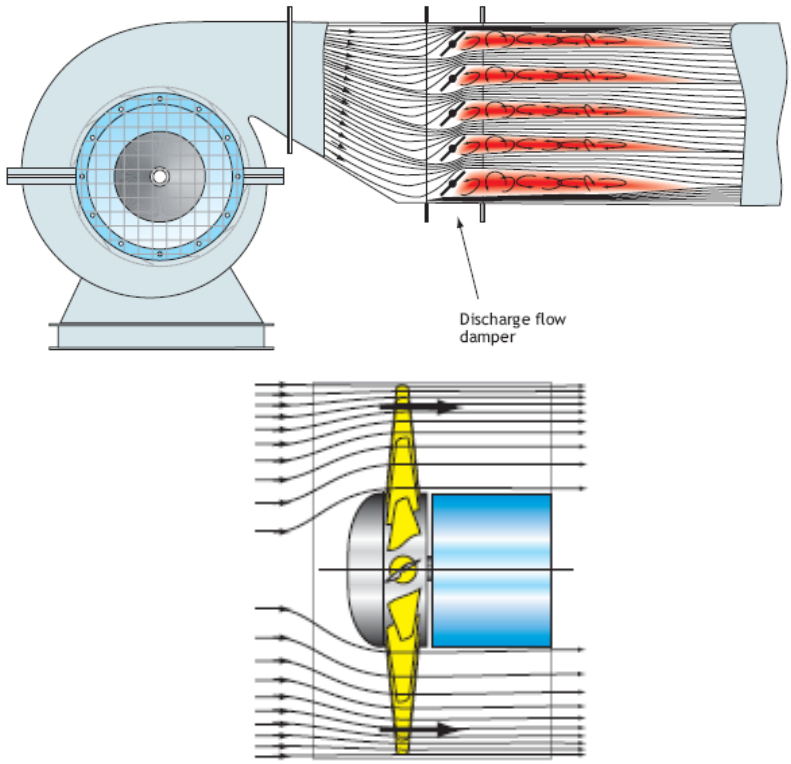
۳-۱۰-۲ مسئولیت تحلیل عملکرد انرژی فن و دمنده

مسئولیت تحلیل عملکرد انرژی فن و دمنده با تیم ممیزان انرژی شرکت تولیدی (درجه دو و سه / مقیم یا غیر مقیم) است. پیشنهاد می‌شود این تیم، حداقل متشکل از

کارشناسان جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها و اطلاعات اولیه، اندازه‌گیری و تحلیل متغیرها و شاخص‌های عملکرد انرژی و ارائه راهکارهای عملی صرفه‌جویی انرژی فن و دمنده باشد.

۳-۱۰-۳ واژگان دستورالعمل نحوه تحلیل عملکرد انرژی فن و دمنده

فن: از جمله تجهیزات انرژی‌بر الکتریکی در صنعت و ساختمان، فن می‌باشد. کاربردهای فن، استفاده در سیستم‌های احتراق جهت تأمین هوای احتراق و خروج گازهای احتراق، کندانسورهای هوای خنک در صنایع نیروگاهی و فرآیندی، برج‌های خنک‌کننده جهت خنک‌سازی آب و سیستم‌های تهویه در کارخانجات و ساختمان‌ها می‌باشد.



شکل (۳-۵۰) نمایی از عملکرد یک فن بهمراه مسیر عبور هوا از فن

انواع فن: فن‌ها را به دو گروه اصلی زیر می‌توان تقسیم‌بندی نمود:

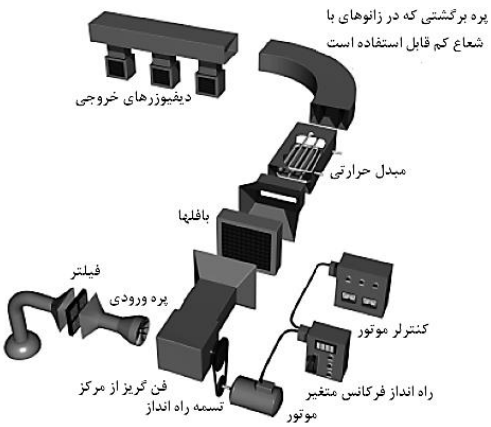
فن‌های نوع توربو[۱] و فن‌های نوع جابه‌جایی[۲]

فن‌های نوع توربو به دو نوع تقسیم می‌شوند:

۱- فن‌های محوری[۳] شامل الف- پروانه‌ای[۴]، ب- لوله محوری، ج- تیغه محوری

۲- فن‌های سانتریفوژ شامل الف- پره‌ای[۵]، ب- پره‌ای با خم به عقب[۶]، ج- شعاعی[۷]، د- پره‌ای‌باخم‌به جلو[۸]

اجزای فن: اجزای تشکیل شده فن با توجه به نوع فن متفاوت است، ولی به‌طورکلی یک فن از فیلتر، پره‌های ورودی، دیفیوزرهای خروجی، مبدل حرارتی، موتور، تسمه راه‌انداز و بافل‌ها تشکیل شده است.



شکل (۳- ۵۱) نمایی از اجزای یک فن

1- Turbo Type
2- Displacement Type
3- Axial
4- Propeller
5- Air Foil
6- Backward Inclined
7- Radial
8- Forwar - Curved

۳-۱۰-۴ شرح عملیات تحلیل عملکرد انرژی فن و دمنده

برای تحلیل عملکرد انرژی تجهیزات انرژی‌بر می‌توان به این شیوه گام به گام عمل نمود:

الف- تهیه شناسنامه انرژی فن و دمنده.

ب- تعریف و محاسبه شاخص‌های عملکرد انرژی فن و دمنده.

ج- شناسایی فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی و تکمیل پرسش‌نامه مدیریت انرژی فن و دمنده.

الف- تهیه شناسنامه انرژی فن و دمنده

جدول (۳-۵۰) شناسنامه انرژی فن

شماره فنی فن	نوع فن	سازنده	مصرف‌کننده نهایی	نوع کنترل (دستی/اتوماتیک)	توان	دبی ❖	ماکزیمم PD	دمای ورودی	دمای خروجی	فشار ورودی ❖	وجود موارد زیر				
					kW	Nm^3/h		^oC	^oC	bar-g	داده‌ها روی پلاک فن/ موتور	خواص گاز ❖❖❖	لای اوت و اندازه داکت ❖❖❖	منحنی مشخصه	جدول زمانی عملیاتی

❖دبی فن توسط آنیمومتر یا پیتوت تیوب در نقاط مختلف داکت اندازه گیری می‌شود.
❖❖فشار استاتیک اطراف فن می‌تواند توسط پیتوت تیوب داخل داکت اندازه‌گیری شود.
❖❖❖خواص گاز عبارتند از: نوع گاز، فشار محیط، فشار ورودی گاز، چگالی گاز، گرمای ویژه.
❖❖❖❖داکت‌ها می‌توانند دایره‌ای یا مستطیلی شکل باشند.

اتلاف در فن‌ها می‌تواند از اتصالات، فیلترها، دمپرها یا عوامل خارجی مرتبط با اصطکاک کانال باشد. اگرچه پیداکردن و محاسبه این تلفات سخت می‌باشد، ولی اندازه-گیری فشار در اتصالات، فیلترها، دمپرها یا عوامل خارجی برای محاسبه تلفات در شبکه کانال فن، کمک‌کننده است.

البته علاوه بر تهیه شناسنامه هر یک از فن‌ها، می‌توان به صورت جدول زیر نسبت به تهیه شناسنامه هر یک از سیستم‌های فن مورد استفاده در مجموعه نیز اقدام نمود.

جدول (۳-۵۱) شناسایی سیستم‌های فن

ناحیه	نام سیستم	نوع واحد	تعداد فن‌ها	توان نامی (کیلو وات)	نوع کنترل	کاربرد	وجود جدول زمانی عملیاتی

ب- تعریف و محاسبه شاخص‌های عملکرد انرژی فن و دمنده

توان مکانیکی لازم برای جابه‌جایی سیال توسط فن به صورت زیر محاسبه می‌شود:

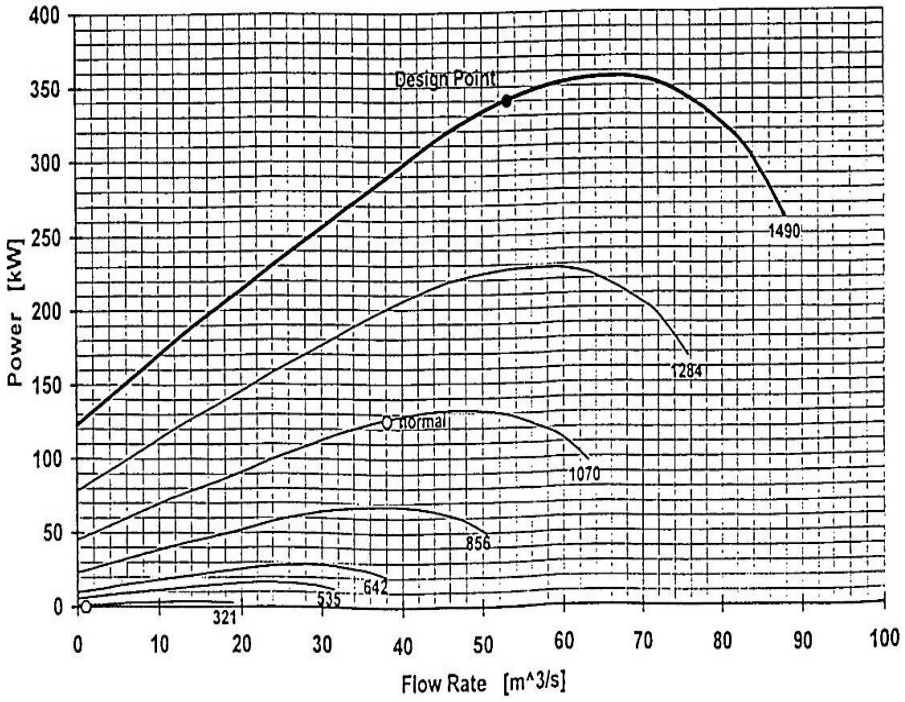
$$PH=\frac{Q\times\Delta p}{102}$$

که در این رابطه PH، توان مکانیکی فن (kW)؛ Q، دبی حجمی سیال (m^3/s) و Δp، فشار کلی سیستم (میلی‌متر جیوه) می‌باشد. با داشتن توان مکانیکی فن، بازده آن (ϵ_F) توسط رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\epsilon_F = \frac{Q \times \Delta p \times 100}{102 \times power\ used\ by\ fan\ (kW)}$$

با داشتن دبی حجمی جریان عبوری از فن و سرعت چرخش فن که معمولاً بر حسب RPM[1] بیان می‌شود، توان شفت آن توسط منحنی مشخصه فن قابل محاسبه است. در شکل ۳-۵۲ نمونه‌ای از آن آورده شده است.

اختلاف فشار ایجاد شده توسط فن از تگ‌های موجود در اتاق کنترل یا اندازه‌گیری توسط پیتوت تیوب داخل داکت و دور آن از تگ‌های موجود در اتاق کنترل یا اندازه‌گیری توسط دورسنج (استروبوسکوپ/تاکومتر) برداشت می‌شود.



شکل (۳-۵۲) نمونه‌ای از منحنی مشخصه فن

1- Round Per Minute

شاخص DTY_F: اولین شاخص فن، شاخص DTY می‌باشد که برابر توان شفت فن است. همچنین توان الکتریکی مصرفی الکتروموتور در حالت بهره‌برداری با استفاده از بازده نامی موتور (ϵ_M) از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$P\ (kW) = \frac{shaft\ power}{\epsilon_M}$$

این شاخص به‌طورمستقیم میزان مصرف انرژی در فن را به دست می‌دهد. زیرا کارایی نیز در محاسبه این شاخص دخیل است. براساس آن، هر چه دبی گذرنده از فن کمتر باشد، کارایی فن از حالت بهینه دور می‌شود و بالطبع انرژی مصرفی افزایش می‌یابد. معیار سنجش این شاخص، DTY فن در حالت طراحی آن است.

نحوه برداشت و محاسبه شاخص: توان شفت فن از منحنی مشخصه فن و براساس جریان عبوری از فن، از طریق برداشت مقدار تگ دبی از سیستم اسکادای اتاق کنترل (در صورت وجود) یا اندازه‌گیری توسط آنیمومتر یا پیتوت تیوب، موازنه یا شبیه‌سازی (در صورت امکان) قابل محاسبه است.

شاخص CAP_F: یکی از متغیرهای مهم در مصرف انرژی فن‌ها، طراحی مناسب فن و استفاده از درایور متناسب با آن فن است. در ادامه دو شاخص CAP و LOD تعریف می‌شود. شاخص ظرفیت، نشان می‌دهد که ظرفیت فن چه میزان نسبت به حالت طراحی آن است که هر چه به عدد ۱ نزدیک‌تر باشد، عملکرد تجهیز در شرایط مطلوب‌تری است. شاخص ظرفیت فن به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$CAP_F = \frac{\text{دبی گذرنده از فن در حالت}}{\text{دبی نامی فن}}$$

این شاخص بیانگر وضعیت فن از نظر فلودهی جرمی است. در حقیقت این شاخص که از مقایسه دبی عبوری فن در حالت واقعی نسبت به دبی عبوری فن در حالت طراحی به دست می‌آید، نحوه کارکرد فن و کارآیی آن را از نظر میزان عبور سیال به

دست می‌دهد. بر این اساس می‌توان جهت بهبود و رفع مشکلاتی که باعث کاهش تغییرات در فلودهی فن شده‌اند، اقداماتی اصلاحی انجام داد.

نحوه برداشت و محاسبه شاخص: دبی نامی از دیتاشیت مربوط به هر فن و دبی گذرنده از فن با استفاده از برداشت مقدار تگ دبی از سیستم اسکادای اتاق کنترل (در صورت وجود) یا اندازه‌گیری توسط آنیمومتر یا پیتوت تیوب، موازنه یا شبیه‌سازی (در صورت امکان) به دست می‌آید.

شاخص LOD_F: شاخص درصد بارگذاری برای درایور سیستم فن یعنی الکتروموتور به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$LOD_{F=} \frac{\text{توان الکتریکی}}{\text{توان}}$$

بهترین بازه برای این دو شاخص بین ۰/۷۵تا ۱ بوده و بدین معناست که فن و الکتروموتور آن هر دو متناسب و در این حالت، تلفات انرژی در آن حداقل میزان ممکن هستند.

همان‌گونه که مشخص است، توان الکتریکی مصرفی الکتروموتور کمتر از میزان توان نامی آن است. این امر می‌تواند ناشی از تلفات رایج الکتروموتور اعم از تلفات بارداری، تلفات بی‌باری و تلفات تهویه، یا تلفات انرژی ناشی از عدم کارایی بهینه فن باشد. از جمله شاخص‌هایی که برای محاسبه میزان تلفات انرژی و کارایی در فن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، شاخص بارگذاری است که با محاسبه آن، وضعیت بارگذاری تجهیز مشخص می‌شود. اگر اختلاف توان مصرفی الکتروموتور در حالت واقعی نسبت به توان مصرفی آن در حالت طراحی به دست آید، تلفات انرژی تجهیز به کیلووات‌ساعت مشخص شده و در صورتی‌که در هزینه هر کیلوات ساعت برق مصرفی ضرب شود، هزینه تلفات انرژی در تجهیز محاسبه می‌گردد.

نحوه برداشت و محاسبه شاخص: توان نامی الکتروموتور نیز از دیتاشیت یا پلاک

مربوط به موتور و توان مصرفی الکتروموتور در شرایط بهره‌برداری با اندازه‌گیری توسط دستگاه تحلیل‌گر کیفیت توان یا کلمپ‌متر به دست می‌آید.

شاخص SEC_{1F}[1]: شاخص انرژی ویژه به ازای محصول است که با عنوان شاخص جذب نیز مشهور است، نشان می‌دهد که سهم مصرف انرژی هر یک از فن‌ها یا دمنده‌ها برای تولید واحد جرمی محصول، چقدر است. این شاخص مقایسه‌ای بوده و باید با مقدار هدف آن (میزان مصرف انرژی الکتریکی طراحی به میزان تولید اسمی واحد) مقایسه شود. به عبارت دیگر این شاخص، سهم مصرف انرژی فن را با تغییر ظرفیت تولید واحد نشان می‌دهد.

انرژی ویژه به ازای محصول= میزان مصرف انرژی الکتریکی موتورسیستم فن به میزان تولید واحد

همان‌گونه که از تعریف شاخص پیداست، عموماً وضعیت یا به تعبیری اهمیت تجهیز را نسبت به کل سیستم از نظر مصرف انرژی مشخص می‌کند. با محاسبه این شاخص در مورد تمامی تجهیزات و مقایسه SE_{C1} فن نسبت به آن‌ها، سهم مصرف انرژی فن در شرکت مشخص شده و با استفاده از آن می‌توان سهم تجهیزات را در مورد مصرف انرژی، تعیین نمود و اقدامات اصلاحی را جهت کاهش مصرف انرژی روی آن‌ها انجام داد. ضمناً اگر SE_{C1} فن در حالت واقعی نسبت به حالت طراحی مقایسه شود، تا حدودی سهم و اهمیت میزان مصرف انرژی آن را می‌توان مشخص کرد.

نحوه برداشت و محاسبه شاخص: میزان مصرف برق در شرایط طراحی (توان نامی) از دیتاشیت یا پلاک مربوط به هر الکتروموتور و توان بهره‌برداری و میزان تولید از اندازه‌گیری پرتابل بر خط یا برداشت از دستگاه یا سنسورهای ثابت یا لاگ‌شیت به دست می‌آید.

1- Specific Energy per Product

شاخص SEC_{2F}[1]: شاخص انرژی ویژه به ازای دبی گذرنده از فن نشان می‌دهد که هر یک از فن‌های شرکت، چه مقدار انرژی برای ظرفیت واقعی عملیاتی خود مصرف کرده‌اند. روند تغییرات این شاخص گویای صرفه‌جویی یا تلفات در میزان مصرف انرژی فن‌ها خواهد بود. افزایش این شاخص برای تجهیز فن بدین معناست که به ازای یک ظرفیت معین، مصرف انرژی نسبت به حالت بهینه افزایش یافته است. اگر شرایط عملیاتی ایجاب کند و دبی سیال عبوری از فن کاهش یابد، این شاخص افزایش می‌یابد. یعنی در واقع از روش مناسبی جهت کنترل دبی استفاده نمی‌شود.

یکی از شاخص‌های فن جهت محاسبه میزان تلفات انرژی، شاخصSEC_2 است. اگر انرژی مصرف شده جهت عبور سیال در حالت واقعی، محاسبه شده و اختلاف آن با مصرف انرژی فن در ظرفیت نامی به دست آید، این عدد همان تلفات انرژی در فن است. در صورت کاهش جریان عبوری از فن این شاخص نیز بالا رفته و تلفات به‌طورمحسوسی افزایش می‌یابد. با استفاده از این شاخص و ردیابی تغییرات آن می‌توان شرایط کنترل دبی را بهبود بخشید.

نحوه برداشت و محاسبه شاخص: میزان مصرف برق در شرایط طراحی (توان نامی) و دبی گذرنده از فن از دیتاشیت یا پلاک مربوط به هر فن و الکتروموتور و میزان توان الکتروموتور و میزان دبی گذرنده از فن در شرایط بهره‌برداری از اندازه‌گیری پرتابل بر خط(آنلاین) (آنیمومتر/پیتوت تیوب) یا برداشت از دستگاه یا سنسورهای ثابت یا لاگ‌شیت به دست می‌آید.

$SEC_{2F}=P/Q=$ برق مصرفی فن به دبی گذرنده از فن $(kW/m^3/s)$

شاخص EEF_F[2]: شاخص کارآیی انرژی فن به‌صورت نسبت کمیت میزان برق مصرفی به دبی گذرنده در حالت بهره‌برداری به حالت طراحی و نامی تعریف می‌شود. این

1- Specific Energy per Flow

2- Energy performance

شاخص بیان می‌کند که فن‌ها در شرایط موجود، چه مقدار انرژی الکتریکی برای دبی گذرنده از آن نسبت به حالت طراحی/ نامی مصرف می‌کند. بالا رفتن این شاخص نشان می‌دهد که سیستم فن برای دبی مشخص، انرژی بیشتری مصرف می‌نماید و بیانگر کاهش کارآیی دستگاه است. این کمیت به صورت ٪ بیان می‌شود.

نحوه برداشت و محاسبه شاخص: لازم به ذکر است جهت انجام محاسبات، دبی گذرنده از فن با استفاده از اندازه‌گیری پرتابل بر خط (آنیمومتر/پیتوت تیوب) یا برداشت تگ دبی از اتاق کنترل (در صورت وجود) یا سنسورهای ثابت یا لاگ شیت، موازنه یا شبیه‌سازی (در صورت امکان) به دست می‌آید.

شاخص[1] YEC_F: میزان مصرف انرژی سالانه سیستم فن می‌باشد.

نحوه برداشت و محاسبه شاخص:

$$YEC_F = \sum HP/\eta \,.\, OH \,.\, LF \,.\, K$$

که در آن

YEC_F = مصرف انرژی سالانه سیستم فن

N = تعداد فن‌ها در سیستم فن

HP = توان نامی فن‌ها در سیستم فن (به اسب بخار)

η = بازده نامی موتور

OH = ساعات کاری سیستم فن در سال (week/yr . day/week . hr/day)

LF = ضریب بار فن‌ها در سیستم فن

K = ضریب تبدیل اسب بخار به کیلو وات

شاخص[2] YEP_F: قیمت انرژی سالانه سیستم فن است.

نحوه برداشت و محاسبه شاخص:

$$YEP_F = YEC_F(kWh) \times \text{Energy Price (Rials/kWh)}$$

1- Yearly Energy Consumption of Fan System

2- Yearly Energy Price of Fan System

جدول (۳-۵۲) شاخص‌های عملکرد انرژی فن و دمنده

نام شاخص	اختصار	رابطه محاسباتی	متغیرها	واحد
توان مورد نیاز بر روی شفت	DTY_F	-	-	kW
کارایی%	EFF	$EEf = \frac{Q \times \Delta p \times 100}{102 \times Psh}$	Q	m^3/s
			ΔP	mm_{wg}
			$P_{on\ shaft}$	kW
درصد بارگذاری درایور فن/دمنده	LOD_F	توان موتور بهره‌برداری به طراحی	توان الکتریکی بهره برداری الکتروموتور	kW
			توان الکتریکی طراحی الکتروموتور	kW
انرژی ویژه به ازای محصول	SEC_{1F}	برق مصرفی فن/دمنده به واحد تولید	میزان برق مصرفی فن/دمنده	kW
			واحد تولید محصول	ton/h
انرژی ویژه به ازای دبی جرمی	SEC_{2F}	برق مصرفی فن/دمنده به دبی گذرنده فن/دمنده	میزان برق مصرفی فن/دمنده	kW
			دبی جرمی گذرنده از فن/دمنده	kg/h
ظرفیت تجهیز	CAP_F	دبی فن/دمنده بهره برداری به طراحی	دبی گذرنده از فن/دمنده (بهره‌برداری)	–
			دبی نامی گذرنده از فن/دمنده	
کارآیی انرژی	EEF_F	انرژی به دبی فن/دمنده عملیاتی به طراحی	میزان برق مصرفی فن/دمنده (بهره‌برداری)	–
			دبی جریان گذرنده از فن/دمنده (بهره‌برداری)	

			میـــزان بـــرق نـــامی فن/دمنده	
			دبـــی نـــامی گذرنـــده از فن/دمنده	

جدول (۳-۵۳) اندازه‌گیری شاخص‌های عملکرد انرژی فن/ دمنده

شاخص	متغیرها	منبع دسترسی	
		نامی	بهره‌برداری
توان مورد نیـاز بـر روی شفت DTY_F	-	دیتاشیت	منحنی مشخصه
ظرفیـــــــــت تجهیز CAP_F	دبـــی گذرنـــده از فن/دمنـــده (بهره‌برداری)	-	اندازه‌گیری/برداشت
	دبی نامی گذرنده از فن/دمنده	دیتاشیت	-
درصـــد بارگـــذاری درایور فن/دمنـــده LOD_F	توان بهره‌برداری موتور	-	اندازه‌گیری/برداشت
	توان نامی موتور	دیتاشیت	-
راندمان%	Q	دیتاشیت	اندازه‌گیری/برداشت
	ΔP		برداشت
	Pon shaft		منحنی مشخصه
انرژی ویژه به ازای محصول SEC_{1F}	میزان برق مصرفی فن/دمنده	دیتاشیت	اندازه‌گیری/برداشت
	واحد تولید محصول	PFD	برداشت
انرژی ویژه به ازای دبی جرمی SEC_{2F}	میزان برق مصرفی فن/دمنده	دیتاشیت	اندازه‌گیری/برداشت
	دبـــی جرمـــی گذرنـــده از فن/دمنده	دیتاشیت	اندازه‌گیری/برداشت
کارآیی انرژی EEF_F	میزان برق مصرفی فن/دمنده	-	اندازه‌گیری/برداشت

کارآیی انرژی EEF_F	دبی گذرنده از فن/دمنده (بهره‌برداری)	-	اندازه‌گیری/برداشت
	میزان برق نامی فن/دمنده	دیتاشیت	-
	دبی نامی گذرنده از فن/دمنده	دیتاشیت	-

ج- شناسایی فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی و تکمیل پرسش‌نامه مدیریت انرژی فن و دمنده.

الف- فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی در نگهداری و تعمیرات مناسب فن

۱- تدوین راهبرد مشخص نگهداری مناسب فن و دمنده بر اساس طول عمر

۲- جایگزینی فن فرسوده (کارکرد مفید ۱۰ سال به بالا) با نوع پر بازده

۳- وضعیت مناسب ظاهری (تمیزکاری و روغن‌کاری منظم، رفع شکستگی و اصلاح پوسیدگی)

۴- وضعیت مناسب کنترل و آب‌بندی دمپر در زمان بسته بودن

۵- وضعیت مناسب پره‌ها (تنظیم صحیح زاویه، وضع ظاهری سطوح پره)

۶- وضعیت مناسب اتصالات الکتریکی فن‌ها

۷- وضعیت مناسب فیلتر هوا

۸- کنترل کیفیت و دمای روغن یاتاقان[1]

۹- بررسی وضعیت کشش V-belt و پولی

۱۰- تدوین و اجرای برنامه تحلیل لرزش و صدای موتور و سایر قطعات مکانیکی سیستم

۱۱- بازدید و بررسی منظم جهت شناسایی، حذف یا کاهش نشتی کانال‌ها در مسیر دمش و مکش هوا(ورودی و خروجی)

1- Bearing

ب- فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی در استفاده از تجهیزات و کنترل بهینه در فن

۱- پایش مناسب متغیرها مانند دبی، فشار و دما

۲- استفاده از فن پربازده

۳- استفاده از سیستم کنترل زاویه پره‌ها و ورودی دمپرها

۴- بررسی وضعیت تجهیزات کنترلی فن

۵- استفاده از موتورهای دو سرعته یا درایور کنترل سرعت (در صورت دبی متغیر)

ج- فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی با طراحی و خرید مناسب

۱- تناسب اندازه فن با موتور مربوطه

۲- ظرفیت بارگذاری مناسب سیستم فن

۳- امکان کاهش دبی فن

۴- تناسب اندازه لوله‌های لوله‌کشی کانال با دبی و سرعت فن

۵- استفاده از تبدیل‌ها و زانوهای کافی و مناسب

د- فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی با بررسی عملکرد فن

۱- توزیع مناسب هوای ورودی

۲- افت فشار کم (مقاومت لوله‌ها) در کانال

۳- وضعیت مناسب داکت هوا (اتصالات و نشتی‌ها و DP)

۴- کیفیت مناسب هوای خروجی (جلوگیری از رطوبت و تشکیل جرم در سطوح - داخل داکت)

۵- امکان به حداقل رساندن دور فن

۶- خاموش نمودن فن در موارد غیر ضروری

جدول (۳-۵۴) پرسش‌نامه مدیریت انرژی فن و دمنده

	پتانسیل صرفه‌جویی انرژی	بلی	خیر	توضیحات
نت مؤثر	عدم وجود استراتژی مشخص نگهداری مناسب بر اساس طول عمر			
	عمر کارکرد مفید فن بالای ده سال			
	مناسب نبودن وضعیت ظاهری			
	وضعیت نامناسب کنترل و آب‌بندی دمپر در زمان بسته بودن			
	وضعیت نامناسب پره‌ها			
	وضعیت نامناسب اتصالات الکتریکی فن‌ها			
	وضعیت نامناسب فیلتر هوا			
	عدم کنترل کیفیت و دمای روغن یاتاقان			
	عدم بررسی وضعیت کشش V-belt و پولی			
	عدم وجود برنامه تحلیل لرزش و صدای موتور و سایر قطعات مکانیکی سیستم			
	وجود نشتی در کانال‌ها در مسیر دمش یا مکش (ورودی و خروجی) هوا			
استفاده از تجهیزات/ کنترل بهینه	عدم پایش مناسب دبی، فشار و دما			
	عدم استفاده از فن پربازده			
	عدم استفاده از سیستم کنترل زاویه پره‌ها و ورودی دمپرها			
	عدم بررسی وضعیت تجهیزات کنترلی فن			
	در صورت دبی متغیر، عدم استفاده از موتورهای دو سرعته یا VSD			

طراحی/خرید	عدم تناسب اندازه فن با موتور مربوطه			
	ظرفیت بارگذاری نامناسب سیستم فن			
	عدم امکان کاهش دبی فن			
	عدم تناسب اندازه لوله‌های لوله‌کشی کانال با دبی و سرعت فن			
	عدم استفاده از تبدیل‌ها و زانوهای کافی و مناسب			
بررسی عملکرد	توزیع نامناسب هوای ورودی			
	بالا بودن افت فشار (مقاومت لوله‌ها) در کانال			
	وضعیت نامناسب داکت هوا (اتصالات و نشتی‌ها و DP)			
	کیفیت نامناسب هوای خروجی			
	عدم امکان به حداقل رساندن دور فن			
	روشن بودن فن حتی در موارد غیرضروری			

۳-۱۱ دستورالعمل نحوه عملکرد، اندازه‌گیری و تعریف شاخص‌های انرژی کمپرسور

۳-۱۱-۱ هدف و دامنه کاربرد دستورالعمل نحوه تحلیل عملکرد انرژی کمپرسور

هدف از تدوین این دستورالعمل آشنایی ممیزان انرژی با نحوه تحلیل عملکرد انرژی کمپرسور بوده و دامنه کاربرد آن وابسته به معیارهای ممیزی انرژی (هدف کلان، نوع و سطح ممیزی، روش و استاندارد ممیزی، نحوه و میزان مشارکت کارکنان، محدوده و مدت زمان اجرای ممیزی و الزامات گزارش ممیزی) تمامی یا بخشی از کمپرسورهای موجود در یک فرآیند صنعتی یا واحد عملیاتی یا شرکت تولیدی است.

۳-۱۱-۲ مسئولیت تحلیل عملکرد انرژی کمپرسور

مسئولیت تحلیل عملکرد انرژی کمپرسور با تیم ممیزان انرژی شرکت تولیدی

(درجه دو و سه / مقیم یا غیر مقیم) است. پیشنهاد می‌شود این تیم، حداقل متشکل از کارشناسان جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها و اطلاعات اولیه، اندازه‌گیری و تحلیل متغیرها و شاخص‌های عملکرد انرژی و ارائه راهکارهای عملی صرفه‌جویی انرژی کمپرسور باشد.

۳-۱۱-۳ واژگان دستورالعمل نحوه تحلیل عملکرد انرژی کمپرسور

انواع کمپرسور: کمپرسورهای مورد استفاده برای تولید هوای فشرده عمدتاً براساس ظرفیت تولید (lit/sec) و فشار تحویلی (psig) طبقه‌بندی می‌شوند.

۱- کمپرسورهای رفت و برگشتی[1]

۲- کمپرسورهای پیچی[2]

۳- کمپرسورهای تیغه‌ای[3]

۴- کمپرسورهای سانتریفوژ[4]

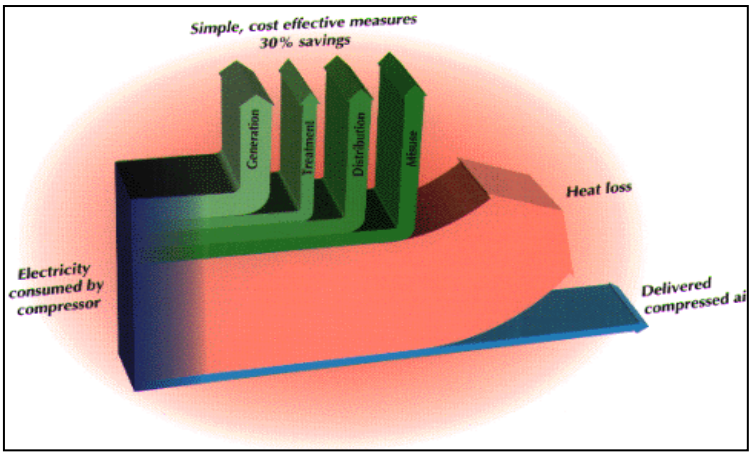
جدول (۳-۵۵) مقایسه مشخصات انواع کمپرسورها

نوع کمپرسور	روان‌کاری	سیستم خنک‌کننده	ظرفیت تولید	مصرف ویژه انرژی در بار کامل	بازده عملکرد در بار جزئی	هزینه سرمایه‌گذاری	هزینه بهره‌برداری	سطح نت مورد نیاز
رفت و برگشتی	روغن	هوا	۲-۲۵	۵۱۰	خوب	متوسط	متوسط	متوسط
		هوا / آب	۲۵-۲۵۰	۴۲۵				
			۲۵۰-۱۰۰۰	۳۶۱	عالی	زیاد	کم	بالا

1- Reciprocating Compressors
2- Rotary Screw Comperessors
3- Sliding Vane Compressors
4- Centerifugal Compressors

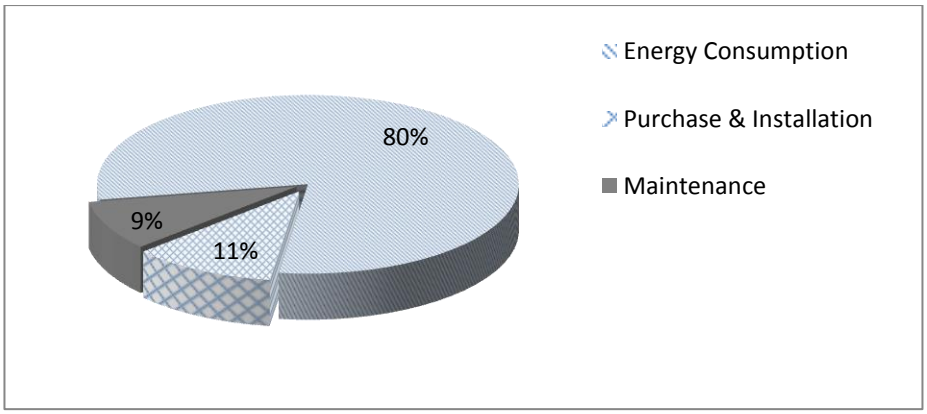
	بدون روغن	هوا	۲-۲۵	۵۵۲	خوب	متوسط	متوسط
		هوا/ آب	۲۵-۲۵۰	۴۶۷			
			۲۵۰-۱۰۰۰	۴۰۴	عالی	زیاد	کم
پیچی	تزریق روغن	هوا	۲-۲۵	۵۱۰	ضعیف	کم	زیاد
		هوا/آب	۲۵-۲۵۰	۴۴۶	خوب		
			۲۵۰-۱۰۰۰	۴۰۴	نسبتاً خوب	متوسط	متوسط
	بدون روغن	هوا	۲۵-۲۵۰	۴۲۹	خوب	زیاد	
			۲۵۰-۱۰۰۰	۳۸۲			
		هوا/ آب	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۳۸۲			کم
تیغه‌ای	تزریق روغن	هوا	۲-۲۵	۵۱۰	ضعیف	کم	زیاد
			۲۵-۲۵۰	۴۴۶	نسبتاً خوب		
سانتریفوژ	بدون روغن	آب	۲۵۰-۱۰۰۰	۴۴۶	خوب	متوسط	متوسط
			۱۰۰۰-۲۰۰۰	۳۸۲	عالی		
			بیش از ۲۰۰۰	۳۶۱		زیاد	کم

مصرف انرژی در کمپرسور: تقریباً ده درصد از کل مصرف انرژی الکتریکی در صنایع، به تولید هوای فشرده اختصاص دارد. در بسیاری از صنایع، کمپرسورها جهت تأمین فشار لازم برای گازهای مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند. فقط حدود ۳۰٪ انرژی ورودی به کمپرسور، در محل مصرف‌کننده به انرژی مفید تبدیل می‌شود و حدود ۷۰٪ انرژی ورودی به صورت تلفات حرارتی، تلفات انتقال، لرزش و... هدر می‌رود. در شکل ۳-۵۳ مصرف انرژی معمول درکمپرسورهای هوای فشرده نمایش داده شده است.



شکل (۳-۵۳) نمودار مصرف انرژی در کمپرسورها

هزینه انرژی در کمپرسور: در شکل ۳-۵۴ کلیه هزینه‌های مربوط به کمپرسور، از سرمایه‌گذاری ابتدایی تا انتهای زمان استفاده از کمپرسور (طول عمر کاری) نمایش داده شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود ۸۰٪ هزینه‌های کمپرسور، مربوط به مصرف انرژی می‌باشد، در حالی‌که فقط ۱۱٪ هزینه‌ها مربوط به سرمایه‌گذاری اولیه یا خرید، نصب و راه‌اندازی کمپرسور است. از این‌رو اهمیت بررسی مصرف انرژی در کمپرسورها و تلاش در جهت بهبود عملکرد آن‌ها امری ضروری است.



شکل (۳-۵۴) هزینه‌های مربوط به یک کمپرسور در طول عمر مفید کاری

۳-۱۱-۴ شرح عملیات تحلیل عملکرد انرژی کمپرسور

برای تحلیل عملکرد انرژی کمپرسور می‌توان به شیوه گام به گام زیر عمل کرد:

الف- تهیه شناسنامه انرژی کمپرسور

ب- تعریف و محاسبه شاخص‌های عملکرد انرژی کمپرسور

ج- شناسایی فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی و تکمیل پرسش‌نامه مدیریت انرژی کمپرسور

الف- تهیه شناسنامه انرژی کمپرسور

کمپرسورها یکی از تجهیزات پرمصرف انرژی محسوب می‌شوند و بررسی دقیق شرایط عملیاتی و شناسایی شاخص‌های عملکرد انرژی آن‌ها، تا حدود زیادی می‌تواند نسبت به شناسایی و کاهش منابع هدر رفت انرژی کمک نماید.

جدول (۳-۵۶) مشخصات نامی کمپرسور

شماره فنی کمپرسور	نوع کمپرسور	سازنده	مصرف‌کننده نهایی	نوع خنک‌کنندگی	روش روغن‌کاری	شماره مرحله	نوع کنترل		دبی	توان	دمای ورودی	دمای خروجی	فشار ورودی ❖	فشار خروجی ❖	وجود موارد زیر		
							دستی	اتوماتیک	kg/h	kW	°C	°C	bar	bar	داده ها روی پلاک	مشخصات ❖	جدول زمانی عملیاتی
						-											
						-											
						۱											
						۲											
						۳											
						۴											

❖ خواندن فشارها توسط گیج‌های موجود❖❖توان شافت در بار کامل، ظرفیت نامی در فشار عملیاتی بار کامل (ACFM)، فشار عملیاتی بار کامل (psig)، ماکزیمم فشار عملیاتی در بار کامل (psig)، توان ورودی کل سیستم هوای فشرده در شرایط نامی (kW)، توان ورودی سیستم مشخص هوای فشرده در شرایط نامی (kW/100 ACFM)

ب- تعریف و محاسبه شاخص‌های عملکرد انرژی کمپرسور

شاخصDTY_C: این شاخص میزان انرژی لازم بر روی شفت کمپرسور را نشان می‌دهد.

از آنجایی‌که کارایی نیز در محاسبه این شاخص دخیل است، این شاخص به‌طور مستقیم میزان مصرف انرژی در کمپرسور را به دست می‌دهد. براساس آن، هر چه دبی گذرنده از کمپرسور کمتر باشد، کارایی کمپرسور از حالت بهینه دور می‌شود و بالطبع انرژی مصرفی افزایش می‌یابد. معیار سنجش این شاخص، DTY کمپرسور در حالت طراحی آن است.

نحوه برداشت و محاسبه شاخص: مقدار طراحی این شاخص از دیتاشیت و مقدار بهره‌برداری آن از شبیه‌سازی به دست می‌آید.

شاخص LOD_C: این شاخص بیانگر درصد بارگذاری درایور کمپرسور بوده و عبارت است از نسبت توان مصرفی الکتروموتور در حالت بهره‌برداری به توان نامی.

$$LOD_C = \frac{\text{توان مصرفی کمپرسور در حالت بهره‌برداری}}{\text{توان نامی کمپرسور}}$$

توان نامی الکتروموتور از دیتاشیت مربوط به هر کمپرسور یا پلاک موتور به دست می‌آید. همچنین توان مصرفی الکتروموتور در حالت بهره‌برداری، از طریق اندازه‌گیری پرتابل بر خط یا برداشت از دستگاه‌ها و یا سنسورهای ثابت و یا لاگ‌شیت و یا با استفاده از شبیه‌سازی محاسبه شده و رابطه آن به صورت زیر است:

$$\text{Pop} = \frac{P on\ shaft}{\eta_M}$$

در این رابطه P_{op}، توان الکتریکی در حالت بهره‌برداری، $P_{on\text{-}shaft}$ توان مورد نیاز بر روی شفت کمپرسور و η_M کارایی الکتروموتور است.

از جمله شاخص‌هایی که برای محاسبه میزان تلفات انرژی و کارایی در کمپرسورها مورد استفاده قرار می‌گیرد، شاخص بارگذاری است که با محاسبه آن وضعیت بارگذاری تجهیز مشخص می‌شود. اگر اختلاف توان مصرفی الکتروموتور در حالت واقعی نسبت به توان مصرفی آن در حالت طراحی به دست آید، تلفات انرژی تجهیز، بر حسب کیلووات‌ساعت می‌شود. در صورتی‌که در هزینه هر کیلووات‌ساعت برق مصرفی ضرب شود، هزینه تلفات انرژی در کمپرسور محاسبه می‌شود.

نحوه برداشت و محاسبه شاخص: توان نامی الکتروموتور از دیتاشیت مربوط به هر کمپرسور یا پلاک موتور به دست می‌آید. همچنین توان مصرفی الکتروموتور در حالت بهره‌برداری، از طریق اندازه‌گیری پرتابل بر خط یا برداشت از دستگاه‌ها و یا سنسورهای ثابت، یا لاگ‌شیت و یا با استفاده از شبیه‌سازی محاسبه می‌شود.

شاخص CAP_C: این شاخص، ظرفیت کمپرسور بوده و بیانگر میزان دبی جرمی عبوری در حالت بهره‌برداری به میزان دبی در حالت طراحی کمپرسور است. این شاخص ظرفیت عملی کمپرسور را نسبت به حالت طراحی آن نشان می‌دهد. به‌طور کلی در کمپرسور، با دور شدن از شرایط طراحی، کارایی کاهش می‌یابد.

این شاخص بیانگر وضعیت کمپرسور از نظر جریان‌دهی جرمی است. در حقیقت این شاخص که از مقایسه دبی عبوری کمپرسور در حالت واقعی نسبت به دبی عبوری از کمپرسور در حالت طراحی به دست می‌آید، نحوه کارکرد و کارایی کمپرسور را از نظر میزان عبور سیال به دست می‌دهد، بر این اساس می‌توان جهت بهبود و رفع مشکلاتی که باعث کاهش تغییرات در جریان‌دهی کمپرسور شده‌اند، اقدامات اصلاحی را انجام داد.

نحوه برداشت و محاسبه شاخص: دبی گذرنده از کمپرسور در حالت طراحی از دیتاشیت مربوط به هر کمپرسور به دست می‌آید. دبی‌گذرنده از کمپرسور با استفاده از تگ دبی (در صورت وجود)، موازنه یا شبیه‌سازی (در صورت امکان) یا اندازه‌گیری به دست می‌آید.

$$CAP = \frac{\text{دبی عملیاتی}}{\text{دبی نامی}}$$

شاخص SEC_{1C}: این شاخص انرژی ویژه به ازای محصول بوده و با عنوان شاخص جذب نیز مشهور است. شاخص مذکور نشان می‌دهد که کمپرسور چه مقدار انرژی برای تولید واحد جرمی محصول، مصرف کرده است که به صورت مقایسه‌ای بوده و باید با SEC کمپرسور در شرایط طراحی مقایسه شود.

همان‌گونه که از تعریف شاخص مشخص است، عموماً این شاخص وضعیت یا به تعبیری اهمیت تجهیز را نسبت به کل سیستم از نظر مصرف انرژی مشخص می‌کند. با محاسبه این شاخص در مورد تمامی تجهیزات و مقایسه SEC_1 کمپرسور نسبت به آن‌ها، سهم مصرف انرژی کمپرسور در شرکت مشخص شده و با استفاده از آن می‌توان سهم تجهیزات را در مورد مصرف انرژی، تعیین نمود و اقدامات اصلاحی را جهت کاهش مصرف انرژی روی آن‌ها انجام داد. ضمناً اگر SEC_1 کمپرسور در حالت واقعی نسبت به حالت طراحی مقایسه شود، تا حدودی می‌توان سهم و اهمیت میزان مصرف انرژی کمپرسور را مشخص کرد.

نحوه برداشت و محاسبه شاخص: انرژی مصرفی کمپرسور یا توان مصرفی الکتروموتور در حالت بهره‌برداری، در صورت اندازه‌گیری پرتابل بر خط و یا برداشت از دستگاه‌ها و یا سنسورهای ثابت و یا لاگ‌شیت و یا با استفاده از شبیه‌سازی محاسبه می‌شود.

شاخص SEC_{2C}: این شاخص انرژی ویژه به ازای دبی جرمی بوده و نشان می‌دهد که کمپرسور چه مقدار انرژی برای ظرفیت واقعی عملیاتی خود مصرف کرده است. روند

تغییرات این شاخص گویای صرفه‌جویی یا تلفات مقدار مصرف انرژی کمپرسور خواهد بود.

از جمله شاخص‌های کمپرسور جهت محاسبه میزان تلفات انرژی، شاخص SEC_2 است. اگر انرژی مصرف شده جهت عبور سیال در حالت واقعی، محاسبه شود و اختلاف آن با مصرف انرژی کمپرسور در ظرفیت نامی به دست آید، این عدد همان تلفات انرژی در کمپرسور می‌باشد. در صورت کاهش جریان عبوری، این شاخص نیز بالا رفته و تلفات به‌طور محسوسی افزایش می‌یابد. با استفاده از این شاخص و ردیابی تغییرات آن، می‌توان شرایط کنترل دبی را بهبود بخشید.

نحوه برداشت و محاسبه شاخص: توان نامی الکتروموتور از دیتاشیت مربوط به هر کمپرسور یا پلاک موتور به دست می‌آید. همچنین توان مصرفی الکتروموتور یا انرژی مصرفی کمپرسور در حالت بهره‌برداری، در صورت اندازه‌گیری پرتابل بر خط یا برداشت از دستگاه‌ها و یا سنسورهای ثابت و یا لاگ‌شیت و یا با استفاده از شبیه‌سازی محاسبه می‌شود. همچنین دبی گذرنده از کمپرسور در حالت طراحی از دیتاشیت کمپرسور و دبی گذرنده از کمپرسور با استفاده از تگ دبی (در صورت وجود)، موازنه یا شبیه‌سازی (در صورت امکان) یا اندازه‌گیری به دست می‌آید.

شاخصEEF: این شاخص بیانگر کارآیی انرژی بوده و به صورت نسبت کمیت انرژی به دبی جریان در حالت واقعی به حالت طراحی کمپرسور تعریف می‌شود. شاخص کارآیی انرژی بیان می‌کند که کمپرسور در شرایط فعلی، چه مقدار انرژی برای دبی جرمی گذرنده از آن نسبت به حالت طراحی مصرف می‌کند. بالا رفتن این شاخص نشان می‌دهد که برای دبی مشخص جرمی، کمپرسور انرژی بیشتری مصرف می‌نماید که بیانگر کاهش کارایی کمپرسور است. این کمیت به صورت درصد بیان می‌شود.

این شاخص تعریف دیگری از شاخص SEC_2 بوده و میزان مصرف انرژی در دبی واقعی را با میزان آن در حالت طراحی به صورت نسبی به دست می‌دهد. با این شاخص

نمی‌توان تلفات کمپرسور را محاسبه نمود، اما یک برآورد کلی نسبت به وضعیت مصرف انرژی در کمپرسور مشخص می‌گردد.

شاخص کارایی آیزنتروپیک کمپرسور: از آنجا که کمپرسور، یک توربوماشین است، عملکرد آن را می‌توان به صورت آدیاباتیک در نظر گرفت. بدین معنی که فرض می‌شود تمام کار منتقل شده به کمپرسور (پس از کسر اتلاف درایور و سیستم انتقال) موجب افزایش آنتالپی گاز یا غلبه بر اصطکاک‌ها و بازگشت‌ناپذیری‌های داخلی می‌شود و هیچ مقدار از آن به صورت گرما از کمپرسور خارج نمی‌شود. این حالت تا زمانی که گاز با سرعت بالایی به کمپرسور وارد و از آن خارج شود، صحیح است. لذا حالت ایده‌آل عملکرد آن، حالت آیزنتروپیک (آدیاباتیک برگشت‌پذیر) می‌باشد. بنابراین برای بررسی عملکرد کمپرسور نسبت به شرایط ایده‌آل (آیزنتروپیک)، کارآیی آیزنتروپیک کمپرسور به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\eta_c = \frac{W_s}{W_a}$$

در رابطه بالا W_s و W_a به ترتیب مربوط به کار محوری مورد نیاز کمپرسور در شرایط آیزنتروپیک و شرایط واقعی است. از طرفی در مورد توربوماشین‌ها که انتقال حرارت سیال با محیط در مقایسه با کار انجام شده روی سیال قابل صرف‌نظر می‌باشد، W_sو W_aرا می‌توان برابر با ΔH_s و ΔH_a که برابر با تغییر آنتالپی سیال در شرایط آیزنتروپیک و واقعی است، در نظر گرفت. بنابراین خواهیم داشت:

$$\eta_c = \frac{\Delta H_s}{\Delta H_a} = \frac{H_{2s} - H_1}{H_{2a} - H_1}$$

کارآیی آیزنتروپیک در کمپرسورها تا حد زیادی به نحوه طراحی و ساخت کمپرسور بستگی دارد. از آنجا که تغییر آنتالپی برابر با حاصلضرب ظرفیت گرمایی و اختلاف دما است و ظرفیت گرمایی در حالت آیزنتروپیک و واقعی را می‌توان تقریباً ثابت در نظر گرفت، کارآیی آیزنتروپیک از رابطه زیر نیز قابل محاسبه است:

$$\eta_c = \frac{T_{2s} - T_1}{T_{2a} - T_1}$$

T_1دمای هوای ورودی به کمپرسور و T_2 دمای هوای خروجی از کمپرسور است. از طرفی دمای آیزنتروپیک گاز خروجی نیز از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$\frac{T_{2s}}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

در این رابطه γ نسبت ظرفیت گرمایی در فشار ثابت به نسبت ظرفیت گرمایی در حجم ثابت ($\frac{C_p}{C_v}$) است. همچنین P_1 و P_2 فشار گاز ورودی و خروجی از کمپرسور می‌باشند.

کارآیی ایزنتروپیک امکان مقایسه عملکرد کمپرسور در شرایط واقعی با شرایط آدیاباتیک برگشت‌پذیر را فراهم می‌کند. بنابراین هر عامل مؤثر در آدیاباتیک بودن و بازگشت‌پذیری، در این کارایی نیز مؤثر است. از جمله عوامل برگشت‌ناپذیری می‌توان به اصطکاک، انبساط و تراکم آزاد (بدون انجام کار) و انتقال حرارت اشاره کرد.

با توجه به اینکه این شاخص، نسبت کار ایزنتروپیک به کار واقعی است، هر چه این شاخص از عدد یک دورتر شود، نشانگر افزایش کار محوری واقعی کمپرسور است. این امر می‌تواند ناشی از عواملی باشد که فشرده‌سازی سیال را از حالت فرآیند آدیاباتیک دور نماید که این خود، ناشی از عدم کارایی کولرهای میانی یا افزایش دمای خروجی از مراحل کمپرسور یا افزایش اختلاف فشار ورودی و خروجی مراحل و در کل هر آنچه فرآیند را از حالت ایزنتروپک دور می‌کند، باشد. با به دست آوردن این شاخص باید نسبت به شناسایی عوامل فاصله گرفتن شاخص از عدد یک و رفع آن‌ها اقدام کرد.

شاخص کارآیی پلی‌تروپیک: فرآیندهای واقعی در صنعت را می‌توان با فرآیندهای پلی‌تروپیک که در آن $PV^n=cons$ مدل کرد. به این ترتیب امکان محاسبه کارآیی پلی‌تروپیک (که مقایسه فرآیند واقعی را با فرآیند پلی‌تروپیک معادل، ممکن می‌کند) وجود دارد. کار انجام شده در فرآیند پلی‌تروپیک را می‌توان از رابطه زیر به دست آورد:

$$W_p = \frac{n\, z_1\, R\, T_1}{n-1}\left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} - 1\right]$$

n از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$n = \frac{1}{1 - \frac{ln(T_2/T_1)}{ln(P_2/P_1)}}$$

کارآیی پلی‌تروپیک به صورت نسبت کار پلی‌تروپیک به کار در شرایط واقعی تعریف می شود:

$$\eta_p = \frac{\frac{n\, z_1\, R\, T_1}{n-1}\left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} - 1\right]}{h_2 - h_1}$$

که از آن رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\eta_p = \frac{(\gamma - 1)\, ln(P_2/P_1)}{\gamma\, ln(T_2/T_1)}$$

کار پلی‌تروپیک همواره مقداری بین کار در شرایط هم‌دما (حداقل کار مورد نیاز) و کار در شرایط ایزنتروپیک (حداکثر کار مورد نیاز) قرار دارد. کارآیی پلی‌تروپیک بیشتر برای کمپرسورهای دینامیکی کاربرد دارد.

نحوه برداشت و محاسبه شاخص: برای بررسی دو شاخص بالا، ابتدا کارآیی کمپرسورها با توجه به شرایط طراحی با منابعی از جمله دیتاشیت و سپس شرایط عملیاتی این کمپرسورها با توجه به داده‌های برداشت شده از اتاق کنترل یا برگه-های ثبت کننده[1] و با استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌ساز مانند aspen HYSYS، مورد محاسبه و تحلیل قرار می‌گیرد. کمپرسورها با انتقال کار به سیالات تراکم‌پذیر باعث افزایش فشار و آنتالپی آن سیال می‌شوند. با افزایش فشار، دمای

1- Log Sheet

گاز نیز افزایش می‌یابد. به علت وجود انواع افت‌ها، تمام توان ورودی به کمپرسور صرف افزایش آنتالپی گاز نمی‌شود. روش تحلیل به این صورت است که ابتدا کمپرسور در شرایط طراحی و عملیاتی شبیه‌سازی می‌شوند و کارآیی پلی‌تروپیک برای کمپرسور در هر دو حالت به‌دست می‌آید. به این ترتیب میزان تلفات کمپرسور به دست می‌آید.

شاخص[1] YEC_C: میزان مصرف انرژی سالانه سیستم هوای فشرده

نحوه برداشت و محاسبه شاخص:

$$YEC_C = \sum HP/\eta \; . \; OH \; . \; LF \; . \; K$$

که در آن

YECC= مصرف انرژی سالانه سیستم هوای فشرده

N = تعداد کمپرسورها در سیستم هوای فشرده

HP = توان نامی کمپرسورها در سیستم هوای فشرده (برحسب اسب بخار)

η = بازده نامی موتور

OH = ساعات کاری سیستم هوای فشرده در سال (week/yr . day/week . hr/day)

LF = ضریب بار کمپرسورها در سیستم هوای فشرده

K = ضریب تبدیل اسب بخار (برحسب کیلو وات)

شاخص[2] YEP_C: قیمت انرژی سالانه سیستم هوای فشرده می‌باشد.

نحوه برداشت و محاسبه شاخص:

$YEP_C = YEC_C(kWh) \times$ Energy Price (Rials/kWh)

1- Yearly Energy Consumption of Fan System

2- Yearly Energy Price of Fan System

جدول (۳-۵۷) شاخص‌های عملکرد انرژی کمپرسور

نام شاخص	اختصار	رابطه محاسباتی	پارامترها	واحد
توان مورد نیاز روی شفت	DTY_C	-	-	kW
کارآیی	EFF_C	–	–	-
درصد بارگذاری درایور	LOD_C	توان موتور بهره‌برداری به طراحی	توان مصرفی الکتروموتور	kW
			توان نامی الکتروموتور	kW
ظرفیت تجهیز	CAP_C	دبی کمپرسور بهره‌برداری به طراحی	دبی عملیاتی کمپرسور	kg/h
			دبی نامی کمپرسور	kg/h
انرژی ویژه به ازای محصول	SEC_{1C}	برق مصرفی کمپرسور به واحد تولید	توان مصرفی الکتروموتور	kW
			واحد تولید محصول	ton/h
انرژی ویژه به ازای دبی جرمی	SEC_{2C}	برق‌مصرفی به دبی گذرنده از کمپرسور	توان مصرفی الکتروموتور	kW
			دبی عملیاتی کمپرسور	kg/h
کارآیی انرژی	EEF_C	انرژی به دبی حالت عملیاتی به حالت طراحی کمپرسور	توان مصرفی الکتروموتور	kW
			دبی عملیاتی کمپرسور	kg/h
			توان نامی الکتروموتور	kW
			دبی نامی کمپرسور	kg/h

جدول (۳-۵۸) اندازه‌گیری شاخص‌های عملکرد انرژی کمپرسور

نام شاخص	متغیرها	منبع دسترسی	
		نامی	بهره‌برداری
توان مورد نیاز بر روی شفت	-	دیتاشیت	شبیه‌سازی
راندمان	-	دیتاشیت	شبیه‌سازی
درصد بارگذاری درایور کمپرسور	توان الکتریکی بهره‌برداری الکتروموتور	-	اندازه‌گیری/برداشت
	توان الکتریکی طراحی الکتروموتور	دیتاشیت	-
ظرفیت تجهیز	دبی عملیاتی گذرنده ازکمپرسور	-	اندازه‌گیری/برداشت
	دبی نامی گذرنده از کمپرسور	دیتاشیت	-
انرژی ویژه به ازای محصول	میزان برق مصرفی کمپرسور	دیتاشیت	اندازه‌گیری/برداشت
	واحد تولید محصول	PFD	برداشت
انرژی ویژه به ازای دبی جرمی	میزان برق مصرفی کمپرسور	دیتاشیت	اندازه‌گیری/برداشت
	دبی جرمی گذرنده ازکمپرسور	دیتاشیت	اندازه‌گیری/برداشت
کارآیی انرژی	میزان برق مصرفی کمپرسور	-	اندازه‌گیری/برداشت
	دبی عملیاتی گذرنده ازکمپرسور	-	اندازه‌گیری/برداشت
	میزان برق نامی‌کمپرسور	دیتاشیت	-
	دبی جریان نامی گذرنده از کمپرسور	دیتاشیت	-

ج- شناسایی فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی و تکمیل پرسش‌نامه مدیریت انرژی کمپرسور

با شناسایی منابع بالقوه تلفات انرژی کمپرسور، می‌توان فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی در آن را مورد بررسی و شناسایی قرار داد. این منابع را می‌توان به چهار دسته تقسیم نمود.

