وزارت نیرو
سازمان بهره‌وری انرژی ایران (سابا)

مبانی صرفه‌جویی
و
اصول مدیریت انرژی

تهیه و تدوین :
کامبیز رضاپور
محمدحسن زریخش

رضاپور، کامبیز، ۱۳۴۶ -
مبانی صرفه‌جویی و اصول مدیریت انرژی / تدوین و تألیف کامبیز رضاپور، محمدحسن زریخش، ویراستار علیرضا محمدیه. — تهران: سازمان بهره وری انرژی ایران، ۱۳۸۴
۳۳۶ ص.: مصور، جدول، نمودار.
ISBN: ۹۶۴-۶۵۵۳-۱۷-۰
فهرستنویسی بر اساس اطلاعات فیپا.
۱. انرژی - مصرف - مدیریت. ۲. انرژی - استفاده بهینه.
الف. زریخش، محمدحسن، ۱۳۴۳ - . ب. سازمان بهره وری انرژی ایران.
ج. عنوان.
۲م ف/۳/۱۶۲ TJ
۳۳۳/۷۹۱۷
کتابخانه ملی ایران
۸۴-۲۹۹۶م

مبانی صرفه جویی و اصول مدیریت انرژی

ناشر: وزارت نیرو – سازمان بهره‌وری انرژی ایران (سابا)

تألیف و تدوین: کامبیز رضاپور – محمدحسن زریخش

ویراستار : علیرضا محمدیه

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: طیف نگار

نوبت چاپ: دوم – پائیز ۸۸ (با تجدید نظر و اصلاح)

تیراژ: ۲۰۰۰ جلد

شابک: ۹۶۴-۶۵۵۳-۱۷-۰ / ISBN: ۹۶۴-۶۵۵۳-۱۷-۰

حق چاپ برای ناشر محفوظ است

پیشگفتار

با توجه به نقش انرژی در ساختار اقتصادی ، اجتماعی و حتی سیاسی کشورها و محدودیت منابع انرژی فسیلی در کشور و افزایش رشد جمعیت و بالطبع افزایش در مصرف انرژی، استفاده بهینه از انرژی جایگاه ویژه‌ای به خود اختصاص داده است. لذا جهت دوری از مشکلات فوق،تعدیل مصرف انرژی به نحوی که متوسط نرخ رشد آن در سالهای آتی از متوسط رشد تولید ناخالص داخلی تجاوز ننماید، ضروری است، به عبارت دیگر باید با اتخاذ سیاستهای مدیریت مصرف، میزان مصرف انرژی به ازای هر واحد تولید ناخالص داخلی را کاهش داد.

در حال حاضر کشورهای صنعتی مصرف انرژی خود را به ازای یک درصد رشد تولید ناخالص ملی به ۴ درصد رسانده‌اند، در صورتیکه در ایران به ازای هریک درصد رشد تولید ناخالص ملی، یک درصد افزایش مصرف انرژی داشته‌ایم و این وضعیتی است که کشورهای صنعتی فعلی، در دهه ۱۹۵۰ میلادی داشته‌اند. این موفقیت از طریق ارتقای بهره‌وری نیروی انسانی و منابع انرژی، رشد فن‌آوری و کاهش اتلاف انرژی و بکارگیری توصیه‌ها و راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی در صنایع و دیگر مصرف‌کنندگان نهایی بدست آمده است.

بنابراین به منظور منطقی سازی الگوی مصرف انرژی در کشور از طریق ارتقاء سطح دانش و آگاهی‌های عمومی و تخصصی افراد، کارشناسان و متخصصان امر انرژی، معاونت امور انرژی وزارت نیرو با همکاری آژانس همکاری‌های بین‌المللی(JICA)، مجتمع عالی آموزشی و پژوهشی آذربایجان و سازمان بهره‌وری انرژی ایران اقدام به تأسیس مرکز ملی آموزش مدیریت انرژی در تبریز را نموده است تا نسبت به آموزش، آشنایی با تکنولوژی‌های نوین بهینه‌سازی انرژی و نیز توانمندسازی نیروهای متخصص اقدام نماید.

مجموعهٔ حاضر که پس از اصلاحات لازم تجدید چاپ شده ، با استفاده از مراجع معتبر و تجربیات ارزنده نگارندگان جهت تدوین مرجع جامعی در خصوص ارائه اصول و مبانی مدیریت انرژی و نحوهٔ ارتقاء آن در صنایع و دیگر مصرف‌کنندگان نهایی ، تدوین و تهیه شده است.

همچنین این کتاب به منظور تدریس در دوره کاربردی مبانی و اصول مدیریت انرژی که در دانشگاه‌ها و مؤسسات آموزشی برگزار می‌گردد، هم مورد استفاده قرار می‌گیرد.در این مجموعه تلاش شده است ضمن شناسایی هریک از تجهیزات دیگ‌های بخار ،آبگرم، کوره‌های صنعتی، و تکنولوژی نوین بهینه‌سازی انرژی، الکتروموتورها، کمپرسورها، فن‌ها، مباحث مدیریت بار راهکارهای مناسب در بهینه‌سازی و کاهش مصرف انرژی الکتریکی و حرارتی در این نوع تجهیزات نیز معرفی گردد.

در این مجموعه علاوه بر تئوری محاسبات، سعی شده تا با طرح مثال‌ها و نمودارهای واقعی مباحث صرفه‌جویی انرژی را به شکل کاربردی مطرح نمود.

علیرغم تلاش مؤلفین، این کتاب خالی از نقص و کاستی نیست، لذا از خوانندگان محترمی که مؤلفین را در رفع کاستی‌ها و شناسایی خلاءهای متن حاضر و بهبود کیفی و کمی آن یاری‌دهند، سپاسگزاری می‌گردد.

مؤلفین

« فهرست مطالب »

عنوان صفحه

فصل ۱ـ اصول صرفه‌جویی

۱- بررسی وضعیت انرژی در ایران و کشورهای صنعتی ۲
۲- مشکلات ارتقاء صرفه‌جویی انرژی ۸
۳- عوامل مؤثر در صرفه‌جویی انرژی ۱۰
۴- سه گام برای صرفه‌جویی انرژی ۱۵
۵- صرفه‌جویی انرژی به عنوان فعالیتی برای کاهش هزینه تولید ۱۶
۶- روش ارزیابی نتایج صرفه‌جویی انرژی ۱۹
۷- فرآیندهای اساسی برای ارتقاء صرفه‌جویی انرژی در مکان تولید ۱۹
۷-۱- ساختار کمیته مدیریت انرژی ۲۱
۷-۲- ساختار فعالیت خود مدیریتی ۲۲
۷-۳- ساختار یک تیم پروژه ۲۳
۸- ده گام برای بهبود اصول صرفه‌جویی انرژی ۲۴
۹- مفاهیم و اصول مدیریت انرژی ۶۲
۹-۱-اصول مدیریت انرژی ۶۲
۹-۲- اجزای یک برنامه مدیریت انرژی ۶۴
۹-۳- اصول عمومی مدیریت انرژی ۶۵
۹-۴- برنامه‌ریزی برای مدیریت انرژی ۶۸
۱۰- تعریف مصیزی انرژی ۶۹
۱۱- ماتریس مدیریت انرژی و جایگاه آن در برنامه‌ریزی ۷۳
۱۲- شرح وظایف مدیر انرژی در یک کارخانه ۷۸
۱۳- فرآیند صرفه‌جویی انرژی در یک کارخانه ۷۸

فصل ۲ـ مبانی صرفه‌جویی انرژی حرارتی و احتراق

۱- بررسی سیستم‌های احتراقی ۸۱

۱-۱- احتراق ۸۱
۱-۲- هوای احتراق ۸۲
۲- تلفات حرارتی ۸۸
۲-۱-تلفات حرارتی ناشی از احتراق ناقص ۸۹
۳- انتقال حرارت ۹۰
۳-۱- هدایت (رسانش) ۹۰
۳-۲- جابجایی (همرفت) ۹۲
۳-۳- تشعشع (تشعشع تابش) ۹۲
۴- سوخت‌ها ۹۳
۵- واکنش‌های سوخت و احتراق ۹۸
۵-۱- سوخت‌های فسیلی ۹۹
۵-۲- انواع سوخت‌ها ۹۹
۵-۳- واکنش‌های احتراق ۱۰۱
۵-۴- دمای شعله آدیاباتیک (بی دررو) ۱۰۳
۵-۵- معادلات محاسبات احتراق ۱۰۶
۶- تجهیزات احتراق: مشعل‌های نفت و گاز ۱۰۹
۶-۱- مشعل‌های گازسوز ۱۰۹
۶-۲- مشعل‌های سوخت مایع ۱۰۹
۶-۳- سیستم‌های مختلف کنترل مشعل ۱۱۱
۶-۴- تجهیزات احتراق ۱۱۲
۷- تجهیزات صرفه‌جویی انرژی حرارتی ۱۱۴
۷-۱- مبادله کن های بازیافت گازهای احتراق ۱۱۴
۷-۲- اکونومایزرها ۱۱۷
۷-۳- عایق‌بندی ۱۱۷
۷-۴- تحلیل گر اکسیژن ۱۱۸
۷-۵- کنترل دور موتور با استفاده از VSD ۱۱۹
۷-۶- دمپر(دریچه)گازهای خروجی ۱۱۹
۷-۷- دیگ‌های بازیافت ۱۱۹

فصل ۳ ـ مدیریت انرژی در سیستم‌های تولید و توزیع بخار

۱- مدیریت مصرف انرژی در دیگ‌های بخار (تولید بخار) ۱۲۱

۱-۱- انواع دیگ‌های بخار ۱۲۱

۱-۲- استفادهٔ اقتصادی از دیگ‌های بخار و راه‌های افزایش راندمان ۱۲۳

۱-۲-۱- تلفات گازهای خروجی ۱۲۴

۱-۲-۲- تلفات تابشی و همرفتی ۱۲۷

۱-۲-۳- استفاده از سیستم کنترل دور متغیر برای دمنده های بویلر ۱۲۷

۱-۲-۴- پیش گرمایش هوای احتراق ۱۲۸

۱-۲-۵- پیش گرمایش آب تغذیه ۱۲۹

۱-۲-۶- نیاز به کنترل TDS و بلودان(تخلیه) دیگ بخار ۱۳۰

۱-۲-۷- عملیات دوده‌زدایی ۱۳۳

۱-۲-۸- عملیات تصفیه آب ۱۳۵

۲- تراز مصرف و تلفات انرژی در دیگ‌های بخار ۱۳۶

۲-۱- بازده حرارتی دیگ بخار ۱۳۶

۲-۲- محاسبات بازده حرارتی دیگ‌های بخار به روش مستقیم ۱۳۷

۳- بهینه‌سازی در سیستم‌های توزیع بخار ۱۴۵

۳ -۱- کلکتورهای (گرد آورنده‌های)اصلی بخار و اتصال بهینه چند دیگ بخار با یکدیگر ۱۴۵

۳-۲- استفاده از شیرهای کنترل بخار ۱۴۷

۳-۳- شیرهای فشارشکن ۱۴۷

۳-۴- محاسبهٔ میزان پاشش مستقیم بخار ۱۴۸

۳-۵- تشتی‌های بخار ۱۴۹

۴- تله‌های بخار ۱۵۰

۴-۱- لزوم بکارگیری تله بخار ۱۵۰

۴-۲- انواع تله‌های بخار ۱۵۱

۴-۳- محل نصب تله‌های بخار ۱۵۶

۴-۴- رعایت نقاط نصب تله‌های بخار در خطوط برگشت بخار تغطیر شده ۱۵۷

۴-۵- محاسبهٔ هزینهٔ نشت بخار از تله‌ها ۱۵۱

۴-۶- مسدود شدن تله های بخار ۱۶۲

فصل ۴ ــ روش‌ها و تجهیزات اندازه‌گیری انرژی حرارتی

۱- آشنایی با دستگاه‌های ممیزی انرژی ۱۶۵
۲- انواع دستگاه‌های اندازه‌گیری حرارتی ۱۶۶
۲-۱- دستگاه تحلیل‌گر احتراق ۱۶۶
۲-۲- دستگاه دبی‌سنج مافوق صوت ۱۶۸
۲-۳- دماسنج مادون قرمز ۱۷۱
۲-۴- جمع‌کننده اطلاعات ۱۷۳
۲-۵- دستگاه اسپکتروفتومتر ۱۷۳
۳- پارامترهای قابل اندازه‌گیری در دیگ‌های بخار و کوره‌ها ۱۷۴
۴- موازنه جرم و انرژی ۱۷۸
۴-۱- انتخاب حجم کنترل در سیستم‌های انرژی‌بر ۱۷۹
۴-۲- موازنهٔ جرم ۱۷۹
۴-۳- موازنه انرژی ۱۸۴

فصل ۵ ــ سیستم‌های مدرن صرفه‌جویی انرژی

۱- بازیافت انرژی ۱۸۹
۱-۱- منابع اتلاف انرژی ۱۸۹
۱-۲- عوامل مؤثر در انتخاب سیستم بازیافت انرژی ۱۹۱
۲- تجهیزات بازیافت انرژی حرارتی ۱۹۱
۲-۱- بازیاب‌کننده ۱۹۱
۲-۲- پیش‌گرم کن هوای کوره ۱۹۳
۲-۳- لوله های گرمایی ۱۹۵
۲-۴- زباله سوزها ۱۹۷
۲-۵- دیگ‌های بخار بازیاب حرارت ۱۹۸
۳- نمونه‌هایی از بکارگیری سیستم‌های بازیافت انرژی ۱۹۹
۳-۱- بازیافت حرارت از کوره‌های عملیات حرارتی ۱۹۹

۳-۲- بازیافت حرارت از دودکش دیگ‌های خار در صنایع قند و شکر ۲۰۱
۴- سیستم‌های تولید کننده مشترک برق و حرارت ۲۰۲
۴-۱- تولید همزمان برق و حرارت (CHP) ۲۰۲
۴-۲- تولید همزمان برق و حرارت ۲۰۶
۴-۳- موارد کاربرد تولید مشترک برق و حرارت ۲۰۷
۵- مطالعه موردی استفاده از سیستمهای تولید مشترک برق و حرارت در صنایع ۲۱۱
۵ -۱- استفاده از CHP در یکی از شرکتهای صنایع شیر ۲۱۱

فصل ۶ ـ مدیریت مصرف انرژی در ساختمان

۱- مبانی مدیریت انرژی در ساختمان ۲۱۶
۱-۱- روش شناسایی منابع اتلاف انرژی در ساختمان مسکونی ۲۱۶
۱-۲- پوشش‌ها و سطوح خارجی ساختمان ۲۱۷
۱-۳- سیستم‌های روشنایی ۲۲۳
۱-۴- موارد اندازه‌گیری ۲۲۴
۱-۵- تعیین منابع اتلاف و پتانسیل جلوگیری از اتلاف انرژی ۲۲۶
۱-۶- ارائه فهرست کنترل جهت اجرای روش ۲۲۶
۱-۷- جمع‌بندی ۲۲۸
۲- روش و مراحل انجام ممیزی انرژی در ساختمان ۲۳۰
۲ -۱- مراحل انجام ممیزی انرژی در ساختمان ۲۳۰
۲-۲- فهرست کنترل برنامه مدیریت انرژی در ساختمان ۲۳۲
۲-۳- روش‌های صرفه‌جویی انرژی در ساختمان‌های موجود ۲۳۸
۳- نتایج مطالعات موردی در ۵ نمونه ساختمان ۲۴۲
۳-۱- تراز مصرف انرژی الکتریکی ۲۴۲
۳-۲- شاخص‌های مصرف ویژه انرژی حرارتی و الکتریکی ۲۴۲
۳-۳- تراز تلفات انرژی حرارتی از جداره‌های خارجی ساختمان ۲۴۳
۳-۴- امکان صرفه‌جویی انرژی الکتریکی و حرارتی ۲۴۹
۴- عایق‌کاری حرارتی ساختمان‌ها ۲۵۱
۴-۱- انتقال حرارت از جداره‌های خارجی ساختمان ۲۵۱

۴-۲- کاربرد عایق‌های حرارتی در ساختمان ۲۵۱
۴-۳- آسایش حرارتی ۲۵۲
۵- روش‌های اجرایی عایقکاری حرارتی ۲۵۲
۵-۱- عایقکاری از داخل ۲۵۲
۵-۲- عایقکاری از خارج ۲۵۲
۵-۳- عایق کاری گسترده ۲۵۳
۶- بهینه‌سازی مصرف انرژی در تأسیسات حرارتی و برودتی ۲۵۳
۶-۱- معرفی سیستم‌های تهویه مطبوع ۲۵۳
۶-۲- انواع سیستم‌های تهویه مطبوع (گرمایش و سرمایش ساختمان‌ها) ۲۵۴
۶-۳- بهره‌برداری و صرفه‌جویی انرژی در سیستم‌های تبرید ۲۵۶
۶-۴- صرفه‌جویی انرژی در کمپرسورها ۲۵۷
۶-۵- روش‌های بازیافت در سیستم‌های تبرید ۲۵۸
۶-۷- توصیه‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی در تأسیسات حرارتی و آبگرم مصرفی ساختمان ۲۵۹

فصل ۷ ـ روشهای مدیریت و صرفه جویی انرژی الکتریکی

۱- ضرورت مدیریت انرژی الکتریکی ۲۸۳
۱-۱- مقدمه ۲۸۳
۱-۲- شناخت امکانات و محدودیت های بار وانرژی الکتریکی ۲۸۴
۱-۳- ضرورت مدیریت مصرف برق در صنایع کشور ۲۸۵
۲- اصول مدیریت بار ۲۸۶
۲-۱- انگیزه‌های مدیریت بار ۲۸۷
۲-۲- تکنیک‌های اجرای مدیریت بار ۲۸۸
۲-۳- پارامترهای لازم برای مدیریت بار ۲۹۰
۲-۳-۱- منحنی بار و توزیع تداوم بار ۲۹۰
۲-۳-۲- ضریب تقاضا ۲۹۰
۲-۳-۳-ضریب بار ۲۹۱
۲-۳-۴- توان اکتیو و راکتیو ۲۹۲
۲-۳-۵- ضریب توان ۲۹۲

۲-۴- روشهای اندازه گیری قدرت و انرژی الکتریکی ۲۹۴
۲-۵- اصلاح منحنی بار ۲۹۵
۳- تعرفه‌های برق و مدیریت تقاضا ۲۹۶
۳-۱- تعرفه های برق در بخش صنعت ۲۹۶
۳-۲- توصیه‌های مدیریت بار در کارخانه ۲۹۹
۴- تلفات در سیستم‌های قدرت و راهکارهای کاهش آن ۳۰۴
۴-۱- انواع تلفات در سیستم قدرت ۳۰۵
۴-۲- عوامل افزایش تلفات در شبکه ۳۰۶
۴-۳- محاسبه تلفات انرژی و توان ۳۰۶
۴-۴- راهکارهای موجود برای کاهش تلفات ۳۰۷
۵- کنترل توان راکتیو ۳۰۸
۵-۱- روش‌های کنترل قدرت راکتیو و ولتاژ ۳۰۹
۵-۲- بهبود ضریب توان ۳۱۰
۵-۳- تلفات در موتورهای القایی سه‌فاز ۳۱۱
۵-۴- تشریح پخش توان در موتورهای القایی سه‌فاز ۳۱۱
۵-۵- آزمایش‌های مربوط به تعیین تلفات ۳۱۳
۵-۶- روش راه‌اندازی موتورهای القایی سه‌فاز ۳۱۳

فصل ۸ ـ صرفه جویی انرژی در سیستم های تولید هوای فشرده

۱- مقدمه ۳۱۷
۲- مروری بر مبانی اولیه ۳۱۸
۳ - دسته بندی انواع کمپرسورها ۳۱۹
۳-۱- انواع کمپرسورها ۳۲۰
۴- تولید هوای فشرده ۳۲۴
۵- اجزای دیگر از سیستم هوای فشرده ۳۲۹
۵-۱- (صافی‌ها) ۳۲۹
۵-۲- مخازن هوای فشرده ۳۳۰

۵-۳- خشک کن ها ۳۳۱
۵-۴- خشک‌کن بین مرحله‌ای ۳۳۱
۶- توزیع هوای فشرده ۳۳۲
۷- نشتی‌های هوا ۳۳۵
۸- بهره برداری از هوای فشرده ۳۳۶
۹- پتانسیل های رایج در صرفه جویی انرژی در سیستم های تولید هوای فشرده ۳۳۷
۹-۱- کاهش دمای هوای ورودی ۳۳۷
۹-۲- کاهش فشار تخلیه ۳۳۹
۹-۳- تعمیر نشتی های هوا ۳۴۰
۹-۴- سایر پتانسیل های کاهش مصرف انرژی ۳۴۳
۱۰- موارد تکمیلی در مورد شناسایی میزان نشت هوای فشرده ۳۴۴
۱۱- بازیافت حرارت از کمپرسورها ۳۴۵

فصل ۹ ـ صرفه‌جوئی انرژی در فن ها (دمنده‌ها) و پمپ‌ها

۱ - دمنده ها ۳۴۷
۱-۱-انواع دمنده‌ها ۳۴۷
۱-۲- مقاومت و منحنی‌های مقاومت در دمنده‌ها ۳۵۸
۱-۳- توان لازم برای دمنده‌ها ۳۵۹
۱-۴- صرفه‌جوئی انرژی الکتریکی در دمنده‌ها ۳۶۰
۲ - پمپ‌ها ۳۶۸
۲-۱- طبقه‌بندی پمپ‌ها ۳۶۸
۲-۲- مشخصات پمپ‌ها ۳۷۷
۲-۳- توان مصرفی و راندمان پمپ‌ها ۳۷۷
۲-۴- کارکردهای مختلف یک پمپ ۳۷۹
۲-۵- کارکرد موازی پمپ‌ها ۳۸۰
۲-۶- کارکرد سری پمپ‌ها ۳۸۲
۲-۷- شرایط انتخاب کارکرد سری یا موازی ۳۸۳
۲-۸- راهکارهای صرفه‌جویی انرژی در پمپ‌ها ۳۸۵

فصل ۱۰ ـ صرفه‌جوئی انرژی در روشنایی و سیستم‌های تهویه مطبوع

۱- بهینه‌سازی انرژی در سیستم‌های روشنایی ۳۸۹

۱-۱- مقدمه ۳۸۹

۱-۲- چگونگی تولید نور ۳۹۰

۱-۳- تعریف ۳۹۰

۱-۴- انواع منابع روشنایی (لامپ) ۳۹۲

۱-۵- مقایسه خواص منابع نور مختلف ۴۰۳

۱-۶- بالاست‌ها ۴۱۷

۱-۷- چراغ‌ها ۴۲۰

۱-۸- کنترل‌های سیستم روشنایی ۴۲۲

۱-۹ - تعمیر و نگهداری سیستم‌های روشنایی ۴۲۵

۱-۱۰ - محاسبات اقتصادی روشنایی ۴۲۷

۱-۱۱- جانمایی مؤثر روشنایی ۴۲۹

۲- بهینه سازی انرژی در سیستم‌های گرمایش و تهویه مطبوع HVAC ۴۳۱

۲-۱- تعریف ۴۳۱

۲-۲- شرایط لازم برای آسایش و سلامت انسان ۴۳۱

۲-۳- معرفی سیستم های نمونه ۴۳۲

۲-۴- محاسبه بار سرمایش و گرمایش ساختمان ۴۳۸

۲-۵ - استفاده از کامپیوتر جهت محاسبه بار سرمایش و گرمایش ۴۴۹

۲-۶- فرصت‌های صرفه جویی انرژی در تهویه مطبوع ۴۵۰

فصل ۱۱ ـ سیستمهای محرکه

۱- سیستمهای محرکه ۴۵۷

۱-۱- موتورهای با راندمان بالا ۴۵۸

۱-۲- کنترل کننده های موتور ۴۶۲

۱-۳- سیستمهای با سرعت متغیر ۴۶۵

مراجع

۱- مراجع فارسی ۴۷۱

۲- مراجع انگلیسی ۴۷۲

فصل اول

اصول صرفه جویی

مقدمه

اهمیت و لزوم حرکت به سوی بهینه‌سازی مصرف انرژی در کشور:

حرکت بهینه‌سازی مصرف انرژی که از اوایل دهۀ ۱۹۷۰م در دنیا شروع شد، همواره دارای سه موضوع انرژی، اقتصاد و محیط زیست به عنوان ارکان اصلی بوده است. کشورهای صنعتی در ازای این حرکت سودهای قابل توجهی عاید اقتصاد کشور خود نموده‌اند. امروزه کشورهای صنعتی به مدیریت مصرف انرژی به عنوان یک منبع جدید انرژی می‌نگرند. اعمال این مدیریت منجر به شکوفایی صنعت، اقتصاد و بروز فرهنگ مصرف منطقی شده است و نسلی جدید از تکنولوژی به نام فناوری‌های پاک پا به عرصۀ وجود گذاشته است.

آمار و ارقام مصرف انرژی در سه دهۀ گذشته در کشورهای صنعتی نشان می‌دهد که با وجود کاهش رشد مصرف انرژی، تولید ناخالص ملی آنها افزایش پیدا کرده و هر روز از شدت مصرف انرژی آنها کاسته شده است. در حالیکه در کشور ما عکس این مطلب اتفاق افتاده است.

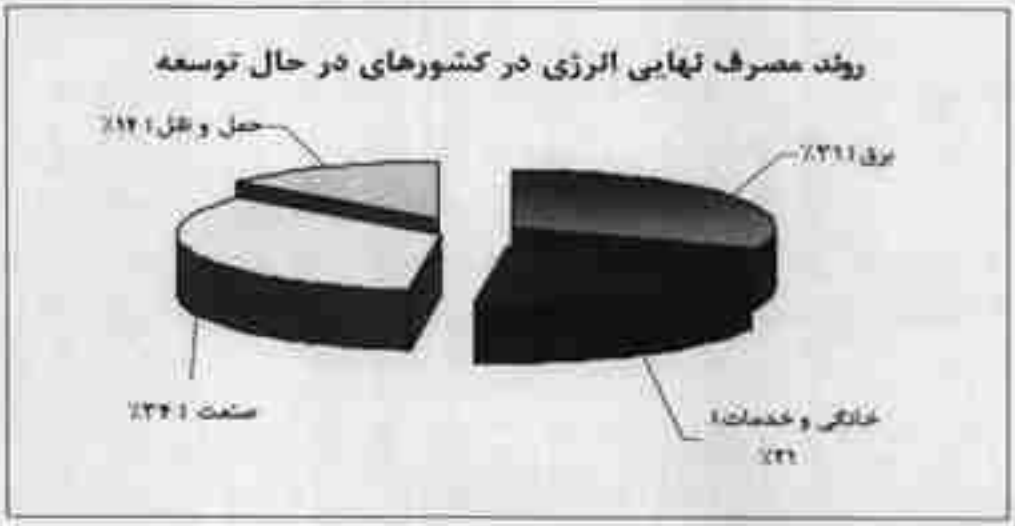
به عبارت دیگر در ایران برای تولید یک واحد معینی کالا و خدمات، ۳/۴ برابر انرژی در مقایسه با ۳۰ سال گذشته مصرف می‌شود. این مصرف بی‌رویه خود عواقب بسیار وخیم اقتصادی، اجتماعی و سیاسی در بر خواهد داشت.

لذا برای غلبه بر مشکلات و معضلات فوق، نیاز به ابزارهای مختلفی از جمله اجرای اصول مدیریت انرژی در کشور می‌باشد.

۱- بررسی وضعیت انرژی در ایران و کشورهای صنعتی:

به طور کلی اگر آخرین تراز انرژی (سال ۸۶) کشور را بررسی کنیم، می‌بینیم که در حال حاضر از کل انرژی اولیه مصرفی در کشور فقط ۱ ٪ را انرژی‌های تجدیدپذیر و ۹۹ ٪ باقیمانده را انرژی‌های تجدیدناپذیر تشکیل می‌دهد که پس از مصرف، جایگزینی نخواهند داشت.

با بررسی الگوی مصرف انرژی در بخش‌های مختلف مصرف‌کننده در کشور و مقایسه آن با کشورهای در حال توسعه مشاهده می‌شود که بخش خانگی و تجاری بیش از ۴۰ درصد از مصرف نهائی و صنعت فقط ۲۰ درصد به خود اختصاص داده که این نشان‌دهنده الگوی نامناسب مصرف انرژی است، زیرا فعالیت‌های غیرمولد، قسمت اعظم مصرف انرژی را به خود اختصاص داده‌اند. (شکل ۱-۱) ؛ در حالیکه اگر به مصرف انرژی هشت کشور در حال توسعه (برزیل، چین، هند، اندونزی، مالزی، پاکستان، فیلیپین و تایلند) ، نگاه کنیم ، می‌بینیم که بخش صنعت ۳۴٪ و بخش خانگی و خدمات ۲۱٪ است (شکل۲-۱) و در مقایسه با ایران متوجه می‌شویم که الگوی مصرف انرژی در ایران نادرست است یعنی بیشترین مصرف انرژی در بخش غیرمولد صورت می گیرد در حالیکه یک کشور در حال توسعه باید بخش صنعت و تکنولوژی آن بیشترین سهم از مصرف انرژی را به خود اختصاص دهد.



شکل(۱-۱) مقایسه روند مصرف نهایی انرژی در کشورهای صنعتی و کشورهای در حال توسعه [۲]

شکل (۲-۱)، الگوی مصرف انرژی در بخش‌های مختلف کشور (سال ۸۶)

حال چه باید کرد؟

تجربه به ما می‌آموزد که حتی در کشورهایی که دارای ساختار صحیح مصرف انرژی هستند، بهینه‌سازی مصرف انرژی نه در گذشته و نه در حال بدون یک برنامه بهبود راندمان انرژی از سوی مصرف‌کنندگان آغاز نشده است، نمی‌توان نخست روی عکس‌العمل مصرف‌کننده برای بهبود راندمان انرژی حساب کرد که باید این شرایط را بوجود آورد. بنابراین در راستای دستیابی به اینگونه صرفه‌جویی انرژی، دولت باید تصمیمات و اقداماتی در خصوص سیاستگذاری و کدهای ساختمانی بخش‌های دیگر اتخاذ کند.

برای دستیابی و به منظور صیانت از منابع انرژی فسیلی و به عبارت دیگر استفاده بهینه و منطقی از حامل‌های انرژی باید فعالیت‌های زیر صورت پذیرد:

۱- ترویج فرهنگ عمومی بهینه‌سازی و استفاده منطقی از حامل‌های انرژی

۲- تقویت سازمان‌ها و شرکت‌های خدمات مشاوره‌ای انرژی (ESCO)[۱] که در این خصوص فعالیت دارند.

۳- ایجاد انگیزه و آموزش مصرف‌کنندگان نهایی انرژی

۴- ایجاد پشتیبانی قانونی جهت ضمانت اجرای قانون انرژی

۵- منطقی کردن قیمت حامل‌های انرژی

۶- اجرای راهکارهای مدیریت انرژی

۱- (Energy Service Company) شرکت مشاور خدمات انرژی به شرکتی اطلاق می‌شود که بتواند خدمات حرفه‌ای مدیریت انرژی برای مصرف‌کنندگان نهایی انرژی را از طرق مختلف تأمین نماید.

– چگونه می توان صرفه جویی انرژی را ارتقاء داد؟

مفهوم اساسی صرفه جویی انرژی

اساس صرفه جویی انرژی با نگاه به موضوعات جزئی درکار روزانه و بررسی هایی به شرح ذیل شروع می شود:

- ضرورت استفاده از این انرژی چیست؟
- چرا دما، فشار، آهنگ جریان یا زمان لازم است؟
- اگر بخواهیم مصرف انرژی را کاهش یا نوع آن را تغییر دهیم، با چه نوع مسائلی روبرو خواهیم بود؟
- آیا هیچ جایگزینی وجود دارد؟
- تصمیم در مورد توقف استفاده نادرست چه خواهد بود؟

اگر ما پیوسته در پی یک روند" چه چیز"، " چرا " و " چگونه " باشیم، متوجه خواهیم شد که موضوعات زیادی وجود دارد که در عمل بدون هیچ دلیل منطقی ادامه یافته است.

عامه مردم آمادگی اینگونه تفکر را دارند که " اگر موقعیتی بحرانی و خطرناک وجود نداشته باشد، در حفظ روش های سنتی مشکلی وجود ندارد. " اگر وضعیت فعلی به صورتی مؤثر برای صرفه جویی انرژی تغییر کند، ما به اصولی برای تغییرات در خصوص وضعیت فعلی نیاز خواهیم داشت. سه اصل " جلوگیری کردن" برای صرفه جویی انرژی در تغییر الگوی تفکر مفید خواهد بود که در ذیل توصیف شده است.

جلوگیری از استفاده نادرست (غیرمنطقی)

جلوگیری از نشت کردن

جلوگیری از تلف شدن

این سه قاعدهٔ " جلوگیری کردن " اساس و مبنایی برای صرفه جویی دائم انرژی است.

اصل اول " جلوگیری از استفاده نادرست" نخستین گام با توجه به مصرف زیاد انرژی بغیر از حداقل مورد نیاز است. برای جلوگیری از تلفات نباید از دما و فشار بیش از حد مورد نیاز استفاده شود.

اصل دوم " جلوگیری از نشت کردن " بخصوص در نگهداری تجهیزات اهمیت دارد. این قاعده به چیزهایی مانند نشت نکردن آب یا بخار، جریان بیش از حد یک ظرف، یا نشت نکردن یک سوپاپ یا دمپر متوقف کننده در سیستم لوله کشی، اشاره دارد.

اصل سوم" جلوگیری از تلفات" است که به طور عمده به جلوگیری از اتلاف گرما از سطوح جامد و جلوگیری از تبخیر آب و نظایر آن اشاره دارد. دیدن یا شنیدن آنها مشکل و سنجش مقدار آن نیز دشوار است. بنابراین اقداماتی که باید برای برخورد با این موارد صورت گیرد، کامل نخو اهد بود.

بر اساس سه اصل بالا، جلوگیری از استفاده نادرست، جلوگیری از نشت کردن و جلوگیری از تلف شدن، برای صرفه جویی دائم انرژی لازم است. با بررسی تجهیزات و کار گام به گام و با جزئیات، در محل کار نشان خواهیم داد که چه مقدار انرژی در حال تلف شدن است.

بیشتر کارگران ممکن است دارای تجاربی در خصوص اقدامات ذکر شده در بالا باشند که در این جا بعنوان اقدامات دائم صرفه‌جویی انرژی مورد توجه قرار گرفته است. اما با این وجود، همانگونه که این گفته مشهور می گوید " چنانچه به انتها رسیدی دوباره به نقطه شروع برگرد"، می‌آموزد تا به نقطه شروع برگردیم و دوباره به آن بر اساس سه اصل " جلوگیری کردن" نگاه کنیم.

جلوگیری از استفاده غیر منطقی

انرژی مفید خواهد بود به شرط آنکه از آن استفاده منطقی کنیم، بنابراین ممکن است اصطلاح" جلوگیری از استفاده نادرست" خوشایند بنظر نرسد. اما لطفاً به این موضوع توجه داشته باشید که بیشتر از آنچه بصورت تئوری مورد نیاز است، استفاده نکنید. تحلیل در جزئیات مصرف انرژی نشان خواهد داد که مقدار واقعی انرژی لازم چقدر اندک است . در اینجا نمونه ای از یک فرآیند رنگرزی ارائه می شود.

با توجه به این که ۷۰ تا ۸۰ درصد انرژی مصرف شده برای گرمایش آب فقط به گرما تبدیل و تلف می شود و اینکه درصد کمی از انرژی برای گرمایش الیاف و مواد شیمیایی که فرآیند اصلی رنگرزی است مصرف خواهد شد ، سؤالات ذیل مطرح می شود:

۱ـ آیا واقعاً برای گرمایش آب به این میزان انرژی نیازی وجود دارد؟

۲ـ آیا از نظر فنی امکان کاهش مصرف انرژی در گرمایش آب وجود دارد ؟ اگر وجود دارد، چه دمایی باید باشد؟ مقدار آب؟ زمان؟ یا آن یک نتیجهٔ ناشی از ساختار تجهیزات است؟

۳ـ بعد از بحث بیشتر، آیا هیچ راهی وجود دارد که از آب استفاده نکنیم؟

همانگونه که در بالا مشاهده شد، با بررسی منظم از نظر اصل " جلوگیری از استفاده نادرست " می‌توان فهمید که آیا این روش دربرگیرندهٔ هدف نخستین افزایش بهره وری و استفاده از انرژی است و یا اینکه نتیجه عدم دقت در خصوص هزینه های انرژی در گذشته است.

جلوگیری از نشت کردن

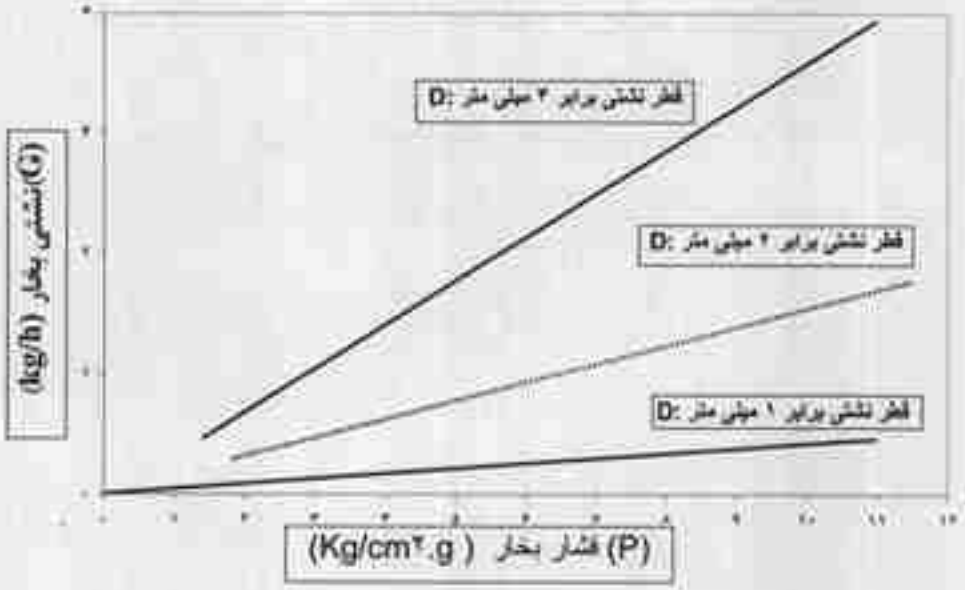
هر کسی معنی و مفهوم "توقف نشت" را می داند، اما آیا واقعاً معلوم است چه مقدار انرژی در اثر نشتی از دست می رود؟ یک نشتی بزرگ از یک شکاف زمانی رخ می دهد که با فشار به بیرون فوران کند. اما، یک نشتی کوچک تا زمانی که کشف شود به آرامی و بنهانی ادامه می یابد و مجموع اتلافی که طی زمان نشتی صورت گرفته است، رقمی بیش از تصور ما خواهد بود.

وقتی که این میزان اتلاف را به پول تبدیل می کنیم، چنان رقمی می شود که اغلب افراد می‌گویند "نمی‌تواند این طور باشد". مشکل این است که افراد را باید به این آگاهی رساند که تفاوت بین یک نشت لحظه ای و مجموع اتلاف در یک نشت مستمر که خیلی زیاد است، چیست.

در این جا نمونه ای از یک کارخانه که از بخار استفاده می کند ارائه می شود. تأسیسات آن بیش از ده سال مورد استفاده قرار گرفته و فرسوده شده است. همچنین بخار در فشار بالایی تحویل می شود. بنابراین نشت در محل اتصال لوله و درز شیرها و ماشین دیده می شود.

در محاسبه ذیل با فرض اینکه نشت به مدت یکسال ادامه یابد، بنحو غیرقابل باوری مشخص می شود که خسارت به چندین میلیون تومان رسیده است. افرادی که این وضعیت را مدت زیادی نادیده گرفته بودند، با تعجب متوجه اتلاف دراز مدت انرژی و هزینه بالای این اتلاف شدند.

$G=۰/۵۶۲۶(D)^{۲}(P/V)^{۰/۵}$ $V=$حجم مخصوص بخار خشک$[m^3/kg]$



شکل ۱-۳ ـ وابستگی نشت بخار به فشار بخار و قطر حفره نشت [۷]

همانطور که در شکل شماره (۱-۳) نشان داده شده است، وقتی فشار بخار $(kg/cm^2.g)$ ۵ است (g به معنی فشار نسبی است)، نشت از راه یک حفره با قطر ۳ mm به (kg/h)۱۹ می رسد. که اگر به همان حالت رها شود، ۱۱۴ تن بخار در هوا طی یک سال تلف می شود (با فرض زمان نشت که ۶ هزار ساعت است.)

[کیلوگرم ساعت ۱۹ × [سال/ ساعت] ۶۰۰۰ = [کیلوگرم/سال] ۱۱۴۰۰۰= [سال / تن] ۱۱۴

حتماً از زیادی تلفات در این حد، نیز متعجب خواهید شد. البته نشتی هایی مانند نمونه بالا اغلب مورد توجه قرار می گیرند چون در کارخانه صدها اتصال و شیر وجود دارد. ولی به هرحال اگر به نشتی‌هایی مانند نمونه بالا توجه نشود و به مدت طولانی نیز ادامه پیدا کند، ضایعات فوق پیش خواهد آمد.

موضوع نگران کننده عادت و قبول وضعیت بد است که احساس از دست دادن انرژی دیگر آن مفهوم واقعی خود را ندارد.

بنابراین ضروری است که یک نگرش منفی، یعنی فقط، " پیدا کردن نشتی" یا " توقف نشتی را" به ایجاد سیستم مدیریت " جلوگیری از نشت کردن " و یا ارتقاء صرفه جویی انرژی را با انجام پیشرفت هایی مطابق با این قانون اجرا کرد.

"جلوگیری از تلف شدن"

"جلوگیری از تلف شدن" یکی از دو اقدام اساسی جلوگیری از اتلاف انرژی به همان شیوه جلوگیری از نشت کردن است با این تفاوت که دارای یک جنبه نسبتاً مثبت نیز می‌باشد. چون اغلب چشم و گوش (و در برخی موارد بینی) دیگران ،آن را حس می کند و توجه به اتلاف را آسان می سازد. از سوی دیگر، با جلوگیری از تلفات ، درک مقدار واقعی اتلاف، مشکل بوده و به همین دلیل است که نادیده گرفته می شود و به طور معمول هر نوع اقدامی در زمانی انجام می گیرد که دیگر خیلی دیر شده است.

نشت بخار سرو صدای زیادی دارد و بنابراین اتلاف مورد توجه قرار می گیرد. اما حقیقت این است که اتلاف گرمای تلف شده ازمنبع های بدون عایق حرارتی بیش از اتلاف از نشتی‌ها است. اگر احساس کنید که " نمی‌تواند حقیقت داشته باشد" پس بهتر است یکبار دیگر در اطراف کارخانه خود قدم بزنید و تعداد نقاط نشت بخار و تعداد اتصالات بدون عایق گرمایی را مقایسه و بررسی کنید. اغلب مورد دوم (اتصالات بدون عایق) به شکل قابل توجهی از نظر تعداد بیشتر است. این موضوع چه معنی دارد؟

همانطور که در بالا توضیح داده شد، شاید طبیعی باشد که کارگران، زیاد " تلفات" را احساس نکنند . تفاوت زیادی بین کارگران از نظر شناخت وجود دارد. آیا این بدان معنی است که محاسبه میزان تلفات مشکل است؟ اما بهر حال، این موضوع درست است که اقدامات انجام شده برای مقابله با تلفات نشتی بسیار عقب نرهستند. در ذیل اتلافات گرما طبقه بندی شده است:

الف) گرمای رها شده از دیواره تجهیزات یا سطح لوله ها هنگامی که دمای آنها بالاتر از محیط است.

ب) گرمای تلف شده از کف ماشین ها و مخازن با دمای بالا و نظایر آن

ج) گرمای تلف شده از سطح رو باز آب

د)گرمای تلف شده توسط مایع تلف شده

هـ) گرمای تلف شده توسط گاز خارج شده

و) بخار لحظه ای تخلیه شده از لوله تخلیه بخار

ز)گرمای داده شده به آب خنک کننده بعد از سرد شدن ماشین

ح) گرمای تلف شده از تخلیه مداوم دیگ بخار

اتلاف را در ارتباط با گرمایش در نظر بگیرید، وقتی که ۱ـ دما بالا است ۲ـ مساحت سطح زیاد است ۳ـ زمان طولانی است، واضح است که گرمای تلف شده افزایش می‌یابد. اقدامات اساسی که برای "جلوگیری از تلف شدن" باید انجام شود، شامل بهبود موارد ذکر شده است.

۲ـ مشکلات ارتقاء صرفه جویی انرژی:

طبیعی است که مشکلات ارتقاء صرفه جویی انرژی در هر کارخانه یا هر مؤسسه‌ای متفاوت است، اما بطور کلی چنین مشکلاتی همانگونه که در جدول ۱ـ۱ نشان داده شده است، وجود خواهد داشت.

جدول ۱ـ۱ـ مشکلات اصلی برای بهبود اصول صرفه جویی انرژی (۱۴و ۱۵)

رده	مشکلات	محتوای مشکلات	وضعیت و سابقه
کلی	۱- فقدان شناخت برای صرفه جویی انرژی	- فقدان انگیزه برای صرفه جویی انرژی - کافی نیست بگوییم که شما در گذشته به اندازه کافی کار کرده‌اید.	- تمایل به استفاده اضافی از هرچیزی و نبود توجه به صرفه جویی انرژی - ایده ای درباره ضرورت صرفه جویی انرژی وجود ندارد - رضایت از انرژی ثابت، قیمت پائین
تجهیزات	۲-فقدان‌شناخت برای هزینه انرژی	- فقدان آموزش و آگاهسازی - نظری درباره هزینه انرژی وجود ندارد (مقدار پول)	- نبود دانش درباره انرژی مورد نیاز - نظری درباره شایستگی های صرفه جویی انرژی وجود ندارد
	۳-عدم تفکیک و تجزیه درفعالیت	- در حال حاضر تعدادی معدود از اشخاص دارای تجربه در صرفه جویی انرژی هستند	بعلت تعلیق فعالیت جهت صرفه جویی انرژی تجربه وفن کافی نیست
	۴- ظرفیت اضافی (مشخصات) تجهیزات	- تحت شرایط تولید پایین طی یک دوره توسعه کند، تجهیزات با ظرفیت اضافی، انرژی بیشتری مصرف می‌کنند	- ظرفیت های اضافی برای آن دسته از تجهیزاتی که تحت شرایط تولید بالا نصب شده اند، طی یک دوره پیشرفت بالا مجاز شمرده می‌شود
	۵- نزول عملکرد و کاهش راندمان	- بعنوان مثال،فرسودگی تجهیزات بازیافت، ضایعات گرما، عایق بندی گرمایی و نظایر آن	- نزل عملکرد تجهیزات صرفه جویی انرژی بعلت افزایش عمر

ادامه جدول ۱-۱

	۶- استفاده بیش از حد برای کیفیت	-عدم توجه به استفاده بیش از حد انرژی (بیش از مقدار تئوری)	- هدایت محصول با کیفیت بالا
فرآیند	۷- عدم انطباق با تجهیزات موجود	- روند کند و آهسته فرایند و عملیات بعلت آماده‌سازی - عدم تطابق تجهیزات صرفه جویی انرژی با وضعیت فعلی عملیات	-محدودیت فضا،وسعت محصولات و...
مدیریت	۸- فعالیت نامناسب صرفه جویی	- فقدان انگیزه نسبت به میزان مصرف انرژی که باید مسئول مدیریت روزانه باشد، همچنین نبود آگاهی از تجهیزات	-در گذشته، بخش مدیریت انرژی یا متخصصان کانون فعالیت بودند
	۹- عدم انتقال تجارب و آموخته‌ها در رابطه با روش‌های صرفه‌جویی انرژی	- تکنیک ها در حال از بین رفتن‌اند (مانند احتراق، گرمایش، سرمایش، بازیافت گرما، عایق بندی گرمایی، عدم آلودگی، صرفه جویی انرژی الکتریکی و غیره)	- همانند مورد بالا
	۱۰- فعالیت‌های محدود و ناکافی برای صرفه‌جویی انرژی	- روش های مرسوم صرفه‌جویی انرژی گاهی تداوم ندارد	- عدم وجود استانداردها و قوانین در رابطه با صرفه‌جویی انرژی و یا ناکافی بودن آنها

۳ـ عوامل موثر در صرفه جویی انرژی

در جداول شماره (۱ـ۲)، (۱ـ۳) و(۱ـ۴)، عوامل مؤثر در صرفه جویی انرژی آورده شده است.

جدول ۱ـ۲ـ رابطه بین اقدامات صرفه جویی انرژی و بخش کاری

بخش	مسئولیت مربوطه
۱) تولید ، مکان کار	قضاوت و تصمیم گیری درباره اجرای واقعی ، عملیات و کار موسسه
۲) تولید ، فرآیند	اطلاعات برای قضاوت و تصمیم گیری درباره اقلام تولید و برآورد تولید
۳) کیفیت بازرسی	قضاوت و تصمیم گیری درباره محدوده کیفیت و اثر آن
۴) برق ، مواد	قضاوت وتصمیم گیری درباره تولید نیرو و عرضه
۵) اندازه گیری و کنترل	قضاوت و تصمیم گیری درباره اقدام و کنترل
۶) نصب ، کارهای مهندسی	قضاوت و تصمیم گیری درباره طراحی نصب و شرایط کاربرد آن
۷) ایمنی ، محیط	قضاوت و تصمیم گیری درباره ایمنی، آلودگی و قوانین
۸) محاسبه ، بودجه	قضاوت و تصمیم گیری درباره برآوردها و بودجه ها
۹) پژوهش مهندسی	قضاوت و تصمیم گیری درباه شرایط واکنش و تولید
۱۰) سایر موارد	انتخاب پرسنلی متکل(مانند امور کلی، شرکت های همکار و نظایر آن)

جدول ۱ـ۳ـ درجه بندی ارتباط بین هر بخش و ماهیت موضوعات مربوط به اقدامات صرفه‌جویی انرژی

ماهیت موضوع		خط		کارکنان		
		بخش	کارخانه	تجهیزات	تولید	مدیریت
مدیریت مقتدر	- مدیریت قوی‌تر در راه اندازی موسسه - سرمایه گذاری در سطح تجهیزات روزانه	◊	■	Δ		
بهبود روندها (بزرگ)	بازنگری استانداردهای مهندسی - سرمایه گذاری وسیع در تجهیزات	■	◊	■	Δ	
بهبود روندها (کوچک)	مرور مجدد استانداردهای کار و نظایر آن سرمایه گذاری کوچک در تجهیزات	Δ	■	◊	■	Δ
بهبود روندها	- بررسی مجدد از نظر اصول روند		Δ	■	◊	Δ
جایگزین برای نفت	- انرژی جایگزین بررسی مجدد تجارت			Δ	■	◊

◊ : بخش مسئول

■ بخش همکار

Δ بخش مربوط

جدول ۱ـ۱ ـ خلاصه نکات بازرسی فنی مهم برای صرفه جویی انرژی در صنایع مختلف[۱۴و ۱۵]

صنعت / حوزه		ساخت آهن و فولاد	پتروشیمی	کاغذ و خمیر
۱ـ مدیریت عملیات		• شرط عملیات تجهیزات تولید اصلی • تنظیم برنامه تولید	• شکستن (کراکینگ) نفتا • کنترل احتراق کوره ها مانند کوره کراکینگ نفتا • دست جریان مجدد (بهینه مطلوب و فشار بخار مطلوب در ستون تقطیر	• فشار دمای مطلوب و تمرکز مواد اولیه در هر روند • مصرف مطلوب انرژی الکتریکی با تنظیم عملیات تجهیزات تولید نیرو و تجهیزات روند • فشار بخار تولید • صرفه جویی آب بیشتر • بهره‌گیری کار آمد از گرمای ضایعات
۲ـ تجهیزات کمکی	گرما	• شرایط بازیافت انرژی اتلافی (بازیافت گرمای محسوس کک و بخارات آن) • معرفی کوره گرمایش مجدد با کارآیی بالا	• بازیافت گرمای اتلافی کوره کراکینگ نفتا • عایق بندی لوله و کوره ها • بازیافت مؤثر گرمای واکنش • بازیافت رهگشی بخار • گسترش میدل های گرما	• تطبیق نقطه شبنم بالا، در هود بسته ماشین اسکوپینگ کاغذ • نصب میدل های گرما • نصب سیستم کنترل احتراق خودکار • بهره‌گیری از پمپ های گرمایش • تجهیزات بازیافت گرمای تلف شده • بهره‌گیری از ضایعات بعنوان سوخت

1 - reflux

ادامه جدول ۱-٤

	قدرت الکتریکی	• تولید نیرو با بازیافت فشار بالای کوره از طریق بازیافت گرمای تلف شده • جلوگیری از راه اندازی بیهوده موتورها و کنترل سرعت چرخش	• کمپرسور با کارایی بالا • توربین گاز • کنترل دور موتورها	• کنترل دور موتورها • تولید نیرو با استفاده از بخار اضافی با فشار متوسط یا پایین بوسیله اختلاط توربین فشار، توربین های متراکم کننده با فشار پایین و غیره • صرفه جویی انرژی الکتریکی در روند غبارگیری
۳ـ تجهیزات تولید		• ماشین ریخته گری مداوم فلزکی • آسیاب با تغذیه مستقیم • کوره پخت و حرارت مداوم	• لوله پرتوافکنی با کارایی بالای کوره کراکینگ نفتا • معرفی روند دمای پایین و فشار پایین بوسیله تغییر کاتالیست (تولید کننده پلی اتیلن با چگالی پایین) تولید کننده فاز گازی پلی پروپلین	• استفاده از فرایند با تمرکز و فشار بالا و سیستم بسته
۴ـ سایر موارد		• سیستم مدیریت مرکزی انرژی		• بهره‌گیری کارآمد از مایع بازیافت شده از خمیر تبخیر کننده مایع سیاه کارآمد چندگانه۱، دمای بالا، دیگ بازیافت با فشار بالا

2-Multi- effect

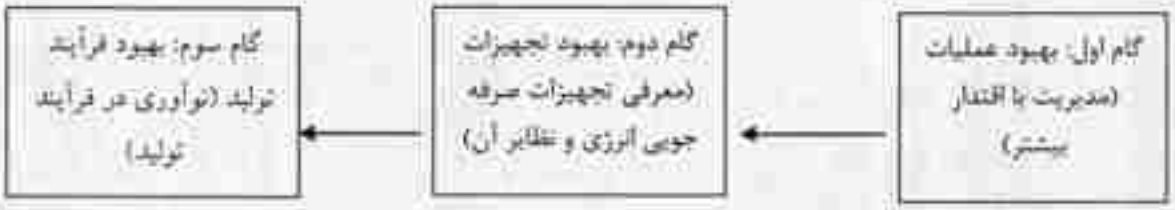
ادامه جدول ۱-٤

صنعت / مورد		سیمان	شیشه	رنگ‌آمیزی	اتومبیل
۱ـ مدیریت عملیات		• کنترل احتراق کوره	• شرایط مخزن ذوب (شوط مشعل)	• کنترل عملیات دیگ ها (کنترل خودکار دی اکسیدکربن)[1] • عملیات تحت شرایط مطلوب از نظر دما و حس گرهای(سنسورهای) رطوبت • بررسی مجدد الگوی گرمایش رنگ آمیزی	• کنترل عملیات تجهیزات تولید اصلی (عملیات با کارایی بالا و نظایر آن)
۲ـ تجهیزات کمکی	بخار	• عایق بندی بیشتر کوره ها و تطبیق پیش گرم‌کن ها • بهبود پیش گرمکن ها • تولید توان با استفاده از دمای اتلافی متوسط و پایین • خنک کننده کوره با کارایی بالا	• نصب دیگ های گرمایش بازیافت • عملیات تجهیزات گرمایی • عایق بندی بیشتر حرارتی مخزن ذوب	• بازیافت گرمایش گازهای خروجی • بازیافت زهکشی • بازیافت گرمای مایع ضایعات • عایق بندی گرمایی لوله و کوتاه کردن آن تا حد ممکن • عملیات پر لقت (الیاژه)	• عایق بندی حرارتی و بازیافت گرمایش و ضایعات از فرآیند رنگ آمیزی کوره • بازیافت گرمای ضایعات در روند پودارش گرما • عایق بندی حرارتی کوره‌ها
	نیروی الکتریکی	• کنترل رایانه ای نیروی مکانیکی (کنترل دور و نظایر آن) • آسیاب عمودی • آسیاب با پیش سنگ شکن • جداکننده‌باکارایی بالا		• کنترل دور موتورها	• کنترل بار موتورها در روند کار ماشین • تغییر وضعیت از گرمایش الکتریکی (گرمکن و نظایر آن) به گرمایش مستقیم
۳ـ تجهیزات تولید		• کوره با پیش گرمایش سیکلونی جدید[2] • کوره پیش گرمایش معلق[3] • آسیاب با کارایی بالا		• ماشین رنگ آمیزی غوطه ور • شستشوگر از نوع صرفه جویی کننده در مصرف آب • تنظیم کننده گرما • هرنگ کن با کارایی بالا	• کاهش حجم گاز در چرخش مجدد در اتاق رنگ در فرآیند رنگ‌آمیزی
۴ـ سایر موارد				• نصب دیگ های توزیع کننده • معرفی سیستم تولید همزمان	• بازیافت گرما از دستگاه زیاله سوز ضایعات (برای تولید نیرو و نظایر آن) • معرفی سیستم تولید همزمان برق و گرما

1- CO_2
2- Ngp (new suspension prehoater
3- Sp (suspension prehoater)

۴ـ سه گام برای صرفه جویی انرژی

صرفه جویی انرژی به طور معمول بوسیله سه گام ذیل ارتقاء می‌یابد.



این سه مورد به تفصیل و به شرح ذیل می‌باشد

گام اول: بهبود عملیات	به‌طور خلاصه می‌توان گفت که این مورد به مفهوم بهبود در شیوه و روش عملیات می‌باشد. هدف بهبود روش بهره‌گیری با روش عملیات وسایل یا تجهیزات، بدون تغییر در ساختار اصلی آنهاست. به عنوان مثال تنظیم نسبت هوا به فشار کوره در یک کوره احتراق یکی از نظایر آن می‌باشد. امتیاز این روش آن است که انجام این کار بدون هزینه های زیاد میسر است. تلاش در جهت ارتقاء آگاهی کارگران و کارمندان از موضوع صرفه‌جویی انرژی و آموزش آنها در ارتباط با فرآیندهایی مانند نمودارهای علت و معلول و نظایران، کار آمد است.
گام دوم: بهبود تجهیزات	در اینجا صرفه جویی انرژی با به روز کردن تجهیزات یا تجدید وسایل برای کارآیی بالاتر تحقق می‌یابد. برای مثال، بهبود با خود کار کردن تجهیزات، کنترل دور یک موتور، طولانی ساختن هر یک از ابعاد محاسبه قابلیت سود و تأثیر سرمایه گذاری لازم است (سال‌های استهلاک)، که میزان سرمایه‌گذاری در کارخانه و تجهیزات مربوطه با میزان تأثیر آن در صرفه جویی انرژی مقایسه می شود.
گام سوم: بهبود فرآیند تولید	این مرحله به معنی تغییر فرایند تولید فعلی به فرایند تولید جدید مهندسی است. مثلاً، استفاده از برق مستقیم در یک کوره گرمایش الکتریکی، چرخش مستقیم از ریخته گری مداوم، حذف فرایند پیش گرمایش با بازیخت مستقیم بعد از آهنگری، داشتن روش فشاء تبادل یون در ساخت کلریدسدیم و نظایر آن. هر چند سرمایه گذاری در مقیاس وسیع در کارخانه و تجهیزات مورد نیاز است و خطر(ریسک) هم قابل توجه است اما انتظار می‌رود که تأثیرات آن خیلی برجسته باشد. این نوع بهبود نیازمند همکاری تمام شرکت از جمله بخش پژوهش و توسعه است.

۵ ـ صرفه جویی انرژی بعنوان فعالیتی برای کاهش هزینه تولید

رابطه بین نتایج صرفه جویی انرژی و کاهش هزینه تولید در جدول ۱ـ۵ نشان داده شده است. این موضوع در زیر بصورت خلاصه ارائه می شود:

۵ ـ۱ـ صرفه جویی انرژی یعنی کاهش هزینه تولید

وقتی که هدف کاهش هزینه تولید باشد، موضوعات اصلی و اساسی عبارتند از: هزینه های انرژی، هزینه های مواد، هزینه‌های کار و نظایر آن. در میان آنها صرفه جویی انرژی برای دستیابی به نتایج مطلوب، زمانی مؤثر است که مشکلات فنی قابل حل باشد و این به طور مستقیم منجر به کاهش هزینه تولید می‌شود.

۵ ـ۲ ـ هزینه انرژی در هزینه تولید بالا می‌باشد

نرخ هزینه انرژی به هزینه تولید بسته به نوع صنعت متفاوت است. اما هزینه‌های انرژی در مقایسه با سایر هزینه‌های تولید، بالا است.

۵ ـ۳ ـ در تبادل نوع انرژی، لازم است از مزایا و معایب اطمینان حاصل کنیم.

گاهی لازم است تا جهت افزایش راندمان و بهبود یک فعالیت، یک نوع انرژی بجای نوع دیگری جایگزین شود. (در برخی موارد این امر یک هدف است) برای مثال ممکن است گرمایش الکتریکی بجای گرمایش بخار استفاده شود. در این مورد، الکتریسیته بجای بخار استفاده می‌شود و پیش‌بینی توازن تقاضا و عرضه در میان مدت ضروری است.

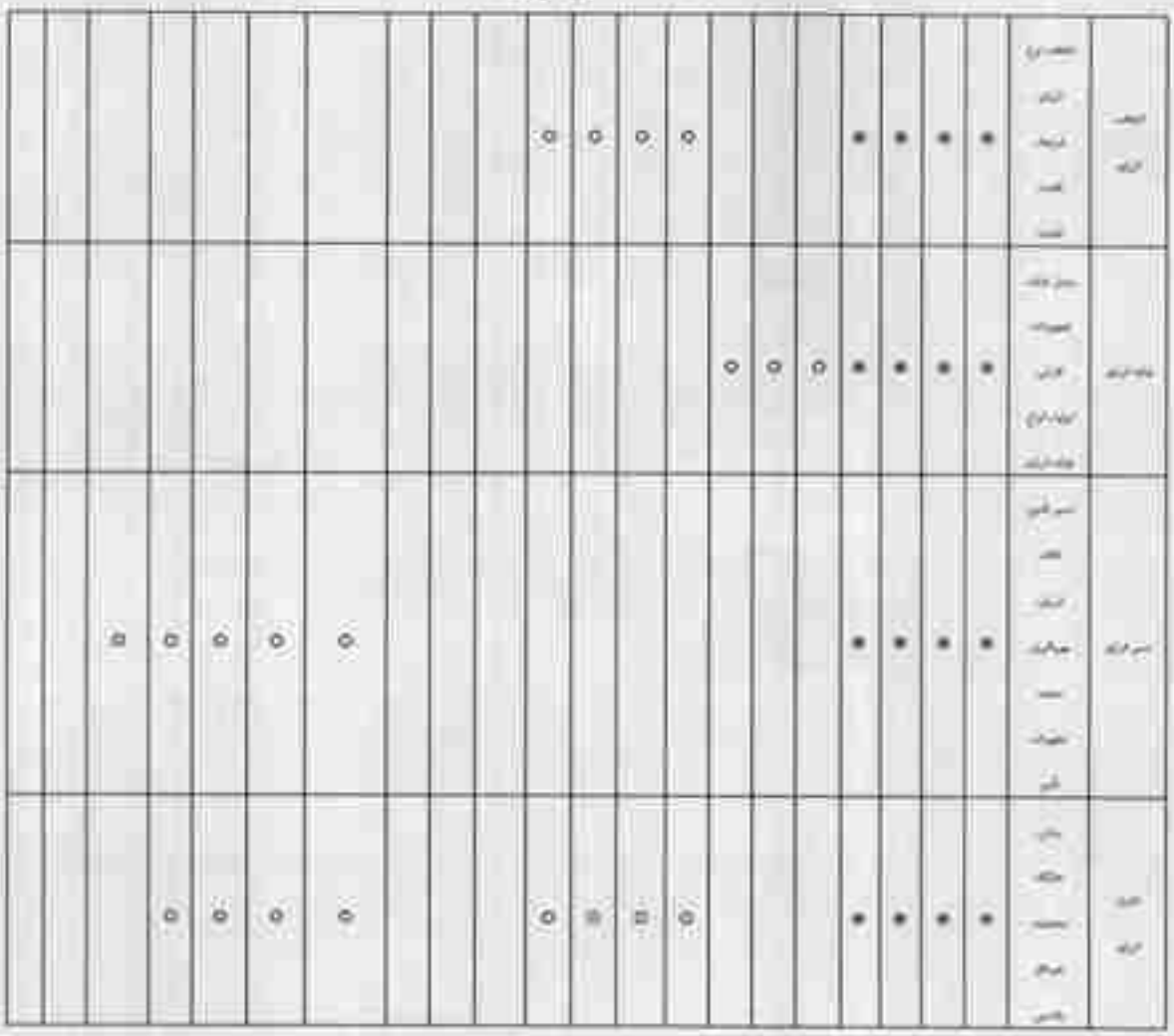
۵ ـ۴ ـ بهبود در صرفه جویی انرژی اثرات چشمگیری بر سایر هزینه ها دارد.

بهبود در صرفه جویی انرژی اغلب در کاهش سایر هزینه‌ها نیز سهیم است (هزینه‌های مواد، هزینه ملزومات قابل توسعه، هزینه‌های نیروی انسانی، هزینه های استهلاک شامل طول عمر افزایش یافته تجهیزات، هزینه‌های ثابت مانند مالیات و غیره). بنابراین در هنگام جستجو برای بهبود در صرفه‌جویی انرژی، این عوامل باید بطور کامل بررسی شوند.

جدول ۱-۵- مثال های کلی درباره اثرات اقدامات صرفه‌جویی انرژی بر هزینه‌های گوناگون

عامل هزینه		هزینه انرژی				هزینه مواد			هزینه کانال توسعه				هزینه نیروی انسانی			عرضه سرمایه	هزینه آلاینده					
اثر	مرحله تغییر مدیریت	برق	گاز	بخار	زغال	زائدات قابل برگشت	ضایعات مواد	ضایعات محصول	بازدهی کارکرد	مرحله غیر مستقیم	بازده	تعمیر	دستمزد	زمان تحویل	کارآیی نرخ ضایعات	سرمایه	دادن آلاینده	تجهیزات کنترل	آموزش، نظم	مقررات مواد دفع	سوخت	نرخ بعد آلاینده سوزی
		○	○	○	○											●	●	●	●	○	○	○
		●	●	●	●	●	○	●								●	●	●	●	●	●	●
		●	●	●	●								●	●	●	○	○	○	○	○	○	○
		○	○	○	○				●	●	●	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○
		○	○	○	○				○	○	○	○				●	●	●	●	○	○	○
		○	○	○	○				○	○	○	●										

ادامه جدول ۱-۵



نکته: ◉ تأثیر خیلی زیاد

○ تأثیر زیاد

۶- روش ارزیابی نتایج صرفه‌جویی انرژی

همانند سایر معیارها ارزیابی، روش‌های ارزیابی نتایج صرفه‌جویی انرژی انواع گوناگونی دارند که مناسب ترین آنها برای شرکت یا مکان کار باید انتخاب شود. نیاز واحد انرژی، معرف مقدار مصرف شده انرژی برای تولید یک واحد محصول است. بطور کلی واحد مصرف انرژی کیلوژول (Kj)، کیلووات ساعت(Kwh)، کیلوکالری (Kcal)، مترمکعب (m^3)، کیلوگرم (Kg)، دما ($^{\circ}c$ یا k)، (کیلولیتر (Kl)، و نظایراَن است و برای تولید، کیلوگرم (Kg) دما $^{\circ}c$ یا k)، (کیلولیتر(Kl) و نظایراَن می‌باشد.

روش ارزیابی (مثالها):

۱ـ نیاز انرژی واحد تولید(تن / کیلوکالری)= $\frac{\text{مصرف انرژی}}{\text{مقدار تولید}}$

۲ـ نیاز انرژی واحد بر روی یک مقدار تولید(ریال / کیلوکالری)= $\frac{\text{مصرف انرژی}}{\text{ارزش تولید}}$

۳ـ نیاز هزینه انرژی واحد تولید (تن /ریال)= $\frac{\text{هزینه انرژی}}{\text{مقدار تولید}}$

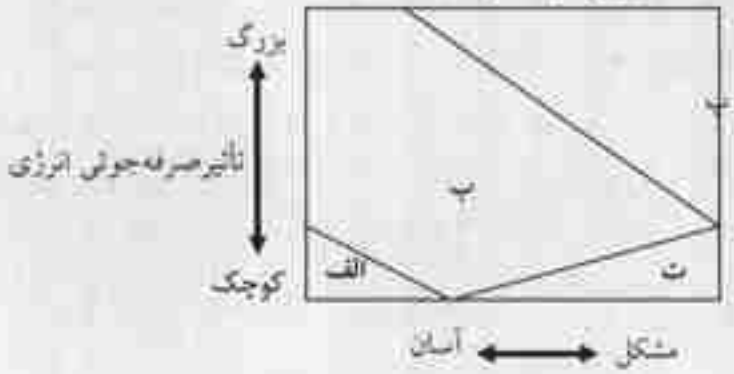
۴ـ نیاز هزینه انرژی برای واحد مقدار تولید(ریال) /ریال)= $\frac{\text{هزینه انرژی}}{\text{هزینه تولید}}$

۷- فرایندهای اساسی برای ارتقاء صرفه‌جویی انرژی در مکان تولید

یک سازمان و منابع انسانی آن باید براساس این روندها اصول صرفه جویی انرژی را بهبود دهند و در رسیدن به نتایج مطلوب سهیم باشند. برای بهبود اصول صرفه جویی انرژی، نه تنها همکاری در بخش انرژی که نیازمند یک دانش حرفه‌ای است، لازم می‌باشد، بلکه در سایر بخش‌های مربوطه مانند واحدهای تولید، مهندسی، نگهداری، فناوری و برنامه‌ریزی نیز همین گونه است. بسته به مفاد و سقف هدف صرفه جویی انرژی، واحدهای مورد نیاز باید با یکدیگر همکاری کنند. اگر لازم باشد، باید یک سازمان خاص یا واحد خاص صرفه جویی انرژی ایجاد شود.

یک مثال به قرار ذیل است:

۱-۴-الف ـ تقسیم بر حسب سطح هدف



۱ ـ ۴ـ ب ـ اهداف و ساختار اجرایی

نوع / هدف	گروه کوچک	ساختار شرکت	تیم پروژه
الف	○	○	
ب	○	○	○
پ		○	○
ت	این منطقه از اهمیت کمتری برخوردار است		

شکل ۱ـ۴ـ سازمان و وظایف صرفه‌جویی انرژی دران

شرکت می تواند زیرمجموعه های مختلف درون سازمانی داشته باشد،که این زیر مجموعه ها به قرار زیر است:

(۱) کمیته مدیریت صرفه جویی انرژی

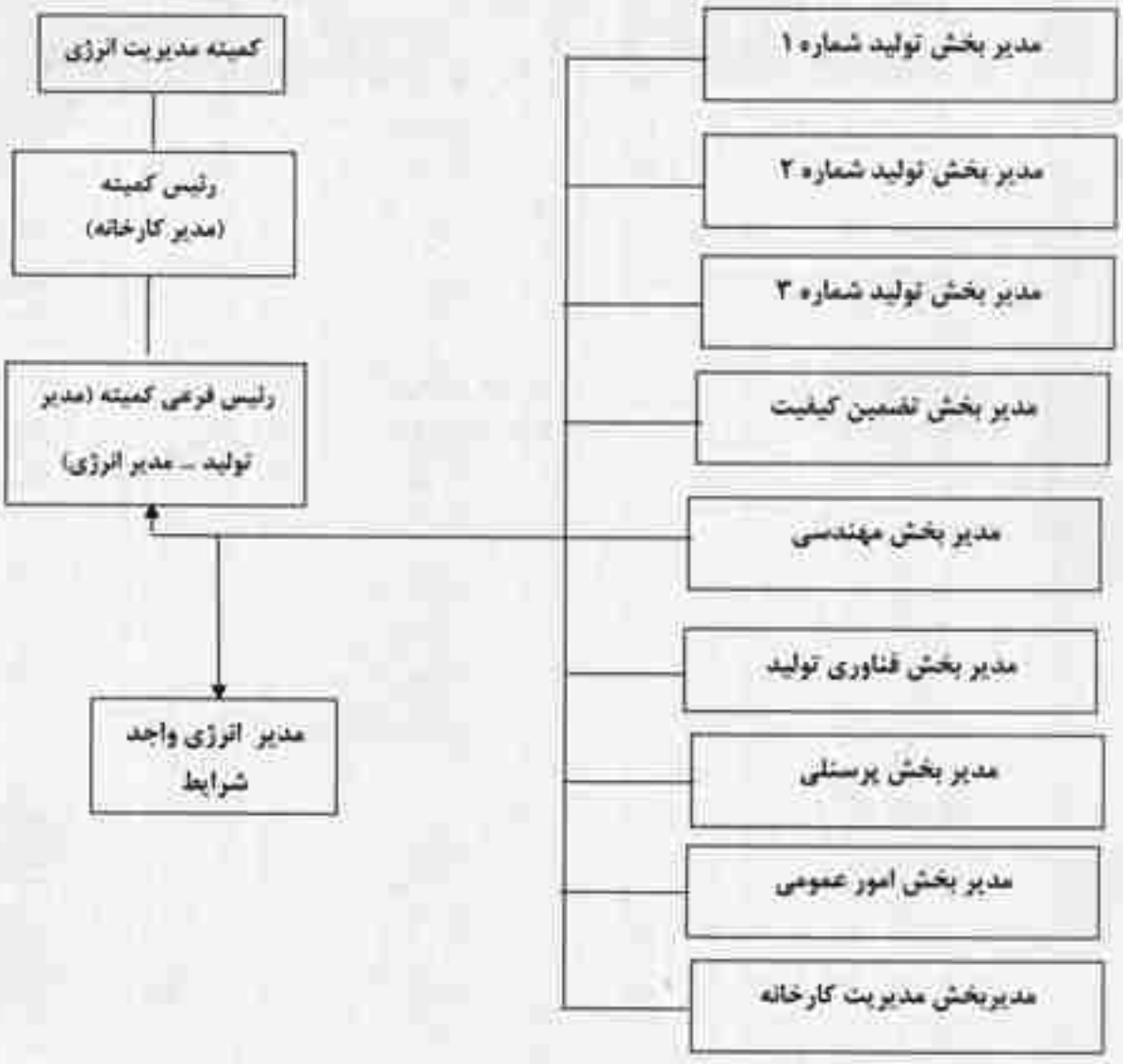
(۲) فعالیتهای خود مدیریتی

(۳) تیم پروژه

۷-۱- ساختار کمیه مدیریت انرژی

این ساختار اغلب در فعالیت مدیریت انرژی حرارتی استفاده می شود. اعضای کمیته شامل مدیران، رؤسا یا سایر اشخاص مسئول در ساختار کارخانه هستند.