۱- نگهداری و تعمیرات نامناسب کمپرسور

۲- عدم استفاده از تجهیزات و کنترل بهینه در کمپرسور

۳- طراحی و خرید نامناسب کمپرسور

۴- وضعیت نامناسب شاخص‌های عملکرد انرژی کمپرسور در حالت عملیاتی در مقایسه با مقادیر هدف

الف- فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی در نگهداری و تعمیرات مناسب کمپرسور

۱- تدوین راهبرد مشخص نگهداری مناسب بر اساس طول عمر کمپرسور

۲- بازدید و بررسی منظم جهت شناسایی، حذف یا کاهش نشتی در کمپرسور

۳- برنامه‌ریزی و اجرای منظم شناسایی و رفع نشتی

۴- خنک‌کاری مناسب سیال

۵- تدوین و اجرای برنامه تحلیل لرزش و صدای موتور و سایر قطعات مکانیکی

۶- برنامه‌ریزی و اجرای منظم تست هم محوری[1]

۷- برنامه‌ریزی و اجرای منظم OCM

۸- عایق‌کاری مناسب کمپرسور

۹- تمیزی فیلتر سیال ورودی کمپرسور برای جلوگیری از افت فشار فیلترها

ب- فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی با استفاده از تجهیزات و کنترل بهینه در کمپرسور

۱- نصب سیستم سرمایش مناسب روی سیال ورودی کمپرسورها

1- Misalignment

۲- سیستم کنترل مناسب در کمپرسور (برای خروج از مدار در ساعاتی که سیال فشرده نیاز نیست.)

۳- نصب نشانگرهای مناسب (دما و فشار) در مسیرهای ورودی و خروجی

۴- استفاده از موتورهای دو سرعته یا درایور کنترل سرعت

۵- استفاده از کمپرسور پربازده

۶- نصب خنک‌کن میانی و نهایی در کمپرسور

۷- وجود خشک‌کن سیال

۸- نصب سیستم کنترل مناسب بار نسبت به مصرف

ج- فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی با طراحی و خرید مناسب

۱- تناسب اندازه با درایور مربوطه (موتور یا توربین)

۲- جانمایی و نصب مناسب کمپرسور

۳- تناسب ظرفیت کمپرسور نسبت به بار

۴- اندازه مناسب لوله‌ها در لوله‌کشی

۵- امکان‌کاهش فشار سیال

۶- نصب دریافت‌کننده در نقاط دور از شبکه توزیع و نزدیک نقاط پرمصرف جهت تنظیم و اجتناب از افت فشار

د- فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی با بررسی عملکرد کمپرسور

۱- زمان مناسب عملکرد Idle کمپرسورها

۲- تنظیم فشار خروجی روی حداقل مقدار ممکن مورد نیاز مصرف‌کنندگان

۳- عدم مصرف‌سیال فشرده مصرفی در غیر موارد نیاز واقعی و اجتناب‌ناپذیر

۴- دمای پایین سیال ورودی

۵- خاموش نمودن کمپرسور در موارد غیر ضروری

جدول (۳-۵۹) پرسش‌نامه مدیریت انرژی کمپرسور

	پتانسیل صرفه‌جویی انرژی	بلی	خیر	توضیحات
نت مؤثر	عدم وجود استراتژی مشخص نگهداری مناسب براساس طول عمر			
	وجود نشتی			
	عدم وجود برنامه‌ریزی و اجرای منظم شناسایی و رفع نشتی			
	عدم خنک‌کاری مناسب سیال			
	عدم وجود برنامه تحلیل لرزش و صدای موتور و سایر قطعات مکانیکی			
	عدم وجود برنامه‌ریزی و اجرای منظم تست هم‌محوری			
	عدم وجود برنامه‌ریزی و اجرای منظم OCM			
	عدم عایق‌کاری مناسب			
	کثیفی فیلتر سیالی ورودی کمپرسور			
استفاده از تجهیزات/ کنترل بهینه	عدم نصب سیستم سرمایش مناسب روی سیال ورودی کمپرسورها			
	عدم وجود سیستم مناسب کنترل کمپرسور برای خروج از مدار در ساعاتی که سیال فشرده نیاز نیست.			
	عدم نصب نشانگرهای مناسب (دما و فشار) در مسیرهای ورودی و خروجی			
	عدم استفاده از موتورهای دوسرعته یا VSD			
	عدم استفاده از کمپرسور پربازده			
	عدم نصب خنک‌کن میانی و نهایی در کمپرسور			
	عدم وجود خشک‌کن سیال			
	عدم نصب سیستم کنترل مناسب بار نسبت به مصرف			

طراحی/خرید	عدم تناسب اندازه با درایور مربوطه (موتور یا توربین)			
	جانمایی و نصب نامناسب کمپرسور			
	عدم تناسب ظرفیت کمپرسور نسبت به بار			
	اندازه نامناسب لوله‌ها در لوله‌کشی			
	امکان کاهش فشار سیال			
	عدم نصب دریافت‌کننده‌ها در قسمت‌های دور از شبکه توزیع و نزدیک نقاط پرمصرف			
بررسی عملکرد	نامناسب بودن زمان عملکرد Idle کمپرسور			
	عدم تنظیم فشار خروجی روی حداقل مقدار ممکن مورد نیاز مصرف‌کنندگان			
	مصرف سیال فشرده، مصرفی در غیر موارد نیاز واقعی و اجتناب‌ناپذیر			
	دمای بالای سیال ورودی			
	روشن بودن کمپرسور حتی در موارد غیر ضروری			

۳-۱۲ دستورالعمل نحوه عملکرد، اندازه‌گیری و تعریف شاخص‌های انرژی کوره حرارتی

۳-۱۲-۱ هدف و دامنه کاربرد دستورالعمل نحوه تحلیل عملکرد انرژی کوره حرارتی

هدف از تدوین این دستورالعمل، آشنایی ممیزان انرژی با نحوه تحلیل عملکرد انرژی کوره حرارتی بوده و دامنه کاربرد آن وابسته به معیارهای ممیزی انرژی (هدف کلان، نوع و سطح ممیزی، روش و استاندارد ممیزی، نحوه و میزان مشارکت کارکنان، محدوده و مدت زمان اجرای ممیزی و الزامات گزارش ممیزی)، در تمامی یا بخشی از کوره‌های حرارتی موجود در یک فرآیند صنعتی یا واحد عملیاتی یا شرکت تولیدی است.

۳-۱۲-۲ مسئولیت تحلیل عملکرد انرژی کوره حرارتی

مسئولیت تحلیل عملکرد انرژی کوره حرارتی با تیم ممیزان انرژی شرکت تولیدی (درجه دو و سه / مقیم یا غیر مقیم) است. پیشنهاد می‌شود این تیم حداقل متشکل از کارشناسان جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها و اطلاعات اولیه، اندازه‌گیری و تحلیل متغیرها و شاخص‌های عملکرد انرژی و ارائه راهکارهای عملی صرفه‌جویی انرژی کوره حرارتی باشد.

۳-۱۲-۳ واژگان دستورالعمل نحوه تحلیل عملکرد انرژی کوره حرارتی

کوره حرارتی: کوره شامل یک محفظه احتراق است که در آن کویل لوله‌ها در امتداد دیواره محفظه چیده شده و حرارت فقط از طریق تابش به این لوله‌ها منتقل می‌شود. در این محفظه به واسطه حرکت گازهای داغ، بخشی از حرارت به واسطه جابه‌جایی به لوله‌ها منتقل می‌شود.

کاربرد صنعتی کوره‌ها: در صنایع فلزی (فلزات آهنی و غیر آهنی)، صنایع غیرفلزی (سیمان، شیشه، آجر، کاشی و سرامیک) و صنایع شیمیایی (پالایش نفت و گاز، مجتمع‌های پتروشیمی)، کوره‌های سوخت فسیلی از عمده‌ترین مصرف‌کننده‌های انرژی به شمار می‌آیند.

نقش کوره در تولید: کیفیت نامطلوب تولید می‌تواند ناشی از عوامل مختلفی از جمله مشخصات نامناسب سوخت و مواد اولیه، انتقال حرارت ضعیف در کوره و عدم کنترل یا کنترل ناکارای عملکرد کوره باشد.

انواع کوره: کوره‌ها را از جهات مختلف می‌توان طبقه‌بندی کرد:

الف- از جهت نوع انتقال حرارت (انتقال حرارت با محفظه احتراق باز- انتقال حرارت از طریق سیال واسط)

ب- از جهت نوع شارژ کوره (متناوب[1]- پیوسته[2])

1- Periodical

2- Continuous

ج- از جهت نوع بازیابی حرارت (رکوپراتور[1]- ریژنراتور[2])

اجزای کوره: اجزای تشکیل‌دهنده یک کوره عبارتند از: بدنه و چارچوب اصلی، سطوح بازتابنده، کویل لوله‌ها، دریچه خروج گازها، مشعل‌ها، سیستم توزیع سوخت، سیستم بازیافت حرارتی در صورت وجود، عایق و نسوز.

کوره با مکش طبیعی: گازهای حاصل از احتراق دارای چگالی[3] کمتری نسبت به محیط هوای خارج است و امکان القای هوای احتراق به درون کوره عملی می‌شود. از آنجا که فشار داخل کوره از فشار محیط خارج کمتر است، نیروی شناوری[4] گازهای داغ، موجب مکش درون کوره شده و باعث القای هوا به درون محفظه احتراق می‌شود. چون مکش به واسطه اثر دودکش به طور طبیعی ایجاد می‌شود، به آن مکش طبیعی اطلاق می‌شود. در اکثر کوره‌ها از نوع مکش طبیعی، دودکش باعث ورود هوا به محفظه احتراق و خروج گازهای داغ می‌شود.

احتراق کارآمد: به احتراقی گفته می‌شود که طی آن حداکثر محتوای انرژی موجود در سوخت آزاد شده و به علاوه انرژی گرمایی به دست آمده، به مؤثرترین شکل به ماده مصرفی ذوب[5] منتقل شود. نتیجه چنین احتراقی، کاهش آلودگی‌های منتشر شده (محصولات احتراق و دود)، بهبود کیفیت محصولات تولیدی و تضمین استحکام ساختمان کوره خواهد بود.

متغیرهای کنترل بهینه کوره: متغیرهای اساسی کوره که باید تحت کنترل قرار گیرند، عبارتند از:

دما و فشار کوره، الگوی گرم کردن و سرد شدن، زمان نگهداری بار یا محصول در

1- Recuperator
2- Regenerator
3- Density
4- Bouyancy
5- Stock

کوره، اتمسفر کوره، کارآیی احتراق، نسبت هوا به سوخت و میزان انرژی (سوخت یا برق) ورودی به کوره

۳-۱۲-۴ شرح عملیات تحلیل عملکرد انرژی کوره حرارتی

برای تحلیل عملکرد انرژی کوره حرارتی، می‌توان به شیوه گام به گام زیر عمل نمود:

الف- تهیه شناسنامه انرژی کوره حرارتی.

ب- تعریف و محاسبه شاخص‌های عملکرد انرژی کوره حرارتی.

ج- شناسایی فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی و تکمیل پرسش‌نامه مدیریت انرژی کوره حرارتی.

الف- تهیه شناسنامه انرژی کوره حرارتی.

جدول (۳-۶۰) مشخصات نامی کوره

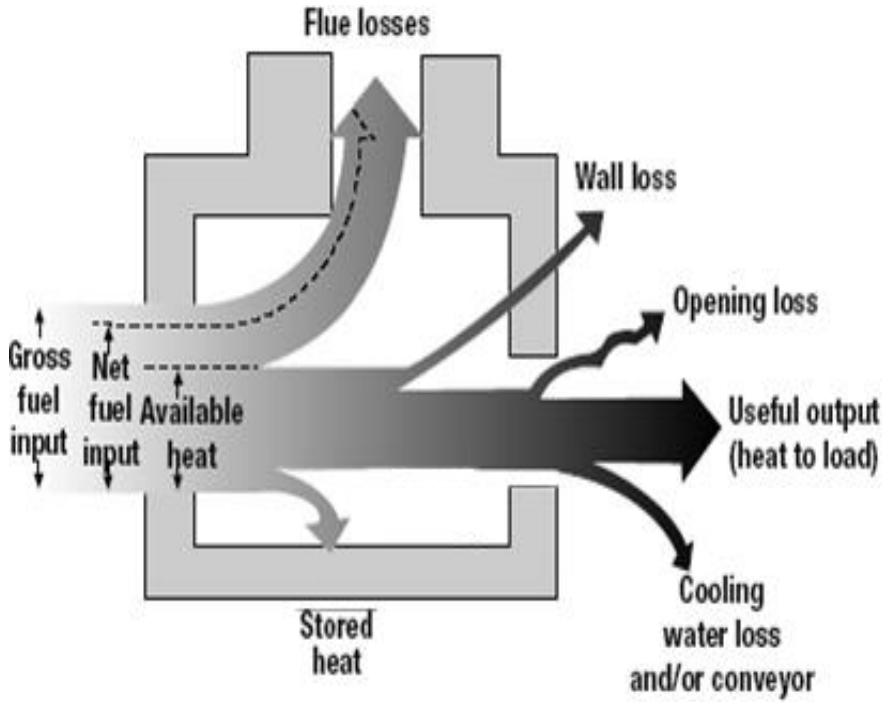
شماره فنی کوره	نوع کوره	نوع سوخت	تعداد مشعل	مواد شارژ/ بار ❖	نمونه گاز خروجی ❖❖	مصرف‌کننده نهایی	مشخصات سیال خنک‌کننده	مشخصات دودکش	محفظه آتش				تلفات دیواره کوره			وجود موارد زیر		
									دمای اولیه دیواره	دمای کوره	اندازه کوره	شکل کوره	دمای محیط	میانگین دمای سطح	مساحت کوره	داده‌ها روی پلاک	مشخصات نامی	جدول زمانی عملیاتی

❖ نوع مواد، میزان خوراک شارژ، دمای اولیه شارژ، دمایdischarge، گرمای واکنش، گرمای مورد نیاز اضافی

❖❖ دمای گاز خروجی از کوره، میزان اکسیژن موجود در گاز خروجی، هوای اضافی، دمای هوای احتراق

ب- تعریف و محاسبه شاخص‌های عملکرد انرژی کوره حرارتی

جهت تحلیل عملکرد انرژی کوره حرارتی می‌توان شاخص‌های عملکرد انرژی آن را مورد بررسی قرار داد. ابتدا باید منابع تلفات حرارتی که کارآیی کوره را تحت تأثیر قرار می‌دهند، شناسایی شوند. در حالت ایده آل همه حرارت تولیدی کوره‌ها باید برای گرمایش بار استفاده شود، اما در عمل مقدار زیادی از این حرارت به علل مختلف از دست می‌رود.



شکل (۳-۵۵) دیاگرام سنکی بالانس انرژی در یک کوره حرارتی

شکل (۳-۵۶) انواع تلفات انرژی در یک کوره حرارتی

تلفات حرارتی کوره شامل موارد زیر می‌شود:

- تلفات گازهای خروجی از دودکش[1]: بخشی از حرارت در گازهای احتراق داخل کوره باقی می‌ماند و بخشی دیگر، توسط گازهای خروجی از کوره خارج می‌شوند.
- تلفات ناشی از وجود رطوبت در سوخت: سوخت معمولاً شامل مقداری رطوبت است و مقداری از حرارت داخل کوره برای تبخیر رطوبت استفاده می‌شود.
- تلفات ناشی از وجود هیدروژن در سوخت: تلفات ناشی از وجود هیدروژن در سوخت منجر به شکل‌گیری آب می‌شود.
- تلفات تشعشع ناشی از وجود سوراخ، شکاف و درز در کوره[2]: این نوع اتلاف،

1- Fluegaslosses-waste-gas loss-Stack loss
2- Opening

وقتی رخ می‌دهد که سوراخ‌هایی در محفظه کوره وجود داشته باشد. این اتلاف به ویژه برای کوره‌های با دمای عملیاتی بالای ۵۴۰ درجه سانتی‌گراد می‌تواند قابل ملاحظه باشد. اتلاف دوم به واسطه نفوذ هوا است، زیرا کشش جریان هوای[1] دودکش کوره موجب ایجاد فشار منفی در داخل کوره شده و هوا را از درز و سوراخ‌ها یا ترک‌ها یا حتی وقتی درهای کوره باز می‌شود، به داخل می‌کشد.

- تلفات انتقال از پوسته[2]/ سطح[3] یا تلفات دیواره[4]: تا زمانی که دما داخل کوره بالا باشد، حرارت از طریق سقف، کف و دیواره‌ها انتقال می‌یابد و به محض اینکه به پوسته یا سطح کوره می‌رسد، به هوای محیط منتشر می‌شود.
- تلفات دیگر: حرارت، به دلایل دیگری نیز می‌تواند از کوره تلف شود که بیان آن‌ها به صورت کمی اغلب مشکل است برخی از این تلفات عبارتند از:
  - تلفات گرمای ذخیره شده[5]: وقتی کوره شروع به کار می‌کند، ساختمان و عایق کوره نیز گرم می‌شوند و این حرارت تنها وقتی کوره خاموش شود، ساختمان کوره را ترک می‌کند. بنابراین این نوع تلفات حرارتی با تعداد دفعاتی که کوره روشن و خاموش می‌شود، افزایش می‌یابد.
  - تلفات جابجایی مواد[6]: تجهیزات استفاده شده برای جابجایی ماده اولیه در کوره نظیر تسمه نقاله‌ها، میل‌لنگ‌ها، واگن‌ها و ... نیز حرارت را جذب می‌کنند. بنابراین تلفات حرارتی با میزان تجهیزات و تعداد دفعاتی که کوره را ترک می‌کنند یا به آن وارد می‌شوند، افزایش می‌یابد.

1- Draft
2- Skin
3- Surface
4- Wall Losses
5- Stored Heat Losses
6- Material Handling Losses

- تلفات خنک‌کاری کوره[1]: آب و هوایی که به عنوان سیال واسطه برای خنک کردن تجهیزات، غلتک‌ها و یاتاقان‌ها استفاده می‌شود، حرارت را جذب می‌کنند.
- تلفات احتراق ناقص: اگر احتراق، ناقص باشد، حرارت از دست می‌رود. زیرا حرارت را ذرات سوخت کامل سوخته نشده، جذب می‌کنند، اما این حرارت جای دیگری مورد استفاده قرار نمی‌گیرد.
- تلفات در نتیجه شکل‌گیری رسوب[2]

جدول (۳-۶۱) نحوه محاسبه شاخص‌های عملکرد انرژی کوره (روش غیر مستقیم)

نام شاخص	اختصار	رابطه محاسباتی	متغیرها (تلفات)
کارآیی حرارتی	EFF	٪ تلفات - ٪۱۰۰	گاز خشک خروجی
			وجود رطوبت در سوخت
			وجود هیدروژن در سوخت
			سوراخ‌ها، شکاف‌ها و درزها در کوره
			تلفات حرارتی از پوسته کوره
			وجود اجزای بی‌اثر در سوخت
			به حساب نیامده

شاخص بازده انرژی: این شاخص بیانگر نسبت میزان انرژی ناشی از احتراق سوخت منتقل شده به بار کوره به انرژی ورودی (ارزش حرارتی سوخت ورودی) کوره است. وقتی درصدی از حرارت که به دودکش یا بار داخل کوره منتقل می‌شود، افزایش یابد، کارآیی کوره افزایش پیدا می‌کند.

نحوه برداشت و محاسبه شاخص: بازده و کارآیی کوره به دو روش مستقیم و

1- Cooling Media Losses
2 - Scale

غیرمستقیم محاسبه می‌شود:

الف- محاسبه از طریق روش مستقیم:

کارآیی حرارتی کوره با رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{کارآیی حرارتی کوره} = \frac{\text{حرارت محسوس هوای احتراق قبل از پیش‌گرمکن+ حرارت محسوس سوخت + حرارت ناشی از احتراق سوخت}}{\text{حرارت جذب شده به وسیله سیال عبوری از تیوب‌های کوره}}$$

اتلاف حرارتی کوره با رابطه زیر محاسبه می‌شود:

= تلفات حرارتی کوره

{حرارت محسوس هوای احتراق قبل از پیش گرمکن + حرارت محسوس سوخت+ حرارت ناشی از احتراق سوخت}

{حرارت محسوس گازهای خروجی دودکش بعد از مبدل + حرارت جذب شده توسط سیال عبوری از تیوب‌های کوره}-

در ادامه محاسبه کارآیی حرارتی و تلفات حرارتی کوره به روش مستقیم آورده شده است:

مشخصات کوره	
فشار داخل کوره	
دمای متوسط داخل کوره	

مشخصات سوخت	
ضریب تصحیح دبی سوخت ورودی به کوره	
دبی سوخت	
دمای سوخت قبل از مشعل	
فشار سوخت ورودی	

مشخصات سیال فرآیندی	
دبی سیال فرآیندی	
گرمای ویژه سیال فرآیندی	
دمای ورودی سیال فرآیندی	
دمای خروجی سیال فرآیندی	

مشخصات محصولات احتراق	
درصد اکسیژن	
درصد مونوکسید کربن	
دمای خروجی محصولات احتراق	
درصد رطوبت محصولات احتراق	
دمای محصولات احتراق ورودی به پیش گرمکن	
دمای محصولات احتراق خروجی از پیش گرمکن	

مشخصات هوای ورودی	
دبی هوای ورودی	
دمای هوای ورودی به پیش گرمکن	
دمای هوای خروجی از پیش گرمکن	

ترکیبات سوخت	درصد مولی
H_2	
C_1	
C_2	
$C_2=$	
C_3	
C_3C-C_3	
$C_3=$	
$i-C_4$	
$n-C_4$	
$T-2-C_4=$	
$1-C_4=$	
$i-C_4=$	
$CIS-2-C_4=$	
$i-C_5$	
$n-C_5$	
$1,3-C_4==$	
$C_5=$	
C_6^+	
CO	
CO_2	
O_2	
N_2	
H_2S	
WATER	

ترکیبات سیال فرآیندی	درصد مولی
Methane	
Ethane	
Propane	
n-Butane	
n-Pentane	
n-Hexane	
Cyclohexane	
Benzene	
n-Heptane	
Cycloheptane	
Toluene	
n-Octane	
Cyclooctane	
E-Benzene	
p-Xylene	
m-Xylene	
o-Xylene	
n-Nonane	
123-MBenzene	
n-Decane	
1234-M-BZ	
n-C11	
n-C12	
n-C13	
n-C14	
n-C15	

1	H_2	+	0.5	O_2	---->	1	H_2O	+	0	CO_2
1	CH_4	+	2.0	O_2	---->	2	H_2O	+	1	CO_2
1	C_2H_4	+	3.0	O_2	---->	2	H_2O	+	2	CO_2
1	C_2H_6	+	3.5	O_2	---->	3	H_2O	+	2	CO_2
1	C_3H_6	+	4.5	O_2	---->	3	H_2O	+	3	CO_2
1	C_3H_8	+	5.0	O_2	---->	4	H_2O	+	3	CO_2
1	C_4H_6	+	5.5	O_2	---->	3	H_2O	+	4	CO_2
1	C_4H_8	+	6.0	O_2	---->	4	H_2O	+	4	CO_2
1	C_4H_{10}	+	6.5	O_2	---->	5	H_2O	+	4	CO_2
1	C_5H_{10}	+	7.5	O_2	---->	5	H_2O	+	5	CO_2
1	C_5H_{12}	+	8.0	O_2	---->	6	H_2O	+	5	CO_2
1	C_6H_{14}	+	9.5	O_2	---->	7	H_2O	+	6	CO_2
1	CO	+	0.5	O_2	---->	0	H_2O	+	1	CO_2

	Mole%	Mass%	MW	HL, Kj/Kmole		HL, Kj/Kg		H_2O	CO_2	O_2	N_2
H_2	47.210	7.476	2.0159	241942	114221	120017	8972	47.210	0.000	23.605	
C_1	37.840	47.687	16.0428	802703	303743	50035	23860	75.680	37.840	75.68	
C_2	7.990	18.873	30.0696	1428510	114138	47507	8966	23.970	15.980	27.97	
C_2 =	0.000	0.000	28.0538	1323570	0	47180	0	0.000	0.000	0.00	
C_3	4.850	16.800	44.0965	2044970	99181	46375	7791	19.400	14.550	24.25	
CyC-C_3	0.000	0.000	42.0806	1927350	0	45801	0	0.000	0.000	0.00	
C_3 =	0.000	0.000	42.0806	1927350	0	45801	0	0.000	0.000	0.00	
i-C_4	0.740	3.379	58.1234	2652850	19631	45642	1542	3.700	2.960	4.81	
n-C_4	0.550	2.511	58.1234	2652850	14591	45642	1146	2.750	2.200	3.58	
T-2-C_4 =	0.000	0.000	56.1075	2524197	0	44989	0	0.000	0.000	0.00	
1-C_4 =	0.000	0.000	56.1075	2524197	0	44989	0	0.000	0.000	0.00	
i-C_4=	0.000	0.000	56.1075	2524197	0	44989	0	0.000	0.000	0.00	
CIS-2-C	0.000	0.000	56.1075	2524197	0	44989	0	0.000	0.000	0.00	
i-C_5	0.140	0.793	72.1503	3265570	4572	45261	359	0.840	0.700	1.12	
n-C_5	0.060	0.340	72.1503	3265570	1959	45261	154	0.360	0.300	0.48	
1,3-C_4 =	0.000	0.000	54.0916	2524197	0	46665	0	0.000	0.000	0.00	
C_5 =	0.000	0.000	70.1344	3157290	0	45018	0	0.000	0.000	0.00	
C_6^+	0.170	1.151	86.1772	3888500	6610	45122	519	1.190	1.020	1.62	
CO	0.450	0.990	28.0104	283000	1274	10103	100	0.000	0.450	0.23	
CO_2	0.000	0.000	44.0098					0.000	0.000	0.00	
O_2	0.000	0.000	31.9988					0.000	0.000	0.00	
N_2	0.000	0.000	28.0135					0.000	0.000	0.00	
H_2S	0.000	0.000	34.0819					0.000	0.000	0.00	
VATER	0.000	0.000	18.0153					0.000	0.000	0.00	
Total	######	######						1.751	0.760	1.633	

MW	12.730	Kg/Kmole
H_L	679919	Kj/Kmole
H_L	53410	Kj/Kg

شکل (۳-۵۷) نمونه‌ای از صفحات متغیرهای ورودی برنامه محاسباتی کوره

	A	B	C	D	E	F	G	H	N
13									محاسبه حجم گازهای حاصل از احتراق تئوریک
14		F_f	320.7	Kg/hr		25.2	Kmole/hr		میزان دبی سوخت مصرفی
15		O_2	1316	Kg/hr		41.1	Kmole/hr		میزان اکسیژن مورد نیاز برای احتراق تئوری
16		N_2	4335	Kg/hr		154.8	Kmole/hr		میزان ازت ورودی به کوره در شرایط احتراق تئوری
17		$Total_{,in}$	5972	Kg/hr					
18		CO_2	842	Kg/hr		19.1	Kmole/hr		میزان دی اکسید کربن تولیدی در گازهای حاصل از احتراق تئوری
19		H_2O	795	Kg/hr		44.1	Kmole/hr		مقدار آب تولیدی در گازهای حاصل از احتراق تئوری
20		N_2	4335	Kg/hr		154.8	Kmole/hr		میزان ازت خروجی از کوره در شرایط احتراق تئوری
21		$Total_{,out}$	5972	Kg/hr					
22		Ao	17.626	Kg/Kg		7.7774	Kmole/Kmole		نسبت هوای تئوری به سوخت مصرفی
23		H_l	53410	Kj/Kg		679919	Kj/Kmole		ارزش حرارتی پائین سوخت
24		G'_{th}	**5178**	**Kg/hr**		**173.9**	**Kmole/hr**		میزان گازهای حاصل از احتراق تئوریک خشک
25		G_{th}	**5972**	**Kg/hr**		**218.0**	**Kmole/hr**		میزان گازهای حاصل از احتراق تئوریک مرطوب
26									
27									
28									محاسبه حجم گازهای حاصل از احتراق واقعی
29		F_f	320.7	Kg/hr		25.2	Kmole/hr		میزان دبی سوخت مصرفی
30		Fa	8000	Kg/hr		276.3	Kmole/hr		میزان دبی هوای واقعی
31		Fa_o	5652	Kg/hr		195.9	Kmole/hr		میزان دبی هوای تئوری مورد نیاز
32		CO_2	842	Kg/hr		19.1	Kmole/hr		میزان دی اکسید کربن تولیدی در گازهای حاصل از احتراق
33		H_2O	795	Kg/hr		44.1	Kmole/hr		مقدار آب تولیدی در گازهای حاصل از احتراق
34		N_2	6115	Kg/hr		218.3	Kmole/hr		میزان ازت خروجی از کوره در شرایط احتراق
35		O_2	540	Kg/hr		16.9	Kmole/hr		میزان اکسیژن خروجی از کوره در شرایط احتراق
36		**M**	**1.4**	**[-]**		**1.4**	**[-]**		نسبت هوای اضافی
37		$O_{2\,Excess}$	**6.52**	**Mass%**		**5.66**	**Mole%**		میزان اکسیژن خروجی از دودکش کوره در شرایط احتراق
38		G'	**7526**	**Kg/hr**		**254.3**	**Kmole/hr**		میزان گازهای حاصل از احتراق واقعی بصورت خشک
39		G	**8321**	**Kg/hr**		**298.4**	**Kmole/hr**		میزان گازهای حاصل از احتراق واقعی بصورت تر
40									
41									
42									محاسبه حرارت ناشی از احتراق سوخت (Q1)

Input / Output / FG Composition / CALC_THEORICAL / CALC_ACTUAL / Cp OF COMPOSITION

نوع خروجی	مقدار	واحد
درصد اکسیژن تئوری مورد نیاز برای احتراق		
نسبت هوا به سوخت استوکیومتریک		
نسبت هوا به سوخت تئوری		
نسبت هوا به سوخت واقعی با استفاده از درصد اکسیژن خروجی اندازه گیری		
ارزش حرارتی پایین سوخت(LHV)		
مقدار نشتی هوای کوره		
درصد هوای اضافی تئوری		
درصد هوای اضافی واقعی		
حرارت آزاد شده ناشی از سوخت		
حرارت جذب شده توسط سیال فرآیندی		
اتلاف حرارتی کوره به روش مستقیم		
اتلاف حرارتی کوره به روش غیرمستقیم		
راندمان حرارتی کوره به روش مستقیم		
راندمان حرارتی کوره به روش غیرمستقیم		
درصد صرفه جویی در سوخت با استفاده از پیش گرم کن		

CALCULATE

شکل (۳-۵۸) نمونه‌ای از صفحات متغیرهای خروجی برنامه محاسباتی کوره

ب- محاسبه از طریق روش غیرمستقیم

کارآیی کوره به روش غیرمستقیم نیز قابل محاسبه است. قاعده کلی روش غیرمستقیم، ساده بوده و عبارت است از شناسایی منابع و محاسبه میزان تلفات حرارتی و کسر آن از کل حرارت ایجاد شده برای کوره.

مهم‌ترین و بزرگ‌ترین بخش اتلاف در کوره‌ها مربوط به تلفات حرارتی ناشی از گاز خشک خروجی بوده و به صورت زیر محاسبه می‌شود:

هوای اضافی:

$$\text{هوای اضافی} = \frac{O_2\%}{21-O_2\%}$$

اگر مقدار $O_2\%$ موجود نباشد، از مقدار اندازه‌گیری شده $CO_2\%$ برای محاسبه مقدار هوای اضافی استفاده می‌شود.

$$\text{هوای اضافی} = \frac{7900\times[(CO_2\%)_t - (CO_2\%)_a]}{(CO_2\%)_a \times (100-(CO_2\%)_t}$$

که در آن :

$(CO_2\%)t$ درصد CO_2 اندازه‌گیری شده در گاز خروجی و $(CO_2\%)a$ درصد CO_2 تئوری هستند.

جرم هوای تدارک دیده شده:

$$\left(\frac{\text{هوای اضافی}}{\text{هوای تئوری} \times 100} + ۱\right) = \text{جرم هوای واقعی تدارک دیده شده برای یک کیلوگرم سوخت}$$

اتلاف حرارت ناشی از گاز خروجی:

$$\text{اتلاف حرارت ناشی از گاز خروجی} = \frac{M_{\text{flue}} \times C_{P,\text{flue gas}} \times (T_{\text{flue gas}} - T_{\text{ambient}}) \times 100}{GCV_{\text{fuel}}}$$

که در آن :

$M_{\text{flue gas}}$: جرم گاز خروجی بر حسب kg/kg_{fuel} مشتمل بر جرم محصولات احتراق موجود در سوخت $(CO_2\ SO_2, N_2)$ به علاوه جرم نیتروژن موجود در هوای واقعی به همراه اکسیژن موجود در گاز خروجی است. (بخار آب موجود در گاز خروجی در نظر گرفته نمی‌شود.)

$C_{P,\text{flue gas}}$: ظرفیت گرمایی ویژه گاز خشک خروجی $(kcal/kg^oc)$

$T_{\text{flue gas}}$: دمای گاز خروجی بعد از پیش‌گرمکن (^oc)

T_{ambient}: دمای هوای محیط می‌باشند.

تلفات حرارتی ناشی از وجود رطوبت در سوخت:

رطوبتی که همراه با سوخت وارد کوره می‌شود، به صورت بخار از آن خارج می‌شود. این اتلاف از حرارت محسوس رساندن رطوبت به نقطه جوش، حرارت نهان تبخیر رطوبت و حرارت مورد نیاز برای رساندن دمای این بخار به دمای گاز خروجی ناشی می‌شود.

این اتلاف با فرمول زیر محاسبه می‌شود:

= اتلاف حرارت به‌واسطه وجود رطوبت در سوخت

$$\frac{M_{moisture} \times [0.002443456 + C_{P,sph} \times (T_{flue\ gas} - T_{ambient})] \times 100}{GCV_{fuel}}$$

که در آن $M_{moisture}$: جرم رطوبت موجود (بر حسب کیلوگرم) در یک کیلوگرم سوخت.

$C_{P,sph}$: ظرفیت گرمایی ویژه بخار $(kcal/kg^oC)$.

$T_{flue\ gas}$: دمای گاز خروجی بعد از پیش‌گرمکن (^oC).

$T_{ambient}$: دمای هوای محیط (^oC).

GCV_{fuel} : ارزش حرارتی سوخت $(kcal/kg)$ و

۰/۰۰۲۴۴۳۴۵۶: گرمای نهان تبخیر آب هستند.

تلفات حرارتی ناشی از وجود هیدروژن در سوخت:

از آنجا که محصول احتراق آب خواهد بود، احتراق هیدروژن موجب تلفات حرارتی کوره می‌شود. این آب به بخار تبدیل شده و در نتیجه حرارت را به شکل گرمای نهان تبخیر می‌رباید.

این اتلاف با فرمول زیر محاسبه می‌شود:

= اتلاف حرارت در نتیجه وجود هیدروژن در سوخت

$$\frac{9 \times M_{hydrogen} \times [0.002443456 + C_{P,sph} \times (T_{flue\ gas} - T_{ambient})] \times 100}{GCV_{fuel}}$$

که در آن، $M_{hydrogen}$: جرم هیدروژن موجود (برحسب کیلوگرم) در یک کیلوگرم سوخت،

$C_{P,sph}$: ظرفیت گرمایی ویژه بخار $(kcal/kg^oc)$،

$T_{flue\ gas}$: دمای گاز خروجی بعد از پیش‌گرمکن (^oC)

$T_{ambient}$: دمای هوای محیط (^oc)،

GCV_{fuel} : ارزش حرارتی سوخت (kcal/kg) و ۰/۰۰۲۴۴۳۴۵۶: گرمای نهان تبخیر آب هستند.

تلفات حرارتی ناشی از سوراخ‌ها، شکاف‌ها و درزها در کوره

اگر سوراخ، شکاف یا درزی روی بدنه کوره موجود باشد، حرارت داخل کوره به صورت تشعشعی به بیرون می‌رود. تلفات حرارتی ناشی از تشعشع به مقدار تشعشع جسم سیاه در دمای کوره، ضریب نشر و فاکتور تشعشع از سوراخ یا شکاف، مساحت سوراخ یا شکاف بستگی دارد. این اتلاف با فرمول زیر محاسبه می‌شود:

اتلاف حرارت به واسطه سوراخ یا شکاف =

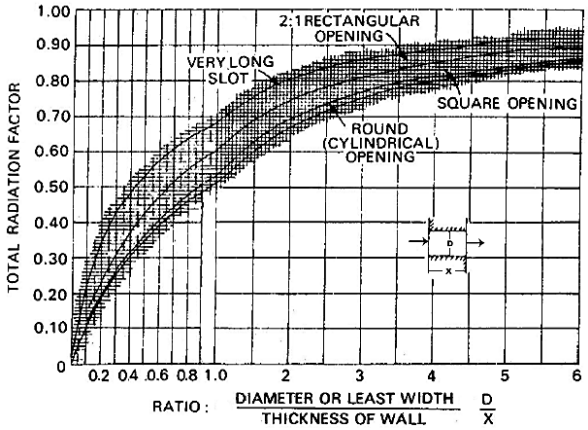
$$\frac{\text{فاکتور تشعشع} \times \text{emissivity} \times \text{تشعشع جسم سیاه} \times A_{openings}) \times 100}{GCV_{fuel} \times m_{fuel}}$$

که در آن emissivity : ضریب نشر سطح دیواره خارجی کوره،

m_{fuel}: دبی سوخت ورودی (kg/hr)،

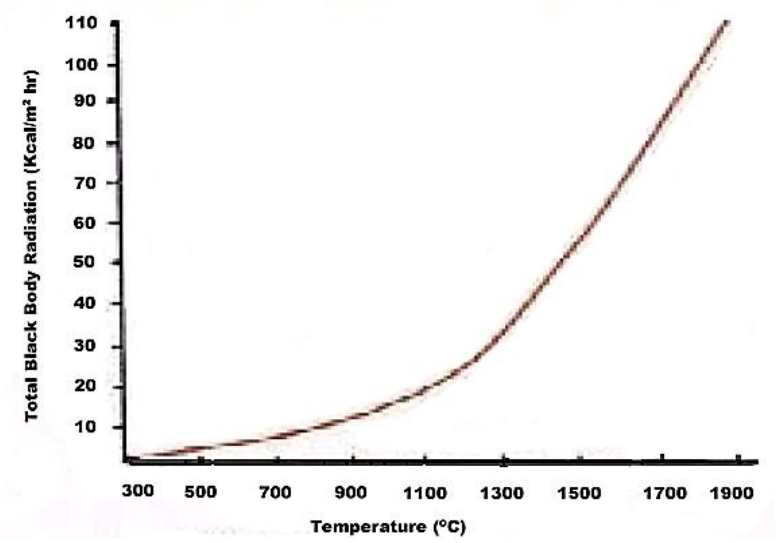
$A_{openings}$: مساحت سوراخ یا شکاف (m^2) است.

فاکتور تشعشع کلی نیز از نمودار زیر محاسبه می‌شود:



شکل (۳-۵۹) نمودار محاسبه فاکتور تشعشع کلی کوره

تشعشع جسم سیاه از نمودار زیر محاسبه می‌شود:



شکل (۳-۶۰) نمودار محاسبه تشعشع بدنه سیاه

برای محاسبه تلفات حرارتی به واسطه سوراخ‌ها، شکاف‌ها و درزها روش دیگری نیز وجود دارد:

= اتلاف حرارت به واسطه سوراخ یا شکاف

$$\frac{0.0020418 \times (T \text{ ضریب تشعشع کلی} \times A_{openings}) \times 100}{GCV_{fuel}}$$

که در آن T_{wall} : دمای دیواره کوره (K) و $A_{openings}$: مساحت سوراخ یا شکاف (m^2) است.

تلفات حرارتی از پوسته کوره:

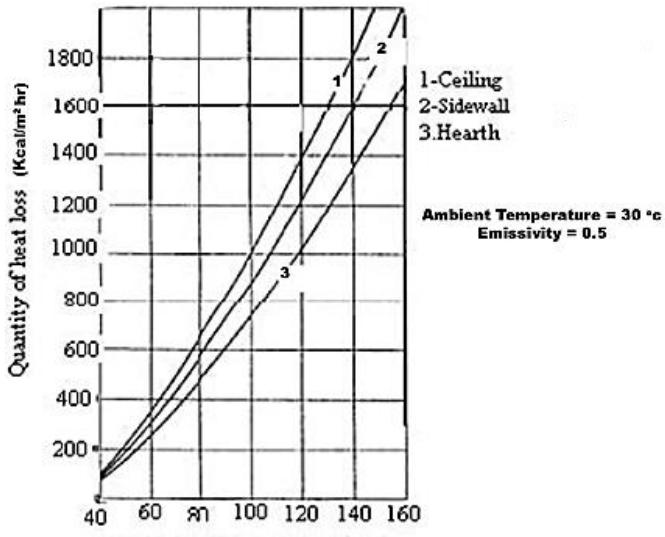
تلفات حرارتی از پوسته کوره به واسطه تشعشع و جا به جایی از پوشش کوره به اتاق کوره می‌باشد. برای محاسبه تلفات حرارتی از پوسته کوره، تلفات حرارتی از سقف و دیوارهای پهلویی و نواحی دیگر به‌طور جداگانه محاسبه می‌شود.

۱- تلفات حرارتی از سقف و دیواره‌های پهلویی (= ناحیه گرمایش):

$$\text{اتلاف حرارت از ناحیه گرمایش} = \frac{\text{اتلاف حرارت از سقف و دیواره ها}}{A_{\text{roof \& walls}}}$$

که در آن، $A_{\text{roof \& walls}}$: مساحت سقف و دیواره‌ها (ناحیه گرمایش بعلاوه ناحیه soaking) است.

تلفات حرارتی از نمودار زیر برحسب $Kcal/m^2hr$ به دست می‌آید:



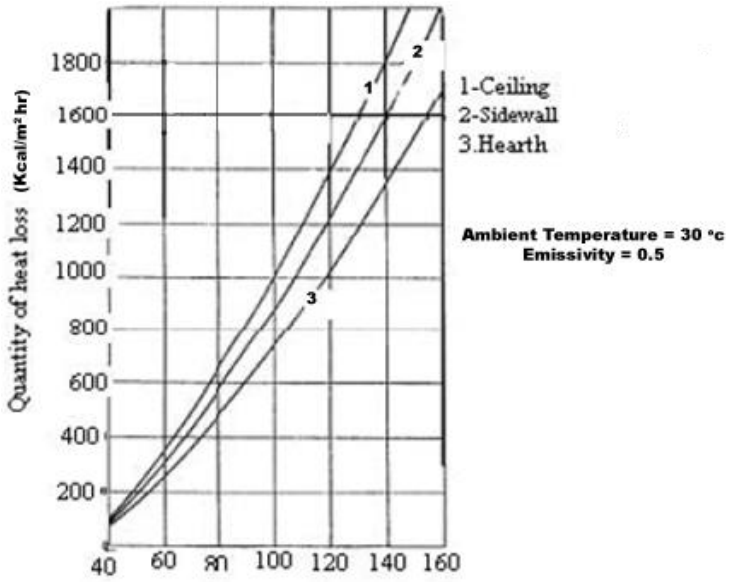
شکل (۳-۶۱) نمودار محاسبه تلفات ناحیه گرمایش (سقف و دیواره‌ها)

۲- تلفات حرارتی از نواحی غیر از ناحیه گرمایش:

$$\text{اتلاف حرارت از نواحی غیر از گرمایش} = \frac{\text{اتلاف حرارت از سقف نواحی دیگر}}{A_{\text{others}}}$$

که در آن A_{others} : مساحت نواحی دیگر (نواحی غیر از گرمایش) است.

تلفات حرارتی از نمودار زیر برحسب $Kcal/m^2hr$ به دست می‌آید:



شکل (۳-۶۲) نمودار محاسبه تلفات ناحیه غیر گرمایش

و در نهایت تلفات حرارتی از پوسته کوره از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\text{اتلاف حرارت از پوسته کوره} = \frac{100 \times [\text{اتلاف حرارت از نواحی غیر از گرمایش} + \text{اتلاف حرارت از ناحیه گرمایش}]}{GCV_{fuel} \times m_{fuel}}$$

که در آن :

m_{fuel} : دبی سوخت ورودی (kg/hr)

روش دیگری نیز برای محاسبه تلفات وجود دارد، که در این روش اگر مساحت سطح کوره و دمای سطح خارجی آن مشخص باشد، اتلاف توسط رابطه زیر نیز محاسبه می‌شود:

$$\text{اتلاف حرارت از پوسته کوره} = \frac{[(4.88\times \text{emissivity} \times[(\frac{T_s}{100})^4-(\frac{T_{ambient}}{100})^4]+ F_{convection}\times (T_S-T_{ambient})^{1.25})]\times 0.0004184}{\text{GCV of fuel}}$$

emissivity: ضریب نشر سطح دیواره خارجی کوره

$F_{convection}$: ضریب سطح جا به جایی طبیعی (۲/۲= دیواره‌های پهلـویی ۲/۸= سـقف، ۱/۵=کف)

TS: دمای سطح خارجی کوره (K)

$T_{ambient}$: دمای هوای اطراف کوره (K)

تلفات حرارتی ناشی از وجود اجزای بی‌اثر در سوخت:

= اتلاف حرارت در نتیجه وجود اجزای بی‌اثر در سوخت

$$\frac{\Sigma\,[f_i \times m_{fuel} \times C_{p,\,inert} \times (T_{flue\ gas} - T_{fuel})] \times 100}{GCV_{fuel}}$$

که در آن :

f_i: کسر جرمی اجزای بی‌اثر در سوخت،

$C_{p,\,inert}$: ظرفیت گرمایی ویژه اجزای بی‌اثر ($kcal/kg^oC$)،

$T_{flue\ gas}$: دمای گاز خروجی بعد از پیش‌گرمکن (^oC)،

T_{fuel}: درجـه حـرارت سـوخت قبـل از مشـعل (^oC) و m_{fuel} : دبـی سـوخت ورودی (kg/hr) می‌باشد.

تلفات حرارتی به حساب نیامده: که این تلفات حرارتی قابل محاسـبه نیسـتند، مگـر آنکه سایر تلفات شناخته شده باشند.

شاخص کارآیی حرارتی: مجموع تلفات محاسبه شده در بالا، تلفات حرارتـی کلـی در کوره هستند. کارآیی حرارتی کوره در روش غیر مستقیم با رابطه زیر محاسبه می‌شود:

درصد تلفات حرارتی کلی از کوره - ۱۰۰ = کارآیی حرارتی کوره

شاخص YEC_k[1]: میزان مصرف انرژی سالانه سیستم حرارتی است.

1- Yearly Energy Consumption of Furnace/ Kiln/ Heater System

نحوه برداشت/ محاسبه شاخص:

$YEC_k = \sum_{i=1}^{N} RI \times OH \times LF \times K$

که در آن

YEC_k = مصرف انرژی سالانه سیستم حرارتی

N = تعداد کوره‌ها در سیستم حرارتی

OH = ساعات کاری کوره در سال (week/yr . day/week . hr/day)

LF = ضریب بار مشعل‌ها در سیستم حرارتی

K = ضریب تبدیل گیگاژول به کیلو وات

RI = نرخ ورودی هر مشعل[1] در کوره

شاخص[2] YEP_k: قیمت انرژی سالانه سیستم حرارتی است.

نحوه برداشت و محاسبه شاخص:

$YEP_k = YEC_k(kWh) \times$ Energy Price (Rials/ kWh)

ج- شناسایی فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی و تکمیل پرسش‌نامه مدیریت انرژی کوره حرارتی

با شناسایی منابع بالقوه تلفات انرژی کوره حرارتی، می‌توان فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی در کوره حرارتی را مورد بررسی و شناسایی قرار داد. این منابع را می‌توان به چهار دسته تقسیم نمود:

۱- نگهداری و تعمیرات نامناسب کوره حرارتی

۲- عدم استفاده از تجهیزات و کنترل بهینه درکوره حرارتی

۳- طراحی و خرید نامناسب کوره حرارتی

۴- وضعیت نامناسب شاخص‌های عملکرد انرژی کوره حرارتی در حالت عملیاتی در مقایسه با مقادیر هدف

1- Burner

2- Yearly Energy Price of Fan System

الف- فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی در نگهداری و تعمیرات مناسب کوره حرارتی

۱- برنامه‌ریزی و اجرای منظم نگهداری و تعمیرات کوره و تجهیزات جانبی آن

۲- انجام اقدامات اصلاحی در صورت تغییر فرم سر مشعل و دیفیوزر مشعل

۳- تمیزی سرمشعل و فیلتر سوخت و مسیرهای سوخت‌رسان

۴- بازدید و بررسی منظم جهت شناسایی، حذف یا کاهش نشتی در دیواره‌های و سقف کوره

۵- بازدید و بررسی منظم جهت شناسایی، حذف یا کاهش نشتی در تیوب‌های کوره

۶- استفاده از عایق و نسوز مناسب دیواره‌های کوره

ب- فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی در استفاده از تجهیزات و کنترل بهینه در کوره حرارتی

۱- ثبت مقادیر تحلیل ترکیبات گازهای سوخت و پروسس دریافتی

۲- وجود اندازه‌گیر و ثبت مقادیر تحلیل گازهای احتراق خروجی دودکش

۳- وجود سیستم کنترل هوای اضافی کوره

۴- نصب درایور کنترل سرعت روی فن‌ها و دمنده‌های کوره

۵- ثبت مقدار گاز سوخت و پروسس دریافتی‌کوره

۶- کنترل دمای دیواره‌های کوره (تست چشمی/ترموویژن)

۷- کنترل مناسب فشار کوره

۸- نصب تجهیزات بازیافت مانند اکونومایزر در کوره

۹- امکان کنترل مناسب نسبت هوا به سوخت

ج- فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی با بررسی عملکرد کوره حرارتی

۱- محاسبه و ثبت کارآیی احتراق کوره

۲- برنامه بهبود عملکرد تجهیزات جانبی (دمنده هوا)

۳- استفاده گاز سوخت و پروسس با دما، فشار و ترکیب مورد نظر

جدول (۳-۶۲) پرسش‌نامه مدیریت انرژی کوره حرارتی

	پتانسیل صرفه‌جویی انرژی	بلی	خیر	توضیحات
نت مؤثر	عدم وجود برنامه‌ریزی و اجرای منظم نگهداری و تعمیرات کوره و تجهیزات جانبی آن			
	تغییر فرم سر مشعل و دیفیوزر مشعل			
	کثیفی سرمشعل و فیلتر سوخت و مسیرهای سوخت‌رسان			
	وجود نشتی در دیواره‌ها و سقف کوره			
	وجود نشتی در تیوب‌های کوره			
	عایق و نسوز نامناسب دیواره‌های کوره			
استفاده از تجهیزات/ کنترل بهینه	عدم ثبت مقادیر تحلیل ترکیبات گازهای سوخت و پروسس دریافتی			
	عدم وجود اندازه‌گیر و ثبت مقادیر تحلیل گازهای احتراق خروجی دودکش			
	عدم وجود سیستم کنترل هوای اضافی کوره			
	عدم نصب درایور کنترل سرعت روی فن‌ها و دمنده‌های کوره			
	عدم ثبت مقدار گاز سوخت و پروسس دریافتی‌کوره			
	عدم کنترل دمای دیواره‌های کوره			
	عدم کنترل مناسب فشار کوره			
	عدم نصب تجهیزات بازیافت مانند اکونومایزر در کوره			
	عدم امکان کنترل مناسب نسبت هوا به سوخت			
بررسی عملکرد	عدم محاسبه و ثبت کارآیی احتراق کوره			
	عدم برنامه بهبود عملکرد تجهیزات جانبی (دمنده هوا)			
	عدم استفاده گاز سوخت و پروسس با دما، فشار و ترکیب مورد نظر			

۳-۱۳ دستورالعمل نحوه عملکرد، اندازه‌گیری و تعریف شاخص‌های انرژی الکتروموتور

۳-۱۳-۱ هدف و دامنه کاربرد دستورالعمل نحوه تحلیل عملکرد انرژی الکتروموتور

هدف از تدوین این دستورالعمل، آشنایی ممیزان انرژی با نحوه تحلیل عملکرد انرژی الکتروموتور و دامنه کاربرد این دستورالعمل با توجه به معیارهای ممیزی انرژی (هدف کلان، نوع و سطح ممیزی، روش و استاندارد ممیزی، نحوه و میزان مشارکت کارکنان، محدوده و مدت زمان اجرای ممیزی و الزامات گزارش ممیزی)، تمامی یا بخشی از الکتروموتورهای موجود در یک فرآیند صنعتی یا واحد عملیاتی یا شرکت تولیدی است.

۳-۱۳-۲ مسئولیت تحلیل عملکرد انرژی الکتروموتور

مسئولیت تحلیل عملکرد انرژی الکتروموتور با تیم ممیزان انرژی شرکت تولیدی (درجه دو و سه / مقیم یا غیرمقیم) است. پیشنهاد می‌شود این تیم، حداقل متشکل از کارشناسان جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها و اطلاعات اولیه، اندازه‌گیری و تحلیل متغیرها و شاخص‌های عملکرد انرژی و ارائه راهکارهای عملی صرفه‌جویی انرژی الکتروموتور باشد.

۳-۱۳-۳ واژگان دستورالعمل نحوه تحلیل عملکرد انرژی الکتروموتور

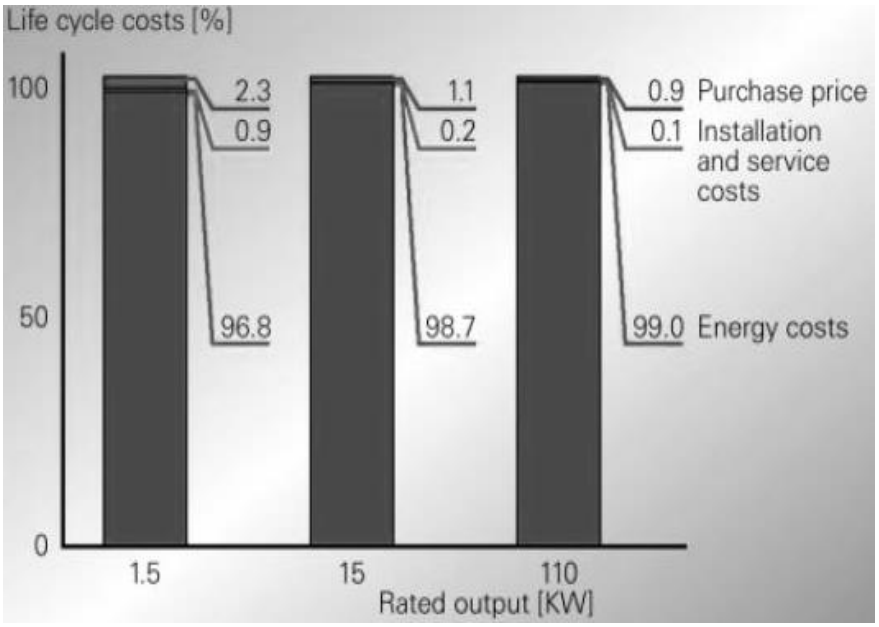
موتور الکتریکی: این تجهیز با تبدیل انرژی الکتریکی به انرژی مکانیکی دورانی به عنوان انرژی‌برترین تجهیز الکتریکی در صنعت، از جایگاه خاصی برخوردار است.

مزیت‌های موتورهای القایی: از انواع موتورهای الکتریکی (موتورهای AC القایی با روتور قفس سنجابی، موتورهایAC القایی با روتور سیم‌پیچی شده و موتورهای DC از نوع شنت و سری یا موتورهای ترکیبی[1])، موتورهای القایی سه فاز به علت ارزانی نسبت

1- Compound

به موتورهایDC و تعمیر و نگهداری کمتر و آسان‌تر، پرکاربردترند.

لزوم صرفه‌جویی انرژی در موتورها: دلیل لزوم صرفه‌جویی انرژی در موتورها، قابل قیاس نبودن هزینه بهره‌برداری (مصرف انرژی) با هزینه خرید و تعمیرات است.



شکل (۳-۶۳) مقایسه هزینه انرژی با سایر هزینه‌ها در چرخه عمر یک موتور الکتریکی

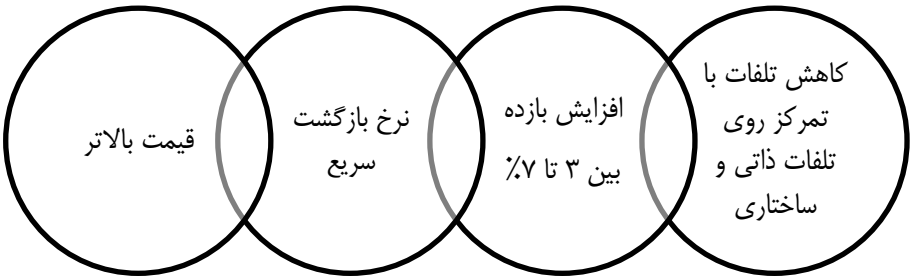
انواع تلفات در موتورهای الکتریکی:

- تلفات آهنی (بی‌باری، مغناطیس‌کنندگی، هسته)، مقدار آن به ولتاژ بستگی داشته و مستقل از میزان بار آن، ثابت است.
- تلفات مسی (بار داری) متناسب با مجذور جریان بار است
- تلفات اصطکاکی (تلفات مکانیکی) و تلفات سیم‌پیچی، مستقل از میزان بار و مقدار آن ثابت است
- تلفات مربوط به بار هرز

نکته: میزان تلفات مسی در تعیین مقدار ضریب توان موتور مؤثر است. تلفات مسی

در بار کم، افزایش و از این‌رو منجر به ایجاد ضریب توان کم می‌شود.

موتورهای پربازده[1]: در موتورهای پربازده نسبت بـه موتورهـای اسـتاندارد، تغییـرات ساختاری باعث افزایش کارآیی الکتریکی شده است. در ایـن موتورهـا بـه سـبب بهبـود طراحی، استفاده از مواد با کیفیت بهتر، بهبـود تکنیـک‌هـای سـاخت و کـاهش خطاهـا، میزان تلفات موتور کاهش یافته است. همچنین این موتورها با نصـب مناسـب و کـاهش تلفات انرژی، خنک‌تر می‌مانند که این امر به کاهش بار حرارتی یوتیلیتی کمک می‌کنـد. از طرفی با افزایش طول عمر تحمل‌پذیری، افزایش طول عمر عایق و کـاهش ارتعاشـات، عملیات سرویس موتور کاهش می‌یابد.

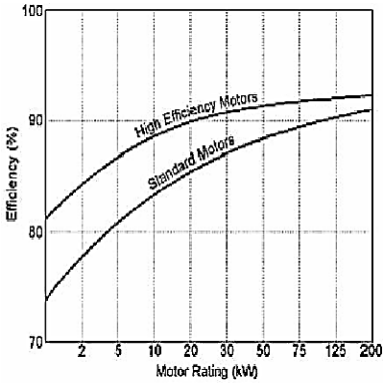


شکل (۳-۶۴) ویژگی‌های موتورهای پربازده

از مصادیق تغییرات ساختاری در موتورهای پربازده نسبت بـه موتورهـای اسـتاندارد، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- استفاده از سیم‌های ضخیم‌تر
- استفاده از ورقه‌های نازک‌تر در استاتور
- استفاده از فن کوچک‌تر
- استفاده از مس به‌جای آلومینیوم در میله‌های رتور

1- Energy Efficient Electrical Motor

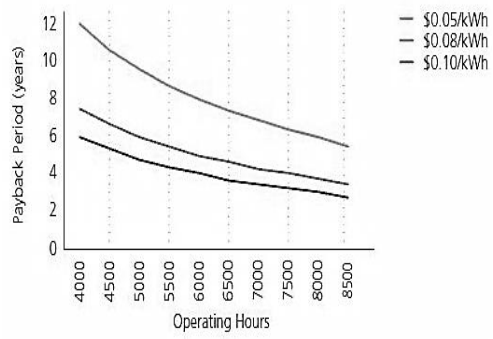


شکل (۳-۶۵) نمودار مقایسه منحنی مشخصه موتورهای پربازده با موتورهای استاندارد

توجه: تعویض این موتورها با موتورهای استاندارد موجود که هنوز دچار خرابی نشده‌اند، توصیه نمی‌شود.

کاربرد موتور پربازده: گرچه قیمت موتورهای با کارایی بالا، بیشتر از موتورهای استاندارد است، ولی در اغلب کاربردها استفاده از آن‌ها کاملاً اقتصادی است؛ مخصوصاً در کاربردهای زیر، استفاده از موتورهای با کارآیی بالا پیشنهاد می‌شود.

- مدت زمان روشن بودن موتور، بیش از زمان خاموش بودن آن باشد
- مدت زمان روشن بودن موتور، بیش از ۲۰۰۰ ساعت در سال باشد
- گشتاور بار نسبتاً ثابت بوده و موتور به درستی به بار تطبیق شده باشد



شکل (۳- ۶۶) نمودار روند بازگشت سرمایه یک موتور پربازده

بارهایی چون میکسرها و نقاله‌ها از این نوع هستند. اهمیت موضوع وقتی آشکار می‌شود که متوجه باشیم هزینه انرژی مصرفی یک الکتروموتور در چرخه عمر مفید آن ۱۰ تا ۲۰ برابر قیمت موتور است. موتورهای با کارایی بالا، علاوه بر صرفه‌جویی انرژی (بهبود کارآیی از ۳٪ تا ۷٪)، دارای سیستم نرم راه‌انداز هستند (جریان‌های بیشتری را در هنگام راه‌اندازی تحمل و حرارت و نویز کمتری تولید می‌کنند). هزینه‌های تعمیر و نگهداری و بهره‌برداری نیز در آن‌ها کمتر است.

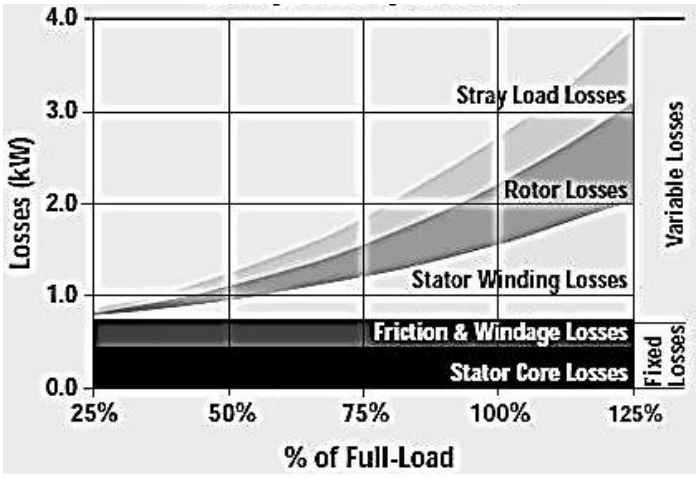
میزان صرفه‌جویی انرژی موتور پربازده: در صورت استفاده از موتور با کارآیی بالا به‌جای موتورهای استاندارد، میزان صرفه‌جویی انرژی از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$\text{صرفه‌جویی} = \text{hp} \times 0.764 \times \text{l} \times \text{hr} \times \text{c} \times \left[\frac{100}{\eta_{std}} - \frac{100}{\eta_{ee}}\right]$$

در رابطه hp توان موتور برحسب اسب بخار، l ضریب بار (درصد از بار کامل تقسیم بر ۱۰۰)، hr ساعت کار در طول سال، c متوسط قیمت انرژی (قیمت هر کیلووات ساعت به ریال)، η_{std} کارآیی موتور استاندارد (٪)، و η_{ee} کارآیی موتور با کارآیی بالا (٪) است. پیشنهاد می‌شود هنگام خرید موتور یا سفارش ساخت به سازندگان موتور از موتورهای با کارآیی بالا استفاده شود.

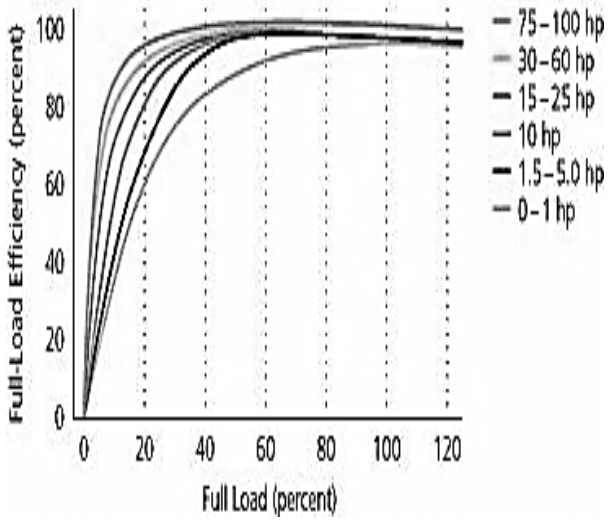
انتخاب مناسب اندازه موتور الکتریکی[۱]: از دلایل کم‌باری موتورها، می‌توان به نیاز به گشتاور راه‌اندازی بالا، نیاز به ایجاد سطحی مطلوب در خروجی و انتخاب یک ضریب اطمینان هنگام انتخاب موتور و از اثرات کم‌باری موتورها، می‌توان به افزایش تلفات، کاهش بازده و ضریب توان اشاره نمود.

۱- اجتناب از under load و over size موتور الکتریکی

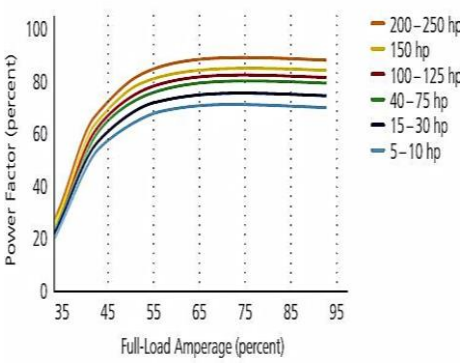


شکل (۳-۶۷) بررسی اثر کم‌باری بر تلفات یک موتور۵۰ اسب بخار با دور ۱۸۰۰

همچنین از جمله راهکارهای مورد نظر این اثرات نامطلوب، می‌توان به تعویض موتور در هنگام بارگذاری موتور زیر ۵۰٪ در شرایط نرمال، تغییر اتصال از مثلث بـه سـتاره در صورت بارگذاری موتور زیر ۴۰٪ و افزایش بارگذاری بین ۱۰٪ تا ۲۰٪ با کـاهش سـرعت موتور اشاره کرد.



شکل (۳-۶۸) نمودار اثر کم‌باری روی بازده موتور



شکل (۳-۶۹) اثر کم‌باری روی ضریب توان الکتروموتور

نمونه‌ای از انتخاب اندازه نامناسب الکتروموتور به شرح زیر است:

برای انتخاب یک الکتروموتور با بار ۷ کیلووات، در نظر گرفتن حاشیه اطمینان ۱۰٪ توسط مشاورین یا کارشناسان، منجر به انتخاب موتور ۷/۷ کیلوواتی شده و با توجه به انتخاب موتور با اندازه استاندارد، اندازه بعدی یعنی موتور ۱۱ کیلووات باید انتخاب و خریداری شود. در نتیجه این موتور ۱۱ کیلوواتی نسبت به بار مورد نیاز یعنی بار ۷ کیلوواتی با اندازه نامناسب انتخاب شده است.

تناسب موتور با بارهای متغیر: موتورهای صنعتی اغلب دارای بار متغیر هستند (بسته به نوع فرآیند)، بنابراین انتخاب موتور براساس پیک بار، تصمیم نادرستی است. نتایج اتخاذ این تصمیم نادرست به شرح زیر است:

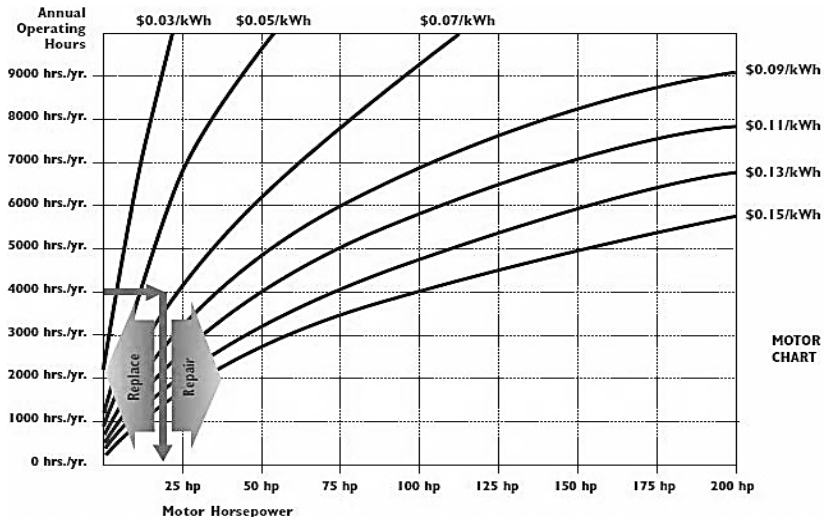
- پرداخت هزینه زیاد برای خرید موتور بزرگ
- کارکرد کوتاه‌مدت موتور در حالت بار کامل
- کارکرد بلندمدت موتور در حالت کم‌باری

بر این اساس انتخاب موتور کمتر از پیک بار، تصمیم درستی خواهد بود. نتایج اتخاذ این تصمیم درست به شرح زیر است:

- پرداخت هزینه کمتر

- کارکرد موتور در حالت نزدیک بار کامل و افزایش بازده
- کارکرد کوتاه مدت موتور در حالت اضافه بار (در طراحی موتور این مورد لحاظ شده است.)
- مهم‌ترین بحث در این نوع کارکرد، بحث افزایش دما (تحمل عایقی) است

سیم‌پیچی مجدد موتورها: در صورتی‌که سیم‌پیچی مجدد موتورها درست انجام پذیرد، آسیبی به بازده وارد نخواهد شد، ولی انجام نادرست آن، موجب کاهش بازده خواهد شد. علت این امر ناشی از تغییر در شرایط سیم‌پیچی اعم از طراحی، مواد به‌کار رفته در آن، عملکرد عایق و افزایش دمای بهره‌برداری خواهد بود. اگر هزینه سیم‌پیچی مجدد ۵۰٪ تا ۶۵٪ هزینه یک موتور پربازده باشد، خصوصاً برای موتورهای زیر ۳۷ کیلووات و بالای ۱۵سال و یک‌بار سیم‌پیچی شده، تعویض با یک موتور پربازده، بهترین راهکار است.



شکل (۳-۷۰) نمودار تصمیم بر تعویض یا اصلاح موتور

بهبود کیفیت توان: تأثیر موتور از کیفیت توان منبع تغذیه، ناشی از نوسان‌های ولتاژ و نوسان‌های فرکانس خواهد بود. طبق استاندارد ۵۱۹ انجمن مهندسین برق و الکترونیک، متغیرهای کیفیت توان عبارتند از:

- کمبود ولتاژ
- اضافه ولتاژ
- فلیکر
- درصد اعوجاج هارمونیکی ولتاژ و جریان
- هارمونیک (ولتاژها و جریان‌هایی با فرکانس مضرب صحیح از فرکانس اصلی)
- عدم تعادل ولتاژ

جدول (۳-۶۳) هارمونیک در یک نگاه

دلایل ایجاد	نتایج و اثرات	ارائه راهکار
بارهای دارای کلیدزنی بارهای غیرخطی وسایل الکترونیک قدرت (VSD و..) بارهای دارای هسته اشباع شونده	افزایش تلفات هسته افزایش دمای موتور ترکیدن خازن یا سوختن فیوز آن‌ها	فیلترهای هارمونیکی شناسایی بارهای هارمونیک‌زا و تغذیه جداگانه آن‌ها

عدم تعادل ولتاژ: از جمله عوامل عمده عملکرد نامناسب موتور، عدم تعادل ولتاژ است. از دلایل ایجاد آن می‌توان به خطای تکفاز به زمین، رخداد مدار باز در سیستم توزیع، عملکرد نادرست بانک‌های خازنی و استفاده از کابل‌هایی با اندازه مختلف برای تغذیه موتور اشاره کرد. اثرات نامناسب آن، عدم تعادل جریان از ۶ تا ۱۰برابر، افزایش ارتعاشات گشتاور (لرزش و تنش‌های مکانیکی موتور) و نیز افزایش دما و در نتیجه کاهش عمر عایقی و در نهایت افزایش تلفات و بالاخره کاهش بازده خواهد بود.

از راهکارهای کاهش عدم تعادل ولتاژ می‌توان به پایش ولتاژ در ترمینال موتور

(درصد عدم تعادل کمتر از ۱٪)، بررسی پخش بودن بارهای تکفاز در سیستم توزیع و استفاده از نشان‌دهنده‌های خطای تک‌فاز به زمین اشاره نمود.

جدول (۳-۶۴) تأثیر عدم تعادل ولتاژ بر بازده الکتروموتور

درصد بار کامل٪	بازده موتور٪		
	عدم تعادل ولتاژ		
	نامی	٪۱	٪۲/۵
۱۰۰	۹۴/۴	۹۴/۴	۹۳
۷۵	۹۵/۲	۹۵/۱	۹۳/۹
۵۰	۹۶/۱	۹۵/۵	۹۴/۱

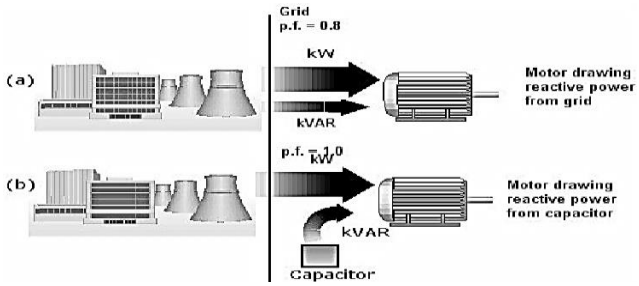
= میزان صرفه‌جویی انرژی سالانه

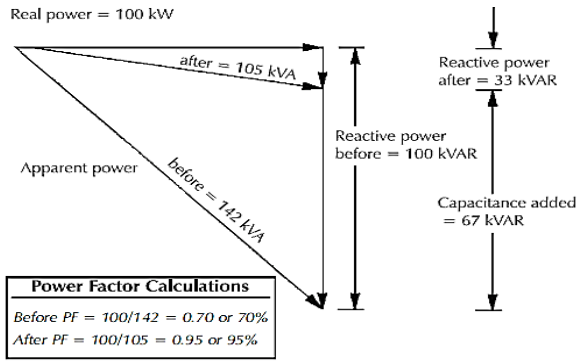
100 hp*0.746kW/hp*8000 hr/yr*(100/93-100/94.4)=9517 kWh/yr

تصحیح ضریب توان الکتروموتور: بارهای القایی باعث ترکیب توان اکتیو و راکتیو شده و لذا مستعد برای کاهش ضریب توان هستند. از فوائد تصحیح ضریب توان، می‌توان به اشغال کمتر ظرفیت خطوط، کاهش تلفات در کابل‌ها، کاهش افت ولتاژ، بهبود تنظیم ولتاژ و افزایش بازده در منابع تغذیه موتور اشاره کرد.

راهکارهای تصحیح عبارتند از:

- عدم استفاده از موتورهایی که دچار کم‌باری هستند
- اجتناب از بهره‌برداری تجهیزات بالاتر از محدوده ولتاژ نامی
- نصب خازن برای تزریق توان راکتیو مورد نیاز موتور





شکل(۳-۷۱) وجود بانک خازنی و افزایش PF

جدول (۳-۶۵) میزان ظرفیت خازن مورد نیاز برای اتصال مستقیم به الکتروموتور القایی

توان نامی الکتروموتور (اسب بخار)	ظرفیت خازن (کیلووار)			توان نامی الکتروموتور (اسب بخار)	ظرفیت خازن (کیلووار)		
	۱۵۰۰ rpm	۱۰۰۰ rpm	۷۵۰ rpm		۱۵۰۰ rpm	۱۰۰۰ rpm	۷۵۰ rpm
۲۰	۶	۹	۹	۷۵	۱۷,۵	۲۰	۲۵
۲۵	۶	۱۰	۱۰	۸۰	۱۸	۲۰	۲۵
۳۰	۷	۱۰	۱۱/۵	۸۵	۲۰	۲۰	۲۷/۵
۳۵	۹	۱۰	۱۲	۹۰	۲۰	۲۰	۲۷/۵
۴۰	۹/۵	۱۰	۱۷/۵	۱۰۰	۲۲	۲۵	۲۷/۵
۴۵	۱۰	۱۵	۱۷/۵	۱۲۰	۲۵	۳۰	۴۵
۵۰	۱۰	۱۵	۲۰	۱۲۵	۲۵	۳۰	۴۵
۵۵	۱۲	۲۰	۲۰	۱۳۰	۲۵	۳۰	۴۵
۶۰	۱۲	۲۰	۲۰	۱۴۰	۳۰	۳۰	۴۵
۶۵	۱۵	۲۰	۲۲/۵	۱۵۰	۳۰	۳۰	۴۵
۷۰	۱۵	۲۰	۲۵	۱۶۰	۳۰	۳۵	۵۰
				۲۰۰	۳۰	۳۵	۵۰

کنترل سرعت موتور: روش کنترل سرعت، نکته مهمی در موتورهای الکتریکی است و انواع روش‌های کنترل سرعت عبارتند از:

- درایو کنترل سرعت هیدرولیکی
- درایو کنترل سرعت مکانیکی
- موتورهای چند سرعته
- درایوهای DC
- درایو با کلید رلوکتانسی
- موتورهای همراه با VSD

از معیارهای انتخاب روش کنترل می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱- هزینه سرمایه‌گذاری

۲- رفتار بار موتور مورد بحث

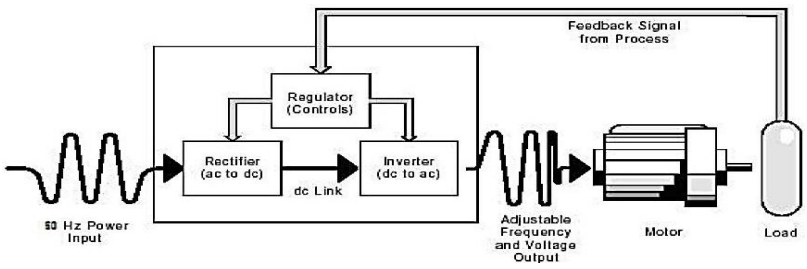
۳- سوابق و داده‌های جریان خروجی

۴- تعرفه برق آن منطقه

۵- ویژگی‌های سیستم کنترل سرعت

ویژگی‌های انواع درایوهای کنترل سرعت

موتورهای همراه با VSD: در روش کنترل درایو سرعت متغیر، کنترل سرعت و گشتاور یک موتور با تغییر ولتاژ و فرکانس ورودی با نسبت ثابت V/fصورت می‌پذیرد.



شکل(۳-۷۲) نمای شماتیک یک کنترل‌کننده سرعت متغیر

از ویژگی‌های این نوع کنترل می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- توانایی پشتیبانی موتورها تا توان‌های بالا مثلاً ۷۵۰ کیلووات
- امکان پیاده‌سازی در سیستم موجود و نصب شده
- توانایی کاهش قابل توجه مصرف انرژی تا حد ۵۰ ٪ یا بیشتر در فن و پمپ
- تبدیل فرکانس ۵۰ هرتز ورودی به فرکانس‌های متغیر جهت کنترل سرعت موتور القایی
- یکپارچه
- کاهش فضا
- نصب آسان
- هزینه کم نگهداری و تعمیرات

درایو با کلید رلوکتانسی: از ویژگی‌های موتورهای رلوکتانسی یا رتور سیم‌پیچی شده می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- عملکرد در سرعت‌های خیلی بالا
- نویزپذیر
- نیاز به کنترل‌کننده الکترونیکی
- توانایی تغییر گشتاور با تغییر مقاومت رتور
- مورد استفاده در قدرت‌های بالای ۳۰۰ اسب بخار

درایوهای DC: قدیمی‌ترین نوع درایو کنترل سرعت و متشکل از موتور dc، تاکوژنراتور وکنترلر (فیدبک از سرعت توسط تاکو و تنظیم توسط کنترلر) با ویژگی‌های زیر:

- تولید نویز کمتر
- پیچیدگی کمتر
- توانایی راه‌اندازی با گشتاور بالا

- نیاز به تعمیرات بیشتر
- عدم استفاده در سرعت‌های بالا

موتورهای چندسرعته: ویژگی‌های موتورهای چندسرعته عبارتند از:

- دارای سیم‌پیچی خاص برای عملکرد در دو سرعت با نسبت‌های ۱و۲
- قابلیت ایجاد دو سیم پیچ مجزا و عملکرد در چهار سرعت
- مفید برای کاربردهایی با تغییرات کم در سرعت (فن‌هایی که با دو سرعت کار می‌کنند)
- بازده کمتر نسبت به نوع تک سرعته

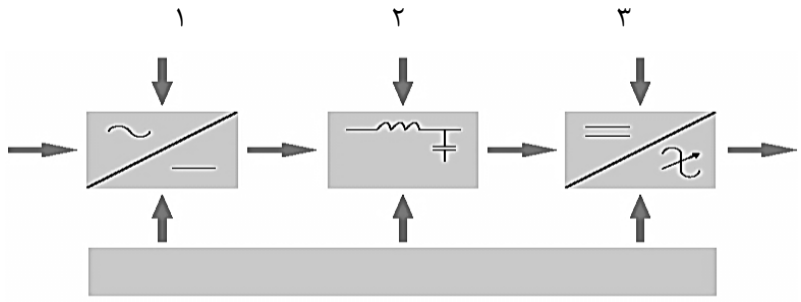
درایو کنترل سرعت مکانیکی: ویژگی‌های این نوع درایو عبارتند از:

- استفاده از تسمه و غلتک‌های فلزی با قطر قابل تنظیم برای تغییر سرعت
- تلفات زیاد و بازده کم

درایو کنترل سرعت هیدرولیکی: ویژگی‌های این نوع درایو عبارتند از:

- استفاده از روغن هیدرولیکی برای انتقال نیرو وگشتاور
- تلفات زیاد و بازده کم

در ادامه ساختار یک VSD آمده است.



شکل (۳-۷۳) ساختار شماتیک یک کنترل‌کننده سرعت

۱- یکسوساز: تبدیل جریان متناوب AC به جریان مستقیم DC

۲- مدار میانی: ترکیبی از سلف‌ها و خازن‌ها که پس از یکسوساز DC قرار می‌گیرند

۳- مبدل[1]: تبدیل موج DC موجود، به ولتاژ و فرکانسی متغیر به وسیله سوئیچ‌های نیمه هادی

۴- واحد کنترل: دریافت و ارسال سیگنال‌ها به یکسوساز، مدار میانی و مبدل برای عملکرد درست تجهیزات

موارد استفاده از VSD در انواع بار

۱- بار گشتاور ثابت: در این نوع بارها (فن، پمپ)، کاهش سرعت به هر میزانی باعث صرفه‌جویی انرژی شده که این امر به لحاظ رابطه گشتاور با مجذور سرعت و همچنین رابطه توان با مکعب سرعت است. لذا بارهای با گشتاور متغیر، پتانسیل بالقوه مناسبی جهت صرفه‌جویی انرژی دارند.

نکته: کنترل سرعت در پمپ و فن توسط VSD

روابط حاکم در فن یا پمپ:

$(N1 / N2)^3 = P_1 / P_2$ و $(N_1 / N_2) = Q_1 / Q_2$

(N: سرعت، Q: دبی و P: توان مصرفی)

که جهت کاهش سرعت پمپ می‌توان از روش‌های زیر استفاده کرد.

الف- روشVSD: کاهش بسیار کم بازده، امکان ایجاد فشار ثابت با تغییر دور موتور

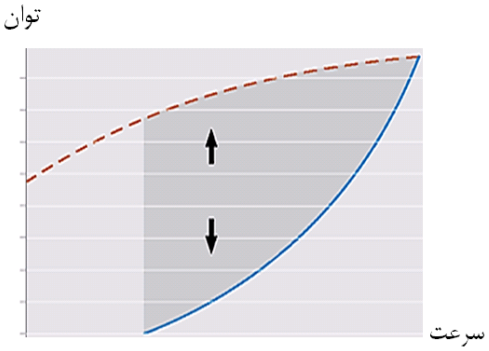
ب- روش شیر خفه‌کن: کاهش بازده، امکان صرفه‌جویی کم انرژی

ج- تغییر قطر پره: کاهش بازده، برای مواردی‌که نیاز به تعویض پمپ موجود با پمپ کوچک‌تر دارد مفید است

$(Q_1/Q_2)=(D_1/D_2)^3$ و $(P_1/P_2)=(D_1/D_2)$

1- Inverter

در ادامه، مقایسه میزان مصرف انرژی بین حالت سرعت ثابت و کنترل با VSD آمده است. رنگ قرمز مربوط به سرعت ثابت و رنگ آبی مربوط به VSD است.

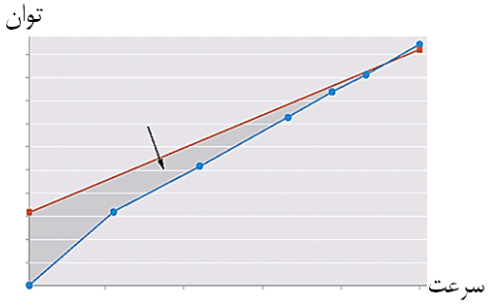


شکل (۳- ۷۴) صرفه‌جویی انرژی ناشی از کنترل سرعت در پمپ توسط VSD

۲- بار گشتاور ثابت: در این نوع بارها (نقاله، کمپرسور، سنگ‌شکن)، گشتاور با سرعت رابطه‌ای ندارد ولی توان متناسب با سرعت تغییر می‌کند.

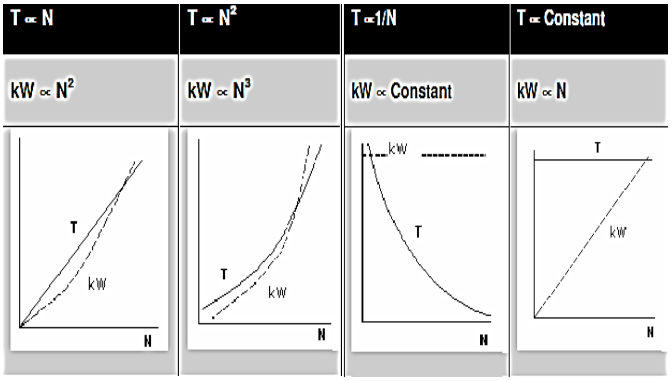
نکته: کنترل سرعت در کمپرسور توسط VSD

کمپرسورها دارای بار گشتاور ثابت هستند، یعنی سرعت با توان مصرفی رابطه مستقیم دارد. در کمپرسورها در مقایسه با پمپ و فن، صرفه‌جویی انرژی، کاهش قابل توجه می‌یابد و استفاده از این نوع درایو از دیدگاه صرفه‌جویی انرژی صرفاً برای حالت کار طولانی و بار خیلی کمتر از بار نامی توجیه اقتصادی دارد.



شکل (۳-۷۵) صرفه جویی انرژی ناشی از کنترل سرعت در کمپرسور توسط VSD

۳- بار توان ثابت: در این گونه بارها، گشتاور با سرعت، متغیر ولی میزان توان همیشه ثابت است. یعنی هیچ‌گونه صرفه‌جویی در میزان انرژی با کاهش سرعت در این بارها حاصل نمی‌شود.



شکل (۳-۷۶) انواع بار و شدت تأثیر ادوات کنترل سرعت

نکته: همان‌گونه که پیشتر نیز اشاره گردید، بیشترین پتانسیل ذخیره انرژی مربوط به بارهای گشتاور متغیر (۲۰٪ کاهش سرعت معادل ۵۰٪ کاهش‌مصرف انرژی) است.

از مزایای استفاده از VSD در کنترل دور موتورها می‌توان به موارد زیر اشاه نمود.

۱- عمر مفید بالا (به دلیل استفاده از مدارات الکترونیک قدرت)

۲- توانایی درایو در بازگرداندن انرژی مصرفی در ترمزهای مکانیکی و یا مقاومت‌های الکتریکی به شبکه (بعضاً هزینه انرژی بازیافت شده در کمتر از یکسال معادل هزینه سرمایه‌گذاری سیستم بازیافت انرژی می‌شود.)

۳- کاهش جریان راه‌انداز کشیده شده از شبکه (جریان راه‌اندازی کمتر از ۱۰٪ جریان نامی می‌شود)

۴- کاهش مصرف انرژی در سیستم‌های دارای فن (در گذشته با وجود موتورهای دور ثابت،کنترل جریان سیال با دمپرها صورت می‌گرفت)

۵- کاهش تنش‌های الکتریکی (به دلیل راه‌اندازی و توقف نرم) و در پی آن کاهش

تنش‌های مکانیکی که باعث کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری می‌شود.

۶- افزایش دامنه تغییرات ممکن برای سرعت موتور نسبت به روش‌های مکانیکی

۷- اضافه شدن امکانات نرم‌افزاری برای مدیریت عملکرد کنترل دور

البته همیشه نمی‌توان از درایو کنترل سرعت استفاده نمود. مواردی از عدم استفاده آن آمده است:

- محل‌هایی در پمپ و فن که دارای دبی صفر یا نزدیک به صفر هستند.
- زمانی که تغییرات در سرعت پمپ و فن به سرعت انجام می‌پذیرد.
- زمانی که سیستم به‌طور مطلوب طراحی شده و موتور و بار در ظرفیت کامل خود قرار دارند.
- در بعضی موارد و بر حسب رفتار بار و با توجه به هزینه خرید VSD، نصب این تجهیز به صرفه نیست.
- اثر منفی استفاده از VSD: کیفیت شکل موج خروجی درایو می‌تواند سبب تلفات حرارتی اضافی ناشی از مؤلفه‌های هارمونیکی فرکانس بالا در موتور و یا موجب نوسانات گشتاور در موتور می‌شود. درایوهای امروزی به دلیل استفاده ازسوئیچ‌های الکترونیک قدرت سریع، عملاً این نوع مشکلات را حذف کرده‌اند. استفاده از فیلترهای هارمونیکی نیز پیشنهاد می‌شود.

۳-۱۳-۴ شرح عملیات تحلیل عملکرد انرژی الکتروموتور

برای تحلیل عملکرد انرژی الکتروموتور می‌توان به این شیوه گام به گام عمل نمود.

الف- تهیه شناسنامه انرژی الکتروموتور

ب- تعریف و محاسبه شاخص‌های عملکرد انرژی الکتروموتور

ج- شناسایی فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی و تکمیل پرسش‌نامه مدیریت انرژی الکتروموتور

الف- تهیه شناسنامه انرژی موتور الکتریکی

جدول (۳- ۶۶) شناسنامه انرژی موتور الکتریکی

شماره فنی موتور	وظیفه	محل استقرار	توان نامی (کیلووات)	ضریب توان نامی	کارایی به ازای درصد بارگذاری		
					۵۰	۷۵	۱۰۰

ب- تعریف و محاسبه شاخص‌های عملکرد انرژی موتور الکتریکی

شاخص LOD: درصد بارگذاری الکتروموتور می‌باشد.

نحوه برداشت و محاسبه شاخص: این شاخص عبارت است از نسبت توان الکتریکی مصرفی در حالت بهره‌برداری به توان طراحی (توان نامی) در الکتروموتور و مشخص می‌کند چند درصد موتور بار نامی بارگذاری شده است.

$$\%LOD = \frac{\text{توان الکتریکی مصرفی در حالت بهره‌برداری}}{\text{توان طراحی (توان نامی) در الکتروموتور}} * ۱۰۰$$

این عدد می‌تواند از صفر شروع شود و تا بیش از ۱۰۰ ادامه یابد.

رتبه انرژی الکتروموتور به صورت جدول ۳-۶۷ مشخص می‌شود.

جدول (۳-۶۷) استاندارد اروپایی رتبه‌بندی انرژی موتورهای الکتریکی برحسب درصد بارگذاری

رتبه	درصد بارگذاری	توضیحات
A*	بالاتر از ۱۰۰	موتور با بیش از ظرفیت خود کار می‌کند و ممکن است مشکل تهویه یا خرابی عایق بروز کند. در این حالت بهتر است موتور با یک موتور پربازده متناسب با توان عملیاتی تعویض شود.
A	۷۵-۱۰۰	در این حالت مصرف انرژی و کارایی الکتریکی الکتروموتور بهینه است.

B	۵۰-۷۵	در این حالت مصرف انرژی و کارایی الکتریکی الکتروموتور بهینه نیست.
C	کمتر از ۵۰	در این حالت مصرف انرژی و کارایی الکتریکی موتور نامناسب و تلفات موتور بالاست.
C*	زیر ۵۰ و ضریب توان زیر ۰/۵	با توجه عملکرد انرژی نامطلوب موتور دراین حالت، بهتر است موتور با یک موتور پربازده متناسب با توان عملیاتی تعویض شود.

شاخص EFF: کارآیی الکتریکی الکتروموتور می‌باشد.

نحوه برداشت و محاسبه شاخص: با توجه به تعریف کارآیی الکتریکی (نسبت انرژی خروجی به انرژی ورودی موتور) و با عدم امکان اندازه‌گیری انرژی خروجی (گشتاور*سرعت)، عملاً این شاخص مستقیماً نمی‌تواند به دست آید و با درون‌یابی یا برون‌یابی از روی منحنی مشخصه موتور (کارآیی موتور- درصد بارگذاری) استخراج می‌شود.

جدول (۳-۶۸) شاخص‌های عملکرد انرژی الکتروموتور

نامشاخص	اختصار	رابطه محاسباتی	متغیرها	واحد
درصد بارگذاری	LOD	توان بهره‌برداری به توان نامی‌موتور	توان بهره‌برداری موتور	kW
			توان نامی موتور	kW
بازده انرژی الکتریکی	EFF	-	-	-

جدول (۳-۶۹) نحوه اندازه‌گیری شاخص‌های عملکرد انرژی الکتروموتور

نام شاخص	پارامترها	منبع دسترسی		دستگاه اندازه گیری
		نامی	بهره برداری	
درصد بارگذاری	توان بهره‌برداری موتور	-	اندازه‌گیری/برداشت	تحلیل‌گر کیفیت توان
	توان نامی موتور	دیتاشیت	-	-
بازده انرژی الکتریکی	-	دیتاشیت	منحنی مشخصه موتور	-

ج- شناسایی فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی و تکمیل پرسش‌نامه مدیریت انرژی موتور الکتریکی

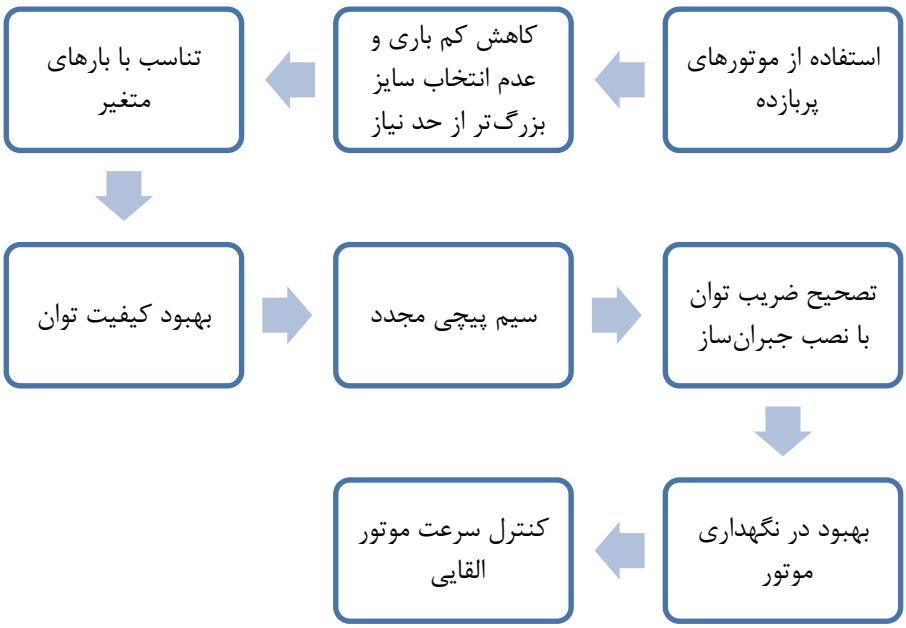
با شناسایی منابع بالقوه تلفات انرژی موتور الکتریکی می‌توان فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی در این تجهیز مهم صنعت را مورد بررسی و شناسایی قرار داد. این منابع را می‌توان به چهار دسته تقسیم نمود.

۱- نگهداری و تعمیرات نامناسب موتور الکتریکی

۲- عدم استفاده از تجهیزات و کنترل بهینه در موتور الکتریکی

۳- تناسب اندازه سیستم موتور

۴- وضعیت نامناسب شاخص‌های عملکرد انرژی موتور الکتریکی در حالت عملیاتی در مقایسه با مقادیر هدف



شکل (۳-۷۷) نمونه‌ای از فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی در الکتروموتورها در یک نگاه

در ادامه، فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی در موتور الکتریکی آمده است.

الف- فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی در نگهداری و تعمیرات موتور الکتریکی

۱- تدوین راهبرد مشخص نگهداری مناسب بر اساس طول عمر موتور

۲- تدوین و اجرای منظم برنامه گریس‌کاری و روغن‌کاری مناسب

۳- برنامه‌ریزی و اجرای برنامه نگهداری موتور در دمای پایین (نظافت سطوح و منافذ تهویه با سیستم وکیوم)

۴- برنامه‌ریزی و اجرای برنامه نگهداری موتور در تجهیزات انتقال (تجهیزات انتقال اعم از شافت، دنده، تسمه و زنجیر)

۵- تدوین راهبرد تعویض موتورهای کم‌بازده قبل از خرابی

۶- برنامه‌ریزی و اجرای برنامه برای نگهداشت ولتاژ تغذیه مناسب

۷- برنامه‌ریزی و اجرای برنامه تحلیل لرزش و صدای موتور و سایر قطعات مکانیکی

۸- برنامه‌ریزی و اجرای منظم تست هم‌محوری

۹- بالانس روتور

۱۰- شناسایی و حذف تلفات سیستم توزیع

۱۱- تدوین استاندارد سیم‌پیچی‌مجدد موتور جهت عدم کاهش توان نسبت به قبل

۱۲- کنترل شرایط محیطی نامناسب (فضای با دمای بالا، فضای مرطوب یا مستعد خوردگی، محیط آلوده و غبارآلود)

۱۳- کنترل محل استقرار موتور و بار متصل به آن (برای دوری از تغییر مکان احتمالی)

۱۴- بررسی کابل‌های تغذیه‌کننده موتور و اتصالات (برای اطمینان از محکمی و تمیزی آن‌ها)

۱۵- بررسی مجراهای خنک‌کن موتور (جهت اطمینان از تهویه مناسب، به ازای هر ۱۰درجه افزایش دما، نصف‌شدن عمر عایقی)

ب- فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی در استفاده از تجهیزات و کنترل بهینه در موتور الکتریکی

۱- پایش مناسب مغیرها مانند توان و ضریب توان موتور

۲- جایگزینی الکتروموتور پربازده یعنی EFF_1 یا EFF_2 با الکتروموتور استاندارد

۳- استفاده از موتورهای دوسرعته یا درایو کنترل سرعت در صورت متغیر بودن بار

۴- نصب سیستم راه‌انداز نرم[1]

ج- فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی با طراحی و خرید مناسب

۱- درصد بارگذاری مناسب الکتروموتور (بالای ۵۰٪)

۲- وجود تناسب بین تجهیزات انتقال اعم از شافت، دنده، تسمه و زنجیر

۳- تناسب اندازه موتور به عنوان درایور با تجهیز انرژی‌بر اعم از پمپ، فن، دمنده و کمپرسور

۴- اندازه مناسب کابل‌های قدرت موتورها

۵- جانمایی و نصب مناسب موتور

د- فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی در بررسی عملکرد انرژی موتور الکتریکی

۱- تعادل استاندارد بین جریان‌های سه فاز الکتروموتور (زیر ۵٪)

۲- تعادل استاندارد بین ولتاژهای سه فاز الکتروموتور (زیر ۱۰٪)

۳- ضریب توان مناسب (معمولاً بالای ۰/۹)

۴- عدم وجود هارمونیک خارج از استاندارد در تغذیه (طبق استاندارد IEEE519)

۵- زمین کردن (ارتینگ) مناسب الکتروموتور

۶- خاموش نمودن در موارد غیرضروری

۷- بررسی مداوم بار برای دوری از اضافه بار یا کم‌باری موتور

1- Soft Starter

جدول (۳-۷۰) پرسش‌نامه مدیریت انرژی موتور الکتریکی

	فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی	بلی	خیر	توضیحات
نت مؤثر	عدم وجود استراتژی مشخص نگهداری مناسب براساس طول عمر موتور.			
	عدم وجود برنامه گریس‌کاری و روغن‌کاری مناسب.			
	عدم وجود برنامه نگهداری موتور در دمای پایین.			
	عدم وجود برنامه نگهداری موتور در تجهیزات انتقال.			
	عدم وجود طرحی برای تعویض موتورهای کم بازده قبل از خرابی.			
	عدم وجود برنامه برای نگهداشت ولتاژ تغذیه مناسب.			
	عدم وجود برنامه تحلیل لرزش و صدای موتور و سایر قطعات مکانیکی.			
	عدم وجود برنامه‌ریزی و اجرای منظم آزمایش هم‌محوری.			
	عدم بالانس روتور.			
	عدم وجود استاندارد در سیم‌پیچی مجدد موتور و کاهش توان نسبت به قبل.			
	عدم کنترل شرایط محیطی نامناسب.			
	عدم کنترل محل استقرار موتور و بار متصل به آن.			
	عدم بررسی کابل‌های تغذیه کننده موتور و اتصالات.			
	عدم بررسی مجراهای خنک‌کن موتور.			
استفاده از کنترل/ تجهیزات بهینه	عدم پایش مناسب توان و ضریب توان موتور.			
	عدم کارکرد الکتروموتور با کارآیی استاندارد.			
	در صورت متغیر بودن بار، عدم استفاده از موتورهای دو سرعته یا VSD.			
	عدم وجود سیستم راه‌انداز نرم.			

طراحی/خرید	بارگذاری نامناسب الکتروموتور.			
	عدم وجود تناسب تجهیزات انتقال.			
	عدم تناسب اندازه موتور به عنوان درایور با تجهیز انرژی‌بر.			
	عدم اندازه مناسب کابل‌های قدرت موتورها.			
	جانمایی و نصب نامناسب موتور.			
بررسی عملکرد	عدم تعادل جریان‌ها/ ولتاژهای سه فاز الکتروموتور.			
	ضریب توان نامناسب.			
	وجود هارمونیک خارج از استاندارد در تغذیه.			
	زمین کردن نامناسب.			
	روشن بودن حتی در موارد غیرضروری.			

۳-۱۴ دستورالعمل نحوه عملکرد، اندازه‌گیری و تعریف شاخص‌های انرژی بویلر

۳-۱۴-۱ هدف و دامنه کاربرد دستورالعمل نحوه تحلیل عملکرد انرژی بویلر

هدف از تدوین این دستورالعمل آشنایی ممیزان انرژی با نحوه تحلیل عملکرد انرژی بویلر و دامنه کاربرد این دستورالعمل وابسته به معیارهای ممیزی انرژی (هدف کلان، نوع و سطح ممیزی، روش و استاندارد ممیزی، نحوه و میزان مشارکت کارکنان، محدوده و مدت زمان اجرای ممیزی و الزامات گزارش ممیزی)، در تمامی یا بخشی از بویلرهای موجود برای یک فرآیند صنعتی یا واحد عملیاتی یا شرکت تولیدی است.

۳-۱۴-۲ مسئولیت تحلیل عملکرد انرژی بویلر

مسئولیت تحلیل عملکرد انرژی بویلر با تیم ممیزان انرژی شرکت تولیدی (درجه دو

و سه / مقیم یا غیر مقیم) است. پیشنهاد می‌شود این تیم، حداقل متشکل از کارشناسان جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها و اطلاعات اولیه، اندازه‌گیری و تحلیل متغیرها و شاخص‌های عملکرد انرژی و ارائه راهکارهای صرفه‌جویی انرژی بویلر باشد.

۳-۱۴-۳ واژگان دستورالعمل نحوه تحلیل عملکرد انرژی بویلر

بویلر: بویلر تجهیزی است که از طریق تبخیر آب به کمک گرمایی که توسط سوختن تأمین می‌شود، تولید بخار می‌کند.

کاربرد بخار: در بسیاری از صنایع، بخار برای گرمایش و تولید انرژی الکتریکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بخار فرآیندی، استفاده‌های متعددی در صنایع داشته و بزرگ‌ترین مصرف‌کننده سوخت‌های فسیلی و انرژی است.

خواص بخار: محتوای حرارتی بالای بخار، آزادکردن حرارت در دمای ثابت، ارزان بودن و فراوانی، تمیزی و عدم وجود بو و طعم، راحتی و دقت در توزیع.

اصول استفاده از بخار در فرآیندهای گرمایشی: کاهش نقطه جوش آب با کاهش فشار، افزایش گرمای نهان بخار با کاهش فشار بخار.

اصول استفاده از بخار در تولید انرژی الکتریکی: استفاده از بالاترین دما و فشار اولیه عملی در توربین و استفاده از کمترین فشار خروجی عملی.

بویلر فایرتیوب[1]: در این بویلر، گازهای احتراق داخل لوله‌ها و آب پشت لوله‌ها جریان دارد. در اثر انتقال حرارت، آب به بخار تبدیل و از سیستم خارج می‌شود، انواع مختلف این بویلر به صورت دو پاس، سه پاس و... است.

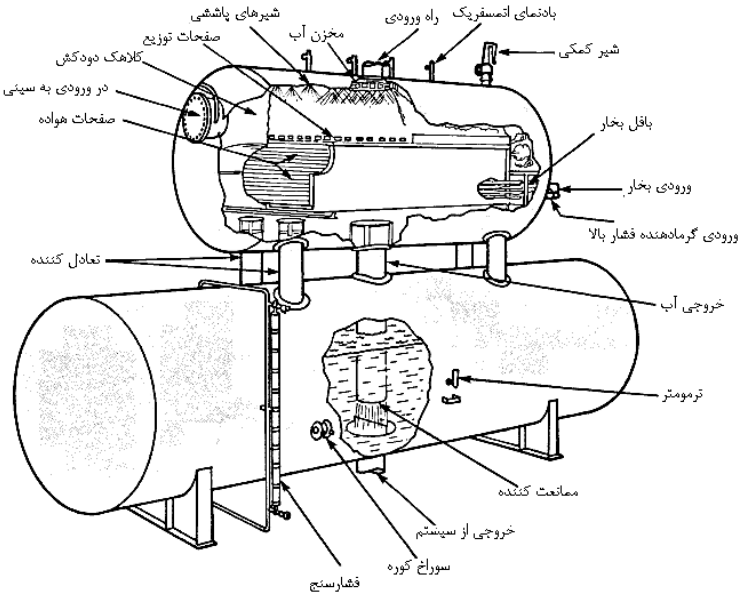
بویلر واترتیوب[2]: در این بویلر آب داخل لوله‌ها در جریان بوده و در بیرون گازهای داغ، به خاطر انتقال حرارت آب، به بخار تبدیل و از سیستم خارج می‌شود. قطر لوله‌های

1- Fire-Tube
2- Water-Tube

این نوع بویلر بیشتر از بویلر فایر تیوب بوده و معمولاً برای فشارها و ظرفیت‌های بیشتر از این نوع بویلر استفاده می‌شود.

اجزای بویلر: یک بویلر صنعتی از اجزای زیر تشکیل شده است:

بافل بخار، کوره، مشعل‌ها، مخزن آب، صفحات توزیع، شیرهای پاششی، متعادل-کننده‌ها، صفحات ورودی هوا، ترمومتر، فشارسنج و بادنمای اتمسفریک.



شکل (۳-۷۸) نمایی از یک بویلر صنعتی

۳-۱۴-۴ شرح عملیات تحلیل عملکرد انرژی بویلر

برای تحلیل عملکرد انرژی بویلر می‌توان به شیوه گام به گام زیر عمل نمود:

الف- تهیه شناسنامه انرژی بویلر

ب- تعریف و محاسبه شاخص‌های عملکرد انرژی بویلر

ج- شناسایی فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی و تکمیل پرسش‌نامه مدیریت انرژی بویلر

الف- تهیه شناسنامه انرژی بویلر

جدول (۳-۷۱) شناسنامه انرژی بویلر

kg/cm^{2}a		فشار داخل محفظه احتراق		مشخصات محفظه احتراق
°C		دمای متوسط داخل محفظه احتراق		
°C		دمای سطح خارجی بویلر		
-		ضریب تصحیح دبی سوخت ورودی به کوره		مشخصات سوخت
Kg/hr		دبی سوخت		
°C		دمای سوخت قبل از مشعل		
kg/cm^{2}a		فشار سوخت ورودی		
%		O_2	اندازه گیری	مشخصات محصولات احتراق
Ppm		CO		
%		CO_2		
Ppm		NO		
ppm		NO_x		
°C		دمای محصولات احتراق خروجی از دودکش		
°C		دمای محصولات احتراق ورودی به اکونومایزر		
kg/cm^{2}a		فشار محصولات احتراق ورودی به اکونومایزر		
°C		دمای محصولات احتراق خروجی از اکونومایزر		
kg/cm^{2}a		فشار محصولات احتراق خروجی از اکونومایزر		
Kg/hr		دبی هوای ورودی		مشخصات هوای ورودی
°C		دمای هوای ورودی		
kg/cm^{2}a		فشار هوای ورودی		
Kg/hr		دبی آب تغذیه ورودی		مشخصات آب تغذیه ورودی
°C		دمای آب تغذیه ورودی قبل از اکونومایزر		
°C		دمای آب تغذیه ورودی بعد از اکونومایزر		

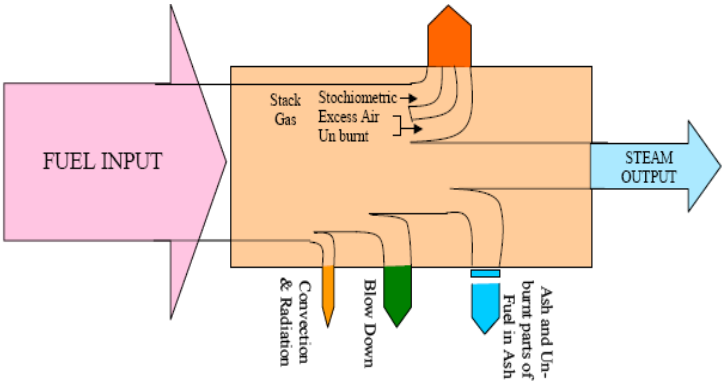
مشخصات آب تغذیه ورودی	فشار آب تغذیه ورودی قبل از اکونومایزر		kg/cm^2a
	فشار آب تغذیه ورودی بعد از اکونومایزر		kg/cm^2a
	دمای آب در ورودی		°C
	فشار آب DM ورودی		kg/cm^2a
مشخصات بخـــــار خروجی	دبی بخار خروجی		Kg/hr
	دمای بخار خروجی		°C
	فشار بخار خروجی		kg/cm^2a
مشخصات بلودان	دبی بلودان		Kg/hr
	دمای بلودان		°C
	فشار بلودان		kg/cm^2a
مشخصات محیط	دمای محیط		°C
	سرعت باد		m/s

ب- تعریف و محاسبه شاخص‌های عملکرد انرژی بویلر

متغیرهای کارایی یک بویلر مثل کارآیی و نسبت تبخیر[1]، در نتیجه احتـراق ضـعیف، رسـوب گرفتگـی سـطوح انتقـال حـرارت، کیفیـت سـوخت و آب نامناسـب، عملکـرد و نگهداری و تعمیرات ضعیف و ... با گذشت زمان افت می‌یابند. یک بالانس حرارتی کمک می‌کند تا تلفات حرارتی اجتناب‌ناپذیر تشخیص داده شوند. آزمایش‌هـای کـارآیی بـویلر کمک می‌کنند تا انحراف کارآیی بویلر از بهترین رانـدمان تشـخیص داده شـده و ناحیـه هدف برای اجرای اعمال اصلاحی یا پیشگیرانه مشـخص شـود. فرآینـد احتـراق در یـک بویلر را می‌توان به شکل یـک دیـاگرام جریـان انـرژی شـرح داد. ایـن دیـاگرام بـه‌طـور گرافیکی نشان می‌دهد که چگونه انرژی ورودی سوخت به جریـان‌هـای انـرژی مفیـد و جریان‌های اتلاف انرژی و حرارت تبدیل می‌شود. ضخامت پیکان‌ها، سهم تقریبی مقـدار

1- Evaporation Ratio

انرژی در جریان‌های مربوطه را نشان می‌دهند. بالانس حرارتی، نشانگر موازنه بین کل انرژی ورودی به بویلر و کل انرژی خروجی از بویلر است. تلفات انرژی به تلفات اجتناب‌پذیر و اجتناب‌ناپذیر تقسیم‌بندی می‌شوند. هدف از یک تولید پاک یا مدیریت انرژی، کاهش تلفات اجتناب‌پذیر یا بهبود کارآیی انرژی است.



شکل (۳-۷۹) دیاگرام سنکی بالانس انرژی بویلر

تلفات زیر اجتناب‌پذیر بوده و باید کاهش داده شوند:

- تلفات گاز دودکش [1] که می‌توان با کنترل هوای اضافی (بسته به تکنولوژی مشعل، عملکرد، کنترل و نگهداری و تعمیرات) و دمای گاز دودکش (بهینه‌سازی نگهداری و تعمیرات، بهبود تکنولوژی مشعل و بویلر) آن را کاهش داد.
- تلفات ناشی از ذرات سوخت نسوخته (احتراق ناقص) در دودکش و خاکستر که با بهینه‌سازی عملکرد و نگهداری و تعمیرات، بهبود تکنولوژی مشعل، کاهش می‌یابد.
- تلفات زیرآب‌زنی [2] که با عمل‌آوری آب تغذیه تازه و بازیابی کندانس، قابل کاهش است.

1- Stack
2- Blow down

- تلفات کندانس که با بازیابی کندانس تا حد ممکن، قابل کاهش است.
- تلفات جابجایی و تشعشع نیز با بهبود عایق‌کاری بویلر، کاهش می‌یابد.

شاخصEFF: کارآیی حرارتی بویلر که این شاخص بویلر به‌صورت درصدی از حرارت یا انرژی ورودی که به‌طور مؤثر در تولید بخار نقش دارد، تعریف می‌شود.

برداشت و محاسبه شاخص: دو روش برای محاسبه و ارزیابی کارآیی بویلر وجود دارد:

الف- روش مستقیم که در آن، انرژی موجود در سیال (آب و بخار) با انرژی سوخت بویلر مقایسه می‌شود.

ب- روش غیرمستقیم که در آن، کارآیی، اختلاف بین تلفات و انرژی ورودی می‌باشد.

الف- روش مستقیم محاسبه کارآیی بویلر

این روش محاسبه، به روش ورودی و خروجی نیز معروف است، به این دلیل که برای ارزیابی کارآیی فقط به خروجی مفید (بخار) و حرارت ورودی (سوخت) نیاز است.

کارآیی حرارتی بویلر با فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{راندمان بویلر} = \frac{\{\text{آنتالپی مخصوص آب تغذیه - آنتالپی مخصوص بخار اشباع}\} \times \text{نرخ}}{\text{میزان مصرف سوخت}}$$

مزایای محاسبه به روش مستقیم:

- ممیزین انرژی می‌توانند به سرعت، کارآیی بویلرها را محاسبه کنند.
- به متغیرهای کمتری برای محاسبات نیاز دارد.
- به تجهیزات اندازه‌گیری کمتری برای پایش نیاز دارد.
- مقایسه نسبت‌های تبخیر با معیار به آسانی انجام می‌گیرد.

ایرادات محاسبه به روش مستقیم:

- به اپراتور هیچ سرنخی از اینکه چرا کارآیی سیستم پایین است، نمی‌دهد. (شناسایی منبع تلفات مشکل است.)

- میزان تلفات مختلف که بر روی سطوح مختلف کارآیی تأثیرگذار است، محاسبه نمی‌شود.

ب- روش غیرمستقیم تعیین کارآیی بویلر

محاسبه به روش غیرمستقیم، روش محاسبه تلفات حرارتی نیز نامیده می‌شود. با کم‌کردن درصد تلفات حرارتی از ۱۰۰، کارآیی حرارتی بویلر، این چنین محاسبه می‌شود:

$\eta_{boiler}=100 - (I+II+III+IV+V+VI+VII)$

تلفات اصلی که در بویلر رخ می دهد، از منابع زیر ناشی می‌شوند:

- گاز خشک خروجی
- وجود H_2 در سوخت که منجر به شکل‌گیری آب می‌شود
- تبخیر رطوبت موجود در سوخت
- وجود رطوبت در هوای احتراق
- ذرات سوخت ناشی از احتراق ناقص در ناخالصی‌های معلق
- ذرات سوخت ناشی از احتراق ناقص در خاکستر ته‌ماند
- تشعشع و دیگر تلفات به حساب نیامده

البته ذکر این نکته ضروری است که تلفات در نتیجه وجود رطوبت در سوخت و در نتیجه احتراق هیدروژن، بستگی به سوخت دارد و هنگام طراحی قابل محاسبه نیست.

داده‌های مورد نیاز برای محاسبه کارآیی بویلر به روش غیرمستقیم:

- تحلیل نهایی سوخت (C، S، O2، H_2، میزان رطوبت، میزان خاکستر)
- درصد اکسیژن یا CO_2 در گاز خشک
- دمای محیط و رطوبت هوا
- ارزش حرارتی سوخت
- درصد ذرات قابل اشتعال در خاکستر (در مورد سوخت‌های جامد)
- ارزش حرارتی خاکستر (در مورد سوخت‌های جامد)

جزئیات روند محاسبه کارآیی بویلر به روش غیرمستقیم در ادامه آمده است.

تلفات حرارتی ناشی از گاز خشک خروجی:

مهم‌ترین و بزرگ‌ترین بخش اتلاف در بویلرها مربوط به تلفات حرارتی ناشی از گاز خشک خروجی بوده که به صورت زیر محاسبه می‌شود.

هوای اضافی:

$$\text{هوای اضافی} = \frac{\%O_2}{21-\%O_2}$$

اگر مقدار درصد O_2 موجود نباشد، از مقدار اندازه‌گیری شده درصد CO_2 برای محاسبه مقدار هوای اضافی استفاده می‌شود.

$$\text{هوای اضافی} = \frac{7900\times[(CO_2\%)_t - (CO_2\%)_a]}{(CO_2\%)_a \times (100-(CO_2\%)_t}$$

که در آن :

$(CO_2\%)_t$ درصد CO_2 اندازه‌گیری شده در گاز خروجی و $(CO_2\%)a$ درصد CO_2 تئوری هستند.