اعضای این کمیته، طرح توسعه را برای سازمان مدیریت انرژی کارخانه تهیه می‌کنند، آن را اجرا می‌نمایند و نتایج را بررسی می‌کنند. همچنین آنها با واحدهای مربوطه در زمینه فعالیت مربوطه ارتباط برقرار می‌کنند و به آنها اقدامات لازم برای پیشرفت در طرح، بررسی مدیریت انرژی کلی کارخانه را خاطر نشان می‌سازند.



شکل ۱-۵- مثالی از ساختار کمیته مدیریت

این نوع ساختار بطور کلی در نخستین مرحله بهبود اصول صرفه‌جویی انرژی مؤثر است. اما در دراز مدت، تحقیقات نشان داده است به علت رفتار و عادات کارگران، اجرای بعضی از راهکارها با مشکل مواجه می شود و این امر باعث نبود جدیت در کارها شده که اغلب در مرحله اجرای طرح مشکل ایجاد می‌کند.

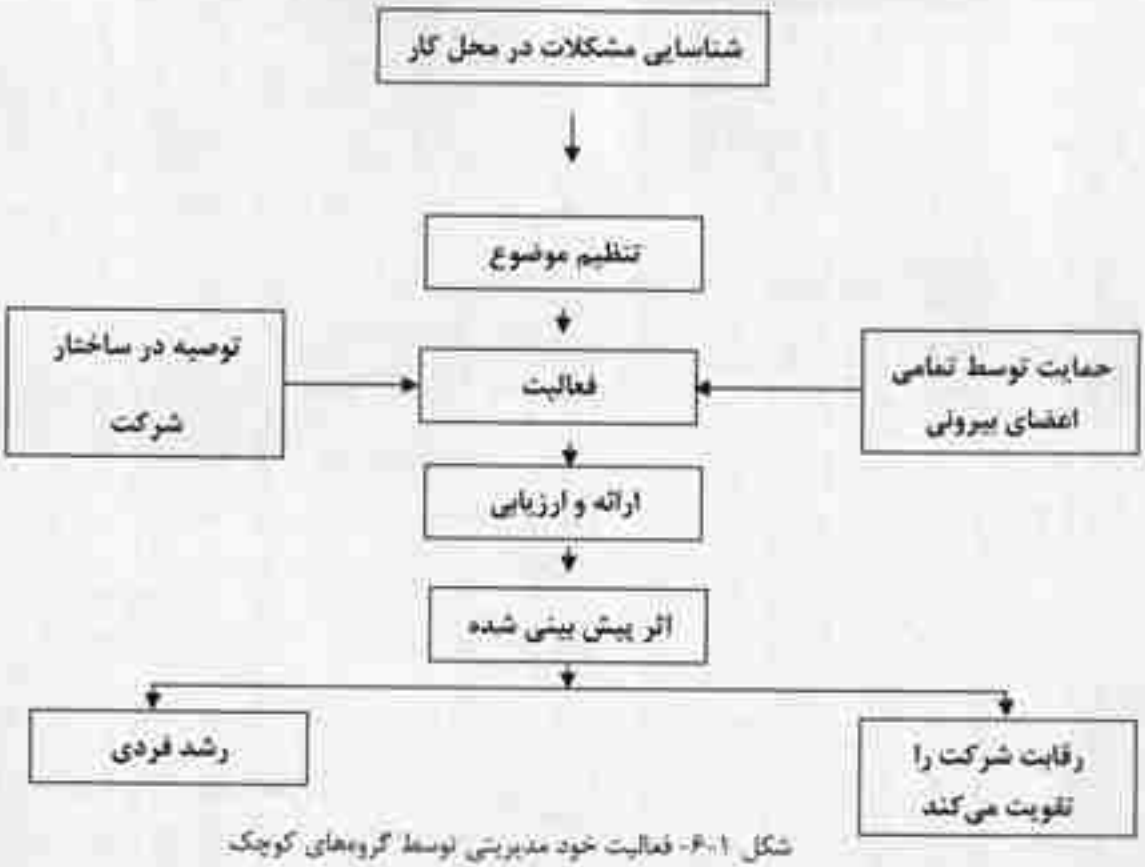
۷-۲- ساختار فعالیت خود مدیریتی

این نوع ساختار شامل کارگران یا تکنسینهای مسئول مصرف انرژی در بخش تولید یا تأمین انرژی است. آنها مدیریت انرژی را به تنهایی و بوسیله کمیته مدیریت انرژی اجرا می‌کنند و سایر مدیران، فعالیت‌های آنها را پشتیبانی می‌نمایند.

در خطوط تولید، موضوعات صرفه جویی انرژی در فعالیت‌های روزانه گروه کوچک آنها بررسی و کشف می‌شود. در این مورد مدیریت و اجرای بهبود در خطوط کاری روزانه کارگران توسعه می‌یابد که این امر باعث می‌شود این نوع فعالیت ثابت و مستمر شود(شکل ۱-۶). اما گاهی اوقات فعالیت خود مدیریتی با شرکت تمام آنها ممکن است غیر فعال شود، زیرا روش‌های مؤثری برای صرفه‌جویی انرژی وجود ندارد و تنها افکار جزئی یا ضعیف براساس منابع ناکافی اطلاعات مفید، ممکن است حاصل شود، حتی اگر کارگران نیز با جدیت تلاش کنند.

به منظور حل این وضعیت و فعال کردن گروه کوچک، برخی گروه‌ها روش نقشه‌خوانی[1] را معرفی کرده‌اند و در دراز مدت با ارتقاء پایدار بهبود مطالعات به نتایج مثبتی دست یافته‌اند.

1- Map method



شکل ۱-۶- فعالیت خود مدیریتی توسط گروه‌های کوچک

۷ـ۳ ـ ساختار یک تیم پروژه

برای حل یک مشکل مشخص، تشکیل یک تیم کارشناسی ۱۰ نفره با تخصص‌های ویژه در حل یک مشکل، قابل توصیه است. بعد از حل مشکل یا تأمین راه حل در یک مکان با روند خاص، تیم تقسیم می‌شود و اعضای تیم به مکان های اصلی خود باز می‌گردند. پس این نوع ساختار یک تیم کوتاه مدت، موقت، فشرده با اعضای کوچک برای حل مشکلات خاص است(جدول ۱-۶). در این مورد تیم، انواع اطلاعات را از بخش‌های مربوط جمع‌آوری می‌کند، راهکارها را آماده اجرا می‌سازد و طرح را در یک مکان کاری مشخص اجرا می‌کند. نتایج مؤثر در پرداختن به مشکلات دشوار از نظر فنی و اقتصادی می‌تواند مورد انتظار باشد. حتی اگر تیم پروژه انگیزه کافی برای صرفه‌جویی انرژی را در اشخاص محل کار افزایش دهد، آگاهی از ارتباط در بین اعضای تیم و اشخاص محل کار، ممکن است متفاوت باشد، بنابراین ارتقاء اقدامات همیشه باعث اجرای یکنواخت و ثابت نخواهد شد. همانگونه که در بالا ذکر شد این نوع فعالیت می‌تواند دارای نتایج مفیدی در ارتباط با عامل زمان‌بندی داشته باشد اما آن هم می‌تواند باعث اصطکاک در ساختار شود.

جدول ۱-۶- مقایسه‌ای بین نوع سازمان و فعالیت‌های نوع تیم پروژه

نوع فعالیت سازمان	نوع فعالیت تیم پروژه
ثبت نسبت به وضعیت جاری	اگر وضعیت جاری منفی باشد، قصد بهبود آن وجود دارد
یک فعالیت جاری دراز مدت	یک فعالیت کوتاه مدت در یک دوره محدود
به سمت فعالیت ثابت	به سمت فعالیت در حال بهبود
رابطه ای روشن بین علت و معلول وجود دارد	آزمون و خطا به پیش می‌رود
فعالیت اصلی عوامل غیر طبیعی را بصورتی مناسب در بخش‌های مختلف تنظیم می‌کند	فعالیت اصلی ایجاد افکار جایگزین است
ارزیابی فعالیت ناقص نیستند و اقدام سریع برای ارزیابی وجود دارد	دسترسی به نتایج خوب برای هزینه‌های ورودی
در میدان فعالیت با ملاحظه حوزه نفوذ آن تصمیم‌گیری می‌شود	می‌توان تصمیم گرفت فعالیت بهبود مربوط به حوزه‌های دیگر نباشد اما بخشی خاص را در برگیرد

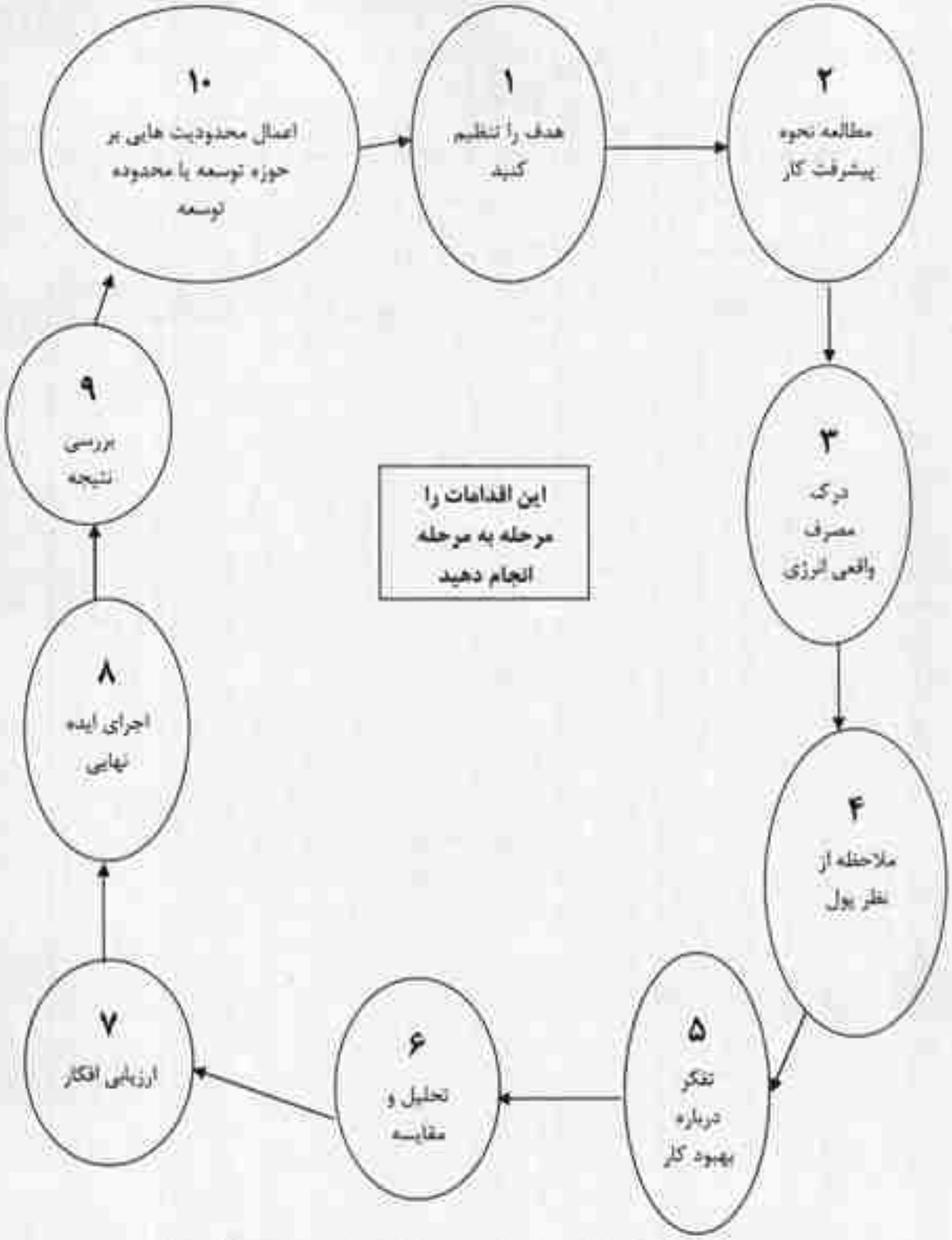
۸ ـ ده گام برای بهبود اصول صرفه‌جویی انرژی

بهبود اصول صرفه‌جویی انرژی اگر سطحی اجرا شود، خیلی کار آمد نخواهد بود و ارتقاء و برنامه‌ریزی آن با یک شیوه منظم ضروری است.

روش های مختلفی برای این کار وجود دارد و روش خاص مدیریت بوسیله اهداف بقرار روند نشان داده شده در شکل شمارهٔ (۱ـ۷) است.

این نکته مهم خواهد بود تا در جهت بهبود اصول صرفه‌جویی انرژی صبورانه، براساس روند تلاش کنیم به احتمال زیاد، مشکلاتی در راه خواهد بود اما ده گام به کارگران کمک خواهد کرد تا بنحوی مؤثر و با اعتماد بکار کنند. نکته مهم این است که آن را با ثبات و پیروی از گام‌های مختلف ذیل انجام دهیم.

صرفه‌جویی انرژی را می‌توان با کارگران در مرکز عملیات ارتقاء بخشید. پیشرفت یا بهبود کار بدون افکار صحیح و منطقی اعضا وجود نخواهد داشت. به این دلیل، مهم است که کارگران بطور کامل در تمام جنبه‌های صرفه‌جویی انرژی به منظور دستیابی به نتایج مطلوب و مورد نظر، شرکت و همفکری کنند.



شکل ۱ـ۷ـ ده گام برای بهبود اصول صرفه‌جویی انرژی(۱۴و ۱۵)

۸ ـ ۱ ـ گام اول: تصمیم در زمینه هدف

بحثی درباره اینکه، تلاش بدون وجود یک هدف مشخص، کاری عبث و بیهوده خواهد بود، وجود ندارد. اما اهداف نباید یک رویای محض باشند. به منظور ارتقاء مطلوب و کارآمد صرفه‌جویی انرژی، نخست مهم است که در خصوص یک هدف روشن تصمیم‌گیری نماییم. راه‌های متنوع زیادی در زمینه تصمیم‌گیری در خصوص هدف وجود دارد. اما بطور کلی ۵ مورد که بکار گرفته می شوند شرح جدول ۱-۷ است.

جدول۱-۷- مثال‌های کلی جهت تصمیم‌گیری در زمینه یک هدف

نمونه	نمونه های هدف	مقایسه و ارزیابی
۱ـ هدف الزامی	• بیایید هدفمان شماره ۱ در جهان باشد • بیایید در مورد موضوعات کارآمد فکر کنیم	این موارد فقط مثل یک شعار به نظر می‌رسند و فاقد قدرت اجرایی است (در پایان آیا آنها فقط کلماتند؟)
۲ـ هدف واقعی	• بیایید حداقل یک مورد بهبود را در تمامی تجهیزات به انجام برسانیم	
۳ـ هدف مقدار مطلق	• بیایید به کمتر از $X\times10^{2}$ کیلوگالری بر تن از نیاز سوخت در واحد برسیم • بیایید به کمتر از X کیلووات ساعت نیرو در روز از نیاز برق در واحد برسیم	این موارد نمونه های خوبی هستند چون واقعی اند و احتمال ارزیابی عینی آنها وجود دارد (پیگیری آنها آسان است)
۴ـ هدف مقدار نسبی	• بیایید به ۲۰٪ صرفه‌جویی انرژی دست یابیم • بیایید به $X\times10^{2}$ ریال صرفه‌جویی بصورت منطقی از طریق صرفه‌جویی انرژی دست یابیم	
۵ـ سایر	• بیایید یک ایده صرفه‌جویی انرژی بیشتر از $10^{2}\times$ ۰۰۰ ریال برای هر نفر در تیم خودمان پیشنهاد (اجرا) کنیم • بیایید بیش از ۱۰۰ فکر مورد توسعه را پیشنهاد کنیم	اینها واقعی اند، اما کسب نتایج مستمر بعد از شروع فعالیت مشکل است

انتخاب هدف به وضعیت خاص بستگی دارد؟

انتخاب مناسب ترین نوع نسبت به مورد خاص اهمیت دارد. هدف مقدار مطلق (شماره ۳ جدول) اغلب مورد استفاده قرار دارد چون برای مکان کار آشناست و درک واقعی آن آسان است.

هدف مقدار نسبی (شماره ۴ جدول)، به معنی آن است که چه مقدار انرژی می‌تواند از شروع شرایط خاص صرفه‌جویی و دوباره مورد استفاده قرار گیرد.

روند ۱ـ شناسایی مشکلات و موضوعات مطالعه برای بررسی

روند برای تنظیم هدف

۱ـ گرایش ها، نحوه تفکر و جهت‌گیری مدیر خود و سایر همکاران را از نزدیک در محل کارتان بررسی کنید.

۲ـ آیا مدیر مربوط یا مدیران بخش‌های دیگر نیاز یا تقاضایی خاص دارند؟

۳ـ در خصوص هزینه نتایج ، و بودجه صرفه‌جویی انرژی چطور ؟

۴ـ درباره نیازهای واحد انرژی و تجهیزات صرفه‌جویی انرژی در مقایسه با سایر شرکت ها در همان صنعت چه می‌توان گفت؟

۵ـ آیا کارآیی هر مورد را به طور مجزا می‌توان بهبود بخشید؟

۶ـ آیا مشکلات آتی یا از قبل پیش‌بینی شده را می‌توان بررسی کرد؟

۷ـ آیا اهداف، مقاصد و یا نشان ها را براساس نتایج تقسیم مصرف انرژی براساس روندها و اشکال مصرف می‌توان تنظیم کرد.

۸ـ در زمینه بازتاب فعالیت ها آیا هیچ هدف دست نیافتنی یا مشکلی ناشی از فعالیت گذشته وجود دارد؟

نکته:

توصیه نمی‌شود که اعضای تیم در زمینه هدفی تصمیم‌گیری کنند که از قبل دستیابی به آن مشخص است.

روند ۲ـ شناسایی مشکلات و موضوعات

با ارزیابی تمام مشکلات و موضوعات پیشنهادی، برای بررسی و مطالعه، مهم ترین مواردی که می‌توان به آنها پرداخت (جدول ۱-۸) بقرار ذیل است:

۱ـ ضرورت و وسعت بهبود کار (راه حل) را ارزیابی کنید، شایستگی‌ها، میزان فوریت، محدوده مشکل، چشم‌اندازهای آینده و گرایشات مدیر مربوط را ارزیابی کنید.

۲ـ قدرت تیم را ارزیابی کنید.

ـ چند نفر ـ ساعت برای فعالیت نیاز است؟

ـ دوره فعالیت چه مدت است؟

با تلاش های قابل قبول، آیا به واقع ممکن است تا به هدف دست یابند؟

۳ـ از مدیر مربوط و سایر دست اندرکاران بسته به نسبت دخیل بودن در مشکل یا موضوع، نظرخواهی کنید.

جدول ۱ـ۸ـ نمونه شناسایی مشکلات و موضوعاتی که مورد توجه هستند

شماره	موارد ارزیابی / مشکلات	ضرورت بهبود						نیروی تیم			ارزیابی کلی
		شایستگی‌ها	درجه فوریت	میزان زحمت	آینده	چشم انداز	جهت گیری	مشترک	سابقات مرد	دوره فعالیت	جلوه فعالیت	
		۳۰	۲۵	۱۰	۱۰		۱۰	۵	۵	۵	۵	۱۰۰
۱	روند گرمایش به معنی یک تنگنا برای کارایی هزینه سوخت بالاست	۳۰	۲۵	۱۰	۱۰		۱۰	۳	۳	۳	۳	۹۲
۲	نرخ آب ماهیانه با ۳۰۰×۱۰^{۲} ریال و نیروی الکتریکی نیزبهمین صورت مورد استفاده است	۲۵	۲۵	۱۰	۱۰		۱۰	۵	۳	۵	۵	۹۲
۳	نیاز انرژی برقی واحد ۱/۲ برابر بالاتر از سایر شرکت هاست	۲۰	۲۰	۱۰	۵		۵	۵	۵	۵	۵	۷۵
۴	کارایی پایین استفاده از بخار	۱۵	۱۵	۵	۵		۵	۵	۵	۵	۵	۵۸

روند ۳ـ ضرورت پرداختن به مشکلات را روشن سازید

شما باید با استفاده از گام‌های ذیل بطور مطلق مشخص سازید که لازم است به مشکل و حل آن پرداخته شود:

۱ ـ شناسایی تکنیک برای پرداختن و حل مشکل

۲ـ توصیف شرایط حاضر و چشم‌انداز آینده نزدیک (یعنی تغییر مورد انتظار برای حالت فعلی)

۳ـ شناسایی نسبت هزینه انرژی به هزینه تولید و پیش بینی هزینه افزاینده آن

۴ـ توصیف کاهش در هزینه‌های انرژی و اینکه چگونه تقاضا، موجب کاهش هزینه کلی به واحد تولید می‌شود.

روند ۴ـ تصمیم‌گیری در زمینه انتخاب یک نام برای موضوع

نام باید به روشنی گویای وظایفی که باید ارائه شود باشد.

نام بایستی به روشنی گویای وظایفی که می‌باید ارائه شود باشد:

۱ـ از اصطلاحات کلی استفاده نکنید.

۲ـ از بکار بردن اصطلاحات مبهم پرهیز کنید.

۳ـ از عبارت بررسی مجدد استفاده نکنید.

۴ـ از بکارگیری عناوین فرعی غیر ضروری پرهیز کنید.

روند ۵ـ هدف را مشخص کنید

۱ـ سه عامل اصلی هدف، (چرا، چه وقت، چقدر؟) باید روشن شوند.

• هدفی را که می‌توانید به آن برسید، مشخص کنید.

الف ـ بیشترین استفاده را از داده‌های گذشته حاصل کنید.

ب ـ از یک تعداد هدف واقع گرا که مورد انتظار مدیر مربوط است، استفاده کنید. (یا از یک مقدار نظری استفاده کنید)

ج ـ اجماع نظر همه اعضای گروه یا نزدیک ترین دیدگاه ها به آن را اتخاذ کنید.

• تأثیر مورد انتظار تغییرات باید تا حدامکان واضح باشد تا هم شایستگی های اقدامات و هم نفر ـ ساعت مورد نیاز را نشان دهد.

۲ـ اساس توجیه عقلایی برای تنظیم هدف و روند دستیابی به آن باید روشن شود.

برای مثال باید مقدار تولید، هدف روند، هدف صرفه‌جویی انرژی و نظایرآن را مشخص کنید. بعلاوه، اگر داده‌هایی در ارتباط با سیاست شرکت در مقایسه با شرکت دیگر در همان صنعت وجود دارد، شما باید این را تشخیص دهید و دسته‌بندی نمایید. با دادن اطلاعات مفصل در تبیین توجیه منطقی، انگیزه اعضای تیم برای همکاری افزایش می‌یابد. همچنین اعلام زمان توقف فعالیت برای ارزیابی یا تخمین اثر بهبود کار مفید است.

"تنظیم هدف" به معنی روشن ساختن هدف یا مقصد فعالیت صرفه جویی انرژی است.

به منظور عینی بودن، نشان دادن هدف و رهبری، باید هدفی را با ملاحظه موارد ذیل در نظر گرفت.

[مرجع ۲]

بطور مثال هدف باید در جدولی مانند جدول ذیل خلاصه و تنظیم شود.

شماره	مورد	مقدار حاضر	مقدار هدف	دوره رسیدن به هدف
۱	صرفه‌جویی انرژی	مبنا	٪۲۰	۳ ماه بعد از شروع فعالیت
۲	بهبود کارآیی فرایند	۹۰ واحد در روز	۱۰۰ واحد در روز	۵ ماه بعد از شروع فعالیت

اهداف غیر از صرفه‌جویی انرژی باید همزمان مکتوب شود.

۸ ـ ۲ ـ گام دوم: پالایش مسیر برای ارتقاء پروژه یا اقدام

- جدولی را برای برنامه ارتقاء تهیه کنید (جدول شماره۱-۹)
- از روش ۵ Ws و ۲Hs استفاده نمایید.(این روش شامل نخستین حروف کلمات چه کاری[1]، چرا[2]، چه کسی[3]، چه وقت[4]، کجا[5]، چگونه[6] و چه مقدار[7] است.)
- هنگام تلاش برای پالایش مسیر ارتقاء اقدامات، لازم است تا مستندات مفصلی از پروژه تهیه شود.

1-What
2- Why
3- Who
4- When
5-Where
6- How
7-How much

جدول ۱ـ۹ـ نمونه بررسی ارتقاء با استفاده از روش 5 Ws و 2Hs(۱۴و ۱۵)

مورد	هدف	نقاد
۱ـ چه چیزی باید انجام شود؟ **چه چیزی**	انرژی هدف	در خصوص مقدار صرفه جویی انرژی هدف تصمیم گیری کنید و یک مقاله در توصیف برنامه هایی که برای رسیدن برنامه لازم است، تهیه کنید
۲ـ چه کاری باید انجام شود؟ **چرا**	هدف- دلیل	هزینه انرژی خیلی بالا است جایی برای صرفه جویی انرژی هست وضعیت سوخت مشکلات زیست محیطی و نظایر آن
۳ـ چه کسی آن را انجام می‌دهد؟ **چه کسی**	شخص مسئول شخص متصدی	تمام اعضا باید با هم برای ارتقاء اصول صرفه‌جویی انرژی همکاری کنند کار را تقسیم کنید هر عضو باید مسئولیتی برای وظایف انفرادی بعهده گیرد
۴ـ چه وقت انجام می شود؟ **چه وقت**	دوره ترتیب زمان	بهترین زمان بندی چه وقت است؟ از زمان بندی استفاده کنید، برای مثال چه وقت کارخانه تحت تعمیر است؟
۵ـ کجا انجام می شود؟ **کجا**	تجهیزات اهداف مکان بخش	تا چه حد فعالیت برای کارآیی تجهیزات انجام می شود؟ کدام بخش فعالیت را انجام می دهد- در کدام محل؟ آیا نیازی هست از بخش دیگری برای همکاری سوال کرد؟
۶ـ چگونه باید انجام شود؟ **چگونه**	وسایل ترتیب سنجش (اقدام)	ده گام برای صرفه جویی انرژی چگونه ارتقاء می یابد؟
۷ـ چقدر ارزش خواهد داشت؟ **چه مقدار**	بودجه هزینه	چقدر بودجه و هزینه برای بهبود کار مورد نیاز است؟ چگونه بودجه و هزینه می‌تواند آماده شود؟

تهیه یک برنامه ارتقاء:

به منظور ارتقاء اقدامات، یک برنامه کامل و تمام عیار را تا تاریخ پیشنهادی تکمیل آن، تهیه کنید.
در هر گام، فعالیت تیم و وظایف آن را روشن سازید.
بمنظور تضمین همکاری یکنواخت بین بخش ها، شخص متصدی هر بخش را مشخص کنید.

برنامه ای را در نمودار گانت[1] بنویسید.

روشن ساختن برنامه برای رسیدن به هدف ضروری است. برای هر کسی که دست اندرکار است، چنانچه یک نمودار برنامه ترسیم شود که بتوان با یک نگاه آن را فهمید، قضیه روشن خواهد بود. نمودار گانت این شرایط را برآورده می‌سازد.

بطور کلی، برای فعالیت صرفه جویی انرژی دوره فعالیت معمولی ۶ ماه است و اگر مدت آن طولانی‌تر شود، قدرت فعالیت و اندازه آن کاهش می‌یابد.

1- Gantt

جدول ۱ـ۱۰ـ نمونه یک نمودار گانت برای ارتقاء صرفه جویی انرژی

مورد	رئیس مسئول شخص مسئول	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر
۱ـ هدف گذاری		▬						
۲ـ نوشتن برنامه کاری		▬						
۳ـ بررسی وضعیت موجود		▬	▬					
۴ـ محاسبه مقدار پول مورد نیاز			▬					
۵ـ راهکارهای منتخب			▬	▬				
۶ـ تهیه یک طرح پیشرفت کار				▬	▬			
۷ـ ارزیابی پیشرفت کار						▬		
۸ـ اجرای برنامه (۱) سنجش (۲)طراحی و ترسیم (۳)تولید و ساخت (۴)اجرای برنامه صرفه‌جویی انرژی					▬▬▬▬	▬▬▬▬	▬▬▬▬	
۹ـ بررسی نتایج							▬▬▬▬	▬▬▬▬
۱۰ـ تهیه استاندارد و قوانین								▬▬▬▬

عوامل علمی برای نتیجه گیری در صرفه جویی انرژی

براساس مشکلات مشخص شده در جدول شماره ۱ـ۸، نکات کلیدی برای دستیابی به نتایج مناسب بقرار ذیل می‌باشند:

۱ـ آموزش درباره صرفه جویی انرژی

- اهمیت صرفه جویی انرژی
- واحد قیمت انرژی و هزینه آن
- فناوری، روش صرفه جویی انرژی
- تجربه صرفه جویی انرژی (شامل آموزش کاربردی در صرفه جویی انرژی)

۲ـ بررسی مجدد ساختار صرفه جویی انرژی

- تربیت یک نفر به عنوان راهبر که کارآمد باشد
- ایجاد یک تیم ، به طور عمده شامل اعضای فعال برای درگیرشدن اختصاصی در فعالیت های صرفه جویی انرژی در یک دوره مشخص
- برنامه ریزی مشترک با بخش تولید و بخش تجهیزات
- همکاری استوار و پابرجا بین بخش های دخیل در صرفه جویی انرژی

۳ـ ایجاد روش های صرفه جویی انرژی

- ایجاد دستور العمل ها و روندها برای بهبود اصول صرفه جویی انرژی
- تربیت سرمربیانی که توان اجرای شیوه های صرفه جویی انرژی را داشته باشند.

۴ـ بررسی مجدد انرژی مورد نیاز

- تعیین انرژی مورد نظر از جنبه تئوری
- بررسی و اتخاذ اقداماتی برای پرداختن به تفاوت بین انرژی مورد نیاز واقعی و ائلاف

۸ ـ ۳ ـ گام سوم: آگاهی از وضعیت مصرف انرژی (بررسی شرایط یا موقعیت فعلی)

یک ضرب المثل قدیمی می‌گوید " اگر شما خود و دشمنتان را بشناسید هیچ چیز از بین نمی‌رود " این قضیه در خصوص صرفه جویی انرژی نیز صادق است. بنابراین، در بهبود اصول صرفه جویی انرژی، آگاهی از وضعیت مصرف انرژی مهم است. لازم است بطور کامل درک کنیم"چه نوع از انرژی مصرف می شود؟ چه مقدارانرژی مصرف می شود؟ درچه مکانی انرژی زیادی مصرف می شود؟ به چه شیوه‌ای انرژی مصرف می‌شود؟ یا در چه مکانی انرژی بیشتر تلف می شود؟ "

فعالیت های موفق صرفه‌جویی انرژی را می‌توان با ترکیبی از فعالیت‌های اجرایی و راهکارهای برطرف‌کننده مشکلات موردی، اجرا کرد. این امر مشکلات انرژی را در روند تولید مشخص خواهد ساخت.

هدف، بررسی وضعیت جاری و توصیف این است که: "وضعیت فعلی چیست؟ و نقطه کلیدی برای حل مشکل چیست؟ این کار با گردآوری داده ها و تبیین آنها از طریق استفاده از ارقام و جدول‌ها انجام می‌شود.

چگونه باید بررسی وضعیت موجود را بهبود بخشید

وقتی این مراحل از ۱ تا ۵ دنبال شوند، رضایت بخش و جالب خواهد بود.

شش نمودار برای درک انرژی

"درک انرژی" به چه معنی است. از آنجائیکه کشف آن به طور کامل دشوار است، با استفاده از ۶ نمودار روشی عرضه می شود که برای درک این مفهوم مفید است. ۶ نموداری که در ذیل ارائه می‌شوند می توانند بسیار مفید بوده و مزایای قابل توجهی را داشته باشند.

وقتی نمودارها ترسیم می‌شود، این موضوع حائز اهمیت است که حامل‌های انرژی مختلف را به یک صورت تحلیل نکنیم، چرا که دو روش تحلیلی موجود است. یک روش برای انرژی خریداری شده و دیگری برای انرژی مصرف شده است. برای مثال، هنگام بررسی رابطه بین سوخت برای یک دیگ و بخار تولیدی، سوخت براساس مقدارخرید و بخار براساس میزان مصرف، محاسبه می‌شود.

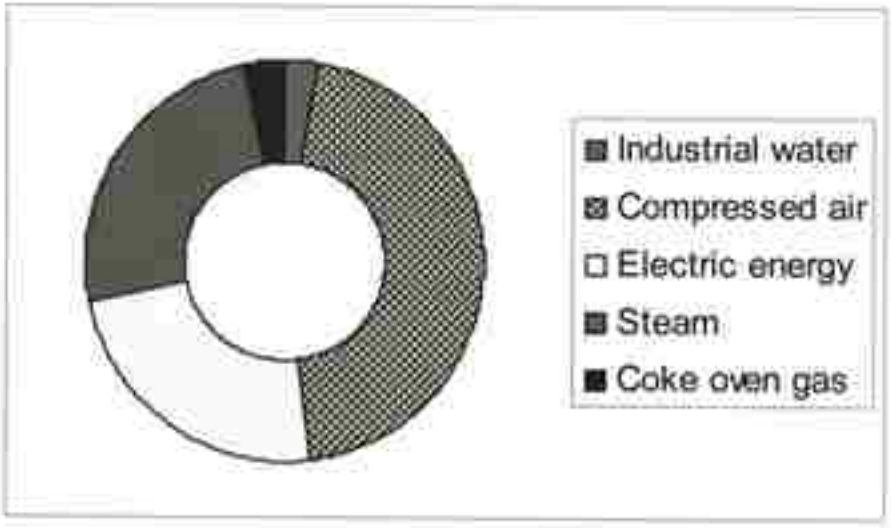
جدول ۱ـ۱۱ـ شش نمودار برای درک انرژی

انواع نمودار	نمونه استفاده
۱ـ نمودارهای مختلف مصرف انواع انرژی ها را نشان می‌دهند	برای کسب اطلاعات جهت تمرکز به اتخاذ اقدام و بررسی صرفه جویی انرژی بکار می‌رود
۲ـ نمودارهای مدیریت تغییر در نیاز انرژی واحد را نشان می دهند	برای بررسی عوامل تغییر مصرف انرژی یا نتایج صرفه جویی انرژی مورد استفاده قرار می گیرد
۳ـ "نمودارهای میله ای" جایگاه فعلی را نشان می‌دهند	برای شناخت وسعت نزدیک شدن به هدف بکار می رود همچنین در تشویق سایر بخش های مربوطه مؤثر است
۴ـ نمودارهای پیوستگی، عوامل مؤثر بر تغییرات در نیاز انرژی واحد انرژی را نشان می دهد	برای سطح برنامه تولید و کسب منحنی های انحراف از معیار (رگرسیون) مصرف انرژی و نیاز واحد درگیر در تولید بکار می رود
۵ـ نمودارهای جریان گرما (نمودار توازن گرما) انرژی در حال گریز را نشان می دهد	برای اطلاع از وضعیت واقعی داده ها و بازدهی حرارتی بکار می‌رود. همچنین جهت کسب اطلاعات لازم در تحلیل مشکلات و بررسی اقداماتی که باید انجام شود.
۶ـ هیستوگرام، که وضعیت واقعی گرمای اتلافی را نشان می‌دهد	برای مثال برای کسب مواد لازم در بررسی امکان بازیافت گرمای اتلافی، مانند وضعیت حقیقی گرمای اتلافی با مقدار آن که توسط دما جدا شده، بکار می‌رود.

آماده‌سازی و بررسی دقیق برخی نمودارهای مناسب به منظور اطلاع از شرایط کنونی مصرف انرژی، هدف فعالیت را ارائه می‌کند و می‌تواند اشاره‌هایی برای صرفه جویی انرژی و یک آگاهی طبیعی از مشکلات ایجاد شده فراهم نماید.

۱ـ نمودارهای دایره‌ای، شکل ۱-۸ با تهیه یک نمودار دایره‌ای که مصارف متنوع انرژی مانند سوخت، برق، بخار و غیره را نشان داده، وضعیت حقیقی مصرف انرژی را بصورت واضحی ارائه می کنند. همچنین اطلاعات مهم را برای تمرکز بر توسعه و استمرار صرفه جویی انرژی فراهم می‌سازد.

نمودار مربوطه دارای ویژگی هایی است که موجب می‌شود تمامی ارقام به سرعت و به دقت با مشاهده درک شود.



شکل ۱-۸ – نمودار دایره‌ای جزئیات مصارف متنوع انرژی

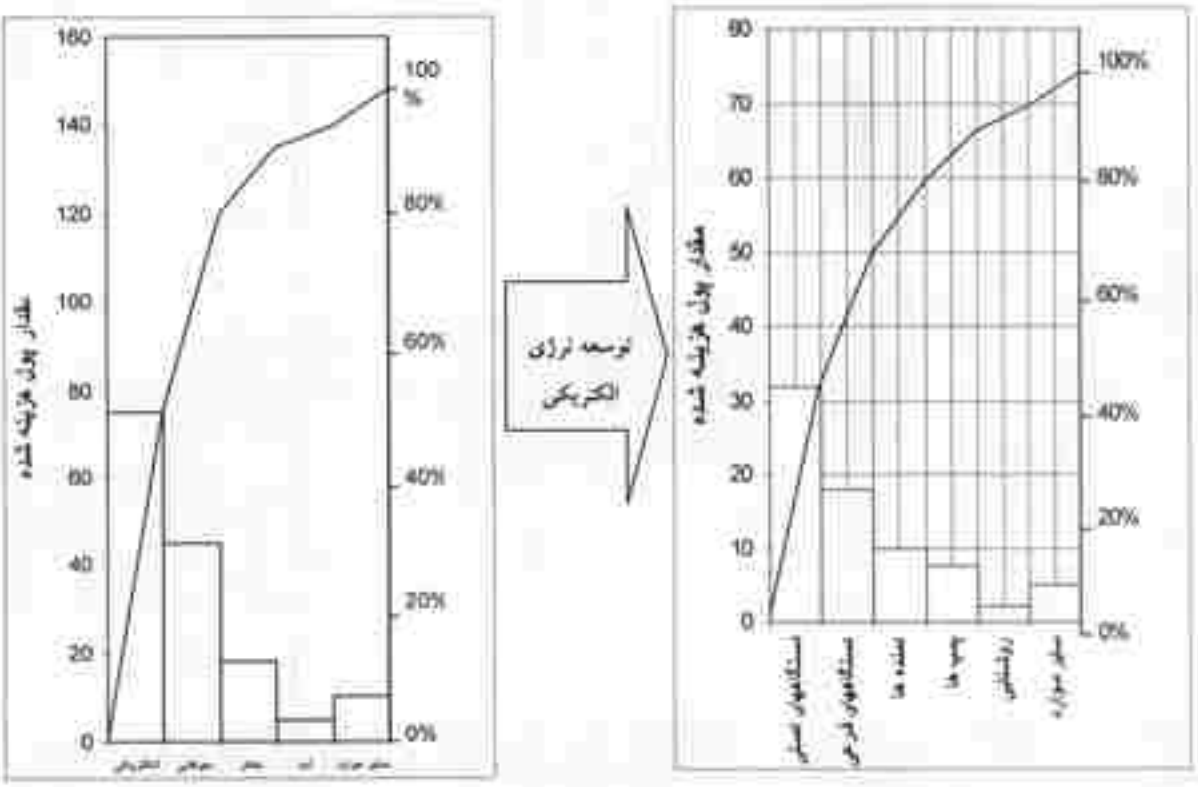
نمودار پارتو[1] که در شکل شمارهٔ (۱-۹) نشان داده شده است، دارای ویژگی های ذیل است:

- یافتن اینکه کدام مورد (تجهیزات) بیشترین انرژی را مصرف می‌کنند.
- میزان مصرف انرژی (مقدار پول) و نسبت را می‌توان در یک نگاه مشاهده کرد.

در حد مصارف و میزان هزینه شده را می‌توان در یک نگاه مشاهده نمود.

- اهمیت مشکل را می‌توان در یک نگاه بسرعت دید و تشریح آن آسان خواهد بود.

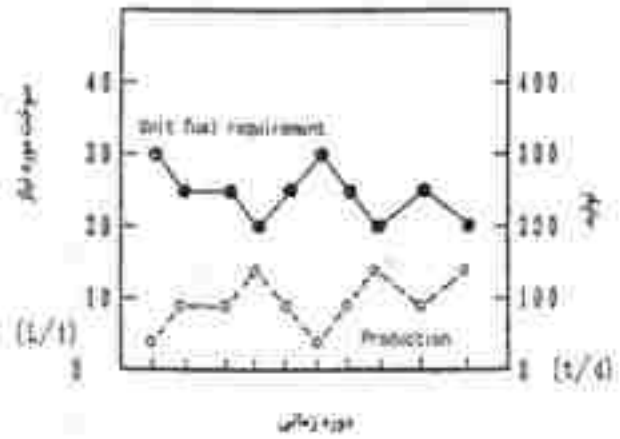
1- Pareto



شکل ۱ـ۹ـ نمودار pareto

۲ـ یک نمودار مدیریتی که تغییرات را در نیاز واحد انرژی، نشان می دهد.

- نیاز بالای واحد انرژی به معنی کارآیی انرژی است و مقدار کم به معنی نتیجه مطلوب است.
- اگر این مقدار به درستی معلوم نشود، در درک برنامه صرفه جویی انرژی مشکل ساز خواهد بود.
- نمودار مدیریتی همچنین برای بررسی نتیجه برنامه صرفه جویی انرژی بکار می رود.
- تکرار بررسی ممکن است (روزانه، هفتگی یا ماهیانه) براساس وضعیت باشد.



شکل ۱-۱۰- نتیجه تغییر در واحد سوخت [1]

$$\text{نیاز سوخت واحد} = \frac{\text{مصرف سوخت}}{\text{مقدار تولید}}$$

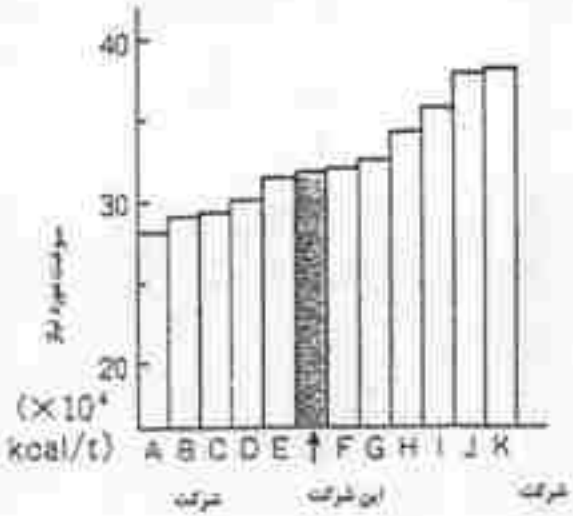
۳ـ یک نمودار میله ای وضعیت جاری را نشان می دهد.

وقتی سوخت مورد نیاز یا کارایی گرمایی در حسابرسی قرار گیرد، سطح یا جایگاه شرکت به روشنی دیده می شود. (شکل شماره ۱-۱۱)

نمودار میله‌ای نیز ممکن است برای بدست آوردن یک مقدار مرجع تصمیم‌گیری در زمینه ارتقاء مقدار هدف برای دوره بعد بکار رود. همچنین در تشویق و ترغیب بخش‌های مربوط مفید است.

وقتی که عوامل مشکل بر روی محور مختصات در نظر گرفته می‌شود، نمودار میله‌ای به روشنی و بوضوح نشان می دهد که کدام عامل مهم است و مشکل تا چه اندازه بزرگ است. بنابراین برتری آن نسبت به سایر نمودارها در متقاعد سازی یا نشان دادن طرف های دیگر است.

۱- واحد: N m³/t ، Kg/t ، L/t و ...

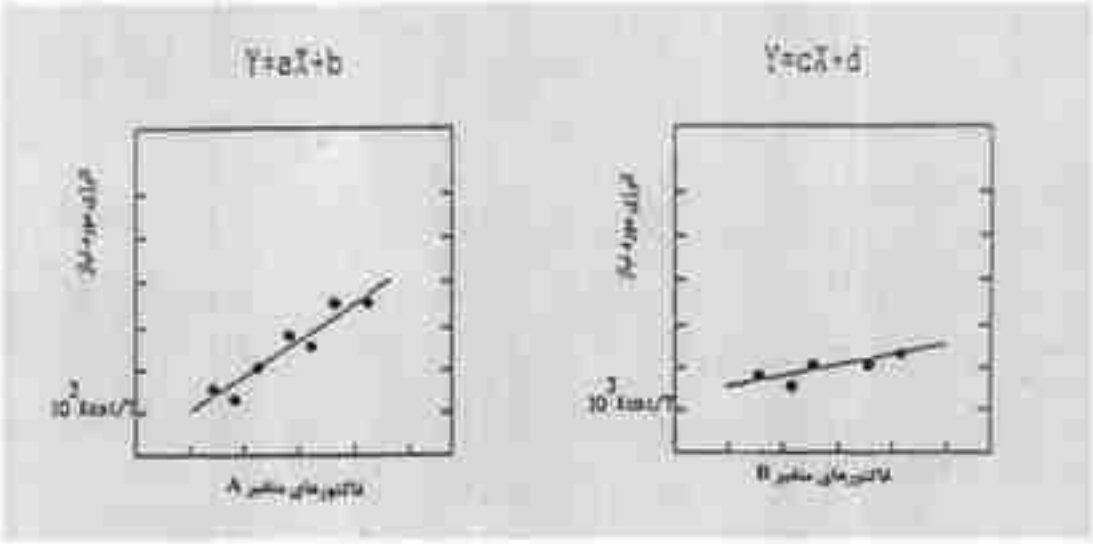


شکل ۱ـ۱۱ـ نمونه یک نمودار میله‌ای سوخت مورد نیاز یک واحد

۴ـ یک رابطه همبستگی عوامل مؤثر بر نیاز واحد انرژی را نشان می دهد.

توجه به آن عواملی که اثر زیادی بر نیاز واحد انرژی دارند و به برنامه ریزی در بهبود حداکثر کارآیی کمک می‌کند.

به این منظور همانگونه که در شکل شماره (۱ـ۱۲) نشان داده شده است، داشتن رابطه همبستگی بین نیاز واحد و هر عامل متغیر دیگری، اهمیت دارد.

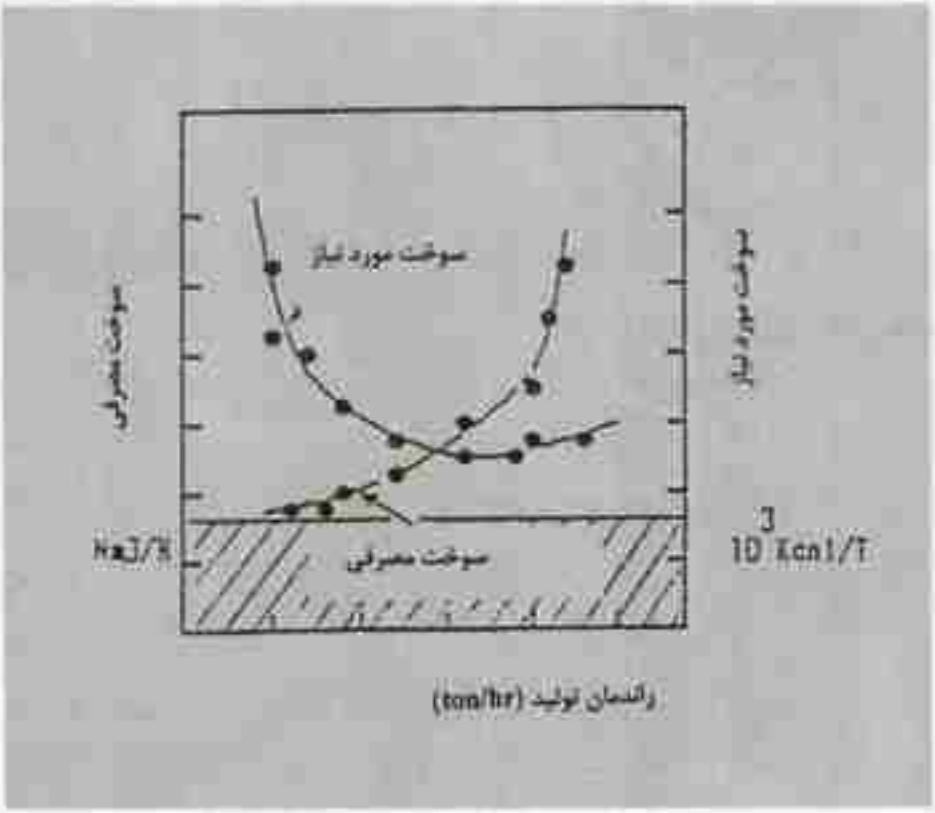


شکل ۱ـ۱۲ـ نمونه های نمودار همبستگی بین نیاز انرژی و عوامل متغیر

- داشتن مؤثرترین نقطه نیاز واحد انرژی ضروری است.

بطور کلی، همان طور که در شکل شمارهٔ (۱-۱۳) نشان داده شده است، واحد نیاز سوخت به موازات افزایش تولید کاهش (بهبود) می‌یابد. اما وقتی نیاز سوخت واحد فراتر از ظرفیت تجهیزات تولید شود، تمایل به

وضعیت نامطلوب شکل می‌گیرد. یعنی، تجهیزات دارای یک نقطه حداکثر کارآیی بسته به تولید هستند. بنابراین همواره وقوف به این موضوع بسیار حائز اهمیت است.



شکل ۱-۱۳- رابطه بین نیاز سوخت واحد و تولید

- آگاهی از وضعیت و شرایط فعلی به موارد زیر بستگی دارد:

الف) حقایق و داده‌ها را پیدا کنید (بصورت عددی)

ب) از مسایل و مشکلات بالقوه سازمان متبوع خود و همچنین مشکلاتی که شامل تجهیزات و نوع فرایندهای سازمان است، اطلاع حاصل نمایید.

جدول ۱ـ۱۲ـ آگاهی درباره شرایط یا موقعیت فعلی

مواردی که باید مشخص شود	مفاد
الف در ارتباط با عوامل ارزش	• هزینه انرژی مصرف شده • بیان کمیتی از انرژی مورد نیاز و مصرف شده • توزیع قدرت مکانیکی و انرژی حرارتی یا مکان های وجود اتلاف و نظایر آن
ب در ارتباط با نیروی انسانی	•توانایی و تکنیک صحیح هر کارگر
ج در ارتباط با وسایل و تجهیزات	• محصولات، مواد، تجهیزات، وظایف، عملکردها و نظایر آن
د در ارتباط با روش ها	• روش های کار، جریان مواد، سیستم ها و نظایر آن
هـ در ارتباط با محیط و سایر اطلاعات	• بازارها، محیط مؤسسه، جهت گیری شرکت های دیگر و نظایر آن

***توضیح تکمیلی**

ـ اطلاع از الگوی مصرف انرژی

• الگوی عملیات و تحلیل : بررسی عملیات واحد بصورت بهم پیوسته، مستمر یا منقطع

• تحلیل الگوی کار : بررسی نوع کار و ویژگی های عملیات تعدادی کوچک از واحدها با ظرفیت کم

ـ روش مصرف انرژی و عوامل دخیل در تصمیم های صرفه جویی انرژی را توضیح دهید.

• شناخت ویژگی‌های عملکرد سیستم‌های گرمایش، سیستم‌های قدرت مکانیکی و سیستم‌های روشنایی

• از بیان کمّی برای هر عامل با توجه به مقدار مورد نیاز نظری، اتلاف تجهیزات و نظایرآن استفاده کنید.

• روشی را برای بهبود صرفه جویی انرژی تدارک ببینید.

ـ بیان کمیتی انرژی مورد نیاز و مصرف شده

• انرژی مورد نیاز : بوسیله محاسبات و سنجش های نظری بدست آمده

• انرژی مصرف شده: خلاصه کردن توزیع انرژی، موارد اتلاف، حداقل راهکارها برای تنظیم بهبود کار

• وظایف را به بلوک هایی تقسیم کنید و بصورت سازماندهی شده روشن سازید.

• نقشه‌ای از مصرف انرژی ترسیم کنید.

• جریان تولید محصولات را شناسایی کنید.

بنابراین:

موقعیت فعلی را شناسایی کنید

سطح فعلی عملکرد و شرایط را بشناسید

سطح مورد انتظار را بشناسید

۱ـ سطح مورد انتظار رئیس مربوطه را قبل و بعد از اقدامات، چشم اندازهای آتی، مقایسه با سایر شرکت ها در همان صنعت و نظایر آن را بررسی و شناسایی کنید.

۲ـ تا حداکثر محیط شرکت و عوامل محدود کننده در آینده نزدیک را پیش بینی کنید.

فاصله و نقطه حمله را روشن سازید

۳ـ فاصله بین سطح تقاضای موجود و آتی را بشناسید

۴ـ در خصوص یک نقطه حمله تصمیم گیری کنید.

یک نقطه مهم برای بررسی صرفه جویی انرژی چیست؟

۸ – ۴ – گام چهارم: نگاه به پیشنهاد از نظر هزینه

حتی اگر افراد تصور کنند که در مورد مصرف انرژی و انواع مختلف حامل های انرژی بطور نسبی آگاهند، اما در واقع تعداد معدودی از آنها از نظر مقدار واقعی هزینه آگاهی دارند.

شناخت کامل هزینه های انرژی با تبدیل میزان انرژی مصرف شده به مقدار پول مهم و ارزشمند خواهد بود و همین موضوع است که آنها را به هم مرتبط می کند و هرکس درباره آن از نزدیک بر حسب زندگی روزانه

خود فکرمی کند هر کس اهمیت اقدامات صرفه جویی انرژی را بدرستی درک کند، قطعاً یادگیری و تفکر پیرامون مسائل توسعه آن را در حیطه فعالیت های خود شروع خواهد کرد.

جدول ۱-۱۳- نمونه ای از قیمت های واحد صرفه جویی انرژی به همراه یک سرمایه گذاری در تجهیزات می تواند در راس جدول جهت تصمیم گیری ارائه شود

انواع انرژی	قیمت واحد صرفه جویی انرژی	واحد	ملاحظات
انرژی الکتریکی		ریال بر کیلو وات ساعت ۱	
بخار با فشار پایین		ریال بر تن ۲	
هوای فشرده		ریال بر نرمال مترمکعب ۳	
مازوت		ریال بر کیلولیتر ۴	
گازوئیل		ریال بر کیلولیتر	
گاز طبیعی		ریال بر نرمال مترمکعب	
بنزین		ریال بر کیلولیتر	
آب صنعتی		ریال بر کیلولیتر	
آب آشامیدنی		ریال بر کیلولیتر	

نکته:

(۱) واحد قیمت های صرفه جویی انرژی، نتایج خلاصه شده در برآورد اثر صرفه جویی انرژی است و آنها برای تخمین و مزایای طرح های توسعه همراه با سرمایه گذاری تجهیزات کمک مؤثری خواهند نمود. اما باید توجه داشت که بررسی مجدد آنها بصورت دوره ای و منظم لازم است.

(۲) مقادیر عددی در این جدول فقط یک مثال است و در هر شرکتی متفاوت خواهد بود.

(۳) وقتی قیمت واحد انرژی مشخص نیست، قیمت واحد خرید مرسوم ملاک است .

1 - Rials/Kwh
2 - Rials/ton
3 - Rials/ N m3
4 - Rials/Kl

۸-۵- گام پنجم: استخراج ایده‌ها

در هنگام مشاهده تجهیزات با آگاهی از وجود مشکل، "اقدامات صرفه جویی انرژی را می‌توان انجام داد" اما برای آگاهی از صرفه جویی انرژی، مشاهدات سطحی کافی نیست و مهم نخواهد بود که منشاء افکار، نقطه نظرات یا پیشنهادات از کجا هستند چیزی که حائز اهمیت است بدست آوردن افکار و ایده‌ها، تلاش برای آمیختن افکار به شیوه های متنوع می‌باشد. موارد ذیل راه های مختلف کسب ایده را ارائه می کند

۱) فکر بکر و ناگهانی[1]

یک مثال قدیمی می گوید" هر سری یک فکری دارد" یعنی اگرهمه با هم درباره موضوعی فکر کنند افکار خوب و قابل مقایسه به همراه افکار بکر پدید خواهد آمد. فکر بکر و ناگهانی روشی است که در گفته های قدیمی جا گرفته است. در یک جلسه تبادل افکار، افکار متعددی آزادانه و براختی براساس داده های صرفه جویی انرژی باید اظهار شود. در چنین جلسه‌ای، افکار پیشنهادی نباید مورد انتقاد قرار گیرد تا زمینه خلق افکار بیشتری فراهم شود.

این روش در کسب ایده برای صرفه جویی انرژی به نسبت کارآمد است. وقتی اعضا در جلسه فکر بکر شرکت می کنند و می خواهند افکاری را پیشنهاد دهند، داشتن روش هایی برای تفکر، بجای نشستن و فکر کردن بدون هدف مفید است. یکی از این روش های مناسب، روش بررسی فهرست اوسبورن[2] است.

فهرست بررسی اوسبورن متشکل از ۹ قاعده است که در تفکر پیرامون ارائه ایده در توسعه کار مفیدند. ۹ قاعده مزبور بشرح ذیل هستند:

۱- **آیا کاربرد دیگری وجود دارد؟** (استفاده‌های جدید و نو از مواد، محصولات یا ضایعات و یا اندکی تغییر در حالت موجود؟)

۲- **آیا فکر دیگری وجود دارد؟** (برای جستجوی نظری دیگر، مواردی مشابه وجود دارد؟)

۳- **آیا قابل تغییر است؟** (از نظر شکل ، رنگ یا اندازه ، صدا، بو و یا حرکت؟)

۴- **بزرگ تر کردن آن چطور؟** (با افزایش مقدار یاکاربرد با استفاده ازبزرگترساختن یاافزودن چیزی؟)

۵ - **کوچک تر کردن آن چطور؟** (افزایش مقدار با استفاده از کاهش یا برداشتن چیزی؟)

۶- **آیا هیچ جایگزینی وجود دارد؟** (ارائه وسائل یا روش‌های جدید غیر از موارد فعلی؟)

۷- **مبادله چطور؟** (تلاش برای انتقال یک بخش بجای بخش دیگر یا عنصری بجای عنصر دیگر؟)

۸- **آرایش مجدد چطور؟** (معکوس ساختن، جلو وعقب، راست و چپ یا بالا و پایین یا تغییر موقعیت؟)

۹- **ترکیب کردن چطور؟** (تفکر درباره یک ایده و یا ترکیب با سایر افکار؟)

1- Brain_ Storming

2- Osborn

۲) نمودار علت و معلول

این روش توسط پروفسور ایشی کاوا[1] درسال ۱۹۵۲م تهیه شد. این روش در اصطلاح روش استخوان ماهی[2] هم نامیده می شود.

این امر با خلاصه کردن منظم ویژگی های مورد پرسش و روابط بین عوامل و همچنین عواملی که تصور می شود دارای تأثیر بر آن هستند ، ترسیم می شوند. برای مثال، اگر هدف فعالیت، مقایسه تنه درخت باشد، افکار پیشنهادی شما طبقه بندی شده و بعنوان شاخه و برگ مکتوب می شود.

روش پنج گام[3] و 5W اغلب در مورد صرفه جویی انرژی بکار می رود. این به معنی آن است که باید به هفت عامل ذیل در بهبود فعالیت توجه نمود:

۱- انسان

۲- مواد

۳- مدیریت

۴- ماشین (تجهیزات)

۵- روش

۶- بازیافت (بازیافت گرمایش اتلافی و نظایر آن)

۷ - تأسیسات ضروری (نیروی مکانیکی ، یا هر نوع از انرژی‌های مصرفی به تنهایی)

1- Ishikawa

2- Fish bone

3- 5Ms

ویژگیهای نمودار علت و معلول

(۱) تمام اعضا می توانند در مشکل سهیم شوند، چرا که ایده های آنها دخیل بوده است و آنها می توانند ایده‌ها و نظرات خود را در نمودار مشاهده کنند.

(۲) زمانی که بهبودی حاصل می شود، نمودار علت و معلول تعدیل خواهد شد و از این رو دیدن پیشرفت بهبود کار را آسان می سازد.

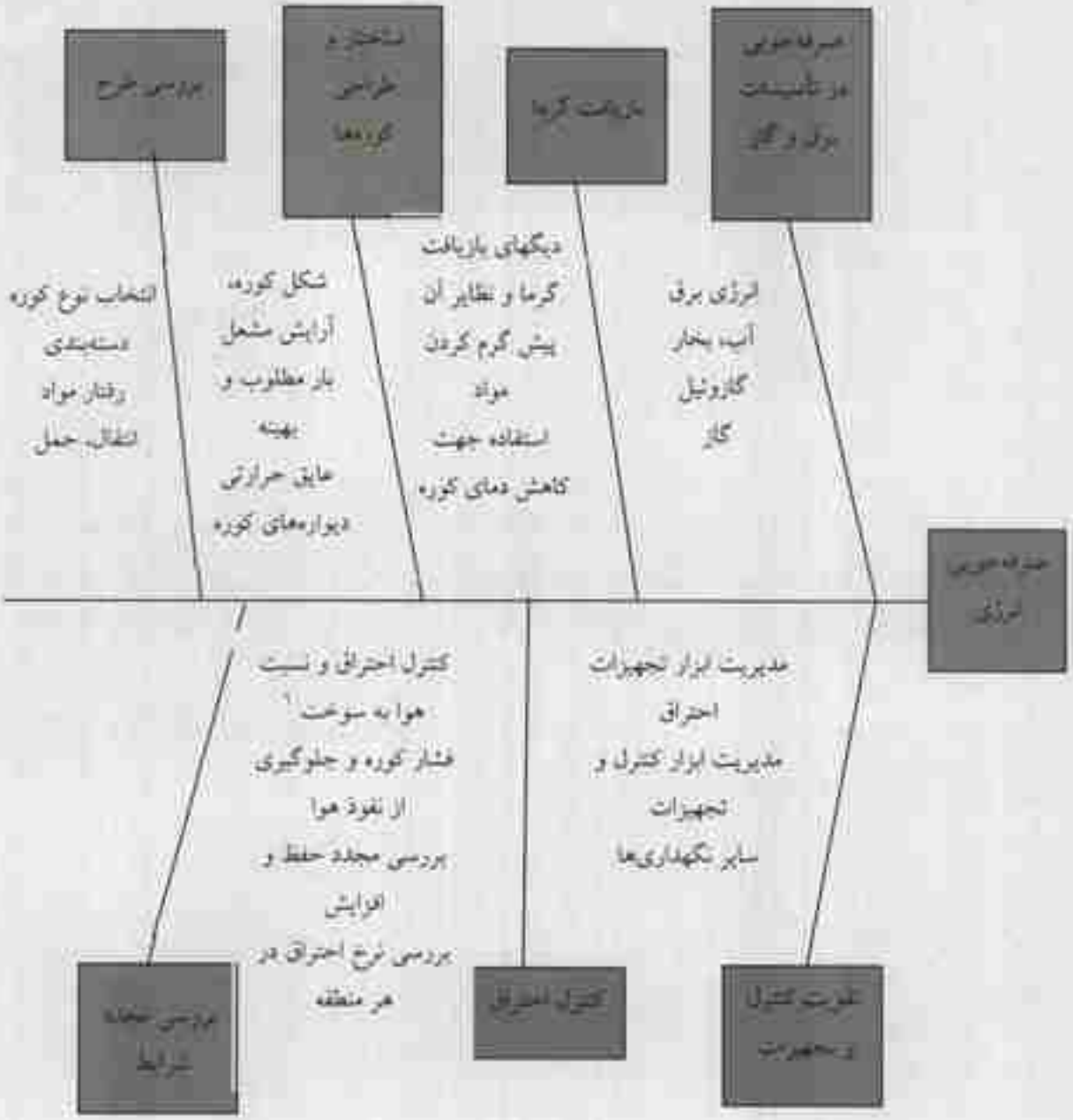
استفاده از نمودار علت و معلول

(۱) چه وقت لازم است مشکلات خلاصه شود و افکار اعضا از راه انتقال دانش و نظرات یکسان شود؟

(۲) چه وقت راه حلی واقعی برای چالش ویژگی های مورد پرسش، مورد نیاز است؟

(۳) چه وقت جمع کردن دانش فنی با نوشتن مفاد و اقدامات مورد تائیدی که باید اتخاذ شود، سودمند خواهد بود؟

(۴) چه وقت اطلاعات یا دانش افراد برای استفاده در تعلیم یا آموزش روش های کار و جمع‌آوری نکات مفید برای مدیریت مورد نیاز است؟



شکل ۱-۱۴- نمونه‌ای از یک نمودار علت و معلول(۱۴)

مزایای یک نمودار علت و معلول

۱ـ ساخت یک نمودار علت و معلول، آموزشی است (هر شخصی فکر می کند).

۲ـ نمودار علت و معلول در ماهیت گفتگو موثراست (گفتگو در رابطه با موضوع مورد بحث).

۳ـ پیگیری مفصل علت، ایده‌ها و افکاری را برای توسعه فعالیت‌ها و اقدامات ایجاد می‌کند.

1 . Air/ fuel Ratio

• به موارد صرفه‌جویی انرژی در هنگام تنظیم نمودار علت و معلول توجه کنید.

دیدگاهها (نحوه دیدن یا نبود موافقت) میل به محدود شدن دارد. بدین جهت یافتن تمامی علل به نحو فزاینده‌ای مشکل است. برای انجام آن، سایر روش‌ها نیز می‌تواند استفاده شود.

• اشاراتی برای افکار تشویق کننده

کلمات آسان برای نشانه‌گیری افکار بقرار ذیل استفاده شده‌اند:

این کلمات ابزارهایی بدون ارتباط با سایر روش‌ها برای استخراج افکار مورد استفاده قرار می گیرد. چون آنها با خلاصه کردن و جمع‌بندی افکار انسان‌ها انتخاب شده‌اند و در استخراج افکار عینی کار آمدند. همچنین در جلوگیری از حذف افکار بی ربط نیز مفیدند.

اشاره ۱– کلماتی برای استخراج افکار

مواردی دارای رابطه نزدیک با صرفه‌جویی انرژی از یک فهرست بررسی توسط اوسبورن استخراج شده‌اند:

۱ـ آیا هیچ راهی برای جلوگیری از استفاده نامطلوب وجود دارد؟	ترک کردن
۲ـ آیا آن ایده سطحی است یا عمیق؟	سطحی یا عمیق
۳ـ اگر تغییر کند چه اتفاقی می افتد؟	تغییر
۴ـ اگر برعکس شود چه چیزی رخ می دهد؟	برعکس
۵ـ افزایش ارتقاء یا کاهش آن چطور؟	بالا یا پایین
۶ـ آیا هیچ جایگزین یا کاربرد دیگری وجود دارد؟	جایگزین
۷ـ ترکیب دو به یکی یا جداسازی؟	ترکیب و جداسازی
۸ـ بزرگ یا کوچک ساختن؟	کاهش یا گسترش
۹ـ تغییر ترتیب؟	تغییر ترتیب
۱۰ـ یک تغییر دیگر چگونه می‌تواند باشد؟	یک تغییر بیشتر
۱۱ـ با افزایش یا کاهش چه اتفاقی خواهد افتاد؟	افزایش یا کاهش
۱۲ـ آیا مواردی که قابل بازیافت باشد، وجود دارد؟	بازیافت گرما

اصولی برای بهبود

مواقعی که باید هدف گذاری شود	مواقع اساسی بهبود
آیا تغییر روند یا هدف فعالیت امکان پذیر است؟ آیا موردی وجود دارد که لازم باشد حذف شود؟	۱ـ کاهش فرایند
آیا بهبود روند فعالیت امکان پذیر است؟ (از جمله تغییر ترتیب کار)	۲ـ ترکیب و تغییر فرایند
آیا امکان حذف تجهیزات و یا ترکیب ساده سایر کار وجود دارد یا آسان تر این است که آن را انجام داد؟ (محل کار، تجهیزات)	۳ـ ساده سازی فرایند
آیا حذف بخشی از یک فرایند امکان پذیر است (ترکیب با فرایند دیگر، کوتاه تر ساختن زمان و نظایر آن)	۴ـ تغییر ترتیب فرایند
تغییر به یک فرایند کاری آسان تر	۵ ـ کاهش حرکت یا سکون

۸-۶- گام ششم: پیشنهاد بهبود کار

الف ـامکان دارد که پیشنهاد مطلوب دیگری برای بهبود فعالیتی که هدف گذاری کرده اید، وجود داشته باشد. در هنگام برنامه ریزی برای بهبود فعالیت ، بررسی طرح تان بر اساس روندهای ذیل قابل توجیه است:

۱ـ نخستین پیشنهاد بهبود فعالیت را ارزیابی کنید.

۲ـ از موارد پیشنهادی بهبود کار، مواردی را که بدون تردید امکان تحقق آن در آینده وجود دارد، برگزینید.

۳ـ سلسله مراتبی از تأثیرات را در موارد منتخب ارائه دهید.

۴ ـ برای پیشنهاداتی که دارای تأثیرات عمده‌ای هستند، راه های عملی ارائه دهید و انجام مطلوب طرح را بررسی کنید.

در صورت لزوم، با رئیس یا سایر کارکنان مربوطه در رابطه با بررسی راه های ارتقاء عینی آن مشورت کنید.

وضعیت تجاری و سایر شرایط محدود کننده را بررسی کنید.

با انجام یک عمل مشابه‌سازی، یا آزمایش جزئی، اقدامات یا تجاربی که موجب بهبود فعالیت شده است را در صورت لزوم ارزیابی کنید.

اقداماتی را برای برخورد با موانع درروند اجرای پیشنهادات بهبود کار تهیه کنید.

ب ـ ارزیابی ثانویه را در خصوص پیشنهاد بهبود کار تهیه کنید.

۱ـ مواردی را که امکان تحقق آن زیاد و احتمال حمایت فنی از آن زیاد خواهد بود را ارائه کنید.

۲ـ مواردی راکه نیازمند اندکی بررسی یا پژوهش هستند، ارائه نمائید. پژوهش‌های مورد نیاز را نیز برای توسعه فعالیت پیشنهاد کنید.

۳ـ یک فکر و ایده خوب اما بدون ملاحظه تأثیرات یا حمایت فنی را بصورت پیشنهاد بهبود کار ارائه دهید.

راه‌های مختلفی برای ارتقاء افکار جهت تحقق پیشنهادات بهبود کار بر اساس سه نوع ارزیابی ثانویه که در بالا به آنها اشاره شده وجود دارد.

در رابطه با پیشنهادات بهبود واقع گرایانه (مورد ۱) که امکان تحقق آن زیاد می‌باشد، باید ملاحظه شود که در چه زمانی می توانند سریع‌تر به اجرا درآیند.

در رابطه با پیشنهادات توسعه کار در مورد ۲، پژوهش و پیش بینی توسعه فعالیت باید بیشتر انجام شود. لذا لازم است تا در خصوص جزئیات نحوه انجام کار، چه در شرکت خود و یا پرسش از شرکت خاص دیگر فکر و بررسی شود.

در خصوص پیشنهادات توسعه کار در مورد ۳ چون در حال حاضر فقط یک ایده وجود دارد، اجرا و عمل کردن به آن مشکل است. در پی پیشنهادات توسعه کار، ممکن است احتمال تحقق یکی ازموارد در آینده وجود داشته باشد که به توسعه فناوری یا صرفه جویی انرژی در آینده بستگی دارد. لذا این ایده‌ها باید نگهداری و ثبت شوند.

۱) اتمام پیشنهاد بهبود

۲) وقتی طرح توسعه آماده است، بررسی مجدد نکات مهم لازم است. مثلاً آن را می‌توان با بررسی نکات ذیل و تکمیل هر نقطه ناکافی به پایان رساند:

۲ ـ ۱ـ برای توسعه چه چیزی لازم است؟

۲ ـ ۲ـ هر چند وقت یکبار باید اقدامات انجام شود؟

۲ ـ ۳ ـ تا چه حدی پیشرفت کار مورد نیاز است؟ آیا هدف واقعی است؟

۲ ـ ۴ ـ چه مشکلاتی برای رسیدن به هدف وجود دارد؟

۲ ـ ۵ ـ چه اقداماتی را برای حل مشکل می توان انجام داد؟

۲ ـ ۶ـ آیا مناسب خواهد بود پیشرفت ها را بصورت ناگهانی انجام دهیم؟ آیا آزمایش و سایر موارد ضروری است؟

۲ ـ ۷ـ حالت توسعه یافتگی چگونه حفظ یا نگهداری خواهد شد؟

۸-۷- گام هفتم: ارزیابی

به منظور کسب موافقت رئیس و بخش های مربوط برای یک طرح بهبود، روش ارزیابی مناسب مورد نیاز است.