جرم هوای تدارک دیده شده:

$$\text{جرم هوای واقعی تدارک دیده شده برای یک کیلوگرم سوخت} = \left(\frac{\text{هوای اضافی}}{\text{هوای تئوری}} + ۱\right)$$

اتلاف حرارت ناشی از گاز خشک خروجی:

$$\text{اتلاف حرارت ناشی از گاز خشک خروجی} = \frac{M_{\text{flue gas}} \times C_{P,\text{flue gas}} \times (T_{\text{flue gas}} - T_{\text{ambient}}) \times 100}{GCV_{\text{fuel}}}$$

که در آن، $M_{fluegas}$، جرم گاز خروجی برحسب kg/kg_{fuel} مشتمل بر جرم محصولات احتراق موجود (N_2، CO_2 و SO_2) در سوخت به علاوه جرم نیتروژن موجود

در هوای واقعی به علاوه اکسیژن موجود در گاز خروجی است. (بخار آب موجـود در گـاز خروجی در نظر گرفته نمی‌شود.)

$C_{P,fluegas}$: ظرفیت گرمایی ویژه گاز خشک خروجی (kcal/kg^oC)

$T_{fluegas}$: دمای گاز خروجی بعد از پیش‌گرمکن (^oC)

$T_{ambient}$: دمای هوای محیط

تلفات حرارتی ناشی از وجود رطوبت در سوخت:

رطوبتی که همراه با سوخت وارد بویلر می‌شود، به صورت بخار از آن خارج می‌شود. ایـن اتلاف، از حرارت محسوس رساندن رطوبت به نقطه جـوش، حـرارت نهـان تبخیـر رطوبـت و حرارت مورد نیاز برای رساندن دمای این بخار به دمای گاز خروجی ناشی می‌شود.

تلفات حرارتی ناشی از وجود هیدروژن در سوخت:

از آنجا که محصول احتراق آب خواهد بود، احتراق هیدروژن موجب تلفـات حرارتـی کوره می‌شود. این آب به بخار تبدیل شده و در نتیجه حرارت را به شـکل گرمـای نهـان تبخیر می‌رباید.

این اتلاف با فرمول زیر محاسبه می‌شود:

= اتلاف حرارت در نتیجه وجود هیدروژن در سوخت

$$\frac{9\times M_{hydrogen}\times(0.002443456+ C_{P,sph}\times(T_{flue\ gas} - T_{ambient})]\times 100}{GCV_{fuel}}$$

که در آن :

$M_{hydrogen}$: جرم هیدروژن موجود (به کیلوگرم) در یک کیلوگرم سوخت،

$C_{P,sph}$: ظرفیت گرمایی ویژه بخار (kcal/kg^oC)،

$T_{flue\ gas}$: دمای گاز خروجی بعد از پیش‌گرمکن (^oC)

$T_{ambient}$: دمای هوای محیط (^oC)،

GCV_{fuel}: ارزش حرارتی سوخت (kcal/kg) و۰/۰۰۲۴۴۳۴۵۶: گرمای نهان تبخیر آب هستند.

= تلفات حرارتی در نتیجه سوخت ناشی از احتراق ناقص در bottom ash

$$\frac{\text{کیلوگرم سوخت ناشی از احتراق ناقص / خاکستر جمع شده} \times GCV_{\text{bottom ash}} \times 100}{GCV_{\text{fuel}}}$$

تلفات حرارتی ناشی از احتراق ناقص

محصولات احتراق ناقص می‌توانند با اکسیژن ترکیب شده و دوباره بسوزند و موجب خروج انرژی بیشتری شوند. محصولات احتراق ناقص شامل CO و H_2 و هیدروکربن‌های مختلف بوده و معمولاً در گاز خروجی از بویلر هستند. CO، تنها گازی است که معمولاً در تست بویلر مستقیماً مشخص می‌شود.

= اتلاف حرارتی در نتیجه احتراق ناقص

$$\frac{\text{میزان کربن در کیلوگرم سوخت} \times \text{درصد حجمی CO در گاز خروجی‌که اکونومایزر را ترک می‌کند} \times 100 \; 5744}{\text{ارزش حرارتی} \times [\text{درصد حجمی واقعی } CO_2 \text{ در Flue gas} + \text{درصد حجمی CO در گاز خروجی‌که اکونومایزر را ترک می‌کند.}]}$$

اگر CO در تحلیل گاز خروجی بر حسب PPM به دست آید، این اتلاف با فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{تلفات حرارتی در نتیجه احتراق ناقص} = (V_{CO} \times 10) - (6 \times m_{fuel} \times 28 \times 0.024032896)$$

تلفات حرارتی ناشی از تشعشع و سایر تلفات به حساب نیامده است.

ارزیابی تلفات تشعشعی و جا به جایی واقعی به خاطر قابلیت نشر خاص سطوح مختلف، الگوهای جریان هوا و غیره مشکل است. در بویلرهای نسبتاً کوچک با ظرفیت ده مگاوات، تلفات تشعشعی و به حساب نیامده بالغ بریک تا دو درصد GCV سوخت می‌باشد، در حالی‌که در یک بویلر پانصد مگاوات، این مقدار بین ۰/۲ تا ۱٪ GCV سوخت است. با توجه به شرایط سطح، مقداری مناسب برای اتلاف فرض می‌شود.

تلفات حرارتی ناشی از وجود اجزای بی‌اثر در سوخت:

= اتلاف حرارت در نتیجه وجود اجزای بی‌اثر در سوخت

$$\frac{\Sigma\,[f_i \times m_{fuel} \times C_{p,\,inert} \times (T_{flue\ gas} - T_{fuel})] \times 100}{GCV}$$

که در آن :

f_i: کسر جرمی اجزای بی‌اثر در سوخت،

$C_{p,\,inert}$: ظرفیت گرمایی ویژه اجزای بی‌اثر ($kcal/kg^oC$)،

$T_{flue\ gas}$: دمای گاز خروجی بعد از پیش‌گرمکن (^oC)،

T_{fuel}: درجه حرارت سوخت قبل از مشعل (^oC)

و m_{fuel} : دبی سوخت ورودی (kg/hr) هستند.

تلفات حرارتی ناشی از بلودان:

$$\text{اتلاف حرارت در نتیجه بلودان} = \frac{[m_{blow\ down} \times C_{p,\,blow\ down} \times (T_{blow\ down} - T_{ambient}\ ] \times 100}{GCV_{fuel}}$$

که در آن:

$m_{blow\ down}$: نرخ جریان جرمی بلودان

$C_{p,\,blow\ down}$: ظرفیت گرمایی ویژه بلودان ($kcal/kg^oc$)

$T_{blow\ down}$: دمای بلودان (^oC)

$T_{ambient}$: دمای هوای محیط (^oC)

یا:

$$\text{اتلاف حرارت در نتیجه بلودان} = \frac{[m_{blow\ down} \times (h_{blow\ down} - h)\ ] \times 100}{GCV_{fuel}}$$

که در آن :

$m_{blow\ down}$: نرخ جریان جرمی بلودان (kg/hr)

$h_{blow\ down}$: انتالپی مخصوص بلودان (Kcal/kg)

h_{makeup}: انتالپی مخصوص آب تغذیه (Kcal/kg)

محاسبه کارآیی بویلر و نسبت تبخیر بویلر

با جمع تلفات محاسبه شده در بالا، تلفات حرارتی کلی در بویلر به دست می‌آید. کارآیی بویلر در روش غیرمستقیم با رابطه زیر محاسبه می‌شود:

درصد تلفات حرارتی کلی از بویلر-۱۰۰ = کارآیی بویلر

$$\text{نسبت تبخیر} = \frac{\text{حرارت استفاده شده برای تولید}}{\text{حرارت اضافه شده به بخار}}$$

نسبت تبخیر به مفهوم کیلوگرم بخار تولید شده بر کیلوگرم سوخت مصرف شده است. نسبت تبخیر بستگی به نوع بویلر، GCV سوخت و کارآیی بویلر دارد. مزیت استفاده از روش غیرمستقیم، فراهم کردن یک بالانس جرم و انرژی کامل برای هر جریان خاص و سهولت تشخیص فرصت‌های بهبود کارآیی بویلر بوده و از معایب آن زمان بر بودن محاسبات و نیاز به دستگاه‌های پرتابل اندازه‌گیری برای تحلیل می‌باشد.

شاخص H.R.[1]: حرارت یا تعیین انرژی ورودی به بویلر می‌باشد

برداشت و روش محاسبه:

۱- انرژی ورودی از آب تغذیه BFW:

$$Q_{BFW} = m_{BFW} (h_{BFW} - h_{DMW})$$

1- Heat Rate

که در آن :

m_{BFW}: نرخ جریان جرمی BFW (kg/hr)

h_{BFW}: انتالپی مخصوص BFW (Kcal/kg) که از جدول بخار به دست می‌آید

h_{DMW}: انتالپی مخصوص DMW(Kcal/kg) که از جدول بخار Sub-saturated (زیر اشباع) به دست می‌آید

۲- انرژی ورودی هوا:

$$Q_{Air} = m_{Air} \times C_{p,\,Air} \times (T_{Spent\ Air} - T_{ambient})$$

که در آن :

Q_{Air}: انرژی ورودی ناشی از حرارت محسوس هوای احتراق قبل از پیش‌گرمکن

m_{Air}: نرخ جریان جرمی هوا (kg/hr)

$C_{p,\,Air}$: ظرفیت گرمایی ویژه هوا (kj/kg^oC)

$T_{Spent\ Air}$: دمای هوای مصرفی که از جداکننده‌های گوگردزدا می‌آید. (^oC)

T ambient : دمای هوای محیط (^oC)

۳- انرژی ورودی از سوخت گازی:

$$Q_{Fuel(1)} = m_{Fuel} \times GCV_{Fuel}$$

که در آن :

$Q_{Fuel(1)}$: انرژی ورودی ناشی از احتراق سوخت

m_{Fuel}: نرخ جریان جرمی سوخت (kg/hr)

GCV: GCV_{Fuel} سوخت‌های خالص در منابع مختلف موجود می‌باشد (kj/kg)

$$Q_{Fuel(2)} = m_{Fuel} \times C_{p,\,Fuel} \times (T_{Fuel} - T_{ambient}) \times ۱۰۰$$

که در آن :

$Q_{Fuel(2)}$: انرژی ورودی ناشی از حرارت محسوس سوخت

$C_{p,\,Fuel}$: ظرفیت گرمایی ویژه هوا (kj/kg^oC)

T_{Fuel}: دمای سوخت. (^oC)

$T_{ambient}$: دمای هوای محیط (^oC)

۴- انرژی ورودی از فن‌های دمنده هوا

$$Q_{Air\ Fan} = 3600 \times P_{Air\ Fan}$$

که در آن :

$P_{Air\ Fan}$: توان مصرفی فن/ دمنده هوا

۵- انرژی ورودی از فن‌های گاز خروجی

$$Q_{flue\ gas\ Fan} = 3600 \times P_{flue\ gas} + m_{flue\ gas} \times C_{P,flue\ gas} \times (T_{flue\ gas} - T_{ambient})$$

که در آن :

$P_{flue\ gas}$: توان مصرفی فن گاز خروجی

$m_{flue\ gas}$: نرخ جریان جرمی گاز خروجی (kg/hr)

$C_{P,flue\ gas}$: ظرفیت گرمایی ویژه گاز خروجی (kj/kg^oC)

$T_{flue\ gas}$: دمای گاز خروجی (^oC)

$T_{ambient}$: دمای هوای محیط (^oC)

۶- انرژی ورودی از مواد شیمیایی:

$$Q_{chemical} = m_{chemical} \times H_{chemical}$$

که در آن :

$m_{chemical}$: نرخ جریان جرمی مواد شیمیایی تزریق شده (kg/hr)

$H_{chemical}$: انتالپی مواد شیمیایی تزریق شده (kj/kg)

۷- انرژی ورودی از بخار برگشتی از توربین فشار بالا:

$$Q_{steam} = m_{steam} \times H_{steam}$$

که در آن :

m_{steam}: نرخ جریان بخار برگشتی از توربین فشار بالا (kg/hr)

H_{steam} : انتالپی بخار برگشتی از توربین فشار بالا (kj/kg)

۸- انرژی ورودی از پمپ‌های گردش‌دهنده آب بویلر:

در بویلرهای نیروگاهی با فشار بالای ۱۵۰ بار جهت گردش آب نیاز به پمپ می‌باشد تا فشار ۱۵۰ بار بر اثر گرم شدن آب و دو فاز شدن آن اختلاف چگالی بین آب فرو سرد ورودی به بویلر و مخلوط دو فاز ایجاد شده و نیروی ترموسیفون ایجاد کند. این امر باعث گردش طبیعی آب بویلر می‌شود، اما هر چه فشار بویلر بالاتر رود، اختلاف چگالی و در نتیجه نیروی ترموسیفون کمتر می‌شود.

$$Q_{Pump} = 3600 \times P_{pump}$$

که در آن P_{pump}، توان مصرفی پمپ می‌باشد

محاسبه Heat Rate

$$\text{Heat Rate} = \frac{Q_{BFW} + Q_{Air} + Q_{fuel\,(1)} + Q_{fuel\,(2)} + Q_{Air\,fan} + Q_{flue\,gas\,Fan} + Q_{chemical} + Q_{steam}}{\text{کیلوگرم بخار تولید شده}}$$

باید محاسبات برای تابستان و زمستان به‌طور جداگانه انجام شود.

شاخص نرخ بلودان: نرخ بلودان یعنی مقدار بلودان مورد نیاز برای کنترل غلظت جامدات موجود در آب بویلر.

برداشت و روش محاسبه: با استفاده از فرمول زیر شاخص درصد بلودان محاسبه می‌شود:

درصد بلودان = (درصد آب جبرانی ×TDS آب جبرانی) ÷ ماکزیمم حد مجاز TDS در آب بویلر

Required blow down rate = evaporation rate × Blow down% /100

شاخص YECB[1]: میزان مصرف انرژی سالانه سیستم حرارتی است.

نحوه برداشت و محاسبه شاخص:

$$YEC_B = \sum RI \times OH \times LF \times K$$

1- Yearly Energy Consumption of Boiler System

که در آن

YEC_B= مصرف انرژی سالانه بویلر

N= تعداد بویلرها در سیستم بویلر

OHساعات کاری بویلر در سال (week/yr . day/week . hr/day)

LF= ضریب بار در بویلر

K= ضریب تبدیل گیگاژول به کیلو وات

RI= نرخ ورودی به بویلر

شاخصYEP_B[1]: قیمت انرژی سالانه سیستم بویلرها است.

نحوه برداشت و محاسبه شاخص:

$YEP_B = YEC_B(kWh) \times$ Energy Price (Rials/ kWh)

جدول (۳-۷۲) نحوه محاسبه شاخص‌های عملکرد انرژی بویلر (روش غیرمستقیم)

نام شاخص	اختصار	رابطه محاسباتی	متغیرها (تلفات)
کارآیی حرارتی	EFF	۱۰۰- ٪تلفات	گاز خشک خروجی
			وجود هیدروژن در سوخت
			سوخت نسوخته (احتراق ناقص)
			احتراق ناقص
			تشعشع و سایر تلفات به حساب نیامده
			وجود اجزای بی‌اثر در سوخت
			بلودان

1- Yearly Energy Price of Boiler System

نام شاخص	اختصار	رابطه محاسباتی	متغیرها (انرژی ورودی)
نرخ حرارتی	H.R.	جمع انرژی‌های ورودی	آب تغذیه BFW
			هوا
			سوخت گازی
			فن‌های دمنده هوا
			فن‌های گاز خروجی
			مواد شیمیایی
			بخار برگشتی از توربین فشار بالا
			پمپ‌های گردش‌دهنده آب بویلر

ج- شناسایی فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی و تکمیل پرسش‌نامه مدیریت انرژی بویلر

با شناسایی منابع بالقوه تلفات انرژی بویلر، می‌توان فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی در بویلر را مورد بررسی و شناسایی قرار داد. این منابع را می‌توان به چهار دسته تقسیم نمود:

۱- نگهداری و تعمیرات نامناسب بویلر

۲- عدم استفاده از تجهیزات و کنترل بهینه در بویلر

۳- طراحی و خرید نامناسب بویلر

۴- وضعیت نامناسب شاخص‌های عملکرد انرژی بویلر در حالت عملیاتی در مقایسه با مقادیر هدف

الف- فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی در نگهداری و تعمیرات بویلر

۱- برنامه‌ریزی و اجرای منظم نت بویلر و تجهیزات جانبی آن

۲- بازدید و بررسی منظم جهت شناسایی، حذف یا کاهش نشتی در بویلر

۳- بازدید و بررسی منظم جهت شناسایی، حذف یا کاهش لرزش در مجموعه موتور و دمنده هوا

۴- عایق‌کاری مناسب لوله‌ها

۵- عایق‌کاری مناسب دیواره‌های بویلر

۶- تمیزی لوله‌های اکونومایزر، پیش‌گرم‌کن هوا و ....

۷- تمیزی سرمشعل و فیلتر سوخت

۸- عدم تغییر فرم سر مشعل و دیفیوز مشعل

۹- نظافت سطوح انتقال حرارت

ب- فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی در استفاده از تجهیزات و کنترل بهینه در بویلر

۱- ثبت مقادیر تحلیل ترکیبات گازهای سوخت دریافتی

۲- وجود اندازه‌گیر و ثبت مقادیر تحلیل گازهای احتراق خروجی دودکش

۳- اندازه‌گیری دمای گازهای خروجی در دهانه خروجی دودکش

۴- وجود سیستم کنترلی مناسب مانند PLC و تابلوهای پایش

۵- امکان کنترل مناسب نسبت هوا به سوخت

۶- وجود سیستم اندازه‌گیری و کنترل هوای اضافی بویلر

۷- اندازه‌گیری دمای آب ورودی، آب داغ و بخار

۸- نصب درایور کنترل سرعت روی فن‌ها و دمنده‌های بویلر به جای دمپر و...

۹- ثبت مقدار گاز دریافتی بویلر

۱۰- نصب ترموستات در خروجی

۱۱- نصب تجهیزات بازیافت حرارت در بویلر

۱۲- نصب پیش‌گرم‌کن هوا دربویلر

۱۳- کنترل فشار محفظه احتراق بویلر

۱۴- نصب اکونومایزر در بویلر

۱۵- کنترل نرخ آب بلودان

ج- فرصت بالقوه صرفه‌جویی انرژی با طراحی/خرید مناسب

تناسب مقدار مصرف بخار نسبت به بار بویلر

د- فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی در بررسی عملکرد انرژی بویلر

۱- محاسبه نرخ حرارت بویلر

۲- محاسبه بر خطر یا دوره‌ای کارآیی بویلر (روش مستقیم/ روش غیرمستقیم)

۳- انتخاب فشار بخار بهینه

۴- استفاده از سوخت با دما، فشار و ویسکوزیته مورد نظر

۵- امکان تغییر کیفیت آب متناسب با بهره‌برداری

جدول (۳-۷۳) پرسش‌نامه مدیریت انرژی بویلر

پتانسیل صرفه‌جویی انرژی		بلی	خیر	توضیحات
نت مؤثر	عدم وجود برنامه‌ریزی و اجرای منظم نت بویلر و تجهیزات جانبی آن			
	وجود نشتی در بویلر			
	وجود لرزش در مجموعه موتور و دمنده هوا			
	عایق‌کاری نامناسب لوله‌ها			
	عایق‌کاری نامناسب دیواره‌های بویلر			
	کثیفی لوله‌های اکونومایزر، پیش‌گرم‌کن هوا و ...			
	کثیفی سرمشعل و فیلتر سوخت			
	تغییر فرم سر مشعل و دیفیوز مشعل			
	عدم نظافت سطوح انتقال حرارت			
استفاده از تجهیزات/ کنترل بهینه	عدم ثبت مقادیر تحلیل ترکیبات گازهای سوخت دریافتی			
	عدم وجود اندازه‌گیر و ثبت مقادیر تحلیل گازهای احتراق خروجی دودکش			
	عدم اندازه‌گیری دمای گازهای خروجی در دهانه خروجی دودکش			

پتانسیل صرفه‌جویی انرژی		بلی	خیر	توضیحات
استفاده از تجهیزات/ کنترل بهینه	عدم وجود سیستم کنترلی مناسب			
	عدم امکان کنترل مناسب نسبت هوا به سوخت			
	عدم وجود سیستم اندازه‌گیری و کنترل هوای اضافی بویلر			
	عدم اندازه‌گیری دمای آب ورودی، آب داغ و بخار			
	عدم نصب درایور کنترل سرعت روی فن‌ها و دمنده‌های بویلر			
	عدم ثبت مقدار گاز دریافتی بویلر			
	عدم نصب ترموستات در خروجی			
	عدم نصب تجهیزات بازیافت حرارت در بویلر			
	عدم نصب پیش‌گرم‌کن هوا در بویلر			
	عدم کنترل فشار محفظه احتراق بویلر			
	عدم نصب اکونومایزر در بویلر			
	عدم کنترل نرخ آب بلودان			
طراحی/خرید	عدم تناسب مقدار مصرف بخار نسبت به بار بویلر			
بررسی عملکرد	عدم محاسبه نرخ حرارت بویلر			
	عدم محاسبه بر خط یا دوره‌ای کارآیی بویلر			
	عدم انتخاب فشار بخار بهینه			
	عدم استفاده از سوخت با دما، فشار و ویسکوزیته مورد نظر			
	عدم امکان تغییر کیفیت آب متناسب با بهره‌برداری			

۳-۱۵ دستورالعمل نحوه عملکرد، اندازه‌گیری و تعریف شاخص‌های انرژی توربین بخار

۳-۱۵-۱ هدف و دامنه کاربرد دستورالعمل نحوه تحلیل عملکرد انرژی توربین‌بخار

هدف از تدوین این دستورالعمل آشنایی ممیزان انرژی با نحوه تحلیل عملکرد انرژی توربین بخار و دامنه کاربرد این دستورالعمل باتوجه به معیارهای ممیزی انرژی (هدف کلان، نوع و سطح ممیزی، روش و استاندارد ممیزی، نحوه و میزان مشارکت کارکنان، محدوده و مدت زمان اجرای ممیزی و الزامات گزارش ممیزی)، تمامی یا بخشی از توربین‌های بخار موجود در یک فرآیند صنعتی یا واحد عملیاتی یا شرکت تولیدی است.

۳-۱۵-۲ مسئولیت تحلیل عملکرد انرژی توربین‌بخار

مسئولیت تحلیل عملکرد انرژی توربین بخار با تیم ممیزان انرژی شرکت تولیدی (درجه دو و سه / مقیم یا غیر مقیم) است. پیشنهاد می‌شود این تیم، حداقل متشکل از کارشناسان جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها و اطلاعات اولیه، اندازه‌گیری و تحلیل متغیرها و شاخص‌های عملکرد انرژی و ارائه راهکارهای عملی صرفه‌جویی انرژی توربین بخار باشد.

۳-۱۵-۳ واژگان دستورالعمل نحوه تحلیل عملکرد انرژی توربین‌بخار

توربین بخار: ماشین دواری است که انرژی حرارتی بخار را به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کند. توربین بخار برای کارآیی ژنراتور الکتریکی یا تجهیزات دوار نظیر پمپ، فن، چیلر و کمپرسور به کار می‌رود. ساده‌ترین نوع توربین بخار یک ورودی و یک خروجی دارد. بخاری که وارد توربین شده، بخشی از انرژی خود را به روتور می‌دهد و از طرف دیگر خارج می‌شود. البته، بخار می‌تواند در یک یا چند نقطه بین ورودی و خروجی، وارد یا خارج شود. خروج بخار در یک فشار میانی می‌تواند برای استفاده در یک فرآیند

یا برای گرمایش آب تغذیه دیگ بخار استفاده شود.

منابع داده‌ها و اطلاعات توربین بخار: منابع اطلاعاتی زیر برای تحلیل عملکرد انـرژی توربین بخار وجود دارد که عمدتاً توسط سازنده در اختیار بهره‌بردار قرار می‌گیرد:

- دیتاشیت توربین بخار
- منحنی‌های Willans line یا extraction
- منحنی temperature / extraction steam enthalpy
- منحنی Exhaust / extraction used energy
- منحنی عملکرد واقعی

داده‌های اولیه مورد نیاز تـوربین بخـار: داده‌هـای طراحـی کـه از دیتاشـیت تـوربین استخراج می‌شوند عباتند از:

- شرایط بخار (فشار و دمای ورودی و فشار خروجی)
- سرعت
- توان شافت
- نرخ بخار طراحی

محاسبه کارآیی طراحی توربین بخـار: بـا اسـتفاده از ایـن داده‌هـا، کـارآیی طراحـی توربین بخار طبق مراحل زیر محاسبه می‌شود:

الف- انبساط ایده‌آل (کارآیی ۱۰۰٪) در یک توربین در انتروپی ثابت رخ می‌دهـد. از جداول بخار، منحنی‌ها یا برنامه کامپیوتری برای محاسبه خواص بخار و تعیین آنتالپی و انتروپی بخار ورودی در دما و فشار ورودی استفاده می‌شود.

ب- با انتروپی ورودی و فشار خروجی، مقدار آنتالپی آیزنتروپیک خروجی محاسبه می‌شود.

ج- اختلاف آنتالپی (ΔH) بین آنتالپی ورودی و آنتالپی آیزنتروپیک خروجی (انـرژی تئـوری ماکزیمم که از یک کیلوگرم بخار تحت این شرایط عملکردی گرفته می شود) محاسبه می‌شود.

د- Ideal steam rate را از رابطه $ISR=\frac{3600}{\Delta H}$ محاسبه می‌شود.

ه- Rated efficiency از تقسیم نرخ بخار ایده‌آل بر نرخ بخار طراحی (RSR) محاسبه می‌شود.

OPERATING CONDITIONS

	TURBINE RATING	P-2107B RATED CONDITIONS	P-2107B NORMAL CONDITIONS	P-2107B/C PARALLEL OPERATION			
POWER kW	870	791	699	714			
STEAM RATE kg/KWh	16.34	16.31	16.64	16.59	SHIN	NIPPON	
TOTAL STEAM FLOW kg/h	14212	12905	11630	11842	TO	CONFIRM	
NO. HAND VALVES CLOSED	1	2	2	2			
DESIRED STEAM RATE: 5%			GUARANTEE				

SPEED - DESIGN	2975 RPM	THROTTLE STEAM PRESSURE	42.6 Kg/cm²a } SEE
SPEED - MAX. ALLOW. FOR CONT. OPER.	3124 RPM	% SATUR. OR TOTAL TEMP.	371 °C } PPS
STEAM EVALUATION		EXHAUST STEAM PRESSURE	4.8 Kg/cm²a } J-99
		MECH DESIGN IS 48.0kg/cm²a @ 450°C	

MECHANICAL DATA

SPECIFICATION PPS-J06/API 611 3RD Ed	PACKING CARBON RING - S.S. SPRINGS
	SHAFT A576 GR1045 - HARDENED UNDER PACKING
TYPE AND SIZE HO-183	SPARE PACKING 100%
HORIZONTAL BACK PRESSURE	RADIAL BEARINGS SLEEVE
STAGES ONE	THRUST BEARINGS TILTING PAD (MICHELL)
ROTATION - CLOCKWISE FACING COUPLING END	COOLING WATER - BEARINGS —
CASING TYPE AXIALLY SPLIT / CENTRE LINE MOUNTED	COOLING WATER - OIL COOLER —
CASING MATERIAL - A216 WCB / STEAM CHEST-A217 WC6	COOLING WATER - JACKET DES. PRESS. 8.0 Kg/cm²a
FLG. SIZE AND RATING - INLET 6" 600# ANSI RF	EXHAUST RELIEF VALVE CAPACITY 15100 Kg/h
FLG. SIZE AND RATING - EXHAUST 12" 150# ANSI RF	EXHAUST RELIEF VALVE SETTING 6.2 Kg/cm²a
BEARING LUBRICATION PRESSURE (BY PUMP VENDOR)	HAND THROTTLE VALVES TWO
② CONSTANT SPEED GOVENOR - TYPE WOODWARD PG-PL	SPEED CHANGER - TYPE HAND & PNEUMATIC
③ EMERGENCY OVERSPEED GOV. - TYPE CENTRIFUGAL NON-SPARKING	SPEED CHANGER - RANGE 85% TO 105%
EMERGENCY OVERSPEED GOV. - SETTING 3441 RPM	NET WEIGHT - TURBINE 1980 Kg
STEAM SEAL PIPING FURNISHED BY VENDOR	MAX WEIGHT - MAINTENANCE 190 Kg
INSULATION FURNISHED BY VENDOR WITH CLADDING	SENTINEL VALVE BY TURBINE VENDOR @ 5.9kg/cm²a
TURBINE LOCATION OUTDOOR - SEE PPS J-99	STEAM STRAINER BY TURBINE VENDOR (304 ST. ST.)
	FIRST CRITICAL SPEED APPROX 8500 RPM

REMARKS

1. THE DIRECTION OF ROTATION GIVEN ABOVE IS THAT OF THE FINAL OUTPUT SHAFT AS SEEN WHEN LOOKING ON ITS COUPLING.
② LINKAGE MATERIALS SHALL BE CORROSION RESISTANT.
③ TURBINE SHALL COMPLY WITH MATERIAL RESTRICTIONS.
④ GOVERNER TO BE NEMA CLASS D

شکل (۳-۸۰) نمونه‌ای از دیتاشیت توربین بخار به عنوان درایور مکانیکی

نحوه استفاده از منحنی Willans line: Willans line، منحنی توان مفید بر حسب دبی‌های مختلف بخار بوده و برای دما و فشار ورودی، فشار خروجی و سرعت خاصی معتبر می‌باشد. ولی اگر تبدیل به منحنی کارآیی - SFR شود، برای ارزیابی عمومی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

با استفاده از داده‌های این منحنی، کارآیی طراحی طبق مراحل زیر محاسبه می‌شود:

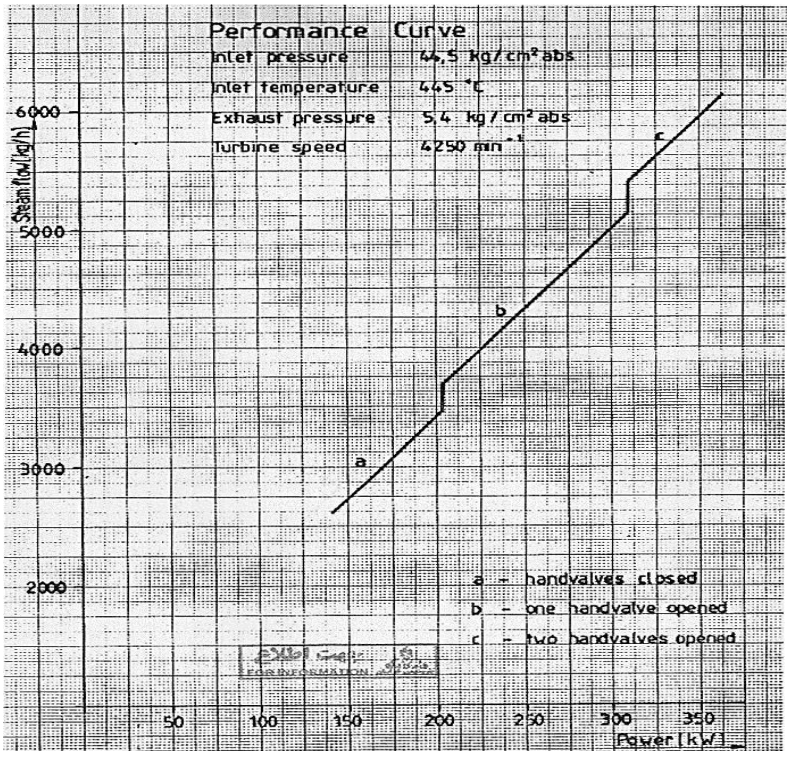
الف) از این منحنی، کارآیی و شرایط خروجی در محدوده عملکرد توربین پیش‌بینی می‌شود.

از Willans line، نرخ بخار واقعی[1] از رابطه $ASR=\frac{SFR}{Power}$ برای جفت SFR و توان‌های مختلف محاسبه می‌شود.

ISR ، مشابه مراحل a، b، c و d بخش اول بر طبق شرایط بخار طراحی محاسبه می‌شود.

کارآیی، از تقسیم Actual steam rate بر Ideal steam rate محاسبه می‌شود.

ΔH واقعی از رابطه $\Delta Hact=\frac{3600}{ASR}$ محاسبه می‌شود.



شکل (۳-۸۱) نمونه‌ای از منحنی Willans lineیک توربین بخار

1- Actual Steam Rate

آنتالپی‌خروجی (H_O) از رابطه $H_O= H_i - \Delta H_{act}$، با داشتن H_O و P_O سایر شرایط خروجی قابل محاسبه است.

ب) از آنجا که این منحنی برای دما و فشار ورودی، فشار خروجی و سرعت خاصی تعریف شده است، با تغییر شرایط بخار، از روی منحنی‌های تصحیح دمای ورودی و خروجی، فشار خروجی و سرعت، ضرایب تصحیح به دست آمده و در Steam flow rate واقعی اعمال می‌شود.

a) با SFR اصلاح شده، power از Willans line خوانده و ASR از رابطه $ASR = \frac{SFR}{Power}$ محاسبه می‌شود.

b)ISR، مشابه مراحل a-b-c-d بخش اول بر طبق شرایط بخار واقعی (دما، فشار ورودی و فشار خروجی) که از اندازه‌گیری و برداشت سیستم کنترلی خوانده و محاسبه می‌شود.

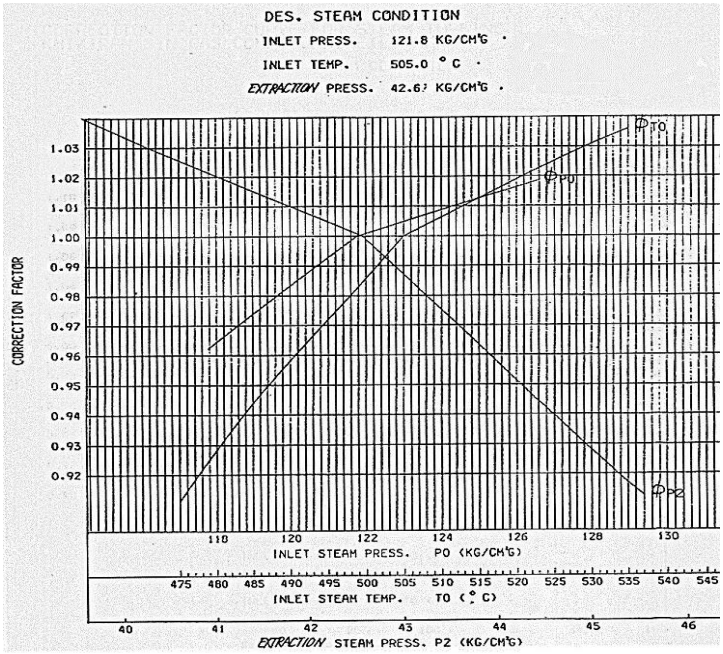
c) کارآیی، از تقسیم Actual steam rate بر Ideal steam rate محاسبه می‌شود.

d) ΔH واقعی از رابطه $\Delta Hact= \frac{3600}{ASR}$ محاسبه می‌شود.

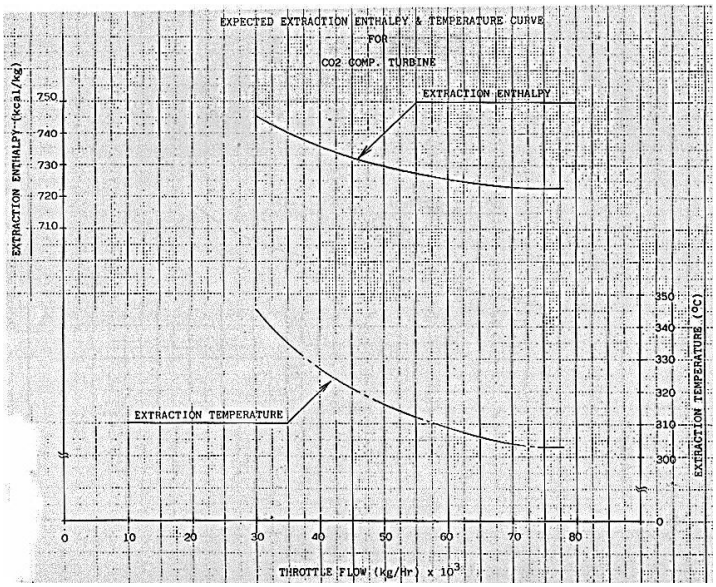
e) آنتالپی خروجی (H_o) از رابطه $H_o= H_i - \Delta H_{act}$ محاسبه می‌شود. با داشتن H_o و P_o سایر شرایط خروجی قابل محاسبه است. نمونه‌ای از منحنی‌های تصحیح در شکل ۳-۸۲ نشان داده شده است:

منحنی‌هایtemperature/ extraction steam enthalpy: گاهی ممکن است سازنده، علاوه بر منحنیWL، منحنی‌های دیگر (H_0 یا Hext) یا (T0 یا T_{ext}) را که به عنوان تابعی از SFR بیان می‌کند، در اختیار بهره‌بردار قرار دهد.

این منحنی‌ها برای دما، فشار ورودی و فشار خروجی و سرعت خاصی معتبر است ولی اگر تبدیل به منحنی کارآیی -SFR شود، می‌تواند برای ارزیابی عمومی استفاده شود.



شکل (۳-۸۲) نمونه‌ای از منحنی تصحیح توربین بخار



شکل (۳-۸۳) نمونه‌ای از منحنی‌های extraction steam enthalpy/temperature **توربین بخار**

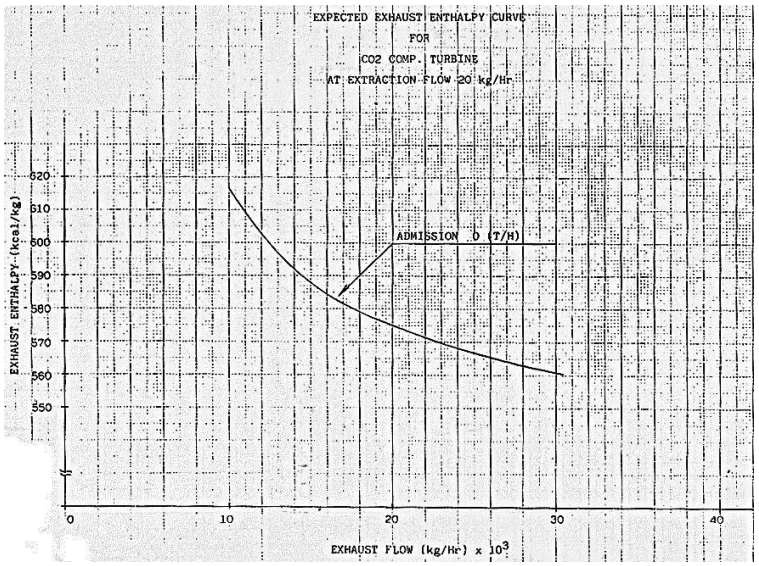
a) ISR مطابق مراحل a، b، c و d بخش اول محاسبه می‌شود.

b) از منحنی‌ها، H_O یا H_{ext} خوانده شده و ΔH_{act} از رابطه $\Delta H_{act} = H_i - H_O$ به دست می‌آید. یا T_O یا T_{ext} خوانده شده و با استفاده از جداول بخار، H_O به دست می‌آید و ΔH_{act} از رابطه $\Delta H_{act} = H_i - H_O$ محاسبه می‌شود.

c) ASR از رابطه $ASR = \frac{3600}{\Delta H_{act}}$ محاسبه می‌شود.

d) کارآیی از تقسیم ISR به ASR محاسبه می‌شود.

این حالت باید هم برای داده‌های طراحی و هم داده‌های عملیاتی محاسبه شود.



شکل (۳-۸۴) نمونه ای از منحنی Exhaust enthalpy توربین بخار

Actual Performance Test:

a) ISR مشابه مراحل a، b، c، d بخش اول بر طبق شرایط بخار واقعی که از داده‌های عملیاتی مانند سیستم کنترلی خوانده می‌شود، محاسبه می‌شود.

b) شرایط خروجی واقعی بخار از روی دما و فشار خروجی محاسبه می‌شود.

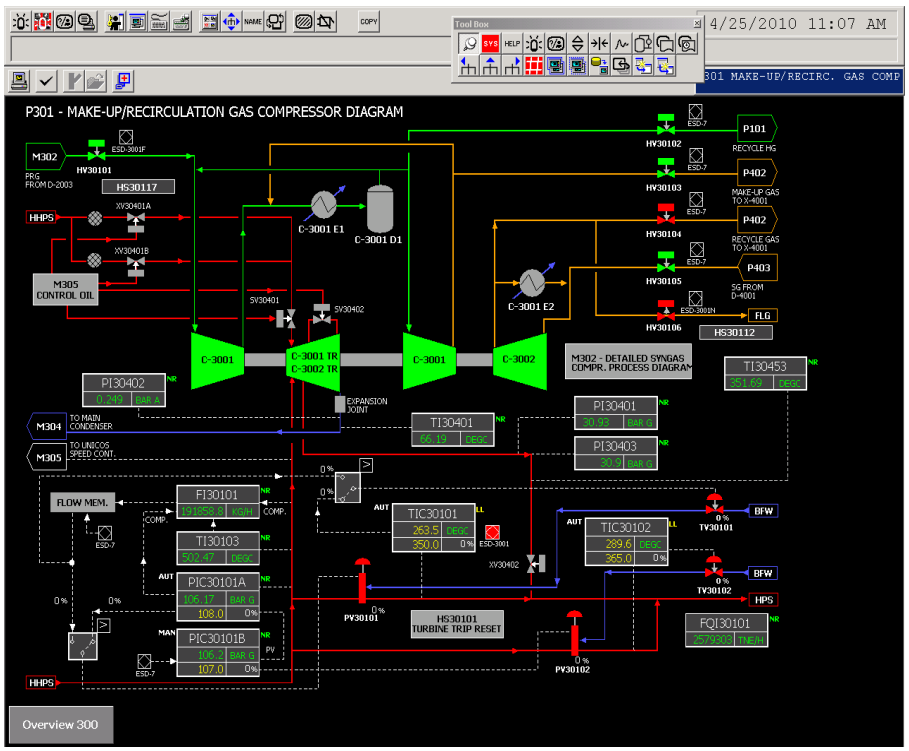
c) ΔH از رابطه $\Delta H_{act} = H_i - H_O$ محاسبه می‌شود.

d) ASR از رابطه $\frac{3600}{\Delta H_{act}}$ محاسبه می‌شود.

e) کارآیی از رابطه $\frac{ISR}{ASR}$ به‌دست می‌آید.

f) منحنی کارآیی -SFR در زمان‌های مختلف رسم می‌شود.

در صورتی که توربین همراه با Extraction یا Admission باشد، روش کلی تحلیل به همان صورت بالا است، با این تفاوت که تحلیل‌ها بین جریان ورودی و Extraction، جریان ورودی و خروجی و جریان Admission و خروجی انجام خواهد شد. منحنی کارآیی -SFR به‌دست آمده از داده‌های عملیاتی با سایر منحنی‌های راندمان-SFR که از داده‌های سازندگان به‌دست آمده است، مقایسه می‌شود. اگر توربین خوب عمل نکند، مشکلات ممکن شناسایی شده و اقدامات لازم برای برطرف کردن آن‌ها انجام می‌گیرد.



شکل (۳-۸۵) نمونه‌ای از صفحات سیستم کنترلی

۳-۱۵-۴ شرح عملیات تحلیل عملکرد انرژی توربین بخار

برای تحلیل عملکرد انرژی توربین بخار می‌توان شیوه گام به گام زیر عمل نمود:

الف- تهیه شناسنامه انرژی توربین‌بخار

ب- تعریف و محاسبه شاخص‌های عملکرد انرژی توربین بخار

ج- شناسایی فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی و تکمیل پرسش‌نامه مدیریت انرژی توربین بخار

الف- تهیه شناسنامه انرژی توربین بخار

جدول (۳-۷۴) شناسنامه انرژی توربین بخار

شماره فنی توربین بخار	نوع توربین	شرایط بخار				داده های نامی			
		دمای ورودی	فشار ورودی	دمای خروجی	فشار خروجی	Speed	RSR	SFR	Power
		°C	barA	°C	Kg/cm² a	rpm	kG/kW-HR	kG/HR	kW

ب- تعریف و محاسبه شاخص‌های عملکرد انرژی توربین بخار

شاخصPWR: توان شافت خروجی توربین که به صورت زیرتعریف می‌شود:

$$\text{Power}=\frac{SFR\ (steamflowrate)}{ASR(Actualsteamrate)}$$

این شاخص توان خروجی شافت توربین است؛ با توجه به اینکه توان خروجی توربین توسط بخار ورودی و خروجی توربین ایجاد می‌شود، با تغییرات کیفیت و مقدار بخار، توان آن کاهش یا افزایش می‌یابد. عواملی که باعث کاهش کیفیت بخار می‌شوند،

عبارتند از: عایق نامناسب یا نشتی‌های مختلف که باعث کاهش دما یا فشار یا مقدار بخار ورودی به توربین می‌شوند و یا تغییرات در مقدار بخار خروجی از توربین که باعث کاهش عملکرد و توان توربین می‌گردند. بنابراین با محاسبه این شاخص می‌توان نسبت به بهینه‌سازی بخار ورودی و خروجی توربین جهت افزایش کارآیی و توان آن اقدام نمود.

نحوه برداشت و محاسبه شاخص: SFR از سیستم کنترل یا سنسور و با داشتن دما و فشار ورودی و خروجی یا از روی جداول بخار مقدار انتالپی محاسبه شده و سپس از فرمول $\mathrm{ASR}=\frac{3600}{\Delta H_{\mathrm{act}}}$ مقدار ASR به دست می‌آید. باید توجه داشت که ΔH_{act} اختلاف انتالپی ورودی و انتالپی خروجی است.

شاخص EFFT: بازده انرژی توربین که به صورت $\mathrm{Efficiency}=\frac{ISR\ (Idealsteamrate)}{ASR\ (Actualsteamrate)}$ تعریف می‌شود.

همان‌گونه که از رابطه این شاخص مشخص است، با توجه به این که مقدار بخار مورد نیاز در حالت ایده‌آل از میزان بخار واقعی کمتر است (مقدار بخار مورد نیاز برای حالت ایده‌آل در شرایط آیزنتروپیک محاسبه می‌شود، در صورتی که در حالت واقعی، فرآیند انبساط بخار، آیزنتروپیک نیست) این شاخص هیچگاه به ۱۰۰ نمی‌رسد، ولی با اقداماتی می‌توان آن را بهبود بخشید. با محاسبه این شاخص میزان دور بودن فرآیند انبساط بخار از شرایط ایده‌آل مشخص می‌شود. این دور بودن می‌تواند ناشی از کاهش کیفیت بخار باشد، بنابراین باید عوامل کاهنده کیفیت بخار را از بین برد.

نحوه برداشت و محاسبه شاخص: با داشتن دما و فشار ورودی و خروجی و یا از روی جداول بخار، مقدار انتالپی محاسبه شده و سپس از فرمول $\mathrm{ASR}=\frac{3600}{\Delta H_{\mathrm{act}}}$ مقدار ASR به دست می‌آید. باید توجه داشت که ΔH_{act} اختلاف انتالپی ورودی و انتالپی خروجی است.

شاخصPLS: تلفات توان به صورت Power loss= Teff × δ تعریف می‌شود:

$$\text{Teff} = \frac{(T_2 - T_{2is})}{Ln(\frac{T2}{T2is})}$$

$$\delta = \sum_{i=1}^{n} mi\ si, out - \sum_{j=1}^{n} mj, sj, in$$

نحوه برداشت و محاسبه شاخص: T_2 از دماسنج مسیر بخار توربین یا سیستم کنترل، T_{2is}، s_i و s_j از جداول بخار در دماهای ورودی و خروجی و m_i و m_j از دبی‌سنج مسیر (در صورت وجود) یا از سیستم کنترل برداشت می‌شوند.

شاخص LOD_T: بار توربین که به صورت دبی بخار مصرفی در حالت واقعی به دبی بخار مصرفی در حالت طراحی تعریف می‌شود.

کیفیت بخار ورودی به توربین در حالت واقعی همواره به دلیل افت دما و فشار ناشی از اصطکاک در لوله‌ها، عایق‌های نامناسب، نشتی‌ها و سایر عوامل محیطی، از حالت طراحی پایین‌تر است. با توجه به اینکه طراحی توربین براساس داده‌های تئوری و طراحی انجام می‌شود و این مقادیر معمولاً در حالت واقعی با مقدار طراحی اختلاف دارند، بنابراین جهت کارایی بهتر توربین باید مقدار بخار بیشتری مصرف کرد تا به کارایی مورد نظر در طراحی توربین رسید. این شاخص بیانگر نسبت بخار مصرفی طراحی به بخار مصرفی در حالت واقعی است. بنابراین هر چه میزان افت دما یا فشار بخار ورودی به توربین بیشتر باشد، باید بخار بیشتری مصرف نمود تا عملکرد توربین به حالت طراحی برسد و در نتیجه این شاخص از عدد ۱ دورتر خواهد بود.

نحوه برداشت و محاسبه شاخص: دبی بخار ورودی از سیستم کنترل یا دبی‌سنج مسیر (در صورت وجود) و دبی بخار طراحی از دیتاشیت توربین قابل برداشت است.

شاخصSEC_T: مصرف ویژه انرژی که به‌صورت دبی بخـار مصـرفی بـه ازای محصـول تولیدی شرکت تعریف می‌شود.

این شاخص سهم مصرف انرژی (بخار) تجهیز را نسبت به تولید سیستم مشخص مـی‌کنـد. معمولاً توربین‌های درایور و به ویژه توربین‌هـای محـرک کمپرسـورها، اهمیـت زیـادی در واحد تولیدی و از طرفی اتلاف انرژی زیادی نیز دارند. بنابراین تـوربین‌هـا، مـوارد مناسـبی جهت بررسی و انجام اقدامات اصلاحی جهت کاهش مصرف انرژی هستند.

نحوه برداشت و محاسبه شاخص: دبی بخار ورودی از سیسـتم کنتـرل یـا دبـی‌سـنج مسیر (در صورت وجود) و میزان محصول تولیدی نیز از سیستم کنترل دبی‌سـنج مسـیر محصول خروجی قابل برداشت است.

جدول (۳-۷۵) نحوه محاسبه شاخص‌های عملکرد انرژی توربین بخار

نام شاخص	رابطه محاسباتی	متغیرها	واحد
توان شافت خروجی PWR	$\Delta H_{act}=H_i-H_o$	H_i	kj/kg
	$ASR=3600/\Delta H_{act}$	H_o	kj/kg
	$PWR = \frac{SFR\ (steam\ flow\ rate)}{ASR(Actual\ steam\ rate)}$	T_i	^{O}C
		T_o	^{O}C
		P_i	barg
		P_o	barg
		ASR	kg/kWh
		SFR	kg/hr
		PWR	kW
بازده انرژی EFF_T	$\Delta H_{is}=H_i-H_{ois}$	H_i	kj/kg
	$ISR=3600/\Delta H_{is}$	H_o	kj/kg
	$\Delta H_{act}=H_i-H_o$	H_{ois}	kj/kg
	$ASR=3600/\Delta H_{act}$	T_i	^{O}C
	$EFF_T=\frac{ISR\ (Ideal\ steam\ rate)}{ASR\ (Actual\ steam\ rate)}$	T_o	^{O}C
		ISR	kg/kWh
		ASR	kg/kWh
		EFF_T	٪

تلفات توان PLS	T_{eff}	$Teff = \frac{(T_o - T_{ois})}{Ln(\frac{T_o}{T_{ois}})}$	^{O}C
	T_o		^{O}C
	m_i		kg/hr
	m_j	$\delta = \sum_{i=1}^{n} m_i s_{i,out} - \sum_{j=1}^{n} m_j s_{j,in}$	kg/hr
	T_i		^{O}C
	P_i		barg
	P_o	$\delta \times$ Power loss= T_{eff}	barg
	T_{ois}		^{O}C
	δ		kj/hr ^{o}c
	s_i		kj/kg
	s_o		kj/kg
	PLS		kj/hr
درصد بارگذاری LOD_T	SFR_{act}	دبی بخار مصرفی در حالت واقعی به دبی نامی بخار	kg/hr
	SFR_{dsg}		kg/hr
مصرف ویژه انرژی SEC_T	SFR	دبی بخار مصرفی به واحد محصول تولیدی	Kg/hr
	product		ton

جدول (۳-۷۶) نحوه محاسبه شاخص‌های عملکرد انرژی توربین بخار

نام شاخص	متغیرها	منبع دسترسی		دستگاه اندازه‌گیری
		نامی	بهره‌برداری	
توان شافت خروجی	H_i	جدول بخار	جدول بخار	-
	H_o	منحنی کارایی جدول بخار	جدول بخار	-
	T_i	دیتاشیت	برداشت از سیستم کنترل یا سنسور/اندازه‌گیری	ترمومتر
	T_o	منحنی کارایی دیتاشیت	برداشت از سیستم کنترل یا سنسور/اندازه‌گیری	ترمومتر
	P_i	دیتاشیت	برداشت از سیستم کنترل یا سنسور	-

	P_o	دیتاشیت	برداشت از سیستم کنترل یا سنسور	-
	ASR	-	-	-
	SFR	-	-	-
بازده انرژی	H_i	دیتاشیت	جداول بخار	-
	H_o	منحنی کارایی جدول بخار	جدول بخار	-
	H_{ois}	جدول بخار	جدول بخار	-
	T_i	دیتاشیت	برداشت از سیستم کنترل یا سنسور/اندازه‌گیری	ترمومتر
	T_o	منحنی کارایی - دیتاشیت	برداشت از سیستم کنترل یا سنسور/اندازه‌گیری	ترمومتر
	ISR	-	-	-
	ASR	-	-	-
تلفات توان	T_{eff}	-	برداشت از سیستم کنترل یا سنسور/اندازه‌گیری	ترمومتر
	T_o		برداشت از سیستم کنترل یا سنسور/اندازه‌گیری	ترمومتر
	m_i	-	برداشت از سیستم کنترل یا سنسور	-
	m_j	-	برداشت از سیستم کنترل یا سنسور	-
	T_i	-	برداشت از سیستم کنترل یا سنسور/اندازه‌گیری	ترمومتر
	P_i	-	برداشت از سیستم کنترل یا سنسور	-
	P_o	-	برداشت از سیستم کنترل یا سنسور	-

	T_{ois}	-	جدول بخار	-
	δ	-	-	-
	s_i	-	جدول بخار	-
	s_o	-	جدول بخار	-
درصد بارگذاری	SFR_{act}	-	برداشت از سیستم کنترل یا سنسور	-
	SFR_{de}	دیتاشیت	-	-
مصرف ویژه انرژی	SFR	-	برداشت از سیستم کنترل یا سنسور	-
	product	-	برداشت از سیستم کنترل یا سنسور	-

ج- شناسایی فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی و تکمیل پرسش‌نامه مدیریت انرژی توربین بخار

با شناسایی منابع بالقوه تلفات انرژی توربین بخار، می‌توان فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی در توربین بخار را مورد بررسی و شناسایی قرار داد. این منابع را می‌توان به چهار دسته تقسیم نمود:

۱- نگهداری و تعمیرات نامناسب توربین بخار

۲- عدم استفاده از تجهیزات و کنترل بهینه در توربین بخار

۳- طراحی و خرید نامناسب توربین بخار

۴- وضعیت نامناسب شاخص‌های عملکرد انرژی توربین بخار در حالت عملیاتی در مقایسه با مقادیر هدف

الف- فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی در نگهداری و تعمیرات توربین بخار

۱- بررسی کیفیت روغن از طریق نمونه‌گیری آزمایش و مشاهده

۲- بررسی وضعیت روغن ورودی به پمپ (وضعیت صافی، فیلتر و...)

۳- بررسی فشار ورودی و خروجی پمپ روغن

۴- بررسی اختلاف فشار بین ورودی و خروجی فیلترهای روغن

۵- بررسی درجه حرارت روغن خروجی از کولرها (بررسی وضعیت کولرها و...)

۶- بررسی فشار روغن یاتاقان‌ها

۷- بررسی وضعیت عملکرد کنترل ولوهای ورودی و خروجی بخار

۸- بازدید و بررسی منظم به منظور شناسایی، حذف یا کاهش نشتی‌های بخار

۹- بررسی عایق‌های حرارتی توربین

۱۰- بازدید مسیرهای بخار، خروجی بخار، سیستم کندانسور سطحی و تله‌های مسیر گلندهای کندانسور

۱۱- تدارک برنامه تمیزکاری (پوسته، پره‌ها و...)

۱۲- بررسی و کالیبراسیون کلیه تجهیزات ابزار دقیق

۱۳- بررسی لرزش توربین و وضعیت صدا

۱۴- بررسی تیغه‌ها، یاتاقان‌ها و روتورها

ب- فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی در استفاده از تجهیزات و کنترل بهینه در توربین بخار

۱- استفاده از کنترلرهای مناسب‌تر و پیشرفته‌تر در سیستم توربین بخار

۲- استفاده از فشارهای مراحل میانی برای استفاده در فرآیندهای دیگر (در صورت امکان)

ج- فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی در بخش شاخص‌های عملکرد انرژی توربین بخار

۱- عملکرد بهینه توربین در شرایط ورودی و خروجی (با بررسی کیفیت بخار، فشار و دمای بخار ورودی و خروجی)

۲- کارآیی توربین مناسب (بالاتر از ۶۵٪).

۳- محاسبه شاخص عملکرد: نرخ حرارت

۴- محاسبه شاخص عملکرد: اتلاف قدرت

۵- محاسبه شاخص عملکرد: نرخ بخار

د- فرصت صرفه‌جویی انرژی با طراحی و خرید مناسب

تناسب اندازه توربین با میزان قدرت مورد نیاز

جدول (۳-۷۷) پرسش‌نامه مدیریت انرژی توربین بخار

پتانسیل صرفه‌جویی انرژی		بلی	خیر	توضیحات
نت مؤثر	عدم بررسی کیفیت روغن از طریق نمونه‌گیری آزمایش و مشاهده			
	عدم بررسی وضعیت روغن ورودی به پمپ (وضعیت صافی، فیلتر و ...)			
	عدم بررسی فشار ورودی و خروجی پمپ روغن			
	عدم بررسی اختلاف فشار بین ورودی و خروجی فیلترهای روغن			
	عدم بررسی درجه حرارت روغن خروجی از کولرها (بررسی وضعیت کولرها و ...)			
	عدم بررسی فشار روغن یاتاقان‌ها			
	عدم بررسی وضعیت عملکرد کنترل ولوهای ورودی و خروجی بخار			
	عدم بررسی نشتی‌های بخار			
	عدم بررسی عایق‌های حرارتی توربین			
	عدم بازدید مسیرهای بخار، خروجی بخار و سیستم کندانسور سطحی و تله‌های مسیر گلندهای کندانسور			

	عدم تدارک برنامه تمیزکاری (پوسته، پره‌ها و ...)				
	عدم بررسی و کالیبراسیون کلیه تجهیزات ابزار دقیق				
	عدم بررسی لرزش توربین و وضعیت صدا				
	عدم بررسی تیغه‌ها، یاتاقان‌ها و روتورها				
تجهیزات/ کنترل بهینه	عدم استفاده از کنترلرهای مناسب‌تر				
	عدم استفاده از فشارهای مراحل میانی برای استفاده در فرآیندهای دیگر				
طراحی/خرید	عدم تناسب اندازه توربین با میزان قدرت مورد نیاز				
بررسی عملکرد	کارآیی توربین پایین تر از ۶۵٪				
	عدم محاسبه نرخ حرارت				
	عدم محاسبه اتلاف قدرت				
	عدم محاسبه نرخ بخار				
	عملکرد غیربهینه توربین در شرایط ورودی و خروجی				

۳-۱۶ دستورالعمل نحوه عملکرد، اندازه‌گیری و تعریف شاخص‌های انرژی توربین گاز

۳-۱۶-۱ هدف و دامنه کاربرد دستورالعمل نحوه تحلیل عملکرد انرژی توربین گاز

هدف از تدوین این دستورالعمل آشنایی ممیزان انرژی با نحوه تحلیل عملکرد انرژی توربین گاز و دامنه کاربرد این دستورالعمل با توجه به معیارهای ممیزی انرژی (هدف کلان، نوع و سطح ممیزی، روش و استاندارد ممیزی، نحوه و میزان مشارکت کارکنان، محدوده و مدت زمان اجرای ممیزی و الزامات گزارش ممیزی)، تمامی یا بخشی از توربین‌های گاز موجود در یک فرآیند صنعتی یا واحد عملیاتی یا شرکت تولیدی می‌باشد.