(۱) محاسبه دوره بازگشت سرمایه

وقتی ایده یا فکری مشخص در خصوص تأثیر صرفه‌جویی انرژی اتخاذ می شود، ارزیابی و محاسبه دوره بازگشت سرمایه (سوددهی) در زمینه کارخانه و سرمایه تجهیزات مورد نیاز، برای به اجرا درآوردن آن لازم است.

راه‌های مختلفی برای محاسبه دوره بازگشت سرمایه پس از سرمایه گذاری در بخش تجاری وجود دارد که وقتی به دقت انجام گیرد، محاسبه سود لازم است. همچنین در یک مقیاس بزرگ سرمایه گذاری، همکاری بخش حسابداری نیز مورد نیاز خواهد بود.

در اینجا بعنوان روش ارزش‌یابی ساده برای سود دهی که اغلب بوسیله مسئولان صرفه جویی انرژی بکار می‌رود، یک نوع روش محاسبه بازگشت سرمایه، توضیح داده می شود.

در این روش محاسبه، در ابتدا مزایای صرفه جویی انرژی برای یک سال در ارتباط با هر پیشنهاد محاسبه و سپس هزینه تجهیزات برآورد می گردد و با جایگزینی آنها در معادله ذیل، سال های بازگشت سرمایه محاسبه می‌شود.

$$\text{سال های بازگشت سرمایه} = \frac{\text{هزینه تجهیزات}}{\text{(سود) - (هزینه تجهیزات)(بهره + مالیات اموال ثابت)}}$$

سال های بازگشت سرمایه به معنی آن است که چند سال طول می‌کشد تا سرمایه‌گذاری‌های انجام شده به واجد اقتصادی باز گردد؟ پس از سپری شدن سال‌های بازگشت سرمایه، تمام منافع از طریق فعالیت صرفه جویی انرژی تبدیل به سود می شود.

بطور کلی، هزینه تجهیزات سرمایه گذاری شده در ابتدا، اغلب از یک موسسه مالی وام گرفته می شود، بنابراین بهره وام مزبور باید پرداخت شود. به همین دلیل است که واژه بهره در معادله بالا آمده است. همچنین، مالیات اموال ثابت، باید برای هزینه تجهیزات پرداخت شود. در برخی موارد، نیاز به هزینه‌های تعمیر و نگهداری نیز هم دیده شده است.

(۲) درجه بندی برای اجرای سال‌های بازگشت سرمایه

بی تردید هر چه سال های بازگشت سرمایه کوتاه تر باشد، مزایای اجرای آن بیشتر است. این محدودیت بوسیله قدرت و سیاست شرکت معین می شود. مثال درجه بندی کلی برای سال های بازگشت سرمایه در جدول ذیل نشان داده شده است.

جدول ۱ـ۱۴ـ نمونه هایی در خصوص انجام و یا عدم انجام طرح‌های بهبود، منوط به تعداد سال های بازگشت سرمایه

درجه	سالهای بازگشت سرمایه	قضاوت برای انجام یا عدم انجام
الف (A)	کمتر از ۳ سال	لازم الاجرا
ب (B)	۵-۳ سال	بررسی مجدد مفاد پیشنهادی طرح توسعه و هزینه تجهیزات یا بررسی امکان کاهش تعداد سال های بازگشت سرمایه به کمتر از ۳ سال با ملاحظه مزایای اضافی
ج (C)	بیش از ۵ سال	بررسی، تغییر موارد اصلی مانند روشهای بهبود کار و نظایر آن

(۳) ارزیابی امکان تحقق

۱ـ برای افزایش شانس موفقیت برای پیشنهاد بهبود یا امکان تحقق، باید بررسی بیشتری انجام شود.

۲ـ بسیار سودمند خواهد بود که هر پیشنهاد توسعه کار را یک به یک بررسی کنیم و یک ارزیابی و قضاوت واقعی و مطلوب داشته باشیم.

جدول ۱ـ۱۵ـ هزینه ارزیابی و قضاوت، یک پیشنهاد توسعه کار

(کوامبل) برای فهرست بررسی	امکان تحقق	درجه اثر	اثر منفی
Θ	سریعاً تحقق می یابد	وسیع	ندارد
O	نسبتاً به آسانی تحقق می یابد	تاثیر ضعیف	ناچیز
I	با دشواری اندکی تحقق می یابد	تاثیر قابل تحمل	کم
Δ	تحقق آن مشکل است	تاثیر کم	زیاد
x	تحقق آن غیر ممکن است	تقریبا بدون اثر	بسیار زیاد

• امکان تحقق

• امکان تحقق از نظر فناوری، اقتصادی، قوانین، قدرت و نظایر آن، قضاوت می شود (فناوری، یا به عبارتی شیوه تولید، شیوه تجهیزات، شیوه ساخت و نظایر آن)

• درجه اثرگذاری، این را قضاوت می کند که اثر صرفه جویی انرژی تا چه حد با اجرای پیشنهاد برنامه توسعه حاصل می‌شود.

• تاثیر منفی ، به قضاوت در خصوص اثری که بر سایر حوزه‌ها دارد، می‌پردازد.
(تولید، تحویل، کارکران، سایر مکان های کار ونظایرآن) در اجرای پیشنهاد بهبود کار

۸ – ۸ – گام هشتم : اجرا

(۱) اجرای یک طرح

بمنظور اثبات نتایج مطلوب، انجام یک طرح واقعی ضروری است.

۱ـ در مورد دوره و مشارکت کار، با استفاده از روش 5Ws و 2Hs تصمیم گیری کنید.

۲ـ موافقت و تائید رئیس خود را حاصل نمایید.

۳ـ اگر لازم باشد، آن را به سایر بخش‌های مربوطه توضیح دهید و تضمین همکاری آنها را اخذ نمایید.

نمونه یک طرح در اجرای یک پیشنهاد برای نتایج مطلوب

مورد		زمان						
ترسیم اجرای آزمایشی								
مرتب نمودن مواد و ابزار								
تولید تجهیزات آزمایش								

(۲) پیشنهاد را برای کسب نتایج مطلوب اجرا کنید.

۱ـ طرح را براساس پیشنهادات انجام دهید.

۲ـ در مواردی که چندین اقدام بطور همزمان باید اجرا شود، تأثیر کلی و نهایی یا تأثیر رابطه علت و معلول را بین هر اقدام پیشنهادی پیدا کنید.

۳ـ اگر مشکلی در اجرای فعالیت‌ها و اقدامات بعلت تغییر در محیط کار پیش آید، لازم است با رئیس یا کارکنان مشورت کرده و توصیه ها داده شود.

- طرح را هرچه سریعتر انجام داد.

صرفه جویی انرژی تأثیری مستقیم بر هزینه های تولید دارد، بنابراین لازم است که کارگران تغییرات را بسرعت اجرا کنند. همچنین بعلت اینکه شخص متصدی ممکن است تغییر کند یا کارگران کمتر انگیزه داشته باشند، اجرای فعالیت‌ها باید تا حد امکان بسرعت انجام شود.

■ همیشه ارتباط نزدیک با بخش های مربوطه را حفظ کنید. اجازه داده نمی‌شود که براساس اقتدار خود عمل کنید، هر چند مزایای آن ممکن است واضح باشد.

ارتباط و مشورت با بخش های مربوطه به نتایج بهتری می انجامد. در این خصوص، فکر کردن درمورد اهمیت دوره ها در زمینه انجام آن به شکل مطلوب، رسیدن به نتایج، حفظ نتایج و ارتباط با بخش های مربوط، غیر قابل اجتناب است.

۸ ـ ۹ ـ گام نهم : بررسی یا نظارت

وقتی در بهبود کاری، صرفه جویی انرژی اعمال شده است، ممکن است ابزاروتجهیزات جدید و یا روش‌های عملیات و همچنین نوع مدیریت تغییر کرده باشد. اگر کسی وضعیت را پیوسته بررسی نکند، به معنی آن است که کار هنوز نیمه تمام است بلکه بعد از اجرای برنامه توسعه کار، مشکلات جدید ناشی از اثرات صرفه‌جویی انرژی و نظایر آن است که باید مورد بررسی نظارت قرار گیرد.

۱– بررسی یا نظارت با استفاده از نمودارهای کنترل برای بررسی میزان اثربخشی بهبود مفید است.

برای مثال، نمودارهایی مانند ساعات عملیات صرفه جویی انرژی، مصرف انرژی، نیاز واحد و نظایر آن اغلب مورد استفاده قرار می‌گیرد. به طور مثال هنگام فعالیت، وقتی بهبودی در رابطه با گرمایش اجرا می‌شود، اغلب دما، ترکیب گاز خروجی و نظایر آن بررسی می شود.

۲– درک اثرات قابل سنجش

موارد ذیل چگونگی درک آثار قابل سنجش را توصیف می‌نمایند:

۲ ـ۱ـ با مقایسه مقادیر اندازه گیری شده فعلی با داده های گذشته، می‌توان میزان تأثیر را مشخص کرد.

- داده های جدید با استفاده از همان روش کسب داده ها در گذشته، مورد نیاز است.
- تا حد امکان، اثرات صرفه جویی انرژی باید بر حسب مقدار پولی محاسبه شده و برای هر فعالیت و یا اقدامی که موجب صرفه جویی انرژی شده توصیف شود.
- وقتی مقدار هدف هنوز حاصل نشده است، لازم است علت آن جستجو شود.

۲ ـ۲ـ تأثیرات ثانویه (یا اثرات توسعه یافته) علاوه بر آن اثرات هدفمند نیز باید ارزیابی شوند.

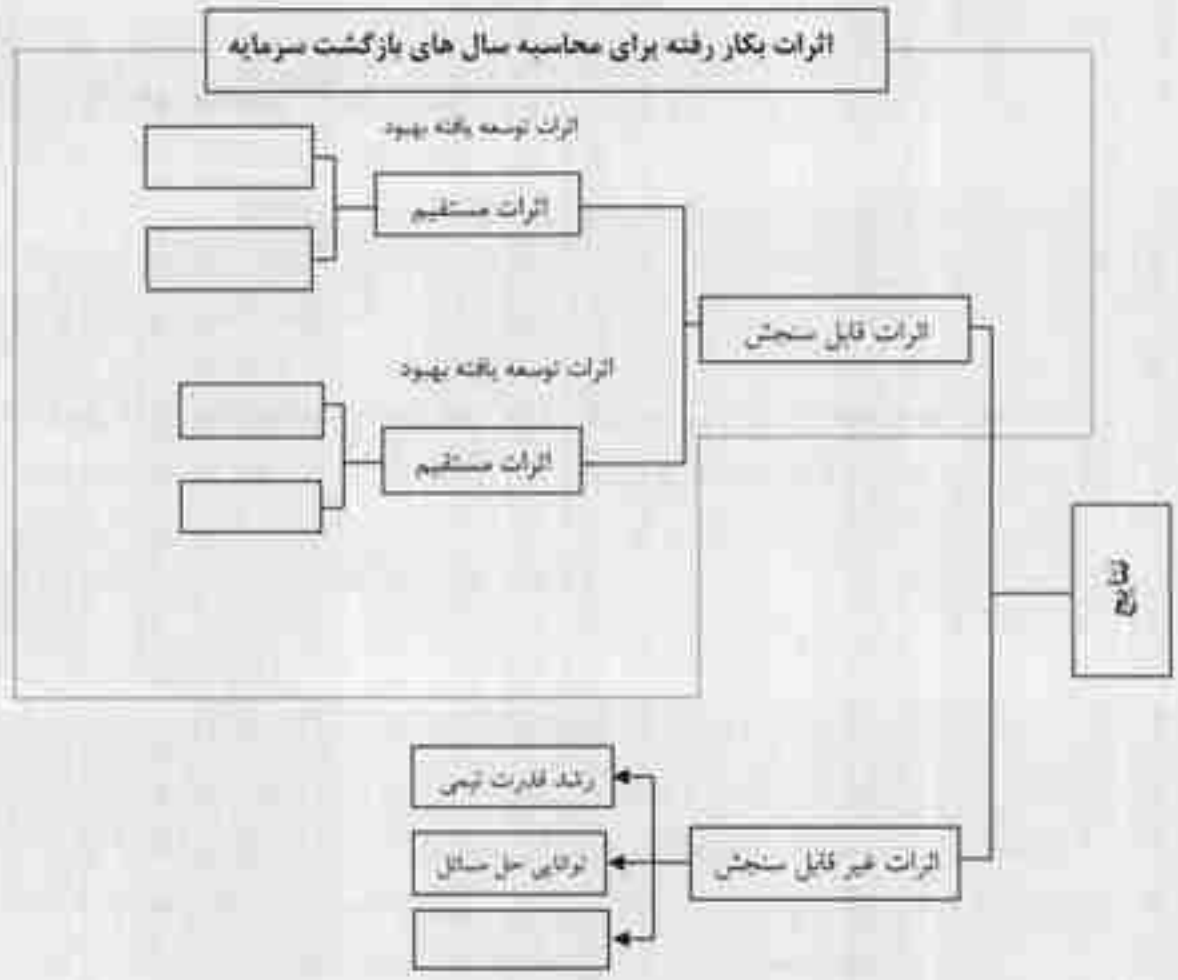
۲ ـ۳ـ هزینه های مورد نیاز توسعه و هر نوع اثر نامطلوب بر عوامل دیگر باید مشخص شوند.

۳- درک اثرات غیرقابل سنجش

رشد اشخاص بصورت انفرادی یا تیم باید تجزیه و تحلیل شود (مثال: کار تیمی برای مشارکت درکار، آگاهی از بهبود کار، توانایی حل مشکلات، اجرای روند، روش های مناسب بکار رفته و نظایر آن).

۳ـ ۱ ـ درک اثرات با ایجاد امکان برای تیم در جهت ارزیابی موارد و روش های سنجش

۳ـ ۲ـ مقایسه درجه رشد با آنچه که توسط تیم هدف‌گذاری شده است. مثال: استفاده از نمودارهای رادار[1]، نمودارهای ماتریس[2] و نظایر آن.



شکل ۱-۱۵ـ نمونه محدوده نتایج توسعه کار

1 - Radar
2- Matrix

(نکته ۱): فقط اثرات مستقیم تأثیرگذار نیستند، بلکه باید اثرات غیر مستقیم را نیز در نظر گرفت.

این امر غیرعادی نخواهد بود که ، وقتی اثرات غیر مستقیم به اثرات مستقیم اضافه شوند، تعداد سال های بازگشت سرمایه کاهش یابد.

(نکته ۲): وقتی نتایج فعالیت گزارش می شود ، اثرات غیر قابل سنجش علاوه بر اثرات قابل سنجش باید لحاظ شود، چون" **تجارت ،حرفه مردم است**".

۸ – ۱۰– گام دهم: حفظ حالت بهبود یافته

نتایج مطلوب از طریق اجرای اقدامات واقعی حاصل می‌شود اما اگر بعد از اجرا مورد حفظ و نگهداری قرار نگیرد، با گذر زمان از بین می روند و اهمیت فعالیت خنثی خواهد شد. چنانچه فقط به شعارهای ذهنی مبهم تکیه شود، نتایج خوب و مطلوب را نمی توان حفظ کرد (مانند این جملات: " اجازه بدهید همه توجه کنند"، "بیایید تا حد امکان سخت کار کنیم" . این نکته حائز اهمیت است که بررسی و اجرای نتایج تا زمانی که با استاندارد، قوانین و اقدامات عینی اجرا شده، حل و فصل گردد.

با توجه به ارتباط با بخش های دیگر، لازم است که با تائید رئیس مربوطه به اشخاص دخیل در اقدامات به طور کامل اطلاع دهید.

۱– استاندارد نمودن

استانداردها یا دستورالعمل ها برای فعالیت های جدید باید تهیه یا تعدیل شود.

۱ـ این کار درک ماهیت فعالیت و پیمودن مسیر آنها را بدون اشتباه ، آسان می کند.

۲ـ دوره اجرا را روشن می سازد.

۳ـ هدف و دلیل ورای اقدام را روشن می سازد (چرا ما این کار را انجام می دهیم).

۴ـ به ما در خصوص تصمیم گیری در زمینه نحوه بررسی یا نظارت و نحوه پیگیری کمک می کند (روشن ساختن ۵Ws و ۲Hs)

۵ـ تائید رئیس مربوط علاوه بر هر برنامه ریزی ضروری دیگر در بخش‌های مربوطه

خلاصه کردن و استاندارد کردن بوسیلهWs ۵ و ۲H

اجرا	چه کار باید انجام داد	چگونه	کجا	چه وقت	چه کسی
هدف	مورد قابل اجرا	مفاد برای اجرا	مکان	تاریخ اجرا	متصدی
۱					
۲					
۳					

۲- همه را کاملاً مطلع سازید.

۱ـ دوره اجرا شده را مورد تائید مجدد قرار می دهد.

۲ـ آموزش پرسنل به نحوی‌که هرکس بتواند مسئولیت خود را به خوبی انجام دهد. ضمانت می‌کند که اشخاص مسئول نقش خود را درک کنند.

۳ـ دلیل اجرا و روش جدید انجام کار برای اشخاص مربوط ، اهداف را برای همکاری آنها در صورت لزوم توضیح می دهد.

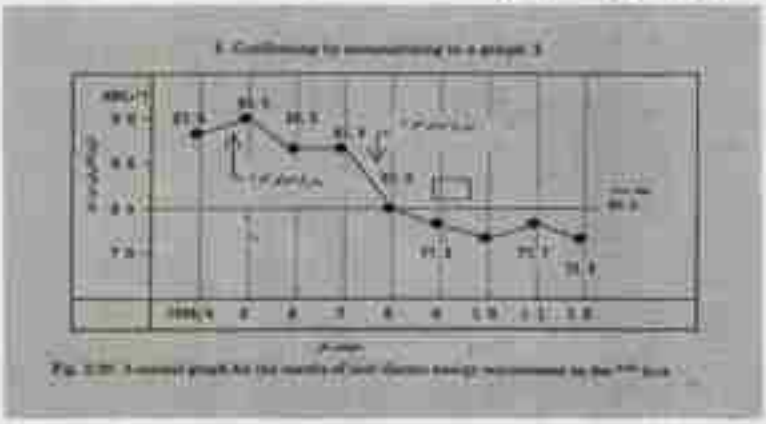
۳- تثبیت مدیریت

۱ـ بوسیله بررسی چگونگی استفاده از استانداردها.

۲ـ با اطمینان از اینکه تأثیر ،ثابت و دیر پاست و می تواند از محدوده هر نوع مشکلی که پیش بیاید برآید.
(با استفاده از فهرست بررسی (چک لیست) ، نمودارهای خطی، نمودارهای کنترل و نظایر آن)

۳ـ وقتی تأثیر، ثابت و دیرپا است باید بعنوان بخشی منظم از کار روزانه اعمال شود.

۴ ـ تایید با خلاصه کردن در یک نمودار



شکل ۱ـ۱۶ـ یک نمودار کنترل برای نتایج نیاز واحد انرژی الکتریکی بر روی خط

۴- منعکس نمودن فعالیت

۱ـ انعکاس مفاد موقعیت اقدامات

آیا تفاوتی بین نتیجه و هدف یا برنامه فعالیت بوجود دارد؟

اگر تفاوتی وجود دارد، علت آن چیست؟

۲ـ با انعکاس نحوه ارتقاء فعالیت ارتباطات بین هر گام و نظایر آن

آیا ارتباطات بین هر گام بعنوان یک کل ثابت بوده است؟

آیا ایده های کافی برای شناسایی علل مشکلات وجود دارد؟

۳ ـ انعکاس نحوه مدیریت تیم

آیا روند جلسات و روش ها مناسب بوده است؟

آیا مشارکت کاری مناسب بوده است؟

آیا هیچ سیاستی در خصوص آموختن روندها یا بهبود توانایی و مهارت های شرکت کنندگان اتخاذ شده است؟

۴- بررسی / ارزیابی و پیگیری خود طرح

۱ـ با انجام چرخه فعالیت تیم[1] (طراحی، انجام ، بررسی، اقدام) ، نکات مطلوب و مثبت طرح باید به طور مجدد در پروژه بعد استفاده شود. نقاط باید بهبود یابد تا مجدداً در مرتبه بعد تکرار نشود.

۲ـ لازم است تا شناسایی شود که این بار چه چیزی حل شده و چه چیزی بدون هیچ اقدامی رها شده است. اگر موردی هست که بتوان اکنون به آن پرداخت، برنامه باید بلافاصله طراحی شود.

۳ـ اگر تحلیل‌ها روش هایی مفید را نشان دهد که کار کرده اند، این موارد باید بر تعداد بیشتر و وسیع تری از موقعیت های مشابه اعمال شود.

در جدول ۱-۱۶ خلاصه هدف هر گام، مفاد کار و مشکلات ارائه شده است.

1 - PDCA: Plan,Do,Chek,Action

جدول ۱ـ۱۶ـ چگونه شخصیت‌ها، تحلیل ، سنجش در صرفه جویی انرژی را ارتقاء بخشیم(۱٤)
(خلاصه هدف هر گام، مفاد کار و مشکلات)

گام	مورد	هدف	مفاد کار	مشکلات و پاسخها را بیابید
آماده‌سازی	آماده‌سازی شرایط برای بهبود اصول صرفه جویی انرژی	تهیه شرایط اساسی و ذهنی بمنظور ارتقاء فعالیت صرفه جویی انرژی بنحو کارآمد	• به رسمیت شناختن هدف ارتقاء صرفه جویی انرژی • مشارکت بوسیله اعضاء (تیم) مسئول صرفه جویی انرژی، ایجاد سیستم همکاری	• خودآگاهی نسبت به وظیفه و مسئولیت برای بهبود اصول صرفه جویی انرژی بوسیله مدیر، (مدیر کارخانه، مدیر بخش و اشخاص مسئول در هر بخش) • سازمان برای ارتقاء صرفه جویی انرژی
۱	تحلیل فرایند تولید	درک روش روند تولید و تهیه داده های ضروری برای فعالیت های آتی	• تهیه یک فهرست جریان کار که روش فرایند تولید و همچنین یک نمودار را نشان می‌دهد که مصرف انرژی را در فرایند برای هر انرژی مورد استفاده نشان دهد • جمع‌آوری مواد فرایند (ورقه نرار جریان مواد،ساختار و طراحی فهرست وسائل و تجهیزات) • جمع‌آوری اسناد فنی (تولید، استفاده، استانداردهای کنترل کیفیت و غیره)	حفظ سیستم طراحی و اسناد مربوط به مشخصات تجهیزات و نظایران • آماده سازی ناکافی اوراق نرار • بازرسی ناقص در خصوص عملیات مطلوب
۲	تحلیل مصرف هر یک از انرژی‌های مصرفی و هر یک از فرایندها	شناخت مصرف انرژی برای هر دوره هر فرایند و هر محصول	• نشان دهنده تولید، مصرف انرژی و هزینه‌های روزانه، ماهانه و سالانه • تحلیل عوامل متغیر برای نیاز انرژی واحد	•وجود یک سیستم برای سنجش دوره ای مصرف انرژی برا ی هر فرایند و هر نوع انرژی • حفظ داده های سنجش
۳	تحلیل نسبت هزینه انرژی مصرف شده برای هر یک از فرایند های اصلی	تصمیم در خصوص اهداف صرفه جویی انرژی با ارزیابی مصرف انرژی بصورت اقتصادی	• نشان دادن هزینه انرژی برای هر روند • تصمیم در خصوص تجهیزات هدف برای صرفه جویی انرژی • تحلیل برج عملیات	• ذخیره روش حفظ در تقسیم محاسبات مربوط به جزئیات هزینه انرژی • ارزیابی هزینه انرژی بعنوان قسمتی از هزینه تولید
۴	تحلیل هزینه انرژی در هزینه تولید	همانند بالا	• هزینه انرژی از جنبه مدیریت با تحلیل اظهار نامه های محاسبات • محاسبه و مقایسه شاخص های مختلف • بررسی قابلیت سوددهی کار اثرات گسترده	• آگاهی صحیح درباره ظرفیت تجهیزات و شرایط عملکرد آنها • شناسایی هزینه انرژی برای هر محصول بعلت تنوع وسیعی از محصولات با مقدار کم

ادامه جدول ۱ـ۱۶

۵	برنامه ریزی تولید - تعمیر و نگهداری تجهیزات- طرح قبلی کنترل مدیریت	بررسی روتین کار بطور کامل و موقعیت کنترل انرژی	• شناسایی روتین حرفه، تغییرات تاریخچه، سیاست مدیریت و نظایر آن • بررسی حالت واقعی طرح، فضا و نظایر آن • بررسی برنامه تولید (کوتاه مدت، میان مدت، بلند مدت) • بررسی وضعیت کنترل انرژی	• روش تهیه گزارشات فنی بوسیله شخص مسئول • عناوین اعتماد حرفه • مشکلات مربوط به سایر شرکت ها (مشکلات در شرکتهای مشترک)
۶	تحلیل ویژگی های روند تولید از دیدگاه صرفه جویی انرژی	تحلیل فرایند تولید از جنبه کیفی انرژی	• تهیه رقمی از توزیع دما در مقابل زمان • تحلیل کیفی انرژی • تحلیل وظیفه هر فرایند بوسیله تحلیل سیستم فرایند	• دانش پیرامون رفتار پویای فرایند • فرایندهایی برای تحلیل سیستم
۷	داده های اساسی سنجش	جمع آوری داده‌های حقیقی لازم برای تحلیل انرژی	• روش ساختن هدف سنجش • انتخاب تجهیزات و نکات برای سنجش • تصمیم گیری در خصوص روش سنجش و صحت سنجش • انتخاب و تصمیم در خصوص ابزار و زمان سنجش، ترکیب پرسنل	• سیستم همکاری کارگران در مکان تولید • درجه اثر بر خط تولید
۸	بالانس(موازنه) گرمای تخمینی (محاسبه و مثال)	تحلیل اتلاف بوسیله ملاحظات ورود و خروج انرژی به فرایند تولید	• شناسایی درآمد انرژی و خروج برای هر شکل انرژی • تهیه فهرست و ارقام تراز گرما • شناسایی انرژی مصرفی بصورت کارآمد	• روش محاسبه • مدل ریاضی مقادیر فیزیکی • دانش کمی متغیرها در ارتباط با تجهیزات و عملیات و نظایر آن • تقاضا با گرایش فزاینده
۹	تحلیل الگو برای هر نوع ویژگی انرژی‌های مصرفی	تهیه الگو بوسیله تحلیل مصرف انرژی برای هر شکل انرژی	• تحلیل سیستم تولید شکل انرژی برای مصرف • مدلبه سازی مدیریت با تغییر انواع با شرایط • تحلیل الگو	• روش تجزیه و تحلیل
۱۰	استخراج موضوعات توسعه	استخراج تعداد زیادی از موضوعات با شناخت مصرف انرژی موجود و پیروی از یک سیستم مطلوب	• بررسی راههای کاهش اتلاف انرژی • بررسی استفاده مؤثر از انرژی در حال خروج • بررسی فهرست مورد ارزیابی	• انعطاف ثابت برای بحث ها
۱۱	محاسبه بررسی و ارزیابی تقریبی	ارزیابی موضوع با قابلیت ساز کامل، تبدیل کردن آن به ارقام عینی تا حد امکان برای بررسی آن از نظر فنی و اقتصادی	• استخراج موضوعات کارآمد • محاسبه تقریبی اثر صرفه جویی انرژی • انجام استانداردهای ارزیابی (فنی- اقتصادی) • درجه بندی موضوعات	• روش استخراج • موانع تحقق موضوع • عدم قطعیت ارزیابی

۹ ـ مفاهیم و اصول مدیریت انرژی

مدیریت انرژی به یک برنامه منظم برای چگونگی کنترل، استفاده منطقی از انرژی و همچنین کاهش اتلافات انرژی به حداقل ممکن، بدون اینکه به نیازهای اصلی یک فرایند اثر بگذارد، اطلاق می‌شود.

۹ ـ ۱ ـ اصول مدیریت انرژی

عوامل مهم در مدیریت انرژی بستگی به موارد ذیل دارد:

الف) خرید انرژی با مناسب‌ترین قیمت ممکن

ب) اداره امور انرژی با بازدهی بالا و سرمایه‌گذاری لازم در این راستا

پ) دسترسی به فناوری مناسب و بجا در هر صنعت

که در ذیل به طور مشروح به آنها می پردازیم:

الف) سعی در خرید حامل‌های انرژی مانند گاز، برق و آب با پایین‌ترین قیمت‌ها

ب) با خرید حامل‌های انرژی در پایین‌ترین قیمت، مشکل اداره امور انرژی حل نمی‌شود و باید سعی در استفاده منطقی و درست از حامل‌های انرژی شود وهمچنین باید از اتلاف آنها جلوگیری به عمل آید.

بعضی از این روش‌ها که می‌توان بوسیله آنها مدیریت انرژی کارا را اجرا نموده شامل موارد زیر هستند:

۱- تدوین و توسعه روش‌ها و استراتژی‌های انرژی

۲- دریافت نقطه‌نظرات مدیریت رده بالا و انتقال آنها به رده پایین

۳- تعیین یک مدیر انرژی

۴- ایجاد پشتوانه قانونی برای اجرای برنامه انرژی

۵- سعی در تربیت و آموزش پرسنل مدیریت انرژی

۶- تعیین مسئولیت برای استفاده‌کنندگان نهایی انرژی

۷- انجام ممیزی انرژی

۸- استفاده از روش ردیابی و هدف‌یابی[1]

۹- داشتن معیار و روش صحیح برای سرمایه‌گذاری در انرژی

۱۰- اطمینان از ملحوظ نمودن مسأله کارائی انرژی در طراحی و برنامه‌ریزی کلیه فرایندها، ساختمان‌ها و تجهیزات.

۱۱-اطمینان از اینکه موضوع کارائی انرژی در برنامه روش‌های تعمیرات و نگهداری لحاظ شده.

۱۲-آموزش در زمینه انرژی بوسیله افراد متخصص انرژی در راستای شناسایی راه‌کارهای مورد نیاز.

۱۳-ایجاد انگیزه و آگاهسازی در کلیه افراد سازمان.

۱۴-بکارگیری روش‌های تبلیغات از طریق روزنامه‌ها و آگهی‌های تبلیغاتی.

۱۵- حفظ اهمیت و تأکید مسأله کارائی انرژی در فرهنگ و راه و روش شرکت به طوری که همیشه سرلوحه فعالیت های شرکت باشد.

پ) دسترسی به فناوری مناسب و بجا در صنعت مربوط.

---

1 - M&T: Monitoring &Targeting

از نقطه نظر روش‌های عملی دسترسی به فناوری مناسب در سه سطح امکان‌پذیر است:

۱- بدون هزینه (با نگهداری خوب)

۲- کم هزینه (هزینه قابل برگشت در کوتاه مدت)

۳- با هزینه بالا

البته نقطه بحرانی در موفقیت این طرح، فقط راه حل نخستین یعنی دسترسی به مصرف بهینه بدون هزینه است که بدون مشارکت مردم امکان‌پذیر نیست.

از آنجائیکه تأکید روش‌های دیگر مثل کم‌هزینه و با هزینه بالا، بیشتر تأکید بر روی فناوری ها است و با توجه به نقش مهم مردم ، مسأله آموزش در سه سطح خیلی ضروری به نظر می‌رسد.

جدول زیر بیان‌کننده راه‌حل‌های صرفه‌جویی انرژی است.

روش‌ها	مثال‌ها	تأکیدها
بدون هزینه (بوسیله نگهداری مطلوب)	تنظیم مجدد سیستم‌های کنترل کننده خاموش نمودن سیستم‌ها در زمانیکه احتیاج نیست برطرف نمودن نشتی‌ها برنامه‌ریزی مجدد بارها[1] و موارد استفاده	تأکید روی رفتار و عادات افراد با استفاده از فناوری‌های موجود در کارخانه
کم‌هزینه	سیستم نگهداری و پیشگیری کنترل گیج‌ها (اندازه گیرها) و درجه تابلوها روش ردیابی و هدف‌یابی عایق‌کاری آموزش مصرف‌کنندگان نهایی	استفاده و ادغام تکنولوژی‌هایی که نیاز به سرمایه‌گذاری کم‌هزینه دارند و درگیر نمودن پرسنل
هزینه بالا	سیستم‌های بازیافت حرارتی تولید همزمان برق و بخار[2] امکان جایگزینی سوخت سیستم‌های مدیریت انرژی	سرمایه‌گذاری در تکنولوژی‌هایی که نیاز به سرمایه‌گذاری زیاد دارند و درگیر نمودن بعضی از پرسنل

1 - Load

2 - CHP: Combined Heat & Power

- بنابراین، روش بدون هزینه به طورمعمول بوسیله خود پرسنل با تأکید بر استفاده از تجهیزات موجود با راندمان بالا صورت می‌گیرد، که برای دستیابی به این هدف باید پرسنل دارای آگاهی، انگیزه و اختیار باشند.

- در روش کم‌هزینه، حرکت به سمت استفاده از فن آوری برای حل مشکلات است، ولی با این تفاوت که استفاده از نقطه‌نظرات خود پرسنل خیلی ضروری می‌باشد.

- در روش با هزینه بالا، تأکید بر استفاده از تکنولوژی جهت دستیابی به صرفه‌جویی انرژی است. برای دستیابی به اهدافی که نیاز به سرمایه‌گذاری بالا دارند باید قبل از هر تصمیم‌گیری، مسائل فنی و مالی به طور دقیق مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند. ولی در اینجا باز نباید نقش پرسنل را کم جلوه داد. برای مثال، زمانیکه از یک سیستم مدیریت انرژی خیلی پیچیده و مدرن استفاده می‌شود، باید یک نفر به عنوان عامل (اپراتور)آن گمارده شود.

در یک بررسی بوسیله مشاوران انرژی در کارخانه‌ای که از سیستم‌های پیشرفته استفاده می‌کرد، مشخص شد که بعضی از تجهیزات سیستم مدیریت انرژی مورد استفاده قرار نمی‌گیرد و علت آن بازنشستگی کاربر (اپراتور) آن دستگاه و یا تغییر در شغل وی بوده و همچنین شخص جایگزین نیز آموزش‌های لازم را ندیده است. بنابراین برای استفاده از فناوری‌های مناسب در هر مرحله باید ترکیبی از پرسنل مخصوص آن شغل و راه‌حل‌های درست بکارگرفته شود در نتیجه هر کجا که از نیروی انسانی استفاده می‌شود، باید مسأله آموزش هم مد نظر باشد.

۹-۲- اجزای یک برنامه مدیریت انرژی

یک برنامه مدیریت انرژی می‌تواند به روش‌های مختلف سازماندهی شود. مثلاً توسط یک فرد دلسوز، یا بوسیله رئیس یک شرکت که ناگهان متوجه بالا رفتن هزینه‌های سوخت می‌شود و یا به دلیل آنکه امکان دسترسی و تهیه سوخت کارخانجات به دلیل قوانین و مقررات موجود به سختی صورت می‌گیرد. انگیزه‌های حرکت به سوی مدیریت انرژی، عموماً به دلیل افزایش قیمت یا میزان ذخایر انرژی است، اما حتی شرکت‌هایی که با افزایش شدید قیمت انرژی مواجه نشده‌اند نیز به این حقیقت پی برده‌اند که استفاده از مدیریت انرژی به نوبه خود مفید و موجب از بین رفتن تلفات و کاهش هزینه‌ها می‌شود.

برای مثال ممیزی انرژی مشخص می‌کند، تجهیزاتی مشغول به کار هستند که در عمل نیازی به کار کردن آنها نیست و یا اینکه در فضایی که مورد استفاده قرار نمی‌گیرد، سیستم روشنایی ۲۴ ساعته دارد، یا اطاق‌هایی که توسط کسی اشغال نشده‌اند، از سیستم سرمایش و گرمایش در آنها استفاده می‌شود.

بدون توجه به انگیزه‌های لازم، تا زمانی که مدیریت رده بالای یک شرکت تعهدات لازم را نپذیرد، یک برنامه مدیریت انرژی موفق نخواهد شد. به همین دلیل جدول زیر، این مطلب را به عنوان نخستین قدم در مرحله ورود به فهرست انگیزه نشان داده است.

جدول ۱-۱۷- برنامه مدیریت انرژی

۱- مرحله اولیه

مدیریت	کمیتهٔ مدیریت انرژی	هماهنگ‌کننده مدیریت

۲- مرحله ممیزی و تجزیه و تحلیل

بررسی عملکرد گذشته	ممیزی انرژی	تجزیه و تحلیل و شبیه‌سازی
ارزیابی اقتصادی		

۳- مرحله تکمیلی

اهداف	کاربرد اصول مدیریت انرژی
سرمایه‌گذاری‌های بزرگ	پی‌گیری برنامه

برای جلب تعهد مدیریت انرژی لازم است که واقعیت‌ها، آمارها، هزینه‌های مربوط به مصرف انرژی جاری ارائه و به همراه آن تخمین‌هایی نیز در زمینه صرفه‌جویی‌های پیش‌بینی شده در آینده اعلام شود. زمانی که تعهد مدیریت گرفته شود، یک نفر به عنوان هماهنگ‌کننده مدیریت انرژی انتخاب خواهد شد. این شخص می‌تواند یک عضو از مهندسان یک شرکت بزرگ یا یک سرپرست تعمیرات یا یک تکنسین برق و یا یک سرکارگر باشد. در عملیات بزرگ، ممکن است یک کمیته مدیریت انرژی نیز به منظور هماهنگ نمودن فعالیت‌هایی که بر روی تسهیلات و فرایندهای متفاوت تأثیر می‌گذارد، تشکیل شود.

۹-۳- اصول عمومی مدیریت انرژی

اگر چه فناوری استفاده از انرژی توسط مصرف‌کننده نهایی دارای تنوع بسیار زیادی است، ولی به نظر می‌رسد که فرضیه‌های نخستین و اصول عمومی که در مورد بسیاری از کاربردها مصداق دارد، اغلب برای همه یکسان هستند. مشخصات اصول بنیادی برای مدیریت انرژی مفهوم جذابی است، به دلیل آنکه یک تقریب بنیادی به مسأله را امکان‌پذیر می‌سازد. این اصول به تنهایی کارایی مصرف را بهبود نمی‌بخشد، بلکه آنها می‌توانند پایه و اساسی برای یک تقریب نسبی به منظور پیشرفت بیشتر پاسخ‌های فنی ویژه باشند.

جدول زیر خلاصه‌ای از اصول عمومی را نشان می دهد که در محدوده‌ای وسیع از موقعیت‌های مختلف تجربه شده‌اند. این جدول همچنین به طور تقریبی ارزیابی با کیفیت بالا از هزینه نسبی، زمان اجراء، پیچیدگی‌ها و مزایای مربوط را فراهم می‌آورد.

جدول ۱-۱۸ - اصول عمومی مدیریت انرژی

۱- بررسی کارنامه مصرف انرژی (بررسی اطلاعات گذشته)	کم	یکسال	کم	۵-۱۰ درصد
۲- مسیریابی انرژی (بررسی روش‌های جاری)	کم	یکسال	کم	۵-۱۰ درصد
۳- تعمیرات و نگهداری	کم	یکسال	کم	۵-۱۰ درصد
۴- تحلیل مصرف انرژی (تحلیل مهندسی، شبیه‌سازی رایانه، مطالعات دستی و ...)	کم تا متوسط	۱ الی ۲ سال	متوسط تا زیاد	۱۰-۲۰ درصد
۵- تجهیزات با کارایی بیشتر	متوسط تا زیاد	سالها	متوسط تا زیاد	۱۰-۳۰ درصد
۶- فرایندهای با کارایی بیشتر	متوسط تا زیاد	سالها	متوسط تا زیاد	۱۰-۳۰ درصد
۷- بازیابی انرژی (بازیافت گرما و کاهش تلفات)	کم تا متوسط	سالها	متوسط تا زیاد	۱۰-۵۰ درصد
۸- مواد جایگزین	کم تا متوسط	یکسال	کم	۱۰-۲۰ درصد
۹- صرفه‌جویی در مواد (بازیافت مواد دور ریخته‌شده، بازیافت کالا و تولید مجدد آنها)	کم	یکسال	کم	۵-۱۵ درصد
۱۰- انتخاب کالای مواد (تغییر و مشخصات آنها)	کم	یکسال	کم	۵-۱۰ درصد
۱۱-تجمیع مصارف انرژی	متوسط تا زیاد	سال ها	متوسط تا زیاد	۲۰-۵۰ درصد
۱۲-توالی مصارف انرژی	متوسط تا زیاد	سالها	متوسط تا زیاد	۵-۱۰ ۲۰ درصد
۱۳-منابع انرژی جایگزین (تبدیل از انرژی با جایگزینی سوخت)	متوسط تا زیاد	سالها	متوسط تا زیاد	۱۰-۳۰ درصد
۱۴- تبدیل انرژی	متوسط تا زیاد	سالها	متوسط تا زیاد	۱۰-۳۰ درصد
۱۵-ذخیره انرژی	متوسط تا زیاد	سالها	متوسط تا زیاد	۱۰-۳۰ درصد
۱۶- ارزیابی اقتصادی (مزیت سود نرخ بازگشت، هزینه دوره عمر طرح)	کم	یکسال	کم	۵-۱۵ درصد

یک بحث خلاصه می‌تواند به روشن شدن این مطلب که چگونه این اصول در مورد مصرف‌کننده انرژی اجرا می‌شوند، کمک نماید. برای مثال در یک واحد تولیدی صنعتی، تعمیم این موضوع به تأسیسات صنعتی بزرگ، ساختمان‌های تجاری یا حتی مناطق مسکونی باید کاملاً روشن باشد.

نخستین اصل، بررسی مصرف انرژی در گذشته است. اغلب این سؤال که " چرا بایستی اینکار را انجام هیم؟" و این جواب که " این روشی است که همیشه انجام داده‌ایم" پیش می‌آید و سریع نخستین اصل صرفه‌جویی را مطرح می‌نماید و برخی مواقع تغییرات فصلی یا ادامه ندادن برنامه‌های تعیین شده مشهود است. اما تشخیص

داده نشده‌اند. بررسی مراحل مختلف، مطالب را روشن و راه‌هایی را برای ترکیب نمودن عملیات پیشنهاد می‌نماید و یا صرفه‌جویی را متأثر می‌سازد. اما اطلاعات گذشته هرگز کافی نیستند، زیرا این اطلاعات موضوع کلی را به تصویر می‌کشند، ولی جزئیات آن را نشان نمی‌دهند.

ممیزی انرژی، ابزاری برای تحقیق در زمینه چگونگی مصرف انرژی در فرایندها و ماشین‌آلات است و نگرشی درونی به عملیات غیرمؤثر را فراهم می‌آورد.

بهبود بخشیدن به وضعیت تعمیر و نگهداری در یک واحد صنعتی به طورمعمول منجر به صرفه‌جویی انرژی و وسایل و تجهیزات روغنکاری شده باعث کاهش تلفات ناشی از اصطکاک انرژی می‌شود، نظافت سیستم‌های روشنایی باعث انتقال نور بیشتر می‌شود و تعویض صافی‌ها افت فشار را کاهش می‌دهد.

تجزیه و تحلیل دست در دست ممیزی انرژی حرکت می‌کند تا میزان کارایی تجهیزات و وسایل ناشی از تغییر یک متغیر (کاهش جریان به میزان ۵۰٪) یا شبیه‌سازی عملیات (ارائه مدل‌های کامپیوتری از ساختمان و یا فرایند مصرف انرژی) را تعیین کند.

تجهیزات کاراتر، اغلب می‌توانند با وسایل مورد نیاز همان عملیات، جایگزین شوند، برای مثال به منظور روشنایی محوطه از لامپ‌های سدیم یا متال هلاید به جای لامپ‌های جیوه‌ای استفاده می شود. بسیاری از انواع وسایل و تجهیزات صنعتی و خانگی / تجاری بر اساس نوع کارایی‌شان برچسب زده و طبقه‌بندی شده اند. تفاوت‌های زیادی بین تولیدکنندگان وجود دارد که بستگی به اندازه، کیفیت، ظرفیت و هزینه اولیه دارد.

فرایندهایی با کارایی بیشتر، اغلب می‌توانند بدون آنکه اثر زیان‌آوری بر روی کیفیت کالا داشته باشند، جایگزین شوند. مثال شاخصی از این نوع، کارخانه نورد فولاد است که از یک فرایند پیوسته برای تولید محصولات فولادی استفاده می‌نماید تا از تلفات انرژی در سرمایش و باز گرمایش موجود در تولید ناپیوسته و گروهی پرهیز شود. مثال دیگر برای کاهش انرژی فرایند، استفاده از فلزکاری پودری به جای روش ماشینی آن است. یکی دیگر از این مثال‌ها فرایند خشک تولید کاغذ است که مقدار انرژی مصرفی برای تخلیه آب موجود در محصول نهایی را کاهش می‌دهد. در مقایسه اجاق‌های پخت ماورای بنفش، استفاده از اجاق‌های هوای ساکن می‌تواند باعث کاهش انرژی در خشک کردن رنگ‌های با پایه حلال شود.

محتوای بهینه‌سازی مصرف انرژی در جستجوی راهی برای نگهداری انرژی، کاهش میزان تلفات و بازیافت گرما است. مثال‌هایی در این زمینه شامل تعمیر وسایل برای جلوگیری از نشت بخار، عایق‌بندی بهتر دیگ‌های بخار و لوله‌ها، نصب سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی نیز در نهایت به کاهش تلفات انرژی منتهی می‌شود.

جایگزینی مواد نیز در برخی از مواقع می‌تواند مفید واقع شود. برای مثال در مواردی که درجه حرارت پایین باشد، می‌توان آلیاژهایی را که دارای نقطه ذوب پایین هستند، جایگزین موادی که نیاز به درجه حرارت بالا دارند، نمود. همچنین مواد اولیه‌ای که برای ماشینکاری آسان‌تر باشند و یا نیاز به انرژی کمتری برای تولید داشته باشند، را می‌توان جایگزین نمود.

۹-۴- برنامه‌ریزی برای مدیریت انرژی

در قسمت قبل، اجزای مدیریت انرژی مورد بحث قرارگرفت و نتیجه‌گیری شد که برخی از اصول عمومی مشخص در مدیریت انرژی باید شناسایی شوند.

این قسمت به بررسی برنامه‌ریزی لازم برای ایجاد یک برنامه مدیریت انرژی مؤثر و نیز بحث در مورد تجزیه برخی از مشکلات و همچنین راه‌های فایق آمدن بر آنها می‌پردازد. این بخش بطورمفصل به بحث در مورد الگوهای مصرف انرژی در گذشته می‌پردازد و سپس نتایجی را که در عمل می‌توان از چنین تجزیه و تحلیل‌هایی به دست آورد، معین می‌نماید.

طرح برنامه‌ریزی

انگیزه شروع یک برنامه باید از جایی سرچشمه بگیرد. در یک مورد ممکن است مدیر اجرایی شرکت باشدکه بر اساس اطلاعات بخش عرضه انرژی شرکت، مواجه شدن با مشکلات را پیش‌بینی می‌نماید. در مورد دیگر ممکن است افزایش هزینه‌های انرژی، انگیزه ای مالی برای شروع یک برنامه باشد. در گروهی از بیمارستان‌های کالیفرنیا، مجتمع بیمارستانی به طور صحیح تشخیص داد که یک برنامه مدیریت انرژی می‌تواند هزینه‌های عملیاتی آنان را کاهش دهد. آنچه که از شواهد برمی‌آید، تلاش بیمارستان‌ها برای کنترل هزینه‌ها است، با وجود آنکه هزینه‌های انرژی کسر کوچکی از کل هزینه‌های عملیاتی آنها را تشکیل می‌دادند. همچنین امکان دیگری برای یک برنامه وجود دارد و آن بخش تولید با نگهداری است که می‌تواند کارکنان را از فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی آگاه سازد.

بگذارید تصور کنیم که زمان برای آغاز یک برنامه، بدون توجه به ایجاد انگیزه آن توسط مدیریت رده بالا و یا پایین‌ترین رده عملیاتی شرکت چه موقع است و از کجا باید شروع کرد؟

مرحله آغاز

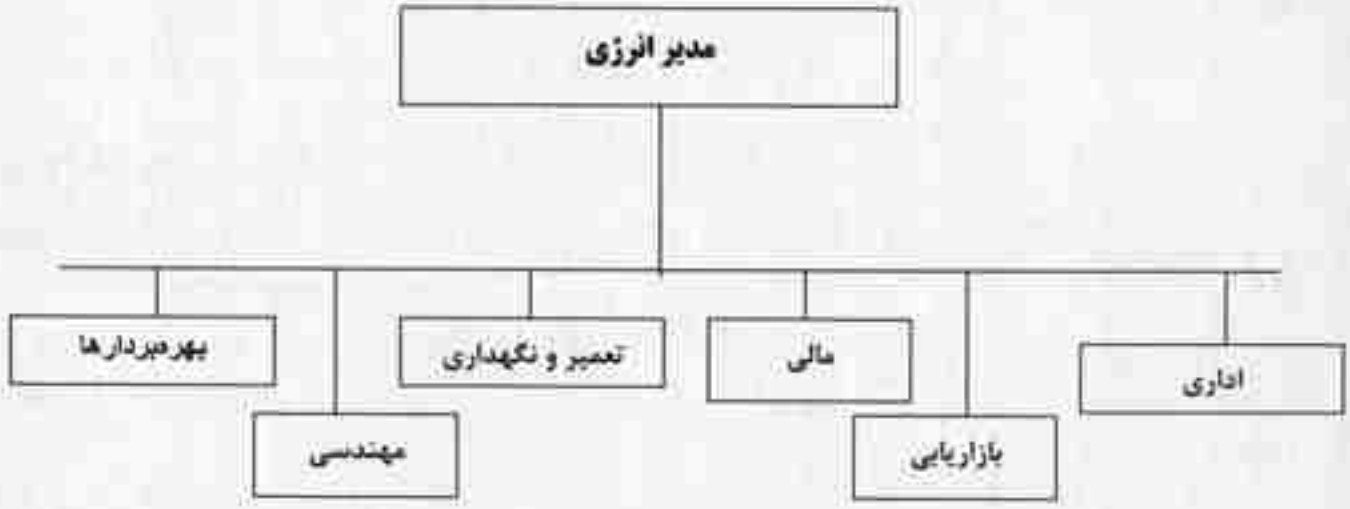
به محض آنکه تصمیم به آغاز یک برنامه گرفته شد، مدیر انرژی باید گام‌هایی مشخص برای اطمینان از پذیرش و موفقیت این برنامه، بردارد. نخستین قدم آن است که باید با توجه به اندازه و پیچیدگی شرکت، کمیته‌ای متشکل از نمایندگان هر یک از بخش‌های مختلف مؤسسه یا بخش مصرف‌کننده انرژی تشکیل داد. نماینده‌ای از بخش حسابداری می‌تواند اقدام مؤثر دیگری باشد و در قدم بعدی، مدیر انرژی باید نیاز به برنامه را برای مدیران بخش‌ها و سرپرستها از جوانب اقتصادی و عرضه انرژی توضیح دهد. کمیته باید گام‌هایی به ترتیب، درزمینه آگاهسازی کارکنان از نیاز به انرژی، تأکید به تلاش در کاهش میزان تلفات به جای " خاموش کردن چراغ‌ها" بردارد.

برای مثال شکل (۱-۱۷) نمودار سازمانی مدیریت انرژی برای محیطی صنعتی با ۶ بخش اصلی را نشان می‌دهد. یک کمیته مدیریت انرژی، متشکل از یک هماهنگ‌کننده بعنوان مدیر انرژی(که توسط رئیس انتخاب

شده است) و نماینده‌ای از هر ۶ (بخشهای تولیدی، مهندسی، تعمیرات و نگهداری ، بهربردار، بازاریابی و مالی و اداری کارخانه است.

هدف از تشکیل چنین کمیته‌ای به قرار ذیل است:

هماهنگی برنامه‌ها، ارائه عقاید و دیدگاه‌های جدید و حصول اطمینان از آنکه اقدام در بخشی از کارخانه، اثری نامطلوب بر بخش‌های دیگر نداشته باشد.



شکل ۱-۱۷- کمیته صرفه‌جویی انرژی در کارخانه

روشی مشابه حتی می‌تواند برای یک شهر نیز اجرا شود. برای مثال در پی تحریم نفتی سال ۱۹۷۳ م.شهر لس‌آنجلس به دلیل کمبود شدید سوخت، مجبور به اجرای برنامه کاهش مصرف برق در بخش های مسکونی، تجاری و صنعتی شد. در ادامه مبارزه، شهر با مسائل ناشی از این تغییرات، شهردار کمیته‌ای به نام کمیته حفظ منابع انرژی وابسته به ادارات داخلی تشکیل داد. این کمیته به صورت دوره‌ای تشکیل جلسه می‌داد و به بررسی و پیشنهاد قوانین و مقررات جدید، بنیادی نمودن یک سیستم گزارش بخش‌های مختلف شهر، آغاز کردن ممیزی‌های انرژی در ساختمان‌های عمومی و ایجاد ارتباط با گروهی دیگر از مفاهیم مدیریت انرژی، می‌پرداخت.

۱۰- تعریف ممیزی انرژی

ممیزی انرژی مجموعه اقداماتی است که برای شناسایی، چگونگی مقادیر و موقعیت‌های مصرف انرژی در یک فعالیت یا فرایند، انجام و طی آن فرصت‌ها و امکانات صرفه‌جویی انرژی مشخص می شود و مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

هدف:

- هدف ممیزی انرژی تعیین راه‌حل‌هایی برای کاهش مصرف انرژی بر واحد تولید محصول (خروجی) و همچنین کاهش هزینه‌های بهره‌برداری است.

موانع موجود در انجام ممیزی انرژی

- عدم اطلاع کافی در مورد ممیزی انرژی و فواید آن
- نقش کم‌اهمیت انرژی در هزینه‌ها
- محدودیت منابع انسانی، فنی و مالی
- فقدان دستگاه‌های اندازه‌گیری در کارخانه
- فقدان دسترسی به آمار مصرف انرژی و مواد در کارخانه ها

انواع (سطوح) ممیزی انرژی[1]

- بررسی و سنجش مصرف انرژی[2] (برآورد تقریبی از مصرف، پتانسیل‌ها و امکانات صرفه‌جویی از طریق بازبینی و مشاهده ظاهری[3])
- ممیزی انرژی مقدماتی[4] (اولیه) (برآورد اولیه از مصرف انرژی)یا ممیزی کوتاه مدت انرژی[5]
- ممیزی جامع انرژی[6] (مفصل) برآورد جامع از مصرف انرژی با جزئیات کامل

نوع اول: بررسی و سنجش مصرف انرژی[7]

هدف:

بررسی موقعیت‌های اصلی مصرف انرژی و شناسایی امکانات صرفه‌جویی هدف این نوع ممیزی است.

مشخصات:

- گروه مهندسی از سه متخصص تشکیل شده است.
- ممیزی به طور معمول در طول یک روز انجام می‌شود
- در هر ۶ یا ۱۲ ماه تکرار و انجام می‌شود
- به بازدید قبلی نیازی نیست

گزارش کار می‌باید یک هفته پس از انجام ممیزی ارائه شود.

گزارش نهایی شامل موارد زیر است:

- خلاصه‌ای از چگونگی توزیع مصرف انرژی و همچنین وضعیت هزینه‌ها
- بیان مشاهدات در باره برنامه‌های موجود مدیریت انرژی

1- Energy Audit Levels
2- Energy Survey
3- Walk-Through Audit
4- Preliminary Energy Audit
5- Short Audit
6- Detailed Energy Audit
7- walk- Through Audit

- تهیه فهرستی از پتانسیل‌های صرفه‌جویی انرژی

نوع دوم : ممیزی انرژی مقدماتی یا ممیزی کوتاه مدت انرژی[1]

هدف:

- بیان کمی صرفه‌جویی‌ها در مصرف و هزینه‌های انرژی
- مروری بر حدود ۸۵ درصد از عرضه انرژی

مشخصات:

- گروه ممیزی شامل ۴ متخصص است.
- بطور عادی ۳ تا ۵ روز طول می‌کشد و به طور معمول هر سال یکبار انجام می‌گیرد.
- بازدید، بررسی و سنجش مصرف انرژی از قبل باید انجام شده باشد.
- گزارش می‌باید تا یک ماه پس از انجام ممیزی ارائه شود.

گزارش نهائی شامل موارد زیر خواهد بود:

- اطلاعات اساسی گزارش شده در بررسی و بازدید از مصارف انرژی
- بیان کمی صرفه‌جویی‌هایی که در عمل امکان‌پذیر هستند
- بیان عددی نتایج ممیزی در هر یک از زمینه‌های مصرف انرژی
- ارائه توصیه‌های خاص
- ارائه توصیه‌های خاص

نوع سوم : ممیزی جامع انرژی (مفصل)

هدف:

ارائه گزارش مهندسی در مورد فرایند یا سیستم‌هایی که دارای زمینه‌های (پتانسیل‌های) بالای صرفه‌جویی انرژی هستند.

مشخصات:

- گروه ممیزی در این حالت شامل ۵ متخصص است.
- طول دوره ممیزی ۴ تا ۱۶ هفته است و به طورمعمول هر دو یا سه سال انجام می‌شود.
- به اجرای مراحل (انواع) قبلی ممیزی انرژی نیاز است.

1- Short Audit

- گزارش ممیزی سه ماه پس از انجام کار ارائه خواهد شد.

گزارش نهایی شامل موارد زیر است:

- ارائه توصیه‌های فنی و مهندسی ، برآورد هزینه‌ها و صرفه‌جویی‌ها
- بیان جزئیات و آنالیز اقتصادی زمینه‌های صرفه‌جویی انرژی
- طرح‌ریزی برای اجرای پروژه‌های تعریف شده در زمینه‌های صرفه‌جویی در مصرف انرژی

مشکلات موجود در اجرای توصیه‌های حاصل از انجام ممیزی انرژی

- محدودیت‌های مالی و اقتصادی
- نبود آگاهی از حدود و دامنه ممیزی‌ها (از سوی تیم ممیزی)
- نبود آگاهی از آنچه که از ممیزی انرژی مورد انتظار است (از سوی مشتری)
- تأخیر در ارائه گزارش ها که سبب می‌شود تا توصیه‌ها نامربوط تلقی شوند.
- سهل‌انگاری در ممیزی سبب فقدان جدیت در تلاش و کوشش‌ها می شود.

روال ممیزی انرژی

- تعریف مرزهای ناحیه و محدوده‌ای که تحت ممیزی انرژی قرار گرفته می‌شود و همچنین بیان جزئیات تمامی محاسبات انجام شده.
- طرح‌ریزی و اجرای اقدامات لازم ممیزی انرژی
- جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات با استفاده از اسناد ثبت شده و قابل دسترس
- مذاکره و گفتگو با افراد و اندازه‌گیری‌های عملی لازم
- توجه به ایجاد در روابط اجتماعی و انسانی مناسب
- آماده‌سازی جداول و فهرستهای بررسی لازم
- بدست آوردن اطلاعات بیشتر از افراد مطلع

اشخاص و بخش‌هایی که طی ممیزی انرژی مقدماتی و جامع می‌باید مورد مذاکره و ملاقات قرار گیرند:

- بخش حسابداری
- بخش خرید
- بخش فنی
- بخش حمل و نقل گروه مدیریت انرژی
- گروه تحقیق و توسعه[1]
- بخش پرسنلی
- مدیر عامل یا مدیریت رده بالا

1 - R & D: Research & Development

۱۱- ماتریس مدیریت انرژی و جایگاه آن در برنامه‌ریزی

برنامه‌ریزی، مهم ترین عنصر کلیدی در مدیریت انرژی است. برنامه‌ریزی مرحله‌ای مهم تر از تصمیم‌گیری است که ایده صرفه‌جویی در انرژی را با توجه به محدودیت‌های سازمان تبدیل به فعالیت‌های سازمان به صورت مجموعه‌ای منسجم و مرتب می نماید.

یکی از راه‌های تعیین وضعیت موجود هر سازمان از نظر انرژی، معین کردن جایگاه سازمان در ماتریس مدیریت انرژی است. سطرهای این ماتریس (از سطح ۰ تا ۴) نشاندهنده پیچیدگی و تکامل سازمان در قبال مدیریت مؤثر انرژی و ستون‌بندی آن در ارتباط با موضوعات کلیدی مدیریت (سیاست انرژی، سازماندهی انرژی، انگیزه صرفه‌جویی در میان کارکنان، سیستم‌های اطلاعاتی انرژی، بازاریابی و سرمایه‌گذاری در امر انرژی) است. نمودار زیر ماتریس مدیریت انرژی را نشان می‌دهد. استفاده از ماتریس مدیریت انرژی به دو دلیل زیر توصیه شده است.

۱- کمک به شناخت وضع موجود مدیریت انرژی و سیاست‌های جاری مدیریت انرژی در سازمان.

۲- کمک به سازماندهی و بهبود مدیریت انرژی در سازمان.

ماتریس مدیریت انرژی روشی ساده و سریع برای تعیین وضع موجود سازمان از نظر مصرف انرژی است. برای استفاده از این ماتریس، لازم است موضوعاتی را معین کنید که در سازمان مورد نظر نسبت به سایر مسائل، بحرانی‌تر است. بطور خلاصه باید:

وضعیت و جایگاه سازمان خود را در ماتریس مدیریت انرژی مشخص نمائید.

روی ستون‌هایی که می‌توانید بیشترین پیشرفت را داشته باشید، تکیه کنید.

موانع پیشرفت را معین و راه‌های غلبه بر آن مشکلات را تعیین کنید.

فرصت‌های بهینه‌سازی را معلوم کنید و تصمیم بگیرید که چگونه می‌توان از آن فرصت‌ها بهره‌برداری کرد.

برای بهبود فعالیت‌ها، همه کارکنان از مدیران عالی تا کارگران ساده را درگیر کنید.

با استفاده از ماتریس مدیریت انرژی، سازمان‌ها از نظر مدیریت انرژی در چهار سطح به شرح زیر قرار می‌گیرند:

سطح صفر:

در این سازمان‌ها، واحدی تحت عنوان مدیریت انرژی وجود ندارد و سیاست رسمی در قبال مصرف انرژی در سازمان موجود نیست.

هیچ فرد یا واحدی مسئولیتی در قبال "مدیریت" انرژی ندارد و هیچ نظارتی بر مصرف انرژی وجود ندارد. برنامه‌ای برای ایجاد و توسعه آگاهی در استفاده از انرژی و بهینه‌سازی مصرف انرژی در داخل این قبیل سازمان‌ها وجود ندارد.

نقطه قوت: ندارد

نقطه ضعف : فرصت گرانبهایی برای سازمان در سود بردن از کاهش مصرف انرژی و رفع آثار سوء محیط زیستی ناشی از اتلاف انرژی از دست می‌رود.

سطح اول

با وجود این که در این سازمان‌ها، سیاست روشنی در قبال انرژی وجود ندارد، سازمان، یک متخصص انرژی را استخدام کرده است. این شخص، اطلاعات اولیه‌ای بر اساس قبض‌های مصرف انرژی تهیه می‌کند و گزارش لازم را در واحدی که کار می‌کند، ارائه می‌نماید.

متخصص انرژی، از طریق تماس‌های غیررسمی با کسانی که به طور مستقیم مسئول مصرف انرژی هستند، موضوعات مربوط به انرژی را در میان می‌گذارد.

نقطه قوت: متخصص انرژی، اهمیت انرژی را در سازمان تشخیص می‌دهد.

نقطه ضعف : مدیریت انرژی از طریق غیررسمی با استفاده‌کنندگان انرژی در سازمان در تماس است. در این نوع سازمان‌ها اساساً به سرمایه‌گذاری در بهینه‌سازی مصرف انرژی، اولویتی داده نمی‌شود یا این موضوع در سازمان از اولویت بسیار کمی برخوردار است.

سطح دوم

در این سازمان‌ها مدیران ارشد به اهمیت انرژی واقف شده اند اما در عمل ،تعهد لازم و کافی را به بهینه‌سازی مصرف انرژی ندارند یا از فعالیت‌های واحد مدیریت انرژی حمایت لازم نمی‌کنند. کارکنان انرژی زیر نظر بخش فنی هستند و گزارشاتی به کمیته‌ای که متشکل از افراد دیگر سازمان است، ارائه می‌کنند. به همین دلیل اثربخشی مدیریت انرژی در عمل بسیار محدود است.

نقطه قوت : وجود کارکنان انرژی ، سازمانی رسمی برای شروع فعالیت‌های مربوط به مدیریت انرژی محسوب می‌شوند.

نقطه ضعف : مدیریت انرژی هنوز از طرف مدیریت بالای سازمان حمایت کافی نمی‌شود و به جای برخورداری از یک برنامه منسجم انرژی به طور معمول با هر طرح بهینه‌سازی مصرف انرژی به طور مجزا به طور منظم و نظام‌یافته برخورد می‌شود.

سطح سوم

در این سازمان‌ها، مدیران ارشد به مقوله مدیریت انرژی اهمیت بیشتری می‌دهند. مدیریت انرژی در ساختار رسمی سازمان، جایگاه ویژه‌ای پیدا کرده است. سیستم اطلاعاتی جامع و منسجم گزارش دهی وجود

دارد. همچنین برنامه عملیاتی مصوبی از طرف سازمان برای پیشبرد مدیریت انرژی و سرمایه‌گذاری در افزایش کارایی انرژی وجود دارد.

نقطه قوت: انرژی دیگر در سازمان موضوعی حاشیه‌ای نبوده، بلکه جزئی از مأموریت اصلی سازمان محسوب می‌شود.

نقطه ضعف: مدیریت انرژی هنوز به صورت کاملاً جامع و به هم پیوسته در سازمان تجلی پیدا نکرده است. مدیران، بهینه‌سازی مصرف را اغلب یک کار فنی دانسته تاین که آن را به عنوان بخشی از مسئولیت خود در نظر گیرند.

سطح چهارم

در این قبیل سازمان‌ها، مسئولیت روشنی در قبال مصرف انرژی برای کلیه مدیریت‌ها وجود دارد. مدیر انرژی به طور منظم از طریق مجاری ارتباطی رسمی و غیررسمی سازمان بر رفتار مصرف‌کنندگان انرژی در سازمان تأثیر می گذارد و کارایی مصرف انرژی را در کل سازمان بهبود می‌بخشد. در مدیریت حسابداری سازمان، سیستم اطلاعاتی جامعی از هزینه‌های مصرف انرژی و منافع حاصل از صرفه‌جویی انرژی وجود دارد. مدیریت انرژی ، با توجه به برنامه‌های مصوب صرفه‌جویی انرژی، نظارت بر برنامه و مقایسه اهداف با عملکرد واقعی مصرف انرژی را انجام می دهد و از چگونگی پیشرفت برنامه انرژی گزارش های لازم تهیه و تدوین می‌کند. هیأت مدیره سازمان خود را در قبال صرفه‌جویی انرژی و نتایج برنامه‌های بهینه‌سازی متعهد و مسئول می‌داند.

نقطه قوت: مدیریت انرژی به صورتی جامع در سیستم‌های مدیریتی سازمان جا افتاده است.

نقطه ضعف: خطر امکان افزایش نامه نگاری در فعالیت‌های مدیریت انرژی وجود دارد.

الف - ۱- استفاده از ماتریس مدیریت انرژی برای ایجاد تغییرات در سازمان

برای استفاده از ماتریس مدیریت انرژی در بهبود کارآیی و بهینه‌سازی مصرف ، ابتدا تصویری از وضعیت سازمان را باید به دست آورد یعنی با توجه به ستون‌ها و سطرها مشخص کرد که از نظر مدیریت انرژی، ابعاد گوناگون وضعیت فعلی سازمان چیست. نقاط "قله(اوج)" در منحنی نشان‌دهندهٔ پیشرفت سازمان در آن زمینه‌ها و نقاط " حداقل" نشان‌دهنده نقاط ضعف در سازمان است. نمودار ۱- ۱۸- منحنی فرضی وضعیت مدیریت انرژی را در یک سازمان فرضی نشان می‌دهد.

وضعیت انرژی در یک سازمان فرضی

این نمودار نشان می‌دهد در این سازمان فرضی اگر چه انگیزه صرفه‌جویی انرژی میان کارکنان بالا است، اما سیاستی روشن در قبال صرفه‌جویی انرژی و سازماندهی در این خصوص وجود ندارد.

بر اساس وضعیتی که از مدیریت انرژی در سازمان بدست آمده (مورد توافق همه مدیران است) برای بهبود مصرف انرژی باید قدم های زیر را برداشته شود:

- بیشترین اولویت را مشخص کنید.
- میزان و کیفیت حمایتی را که مدیران عالی سازمان از برنامه بهینه‌سازی انرژی می‌کنند ارزیابی کنید.
- بر اساس نقاط قوت و ضعف موجود و محدودیت‌های سازمان،هدف‌های برنامه انرژی را معین سازید.

ماتریس مدیریت انرژی

سرمایه‌گذاری	بازاریابی	سیستم‌های اطلاعات	انگیزه	سازماندهی	سیاست انرژی	سطح
تمایل به نتایج برنامه‌های "سبز" (حفظ زیست) با ارزیابی دقیق از سرمایه‌گذاری در ایجاد ساختمان‌های جدید و نوسازی	بازاریابی در باره ارزش کارایی انرژی و عملکرد مدیریت انرژی چه در داخل سازمان و چه در خارج از سازمان	سیستم جامعی اهداف را معین کرده و مصرف انرژی را کنترل کرده نواقص را معلوم می‌سازد. مقادیر صرفه‌جویی را به دست آورده و نحوه تخصیص بودجه را بررسی می‌کند	از طریق مجاری رسمی و غیررسمی ارتباطی به طورمنظم بوسیله مدیر انرژی و کارکنان انرژی در همه سطوح سازمانی استفاده می‌شود	مدیریت انرژی به طور کامل محسن با ساختار مدیریت است . تعویض مسئولیت‌ها به طور کامل روشن است	سیاست انرژی برنامه عملیاتی تجدید نظر منظم از طرف مدیران بالا به عنوان استراتژی شرکت وجود دارد	۵
استفاده از دوره برگشت سرمایه برای همه سرمایه‌گذاری‌ها	برنامه اجاره کردن کارکنان و برقراری نشست‌های عمومی به طور منظم	گزارش های فنی برای افراد بر اساس اندازه‌گیری ارائه می‌شود اما میزان صرفه‌جویی به طور مؤثر به استفاده‌کنندگان گزارش نمی‌شود	کمیته انرژی به عنوان کانال اصلی بوده همچنین در تماس مستقیم با مصرف‌کنندگان عمده می‌باشد	مدیر انرژی در برابر کمیته انرژی که مرکب از همه مدیران قسمت‌های استفاده‌کننده به سرپرستی یکی از اعضاء هیأت مدیره می‌باشد مسئول است	سیاستی در باره انرژی به طور رسمی وجود دارد اما از طرف مدیران بالا هیچ تعهدی به طور فعال وجود ندارد	۴
سرمایه‌گذاری فقط با استفاده از معیار دوره برگشت در کوتاهمدت	برخی از افراد که برای این کار تعیین شده‌اند آموزش لازم را می‌بینند	گزارش های نظارتی بر اساس اطلاعات عرضه ارائه می‌شود. واحد انرژی مشارکت موقت در تعیین بودجه دارد	از طریق کمیته‌ای که متشکل از مدیران ارشد واحدهاست با مصرف‌کنندگان عمده تماس برقرار می‌شود	پست سازمانی مدیریت انرژی وجود دارد که به کمیته موقت انرژی گزارش می‌دهد اما مدیران منصب و اختیارات آنها روشن نیست	سیاست‌ها و برنامه‌های انرژی بوسیله مدیر انرژی با مدیران ارشد تعیین نشده است	۳
فقط هزینه‌های پایین به حساب می‌آید	تماس‌های غیررسمی برای پیشبرد کارایی انرژی به کار می‌رود	هزینه گزارش‌دهی بر اساس داده‌های فاکتورها است. مهندس گزارش ها را برای استفاده داخلی در درون مجموعه فنی جمع‌آوری و منظم می‌کند	تماس‌های غیررسمی فرمانبر مهندس انرژی و تعدادی از مصرف‌کنندگان وجود دارد	مدیریت انرژی به صورت پارموقت یاختیار محدود وجود دارد	مجموعه‌ای از خط مشی انرژی مکتوب وجود دارد	۲
هیچگونه سرمایه‌گذاری در افزایش کارایی انرژی انجام نمی‌شود	در کارایی انرژی هیچگونه پیشرفتی وجود ندارد	هیچگونه سیستم اطلاعاتی وجود ندارد. در باره مصرف انرژی هیچ اطلاعاتی وجود ندارد	هیچگونه تماسی با استفاده‌کنندگان انرژی وجود ندارد.	در سازمان مدیریت انرژی و یا هر فرد دیگری به عنوان مسئول صرفه‌جویی انرژی وجود ندارد .	هیچگونه سیاست روشن و سرمایی وجود ندارد	۰

۱۲- شرح وظایف مدیر انرژی در یک کارخانه یا موسسه

وظایف و مسئولیت‌های مدیر انرژی ممکن است به شرح ذیل باشد:

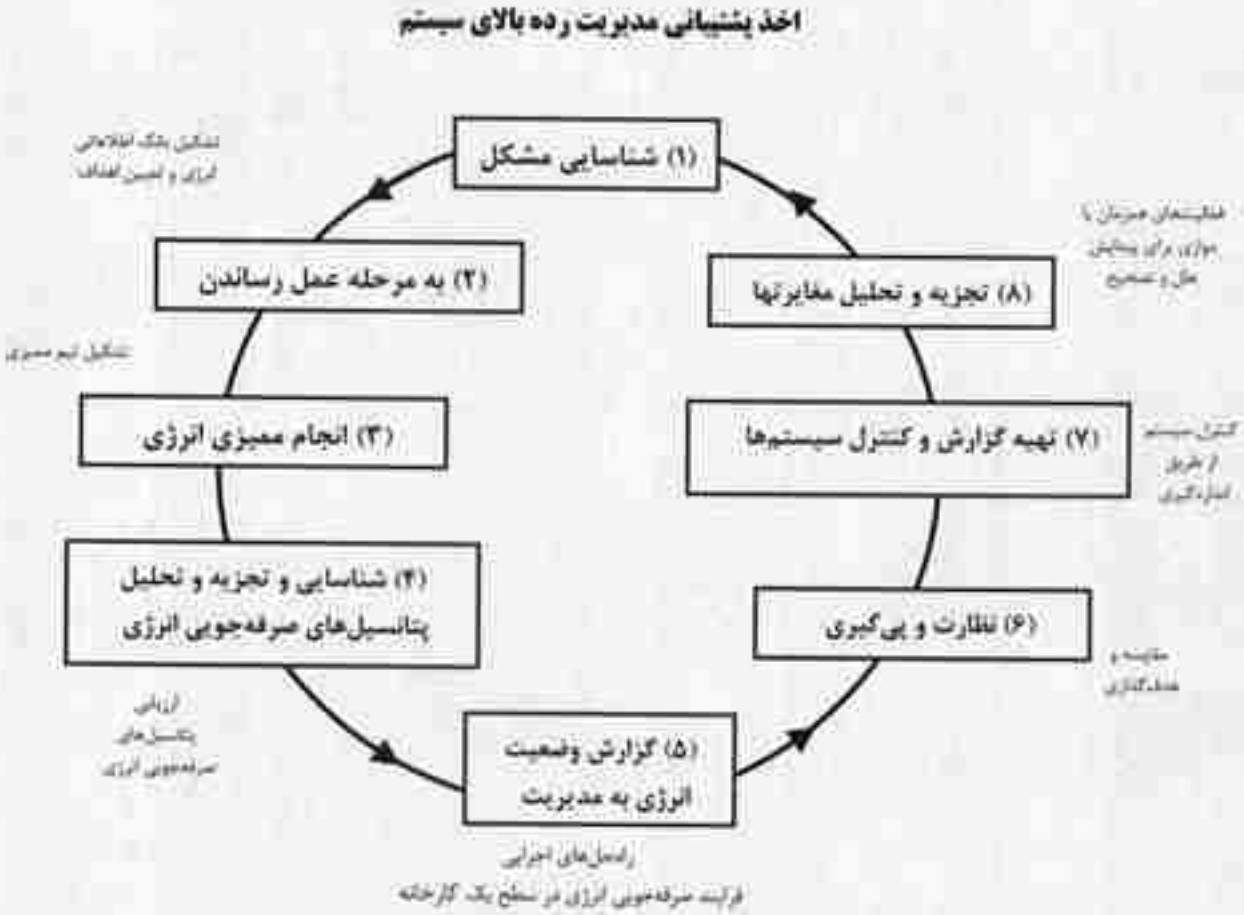
۱- نظارت بر برنامه‌ریزی و اجرای خط‌مشی انرژی.
۲- معرفی و نگهداری طرق مختلف تأمین اطلاعات مدیریت در باره صرفه‌جویی در انرژی و آلودگی محیط.
۳- توزیع اطلاعات جمع‌آوری شده بین تمام کارکنان.
۴- تهیه و تنظیم خط مشی‌ها و اقدامات مربوط به حفظ محیط زیست از لحاظ صرفه‌جویی در انرژی با جایگزینی سوخت‌هایی که آلودگی کمتری دارند.
۵- بالا بردن دانش و آگاهی کل سازمان در مورد انرژی.
۶- معرفی و پیگیری در مورد روش‌های نگهداری بهتر وضعیت انرژی در سراسر سازمان.
۷- تعیین نیازهای آموزشی سازمان برای مهارت‌های مربوط به انرژی و درک آنها.
۸- تعیین طرق مختلف افزایش بازدهی انرژی‌های گوناگون.
۹- برنامه‌ریزی جهت سرمایه‌گذاری برای کاهش مصرف انرژی و تقلیل آلودگی محیط.
۱۰- تشکیل جلسات ادواری برای بررسی اهداف و خط‌مشی‌های از قبل تعیین شده.