۳-۱۶-۲ مسئولیت تحلیل عملکرد انرژی توربین گاز

مسئولیت تحلیل عملکرد انرژی توربین گاز با تیم ممیزان انرژی شرکت تولیدی (درجه دو و سه / مقیم یا غیر مقیم) است. پیشنهاد می‌شود این تیم، حداقل متشکل از کارشناسان جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها و اطلاعات اولیه، اندازه‌گیری و تحلیل متغیرها و شاخص‌های عملکرد انرژی و ارائه راهکارهای عملی صرفه‌جویی انرژی توربین گاز باشد.

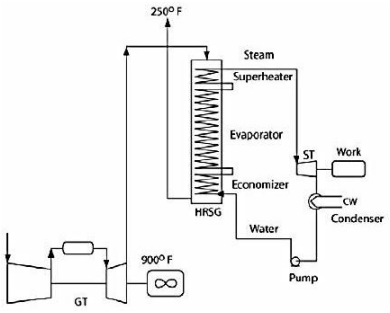
۳-۱۶-۳ واژگان دستورالعمل نحوه تحلیل عملکرد انرژی توربین گاز

توربین گاز: توربین‌های گازی در صنایع مختلف و با کاربردهای متفاوت به عنوان درایور و محرک مستقیم فرآیندو یا به عنوان ژنراتور توان الکتریکی استفاده می‌شوند. پس به جهت دو نوع کاربرد، دو نوع بازده انرژی نیز مهم است.

۱- بازده معادل تجهیزات درایور اعم از کمپرسور و توربین

۲- بازده سیکل ترمودینامیک

توربین گاز به عنوان درایور: هنگامی که یک توربین گازی به عنوان درایور و محرک استفاده می‌شود، انرژی مکانیکی خروجی از توربین به یک شافت مکانیکی تجهیزاتی چون ژنراتور، پمپ و... منتقل می‌شود. بازده انرژی فرآیند به عملکرد کمپرسور، توربین و سیکل برایتون گاز تحت عملیات بستگی دارد. محاسبات بازده انرژی کمپرسور و توربین در بخش‌های قبلی گزارش آمده است.



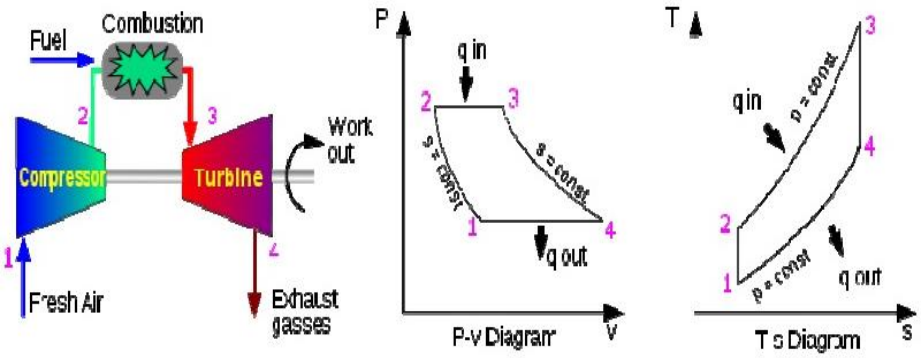
شکل (۳-۸۶) نمایی از یک سیستم توربین گاز

توربین گاز به عنوان تولید کننده برق: وقتی یک توربین گاز برای تولید همزمان برق و حرارت استفاده می‌شود، سیکل برایتون با اندکی تغییر دنبال می‌شود. سیکل برایتون معمولاً با توجه به الزام و منبع موجود در چهار حالت، مورد استفاده قرار می‌گیرد:

الف- ساده (باز) ب- تولید مجدد[1] ج- سیکل ترکیبی د- تزریق بخار

البته به‌طورمعمول دو حالت الف و ج یعنی سیکل ساده و سیکل ترکیبی در نیروگاه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند.

سیکل ایده‌ال ساده: برای یک سیکل ایده‌ال ساده، نرخ فشار بهینه که ماکزیمم خروجی خالص را تولید می‌کند، برای دماهای خروجی کمپرسور و توربین مشابه است. در حالت واقعی نرخ فشار در ماکزیمم کار مفید تولید شده، پایین‌تر است. (ناشی از اثر ناکارایی توربین و کمپرسور و افت فشار بخش احتراق). در نتیجه دمای خروجی توربین بالاتر از دمای خروجی کمپرسور خواهد بود. از آنجا که با استفاده از این سیستم، خیلی از تلفات حرارتی در گاز خروجی برای پیش گرمایش هوای خروجی کمپرسور قبل از ورود به محفظه احتراق استفاده می‌شود، بازده انرژی سیکل ساده با استفاده از یک regenerator می‌تواند تا ۲۵ ٪ افزایش یابد.



شکل (۳-۸۷) سیکل ایده‌آل برایتون

1- regeneration

سیکل ترکیبی: سیکل ترکیبی، ترکیبی از سیکل برایتون و سیکل رانکین است. گرما در خروجی توربین گاز برای تولید بخار فشار بالا در بویلری با نام HRSG[1] (تولیدکننده بخار ناشی از بازیافت حرارت) و بخار فشار بالا نیز برای تولید برق اضافی در یک توربین بخار کندانس مطابق با سیکل رانکین استفاده می‌شود. با توجه به استفاده بهتر از تلفات حرارتی خروجی توربین گاز، بازده سیکل ترکیبی بیشتر از بازده سیکل ساده بوده و به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\eta_{CC} = \eta_{GT} + \eta_{HRSG} \times \eta_{ST} - \eta_{GT} \times \eta_{ST} \times \eta_{HRSG}$$

که در آن:

η_{CC}= بازده سیکل ترکیبی

η_{GT}= بازده سیکل ساده توربین گاز

η_{HRSG}= بازده تولیدکننده بخار ناشی از بازیافت حرارت

η_{ST}= بازده سیکل توربین بخار (سیکل رانکین)

بازده انرژی سیستم توربین گاز: بازده انرژی کل سیستم توربین گاز، به بازده سیکل برایتون (یعنی میزان تبدیل حرارت به برق) بستگی دارد. پس با توجه به آنکه بازده توربین گازی معادل نسبت خروجی برق توربین به ورودی حرارت ناشی از احتراق سوخت است، می‌توان نوشت:

$$\eta = \frac{Wnet}{q} = \frac{Cp\,(TC - TD - TB - TA)}{Cp(TC - TB)} = 1 - \frac{TD - TA}{TC - TB}$$

در یک سیکل ایده‌ال با توجه به شرایط آیزنتروپیک فشار (از A تا B) و EXPANSION (از C تا D):

$$\frac{TB}{TA} = \left(\frac{PB}{PA}\right)^{\frac{Y-1}{Y}} = \frac{TC}{TD}$$

که در آن،

1- Heat Recovery Steam Generator

Y = ضریب ثابت $=C_p/C_v$ = ۱/۴(برای هوا)

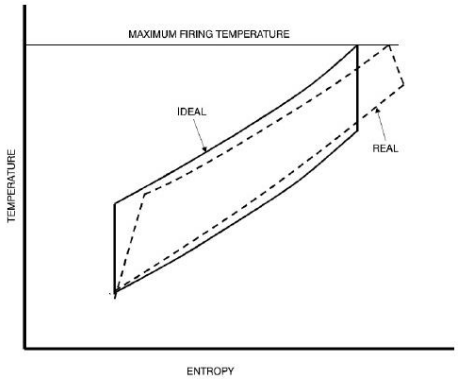
P_A = فشار خروجی کمپرسور(kPa)

P_B = فشار ورودی کمپرسور(kPa)

با توجه به موارد مذکور، با جایگزینی فرمول‌ها در فرمول کارآیی، می‌توان نوشت:

$$\eta = 1 - \frac{1}{(\frac{PB}{PA})^{\frac{Y-1}{Y}}}$$

بنابراین بازده برای سیکل ساده ایده‌ال، تنها تابعی از نرخ فشار کمپرسور توربین گاز می‌باشد و این نشانگر اهمیت عملکرد کمپرسور در بازده کلی سیستم توربین گاز است. البته در حالت واقعی، بازده توربین به دمای ورودی توربین (نقطه C) بستگی دارد و در یک نرخ فشار با افزایش دمای ورودی توربین، کاهش می‌یابد. بدیهی است که در سیکل واقعی مسلماً بازده، پایین‌تر از حالت ایده‌ال است.



شکل (۳- ۸۸) مقایسه سیکل برایتون در حالت‌های ایده‌آل و واقعی

چندنکته:

در یک سیکل واقعی، فشار در بخش کمپرسور و EXPANSION در بخش توربین با توجه به ناکارآیی کمپرسور و توربین، آیزنتروپیک نیستند. لذا توربواکسپندر[1] توان

1- Turbo expande

کمتری تولید می‌کند، از این‌رو کمپرسور بیشتر کار می‌کند. از آنجا که با کاهش یک درصدی بازده کمپرسور، توان خروجی مفید ۱/۵ تا ۲٪ کاهش می‌یابد، در اینجا بازده کمپرسور بسیار مهم است.

عواملی چون خطا در کمپرسور، سریعاً می‌توانند موجب کاهش بازده کمپرسور شوند. با توجه به اهمیت بازده کمپرسور در عملکرد سیستم توربین گاز باید به‌طور منظم عملکرد کمپرسور مورد پایش قرار گیرد و در صورت بروز عدم انطباق، اقدامات اصلاحی در اسرع وقت انجام پذیرد. در یک سیکل واقعی، یک افت فشار سیستم احتراق بین خروجی کمپرسور و ورودی توربین، نرخ فشار موجود را برای EXPANSION اطراف توربین کاهش می‌دهد.

به علت مقاومت اصطکاکی در داکت سیستم خروجی، گازها در فشار اتمسفری خارج نمی‌شوند، بلکه در فشار ۱ تا ۲/۵ کیلو پاسکال بالاتر از اتمسفر خارج می‌شوند. این تلفات فشار خروجی موجب کاهش نرخ فشار اطراف توربین خواهد شد. افزایش هر کیلو پاسکال در فشار خروجی، موجب کاهش ۰/۴ درصدی، هم در بازده و هم در توان خروجی می‌شود.

تلفات فشار ناشی از وجود داکت و فیلترها حدود یک کیلو پاسکال است. هر یک کیلو پاسکال افت فشار ورودی، موجب کاهش ۱/۴ درصدی در خروجی و ۰/۵ درصدی در بازده خواهد شد.

خواص هوا و گازهای احتراق اعم از CP و Y ثابت نیستند. لذا تغییر در این خواص، موجب تغییر در درجه حرارت و کاهش کارایی توربین نسبت به حالت ایده آل خواهد شد.

۳-۱۶-۴ شرح عملیات تحلیل عملکرد انرژی توربین گاز

برای تحلیل عملکرد انرژی تجهیزات انرژی‌بر می‌توان به شیوه گام به گام زیر عمل نمود:

الف- تهیه شناسنامه انرژی توربین گاز

ب- تعریف و محاسبه شاخص‌های عملکرد انرژی توربین گاز

ج- شناسایی فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی و تکمیل پرسش‌نامه مدیریت انرژی توربین گاز

تعریف شاخص‌های عملکرد انرژی توربین گاز

شاخص نرخ حرارت: یکی از شاخص‌های عملکرد انرژی توربین گازی در نقش مولد برق، نرخ حرارت[1] یا HR است که نسبت انرژی ورودی ناشی از سوخت به توان مفید خروجی توربین است.

$$\mathrm{HR}\left(\frac{GJ}{kW}\right) = \frac{m_{fuel} * GCV_{fuel}}{W}$$

که در آن m_{fuel}، جرم سوخت ورودی، GCV_{fuel}، ارزش حرارتی سوخت و توان مفید خروجی، توان خروجی از اکسپندر منهای توان مصرفی کمپرسور هوا و دیگر تجهیزات متعلقه است. ذکر این نکته ضروری است که هر چه نرخ حرارت پایین‌تر باشد، بازده حرارتی سیستم بالاتر است.

نحوه برداشت و محاسبه شاخص: جرم سوخت ورودی به توربین از سیستم کنترل یا سنسور و ارزش حرارتی سوخت از جداول و منابع و توان مفید خروجی توربین از سیستم کنترل یا سنسور یا اندازه‌گیری به‌دست می‌آید.

شاخص راندمان حرارتی: این شاخص با نسبت کمترین نرخ حرارتی به نرخ حرارتی واقعی تعریف می‌شود و منظور از آن تحلیل میزان انرژی ورودی ناشی از سوخت به توان مفید تولید شده و مقایسه با شرایط ایده آل یا بازده ۱۰۰٪ می‌باشد.

نحوه برداشت و محاسبه شاخص: با فرض کارآیی ۱۰۰ ٪، کمترین نرخ حرارت ۰/۰۰۳۶ خواهد بود. لذا معادله کارآیی حرارتی به صورت زیر خواهد بود:

$$\eta\mathrm{thermal} = \frac{0.0036}{HR}$$

1- Heat Rate

البته معمولاً شرایط ایده‌ال در عمل وجود ندارد و متغیرهای شرایط عملیاتی باید اندازه‌گیری شوند، لازم است که شاخص‌ها با توجه به ضرایب تصحیح، محاسبه شده و با این شرایط مقایسه شوند.

شاخص بازده سیکل: شاخص بازده سیکل معادل تقسیم نرخ حرارت واقعی به نرخ حرارت نامی در شرایط عملیاتی است.

نحوه برداشت و محاسبه شاخص: تعیین نرخ حرارت واقعی در شرایط عملیاتی به راحتی با اندازه‌گیری میزان توان خروجی و مصرف سوخت صورت می‌پذیرد. نرخ حرارت نامی در شرایط سایت احتیاج به محاسبه نرخ حرارت برای شرایط متفاوت سایت نسبت به شرایط نامی اعم از دما، فشار، رطوبت و شرایط مکانیکی دارد. در ادامه نحوه دست‌یابی به آن‌ها از دو طریق منحنی و فرمول‌های محاسباتی تشریح می‌شود. سازندگان توربین گازی، منحنی‌های ضریب تصحیح، نقشه‌ها و داده‌های مورد نیاز دیگر که نمایشگر اثرات شرایط محیطی روی عملکرد توربین گازی است را تهیه و تحویل بهره‌بردار خواهند داد. البته به جای استفاده از نمودارهای مختلف ضریب تصحیح می‌توان از فرمول‌های محاسباتی نیز استفاده نمود.

نکته: همان‌طورکه پیشتر نیز اشاره شد، با توجه به آنکه توان تولیدی به وسیله توربین گازی به طور مستقیم با دبی جرمی گذرنده از آن مرتبط است، هر آنچه باعث کاهش چگالی هوای ورودی شود، موجب کاهش دبی جرمی گذرنده از تجهیز و توان خروجی خواهد شد. به همین دلیل برای دقت و صحت بالا در تعیین شاخص‌ها و ارزیابی مناسب آن‌ها، باید ضرایب تصحیح در موارد زیر به متغیرهای مورد نیاز اعمال شود.

الف- دمای هوای محیط: دمای هوای ورودی، تأثیر زیادی بر عملکرد توربین گازی دارد. از آنجا که با افزایش دمای هوا، چگالی هوا کاهش می‌یابد، توان خروجی توربین گازی به ازای هر ۱۰ درجه سانتی‌گراد افزایش دمای هوای ورودی، حدوداً ۰/۹٪ افزایش

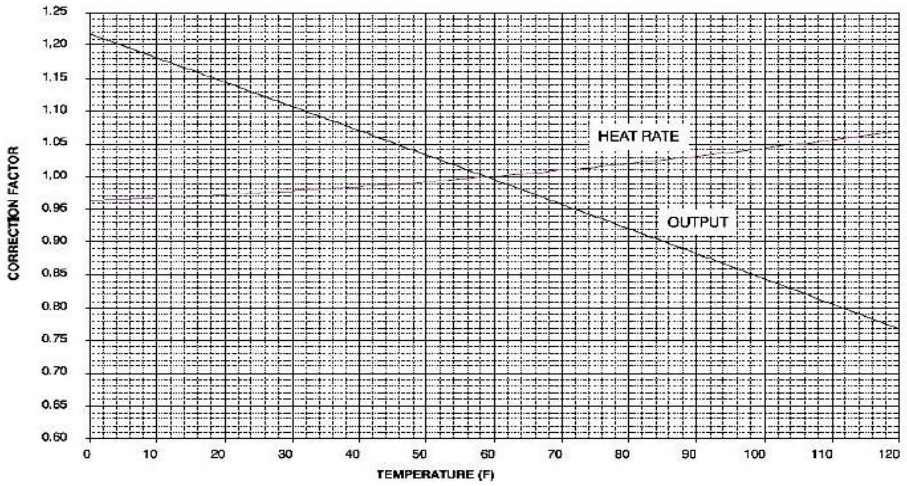
می‌یابد، در نتیجه دبی جرمی گذرنده از توربین و نرخ فشار کمپرسور کاهش یافتـه و در نهایت نرخ E (در یک نرخ فشار) اطراف توربین کاهش می‌یابـد. کـاهش نـرخ فشـار نیـز موجب کاهش بازده توربین و توان خروجی خواهد شد.

فرمول ضریب تصحیح دما جهت محاسبات توان خروجی و نرخ حرارت:

$$TCF_{pwr}=1.22-0.375 * \frac{1.8*T+32}{100}$$

$$TCF_{HR}=1.055*10^{-6} * \left\{0.9656 + 0.0304 * \left(\frac{1.8*T+32}{100}\right) + 0.0473 * \left(\frac{1.8*T+32}{100}\right)^2\right\}$$

که در آن، TCF_{pwr}، ضریب تصحیح دما برای توان خروجی، TCF_{HR}، ضریب تصـحیح دما برای نرخ حرارت و T، دمای محیط بر حسب درجه سانتی‌گراد است.



شکل (۳- ۸۹) نمودار ضریب تصحیح دمای هوای محیط

ب- فشار بارومتریک: فشار بارومتریک نیز اثر مهمی بر توان خروجی دارد. در ارتفـاع بالاتر، فشار بارومتریک پایین‌تر به معنای چگالی هوای کمتر بوده و منجر به کاهش دبی جرمی گذرنده از توربین و در نتیجه کاهش توان خروجی در تـوربین گـاز خواهـد شـد. اگرچه این امر تأثیر آن‌چنانی بر بازده کلی توربین نخواهد گذاشت. بنابراین مزیت فشـار خروجی کمتر نسبت به اتمسفر، با عیب فشار پایین‌تر مکش بی‌اثر می‌شود.

فرمول ضریب تصحیح ناشی از تغییر ارتفاع برای فشار خروجی و نرخ حرارت:

$PCF_{pwr} = P_{atm}/101325$

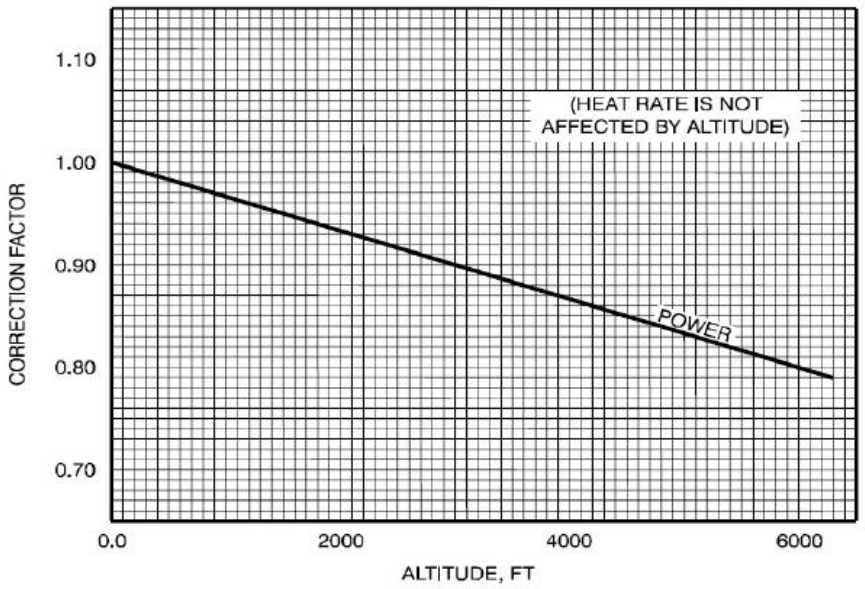
$PCF_{HR}=1.0$

که در آن :

PCF_{pwr}= ضریب تصحیح فشار برای توان خروجی

PCF_{pwr}= ضریب تصحیح فشار برای نرخ حرارت

P_{atm}= فشار محیط (اتمسفر)



شکل (۳- ۹۰) نمودار ضریب تصحیح ارتفاع

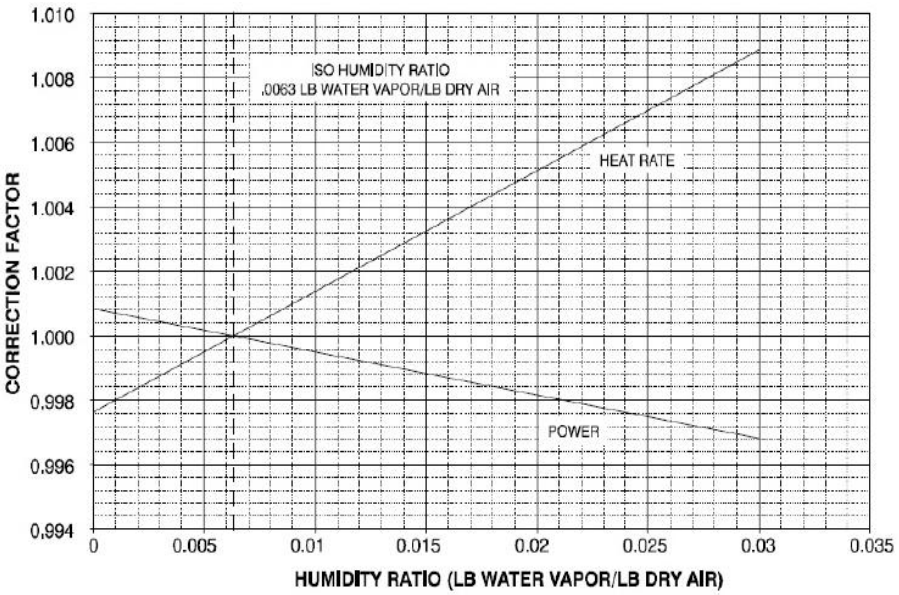
ج- تغییرات رطوبت: تغییرات رطوبت اثر منفی بر عملکرد توربین گازی دارد، ولی معمولاً در محاسبات عملکرد، از آن صرف‌نظر می‌شود. برای یک فشار اتمسفر نمونه، زمانی‌که رطوبت موجود در هوا افزایش یابد، چگالی مخلوط کم می‌شود و در نتیجه دبی جرمی گذرنده از توربین و توان خروجی کاهش می‌یابد. افزایش میزان بخار آب، ظرفیت گرمایی مخلوط را افزایش می‌دهد لذا بازده توربین به میزان ناچیزی و آن هم به آرامی کاهش می‌یابد.

فرمول ضرایب تصحیح برای تغییرات رطوبت: این ضرایب بسیار کوچک هستند که در ادامه نمودار و فرمول آن آمده است.

$HCF_{pwr} = 1.008 – 01335 \times H$

$HCF_{Hr} = 0.9976 + 0.373 \times H$

که در آن H، نرخ رطوبت (کیلوگرم بخار آب در کیلوگرم هوای خشک) است.



شکل (۳- ۹۱) نمودار ضریب تصحیح رطوبت هوای محیط

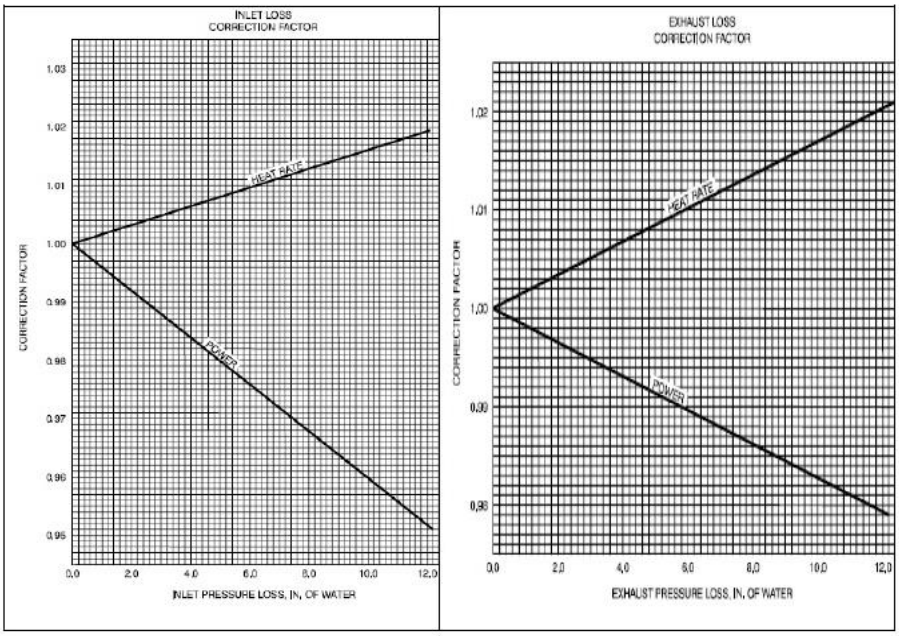
د- فشار ورودی و خروجی: کاهش فشار ورودی کمپرسور موجب کاهش توان خروجی توربین خواهد شد. چون کاهش چگالی، دبی جرمی سیال یعنی هوا را کاهش می‌دهد، لذا فشار خروجی کمپرسور، نرخ فشار توربین و توان خروجی توربین کاهش می‌یابند. کاهش فشار ورودی کمپرسور همچنین روی نرخ حرارت مؤثر است. نرخ فشار پایین‌تر در توربین گازی، کارآیی حرارتی را کاهش و نرخ حرارت را افزایش می‌دهد. دامنه تصحیح فشار ورودی به عنوان یک درصد از مقدار طراحی تغییر خواهد نمود. این درصد برای تجهیزات کوچک‌تر، بیشتر است.

به عنوان مثال یک کیلوپاسکال کاهش در فشار هوای ورودی باعث کاهش ۱/۷ درصدی در توان خروجی توربین، افزایش ۰/۷ درصدی در نرخ حرارت و افزایش ۱/۲ درجه سانتیگرادی در دمای خروجی خواهد شد.

- فرمول ضریب تصحیح افت فشار ورودی:

$DPCF_{PWR}$ =1-(△P/1000)
$DPCF_{HR}$ = 1+(-△P/2500)

که در آن △P، تلفات فشار ورودی به کیلو پاسکال است.



شکل (۳- ۹۲) نمودار ضریب تصحیح فشار ورودی و خروجی

البته محدودیت‌های دبی در سیستم خروجی نیز بر روی فشار خروجی توربین گازی مؤثر است. ضریب تصحیح افت فشار خروجی عبارت است از:

$DPCF_{PWR}$ =1-(△P/2400)
$DPCF_{HR}$ = 1-(△P/2360)

که در آن △P، تلفات فشار ورودی به کیلوپاسکال است.

با محاسبه فرمول یا درون‌یابی نمودار محاسباتی ضرایب تصحیح، باید برای محاسبه ضریب تصحیح کل، آن‌ها را در هم ضرب نمود و سپس ضریب تصحیح را در شرایط طراحی ISO ضرب کرد. البته در این میان، ضریب تصحیح توان تجهیزات متعلقه به توربین از این قاعده مستثنی است. ضریب تصحیح توان پس از اعمال بقیه ضرایب تصحیح در توان خروجی توربین به دست می‌آید.

بنابراین توان نامی سایت با فرمول زیر محاسبه می‌شود.

توان نامی سایت = توان نامی ISO× ضریب تصحیح دما× ضریب تصحیح ارتفاع× ضریب تصحیح رطوبت× ضریب تصحیح تلفات ورودی× ضریب تصحیح تلفات خروجی × ضریب تصحیح تلفات انتقال× ضریب تصحیح استهلاک- توان متعلقات (توان مصرفی به شافتهای درایو)

نرخ حرارت نامی سایت= نرخ حرارت ISO× ضریب تصحیح دما× ضریب تصحیح تلفات ورودی× ضریب تصحیح تلفات خروجی× ضریب تصحیح تلفات انتقال× ضریب تصحیح استهلاک

برای محاسبه میزان تلفات باید ارزیابی مهندسی و دقیق از توان تولیدی تا نقطه مصرف انجام پذیرد. برای مثال، تلفات انتقال به صورت معکوس بازده مکانیکی و محاسبه نرخ حرارتی با در نظر گرفتن ضریب مورد نظر قابل محاسبه است. همچنین تلفات برای هر توربین گازی مشخص بوده و برای وضعیت‌های مختلف قابل تخمین است.

شناسایی فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی و تکمیل پرسش‌نامه مدیریت انرژی توربین گاز

با شناسایی منابع بالقوه تلفات انرژی توربین گاز، می‌توان فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی در توربین گاز را مورد بررسی و شناسایی قرار داد. این منابع را می‌توان به چهار دسته تقسیم نمود:

۱- نگهداری و تعمیرات نامناسب توربین گاز

۲- عدم استفاده از تجهیزات و کنترل بهینه در توربین گاز

۳- طراحی و خرید نامناسب توربین گاز

۴- وضعیت نامناسب شاخص‌های عملکرد انرژی توربین گاز در حالت عملیاتی در مقایسه با مقادیر هدف

الف- فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی در نگهداری و تعمیرات توربین گاز:

- وجود برنامه منظم جهت کالیبراسیون دوره‌ای تحلیل‌گرهای گازهای خروجی از توربین
- بررسی صحت عملکرد و تنظیم تجهیزات تنظیم‌کننده میزان سوخت و هوا
- بررسی وضعیت نازل‌های سوخت
- بررسی و تنظیم فشار روغن یاتاقان‌ها
- بررسی و کالیبراسیون کلیه تجهیزات ابزار دقیق
- بررسی لرزش توربین و وضعیت صدا
- بررسی تیغه‌ها، یاتاقان‌ها و روتورها
- بررسی عایق‌های حرارتی توربین
- بررسی اختلاف فشار بین ورودی و خروجی فیلترهای هوا

ب- فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی در استفاده از تجهیزات و کنترل بهینه در توربین گاز:

- ثبت مقادیر تحلیل ترکیبات گازهای سوخت دریافتی
- وجود اندازه‌گیر و ثبت مقادیر تحلیل گازهای احتراق خروجی دودکش
- اندازه‌گیری دمای گازهای خروجی در دهانه خروجی دودکش
- وجود سیستم کنترلی مناسب
- امکان کنترل مناسب نسبت هوا به سوخت

- وجود سیستم اندازه‌گیری و کنترل هوای اضافی توربین
- نصب درایور کنترل سرعت روی فن‌ها و دمنده‌های توربین
- نصب پیش‌گرم‌کن هوا در توربین
- ثبت مقدار گاز دریافتی توربین
- نصب تجهیزات بازیافت حرارت در توربین
- استفاده از کمپرسورهای پربازده

ج- فرصت بالقوه صرفه‌جویی انرژی با طراحی و خرید مناسب:

- تناسب اندازه توربین با میزان قدرت مورد نیاز

د- فرصت‌های بالقوه صرفه‌جویی انرژی در بخش شاخص‌های عملکرد انرژی توربین گاز:

- محاسبه شاخص عملکرد: نرخ حرارت
- محاسبه شاخص عملکرد: کارآیی حرارتی
- محاسبه شاخص عملکرد: بازده سیکل

جدول (۳-۷۸) پرسش‌نامه مدیریت انرژی توربین گاز

پتانسیل صرفه‌جویی انرژی		بلی	خیر	توضیحات
نت موثر	عدم کالیبراسیون تحلیل‌گرهای گازهای خروجی از توربین			
	عدم بررسی تجهیزات تنظیم‌کننده میزان سوخت و هوا			
	عدم بررسی نازل‌های سوخت			
	عدم بررسی فشار روغن یاتاقان‌ها			
	عدم بررسی و کالیبراسیون کلیه تجهیزات ابزار دقیق			
	عدم بررسی لرزش توربین وکمپرسور و وضعیت صدا			

	عدم بررسی تیغه‌ها، یاتاقان‌ها و روتورها			
	عدم بررسی عایق‌های حرارتی توربین			
	عدم بررسی اختلاف فشار بین ورودی و خروجی فیلترهای هوا			
استفاده از تجهیزات/ کنترل بهینه	عدم ثبت مقادیرتحلیل ترکیبات گازهای سوخت دریافتی			
	عدم وجود اندازه‌گیر و ثبت مقادیرتحلیل گازهای احتراق خروجی دودکش			
	عدم اندازه‌گیری دمای گازهای خروجی در دهانه خروجی دودکش			
	عدم وجود سیستم کنترلی مناسب			
	عدم امکان کنترل مناسب نسبت هوا به سوخت			
	عدم وجود سیستم اندازه‌گیری و کنترل هوای اضافی توربین			
	عدم نصب درایور کنترل سرعت روی فن‌ها و دمنده‌های توربین			
	عدم نصب پیش‌گرم‌کن هوا در توربین			
	عدم ثبت مقدار گاز دریافتی توربین			
	عدم نصب تجهیزات بازیافت حرارت در توربین			
	عدم استفاده از کمپرسورهای پربازده			
طراحی/خرید	عدم تناسب اندازه توربین با میزان قدرت مورد نیاز			
بررسی عملکرد	عدم محاسبه شاخص نرخ حرارت			
	عدم محاسبه شاخص راندمان حرارتی			
	عدم محاسبه شاخص بازده سیکل			

مرحله چهار

تحلیل داده‌ها و ارائه راهکارها

۴-۱ دستورالعمل نحوه تحلیل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری

۴-۱-۱ هدف و دامنه کاربرد دستورالعمل نحوه تحلیل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری

هدف از تدوین این دستورالعمل آشنایی ممیزان انرژی با نحوه تحلیل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری ممیزی انرژی و دامنه کاربرد این دستورالعمل با توجه به نوع و سطح ممیزی انرژی و اطلاعات حاصل از اندازه‌گیری مرتبط با تجهیزات، فرآیندهای صنعتی یا واحدهای عملیاتی شرکت ممیزی‌شونده می‌باشد.

۴-۱-۲ مسئولیت تحلیل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری

مسئولیت تحلیل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری ممیزی انرژی با تیم ممیزی انرژی خصوصاً ممیزان درجه یک و دو است.

۴-۱-۳ واژگان دستورالعمل نحوه تحلیل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری

داده‌های حاصل از اندازه‌گیری: دو کاربرد مهم دستگاه‌های پرتابل یا ثابت در ممیزی انرژی، اندازه‌گیری داده‌ها و متغیرهای مورد نیاز تحلیل شاخص‌های عملکرد انرژی در سطوح مختلف شرکت (مثلاً اندازه‌گیری و تحلیل کیفیت و کمیت توان الکتریکی

ورودی به یک واحد عملیاتی توسط تحلیل‌گر کیفیت توان ثابت یا پرتابل یا اندازه‌گیری دبی سیال عبوری از یک لوله توسط دبی‌سنج ثابت یا پرتابل) یا بررسی وضعیت سلامت تجهیز (تستر[1] تله بخار برای شناسایی تله بخارهای معیوب یا نشت‌یاب هوای فشرده برای شناسایی منابع تلفات ناشی از نشت هوای فشرده) است. این داده‌ها و متغیرها که به دو صورت نقطه‌ای (در یک زمان خاص و معمولاً برای متغیرهای مکانیکی، حرارتی) یا پیوسته (منحنی در طول یک دوره زمان مشخص و معمولاً برای متغیرهای الکتریکی) برداشت می‌شوند، عموماً چهار متغیرها دما، فشار، دبی و توان الکتریکی به علاوه داده‌های آب و هوا و محیطی مانند دما، رطوبت، سرعت باد و... هستند که در مصارف انرژی تأثیر بیشتری دارند.

منابع دست‌یابی به متغیرهای مورد نیاز ممیزی انرژی:

- خروجی دستگاه‌های پرتابل اندازه‌گیری به صورت فایل قابل دریافت یا مشاهده چشمی از صفحه نمایش دستگاه
- دستگاه‌های ثابت اندازه‌گیری تعبیه شده در بخش‌های مختلف با قابلیت ثبت و ضبط متغیرهای مورد نیاز
- دستگاه‌های ثابت اندازه‌گیری تعبیه شده در بخش‌های مختلف بدون قابلیت ثبت و ضبط متغیرهای مورد نیاز
- سوابق متغیرها در سیستم‌های کنترلی موجود مانند سیستم‌های SCADA و PLC
- سوابق موجود در برگه‌های گزارش[2] موجود (که توسط کارکنان شیفت‌های مختلف کاری بر طبق دستورالعمل و در دوره‌های زمانی خاصی به صورت دستی برداشت و ثبت و ضبط می‌شوند.)

1- Tester
2- Log Sheet

- سوابق موجود در دیتالاگرهای[1] موجود (که توسط کارکنان شیفت‌های مختلف کاری بر طبق دستورالعمل و در دوره‌های زمانی خاصی به صورت دستی، برداشت و برای ثبت و ضبط، وارد دیتالاگر می‌شوند.)
- دسترسی به پرسش‌نامه‌های تخصصی تکمیل شده مدیریت انرژی در مورد ممیزی‌شونده
- داده‌ها یا سوابق موجود در سازمان‌های خارج از شرکت مانند سازمان هواشناسی

تحلیل داده‌های انرژی: پس از شناسایی داده‌های مورد نیاز ممیزی انرژی و جمع‌آوری آن‌ها به ویژه با اندازه‌گیری، نوبت به تحلیل داده‌ها می‌رسد. وقتی سخن از تحلیل داده‌ها به میان می‌آید، ممکن است این تصور حاصل شود که منظور از تحلیل داده‌ها تنها به شیوه آماری است، در صورتی‌که چنین نیست و این شیوه فقط روشی مهم برای تحلیل داده‌هایی است که جنبه آماری داشته باشند. در انجام ممیزی انرژی مواردی وجود دارد که فاقد جنبه آماری است و عمدتاً متکی بر مستندات، مدارک و سوابق مرتبط با انرژی به همراه شهود، ادراک و تحلیل علمی کارشناسان خبره انرژی است. البته این‌گونه بررسی‌های کیفی مانند تکمیل پرسش‌نامه‌های مدیریت انرژی تجهیزات، بررسی اهمیت تجهیزات در فرآیندها، کیفیت نگهداری و تعمیرات تجهیزات دارای احتمال خطر بالای انرژی و... نیز از فرآیند علمی تبعیت می‌کند و می‌تواند شامل مرحله تحلیل باشد.

انواع تحلیل داده‌ها: تحلیل داده‌ها و اطلاعات موجود در ممیزی انرژی، به‌طورکلی بر دو قسم است:

۱- تحلیل کمّی[2] (عددی) اطلاعات و داده‌های مرتبط با انرژی

1- Data logger
2- Quantitative Analysis

تحلیل کمّی را به سه دسته تحلیل توصیفی[1]، تحلیل تبیینی[2] (علّی) و تحلیل مقایسه‌ای[3] طبقه‌بندی کرده‌اند. در تحلیل کمی توصیفی، چگونگی توزیع داده‌های اندازه‌گیری یا برداشت‌شده هر یک از متغیرهای مستقل و وابسته از طریق شاخص‌های آماری مناسب بیان می‌شود. در سطح تحلیل تبیینی، رابطه علّی میان متغیرها جستجو می‌شود. (علت‌کاوی)

تحلیل کمّی در شرایطی کاربرد دارد که داده‌ها و متغیرهای مورد نیاز ممیزی انرژی از طریق برداشت یا اندازه‌گیری به دست آید. ابزار این تحلیل نیز، تکنیک‌های آماری است. نتیجه تحلیل کمی، نیازمند تحلیل تئوریک و معناکاوی است. البته تحلیل کمی بی‌نیاز از تحلیل کیفی نیست. ممیز انرژی به منظور تکمیل تحلیل، نیازمند آن است که تحلیل کمی را با تحلیل کیفی همراه سازد تا نتایج و یافته‌های کمی، روشن‌تر شود. در تحلیل توصیفی، آماره‌های توصیفی مانند میانگین، واریانس، انحراف استاندارد، میانه و مد و در تحلیل تبیینی، تکنیک‌های آماری چند متغیری مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲- تحلیل کیفی۴ اطلاعات و داده‌های مرتبط با انرژی

تحلیل کیفی در سه سطح قابل انجام است: توصیف، تبیین و تفسیر

به‌طورکلی در مواردی که توجه بیشتر به ویژگی‌های خاص هر یک از موارد ممیزی انرژی (واحد، فرآیند و تجهیز) مثلاً نحوه نگهداری و تعمیرات مناسب، اهمیت مورد ممیزی‌شونده در مصارف و تلفات پنهان و آشکار انرژی شرکت معطوف است، معمولاً روش‌های تحلیل کمی به‌کار نمی‌آیند. در تحلیل کیفی، داده‌های گردآوری شده از نوع داده‌های کیفی هستند، البته ممکن است داده‌های تجربی کمی نیز باشند، در این صورت باید از این داده‌ها طبق منطق تحلیل کیفی استفاده کرد.

1- Descriptive Analysis
2- Causal Analysis
3- Comparative Analysis
4- Qualitative Analysis

از آنجا که ممیز ابزار عمده در جمع‌آوری و تحلیل داده‌های کیفی است، باید دارای برخی ویژگی‌ها باشد. ممیز باید تلاش کند پیش‌داوری‌ها، دیدگاه‌ها یا مفروضاتی را که ممکن است در تحلیل داده‌ها تداخل ایجاد کند، کاهش دهد یا حداقل از آن‌ها آگاه شود. این ویژگی کمک می‌کند تا دیدگاه‌های شخصی خود را در هنگام تحلیل ممیزی کمتر دخالت دهد و مورد ممیزی را همان‌گونه که هست مورد بررسی قرار دهد. در بررسی راهکارهای صرفه‌جویی انرژی مبتنی بر آگاه‌سازی (تغییر نگرش، رفتار، عادت و فرهنگ) یا تغییر مختصر رفتار فرآیندی (کاهش مصرف انرژی غیر مولد یا بهبود نگهداری و تعمیرات با هدف افزایش بهره‌وری انرژی) از این نوع تحلیل استفاده می‌شود. در روش‌های تحلیل کیفی، تیم ممیزی می‌تواند از طریق استدلال قیاسی، تمثیل و تشبیه، نشانه‌یابی، تشخیص تفاوت و تمایز، مقایسه و... که همگی به کمک تفکر و منطق صورت می‌پذیرد، داده‌های گرداوری شده را ارزیابی و تحلیل نموده، با ذهن مکاشفه‌ای خود نتیجه‌گیری کند.

تحلیل توصیفی: در این نوع تحلیل، اگر تحلیل به صورت کمّی باشد، ممیز داده‌های جمع‌آوری شده را با استفاده از شاخص‌های آمار توصیفی، خلاصه و طبقه‌بندی می‌کند. به‌عبارت دیگر، در تحلیل توصیفی، ممیز ابتدا داده‌های جمع‌آوری شده را با تهیه و تنظیم جدول توزیع فراوانی خلاصه می‌کند و سپس به کمک نمودار آن‌ها را نمایش می‌دهد و سرانجام، با استفاده از سایر شاخص‌های آمار توصیفی، آن‌ها را خلاصه‌تر می‌کند. معروف‌ترین و در عین حال پرمصرف‌ترین شاخص‌های آمار توصیفی عبارت‌اند از: میانگین، میانه و انحراف استاندارد.

تحلیل مقایسه‌ای: در تحلیل مقایسه‌ای علاوه بر این‌که اطلاعات جمع‌آوری شده به صورت توصیفی مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند، با یکدیگر مقایسه می‌شوند. پرسش مطرح در این تحلیل، این است که شاخص آماری محاسبه‌شده بزرگ‌تر یا کوچک‌تر از شاخص آماری دیگر است. به این معنی که دو یا چند شاخص آمار توصیفی اعم از

میانگین[1]، میانه[2] ، انحراف استاندارد[3] و واریانس[4] مورد مقایسه واقع می‌شوند. به‌عنوان مثال، ممکن است در دو یا چند شرکت مصارف ویژه انرژی با هم مقایسه شوند (محک‌زنی خارجی) یا مصارف انرژی در یک شرکت نسبت به تولید یا درجه حرارت در سه سال متوالی بررسی و مقایسه شوند (محک‌زنی داخلی) و مشخص شود که بین نتایج تحلیل به دست آمده، اختلاف معنی‌داری[5] وجود دارد یا خیر.

تحلیل علّی یا تبیینی: در تحلیل کمّیِ علّی، ابزار یا شاخص‌های آماری به‌کار برده شده همانند روش‌هایی است که در تحلیل مقایسه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. تفاوت عمده بین این دو روش در این است که در تحلیل علّی، روابط علت و معلولی بین متغیرهای مستقل و وابسته مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد و ممیز با رد یا تأیید فرض‌های آماری به تأیید یا رد روابط علت و معلولی می‌پردازد. اگر تحلیل کیفی باشد، تبیین و علت‌کاوی با تحلیل زمینه‌های تأثیرگذار بر متن، مطالعه و با هدایت تئوری انجام می‌شود.

تحلیل تفسیری: این تحلیل، در واکنش به روش‌های تحلیلی کمّی متأثر از تجربه‌گرایی به وجود آمده است و بر پایه تحلیل تفسیری رفتارهای اجتماعی پرسنل در زمینه نگرش، رفتار، عادت و فرهنگ مصرف انرژی می‌پردازد و معتقد است هر رفتار و عادتی (عادت درست یا نادرست در زمینه صرفه‌جویی انرژی) دارای یک مبانی نگرشی زیرساختی و پنهانی است که باید آن را شناسایی کرده و در صورت نادرست بودن، اصلاح و در صورت درست بودن تقویت نمود. این اصلاح و تقویت نیز با ارتقای سطح تعهد، مشارکت و انگیزه امکان‌پذیر خواهد بود. بنابراین، پیش‌فرض تحلیل تفسیری آن است که کنش‌های اجتماعی کارکنان در زمینه صرفه‌جویی انرژی ماهیتاً معنادار هستند.

1- Mean
2- Median
3- Standard Deviation
4- Variance
5- Significant

روش‌های تحلیل ممیزی انرژی: پس از تعاریف و تفاسیری از انواع کلی تحلیل داده‌ها، به‌طورقطع می‌توان پذیرفت تمامی اندازه‌گیری‌ها و تخمین‌ها در ممیزی انرژی دارای سطحی از عدم قطعیت هستند و افزایش دقت و صحت اندازه‌گیری و تخمین جریان‌های انرژی، معمولاً باعث افزایش هزینه ممیزی می‌شود. بنابراین، عدم قطعیت تحلیل، باید نسبت به سطح سرمایه‌گذاری پیشنهادی، منطقی باشد. برای بررسی اندازه‌گیری و تخمین میزان صرفه‌جویی انرژی، روش‌های تحلیل آماری متفاوتی به کار می‌رود.

روش‌های تحلیل ممیزی انرژی با استفاده از داده‌های به دست آمده سه دسته هستند:

۱- تحلیل از طریق مدل‌سازی و شبیه‌سازی

۲- تحلیل از طریق نمونه‌گیری

۳- تحلیل از طریق اندازه‌گیری

با دست‌یابی به داده‌ها و متغیرهای مورد نیاز از طریق مدل‌سازی، نمونه‌گیری و اندازه‌گیری، شاخص‌های عملکرد انرژی تعریف شده در یکی از سطوح شرکت، واحد عملیاتی، فرآیند، زیرفرآیند، تجهیز، محاسبه و تحلیل خواهند شد. سپس شاخص‌ها (مدیریتی/عملیاتی) با مقادیر هدف مقایسه می‌شوند. اختلاف و فاصله مقادیر موجود با مقادیر هدف در شاخص‌های مختلف و در صورت لزوم تکمیل پرسش‌نامه‌های مدیریت انرژی برای مورد ممیزی شونده (واحد/ فرآیند/ تجهیز)، منجر به شناسایی منابع و میزان پتانسیل موجود صرفه‌جویی انرژی خواهد شد.

ارزیابی داده‌های اندازه‌گیری در ممیزی انرژی، اهمیت فراوان دارد. باید از دقت مقادیر اندازه‌گیری شده اطمینان حاصل شود. در نتیجه باید انواع خطاها در حین اندازه‌گیری مشخص شوند و برای اعتبار سنجی داده‌ها، می‌توان داده‌های نادرست ناشی از اشتباهات کلیدی را کنار گذاشت.

روش‌های تحلیل توصیفی داده‌های اندازه‌گیری شده

چند روش آماری تحلیل توصیفی داده‌های اندازه‌گیری شده با فرمول آن‌ها در ادامه آمده است:

- میانگین حسابی

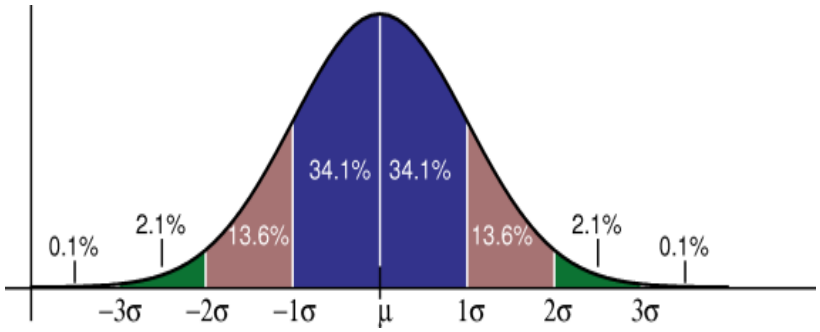
$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i$$

- میانگین قدر مطلق انحراف‌ها (لزومی ندارد برابر صفر باشد.)

$$d_i = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \left| x_i - \bar{x} \right|$$

انحراف معیار (معیاری از تغییرات در اندازه‌گیری)

$$\sigma = \left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$



شکل (۴-۱) نمودار توزیع نرمال داده‌ها برای بررسی انحراف معیار

مراحل اعتبارسنجی تحلیل محاسبات صرفه‌جویی انرژی:

- شناسایی منابع خطا در تحلیل‌های ممیزی انرژی
- دست‌یابی به میزان صحت و خطا در مدل‌سازی
- دست‌یابی به میزان صحت و خطا در نمونه‌گیری
- دست‌یابی به میزان صحت و خطا در اندازه‌گیری

منابع خطا در تحلیل‌های ممیزی انرژی:

برای کمی‌سازی میزان خطای تحلیل‌های ممیزی انرژی با هدف تعیین دقیق‌تر و صحیح‌تر میزان صرفه‌جویی انرژی باید منابع خطا را شناخت. سه منبع خطای بالقوه در روش‌های تحلیل ممیزی انرژی برای تخمین صرفه‌جویی انرژی وجود دارد که عبارتند از:

الف- خطا در مدل‌سازی

ب- خطا در نمونه‌گیری

ج- خطا در اندازه‌گیری

صحت و خطا در مدل‌سازی: یکی از روش‌های تعیین خط مبنا و تخمین و اندازه‌گیری میزان صرفه‌جویی انرژی، مدل‌سازی سیستم از منظر انرژی است که می‌تواند به اشکال زیر باشد:

- تحلیل‌های آماری
- شبیه‌سازی کامپیوتری فرآیند
- روش‌های دیگری که از محاسبات تئوری برای ایجاد ارتباط بین متغیرهای مستقل و مصرف انرژی استفاده می‌کند

علل ایجاد خطا در مدل‌سازی عبارتند از:

- عدم وجود متغیرهای مرتبط در مدل
- وجود متغیرهای غیرمرتبط در مدل
- وجود داده‌های خارج از محدوده در مدل
- استفاده از توابع ریاضی نامناسب
- داده‌های ناکافی
- سادگی بیش از حد مدل

تعریف، توضیح و تفسیر، تأثیر بر تحلیل و راه‌حل کاهش منابع خطا در مدل‌سازی انرژی:

منبع خطا: حذف متغیرهای مستقل مرتبط است.

توضیح و تفسیر: عدم وجود عوامل مهم در تحلیل به دلیل ۱- فقدان دانش فرآیند، ۲-تصمیم‌گیری برای محدود کردن پیچیدگی مدل، ۳- فقدان داده‌های متغیر

تأثیر: اگر متغیرهای مستقل مرتبط در مدل نباشد، مدل مقدار واقعی مصارف انرژی را نشان نمی‌دهد. زیرا متغیرها تغییر می‌کنند ولی این تغییرات در مدل مشهود نیستند.

راه‌حل: با درک درست فرآیند، می‌توان دریافت که کدام یک از متغیرها مرتبط هستند. پس باید مدل پیچیده‌تری طراحی نمود و یا متغیرهای مستقل تأثیرگذار را در نظر گرفت.

منبع خطا: وجود متغیرهای غیرمرتبط است.

توضیح و تفسیر: عواملی که ارتباطی با مصرف انرژی ندارند نیز در تحلیل می‌آیند.

تأثیر: اگر در مدل، عوامل غیر مرتبط همراه با متغیرهای مرتبط باشند، نتایج تحلیل مدل ممکن است تحت تأثیر قرار گرفته و خطا ایجاد شود.

راه‌حل: استفاده از روش آماری تست t برای آزمایش متغیر که در منابع علمی به آن اشاره شده است.

منبع خطا: داده‌های خارج از محدوده

توضیح و تفسیر: مدل با استفاده از داده‌هایی که نشانگر مصرف انرژی در حالت پایدار و طبیعی تولید نیستند، ایجاد می‌شود که می‌تواند به دلیل ورود داده‌های خارج از محدوده (به‌طورمثال در توقفات ناخواسته یا عدم تولید یا در شرایط آب و هوایی نامناسب)، مقادیر غیرمنطقی باشد.

تأثیر: پیش‌بینی‌ها نادرست و با دقت کم رخ می‌دهد. زیرا مدل سعی بر پیش‌بینی عملکرد بر مبنای داده‌های دارای خطا دارد.

راه حل: زمان‌های دسترسی به داده‌ها و نیز اعتبار داده‌ها قبل از ورود به مدل بررسی شود.

منبع خطا: تابع نادرست

توضیح و تفسیر: مدل‌سازی یک رابطه غیرخطی با یک تابع خطی به علت غیر قابل فهم بودن فرآیند و تجهیز به‌طور کامل مثلاً مدل‌سازی رفتار انرژی یک فرآیند با تابع درجه یک به جای رابطه درجه سوم.

تأثیر: تابع به دقت نمی‌تواند ارتباطات انرژی سیستم را توضیح دهد.

راه حل: از مهارت و دانش فرآیندی برای شناسایی رابطه و معادله غیر خطی با مراتب و درجات بیشتر استفاده شود.

برای مدلسازی تجهیزات نیز می‌توان با تولیدکنندگان تجهیز (برای دریافت آخرین داده‌های انرژی موردنیاز) مشاوره نمود.

منبع خطا: داده‌های ناکافی

توضیح و تفسیر: فراوانی یا فرکانس نمونه‌برداری به اندازه کافی زیاد نیست که بتوان رابطه مناسب را دریافت و یا تعداد دوره‌ها برای پوشش همه تغییرات کم است. (مانند نمونه‌برداری فصلی)

تأثیر: توابع طراحی شده، جزئیات مورد نیاز برای شناسایی رابطه مناسب را ندارند. توابع تنها قادر به پیش‌بینی مصرف انرژی برای یک زیر مجموعه و زمان خاص هستند. به‌طور مثال با توجه به تأثیر دما بر شاخص‌ها به ویژه کارایی کمپرسور، بهتر است برای تحلیل شاخص‌های عملکرد انرژی یک کمپرسور، در دو فصل گرم و سرد سال اندازه‌گیری و شاخص‌ها محاسبه و نیز دو هدف برای شاخص‌های این تجهیز تعریف شود.

راه حل: فرکانس نمونه‌برداری داده‌ها افزایش یابد. یا میانگین فواصل داده‌ها را کاهش داد. به‌طور مثال برای تجهیزات متأثر از دما و شرایط محیطی دو بار اندازه‌گیری و تحلیل در طول سال انجام پذیرد.

روش‌های بررسی صحت مدل‌سازی:

برای ارزیابی مدل‌ها، بررسی صحت هر نوع مدل‌سازی، روش آماری خاص خود را

دارد. این روش‌های آماری معمول عبارتند از:

- روش بررسی صحت مدل‌سازی با تکنیک رگرسیون
- روش بررسی صحت مدل‌سازی با تکنیک خطای استاندارد
- روش بررسی صحت مدل‌سازی با تکنیک تست t

تکنیک رگرسیون: رگرسیون رایج‌ترین شکل مدل‌سازی انرژی و به معنای ربط دادن دو یا چند متغیر به یکدیگر است و تقریباً همه ابزارهای نرم‌افزاری آماری، امکان محاسبه ضریب رگرسیون را دارد. مقدار این ضریب که رابطه بین متغیرهای وابسته و مستقل را بیان می‌کند، از صفر تا یک متغیر است. مقدار صفر به این معناست که استفاده از متغیرهای مستقل هیچ تأثیری بر برآورد خط رگرسیونی ندارد و متغیرهای مستقل هیچگونه تغییر در Y را توضیح نمی‌دهند. در حالی‌که مقدار یک، یعنی زمانی که از متغیرهای مستقل استفاده می‌شود، هیچ خطایی وجود ندارد که این بهترین حالت ممکن است و مدل ۱۰۰٪ تغییر در Y را توضیح می‌دهد.

مدل‌های رگرسیون بر اساس این نظریه ساخته شده‌اند که اگر دو عامل به یکدیگر بستگی داشته باشند، تغییر یکی با تغییر دیگری قرین خواهد شد. هر قدر ارتباط دو عامل مزبور به یکدیگر نزدیک‌تر و قوی‌تر باشد، ضریب همبستگی تغییرات آن‌ها بزرگ‌تر و به حداکثر همبستگی، یعنی یک، نزدیک‌تر خواهد شد. پس اگر روند گذشته نشان دهد که بین تغییر یک عامل و تغییرات چند عامل دیگر همبستگی معنی‌داری وجود دارد، می‌توان تصور کرد که در آینده نیز همبستگی مزبور حفظ خواهد شد و اگر ضریب همبستگی مزبور تعیین شود، می‌توان اندازه تغییر عامل وابسته را از اندازه و تغییر عوامل مستقل مرتبط با آن اندازه‌گیری و پیش‌بینی نمود.