۱۳- فرایند صرفه‌جویی انرژی در یک کارخانه

دستیابی به صرفه‌جویی درمصرف انرژی و بکارگیری موفقیت‌آمیز راهکارهای بهینه در کارخانه با" اخذ پشتیبانی از مدیریت رده بالا" شامل ۸ مرحله ذیل است:

۱ـ شناسایی مشکل
۲ـ به مرحله عمل رساندن
۳ـ انجام ممیزی انرژی
۴ـ شناسایی و تجزیه و تحلیل پتانسیل‌های صرفه‌جویی انرژی
۵ـ گزارش وضعیت انرژی به مدیریت
۶ـ نظارت و پی‌گیری
۷ـ تهیه گزارش و کنترل سیستم‌ها
۸ـ تجزیه و تحلیل مغایرتها

که در شکل(۱-۱۸) این مراحل به صورت سیکل بسته‌ای ارائه شده است:



شکل (۱- ۱۸) فرآیند صرفه جویی انرژی در سطح کارخانه

فصل دوم

مبانی صرفه‌جویی انرژی حرارتی و احتراق

مقدمه

در این بخش پتانسیل‌های صرفه‌جویی انرژی، برای بویلرها (دیگ‌های بخار) و کوره‌ها بررسی می‌شود. بخش دیگ بخار با توصیف دیگ‌های بخار مختلف، تجهیزات احتراقی استفاده می‌شود و سوخت‌های موجود شروع و تأثیرات زیست محیطی توصیف می‌شود، روند انتخاب دیگ‌ها ترسیم و در نهایت فهرستی از اقدامات و رئوس راهبردها برای صرفه‌جویی انرژی در عملیات دیگ بخار ارائه می‌گردد. سپس به صرفه‌جویی انرژی در کوره‌ها پرداخته می‌شود. انواع مختلف کوره و اقدامات صرفه‌جویی انرژی توصیف می‌گردد. در این جا تأکید بر صرفه‌جویی ناشی از کاهش هوای اضافی و پیش‌گرمایش هوای احتراق، عایق‌بندی صحیح و کنترل فشار کوره است.

۱- بررسی سیستم‌های احتراقی

۱-۱- احتراق

در دیگ‌ها و کوره‌ها (شامل خشک‌کن‌ها و اجاق‌ها) گرما در اثر احتراق و یا با استفاده از انرژی الکتریکی تولید می‌شود. در مورد دیگ، این گرما برای تولید فرایند به محصول یا آب انتقال می‌یابد.

سوخت در محفظه احتراق می‌سوزد که بسته به کاربرد از نظر شکل و اندازه با یکدیگر متفاوت‌اند. سوخت‌های معمولی شامل گاز طبیعی، گازهای پالایشی، مازوت، گازوئیل و سوخت‌های جامد مانند بیوماس یا زغال سنگ

می‌باشد و چنانچه در محل تولید شود، می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

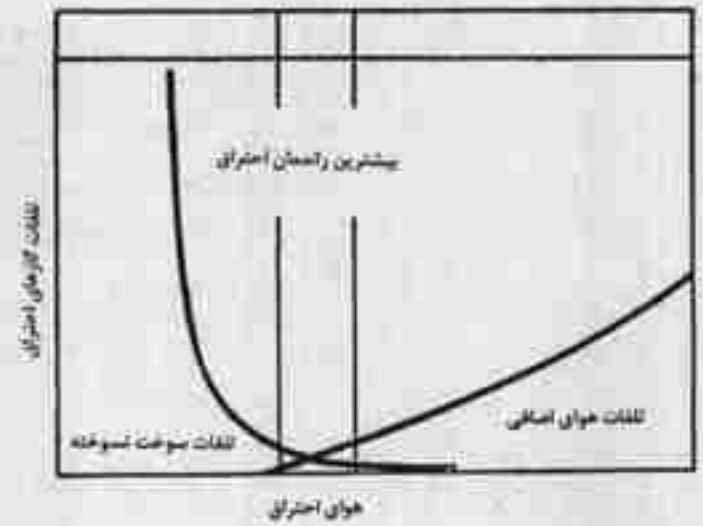
در کوره، محصول به طور مستقیم در معرض گرمای تولید شده در محفظه احتراق قرار می‌گیرد، مانند گاز، کک یا گازهای داغ احتراق که توسط روند احتراق تولید شده‌اند.

۱-۲- هوای احتراق

هوای استویکیومتریک[1] (S.C) معرف مقدار هوای مورد نیاز برای احتراق کامل با مخلوط کامل سوخت است و هوای (S.C) گاهی اوقات مقدار هوای نظری[2] نامیده می‌شود. اگر مخلوط کامل حاصل شود، هر مولکول سوخت و هوا در روند احتراق شرکت می‌کند. برای تضمین احتراق کامل سوخت باید هوای اضافی در نظر گرفته شود (زیرا مخلوط شدن سوخت و هوا رخ نمی‌دهد). درصد هوای اضافی عبارتست از کل هوای تأمین شده احتراق منهای هوای (S.C) تقسیم بر هوای (S.C) یا به عبارتی دیگر هوای کل بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$Total\ air = Stoichiometric\ air \times \left(1 + \frac{\%\,ExcessAir}{100}\right)$$

مقدار حداقل هوای اضافی مورد نیاز، با توجه به نوع سوخت مورد استفاده و کارایی مخلوط هوا و سوخت تغییر می‌یابد. اگر کمتر از مقدار حداقل، هوا تأمین شود، مقداری از سوخت کامل نمی‌سوزد و اتلاف انرژی سوخت وجود دارد. شواهد احتراق ناقص اغلب به شکل منواکسید کربن (CO) در محصولات احتراق ظاهر می‌شود. آنالیزور (تحلیل‌گر) احتراق گاز با یک دستگاه اورست[3] یا سایر تحلیل‌گرهای O_2 و احتراق می‌تواند برای بررسی مونوکسید کربن در گازهای خروجی کوره استفاده شود.



شکل ۲-۱- منطقه احتراق با حداکثر راندمان

هوای بیش از حد نیز باعث اتلاف انرژی می‌شود. به طور معمول عمل احتراق دارای دمای بالا و شامل انرژی

---

1. Stoichiometric: مقدار هوایی که از نظر شیمیایی برای سوختن کامل سوخت بکار می‌رود
2. Theoritical: مقدار هوای نظری
3. Orsat: اسم خاص - نام دانشمند

گرمایی زیاد است. اگر مقدار هوای زیاد برای کوره تأمین شود، آن هوای اضافی نیز گرم خواهد شد. تأثیر تلفات انرژی با تغییر مقدار هوای تأمین شده برای کوره در شکل شماره (۲-۱) نشان داده شده است. حداقل تلفات، زمانی رخ می‌دهد که مقدار هوای تأمین شده اندکی بیشتر از مقدار (S.C) باشد.

وزن یا حجم هر عنصر یا ترکیب در سوخت، برای تعیین هوای (S.C) لازم است. اغلب تعیین هوای (S.C) در این حالت راحت نیست، چون در بسیاری از موارد تجزیه دقیق سوخت نامعلوم است یا تغییر می‌یابد. (روش راحت‌تر، تعیین مقدار هوای مورد نیاز برای هر واحد گرما یعنی کیلوگرم‌های مورد نیاز هر گیگاژول گرمای احتراق (Kg/GJ) در سوخت است. با بیان این روش، هوای (S.C) مورد نیاز برای انواع سوخت تقریباً ثابت است) جدول شماره (۲-۱) مقادیری را برای چندین نوع مختلف سوخت نشان می‌دهد که ممکن است در دیگ‌ها یا کوره‌ها استفاده شوند.

در صورت بروز اشکال، می‌توان به فن تأمین هوا، دریچه ورودی هوا و کانال مربوط با روش نامناسب کنترل جریان هوا مراجعه نمود. آگاهی از مقدار مورد نیاز هوای احتراق کوره امکان بررسی صحت سیستم تأمین کوره را فراهم می‌سازد. نیازهای هوای احتراق می‌تواند محاسبه و با ظرفیت اجزا در سیستم تأمین هوا مقایسه شود.

مثال: هوای مورد نیاز احتراق برای کوره‌ای را محاسبه کنید که با استفاده از $700\ l/h$ از سوخت شماره ۶ جدول (۲-۱) ۱۵ درصد هوای اضافی مصرف می‌کند. (مفروضات: مقدار ارزش حرارتی سوخت با ۲/۵ درصد سولفور در حدود $42/3\ Mj/l$ است (مقدار سولفورموجود در سوخت اغلب از شرکت تأمین‌کننده سوخت بدست می‌آید).

حل:

بر اساس جدول شمارهٔ (۲-۱)، هوای احتراق تئوری $327\ Kg/Gj$ است

$$\text{هوای مورد نیاز} = \frac{700\,l/h \times 42/3\,Mj/l \times 327\,kg/Gj \times 1/15}{1000 \quad Mj/Gj} = 11135 \quad kg/h$$

$$\frac{11135 \quad kg/h}{1.204 \quad kg/m^3} = 9248 \quad m^3/h$$

هوای احتراق می‌تواند بوسیله سیستم‌های مکش طبیعی یا سیستم‌های دمنده برای مشعل تأمین شود. مکش طبیعی از فشار منفی تولید شده بوسیله دودکش کوره برای خروج گازهای حاصله از احتراق وجذب هوای احتراق به داخل کوره استفاده می‌کند. مرسوم‌ترین نمونه این گروه، آبگرم کن گازی است. مکش طبیعی بیشتر در کوره‌های کمتر از حدود Gj/h امورد استفاده قرار می‌گیرد.

معایب متعددی در شعله با مکش طبیعی وجود دارد زیرا میزان هوای احتراق جذب شده به داخل کوره نمی‌تواند بدرستی کنترل شود و مخلوط سوخت و هوای شعله با مکش طبیعی کامل نمی‌شود. این یعنی مقدار بیشتری هوای اضافی نیاز است تا احتراق کامل در تمام شرایط حاصل شود.

در این حالت فشار کوره همیشه منفی است و اجازه می‌دهد هوا به داخل کوره نفوذ کند و همین امر باعث افزایش حجم گازهای احتراقی و تلفات بیشتر می‌شود.

نوع فشار مثبت مشعل‌ها، از یک فن برای تأمین هوای احتراق به داخل دستگاه استفاده می‌کند. جریان هوا بوسیله دمپر (دریچه قابل تنظیم) تنظیم می‌شود. بنابراین کنترل صحیح نسبت هوا به سوخت برای حالات مختلف احتراق امکان‌پذیر است.

یک روش مرسوم برای دستیابی به عملکرد خوب، بکارگیری سوپاپ سوخت و دمپر با یک اتصال مکانیکی است. اشکال مختلف از بادامک قابل تنظیم برای تغییر جایگاه‌های نسبی سوپاپ سوخت و دمپر هوا بکار می‌رود تا نسبت‌های مناسب هوا به سوخت را برای تمام حالات احتراق تأمین نماید.

همچنین فن مکانیکی هوای احتراق، اختلاط بهتری از سوخت و هوا را تأمین می‌نماید. هوا از پیرامون مشعل (مشعل‌ها) و تیغه‌ها وارد کوره می‌شود و یک حرکت چرخشی در هوا تولید و بموازاتی که وارد کوره می‌شود می‌تواند یک تلاطم ایجاد نماید. این مزایا بمعنی آن است که هوای اضافی برای یک سیستم فشار مثبت می‌تواند نسبت به حالت مکش طبیعی کمتر باشد. در این حالت، تلفات حرارتی کمتری برای گازهای خروجی احتراق بدست می‌آید.

زیاد بودن فشار داخل کوره کمی خطرناک و در حدود 10 pa مطلوب است که به طور معمول با تنظیم یک دمپر در خروجی گازهای کوره در پایه دودکش حاصل می‌شود. (چنانچه تجهیزات بازیافت حرارت در کوره نصب شده باشد، امکان کاهش فشار میسر نیست.)

هوای اضافی[1]:

درصد واقعی هوای اضافی که برای کوره تأمین می‌شود یکی از مهم‌ترین پارامترهای هشداردهنده برای اپراتور کوره است. صحیح‌ترین روش، آنالیز (تحلیل) گازهای خروجی کوره است.

شکل ۲-۲- روند احتراق

تحلیل گاز احتراقی کوره‌ها

کوره‌ای که در آن حرارت بوسیله احتراق سوخت تولید می‌شود می‌تواند بعنوان موردی که دارای سوخت و هوای احتراق بعنوان ورودی و گاز خروجی بعنوان خروجی است مطالعه شود شکل شماره (۲-۲).

در عمل، تمام سوخت‌های مورد استفاده در کوره‌ها هیدروکربن‌ها هستند که شامل عناصر هیدروژن و کربن است. با وجود آن که برخی سوخت‌ها شامل سایر اجزا هستند اما اغلب برای روند احتراق مهم نیستند. هیدروژن در سوخت می‌سوزد تا بخار آب را شکل دهد و کربن می‌سوزد تا دی‌اکسید کربن را شکل دهد (CO_2) یا

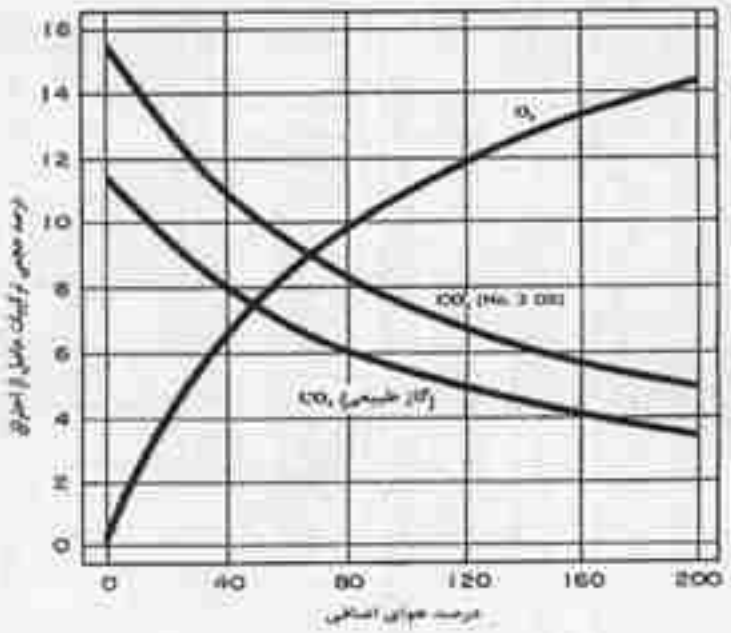
1- Excess Air

مخلوطی از دی‌اکسید کربن و منواکسید کربن (CO)، هوا شامل نیتروژن (N_2) همچنین اکسیژن (O_2) است. N_2 در روند احتراق، بجز برای شکل دادن مقادیر کم اکسید نیتروژن (موسوم به ناکس) (Nox) شرکت نمی‌کند.

اجزای عمده محصولات احتراق، بخار آب، CO،CO_2 و N_2 و O_2 اضافی است که احتراق را تشکیل می‌دهد. همه اجزا در همه موارد حاضر نیستند. وجود (CO) نشانگر احتراق ناقص است.

تجزیه و تحلیل گازهای خروجی کوره را می‌توان با استفاده از یک آنالیزور دائم یا نمونه‌برداری دوره‌ای تعیین کرد. این محل باید تا حد امکان نزدیک به خروجی کوره باشد تا خطاهای نفوذ هوا را کاهش دهد. برخی آنالیزورهای دائم جزء O_2 را اندازه‌گیری می‌کند و نتایج را ثبت یا نشان می‌دهد. سایر تحلیل‌گرهای مستمر، مقدار قابل احتراق گاز مجرای کوره را نیز اندازه‌گیری می‌کنند که بیشتر (CO) است اما ممکن است شامل برخی ترکیبات نسوخته به شکل گاز باشد. اگر یک آنالیزور (تحلیل‌گر) گازهای احتراق کوره دائم در دسترس نباشد، نمونه‌ای از گاز مجرای خروجی کوره می‌تواند برداشته شود و با استفاده از دستگاه اورست یا سایر دستگاه‌های اندازه‌گیری، تجزیه شود.

دستگاه اورست درصدحجمی O_2، CO_2 و CO را در گازهای احتراق تعیین می‌کند. تجزیه‌کننده‌های دستی دیگری موجود است که CO_2 یا O_2 را در گاز خروجی کوره اندازه‌گیری می‌کندو استفاده از آنها آسان‌تر است و بعنوان یک بررسی مقطعی در مقابل یک دستگاه اورست می‌تواند مفید باشد.



شکل ۲-۳- هوای اضافی با تجزیه گازهای خروجی کوره

تعیین هوای اضافی

تحلیل‌گر(آنالیزور) احتراق کوره، داده‌های کافی را برای محاسبه هوای اضافی در کوره آماده می‌سازد. در بیشتر کوره‌ها مونوکسید کربن بعلت بالا بودن هوای اضافی مشخص نیست یا خیلی کم است. برای سوخت گاز

طبیعی یا مازوت بدون مونوکسید کربن در گاز خروجی درصد هوای اضافی را می‌توان با استفاده از جدول شماره (۲-۱) تعیین کرد. اگر سایر سوخت‌ها بکار گرفته شود یا اگر مونوکسید کربن موجود باشد، معادله ذیل می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

$$\text{درصد هوای اضافی} = \frac{O_2 - 0/5\,CO}{0/2682\ N_2 - (O_2 - 0/5\,CO)} \times 100$$

که:

O_2 = درصد حجمی گاز O_2 در گازهای احتراقی

CO = درصد حجمی منواکسید کربن

N_2 = درصد حجمی نیتروژن (ازت) است.

مثال: تجزیه گازهای کوره از نظر درصد حجمی در یک کوره که با گاز طبیعی می‌سوزد نتایج ذیل را نشان می‌دهد.

$$O_2 = 9/8\% \qquad CO_2 = 6/2\% \qquad CO = 0\%$$

با توجه به شکل شماره (۲-۳)، هوای اضافی تقریباً ۷۹٪ است. این عدد را می‌توان با معادله ذیل مقایسه کرد.

$$\%N_2 = 100\ \% - (9/8\% + 6/2\% + 0\%) = 84\%$$

$$\text{درصد هوای اضافی} = \frac{9/8 - (0/5 \times 0)}{(0/2682 \times 84) - [9/8 - (0/5 \times 0)} \times 100 = 77\%$$

این مقدار برای کوره‌ای که با گاز طبیعی می‌سوزد خیلی بالاست و امکان کاهش هوای اضافی باید بررسی شود.

مثال بعد آشنایی بیشتری را با روندهای محاسبات احتراق نشان می‌دهد. یک کوره با گاز کک و با آنالیز احتراق به شرح ذیل می‌سوزد:

$$O_2 = 2/1\ \% \qquad CO_2 = 10\ \% \qquad CO = 0\% \qquad N_2 = 87/9\%$$

معادله باید برای محاسبه هوای اضافی مورد استفاده قرار گیرد، چون جدول شماره (۲-۱) برای کک کاربرد ندارد.

جدول ۲-۱- آنالیز احتراق و مقایسه با هوای اضافه

ردیف	نوع سوخت	هوای مورد نیاز تئوری سوخت (kg/GJ)	درصد هوای اضافه	هوای مورد نیاز احتراق (kg/GJ)
۱	گاز طبیعی	۳۱۸	۵	۳۳۴
۲	سوخت مایع(نمونه۲)	۳۲۳	۱۰	۳۵۵
۳	سوخت مایع(نمونه۶)	۳۲۷	۱۵	۳۶۰
۴	گاز کوره کک سازی	۲۹۵	۱۵	۳۴۰
۵	گاز پالایشگاه	۳۱۲	۱۰	۳۴۳
۶	پروپان	۳۱۲	۵	۳۳۰

آنالیز حجمی	
12 %	CO
42 %	H_2
37 %	CH_4
5 %	C_2H_4 و کربن بالاتر
4 %	CO_2

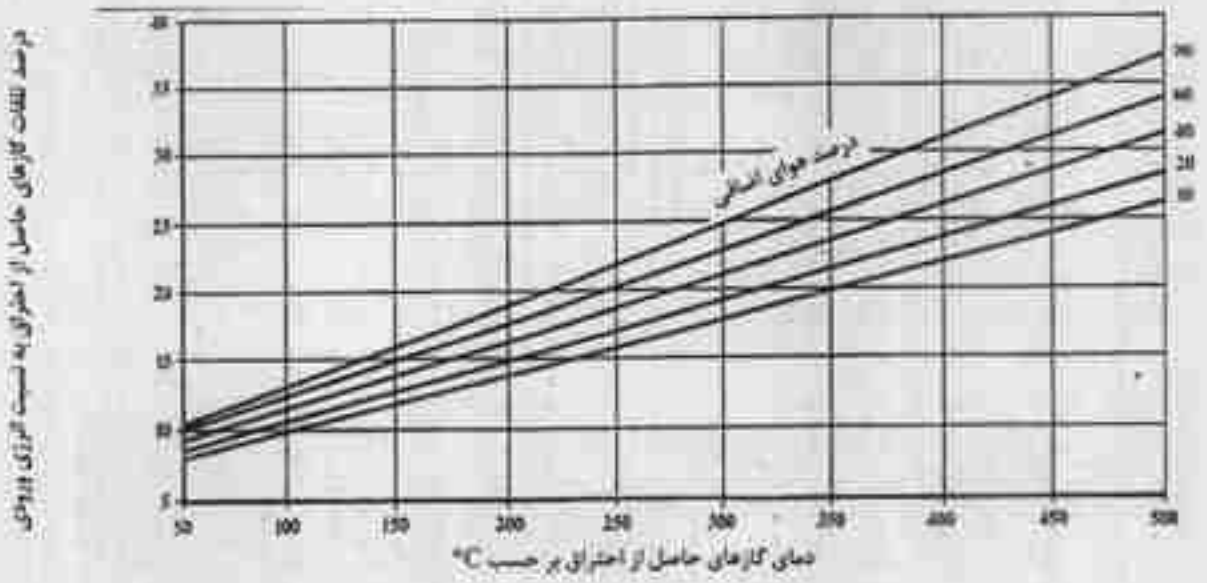
آنالیز حجمی	
31 %	CH_4
20 %	C_2H_6
38 %	C_3H_8
5/60 %	H_2
1/00 %	C_4H_{10} و کربن بالاتر
4/40 %	گازهای بی‌اثر

بیشترین افت حرارتی در دیگ یا کوره‌های سوختی، اغلب ناشی از حرارتی است که از دودکش خارج می‌شود. تجزیه گاز احتراق و دمای گاز خروجی کوره می‌تواند برای محاسبه تلفات مورد استفاده قرار می‌گیرد. اگر تجهیزات بازیافت گرما در کوره یا دیگ وجود نداشته باشند، این اقدامات باید در خروجی گازها در نظر گرفته شود تا تلفات به حداقل برسد.

یعنی در این احتراق، هوا ۴٪ کمتر از هوای تئوری استفاده شده است لذا برای اینکه احتراق کامل برای مشعل‌ها تأمین شود باید ۴٪ هوا اضافه تر شود. اگر نوع روند اجازه دهد، افزایش هوای احتراق باید مونواکسید کربن را کاهش دهد.

بعضی مواقع در احتراق، CO یا O_2 بالایی رخ می‌دهد که بیشتر نشانه خوب اختلاط نشدن سوخت و هوای احتراق است. گاهی می‌توان با تنظیم دمپرهای (دریچه تنظیم) هوای مشعل برای ایجاد اختلاط در منطقه اختلاط سوخت و هوا به بهبودهایی دست یافت. در موارد دیگر ممکن است لازم باشد جایگزینی برای مشعل در نظر گرفت.

۲- تلفات حرارتی[1]:



شکل ۲-۴- تلفات حرارتی گازهای احتراقی کوره با سوخت مازوت

چنانچه تجهیزات بازیافت در کوره نصب شده باشد، می‌باید آنالیز بعد از تجهیزات نصب شود. تلفات حرارتی گازهای خروجی کوره دارای چهار جزء است که می‌تواند جداگانه محاسبه شود.

- تلفات گرمای گازهای احتراقی بر مبنای خشک
- تلفات حرارتی ناشی از بخار آب موجود در هوای احتراق[2]
- تلفات حرارتی ناشی از بخار آب تولید شده ناشی از هیدروژن موجود در سوخت[3] این کمیت تابع سوخت است و باعملیات نمی‌تواند تغییر کند. بنابراین در این بحث لحاظ نشده است.
- تلفات ناشی از تولید بخار آب ناشی از احتراق[4]

برای مواد نفتی و گاز طبیعی، رطوبت در سوخت جزئی است و تبخیر افت گرمای رطوبت را می‌توان ناچیز در نظر گرفت. برای سوخت‌های زیست توده (بیوماس) مقادیر تلفات گازهای خروجی را می‌توان با استفاده از شکل شماره (۲-۵) محاسبه کرد و عملکرد دیگ را تخمین زد.

با توجه به نمودار بالا، در عمل این تلفات می‌تواند ۸٪ تا ۵۰٪ بسته به سوخت متغیر باشد. عامل مهم و مؤثر، دمای گازهای خروجی و مقدار هوای اضافی موجود است. برای حداقل رساندن تلفات در سیستم‌های سوخت ذغال سنگ، احتراق کامل، استفاده از سوخت پاش بهتر و کنترل بهتر هوای احتراق لازم است. همین عوامل برای دیگ‌های نفت سوز نیز لازم است. مشعل‌ها باید بدون آسیب‌دیدگی بوده و بخوبی تعمیر و نگهداری شود و هوای احتراق (اولیه و ثانویه) باید به میزان صحیح و با اختلاط مناسب وارد منطقه احتراق شود.

---

1. Heat Losses

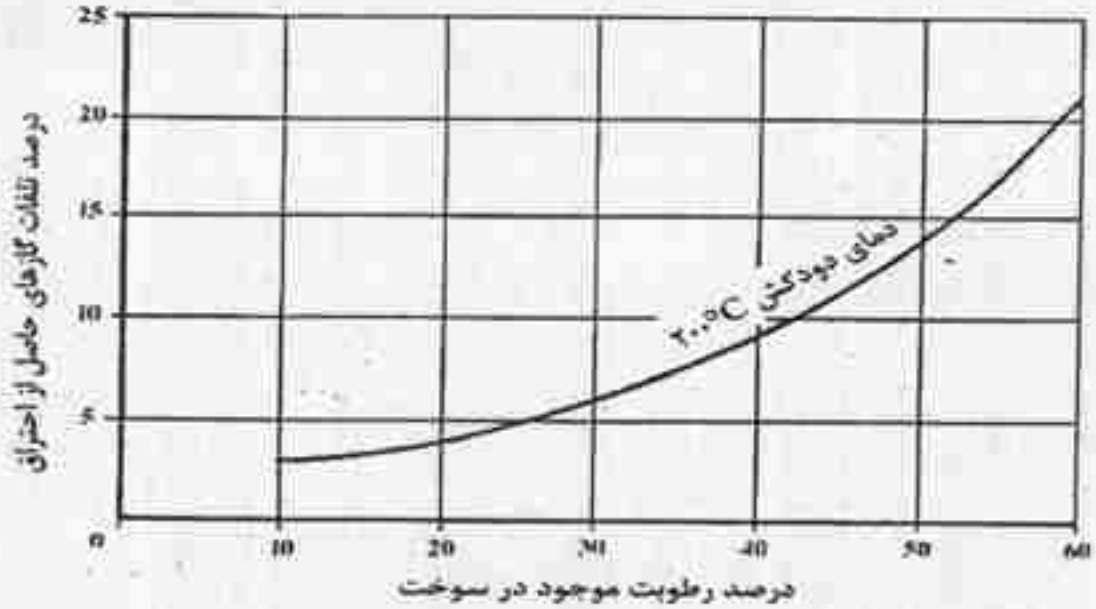
۲- این تلفات خیلی کوچک است و تابع رطوبت جوی است.

۳- این کمیت تابع سوخت است و با عملیات نمی‌تواند تغییر کند. بنابراین در این بحث لحاظ نشده است.

۴- عملکرد مورد قبول این مقدار (تقطه) تابع سوخت است و بنابراین بوسیله عملیات نمی‌توان تغییر کند. بنابراین در این بحث لحاظ نشده است.

برای سوخت‌هایی مانند ذغال سنگ، زیست توده و ضایعات صنعتی یا زباله‌ای شهری، تلفات حرارت حاصله از رطوبت در سوخت می‌تواند قابل توجه باشد. برای مثال چوب می‌تواند دارای رطوبتی بالاتر از ۶۰ درصد باشد.

شکل شماره (۲-۵) انواع تلفات حرارتی ناشی از رطوبت برای یک سوخت زیست توده با اجزاء رطوبت متفاوت در دمای خروجی ۲۰۰ درجه سانتیگراد را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۵- تلفات گازهای احتراقی ناشی از رطوبت سوخت بیوماس

در صورتی که رطوبت سوخت ۳۰٪ باشد تلفات حرارتی گازهای احتراقی کوره ۵/۵ درصد مقدار سوخت است و در صورتی که رطوبت سوخت ۶۰٪ باشد این تلفات به ۲۱ درصد افزایش می‌یابد.

۲-۱- تلفات حرارتی ناشی از احتراق ناقص

حرارت می‌تواند بوسیله احتراق ناقص سوخت نیز تلف شود که این امر بوسیله وجود CO مشخص می‌شود و در خصوص ذغال سنگ، مواد قابل احتراق بصورت خاکستر باقی می‌مانند.

تلفات ناشی از CO

با کنترل مقدار دوده تولیدی، مقدار CO قابل کنترل است. سه عامل مؤثر باعث ناقص‌سوزی هستند که عبارتند از: هوای احتراقی ناکافی، مخلوط سوخت و هوای نامناسب یا نشت هوای سرد به منطقه احتراق که باعث سرد شدن سوخت و هوا می‌شود. این تلفات به علت تبدیل نشدن کربن به دی‌اکسید کربن بوده و کم است. اما چسبیدن دوده به سطوح انتقال حرارت باعث کاهش ضریب انتقال حرارت و پایین آمدن راندمان می‌شود.

تلفات حرارتی ناشی از خاکستر سوخت (سوخت‌های جامد مانند ذغال سنگ)

به طور معمول این تلفات از ۲٪ تا ۵٪ تغییر می‌کند. این یک نشانه واضح از کمبود هوای احتراق است که سه علت احتمالی دارد. توزیع هوای ضعیف در زیر قفسه، ضخامت زیاد بستر آتش یا ضخامت ناهموار ناشی از اعمال سوخت‌ریزی ضعیف.

تلفات مواد قابل احتراق نسوخته برای تأسیسات نفت سوز و گاز سوز اهمیت ندارد اما برای واحدهای سوخت جامد می‌تواند مهم باشد. شکل شماره (۳-۱) نشان می‌دهد که تلفات مواد سوختنی نسوخته می‌تواند کم و در حداکثر نقطه کارائی باشد. اما اهمیت واقعی این رقم این است که تلفات بموازاتی که هوای کلی کاهش می‌یابد بسرعت افزایش می‌یابند. اندازه‌گیری این شرایط با حضور مقدار زیاد مواد احتراق‌پذیر در گازهای خروجی مشخص می‌شود.

در ذغال سنگ، زیست توده (بیوماس) و سوخت‌های جامد دیگر، مواد قابل احتراق نسوخته در ضایعات جمع شده (در چاله خاکستر) و وقتی عملکرد دیگ آزمایش می‌شود این تلفات هم باید مشخص شود. اجرای این کار نیازمند یک روش جمع‌آوری و سنجش ضایعات تحت شرایط کنترل شده و سنجش آزمایشگاهی ضایعات برای ارزش حرارتی بالا[1] است.

تلفات می‌تواند بصورت زیر محاسبه شود:

افت گرمای مواد سوختنی نسوخته = مقدار زباله خشک × ارزش حرارتی

که واحدها عبارتند از:

افت گرما (MJ/kg)

زباله خشک (Kg of refuse/kg f)

مقدار گرمای زباله (MJ/kg)

۳- انتقال حرارت

انتقال حرارت از شعله متمل به محصول می‌تواند با هدایت (رسانش)[2]، جابجایی(همرفت)[3] یا تشعشع (تابش)[4] و در بیشتر موارد ترکیبی از هر سه باشد.

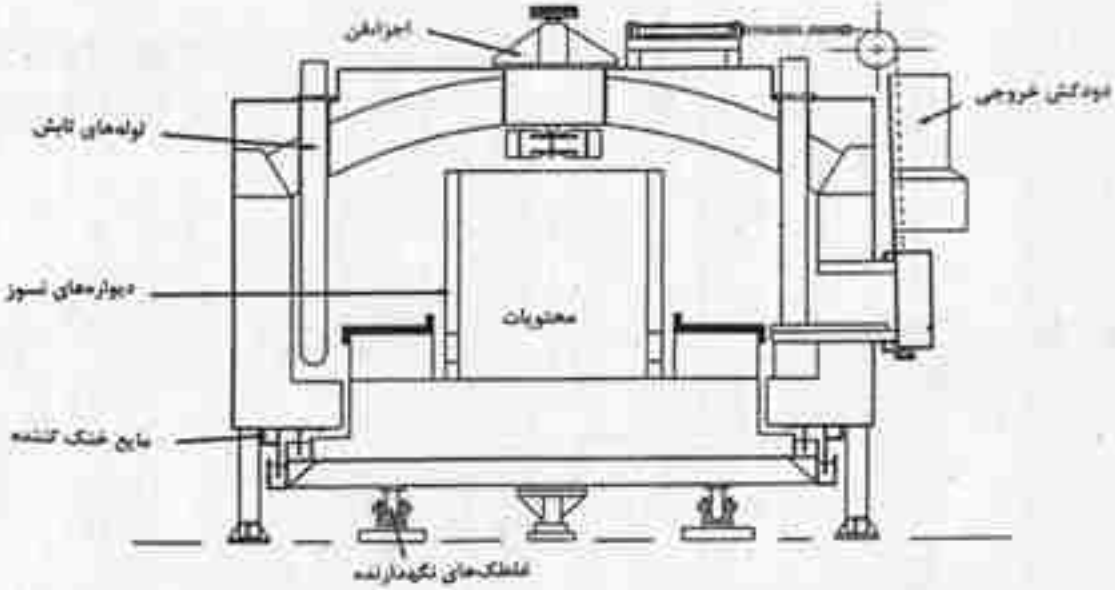
۳-۱- هدایت (رسانش)

انتقال گرما به محصول بوسیله هدایت، تنها در تجهیزات گرم شده بصورت غیرمستقیم اهمیت دارد که در آن

---

1. HHV
2. conduction
3. convection
4. Radiation

جا محصول از شعله بوسیله سطح مبادله گرما مجزا می‌شود. کوره مافل[1] و کوره‌هایی که از گرم‌کن‌های لوله‌ای تابشی استفاده می‌کنند شکل شماره (۲-۶) نمونه‌ای از ترکیب گرمایش غیرمستقیم‌اند. گرمای انتقال یافته از طریق یک جامد را می‌توان محاسبه کرد.



شکل ۲-۶- کوره چرخشی گاز سوز با لوله‌های تشعشعی

معادله ذیل نشانگر حرارت منتقل شده بوسیله هدایت است.

$$Q = \frac{KA\Delta T \times 3/6}{t}$$

Q : (گرمای هدایت شده) و واحد آن (kj/h)

K : رسانندگی بر حسب (W/mC)

A : مساحت (مترمربع)

ΔT : اختلاف دمای سطح (K) یا ($^{\circ}C$)

t : ضخامت (متر)

۳/۶ ضریب تبدیل وات به کیلوژول بر ساعت است.

معادله بالا نشان می‌دهد که میزان انتقال حرارت متناسب با سطح و با اختلاف دما افزایش می‌یابد و با ضخامت بصورت معکوس تناسب دارد.

مثال: یک کوره مافل دارای یک حصار فولادی یا نیکل به ضخامت $10\ mm$ با مساحت ۵۵ متر مربع است. گرمای مفید محصول، که همه آن از طریق دیوار منتشر می‌شود $1.9\ Gj/h$ است. هدایت حرارتی فولاد نیکل $(31\ W/m^{\circ}C)$ است. افت دما از طریق دیوار کوره می‌تواند به قرار ذیل تعیین شود:

1.Muffle

گرمای هدایت شده $1/9\times10^{3}\ Kj/h$ یا $1/9\ Gj/h$ است.

$$\Delta T=\frac{1/9\times10^{6}\times0/01}{31\times55\times3/6}=3/1\ ^{\circ}C$$

با جایگذاری در معادله

افت دما در عرض دیواره ۳/۱ درجه سانتیگراد با آهنگ مشخص انتقال گرماست.

۳-۲- جابجایی(همرفت)

انتقال حرارت جابجایی(همرفت) بین یک سطح جامد و یک سیال مایع یا گاز رخ می‌دهد.

$$Q=23/46\times A\times\Delta T\times V^{0/78}\times d$$

Q: مقدار انرژی تبادل شده (Kj/h)

ΔT: اختلاف دمای بین سطح و سیال $(^{\circ}C)$

V: سرعت (m/s)

d: چگالی گاز (Kg/m^{3})

مثال: کوره‌ای ۳ متر طول و ۱ متر در ۱ متر عرض دارد. گاز خروجی کوره از میان کوره با سرعت متوسط $0/5\ m/s$ با یک دمای گاز ۵۰۰ درجه سانتیگراد جریان می‌یابد. اختلاف دما بین دمای کوره و گاز خروجی کوره بطور متوسط ۱۵۰ درجه سانتیگراد است. برای اهداف عملی‌تر چگالی هوا را می‌توان برای گاز خروجی کوره استفاده کرد بر اساس مراجع استاندارد چگالی هوا در $5000\ ^{\circ}C$، $0/458\ kg/m^{3}$ است. آهنگ متوسط انتقال گرما بوسیله جابجایی برای دیوارهای کف و سقف را می‌توان بقرار ذیل تعیین کرد:

(مساحت کوره که توسط گاز مجرای خروجی کوره جاروب می‌شود) $(1+1+1+1)\ m\times3\ m=12\ m^{2}$

$$Q=23/46\times12\ m^{2}\times150\ ^{\circ}C\times(0/5\ m/s)^{0/78}\times0/458\ Kg/m^{3}=11263\ Kj/h$$

۳-۳- تشعشع (تابش)

انتقال گرما بوسیله تشعشع(تابش) برای دماهای بالای ۶۰۰ درجه سانتیگراد اهمیت می‌یابد. یک بدنه داغ، پرتوهایی را به شکل گرما منتشر می‌کند که می‌تواند توسط جسم جامد دیگری دریافت شود.

مقدار حرارت انتقال یافته از یک جسم جامد با توان چهارم دمای مطلق آن متناسب است و به طور مستقیم با ضریب نشر آن متناسب است.

سنجش ضریب نشر گرمای منتشره از یک شئ با گرمای منتشره از یک جسم سیاه با اندازه مشابه در همان دما مقایسه می‌شود. مقدار حداکثر ضریب انتشار مربوط به جسم سیاه و معادل یک است.

مقدار انتشار نمونه برای دیواره‌های کوره و فولاد اکسید شده ۰/۸ تا ۰/۹ است. زیرا هم جسم داغ (دیواره کوره) و جسم سرد (محتویات کوره) پرتو منتشر می‌کنند.

حرارت برابر است با:

$$Q=K.F\times\left[(T_{1}/100)^{4}-(T_{2}/100)^{4}\right]$$

Q: میزان انتقال حرارت (Kj/h)

K: ضریب جسم سیاه (۲۰/۶)

T_1 و T_2: دمای مطلق $(^\circ K)$

F: ضریب کلی تشعشع که به سطح، ضریب نشر و نوع سطح بستگی دارد و برابر است با:

$$F = A\left[\frac{1}{e_1} + \left(\frac{A}{A}\right)\left(\frac{1}{e_1} - 1\right)\right]$$

A_1: سطح محتویات کوره (m^2)

A_2: مساحت دیواره‌های کوره (m^2)

e_1: ضریب انتشار محتویات کوره

e_2: ضریب انتشار دیواره‌ها

مثال: کوره ای با برش ۱ متر در ۱ متر، شمش فولاد کربن را با ابعاد ۱۰۰ میلیمتر در ۱۰۰ میلیمتر گرم می‌کند. دمای دیواره کوره ۱۰۰۰ درجه سلسیوس است. کف کوره گرما را منتشر نمی‌کند. بر اساس مراجع، ضریب نشر یک دیواره کوره آجری نسوز ۰/۷۵ است و ضریب نشر فولاد کربن اکسید شده ۰/۸۰ است. گرمای منتقل شده به شمش در هر متر طول وقتی که فولاد تا ۶۵۰ درجه سلسیوس گرم می‌شود می‌تواند محاسبه شود:

$$A_1 = (0/1 + 0/1 + 0/1) \times 1 = 0/3\, m^2$$

$$A_2 = (1 + 1 + 1) \times 1 = 3\, m^2$$

$$F = \frac{0/3}{\frac{1}{0/8} + \left(\frac{0/3}{3}\right)\left(\frac{1}{0/75} - 1\right)} = 0/234$$

$$T_1 = 1000\ ^\circ C + 273 = 1273\ ^\circ K$$

$$T_2 = 650 + 273 = 923\ ^\circ K$$

$$\text{۱ متر طولی شمش / حرارت تشعشعی} = 20/6 \times (0/234)\left[\left(\frac{۱۲۷۳}{۱۰۰}\right)^۴ - \left(\frac{۹۲۳}{۱۰۰}\right)^۴\right] = 91604 \quad Kj/h$$

تشعشع (تابش) همچنین از گازهای داغ گرفته تا محتویات کوره رخ می‌دهد. روش محاسبه تشعشع از شعله با گازهای داغ با جسم جامد فرق می‌کند و حرارت تشعشعی یک شعله روشن از حرارت تشعشعی یک نمونه گاز داغ بالاتر است.

۴- سوخت‌ها

به طور معمول هر سوخت از نظر ویژگی‌های احتراق با سوخت‌های دیگر تفاوت دارد و بر انتقال گرما تأثیر می‌گذارد. سوخت‌ها می‌توانند جامد یا مایع یا گازی باشند و هر یک تجاری یا ضایعات باشد. سوخت‌های تجاری سوخت‌های فسیلی هستند که استخراج می‌شوند و تا درجات مختلف پردازش یا پالایش شده و توسط

سازمان‌هایی مانند شرکت‌های نفت در سرتاسر کشور فروخته می‌شوند. سوخت‌های صایعاتی محصولات فرعی یا الحاقات فعالیت‌های خانگی بوده که فقط در حد محدودی موجود هستند.

در سوخت‌ها، عواملی غیر از تبدیل ساده به گرما نیز باید مورد توجه قرار گیرند از جمله آن عوامل، ذخیره‌سازی و بکارگیری سوخت‌ها، نگهداری، اثرات محیطی و غیره هستند. همه این‌ها بر کارایی کلی و هزینه واقعی احتراق یک سوخت تأثیر می‌گذارد.

۴-۱- گاز طبیعی (گاز لوله)

بخاطر اینکه این گاز براحتی با هوا ترکیب می‌شود و بدون ایجاد دود و دوده می‌سوزد، هزینه نگهداری دیگ و کوره پایین است. مشعل‌های گاز طبیعی با داشتن قسمت‌های مکانیکی کمتر، ساده‌تر و بنابراین نگهداری آنها ارزان‌تر است.

گاز طبیعی طبیعتاً سوخت ترجیحی برای سوخت یک دستگاه است اگر فقط راحتی کار مورد توجه باشد. این سوخت لازم نیست ذخیره شود. همراه با تمام هیدروکربن‌های گازی، بسادگی با هوای احتراق مخلوط می‌شود و بصورت مطلوب، محصولات احتراق فقط آب و دی‌اکسید کربن است. به نظر می‌رسد این بحث‌های اصلی مهم باشد زیرا در سطح جهان در سال‌های اخیر، اکثریت تأسیسات جدید، دیگ‌ها، کوره‌ها، گازسوز شده‌اند.

عواملی که می‌تواند برای انتخاب سوخت مناسب باشد به شرح ذیل است:

اول: در دسترس بودن یک منبع گاز مناسب در محل‌های مصرف باید از قبل بررسی شود چون محدودیت‌های محلی در سیستم توزیع می‌تواند گاهی به تأخیر در تأمین سوخت منجر شود.

دوم: ایمنی است. که برای گاز طبیعی باید نکات ایمنی در راه‌اندازی و استفاده مناسب از سوخت مدنظر قرار گیرد.

سوم: اینکه احتراق گاز طبیعی آلاینده‌های سمی تولید نمی کند اما به اثرات گلخانه‌ای کمک می‌کنند که گاز متان یکی از انواع آن است. دی‌اکسید کربن که بوسیله احتراق تمامی سوخت‌ها تولید می‌شود یکی دیگر از آلاینده‌ها است. تولید آن نه تنها غیر قابل اجتناب است بلکه مطلوب هم هست چون حضور دی اکسید کربن نشان‌دهنده احتراق کامل گاز است. اما گاز طبیعی، اکسید نیتروژن نیز تولید می‌کند این بدلیل آن است که گاز در دماهای بالا می‌سوزد و لذا انرژی اضافی لازم را برای ترکیب اکسیژن و نیتروژن فراهم می‌سازد.

با توجه به قیمت گاز، قیمت واقعی که یک مشتری می‌پردازد همانند هر سوختی، به مقدار مصرف و نوع تأمین آن بستگی دارد و می‌تواند در محدوده وسیعی متغیر باشد.

۴-۲- LPG یا گاز مایع پالایشی

LPG برای توصیف دو سوخت پروپان و بوتان بکار می‌رود و در عمل اکثریت وسیعی از تأسیسات از پروپان استفاده می‌کنند.

نخستین تفاوت عمده بین دو سوخت گاز مایع وگاز طبیعی این است که (LPG) نیازمند تجهیزات ذخیره‌سازی است و ملاحظات خاصی در رابطه با نشت لازم دارد. اول از نظر هزینه سرمایه یک پروژه و دوم هزینه‌های عملیاتی کلی و سوم نگهداری آن می‌تواند خیلی مهم باشد. مخازن ذخیره‌سازی مخازنی تحت فشار هستند و بنابراین نیازمند بازرسی سالانه، دراز مدت و تست هستند. اگر یک مشتری مخزن‌های خود را داشته

باشد، خود مسئول اجرای تمام بازرسی‌ها و نشت‌ها با هزینه نگهداری آن است. در عمل، بسیاری از مشتریان، مخازن را از تأمین کنندگان سوخت اجاره می‌کنند و این مسئولیت و نیز مسئولیت نگهداری کلی را حذف می‌کنند.

دومین تفاوت عمده این است که (LPG) از هوا سنگین‌تر است. اگر گاز طبیعی که از هوا سبک‌تر است رها شود، برای ایمنی تمام منابع احتراق (احتمال جرقه زنی) باید حذف و پنجره‌ها و دریچه‌ها باز شود. سپس بطور طبیعی، گاز پراکنده خواهد شد. از سوی دیگر (LPG) ممکن است راه خود را به داخل مجاری، کانال لوله‌ها، تونل‌های کابل، آب گذر، سردابه‌ها و غیره باز کند و پراکنده نشود مگر اینکه با استفاده از یک فن یا فشار این کار صورت پذیرد. این ویژگی بر مکان مخازن ذخیره در رابطه با ساختمان‌ها، حفره‌ها، آبگذرها، سردابه‌ها و غیره تأثیر می‌گذارد و مکان دستگاه را می‌تواند تحت تأثیر قرار دهد.

۴-۳- نفت کوره(مازوت)

نفت‌های کوره مایعات چسبیده‌ای هستند که با سردتر شدن چگال‌تر و سخت‌تر می‌شوند. گازوئیل که سبک‌ترین و کم‌ترین میزان چسبندگی را در سوخت‌ها دارد، اغلب در شکل مایع باقی می‌ماند (بدون توجه به اینکه سرمای زمستان چه اندازه باشد). این باعث می‌شود که سوخت تحت فشار مخزن به سوی مشعل جریان یابد یا باعث می‌شود پمپاژ شود. این امر صادق است مگر در صورتی که دوره‌های هوای سرد طولانی رخ دهد که در آن دمای هوا در زیر نقطه انجماد بمدت یک یا چند هفته دوام یابد. تحت این شرایط، برخی از موم‌های داخل نفت به جامدات چسبیده‌ای تبدیل می‌شود. بطور خاص، این جامدات (موم‌های جامد شده) بر روی فیلترهای خط لوله سوخت مشعل مشکل ایجاد می‌کند و سرانجام باعث مسدود شدن آنها می‌شوند. هر چند این امر زیاد رخ نمی‌دهد، برخی برای جلوگیری از این پدیده، سیستم گرم‌کننده بر روی صافی ها یا روی لوله‌های توزیع سوخت بیرونی برای احتیاط نصب می‌کنند.

نفت خام مخلوط پیچیده‌ای از هیدروکربن‌ها است.استفاده‌کنندگان سوخت‌های دیگر به طور عمده خواستار سوخت‌هایی سبک‌تر هستند. (مشکلات مربوط به ذخیره‌سازی نفت کوره شامل هزینه سرمایه مخازن ذخیره سازی و وسایل انتقال نفت است).

لازم است سوخت‌های سنگین‌تر نفت بیشتر گرم شوند تا از مخزن حرکت کنند. برای کاهش مقدار انرژی مورد نیاز برای پمپاژ نفت به مشعل‌ها، یک دمای پمپاژ مناسب باید همواره حفظ شود.

جدول شماره (۲-۲) حداقل دمای ذخیره توصیه شده برای درجات مختلف نفت و نیز حداقل دمای هزینه‌های پمپاژ مطلوب را نشان می‌دهد. دمای داده شده در این جدول، بخصوص برای نفت‌های سنگین‌تر فقط بعنوان یک شاخص مورد نظر هستند. به استثنای گازوئیل، تمایل کلی معطوف به درجات نفت سنگین‌تر و چسبنده است که نیازمند دمای ذخیره‌سازی و پمپاژ بالاتر است.

نفت توسط برق یا بخار حاصل از دیگ گرم می‌شود و از آن طریق کارآیی کلی سیستم کاهش می‌یابد.

جدول ۲-۲- حداقل دمای توصیه شده برای ذخیره‌سازی درجات مختلف سوخت مایع

نوع سوخت مایع	درجه	چسبندگی نسبی استوک $100^{\circ}C$	حداقل دمای نگهداری ($^{\circ}C$)	دمای سیالیت سوخت ($^{\circ}C$)
گازی/نفتی	D	۱	—	—
سبک	E	۸/۲	۱۰	۱۰-۱۲
متوسط	F	۲۰	۲۵	۳۰-۳۵
سنگین	G	۴۰	۴۰	۵۵-۶۰
بونکر[1]	H	۵۶	۴۵	۷۰

گرمایش شدید کنترل نشدهٔ نفت نیز می‌تواند پرهزینه باشد و مخازن و لوله‌های عایق نشده با عایق‌بندی ضعیف می‌توانند منبع عمدهٔ اتلاف انرژی باشد. چنانچه مخازن نیز تا دمای پمپاژ گرم شوند میزان قابل توجهی تلفات حرارتی بوجود می‌آید و همچنین گردش سیال (سیرکولاسیون) بیش از حد نیز موجب تلفات حرارتی می‌شود.

یک سیکل نفتی داغ خوب طراحی شده، ابتدا نفت کافی حدود ۱۰٪ را به جریان می‌اندازد تا حداکثر نیاز مشعل‌های مربوط را برآورده کند. نفت تازه، به محض نیاز، از مخزن ذخیره کشیده می‌شود اما مخزن هرگز بخشی از سیستم چرخشی را تشکیل نمی‌دهد تا اینکه تمام نفت برای دمای پمپاژکامل گرم شود. این امر تضمین می‌کند که اندازه، سرمایه و هزینه‌های راه‌اندازی گرم‌کننده‌های نفت تا حداقل امکان حفظ شوند.

خطای این مقدار گرمایش سوخت مورد نیاز، این است که برای استفاده در درجه‌های سنگین‌تر نفت کوره برای دیگ‌های کوچک غیراقتصادی است. مصارف کمتر از $3\ MW$ استفاده از نفت کوره را غیر اقتصادی و بالاتر از $20\ MW$ آنرا اقتصادی می‌کند.

چنانچه در شرایط خوب و دمای صحیح نفت کوره به مشعل داده شود، دود و مونواکسید کربن حاصله، حداقل خواهد بود.

در مقایسه آلایندگی سوخت‌ها، نفت کوره که دارای سولفور است، طی احتراق (SO_2) تولید می‌کند که تصور می‌شود این گاز در مشکل آلودگی جهان سهیم هستند، از طرفی نفت که در دمایی پایین‌تر از سوخت‌های گازی می‌سوزد، گازهای (NO_x) کمتری تولید می‌کند (NO_x در دماهای بالای احتراق تولید می‌شود)

۴-۴ - ذغال سنگ

نقص سوزی سوخت‌های جامد بیانگر این مسئله است که هوای مورد نیاز برای احتراق در مقایسه با سوخت‌های مایع و گازی شکل، کمتر است. سوخت ذغال سنگ نیز که از سوخت‌های جامد است می‌تواند عامل مهمی در آلودگی هوا به شمار آید.

دود، دوده، خاک و غبار تولیدی کارخانه‌های جدید ذغال سنگ که از کنترل کننده‌های دقیق استفاده

---

1. Bunker

می‌کنند، کمتر است (با استفاده از خرد کردن و ریز کردن (پودر کردن) سوخت این مشکل را حذف کرده‌اند) کنترل شدید SO_x و ذرات ریز می‌تواند از طریق استفاده از تزریق سنگ آهک، سیلیکون و فیلترهای کیسه‌ای حاصل شود.

در سرتاسر مناطق نیمه قاره‌ای و معتدل، ذخایر ذغال سنگ جهانی بنحو چشمگیری از ذخایر نفت خام و یا گاز طبیعی بزرگترند. بسیاری از کشورهای واردکننده نفت یا ذخایر مهم نفت، پژوهش‌های قابل توجهی را در زمینه سوخت ذغال سنگ انجام داده‌اند و در برخی از موارد، تصمیماتی را به اجرا گذاشته‌اند که در جهت ارتقاء مصرف ذغال سنگ برای سوخت دیگ‌ها بوده است.

ذغال سنگ ارزان‌ترین سوخت متداول موجود است. علاوه بر این، قیمت ذغال از قیمت سوخت‌های دیگر ثابت‌تر است و قراردادهای درازمدت، با افزایش قیمت متعادل‌تر انجام می‌گیرد.

اما یک کارخانه با سوخت ذغال سنگ، سرمایه و هزینه‌های عملیاتی زیادی را متحمل می‌شود مانند دیگ یا کوره، هزینه سرمایه شامل انبار ساختن، تجهیزات استعمال ذغال، تسهیلات محو خاکستر و... .

هزینه‌های نگهداری نیز بنحو بارزی از هزینه‌های سوخت‌های فسیلی دیگر بالاتر است. مشکل رسیدن به احتراق پاک، بمعنی آن است که دیگ‌ها نیازمند پاکسازی بیشتر هستند. هم سوخت و هم خاکستر خیلی سخت و سایشی هستند، بنابراین میزان فرسایش دستگاه‌های استعمال ذغال و خاکستر نیز بالاست.

در معرض قرار دادن خاکستر به شیوه‌ای که از آلودگی اجتناب شود یک جز عملیاتی مهم محسوب می‌شود و در برخی مناطق کشور می‌تواند حرفه‌ای پر خرج باشد.

دماهای احتراق پایین، آلودگی ناشی از NO_x را محدود می‌سازد، اما SO_x رها شده از احتراق ذغال سنگ می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. ارزش گرمایی و جزء سولفور ذغال در هر منبعی متفاوت است. ذغال سنگ آفریقای جنوبی که به بازار صنعتی فروخته می‌شود دارای جزء سولفور کمی است و کمتراز نفت کوره سنگین، آلودگی ایجاد می‌کند.

۴-۵- انتخاب سوخت

انتخاب سوخت موضوعی ساده نیست. این امر در برگیرنده توازن بین تعدادی از عوامل، از جمله هزینه سرمایه کارخانه، قیمت سوخت و هزینه‌های عملیات و نگهداری است. ملاحظات دیگری نیز از قبیل تغییرات احتمالی آینده در سوخت و سیاست‌های قیمت‌گذاری و مقررات کنترل آلودگی باید در نظر گرفته شود.

جدول ۲-۳- مقادیر ارزش حرارتی برخی سوخت‌ها

سوخت	ارزش حرارتی بر حسب مگاژول در واحد مصرف سوخت
گاز	
گاز طبیعی	38 MJ / m^3
گاز مایع متراکم(پروپان)	50 MJ / kg
گاز مایع متراکم(بوتان)	۴۹/۳ MJ / kg
مایع	
گازوئیل	38 $MJ / liter$
مازوت	41 $MJ / liter$
جامد	
ذغال سنگ	۲۹ MJ / kg

جدول شماره (۲-۴) این مزایا و معایب را خلاصه می‌کند که می‌تواند برای هر سوخت برآورد و تبدیل به کمیت شود.

جدول ۲-۴- مقایسه سوخت‌های مختلف

ذغال سنگ		نفت کوره		گاز طبیعی		گاز مایع متراکم	
مزایا	معایب	مزایا	معایب	مزایا	معایب	مزایا	معایب
کم هزینه	نیاز به هزینه برای ذخیره‌سازی بهره‌برداری سوخت استفاده از خاکستر سوخت	ارزانتر از گاز	نیاز به هزینه برای منبع ذخیره عایق کاری سیستم تغذیه و نگهداری نفت کوره	کم قابل احتراق بدون سولفور		بدون سولفور	نیاز به هزینه برای منبع ذخیره
			هزینه‌های اجرایی برای منبع گرم کن سوخت نفت کوره		هزینه‌های اجرایی برای سوخت قابل استفاده برای تاسیسات کوچک استفاده از تعرفه‌های ارزانتر در سوخت دوم		هزینه‌های اجرایی برای هزینه سوخت
	هزینه‌های تعمیرات استهلاک حاصل از سوخت خاکستر تمیز کاری دیگ بخار		هزینه‌های تعمیرات تمیز کاری کوره، دیگ بخار متعلقها		هزینه‌های تعمیرات تجهیزات ایمنی		هزینه‌های تعمیرات تجهیزات ایمنی
	هزینه‌های زیست محیطی آلودگی دود آلودگی بخارها و ذرات معلق آلودگی سولفور آلودگی خاکستر معلق		هزینه‌های زیست محیطی آلودگی دود آلودگی سولفور مازوت(نفت کوره) —		هزینه‌های زیست محیطی —		هزینه‌های زیست محیطی —

۵- واکنش‌های سوخت و احتراق

۵-۱- سوخت‌های فسیلی

به طور کلی سوخت‌های فسیلی به سوخت‌هایی اطلاق می‌شود که به طور معمول شامل H_2 هیدروژن، C کربن، Sگوگرد باشند، این سوخت‌ها ممکن است شامل سایر ترکیبات از قبیل N_2 نیتروژن، آب H_2O و سایر مواد معدنی نیز باشند.

در هنگام سوختن یا احتراق، اکسیدهای کربن از قبیل CO یا منواکسیدکربن (در صورت ناقص‌سوزی و نبود اکسیژن کافی)، دی‌اکسیدکربن CO_2، بخار آب H_2O و ترکیبات اکسیدگوگرد (در صورت وجود گوگرد در سوخت مانند ذغال‌سنگ، مازوت و...) شامل SO_2 یا دی‌اکسید گوگرد تولید می‌شود.

همچنین در صورت بالا بودن دمای احتراق، نیتروژن موجود در هوا نیز با اکسیژن ترکیب و ترکیبات گازی اکسیدهای نیتروژن یا NO_x نیز تولید می‌شوند. از جمله این ترکیبات می‌توان به N_2O که در ترکیب با آب بصورت اسید نیتریک (HNO_3) است اشاره نمود.

اثر نور خورشید بر روی گازهای خروجی احتراق نیز اغلب باعث تولید سایر ترکیبات اکسید نیتروژن می‌شود که یک عمل فتوشیمیایی محسوب می‌گردد.

آب و رطوبت همراه سوخت نیز ترکیب دیگری است که با جذب حرارت به بخار تبدیل می‌شود و مقداری از انرژی را برای تبدیل مایع به بخار[1] به خود اختصاص می‌دهد.

سایر ترکیبات معدنی نیز بصورت خاکستر جزیی از محصولات احتراق هستند.

قسمت دیگر از ترکیبات و محصولات احتراقی نیز بصورت ذرات جامد به همراه دود خروجی از اگزوز خارج می‌شود، همچنین ممکن است قسمتی از خاکستر نیز بصورت ذرات معلق در محصولات گازی احتراق وجود داشته باشد.

۵-۲- انواع سوخت‌ها

سوخت‌های جامد[2]: انواع سوخت‌های جامد و ترکیبات مربوط در جدول شماره (۲-۵) نشان داده شده است.

جدول ۲-۵- ترکیبات سوخت‌های جامد معمول

ذغال سنگ	درصد کربن	درصد هیدروژن	درصد اکسیژن	درصد نیتروژن و سولفور	درصد دوده	درصد رطوبت
آنتراسیت	۹۰/۳	۳	۲/۳	۱/۴	۲/۸	1
بیتومینوس	۷۴	۴	۶	۲/۳	۲/۸	2-10
لیگنیت	۵۶/۵	۴	۶	۱/۴	۴/۵	بالای 15

سوخت‌های مایع[3]: کلیه سوخت‌های مایع، ناشی از محصولات بالایشی پالایشگاه‌ها جزو این نوع سوخت‌ها محسوب می‌شوند. از جمله این سوخت‌ها می‌توان به انواع پارافین‌ها (C_nH_{2n+2}) اشاره کرد.

جدول شماره (۲-۶) چند نوع از این سوخت‌ها به همراه ترکیبات مربوط را نشان می‌دهد.

---

1. Latent Heat
2. Solid Fuels
3. Liquid Fuels

جدول ۲-۶- ترکیبات انواع سوخت‌های مایع متداول

سوخت مایع	درصد کربن	عرصد هیدروژن	عرصد سولفور
بنزین موتور	۸۵/۵	۱۴/۴	۰/۱
روغن تبخیر شده	۸۶/۸	۱۲/۹	۰/۳
نفت سفید	۸۶/۳	۱۳/۶	۰/۱
گازوئیل	۸۶/۳	۱۲/۸	۰/۹
نفت کوره سبک	۸۶/۲	۱۲/۴	۱/۴
نفت کوره سنگین(مازوت)	۸۶/۱	۱۱/۸	۲/۱

سوخت‌های گازی[1]: به طور معمول این نوع سوخت‌ها دارای عملکردی آسان‌تر نسبت به سایر سوخت‌ها هستند. الفین‌ها و نفتاها (C_nH_{2n}) و ترکیبات اروماتیک (C_nH_{2n-6}) از جمله این ترکیبات‌اند.

جدول ۲-۷- ترکیبات انواع سوخت‌های گازی متداول

گاز	H_2	CO	CH_4	C_2H_4	C_4H_8	O_2	N_2	CO_2
گاز ذغال سنگ	۴۹/۴	۱۸	۲۰	-	۲	۰/۴	۶/۴	۴
گاز فرآوری شده	۱۲	۲۹	۲/۶	۰/۴	-	-	۵۲	۴
گاز کوره بلند	۲	۲۷	-	-	-	-	۶۰	۱۱

جدول شمارهٔ (۲-۷) بعضی از ترکیبات سوخت‌های گازی غیرمعمول را نشان می‌دهد. سوخت‌های گازی معمولی نیز در ذیل نشان داده شده‌اند.

هیدروژن	H_2
متان	CH_4
اتیلن	C_2H_4
اتان	C_2H_6
پروپان	C_3H_8
پروپلین	C_3H_6
ایزوبوتان	C_4H_{10}

این نوع سوخت‌ها اغلب در دماهای معمولی بصورت گازی هستند ولی در پالایشگاه‌ها و مخازن نگهداری بصورت مایع نگهداری می‌شوند. متان یا CH_4 معمول‌ترین سوخت گازی است که به گاز طبیعی معروف است.

1. Gaseous Fuels

۵-۳- واکنش‌های احتراق

عمل ترکیب شیمیایی سوخت‌ها با هوا یا اکسیژن را که گرمازا نیز است، احتراق می‌گویند.

در زیر وزن ملکولی اجزای سوخت‌های فسیلی نشان داده شده است.

O	۱۶
C	۱۲
N	۱۴
H	۱
S	۳۲

همچنین انواع وزن و حجم ترکیب اکسیژن با کربن در ذیل نشان داده شده است.

معادله	$C+O_2 \rightarrow CO_2$
مول‌ها	$1+1 \rightarrow 1$
اتم‌ها	$1+2 \rightarrow 3$
وزن مولکولی Kg	$12+32 \rightarrow 44$
Kg	$12+32 \rightarrow 44$
Kg	$1+2/67 \rightarrow 3/67$
m^3	$0+1 \rightarrow 1^*$

بنابراین هر کیلوگرم کربن به ۲/۶۷ کیلوگرم اکسیژن برای احتراق کامل نیاز دارد و در این حالت ۳/۶۷ کیلوگرم دی‌اکسیدکربن تولید می‌شود.

ترکیب هیدروژن با اکسیژن

نمونه‌ای دیگر از احتراق، واکنش هیدروژن با اکسیژن است. در ذیل معادله به همراه وزن‌های مولی و مولکولی و موازنه واکنش احتراق نشان داده شده است.

معادله	$2H_2+O_2 \rightarrow 2H_2O$
مول‌ها	$2+1 \rightarrow 2$
اتم‌ها	$4+2 \rightarrow 6$
وزن مولکولی Kg	$4+32 \rightarrow 36$
Kg	$4+32 \rightarrow 36$
Kg	$1+8 \rightarrow 9$
m^3	$2+1 \rightarrow 2$

بنابراین هر کیلوگرم هیدروژن به ۸ کیلوگرم اکسیژن برای احتراق کامل نیاز دارد و محصول احتراق نیز شامل ۹ کیلوگرم آب است.

واکنش متان با هوا (احتراق گاز طبیعی)

هوا شامل 21%(O_2) اکسیژن و 79% نیتروژن (N_2) است بنابراین برای احتراق کامل در حالت استوکیومتری (Stoichiometric=S.C):

$$CH_4 + 2(O_2 + (3/76\, N_2)) = CO_2 + 2H_2O + (2 \times 3/76)\, N_2$$

$$Kg \quad 16 + 64 + (7/52 \times 28) = 44 + 36 + (7/52 \times 28)$$

$$Kg \quad 1 + 4 + 13/16 = 2/75 + 2/25 + 13/16$$

$$Mols \quad 1 + 2 + 7/52 = 1 + 2 + 7/52$$

$$m^3 \quad 2 + 1 + 7/52 = 1 + 2 + 7/52$$

* بر اساس قانون آواگادرو[1] برای گازهای کامل، حجم دی‌اکسیدکربن تولید شده برابر است با حجم هوای تغذیه شده احتراق در همان فشار و دما.

بنابراین ۱ کیلوگرم متان به 17/16 (13/6+4) کیلوگرم هوا برای احتراق کامل نیاز دارد و 18/16 Kg محصولات احتراق شامل 2/75 kg گاز CO_2، 2/52 kg بخار آب و 13/16 kg نیتروژن دارد است و همچنین هرمترمکعب متان به 9/52 m^3 (2+7/52) هوا برای احتراق کامل در حالت (s.c) نیاز دارد.

آنالیز حجمی گازهای احتراق متان نیز بصورت زیر است:

	مول	
CO_2	1	%9/5
H_2O	2	%19
N_2	7/52	%71/5
جمع	10/52	%100

بنابراین اگر CO_2 اندازه‌گیری شده در محصولات یک احتراق گازی 9/5% باشد یک واکنش احتراق کامل در حالت استوکیومتری انجام پذیرفته است.

در اغلب اندازه‌گیری‌های گازهای خروجی احتراقی مقدار CO_2 مقدار واقعی نیست. واکنش بخار آب موجود در گازهای احتراقی و دی‌اکسیدکربن باعث ایجاد خطا در اندازه‌گیری‌های CO_2 می‌باشد و بصورت زیر است:

$$H_2O + CO_2 \rightleftarrows H_2CO_3$$

این واکنش مخرّب است و باعث خوردگی فلزات در مسیر می‌شود که برای جلوگیری از این امر به طور معمول از فلزات مقاوم در برابر خوردگی استفاده می‌شود.

همچنین واکنش بالا باعث نمایش مقدار غیرواقعی CO_2 در دستگاه اندازه‌گیری CO_2 می‌شود. لذا به طور معمول CO_2 موجود در گازهای احتراقی را از روش محاسباتی بدست می‌آورند نه از طریق اندازه‌گیری.

حال چنانچه بعنوان مثال بخار آب خروجی را بطور کامل تقطیر نموده و از گازهای احتراق خارج کنیم،

1- Avogadro

محاسبات بر اساس آنالیز خشک گازها صورت می‌پذیرد. آنالیز حجمی فوق بر مبنای خشک بصورت زیر خواهد بود:

مول		
CO_2	1	%11/7
H_2O	0	%0/0
N_2	7/52	%88/3

۵-۴- دمای شعله آدیاباتیک (بی‌دررو)- (دما پس از احتراق)

حرارت تشکیل[1]: حرارتی است که جسم بر اثر واکنش مواد تشکیل دهنده آزاد و یا جذب می‌کند. لذا با توجه به این تعریف، حرارت آزاد شده احتراق، از مجموع حرارت‌های تشکیل محصولات احتراق، منهای حرارت تشکیل مواد اولیه (متان، اکسیژن و نیتروژن) بدست می‌آید.

جدول شماره (۲-۸) نمونه‌ای از استاندارد حرارت تشکیل چند ماده را نشان می‌دهد.

بنابراین:

جدول ۲-۸- حرارت استاندارد تشکیل چند ماده

ماده	حرارت $kjmol^{-1}$	جرم مولی gram	انرژی حرارتی $MJkg^{-1}$
O_2, N_2, etc	.		.
H_2O بخار	241/8	18	13/43
H_2O مایع	285.7	18	15/87
CO_2	393/8	44	8/95
CO	110. /6	28	3/95
CH_4	74/9	16	4/68
نفت سفید	25/4	14	1/81

1- Heat of formation

حرارت آزاد شدهٔ احتراق =

مجموع حرارت‌های تشکیل محصولات احتراق - مجموع حرارت‌های تشکیل مواد اولیه

بنابراین:

$=CO_2$	$1\,mol$	393.8	KJ
$+H_2O$	$2\,mol$	2×241.8	KJ
$+H_2$	$7.52\,mol$	7.52×0.0	KJ
مجموع	$9.52\,mol$	877.4	KJ
$-CH_4$	$1\,mol$	74.9	KJ
$-O_2$	$2\,mol$	2×0	KJ
$-N_2$	$7.52\,mol$	7.52×0	KJ
مجموع	$10.52\,mol$	74.9	KJ

بنابراین مجموع حرارت آزاد شده از احتراق بر حسب مول متان برابراست با

$$877.4 - 74/9 = 802\ /5\ KJ$$

یک مول از هر ماده برابر است با M گرم از همان ماده که M را وزن ملکولی آن ماده می‌گویند. برای مثال ۱ مول متان برابر با $16\,gr$ است لذا از احتراق 16 گرم متان 802/5 کیلوژول انرژی آزاد می‌شود.