تکنیک خطای استاندارد: خطای استاندارد برآورد، مقیاس صحت پیش‌بینی‌های انجام شده توسط مدل است. این محاسبه نیز توسط اغلب ابزارهای نرم‌افزار آماری انجام

می‌شود. در مدل‌های رگرسیونی (رگرسیون خطی) بعد از نشان دادن پراکنش داده‌ها، خط رگرسیون به منظور پیش‌بینی ترسیم می‌شود. بنابراین بعد از به دست آوردن معادله خط رگرسیون عملاً در پیش‌بینی و برآورد مقادیر Y بر اساس مقادیر معلوم X، پراکندگی مقادیرYدر نظر گرفته نمی‌شود. به عنوان مثال در صورتی که ده X برابر موجود باشد برای همه آن‌ها یک Y بر اساس خط رگرسیون به دست می‌آید. اما از لحاظ تجربی برای ده داده X، Yهای متفاوتی ممکن است، وجود داشته باشد. انحراف استاندارد Yدر یک سطح X مشخص به عنوان خطای استاندارد برآورد در نظر گرفته می‌شود، بنابراین مسلم است که هرچه همبستگی خطی بین X و Y بیشتر باشد، پراکندگی نقاط از خط رگرسیون کمتر است. یعنی شکل پراکنش بیشتر شبیه یک خط مستقیم است و خطای برآورد کمتر است. پس رابطه یا همبستگی (خطی) بین X و Y با یکدیگر نسبت مستقیم ندارد. اگر همبستگی X و Y برابر یک شود، در این حالت تمام نقاط، روی یک خط مستقیم قرار می‌گیرند که همان خط رگرسیون است و خطای برآورد شده صفر است. از طرف دیگر زمانی که پراکندگی متغیر Y زیاد است، در یک سطح مشخص X توزیع مقادیرY پراکندگی بیشتری خواهند داشت. این پراکندگی بیشتر سبب می‌شود، نقاطی دورتر از خط رگرسیون وجود داشته باشد. از آنجا که خطای استاندارد برآورد بیانگر متوسط انحراف استاندارد داده‌ها حول خط رگرسیون است، خطای استاندارد بیشتر خواهد شد، یعنی رابطه بین خطای استاندارد برآورد و انحراف استاندارد مقادیرY مستقیم است.

تکنیک تستt: در روش آماری تست t نیز باید مقادیر تخمین زده شده و با مقادیر t از جدول t آماری مقایسه شود. اگر مقدار تخمین بیشتر از مقدار موجود در جدول باشد، تخمین به لحاظ آماری معتبر است. مقدار t با استفاده از معادله زیر تخمین زده می‌شود.

$$t = \frac{b}{SE_b}$$

که در آن b ضریب مدل رگرسیون است و تخمین آماری ارتباط صحیح بین یک

متغیر مستقل (X) و مصرف انرژی (Y) است. b وSEb خروجی ابزار آماری برای هر محاسبه تحلیل رگرسیون است.

صحت و خطا در نمونه‌گیری:

نمونه کوچک‌ترین واحد مستقلی است که یک پاسخ فراهم می‌آورد و باید معرف جامعه آماری باشد، یعنی ویژگی‌های جامعه، به ویژه آن‌ها که دارای اهمیت هستند، به تناسب در نمونه وجود داشته باشد. با توجه به کاهش هزینه و به صرفه بودن، رسیدن به پاسخ در مدت زمان کوتاه‌تر، درست و دقیق‌تر بودن نتایج، به روز بودن نتایج و ... از نمونه گیری استفاده می‌شود. انواع نمونه‌گیری عبارتند از نمونه‌گیری احتمالی و غیراحتمالی.

روش‌های نمونه‌گیری احتمالی: روش‌های رایج مورد استفاده برای نمونه‌گیری احتمالی عبارتند از:

- روش نمونه‌گیری تصادفی ساده[1] انتخاب تصادفی نمونه از جامعه است.
- روش نمونه‌گیری نظام یافته[2] تغییر شکل یافته روش بالا در مواردی که تهیه یا دسترسی به فهرستی کامل جامعه مقدور یا مقرون به صرفه نیست.

روش نمونه‌گیری طبقه‌ای[3]: تقسیم جمعیت به دو یا چند طبقه و سپس پیاده‌سازی روش‌های مذکور بالا در داخل طبقات تشکیل دهنده جمعیت.

روش نمونه‌گیری خوشه‌ای[4]: اگر واحدهای متشکل جمعیت، مجتمع باشند، یعنی خوشه‌هایی از افراد باشند و اگر تمامی افراد، خوشه‌های برگزیده شده مشاهده شوند، نمونه‌گیری، خوشه‌ای است.

روش‌های نمونه‌گیری غیراحتمالی: روش‌های رایج مورد استفاده برای نمونه‌گیری غیراحتمالی عبارتند از:

1- Simple Random Sampling Method
2- Systematic Sampling Method
3- Stratified Sampling Method
4- Cluster Sampling Method

- روش نمونه‌گیری آسان: نمونه در دسترسی است که ظاهراً قادر به دادن پاسخ های ممیزی مورد نظر ممیز است.
- روش نمونه‌گیری تعمدی یا قضاوتی: در این نوع نمونه‌گیری عموماً عام‌ترین ویژگی‌های تیپ مطلوب نمونه در نظر گرفته می‌شود و ممیز می‌کوشد دریابد این نمونه‌ها را در کجا می‌توان پیدا کرد و سپس در پی مطالعه آن‌ها بر می‌آید.
- روش نمونه‌گیری سهمیه‌ای: در این روش، مقداری نمونه با حجمی خاص از گروه‌های مشخص گرفته می‌شود. اختلاف این روش با روش طبقه‌ای در این است که نمونه‌گیری سهمیه‌ای فاقد چارچوب نمونه‌گیری برای انتخاب نمونه است. در عوض گروه‌ها، مشخص شده، حجم نمونه‌گیری از هر گروه تعیین می‌شود و سپس از هر کجا که بتوان نمونه‌های واجد شرایط را پیدا کرد، آن‌ها را برای نمونه‌گیری سهمیه‌ای انتخاب می‌کنند.
- روش نمونه‌گیری زنجیره‌ای: در این روش، نخست چند نمونه دارای مشخصات مورد نظر، شناسایی و بعد از بررسی تقاضا می‌شود نمونه‌های دارای همان مشخصات یا هر خصوصیات مورد نظر دیگری، معرفی شوند.

تکنیک نمونه‌گیری برای تخمین خصوصیات جامعه آماری استفاده می‌شود. برای مثال میانگین مصرف انرژی با تحلیل یک نمونه از آن جامعه آماری خاص تخمین زده می‌شود. صحت نمونه‌گیری (با تعداد نمونهn) متناسب با $\sqrt{n}$ و افزایش اندازه نمونه با ضریب x صحت را با ضریب $\sqrt{x}$ افزایش می‌دهد. افزایش جامعه نمونه، صحت را بهبود می‌بخشد ولی هزینه را نیز افزایش می‌دهد.

علل بروز خطا در نمونه‌گیری: علل ایجاد و بروز خطا در نمونه‌گیری عبارتند از:

- اندازه‌گیری تنها بخشی از مقادیر واقعی
- پافشاری و تعصب در روش نمونه‌گیری

تعریف، توضیح و تفسیر، تأثیر بر تحلیل و راه‌حل کاهش منابع خطا در نمونه‌گیری داده‌های انرژی:

منبع خطا: هر نمونه باید منعکس‌کننده کل جامعه آماری باشد.

توضیح و تفسیر: یک جامعه آماری می‌تواند از یک یا چند گروه قابل شناسایی براساس تولید و... تشکیل شود که باید از آن برای جلوگیری از تعصب و جانبداری نمونه‌گیری شود.

تأثیر: اکثر نمونه‌ها باید نشانگر کل جامعه آماری باشد، در غیر این‌صورت روش نمونه‌گیری به یک طرف تمایل داشته و با تعصب انتخاب صورت گرفته است.

راه حل: هر گروه مجزا باید به‌طورجداگانه نمونه‌گیری شود.

منبع خطا: سطح اطمینان و دقت

توضیح و تفسیر: سطح اطمینان و دقت بر اندازه نمونه تأثیر می‌گذارد.

تأثیر: سطوح اطمینان بالاتر و دقت بالاتر به نمونه‌های بیشتری نیاز دارد. برای بهبود صحت از ٪۲۰± به ٪۱۰± باید تعداد نمونه‌ها ۴ برابر شود.

راه‌حل: بررسی سطوح اطمینان و دقت

منبع خطا: مجوز برای جامعه آماری با اندازه کوچک

توضیح و تفسیر: اگر جامعه آماری کمتر از ۲۰ برابر تعداد نمونه ها باشد، تعداد نمونه‌ها می‌تواند کاهش یابد.

تأثیر: کاهش نمونه‌گیری، کاهش هزینه را به دنبال خواهد داشت.

راه‌حل: تنظیم تخمین

صحت و خطا در اندازه‌گیری: تمام اندازه‌گیری‌ها در ممیزی انرژی دارای حد مجازی از خطا هستند، بنابراین بررسی منابع خطا ضروری است. با نگاهی اجمالی از عوامل بروز خطا در اندازه‌گیری‌ها می‌توان به دقت پایین حسگرهای موجود، وجود خطای کالیبراسیون، عدم قابلیت اطمینان سیستم جمع‌آوری داده‌ها و اثر تجهیزات اندازه‌گیری بر سنجش اندازه‌گیری و فرآیند اندازه‌گیری شده اشاره نمود.

تعریف، توضیح و تفسیر، تأثیر بر تحلیل، راه‌حل کاهش منابع خطا در اندازه‌گیری داده‌های انرژی:

منبع خطا: کالیبراسیون

توضیح و تفسیر: دستگاه‌های اندازه‌گیر به لحاظ دقت باید به‌طورمنظم آزمایش و کالیبره شوند.

تأثیر: دقت کم دستگاه اندازه‌گیر از اعتبارسازنده می‌کاهد.

راه‌حل: نگهداری روزمره و کالیبراسیون دستگاه با توجه به دستگاه‌های استاندارد

منبع خطا: اندازه نادرست

توضیح و تفسیر: اندازه دستگاه‌های اندازه‌گیر باید برای محدوده مقادیر اندازه‌گیری مناسب باشد.

تأثیر: دستگاه‌های اندازه‌گیر نامناسب یا بزرگ ممکن است دقت کافی برای اندازه‌گیری متغیرهای مورد نیاز را به نسبت دستگاه‌های کوچک‌تر نداشته باشند و دستگاه‌های اندازه‌گیر نامناسب و کوچک نیز ممکن است قادر به دریافت مقادیر بزرگ نباشند.

راه‌حل: برای تخمین محدوده اندازه‌گیری قبل از نصب دستگاه اندازه‌گیر باید فرآیند را به خوبی درک کرد.

منبع خطا: نصب دستگاه اندازه‌گیر

توضیح و تفسیر: دستگاه‌های اندازه‌گیر به خودی خود می‌توانند بر متغیرهای قابل اندازه‌گیری تأثیر بگذارند.

تأثیر: نصب یک دبی‌سنج می‌تواند به محدودیت سیستم و تغییر دبی بیفزاید.

راه حل: از داده‌های سازندگان برای محاسبه تغییرات سیستم استفاده شود و اگر این تغییرات قابل ملاحظه بودند، روش اندازه‌گیری دیگری اتخاذ کرد.

منبع خطا: مکان نادرست

توضیح و تفسیر: نصب دستگاه‌های اندازه‌گیر در مکان نامناسب مانند مکان‌هایی نزدیک به خم لوله‌ها یا طرف اشتباه مبدل‌های حرارتی باعث خطا در اندازه‌گیری متغیرهای قابل اندازه‌گیری می‌شود.

تأثیر: قرائت دستگاه‌های اندازه‌گیری می‌تواند بر متغیرهای قابل اندازه‌گیری تأثیر بگذارد.

راه‌حل: لازم است موقعیت فیزیکی نصب دستگاه اندازه‌گیر، مطابق با نظر سازنده آن بررسی شود. باید از نمودارهای موازنه جرم و انرژی برای تعیین مکان مناسب برای اندازه‌گیری متغیرهای قابل اندازه‌گیری استفاده شود.

منبع خطا: انتقال و ذخیره داده‌ها.

توضیح و تفسیر: تله‌متری، قرائت اندازه‌گیری یا خطای پایگاه داده‌ها.

تأثیر: از بین رفتن داده‌ها، اندازه‌سنجی نادرست، نرخ نمونه‌گیری نادرست.

راه‌حل: پایش استمرار داده‌ها، بررسی منطقی داده‌های اندازه‌گیری شده و مقایسه با داده‌های سطح بالاتر و دانش فرآیندی.

معیارهای انتخاب دستگاه اندازه‌گیری:

- دستگاه تا چه حد اندازه‌گیری را نزدیک به واقعیت انجام می‌دهد؟
- آیا دستگاه با تکرار اندازه‌گیری، مقدار یکسانی را نشان می‌دهد؟
- آیا شرایط محیطی استاندارد (فشار ، دما، سرعت باد، رطوبت و ...)، بر روی اندازه‌گیری اثر می‌گذارد؟
- آیا ویژگی‌های اپراتور در اندازه‌گیری دخیل است؟
- آیا مقدار اندازه‌گیری شده در طول عمر دستگاه ثابت می‌ماند؟ (کالیبراسیون)
- آیا محدوده اندازه‌گیری دستگاه، مناسب انتخاب شده است؟
- سرعت عکس‌العمل دستگاه در مقابل مقادیر متفاوت متغیرهای مورد نیاز اندازه‌گیری چگونه است؟

دقت: دقت به معنای انطباق یا نزدیکی کمیت اندازه‌گیری شده به مقدار واقعی است.

البته به جای مقدار واقعی از مقدار استاندارد استفاده می‌شود و دقت بر حسب حداکثر خطای دستگاه بیان می‌شود. $E = A - B$

که در آن E: خطای اندازه‌گیری، A: مقدار اندازه‌گیری شده و B: مقدار اندازه‌گیری شده استاندارد است.

برای محاسبه درصد خطا از فرمول زیر استفاده می‌شود. واضح است که مقدار درصد خطا، می‌تواند مثبت یا منفی باشد. $\%E = \frac{A-B}{B} \times 100$

انواع دقت اندازه‌گیری

الف- دقت نقطه‌ای (بیان دقت اندازه‌گیری دستگاه در نقاطی مشخص)

ب- دقت برحسب درصدی از مقدار واقعی $\%E = \frac{A-B}{B} \times 100$

ج- دقت برحسب مقدار حداکثر مقیاس $\%E = \frac{A-B}{C} \times 100$

که در آن A: مقدار اندازه‌گیری شده، B: مقدار واقعی (استاندارد) و C: مقدار حداکثر مقیاس است. این مورد نسبت به حالت «ب» دارای بیان دقیق‌تری است.

د- بیان کامل دقت دستگاه به صورت جدول در نقاط مختلف

انواع خطاهای دستگاه اندازه‌گیری: بروز خطاها در دستگاه‌های اندازه‌گیری ممکن است قابل کنترل باشد که باید تمام این خطاها تعیین شوند و جمع جبری آن‌ها نباید از مقدار خطای مجاز تجاوز نماید. نمونه‌هایی از خطاهای دستگاه اندازه‌گیری به شرح زیر است:

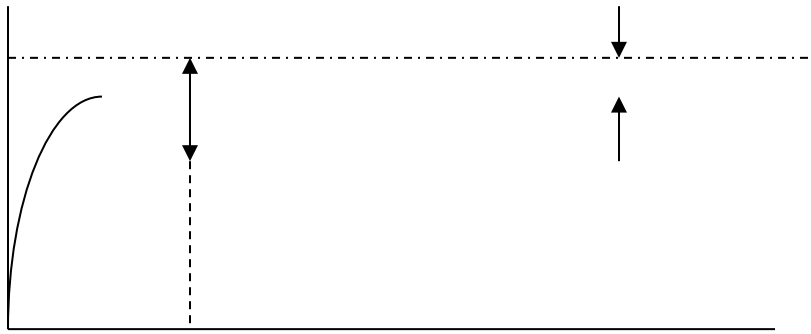
۱- خطای کالیبره کردن دستگاه اندازه‌گیری: دستگاه ممکن است پس از مدتی دقت خود را از دست بدهد و سبب ایجاد نوعی خطای ثابت به صورت از دست دادن پایداری شود که ممکن است در تمام محدوده کاری دستگاه وجود داشته باشد.

۲- خطای ناشی از تغییر محسوس شرایط محیطی (دما، فشار و رطوبت)[1] و شرایط فیزیکی بر روی دستگاه اندازه‌گیری.

۱- استاندارد اکثر اندازه‌گیری‌ها (۲۰درجه سانتی‌گراد، ۷۶۰ میلی‌متر جیوه و رطوبت در فشار بخار ۱۰ میلی‌متر جیوه)

۳- خطاهای تصادفی: علت این خطاها نمی‌تواند مشخص شود و وقتی آشکار می‌شوند که تحت شرایط یکسان و در صورت حساسیت کافی دستگاه، با تکرار و توالی اندازه‌گیری از یک کمیت، نتایج یکسانی ندهد. البته اندازه‌گیری‌های به دست آمده به صورت توزیع نرمال هستند و به روش‌های آماری می‌توان مقدار متوسط و انحراف استاندارد آن‌ها را مشخص نمود. در یک دسته‌بندی دیگر می‌توان خطاهای اندازه‌گیری را به صورت زیر بیان نمود:

- خطای کاربرد (استعمال)[1]: ناشی از تغییر حالت دستگاه، گرم یا سرد شدن دستگاه در اثر تماس با مواد، افت ولتاژ در اثر اتصال دستگاه و...
- خطای شخصی (عملکرد)[2]: ناشی از استفاده و قرائت نادرست دستگاه، استقرار یا تنظیم اتصالات نادرست دستگاه بر روی محل اندازه‌گیری و...
- خطای محیطی[3]: ناشی از نوسانات غیر قابل تشخیص عوامل محیطی مثل رطوبت، فشار، دما، سرعت باد و... روی دستگاه.
- خطای دینامیکی[4]: ناشی از سرعت عکس‌العمل دستگاه و پایداری شرایط.

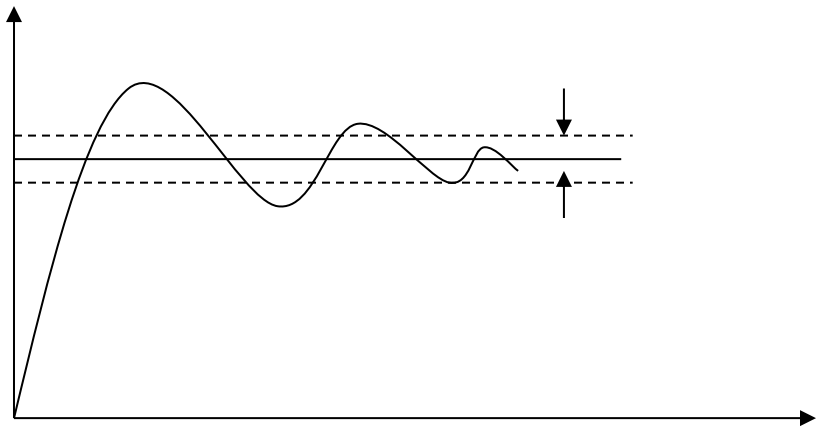


شکل (۴-۲) نمونه‌ای از خطای دینامیکی یک دماسنج

1- Application Error
2- Operating Error
3- Environmental Error
4- Dynamic Error

معیارهای انتخاب یک دستگاه اندازه‌گیری

۱- زمان عکس‌العمل یا پاسخگویی[1]، عبارت است از مدت زمانی که دستگاه اندازه‌گیری یک تغییر پله‌ای در کمیت مورد نظر را با دقتی بین ۲٪ تا ۵٪ اختلاف نشان دهد. به عبارتی زمان لازم برای پاسخ دستگاه تا ۹۵٪ یا ۹۸٪ مقدار نهایی آن.



شکل (۴-۳) نمایش زمان عکس‌العمل یا پاسخگویی دستگاه اندازه‌گیری

۲- قابلیت تکرار یا تنظیم[2]: میزان نزدیکی ارقام اندازه‌گیری شده یک کمیت معلوم توسط یک شخص به خصوص و با یک دستگاه به خصوص در یک زمان نسبتاً کوتاه (کمیت معلوم می‌تواند مقدار متوسط باشد). مثلاً اگر صفحه نمایش دستگاه اندازه‌گیری جا به جا شود، دقت آن بهم می‌خورد، ولی قابلیت تکرار آن ممکن است خوب باشد.

مثال: برای ولتاژ معلوم ۱۰۰ ولت، مقادیر ۱۰۴ ، ۱۰۲، ۱۰۵، ۱۰۳ و ۱۰۵ ولت اندازه‌گیری شده است. دقت و قابلیت تکرار (تنظیم) دستگاه به شرح زیر مشخص می‌شود:

1- Response Time
2- Repeatability

میانگین اعداد قرائت شده ۱۰۴ ولت و حداکثر انحراف از مقدار واقعی ۱۰۵ ولت است.

$$accuracy = \frac{105 - 100}{100} \times 100 = 5\%$$

$$repeatabil\ ity = \frac{105 - 104}{100} \times 100 = 1\%$$

۳- قابلیت تجدید[1]: نزدیکی ارقام اندازه‌گیری‌شده از یک کمیت معلوم و مشخص در شرایط مختلف، اشخاص مختلف و دستگاه‌های مختلف از همان نوع در طول یک‌زمان نسبتاً طولانی‌تر که معیاری از یکنواختی دستگاه‌های اندازه‌گیری تولید شده توسط کارخانه سازنده است.

۴- پایداری[2]: نزدیکی مقادیر اندازه‌گیری شده با مقدار واقعی یک کمیت در مدت زمان طولانی پس از استفاده (کالیبراسیون).

۵- قدرت تشخیص[3]: میزان دقت نمایش مقادیر اندازه‌گیری شده (برای تجهیزات اندازه‌گیری آنالوگ).

۶- حساسیت[4] (برای تجهیزات اندازه‌گیری آنالوگ): عبارت است از نسبت تغییر مکان خطی عقربه دستگاه به تغییر در متغیر اندازه‌گیری شده که باعث این حرکت می‌شود. این معیار، نمایانگر رابطه بین تغییرات در کمیت مورد اندازه‌گیری و تغییرات در رقم اندازه‌گیری شده است.

یا (تغییرات در ورودی)/(تغییرات در خروجی)= حساسیت

(تغییرات در کمیت مورد اندازه‌گیری)/(تغییرات در عدد اندازه‌گیری شده)= حساسیت

۷- خط واری[5]: باید در محدوده اندازه‌گیری رابطه بین ورودی و خروجی دستگاه تقریباً خطی باشد.

1- Reproducibility
2- Stability
3- Resolution (Discrimination)
4- Sensitivity, Amplification, Magnification
5- Linearity

ترکیب صحت: معمولاً برای محاسبه میزان صرفه‌جویی انرژی بیش از یک جـزء بایـد آن‌ها را با هم ترکیب نمود و برای محاسبه دقت صرفه‌جویی انرژی نیز باید دقت آن‌ها بـا هم ترکیب شود. به شرط اینکه اجزا مستقل باشند، دقت اجزا می‌تواند تنها با فرمول زیر ترکیب شود. زیرا وقتی میزان صرفه‌جویی انرژی نتیجه ضرب چندین جـزء مجـزا باشـد، خطاهای تصادفی تأثیرگذار بر یک جزء بر اجزای دیگر تأثیر نمی‌گذارند.

(Y=Y1×Y2×…×Yz)، خطای استاندارد صرفه‌جویی انرژی با روش زیر تخمین زده می‌شود.

$$SE(energy\_Savings) = \sqrt{(\frac{SE(Y_1)}{Y_1})^2 + (\frac{SE(Y_2)}{Y_2})^2 + ... + (\frac{SE(Y_z)}{Y_2})^2}$$

وقتی میزان صرفه‌جویی انرژی نتیجه جمـع یـا اخـتلاف چنـدین جـزء مجـزا باشـد (E=E1±E2±…±Ez)، خطای استاندارد صرفه‌جویی انرژی ترکیبی از طریق زیر تخمین زده می‌شود:

$$SE(energy\_Savings) = \sqrt{SE(E_1)^2 + SE(E_2)^2 + ... + SE(E_z)^2}$$

۴-۱-۴ شرح عملیات تحلیل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری

۱- جمع‌آوری داده‌های اندازه‌گیری

۲- تعیین روش تحلیل داده‌ها (مدل‌سازی، نمونه‌گیری و اندازه‌گیری داده‌های انرژی)

۳- اعتبارسنجی تحلیل داده‌ها با شناسایی منابع خطا، ارائه راه‌حل، کاهش خطا

۴-۲ دستورالعمل نحوه شناسایی راهکارهای صرفه‌جویی انرژی

۴-۲-۱ هدف و دامنه کاربرد دستورالعمل نحوه شناسایی راهکارهای صرفه‌جویی انرژی

هدف از تدوین این دستورالعمل آشنایی ممیزان انرژی با نحوه شناسایی راهکارهـای صرفه‌جویی انرژی حاصل از ممیزی انرژی و دامنه کاربرد این دستورالعمل بـا توجـه بـه

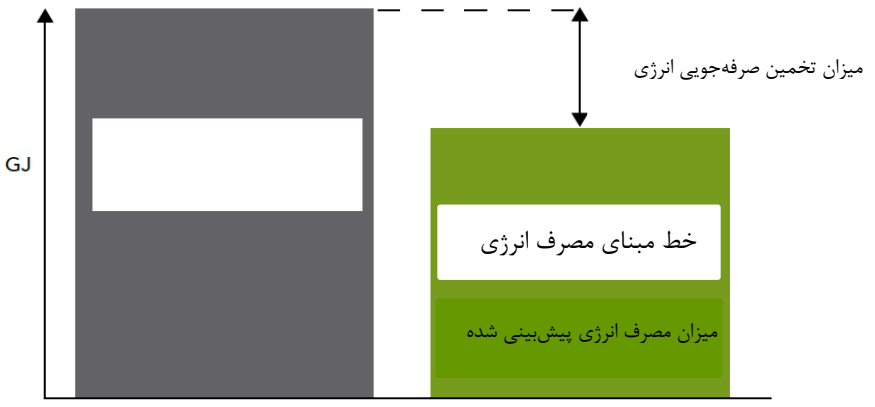
نوع و سطح ممیزی انرژی، تمامی تجهیزات، فرآیندهای صنعتی یا واحدهای عملیاتی مورد ممیزی شرکت ممیزی شونده است.

۴-۲-۲ مسئولیت شناسایی راهکارهای صرفه‌جویی انرژی حاصل از ممیزی انرژی

مسئولیت شناسایی راهکارهای حاصل از ممیزی انرژی با تیم ممیزی انرژی خصوصاً ممیزان انرژی مقیم/ غیرمقیم درجه دو و یک است.

۴-۲-۳ واژگان دستورالعمل شناسایی راهکارهای صرفه‌جویی انرژی حاصل از ممیزی انرژی

اساس تخمین صرفه‌جویی انرژی یا شناسایی راهکارها: تخمین پتانسیل صرفه‌جویی انرژی در یک فرصت یا راهکار بهبود بهره‌وری انرژی به این معناست که مصرف انرژی آینده یک شرکت، سیستم، واحد عملیاتی، فرآیند، زیرفرآیند، تجهیز، پیش‌بینی و با خط مبنای انرژی یا هدف تعریف شده برای آن بخش مورد مطالعه ممیزی انرژی، مقایسه شود. میزان اختلاف بین این دو، اساس تخمین میزان صرفه‌جویی انرژی و شناسایی راهکار بهبود است.



شکل (۴-۴) اساس شناسایی راهکار

دقت تخمین پتانسیل صرفه‌جویی انرژی در یک فرصت، بستگی زیادی به دقت خط مبنای انرژی یا هدف تعریف شده و نیز دقت داده‌های استفاده شده (معمولاً اندازه‌گیری شده) در پیش‌بینی مصارف انرژی دارد.

روش‌های تخمین صرفه‌جویی انرژی یا شناسایی راهکارها: این تعریف به چگونگی تخمین و پیش‌بینی اثر بلندمدت اجرای پروژه صرفه‌جویی انرژی بر جریان تولید و انرژی در تجهیزات، فرآیند، کارخانه یا در سطح سایت اختصاص دارد. در یک واحد تولیدی، تخمین میزان و منابع صرفه‌جویی انرژی و شناسایی یک فرصت، می‌تواند چالش برانگیز باشد. زیرا عوامل زیادی می‌توانند بر عملکرد انرژی تأثیر بگذارند.

به منظور دست‌یابی به پروژه‌های معنادار صرفه‌جویی انرژی، تصویر منطقی از عملکرد آتی سایت کارخانه (در محدوده‌ای که در سیستم یا فرآیند فرصت بهره‌وری انرژی وجود دارد)، باید ترسیم شود. تغییراتی مانند سطوح تولید، ترکیب تولید، ساعات کارکرد و منابع انرژی بر میزان مصارف و صرفه‌جویی انرژی تأثیر خواهند داشت.

روش‌های مختلف تخمین صرفه‌جویی انرژی و شناسایی راهکارها عبارتند از:

- روش محاسبه‌ای[1]
- روش مطالعه نمونه[2]
- روش مدل‌سازی و شبیه‌سازی[3]
- روش تست محک‌زنی با استفاده از مقیاس کوچک[4]

1- Calculated Saving
2- Pilot Scheme
3- Modeling/Simulation
4- Bench Test Using a Small Scale Facility

- روش انجام فرصت‌های صرفه‌جویی تجربه شده در سایر شرکت‌های مشابه[1]
- روش فرصت‌های پیشنهادی تأمین کننده[2]

در جدول زیر مروری بر روش‌های مختلف تخمین صرفه‌جویی انرژی با استفاده از فرصت‌های موجود آمده است.

جدول (۴-۱) روش‌های پیش‌بینی صرفه‌جویی انرژی

روش	توضیحات	موارد کاربرد
محاسبه‌ای	محاسبات مهندسی، مدل تجهیزات یا داده‌های تولید کنندگان برای تخمین کاهش مصرف انرژی نسبت به خط مبنا	فناوری‌های اجرا و اثبات شده
مطالعه نمونه	فرآیندهای پیوسته یا موقت، پایش تغییر مصرف انرژی از خط مبنا، برون‌یابی سایت یا کارخانه	برنامه‌های معتبر موجود، شرایط عملیاتی قابل مقایسه
مدل‌سازی/شبیه‌سازی	توسعه مدل مصرف انرژی خط مبنا برای شبیه‌سازی فرصت‌های بهره‌وری انرژی	مصرف انرژی متغیر، فرآیند قابل فهم
تست محک‌زنی با استفاده از مقیاس کوچک	زمانی که احتمال افزایش خطر احتمالی پس از اجرای راهکار برای کارخانه تولیدی وجود دارد.	برنامه‌ها یا فناوری‌های جدید
انجام فرصت‌های صرفه‌جویی تجربه شده در شرکت‌های مشابه	برون‌سازی سایت دیگری که فرصت بهره‌وری انرژی را در شرایط مشابه اجرا کرده است.	شرکت چند واحدی یا یک گروه صنعتی بخواهند تجارب خود را به اشتراک بگذارند.
فرصت‌های پیشنهادی تأمین‌کننده	کار با تأمین‌کنندگان یا نصب‌کنندگان با تجربه	فناوری‌ها و برنامه‌های جدید

1- Replication of saving Opportunity
2- Supplier promoted oppurtunities

مراحل پیش‌بینی صرفه‌جویی انرژی با استفاده از روش محاسبه‌ای: این روش، رایج‌ترین روش شناسایی راهکار یا تخمین صرفه‌جویی انرژی است شامل ۱۰ مرحله زیر است.

۱- بررسی اصول فرصت‌ها (بهبود عملیات، فناوری، فرآیند)

۲- تایید مناسب بودن کاربرد (فناوری ثابت شده و موجود، سابقه کاربردهای مشابه، امکان فنی)

۳- انتخاب دوره صرفه‌جویی (یک روز/.../یک سال) برای مشخص کردن یک چرخه کامل مصرف انرژی

۴- استفاده از داده‌های تولیدکننده، محاسبات یا شبیه‌سازی در سطح تجهیزات، تخمین صرفه‌جویی‌های عمده و قابل ملاحظه (با واحد درصد صرفه‌جویی انرژی)

۵- تعیین اصول صرفه‌جویی انرژی (میزان مطلق صرفه‌جویی، میزان با توجه به مصرف انرژی، میزان با توجه تولید، میزان با توجه به ساعات کارکرد)

۶- تعیین هدف یا خط مبنای مصرف انرژی برای دوره صرفه‌جویی با استفاده از داده‌ها برای متغیرهای مستقل که همان عوامل تأثیرگذار بر مصرف انرژی هستند (ساعات، تولید و تولیدات ترکیبی)

۷- تخمین سطح جدید مصرف انرژی با استفاده از عوامل ذکر شده در شماره‌های ۵ و ۶

۸- مقایسه مصرف انرژی تخمین زده شده با خط مبنای تعیین و طرح‌ریزی شده برای ارزیابی صرفه‌جویی انرژی

۹- مستندسازی مفروضات به دست آمده در طول کلیه سطوح محاسبات برای ایجاد محاسبات اصولی صرفه‌جویی

۱۰- انجام مطالعات تحلیل حساسیت برای درک نوسانات میزان صرفه‌جویی با تغییر عوامل مؤثر

مراحل پیش‌بینی صرفه‌جویی انرژی با استفاده از روش مطالعه نمونه: این روش

زمانی استفاده می‌شود که فناوری جدیدی برای یک فرآیند پرکاربرد در سایت یا شرکت و اغلب در کاربردهای حیاتی و بحرانی و یا بهبود عملکرد سیستم‌ها (مانند استفاده از موتورهای الکتریکی یا ادوات جدیدتر پر بازده) پیشنهاد شود. روش اجرای مطالعه پایلوت، در مورد خطر احتمالی فرآیند و عدم قطعیت صرفه‌جویی انرژی راهنمایی‌های ارزنده‌ای ارائه می‌دهد. این روش شبیه به روش محاسبه‌ای است. با این تفاوت که در این روش مقیاس تخمین صرفه‌جویی نسبت به کل کارخانه می‌باشد. این روش شامل مراحل زیر است:

۱- بررسی اصول فرصت‌ها (بهبود عملیات/فناوری/ فرآیند)

۲- تایید مناسب بودن کاربرد (فناوری ثابت شده و موجود، سابقه کاربردهای مشابه، امکان فنی)

۳- انتخاب دوره صرفه‌جویی

۴- استفاده از داده‌های تولیدکننده، محاسبات یا شبیه‌سازی در سطح تجهیزات، تخمین صرفه‌جویی‌های عمده و قابل ملاحظه (با واحد درصد صرفه‌جویی انرژی)

۵- تعیین اصول صرفه‌جویی انرژی (میزان مطلق صرفه‌جویی، میزان با توجه به مصرف انرژی، میزان با توجه تولید، میزان با توجه به ساعات کارکرد)

۶- تحلیل دیگر موارد کاربردی و تعیین:

- مناسب بودن فناوری
- قابلیت قیاس با نمونه
- گستره کاربرد در کارخانه (تعداد کاربردها، حجم فرآیند تولید و ساعات کارکرد)

۷- برون‌یابی صرفه‌جویی انرژی در کاربردهای مشخص نسبت به اندازه‌های موجود

۸- تعیین خط مبنای مصرف انرژی برای دوره صرفه‌جویی با استفاده از داده‌ها برای

متغیرهای مستقل (برای فرصت‌های بزرگ‌تر به صورت جزئی برای سطوح مختلف و برای فرصت‌های کوچک‌تر به صورت کلی) با توجه به عوامل مؤثر بر عملکرد کارخانه (ساعات کارکرد، تولید و ترکیب تولید)

۹- تخمین سطح جدید مصرف انرژی با استفاده از عوامل ذکر شده در شماره‌های ۵ و ۸

۱۰- مقایسه مصرف انرژی تخمین‌زده‌شده با خط مبنای تعیین شده برای ارزیابی میزان صرفه‌جویی انرژی

۱۱- اجرای فرصت به شکل پایلوت برای بهبود کیفیت فرآیند و اطلاعات خطر احتمالی صرفه‌جویی (در صورتی که پتانسیل صرفه‌جویی ارزیابی شده در مرحله ۱۰ به اندازه کافی قابل ملاحظه باشد)

۱۲- استفاده از تحلیل نتایج مطالعه پایلوت به عنوان اطلاعات پایه و بازبینی محاسبات صرفه‌جویی انرژی ذکر شده در مراحل ۴ تا ۱۰

به‌طور کلی مراحل این روش برای پیش‌بینی صرفه‌جویی انرژی برای بقیه روش‌های تخمین اعم از روش‌های تست محک‌زنی با استفاده از مقیاس کوچک، انجام فرصت‌های صرفه‌جویی تجربه شده در سایر شرکت‌های مشابه و فرصت‌های پیشنهادی تأمین‌کننده می‌تواند استفاده شود.

مراحل پیش‌بینی صرفه‌جویی انرژی با روش مدل‌سازی و شبیه‌سازی: اگر سوابق داده‌های مورد نیاز تخمین میزان صرفه‌جویی انرژی موجود نباشد یا فرآیند برای ایجاد یک رگرسیون چند متغیره بسیار پیچیده باشد، می‌توان برای تعیین خط مبنای انرژی از مدل‌سازی استفاده کرد. این مدل‌سازی می‌تواند به منظور ارزیابی صرفه‌جویی فرصت‌های بهره‌وری انرژی، تغییر یا اصلاح شود. در موارد مشابه تأمین‌کنندگان، مشاورین و محققین یا خود سایت، مدل شبیه‌سازی شده‌ای دارند که می‌توان از آن استفاده کرد. به‌طورمثال ممکن است شرکت‌های مشاور از نرم‌افزارهای مدل‌سازی

مهندسی برای فرآیندهای حرارتی استفاده کنند. بهتر است مدل نسبت به سیستم موجود (با استفاده از سوابق داده‌ها) یا موقعیت‌های مشابه قبلی اعتبارسنجی شود. مراحل اجرای این روش عبارتند از:

۱- بررسی اصول فرصت‌ها (بهبود عملیات/فناوری/ فرآیند)

۲- تأیید مناسب بودن کاربرد (فناوری ثابت شده و موجود، سابقه کاربردهای مشابه، امکان‌پذیری فنی)

۳- تعیین خط مبنای مصرف انرژی برای دوره صرفه‌جویی با اجرای شبیه‌سازی با استفاده از متغیرهای ورودی استخراج شده از شرکت (ساعات، تولید و ترکیب تولیدات)

۴- طرح کاهش سطح مصرف انرژی با اجرای مدل یا برنامه شبیه‌سازی معادل فرصت صرفه‌جویی انرژی. ورودی‌های مدل برای بررسی شرایط مختلف می‌تواند از محاسبات مهندسی، داده‌های سازنده، طرح‌های پایلوت و... به دست آیند

۵- مقایسه مصرف انرژی تخمین زده شده با خط مبنای طرح‌ریزی شده برای ارزیابی صرفه‌جویی انرژی

انواع فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی

۱- فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی بر پایه تغییر نگرش و رفتار کارکنان

۲- فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی بر پایه فرآیند (اقدامات کم‌هزینه)

۳- راهکارها و فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی مبتنی بر سرمایه‌گذاری متوسط یا زیاد

فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی بر پایه تغییر نگرش و رفتار کارکنان: معمولاً آسان‌ترین و عمومی‌ترین راهکارهای صرفه‌جویی انرژی، تغییر نگرش و رفتار همه سطوح کارکنان در زمینه مصرف بهینه انرژی است. بهترین و مناسب‌ترین راه تغییر نگرش و رفتار نیز آگاه‌سازی مناسب کارکنان با هدف صرفه‌جویی انرژی می‌باشد.

ابزارهای آگاه‌سازی کارکنان در زمینه انرژی:

آگاه‌سازی با استفاده از ابزار زیر می‌تواند انجام پذیرد.

۱- انتشارات کاغذی اعم از کتاب، پوستر، بروشور و ...

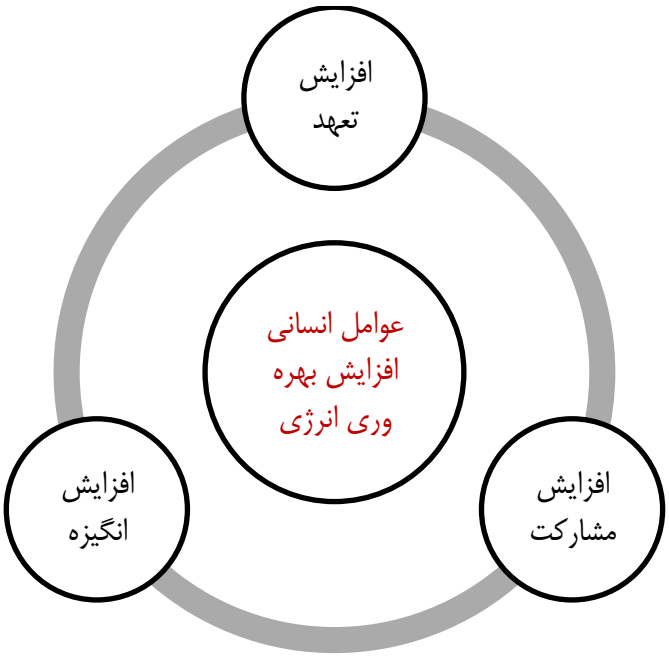
۲- استفاده از فناوری اطلاعات اعم از پرتال داخلی مدیریت انرژی، تبلت انرژی، پست الکترونیکی و ...

۳- استفاده از رسانه‌های عمومی مانند پیامک، تلویزیون شهری، لیزرشو و ...

۴- تحویل کالاهای تبلیغاتی به کارکنان مانند لیوان، کیف، پوشاک و ... با پیام‌های صرفه‌جویی انرژی

مزایای آگاه‌سازی انرژی: با آگاه‌سازی کارکنان از پروفایل مصارف انرژی در شرکت (با اندازه‌گیری صحیح و دقیق در طول انجام فعالیت‌های ممیزی انرژی) و از طریق ابزارهای چهارگانه مذکور، سطح حساسیت مدیران ارشد و میانی، آگاهی کارشناسان کلیدی انرژی و فرهنگ عموم پرسنل افزایش می‌یابد و در نتیجه میزان تعهد، مشارکت و انگیزه کارکنان به‌طور چشمگیری بیشتر می‌شود. شناسایی و درک نقش هر یک از کارکنان در زمینه مصرف و صرفه‌جویی انرژی می‌تواند موجب تعهد بیشتر و ارائه توصیه‌های افزایش بهره‌وری انرژی توسط کارکنان با ایجاد نظام پیشنهادات بهره‌وری انرژی موجب مشارکت بیشتر و تدوین یک برنامه هدف محور[1] عددی یا ابلاغ الزامات شرکتی سودآور برای ذی‌نفعان شرکت به همراه ایجاد فضای برد-برد با بازخورد مثبت، موجب انگیزه بیشتر شود که هر سه از اقدامات آگاه‌سازی است. ممکن است هر یک از اقدامات صرفه‌جویی انرژی اثر زیادی بر صرفه‌جویی انرژی نداشته باشد ولی می‌تواند سرآغاز حرکتی فراگیر و نمادین و در نهایت صرفه‌جویی عمده میزان و هزینه مصارف انرژی به واسطه فعالیت‌های زیاد با مشارکت همگانی شود. هدف نهایی از انجام پروژه آگاه‌سازی، ایجاد فرهنگ بهینه‌سازی مصرف انرژی در سطح مجموعه است.

1- Target Based



شکل (۴-۵) عوامل انسانی افزایش بهره‌وری انرژی

مخاطبین برنامه آگاه‌سازی: مخاطبین مختلف برنامه آگاه‌سازی عبارتند از:

- مدیران ارشد و میانی
- کارشناسان کلیدی انرژی
- عموم کارکنان
- کارکنان جدیدالورود
- خانواده کارکنان

نمونه‌هایی از فعالیت‌های آگاه‌سازی صرفه‌جویی انرژی: نمونه‌هایی از ابزار آگاه‌سازی صرفه‌جویی انرژی اعم از انتشارات کاغذی (کتاب، پوستر)، استفاده از فناوری اطلاعات (تبلت انرژی، نرم‌افزارهای عمومی و تخصصی انرژی)، استفاده از کانال‌های عمومی (پیامک، بیلبورد) و هدایای تبلیغاتی به کارکنان (لیوان، پوشاک) آمده است.

شکل (۴-۶) نمونه‌ای از آگاه‌سازی با استفاده از ابزار رسانه‌های عمومی- (بیلبورد)

شکل (۴-۷) نمونه‌ای از آگاه‌سازی با استفاده از ابزار رسانه‌های عمومی- (پیامک)

شکل (۴-۸) نمونه‌ای از آگاه‌سازی با استفاده از ابزار فناوری اطلاعات- (نرم‌افزارهای تخصصی و عمومی انرژی)

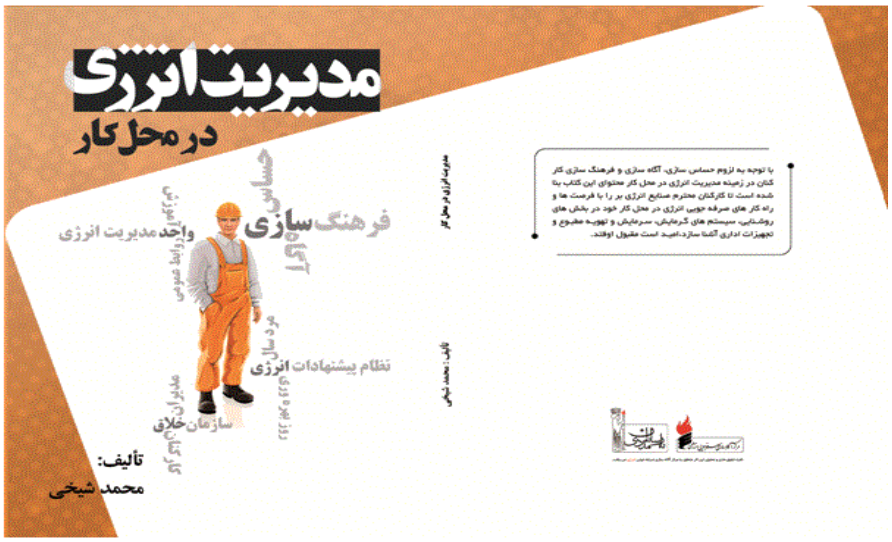
شکل (۴-۹) نمونه‌ای از آگاه‌سازی با استفاده از ابزار فناوری اطلاعات- (تبلت انرژی)

شکل (۴-۱۰) نمونه‌ای از آگاه‌سازی با استفاده از انتشارات- (پوستر فرهنگ‌سازی)

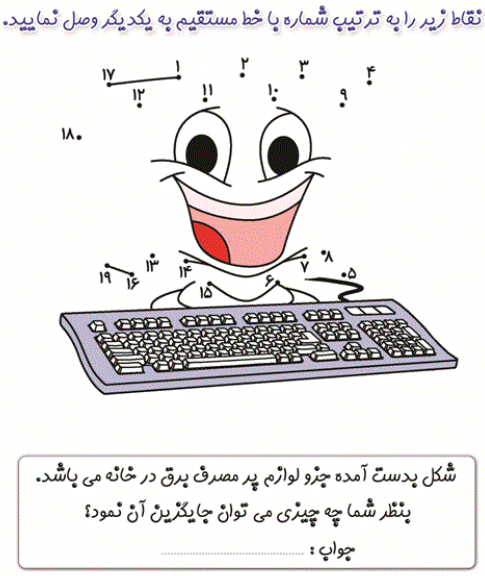
شکل (۴-۱۱) نمونه‌ای از آگاه‌سازی با استفاده از انتشارات- (پوستر حساس‌سازی)

شکل (۴-۱۲) نمونه‌ای از شعارهای آگاه‌سازی با استفاده از هدایای تبلیغاتی به کارکنان

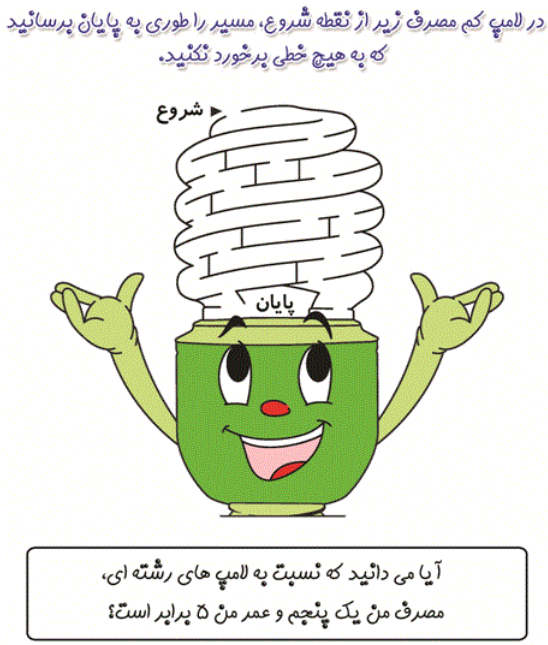
شکل (۴-۱۳) نمونه‌ای از آگاه‌سازی با استفاده از انتشارات- (پوستر آگاه‌سازی)



شکل (۴-۱۴) نمونه‌ای از آگاه‌سازی با استفاده از انتشارات- (چاپ کتاب)



شکل (۴-۱۵) نمونه‌ای از آگاه‌سازی با استفاده از کانال‌های عمومی- (فرهنگ‌سازی با طراحی مسابقه علمی برای خانواده‌ها)



شکل (۴-۱۶) نمونه‌ای از آگاه‌سازی با استفاده از کانال‌های عمومی- (فرهنگ‌سازی با طراحی سرگرمی علمی برای خانواده‌ها)

جدول (۴-۲) چک لیست نمونه برنامه اجرای برنامه آگاه‌سازی

راهبرد آگاه‌سازی	وضعیت			شماره اولویت	زمانهای مهم		مسئول اجرا	هزینه
	موجود	در حال ایجاد	موجود نیست		شروع	اتمام		میلیون ریال
۱-تدوین شیوه‌نامه آگاه‌سازی صرفه‌جویی انرژی								
۲-تشکیل کمیته آگاه‌سازی صرفه‌جویی انرژی								

۳- تدوین برنامه آگاه‌سازی صرفه‌جویی انرژی سال بعد								
۴- تدوین دستورالعمل کارکنان نمونه انرژی سال/ماه								
۵- طراحی و تجهیز تخصصی انرژی دفاتر مدیر و کارشناسان انرژی								
۶- طراحی و تجهیز ساختمان‌های سبز								
۷- ایجاد و تجهیز آزمایشگاه انرژی								
۸- تدوین برنامه روز بهره‌وری انرژی								
۹- برگزاری جنگ انرژی برای خانواده کارکنان								

جدول (۴-۳) چک لیست نمونه فعالیت‌های چاپی برنامه آگاه‌سازی شرکت

لیست فعالیت‌های چاپی	وضعیت			شماره اولویت	زمان‌های مهم		مسوول اجرا	هزینه
	موجود	در حال ایجاد	موجود نیست		شروع	اتمام		میلیون ریال
۱- خبر نامه انرژی کارکنان شرکت								
۲- چاپ یا خرید کتب عمومی و تخصصی انرژی (کارکنان)								

۳- چاپ یا خرید کتب عمومی انرژی (خانواده)								
۴- اشتراک مجلات تخصصی انرژی								
۵- پوسترهای حساس‌سازی انرژی								
۶- پوسترهای آگاه‌سازی انرژی								
۷- پوسترهای فرهنگ‌سازی انرژی								
۸- بروشورهای عمومی انرژی								
۹- بروشورهای تخصصی انرژی								
۱۰- دفتر یادداشت روزانه انرژی								
۱۱- ایجاد بولتن انرژی در ساختمان‌های هدف								
۱۲- درج پیامها در فیش‌های حقوقی کارکنان								
۱۳-کارت پستال انرژی								
۱۴-تقویم (سالنامه) رومیزی انرژی								
۱۵-دفترچه تلفن انرژی								
۱۶-برچسب‌های آگاه‌سازی انرژی								

جدول (۴-۴) چک لیست نمونه فعالیت‌های فناوری اطلاعات برنامه آگاه‌سازی شرکت

لیست فعالیت‌های فناوری اطلات	وضعیت			شماره اولویت	زمان‌های مهم		مسئول اجرا	هزینه
	موجود	در حال ایجاد	موجود نیست		شروع	اتمام		میلیون ریال
۱-پرتال مدیریت انرژی شرکت								
۲- ایجاد کتابخانه الکترونیکی مدیریت انرژی								
۳- تهیه تبلت حاوی محتوای تخصصی انرژی								
۴- عضویت در سایت‌های آگاه‌سازی صرفه‌جویی انرژی								
۵- ایمیل مطالب جذاب انرژی به کارکنان								
۶- آگهی اینترنتی یا اینترانتی انرژی								
۷-خبرنامه الکترونیکی انرژی کارکنان								
۸- رسانه‌های اجتماعی اعم از face book و Twitter								

جدول (۴-۵) چک لیست نمونه فعالیت‌های ارتباطات عمومی برنامه آگاه‌سازی شرکت

لیست فعالیت‌های فناوری اطلات	وضعیت			شماره اولویت	زمان‌های مهم		مسئول اجرا	هزینه
	موجود	در حال ایجاد	موجود نیست		شروع	اتمام		میلیون ریال
۱- استفاده از نمایشگر (تلویزیون شهری)								

۲- استفاده از نمایشگر (لیزر شو)								
۳- استفاده از نمایشگر (تابلوی الکترونیکی)								
۴- غرفه تخصصی آگاه‌سازی انرژیدر شرکت (دایمی/موقت)								
۵- انتشار پیام‌ها و شعارهای آگاهی‌بخش								
۶- برگزاری جلسات عمومی/تخصصی انرژی در شرکت								
۷- برنامه سخن ماه انرژی (۱۲ ایده در سال)								
۸- روش کلامی کمیته آگاه‌سازی								
۹- مشوق‌های انگیزشی برای کارکنان								
۱۰- انجام مسابقات (عمومی/تخصصی) و ایجاد رقابت سالم								
۱۱- برگزاری دوره و کارگاه‌های آموزشی (عمومی/تخصصی)								
۱۲-اطلاع‌رسانی و حمایت مدیریت ارشد شرکت								
۱۳- ایجاد نظام پیشنهادات بهره‌وری انرژی								
۱۴-ارسال نامه‌های آگاه‌سازی انرژی به کارکنان								
۱۵-طراحی و اجرای مسابقه نقاشی خلاق انرژی (خانواده)								
۱۶-سمینارهای مدیریت مصرف انرژی (خانواده)								

۱۷-برگزاری تور مطالعاتی آگاه‌سازی انرژی								
۱۸- تربیت متخصصین آگاه‌سازی انرژی								
۱۹- طراحی و دوخت لباس برای ممیزین و فعالین انرژی								
۲۰- طراحی و ایجاد بالون آگاه‌سازی انرژی								
۲۱- تهیه محتوای پیامک و ارسال از طریق پنل								

فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی بر پایه فرآیند (اقدامات کم‌هزینه)

راهکارها یا فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی بر پایه فرآیند می‌تواند برای مثال از طریق تغییر و اصلاح مصرف توان یا تنظیم دمای یک فرآیند خاص به دست آید. به‌طور کلی صرفه‌جویی انرژی بر پایه فرآیند هزینه اجرایی کمی دارد. با تحلیل و ارزیابی داده‌های مورد نیاز ممیزی انرژی که توسط اندازه‌گیری یا برداشت توسط دستگاه‌های اندازه‌گیر یا حسگرها به دست آمده است و پس از محاسبه شاخص‌های عملکرد انرژی در سطوح مختلف فرآیند (فرآیند، زیر فرآیند، تجهیز) می‌توان دریافت که فرآیند در چه نقاطی می‌تواند بهینه شود. با استفاده از داده‌های دستگاه‌های اندازه‌گیر پیشرفته می‌توان به کمیت و کیفیت انرژی مصرفی در زمان‌های مشخص پی برد. از مقایسه این داده‌ها با اهداف و الگوهای عملیاتی، تصویری از کمیت و زمان مصرف انرژی با توجه به نوع فرآیند و تجهیز ایجاد می‌شود. با تحلیل این پروفایل‌های مصرف انرژی، می‌توان اثر تغییر فرآیند را تخمین زد.

مواردی از صرفه‌جویی انرژی بر پایه فرآیند:

۱- تدوین و اجرای برنامه پایش و هدف‌گذاری مستمر یا دوره‌ای شاخص‌های عملکرد انرژی در فرآیند

۲- تهیه و اجرای دستورالعمل‌های کنترل عملیات مثلاً کنترل و کاهش مصرف تجهیزات انرژی‌بر در زمان‌های اوج مصرف برای کاهش هزینه انرژی مصرفی در صورت امکان

۳- تهیه و اجرای چک لیست فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات تجهیزات و فرآیند تولید با رویکرد بهره‌وری انرژی و بهبود مستمر

۴-کاهش زمان راه‌اندازی غیر مولد[1] به عبارتی افزایش زمان تولید با کاهش توقفات ناشی از تخلیه یا جمع‌آوری تولید در سیستم‌های با تولید ناپیوسته[2]

۵-کنترل (کاهش یا قطع) مصرف انرژی تجهیزاتی که در زمان عدم تولید، انرژی مصرف می‌کنند

جدول (۴-۷) نمونه فرم شناسایی موارد تلفات انرژی واحدها در زمان عدم تولید

نام واحد: نام زیرواحد/فرآیند:
موارد مصرف انرژی در زمان عدم تولید
مورد ۱:.....
علت توقف تولید:.....
میزان تقریبی مصرف انرژی در زمان عدم تولید (معادل مصرف در یک ساعت): ..... کیلووات ساعت/گیگا ژول/کیلوکالری
راهکار اجرایی کاهش/حذف مورد در صورت امکان
.....
.....
.....
.....

1- Non-Productive Running Time

2- Batch

توضیحات

.....

.....

.....

.....

.....

مورد ۲: .....

علت توقف تولید:.....

میزان تقریبی مصرف انرژی در زمان عدم تولید (معادل مصرف در یک ساعت): .....

کیلووات ساعت/گیگا ژول/کیلوکالری

راهکار اجرایی کاهش/حذف مورد در صورت امکان

.....

.....

.....

.....

.....

توضیحات

.....

.....

.....

.....

راهکارها و فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی مبتنی بر سرمایه‌گذاری متوسط یا زیاد

صرفه‌جویی انرژی مبتنی بر سرمایه‌گذاری، صرف هزینه سرمایه‌گذاری متوسط یا زیاد را شامل می‌شود. البته انجام راهکارهای صرفه‌جویی انرژی مبتنی بر آگاه‌سازی مؤثر افراد (تغییر در نگرش، عادت، رفتار و فرهنگ) یا صرفه‌جویی انرژی بر پایه فرآیند (مستندسازی و بهبود در اقدامات کنترل عملیات) ممکن است با تغییر مدیران و کارشناسان کلیدی و مؤثر، کمتر مورد توجه قرار گیرد، حال آنکه صرفه‌جویی انرژی حاصل شده از انجام پروژه‌های بهبود با سرمایه‌گذاری بالا یا متوسط نسبت به دو مورد دیگر، اغلب بیشتر و ماندگارتر است.

در اغلب شرکت‌ها، صرفه‌جویی انرژی مبتنی بر سرمایه‌گذاری تحت دو روند سرمایه‌گذاری مجزا قرار دارد:

۱- هزینه عملیاتی، ۲- هزینه بهبود سرمایه

هزینه عملیاتی معمولاً سرمایه از پیش تأیید شده‌ای برای انجام پروژه‌های کوچک با سرمایه متوسط است. تأیید فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی معمولاً در سطح مدیران میانی است که به اجرای سریع‌تر فرصت‌ها می‌انجامد.

هزینه بهبود سرمایه با توجه به میزان سرمایه مورد نیاز برای اجرای فرصت صرفه‌جویی انرژی شامل تصمیم‌سازی در سطح مدیران میانی و واگذاری تصمیم‌گیری به مدیر ارشد یا هیأت مدیره است. برنامه‌هایی که به سرمایه کلان نیازمند است معمولاً سه تا دوازده ماه قبل از اجرای فرصت، تهیه و برای تأیید نهایی به مدیریت ارشد ارسال می‌شود.