و همچنین از احتراق هر کیلوگرم متان 50156/25 Kj انرژی آزاد می‌گردد. به این مقدار انرژی ارزش حرارتی خالص[1] متان گفته می‌شود.

به این ارزش حرارتی، ارزش حرارتی پایین[2] نیز گفته می‌شود که در آن H_2O بصورت بخار آب در محصولات احتراق ظاهر می‌شود.

چنانچه حرارت نهان تبخیر آب[3] که معادل $2.5\,MJ/kg$ است و صرف تبخیر آب شده است به مقدار فوق اضافه کنیم مقدار ارزش حرارتی بالا[4] یا ارزش حرارتی ناخالص[5] بدست می‌آید. مفهوم بالا به این معنی است که آب را در محصولات احتراق بصورت مایع در نظر بگیریم نه بصورت بخار.

در احتراق متان دو مول یا $36\,gr$ از آب بصورت بخار در محصولات احتراق نشان داده شده است. (یا $2/25\,kg$ آب به ازای هر کیلوگرم متان). بنابراین آب تبخیر شده مقدار $5/625\ MJ$ انرژی را به خود اختصاص داده است که این مقدار انرژی از احتراق سوخت، جذب آب شده است. با احتساب این مقدار برای محاسبه ارزش حرارتی بالای متان، ارزش حرارتی ناخالص متان برابر است با:

---

1. Net Calorific value
2. Lower Heating Value
3. Latent Heat
4. Higher Heating Value
5. Gross Heating Value

$50/156\ MJ/kg + 5/625\ MJ/kg = 55/78\ j\ 1\ MJ/kg$ یا $(892.5\ KJ/mol)$

که در مقابل ارزش حرارتی خالص متان KJ/mol 90 اختلاف وجود دارد.

$892\ /5\ KJ/mol - 802\ KJ/mol = 90\ KJ/mol$

جدول شماره (۲-۹) مقادیر ارزش حرارتی پایین چند نوع سوخت را نشان می‌دهد.

جدول ۲-۹- مقادیر ارزش حرارتی پایین چند نوع سوخت

سوخت	ارزش حرارتی (Mj/kg)	نام شیمیایی	وزن مولکولی	حرارت (Mj/mol)
گاز هیدروژن	۱۲۰	H_2O	۲	۲۴۰
هیدروژن مایع	۹۲	H_2O	۲	۱۸۶
متان	۵۰	CH_4	۱۶	۸۰۰
هپتان	۴۸	C_7H_{16}	۱۰۰	۴۸۰۰
پروپان	۴۶	C_3H_8	۴۴	۲۰۲۴
نفت کوره	۴۴/۷	–	–	–
بنزین	۴۴	–	–	–
کربن	۳۲/۶	C	۱۲	۳۹۱
زغال سنگ	۲۸/۳	-	-	-
متانول	۱۵	–	-	-

همچنین در جدول شماره (۲-۱۰) آنتالپی محصولات احتراق در دمای بالاتر از $25^\circ C$ بر حسب J/mol نشان داده شده است.

جدول ۲-۱۰- آنتالپی محصولات احتراق در دمای بالاتر از $25^\circ C$ (J/mol)

آنتالپی محصولات احتراق (دما بالاتر از ۲۹۸,۱۵ کلوین و برحسب ژول بر مول)					
محصولات احتراق	O_2	N_2	CO_2	H_2O (بخار)	CO
(بر حسب کلوین) دما / جرم مولی(گرم)	۳۲	۲۸	۴۴	۱۸	۲۸
۳۰۰	۵۴	۵۴	۶۲	۶۳	۵۴
۴۰۰	۳۰۲۹	۲۹۷۱	۴۰۰۸	۳۳۵۲	۲۹۷۵
۶۰۰	۹۲۵۴	۸۹۰۱	۱۲۹۱۶	۱۰۵۰۵	۸۹۴۷
۸۰۰	۱۵۸۳۷	۱۵۰۶۰	۲۲۸۲۲	۱۸۰۰۷	۱۵۱۸۵
۱۰۰۰	۲۲۷۲۱	۲۱۴۷۸	۳۲۲۱۹	۲۶۰۰۲	۲۱۷۰۰
۱۲۰۰	۲۹۷۸۹	۲۸۱۳۱	۴۲۵۰۶	۳۴۵۱۲	۲۸۳۲۵
۱۴۰۰	۳۶۹۶۰	۳۴۹۶۰	۵۵۹۳۶	۴۳۵۰۱	۳۵۳۶۲
۱۶۰۰	۴۴۳۰۹	۴۱۹۳۱	۶۷۶۱۷	۵۴۹۲۵	۴۲۲۰۸
۱۸۰۰	۵۱۷۲۳	۴۹۰۱۱	۷۹۲۸۶	۶۴۷۲۲	۴۹۹۵۱
۲۰۰۰	۵۹۲۳۹	۵۶۱۲۰	۹۱۵۰۳	۷۴۸۲۶	۵۶۶۹۹
۲۲۰۰	۶۶۸۶۶	۶۳۳۹۷	۱۰۳۶۲۷	۸۳۳۲۶	۶۴۰۵۴
۲۴۰۰	۷۴۵۴۲	۷۰۶۸۲	۱۱۵۸۴۹	۹۳۸۸۵	۷۱۳۸۱
۲۶۰۰	۸۲۳۲۹	۷۸۰۰۰	۱۲۸۱۲۱	۱۰۴۲۲۹	۷۸۷۲۵
۲۸۰۰	۹۰۲۰۵	۸۶۳۶۵	۱۴۰۵۰۱	۱۱۵۷۵۲	۸۶۱۲۸
۳۰۰۰	۹۸۱۶۲	۹۲۷۵۲	۱۵۲۹۱۲	۱۲۶۴۳۱	۹۳۵۷۵

جدول شماره (۲-۱۱) نیز همین مقادیر را بر حسب MJ/kg در دماهای بالاتر از $25^{\circ}C$ نشان می‌دهد.

جدول ۲-۱۱- مقادیر آنتالپی محصولات احتراق بالاتر از $25^{\circ}C$ (Mj/kg)

آنتالپی محصولات احتراق (دما بالاتر از ۲۹۸.۱۵ کلوین و برحسب میکرومول بر کیلوگرم)					
محصولات احتراق	O_2	N_2	CO_2	H_2O (بخار)	CO
(بر حسب کلوین) دما / جرم مولی (گرم)	۳۲	۲۸	۴۴	۱۸	۲۸
۳۰۰	۰/۰۰۱۶۹	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۳۵	۰/۰۰۱۶
۴۰۰	۰/۰۹۵	۰/۱۰۴	۰/۰۹۱۱	۰/۱۹۴	۰/۱۰۶
۶۰۰	۰/۲۸۹۱۲۵	۰/۳۱۷۸۹۲۹	-۰/۲۹۳۵۴۵۵	۰/۵۸۳۶۱۱۱	۰/۳۱۹۵۳۵۷
۸۰۰	۰/۴۹۵۲۱۸۸	۰/۵۴۴۸۵۷۱	۰/۵۱۸۶۸۱۸	۱/۰۰۰۴۸۹	۰/۵۴۲۲۲۱۴
۱۰۰۰	۰/۷۱۰۰۳۱۳	۰/۷۹۷۰۷۱۴	-۰/۷۵۹۵۴۲۷	۱/۲۲۲۶۶۷	۰/۷۷۵
۱۲۰۰	۰/۹۳۰۹۰۶۳	۱/۰۰۲۸۷۹	۱/۰۱۱۵	۱/۴۱۷۲۲۲	۱/۰۱۵۸۹۳
۱۴۰۰	۱/۱۵۵۹۳۸	۱/۲۲۸۵۷۱	۱/۲۷۱۲۷۳	۲/۴۱۶۲۲۲	۱/۲۶۲۹۲۹
۱۶۰۰	۱/۳۸۲۶۵۶	۱/۴۹۷۵۲۶	۱/۵۲۶۲۵	۲/۹۲۰۲۲۸	۱/۵۱۲۵۷۱
۱۸۰۰	۱/۶۱۶۲۲۲	۱/۷۵۰۲۱۳	۱/۸۰۶۵	۳/۴۸۲۵۵۶	۱/۷۸۳۹۶۳
۲۰۰۰	۱/۸۵۱۲۱۶	۲/۰۰۶۰۷۱	۲/۰۲۹۶۱۲	۴/۰۲۲	۲/۰۲۲۶۳
۲۲۰۰	۲/۰۸۸۹۳۸	۲/۲۶۲۱۷۹	۲/۲۵۵۱۵۹	۴/۵۴۲۷۸	۲/۲۸۷۹۲۳
۲۴۰۰	۲/۳۲۹۲۲۸	۲/۵۲۲۵۷	۲/۴۲۹۲۲۳	۵/۱۱۵۸۲۲	۲/۵۲۹۲۲۱
۲۶۰۰	۲/۵۷۲۷۸۱	۲/۷۸۵۷۱۲	۲/۹۱۲۲۹۵	۵/۸۱۸۲۷۸	۲/۸۱۲۲۲۱
۲۸۰۰	۲/۸۱۸۹۰۶	۳/۰۸۲۲۶۲	۳/۱۲۲۲۰۵	۶/۲۲۰۶۶۲	۳/۰۷۶۷۱۲
۳۰۰۰	۳/۰۶۷۶۲۵	۳/۳۱۲۶۲۲	۳/۲۷۵۲۱۸	۷/۰۵۱۷۷۲	۳/۳۲۱۶۶۲

۵-۵- معادلات محاسبات احتراق

۱- معادلات سوخت‌های جامد و مایع

پارامترها:

C: جزء وزنی کربن (سوخت Kg/kg)

H: جزء وزنی هیدروژن (سوخت Kg/kg)

O: جزء وزنی اکسیژن (سوخت Kg/kg)

S: جزء وزنی گوگرد (سوخت Kg/kg)

W: جزء وزنی آب (سوخت Kg/kg)

N: جزء وزنی نیتروژن (سوخت Kg/kg)

الف: حجم هوای تئوری (A_0)

$$A_0 = 8/89\,C + 26/7\,(H - 0/8) + 3/335\,(Nm^3/kg)$$

ب: حجم تئوری گازهای احتراقی بر پایه مرطوب (G_0)

$$G_0 = (1-0/21)\,A_0 + 1.875 + 11/2h + 0/7s + 1.244\,W + 0/8 (Nm^3/kg))$$

ج: حجم تئوری گازهای احتراق برپایه خشک (G_0')

$$G_0' = G_0 - (11/2H) + (1.22244\ \ W)\,(Nm^3/kg)$$

د: نسبت هوا[1] (نسبت هوای واقعی به هوای تئوری) (m)

آنالیز داده‌ها براساس خشک و درصد حجمی می‌باشد: (CO) و (O_2) و (N_2)

$$m = \frac{(N_2)}{(N_2) - 3/76[(O_2) - 0/5(CO)]}$$

در این حالت H (جزء آب) ناچیز، جزء نیتروژن در حالت خشک و معادل با جزء هوا در نظر گرفته می‌شود. همچنین با فرض اینکه N_2 در گازهای احتراق 0.79 و CO برابر صفر باشد معادله بالا ساده می‌شود و بصورت زیر است:

$$m = \frac{0/21}{(0/21) - (O_2)}$$

و: حجم واقعی هوای احتراق (A)

$$A = mA_0 \qquad (Nm^3/kg)$$

ز: حجم واقعی گاز احتراقی بر پایه مرطوب (G)

$$G = G_0 + (m-1)\,A_0 \qquad (Nm^3/kg)$$

ح: حجم واقعی گاز احتراقی بر پایه خشک (G')

$$G' = G_0' + (m+1)\,A_0 \qquad (Nm^3/kg)$$

ط: ارزش حرارتی ناخالص سوخت (H_h)

$$H_h = 8100\ \ C + 3400\ (H - 0.8) + 2500\ \ S\,(Kcal/kg)$$

که ضرایب بالا به ترتیب ارزش‌های حرارتی کربن، هیدروژن و گوگرد است

ی: ارزش حرارتی خالص سوخت (H_L)

$$H_L = 8100\ \ C + 28600\ \ H + 4250\ O + 2500\ \ S - 600\,W \qquad (Kcal/kg)$$

$$H_L = H_h - 600\ (9H + W) \qquad (Kcal/kg)$$

1. Air Ratio

معادلات برای سوخت‌های گازی از قبیل:

اتان: C_2H_6	متان: CH_4	منواکسیدکربن: CO	هیدروژن: H_2
اتیلن: C_2H_4	اکسیژن: O_2	بوتان: C_4H_{10}	پروپان: C_3H_8
نیتروژن: N_2	دی‌اکسیدکربن: CO_2		

الف: حجم هوای تئوری (سوخت Nm^3/Nm^3)

$$A_0 = \frac{1}{0/21}(0/5H_2 + 0/5CO + 2CH_4 + 3/5C_2H_6 + 3C_2H_4 + 5C_3H_8 + 6/5C_4H_{10} - O_2)$$

سوخت (Nm^3/Nm^3)

ب: حجم تئوری گاز احتراقی بر پایه مرطوب (G_0)

$$C_0 = 1 + A_0 - 0/5(H_2 + CO + C_2H_6 - 2C_3H_8 - 2C_4H_{10}) \quad (Nm^3/Nm^3 \text{ سوخت})$$

ج: نسبت هوا[1] (m)

$$m = 1 + \frac{[(O_2) - 0/5(CO)]G'}{0/21\,A_0}$$

د: حجم واقعی هوای احتراقی (A)

$$A = mA_0 \quad [Nm^3/Nm^3 \text{ سوخت}]$$

ه: حجم واقعی گاز احتراقی بر پایه مرطوب (G)

$$G = G_0 + (m-1)A_0 \quad [Nm^3/Nm^3 \text{ سوخت}]$$

و: حجم واقعی گاز احتراقی بر پایه خشک

$$G' = G' + (m+1)A_0 \quad [Nm^3/Nm^3 \text{ سوخت}]$$

ز: ارزش حرارتی ناخالص (H_h)

$$H_h = 3020\,CO + 3050\,H_2 + 9520\,CH_4 + 16820\,C_2H_6 + 15270\,C_2H_4 + 22370\,C_3H_8 + 32010\,C_4H_{10} \quad [Kcal/Nm^3 \text{ سوخت}]$$

ح: ارزش حرارتی خالص (H_l)

$$H_l = H_h - 480\,(H_2 + 2CH_4 + 3C_2H_6 + 2C_2H_4 + 4C_3H_8 + 5C_4H_{10}) \quad [Kcal/Nm^3]$$

1. Air Ratio

۶- تجهیزات احتراق: مشعل‌های نفت و گاز

به منظور تضمین اختلاط صحیح سوخت با هوای احتراق و شکل‌گیری صحیح شعله برای انتقال حداکثر گرما از شعله به آب/ بخار یا محصول گرم شده،از تجهیزات خاصی استفاده می‌شود. نوع تجهیزات، بستگی به شرایط کوره/ دیگ و سوخت یا سوخت‌های مورد نظر دارد. (دیگ‌ها و کوره‌ها را می‌توان برای سوزاندن بیش از یک سوخت ساخت).

۶-۱- مشعل‌های گازسوز

غیر از تجهیزات ایمنی، طراحی مشعل‌های گازسوز ضرورتاً ساده است. در دیگ‌های کوچک از یک مشعل اتمسفری ساده استفاده می‌کنند که هوای احتراق را از محیط اطراقش مکش می‌کنند. برای دستیابی به احتراق کامل چون هوا و گاز با فشار مخلوط نمی‌شوند، وجود هوای اضافی لازم است. هوای اضافی گرم شده و پس از احتراق از راه دودکش خارج می‌شود ودر نتیجه کارایی دیگ کاهش می‌یابد.

دیگی بزرگتر با محفظه احتراق به طور کامل بسته نیاز به مشعلی دارد که موجب مخلوط شدن هوا و گاز شده و از آن جا طول و شکل شعله را کنترل کند، همچنین با به حداکثررساندن کارایی احتراق کیفیت هوای احتراق نیز بدقت کنترل می‌شود.

۶-۲- مشعل‌های سوخت مایع

مشعل‌های نفت سوز پیچیده‌ترند زیرا سوخت باید در شرایط صحیح برای احتراق پاک و سریع موجود باشد. این امر متضمن پودر کردن سوخت به شکل قطرات کوچک با اندازه صحیح است و در صورتی می‌تواند انجام شود که نفت در دمای صحیح و گرانروی صحیح باشد. در محدوده دماهای پایین، قطرات خیلی بزرگند، احتراق ضعیف است و دود و دوده تولید می‌کند. در محدوده دماهای بالا، قطرات می‌توانند خیلی کوچک باشند و از میان شعله برای سوختن بسرعت بگذرند. در هیچ مورد، مقدار انرژی کامل سوخت استفاده نمی‌شود. علاوه بر این، سطوح انتقال حرارت نیز جرم و دوده می‌گیرند.

مشعل‌های نفت سوز در سه نوع عمده هستند. ساده‌ترین و مرسوم‌ترین آن جت فشاری[1] است که در آن سوخت با فشار از طریق یک شیپوره (نازل) پاشیده می‌شود. نوع دیگرمشعل اتمایز[2] و پاشش با هوا یا بخار که هوا یا بخار با فشار برای پودر کردن سوخت و تبدیل آن به قطرات استفاده می‌شود و نوع سوم مشعل روتاری کاپ[3] می‌باشد که از نیروی گریز از مرکز برای شکستن ماده سوختی استفاده می‌کنند. هر نوع مشعل مزایا و معایب خودش را دارد. که در زیر به آنها اشاره می‌کنیم:

1. Pressure jet
2. Atomization
3. Rotary Cup

مشعل جت فشاری

مزایا:

- در ساخت خیلی ساده است و جایگزینی آن ارزان است.
- در اندازه‌های متنوع، موجود و کاربرد گسترده‌ای دارد.
- می‌تواند اشکال شعله‌ها را از بلند و باریک تا کوتاه و پهن تولید کند. بنابراین مناسب انواع محفظه‌های دیگ یا احتراق کوره است.

معایب:

- مسدود شدن نازل بعلت سوخت کثیف یا استفاده از سوخت ناخالص است و لذا سوخت نیاز به تصفیه دارد.
- نسبت جریان برگشتی به جریان تزریقی محدود به ۱:۲ است.
- طی پاک کردن بسادگی آسیب می‌بیند.
- به دمای بالایی برای گرمایش اولیه سوخت جهت پودر کردن آن نیاز دارد.

مشعل اتمایزر و پاشش با هوا یا بخار

مزایا:

- نسبت جریان برگشتی حدود ۱:۴ است.
- کنترل خوب نسبت هوا ۳۰ سوخت
- احتراق خوب برای نفت کوره سنگین‌تر

معایب:

- برای پودر کردن سوخت بصورت هوای فشرده یا بخار، انرژی مصرف می‌شود.

مشعل روتاری کاپ (مشعل کلاهک‌دار چرخان)

مزایا:

- نسبت جریان برگشتی خوب و حدود ۱:۴
- در سوخت‌های سنگین، پودر کردن (به صورت قطره‌های ریز در آوردن) بخوبی انجام می‌شود.
- پودر کردن سوخت با محدوده دماهای پایین امکان‌پذیر است.

معایب:

- بسیار پیچیده و نگهداری آن هزینه براست.
- برای بحرکت در آوردن کلاهک مشعل[1]، انرژی الکتریکی مصرف می‌شود.

بیشتر کشورها برای تولید مشعل‌های نفت سوز و گاز سوز، قانون استانداردهای ایمنی و انتشار آلاینده‌ها را رعایت می‌کنند.

1- Cup

مشعل‌های با هوای اضافی کم

گاز طبیعی استاندارد و مشعل‌های نفت سوز با ۱۰ تا ۱۵ درصد هوای اضافی در ظرفیت کامل و مقادیر بالاتر در ظرفیت‌های کمتر عمل می‌کنند.

مشعل‌های باهوای اضافی کم، امکان عمل در ۲ تا ۵ درصد هوای اضافه را می‌دهند. کاهش هوای اضافی از ۱۵ تا ۵ درصد، تقریبا باعث کاهش هزینه‌های سوخت تا ۱ درصد می‌شود. این صرفه‌جویی‌ها از وجود هزینه‌ای بالاتر بقرار ذیل ناشی می‌شود.

- طراحی بهترشیپورهای(نازل‌های) هوا، دریچه‌های هوا، مشعل که به اختلاط و احتراق بهتری دست می‌یابند.
- دریچه‌های هوای مشعل با تنظیم شعله متعادل می‌شوند، تا احتراق بهتری را در بار زیر ۱۰۰ درصد فراهم می‌آورند.

۶-۳- سیستم‌های مختلف کنترل مشعل

در ارتباط با انتخاب نوع مشعل، ملاحظاتی برای سیستم کنترل، مورد توجه است. ساده‌ترین کنترل (on/off) بمعنی آن است که یا مشعل به میزان کامل در حال آتش است یا این که خاموش است. عیب عمده این روش کنترل، این است که دیگ در معرض شوک‌های بزرگ و اغلب مکرر قرار می‌گیرد. بنابراین استفاده از این روش محدود به دیگ‌های کوچک یا تا محدوده ۳۰۰ کیلووات است.

سیستم اندکی پیچیده‌تر مستقیم High/Low/off است که در آنها مشعل دارای دو است. مشعل ابتدا در درجه آتش پایین‌تر عمل می‌کند و بعد با بار کامل مورد نیاز تغییر وضعیت می‌دهد و از آن طریق بر شوک‌های زیاد گرمایی غلبه می‌کند. این نوع مشعل‌ها همچنین می‌توانند به وضعیت شعله کم در بارهای کاهش یافته برگردند و به طور مجدد حرارت را در داخل دیگ محدود سازد. این سیستم بنحو برجسته‌ای با دیگ‌های دارای خروجی تا ۳/۵ مگاوات طراحی شده است.

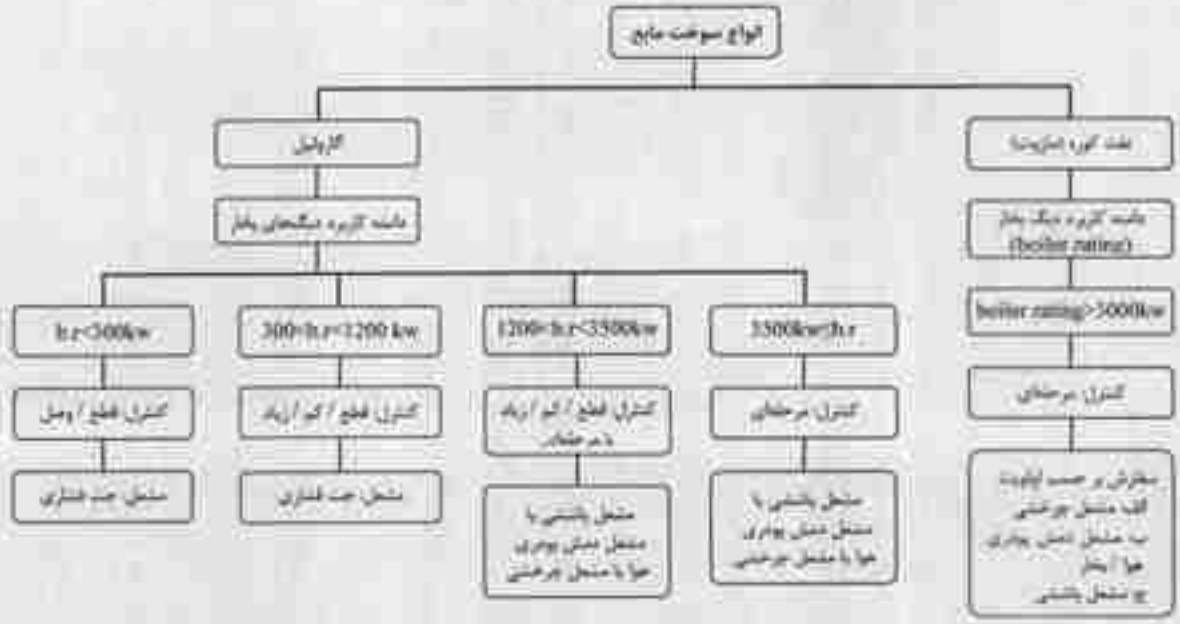
یک کنترل کننده تنظیم مشعل، شعله را تغییر می‌دهد تا آن را متناسب با بار دیگ تنظیم نماید. زمانی که مشعل بسته می‌شود و شروع بکار می‌کند، سیستم باید با دمیدن هوای سرد بداخل کانال‌های دیگ پاک شود. این کار انرژی را تلف می‌کند و کارآیی را کاهش می‌دهد. اما تعدیل کامل به معنی آن است که دیگ شعله را حفظ می‌کند و سوخت و هوا بدقت در سراسر شعله همگام شده‌اند تا کارایی گرمایی را به حداکثر و شوک‌های حرارتی را به حداقل برسانند. این نوع کنترل به صورت برجسته‌ای می‌تواند با دیگ‌های بالای یک مگاوات طراحی شوند.

در تطبیق یک مشعل و یک سیستم کنترل با یک دیگ، سه عامل باید ملاحظه شود:

- پیشینه (ماکزیمم) حرارت مورد نیاز
- تعیین نوع بار(ثابت یا متغیر)
- ازنوع سوخت انتخاب شده و مورد استفاده

مثلاً یک کنترل(قطع/ وصل)[1] مناسب نفت کوره سنگین نیست.

انتخاب‌های اساسی بموازاتی که به مشعل‌های نفت سوز ارتباط می‌یابند در شکل (۲-۱۰) خلاصه شده است. همیشه مقداری اختلاف بین انواع مشعل و انواع سیستم کنترل وجود دارد. اما ترکیب‌ها ترجیحی ترسیم شده‌اند.



شکل ۲-۱۰- انتخاب نوع سوخت با کوره و مشعل‌ها و کنترل‌های توصیه شده (منبع: **ETSU**)

۶-۴- تجهیزات احتراق: احتراق سوخت جامد

بدلیل اینکه کربن به نسبت آرام می‌سوزد و ذغال به محفظه احتراق بزرگی احتیاج دارد تا موجب احتراق کامل شود، اشکال متعدد سوخت ریز برای انتقال سوخت به محفظه احتراق طراحی شده است.

ذغال معدن یا شسته شده می‌تواند خواص احتراق متفاوتی داشته باشد. علاوه بر این، ذغال‌هایی که از معادنی یکسان برای مدتی طولانی انبار شده‌اند از ذغال‌های جدید متفاوت‌ترند. در نتیجه سیستم احتراق دیگ، باید به طورمنظم برای به حداکثر رساندن تبدیل انرژی تنظیم شود. در بخش ذیل، تنها آن نوع از سوخت ریزها که مناسب یک دیگ با بازده ۱/۵ مگاوات و بالاتر باشند ملاحظه می‌شوند.

پایین‌تر از این سطح، انتخاب محدودی وجود دارد. هر دیگ دارای شکل خاصی سوخت ریز می‌باشد. بطور معمول سه نوع سیستم اساسی برای دیگ‌های بزرگ استفاده می‌شود. دو مورد از آنها دارای طرحی سنتی و یک مورد نسبتاً مدرن است.

سوخت ریزها

سوخت‌ریزها وسایلی مکانیکی هستند که سوخت جامد را در ته بستر محفظه احتراق می‌ریزند تا احتراق

1- on/off

صورت گیرد. آنها برای تغذیه سوخت مستمر یا منقطع، احتراق سوخت، تأمین کافی هوای احتراق، رهایی محصولات گازی و تخلیه خاکستر طراحی شده‌اند. سوخت ریزها بر اساس حالتی که در آن، سوخت مورد نظر به بستر می‌رسد طبقه‌بندی می‌شوند. در سوخت‌ریز جامد، بیشتر از معیار (مقدار تئوری) سوخت وارد منطقه احتراق می‌شود که در جهت مخالف جریان هواست.

سوخت‌ریز زنجیری[1]

سال‌ها بطور وسیعی، سوخت ریز زنجیری مرسوم‌ترین روش سوخت(ذغال سنگ)رسانی در دیگ‌های با اندازه متوسط صنعتی و دیگ‌های تجاری بوده است که هم خرید و هم عمل و نگهداری آن گران است. برای کاهش هزینه‌های تجهیزات عملیات، تولیدکنندگان در حال تحقیق و تجربه بودند تا یک سیستم کاملاً خودکار را طراحی کنند که نیازی به دخالت از سوی اپراتورها نداشته باشد.

این نوع سوخت‌ریزها فقط با استفاده از انواع مشخص و کیفیت‌های معین ذغال سنگ بصورت مؤثر عمل می‌کنند. ذغال سنگ باید از نظر اندازه یکسان باشد چون کلوخه‌های بزرگ بطور کامل در زمانی که به فضای داخل می‌رسد نمی‌سوزند. علاوه بر این قطعات کوچک ریز ممکن است گذرگاه هوا را در قفسه مسدود سازد و امکان این که هوای احتراق به ذغال سنگ برسد دشوارتر می‌گردد. قفسه همچنین بر یک لایه خاکستر در بالای آن برای محافظت از حداکثر دمای سوخت ذغال سنگ تکیه می‌کند بنابراین استفاده از ذغال سنگ با مقدار خاکستر خیلی پایین باعث آسیب رساندن سریع به قفسه می‌شود.

سوخت‌ریز پاششی[2]

سوخت‌ریز پاششی یک سیستم سوخت ریز مکانیکی اصلی است که عرضه شده است. اصل کار بر آن است که زغال سنگ تازه را بر روی یک بستر آتش در حال سوخت، پخش می‌کند.

بسیاری از واحدهای این نوع با سیستم‌های کنترل بسیار مشابه دیگ‌های گازسوز یا نفت‌سوز تولید شده‌اند. نرخ(آهنگ) تغذیه سوخت و هوای احتراق بصورت موازی تنظیم می‌شوند تا یک نسبت برآیند ۱:۳ را تأمین نمایند.

این نوع سوخت ریز مانند سوخت ریز قفسه زنجیره‌ای با توجه به اندازه سوخت انتخاب می‌شود. ذرات ذغال سنگ بوسیله هوای احتراق و گازهای حاصله از احتراق جمع‌آوری و بوسیله دیگ حمل می‌شود. این کار باعث فرسایش قابل توجهی در داخل دیگ شده و موجب انتشار بالای تلفات از دودکش می‌شود.

احتراق بستر سیال

احتراق بستر سیال، جدیدترین فناوری سوخت ذغال سنگ است که در آن سوخت بداخل یک بستر داغ محرک هوا تغذیه می‌شود. این سیستم دارای دو مزیت است:

1- The Chain Grate Stoker
2- Sprinkler Stoker

۱- از نظر کمیت، سوخت کمتری مصرف می‌شود و دغال بسیارکمی را با خاکستر بالا (حتی با ضایعات صنعتی و تجارتی) می‌سوزاند.

۲- به علت پایین بودن دما امکان استفاده از مواد ارزانتر فراهم می‌شود.

اما این فناوری همچنان جدید است و دربعضی کشورها در مرحله تجربی است.

۷- تجهیزات صرفه‌جویی انرژی حرارتی

در ذیل تعریف مختصری از تیارهای مشترک مورد استفاده برای صرفه‌جویی انرژی در دیگها و کوره‌ها آورده شده است. در برخی موارد، در زیربخش‌های صرفه‌جویی انرژی دیگها یا کوره‌ها بحث می‌شود.

۷-۱- مبادله کن‌های بازیافت گازهای احتراقی

چون بیشتر تلفات از یک کوره در گازهای خروجی ظاهر می‌شود بازیافت این گرما می‌تواند باعث صرفه‌جویی اساسی درمصرف انرژی شود. یک روش متداول‌نصب یک مبادله کن در محل خروجی کوره است. آهنگ انتقال حرارت با ضریب عمومی انتقال گرما، مساحت سطح مبادله‌کن و اختلاف دمای بین گازهای خروجی و ورودی متناسب است.

$$Q = U \times A.\Delta T_m \times 3/6$$

$Q = Kj/h$ میزان(آهنگ) انتقال حرارت

$U =$ ضریب عمومی انتقال حرارت $(W/m^2{}^\circ C)$

$A =$ سطح انتقال حرارت (m^2)

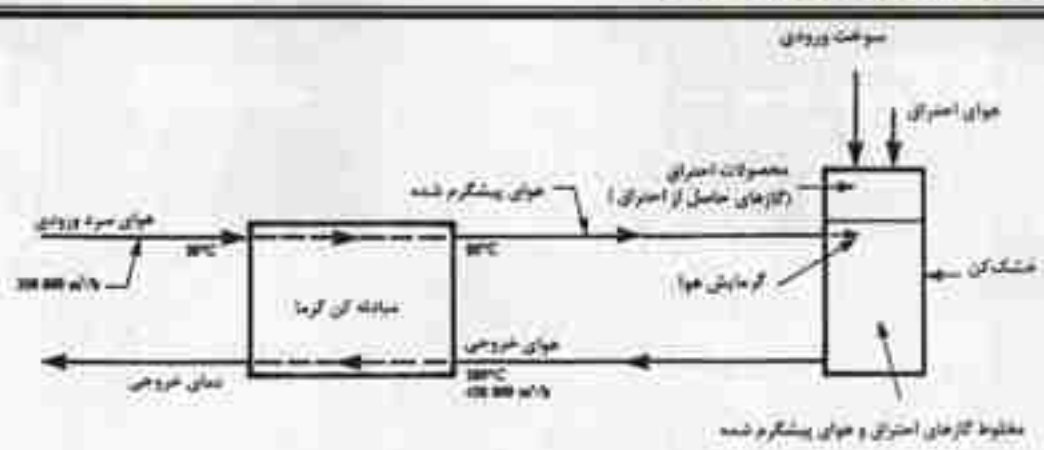
$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \qquad \Delta T_m = LMTD$$ (LMTD یعنی اختلاف دمای متوسط لگاریتمی)

$\Delta T_1 = {}^\circ C$ اختلاف دمای بالای گاز خروجی کوره با آب گرم شده یا هوا

$\Delta T_2 = {}^\circ C$ اختلاف دمای پایین گاز خروجی کوره با آب یا هوا

ضریب تبدیل= 3,6

یک مبادله کن حرارتی می‌تواند برای گرم کردن آب یا گرمای حاصله از گازهای کوره مورد استفاده قرار گیرد. یک ملاحظه طراحی مهم این است که تا چه میزان دمای آب گرم شده باید نزدیک به دمای گاز داغ ورودی به مبادله‌کن باشد. امکان گرم کردن مایع به دمایی بالاتر از دمای گاز داغ خروجی وجود ندارد. اختلاف دمای کم بین این دو، سطح تبادل زیادی را نیاز دارد. این امر در مثال زیرداده شده است.



شکل ۲-۱۱- دمای پیش‌گرمکن‌هوا

مثال صرفه‌جویی

قرار است مبادله کنی به یک خشک کن اضافه شود که مقدار m^3/h 450000 گازهای حاصل از احتراق را با دمای $100\ ^{\circ}C$ خارج می‌کند. گازهای خروجی برای گرم کردن m^3/h 350000 هوای وارده از دمای محیط $10\ ^{\circ}C$ به دمای $85\ ^{\circ}C$ بکار ببرند که به اندازه $15\ ^{\circ}C$ با دمای محصولات احتراق (خروجی دودکش) اختلاف دارد. شکل زیر طرح مبادله کن با ضریب عمومی انتقال گرمایی که توسط تولید کننده معادل $28\ W/m^2{}^{\circ}C$ داده، تعریف شده است. گرمای داده بوسیله محصولات احترق تخلیه شده معادل گرمای حاصله از هوای وارده است. زیرا تلفات حرارتی مهمی در مبادله‌کن وجود ندارد.(یعنی مبادله کن با بازده صد در صد کار می‌کند)

چگالی هوا در این شرایط $1/204\ kg/m^3$ و گرمای ویژه آن $1/006\ kj/kg^{\circ}C$ است. مساحت سطح مبادله کن مورد نیاز را می‌توان بقرار ذیل محاسبه کرد.

حرارت دریافتی توسط هوای $Q_c = V\,(m^3/h)\times D\,(Kg/m^3)\times C_p\,(KJ/kg.^{\circ}C)\times \Delta T(^{\circ}C)$

سرد

$$= 350000 \times 1/204 \times 1/006 \times (85-10) = 31/79\times 10^6\ KJ/h$$

تلفات حرارتی $Q_k = 450000 \times 1.204 \times 1.006 \times (100 - T_{out})$

گازهای خروجی

تلفات حرارتی گازهای خروجی = حرارت دریافتی بوسیله هوای سرد

$$(100 - T_{out}) = 58.3^{\circ}C \rightarrow T_{out} = 41/7^{\circ}C$$

اختلاف $\Delta T_1 = 41/7 - 10^{\circ}C = 31/7^{\circ}C$

دمای

$$\Delta T_2 = 100 - 85 = 15^{\circ}C$$

$$LMTD=\frac{31/7-15}{ln(\frac{31/7}{15})}=22.3^{\circ}C$$

$$Q=U.A.\Delta T_{m}.3/6$$

از طرف دیگر

$Q=31/79\times10^{6}=28\ W/m^{2}{}^{\circ}C\times22/1^{\circ}C\times3/6^{\circ}C$ حرارت دریافتی مجدد هوای سرد

از آنجا مساحت سطح تبادل گرما بدست می‌آید: $\rightarrow\ A=14142\ m^{2}$

و چنانچه هوای سرد ورودی تا $5^{\circ}C$ کمتر از دمای خروجی دودکش گرم شود سطح جدید انتقال حرارت برابر است با:

دمای هوا گرم $=100\ -5=95^{\circ}C$

حرارت دریافتی هوای سرد $=350000\ \times1.204\times1.06\times(95-10)=36/03\times10^{6}\ Kj/h$

$$(100\ -T_{out})=\frac{36/03\times10^{6}}{450000\ \times1/204\times1.006}=66/1^{\circ}C$$

$$T_{out}=100\ -66/1=33/9^{\circ}C$$

$$\Delta T_{1}=33/9-10\ =23/9$$

$$\Delta T_{2}=100\ -95=5^{\circ}C$$

$$LMTD=\frac{23/9-5}{m(\frac{23/9}{5})}=12/1^{\circ}C$$

$$A=\frac{36/03\times10^{6}}{28\times12/1\times3/6}=29541\ m^{2}$$

باید توجه داشت که کاهش اختلاف دما تا $5^{\circ}C$ نیازمند این است که مساحت مبادله‌کن در حدود دو برابر باشد. این میزان سطح انتقال حرارت باعث افزایش انرژی بازیافتی از کوره می‌شود.

پیش گرم کن آب تغذیه[1]

به طور عمده در دیگ‌های بخار بکار می‌رود و راهی برای گرم کردن آب ورودی بوسیله گازهای داغ خروجی است.این دستگاه یک مبادله کن مایع/ گاز است (باید توجه داشت که گازهای کوره زیر دمای نقطه شبنم تبدیل به سولفور سرد می‌شوند). پیش گرم کن آب تغذیه می‌تواند در جایی که نیاز به آب داغ است، مورد توجه قرار گیرد. این امکان عملی نیز وجود دارد که یک مخزن ذخیره آب داغ عایق‌بندی شده را نصب نمود و آب داغ مورد نیاز مصرفی را تأمین نمود.

پیش‌گرم کن هوا[2]

در پیش گرم کن هوا (نوعی از مبادله کن‌های گرماست که مسیر حرکت سیال سرد و گرم کاملاً از هم جداست) هوای در حال ورود به محفظه احتراق با استفاده از گرمای گاز داغ خروجی پیش گرم می‌شود. این روش، پیش‌گرمایش هوای کوره است (زیرا پیش گرمایش مواد اولیه با گازهای کوره برای دیگ‌ها مشکل‌تر است)، گاز داغ در داخل لوله‌ها بصورت یک مجموعه جریان می‌یابد. هوای احتراق بطرف بیرون لوله‌ها بوسیله یک سری صفحات هدایت می‌شود. پیش گرمکن‌های هوا بزرگ و کم اثر تر از مبادله‌کن‌های مایع مورد استفاده برای گرم کردن آب یا پیش گرم کن آب می‌باشند.

۷-۲- انباشتگر[3]

دیگ‌ها برای رفع نیاز، بخار تولید می‌کنند. وقتی تقاضا زیاد باشد، اغلب این گونه است که یا یک دیگ اضافی باید بصورت موقت مورد استفاده قرار می‌گیرد یا چندین دیگ افزایش می‌یابد تا نیاز را برطرف کند. در اولین مورد، این مسئله می‌تواند بعلت تلفات همراه با گرمایش و سرمایش پوسته دیگ،نا کارآمد باشد. در هر دو مورد می‌توان با استفاده از یک انباشتگر از بعضی از ظرفیت‌های مورد نیاز دیگ (راه‌اندازی و هزینه سرمایه) اجتناب نمود.

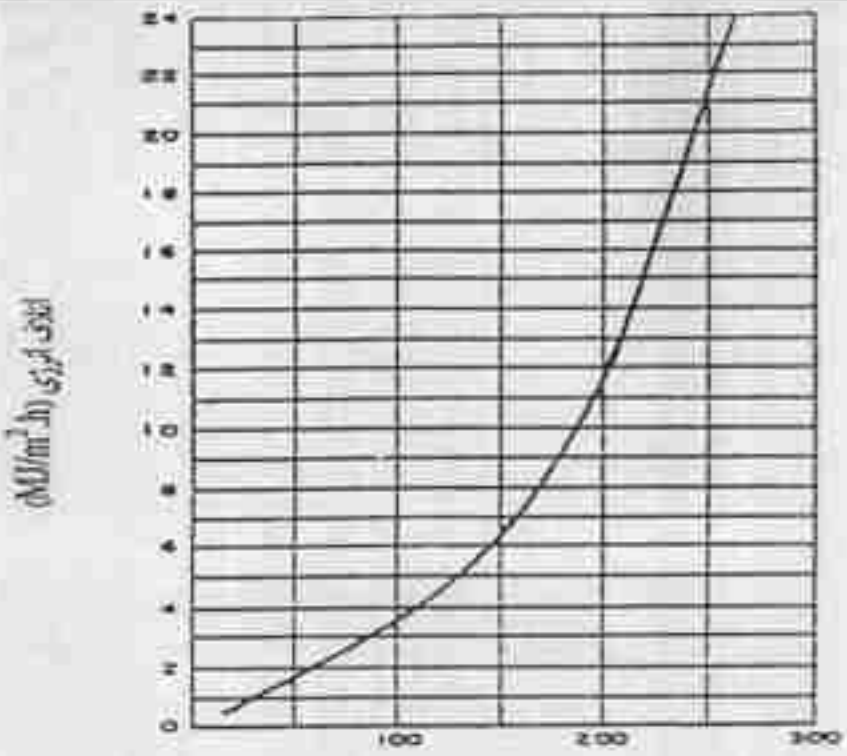
یک انباشتگر به صورتی مؤثر، بخار را از دیگ‌ها، ذخیره یا جمع و در زمان تقاضای پایین و بعد آن را در طی فواصل درخواست زیاد، در زمان کوتاه آزاد می‌سازد.

۷-۳- عایق‌بندی

عایق‌بندی برای حفظ گرما در داخل کوره یا دیگ بکار می‌رود. مواد عایق‌بندی مرسوم شامل کلسیم سلیکات، الیاف معدنی، الیاف سرامیک، سیمان، شیشه سلول دار و الیاف شیشه می‌باشد.

در شکل شماره (۲-۱۲) تلفات انرژی حرارتی از دیوارهای داغ یک کوره یا دیگ داده شده است.

1- Economizer
2-Air Pre-Heater
3- Accumulators



شکل ۲-۱۲- تلفات انرژی حرارتی از دیواره کوره یا دیگ بعنوان تابعی از دمای دیواره کوره

برای کوره‌ها پیشرفت مهم در این خصوص، استفاده از عایق الیاف سرامیک است که در مقایسه با مواد نسوز جامد، عایق بهتری است. معایب آن هزینه‌های اولیه بالاتر و مقاومت کم فیزیکی است و گاهی یک لایه نسوز در ته کوره در سایر مناطق آسیب‌پذیر برای حفاظت الیاف سرامیک بکار می‌رود.

همچنین بیشتر لایه‌های عایق الیاف سرامیک را در بیرون ماده نسوز هنگامی که مورد نیاز است، می‌توان نصب کرد.

۷-۴- تحلیل‌گر اکسیژن

در گذشته از سیستم‌هایی برای بررسی مقادیر O_2 یا CO_2 یک کوره استفاده می‌شد اما از نظر تجربی هیچکدام به صورتی رضایت‌بخش برای استراتژی کنترل اتوماتیک قابل اعتماد نبوده‌اند. دستگاه‌های نصب شده یا قابل حمل O_2 یا CO_2 مورد استفاده اپراتور ماهر هنوز هم بهترین روش برای کنترل هوای اضافی و در نتیجه افزایش کارایی است.

تولید سلول زیرکنیم[1] برای شناسایی O_2، سیستم سنجش قابل اعتمادی است که بصورت خودکار، مقدار هوای اضافی را کنترل می‌کند و از این روش بر تغییر سوخت و پارامترهای هوا کنترل دارد. با استفاده از این کنترل‌کننده‌ها باز خورد / شناسایی اکسیژن، که بیشتر کنترل اکسیژن خوانده می‌شود، باعث می‌شود که مقدار هوای اضافی کمتری مصرف شود.

1. Zirconium

ساده‌ترین سیستم‌ها از علائم باز خورد، برای تنظیم دریچه‌های هوای احتراق استفاده می‌شود و پیچیده‌ترین سیستم‌ها مستقیماً به یک واحد ریز پردازنده متکی هستند که نسبت هوا به سوخت را در احتراق تنظیم می‌کنند.

۷-۵- کنترل دور موتور با استفاده از کنترل‌کننده دور متغیر[1]

در اروپا و ژاپن کنترل‌های دور متغیر برای موتورها متداول است. آنها در این زمینه برای تغییر سرعت دمنده‌های هوای احتراق بکار می‌روند. با تغییر سرعت آنها (همراه با ورودی برق) برای تنظیم هوای مورد نیاز، انرژی الکتریکی را می‌توان در طی دوره بار کم، صرفه‌جویی کرد. بصورت معمول جریان ورودی از طریق دمپرها کنترل می‌شود در حالی که موتور با یک سرعت ثابت حرکت می‌کند. در بارهای پایین این امر می‌تواند به یک مصرف الکتریکی بالای ناموزون منجر شود.

از نظر اقتصادی، محرک‌های دور متغیر در کشورهای در حال توسعه به دلیل هزینه‌های برق نسبتاً پایین و هزینه‌های بالای دستگاه کنترل‌کننده دورمتغیر، کمتر جذابیت دارند.

۷-۶- دمپرهای گازهای خروجی

در نیروگاه‌هایی که دیگ‌ها یا کوره‌ها پیوسته بخاطر تغییر بار از مدار خارج می‌شوند، افت حرارت بعلت اثر دودکش که هوای سرد را از طریق دیگ می‌کشد می‌تواند مهم باشد. این امر بویژه زمانی درست است که تعدادی از واحدها به یک مرکز مشترک متصل باشند و در حالت بالانس متغیر اقتصادی عمل کنند.

در گذشته مشکلات عمده‌ای وجود داشت که ناشی از طراحی دمپرها بود که واقعاً در برابر گاز مقاوم بوده و سیستم کنترلی که از آتش دیگ در برابر دمپر بسته جلوگیری کند. برخوردارباشند. امروزه انواع دریچه‌ها برای این گونه مسائل طراحی شده‌اند. در مورد دهش اجباری[2] (FD فن) مشعل‌های گازسوز و نفت سوز جایگزین ارزانتری هستند. بویژه برای تعمیرات، ساده می‌باشند این امر متضمن نصب یک دریچه خودکار در محل ورودی دمنده هوای احتراق است.

۷-۷- دیگ‌های بازیافت

در دیگ‌های بازیافت، از گاز داغ کوره برای تولید بخار استفاده می‌کنند. در بیشتر موارد خط بخار وجود دارد که از حرارت‌های تلف شده استفاده نموده و بخار تولید می‌شود. این مقدار بخار بسته به نیاز و تقاضا از تلفات حرارتی تأمین می‌گردد.

---

1. VSD
2. Forced Draft دهش اجباری = FD

فصل ۳

مدیریت انرژی در سیستم‌های تولید و توزیع بخار

۱- مدیریت مصرف انرژی در دیگ‌های بخار (تولید بخار)

بویلرها یا دیگ‌ها وسیله‌ای برای تولید آب گرم یا بخار یعنی تولید انرژی حرارتی می‌باشند که در این قسمت به بررسی بویلرهای بخار و راه‌های صرفه‌جویی انرژی در آن می‌پردازیم.

۱-۱ - انواع دیگ‌های بخار

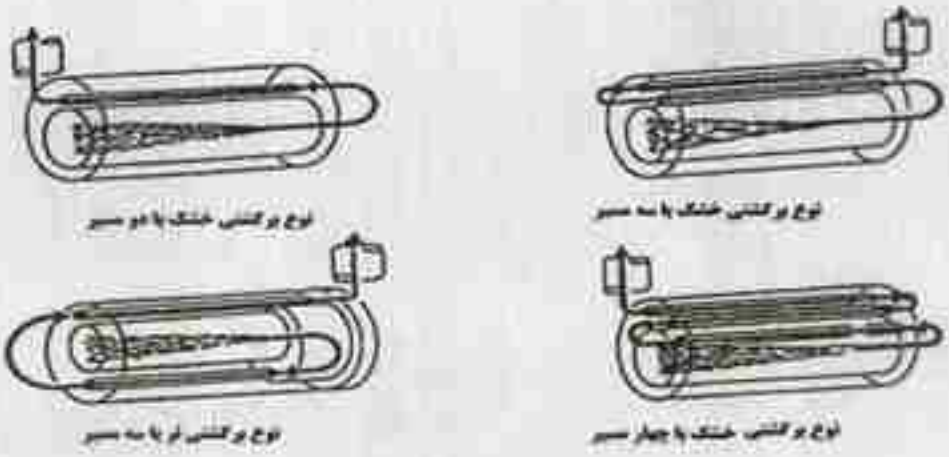
در این قسمت به بررسی دو نوع از این دیگ ها می‌پردازیم. یکی دیگ های با لوله- آتش[1] و دیگری دیگ‌های لوله- آب[2] می‌باشد.

الف) دیگ‌های با لوله آتش:

در این نوع دیگ ها، گازهای احتراق داخل لوله‌ها و آب در اطراف لوله‌ها جریان می یابد و در اثر انتقال حرارت، آب به بخار تبدیل و از سیستم خارج می‌شود.(معمولا قطر لوله‌ها بین ۱/۲ اینچ تا ۴ اینچ می‌باشد) انواع مختلف این دیگ ها بسته به جریان گاز داخل لوله، بصورت دوگذر،سه گذر و چهار گذر می‌باشند که در شکل ۳-۱ آمده است.

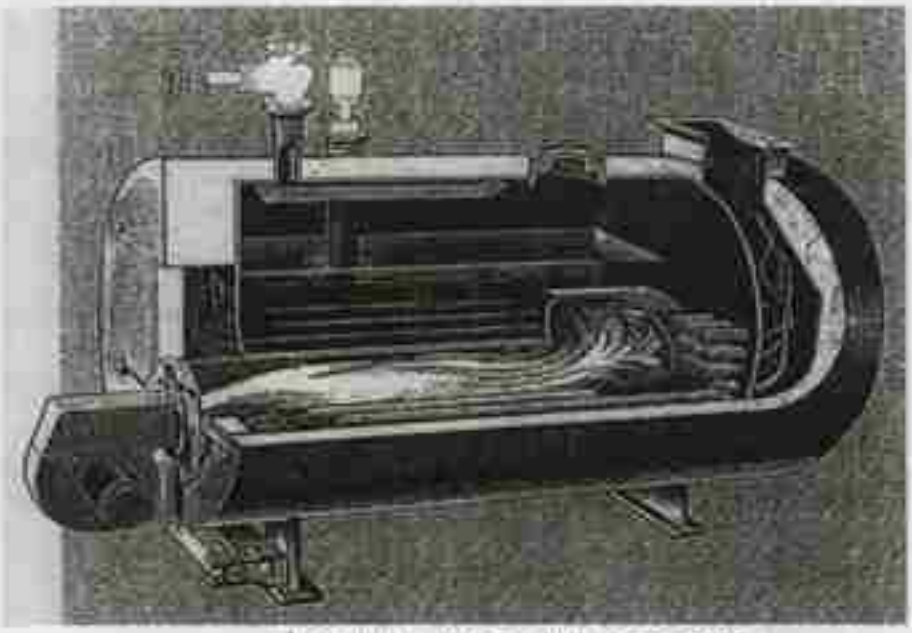
---

1 - Fire tube boilers
2 - water tube boilers



شکل ۳-۱- جریان گاز در دیگ های لوله - آتش

ولی در حالت کلی نوع دیگ های با لوله دود بصورت شکل ۳-۲ می‌باشد.

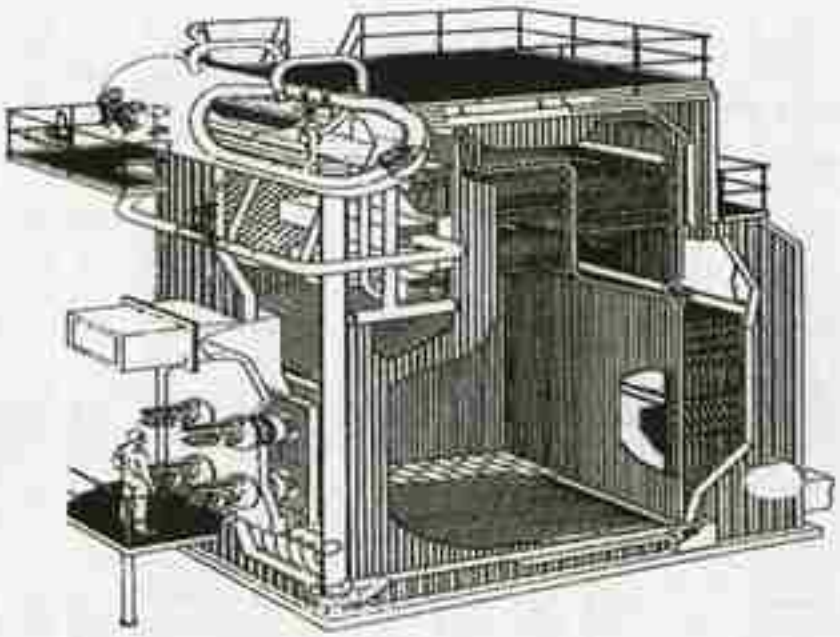


شکل ۳-۲- نمونه ای از دیگ های بخار با لوله- آتش

معمولاً بیشترین فشار کار این نوع دیگ ها ۲۵ بار بوده و دارای ظرفیتی بین ۰/۵ تا ۱۰ تن بخار در ساعت می‌باشند.

ب) دیگ‌های لوله - آب:

این دیگ ها مانند دیگ های با لوله دود می‌باشند با این تفاوت که آب در داخل لوله‌ها و گازهای داغ در بیرون لوله ها جریان دارد و در اثر انتقال حرارت آب به بخار تبدیل شده و از آن خارج می‌شود. قطر لوله‌های آب ۵ in تا ۶ in می‌باشد. وقتی که مقدار بخار تولیدی بیش از ۱۰ton/hr با فشار بخار تولیدی بالاتراز۲۰ bar مورد استفاده باشد حتماً از این نوع دیگ ها باید استفاده نمود. نمای کلی این دیگ در شکل ۳-۳آمده است.



شکل ۳-۳- نمونه‌ای از دیگ‌های بخار لوله - آب

۱-۲- استفاده اقتصادی از دیگ‌های بخار (بویلرها) و راه های افزایش راندمان

در این قسمت روش‌هایی که می‌توان توسط آن در سوخت و در نتیجه هزینه بهره‌برداری دیگ‌های بخار صرفه‌جویی نمود و راندمان دیگ را افزایش داد ارائه می‌شود. در این راستا تلفات حرارتی مختلف معرفی شده و میزان آنها مشخص شده است.

راندمان دیگ بخار معمولی حدود ۷۵٪ می‌باشد. البته دیگ‌های بخار با طراحی جدید دارای راندمان بین ۹۰-۸۰٪ نیز می‌باشند.

۱-۳-۱-تلفات گازهای خروجی[1]

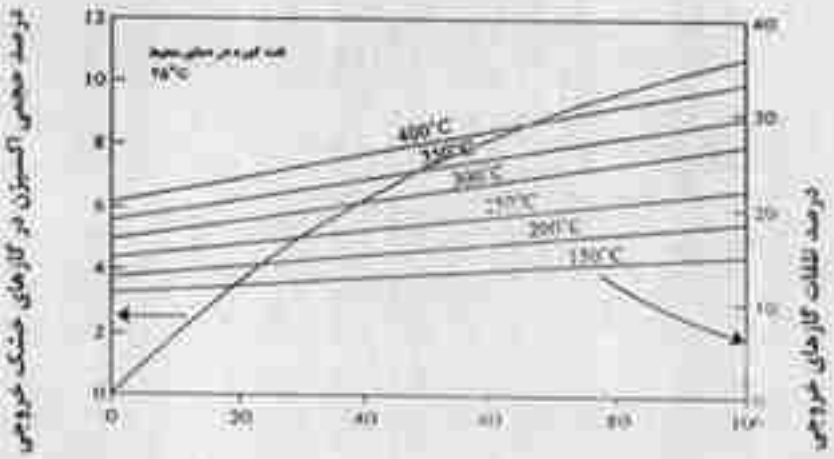
تلفات گازهای خروجی معمولاً میزان بالایی را دارا می‌باشند. عمدتاً برای کاهش آنها باید بر روی عوامل زیر مطالعه شود.

الف) نسبت هوا به سوخت

برای دست یافتن به راندمان بالای دیگ، باید میزان هوای اضافی بنحوی باشد که احتراق کامل صورت گیرد. معمولاً انرژی گرمایی از طریق هوای اضافه به گازهای خروجی منتقل شده و از دودکش خارج می‌شود. در نتیجه اگر میزان هوای اضافی بیش از حد مجاز باشد تلفات مربوط به گازهای خروجی نیز زیاد شده و موجب افزایش هزینه می‌شود. و اگر میزان دبی هوای اضافی کم باشد درصدی از سوخت محترق نشده و راندمان احتراق کاهش یافته و بعلاوه تولید دود می‌کند. بنابراین میزان هوای اضافه باید کاملاً تنظیم شود.

میزان هوای اضافی برای دیگ‌های کوچک با سوخت گاز و سوخت‌های مایع حدود ۱۵ درصد و برای دیگهای بزرگ حدود۵ تا ۱۰ درصد می‌باشد. ولی برای سوخت‌های جامد حدود ۱۰ تا ۵۰ درصد است.

نمودار ۳-۱ درصد تلفات گازهای خروجی را بر اساس درصد هوای اضافی نشان می‌دهد.



درصد هوای اضافی احتراق

نمودار۳-۱ تلفات گازهای خروجی بر اساس درصد هوای اضافی

برای مثال در یک دیگ بخار با اندازه‌گیری درصد هوای اضافی ۴۰٪ و دمای دودکش ۲۲۵°C می‌باشد با توجه به نمودار ۳-۱ داریم.

قبل از تنظیم :

هوای اضافی ۴۰٪ = λ

⟶ تلفات دودکش Loss = ۱۶/۹٪

T = ۲۲۵°C

---

1 - flue gas losses

بعد از تنظیم:

$\lambda = ٪۱۰$

$\longrightarrow$ Loss = ٪۱۴/۱

$T = ۲۲۵°C$

یعنی با تنظیم نسبت هوا به سوخت و درصد هوای اضافه (λ) راندمان بویلر به میزان ٪۲/۸ افزایش می‌یابدکه با توجه به مصرف سوخت بویلر و ساعات کارکرد می‌توان میزان صرفه‌جویی سوخت را محاسبه کرد.

همچنین با کاهش هوای اضافی قدرت دمنده کاهش می‌یابد که حداقل کاهش قدرت آن ٪۱۰ می‌باشد.

اگر هوای اضافی پایین‌تر از حد مجاز باشد احتراق ناقص انجام می‌گیرد که باعث می‌شود سوخت نسوخته از دودکش خارج شود که تلفات ناشی از تولید منواکسید کربن در اثر احتراق ناقص از فرمول زیر محاسبه می‌گردد.

$$Loss\ (Co) = m_{co} \cdot (H.H.V)_{co}\ (KJ)$$

m_{co} : آهنگ جرمی منواکسید کربن

$(H.H.V)_{co}$: ارزش حرارتی بالای منواکسید کربن

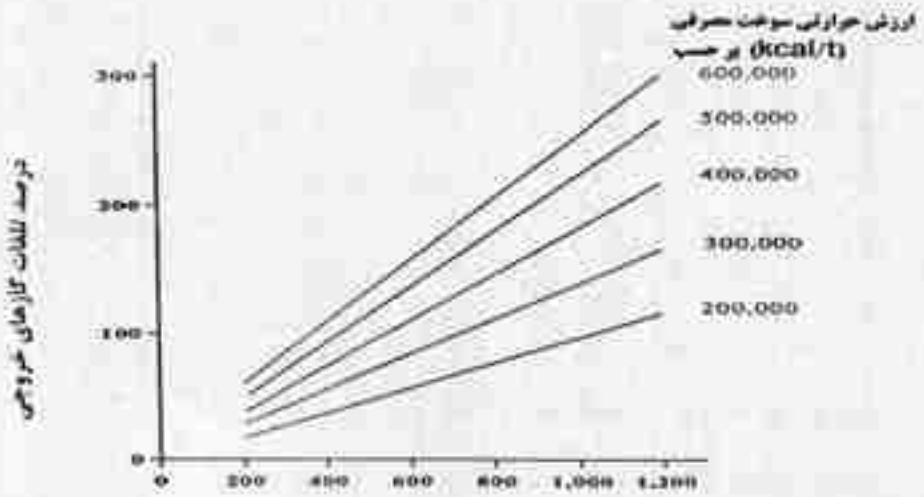
ب) کنترل دمای گازهای خروجی

دمای متعارف برای گازهای خروجی باید حدود $۲۰\ ^{\circ}C$ بالاتر از نقطه شبنم باشد.

$۱۳۰-۱۷۵°C$ = دمای نقطه شبنم

$۲۰°C$ + دمای نقطه شبنم = دمای نرمال گازهای خروجی

نمودار۳-۲ میزان تلفات ناشی از دمای گازهای خروجی را نشان می‌دهد. تأثیر اثر دما بر راندمان دیگ بخار معمولاً بیشتر از هوای اضافی می‌باشد و این امر ناشی از عدم انتقال حرارت خوب می‌باشد که معمولاًجداره‌ها یا لوله‌ها را دوده یا جرم گرفته و عمل انتقال حرارت را به خوبی انجام نمی‌دهند.



نمودار ۳-۲- درصد تلفات گازهای خروجی بر حسب دمای گازهای خروجی

در جداول زیر دیگ ۲۵ تنی بخار با احتراق خوب و بد با یکدیگر مقایسه و میزان تلفات هر کدام محاسبه شده است.

جدول ۳-۱- مقایسه احتراق خوب و بد در یک دیگ ۲۵ تنی بخار

احتراق خوب و بد		خوب	بد
بخار	T/h	۲۰	۲۰
دمای گازهای خروجی	°C	۲۰۰	۳۰۰
CO_2	٪	۱۲	۱۰
O_2	٪	۷/۵	۹/۵
CO	٪	۰/۰۱	۰/۵
دوده	gr/kg-fuel	۳۰	۲۰

جدول ۳-۲- مقایسه میزان تلفات خوب و بد دریک دیگ ۲۵ تنی بخار

تلفات		خوب	بد
گازهای احتراق	٪	۹/۸	۱۵/۲
رطوبت درگاز خروجی	٪	۰/۷	۱
CO	٪	۰/۰۵	۲/۵
دود	٪	۰/۷	۱/۷
حرارت خاکستر	٪	۲/۵	۲/۵
کل تلفات	٪	۱۴/۸	۲۴/۹

با توجه به جدول بالا تفاوت تلفات احتراق خوب و بد حدود ۱۰/۱ درصد می‌باشد یعنی با یک احتراق کامل می‌توان راندمان بویلر را از حالت بد به خوب به اندازه ۱۰/۱ درصد افزایش داد.

جدول(۳-۳) میزان تلفات دودکش را بر حسب درصد CO_2 و دمای گازهای خروجی نشان می‌دهد

جدول۳-۳- میزان تلفات دودکش بر حسب درصد CO_2 و دمای گازهای خروجی

درصد CO_2 در گازهای خشک	دمای گازهای خروجی		
	۱۰۰°C	۲۰۰°C	۳۰۰°C
٪۱۰	۴	۹/۴	۱۴/۹
٪۱۲	۳/۳	۷/۹	۱۲/۶
٪۱۴	۲/۹	۶/۸	۱۰/۹

یعنی اگر در دمای $200\ ^\circ C$ یک بار CO_2 برابر ۱۲٪ و بار دیگر CO_2 برابر ۱۴٪ باشد اختلاف تلفات برابر ۱/۱ درصد خواهد شد یعنی راندمان دیگ بخار (احتراق) به اندازه ۱/۱ درصد افزایش خواهد یافت (تلفات دودکش کاهش و راندمان افزایش می یابد)و اگر با CO_2 حدود ۱۰٪ و دمای $200\ ^\circ C$ و $300\ ^\circ C$ مقایسه کنیم می‌بینیم که اختلاف تلفات حدود ۵/۵٪ خواهد شد(هر چه دمای گازهای خروجی بیشتر شود تلفات دودکش زیادتر شده و راندمان دیگ کم می شود)

۱-۲-۲- تلفات تابشی و همرفتی

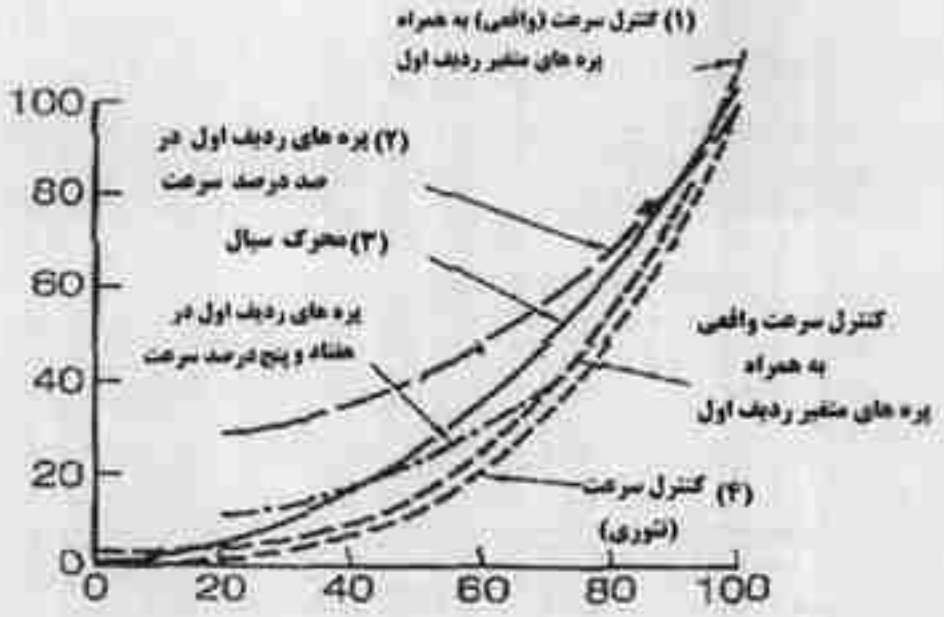
این تلفات برای دیگ های پیشرفته بسیار پایین و حدود ۱ تا ۲٪ در بیشترین ظرفیت حرارتی می‌باشد ولی برای دیگ های قدیمی تا ۱۰٪ هم می‌رسد

محاسبه این تلفات و اندازه‌گیری آن بسیار مشکل است و به طور معمول به روش موازنه انرژی بدست می‌آید و در بار کامل ، مقدار این تلفات کاهش می‌یابد

۱-۲-۳- استفاده از سیستم کنترل دور متغیر برای فن‌های بویلر

با استفاده از این سیستم بر روی دمنده دیگ بخار حدود ۵۰-۳۰٪ در مصرف انرژی الکتریکی یا مصرفی دمنده صرفه‌جویی خواهد شد که با استفاده از نمودار ۳-۳ می‌توان مقدار صرفه‌جویی انرژی الکتریکی را محاسبه کرد.

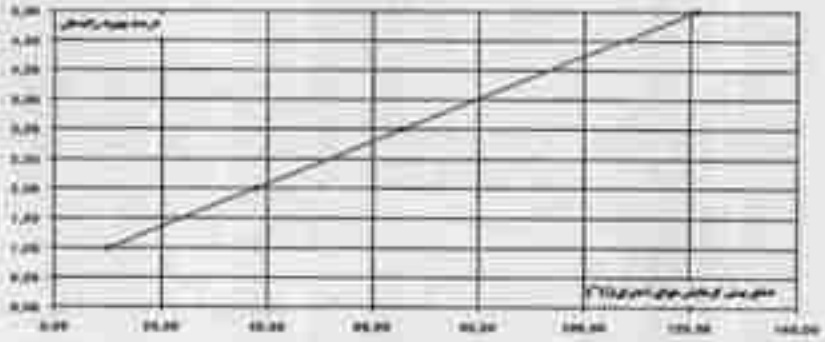
در نمودار ۳-۳ مقایسه بین استفاده از موتورهای دو سرعته با ۱۰۰٪ و ۷۵٪ سرعت نامی و استفاده از گیربکس هیدرولیکی و همچنین کنترل فرکانس را بر حسب شرایط مختلف دریچه با یکدیگر مقایسه نموده و با استفاده از آن می‌توان مقدار صرفه‌جویی در انرژی الکتریکی فن را محاسبه کرد.



نمودار ۳-۳- درصد پتانسیل صرفه‌جویی ناشی از نصب موتورهای کنترل سرعت

۲-۴- پیش‌گرمایش هوای احتراق[1]

با افزایش دمای هوای ورودی به دیگ، راندمان آن افزایش می‌یابد. برای اینکار می‌توان از انرژی حرارتی موجود در گازهای خروجی استفاده نمود. به ازای هر $^{\circ}C$ ۲۵ افزایش دمای هوای احتراق، راندمان بویلر حدود ۱٪ افزایش می‌یابد.

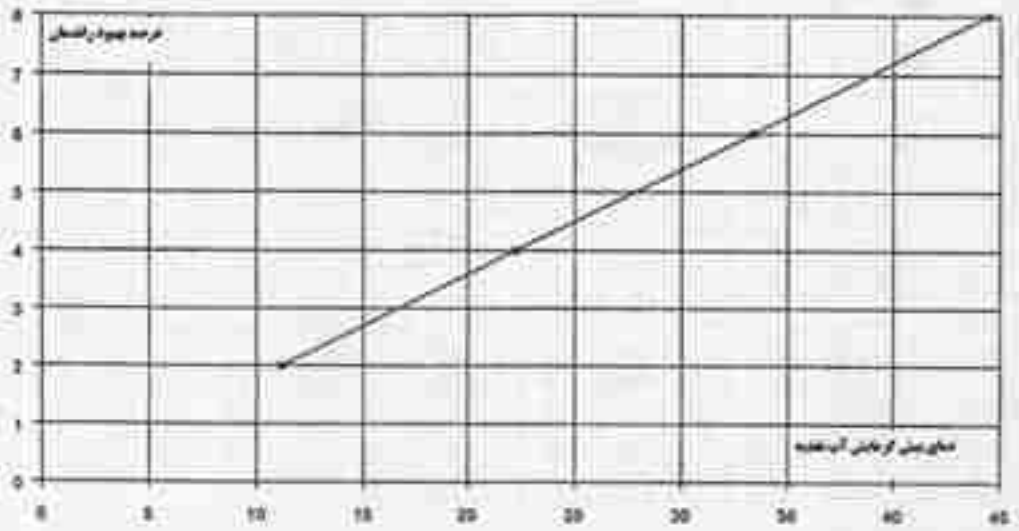


نمودار ۳-۴- افزایش راندمان در اثر پیش‌گرمایش هوای احتراق

1 - Air preheating

۱-۲-۵- پیش‌گرمایش آب تغذیه [1] :

با افزایش دمای آب تغذیه، می‌توان راندمان دیگ را افزایش داد که این کار با نصب یک بازیاب حرارت (اکونومایز) واستفاده از گازهای داغ خروجی انجام می‌شودکه با این کار، دمای گازهای خروجی کاهش می‌یابد. در حالت کلی با افزایش $6^{0}C$ دمای آب تغذیه دیگ، مصرف سوخت دیگ به اندازه ۱٪ کاهش می‌یابد.



نمودار ۳-۵- درصد افزایش راندمان بویلر در اثر پیش‌گرمایش آب تغذیه (۱۱)

شکل(۳-۴) نصب اکونومایزر را در یک دیگ بخار با لوله های آب جهت افزایش دمای آب تغذیه نشان می‌دهد. با این عمل دو مزیت برای بویلر بوجود می‌آید یکی افزایش دمای آب تغذیه و دیگری کاهش دمای گازهای خروجی می‌باشد و با این عمل راندمان بویلر حدود ۵٪ افزایش می‌یابد.