انواع سرمایه‌گذاری در فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی (مبتنی بر سرمایه‌گذاری):

الف- سرمایه‌گذاری در فناوری مشابه ولی پر بازده‌تر

این نوع برنامه سرمایه‌گذاری جهت انجام راهکارهای بهبود پس از شناسایی فرصت‌های افزایش بهره‌وری انرژی موجب تشویق محک‌زنی و معیارسنجی در مقابل اقدامات و عملکرد بهینه سیستم‌ها و تجهیزات می‌شود. برای مثال جایگزینی تجهیزات

انرژی‌بر یا مبدل انرژی قدیمی (سالم/معیوب/خراب/از کار افتاده) با نوع پر بازده‌تر و جدیدتر. یا جایگزینی سیستم‌های انرژی‌بر قدیمی با نوع جدیدتر و با فناوری و بازده انرژی بالاتر مثلاً تعویض تله بخارها (معیوب یا خراب)، سیستم‌های تهویه- گرمایشی- سرمایشی، عایق و ... با مدل پربازده و با فناوری جدید.

ب- سرمایه‌گذاری در فناوری جدید که قبلا اجرا و استفاده نشده است

ج- سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه (آزمون و خطا) برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی

این فرصت‌ها برای به حداقل رساندن خطر احتمالی، به تحلیل‌های دقیق‌تری در طول فازهای تخمین، ارزیابی و اندازه‌گیری نیاز دارد.

مراحل شناسایی فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی

برای شناسایی راهکارهای مختلف در یک واحد صنعتی دو مرحله اساسی وجود دارد:

۱- سنجش و درک انرژی مصرفی

- تعریف خط مبنای مصرف انرژی
- اجرای موازنه جرم و انرژی در مورد ممیزی‌شونده
- اندازه‌گیری و برداشت داده‌های مورد نیاز

۲- تخمین، ارزیابی، سنجش و ردیابی فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی

- شناسایی فرصت/راهکار
- تخمین میزان صرفه‌جویی انرژی
- دقت در تحلیل انرژی
- ارزیابی فرصت/راهکار
- تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری برای اجرای فرصت (اجرا/بررسی بیشتر/عدم اجرا)
- اجرای فرصت/راهکار
- اندازه‌گیری و ردیابی مصارف انرژی پس از اجرای فرصت/راهکار
- پایش و گزارش‌دهی مستمر

عوامل کلیدی در شناسایی و اجرای بهینه راهکارهای بهبود:

عوامل کلیدی در شناسایی و اجرای بهینه راهکارهای بهبود عبارتند از:

- مدیریت ارشد
- کارشناسان کلیدی و عموم کارکنان
- داده‌ها، اطلاعات و تحلیل آن‌ها
- شناسایی و ارزیابی فرصت‌ها
- تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری
- اطلاع‌رسانی نتایج اجرای راهکارهای بهبود

۴-۲-۴ شرح عملیات شناسایی راهکارهای صرفه‌جویی انرژی حاصل از ممیزی انرژی

الف- انتخاب یکی از روش‌های پیش‌بینی صرفه‌جویی انرژی (محاسبه‌ای/ مطالعه نمونه/ مدل‌سازی/ شبیه‌سازی/ محک‌زنی/ فرصت‌های پیشنهادی تأمین‌کننده/ انجام فرصت‌های صرفه‌جویی تجربه شده)

ب- انجام مراحل پیش‌بینی صرفه‌جویی انرژی که در بخش تعاریف ارائه شده‌اند.

ج- دسته‌بندی انواع فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی شناسایی شده پس از تکمیل چک‌لیست‌های مربوطه در سه قالب آگاه‌سازی کارکنان، راهکارهای اصلاح فرآیند، راهکارهای با سرمایه‌گذاری متوسط یا زیاد

۴-۳ تدوین روش محاسبات فنی و اقتصادی راهکارهای بهینه‌سازی انرژی

۴-۳-۱ مقدمه

عاملی که می‌تواند سرمایه‌گذار را قانع و تحریک به سرمایه‌گذاری در اجرای راهکار یا فرصت صرفه‌جویی انرژی در مقابل فرصت‌های دیگر سرمایه‌گذاری نماید، یک پیش‌بینی

دقیق از دورنمای اجرای آن پیش روی سرمایه‌گذار می‌باشد. از این رو یک فرصت پس از موفقیت در توجیه فنی، نیاز به قبولی در آزمون توجیه اقتصادی نیز دارد. لازمه این کار ارزیابی نتایج اجرای راهکار مورد نظر همانند یک پروژه یا یک طرح سرمایه‌گذاری می‌باشد.

گستره وسیعی از پیشنهادات فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی از لحاظ میزان صرفه‌جویی، پیچیدگی اجرا و هزینه اجرا در یک واحد صنعتی می‌تواند وجود داشته باشد و البته مهم است که برای ارزیابی هر یک از این فرصت‌ها، زمان و منابع متناسب با هر راهکار در نظر گرفته شود. با توجه به آنچه پیشتر تشریح گردید، هدف از تحلیل فنی، شناسایی میزان صرفه‌جویی انرژی پس از اجرای راهکار و هدف از تحلیل اقتصادی، تعیین زمان بازگشت سرمایه است و این نکته همیشه باید به عنوان اصل مد نظر قرار گیرد که اولویت ارزیابی راهکارهای بهبود باید در شناسایی فرصت‌های با بیشترین پتانسیل صرفه‌جویی انرژی یا با تخمین کمترین زمان بازگشت سرمایه باشد. تیم ممیزی انرژی بعد از شناسایی پتانسیل‌های صرفه‌جویی انرژی و نیز اقدامات و راهکارهای عملی بهبود و ارائه آن به صورت یک لیست، باید قبل از شروع برنامه اجرایی راهکارها توسط متقاضی ممیزی یا ممیزی‌شونده یک تحلیل با توجیه اقتصادی یا به عبارتی تحلیل هزینه فایده بر روی هر یک از راهکارها را انجام دهد.

برای اجرای راهکارهای عملی بهینه‌سازی انرژی، در یک واحد تولیدی ابتدا باید توجیه‌پذیری فنی و اقتصادی آن طرح نشان داده شود. هدف از انجام طرح‌های بهینه‌سازی، کاهش هزینه‌های عملکرد و تولید از طریق کاهش هزینه‌های مصرف انرژی است. اما اغلب پروژه‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی نیازمند سرمایه‌گذاری‌های کلانی برای بازسازی یا نصب تجهیزات فنی جدید می‌باشد. مشخصه بارز سرمایه‌گذاری در طرح‌های صنعتی بهینه‌سازی، همانند سایر فعالیت‌های تجاری، سرمایه‌گذاری در زمان حال و سوددهی در زمان آینده است. از این رو تیم ممیزی انرژی باید توانایی ارزیابی

مالی و توجیه اقتصادی هر یک از طرح‌های بهینه‌سازی مورد نظر خود را داشته و قادر باشد برآورد صحیح و قابل قبولی از مدت زمان برگشت سرمایه و سود حاصل از انجام پروژه به عمل آورده و به منظور تصمیم‌گیری برای اجرای طرح مذکور در اختیار مدیران ارشد ممیزی‌شونده قرار دهد.

ارزیابی‌های فنی و اقتصادی پروژه‌های صرفه‌جویی مصرف انرژی باید با دقتی جامع و کامل صورت پذیرد. زیرا از یک سو پیش‌بینی دقیق سوددهی طرح‌های بهینه‌سازی در آینده مشکل و از سوی دیگر سرمایه‌گذاری در این زمینه معمولاً قطعی و برگشت‌ناپذیر است و به لحاظ مسائل فنی و اقتصادی نمی‌توان و یا به سختی می‌توان پس از اجرای طرح‌هایی از این دست، نظر خود را عوض کرد. زیرا نه تنها هزینه خرید، نصب و راه‌اندازی تجهیزات طرح‌ها، خود بخش عمده‌ای از سرمایه‌گذاری را شامل می‌شود، بلکه عملکرد نامناسب این تجهیزات به عنوان بخشی از یک فرآیند یکپارچه، می‌تواند کل فرآیند را دچار اختلال و خسارت قابل توجهی نماید.

در ادامه برخی تعاریف واژگان اساسی در ارزیابی اقتصادی طرح‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی آمده است.

۴-۳-۲ تعاریف و اصطلاحات تحلیل اقتصادی

پیش از هر چیز باید در نظر داشت که ارزش سرمایه‌گذاری در پروژه‌های صرفه‌جویی انرژی امری نسبی است و باید همواره مقدار سرمایه‌گذاری را در کنار درآمد خالص سالیانه ناشی از آن در نظر گرفت. برای ارزیابی اقتصادی پروژه‌های بهبود، باید بر روی متغیرهای اقتصادی سرمایه‌گذاری، تحلیل عددی انجام داد. این متغیرها عبارتند از:

سرمایه‌گذاری اولیه[1]: سرمایه‌گذاری اولیه نه تنها شامل هزینه خرید تجهیزات و مصالح مورد نظر برای اجرای راهکار می‌شود، بلکه تمام هزینه‌های جانبی جهت آماده

1- Initial Investment

شدن طرح بهبود را نیز در بر می‌گیرد. هزینه‌های جانبی مـواردی ماننـد حمـل و نقـل، نصب سیستم‌ها یا تجهیزات، احتمالاً دریافت مجوزهـای لازم و در برخـی مـوارد هزینـه راه‌اندازی و شروع به کار تجهیزات است.

عایق‌کاری خطوط انتقال بخار، نمونه‌ای از طرح‌های بهینه‌سازی مصرف انـرژی اسـت کـه در آن هزینه نصب در مقایسه با هزینه تجهیزات و مصالح آن قابل توجه است. شروع بـه کـار برخی طرح‌ها همراه با هزینه‌هایی است که از آن گاه به عنوان سرمایه نیز یاد می‌شود.

برگشت سرمایه[1]: بعد از آنکه سرمایه‌گذاری اولیه صورت گرفت، کمتـرین انتظـار آن است که در طول مدت عمر پروژه، سود خالص حاصل از اجرای طـرح، سـرمایه اولیـه را برگشت دهد. برگشت سرمایه را بیشتر در دوره‌های زمانی مقطعـی ماهانـه و سـالانه تـا دوره‌های زمانی پیوسته (روز به روز) در نظر می‌گیرند.

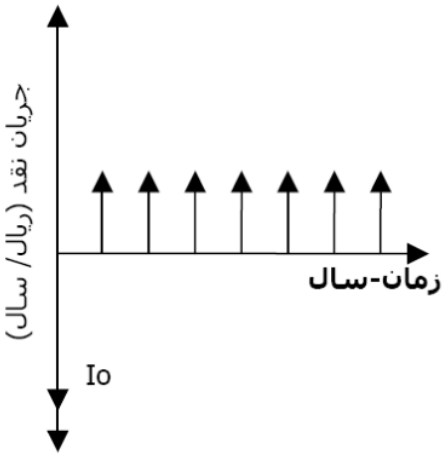
ارزش اسقاطی[2]: در محاسبات برگشت سرمایه، بایـد ارزش تجهیـزات در پایـان عمـر اقتصادی آن‌ها نیز در نظـر گرفتـه شـود. مالیـات‌هـا، هزینـه‌هـای عملکـرد، نگهـداری و تعمیرات این تجهیزات باید از درآمد ناخالص پروژه کم شود.

عمراقتصادی[3]: برگشـت اقتصـادی سـرمایه‌گـذاری‌هـا، عمومـاً محـدود اسـت. بـرای طرح‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی نیز نمی‌توان سوددهی پایان‌ناپذیری تصور کـرد، لـذا باید برآوردی از عمر اقتصادی تجهیزات مورد اسـتفاده در طـرح بـه عمـل آورد. بـدیهی است تجهیزات مورد استفاده در طرح‌های صرفه‌جویی انرژی مانند پمپ‌هـا، مبـدل‌هـای حرارتی و... عمر فیزیکی محدودی دارند. اما احتمالاً پیش از آنکه عمر فیزیکی آن‌هـا بـه پایان برسد، عمر اقتصادی آن‌ها سرآمده است.

نمودار جریان نقدی[4]: از روی مفاهیم سرمایه‌گذاری اولیه و بازگشت سرمایه در طـول

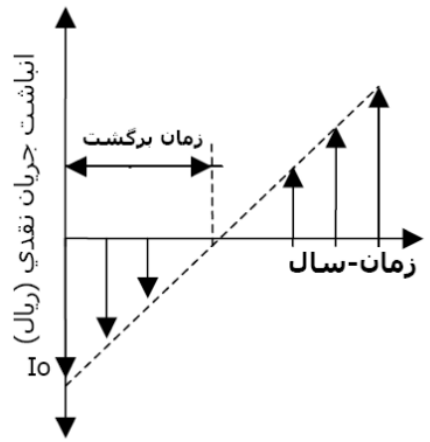
1- Return of Investment
2- Salvage Value
3- Economic Life
4- Cash Flow Diagram

عمر اقتصادی یک طرح، می‌توان جزئیات سرمایه‌گذاری آن طرح را به صورت نمودارهایی موسوم به نمودارهای جریان نقدی ارائه داد.



شکل (۴-۱۷) نمودار جریان نقدی

شکل بالا نمودار جریان نقدی یک پروژه را نشان می‌دهد که با سرمایه‌گذاری اولیه Io (نقطه منفی روی نمودار) در زمان شروع و درآمدهای حاصله (نقاط مثبت روی نمودار) در طول سال‌های مختلف عمر اقتصادی روی آن مشخص شده‌اند.



شکل (۴-۱۸) نمودار انباشت جریان نقدی

چنانچه نقاط مثبت (درآمدها) و منفی (سرمایه‌گذاری) نمودار جریان نقدی با یکدیگر جمع جبری و نتیجه بر روی نمودار مشابهی رسم شود، نموداری به نام نمودار انباشت جریان نقدی (شکل بالا) به دست می‌آید.

۴-۳-۳ منابع تأمین اعتبار مالی پروژه‌های بهبود

بیشترین توجه تیم ممیزین انرژی یا کارشناسان کلیدی انرژی که طرح‌های پیشنهادی صرفه‌جویی انرژی را ارائه می‌کنند، میزان صرفه‌جویی انرژی پس از اجرای راهکار است و توجه کمتری به مسائل مالی مربوط به آن دارند. اما ذی‌نفعان و در رأس آن‌ها مدیریت ارشد شرکت ممیزی‌شونده باید اعتبارات مالی مورد نیاز اجرای پروژه را تأمین نمایند. این کار به روش‌های مختلفی صورت می‌گیرد:

سود خالص سالانه: اولین راه تأمین اعتبار پروژه‌های صرفه‌جویی انرژی، تأمین بخش یا تمام هزینه اجرایی، از محل سود خالص سالیانه شرکت است.

استقراض: در صورتی که سود خالص سالیانه، به اندازه هزینه مورد نیاز اجرای طرح بهینه‌سازی مصرف انرژی کارخانه نباشد، استقراض از مؤسسات مالی (عمدتاً بانک‌ها)، روش دیگری برای تأمین اعتبار مالی است.

فروش سهام: چنانچه سود سالیانه کارخانه برای اجرای پروژه کافی نباشد و از طرفی کارخانه نیز اعتبار لازم برای دریافت وام از مؤسسات مالی را نداشته باشد، آخرین راه باقیمانده، واگذاری بیش از پیش سهام کارخانه برای افزایش یا تأمین سرمایه نقد مورد نیاز طرح بهینه‌سازی است.

مشارکت: با اهمیت یافتن بهینه‌سازی مصرف انرژی در صنایع، خصوصاً پس از اجرای قانون هدفمندی یارانه‌ها طی سال‌های اخیر و تأسیس شرکت‌های مهندسی با حوزهٔ فعالیت ارائه انواع خدمات انرژی (بهینه‌سازی و صرفه‌جویی تولید، توزیع و مصرف انرژی)، روش دیگری برای تأمین اعتبارات مالی در این زمینه به وجود آمد که همکاری

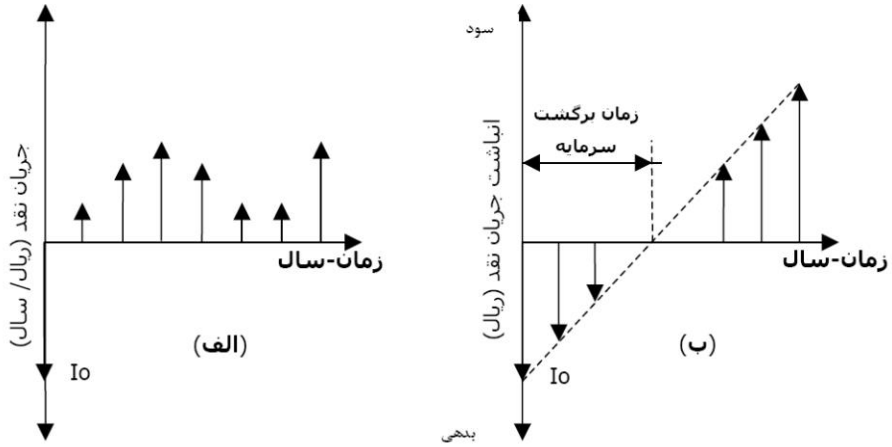
شرکت‌های مهندسی خدمات انرژی در ارائه خدمات فنی و مشارکت مالی در پروژه‌های صرفه‌جویی انرژی کارخانه‌ها است. این شرکت‌ها با عقد قراردادهای سرمایه‌گذاری در پروژه های فوق، در بخشی از سود حاصل از صرفه‌جویی انرژی کارخانه‌ها پس از اجرای راهکارهای بهبود سهیم می‌شوند. روش تأمین اعتبار هر چه باشد، حاصل آن سرمایه‌ای است که تحت شرایط خاصی برای انجام طرح‌های صرفه‌جویی انرژی فراهم می‌آید. اما از آنجایی که هدف از هر سرمایه‌گذاری سوددهی مناسب است، پیش از شروع به هر کاری باید به یک پرسش اساسی پاسخ داده شود که آیا تخصیص این سرمایه به یک پروژه بهینه‌سازی مصرف انرژی سوددهی بیشتری دارد یا به جریان انداختن آن در یک فعالیت اقتصادی دیگر؟

معیار مناسبی که در کنار سایر متغیرهای اقتصادی، ارزش یک سرمایه‌گذاری را مشخص می‌کند، نرخ سرمایه‌ها است. این متغیرها، مستقیماً در محاسبات اقتصادی مواردی چون استقراض از مؤسسات مالی وارد می‌شود. حتی در تصمیم‌گیری برای استفاده از سود خالص سالانه کارخانه یا پول حاصل از فروش سهام درطرح‌های صرفه‌جویی انرژی، باید بر مبنای نرخ سود سرمایه به پرسش فوق پاسخ داده شود.

بررسی جریان نقد سرمایه یکی از مهم‌ترین موضوعات یک طرح سرمایه‌گذاری است، زیرا سود و بدهی خالص (صرفه‌جویی هزینه) ناشی از سرمایه‌گذاری در پروژه‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی را در هر یک از دوره‌های زمانی عمر اقتصادی طرح مشخص می‌کند. اهمیت ویژهٔ این موضوع به دلیل تغییرات ارزش پول با گذشت زمان است. به همین دلیل همیشه ارزش زمانی پول مطرح می‌شود. به علاوه نمودارهای انباشت جریان نقدی به وضوح زمان برگشت سرمایه اولیه[1] را نشان می‌دهند. بسیاری از واحدهای صنعتی، جذابیت یک طرح سرمایه‌گذاری را در کوتاه بودن دوره برگشت سرمایه آن می‌دانند.

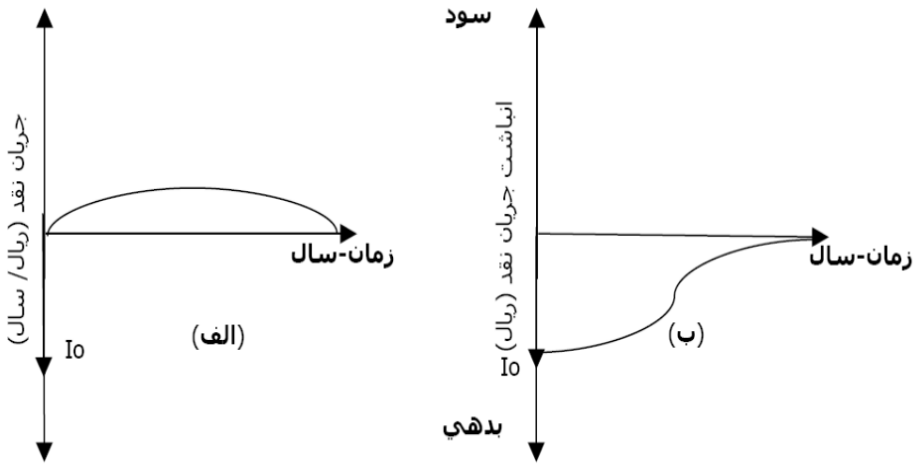
1- Payback Period

نمودار جریان نقدی می‌تواند شامل ارزش اسقاطی تجهیزات در پایان عمر اقتصادی طرح نیز باشد و درآمدهای سالیانه آن هم ثابت نباشند. نمودار جریان نقدی و نمودار انباشت وابسته به آن را در مورد یک طرح سرمایه‌گذاری با ویژگی‌های فوق نشان می‌دهد.



شکل (۴-۱۹) نمودار جریان نقدی و نمودار انباشت وابسته به آن

همچنین نمودار جریان نقدی و نمودار انباشت وابسته به آن می‌توانند به جای دوره‌های زمانی خاص در طول عمر اقتصادی طرح به صورت پیوسته ترسیم شوند.



شکل (۴-۲۰) نمودار جریان نقدی و نمودار انباشت وابسته به آن در طول عمر اقتصادی طرح

مهم‌ترین دغدغه هر طرح سرمایه‌گذاری، برآورد صحیحی از سوددهی آینده آن طرح و انطباق هر چه بیشتر پیش بینی‌های امروز با واقعیت‌های آینده است. نمودارهای جریان نقدی، به عنوان ابزار و روشی مناسب مبتنی به جزئیات دقیق اقتصادی یک طرح سرمایه‌گذاری، داده‌ها و اطلاعات لازم برای تصمیم‌گیری در مورد اولویت داشتن یا نداشتن اجرای آن طرح را در اختیار می‌گذارند.

روش تحلیل هزینه-فایده

تحلیل هزینه-فایده روشی برای ارزیابی مزیت نسبی پروژه‌های سرمایه‌گذاری بر حسب تخصیص بهینه و کارآمد منابع است. هدف تحلیل هزینه- فایده، بهبود کارایی منابع در جهت رفاه اقتصادی است. به عبارتی دیگر، هدف از این ارزیابی، کمک به انتخاب بهترین نوع تصمیم‌گیری در جهت استفاده بهینه و مطلوب از منابع است. در تعریفی دیگر، تحلیل هزینه-فایده ترازویی برای اندازه‌گیری است. به طوری که همه مقادیر مثبت (جریان پول نقد و سودها) در یک طرف ترازو و همه مقادیر منفی (هزینه‌ها و زیان‌ها) در طرف دیگر ترازو قرار داده می‌شوند. این روش برای یافتن کلیه هزینه‌ها و فواید یک طرح و کمی کردن آن‌ها است، به طوری که تفاوت این دو نشانگر مقرون به صرفه بودن فعالیت تصمیم‌گیری است. در کشورهای در حال توسعه به دلیل کمبود منابع سرمایه، تخصیص آن در بهترین بخش‌های سرمایه‌گذاری امری حیاتی است. تحلیل هزینه-فایده طرح‌های اقتصادی در کشورهایی نظیر ایران که تقریباً به درآمدهای ارزی حاصل از فروش نفت متکی هستند، با توجه به شرایط حاکم بر تحولات انرژی در جهان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

برآورد هزینه‌ها و فواید

تحلیل هزینه- فایده پروژه با انتخاب میان روش‌های متفاوت اجرایی در ارتباط است، به طوری که ارزش یک روش تنها در مقایسه با سایر روش‌ها مرتبط می‌باشد. از این رو،

هزینه‌ها و فوائد ارزیابی پروژه در صورت اجرای پروژه به آن متعلق است و در غیر این صورت، به آن تعلق ندارد. فوائد و هزینه‌ها شامل فوائد و هزینه‌های آشکار و پنهان است. فوائد و هزینه‌های آشکار در بازار، قابل تعیین است ولی هزینه‌ها و فوائد غیر آشکار در بازار به راحتی قابل تعیین نیست. تا حد امکان، محققان سعی در وارد کردن عوامل غیر آشکار به شکل کمی در مباحث تحلیل هزینه-فایده کرده‌اند. مبنای ارزش‌گذاری هزینه‌ها و فوائد در ارزیابی پروژه به شرح زیر است.

۱- قیمت بازار: در صورت نبود نقص‌هایی مانند انحصار و بیکاری، بهترین مبنا برای قیمت‌گذاری هزینه ها و فوائد، قیمت بازار است.

۲- قیمت سایه‌ای: در صورت وجود نقص در بازار، قیمت سایه‌ای نشانگر هزینه اجتماعی یک کالا است. به عنوان مثال، برای نیروی بی‌کار، قیمت سایه‌ای، هزینه فرصت آن و نه دستمزد بازار است. زیرا به کارگیری نیروی انسانی در جای دیگر اقتصاد از میزان ستانده نمی‌کاهد. بنابراین، در این حالت دستمزد، هزینه فرصت نیست. البته، قیمت سایه‌ای معمولاً یک واژه کلی و دربرگیرنده همه طبقات است. هزینه فرصت، فایده صرف نظر شده به خاطر به‌کارگیری منابع کمیاب برای یک هدف خاص به جای به‌کارگیری آن در بهترین نوع استفاده آن است.

۳- ارزش‌گذاری احتمالی: این روش در صورت عدم وجود قیمت بازار استفاده می‌شود.

۴- انتخاب نرخ تنزیل: این انتخاب به عواملی مانند نرخ بازار، نرخ سود انتظاری حاصل از سرمایه‌گذاری در آینده، خصوصیات بنگاه و سطح اهمیت مدیریت بنگاه و سهام‌داران آن برای درآمدهای آینده بستگی دارد.

نحوه ارزیابی اقتصادی در پروژه‌های صرفه‌جویی انرژی

پروژه‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی از لحاظ فنی به روش‌های گوناگونی قابل اجرا هستند، اما ارزیابی اقتصادی سرمایه‌گذاری در این پروژه‌ها نشان می‌دهد که اجرای

کدامیک مقرون به صرفه‌تر است. تصمیم‌گیری در این زمینه توسط مدیریت و مبتنی بر سیاست‌های مصوب شرکت انجام می‌گیرد. برای انجام محاسبات مقدماتی بازپرداخت پول استقراضی یا ارزش‌یابی اقتصادی سرمایه‌گذاری به منظور اجرای طرح‌های مدیریت مصرف انرژی از چند رابطه ساده ریاضی استفاده می‌شود که علی‌رغم شکل ظاهری، مبنای نظری پیچیده‌ای ندارند.

این روابط، شامل متغیرهای زیر هستند:

i: نرخ سود در دوره مورد مطالعه

n: دوره زمانی برحسب سال

p: ارزش کنونی سرمایه

F: مبلغ معادل ارزش کنونی سرمایه پس از دوره زمانی n با نرخ سود i

دوره برگشت سرمایه ماده، مدت زمان لازم (عموماً بر حسب سال) برای جبران سرمایه‌گذاری اولیه از محل درآمدهای جریان نقدی خالص سالانه پروژه بهینه‌سازی مصرف انرژی است و به صورت زیر تعریف می‌شود:

درآمد و جریان نقدی خالص سالانه / سرمایه‌گذاری اولیه = دوره بازگشت سرمایه ساده

جدول (۴-۸) مروری بر روابط محاسبات اقتصادی

شماره	معرفی	رابطه	توضیحات
۱	$(1+i)^n = (F/P,i,n)$ ضریب مرکب پرداخت یکباره	$F = P[(1+i)^n]$	رابطه اصلی
۲	$\frac{1}{(1+i)^n} = (P/F,i,n)$ ضریب ارزش کنونی پرداخت یکباره	$P = F[\frac{1}{(1+i)^n}]$	روابط فرعی
۳	$\frac{i}{(1+i)^n-1} = (A/F,i,n)$ ضریب پرداخت منظم سالانه	$A = F[\frac{i}{(1+i)^n-1}]$	

۴	$\frac{(۱+i)^n-۱}{i}=(F/A,i,n)$ ضریب مرکب سری یکنواخت	$F=A[\frac{(۱+i)^n-۱}{i}]$	
۵	$\frac{i(۱+i)^n}{(۱+i)^n-۱}=(A/P,i,n)$ ضریب برگشت سرمایه	$A=P[\frac{i(۱+i)^n}{(۱+i)^n-۱}]$	
۶	$\frac{(۱+i)^n-۱}{i(۱+i)^n}=(P/A,i,n)$ ضریب ارزش کنونی سری یکنواخت	$P=A[\frac{(۱+i)^n-۱}{i(۱+i)^n}]$	

مثال: طرحی نیازمند سرمایه‌گذاری اولیه ۲۵۰ میلیون تومان و درآمد خالص سالیانه ۸۰ میلیون تومان است و پس از ۵ سال ارزش اسقاطی تجهیزات آن معادل ۱۱۰میلیون تومان خواهد بود. چنانچه طبق سیاست کارخانه، دوره قابل قبول برای بازگشت سرمایه ۲/۵ سال باشد و بر مبنای نرخ تنزیل ٪۱۵، آیا این طرح توجیه اقتصادی دارد؟

۳/۱۲۵=۲۵۰/۸۰= دوره برگشت سرمایه ساده بدون احتساب ارزش اسقاطی

۲/۴۴= دوره برگشت سرمایه ساده با احتساب ارزش اسقاطی

از رابطه ۲ جدول۴-۸، ضریب P/F محاسبه می‌شود. بنابراین مدیریت می‌تواند حالت دوم این طرح بهینه‌سازی را به اجرا در آورد. مزیت عمده ارزیابی اقتصادی به روش برگشت سرمایه، سادگی آن است. با این وجود این روش قادر نیست قابلیت سوددهی طرح‌های سرمایه‌گذاری را به‌طورکامل و دقیق محاسبه کند. زیرا درآمدها یا جریان نقدی حاصل از اجرای طرح پس از اتمام دوره برگشت سرمایه در آن منظور نشده‌اند. ضمن آن که ارزش زمانی پول نیز در این تحلیل به صورت مستقیم وارد نمی‌شود. با این همه، ارزیابی اقتصادی به روش برگشت سرمایه، بدون ورود به محاسبات وقت‌گیر و پیچیده، به سرعت و با دقتی قابل قبول نشان می‌دهد که سرمایه هزینه شده برای اجرای یک طرح چگونه برگشت داده می‌شود. این امر می‌تواند در فرآیند کلی تصمیم‌گیری برای تصویب یا عدم تصویب اجرای طرح‌های بهره‌وری انرژی نقش اساسی داشته باشد.

اجرا و پیاده‌سازی یک پروژه بهینه‌سازی مصرف انرژی، ناشی از یک فناوری از مرحله

ایده اولیه تا زمان بهره برداری شامل فازهای پیش سرمایه‌گذاری، سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری می‌باشد.

فاز پیش از سرمایه‌گذاری شامل مجموعه فعالیت‌هایی نظیر شناسایی فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی (مطالعات فرصت)، تحلیل گزینه‌های پروژه، انتخاب اولیه پروژه، ارائه تصویر روشن از پروژه (مطالعات امکان‌سنجی)، ارزیابی پروژه و تصمیمات سرمایه‌گذاری (گزارش ارزیابی مالی، اقتصادی و فنی) و طرح‌ریزی روش اجرایی انجام کار بوده و نتیجه، به صورت روش اجرایی و عملی انجام کار ارائه می‌شود.

در فاز سرمایه‌گذاری (فاز اجرا)، نسبت به پیاده‌سازی و اجرای برنامه عملیاتی احداث و راه‌اندازی طرح سرمایه‌گذاری اقدام می‌شود. در فاز بهره‌برداری (فاز اختتامیه)، سرمایه‌گذاری به مرحله بهره‌برداری و شروع صرفه‌جویی انرژی خواهد رسید. در ادامه، مراحل نحوه انجام ارزیابی اقتصادی راهکارهای بهبود بیان شده و امکان اخذ تصمیم برای پیشبرد سایر مراحل را فراهم نماید.

ضرورت‌های مطالعات پیش از سرمایه‌گذاری

مهم‌ترین منافع مطالعات پیش از سرمایه‌گذاری در اجرای راهکارهای بهبود شامل موارد زیر است:

- تخصیص بهینه منابع محدود سرمایه‌گذاری
- کاهش دامنه خطر احتمالی سرمایه‌گذاری
- برنامه‌ریزی مالی جهت تأمین مالی طرح
- فراهم نمودن زمینه‌های کنترل و نظارت بر طرح
- فراهم آوردن زمینه‌های موفقیت طرح
- دست‌یابی به هدف طرح یعنی صرفه‌جویی انرژی
- مطالعات پیش از سرمایه‌گذاری

مطالعات فرصت: هدف از چنین مطالعه‌ای تعیین سریع و ارزان حقایق برجسته و بارز یک قابلیت سرمایه‌گذاری است. این مطالعات، زمانی که به صورت عمومی و در کل فضای اقتصادی صورت می‌گیرد، شامل مطالعه فرصت‌های سرمایه‌گذاری در پروژه‌های مختلف بهبود می‌باشد. مطالعات فرصت به‌طور کلی بررسی می‌کند که آیا امکان سرمایه‌گذاری در یک پروژه مشخص وجود دارد یا خیر؟

مطالعات امکان‌سنجی: مطالعه امکان‌سنجی باید به عنوان یک مرحله میانی بین مطالعه فرصت پروژه و مطالعات دقیق و جزئی امکان‌سنجی در نظر گرفته شود. تفاوت موجود در درجه و میزان جزئی بودن اطلاعات حاصله و شدت بررسی گزینه‌های مختلف می‌باشد. چنین مطالعه‌ای معین می‌کند که:

- آیا همه گزینه‌های مختلف پروژه مورد بررسی قرار گرفته‌اند؟
- آیا مفهوم پروژه، مطالعات امکان‌سنجی را توجیه می‌کند؟
- آیا همه جنبه‌های پروژه برای امکان‌سنجی بحرانی هستند و آیا تحقیق عمیق‌تر از طریق مطالعات پشتیبانی مانند بررسی بازار ضروری می‌باشد؟
- بر پایه اطلاعات در دسترس و موجود، آیا ایده پروژه باید غیراجرایی و غیرعملی انگاشته شود و یا برای سرمایه‌گذاری گروهی از سرمایه‌گذاران مشخص، به قدر کافی جذاب می‌باشد؟
- آیا شرایط زیست محیطی در مکان طرح‌ریزی شده و تأثیر بالقوه فرآیندهای تولیدی پیش‌بینی شده، با استانداردهای ملی هم‌جهت است؟

ارزیابی اقتصادی فرصت صرفه‌جویی انرژی و محاسبه و تحلیل شاخص‌های مورد نیاز ارزیابی بهتر است بر روش‌های تنزیل و تحلیل حساسیت مبتنی باشد. در ارزیابی، باید معیار سودآوری پروژه با استفاده از معیارهای ارزش فعلی خالص، شاخص سودآوری، نرخ بازده داخلی، دوره بازگشت سرمایه ساده و متحرک، تحلیل نقطه سر به سر و تحلیل حساسیت استفاده کرد.

یکی از محورهای مهم مطالعات امکان‌سنجی پروژه، ارزیابی اقتصادی آن است. هر پروژه صرف‌نظر از نوع و اندازه، باید صرفه اقتصادی داشته باشد. نحوه مواجهه در ارزیابی اقتصادی پروژه‌های بخش خصوصی و دولتی قدری با یکدیگر متفاوت است. در پروژه‌های بخش خصوصی بهینه کردن منافع از موضع سرمایه‌گذار ارزیابی می‌گردد و ممکن است منافع یا مضرات اجتماعی یک سرمایه‌گذاری کمتر مورد توجه قرار گیرد. در صورتی که در پروژه‌های دولتی از آن جهت که منظور از سرمایه‌گذاری، رفاه حال عامه مردم است منافع و مضرات عمومی یک سرمایه‌گذاری مورد توجه قرار می‌گیرد و لذا از طریق مقایسه مجموعه منافع و مضرات تحلیل و ارزیابی اقتصادی آن صورت می‌پذیرد.

مراحل اساسی ارزیابی اقتصادی

۱- شناسایی تعداد پروژه‌های بهبود در راستای اهداف ذی‌نفعان جهت سرمایه‌گذاری

۲- تعیین افق برنامه‌ریزی برای تحلیل اقتصادی

۳- مشخص نمودن نیم‌رخ جریان نقدینگی برای هر پروژه

۴- تعیین حداقل نرخ بازده جذاب سرمایه‌گذار (نرخ تنزیل)

۵- تعیین ملاک و معیار سنجش سرمایه‌گذاری جهت قبول یا رد گزینه‌ها

۶- تحلیل حساسیت نتایج، نسبت به تغییرات احتمالی در پیش‌فرض‌های غیرمطمئن

۷- قبول یا رد گزینه‌ها و اولویت‌بندی آن‌ها

منظور از تنوع آلترناتیوها، انواع روش‌هایی است که هر کدام با جریان مالی مخصوص به خود موجب تأمین نیاز مربوطه می‌شود و لذا تحلیل اقتصادی، انتخاب کم‌هزینه این روش را مورد توجه قرار می‌دهد.

منظور از افق برنامه‌ریزی، مدت زمانی است که مدیریت سرمایه‌گذاری با توجه به کلیه نامعلومات و عدم اطمینان‌ها نسبت به آینده، برای دوره‌های سرمایه‌گذاری تعیین می‌نماید.

هزینه فرصت، بیانگر بازدهی است که می‌توانست از بهترین فرصت سرمایه‌گذاری جایگزین که از دست رفته است به دست آید. فرصت‌های از دست رفته ممکن است شامل هرگونه سرمایه‌گذاری مالی یا برنامه مقبول اجتماعی باشد و محدود به پروژه‌های سرمایه‌گذاری نمی‌شود.

اگر جریان نقدینگی در طول افق برنامه‌ریزی بر مبنای ریال جاری باشد «حداقل نرخ بازده جذاب نیز باید متناسب با نرخ سود جاری (سود واقعی به اضافه تورم یا کاهش ارزش پول) باشد و اگر جریان نقدینگی بر مبانی ریال ثابت (عدم تغییر قدرت خرید پول) باشد، نرخ بازده جذاب نیز باید متناسب با نرخ بهره واقعی (یعنی نرخ سود بازار منهای نرخ تورم) در مدت سرمایه‌گذاری باشد.

از آنجا که حداقل نرخ بازده جذاب برای یک شرکت در درازمدت ثابت نیست و تابعی از شرایط زمانی است، سرمایه‌گذاری‌های بلندمدت هزینه فرصت سرمایه بیشتری را موجب می‌شوند و لذا محاسبه یک نرخ ثابت در طول افق برنامه‌ریزی دراز مدت مغایر واقعیت است؛ لیکن عملاً در تحلیل‌های اقتصادی نرخ متوسط بیشتری را برای سرمایه-گذاری‌های درازمدت پیش‌بینی نموده و تحلیل اقتصادی صورت می‌گیرد. البته بررسی حساسیت نتایج ارزیابی برای تغییرات در حداقل نرخ بازده جذاب می‌تواند در تصمیم-گیری مؤثر باشد.

معیارهای سنجش سود سرمایه‌گذاری و ارزیابی اقتصادی

چندین معیار برای سنجش سود وجود دارد. بعضی از این معیارها اندازه سود را در یک مقطع زمانی نشان می‌دهد و بعضی دیگر نرخ بازده سرمایه‌گذاری را در هر دوره زمانی که سرمایه در جریان کاربری است، نشان می‌دهد. یکی از معیارها نیز که به عنوان معیار کمکی مورد استفاده قرار می‌گیرد، سرعت بازگشت سرمایه یا دوره استرداد را محاسبه می‌کند.

عدم قطعیت و مخاطره

ارزیابی اقتصادی پروژه متکی به پیش‌فرض‌هایی است که غالباً با قطعیت روبرو نیستند و لذا تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان صورت می‌پذیرد. نکته بسیار مهم در تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان ملاحظه و شناسایی درجه حساسیت نتایج ارزیابی اقتصادی نسبت به تغییرات در یک یا چند متغیر پیش‌فرض محاسباتی است. در مواردی که در شرایط نامعلوم با یک سرمایه‌گذاری سروکار داریم، سهم تغییر ویژه بررسی می‌شود. این سهم تغییر عبارتند از درآمد فروش، هزینه‌های تولید یا بهره‌برداری و هزینه‌های سرمایه‌گذاری.

دلایل عمده نامعلوم بودن وضعیت در آینده عبارتند از: تورم، تغییرات تکنولوژی، برآورد کاذب ظرفیت عملیاتی و طولانی شدن دوره اجرای پروژه. به موارد فوق باید محدودیت دقت در برآوردهای درآمد و هزینه را (که به محدودیت اطلاعات مطالعه کننده و تجربه وی در کارهای مشابه بستگی دارد) اضافه نمود. حوادث غیرمترقبه و تغییر و تحولات سیاسی و اجتماعی و در نتیجه اقتصادی نیز از جمله شرایط نامعلوم در سرمایه‌گذاری است. افق برنامه‌ریزی دراز مدت، شرایط عدم اطمینان در برآوردها را تقویت می‌نماید و به همین دلیل خطر احتمالی سرمایه‌گذاری را افزایش می‌دهد. از جمله روش‌هایی که در تحلیل شرایط عدم اطمینان مورد توجه قرار می‌گیرند، تحلیل نقطه سربه سر و تحلیل حساسیت می‌باشد.

روش تحلیل نقطه سر به سر

در روش نقطه سربه سر، ارزش کنونی درآمدها و هزینه‌ها برای سطحی از ظرفیت تولید برابر می‌شوند. افزون بر آن سطح سودآوری شروع می‌شود و کمتر از آن ضرر سرمایه‌گذاری می‌باشد. لذا می‌توان حساسیت سودآوری پروژه را برای سطوح مختلف ظرفیت تولید مورد سنجش قرار داد. از رابطه بین x در نتیجه معادلات بالا نقطه سربه سر

ظرفیت و هزینه (p) و تفاوت قیمت فروش واحد (FC) هزینه‌های ثابت محاسبه می‌شود. بنابراین چند نتیجه عملی (v)های متغیر واحد از تحلیل نقطه سربه سر به دست می‌آید:

- یک نقطه سربه سر بالا، نامتناسب است. زیرا شرکت را در مقابل تغییرات سطح تولید (فروش) آسیب‌پذیر می‌سازد.
- هر قدر هزینه‌های ثابت بالاتر باشد، نقطه سربه سر نیز بالاتر خواهد بود.
- هر قدر تفاوت بین قیمت فروش واحد و هزینه‌های عملیاتی متغیر بیشتر باشد، نقطه سربه سر پایین‌تر خواهد بود. در حقیقت این تفاوت بین قیمت فروش واحد و هزینه‌های عملیاتی واحد است که هزینه‌های ثابت را جذب می‌نماید. لذا استفاده از تحلیل نقطه سربه سر می‌تواند برای تعیین اثر تغییرات در قیمت‌های واحد و هزینه‌های تولید اعم از متغیر و ثابت مفید باشد.

روش تحلیل حساسیت

در روش تحلیل حساسیت نتایج ارزیابی اقتصادی سرمایه‌گذاری در مقابل تغییرات یکی از متغیرهای از پیش فرض شده سنجیده می‌شود. مطلوب محاسباتی، تعیین محدوده تغییرات در یک پارامتر از پیش فرض‌ها است که کماکان ارزیابی اقتصادی سرمایه‌گذاری را موجه نگه می‌دارد. در نتیجه این تحلیل، اگر حساسیت ارزیابی اقتصادی نسبت به یک متغیر زیاد باشد و احتمال نوسان و تغییر آن متغیر نیز زیاد پیش‌بینی شود، سرمایه‌گذاری از حاشیه اطمینان کمی برخوردار بوده و ممکن است غیرموجه ارزیابی شود. شکل زیر مدلی از درجه حساسیت ارزش خالص کنونی را نسبت به تغییرات متغیرهای مفروض در یک جریان نقدینگی نمایش می‌دهد. ملاحظه می‌شود بیشترین حساسیت‌ها نسبت به تغییرات پیش‌بینی درآمد خالص سالانه و نرخ بازگشت سرمایه (سود سرمایه‌گذاری) است.

جهت انجام ارزیابی اقتصادی می‌توان از نرم‌افزارهای رایانه‌ای مانند نسخه‌های مختلف

نرم‌افزار اکسل استفاده نمود. برای انجام یک ارزیابی دقیق اقتصادی با تحلیل‌های مربوطه نظیر تحلیل حساسیت باید از نرم‌افزارهای حرفه‌ای که بدین منظور تولید شده‌اند استفاده نمود. یکی از این برنامه‌ها، نرم‌افزار COMFAR (مدل کامپیوتری برای تجزیه و تحلیل امکان‌سنجی و گزارش‌گیری) است. نکته مهمی که در بحث ارزیابی مالی و اقتصادی طرح وجود دارد، استفاده از یک روش استاندارد در تعریف متغیرهای موجود و نیز روش محاسبات شاخص‌ها می‌باشد، به طوری‌که نگرش‌های متفاوت به یک موضوع خاص، باعث می‌شود که نتایج یکسان حاصل نشود، به این منظور برای به دست آوردن شاخص‌های اقتصادی مختلف ارزیابی طرح از نرم‌افزار تخصصی و استاندارد این موضوع که توسط سازمان توسعه صنعتی ملل متحد تهیه شده است، استفاده می‌شود. این نرم‌افزار دارای مزایایی از قبیل انجام محاسبات براساس استانداردهای بین‌المللی، ساده بودن روش‌های کار و هدایت کاربر، سرعت و دقت بالا در پردازش داده‌های ورودی است.

الف- دوره بازگشت سرمایه

دوره بازگشت سرمایه یک روش تقریبی برای مقایسه اقتصادی طرح‌ها است. رابطه کلی محاسبه دوره بازگشت سرمایه به صورت زیر است. $-I + \sum_{t=1}^{n}(CF)t=0$

در رابطه فوق CF، نشانگر جریانات نقدی سالیانه در پایان سال tام، I هزینه‌های سرمایه‌گذاری، n دوره بازگشت سرمایه و t تعداد سال‌ها است.

براساس این روش، پروژه دارای دوره بازگشت سرمایه کوتاه‌تر، اقتصادی‌تر است. زیرا بسیاری از کارفرمایان به دلیل خطر گریز بودن، ترجیح می‌دهند که اصل سرمایه در کوتاه‌ترین زمان برگشت داده شود. البته، این روش، ارزش پول و نیز دوره برگشت سرمایه را نادیده می‌گیرد.

ب- ارزش خالص فعلی

ارزش خالص فعلی یک پروژه سرمایه‌گذاری در واقع تفاوت بین جریانات نقدی تنزیل شده مورد انتظار و سرمایه‌گذاری اولیه است.

اگر I میزان سرمایه سال صفر و B_1 تا B_n درآمدهای صرفه‌جویی حاصل از اجرای راهکارها در سال‌های اول تا و C_1 تا C_n هزینه‌های پروژه در سال‌های مختلف باشد، ارزش فعلی تنزیل شده پروژه به صورت زیر است.

$$NPV= - I + \frac{(B_۱ - C_۱)}{(۱ + r)} + \frac{(B_۲ - C_۲)}{(۱ + r)^۲} + \ldots + \frac{(B_n - C_n)}{(۱ + r)^n}$$

که می‌توان آن را به صورت زیر خلاصه کرد:

$$NPV= \sum_{t=۱}^{n} \frac{(B_t - C_t)}{(۱ + r)^t} - I$$

در ارزیابی یک طرح بهینه‌سازی مصرف انرژی بر اساس این روش، درصورتی‌که NPV طرح بزرگ‌تر یا مساوی صفر باشد، اجرای پروژه بهبود، دارای توجیه اقتصادی است. در غیر این صورت توجیه اقتصادی ندارد. در این روش، در شرایط مساوی، طرحی که دارای ارزش فعلی خالص بیشتر یا ارزش هزینه‌های فعلی کمتر باشد، انتخاب می‌شود. در این روش، ضمن لحاظ ارزش زمانی پول، عمر پروژه نیز در نظرگرفته می‌شود.

ج-نرخ بازده داخلی

نرخ بازده داخلی، نرخ تنزیلی است که در آن NPV مساوی صفر است. به عبارتی دیگر، نرخ بازده داخلی، نرخ تنزیلی است که براساس آن ارزش فعلی فواید برابر با ارزش فعلی هزینه‌ها است. با قرار دادن NPV مساوی با صفر و با مجهول در نظر گرفتن r، نرخ بازده داخلی به صورت زیر قابل محاسبه است.

$$\sum_{t=۱}^{n} \frac{(B_t - C_t)}{(۱ + r)^t} - I = 0$$

در این حالت IRR حاصل شده با نرخ تنزیل مورد نظر (مثلاً نرخ بهره بازار) مقایسه می‌شود. در صورت بزرگ‌تر یا مساوی بودن IRR از نرخ تنزیل مورد نظر، طرح بهبود، توجیه اقتصادی دارد. در غیر این صورت، طرح توجیه اقتصادی ندارد. مزیت عمده این روش در نشان دادن نرخ واقعی بازده سرمایه‌گذاری است.

د- روش نسبت فایده به هزینه

نسبت فایده به هزینه، از تقسیم ارزش فعلی فوائد به ارزش فعلی هزینه‌ها به صورت زیر حاصل می‌شود. براساس این روش، در صورت بزرگ‌تر یا مساوی بودن نسبت فایده به هزینه، طرح دارای توجیه اقتصادی است. در غیر این صورت، طرح اقتصادی نیست.

$$BCR = \frac{\sum_{t=1}^{n} \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^{n} \frac{C_t}{(1+r)^t}}$$

مشکلات و محدودیت‌های به‌کارگیری تحلیل هزینه-فایده

الف- مهم‌ترین مشکل تحلیل هزینه-فایده مربوط به دخالت دولت در اقتصاد است. یارانه‌ها، مالیات‌ها، موانع تجاری، سیاست‌های حمایتی از جمله موارد بر هم‌زننده سازوکار طبیعی بازار است. در چنین حالتی، قیمت‌ها با هزینه فرصت، فاصله دارند و درستی اطلاعات و آمار در تحلیل هزینه-فایده به علت غیرممکن بودن ارزیابی صحیح مورد تردید است. از این رو، ارزیابی همه تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم یک طرح زیربنایی در افق بلندمدت با سختی همراه است. به عنوان مثال، تأثیرات بلندمدت طرح‌های زیربنایی بر مسائل زیست‌محیطی به صورت کامل قابل اندازه‌گیری نیست.

ب- یکی دیگر از مسائل هزینه-فایده، مشکل محاسبه مجدد هزینه‌ها و فواید در برخی از موارد است.

ج- مسأله دیگر، کمّی کردن بسیاری از متغیرهای غیرملموس با وزن بیشتر (در برخی از موارد) نسبت به متغیرهای قابل لمس است. این موضوع تا حدود زیادی بر نتایج ارزیابی تأثیرگذار است. از طرفی دیگر، بعضی از انتقادها به روش تحلیل هزینه فایده در ارتباط با استفاده از نرخ بهره بلندمدت بازار تحت عنوان نرخ تنزیل است. زیرا نرخ‌های پایه‌ریزی شده براساس معاملات بازار برای انتخاب‌های غیربازاری مناسب نیستند.

د- تحلیل هزینه- فایده یک سری محدودیت‌های دیگری نیز دارد که جزء مسائل

جدانشدنی در ارزیابی طرح‌ها هستند. شکاف و عدم اطمینان در دسترسی بـه آمـار و اطلاعـات، اشتباهات پیش‌بینی و انتخاب نرخ تنزیل نامناسب، منشأ ایجاد خطا در ارزیابی هستند.

ه- البته، مشکلاتی چون فناوری نامناسب، سیستم‌های حمـایتی و سـاختاری، مشـکلات اجرایی و سیاست‌های زیست‌محیطی نیز از دیگر محدودیت‌های تحلیل هزینه- فایده است.

۴-۴ تعیین متدلوژی اولویت‌بندی راهکارها

همان‌طور که پیشتر اشاره شد انواع راهکارهای بهبود بهره‌وری انرژی عبارتند از:

- راهکارهای تغییر نگرش (بدون/کم هزینه)
- راهکارهای تغییرات جزیی فرآیند (با سرمایه‌گذاری پایین/متوسط)
- راهکارهای با تغییرات کلی فرآیند/فناوری (با سرمایه‌گذاری بالا)

مسلماً راهکارهای بدون هزینه کـه در تغییـر نگـرش سـطوح مختلـف کارکنـان مـؤثر هستند و موجب ارتقای سطح حساسیت مدیران ارشد و میانی، آگاهی کارشناسان کلیـدی و فرهنگ عموم کارکنان و در نتیجه افزایش بهره‌وری انرژی می‌شود، در اولویت هستند.

انجام مناسب بخش‌های قبلی ممیزی انرژی منجر به ایجاد لیست متعددی از ایده‌ها، راهکارها و فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی خواهد شد که البته مسلماً این لیست بـا توجـه به محدودیت‌های منابع اعم از زمان، هزینه، نیروی انسانی ماهر و ... پس از اولویت‌بنـدی راهکارها کاهش خواهد یافت. در ادامه، معیارهای اولویت‌بندی راهکارهـای صـرفه‌جـویی انرژی نیازمند سرمایه‌گذاری های متفاوت، آمده است.

۴-۴-۱ معیارهای اولویت‌بندی راهکارها

۱- هم‌راستایی اجرایی راهکار با راهبرد شرکت

۲- ایمنی و بهداشت شغلی

۳- زمان بازگشت سرمایه

۴- میزان و هزینه صرفه‌جویی مصارف انرژی

۵- میزان سرمایه‌گذاری

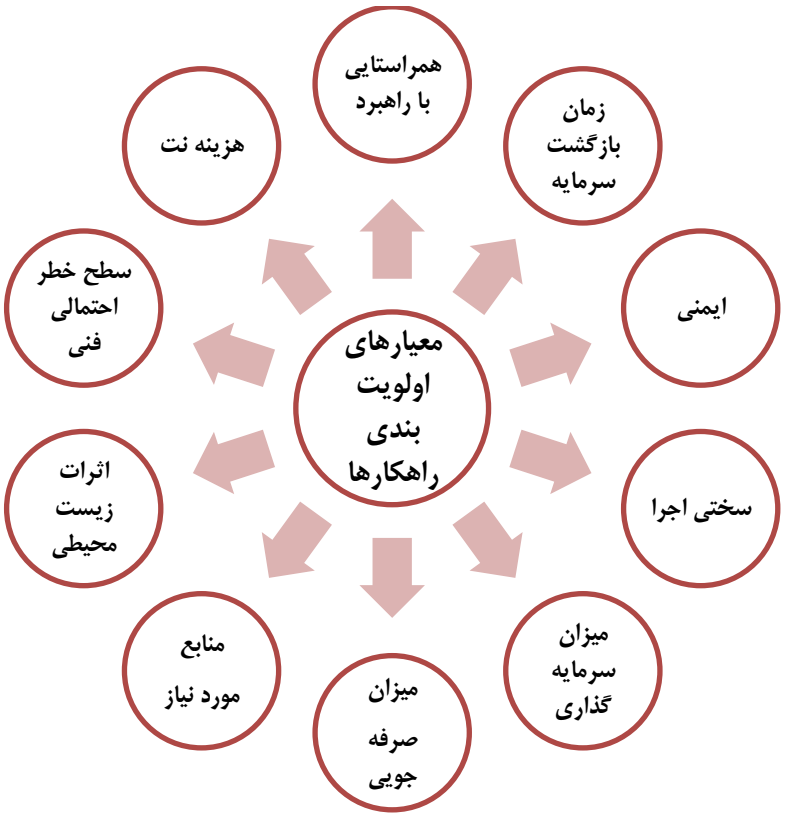
۶- سختی اجرا

۷- هزینه نگهداری و تعمیرات

۸- منابع مورد نیاز

۹- سطح خطر احتمالی فنی در تغییرات پیشنهادی

۱۰- اثرات زیست‌محیطی اجرای راهکار



شکل (۴-۲۱) معیارهای اولویت‌بندی راهکارها

۴-۴-۲ هم‌راستایی با راهبرد شرکت

اولین و مهم‌ترین معیار انتخاب راهکار یا فرصت صرفه‌جویی انرژی آن است که آیا فرصت یا راهکار مذکور، هم‌راستا با راهبرد یا استراتژی شرکت است یا خیر؟ پاسخ مثبت به این پرسش به معنای اجرایی بودن فرصت و پاسخ منفی به معنای عدم اجرای فرصت می‌باشد. مهم‌ترین نکته در مورد امتیاز این معیار آن است که اگر راهکار با راهبرد شرکت هم‌خوانی نداشته باشد راهکار، اجرایی نخواهد بود، چون امتیاز آن صفر خواهد شد.

برای مثال اگر فرصت صرفه‌جویی انرژی برای کارخانه‌ای قدیمی و در حال بسته شدن است، اجرای راهکارهای بهبود توجیهی ندارد و آن فرصت با شکست مواجه می‌شود. امتیازبندی این معیار به صورت زیر است:

جدول (۴-۹) ارزیابی هم‌راستایی راهکار با راهبرد شرکت

شماره	هم‌راستایی راهکار با راهبرد	امتیاز
۱	بلی	۱
۲	خیر	۰

۴-۴-۳ ارزیابی مالی اقتصادی

دومین معیار مهم برای اولویت‌بندی فرصت‌های بهره‌وری انرژی، بازگشت سرمایه محاسبه شده طبق یکی از روش‌های تحلیل و ارزیابی مالی اقتصادی برای راهکارهای با سرمایه‌گذاری است. این یک مقیاس عددی، ساده و قابل فهم است که هر چه بازگشت سرمایه کمتر باشد، امتیاز آن در اولویت‌بندی بالاتر خواهد بود. یکی از بهترین روش‌های تحلیل اقتصادی که البته مفهومی پیچیده‌تر و دشوارتر از بقیه روش‌های تحلیل دارد، روش تحلیل ارزش خالص کنونی است. البته برای تشریح چگونگی اجرای هر یک از روش‌های تحلیل اقتصادی باید از کارشناسان مالی شرکت بهره گرفت. همانطور که در ادامه آمده است امتیاز راهکاری که زیر دو سال برگشت سرمایه داشته باشد، ۶ برابر

راهکاری است که بیش از ۵ سال سرمایه‌گذاری آن بازگشت داشته باشد. امتیازبندی این معیار به صورت زیر است:

جدول (۴-۱۰) ارزیابی مالی اقتصادی

شماره	زمان بازگشت سرمایه	امتیاز
۱	کمتر از ۲ سال	۳
۲	بیشتر از ۲ سال و کمتر از ۴ سال	۲
۳	بیشتر از ۴ سال و کمتر از ۵ سال	۱
۴	بیشتر از ۵ سال	۰/۵

۴-۴-۴ ارزیابی سختی اجرا

این معیار با مقیاس عددی طبق جدول زیر نیز مهم است که برای طراحی فنی و اجرای یک راهکار بهبود، چقدر باید تلاش نمود. طبق جدول زیر راهکاری که هم از نظر فنی و هم از نظر اجرا ساده باشد دارای رتبه اولویت بالاتر و امتیاز اولویت سه برابر نسبت به اجرای راهکار سخت از نظر فنی و اجرا می‌باشد. امتیازبندی این معیار به صورت زیر است:

جدول (۴-۱۱) ارزیابی سختی اجرا

شماره	سختی اجرا	امتیاز	توضیحات
۱	آسان	۳	از نظر فنی، ساده-اجرای آسان
۲	متوسط	۲	از نظر فنی، متوسط-تغییرات جزئی در واحدهای عملیاتی
۳	سخت	۱	تغییرات فنی جدی-تغییرات عمده در فرآیند و واحدهای عملیاتی

۴-۴-۵ ارزیابی منابع موجود

این معیار، دارای یک مقیاس کیفی برای تعیین وزن تأثیر منابع ورودی برای اجرای

فرصت صرفه‌جویی انرژی است. مسلم است که هر چه نیروی انسانی و زمان برای اجرای راهکار بهبود کمتر باشد، اولویت اجرای آن راهکار بالاتر است.