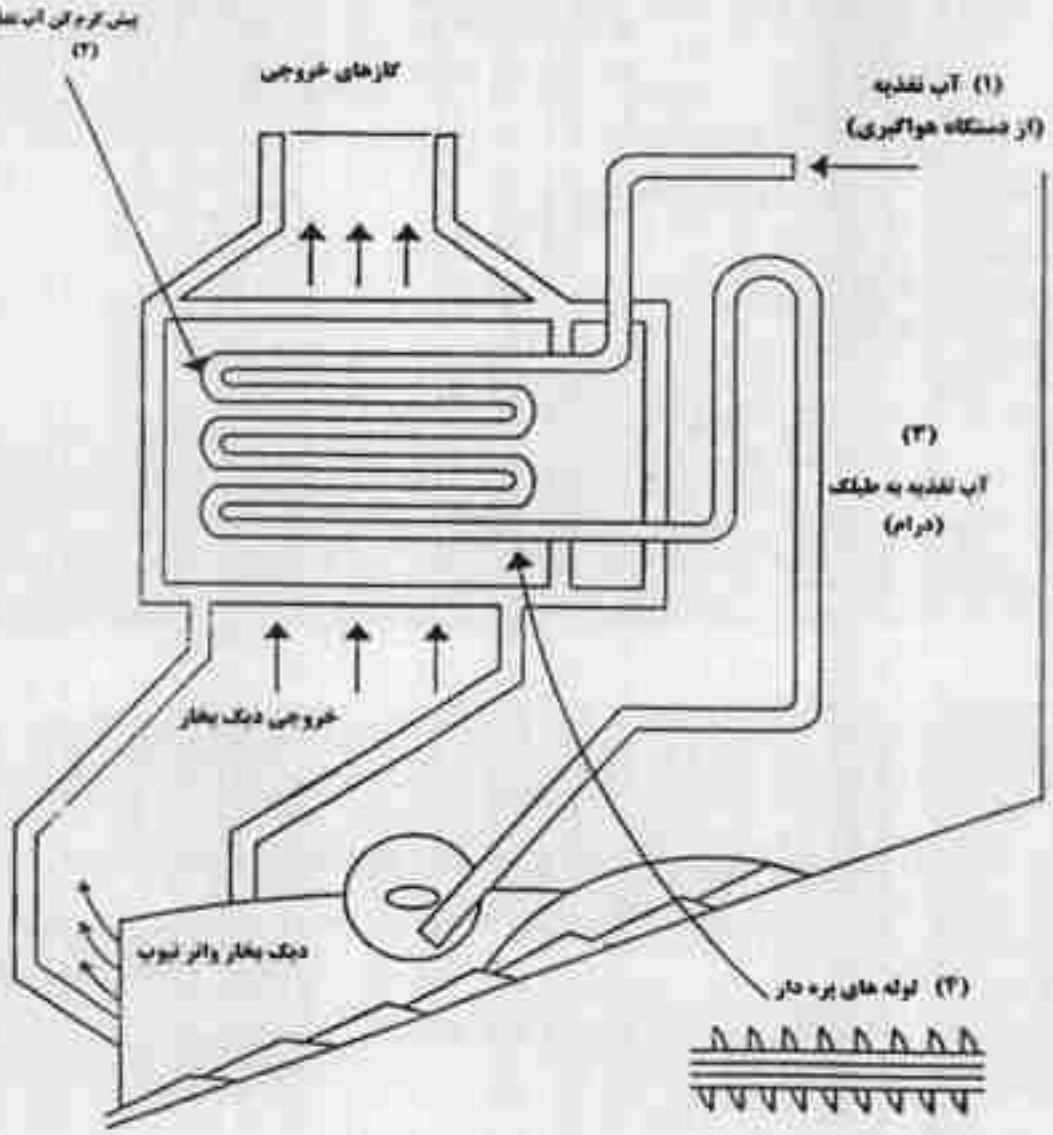
برای مثال: مصرف سوخت بویلر : ۷ ton/hr (ذغال سنگ)

درصد CO_2 : ۱۱٪

افزایش راندمان :۵٪

میزان صرفه‌جویی سالانه سوخت با نصب اکونومایزر برابر ۳۴۰ton/yr خواهد شد

1- Feed water preheating



شکل ۳-۴- نصب اکونومایزر در یک دیگ بخار لوله آب و افزایش راندمان دیگ بخار

۱-۲-۶- نیاز به کنترل TDS (ذرات نامحلول در آب) و بلو دان(زیرکش) دیگ بخار:

با کارکرد سیستم و به مرور زمان، مقدار TDS انباشته شده درون آب دیگ در اثر تبخیر مداوم افزایش می یابد که به منظور افزایش عمر سیستم، بازده بیشتر، امنیت بالاتر و تعمیرات و نگهداری سیستم، بایستی بشیوه مناسب کاهش یابد. سختی بالای آب در مرحله اول باعث رسوب در سطوح انتقال حرارت و لوله‌های دیگ می شود که باعث کاهش آهنگ گرمای مبادله شده و راندمان سیستم می‌گردد که در نتیجه سرویس و تمیز کردن سریعتر دیگ ها را به همراه خواهد داشت.

برای اندازه‌گیری دو روش عمده وجود دارد:

الف: روش استفاده از چگالی یا دانسیته نسبی آب می‌باشد

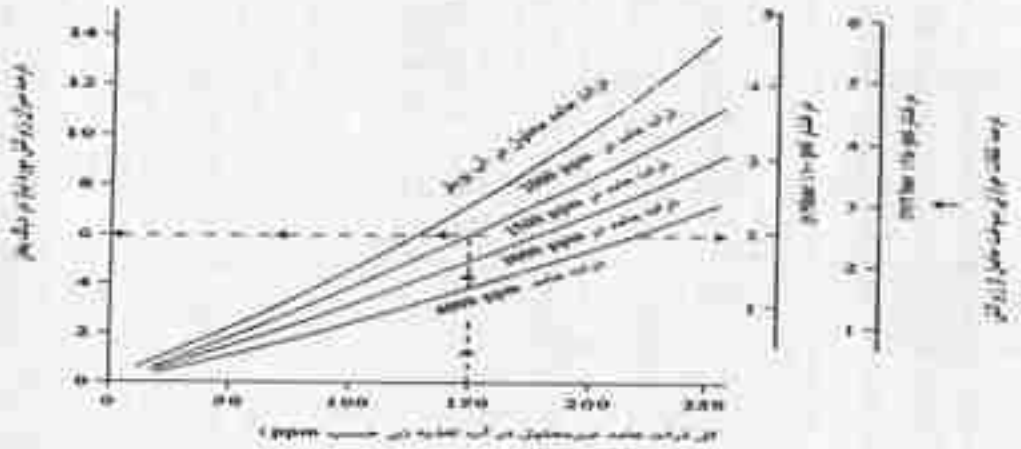
ب- استفاده از خاصیت رسانش جریان الکتریسته توسط آب می‌باشد که مناسب‌تر و رایج‌تر و بسیار راحت‌تر و دقیق‌تر است زیرا می توان بوسیله دستگاه(Conductivity meter) میزان TDS را اندازه گرفت.

بهترین روش کنترل بلودان(زیرکش) ، سیستم کنترل اتوماتیک می‌باشد و این کنترلر ، سیگنال ورودی را با میزان مجاز از قبل تعریف شده مقایسه کرده و بنوبه خود سیگنال مناسب برای باز و بسته کردن شیر کنترل اتوماتیک ارائه می‌نماید و بدین ترتیب میزان بلودان کاهش می‌یابد.

جدول ۳-۱- میزان صرفه‌جویی در مصرف سوخت در اثر کاهش تخلیه آب دیگ

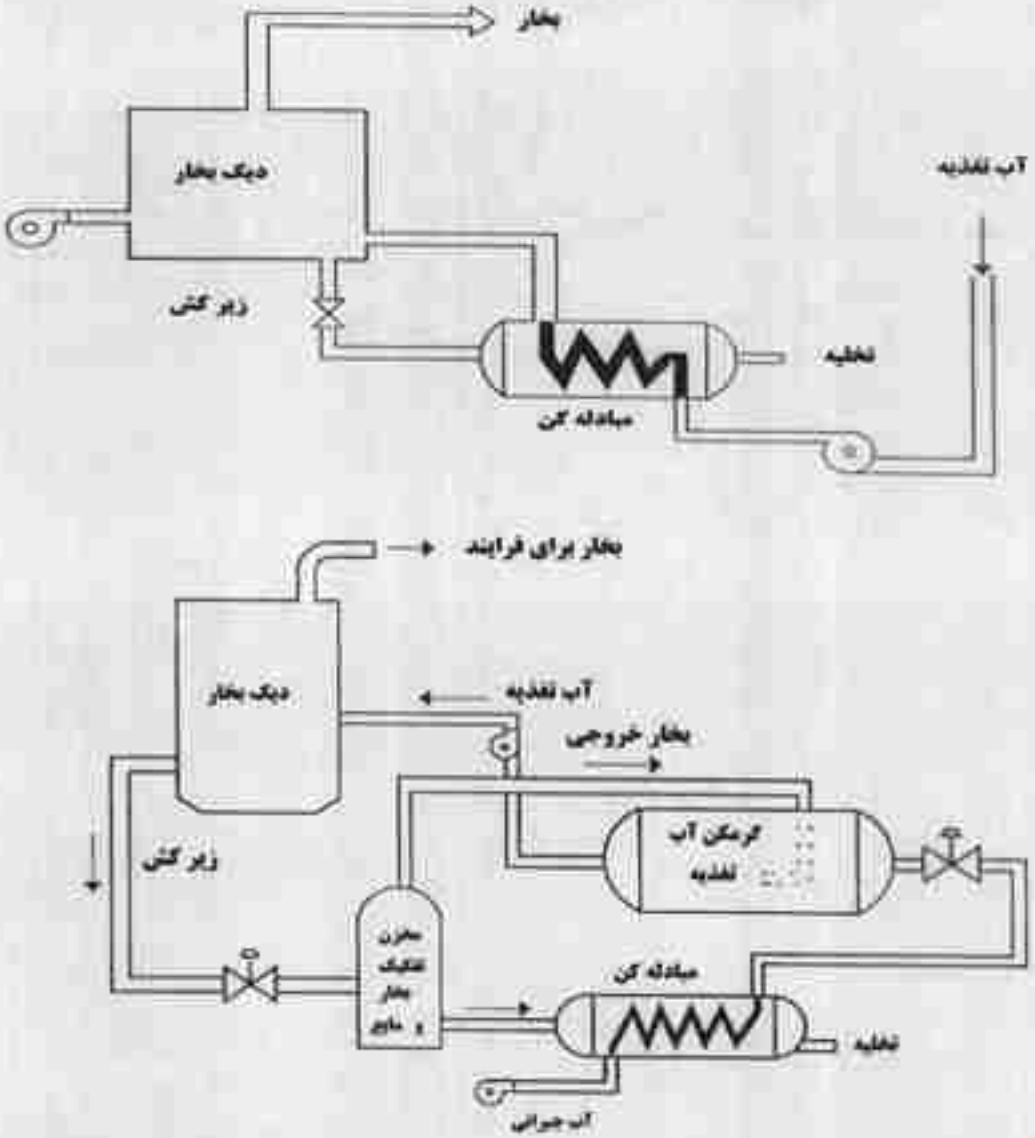
فشار کاری دیگ (bar g)	میزان صرفه جوئی در مصرف سوخت برای کاهش زیرکش بمیزان یک درصد
7	٪0.19
10	٪0.21
17	٪0.25
25	٪0.28

همچنین با استفاده از نمودار ۳-۶ می‌توان میزان صرفه‌جویی سوخت دیگ بخار را بوسیله کنترل بلودان (زیرکش) بدست آورد.



نمودار ۳-۶- میزان صرفه‌جویی در مصرف سوخت در اثر کنترل بلودان(۱۱)

بوسیله نصب یک مبادله کن گرما[1] می‌توان از این زیرکش بازیافت نموده و جهت گرم کردن آب تغذیه دیگ بخار استفاده نمود که دو مورد آن در شکل‌های ۳-۵ نشان داده شده است.



شکل ۳-۵- نصب مبادله کن حرارتی جهت بازیافت و گرم کردن آب تغذیه دیگ بخار

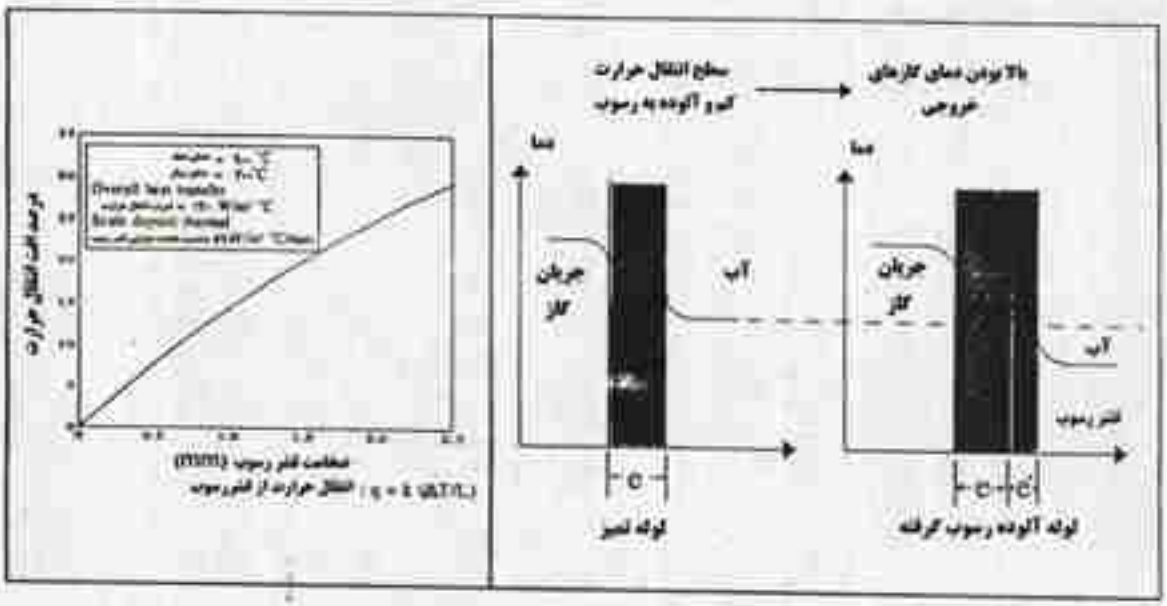
1- Heat Exchenger

۱-۲-۷- عملیات دوده‌زدایی

گذشت زمان و کارکرد مداوم دیگ ها موجب گرفتگی دوده داخل لوله‌های جریان گازهای داغ و جرم گرفتگی داخل لوله‌های آب می‌شود و این عمل باعث می‌شود عمل انتقال حرارت بین جریان سیال و گازهای داغ بخوبی صورت نگیرد و دمای گازهای خروجی بالا رفته و در نهایت تلفات گازهای خروجی افزایش یابد.
به این دلیل باید طبق برنامه منظم و دقیق عملیات دوده‌زدایی و تمیزکاری (رسوب زدائی) را انجام داد که معمولاً به روش زیر انجام می‌گیرد.

- تمیز کاری مکانیکی
- دوده‌زدایی بوسیله بخار
- دوده‌زدایی بوسیله فشار هوا
- عملیات تمیزکاری صوتی

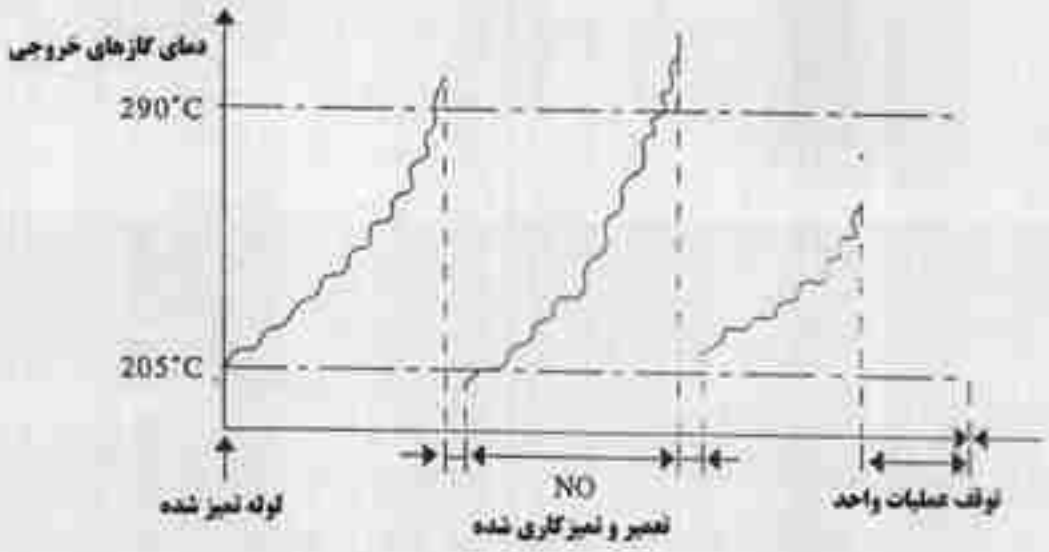
عمل دوده‌زدایی و تمیزکاری موجب انتقال حرارت بهتر شده و بمیزان ۱/۵ تا ۲ درصد در مصرف سوخت دیگ بخار صرفه‌جویی و این امر دمای گازهای خروجی و همچنین دفعات روشن/خاموش شدن دیگ بخار کاهش می یابد.



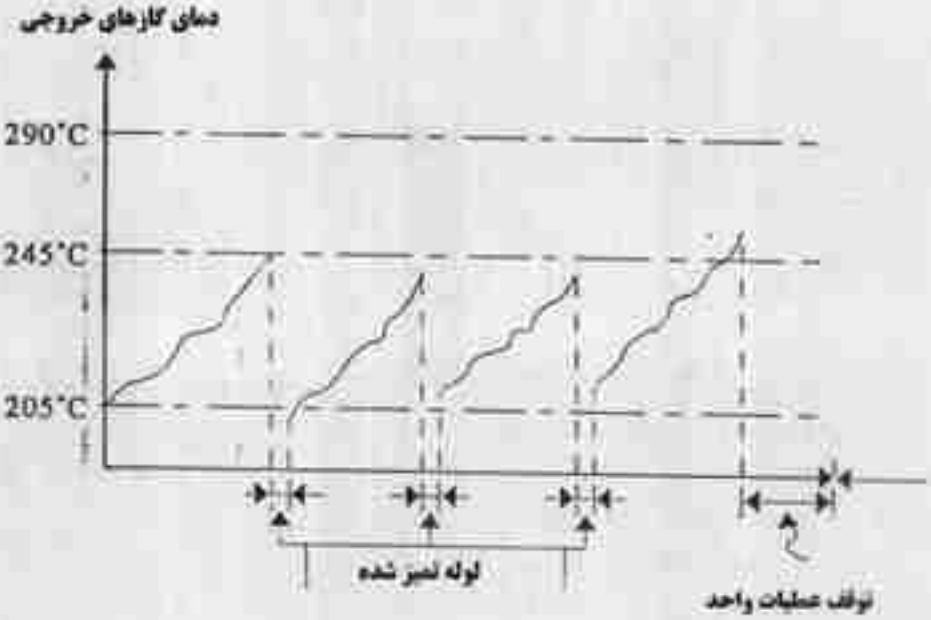
نمودار ۳-۷- درصد کاهش انتقال حرارت بر حسب ضخامت جرم داخل لوله‌ها

همچنین نمونه‌ای از کاهش دمای گازهای خروجی در اثر تمیزکاری لوله‌ها در نمودار(۳-۸) نشان داده شده که اگر لوله‌ها بخوبی تمیز شوند عمل انتقال حرارت بخوبی انجام گرفته و دمای گازهای خروجی کاهش می‌یابد.

روش نادرست



روش درست

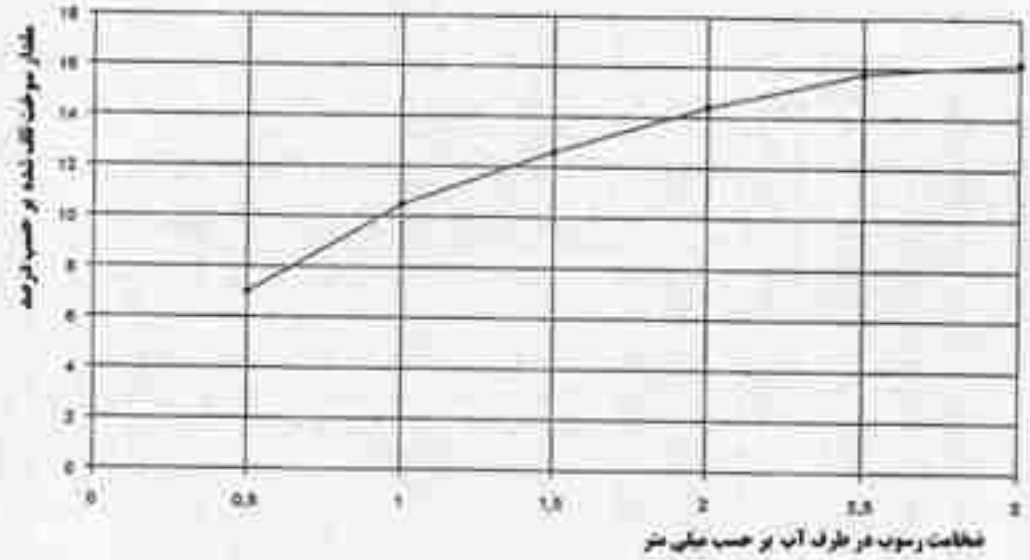


نمودار ۳-۸- کاهش دمای گازهای خروجی و افزایش راندمان در اثر تمیزکاری لوله‌ها

۱-۲-۸- عملیات تصفیه آب[1] :

- تصفیه آب بخصوص برای بویلرهای بخار بدلایل زیر صورت می‌گیرد:
- جلوگیری از بوجود آمدن جرم در لوله‌ها
- جلوگیری از بوجود آمدن جرم در تجهیزات جانبی مثل اکونومایزر
- برای کنترل ضریب هدایت در بویلرها
- کاهش خوردگی
- تولید بخار با کیفیت بالا
- کاهش یا حذف خوردگی در بویلر به علت نامحلول شدن اکسیژن در آب تغذیه

با استفاده از نمودار ۳-۹ می‌توان میزان تلفات را محاسبه نمود



نمودار ۳-۹- میزان تلفات سوخت بویلر بر حسب درصد و به ازای ضخامت رسوب(scale) لوله‌ها بر حسب میلی متر(۱۱)

1 - Water treatment

۲- تراز مصرف و تلفات انرژی در دیگ‌های بخار

از زمانی که جیمزوات اولین ماشین بخار را ساخت،بشر روزبروز بفکر توسعهٔ ایده‌های طراحی خویش به کمک امکانات بالقوهٔ زمان بود رشد صنایع به کمک توسعهٔ ماشین‌آلات قدیمی در حقیقت در جوهرهٔ خویش،نقش تکامل را یدک می‌کشید. تکامل ماشین‌های پر دردسر دیروزی به کمک افزایش بهره‌وری آنها میسر می شود و هر چه جلوتر می‌رویم بهینه‌سازی مصرف انرژی، تنها با افزایش بازده ماشین‌های موجود امکان‌پذیر می‌شود دیگ بخار بعنوان یک ماشین ترمودینامیکی است که محاسبهٔ آن با دو روش زیر انجام می‌شود:

- وضعیت انرژی خروجی نسبت به انرژی داده شده به کورهٔ دیگ مقایسه می‌شود، تا میزان قابلیت انتقال گرما توسط این ماشین را ارزیابی کند. این محاسبه راتجزیه و تحلیل اجمالی می‌گویند.
- میزان انرژی تلف شده در طول فرایند تولید بخار مشخص می‌شود تا علاوه بر محاسبهٔ بازده، امکانات بالقوهٔ صرفه‌جویی و به تبع آن افزایش بازده دیگ بخار امکان پذیر شود این روش را آنالیز تفصیلی می‌گویند.

۲-۱- بازده حرارتی دیگ بخار

برای بدست آوردن بازده حرارتی در دیگ‌های بخار چنانچه در مقدمه ذکر گردید دو روش وجود دارد:

الف - تجزیه و تحلیل حرارتی دیگ بخار بصورت اجمالی :

از رابطه (۳_۱) استفاده می‌شود:

$$\text{بازده دیگ بخار} = \frac{\text{انرژی خروجی}}{\text{انرژی ورودی}} \times ۱۰۰ \qquad (۳-۱)$$

چنانچه می‌دانیم انرژی خروجی از دیگ بخار، انرژی بخار می‌باشد این مقدار انرژی در کورهٔ دیگ از احتراق سوخت و انتقال گرمای حاصله به آب بدست می‌آید و مقدار آن از رابطهٔ (۳-۲) محاسبه می‌شود:

$$\text{انرژی خروجی} = m_s(Kj)\ (H_2-H_1) \qquad (۳-۲)$$

مقادیر H_1 و H_2 با توجه به شرایط کار دیگ‌های بخار یعنی فشار و دما، از جدول‌های ترمودینامیکی برای بخار و آب قابل محاسبه است.

انرژی ورودی به دیگ بخار در روش اجمالی، انرژی شیمیایی آزاد شدهٔ سوخت مصرفی است که از رابطهٔ (۳-۳) بدست می‌آید:

$$\text{انرژی ورودی} = m_f \times H.H.V \qquad (۳-۳)$$

m_f دبی(آهنگ جرمی) ورودی سوخت و HHV ارزش حرارتی بالا است

ب – بازده حرارتی دیگ بخار بصورت تفصیلی:

چنانچه قبلاً ملاحظه شد، برای تجزیه و تحلیل اجمالی از انرژی‌های ورودی و خروجی به دیگ بخار استفاده می‌شود اما واضح است که تعداد ورودی‌ها و خروجی‌های دیگ بخار زیاد بوده لذا برای مشخص کردن تک تک آنها جهت آنالیزی با خطای کمتر باید دیگ بخار را بصورت یک حجم کنترل در نظر بگیریم.

برای آنالیز حرارتی تفصیلی کلیهٔ انرژی‌های ورودی و خروجی از مرز سیستم محاسبه می‌شود و با استفاده از رابطه (۳-۴) بازده حرارتی دیگ بدست می‌آید.

$$\text{بازده دیگ بخار} = \frac{\text{انرژی ورودی منهای تلفات}}{\text{انرژی ورودی}} \times ۱۰۰ \qquad (۴-۳)$$

پیدا کردن شدت انرژی در مرز کنترل سیستم این حسن را دارد که علاوه بر نشان دادن انرژی‌های خروجی طبق رابطه (۳-۵) امکان افزایش بازده دیگ بخار را بوسیله کاهش تلفات انرژی در دستگاه‌های مربوطه عملی می‌سازد، لذا تجزیه و تحلیل حرارتی تفصیلی دیگ بخار، تنها بعنوان محاسبهٔ بازده آن نبوده بلکه بهینه‌سازی مصرف انرژی و صرفه‌جویی‌های بعدی با افزایش بازده دیگ بخار امکان‌پذیر می‌شود.

$$\text{انرژی} = \text{انرژی ورودی منهای تلفات} \quad (Kj)$$

۲–۲– محاسبات بازده حرارتی دیگ‌های بخار به روش مستقیم

– حرارت ورودی از احتراق سوخت مصرفی کوره:

برا ی محاسبهٔ مقدار حرارت آزاد شده از احتراق سوخت مصرفی کورهٔ دیگ بخار از رابطهٔ (۳-۶) استفاده می‌شود:

$$H_1 = m_f \times L.H.V \quad (kj) \qquad (۶-۳)$$

ارزش حرارتی پایین از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$L.H.V = H.H.V - 2500 \ (kj) \qquad (۷-۳)$$

– حرارت ورودی به کوره توسط سوخت:

سوخت‌های مایع نفتی برای پودر شدن سریع در هنگام پمپ کردن به سوی مشعل‌های دیگ باید دارای گرانروی پایینی باشند. برای نفت کوره‌ها و عمدتاً مازوت‌های سخت و سنگین پیش‌گرم کردن آنها لازم است معمولاً سوخت‌های سنگین را حداکثر تا ۱۲۵ درجهٔ سانتیگراد گرم می‌کنند.

برای پیدا کردن مقدار انرژی محسوس سوخت‌ها در ورود به کوره از رابطهٔ (۳-۸) استفاده می‌شود:

$$H_2 = m_f \ C_{pf}(T_f - T_a) \ kj) \qquad (۸-۳)$$

– حرارت ورودی به کوره توسط هوای احتراق:

برای احتراق سوخت، ورود هوا به کوره امری لازم است میزان هوای مصرفی برای یک کیلوگرم از سوخت و در نتیجه مقدار هوای کل احتراق توسط روابط شیمیایی مشخص می‌شود. اما برای افزایش بازده احتراق و بالا

بردن دمای شعله لازم است که هوا قبل از ورود به کوره و اختلاط با سوخت تا دمای معینی پیش‌گرم شود. دمای هوا تقریباً تا ۳۰۰ درجهٔ سانتیگراد افزایش می‌یابد. انرژی محسوس هوای ورودی از رابطهٔ (۳-۹) محاسبه می‌شود:

$$H_3 = m_f \, C_{pa}(T_2 - T_a) \ (kj) \qquad (۹-۳)$$

– انرژی موجود در آب تغذیه:

آب تغذیه مورد نیاز دیگ بخار قبل از ورود به دیگ توسط مبادله کن‌های حرارتی گرم می‌شود که علت آن دو چیز است:

۱- جلوگیری از تنش‌های حرارتی در متعلقات دیگ بخار

۲- بالا بردن بازده دیگ بخار

مقدار انرژی که توسط آب تغذیه وارد دیگ بخار می‌شود از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$H_4 = 4.18 \, m_w \, T \quad (kj) \qquad (۱۰-۳)$$

– انرژی ورودی به دیگ بخار توسط بخار باز گرم شده:

وقتیکه بخار در آخرین گرمکن دیگ بخار به دمای مطلوب رسید وارد توربین فشار قوی می‌شود و بعد از انبساط در آن، جهت افزایش انتالپی، مجدداً به دیگ بخار برگشته ودرمبادله کننده‌ای بنام بازگرمکن گرمتر میشود.

$$H_5 = m_v H_v \ (kj) \qquad (۱۱-۳)$$

– انرژی ورودی به مرز سیستم دیگ بخار از پمپ‌های گردش دهندهٔ آب دیگ:

در دیگ‌های بخار نیروگاه‌های با فشار بیش از ۱۵۰ بار، جهت گردش آب، احتیاج به پمپ می‌باشد. می‌دانیم که تا ۱۵۰ بار بر اثر گرم شدن آب و دو فازه شدن آن، اختلاف چگالی بین آب ورودی به دیگ و بخار آب تولید شده مخلوط دو فازه ایجاد می‌شود، که این اختلاف چگالی نیرویی بنام نیروی ترموسیفون ایجاد می‌کند که باعث گردش طبیعی آب دیگ بخار می‌شود اما هرقدر فشار دیگ بالاتر باشد اختلاف چگالی، و در نتیجه نیروی ترموسیفون کمتر می‌شود.برای محاسبهٔ انرژی ورودی به مرز سیستم توسط پمپ های گردش دهندهٔ آب دیگ بخار از رابطه زیراستفاده می‌شود:

$$H_6 = 3600 \, P_{B.C.P}{}^{1} \ (kj) \qquad (۱۲-۳)$$

1- PB.C.P فشار پمپ گردش دهنده آب دیگ است(Boiler Circulating Pump)

– انرژی ورودی به مرز سیستم از فن‌های دمندهٔ هوا:

انرژی فن‌های تأمین کنندهٔ هوای احتراق که به سیستم منتقل می‌شود از رابطهٔ محاسبه می شود:

$$H_7 = 3600\ P_{F.D.F}\ ^{1}\ (kj) \qquad (۱۳-۳)$$

– انرژی ورودی به مرز سیستم توسط فن گردش دهندهٔ مجدد دود:

در مسائل عملی احتراق در دیگ‌های بخار نیروگاهی قسمتی از محصولات احتراق جهت کمک به پایان یافتن زنجیره‌های احتراق و کسب انرژی حرارتی بیشینهٔ گونه‌ها و کنترل دمای مبدل‌های حرارتی همرفتی مثل بازگرمکن‌ها، مجدداً بوسیله یک فن به کوره بر می‌گردد.

مقدار انرژی که توسط این فن و همچنین دود ورودی به کوره به سیستم داده می‌شود از رابطهٔ زیر قابل محاسبه است:

$$H_8 = 3600\ P_{G.R.F} + m_g\ C_{rg}\ (T_g - T_a)\ ^{2}\ (kj) \qquad (۱۴-۳)$$

– انرژی ورودی به مرز سیستم توسط مواد شیمیایی تزریق شده:

این مقدار انرژی از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$H_9 = m_g\ H_g\ \ (kj) \qquad (۱۵-۳)$$

– مجموع کل انرژی‌های ورودی به مرز سیستم:

مجموع کل انرژی‌های ورودی به مرز سیستم از رابطه زیرقابل محاسبه است:

$$H_T = \sum_{i=1}^{9} H_i \quad (kj) \qquad (۱۶-۳)$$

– انرژی تلف شده بوسیله دود خشک:

منظور از دود خشک، محصولات احتراق بدون بخار آب درون آن می‌باشد که شامل N_2, CO_2, CO, O_2 و ... می‌باشد. برای محاسبهٔ این انرژی از رابطه زیر استفاده می‌کنیم:

$$L_1 = m_{Dg}.\ C_{F.D.g}(t_g - t_a)\ \ (kj) \qquad (۱۷-۳)$$

– انرژی تلف شده بوسیلهٔ کربن نسوخته سوخت مصرفی:

این مقدار انرژی از رابطهٔ (۳-۱۸) محاسبه می‌شود:

$$L_2 = mc.\ C_{P.D.g}(t_g - t_a)\ \ (kj) \qquad (۱۸-۳)$$

---

1 - $P_{F.D.F}$ فشار فن دمنده هوا است (Forced Draft Fan)

2 - $P_{G.R.F}$ فشار فن گردش دهنده دود است (Gas Recirculating Fan)

– انرژی تلف شده بوسیلهٔ رطوبت موجود در هوای ورودی به کوره

این مقدار انرژی از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$L_3 = m_{2.w} (2482,3-4.18t_s + 192t_g) \quad (kj) \qquad (۱۹-۳)$$

– انرژی تلف شده بوسیله احتراق ناقص و تولید مونواکسید کربن:

این انرژی از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$L_4 = m_{co} (H.H.V)_{co} \quad (kj) \qquad (۲۰-۳)$$

– انرژی تلف شده بوسیلهٔ خاکستر موجود در سوخت:

بعضی از سوخت‌ها مثل زغال سنگ و مازوت دارای خاکستر هستند که موجب اتلاف حرارت در دیگ بخار می‌شوند این مقدار اتلاف از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$L_5 = m_{Ash} C_r D_g (t_g - t_s) \quad (kj) \qquad (۲۱-۳)$$

– انرژی تلف شده بوسیلهٔ عملیات دوده‌زدایی:

برای تمیز کردن مبدل‌ها و دیگ‌های بخار از اجرام محصولات احتراق در هر شیفت بهره‌برداری توسط دوده‌زدایی، عملیات دوده‌زدایی با آب پرفشار و گرم انجام می‌شوداین عمل ، دوده‌ها را از روی سطوح تبادل گرمای مبدل کن‌ها پاک کرده و آهنگ انتقال گرما را بیشتر می‌کند مقدار انرژی تلف شده از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$L_6 = m_{H.W} C_{P.H.W} (T_g - T_{H.W}) \quad (kj) \qquad (۲۲-۳)$$

– انرژی تلف شده در اثر تخلیه آب دیگ بخار[1]:

بر اثر گردش مکرر سیال عامل در چرخهٔ دیگ بخار، آب سخت می‌شود و املاح جامد آن افزایش می‌یابد این املاح در صورت دفع نشدن در مبادله‌کن‌های حرارتی رسوب کرده و باعث کاهش ضریب انتقال گرما و خورندگی شیمیایی می‌شوند. ممکن است املاح همراه بخار به سمت توربین فشار قوی رفته باعث آسیب پره‌های توربین شود لذا در بهره‌برداری ،توسط عمل تخلیه آب، مقداری از آب دیگ را از درام بطور پیوسته تخلیه می‌کنند تا املاح از سیستم دفع شود.مقدار انرژی تلف شده توسط این عمل از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$L_7 = m_{B.D} C_{P.BD} (t_{B.D} - t_o) \quad (kj) \qquad (۲۳-۳)$$

– انرژی تلف شده توسط هیدروکربورهای نسوخته:

این انرژی از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$L_8 = m_{u.h.c} D_g (t_g - t_s) \quad (kj) \qquad (۲۴-۳)$$

---

1 - Blow dowr

– انرژی تلف شده بوسیله همرفت و تابش:

بر اثر نشتی دیواره‌های کوره و صد در صد نبودن عایق‌بندی کورهٔ دیگ‌ها، معمولاً مقداری انرژی حرارتی از کوره‌ها به صورت تابش و همرفت تلف می‌شود. یک رابطهٔ دقیق و مطمئن عملی برای محاسبهٔ این تلفات در دست نیست. سازندگان دیگ‌های بخار مقدار این تلفات را یک درصد کل تلفات کوره در نظر می‌گیرند.

$$L_9 = \frac{1}{100}\sum_{i=1}^{8} L_i \ \text{(kj)} \qquad (۲۵-۳)$$

مجموع کل انرژی تلف شده در دیگ‌های بخار

رابطه (۳ـ۲۶) مجموع کل انرژی تلف شده را نشان می‌دهد:

$$L_T = \sum_{i=1}^{9} L_i \ \text{(kj)} \qquad (۲۶-۳)$$

– بازده دیگ بخار:

بعد از محاسبهٔ انرژی‌های ورودی و تلفات دیگ بخار با استفاده از رابطهٔ (۳ـ۲۷) می‌توان بازده دیگ بخار را بدست آورد:

$$\eta_B = \frac{Ht - Lt}{Ht} \times ۱۰۰ \qquad (۲۷-۳)$$

جدول ۳-۴- علائم و نمادهای به کار رفته درموازنه انرژی

شرح	نماد	واحد
گرمای ویژه سوخت	$C_{p,f}$	Kj/kg.k
گرمای ویژه هوای احتراق	$C_{p,a}$	Kj/kg.k
گرمای ویژه محصولات احتراق	$C_{p,g}$	Kj/kg.k
گرمای ویژه دود خشک	$C_{p,Dg}$	Kj/kg.k
گرمای ویژه آب داغ	$C_{p,w}$	Kj/kg.k
گرمای ویژه آب تخلیه شده از دیگ	$C_{p,B.D}$	Kj/kg.k
آنتالپی	H	Kj/kg
ارزش حرارتی بالا	H.H.V	Kj/kg
ارزش حرارتی بالای دی اکسید کربن	(H.H.V) CO_2	Kj/kg
آنتالپی کلی	H_T	Kj
آنتالپی بخار فوق گرم	$H_{S.H}$	Kj/kg
آنتالپی آب داغ	$H_{B.W}$	Kj/kg
آنتالپی بخار داغ	H_s	Kj/kg
آنالپی مواد شیمیایی	H_s	Kj/kg
ارزش حرارتی پایین	L.H.V	Kj/kg
تلفات کل	L_T	Kj
آهنگ جرمی بخار داغ	m_v	Kg/hr
آهنگ جرمی سوخت	m_f	Kg/hr
آهنگ جرمی هوا	m_a	Kg/hr
آهنگ جرمی آب تغذیه	m_w	Kg/hr
آهنگ جرمی آب زیر کش	$m_{B.D}$	Kg/hr
آهنگ جرمی خاکستر موجود در محصولات احتراق	m_{Ash}	Kg/hr
آهنگ جرمی مونوکسید کربن موجود در محصولات احتراق	m_{co}	Kg/hr
آهنگ جرمی هیدروکربن های نسوخته در محصولات احتراق	$m_{u.h.c}$	Kg/hr

جدول ۳-۵- مثالی از موازنه انرژی در دیگ‌های بخار

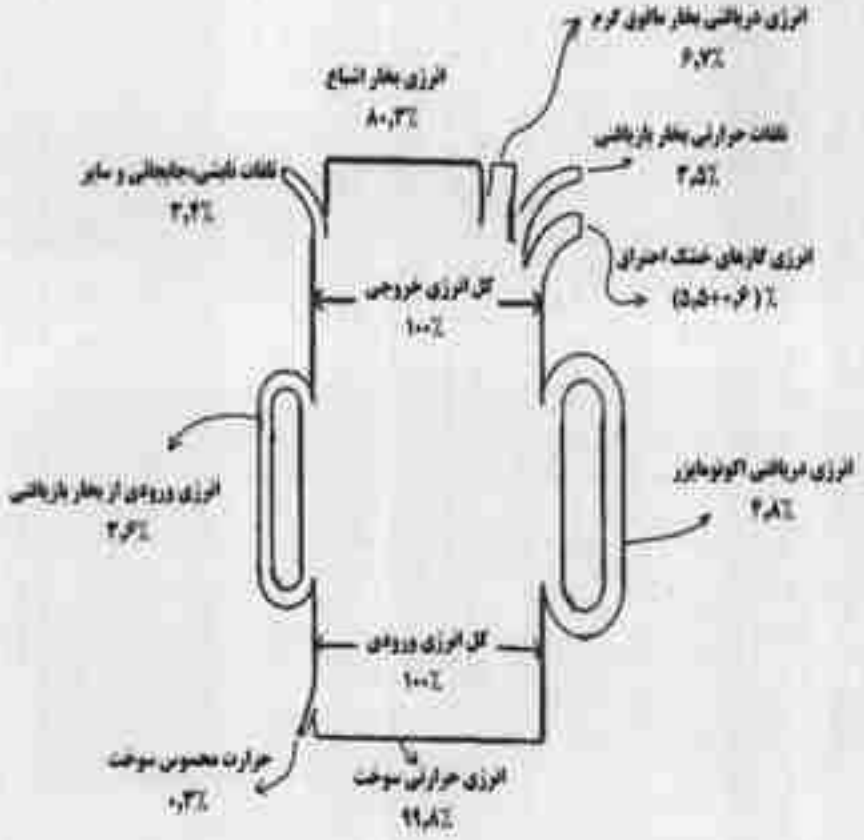
انرژی ورودی	Kcal/kg.fuel	٪	انرژی خروجی	Kcal/kg.fuel	٪
۱- ارزش حرارتی سوخت	۹۷۲۰	۹۹/۸	۱- انرژی بخار اشباع	۷۸۲۰	۸۰/۳
۲- حرارت محسوس سوخت	۲۰	۰/۲	۲- انرژی دربافتی بخار مافوق گرم	۶۵۰	۶/۷
۳- حرارت محسوس هوای احتراق	۰	۰	۳- انرژی دریافتی اکونومایزر	"<۴۶۸>"	"۴/۸"
۴- حرارت محسوس آب تغذیه	۰	۰	۴- انرژی گازهای خشک احتراق	۳۴۱	۳/۵
۵- انرژی ورودی از بخار بازیافتی	"۳۵۵"	"۳/۶"	۵- انرژی بخار برای گرمایش سوخت	۶۱	۰/۶
			۶- تلفات حرارتی ، بخار بازیافتی	۵۳۶	۵/۵
			۷- تلفات حرارتی بدلیل ناقص بودن احتراق	۰	۰
			۸- تلفات تشعشعی، جابجایی و سایر	۳۳۲	۳/۴
کل	۹۷۴۰	۱۰۰	کل	۹۷۴۰	۱۰۰

با توجه به جدول ۳-۵ بازده دیگ بخار برابر است با :

$$\eta_B = \frac{HT - LT}{HT} \times ۱۰۰$$

$$\eta B = ((9740-1270)/9740)*100$$

$$\eta B = \frac{8470}{9740} \times ۱۰۰ = ٪۸۷$$

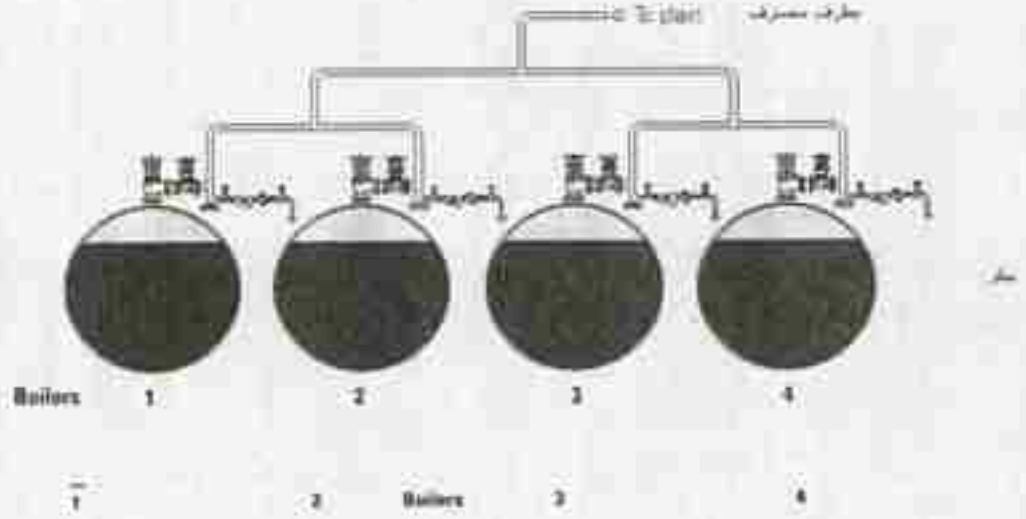


شکل ۳-۶- طرحواره کلی از موازنه انرژی در دیگ‌های بخار(۳)

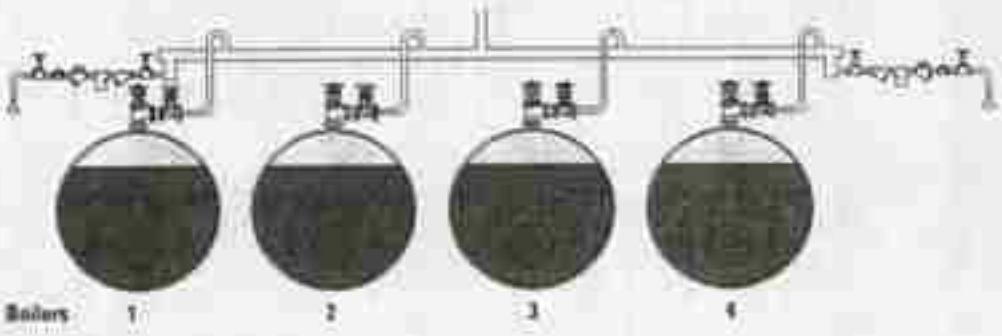
۳- بهینه‌سازی در سیستم‌های توزیع بخار

۳-۱- کلکتورهای(جمع کننده‌های) اصلی بخار و اتصال بهینه چند دیگ بخار با یکدیگر

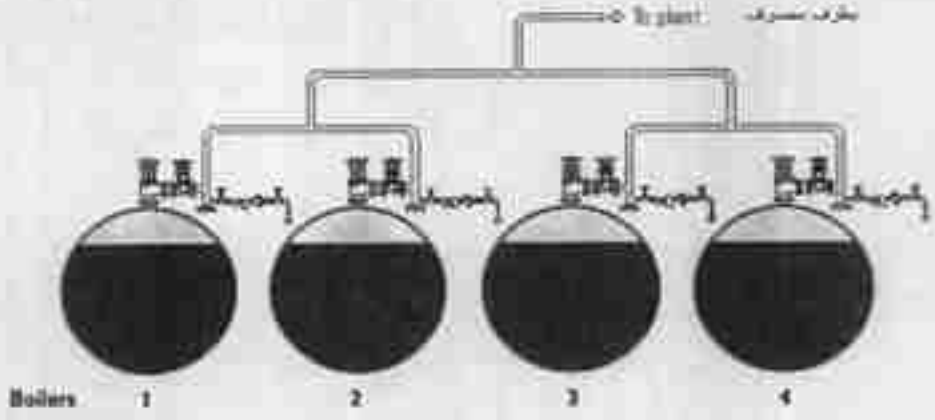
در مواردی که نیاز به بخار به مقدار زیاد باشد باید از چند دیگ بخار بطور همزمان استفاده نمود و برای استفاده از بخار این دیگ های بخار، نیاز است که ابتدا کلیه بخار دیگ های بخار به یک کلکتور اصلی وصل و از آنجا بطرف مصرف‌کننده هدایت شود. در این حالت باید این اتصال به نحوی باشد که تمام دیگ های بخار در شرایط بار یکسان کار کنند تا باعث نشود که یکی از دیگ های بخار در بار کامل یا بالاتر و دیگری در ۲۰ درصد بار کامل باشد که این کارموجب فشارکاری به یکی از بویلرها خواهد شد. در شکل ۳-۷ اتصال نادرست و در شکل ۳-۸ اتصال درست در شکل ۳-۹ اتصال بهینه چهار بویلر نشان داده شده است.



شکل ۳-۷- اتصال معمولی چهار دیگ بخار - نادرست(۲)



شکل ۳-۸- اتصال معمولی چهار دیگ بخار – درست (۲)



شکل ۳-۹- اتصال بهینه چهار دیگ بخار – بهترین وضعیت(۴)

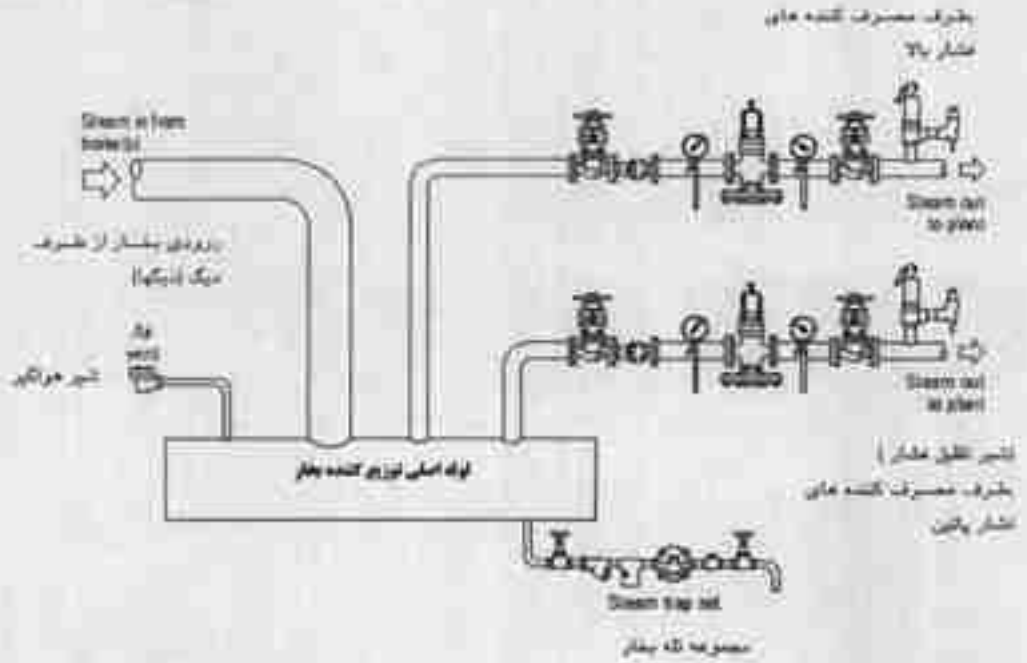
ضمناً علاوه بر رعایت چیدمان کلی کلکتورهای بخار، بمنظور اطمینان از خروج بخار تولیدی از کلکتور بطرف مصرف‌کننده بنحو مطلوب و با بهترین کیفیت باید به موارد زیر توجه کرد:

الف – بخار خروجی از دیگ‌ها و کلکتور حتی‌المقدور خشک و عاری از رطوبت باشد.

ب- مرحله گرمایش و راه‌اندازی کاملاً کنترل شده و تدریجی صورت گیرد.

ج- از امکان تحت فشارقرارگرفتن(تصادفی و ناگهانی) دیگی توسط بقیه دیگ‌ها جلوگیری شود.

د- توزیع بخار به داخل شبکه توزیع بخار بنحو مناسب صورت گیرد.



شکل ۳-۱۰- نمونه کلکتور توزیع بخار(۴)

۳-۲- استفاده از شیرهای کنترل بخار [1]

برای کنترل دما و فشار بخار، نیاز به استفاده از شیرهای کنترل است تا با ایجاد افت فشار مناسب و محدود کردن عبور جریان، باعث تغییر دبی به میزان دلخواه شود.استفاده از شیرهای کنترل باعث ثابت نگه‌داشتن دما، فشار و یا میزان جریان یکنواخت و در نتیجه صرفه‌جویی اقتصادی می‌شود.

انواع شیرهای کنترل عبارتند از:

- شیرهای کنترل دستی
- شیرهای کنترل ترموستاتیک(حرارتی)
- شیرهای کنترل از نوع شمعک دار
- شیرهای کنترل الکتریکی(برقی)
- شیرهای کنترل نیوماتیکی(بادی)

مطلب بعدی انتخاب شیرهای کنترل بخار می‌باشد.که اگر با قطر بزرگتر از حد باشد باعث ایجاد نوسان در پارامترهای مورد نظر (فشار یا دما) شده و در نتیجه منجر به کنترل ضعیف خواهد شد و همچنین خوردگی و فرسایش قسمتهای داخلی شیر تشدید خواهد شدو اگر قطر کوچکتر از حد باشد، قادر به کنترل و عبور حداکثر بار نمی‌باشد و از طرفی باعث طولانی شدن زمان راه‌اندازی سیستم و کاهش راندمان کلی مجموعه خواهد شد.

بهترین حالت برای انتخاب شیر وقتی است که بتواند در حالت ۹۰-۸۵٪ بار، عمل کنترل را انجام دهد. ضمناً قبل از شیرها حتماً باید از سپریتور [2](جدا کننده آب از بخار تر) و صافی استفاده نمود تا از جمع شدن آب در داخل آنها جلوگیری شود.

۳-۳- شیرهای فشار شکن

امروزه اکثر دیگ‌های بخار به منظور کار در فشارهای نسبتاً بالا طراحی می‌شوند در حالی که در بیشتر موتورخانه‌ها،مصرف‌کننده‌هایی با فشار کاری کمتر از فشار ماکزیمم دیگ‌ها وجود دارند. کارکرد دیگ با فشار کمتر از فشار طراحی منجر به کاهش بازده و نیز افزایش احتمال ورود آب به داخل سیستم خواهد شد و به همین دلیل دیگ‌ها باید با فشار ماکزیمم طراحی ،کار نمایند و در صورت لزوم برای مصرف‌کننده‌های فشار پایین، با استفاده از شیرهای فشارشکن، فشار مناسب را تأمین نمود. ضمناً از آنجایی که در فشارهای پایین‌تر، میزان انرژی نهان بخار بیشتر از فشارهای بالاتر است، امکان انتقال حرارت بیشتر در مصرف‌کننده‌های فشار پایین میسر می‌باشد. همچنین کاهش فشار بخار باعث کاهش میزان فلاش بخار در خروجی مصرف‌کننده‌ها و مجدداً افزایش راندمان خواهد شداساس کار تمامی شیرهای تقلیل فشار بخار برپایه عبور جریان از روزنه‌ای با قطر کوچک می‌باشد که در واقع حد فاصل قسمت‌های کلاهک [3] ونشیمن گاه [4] بوده و هر چه این اندازه کوچکتر باشد، فشار بخار بیشتر کاسته خواهد شد.

1- control valves
2-Separater
3 - Plug
4 - Seat

انواع این شیرها عبارتند از:

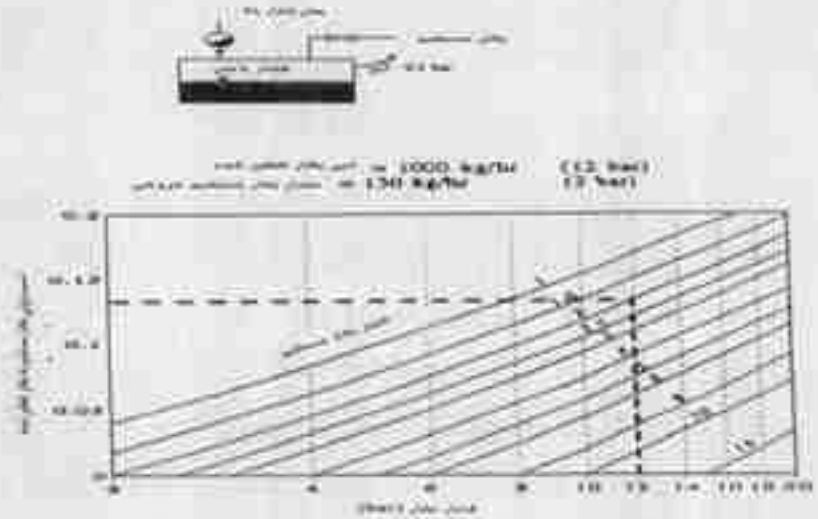
- شیرهای فشار شکن با عملکرد مستقیم
- شیرهای فشار شکن از نوع شمعک دار
- شیرهای فشار شکن ترموماتیکی(بادی)

مرحله بعد، انتخاب مناسب شیرهای فشار شکن می‌باشد که در این رابطه قدم اول، دقت در محل استفاده از شیر و اطلاع از نحوه مصرف بخار است. در بارهای کوچک که افت بسیار زیادی مورد نظر نیست، بهترین انتخاب، شیر با عملکرد مستقیم می‌باشد. در مصارف بیشتر بخار و به منظور کنترل بسیار دقیق، شیرهای از نوع پایلوت دار می‌تواند بهترین انتخاب باشد.

۳-۴- محاسبه میزان پاشش مستقیم بخار[1]:

یکی از راه‌های کاهش تلفات در سیستم توزیع بخار، جلوگیری از پاشش بخار و یا بازیافت آن می‌باشد، چون دارای انرژی بالا برای بازیافت می‌باشد و همچنین کیفیت (خشکی) بخار مصرفی بالا می‌رود و یکی از راه‌های بازیافت آن استفاده از پاشش بخار برای پیش گرمایش آب در واحدهای فشار پایین می‌باشد.

مقدار پاشش بخار تابعی از فشار بخار می‌باشد یعنی هر چه فشار بالاتر رود پاشش بیشتر خواهد شد.

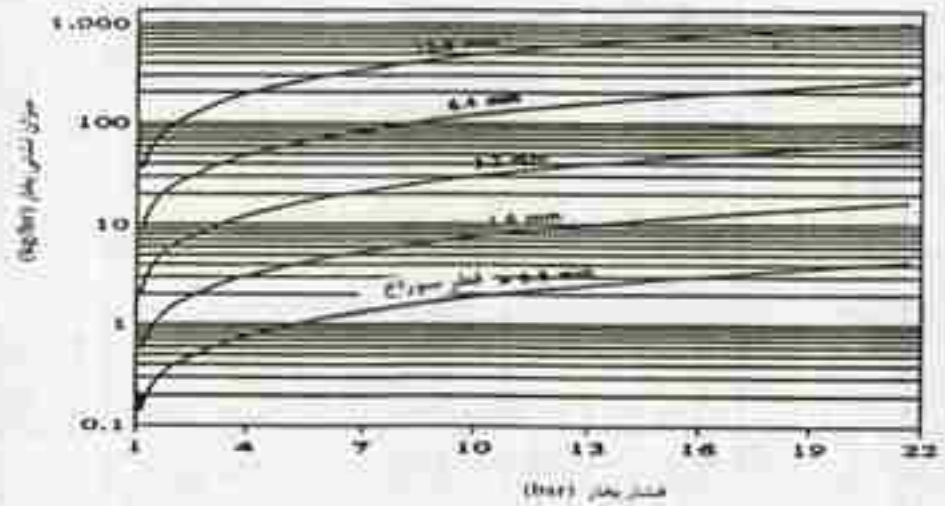


نمودار۳-۱۰- میزان پاشش بخار بر حسب میزان چگالیده در فشارهای مختلف

1 - Flah steam

۳-۵- نشتی‌های بخار

یکی از آشکارترین منبع تلفات در سیستم توزیع، نشتی بخار از شیرهای معیوب، اتصالات و فلنج‌ها می‌باشد. این نشتی‌ها که براحتی قابل تشخیص می‌باشند باید برطرف گردند زیرا یک نشتی کوچک می‌تواند انرژی زیادی را تلف نماید. به عنوان مثال در یک سیستم با فشار بخار ۷ bar با سوراخی به اندازه ۰/۸mm بیش از ۱۵۰۰ لیتر سوخت مایع در سال تلف می‌شود. که با استفاده از نمودار ۳-۱۱ می‌توان مقدار نشتی بخار را محاسبه کرد.



نمودار ۳-۱۱- میزان نشتی بخار بر حسب قطرسوراخ و فشاربخار(۱۷)

برای مثال در یک لوله با فشار بخار ۱۰bar با سوراخی به اندازه ۶/۴ mm مقدار نشتی بخار از نمودار ۳-۱۱ برابر ۱۲۰kg/hr می‌باشد که اگر از این لوله در سال ۷۵۰۰ ساعت بخار عبور کند مقدار تلفات بخار از این سوراخ در سال برابر ۹۰۰ton خواهد شد که مقدار بسیار زیادی می‌باشد.

۴- تله‌های بخار[1]

تله بخار شیر اتوماتیکی(خودکاری) است که مانع از خروج بخار از سیستم شده و در صورت لزوم آب و یا گازهای نامحلول موجود در سیستم را تخلیه می‌نماید. تله‌های بخار بصورت موازی با سیستم نصب شده و وظیفه تخلیه چگالیده موجود در خطوط را دارد.

۴-۱- لزوم بکارگیری تله بخار:

در گذشته‌های دور، چگالیده موجود در خطوط بخار به غلط نادیده انگاشته می‌شد ولی با پیشرفت علم و فناوری، ارزش واقعی تله‌های بخار معلوم شده است. کندانس(چگالیده) در واقع آب خالص و تقطیر شده می‌باشد که با صرف هزینه زیادی، عملیات شیمیایی خاص به منظور برطرف کردن سختی موجود در آب بر روی آن صورت گرفته است و بایستی به طریق مقتضی جمع‌آوری و استفاده مجدد گردد. ضمناً دمای چگالیده در حد قابل ملاحظه‌ای بوده که هزینه سوخت را دربردارد.

از طرفی آب موجود در خطوط توزیع بخار، باعث خورده شدن لوله‌ها می‌شود و ضمناً اگر میزان آب زیاد باشد، به علت سرعت بالای بخار احتمال ضربه خوردن شدید به شیرآلات و در نتیجه صدمه دیدن آنها و حتی از هم پاشیدن سیستم در برخی نقاط به وجود آید!

ضمناًآب بعنوان عایقی در برابر انتقال حرارت محسوب می‌شود که باعث کاهش آهنگ انتقال حرارت در مصرف‌کننده‌ها و مبادله کن‌های حرارتی شده و در نتیجه کاهش بازده کل سیستم را در پی خواهد داشت. وجود هوا و گازهای نامحلول در سیستم نیز به صورت مشابه ،باعث کاهش آهنگ انتقال حرارت به میزان زیاد می‌گردد. مقاومت حرارتی که یک لایه از آهن به ضخامت ۴/۳ فوت ایجاد می‌کند برابر مقاومت لایه‌ای از آب به ضخامت ۱ اینچ و یا معادل لایه‌ای از هوا به ضخامت ۰/۰۴ اینچ می‌باشد. با دقت در اعداد بالا لزوم برداشت سریع هوا و آب از سیستم مشخص می‌گردد. از طرفی وجود هوا در سیستم باعث کاهش سطح مقطع مفید برای عبور بخار می‌شود و باعث تولید صدا نیز خواهد شد. هوا معمولاً در مبادله کن‌های حرارتی و نقاط مرتفع سیستم و انتهای مسیرهای لوله‌کشی انباشته می‌شود. مسئله دیگر اینست که هوا بوسیله چگالیده جذب می‌شود و باعث کاهش PH چگالیده می‌گردد (تولید اسید کربنیک) که به نوبه خود باعث خوردگی لوله‌ها و مصرف‌کننده‌ها و اجزاء مختلف سیستم می‌گردد. اگر چه تله‌های بخار، وظیفه خارج کردن هوا از سیستم خصوصاً هنگام راه‌اندازی را نیز به عهده دارند ولی به منظور تخلیه مناسب هوا بایستی از شیرهای تخلیه هوا در مکانهای مناسب استفاده نمود.

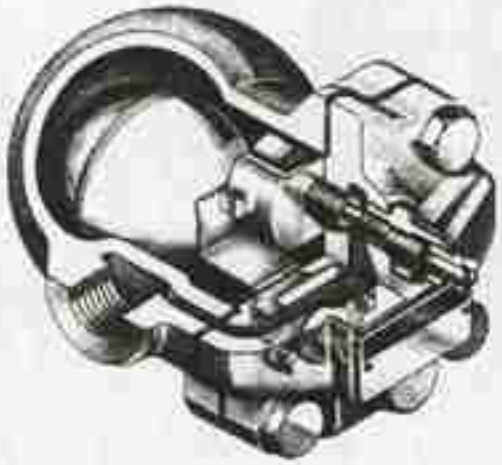
۱- Steam traps (بخارگیر ها یا تله های بخار)

۴-۲- انواع تله‌های بخار:

به طور کلی می‌توان تله‌های بخار را به سه دسته مکانیکی، ترموستاتیکی و ترمودینامیکی تقسیم‌بندی نمود که بایستی از هر گروه در مکان مناسب با توجه به نوع و محل نصب تله استفاده نمود. در زیر به طور اجمال به خصوصیات انواع تله‌های بخار و محل مناسب نصب آنها اشاره می‌گردد.

- تله بخار مکانیکی:

از پر استفاده‌ترین انواع تله‌ها می‌باشند که با استفاده از تفاوت چگالی بین بخار و چگالیده عمل می‌نمایند. بنابراین عواملی مثل دمای سیال و یا سرعت سیال در این تله‌ها تأثیرگذار نمی‌باشند.



شکل ۳-۱۰- تله بخار مکانیکی از نوع توپ شناور(۴)

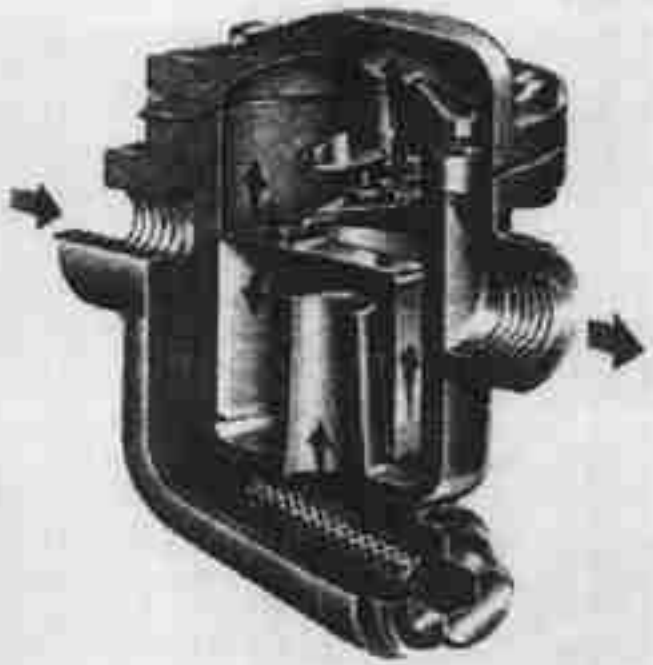
الف) تله بخار مکانیکی از نوع توپ شناور[1]:

اجزاء اصلی این تله‌ها از یک توپ شناور و مکانیزم اهرم و شیر متصل تشکیل شده است. هنگام ورود چگالیده به تله، توپ مذکور در آب غوطه‌ور شده به طرف بالا حرکت می‌کند و شیر اصلی خروجی تله را باز می‌نماید که اجازه خروج هوا از تله را می‌دهد.

این نوع تله‌ها برای استفاده در مناطقی که نرخ انتقال حرارت زیاد و در نتیجه جریان پیوسته‌ای از چگالیده وجود دارد (نظیر، مبدل‌های حرارتی، آبگرم‌کن‌ها، چیلرها، یونیت هیترها، کویل حرارتی دستگاه‌های هوارسان و ...) مناسب می‌باشند. منحنی کارکرد تله‌های فوق، کاملاً منطبق با منحنی بار اشباع بوده و بدون توجه به دمای چگالیده، آن را تخلیه می‌نمایند. این تله‌ها با توجه به شیر ترموستاتیک داخلی، قابلیت بالائی نسبت به تخلیه هوا در هنگام راه‌اندازی دارند و نیز دارای سیستم رها کن قفل بخار [2] می‌باشند که هنگام گیر افتادن توده‌ای از بخار در پشت تله، به طور دستی می‌توان بخار مذکور را تخلیه نمود. مقاومت عالی در برابر ضربه چکش (ضربه قوچ)و ظرفیت عبور چگالیده زیاد به نسبت اندازه کوچکشان ازدیگر مزایای این نوع تله‌ها می‌باشند. هنگام

1-Ball float
2 - Steam lock Releasing

انتخاب این تله‌ها بایستی به اختلاف فشار دو سر تله توجه نمود. چرا که اجزاء اصلی و خصوصاً اندازه روزنه تخلیه چگالیده با توجه به اختلاف فشار دو سر تله متفاوت خواهد بود.



شکل ۳-۱۱- تله بخار مکانیکی از نوع سطل معکوس(۴)

ب) تله بخار مکانیکی از نوع سطل وارونه[1]:

این دسته از تله‌های بخار نیز از تفاوت وزن مخصوص بین چگالیده و بخار استفاده می‌نمایند. اساس کار با استفاده از یک سطل وارونه در داخل تله می‌باشد که هنگام ورود چگالیده به داخل تله، در اثر وزن خود و غوطه‌ور شدن در آب به پایین می‌افتد و شیر خروجی تله را به منظور تخلیه چگالیده باز می‌نماید و هنگام ورود بخار، با توجه به جمع شدن بخار در زیر سطل ، به طرف بالا حرکت می‌نماید و شیر خروجی تله را **می‌بندد.** **این نوع از تله‌ها دارای ساختار داخلی بسیار محکم بوده و قابلیت تحمل** فشارهای بالا (تا ۱۰۰ بار) و ضربه چکش را دارا بوده و جهت استفاده در مدار مافوق گرم نیزمناسب می‌باشند. این نوع از تله‌ها دارای منحنی کارکرد مطابق با منحنی اشباع بخار می‌باشند و بدون توجه به دمای سیال، چگالیده را عبور خواهد داد. حساسیت این نوع تله، به یخ زدگی، از نکاتی است که باید در هنگام انتخاب مورد توجه قرار گیرد و نیز این که به علت ساختار داخلی، این نوع تله‌ها از قابلیت تخلیه هوای ضعیف‌تری نسبت به دیگر تله‌ها برخوردار می‌باشند و در صورت لزوم استفاده از آنها در مناطقی که نیاز به تخلیه سریع هوا دارند، بایستی از شیرهواگیر در نزدیکی آن استفاده نمود. از این نوع تله‌ها در کاربردهایی نظیر کلکتورهای اصلی توزیع بخار، مخازن گرم کننده سوخت، یونیت هیترها، خشک‌کن‌ها ، پرس‌های لاستیک، رادیاتورهای بخار و ... می‌توان استفاده نمود.

---

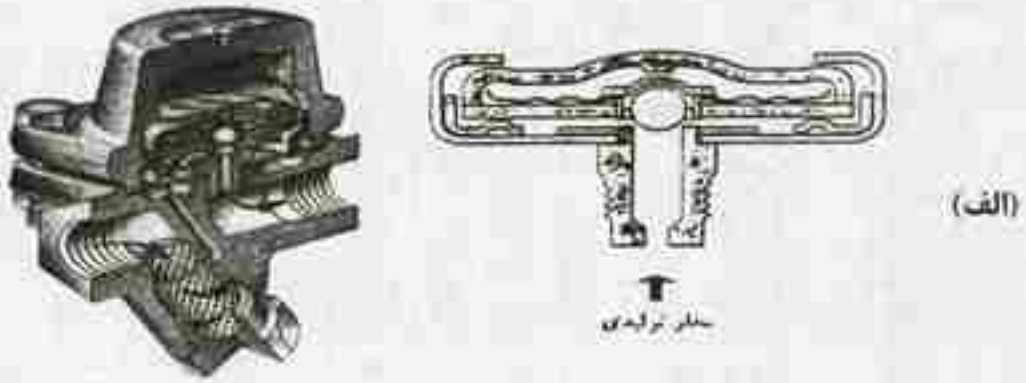
1 - Inverted Bucket

– تله بخار از نوع ترموستاتیک

این دسته از تله‌ها، با استفاده از تشخیص دمای سیال ورودی عمل می‌نمایند و منحنی کارکرد آنها همواره پایین‌تر از منحنی بخار اشباع می‌باشد. این تله‌ها به سه دسته مایع انبساطی[1]، فشار متوازن[2] و دو فلزی[3] دسته‌بندی می‌شوند.

الف – تله بخار ترموستاتیکی از نوع مایع انبساطی:

بمنظور تخلیه چگالیده سرد در هنگام خاموشی و قطع سیستم کاملاً مناسب می‌باشند و بایستی دقت شود که در دماهای بیش از ۱۰۰ درجه سانتیگراد بکار نروند. دارای قابلیت بسیار عالی تخلیه هوا در هنگام راه‌اندازی می‌باشند به علت ساختار داخلی، این تله‌ها، در اثر ازدیاد فشار که در نتیجه منجر به افزایش دما خواهد شد بسته شده و ممکن است چگالیده را به خوبی عبور ندهند و هرگز نباید در کاربردهایی که احتیاج به برداشت سریع آب از منطقه بخار دارند بکار روند. اساس کار تله‌های فوق با استفاده از کپسول حاوی مایع قابل انقباض و انبساط و کمتر از آب می‌باشد.



شکل ۱۲-۳ (الف و ب) تله بخار ترموستاتیکی (حرارتی) از نوع فشار متوازن(۲)

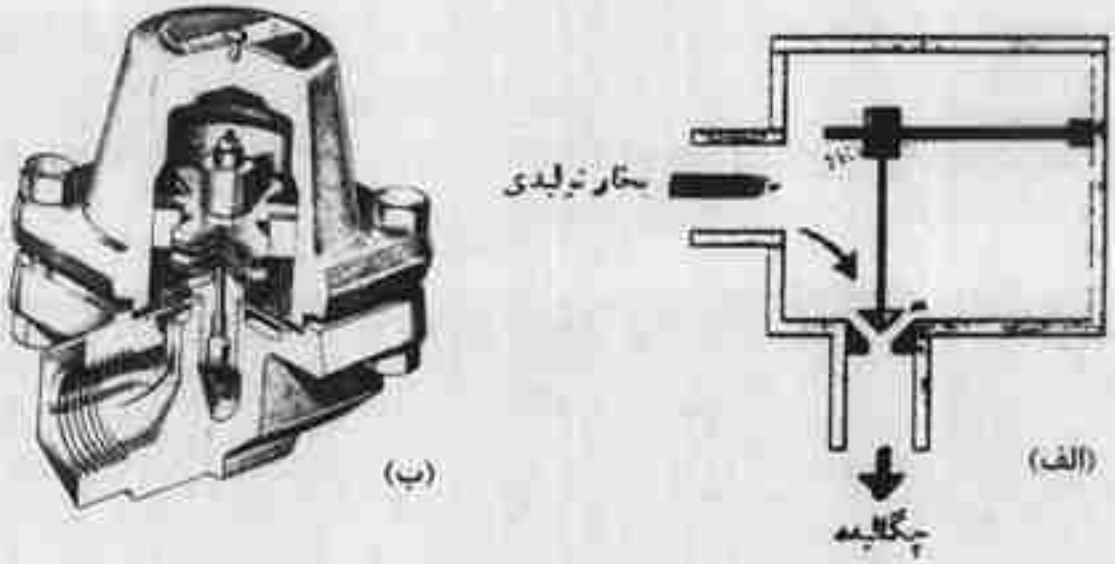
ب– تله بخار ترموستاتیک از نوع فشار متوازن:

این نوع تله‌ها دارای کپسول کوچک محتوی مایع با دمای جوش پایین‌تر از آب می‌باشند. هنگامی که چگالیده سرد و یا هوا وارد تله شود کپسول فوق کوچک و جمع می‌گردد و شیر خروجی تله را باز می‌نماید که منجر به خروج چگالیده می شود. در صورت ورود بخار، به علت دمای بالای بخار، کپسول فوق منبسط شده و مانع خروج بخار خواهد شد. در اثر مبادله حرارت تله با محیط، کپسول مذکور مجدداً سرد شده و شیر خروجی را باز می‌نماید. تله مذکور طوری طراحی شده است که به فشار سیال نیز واکنش نشان می‌دهد به طوری که در اثر ازدیاد فشار، زمان و دمای عملکرد تله نیز تغییر خواهد کرد و به این ترتیب تله خود را با تغییرات فشار در سیستم هماهنگ می کند. این تله ها کوچک، سبک و دارای قابلیت عبور چگالیده به مقدار زیاد نسبت به اندازه شان می‌باشند قابلیت مناسب تخلیه هوا در هنگام راه‌اندازی سیستم را دارا بوده و حتی در مناطق سرد و در هنگام خاموشی سیستم ،تقریباً غیرممکن است که یخ بزنند. این تله‌ها قابلیت تحمل بخارماقوق گرم را دارند.

1- Liquid Expansion
2 - Ballanced Pressure
3 - Bimettalic

نگهداری آن ها بسیار ساده بوده و می‌توان شیر و کپسول را به راحتی و بدون جدا کردن تله از خط تعویض نمود. از موارد استفاده این تله‌ها می‌توان به ظروف گرم‌کننده[1] نظیر صنایع غذایی، ژاکت‌های بخار، اتوکلاوها و استرلیزه‌کننده‌ها در تجهیزات بیمارستانی، خشک‌کن‌ها، رادیاتورهای بخار، خطوط اصلی توزیع بخار، جداکننده‌ها، خطوط دنبال کننده[2] و ... اشاره نمود.

ج – تله بخار ترموستاتیک از نوع دو فلز:



شکل ۳-۱۳ -(الف و ب) تله بخار ترموستاتیکی(حرارتی) ازنوع دوفلزی

این نوع تله‌ها نیز با استفاده از تفاوت دما بین چگالیده و بخار کار می‌کنند. اساس کار با استفاده از دو فلز با ضریب انتقال حرارت متفاوت می‌باشد که از دو سر به هم جوش داده شده‌اند. این تله‌ها دارای خط واکنش دمای ثابتی هستند که به منظور تطبیق آنها با منحنی اشباع، از دو یا چند عنصر در یک تله استفاده می‌شود. این کار موجب تقویت تله شده و سبب ازدیاد نیروی حاصله برای باز و بسته شدن تله می شود. هنگام ورودی چگالیده سرد به تله،عناصر فوق در حالت عادی و صاف قرار دارند و شیر خروجی تله باز می‌باشد، به محض رسیدن چگالیده داغ یا بخار، عناصر بالا به حالت منحنی درآمده و منجر به بسته شدن شیر خروجی تله می‌شوند.

قابلیت مناسب برای تخلیه هوا در حین راه‌اندازی سیستم، مقاومت در برابر ضربه چکش و چگالیده خورنده بخار با فشار بالا ـ از مزایای این تله‌ها می‌باشند ضمن اینکه می‌توانند در محدوده گسترده‌ای از فشار بدون نیاز به تغییر در قطر روزنه کار کنند. همچنین این تله‌ها بعنوان شیر یکطرفه نیز عمل کرده و در صورت برگشت چگالیده بسته خواهند شد و نگهداری و تعمیرات آنها بسیار آسان است و به همین دلیل این تله‌ها زیر دمای بخار اشباع کار می‌کنند باید حتماً در انتهای یک پایه خنک‌کننده نصب شوند (مانند انواع دیگر تله‌های ترموستاتیکی) وگرنه چگالیده را بخوبی عبور نداده و باعث جمع شدن تلفات می‌شود. این تله‌ها در مواردی که

1 - Bollipan
2 - Tracer

احتیاج به برداشت سریع چگالیده از سیستم باشد مناسب نبوده و در برابر تغییرات بار و یا فشار سریع عمل نمی کنند. نسبت به ناخالصی‌ها و مواد خارجی داخل بخار، بسیار حساس بوده و قبل از آنها حتماً بایستی از صافی استفاده نمود. موارد استفاده این نوع تله تقریباً مشابه تله‌های فشار متوازن می‌باشد.

شکل ۲-۱۸- تله بخار ترمودینامیکی

- تله بخار نوع ترمودینامیکی

این نوع از تله‌ها با استفاده از خاصیت سرعت سیال کار می‌نمایند. هنگام ورود سیال با دمای پایین دیسک متحرکی که در خروجی تله بخار و در قسمت فوقانی قرارداد غوطه‌ور و اجازه خروج چگالیده را بدست می‌دهد. با رسیدن بخار و یا چگالیده دما بالا، به علت عبور سیال از یک گلوگاه و افزایش سرعت عبور، مقداری از چگالیده به بخار تبدیل شده و پدیده پاشش روی می‌دهد که با توجه به تفاوت سطح مقطع در قسمت بالا و پایین دیسک، نیروی رو به پایین به دیسک بیشتر شده و تله بسته می‌شود تا اینکه بخار مجدداً چگالیده شده و چرخه فوق از سرگرفته می شود. تکرار چرخه ها به دمای بخار و شرایط محیط بستگی دارد. این نوع تله ها بین ۲۰ تا ۴۰ ثانیه بسته مانده و مجدداً باز خواهند شد. در فشارهای خیلی بالا و یا در مناطق سرد، به منظور کاهش آهنگ باز و بسته شدن تله، بایستی تله‌ها با عایق مناسب پوشیده شوند. این نوع تله‌ها می‌توانند بین حداقل و حداکثر ظرفیتشان بدون هیچ تغییر و تنظیمی کار نمایند، کوچک، ساده، سبک و دارای تعمیرات آسان هستند. قابلیت استفاده در مدار مافوق گرم با فشارهای بسیار بالا را دارا بوده و در برابر ضربات چکش و یا ارتعاشات سیستم و نیز یخزدگی مقاوم هستند. صدای کلیک هنگام کارتله که نشان‌دهنده باز و بسته شدن تله می‌باشد امکان کنترل وضعیت کاری آنرا به راحتی بدست می‌دهد. در هنگام استفاده از این نوع تله باید دقت شود که اختلاف فشار بین دو سر تله کم نباشد چرا که سرعت بخار در زیر دیسک کم شده و کارکرد تله دچار اخلال خواهد شد. حداقل فشار ورودی به این تله‌ها ۰/۲۵ bar g می‌باشد. دیسک متحرک بعنوان شیر یکطرفه نیز عمل می‌نماید و نیاز به نصب شیر یکطرفه نمی‌باشد. باید دقت نمود که اندازه تله بزرگتر از حد مناسب نباشد چرا که تعداد چرخ های باز و بسته شدن زیاد شده و باعث فرسایش دیسک متحرک خواهد شد.

از موارد استفاده این نوع تله‌ها می‌توان به ظروف گرم‌کننده، گرم‌کننده‌های مخازن سوخت، خطوط دنبال کننده، واکت‌های بخار، تجهیزات خشکشوئی، پرس‌ها، خطوط اصلی توزیع بخار در ساختمان‌ها، کلکتورهای فشار بالا و ... اشاره نمود.

انواع دیگر از تله‌ها نیز نظیر مارپیچی[1] و ضربه ای[2] نیز وجود دارد که به علت جلوگیری از طولانی شدن مبحث، از پرداختن به آنها خودداری می‌شود.

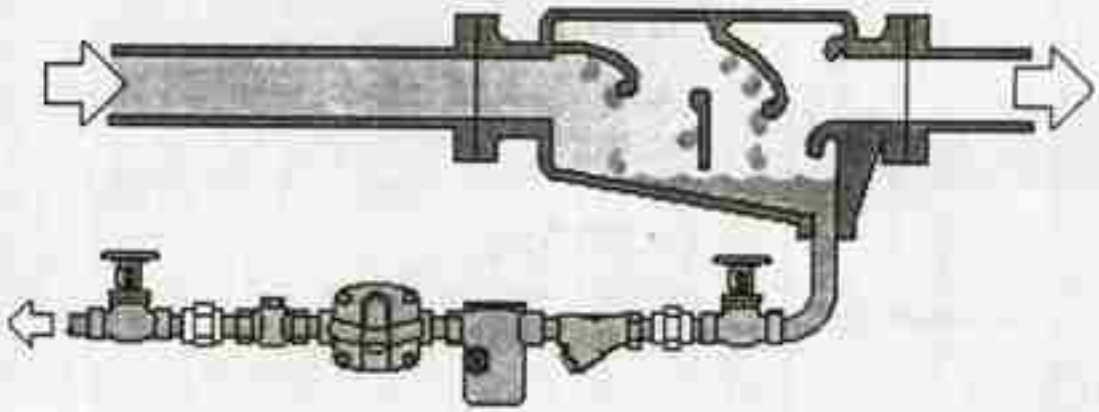
۴-۳- محل نصب تله‌های بخار:

در نقاطی از سیستم‌های توزیع بخار که احتمال چگالیده وجود دارد، تله‌های بخار باید نصب شوند تا چگالیده حاصل را خارج نمایند. بارهای از این نقاط به شرح زیر می‌باشند:

- خروجی مبادله کن های حرارتی و تجهیزاتی که از بخار به عنوان عامل انتقال حرارت استفاده می‌نمایند. (نظیر منابع آبگرم مصرفی، ظروف گرم‌کننده، مبادله کن های حرارتی، چیلرهای جذبی، کویل حرارتی هوارسان‌ها، رادیاتورهای بخار، یونیت هیترهای بخار و ...)
- ورودی شیرهای تقلیل فشار و شیرهای کنترل دما به منظور جلوگیری از ورود چگالیده با سرعت بالا به داخل شیر و در نتیجه ایجاد صدمه به شیر.
- انتهای خطوط توزیع بخار.
- کلکتورهای اصلی توزیع بخار.
- خروجی خطوط پیرو(تعقیب کننده).
- پایین‌ترین نقطه لوله های بخار و حلقه‌های انبساط
- فواصل حدود ۳۵ متر در روی خطوط مستقیم توزیع بخار.
- خروجی جداکننده های موجود در خطوط بخار. (شکل ۳-۱۵)

---

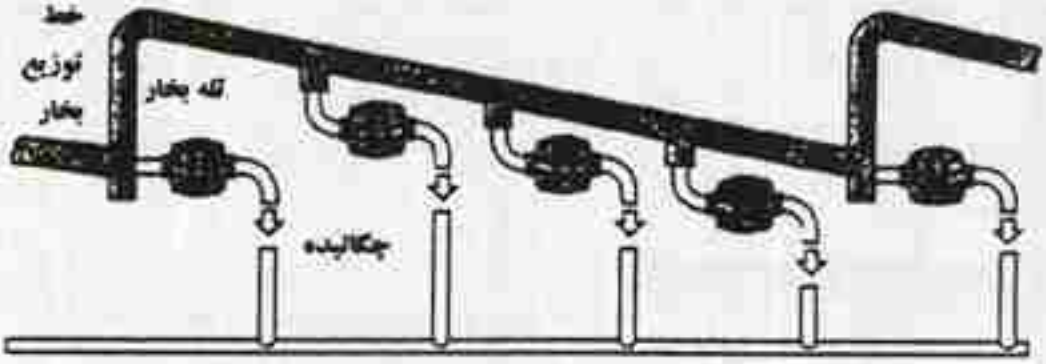
1 -Labyrent
2 -Impulse



شکل ۳-۱۵- نصب تله بخار در خروجی جدا ساز

۴-۴- رعایت نقاط نصب تله‌های بخار در خطوط برگشت بخار تغلیرشده

کلیه خطوط اصلی توزیع بخار باید دارای شیب منفی (رو به پایین) باندازه یک متر در طول ۲۵۰ متر، در جهت حرکت بخار باشند. در خطوط طولانی انتقال بخار که تراز لوله بمقدار زیادی پایین می‌آید، می‌توان از لوله های موضعی بخار همراه با تله نصب شده در پایین لوله استفاده کرد.

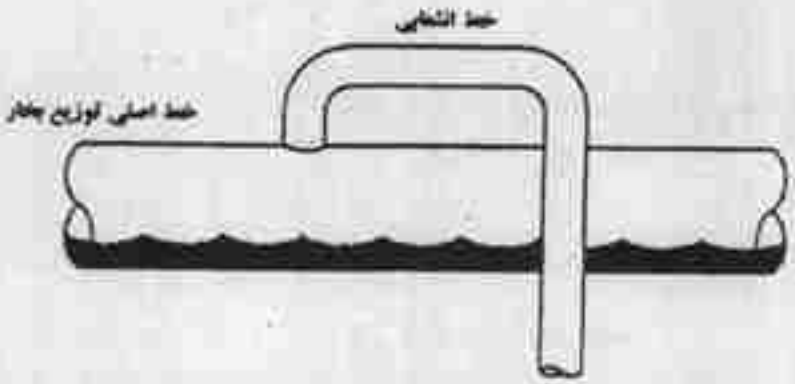


شکل ۳-۱۶- نحوه صحیح توزیع بخار به ارتفاع بالاتر (تراز مثبت)

در مناطقی که بعلت وضعیت سایت و یا عوامل دیگر ناچاراً لوله کشی بایستی با شیب معکوس (رو به بالا) اجرا شود، نقاط تخلیه بایستی با فواصل نزدیکتر (هر ۱۵ متر) در نظر گرفته شود و قطر لوله بخار بزرگتر انتخاب گردد. افزایش قطر باعث کاهش سرعت بخار شده و به چگالیده موجود در قسمت زیرین لوله اجازه خواهد داد تا برخلاف جهت حرکت بخار، جریان پیدا کرده و توسط تله‌ها به خارج از لوله انتقال یابد.

شیب لوله چگالیده به طرف تله بخار حدود ۱/۱۲۰ در نظر گرفته شود.

کلیه انشعاب‌های خطوط بخار از قسمت فوقانی لوله گرفته شوند تا از ورودی چگالیده به داخل خطوط فرعی توزیع بخار جلوگیری شود.

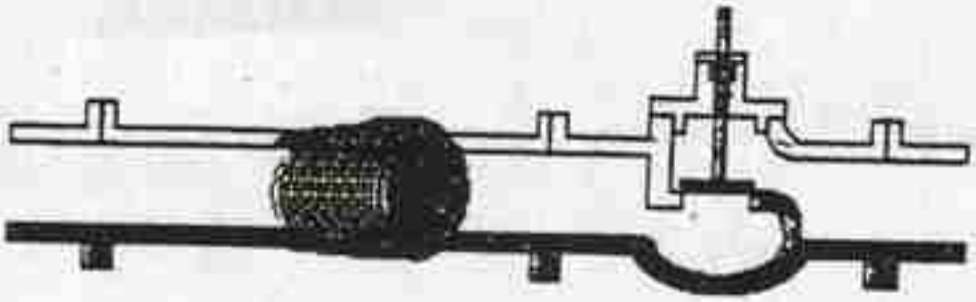


شکل ۳-۱۷- روش صحیح انشعاب از خط لوله توزیع بخار

کاهش قطر لوله‌های بخارمطابق شکل (۳- ۱۸) از قسمت فوقانی لوله انجام گیرد و قسمت زیرین لوله صاف باشد در صورت کاهش قطر لوله از قسمت تحتانی، به علت مانع در برابر حرکت چگالیده، مقداری از چگالیده در پشت محل تبدیل جمع شده و مشکل ایجاد می کند.

شکل ۳-۱۸- روش صحیح تغییر قطر در خط لوله توزیع بخار

نصب صافی‌های بخار قبل از شیرهای کنترل و شیرهای فشار شکن بصورت افقی انجام گیرد. اگر صافی‌ها بصورت عمودی نصب گردند، در زمان خاموشی سیستم مقداری از چگالیده در داخل صافی‌ها جمع خواهد شد و در زمان راه‌اندازی مجدد سیستم، سرعت بالای بخار باعث خواهدشد تا چگالیده با شدت به طرف شیر حرکت کرده و ایجاد ضربه و صدمه در شیر نماید.



Steam Strainer before Control Valves

شکل ۳-۱۹- نصب صافی بخار قبل از شیرهای کنترل، فشارشکن

قبل از تله‌های بخار، صافی نصب گردد تا از ورود ذرات و ناخالصی‌های موجود در خط، بداخل تله جلوگیری بعمل آید (بجز تله‌هایی که دارای صافی داخلی هستند) تله های بخار دارای اجزا متحرک کوچکی هستند که توسط اجسام و ذرات کوچک براحتی گرفته شده و از کار خواهند افتاد.

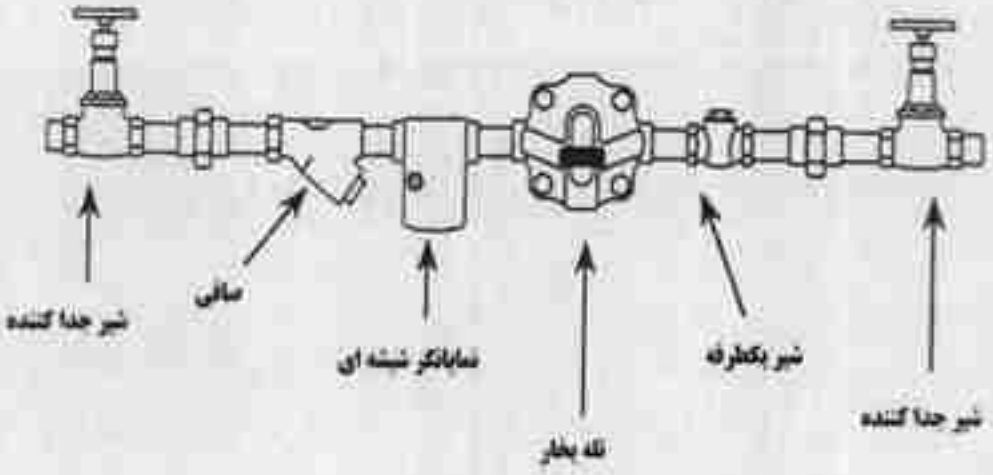
به منظور با خبر بودن از وضعیت کاری تله‌های بخار، در ورودی کلیه تله‌ها ازشیشه نشان دهنده[1] و یا ترجیحاً از تجهیزات کاهش‌دهنده تله‌های بخار[2] استفاد شود.

در خروجی تله‌های بخار که دارای شیر یکطرفه داخلی نیستند و به علت فشار منفی[3] یا فشار زیاد در خروجی تله (خط چگالیده)، احتمال برگشت چگالیده به داخل تله وجود دارد، حتماً بایستی ازشیر یکطرفه[4] استفاده نمود. فشار منفی ممکن است به علت فاصله زیاد عمودی خط چگالیده نسبت به خروجی تله، فشار زیاد در خط چگالیده، افزایش ناگهانی بار و یا کاهش فشار بخار ورودی به تله روی دهد. اختلاف فشار هر چه بیشتر در دو سر تله، به عملکرد بهتر تله و ظرفیت بیشتر عبور چگالیده کمک خواهد نمود. در مواردی که فشار خروجی تله برابر یا نزدیک به فشار ورودی است (کمتر از ۰/۱ بار)، می‌توان از سیستم پمپهای مکانیکی استفاده نمود که بدون نیاز به برق و یا انرژی جداگانه، با استفاده از خط کوچک بخار مجزای ورودی به تله، چگالیده را به ارتفاع لازم پمپاژ می‌نماید.

شیرهای قطع و وصل مناسب از نوع کف فلزی یا توپکی در دو طرف مجموعه تله نصب گردند.

1_ sight Glass
2 - Steam trap monitoring
3 - Back Pressure
4 - Check valve

حتی‌المقدور از بکار بردن راه میان بر [1] در مجموعه تله خودداری شود. علت اصلی استفاده از میان بر، باز کردن شیر در زمان راه‌اندازی سیستم به منظور کمک به تخلیه سریع چگالیده و سرعت بخشیدن به عملیات گرم کردن [2] می‌باشد. در حالیکه عملاً ثابت شده است پس از گذشت مدتی از کارکرد سیستم، قسمت‌های داخلی شیر ممکن است صدمه دیده و به نشت بخار منجر شود. در این صورت مقدار زیادی از بخار زنده، بدون اطلاع و کنترل تبخیرکننده به داخل خط چگالیده نشت می کند که خود اتلاف هزینه و مسائل بعدی را بدنبال خواهد داشت.



شکل ۲-۲۰- نمای کامل تله بخار در خطوط توزیع بخار

همانطور که گفته شد به منظور تخلیه چگالیده در طول خطوط توزیع بخار، بایستی در فواصل حدود ۳۵ متر، فضای مناسب جهت جمع‌آوری چگالیده به همراه مجموعه تله بخار در نظر گرفته شود که به حفره [3] معروف می‌باشد. از آنجایی که بخار دارای سرعت زیاد بوده و چگالیده موجود در خطوط بر اثر وزن خود در قسمت پایین لوله در حال حرکت است، باید فضای مناسب جهت جمع‌آوری چگالیده و انتقال آن به تله بخار فراهم شود. اگر انشعاب تله بخار، با قطر ناکافی مستقیماً از خط توزیع بخار گرفته شود، تنها مقدار بسیار ناچیزی از چگالیده خارج خواهد شد زیرا سرعت بخار اجازه ورود چگالیده به داخل انشعاب تله را نخواهد داد. همچنین اگر ارتفاع حفره کوچک باشد،چگالیده ورودی به حفره سریعاً توسط بخار به خارج محفظه رانده خواهد شد. بنابراین باید در خطوط اصلی توزیع بخار و توضیع کننده های بخار، حفره با ابعاد مناسب پیش‌بینی شود. جدول زیر نمونه ای از ابعاد مختلف را نشان می دهد:

1-Bypass
2 - Warm up
3 - Pocket

ارتفاع پاکت	قطر پاکت	قطر لوله توزیع بخار
18"	هم‌اندازه قطر لوله توزیع بخار	تا 6"
18"	6"	6" الی 12"
۱/۵ برابر قطر لوله توزیع بخار	نصب قطر لوله توزیع بخار	بزرگتر از 12"

۴-۵- محاسبه هزینه نشت بخار از تله‌ها

نشت بخار از لحاظ مالی و زیست محیطی هزینه بر است و بنابراین توجه خاصی لازم است تا از کارکرد صحیح سیستم با حداقل خسارت به محیط زیست اطمینان حاصل شود. برای مثال، هر لیتر سوخت سنگین که برای جبران نشتی بخار سوزانده می‌شود حدود سه کیلوگرم گاز دی‌اکسید کربن به اتمسفر تخلیه می‌کند.
تله‌های بخار برای پوشش دادن شرایط مختلف کاری، دارای اندازه‌های مختلف می‌باشند که اندازه آنها به اختلاف فشار دو سر تله و میزان چگالیده عبوری بستگی دارد. میزان نشتی بخار به اندازه تله و میزان فشار کاری شبکه وابسته است و هزینه نشت بخار نیز به اندازه و تعداد تله‌های معیوب و زمان کارکرد سیستم مربوط خواهد بود.

جدول ۳-۲۱- میزان تقریبی نشت بخار و هزینه بر حسب اندازه تله و فشار کاری

اندازه تله بخار	اندازه متوسط سوراخ در تله های بخار	میزان نشتی بخار از هر تله بخار (kg/h)			نمونه هزینه سالیانه (بر حسب ۱۰۰۰ پوند انگلیس)		
(mm)	(mm)	6 bar g	14 bar g	32 bar g	6 bar g	14 bar g	32 bar g
DN15	3.0	8	19	43	13	32	72
DN20	5.0	24	53	119	40	89	200
DN25	7.0	55	121	270	92	203	453
DN40	10.0	98	214	478	164	359	802
DN50	12.5	152	335	747	255	562	1254

بطور مثال یک سایت بخار را در نظر بگیرید که دارای دویست تله بخار می‌باشد و سالیانه ده درصد از تله‌ها دارای نشت بخار می‌باشند قطر متوسط تله‌ها 20 mm بوده و فشار ورودی به تله‌ها 14 bar می‌باشد ساعات کاری سایت ۲۴ ساعته و ۳۵۰ روز در سال می‌باشد:

تعداد تله‌های دارای نشتی در طول سال :	10% * 200=20
میزان نشتی بخار از هر تله (از جدول۳-۲۱) :	53 kg/hr
میزان نشتی بخار در طول سال :	20 ×53 ×(350 × 24) =8900 ton

اگر هزینه کلی تولید بخار برای این سایت حدوداً برابر ۲۰،۰۰۰ ریال بازای هر تن بخار باشد، هزینه تشت بخار از تله‌ها رقمی معادل ۱۷۸ میلیون ریال خواهد بود. در ضمن برای جبران بخار تشتی بایستی هزینه زیادی بمنظور تهیه آب مقطر خالص صورت گیرد.

همچنین میزان دی اکسید کربن آزاد شده به اتمسفر از سوختن سوخت برای جبران تشتی بخار مذکور حدود ۳۰۰۰ تن می‌باشد. گفتنی است که معاهده کیوتو به منظور جلوگیری از صدمات زیست محیطی تعیین شده است و موافقت‌های بین‌المللی برای جرایم نیروگاه‌های با راندمان پایین به عمل آمده است.

۴-۶- مسدود شدن تله‌های بخار

در صورت از کار افتادن تله‌ها، آب موجود در خطوط بخار بطور کامل برداشته نشده و در نتیجه بازده سیستم بطور مؤثر کاهش می‌یابد که هزینه آن با توجه به نوع فرایند متفاوت است. همچنین خطرات زیادی نیز از لحاظ ایمنی بهمراه خواهد داشت که میزان هزینه آن غیرقابل پیش بینی است.

بمنظور کاهش هزینه‌های سوخت و هزینه‌های اضافی ناشی از تشت بخار که ذکر گردید و نیز بمنظور افزایش راندمان فرایند، چهار هدف مهم در مورد تله‌های بخار می‌بایست دنبال گردد:

۱- تشخیص فوری از کار افتادن تله

۲- تشخیص صحیح از کار افتادن تله (انتخاب غلط تله بخار در حال کار، آسانتر از انتخاب صحیح تله بخار معیوب است)

۳- امکان رفع خرابی تله بمحض مشخص شدن عیب آن.

۴- سیستم نشان‌دهنده که بتواند اهداف بالا را بطور دقیق، مرتب و پیوسته دنبال نماید.

پیوست شماره ۱ جدول بخار

جدول بخار (در سیستم واحد بین المللی)

فشار (bar)	دما (°C)	گرمای نهان ویژه (مخصوص)			حجم مخصوص بخار
		آب (kJ/kg)	تبخیر (kJ/kg)	بخار (kJ/kg)	(m3/kg)
Absolute					
0.30	69.10	289.23	2,336.1	2,625.3	5.229
0.50	81.33	340.49	2,305.4	2,645.9	3.240
0.75	91.78	384.39	2278.6	2663.0	2.217
0.95	98.20	411.43	2261.8	2673.2	1.777
Gauge					
0	100.00	419.04	2257.0	2676.0	1.673
0.10	102.66	430.2	2250.2	2680.4	1.533
0.20	105.10	440.8	2243.4	2684.2	1.414
0.30	107.39	450.4	2237.2	2687.6	1.312
0.40	109.55	459.7	2231.3	2691.0	1.225
0.50	111.61	468.3	2225.6	2693.9	1.149
0.60	113.56	476.4	2220.4	2696.8	1.083
0.70	115.40	484.1	2215.4	2699.5	1.024
0.80	117.14	491.6	2210.5	2702.1	0.971
0.90	118.80	498.9	2205.6	2704.5	0.923
1.00	120.42	505.6	2201.1	2706.7	0.881
1.10	121.96	512.2	2197.0	2709.2	0.841
1.20	123.46	518.7	2192.8	2711.5	0.806
1.30	124.90	524.6	2188.7	2713.3	0.773
1.40	126.28	530.5	2184.8	2715.3	0.743
1.50	127.62	536.1	2181.0	2717.1	0.714
1.60	128.89	541.6	2177.3	2718.9	0.689
1.70	130.13	547.1	2173.7	2720.8	0.665
1.80	131.37	552.3	2170.1	2722.4	0.642
1.90	132.54	557.3	2166.7	2724.0	0.622
2.00	133.69	562.2	2163.3	2725.5	0.603
2.20	135.88	571.7	2156.9	2728.6	0.568
2.40	138.01	580.7	2150.7	2731.4	0.536

		Specific Enthalpy			Specific Volume
Pressure (bar)	Temperature (°C)	Water (kJ/kg)	Evaporation (kJ/kg)	Steam (kJ/kg)	Steam (m3/kg)
2.60	140.00	589.2	2144.7	2733.9	0.509
2.80	141.92	597.4	2139.0	2736.4	0.483
3.00	143.75	605.3	2133.4	2738.7	0.461
3.20	145.46	612.9	2128.1	2741.0	0.440
3.40	147.20	620.0	2122.9	2742.9	0.422
3.60	148.84	627.1	2117.8	2744.9	0.405
3.80	150.44	634.0	2112.9	2746.9	0.389
4.00	151.96	640.7	2108.1	2748.8	0.374
4.50	155.55	656.3	2096.7	2753.0	0.342
5.00	158.92	670.9	2086.0	2756.9	0.315
5.50	162.08	684.6	2075.7	2760.3	0.292
6.00	165.04	697.5	2066.0	2763.5	0.272
7.00	170.50	721.4	2047.7	2769.1	0.240
7.50	173.02	732.5	2039.2	2771.7	0.227
8.00	175.43	743.1	2030.9	2774.0	0.215
8.50	177.75	753.3	2022.9	2776.2	0.204
9.00	179.97	763.0	2015.1	2778.1	0.194
9.50	182.10	772.5	2007.5	2780.0	0.185
10.00	184.13	781.6	2000.1	2781.7	0.177
10.50	186.05	790.1	1993.0	2783.3	0.171
11.00	188.02	798.8	1986.0	2784.8	0.163
11.50	189.82	807.1	1979.1	2786.3	0.157
12.00	191.68	915.1	1972.5	2787.6	0.151
12.50	193.43	822.9	1965.4	2788.8	0.148
13.00	195.10	830.4	1959.6	2790.0	0.141
13.50	196.62	837.9	1953.2	2791.1	0.136
14.00	198.35	845.1	1974.1	2792.2	0.132

فصل ۴

روش‌ها و تجهیزات اندازه‌گیری انرژی حرارتی

۱- آشنایی با دستگاه‌های ممیزی انرژی

اولین گام در مدیریت مصرف انرژی، شناخت کامل سیستم‌های مورد نظر از نقطه نظر مصرف انرژی با هدف شناسایی زمینه‌هایی است که امکان صرفه‌جویی در آنها وجود دارد بی‌آنکه خللی در فرایند تولید وارد آید. به این منظور لازم است تا تصویر دقیقی از مصارف انرژی و نحوه عمل تجهیزات انرژی بر، داشته باشیم تا بدانیم چه مقدار انرژی، به چه صورت و با چه هزینه‌ای مورد استفاده قرار گرفته و همچنین بتوانیم نحوه عملکرد دستگاه‌ها را با حالت استاندارد مقایسه کنیم و در نهایت با تمهیداتی خاص کارایی مستقیم را بالا برده و به تبع آن از مصرف انرژی کاسته و سیستم را از این نظر بهینه نماییم.

شناخت دستگاه‌های ممیزی انرژی و کاربرد آنها می‌تواند نقش مهمی در افزایش بهره‌وری انرژی در کارخانجات داشته باشد. از جمله شاخص‌های انتخاب در خرید این تجهیزات قابلیت حمل دستی، سهولت نصب در خط تولید و راه‌اندازی و همچنین عدم ایجاد اخلال در خط تولید است.

مزیت‌های استفاده از دستگاه‌های اندازه‌گیری قابل حمل عبارتند از:

- امکان استفاده مکرر از یک وسیله اندازه‌گیری در موقعیت‌های مختلف
- امکان استفاده مشترک از یک وسیله اندازه‌گیری در بخش‌های مختلف یک فرآیند
- کنترل و بازبینی اندازه‌گیری ثابت و اطمینان از مقادیر اندازه‌گیری شده توسط آنها

مهمترین دستگاه‌های اندازه‌گیری و ممیزی انرژی که در حال حاضر رایج بوده و مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از:

۲- انواع دستگاه های اندازه گیری حرارتی

- آنالیزور(تحلیل گر) احتراق[1]
- دبی سنج مافوق صوت[2]
- دما سنج مادون قرمز[3]
- جمع کننده داده ها[4]
- طیف سنج[5]
- هدایت سنج و PHمتر

۲-۱ - دستگاه تحلیل گر احتراق :

دستگاه testo 35 یک تحلیل گر احتراق میباشد که دارای بازه اندازه گیری وسیعی برای کنترل فرایندها در کوره های صنعتی و دیگ های بخار و حتی در زمینه تعمیرات و نگهداری آنها می باشد و می تواند مقدار دقیق NO_2,No,Co,Co_2,SO_2ودرصد هوای اضافی را نشان بدهد.

شکل ۲-۱- تصویری از دستگاه تحلیل گر احتراق(۳)

موارد کاربرد تحلیل گر احتراق:

- دیگ های بخار و کوره های صنعتی
- تنظیم مشعلهای صنعتی و خالگی جهت بهینه کردن بازده احتراق
- نصب جهت انجام ممیزی زیست محیطی داخلی
- تعیین فشار و سرعت گازهای خروجی
- مشخصات فنی آنالیزور احتراق:

1- Testo 350
2 - Ultrasonic flometer
3 - infrared thermometer
4 - data logger testo 454
5 - Spectrophotometer

مشخصات فنی آنالیزور احتراق:

جدول ۴-۱- مشخصات فنی تحلیل‌گر احتراق

دامنه اندازه‌گیری	۴۰ – ۹۸۰ درجه سلسیوس (۴۰ – تا ۱۸۰۰ درجه فارنهایت)
کنش (اندازه‌گیری فشار	
محدوده اندازه‌گیری	20 ± درصد آب
اندازه‌گیری O_2	
محدودهٔ اندازه‌گیری	۵ تا ۲۱ درصد
دقت	0.2 ± درصد
حساسه CO_2	
محدودهٔ محو شدن	۰ تا بیشترین مقدار CO_2
اندازه‌گیری CO (بدون جبران H_2)	
محدودهٔ اندازه‌گیری	۰ تا ۲۰/۰۰۰ ppm (ذره در هر میلیون)
دقت	(تا ۴۰۰) ppm و 5 ± درصد محدودهٔ اندازه‌گیری (تا ۲/۰۰۰ ذره در هر میلیون) و ۱۰ ± درصد محدوده اندازه‌گیری (تا ۲۰/۰۰۰ ppm)
محدودهٔ اندازه‌گیری	۰ تا ۴۰/۰۰۰ ppm
دقت	50 ± (تا ۱/۰۰۰) ppm و 5 ± درصد از محدودهٔ اندازه‌گیری (۱/۰۰۰ تا ۱۰/۰۰۰ ppm) و ۱۰ درصد محدوده اندازه‌گیری (برای بیشتر از ۱۰/۰۰۰ ppm)
اندازه‌گیری CO (بدون جبران H_2)	
محدودهٔ اندازه‌گیری	۰ تا ۱۰/۰۰۰ ppm
دقت	۲۰ ± (تا ۴۰۰) ppm و ۵ درصد محدودهٔ اندازه‌گیری (ppm تا ۲/۰۰۰)

ادامه جدول ۴-۱

اندازه‌گیری NO	
محدودهٔ اندازه‌گیری	۰ تا ۳/۰۰۰ ppm
دقت عملکرد	۵ppm ± (۰ تا ۱۰۰ ppm) و ۵ درصد محدودهٔ اندازه‌گیری (تا ۲۰۰۰ ppm) و ۱۰ درصد محدودهٔ اندازه‌گیری (تا ۳/۰۰۰ ppm)
اندازه‌گیری NO_2	
محدودهٔ اندازه‌گیری	۰ تا ۵۰۰ ppm
دقت عملکرد	۱۰ ppm ± (۰ تا ۱۰۰ ppm) و ۵ درصد از محدودهٔ اندازه‌گیری (برای بیشتر از ۱۰۰ ppm)
اندازه‌گیری SO_2	
محدودهٔ اندازه‌گیری	۰ تا ۵/۰۰۰ ppm
دقت عملکرد	۱۰ ppm ± (۰ تا ۴۰۰ ppm) و ۵ درصد محدودهٔ اندازه‌گیری (تا ۳/۰۰۰ ppm) و ۱۰ درصد محدودهٔ اندازه‌گیری (تا ۵۰۰۰ ppm)
اندازه‌گیری رطوبت	
محدودهٔ اندازه‌گیری	۰ تا ۱۰۰ درصد رطوبت نسبی
اندازه‌گیری سرعت	
محدودهٔ اندازه‌گیری	200 تا ۹/۹۹۹ fpm
اندازه‌گیری اختلاف فشار	
محدودهٔ اندازه‌گیری	
دمای مخزن ذخیره	20 - تا 50 درجه سلسیوس (۴ - تا ۱۲۲ درجه فارنهایت)
قسمت لب (کاوشی)	
دستگاه اندازه‌گیری	۲۴ ماه
پراب (میله‌های بازرسی)	۱۲ ماه
Hvated Umbilical	۶ ماه
سلول O_2	۱۸ ماه
سلول‌های CO ، No ، NO_2 و CO_2	۶ ماه

۲-۲- دستگاه دبی سنج مافوق صوت :

دستگاه اندازه‌گیری به روش ما فوق صوت یکی از ابزارهای معمولی جهت اندازه‌گیری موقت دبی سیالات نیوتنی(آب،سوخت های مایع و..) می‌باشد .

کاربرد:

قابل استفاده برای انواع لوله های مختلف

قابل استفاده برای انواع سیالات نیوتنی

شکل -۴-۲- تصویری از دستگاه دبی سنج مافوق صوت(۳)

مزایا:

- اندازه گیری دبی سیالات بدون هیچگونه تداخل در مسیر جریان مایعات
- اندازه گیری بدون توقف فرایند
- نصب آسان و سریع جهت اندازه گیری
- دامنه وسیع اندازه گیری (0.001m/s-99m/s)
- قابلیت اندازه گیری بدون نیاز به دانستن فشار مایعات

انواع پراب:

الف : پراب(میله بازرسی) 1584

این پراب برای اندازه‌گیری سرعت در لوله‌هائی به قطر ۱۵ میلی‌متر تا ۱۰۰ میلی متر قابل استفاده می‌باشد

ب : پراب(میله بازرسی) 1595

این نوع پراب برای اندازه‌گیری سرعت در لوله‌هایی به قطر ۸۰ میلیمتر تا ۲۵۰۰ میلیمتر قابل استفاده می‌باشد . از مزیتهای این پراب، اندازه‌گیری در شرایط نامناسب لوله‌ها از جهت وجود رسوبات و سختی موجود در سیالات می‌باشد .

ج : پراب (میله بازرسی) ۱۵۹۴

این پراب برای اندازه‌گیری سرعت در لوله‌هایی به قطر ۸ میلیمتر تا ۲۵ میلیمتر می‌باشد استفاده از این پراب برای اندازه‌گیری در شرایط حساس و لوله‌های با قطر پائین، سودمند خواهد بود .

شکل ۲-۴- تصویر از بکارگیری دستگاه دبی سنج فوق صوت در اندازه‌گیری دبی سیالات

– اساس اندازه گیری د ستگاه دبی سنج مافوق صوت :

این دستگاه بر اساس میزان سرعت صوت در سیالات و اختلاف در زمان رفت و برگشت موج، سرعت سیال را اندازه‌گیری کرده و در نهایت دبی سیال جاری را نمایش خواهد داد. که میزان سرعت از رابطه زیر بدست می آید:

$$V=(L^2/2d).[\Delta T/(T_{AB}\times T_{BA})]$$

در واقع :

V = سرعت سیال

L = طول مسیر صوت

d = فاصله بین دو پراب

T_{AB} = زمان رفت صوت

T_{BA} = زمان برگشت صوت

ΔT= اختلاف زمان رفت و برگشت صوت

شکل ۲-۴- اساس اندازه‌گیری دستگاه دبی سنج مافوق را نشان می‌دهد

بطور کلی این دستگاه یکی از آخرین فناوری های اندازه‌گیری دبی سیالات به روش غیر مخرب است ولی جهت دستیابی به دقت بالا در تعیین دبی سیالات انتخاب میله بازرسی مناسب و دقت در محل اندازه‌گیری بسیار مهم می‌باشد .

۲-۳- دماسنج مادون قرمز :

این دستگاه از نوع 3i از انواع دماسنج مادون قرمز با دامنه دمایی (°C 30-)تا(°C 1200+) است. یکی از کاربردهای متداول این ابزار جهت استفاده در فرآیندهای دما بالا (صنایع فولاد) و بهینه کردن دمای ماکزیمم که از نزدیک و به راحتی قابل اندازه‌گیری نباشد بسیار سودمند خواهد بود.

شکل ۲-۵- تصویری از دستگاه دماسنج مادون قرمز(۳)

دماسنجهای سری 3i دو سری هستند

الف)نوع لیزری

ب)نوع دوربین دار

در واقع کار برد عمدهٔ آن ها، برای نظارت ، تعمیرات و نگهداری و بازرسی‌های ماهانه در صنایع مختلف به منظور تعیین دمای مورد نظر است .

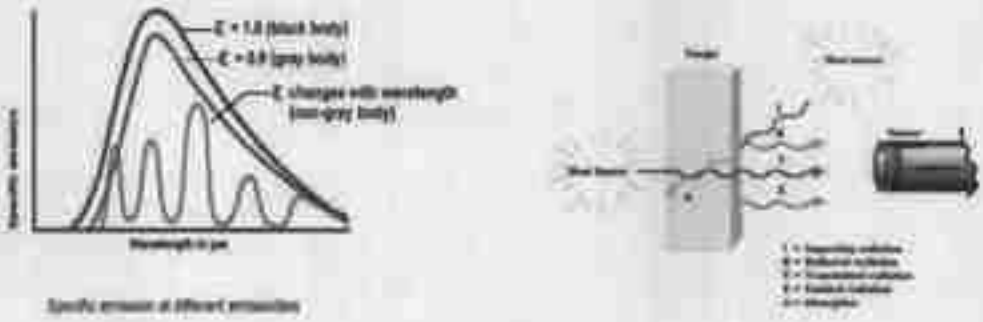
– نکات مهم در اندازه‌گیری دما بوسیله دماسنج مادون قرمز:

- دقت در تعیین نسبت فاصله(D) به سطح چشم مورد نظر(S)
- شرایط محیطی اندازه‌گیری از قبیل (میزان بخار ، گرد و غبار ، میدان مغناطیسی ، ارتعاشات و...)
- توجه به میزان دمای محیط سطح جسم مورد نظر

شکل ۴-۶- تصویری از استفاده درست از دماسنج مادون قرمز را نشان می‌دهد

– اساس کار دستگاه دما سنج :

این دستگاه با توجه به تمرکز روی جسم مورد نظر و میزان دریافت انرژی ناشی از اشعه مادون قرمز که از جسم گسیل می‌شود اندازه‌گیری دمای جسم را ممکن می سازد .



شکل ۴-۷- اساس کار دماسنج مادون قرمز را نشان می‌دهد

۲-۴-جمع کننده اطلاعات (Data logger) :

این دستگاه می تواند عواملی از قبیل درجه حرارت،رطوبت نسبی،سرعت سیال،فشارواقت فشار را اندازه گیری و ذخیره کند.

با توجه به پرابهای مورد استفاده ، این دستگاه می تواند بصورت همزمان اطلاعات مورد نیاز را اندازه گیری کند.

شکل ۲-۸- تصویری از یک جمع‌کننده اطلاعات(۳)

۲-۵-دستگاه اسپکتروفتومتر[1] :

این دستگاه برای اندازه گیری میزان غلظت یونهای نیترات(NO_3)، فسفات(PO_4)، سولفات(SO_4)، آهن کل ، مس ، کروم ، منگنز و... در آبهای مصرفی استفاده می شود.

- اساس اندازه گیری دستگاه اسپکتروفتومتر :

این دستگاه بصورت ریز پردازنده[2] بوده و از تور تک رنگ[3] جهت اندازه گیری نورسنجی در آزمایشگاه و حتی در محل نمونه برداری استفاده می کند.

این دستگاه توانایی اندازه گیری ۱۲۰ آزمایش نورسنجی مختلف را داشته و در ضمن جهت انجام آزمایشات دیگر از معرفها به شرح زیر استفاده می شود.

۱- آمپول- از نوع شیشه با جنس عالی بوده و به ازای هر نمونه از آزمایش، یکی از این آمپولها که حاوی معرف مورد نظر می باشد، استفاده می شود.

۲- کپسول پلاستیکی پودر- به ازای هر آزمایش، پودر مربوطه انتخاب و در نمونه آزمایش کاملا حل می‌شود.

۳- بسته پودر- در بسته های فلزی نگهداری می شود پس از انتخاب بسته مناسب، آن را کاملا داخل نمونه‌های آزمایش حل می‌کنند.

1-Spectrophotometer
2 -Microprocessor
3 -Monochromatic

شکل ۹-۴- تصویری از دستگاه اسپکتروفتومتر(۳)

۳- پارامترهای قابل اندازه‌گیری در دیگ های بخار و کوره‌ها

در فصول گذشته در خصوص اهمیت اندازه‌گیری پارامترهای مختلف در دیگ های بخار و کوره‌ها مطالبی عنوان شده با توجه به اهمیت موضوع، مثال‌هایی در جهت روشن شدن مطلب با توجه به اندازه‌گیری‌های عملی در کارخانجات مختلف، آورده شده است.

- اندازه‌گیری دمای سطوح داغ و محاسبه تلفات ناشی :

اصولاً با توجه به حجم بالای سطوح حرارتی داغ و جابجایی هوا یا بخار در بخش‌های مختلف یک کارخانه، استفاده از عایق مناسب، یکی از روش‌های کاهش میزان تلفات سوخت فسیلی است. میزان تلفات حرارتی از سطوح داغ در جداول مختلف درکتاب‌های انرژی آورده شده است در اینجا به ذکر مثالی در این خصوص می‌پردازیم.

مثال۴-۱: در یک کوره دمای اندازه‌گیری شده در جداره‌ها برابر ۲۰۰ °C و دمای سقف آن ۲۵۰ °C می‌باشد. در حالیکه ابعاد کوره ۲m × ۲m × ۶m باشد میزان صرفه‌جویی انرژی ناشی از عایق‌کاری برای اینکه دمای سطوح به ۵۰ °C برسد چه مقدار می‌باشد؟

۲۵۰ °C میزان تلفات انرژی در دمای = ۲۱/۵ MJ / m^2.hr

۲۰۰ °C میزان تلفات انرژی در دمای = ۱۱/۶ MJ / m^2.hr

۵۰ °C میزان تلفات انرژی در دمای = ۱/۷ MJ / m^2.hr

مساحت سقف = ۲ × ۶ = ۱۲m^2

مساحت جداره‌ها = = (۲×۶×۲)+ (۲×۲×۲) =۳۲ m^2

تلفات حرارتی قبل از عایق‌کاری = ۲۱/۵ × ۱۲ + ۱۱/۶ × ۳۲ = ۶۹۲/۲ MJ/hr

تلفات حرارتی بعد از عایق‌کاری مجدد = ۱/۷ × (۱۲ + ۳۲) = ۷۴/۸ MJ/hr

صرفه‌جویی انرژی = ۶۹۲/۲ − ۷۴/۸ = ۶۱۷ MJ/hr

با توجه به ارزش حرارتی گاز مصرفی برابر ۳۹/۲ MJ/Nm^3 خواهیم داشت

میزان صرفه‌جویی سوخت = ۶۱۷ MJ/hr / ۳۹/۲ = ۱۵/۷ Nm^3/hr

با در نظر گرفتن ۶۰۰۰ ساعت کارکرد کوره در سال و مبلغ ۱۵۰ ریال به ازای هر متر مکعب گاز طبیعی خواهیم داشت.

میزان صرفه‌جویی هزینه = ۱۴/۰۰۰/۰۰۰ Rls/year

$$۱۵/۷\left(\frac{m^3}{h}\right) \times ۶۰۰۰\ \frac{h}{yr} \times ۱۵۰\ \frac{Rials}{m^3} = ۱۴۱/۳ \times ۱۰^۶\ \frac{\text{ریال}}{\text{سال}} \cong ۱۴۰/۰۰۰/۰۰۰\ \frac{\text{ریال}}{\text{سال}}$$

– اندازه گیری درجه حرارت گازهای خروجی [1]:

همانگونه که قبلاً نیز اشاره شده است اندازه‌گیری و کنترل درجه حرارت گازهای خروجی در دودکش دیگ های بخار و کوره‌ها نقش مهمی در کاهش تلفات دودکش دارد. با توجه به روابط مربوط به انرژی، مشاهد می‌شود که بالا بودن دمای دودکش رابطه مستقیمی با میزان تلفات آن دارد، در صورتی که نسبت هوا به سوخت [2] کنترل نشده باشد، این افزایش دما تشدیدکننده تلفات خواهد بود.

مثال۴-۲: اندازه‌گیری در یک دیگ بخار صنعتی با لوله های آب در یک پالایشگاه گاز نشان می‌دهد که درجه حرارت گازهای خروجی برابر ۲۹۵ °C می‌باشد سوخت مصرفی این دیگ، گاز طبیعی و به میزان m^3/hr ۵۲۵۴ است. در صورت تنظیم مشعل و کاهش دمای دودکش به ۲۰۰°C میزان صرفه‌جویی سوخت را محاسبه نمایید؟

(حجم گازهای حاصل از احتراق در دودکش برابر m^3/hr ۷۳۱۰۰ اندازه‌گیری شده است)

راه حل:

$$Q = \dot{m}\ C_p\ \Delta T$$

میزان تلفات دودکش

که در آن: $\dot{m}$ دبی جرم گازهای حاصل از احتراق و C_p گرمای ویژه و ΔT اختلاف درجه حرارت می‌باشد

$V = ۷۳۱۰۰\ Nm^3/hr$

$\rho = ۱/۳\ kg/Nm^3$ وزن مخصوص گازهای حاصله از احتراق

$Cp = ۱/۲\ KJ/kg\ ^\circ k$

تلفات دودکش در دمای ۲۹۵ °C = ۷۳۱۰۰×۱/۲×۱/۳× ۲۹۵ = ۳۳/۶۴ × ۱۰^۶ KJ/hr

تلفات دودکش در دمای ۲۰۰ °C = ۷۳۱۰۰×۱/۲×۱/۳× ۲۰۰ = ۲۲/۸ × ۱۰^۶ KJ/hr

---

1 - Flue gas temperature

2 - Air Fuel Ratio

$۱۰/۸۴ \times ۱۰^{۶}$ KJ/hr = میزان کاهش تلفات

با توجه به ارزش حرارتی گاز مصرفی در دیگ بخار که برابر $۳۹/۲$ MJ/Nm^3 است،خواهیم داشت:

$۲۷۶/۵$ Nm^3/hr = کاهش تلفات سوخت

که با توجه به سوخت مصرفی این کاهش تلفات حدود ۵٪ سوخت مصرفی می‌باشد.

با در نظر گرفتن ۳۰۰ روز کاری در هر سال برای این دیگ بخار خواهیم داشت:

$۱/۹۸۰/۰۰۰$ Nm^3/سال = کاهش تلفات سوخت

$۲۹۷/۰۰۰/۰۰۰$ ریال/سال = ارزش ریالی صرفه‌جویی شده

– اندازه‌گیری هوای(ورودی)به سیستم و تنظیم نسبت هوا به سوخت:

وجود هوای اضافی در احتراق یکی از مهمترین پارامترهای اتلاف انرژی دودکش می‌باشد به عبارت دیگر اگر میزان هوای اضافی بیش از میزان استاندارد مورد نیاز باشد (که در جدول۴-۲ برای دیگ های بخار آورده شده است) به معنی مصرف انرژی جهت گرم نمودن هوای مازاد، بدون دخالت در احتراق تا دمای دودکش و خروج آن از دودکش می‌باشد. همچنین علاوه بر کاهش راندمان حرارتی،بدلیل استفاده از حجم بالاتر هوای ورودی، توان الکتریکی دمنده‌های(فن ها) دیگ بخار نیز افزایش خواهد یافت. جدول زیر میزان هوای اضافی مورد نیاز برای دیگها با سوخت‌های مختلف را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۲- حداقل و حداکثر هوای اضافی

سوخت	حداقل هوای اضافی	حداکثر هوای اضافی
گاز طبیعی	٪۱۰	٪۱۵
گازوئیل	٪۱۲/۵	٪۲۰
مازوت	٪۲۰	٪۲۵
زغال سنگ	٪۳۰	٪۵۰

این میزان برای دیگ های بخار معمولی(بدون تجهیزات کمکی) جهت کاهش هوای اضافی می‌باشد.

مثال۴-۳: با توجه به مثال ۳ _۲، آنالیز احتراق در این دیگ بخار پالایشگاهی نشان می‌دهد میزان هوای اضافی موجود در گازهای حاصله از احتراق برابر ٪۲۴/۴ می‌باشد. در صورتی که با تنظیم مشعل میزان هوای اضافی را به ٪۱۵ کاهش دهید، میزان صرفه‌جویی سوخت را با در نظر گرفتن دمای دودکش ۲۹۵°C حساب کنید؟

λ = ٪۲۴/۴ — ۵۵۰۰ Nm^3/hr = کاهش دبی حجمی گازهای احتراق

λ = ٪۱۵ — $۲/۵ \times ۱۰^{۴}$ Kg/hr = میزان کاهش تلفات دودکش

۷۳۱۰۰ Nm^3/hr = حجم گازهای خروجی از دودکش

۶۷۶۰۰ Nm^3/hr = حجم گازهای خروجی از دودکش

که با در نظر گرفتن ارزش حرارتی گاز:

۶۳/۸ Nm^3/hr = میزان صرفه‌جویی سوخت

که این میزان برابر ۱/۱۶٪ از سوخت مصرفی بویلر می‌باشد.

۴۶۰۰۰۰ Nm^3/yr = میزان صرفه‌جویی سالیانه سوخت

۶۹×۱۰^۴ Rls/yr = ارزش ریالی صرفه‌جویی سالیانه

– تجزیه و تحلیل گازهای خروجی از دودکش:

یکی از مهمترین موارد اندازه‌گیری در کوره‌ها و دیگ های بخار، آنالیز گازهای خروجی از دودکش می‌باشد پارامترهای قابل اندازه‌گیری در آنالیزورهای احتراق شامل O_2٪ ، CO_2٪ ، PPm Co ، PPm No_x ، PPm So_2 و همچنین دمای گازهای خروجی و میزان هوای اضافی است. (در مورد کنترل میزان هوای اضافی و اندازه‌گیری دمای دودکش در بخش‌های قبل توضیحاتی ارائه شده است.)

وجود هوای اضافی و بالا بودن دمای شعله باعث بوجود آمدن NO_x در دودکش و همچنین وجود گوگرد در سوخت مورد استفاده نیز باعث بوجود آمدن SO_2 در گازهای حاصله از احتراق می‌شود. با توجه به عامل خورندگی این گاز در دماهای پایین در زمان تنظیم مشعل و ... باید به دمای دودکش توجه شود تا از نقطه شبنم اسیدی پایین‌تر نباشد.

وجود CO در گازهای حاصله از احتراق به معنی احتراق ناقص و تلفات انرژی می‌باشد که در بخش مربوط به احتراق توضیحاتی داده شده است در مثال زیر با توجه اندازه‌گیری های انجام شده، تأثیر وجود CO و احتراق ناقص در میزان اتلاف انرژی مشخص می‌شود.

مثال۴–۴: اندازه‌گیری در یک کوره هافمن[1] پخت آجر نشان می‌دهد که میزان CO خروجی از دودکش برابر ۳۸۵ ppm است با توجه به اندازه‌گیری دبی حجمی گازهای دودکش که برابر ۲۱۶۰۰ m^3/hr می‌باشد میزان دبی جرمی CO و همچنین تلفات انرژی ناشی از وجود CO در گازهای دودکش را محاسبه کنید؟ راه حل:

CO = ۳۸۵ PPm

۲۱۶۰۰ m^3/hr = حجم گازهای خروجی دودکش (در دمای ۷۶ درجه سانتی گراد)

۷۶ °C = دمای گازهای خروجی

۱۰/۲ MJ/kg = ارزش حرارتی CO

$$\text{درصد حجمی CO} = \frac{۳۸۵}{۱۰^۶}\times ۱۰۰ = ٪ ۰/۰۳۸۵$$

= حجم CO خروجی از دودکش

درصد حجمی CO ضرب در حجم گازهای خروجی در حالت استاندارد(دمای ۲۵ درجه سانی گراد) برابر است با:

1-Hanfmann

۱۶۹۰۰ × ۰/۰۰۳۸۵ = ۶/۵ Nm^3/hr =۷/۸ Kg/hr

که با توجه به ارزش حرارتی CO:

تلفات ناشی از بدسوزی = ۷/۸ × ۱۰/۲ = ۸۰ MJ/hr = ۲/۲ Lit/hr

با فرض ۳۰۰ روز کاری: تلفات سالیانه سوخت = ۱۵۸۰۰ Lit/yr

۴- موازنه جرم و انرژی:

موازنه انرژی در واقع رابطه‌ای است بین انرژی‌های ورودی و خروجی به یک سیستم (حجم کنترل) که تحت شرایط طبیعی کار می‌کند.

اولین قدم در موازنه انرژی، تعیین مواد و جرم ورودی به یک سیستم و خروجی از آن می‌باشد در حقیقت موازنه جرم و اندازه‌گیری ورودی‌ها و خروجی‌ها یک پیش‌نیاز جهت انجام موازنه انرژی است. مهمترین نکته‌ای که باید در یک موازنه جرم و انرژی رعایت شود پایداری سیستم در زمان اندازه‌گیری است، به طوری که در شرایط تعادل، میزان جرم ورودی به یک سیستم، برابر جرم خروجی از آن می‌باشد. درشکل زیر طرحواره موازنه جرم و انرژی نشان داده شده است.

در این رابطه بسته به نوع فرایند (گرماگیر، گرمازا) مصرف یا می‌تواند مثبت یا منفی باشد.

مهمترین فوایدی که از موازنه حجم جرم و انرژی بدست می‌آید عبارتند از:

محاسبه مقدار واقعی انرژی که در فرایند مصرف می‌شود.

نظارت منظم بر بازده و عملکرد تجهیزات

بررسی اثرات ناشی از تعویض تجهیزات و تغییر نوع فرایند روی انرژی بری سیستم.

تعیین اولویت برنامه‌ریزی‌های کارائی انرژی در سیستم

جمع‌آوری اطلاعات به منظور انجام مطالعات بهبود کارایی، شامل اطلاعات، تغییرات یا جایگزینی با یک سیستم جدید

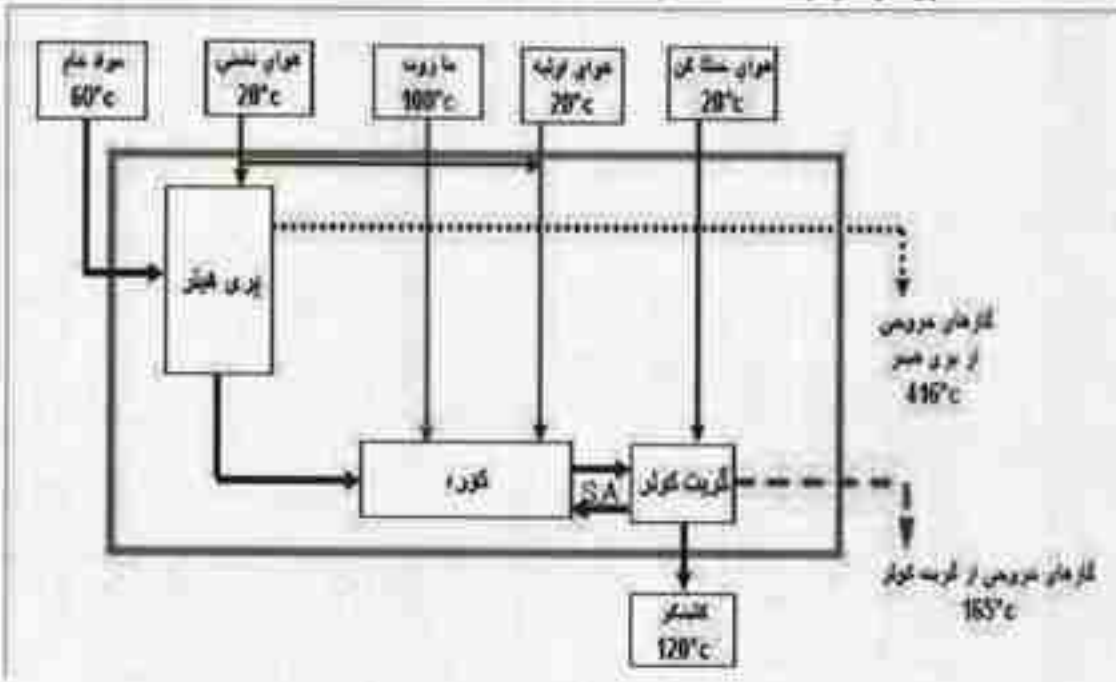
رسیدن به هدف اصلی که همان حداکثر تولید با حداقل مصرف انرژی ممکن می‌باشد.

در ادامه به منظور روشن شدن موضوع، نمونه ای از موازنه جرم و انرژی در کوره یک کارخانه سیمان ارائه شده است.

۴-۱-انتخاب حجم کنترل[1] در سیستمهای انرژی بر :

اولین مسئله‌ای که در محاسبات موازنه جرم و انرژی باید مد نظر قرار گیرد انتخاب حجم کنترل می باشد. در کارخانه‌های سیمان معمولاً با توجه به پیوستگی و نحوه عمل سیستم کوره، حجم کنترل در نظر گرفته شده برای محاسبات، شامل سیستم‌های خنک‌کن کلینکر[2]، پخت، کلسایتر[3] و پیش گرم کن می‌باشد به عبارت دیگر حجم کنترل در نظر گرفته شده با سیستم کوره می‌باشد.

شکل(۴-۱)حجم کنترل درنظرگرفته شده همراه بادمای موادورودی وخروجی آن رانشان میدهد.



شکل : (۳-۱) دیاگرام طرحواره ای سیستم کوره(۳)

برای انجام محاسبات موازنه جرم و انرژی باید ابتدا ورودی‌ها و خروجی‌ها در حجم کنترل مشخص شوند.

۴-۲- موازنه جرم :[4]

همانطور که گفته شد برای موازنه جرم ابتدا حجم کنترل مشخص شده و سپس توسط دستگاههای اندازه‌گیری میزان ورودی‌ها و خروجی‌های سیستم در نظر گرفته شده تعیین می شود. موازنه جرم در حالت آسیاب مواد روشن، یعنی در حالتی که سیستم روال طبیعی خود را دارد انجام شده است.

1- Control Volume

2 - مواد پخته شده خروجی از کوره سیمان(CaO)، قبل از مرحله آسیاب سیمان

3 -(CaO +CaCO3 منطقه ای برای حل کلسیته شدن(تبدیل

4 - Mass Balance

– جرم ورودی به سیستم [1] :

الف) جرم هوای ورودی توسط دمنده های خنک کن بزرگ [2] :

میزان دبی هوای ورودی به خنک کن بزرگ توسط دمنده ها برابر $۳۰۷۰۰۰ \ m^3/hr$ می‌باشد.

با در نظر گرفتن وزن مخصوص هوا در شرایط موجود، $۱/۲۹ \ kg/m^3$ داریم:

$\dot{m}_{11}$ جرم ورودی هوای خنک کن $= ۳۰۷۰۰۰ \times ۱/۲۹ = ۳۹۶/۶ \ Ton/hr$

ب) جرم هوای ورودی اولیه در مشعل‌های کوره و کلساینر:

میزان دبی هوای اولیه ورودی به مشعل‌های کوره و کلساینر عبارتند از:

$۹۸۰۰ \ m^3/hr$: هوای اولیه برای مشعل کوره

$۲۱۰۰ \ m^3/hr$: هوای اولیه برای کلساینر

با توجه به جرم حجمی هوای محیط $۱/۲۹ \ Kg/m^3$ داریم :

$\dot{m}_{12}$ هوای اولیه مشعل کوره $= ۹۸۰۰ \times ۱/۲۹ = ۱۲/۶ \ Ton/hr$

$\dot{m}_{13}$ هوای کلسایز $= ۲۱۰۰ \times ۱/۲۹ = ۲/۷ \ Ton/hr$

ج) جرم سوخت ورودی به سیستم:

سوخت مصرفی در کوره از نوع مازوت بوده که در دو نقطه کوره و کلسایز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

$۳۴۴۰ \ Lit/hr$ = مصرف سوخت در کوره

$۴۱۰۰ \ Lit/hr$ = مصرف سوخت در کلسایز

با توجه به جرم حجمی مازوت در دمای ۱۰۰ درجه ورودی به سرمشعل‌ها برابر $۰/۸۹ \ kg/litr$ ،خواهیم داشت:

$\dot{m}_{14} = ۳۴۴۰ \times ۰/۸۹ = ۳۰۶۱/۶ \ kg/hr = ۳/۰۶۱۶ \ Ton/hr$ کوره

$\dot{m}_{15}$ کلسایز $= ۴۱۰۰ \times ۰/۸۹ = ۳۶۴۹ \ kg/hr = ۳/۶۴۹ \ Ton/hr$

د) جرم مواد خام ورودی به سیستم:

جرم مواد خام ورودی به سیستم پیش گرم کن از طریق اتاق کنترل و در زمان اندازه‌گیری دریافت شده است.

$\dot{m}_{16} = ۱۴۰ \ Ton/hr$

---

1 - Mass Input

2 -Great Cooler Fans

- جرم خروجی از سیستم[1]:

الف) جرم گازهای داغ خروجی از پیشگرم کن:

با توجه به ابعاد (قطر) کانال خروجی از پیش گرم کن برابر D = ۲/۷m و همچنین اندازه‌گیری سرعت در خروجی از پیشگرمکن توسط لوله پیتوت می‌توان دبی حجمی گازهای خروجی از پیشگرم کن را محاسبه و با توجه به جرم حجمی گازهای مورد نظر، دبی جرمی آن را محاسبه نمود.

۲۱ m/s = سرعت اندازه‌گیری شده در کانال بعد از دمنده پیش گرم کن

⟹ دبی حجمی = ۴۳۲۸۸۶ m^3/hr

D = ۲/۷ m قطر کانال قبل از دوراهی دمنده پیش گرم کن

حال با در نظر گرفتن جرم حجمی گازهای حاصله از احتراق در دمای ۳۱۰ °C (دمای خروجی ازپیش گرم کن) برابر ۰/۶۶ kg/m^3 خواهیم داشت:

$\dot{m}_{01}$ = ۴۳۲۸۸۶ × ۰/۶۶ = ۲۸۵/۶۹۵ Ton/hr

ب) جرم گازهای داغ خروجی از خنک‌کن بزرگ (گریت کولر):

حجم گازهای داغ خروجی از گریت کولر به سمت دودکش که با اندازه‌گیری در داکت بدست آمده است جرم حجمی گازهای داغ (هوای داغ) در دمای ۱۳۲ درجه برابر ۰/۹۳ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد بنابراین خواهیم داشت :

$\dot{m}_{02}$ = ۲۷۰۰۰۰m^3/hr × ۰/۹۳= ۲۵۱/۲۵ Ton/hr دبی جرم گازهای خروجی از گریت کولر

ج)جرم غبار خروجی از سیستم کوره و پیش گرم کن:

از اطاق کنترل میزان ورودی مواد خام و همچنین میزان کلینکر خروجی محاسبه و برابر مقدار زیر دریافت شد.

۱۴۰on/hr = مواد خام ورودی

۸۱Ton/hr = کلینکر خروجی

1 - Mass Out put

با توجه به میزان تلفات ناشی از تغییر فرم [1] برابر ۰/۳۶ تا ۰/۳۵ خواهیم داشت.

اختلاف جرم مواد خام کلینکر = ۱۴۰-۸۱ = ۵۹ Ton/hr

تلفات ناشی از تغییر فرم = ۱۴۰ (۰/۳۶) = ۵۰/۴ Ton/hr

$\dot{m}_{\omega}$ میزان غبار خروجی از پیش گرم کن = ۵۹-۵۰/۴ = ۶/۸ Ton/hr

د) جرم کلینکر خروجی از سیستم کوره:

با توجه به اطلاعات گرفته شده از اطاق کنترل، دبی جرمی خروجی از کوره برای کلینکر برابر ۸۱ تن در ساعت می‌باشد.

$\dot{m}_{04}$ = ۸۱ Ton/hr

محاسبه هوای نشتی:

حال با داشتن تمامی جرم‌های ورودی و خروجی در سیستم کوره، می‌توان توسط موازنه جرم میزان هوای نشتی به سیستم کوره را محاسبه کرد.

جرم خروجی از سیستم = نشتی هوا + جرم ورودی به سیستم

$$\dot{m}_{01}.\dot{m}_{12}.\dot{m}_{13}.\dot{m}_{14}.\dot{m}_{15}.\dot{m}_{16} + Leak = \dot{m}_{01}.\dot{m}_{02} + \dot{m}_{03} + \dot{m}_{04}$$

$\longrightarrow$ میزان نشتی هوا = ۶۷/۹۳۵ Ton/hr

این میزان نشتی شامل نشتی هوا در سیستم‌های کوره، کلسایتر و پیشگرمکن بعلاوه میزان هوای ناشی از انتقال مواد به پیشگرمکن یا به عبارت دیگر هوای لازم برای حمل می‌باشد.

1 - Lost of ignition

جدول شماره (۴-۱) نتایج موازنه جرم در یک سیستم کوره نمونه را نشان می‌دهد.

جدول (۴-۱) : موازنه جرم در یک کوره نمونه(۳)

ردیف	شرح جرم	ورودی (tor) (T/hr)	خروجی (tor) (T/hr)
I_1	ورودی هوا به خنک‌کن کلینکر	۳۹۶/۶	-
I_2	هوای اولیه مشعل کوره	۱۲/۶	-
I_3	هوای اولیه مشعل کلساینر	۲/۷	-
I_4	سوخت مازوت کوره	۳/۰۶۱۶	-
I_5	سوخت مازوت کلساینر	۳/۶۴۹	-
I_6	مواد خام ورودی به پیش گرم کن	۱۴۰	-
O_1	گازهای داغ خروجی از پیش گرم کن	-	۲۸۵/۶۹۵
O_2	گازهای داغ خروجی از خنک کن بزرگ	-	۲۵۱/۲۵
O_3	غبار خروجی از پیش گرم کن	-	۸/۶
O_4	کلینکر تولیدی	-	۸۱
	نتیجه اولیه	۵۵۸/۶۱۰	۶۲۶/۵۴۵
I_7	هوای نشتی و حمل مواد اولیه	۶۷/۹۳۵	-
	نتیجه نهایی	۶۲۶/۵۴۵	۶۲۶/۵۴۵

۴-۳- موازنه انرژی[1]

پس از موازنه جرم و اندازه‌گیری جرم‌های ورودی و خروجی به سیستم کوره در حجم کنترل مشخص شده، اینک با درنظر گرفتن انرژی آنها می‌توان به موازنه انرژی پرداخت و میزان انرژی‌های تلف شده را مشخص کرد.

- انرژی ورودی به سیستم[2]

الف - انرژی هوای ورودی توسط دمنده های خنک کن شبکه ای:

با توجه به جدول (۴_۱) میزان دبی جرمی هوای ورودی توسط فن های گریت کولر برابر ۳۹۶/۶ T/hr می‌باشد. با در نظر گرفتن دمای صفر درجه سلسیوس به عنوان مبنای محاسبات و گرمای ویژه هوا خواهیم داشت.