جدول (۴-۱۲) ارزیابی منابع موجود

شماره	تأثیرمنابع	اجرای راهکار	امتیاز	توضیحات
۱	بالا	کمتر از ۲۰ نفر روز	۱	منابع داخلی (پرسنل عادی در دسترس)
۲	متوسط	کمتر از ۵۰ نفر روز	۲	منابع داخلی (پرسنل عادی در دسترس به همراه تعدادی از کارشناسان خبره فنی)
۳	پایین	بیشتر از ۵۰ نفر روز	۳	منابع داخلی گسترده اعم از تعدادی از کارشناسان خبره فنی به همراه منابع خارجی

۴-۴-۶ ارزیابی (خطر احتمالی) ریسک

این معیار، دارای یک مقیاس کیفی در مورد وزن ریسک‌ها در مفروضات و محاسبات مرتبط با ارزیابی هزینه فایده راهکارها و ارزیابی میزان و هزینه انرژی صرفه‌جویی در فرآیند دارای پتانسیل صرفه‌جویی انرژی است.

جدول (۴-۱۳) ارزیابی خطر احتمالی

شماره	خطر احتمالی	امتیاز	توضیحات
۱	پایین	۳	سهولت در ارزیابی هزینه- فایده، خطر احتمالی پایین در صرفه‌جویی انرژی و افزایش هزینه
۲	متوسط	۲	تلاش در ارزیابی هزینه- فایده، بلاتکلیفی در صرفه‌جویی انرژی راهکار پیشنهادی
۳	بالا	۱	تحقیقات ویژه در ارزیابی هزینه- فایده، صرفه- جویی انرژی نامعلوم در راهکار پیشنهادی

پس از تشکیل هریک از جداول امتیازدهی به معیارهای تعیین اولویت راهکارها، امتیاز نهایی اولویت‌بندی راهکارهای صرفه‌جویی انرژی از حاصل‌ضرب امتیازات کسب شده در ۵ جدول بالا یعنی جداول ۴-۹ تا ۴-۱۳به دست می‌آید. امتیاز یک راهکار می‌تواند از صفر با پایین‌ترین سطح اولویت یعنی عدم انجام راهکار تا امتیاز ۸۱ با بالاترین سطح اولویت یعنی اجرای سریع راهکار پیشنهادی تغییر نماید. در جدولی که در ادامه آمده است امتیاز و رتبه اولویت راهکارهای صرفه‌جویی انرژی تعیین می‌شود.

جدول (۴-۱۴) تعیین امتیاز راهکارهای صرفه‌جویی انرژی جهت اولویت‌بندی آن‌ها

شماره	نام راهکار	امتیاز معیارهای اولویت‌بندی					امتیاز راهکار	رتبه اولویت راهکار		
		هم‌راستایی با راهبرد	ارزیابی مالی اقتصادی	ارزیابی سختی اجرا	ارزیابی منابع موجود	ارزیابی خطر احتمالی				
		۰-۱	۰/۵-۳	۱-۳	۱-۳	۱-۳	۰-۸۱	بالا	متوسط	پایین
۱										
۲										
۳										
۴										
۵										
۶										

تعیین رتبه اولویت راهکارها که در بخش پایانی جدول ۴-۱۵ آمده است، به صورت زیر می‌باشد.

جدول (۴-۱۵) شناسایی رتبه اولویت راهکارهای صرفه‌جویی انرژی

شماره	محدوده امتیاز	اولویت	اقدام
۱	۳۶-۸۱	بالا	این راهکار باید در اولویت اجرا قرار گیرد.
۲	۱۶-۳۵	متوسط	باید با بهبود امتیاز در اولویت قرار گیرد.
۳	۰-۱۵	پایین	در حال حاضر اولویت اجرا ندارد ولی باید در آینده مجدداً ارزیابی شود.

۴-۵ تعیین محدودیت‌ها و موانع فنی و تکنولوژیکی اجرای راهکارها

با توجه به آن که یک راهکار، ابتدا باید ایده‌پردازی و پیشنهاد شده، سپس طراحی فنی و اجرا شود، لذا این سری از فعالیت‌های مرتبط با راهکارهای بهبود وضعیت کیفیت و کمیت جریان انرژی در یک شرکت، برحسب نیروی انسانی مورد نیاز می‌تواند به سه صورت انجام پذیرد:

الف- پیشنهاد، طراحی مهندسی و اجرای راهکار توسط خود کارکنان شرکت (عمدتاً کارشناسان ماهر و کلیدی شرکت)

ب- پیشنهاد و طراحی مهندسی راهکار توسط مشاور و اجرا توسط خود کارکنان شرکت

ج- پیشنهاد و طراحی مهندسی راهکار توسط مشاور، نظارت توسط خود کارکنان شرکت و اجرا توسط پیمانکاران با صلاحیت

با توجه به انواع فرصت‌های صرفه‌جویی یعنی راهکارهای تغییر نگرش (بدون/کم هزینه)، راهکارهای تغییرات جزئی فرآیند (با سرمایه‌گذاری پایین/متوسط) و راهکارهای با تغییرات کلی فرآیند فناوری (با سرمایه‌گذاری بالا)، ممکن است یک شرکت در اجرای هر یک از راهکارها، با محدودیت‌ها و موانعی مواجه شود که البته با توجه به معیارهای مذکور در بخش قبلی گزارش، امتیاز و رتبه اولویت اجرای راهکار را کاهش خواهد داد.

این محدودیت‌ها و موانع می‌توانند از نظر محتوا و ماهیت راهکار، راهبردی، مالی، زیست‌محیطی و فنی باشند.

در ادامه به برخی از این موانع و محدودیت‌ها اشاره شده است:

۱- محدودیت‌های راهبردی

- عدم وجود سیستم متمرکز مدیریت انرژی در کشور
- عدم تعریف راهبرد انرژی شرکت که همان امنیت پایدار انرژی در شرکت است
- عدم هم‌راستایی اجرای راهکار با راهبرد شرکت
- عدم درک و حمایت مناسب ذی‌نفعان و مدیران ارشد شرکت (به عنوان تصمیم‌گیران نهایی) از راهکار
- عدم درک و همکاری مدیران میانی شرکت (به عنوان تصمیم‌سازان نهایی) از راهکار
- عدم آگاه‌سازی مناسب عموم کارکنان شرکت (به عنوان بهره‌برداران نهایی) از نتایج مطلوب اجرای راهکار
- عدم اولویت بهره‌وری انرژی در شرکت به علت واقعی نبودن حامل‌های انرژی، نبود قانون یا استانداردهای سختگیرانه مصرف انرژی در شرکت، صنعت، کشور و ...
- عدم وجود ساختار مناسب مدیریت انرژی در شرکت
- عدم وجود نظام پیشنهادات بهره‌وری انرژی در شرکت جهت افزایش سطح تعهد، مشارکت و انگیزه کارکنان با طرح ایده‌های صرفه‌جویی انرژی

۲- محدودیت‌های مالی

- محدود بودن حمایت مالی دولتی از شرکت‌های تولیدی برای ایجاد انگیزه آن‌ها در طراحی، ساخت و اجرای راهکارهای بهبود

- محدودیت در منابع مورد نیاز (بودجه ناکافی برای طراحی، ساخت و اجرای طرح به علت موقعیت مالی ممیزی شونده)
- عدم درک فنی سرمایه‌گذار از راهکار (سهام‌داران یا ذی‌نفعان، بانک یا مؤسسات مالی و ...)
- عدم وجود شرکت‌های اسکو به معنای واقعی برای مشارکت در سرمایه‌گذاری (طراحی فنی و اجرای راهکارها)
- میزان بالای سرمایه‌گذاری و عدم تأمین منابع مالی حتی برای طرح‌هایی با میزان صرفه‌جویی انرژی بالا

۳- محدودیت‌های زیست‌محیطی و ایمنی

- کاهش ایمنی و بهداشت شغلی در طول و پس از اجرای راهکار
- اثرات زیانبار زیست محیطی اجرای راهکار

۴- محدودیت‌های فنی

- سختی طراحی فنی و مهندسی و اجرای راهکار به علت عدم اجرای راهکار پیشنهادی در صنایع مشابه،کشور، بین‌المللی یا وجود تکنولوژی بالا و پیچیده طراحی و اجرا
- سطح خطر احتمالی فنی بالا در تغییرات پیشنهادی
- مدت زمان زیاد بازگشت سرمایه‌گذاری که صرف اجرای راهکار می‌شود
- میزان کم صرفه‌جویی انرژی
- هزینه بالای نگهداری و تعمیرات
- عدم قابلیت و مهارت کافی کارشناسان کلیدی به علت آموزش ناکافی
- تکنولوژی موجود ناکافی ناشی از کمبود اطلاعات یا اعمال محدودیت‌های بین‌المللی برای دسترسی کامل به آن

- کمبود نیروهای ماهر مشاور و پیمانکار در طراحی، ساخت و اجرای فعالیت‌های صرفه‌جویی انرژی.

۴-۶ تعیین الزامات ارائه هر راهکار صرفه‌جویی انرژی

۴-۶-۱ الزامات ارائه راهکار

الزامات اجرای یک راهکار صرفه‌جویی انرژی، توجیهاتی مستدل و مستند خواهد بود که به سرمایه‌گذار پروژه باید ارائه شود. هر راهکار برای اجرا باید آن راهکار دارای رتبه و امتیاز اولویت اجرا به علاوه چهار توجیه زیر باشد:

۱- توجیه فنی

۲- توجیه اقتصادی

۳- توجیه زیست‌محیطی

۴- توجیه اجتماعی

شکل (۴-۲۲) الزامات ارائه راهکار

۴-۶-۲ توجیه فنی راهکار

برای ارائه توجیه فنی راهکار، باید به میزان انرژی صرفه‌جویی شده ناشی از اجرای راهکار، اشاره نمود.

البته در کنار این بهبود در میزان مصرف انرژی، باید بهبود و صرفه‌جویی‌های در موارد دیگر غیر از انرژی پس از اجرای راهکار را نیز در نظر گرفت که البته ممکن است قابل محاسبه دقیق نباشند، ولی باید در تحلیل اقتصادی هر پروژه بهبود آن‌ها را بیان نمود تا در تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری بهتر اجرای پروژه‌ها توسط مدیران، مورد توجه قرار گیرند.

در تشریح اثرات مثبت اجرای راهکارها در موارد غیرانرژی می‌توان گفت که با اجرای برخی راهکارهای بهبود، به خرید و نصب ظرفیت‌های بالاتر نیروگاهی یا واحدهای تامین کننده انرژی (یوتیلیتی) یا بارهای جدید نیازی نیست. به‌طور مثال با اصلاح و کاهش هوای نامناسب مورد استفاده در کمپرسور، احتیاجی به راه‌اندازی خط جدید و تحمیل هزینه اضافی نیست. بهبود تولید نیز یکی از اثرات مثبت جانبی اجرای برخی از راهکارهای بهبود است که علاوه بر افزایش ظرفیت تولید، موجب کاهش شدت انرژی می‌شود. همچنین پس از اجرای پاره‌ای از راهکارها، با کنترل بهینه انرژی ورودی به تجهیز، زیرفرآیند، واحد عملیاتی و کاهش تغییر در عملیات تولید، مشخصات محصول خروجی کمتر دستخوش تغییر خواهد شد و این به معنی افزایش کیفیت تولید است. لذا افزایش کیفیت تولید از اثرات جانبی مهم و ارزشمند اجرای راهکارهای بهبود می‌باشد. از طرفی در کارخانه‌ها و نیروگاه‌هایی که انرژی حرارتی و الکتریکی تولیدی، ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی است، کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی موجب کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از احتراق به ویژه دی‌اکسیدکربن و متان به فضا خواهد شد. این کاهش انتشار، علاوه بر کمک به کاهش

کمتر آلودگی محیط زیست موجب کاهش سرمایه‌گذاری شرکت‌ها در بخش زیست‌محیطی (هزینه کمتر توسعه فضای سبز مثلاً کاشت درختان) و افزایش سود آن‌ها می‌شود.

همچنین با اجرای راهکارهای بهبود، میزان مصرف سوخت‌های فسیلی نیروگاه‌های برق و نیز فشار بر روی شبکه به واسطه کاهش پیک بار، کاهش خواهد یافت و این به معنای افزایش ضریب اطمینان و امنیت پایدار انرژی تولیدکنندگان انرژی می‌باشد.

از مزایای دیگر اجرای پروژه‌های بهبود که در تحلیل فنی راهکارها باید لحاظ شود، کاهش حوادث ایمنی و در نهایت بهبود ایمنی و بهداشت شغلی به سبب اجرای برخی راهکارها است. حوادثی که بروز آن‌ها موجب تحمیل هزینه‌های زیر به شرکت خواهد شد:

الف- توقف ناخواسته و برنامه‌ریزی نشده و کاهش تولید

ب- کاهش نیروی انسانی در مقطع زمانی بهبود کارکنان آسیب دیده

ج- هزینه بررسی علت بروز حادثه توسط تیم منتخب

د- هزینه درمان پزشکی

ه- اثرات نامطلوب روحی بر سایر کارکنان.

خروجی‌های یک توجیه فنی پروژه‌های بهبود عبارتند از:

- میزان انرژی صرفه‌جویی شده پس از اجرای راهکار
- میزان صرفه‌جویی هزینه‌ای (ریالی) اجرای راهکار= صرفه‌جویی ریالی انرژی+ صرفه‌جویی ریالی موارد دیگر
- میزان کاهش مصرف ویژه انرژی محصول شرکت، واحد، فرآیند، زیرفرآیند

جدول (۴-۱۶) محاسبه صرفه‌جویی انرژی پس از ارائه راهکار

کد راهکار: ..... **نام راهکار:**						
میزان مصرف انرژی تجهیز/فرآیند/واحد/کارخانه (گیگاژول)		میزان صرفه‌جویی انرژی (گیگاژول)	قیمت واحد انرژی (ریال)	میزان صرفه جویی انرژی (میلیون ریال)	٪ کاهش مصرف ویژه انرژی واحد/ کارخانه	توضیحات
قبل از اجرا	پس از اجرا					

جدول (۴-۱۷) محاسبه ریز صرفه‌جویی‌ها پس از ارائه راهکار در موارد دیگر (غیر انرژی)

کد راهکار: ..... **نام راهکار:**			
شماره	مورد صرفه‌جویی	میزان صرفه‌جویی (میلیون ریال)	توضیحات
۱	صرفه‌جویی در منابع دیگر		آب/ خوراک/ مواد اولیه/ ضایعات/ نگهداری- تعمیرات و کارکنان
۲	حذف/ تأخیر در سرمایه‌گذاری‌های دیگر		
۳	بهبود میزان تولید		
۴	بهبود کیفیت تولید		
۵	کاهش انتشار کربن		
مجموع صرفه‌جویی‌ها			

۴-۶-۳ توجیه اقتصادی راهکار

سرمایه‌گذاری در پروژه‌های صرفه‌جویی انرژی (چه کم و چه زیاد)، مستلزم تخمین و ارزیابی راهکارها از لحاظ اقتصادی می‌باشد. حال وقتی پیشنهاد ایده، به اجرای راهکار بخواهد تبدیل شود، ممکن است چندین بار و هر بار با دقت بیشتر این ارزیابی انجام پذیرد. البته برای اطمینان از دقت کافی در محاسبه جزییات تحلیل اقتصادی، ارزیابان و تحلیلگران باید دارای مهارت و تخصص کافی در بخش‌های مختلف محاسبه هزینه‌ها و صرفه‌جویی‌ها باشند. برای ارائه توجیه اقتصادی راهکار باید به زمان بازگشت سرمایه پس از اجرای راهکار طبق فرمول‌های زیر اشاره نمود.

تحلیل اقتصادی= مجموع هزینه‌های اجرای راهکار / هزینه متوسط سالیانه صرفه-جویی انرژی (۱)

زمان بازگشت سرمایه = سرمایه‌گذاری اولیه اجرای راهکار / هزینه متوسط سالیانه صرفه‌جویی انرژی طی ۴ سال (۲)

به‌طور مثال زمان بازگشت سرمایه پروژه صرفه‌جویی انرژی که برای اجرای آن ۴۰۰ میلیون ریال سرمایه‌گذاری شده است و در سال‌های اول، دوم، سوم و چهارم به ترتیب ۲۰۰، ۱۵۰، ۱۵۰ و ۱۰۰ میلیون ریال صرفه‌جویی از محل اجرای راهکار داشته است، ۲/۷ سال می‌باشد.

زمان بازگشت =(۴۰۰/(۲۰۰+۱۵۰+۱۵۰+۱۰۰) / ۴)= ۲/۷ سال

خروجی‌های بخش توجیه اقتصادی پروژه‌های بهبود عبارتند از:

- تعیین نوع روش تحلیل اقتصادی که انواع آن‌ها پیشتر تشریح گردیده است
- میزان سرمایه‌گذاری اجرای راهکار
- زمان اجرای راهکار
- زمان بازگشت سرمایه

در ادامه به نحوه تخمین و محاسبه میزان سرمایه‌گذاری مورد نیاز جهت اجرای راهکار در قالب جدول اشاره شده است. با تخمین میزان سرمایه‌گذاری اولیه و داشتن میزان صرفه‌جویی ریالی انرژی پس از اجرای راهکار که در بخش توجیه فنی محاسبه شده است، می‌توان به زمان بازگشت سرمایه که خروجی اصلی یک تحلیل اقتصادی راهکار است، دست یافت.

جدول (۴-۱۸) ریز هزینه سرمایه‌گذاری راهکار

کد راهکار: ..... **نام راهکار:**			
شماره	**منبع هزینه**	**میزان هزینه (میلیون ریال)**	**توضیحات**
۱	هزینه فاز مطالعاتی پروژه		
۲	هزینه طراحی مهندسی		
۳	هزینه خرید تجهیزات مورد نیاز		
۴	هزینه نصب و راه اندازی		
۵	هزینه نگهداری و تعمیرات		
۶	هزینه مدیریت پروژه		
۷	هزینه میزان بهره (ارزش اسقاطی) ناشی از سرمایه‌گذاری		
۸	هزینه حق‌العمل‌ها و مأموریت‌ها		
۹	هزینه اخذ مجوزهای احتمالی		
۱۰	هزینه تغییرات احتمالی در فرآیند و عملیات ناشی از اجرای راهکار		
۱۱	هزینه آموزش مؤثر کارکنان در زمینه بهره‌برداری مناسب راهکار		
۱۲	هزینه ناشی از کاهش تولید اجتناب‌ناپذیر		
مجموع هزینه‌ها			

۴-۶-۴ توجیه زیست‌محیطی راهکار

برای ارائه توجیه زیست‌محیطی راهکار، باید به درصد کاهش میزان انتشار کربن به فضا به سبب کاهش شدت مصرف انرژی پس از اجرای راهکار اشاره نمود. ضرایب تبدیل میزان تولید و انتشار کربن به ازای تولید یا مصرف حامل‌های انرژی در ضمیمه آمده است.

با توجه به کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از احتراق به ویژه دی‌اکسیدکربن و متان به فضا و در نتیجه کاهش کمتر آلودگی محیط زیست، می‌توان در آماده‌سازی گزارش توجیه زیست‌محیطی راهکار به میزان کاهش سرمایه‌گذاری در بخش زیست محیطی (هزینه کمتر توسعه فضای سبز مثلاً کاشت درختان) و افزایش سود آن پرداخت.

۴-۶-۵ توجیه اجتماعی راهکار

با توجه به آنکه کاهش سرانه مصرف انرژی در یک کشور (میزان شدت مصرف انرژی به جمعیت آن کشور) اثر تقریباً مستقیمی بر افزایش رفاه جامعه به واسطه افزایش درآمد ناخالص ملی خواهد داشت، برای ارائه توجیه اجتماعی راهکار، می‌توان به درصد کاهش میزان سرانه مصرف انرژی پس از اجرای راهکار به علت کاهش شدت مصرف انرژی به تعداد کارکنان آن واحد صنعتی اشاره نمود. مسلماً کاهش شدت مصرف انرژی علاوه بر برخورداری ذی‌نفعان از سود بیشتر، موجب ارتقای سطح رفاه کارکنان نیز خواهد شد.

در نهایت پس از تحلیل‌های فنی، اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی و تعیین امتیاز و رتبه اولویت اجرای راهکار، می‌توان جدول زیر را به عنوان مستندی کلیدی برای متقاعد کردن مدیران ارشد و تصمیم‌گیران آن صنعت در اجرای راهکار، تکمیل و ارائه نمود.

جدول (۴-۱۹) مشخصات نهایی راهکارها

شماره	نام راهکار	کد راهکار	اولویت راهکار			نوع توجیه							
						فنی			اقتصادی			زیست محیطی	اجتماعی
			رتبه		امتیاز	انرژی صرفه‌جویی شده	صرفه‌جویی ریالی	میزان کاهش SEC	میزان سرمایه‌گذاری	زمان اجرا	زمان بازگشت سرمایه	میزان کاهش کربن	درصد کاهش سرانه مصرف انرژی
			بالا	متوسط	۸۱-۰	گیگاژول	میلیون ریال	گیگاژول/واحد تولید	میلیون ریال	ماه	ماه	کیلوگرم	٪
۱													
۲													
۳													
۴													

۴-۷ دستورالعمل تعیین متغیرهای مورد نیاز برای ارائه هر راهکار

۴-۷-۱ هدف و دامنه کاربرد دستورالعمل تعیین متغیرهای مورد نیاز برای ارائه هر راهکار

هدف از تدوین این دستورالعمل آشنایی ممیزان انرژی با متغیرهای مورد نیاز برای ارائه هر راهکار ممیزی انرژی و دامنه کاربرد این دستورالعمل با توجه به نوع و سطح ممیزی انرژی، انواع راهکارهای صرفه‌جویی انرژی (بی هزینه/کم هزینه/پرهزینه) است.

۴-۷-۲ مسئولیت تعیین متغیرهای مورد نیاز برای ارائه هر راهکار

مسئولیت تعیین متغیرهای مورد نیاز برای ارائه هر راهکار با تیم ممیزی انرژی خصوصاً ممیزان درجه یک و دو است.

۴-۷-۳ تعاریف/واژگان دستورالعمل تعیین متغیرهای مورد نیاز برای ارائه هر راهکار

حامل‌های‌انرژی: انواع حامل‌های انرژی شامل برق، گاز طبیعی، بقیه سوخت‌های فسیلی (زغال‌سنگ، نفت، مازوت، گازوئیل و...)، بخار و...

شناسنامه راهکار: شناسنامه هر راهکار صرفه‌جویی انرژی شامل موارد زیر می‌باشد:

- کد/شماره شناسایی منحصر بفرد
- نام راهکار (خلاصه و شفاف)
- شرح مختصر و البته جزئی راهکار شامل:
  - کد/شماره شناسایی منحصر بفرد
  - نام راهکار (خلاصه و شفاف)
  - شرح مختصر و البته جزئی راهکار

وضعیت کنونی راهکار: وضعیت کنونی راهکار که یکی از شرایط زیر است:

- فعلاً در حد ایده
- راهکار تحت بررسی است
- راهکار قرار است اجرا شود
- راهکار در حال اجرا است
- راهکار اجرا شده است
- راهکار قرار نیست اجرا شود

زمان‌بندی اجرای راهکار: زمان‌بندی اجرای راهکار در بردارنده استخراج زمان‌ها و تاریخ‌های کلیدی پروژه (زمان ورود ایده برای اولین بار، زمان تأیید پروژه، طول مدت انجام پروژه و ...)

است. این زمان‌بندی پس از انجام پروژه می‌تواند (به جهت آشنایی با روند زمانی پروژه از زمان طرح ایده تا زمان رسیدن به سود پس از اجرای پروژه) برای پروژه‌های بعدی نیز مفید باشد.

میزان صرفه‌جویی انرژی: واحدهای مگاوات ساعت برای بیان میزان برق صرفه‌جویی شده و گیگاژول برای میزان گرمای صرفه‌جویی شده یا معادل مجموع صرفه‌جویی‌ها براساس واحد یکسان (مگاوات‌ساعت/ گیگاژول) که به پیوست در جدول تبدیل واحدها آمده است.

میزان ریالی صرفه‌جویی انرژی: میزان صرفه‌جویی ریالی در هر یک از حامل‌ها یا معادل مجموع ریالی صرفه‌جویی‌ها بر حسب ریال ناشی از صرفه‌جویی انرژی پس از انجام راهکار مشخص خواهد شد که این میزان در بهبود موارد دیگر به شرح ذیل می‌باشد:

- صرفه‌جویی در منابع دیگر اعم از آب، خوراک، مواد اولیه، ضایعات، نگهداری و تعمیرات و کارکنان
- حذف یا تأخیر در انجام سرمایه‌گذاری های دیگر
- بهبود میزان تولید
- بهبود کیفیت تولید
- کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای
- افزایش پایداری امنیت انرژی

تحلیل اقتصادی راهکار: هدف اصلی از تحلیل اقتصادی، تعیین زمان بازگشت سرمایه می‌باشد که در صورت محاسبه میزان کل سرمایه‌گذاری و میزان ریالی صرفه‌جویی انرژی و موارد دیگر ناشی از اجرای راهکار قابل محاسبه است. روش‌های تحلیل اقتصادی نیز پیشتر در گزارش آمده است.

دقت ارزیابی راهکار: ارزیابی میزان دقت محاسباتی به صورت + و – درصد (٪) که جزئیات این ارزیابی نیز پیشتر در گزارش آمده است.

رتبه و امتیاز اولویت راهکار: ارائه جدول‌های تکمیل شده ویژه ارزیابی و در نهایت رتبه و سطح اولویت به صورت بالا، متوسط و پایین

منبع ایده راهکار: توضیح مختصری در مورد ایده راهکار که از کجا و توسط چه کسانی شروع شده است.

دسته‌بندی پروژه‌ها براساس ماهیت راهکارها: می‌توان بر اساس نوع حامل انرژی صرفه‌جویی شده یا کاربرد آن‌ها، راهکارها را دسته‌بندی نمود. مثلاً:

۱- لیست راهکارهای مرتبط با صرفه‌جویی در تولید، توزیع و مصرف بخار

۲- لیست راهکارهای مرتبط با صرفه‌جویی در تولید، توزیع و مصرف برق

۳- لیست راهکارهای مرتبط با صرفه‌جویی در تولید، توزیع و مصرف گاز طبیعی

۴- لیست راهکارهای مرتبط با صرفه‌جویی در تولید، توزیع و مصرف هوای فشرده

۵- لیست راهکارهای مرتبط با صرفه‌جویی در تولید، توزیع و مصرف آب صنعتی

ریز هزینه‌های سرمایه‌گذاری در اجرای راهکارها که عبارتند از:

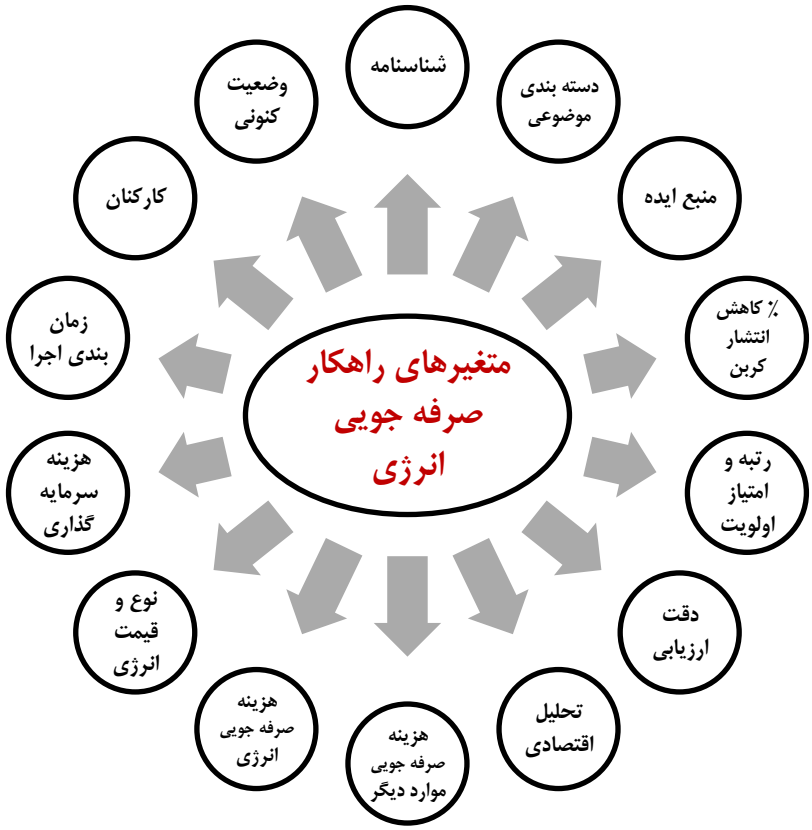
- فاز مطالعاتی پروژه
- طراحی مهندسی
- خرید تجهیزات مورد نیاز
- نصب و راه‌اندازی
- نگهداری و تعمیرات
- مدیریت پروژه
- میزان بهره (ارزش اسقاطی) ناشی از سرمایه‌گذاری
- حق‌العمل‌ها و مأموریت‌ها
- اخذ مجوزهای احتمالی
- تغییرات احتمالی در فرآیند و عملیات ناشی از اجرای راهکار
- آموزش مؤثر کارکنان در زمینه بهره‌برداری مناسب راهکار
- کاهش تولید اجتناب‌ناپذیر

۴-۷-۴ شرح عملیات تعیین متغیرهای مورد نیاز برای ارائه هر راهکار

گستره وسیعی از پیشنهادات فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی از لحاظ میزان صرفه‌جویی، پیچیدگی اجرا و هزینه اجرا در یک واحد صنعتی می‌تواند وجود داشته باشد. البته مهم است برای ارزیابی هر یک از این فرصت‌ها، زمان و منابع متناسب با هر راهکار در نظر گرفته شود. این نکته همیشه باید به عنوان اصل در نظر گرفته شود که اولویت ارزیابی و اجرا باید در فرصت‌هایی با بیشترین پتانسیل صرفه‌جویی انرژی باشد. برای آنکه هر یک از انواع راهکارهای صرفه‌جویی انرژی، از خلق ایده تا اجرای آن، بدون هزینه، کم هزینه و یا پر هزینه، چه با رویکرد تغییر نگرش، عادت، رفتار و فرهنگ و یا تغییر جزئی و یا تغییر کلی در فرآیند، روند مناسبی را طی کند باید دارای بخش‌های زیر باشد. این بخش‌ها در قالب یک فرم باید تکمیل و توسط سرممیز تأیید شود.

- تهیه شناسنامه راهکار
- تعیین وضعیت کنونی راهکار
- تعیین کارکنان کلیدی اجرای راهکار (تعیین اشخاص‌کلیدی-مدیر/ حامیان پروژه- به علاوه دیگر منابع انسانی پروژه)
- تدوین زمان‌بندی اجرای راهکار
- هزینه سرمایه‌گذاری پروژه
- نوع حامل انرژی صرفه‌جویی شده و قیمت واحد آن (که باید قیمت پایه آن‌ها مانند ۱کیلووات ساعت برق، ۱ نرمال مترمکعب گاز طبیعی، ۱ لیتر مازوت و ... ذکر گردد.)
- میزان صرفه‌جویی انرژی
- میزان ریالی صرفه‌جویی انرژی
- میزان هزینه ریالی صرفه‌جویی شده ناشی از اجرای راهکار در بهبود موارد دیگر

- تحلیل اقتصادی راهکار
- دقت ارزیابی راهکار
- رتبه و امتیاز اولویت راهکار (ارائه جداول تکمیلی ویژه ارزیابی و تعیین رتبه/سطح اولویت به صورت بالا/متوسط/پایین)
- میزان کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به فضا به همراه محاسبات آن
- منبع ایده راهکار (توضیح مختصری در مورد ایده راهکار که از کجا و توسط چه کسانی شروع شد؟)
- دسته‌بندی پروژه‌ها براساس ماهیت راهکارها



شکل (۴-۲۳) مروری بر متغیرهای مورد نیاز برای ارائه راهکار صرفه‌جویی انرژی

جدول (۴-۲۰) شناسنامه راهکار

کد شناسایی:	**نام راهکار:**
شرح مختصر و جزیی راهکار	
وضعیت کنونی راهکار	□ فعلاً در حد ایده □ راهکار تحت بررسی است □ راهکار قرار است اجرا شود. □ راهکار در حال اجراست. □ راهکار اجرا شده است. □ راهکار قرار نیست اجرا شود.
لیست اشخاص حقوقی/حقیقی کلیدی پروژه	حامی پروژه: ..... مدیر پروژه: ..... کارشناسان کلیدی:
زمان‌بندی اجرا	زمان ورود ایده برای اولین بار: /زمان تایید پروژه: طول مدت انجام پروژه(ماه):
ریز هزینه سرمایه‌گذاری پروژه (میلیون ریال)	۱- فاز مطالعاتی پروژه(/)م.ر. ۲- طراحی مهندسی(/) م.ر. ۳- خرید تجهیزات(/) م.ر. ۴- نصب و راه اندازی(/) م.ر. ۵- نگهداری و تعمیرات(/) م.ر. ۶- مدیریت پروژه (/) م.ر. ۷- ارزش اسقاطی سرمایه(/) م.ر. ۸- حق العمل/ماموریت(/) م.ر. ۹- اخذ مجوزهای احتمالی(/) م.ر. ۱۰- تغییردر فرآیند/عملیات(/) م.ر. ۱۱- آموزش کارکنان(/) م.ر.۱۲- کاهش تولید (/) م.ر. **مجموع (/)م.ر.**
حامل انرژی صرفه‌جویی شده و قیمت واحد آن	نام حامل۱: واحد: قیمت حامل۱ (ریال): نام حامل۲: واحد: قیمت حامل۲ (ریال): نام حامل۳: واحد: قیمت حامل۳ (ریال):
میزان صرفه‌جویی انرژی	(/) مگاوات ساعت برق معادل(/) م.ر.- (/) گیگاژول گرما معادل(/) م.ر - مجموع صرفه‌جویی‌ها = (/) مگاوات ساعت = (/) گیگاژول معادل(/) م.ر.

تخمین میزان صرفه‌جویی در بهبود موارد دیگر	۱- صرفه‌جویی در منابع دیگر (/) م.ر. ۲- حذف/تاخیر سرمایه‌گذاری‌های دیگر (/) م.ر. ۳- بهبود میزان تولید (/) م.ر. ۴- بهبود کیفیت تولید (/) م.ر. ۵- کاهش انتشار کربن (/) م.ر. = **مجموع (/)م.ر.**
میزان ریالی کل صرفه‌جویی راهکار= میزان صرفه‌جویی انرژی + میزان صرفه‌جویی در بهبود موارد دیگر = **مجموع (/)م.ر.**	
زمان بازگشت سرمایه (ماه)	هزینه سرمایه‌گذاری پروژه تقسیم بر میزان ریالی کل صرفه‌جویی راهکار
دقت ارزیابی راهکار	.....٪+/-
اولویت راهکار	امتیاز: ..... رتبه/سطح اولویت: □بالا □متوسط □پایین
منبع ایده راهکار	از ..... توسط .....
دسته‌بندی	□ جزو راهکارهای مرتبط با صرفه‌جویی بخار □ جزو راهکارهای مرتبط با صرفه‌جویی برق □ جزو راهکارهای مرتبط با صرفه‌جویی گاز طبیعی □ جزو راهکارهای مرتبط با صرفه‌جویی هوای فشرده □ جزو راهکارهای مرتبط با صرفه‌جویی آب صنعتی □ جزو بقیه راهکارها .....

۴-۸ تدوین دستورالعمل گزارش ممیزی انرژی

۴-۸-۱ هدف و دامنه کاربرد دستورالعمل گزارش ممیزی انرژی

هدف از تدوین این دستورالعمل آشنایی ممیزان انرژی با نحوه تدوین گزارش ممیزی انرژی و دامنه کاربرد این دستورالعمل با توجه به نوع و سطح ممیزی انرژی، تمامی گزارش‌های مرتبط با تجهیزات، فرآیندهای صنعتی یا واحدهای عملیاتی شرکت ممیزی‌شونده می‌باشد.

۴-۸-۲ مسئولیت تدوین گزارش ممیزی انرژی

مسئولیت تدوین گزارش ممیزی انرژی با تیم ممیزی انرژی به خصوص ممیزان انرژی درجه یک و دو به کمک ممیزان انرژی درجه سه است.

۴-۸-۳ واژگان دستورالعمل تدوین گزارش ممیزی انرژی

محتوای گزارش ممیزی: همان‌گونه که اشاره شد، ممیز باید طی زمان معین، گزارش جامع از کل فعالیت‌های انجام شده از ابتدای کار تا مرحله ارائه توصیه‌های فنی را تهیه و تسلیم ممیزی‌شونده یا درخواست کننده ممیزی نماید. این گزارش باید شامل موارد زیر باشد:

- صفحه اول[1] گزارش که باید شامل موارد زیر باشد:
  - عنوان گزارش
  - نام ممیزی‌شونده و درخواست کننده ممیزی
  - نام ممیز انرژی
  - تاریخ گزارش

1- Cover Page

- فهرست مطالب (شامل عناوین، جداول و اشکال)
- خلاصه مدیریتی از گزارش که این خلاصه باید از اطلاعات کلیدی گزارش مشروح تشکیل شود. که شامل:
  - خلاصه‌ای از اطلاعات در مورد یافته‌های کلیدی ممیزی (میزان و هزینه مصارف سالیانه انرژی، شاخص‌های کلیدی عملکرد انرژی و...)
- راهکارهای توصیه شده بهره‌وری انرژی با کمی توضیح از هر اقدام
- جدولی خلاصه از تحلیل اقتصادی راهکارها (شامل زمان و هزینه‌های اجرا، زمان پیش‌بینی شده بازگشت سرمایه به همراه شاخص‌ها و روش تحلیل اقتصادیIRR- NPV-SPP)
- دیگر اطلاعات مفید مربوط به اجرای اقدامات بهره‌وری انرژی
- اهداف، دامنه و روش ممیزی انرژی
- مروی بر اطلاعات عمومی ممیزی شونده اعم از:
  - جزییات و مشخصات عمومی کارخانه
  - اجزای هزینه‌ای تولید (خوراک یا مواد اولیه، حامل‌های انرژی، نیروی انسانی، بالاسری و ...)
  - لیستی از مصارف و مصرف‌کنندگان عمده انرژی
- توصیف فرآیند تولید واحدهای عملیاتی اعم از:
  - توصیف مختصری از فرآیند تولید.
  - دیاگرام جریان فرآیند (PFD) و نقشه‌های P&ID.
  - ورودی‌های عمده مواد خام، مقادیر و هزینه‌ها.
- توصیف شبکه تولید، توزیع و مصرف حامل‌های انرژی
  - فهرست شبکه حامل‌های انرژی به تفکیک واحدهای عملیاتی
  - گزارش مختصری از تولید، توزیع و مصرف هر یک از شبکه حامل‌های

انرژی اعم از: برق، بخار، سوخت، هوای فشرده، آب چیلد، آب کولینگ، گرمای فرآیندی (در فرآیندهای با واکنش‌های گرماگیر/گرمازا)

- جزئیات دیاگرام جریان فرآیندی و اجرای موازنه جرم و انرژی (در گزارش فاز ۳، دستورالعمل موازنه جرم و انرژی آمده است.)
- تحلیل و ارزیابی شاخص‌های عملکرد انرژی در واحدهای تولیدی/ فرآیندها/شبکه حامل‌های انرژی/تجهیزات مانند:
  - ارزیابی کارآیی بویلر
  - تحلیل کارآیی کوره/ریفرمر حرارتی
  - ارزیابی عملکرد سیستم آب کولینگ
  - بررسی عملکرد سیستم تبرید
  - بررسی عملکرد سیستم هوای فشرده
  - خلاصه‌ای از نتایج تحلیل منحنی بار ورودی به کارخانه
  - تحلیل میزان و هزینه مصارف حامل‌های انرژی در کارخانه به تفکیک واحدهای عملیاتی
    - مصرف ویژه انرژی
    - خلاصه نتایج تحلیل قبوض یا صورت‌حساب‌های انرژی
    - خلاصه نتایج تحلیل الگوهای تولید و مصارف انرژی
    - خلاصه نتایج تحلیل مقایسه‌ای داخلی یا بیرونی[1]
    - خلاصه مفروضات و نمونه‌های محاسبات مهم
  - ارائه راهکارهای افزایش بهره‌وری انرژی
    - فهرست راهکارهای بهره‌وری انرژی با دسته‌بندی به صورت بی‌هزینه،

1- External/Internal Benchmarking

کم‌هزینه و با هزینه متوسط یا پرهزینه به همراه میزان و هزینه صرفه‌جویی‌های انرژی سالیانه

- خلاصه تحلیل هزینه- فایده اقدامات بهره‌وری انرژی

▪ نتیجه‌گیری و خلاصه‌ای از طرح اجرایی برای اجرای اقدامات بهره‌وری انرژی به ترتیب اولویت

▪ قدردانی از عواملی که در پیش و حین اجرای ممیزی انرژی در پیشبرد پروژه ممیزی تأثیر مثبت داشته‌اند

▪ پیوست‌ها

- فهرست جداول و کاربرگ‌های ممیزی انرژی
- فهرست فروشندگان فناوری‌های بهره‌وری انرژی و دیگر جزئیات فنی
- نکات عمومی تهیه گزارش ممیزی: برخی موارد کلیدی که باید در هنگام نوشتن گزارش ممیزی به خاطر داشت عبارتند از:
- گزارش ممیزی باید روان و ادبیات متن آن صحیح باشد
- گزارش ممیزی باید مختصر، دقیق و قابل فهم باشد
- گزارش ممیزی انرژی باید از نظر ساختار و واژه‌های مورد استفاده منسجم و ثابت باشد
- گزارش ممیزی باید به صورتی نوشته شود که اطلاعات مناسب برای مخاطبین و خوانندگان گزارش از جمله مدیران ارشد و میانی، بخش‌های بهره‌برداری، فنی و مهندسی، نگهداری و تعمیرات و ... را فراهم آورد
- ارتباط منطقی بین اجزای گزارش و جامعیت آن و مستندسازی و شماره‌بندی بخش‌های گزارش برقرار باشد
- برای اثربخشی بیشتر بهتر است به جای جداول، بیشتر از نمودارها برای ارائه داده‌ها، نتایج و ... استفاده شود

- ممیزین انرژی نباید دچار اشتباه و خطا به ویژه در بخش محاسبات ریاضی و نتایج گزارش شوند، چرا که کوچک‌ترین خطا می‌تواند به اعتبار ممیزی خدشه وارد کند
- محاسبات تحلیل‌ها باید به وضوح تشریح شود. (می‌توان از یک مثال از هر نوع محاسبه در متن اصلی یا ضمیمه استفاده کرد.)
- مفروضات تحلیل‌ها باید به وضوح توضیح داده شود. دلایل تغییر احتمالی مفروضات کلیدی که بر نتایج تأثیر می‌گذارد نیز باید توضیح داده شود. تحلیل حساسیت ابزاری سودمند برای این مورد است
- در رسم شکل‌ها، نمودارها و تکمیل جداول دقت شود
- بخش ارائه توصیه و پیشنهادات باید مشخص، واضح و حاوی جزییات دقیق باشد

گزارش کوتاه ممیزی: بسیاری از ممیزان انرژی از گزارش کوتاه ممیزی به ویژه در ممیزی انرژی ساده یا قدم‌زنانه استفاده می‌کنند. اگر هزینه ممیزی یک عامل مهم باشد، یک گزارش کوتاه ضروری به نظر می‌رسد. نوشتن گزارش طولانی می‌تواند وقت‌گیر بوده و هزینه انجام ممیزی انرژی را افزایش دهد. گزارش کوتاه در زمان گزارش‌دهی سریع، مورد استفاده قرار می‌گیرد. از آنجا که در این گزارش، شرکت، تحلیل و اجرای راهکارها را به بعد موکول می‌کند، این فرمت مناسبی برای یک گزارش ممیزی ساده است. البته گزارش کوتاه ایراداتی نیز دارد. اگر گزارش خیلی کوتاه باشد و تنها برخی از اعداد اصلی و کلیدی در آن آمده باشد، خواننده در هنگام عدم حضور ممیز در درک آن با مشکل مواجه خواهد شد. از آنجا که در بسیاری از موارد، راهکارها بلافاصله اجرا نمی‌شود، گزارش کوتاه ارزش خود را از دست خواهد داد. بنابراین گزارش کوتاه، باید حاوی توضیحاتی باشد تا کاربر بتواند به راحتی از آن استفاده کند.

بررسی بازخورد گزارش ممیزی: بررسی بازخورد و اظهار نظر ممیزی شونده در

خدمات و گزارش ممیزی انرژی ضروری است. تکمیل پرسش‌نامه یکی از راحت‌ترین راه‌ها برای دریافت بازخورد مشتری و ارزیابی خدمات ممیزی و گزارش است. می‌توان از ممیزی شونده خواست تا به هر بخش نمره ۱ تا ۱۰ به معنای ضعیف تا عالی بدهد. نکته مهم این است که پرسش‌نامه باید ساده و کوتاه باشد و به همراه گزارش ارائه شود. البته اغلب گزارش‌های ممیزی، ساده و روان و با کاربری آسان[1] نیستند. چرا که حاوی مستندات طولانی، توضیحات، دلایل و محاسبات بوده و یا خیلی کوتاه و با اطلاعات پیوست شده هستند. اگر گزارش طولانی باشد، خواننده خواندن آن را به زمان دیگری که وقت بیشتری دارد موکول می‌کند و اگر گزارش خیلی کوتاه باشد و حاوی اطلاعات مورد نیاز نباشد، خواننده نتایج را باور نخواهد کرد. لذا نوشتن یک گزارش ممیزی مناسب با ویژگی‌هایی که قبلاً برشمرده شد، مرحله مهمی برای تشویق و ایجاد انگیزه اجرای راهکارهای ممیزی انرژی است.

۴-۸-۴ شرح عملیات تدوین گزارش ممیزی انرژی

مراحل تدوین گزارش ممیزی انرژی عبارتند از:

۱- تعیین تدوین‌کنندگان گزارش ممیزی انرژی و تهیه لیست آن‌ها

۲- برگزاری جلسه توجیهی تدوین گزارش و آشنایی ممیزان یا نحوه تدوین و محتوای گزارش

۳- آماده‌سازی و تدوین گزارش ممیزی

۴- تحویل گزارش به سرممیز جهت بررسی گزارش

۵- ارسال گزارش جهت بررسی و تایید نماینده ممیزی شونده

۶- توزیع گزارش ممیزی انرژی بین لیست مورد تایید ممیزی‌شونده

1- user-friendly

آماده‌سازی، تایید و توزیع گزارش ممیزی

آماده‌سازی گزارش ممیزی انرژی توسط تیم ممیزی انرژی (ترجیحاً ممیزین انرژی درجه دو و یک) و سرپرستی سرممیز انجام می‌گیرد. سرممیز، مسئول تحویل گزارش به ممیزی‌شونده نیز می‌باشد. این گزارش باید سابقه‌ای کامل، صحیح، با توجه به سطح ممیز (مختصر یا مشروح) و شفاف از ممیزی باشد.

طبق استاندارد بین‌المللی ممیزی، یک گزارش ممیزی باید شامل موارد ذیل باشد:

- اهداف ممیزی و معیارهای آن
- شناسایی شرکت ممیزی‌شونده
- دامنه عملکرد (واحدهای ممیزی‌شونده به علاوه زمان و مکان ممیزی)
- یافته‌های ممیزی
- جمع‌بندی‌های ممیزی و توصیه‌هایی برای بهبود

و در صورت لزوم این گزارش می‌تواند شامل مدارک زیر باشد:

- برنامه ممیزی
- لیست نمایندگان ممیزی‌شوندگان
- خلاصه‌ای از فرآیند ممیزی

به علاوه پاسخ به پرسش‌های زیر:

- بررسی این موضوع که اهداف ممیزی با دامنه ممیزی طبق برنامه زمان‌بندی هم‌خوانی داشته است
- لیست واحدهایی که اگر چه در دامنه ممیزی بوده‌اند، ممیزی نشده‌اند
- موارد اختلاف نظرهایی بین تیم ممیزی و ممیزی‌شوندگان که حل و فصل نشده‌اند

ضمن آنکه ممیزی شونده نیز پس از دریافت گزارش ممیزی انرژی باید موارد زیر را انجام دهد:

- تهیه لیست توزیع گزارش ممیزی (معمولاً لیست شامل واحدهای برگزیده مانند واحدهای ممیزی‌شونده است)
- توزیع گزارش ممیزی بین واحدهای ممیزی‌شونده و متقاضی ممیزی
- بررسی و ارائه نقطه نظرات، تهیه لیستی از پیشنهادات و ایرادات کارشناسی ممیزی شونده برای ممیز
- ارسال لیست موارد مورد نظر ممیزی شونده یا متقاضی ممیزی ممیز و درخواست برای اصلاح در زمان مشخص
- توافق در رابطه با پیگیری اقدامات بعدی (پیشنهادات فعالیت‌های صرفه-جویی انرژی تایید شده مندرج در گزارش نهایی ممیزی)

گزارش نهایی ممیزی انرژی، باید در طی زمان توافق شده تهیه شود. چنانچه این کار امکان‌پذیر نباشد، دلایل تأخیر باید به ممیزی‌شونده یا درخواست کننده ممیزی بازگو شده و زمان جدید تعیین شود. گزارش ممیزی باید دارای تاریخ بازنگری و تاییدشده باشد. گزارش تأیید شده باید سپس بین دریافت‌کنندگان برگزیده از طرف درخواست کننده ممیزی توزیع و جزو اموال شرکت ممیزی‌شونده محسوب شود. در ضمن واحدهای دریافت کننده نیز باید به عنوان اموال شرکت در حفظ آن و تیم ممیزی نیز در مورد رازداری و محرمانه نگهداشتن این گزارش کوشا باشند.

منابع و مآخذ

وب سایت های مرجع

http://energy.gov/eere
www.carbontrust.co.uk
www.nrcan.gc.ca
www.eccj.jp
www.energymanagertraining.com
www.energyefficiencyasia.org

استانداردهای مرجع

ASME EA-1-Energy Assessment for Process Heating Systems
ASME EA-2-Energy Assessment for Pumping Systems
ASME EA-3-Energy Assessment for Steam Systems
ASME EA-4-Energy Assessment for Compressed Air Systems
BEE CODE/ BEST PRACTICE MANUAL DRYERS
BEE CODE/ BEST PRACTICE MANUAL FLUID PIPING SYSTEMS
BEE CODE/ BEST PRACTICE MANUAL HVAC CHILLERS
BEE CODE/ BEST PRACTICE MANUAL LIGHTING
BEE CODE-TRANSFORMER

سایر مرجع

World Energy Council, “Energy Efficiency Policies and Indicators”, October, 2001.

Barbara Schlomann, Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research, “Energy efficiency trends in the EU countries Industrial Sector”, Monitoring Tools for Energy Efficiency: MURE-ODYSSEE Workshop,21 February,2002,Brussels.

Lynn Price, Ernst Worrell, Jonathan Sinton, Lawrence Berkeley National Laboratory Jiang Yun, China Energy Conservation Association, “Industrial Energy Efficiency Policy in China”, Summer, 2001.

http://www.eia.doe.gov

http://www.eid.ifco.ir

http://www.Energystar.gov

http://www.techstudies.org

American Society for Testing and Materials, A.S.T.M. Standards, Burner Fuel Oils, Philadelphia 1968.

www.abb.com/ motor

Smith and Stinson. Fuels and Combustion, NC Graw - Hill

holman, j .p .experimental methods for engineers, New York: mc. grow hill 1996.

Canadian Blower, Industrial Fans and Blowers. www.Canadianblower.Com/ blower/index. html.

www. Fanair.Com/products.pdf.

Ganasean, Indian Institute of Technology. Fans, Pumps.

Northern Industrial Supply Company (NISCO), Compressors products, Fans and Blowers NewYork Blowers, www.NiscoNet/nyb.html.

Greityer, E.N., Surge. And Rotating Stall Investigation of O.72 Hub –Tip Ratio, ASME, J. of Eng. Power, V.98 N.2, 1976.

Tsui, Chin- Ya Et al., An Experiment to Improve. The surge Margin by use of Cascade with splitter Blades, J. Eng. Thermoplys, Vol.1, No.2, 1980.

Yahya, S.M., Turbines,Compressorsand Fans. Tata McGrow Hill Pub. Co. Ltd, New Delhi 1997.

http://greenbusinesscentre.com/documents/compressor.pdf.

http://superiorsignal.com/usndacr.pdf.

http://eetd.|b|.gov/ea/indpurt/publications/|bn|-52771. pdf.

www.chew.mtu.edu/chem -eng/current/new - courses.

Energy saving in pump and pumping system By: Mr. A. K. Metal.pdf.

http://www.Ciscolooiler.Com/Seneca.html.

http://www.Btinternet.Com/oian.Rivet/imic/.Html.

http://www.Johnsboat.Com/boiler-web.Html.

http://www.Centralheating centre.Com/central Heating/boilrs.Html.

http://www.Qc3.com/techdb/images/boilf123.qif.

http://oee.nrcan.Qc.Ca/pulications/infosource/pub/cipec/2000-869Boilers and Heat E. PDF.

http://www.epa.Gov/ttn/oarpg.

Furnaces $ Furnaces Tips Energies New Letter, Vol, Issue (oct- Dec 2001)

http://www.americpec.calengkish/brochuresls Furnaces.htm

http://www.aaaindoorairquality.com/Furnaces-tips.html

http://www.metroenergysaves.com/ tips Furnaces. Asp

http://www.health house.org/Consumer/Fall Furnace Tips.osp

Gas Furnace Natural Resources Canada's Office of Energy Efficiency.

U. S Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy.

Michael F. Modest, "Radiant Heat Transfer", Mc Grow- Hill, New York 1993

Charette, A, Exchequer, f. and Kocaefe, Y.S., "The Imaginary Planes Method for The Calculation of Radiant Heat Transfer in Industrial Furnaces", can, j. chem. Engage Vol. 67, pp 378-384, 1989.

J. R. Howell and M Perl mutter, "Monte Carlo solution of Thermal Transfer through Radiant Media between Gray walls" J. Heat Thermal Vol. 86, pp. 116-122, 1964.

M Perl mutter and J. R. Howell "Radiant Transfer through a Gray Gas Between co centric Using Monte Carlo". J. Heat Thermal Vol. 86, pp.169-179, 1964.

Balance and J. Donovan "Radioactive configuration factor for Annular Rings and Hemispherical sectors" J. Heat Thermal Vol. 95, pp.275-279, 1973.

D.W. Yrperoigh and chon-Linlee" Monte Carlo calculation of Radiant view factor" Integral Method Science and Engineering, 85, Hemisphere, Washington, DC, 1985, PP. 563-574

hotel, h. c. and Cohen, e. s., "Radiant heat exchange in a gas_ filled enclosure: allowance for non _uniformity of gas temperature".

Hotel, h. c. and sarofim, a. f radioactive transfer, mc grow _ hill.

charette, A , Erchiqui, f. and kocaefe, Y.S. ,"The Imaging nary planes Method for the calculation of Radioactive Heat Transfer in industrial furnaces", can, j. chem. . engng vol. 67,pp.378_384,1989

charette, a larouche.a. and kocaefe, y .s" application of the imaginary planes method to three_ dimension systems" Int. j. Heat mass transfer, vol. 33, no. 12, pp. 2671_2681, 1990.

J.R. Howell and M. Perl mutter, "Monte Carlo solution of thermal transfer through Radiant media between gray walls" j .heat transfer vol86, pp.116_122, 1964.

M. Perl mutter and j. R Howell" radiant transfer through a gray gas between concentric cylinders using Monte Carlo", j. heat transfer, vol. 86, pp. 169 _179, 1964.

j. balance and j. Donovan "radioactive configuration factor for annular rings and hemispherical sectors j. heat tramsfer vole .95 pp. 275_276, 1973.

D. W. Yarbrough an chon _ linlee" Monte Carlo calculation of radiation view factors " integral method in science and engineering,85,hemisphere, Washington, dc, 1985,pp.563_574.

F Emery, o Johansson and a abrous "a comarasive study of method for computing the diffuse radiation view factors for complex structures" j. heat transfer vol.113, pp.413_422, 1991.

GEBHART,"SURFACE TEMPERATUR CALAULATION

Int .j. heat mass transfer vole 3,pp 341_346,1961.

j. s toor and r. viscount" a numerical experiment of radiant heat interchange by the Monte Carlo method" int. j. heat mass transfer vole 11, pp. 883_897,1968.

igel R and Howell, "thermal radiation heat transfers" mc. grow_ hill, New York 1992.

Viscount, R .and manages M. P. "Radiation heat transfer in combustion

system" prong Energy combustion sci. viol 13, pp. 97_160, 1987.

charette, A., erchiqui , f. and kocaefe, y . s., "the imaginary planes method for the calculation of additive heat transfer in industrial furnaces ", can. j. chem... engng ,vol.67,pp.378_384,1989.

charette, A ., larouche , A. and kocaefe, y. s , "application of the imaginary planes method to three_ dimensional system", int. j. heat mass transfer ,vol.33,no.12,pp.2671_2681,1990.

J. R .Howell and m. oerlmutter, "Monet Carlo solution of thermal transfer through radiant media between gray wall "J. Heat transfer ,vol. 86,pp116_122,1964

Perl mutter and J.R .Howell "radiant transfer through a gray gas between concentric cylinders using Monet Carlo" , J .heat transfer, vol. 86, pp. 169_179, 1964

j. balance and j. Donovan "radioactive configuration factor for annular rings and hemispherical sectors j. heat transfer vol .95pp.275_276, 1973.

D.W. Yarbrough an chon _line,"Monet Carlo calculation of radiation view factors ".integral method in science and engineering, 85, hemisphere, Washington, dc 1985, pp.563_574.

H.A .J. Vercammen and G. F. Froment, "an improved zone method using Monte carlo techniques for the simulation of radiation industrial furnaces "int. j. heat mass transfer vol .23.pp.329_337,1980.

Sigel ,R. and Howell ,R., "thermal radiation heat transfer "MC .craw _hill, NewYork 1992.

Viskanta., r. and ménage, M.P. "Radiation heat transfer in combustion system" prog. Energy combustion sci. vol. 13, pp. 97_160, 1987

Smith, t. f., sheen, z. f. and friedman j. n.,"evaluation o coefficients for the weighted sum of gray gases model", j. heat transfer, vol. 104, no.4, pp. 602_608, 1982.

hadvig .s. a .p "gas emissivity and absorptivity :a thermodynamic study", j .inst . Fuel, voi .433 pp. 129_135, 1970

Edwards, d. k. and bal Krishnan, a., "volume interchange factors for no homogeneous gases", j. heat transfer, vol .94, no. 2, pp. 181_188, may 1972.

بولتن‌های ماهانه بهسامان؛ وزارت نیرو امور انرژی

توربوماشین‌ها- تألیف دکتر ابراهیم شیرانی- ویرایش دوم. مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان.

گزارش نهایی : ممیزی انرژی جامع و استقرار سیستم مدیریت انرژی شرکت پتروشیمی خراسان، شرکت برین انرژی سپاهان، ۱۳۸۹

گزارش نهایی : ارتقای بهره وری انرژی در شرکت فولاد خوزستان، شرکت برین انرژی سپاهان، ۱۳۹۲