C_p = ۰/۲۳۷ Kcal/kg°C

$\dot{m}$ 11 = ۳۹۶/۶ T/hr

ΔT = ۲۰°C

$\longrightarrow$ E_{11} = ۰/۲۳۷ × ۳۹۶/۶ × ۲۰ = ۱۸۷۹/۹ Mal/hr

E_{11} = ۹۷ KJ/kg.cl

ب - انرژی هوای اولیه مشعل کوره و کلساینر:

میزان دبی جرمی با توجه به اعداد جدول (۴-۱) برای هوای اولیه مشعل‌های کوره و کلساینر برابر است با :

= ۱۲/۶ T/hr E_{12} = ۵۹/۷۲ Mcal /hr $\longrightarrow$ E_{12} = ۳/۰۵ KJ/kg.cl

$\dot{m}_{12}$

C_p = ۰/۲۳۷ Kcal/kg°c

ΔT = ۲۰ °C E_{13} = ۱۲/۷۹۸Mcal /hr $\longrightarrow$ E_{13} = ۰/۶۶ KJ/kg.cl

$\dot{m}_{13}$ = ۲/۷ T/hr

ج - انرژی محسوس و احتراق سوخت مازوت در کوره:

برای مازوت ورودی به سیستم دو نوع انرژی در نظر می‌گیریم، انرژی محسوس مازوت که ناشی از دمای مازوت ۱۰۰ °C می‌باشد و همچنین انرژی شیمیایی حاصل از احتراق.

= ۳/۰۶۱۶T/hr E_{114} = ۱۶۲/۲۶ Mcal/hr $\longrightarrow$ E_{114} = ۸/۳۷ KJ/kg.cl

$\dot{m}_{14}$

C_p = ۰/۵۳ Kcal/kg°C

= ۱۰۰ °C E_{234} = ۳۰۶۴۶/۶۱۶ Mcal/hr $\longrightarrow$ E_{234} = ۱۵۸۱/۵۱۶ KJ/kg.cl

ΔT

L.H.V = ۱۰۰۱۰ Kcal.Kg

1- Energy Balance
2- Energy Input

د - انرژی محسوس و ناشی از احتراق سوخت مازوت در کلسایتر:

مطابق قسمت قبل داریم:

$\dot{m}_{15}$ = ۳/۶۴۹T/hr E_{115} = ۱۹۳/۳۹۷ Mcal/h ⟶ E_{115} = ۹/۹۸ KJ/kg.cl

C_P = ۰/۵۳ Kcal/kg$^{\circ}$C

ΔT = ۱۰۰ °C E_{215} = ۳۶۵۲/۴۹ Mcal/hr ⟶ E_{215} = ۱۸۸۴/۹۴ KJ/kg.cl

L.H.V = ۱۰۰۱۰ Kcal.kg

هـ - انرژی محسوس ناشی از مواد خام ورودی به پیشگرم کن:

مواد خام از آسیاب مواد با دمای ۸۰ °C وارد پیش گرم کن می‌شود بنابراین انرژی موجود آن عبارتست از :

$\dot{m}_{16}$ = ۱۴۰T/hr

C_p = ۰/۲۱ Kcal.kg$^{\circ}$C E_{16} = ۲۳۵۲ Mcal/hr ⟶ E_{16} = ۱۲۱/۳۷ KJ/Kg.cl

ΔT = ۸۰ °C

و - انرژی ورودی از طریق هوای نشتی و حمل:

$\dot{m}_{17}$ = ۶۷/۹۳۵ T/hr

C_p = ۰/۲۳۷ Kcal/kg°c E_{17} = ۲۲۲/۰۱ Mcal /hr ⟶ E_{17} = ۱۶/۶۱ KJ/Kg.cl

ΔT = ۲۰ °C

- انرژی خروجی از سیستم[1]:

الف - انرژی ناشی از خروج گازهای داغ از پیشگرم کن:

گازهای حاصل از احتراق در کوره و کلسایتر با درجه حرارت ۳۱۰ درجه از پیش گرم کن خارج می‌شود. با توجه به دبی جرمی گازهای حاصل از احتراق از جدول (۴-۱) خواهیم داشت:

$\dot{m}_{O1}$ = ۲۸۵/۶۹۵ T/hr

C_p = ۰/۲۲۵ Kcal/kg°c E_{O1} = ۱۹۹۲۷/۲۳ Mcal /h⟶E_{O1} = ۱۰۲۸/۳۴ KJ/Kg.cl

ΔT = ۳۱۰ °C

ب - گازهای داغ خروجی از خنک کن شبکه ای به سمت دودکش:

گازهای خروجی از خنک کن شبکه ای با درجه حرارت ۱۳۲ درجه سیلسیوس و دبی جرمی مطابق جدول

$\dot{m}_{O2}$ = ۲۵۱/۲۵ T/hr (۴-۱) از دودکش خارج می‌شوند

C_p = ۰/۲۴ Kcal/kg°c E_{O2} = ۷۹۵۹/۶ Mcal /hr ⟶ E_{O2} = ۴۱۰/۷۵ KJ/Kg.cl

ΔT = ۱۳۲°C

1 - output Energy

ج - غبار خروجی از پیشگرم کن:

غبار خروجی از پیش گرم کن با دمای ۳۱۰ درجه از سیستم خارج می‌شود با توجه به جدول (۳_۱) و دبی جرمی غبار خواهیم داشت.

$\dot{m}_{O3} = ۸/۶$ T/hr

$C_p = ۰/۲۱$ $E_{O3} = ۵۵۸/۵۲$ Mcal /hr $\rightarrow$ $E_{O3} = ۲۸/۸۲$KJ/Kg.cl

$\triangle T = ۳۱۰$ °C

د - انرژی ناشی از کلینکر خروجی از خنک کن بزرگ:

با توجه به اینکه برای تبدیل مواد خام به کلینکر و عملیات پخت آن در حدود ۴۵۰ کیلوکالری بر کیلوگرم انرژی حرارتی موسوم به گرمای واکنش[1]، نیاز داریم و همچنین گرمای محسوس کلینکر داغ خروجی خواهیم داشت:

$\dot{m}_{O4} = ۸۱$ T/hr

$C_p = ۰/۱۹$ Kcal/kg°c $E_{1O2} = ۷۹۵۹/۶$ Mcal /hr $\rightarrow$ $E_{1O2} = ۷۹/۴۲$ KJ/Kg.cl

$\triangle T = ۱۰۰$ °C

Reaction Heat= ۴۵۰ Kcal/kg.cl $E_{2O2} = ۳۶۴۵۰$ Mcal/hr $\rightarrow$ $E_{2O2} = ۱۸۸$ KJ/kg.cl

محاسبهٔ تلفات در سیستم:

حال، با محاسبه انرژی‌های ورودی و خروجی می‌توان توسط موازنه انرژی، میزان تلفات در سیستم را محاسبه کرد.

تلفات فوق، ناشی از تلفات تابشی و جابجایی ازسطوح کوره و بدنه پیشگرمکن و بدنه خنک کن شبکه ای و همچنین سایر تلفات پیش بینی نشده می‌باشد.

تلفات + انرژی خروجی = انرژی ورودی به سیستم

$$E_{I1} + E_{I2} + E_{I3} + E_{I14} + E_{I24} + E_{I15} + E_{I25} + E_{I6} = E_{O1} + E_{O2} + E_{O3} + E_{O4} + Losses$$

تلفات = ۵۷۲۰/۸۴۱ Mcal/hr

= ۲۹۵/۲۲ Kj/kg.cl

1 - Reaction Heat

جدول (۴-۴) : موازنه انرژی در سیستم کوره(۳)

ردیف	مواد مختلف اندازه‌گیری	انرژی ورودی		انرژی خروجی	
		Mcal/hr	KJ/kg.cl	Mcal/hr	KJ/kg.cl
I_1	انرژی هوای ورودی توسط فن‌های خنک کن شبکه ای	۱۸۷۹/۹	۹۷	-	-
I_2	انرژی هوای اولیه مشعل کوره	۵۹/۷۲	۳/۰۵	-	-
I_3	انرژی هوای اولیه مشعل کلساینر	۱۲/۷۹۸	۰/۶۶	-	-
I_4	انرژی محسوس در سوخت مازوت(نفت کوره)	۱۶۲/۲۶	۸/۳۷	-	-
	انرژی ناشی از احتراق نفت کوره	۳۰۶۴۶/۶۱۶	۱۵۸۱/۵۱۶	-	-
I_5	انرژی محسوس در سوخت نفت کلساینر	۱۹۳/۲۹۷	۹/۹۸	-	-
	انرژی ناشی از احتراق مازوت کلساینر	۳۶۵۳۶/۲۹	۱۸۸۲/۹۲	-	-
I_6	انرژی محسوس ناشی از ورود مواد خام	۲۲۵۲	۱۳۱/۳۷	-	-
I_7	انرژی ورودی از طریق انتشی هوا و انتقال مواد	۳۲۲/۰۱	۱۶/۶۱	-	-
O_1	انرژی گازهای دفع خروجی از پیشگرم کن	-	-	۱۹۹۲۷/۲۲	۱۰۲۸/۳۲
O_2	انرژی خروجی از دودکش خنک کن شبکه ای	-	-	۷۹۵۹/۶	۴۱۰/۷۵
O_3	انرژی محسوس در غبار خروجی از پیشگرم کن	-	-	۵۵۸	۲۸/۸۲
O_4	انرژی محسوس موجود در کلینکر خروجی	-	-	۱۵۳۹	۷۹/۲۲
	انرژی پخت کلینکر (گرمای واکنش)	-	-	۳۶۴۵۰	۱۸۸۱
	نتیجه	۷۲۱۵۵/۱۰	۳۷۲۳/۵۶	۶۶۴۳۴/۳۵	۳۴۲۸/۳۴
O_5	تلفات انتقال حرارتی و سایر تلفات	-	-	۵۷۲۰/۸۲	۲۹۵/۲۲
	نتیجه نهایی	۷۲۱۵۵/۱۹	۳۷۲۳/۵۶	۷۲۱۵۵/۱۹	۳۷۲۳/۵۴

فصل ۵

سیستم‌های مدرن صرفه‌جویی انرژی

۱ – بازیافت انرژی :

با توجه به رشد بی‌رویه مصرف انرژی و حفظ ذخائر ملی در زمینه انرژی، باید توجه بیشتری به بازیافت انرژی‌های تلف شده نمود. با اجرای پروژه‌های بازیافت انرژی در صنایع علاوه بر کاهش مصرف سوخت و افزایش راندمان دستگاه‌ها، از تولید آلاینده‌های محیط زیست نیز کاسته خواهد شد که در نتیجه به حفظ محیط زیست کمک خواهد کرد بازیافت انرژی از هدر رفتن منابع انرژی در کشور جلوگیری و طول عمر این منابع را افزایش خواهد داد.

افزایش روزافزون قیمت انرژی و هزینه‌های تولید، جلوگیری از مصرف بی‌رویه انرژی، کاهش آلاینده‌های گازی و پدیده‌های گلخانه‌ای از جمله دلایلی هستند که اهمیت بازیافت انرژی را نشان می‌دهند.

۱–۱– منابع اتلاف انرژی:

منابع اتلاف انرژی حاصل از احتراق سوخت‌های فسیلی را از لحاظ درجه حرارت می‌توان به سه بخش تقسیم نمود. جدول شماره (۵-۱) این طبقه‌بندی و چگونگی استفاده از آن در بخش‌های گوناگون را نشان می‌دهد.

جدول ۵-۱- الگوهای بازیافت انرژی(۱۸)

منابع تلفات گرمایی			
	درجه حرارت پایین (پایین‌تر از ۲۰۰ °C)	درجه حرارت متوسط ۲۰۰° - ۶۵۰ °C	درجه حرارت ۶۵۰ °C به بالا
نمونه‌های موجود در صنعت	- خروجی از خشک‌کن کمپرسورها - مبادله کن‌های تقطیر مایعات و بخار گاز - کوره‌های تنش‌گیری - و...	- خروجی از دیگ‌های بخار - دودکش واحدهای نیروگاه گازی - موتورهای دوتنسور (دیزل) - کارخانه‌های سیمان - خشک‌کن‌ها - فرایندهای پتروشیمی - و...	- کوره‌های ذوب فلزات (کرم، نیکل، روی، فولاد و ...) - کوره‌های پیشگرم فولاد مبادله‌کن‌های[1] تولید هیدروژن - زباله سوزها - و...
موارد استفاده توسط بازیافت انرژی	- تأمین آب گرم مصرفی - گرمایش و سرمایش واحدهای مسکونی - گرمایش و سرمایش واحدهای صنعتی - و...	- تولید بخار مورد نیاز فرآیند - تولید برق وبخار در سیستم تولید همزمان برق و حرارت (CHP) - استفاده مستقیم از حرارت موجود در خشک‌کن‌ها و ... - استفاده مجدد از گازهای داغ - و... * بارزترین مثال (نیروگاه‌های سیکل ترکیبی)	- استفاده مستقیم در فرایندهای خشک‌کن - تولید همزمان برق و بخار (CHP) - پیشگرمکن هوای احتراق - استفاده مجدد از گازهای داغ - و...

۱- مبادله کن‌ها Rectifier نوعی مبادله‌کن گرمایی است که بین سیالهای گرم و سرد جداره‌ای (دائمی) وجود دارد

۱-۲- عوامل مؤثر در انتخاب یک سیستم بازیافت انرژی

جهت انتخاب بهینه یک سیستم بازیافت انرژی، باید موارد زیر در نظر گرفته شوند:

- درجه حرارت و مقدار منبع تلف شده
- ترکیب شیمیایی سیال منبع تلف شده
- کمترین درجه حرارت ممکن که می‌توان سیال را تا آن دما سرد نمود (نقطه شبنم)
- درجه حرارت سیال سرد که انرژی تلف شده به آن منتقل می‌گردد
- ترکیب شیمیایی سیال سرد
- بیشترین درجه حرارت ممکن که در آن سیال سرد ثابت بماند.

۲- تجهیزات بازیافت انرژی حرارتی :

بطور کلی انتقال انرژی از منبع اتلاف انرژی به جریان گیرنده انرژی، انتقال انرژی به دو روش مستقیم و غیرمستقیم انجام می‌شود. اگر ترکیب شیمیایی دو سیال یکسان بوده و اختلاط دو گاز امکان‌پذیر باشد دو سیال سرد و گرم بطور مستقیم با هم در تماس بوده و انتقال انرژی صورت می‌پذیرد مانند خشک‌کن‌ها

در سیستم‌های غیرمستقیم بازیافت انرژی از یک وسیله جهت انتقال انرژی از منبع تلف شده به گیرنده استفاده می‌شود. در این روش سیستم‌های زیر اغلب مورد استفاده قرار می‌گیرند:

- بازیاب کننده‌ها [1] (تولید کننده مجدد) (ریژنراتورها)
- بازیافت گرما [2] (ریکوپراتورها)
- لوله‌های گرمایی [3]
- دیگ‌های بازیافت انرژی [4]
- زباله‌سوزها [5]

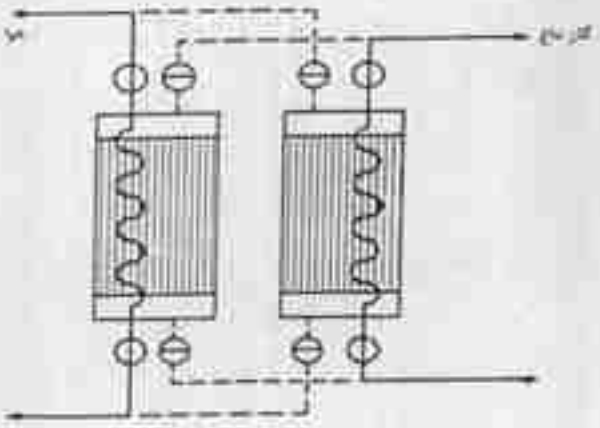
۲-۱- بازیاب کننده‌ها [6]

بازیاب کننده ها نوعی از مبادله کن‌های حرارتی با بستر فشرده هستند که برای انتقال حرارت بین دو گاز سرد و گرم استفاده می شوند. این دستگاه‌ها به دو نوع بستر ثابت و بستر دوّار تقسیم‌بندی می‌شوند:

الف – بازیاب‌های با بستر ثابت: در نوع بستر ثابت، دو سیال گرم و سرد در جهت مخالف یکدیگر دردو دوره زمانی متفاوت وارد بسترهای ثابت می شوند. در دوره اول، سیال گرم حرارت خود را در بستر ذخیره

1 - Regenerators
2- Recuperators
3 - Heat pipes
4 - Waste Heat Boilers
5 - Incinerators
6 - Regenerator

نموده و این انرژی در دوره زمانی متفاوت به سیال سرد منتقل می شود. شکل (۵-۱) طرحواره کلی یک بازیاب کننده با بستر ثابت را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۱- بازیاب کننده با بستر ثابت

بازیاب کننده های با بستر ثابت در صنایع شیشه، آلومینیوم و صنایع دیگر انرژی بر، مورد استفاده قرار می‌گیرند. در کوره‌های ذوب شیشه ،گازهای داغ خروجی از روی مواد مذاب، ازکانالی که با آجرهای نسوز پر شده‌اند عبور کرده و انرژی خود را به آن منتقل می‌نمایند. در دوره بعدی، هوای ورودی به محفظه احتراق، پس از عبور از این کانال توسط آن گرم می‌شود. راندمان این مبادله کن ها توسط دو رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$\eta_h = \text{راندمان دوره گرم} \quad \frac{(GC_pP)_h(t_{hi}-t_{ho})}{(GC_pP)_{min}(t_{hi}-t_{ci})}$$

$$\eta_c = \text{راندمان دوره سرد} \quad \frac{(GC_pP)_c(t_{co}-t_{ci})}{(GC_pP)_{min}(t_{hi}-t_{ci})}$$

که در آن:

η = بازده بازیاب کننده

G = آهنگ جرمی گاز

C_p = ظرفیت حرارتی گاز

t_{ci} = درجه حرارت ورودی گاز سرد

t_{co} = درجه حرارت خروجی گاز سرد

t_{hi} = درجه حرارت ورودی گاز گرم

t_{ho} = درجه حرارت خروجی گاز گرم

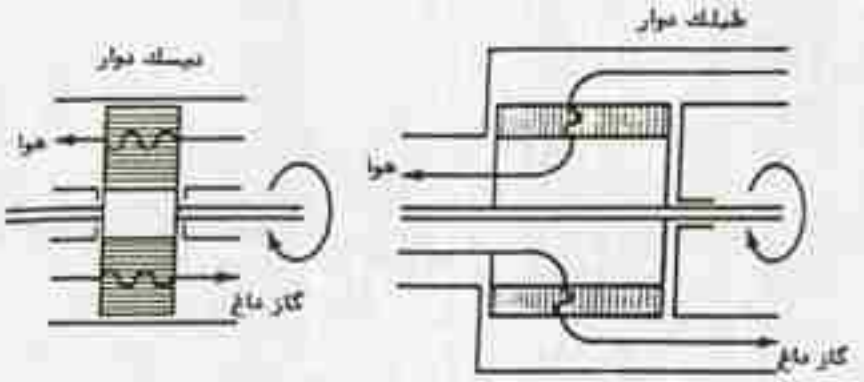
min = $(GC_pP)_c$ و $(GC_pP)_h$ کمترین مقدار

p = دوره گردش سیال

همانطور که از دو رابطه فوق مشخص می‌گردد راندمان بازیاب کننده ها بستگی به آهنگ جریان گازها و زمان گردش سیال سرد و گرم دارد که با تنظیم این دو پارامتر می‌توان بیشترین راندمان مبادله کن را بدست آورد.

ب: بازیاب کننده های با بستر دوار

در این نوع مبادله کن، دو سیال سرد و گرم در جهت مخالف از یک بستر دوار عبور می‌کنند. در این حالت دیسک دوار با دور ثابت، سیال گرم و سرد را بطور متناوب از خود عبور می‌دهد و انتقال گرما از سیال گرم به سیال سرد انجام می‌گیرد. این نوع از بازیاب که بنام چرخ‌های حرارتی[1] نامیده می‌شوند، بیشتر برای پیش‌گرمایش هوای احتراق در نیروگاه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند.(شکل شماره ۵-۲)



شکل ۵-۲ – باز یاب دوار

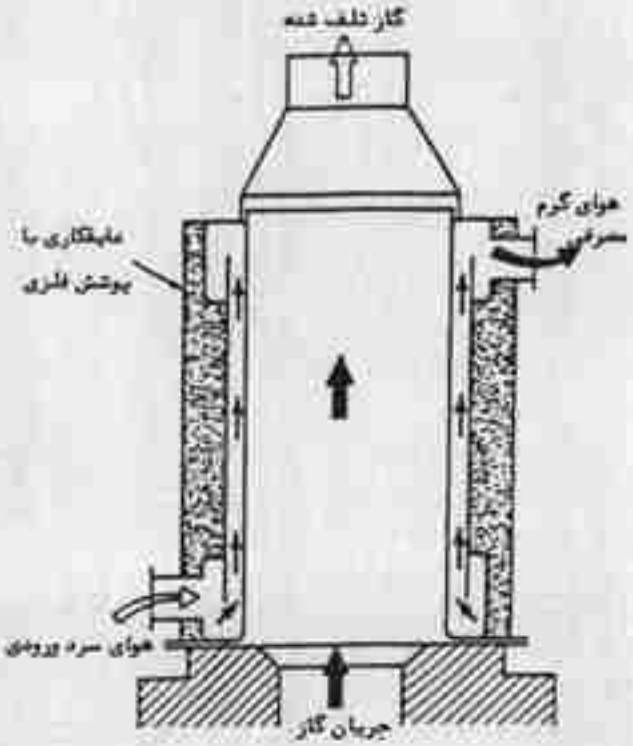
۲-۲- پیشگرمکن هوای کوره[2]:

یک پیش گرم کن هوای کوره، نوعی از مبادله کن حرارتی است که در آن انتقال گرما بین دو گاز انجام می‌شود. (در حالیکه مسیرحرکت شاره ها از هم جداست) کاربرد اصلی آن در پیش‌گرمکن‌های هوا در دیگ‌های بخار و کوره‌های حرارتی می‌باشد. نوع ساده این مبادله کن بصورت دو لوله در داخل یکدیگر می‌باشد که در خروجی کوره‌ها نصب می‌گردد و گاز داغ از داخل و هوای سرد از حداره خارجی بین دو لوله عبور می‌کند و درجه حرارت آن افزایش می‌یابد. سه نوع پیشگرمکن هوای کوره بنام جابجایی، تابشی وتابشی و جابجایی، می‌باشند. از مزایای استفاده از پیش گرم کن هوای کوره می‌توان موارد زیر را نام برد:

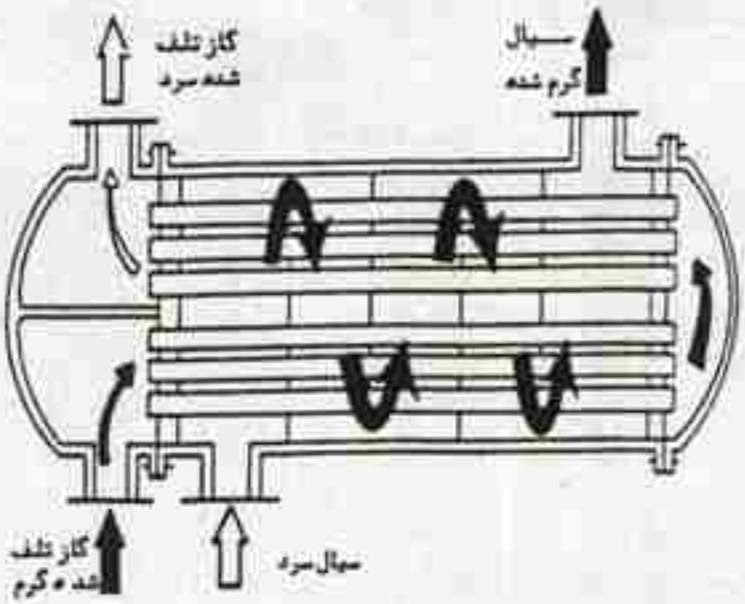
1- Heat Wheels
2- Recuperators

- کاهش مصرف سوخت
- کاهش مصرف هوای اضافی جهت احتراق
- امکان استفاده از دمای بیشتر شعله
- افزایش سرعت احتراق
- کاهش اکسیداسیون در دودکش
- جلوگیری از احتراق ناقص سوخت

شکل شماره (۵-۳) دو نوع از پیش گرم کن هوای کوره را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۳- الف- نوع نابشی پیشگرمکن هوای کوره



شکل ۵-۳- ب- نوع همرفتی پیشگرمکن هوای کوره

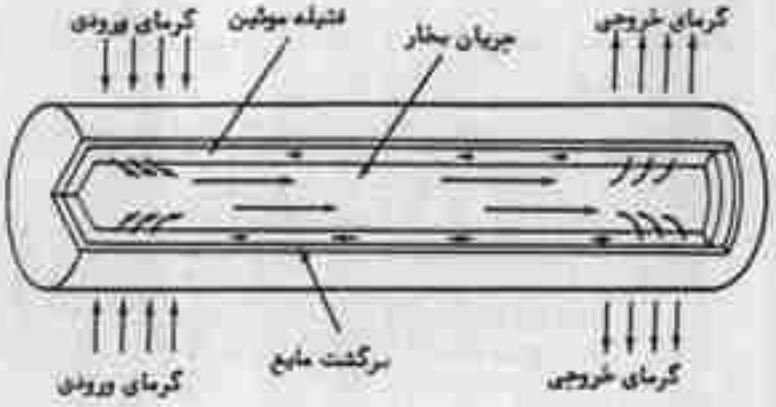
۲-۳- لوله‌های گرمایی[1] :

لوله گرمایی یک لوله سرو ته بسته و خالی از هوا می‌باشد که حاوی مقداری مایع می‌باشد و در اثر انتقال گرما در داخل آن عمل تبخیر و تقطیر بصورت مداوم صورت می‌گیرد و بدین ترتیب انتقال گرما از سیال گرم به سیال سرد، صورت می‌گیرد. هر لوله گرمایی از سه قسمت تشکیل می‌گردد:

- لوله سرو ته بسته[2]
- سیال داخل لوله[3]
- فتیله[4]

شکل شماره (۵-۴) ساختمان یک لوله گرمایی را نشان می‌دهد:

1 - Heat Pipes
2 - Container
3 - Fluid
4- Wick



شکل ۵-۴- ساختمان یک لوله گرمایی(افقی با فتیله)(۱۰)

جنس لوله، سیال داخل و فتیله باید با هم همخوانی داشته باشند تا لوله گرمایی بتواند بصورت مداوم عمل نماید در غیر اینصورت پس از مدتی عملیات تبخیر - تقطیر در داخل لوله متوقف می‌گردد. شرایط سیال داخلی لوله بشرح زیر می‌باشد:

- همخوانی جنس سیال با جنس لوله و فتیله
- پایداری حرارتی سیال
- تفوذپذیری سیال در لوله و فتیله
- فشار بخار متعادل
- گرمای نهان تبخیر زیاد
- ضریب هدایت حرارتی زیاد
- گرانروی کم مایع و بخار
- کشش سطحی زیاد
- نقطه انجماد قابل قبول
- قیمت مناسب

پارامتری که خاصیت سیال داخل لوله گرمائی را تعیین می کند عدد مریت[1] نامیده می‌شود که بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$\mathbf{M} = \delta\rho\lambda / \mu$$

که در آن:

δ کشش سطحی مایع

ρ دانسیته مایع

λ گرمای نهان تبخیر مایع

M گرانروی مایع

1 - Merit Number

-فتیله[1]: فتیله جهت برگشت سیال داخل لوله از قسمت تقطیر به قسمت تبخیر در دیواره داخلی لوله قرار داده می‌شود. و بیشتر در لوله های گرمائی افقی کاربرد دارد،زیرا در لوله های قائم بخار تقطیر شده در چگالنده(کندانسور)در اثر وزن خود به تبخیر کننده(اواپراتور) بر می گردد.

فتیله باید دارای ضخامت و سوراخ‌های مناسب باشد تا این عمل بسرعت انجام گردد و خللی در کار لوله گرمایی پدید نیاید. همچنین فتیله باید با ظرف و سیال همخوانی داشته باشد و خاصیت جذب سیال را نیز دارا باشد.

کاربرد لوله‌های گرمایی در صنایع، جهت بازیافت انرژی تلف شده می‌باشد و می‌تواند جهت کنترل دما در راکتورهای تولید متان از دی‌اکسید کربن و هیدروژن بکار می‌روند. لوله‌های گرمایی همچنین در خنک کردن تجهیزات الکتریکی و در سفینه‌های فضایی کاربرد فراوانی دارد. امروزه از لوله‌های گرمایی جهت انتقال گرمای داخل زمین به سطح زمین، ذوب کردن برف و یخ جاده‌ها(بویژه باند فرودگاهها در کشورهای سرد سیر) استفاده می‌شود.

۲-۴- زباله سوزها[2] :

زباله‌سوزها نوعی از کوره‌های سوخت مایعات هستند که برای کاهش حجم ضایعات جامد یا سوزاندن مایعات و گازهای قابل احتراق ، بدون مصرف فرایندهای صنعتی، بکار می‌روند.

زباله‌سوزها در سال‌های اخیر کاربرد زیادی در کشورهای صنعتی داشته و اغلب در موارد زیر به کار می‌روند:

- برای از بین بردن گازهای سمی و آلاینده جهت جلوگیری از آلودگی محیط زیست
- برای سوزاندن مایعات بدون مصرف و بازیابی مواد باارزش معدنی
- برای از بین بردن ضایعات جامد مخصوصاً زباله‌های شهری درکشورهایی که مشکل خاک کردن و از بین بردن زباله‌ها را دارند.

یکی از دستاوردهای استفاده از زباله‌سوزها تولید انرژی حرارتی با ارزش، توسط احتراق مواد زائد می‌باشد. (جدول شماره ۵-۲) میزان انرژی حاصل از احتراق مواد مختلف را بر اساس معادل لیتر سوخت بازای هر تن ضایعات نشان می‌دهد.

1-Wick
2 - Incinerators

جدول ۵-۲- میزان انرژی حاصل از احتراق مواد جامد

مواد	میزان انرژی تولیدی (معادل لیتر سوخت بازای هر تن ضایعات)
کاغذ (با ۱۵٪ رطوبت)	۲۸۶
چوب (با ۲۰٪ رطوبت)	۳۲۳
پی وی سی	۵۲۲
زغالسنگ	۶۵۶
پلی استیرن	۸۷۰
لاستیک	۹۵۵

از موارد مصرف زباله‌سوزها در سوزاندن زباله‌های بیمارستانی است که بعلت شیوع بیماری‌های واگیردار، از بین بردن این ضایعات بطور معمول مجاز نمی‌باشد. میزان تقریبی انرژی حاصل از این مواد ۱۷/۲ MJ/kg می‌باشد. یکی از مشکلات اقتصادی استفاده از زباله‌سوزها، از بین بردن آلودگی گازهای الاینده خروجی از محفظه احتراق به محیط می‌باشد که سهم عمده‌ای در هزینه‌های ساخت و نصب زباله‌سوزها خواهد داشت لذا با توجه به قوانین جدید محیط زیست ، استفاده از این دستگاه‌ها باید با دقت و نظارت انجام شود.

۲-۵- دیگ‌های بخار بازیاب حرارت[1] :

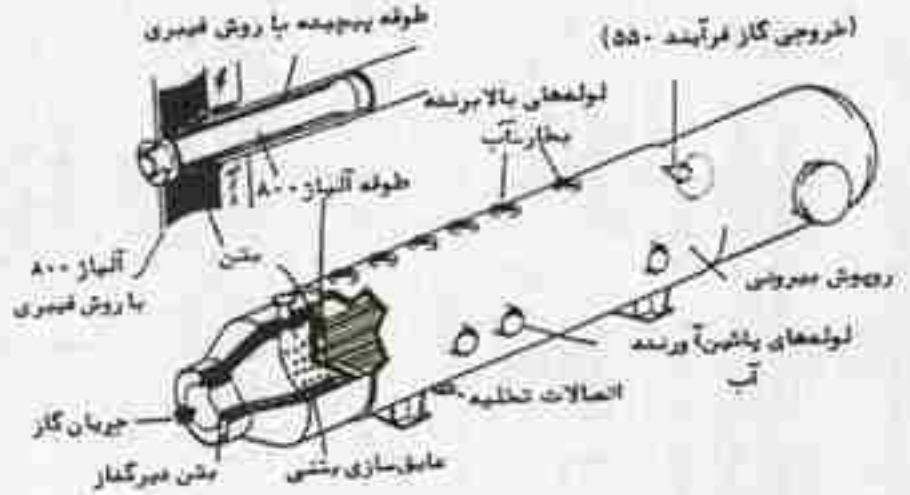
دیگ‌های بخار بازیاب حرارت نوع دیگری از تجهیزات بازیافت انرژی می‌باشند که انرژی حاصل از گازهای احتراق را بازیابی می‌نمایند. دو نوع از این دستگاه‌ها در صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرند:

- دیگ‌های بخار بازیافت گرمای حاصل از گازهای احتراق
- دیگ‌های بخار بازیافت گرمای حاصل از سیال فرایند

نوع خاصی از این سیستم در واحدهای اولفین صنایع پتروشیمی استفاده می‌گردد. در این نوع که یک مبادله کن حرارتی پوسته ای و لوله ای است، از انرژی گازهای حاصل از شکست حرارتی تولید بخار با فشار بالا استفاده می‌نماید. دیگ های بخار بازیافت حرارت، همچنین بهمراه زباله‌سوزها یک فرایند کامل بازیافت انرژی را تشکیل می‌دهند و گازهای خروجی از محفظه احتراق پس از تبادل انرژی با قسمت‌های مختلف بخش جابجایی کوره، وارد مبادلع کنهای بازیافت حرارت شده و انرژی بازیابی شده را صرف تولید بخار با فشار بالا (بین ۵۰ تا ۱۲۰ بار) می کنند.

شکل شمارهٔ (۵-۵) طرحواره کلی یک دیگ بخار بازیاب حرارت را نشان می دهد.

1 - Waste Heat Recoverge Boilers



شکل ۵-۵ – طرحواره کلی یک دیگ بخار بازیاب حرارت(۱۰)

۳- نمونه هایی از بکارگیری سیستمهای بازیافت انرژی

۳-۱- بازیافت حرارت از کوره‌های عملیات حرارتی:

با توجه به عملکرد سیستم کوره‌های عملیات حرارتی و بالا بودن درجه حرارت گازهای خروجی دودکش، امکان استفاده از حرارت گازهای خروجی یا بازیافت حرارت جهت مقاصد مختلف وجود دارد.

جدول زیر دمای خروجی و آهنگ جرمی گازهای حاصل از احتراق در کوره‌های عملیات حرارتی راقبل وبعد از تنظیم نسبت هوا به سوخت نشان می‌دهد.

(اعداد جدول در بار کامل در نظر گرفته شده است)

جدول ۵-۳- دمای خروجی و دبی گازهای حاصله از احتراق در
کوره‌های عملیات حرارتی، قبل و بعد از تنظیم نسبت هوا به سوخت

	دمای گازهای خروجی از دودکش	دبی گازهای خروجی قبل از تنظیم نسبت هوا به سوخت	دبی گازهای خروجی بعد از تنظیم نسبت هوا به سوخت
کوره عملیات حرارتی شماره I	۳۵۳°C	۲۶۲۰ Nm^3/hr	۱۲۸۰ Nm^3/hr
کوره عملیات حرارتی شماره II	۷۶۲°C	۲۲۰ Nm^3/hr	۲۲۰ Nm^3/hr
کوره عملیات حرارتی شماره III	۲۰۰°C	۱۳۳۰ Nm^3/hr	۷۷۰ Nm^3/hr
کوره عملیات حرارتی شماره IV	۷۹۶°C	۸۳۰ Nm^3/hr	۵۲۰ Nm^3/hr
جمع	۵۷۰°C متوسط	۵۲۲۰ Nm^3/hr	۳۰۱۰ Nm^3/hr

به منظور محاسبه بار حرارتی موجود در گازهای حاصل از احتراق با توجه به آهنگ جرمی گازهای خروجی پس از تنظیم نسبت هوا به سوخت ، دمای گازهای خروجی بعد از استفاده از سیستم بازیافت $200\ ^{\circ}C$ در نظر گرفته شده است.

جدول زیر حرارت موجود در گازهای خروجی و ظرفیت بازیافت حرارت با در نظر گرفتن دمای $200\ ^{\circ}C$ پس از بازیافت و راندمان ۷۰٪ سیستم بازیافت را نشان می‌دهد.[گزارشات ممیزی انرژی سایا]

جدول ۵-۴- حرارت موجود در گازهای خروجی و ظرفیت بازیافت حرارت

	کل حرارت موجود در گازهای خروجی (MJ/hr)	ظرفیت قابل بازیافت با راندمان ۷۰٪ (MJ/hr)
کوره عملیات حرارتی شماره I	۴۴۰	۲۰۰
کوره عملیات حرارتی شماره II	۲۹۰	۲۹۰
کوره عملیات حرارتی شماره III	۲۲۰	۱۶۰
کوره عملیات حرارتی شماره IV	۶۰۰	۳۲۰
جمع	۲۱۷۰	۹۷۰

بنابراین در صورت استفاده از سیستم بازیافت حرارت از کوره‌های عملیات حرارتی که به منظور پیش‌گرمایش قراضه ها، تولید آب گرم مصرفی کارخانه و یا پیش‌گرم نمودن هوای سر مشعل‌ها می‌باشد، به

میزان ۹۷۰ MJ/hr از تلفات انرژی کاسته می شود که با توجه به ارزش حرارتی گاز مصرفی، برابر Nm^3/hr ۲۹ صرفه جوئی در مصرف سوخت است.

با در نظر گرفتن ۱۸ ساعت کارکرد کوره‌ها در بار کامل ۲۵۳ روز کاری

صرفه‌جویی سوخت ناشی از بازیافت حرارت = ۱۳۲۰۰۰ $Nm^3/year$

۳-۲- بازیافت حرارت از دودکش دیگ های بخار در صنایع قند و شکر:

یکی از روش‌های متداول در کارخانجات قند برای بالا بردن راندمان انرژی، بازیافت حرارت از کوره‌های بخار برای استفاده در تفاله خشک‌کنی می باشد. در این کارخانه با توجه به نزدیکی دیگ های بخار III و IV به واحد تفاله خشک کنی استفاده از گازهای دودکش این دو دیگ های بخار مورد مطالعه قرار گرفته است.

جدول زیر آهنگ حجمی گازهای خروجی دودکش به همراه دمای مربوط را نشان می‌دهد. دمای محیط ۴۰ °C در نظر گرفته شده است.

جدول ۵-۵- دبی(آهنگ) حجمی خروجی دودکش به همراه دمای مربوطه

	آهنگ حجمی گازهای خروجی دودکش	دمای گازها	انرژی موجود (MJ/hr)
دیگ بخار شماره III	۲۸۰۰۰ Nm^3/hr	۲۳۰ °C	۱۳۰۰۰
دیگ بخار شماره IV	۴۶۷۰۰ Nm^3/hr	۲۱۸	۱۱۹۰۰
جمع	۹۴۷۰۰	-	۲۴۹۰۰

با در نظر گرفتن کارکرد غیر یکنواخت دیگ‌ها و به دنبال آن، کاهش گازهای دودکش در بدترین شرایط، راندمان ۷۰٪ برای بازیافت در نظر گرفته می‌شود:

انرژی قابل بازیافت = ۲۴۹۰۰×۰/۷= ۱۷۴۳۰ MJ/hr = ۴۸۰ Lit/hr

سوخت صرفه‌جویی شده = ۱۳۸۳۰۰۰ لیتر / سال

میزان صرفه‌جویی = ۲۱۰۰۰۰۰۰ ریال/ سال

با توجه به بررسی انجام شده میزان سرمایه‌گذاری در حدود ۱۱،۰۰۰،۰۰۰ تومان می باشد که بازگشت سرمایه‌ای در حدود ۵ سال خواهد داشت. با در نظر گرفتن اینکه کارخانه در آینده نزدیک برنامه گازسوز کردن واحدهای خود را دارد این سرمایه‌گذاری به مراتب کمتر شده و زمان بازگشت سرمایه به حدود ۲ تا ۳ سال خواهد رسید.

۴- سیستمهای تولید مشترک برق و حرارت

۴-۱- تولید همزمان برق و حرارت (CHP) چیست؟

معمولاً برق مورد نیاز واحدهای صنعتی، ساختمان‌های تجاری و ساختمان‌های مسکونی از نیروگاههای عمده کشور تأمین می‌شود. در حالیکه نیاز حرارتی تمام آنها در همان محل تولید می‌گردد. اما روش دیگری که از دیرباز وجود داشته و امروزه توجه بیشتری را معطوف خود کرده، تولید مشترک برق و حرارت است. که عبارتست از تولید همزمان برق، یا توان محوری و حرارت مفید توسط یک سیستم.سال‌ها پیش این فناوری برای اولین بار در نیروگاههای سیکل(چرخه) بخار بکار رفته و از بخار خارج شده از چرخه برای مصارف گرمایشی کارخانه و واحدهای اطراف آن استفاده می‌شده است. این عمل اگرچه کمی موجب کاهش راندمان نیروگاه بود اما با تأمین حرارت مورد نیاز واحد، از مصرف حجم زیادی از سوخت جلوگیری می‌کرده است.

خوشبختانه این فکر تنها به نیروگاههای بخار محدود نشد و در طی این سال‌ها، بویژه در سال‌های اخیر، فناوری تولید مشترک برق و حرارت ، که بهره‌وری بالایی را در مصرف انرژی بدنبال دارد، به سایر مولدهای تولید قدرت (مکانیکی یا الکتریکی) گسترش داده شد. بعبارت دیگر امروزه می‌توان با پیشرفت‌های صورت گرفته، هر سیستم مولد قدرتی با هر اندازه و کاربرد را بصورت یک واحد مشترک طراحی نمود. به این ترتیب علاوه بر تولید توان الکتریکی یا مکانیکی توسط دستگاه، امکان استحصال حرارت اتلافی مولد یا موتور بصورت انرژی گرمایی قابل استفاده وجود دارد. امروزه بدلیل توجه خاصی که به این سیستم‌ها می‌شود و نیز اهمیت کاربرد آن در دنیای امروز و نهادینه کردن فرهنگ استفاده از آن، در ادبیات مهندسی بجای اصطلاح دیر آشنای چرخه ترکیبی[1] از عنوان " سیستم ترکیبی حرارت و قدرت"[2] استفاده می‌شود.

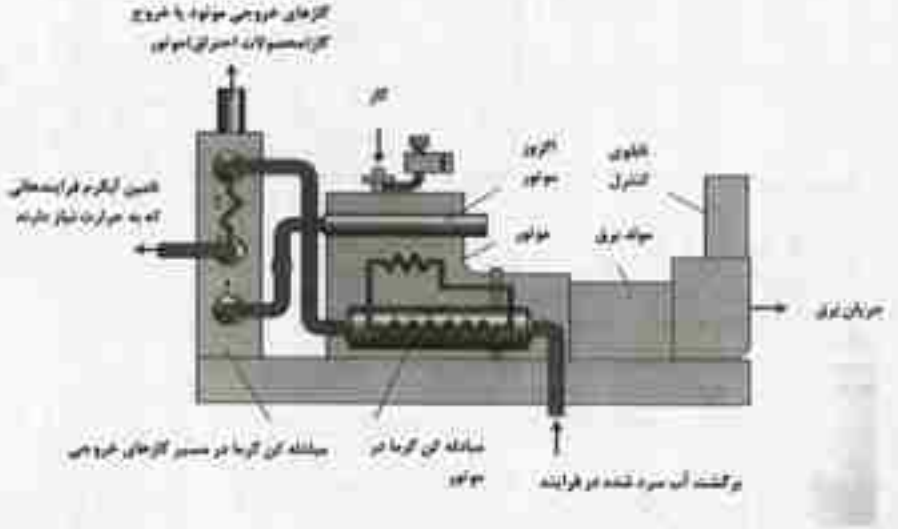
بنابراین سیستم CHP در اصل یک فناوری جدید محسوب نمی‌شود اما آنچنان پیشرفت و گسترش یافته است که کمتر شباهتی با مفهوم کلمه مترادفش ، Cogeneration (تولید همزمان حرارت و برق یا چرخه ترکیبی) دارد.

همانطور که گفته شد سیستمهای CHP غالباً برای تولید برق و حرارت بصورت همزمان طراحی می‌شوند. یک محرک اولیه (موتور یا توربین) انرژی شیمیایی سوخت را آزاد نموده و به توان مکانیکی در محور خروجی تبدیل می‌کند. در این موارد، محور محرک با یک ژنراتور متصل شده و توان الکتریکی تولید می‌شوند، از طرف دیگر، حداکثر راندمان موجود برای محرک اولیه دستگاه و مولد کمتر از ۵۰٪ است و این به معنی اتلاف بیش از نیمی از انرژی سوخت بصورت حرارت می‌باشد.

در این نوع سیستم، منابع اتلاف این حرارت، که عبارتند از گازهای خروجی از محرک اولیه، چرخه خنک‌کن و روغن روغنکاری شناسایی شده و با قرار دادن مبادله کن های حرارتی، گرمای اتلافی بشکل حرارت با دمای بالا

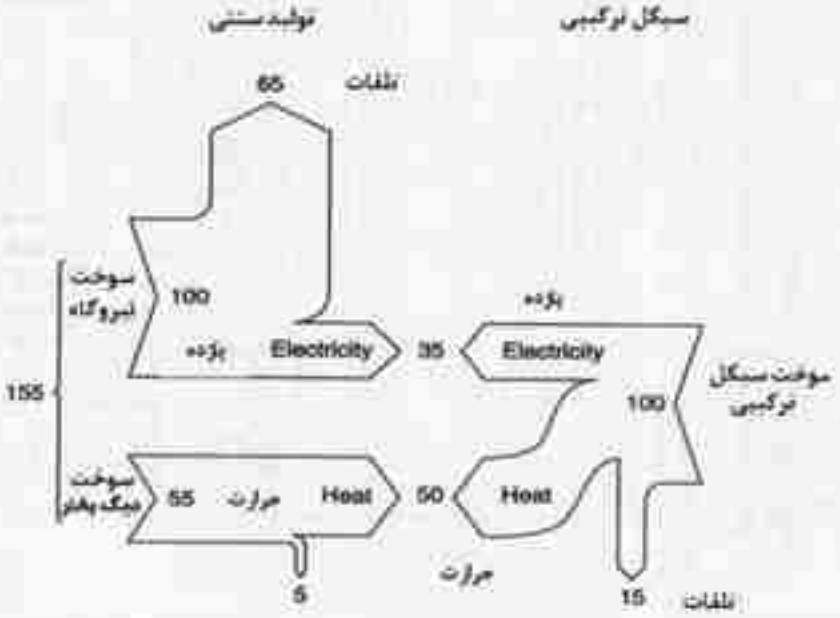
1 - Cogeneration
2- Combined Heat & power (CHP)

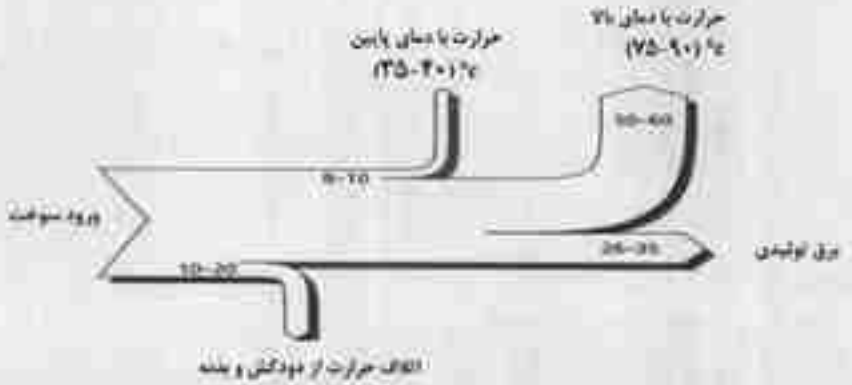
(حرارت قابل استفاده) بازیافت می‌شود. با فراهم شدن امکان استحصال حرارت اتلافی در سیستم تولید مشترک برق و حرارت، خصوصیات منحصر بفرد این سیستم بدست می‌آید.



شکل ۵-۶- سیستمی با مقیاس کوچک تولید همزمان برق و حرارت که مولفه‌های اصلی را نشان می‌دهد(۵)

دستگاه CHP بیشترین بهره‌وری در مصرف انرژی سوخت را دارد. به گونه‌ای که متوسط راندمان یک مولد برق در حدود ۳۵٪ و متوسط راندمان یک بویلر ۹۰٪ است. در حالیکه یک سیستم CHP با تولید هر دوی این محصولات راندمانی بیش از ۸۵٪ دارد. یعنی راندمان الکتریکی آن حدود ۳۵٪ و راندمان حرارتی (منظور از راندمان حرارتی عبارتست از انرژی حرارتی تولید شده به انرژی سوخت مصرفی) ۵۰٪ است. از طرف دیگر در مقایسه با سیستم‌های تولید برق و تولید حرارت متشابه رایج که بصورت مجزا هستند، حدود ۳۵٪ سوخت کمتری مصرف می‌کند.





شکل ۵-۸- موازنه انرژی یک دستگاه CHP (واحد تولید همزمان حرارت و برق)[۵]

کاهش در مصرف سوخت، هزینه سوخت مصرفی را در سبد اقتصادی واحد کاهش می‌دهد همچنین از دید ملی، این صرفه‌جویی در مصرف سوخت، می‌تواند چه از طریق صادرات و چه از طریق فراهم آمدن شرایطی برای استفاده‌های سودمندتر از سوخت فسیلی، مزیّت محسوب شود. بعلاوه استفاده هر چه کمتر از سوخت‌های فسیلی باعث کاهش آلاینده‌های محیط زیست می‌شود. سیستم‌های CHP نه تنها توسط صافی‌هایی از آزاد شدن آلاینده‌هایی مانند NO_x ، CO_2 ،CO و UHC جلوگیری می‌کند، بلکه کاهش ۳۵ درصدی سوخت در این دستگاه‌ها، نقش بزرگی در کم شدن تولید آنها دارد.

سیستم CHP در زمینه‌های مختلف صنعتی و کشاورزی (بویژه گلخانه‌ها)، تجاری[1] و مسکونی[2] استفاده می‌شود و بنابراین اندازه‌های متنوعی از آن وجود دارد.اندازه سیستم CHP بر حسب توان الکتریکی تولیدی آن بیان می‌شود و در یک طبقه‌بندی رایج در سه طیف عمده تقسیم‌بندی می‌شود.

CHP با مقیاس بزرگ	> 30 Mwe
CHP با مقیاس کوچک	> 1 Mwe
CHP با مقیاس متوسط	< 1 Mwe

گرچه بطور قطع نمی‌توان زمینه استفاده CHP ها را بر این تقسیم‌بندی منطبق دانست اما عموماً اندازه‌های بیش از چند مگاوات را در بخش صنعت، کمتر از ۱ Mwe را در بخش تجاری و اندازه‌های کوچک را در مصارف خانگی استفاده می‌کنند. البته مجدداً لازم به یادآوری است که استفاده از CHP تنها به تولید برق و آب داغ یا بخار کم فشار محدود می‌شود و اتفاقاً در اندازه‌های بزرگتر آن، از توان محور برای بکار انداختن کمپرسورهای

1- commercial
2- residential

چیلر، یخچال‌های صنعتی و یا هوای فشرده و از حرارت استحصالی برای گرمایش محیط بطور مستقیم، چیلرهای جذبی و حرارت مورد نیاز فرایندهای صنعتی مانند خشک‌کن استفاده می‌شود.

بعد از بحران نفت در سال ۱۹۷۳ و افزایش قیمت نفت، کشورهای صنعتی با مشکل بزرگی مواجه شدند و راهکارهای جدیدی را برای رهایی از وابستگی به سوختهای فسیلی و صرفه‌جوئی در مصرف انرژی در صنایع وابسته به سوختهای فسیلی و همچنین بالا بردن فناوری‌ها به دو منظور کاهش مصرف انرژی در صنایع و استفاده بهینه از انرژی بکار بردند. از جملهٔ این فعالیتها می‌توان به مواردی همچون افزایش تولید زغال سنگ، استفاده از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر، توسعهٔ نیروگاههای هسته‌ای، صرفه‌جوئی در مصرف انرژی،استفاده از عایقهای حرارتی پیشرفته، افزایش کارآیی منابع حرارتی (دیگهای بخار و ...)، زباله‌سوزها و نیروگاههای زباله سوز و تولید مشترک حرارت و توان (که مورد بحث این کتاب نیز می‌باشد) اشاره کرد.

در نیروگاههای مرسوم حرارتی، تنها یک سوم انرژی موجود و حاصل از سوختن نفت و فرآورده‌های آن یا زغال سنگ به توان الکتریکی تبدیل می‌شود و دو سوم انرژی از طریق آب نیم گرم در برجهای خنک کننده و البته مقدار کمی در مسیر فرایند تلف می‌شود.

تغییر در طراحی و عملکرد یک نیروگاه تولید توان به تولید مشترک حرارت سودمند و توان، کاربرد و استفاده از انرژی را توسعه و بهبود می‌بخشد. البته حرارت بدست آمده بایستی کیفیت، مقدار و دمای بالا و کافی را برای آب گرم موردنیاز خانگی، تجاری و ساختمانهای عمومی یا بخار مورد نیاز صنایع را جهت فرایندهای آن تأمین نماید. بنابراین دو کاربرد مهم برای این حرارت وجود دارد :

۱ – گرمایش ناحیه یا بخش خاص (تجاری، مسکونی) (CHP/DH[1])

۲ – استفاده در صنعت جهت فرآیندها (CHP/IND[2])

که این مباحث در دهه ۷۰ شکل جدی‌تری به خودگرفت و گامهای بلند و متعددی در این زمینه‌ها برداشته شد. البته مورد دوم از استقبال بیشتری در کشورهای توسعه یافته برخوردار بود.

حالت اول: مربوط به شبکه گرمایش ناحیه‌ای که حرارت تغذیه توسط آب داغ در دمای بین ۱۵۰°C-۸۰°C صورت می‌پذیرد،است.

حالت دوم (CHP/IND): بخار داغ یا گازهای داغ خروجی از توربین گاز یا بخار ، گرمای مورد نیاز را برآورده می‌سازد.

در تعریف تولید مشترک حرارت و توان و استفاده از حرارت مفید، موارد زیر شامل این حرارت سودمند نیست :

- آب گرمی که از چگالنده نیروگاه خارج شده و مصرف آن در بخش کشاورزی و استخر پرورش ماهی می‌باشد.
- زباله‌ها و آشغالهایی که بعنوان سوخت در نیروگاههای زباله سوز مورد مصرف قرار گرفته و تولید توان الکتریکی می‌نماید.

1- Combined Heat and Power / District Heating

2- Combined Heat and Power / for Industry

اساساً تبدیل و تغییر نیروگاههای موجود یا طراحی نیروگاههای جدید CHP برای فراهم آوردن و تولید حرارت مازاد به شکل سودمند و مفید در دمایی بالاتر از نیروگاههای مرسوم مورد نظر است.

اگرچه تعداد زیادی طرحهای تولید مشترک حرارت و توان و استفاده از حرارت جهت فرایندها (CHP/IND) در آمریکا و انگلستان وجود دارد و از نیروگاههای خاص خود استفاده می‌کنند، اما کاربرد (CHP/DH) نسبتاً محدود می‌باشد اما در چند کشور اروپایی تولید همزمان برق و حرارت برای کاربرد در گرمایش ناحیه‌ای کاربرد و استفادهٔ وسیع‌تری دارد.

در ادامه مفاهیم اساسی CHP بعنوان یک تکنولوژی بهینه‌سازی مصرف انرژی مطرح و مزایای سیستم CHP برشمرده می‌شود و سیستمهایی که CHP در آن قابل اجرا و به صرفه می‌باشد، مطرح می‌شوند.

۴-۲- تولید همزمان برق و حرارت[1] :

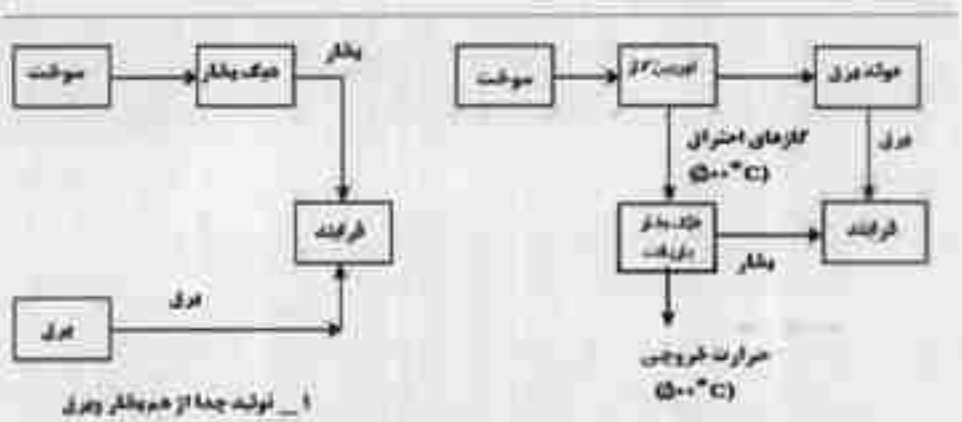
تولید همزمان دو شکل مختلف انرژی مفید و مورد استفاده ، با بکارگیری یک منبع اولیه انرژی، را تولید همزمان می‌گویند.

دو شکل مختلف انرژی عبارتست از :

الف _ انرژی الکتریکی و انرژی حرارتی

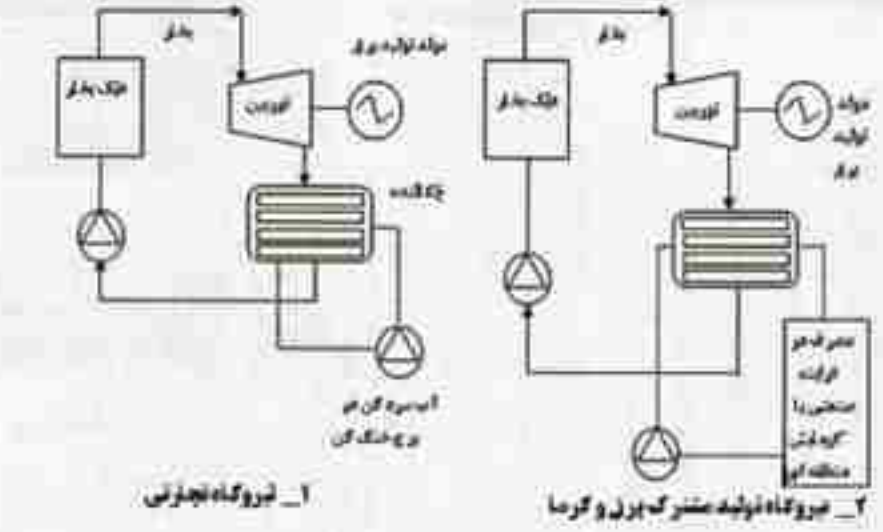
ب _ انرژی مکانیکی و انرژی حرارتی

کاربرد آن در بعضی از صنایع که همزمان به انرژی الکتریکی و بخار فشار پائین برای فرایند نیاز دارند،است. تفاوت بین سیستم تولید مشترک (CHP) و سیستم تولید مجزا و متداول در شکل شماره (۵-۹) نشان داده شده است. همچنین در شکل شماره (۵-۱۰) دو نیروگاه متداول و تولید مشترک مشخص شده است.



شکل ۵-۹- مقایسه سیستم مجزای تولید برق و حرارت با سیستم تولید مشترک در صنعت(۵)

1- Cogeneration



شکل ۵-۱۰ – نمودار طرحواره ای نیروگاه تولید مشترک و متداول(۵)

در شکل بالا، نوع ۱ (نیروگاه تجاری)، چگالنده سبب زنده کردن بخار مرده (بخاری که با انبساط خود در توربین، محور توربین را به گردش درآورده و مولد تولید برق که به محور توربین وصل است برق تولید می‌کند) می‌شود و آبگرم از برج خنک کن عبور و خنک شده ودوباره به چگالنده بر می‌گردد.

در نوع ۲ (نیروگاه تولید همزمان حرارت و برق)، برج خنک کنی در کار نیست، بلکه گرمایش منطقه‌ای مطرح است که در نتیجه هم برق تولید می شود و هم تعدادی خانوار به گرمایش دست می‌یابند.

مثال: کارخانه‌ای MW ۱۱/۷ انرژی نیاز دارد، که شامل ۱۰/۷۵ تن بخار فشار پائین و MW ۴/۷ انرژی الکتریکی می‌باشد. انرژی اولیه مورد نیاز برای یک سیستم تولید متداول، MW ۲۱/۷ می‌باشد. در حالیکه سیستم تولید مشترک، انرژی مورد نیاز کارخانه را تنها با MW ۱۵/۹ اولیه تأمین می‌نماید. بنابراین کارآیی کلی سیستم مجزای متداول ۵۴٪ درصد می‌باشد. در حالیکه سیستم تولید همزمان راندمان حداقل حدود ۷۴٪ دارد.

۴-۳- موارد کاربرد تولید مشترک برق و حرارت :

در واحدهایی که بطور همزمان به حرارت و توان نیاز دارند، در صورتیکه سیستم مصرف انرژی خصوصیات زیر را داشته باشد، قابلیت ایجاد تولید مشترک وجود دارد. در این صورت صرفه‌جوئی قابل توجهی در هزینه انرژی بدست آمده و سیستم تولید مشترک جذاب‌تر و مقرون به صرفه‌تر خواهد بود.

مشخصات یک سیستم ایده‌آل برای نصب و اجرای تولید مشترک :

- نیاز حتمی به توان الکتریکی
- افزونی موارد استفاده انرژی حرارتی نسبت به انرژی الکتریکی
- الگوهای بار پایدار و ثابت انرژی حرارتی و الکتریکی.
- طولانی بودن ساعات بهره‌برداری فرآیند.

- قیمت بالای برق شبکه یا عدم دسترسی به شبکه

انرژی حرارتی مورد نیاز برای اهداف زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد :

خشک کردن، پیشگرم نمودن، تولید بخار فرایند، محرک تجهیزات بازیافت حرارت و تولید آب سرد، آب گرم، سیال داغ و نظایر آن

بعضی از دامنه‌های کاربرد کاملاً مؤثر سیستم تولید مشترک عبارتند از :

الف - تولید همزمان در تاسیسات (Utility) :

- سرمایش و گرمایش منطقه‌ای

ب - تولید همزمان در صنعت :

- صنایع غذایی
- صنایع دارو سازی
- صنایع کاغذ و مقوا
- پالایشگاه و پتروشیمی
- صنایع نساجی
- صنایع فولاد
- صنایع سیمان
- صنعت شیشه
- صنعت سرامیک

ج - تولید همزمان در مؤسسات خانگی و تجاری

- بیمارستان
- دانشگاه
- هتل

همچنین برای تأمین برق و نیاز گرمایشی واحدهای مسکونی مانند آپارتمان‌ها، برج‌ها و حتی برای واحدهای مسکونی تک خانوار می‌توان از آن استفاده کرد. بعبارت ساده‌تر سیستم CHP برای واحدهایی که نیاز توأمان به برق و حرارت داشته باشند، مفید است.

لذا برای ترویج فرهنگ استفاده از CHP شرکتهای سازنده نیز برای جلب رضایت مشتریان و ساده‌تر شدن عرضه و خرید و نصب سیستم‌های CHP کوچکتر از 1^{Mwe} آنها را بصورت پکیج شده[1] تولید می‌کنند. به این ترتیب علاوه بر اطمینان مشتریان از سلامت دستگاه هنگام خرید، هزینه نصب و تعمیر و نگهداری آن نیز کاهش می‌یابد.

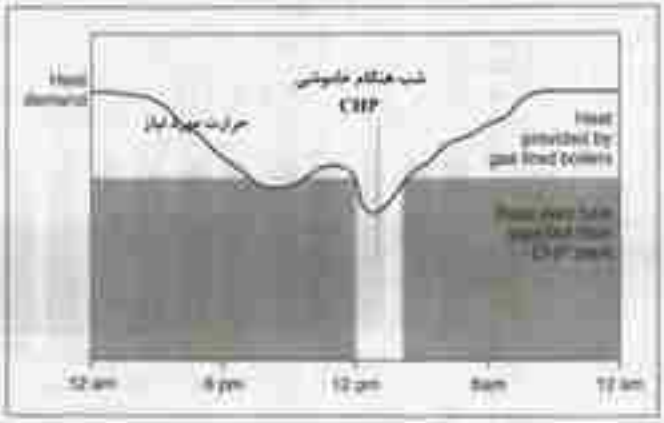
دانستن نیاز واقعی واحد مصرف‌کننده به برق و حرارت در انتخاب درست اندازه CHP و نحوه استفاده از آن تأثیر فراوانی دارد. یک سیستم CHP مطلوب به گونه‌ای است که حداقل ۴۵۰۰ ساعت در طول سال فعال باشد.

---

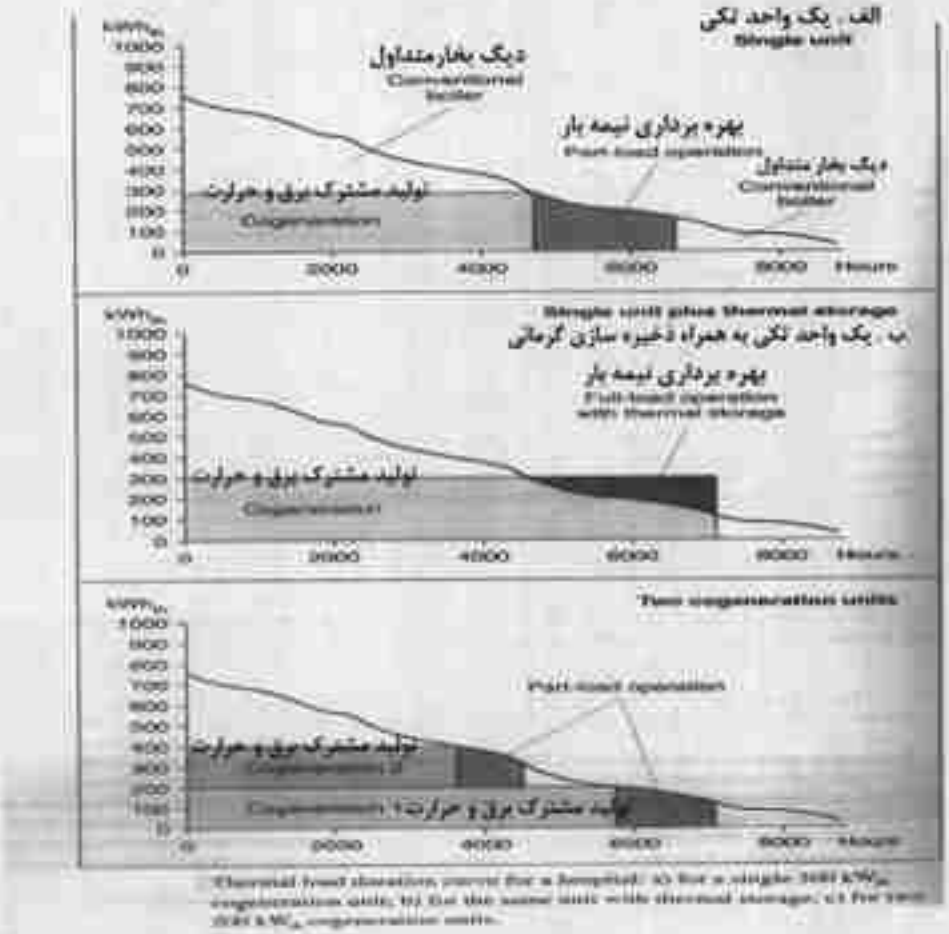
1 - packaged

(برای اندازه‌های Mini CHP تا ۳۰۰۰ ساعت نیز قابل قبول است.) و تا جایی که ممکن است روشن بودن آن مداوم باشد و پی در پی قطع و وصل نشود. این معیار اولیه در انتخاب اندازه CHP به گونه‌ای مؤثر است که عدم رعایت آن هزینه‌های مضاعفی را چه برای خرید دستگاه و چه برای تعمیر و نگهداری، بر کاربر تحمیل می‌کند.

معمولاً سیستم CHP به تنهایی کاربرد ندارد، یعنی برای تأمین تمام نیاز واحد تنها CHP در نظر گرفته نمی‌شود. از نظر تولید برق در زمانهایی از CHP استفاده می‌شود که هزینه برق تولیدی در مقایسه با برق خریداری شده از شبکه مقرون به صرفه باشد. (زیرا در برخی از ساعات شبانه‌روز، خرید برق از شبکه مقرون به صرفه‌تر خواهد بود).



نمودار ۵- تقاضای انرژی حرارتی روزانه برای یک مرکز ورزشی



شکل ۵-۱۲- مقایسه تولید مشترک برق و حرارت در حالتهای مختلف در یک بیمارستان در حالتهای:

الف . واحد تکی با ظرفیت 300KW

ب . واحد تکی همراه با ذخیره سازی گرما

ج . دو واحد تولید برق و حرارت به ظرفیت 300KW(۵)

۵- مطالعه موردی استفاده از سیستمهای تولید همزمان برق و حرارت در صنایع:

۵-۱ - استفاده از CHP در یکی از شرکتهای صنایع شیر[1] :

این شرکت با استفاده از سیستم CHP به صرفه‌جوئی قابل توجهی دست یافته است. بطوریکه با نصب این سیستم تا ۳۰٪ مصرف انرژی را کاهش داده است.

سودمند بودن این سیستم در صرفه‌جوئی انرژی سالیانه‌ای است که آثار آن در سالهای آتی نمایان‌تر خواهد شد.

در حال حاضر در ایرلند بیش از ۴۲ مورد سیستم CHP نصب شده است که محدوده تولید برق آنها از ۴۰ KW تا ۱۴ MW می‌باشد، که بیش از ۱۵ مورد تولید برق آنها در حدود ۱ MW و حتی بیشتر می‌باشد. در این شرکت با یکپارچه کردن بخش غذایی و بخش کره پاستوریزه، کارآیی و بهره‌وری سیستم به شکل قابل توجهی افزایش یافت.

این شرکت برای نصب و استفاده از سیستم CHP با همکاری یکی از سازمانها که بعنوان مهندس مشاور فعالیتهای مقدماتی، ممیزی انرژی را جهت استفاده از CHP برای دو کمپانی Dairy gold ، Fingleton انجام داده است.

بعد از تجزیه وتحلیل سیستم و تعیین میزان مصرف بخار و برق مورد نیاز، یک توربین گازی ۴/۷ MW انتخاب شد. دمای گازهای خروجی از توربین گازی در حدود ۵۴۰°C بود که با استفاده از حرارت اتلافی آن در دیگ بخار بازیافت، بخار مورد نیاز تهیه می‌گردد. بطوریکه از دیگ بخار بازیافت تا ۳۵٪ بخار مورد نیاز تأمین می‌شود و مابقی بخار مورد نیاز از مشعلهای اضافی تأمین می‌شود.

مشخصات توربین و دیگ بخار استفاده شده در این شرکت به شرح زیر می‌باشد.

توربین

نوع	Centrax KB7
قدرت	۴/۷MW
راندمان برق تولیدی	٪۲۹
سرعت توربین	۱۴۵۰ rpm
سرعت ژنراتور	۱۵۰۰ rpm

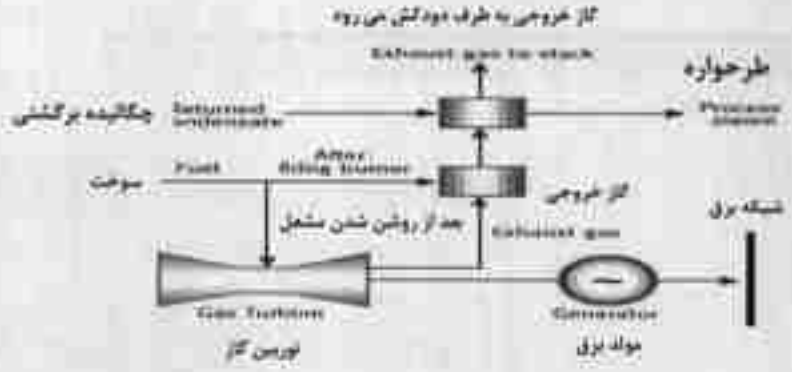
دیگ بخار بازیافت

نوع	Wellmann Robey
خروجی بدون مشعل	۱۱/۵ Ton/hr
خروجی با مشعل	۲۳ Ton/hr
راندمان کل	بیش از ٪۸۸

طرحواره CHP نصب شده در این شرکت بصورت زیر می‌باشد:

۱- میلک استون در ایرلند

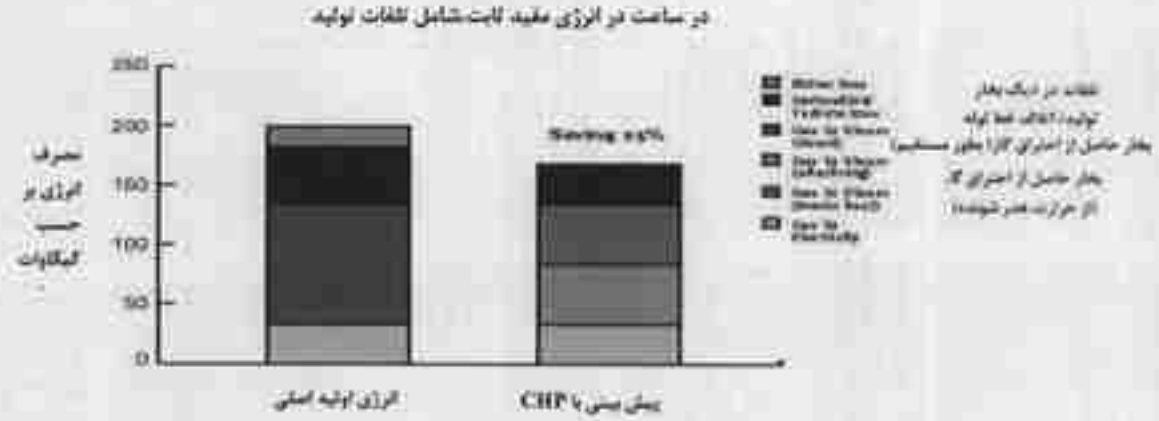
طرحواره کارخانه (نیروگاه)تولید همزمان حرارت و برق



شکل ۵-۱۳ – طرحواره CHP نصب شده(۵)

یک ساختمان جدید برای سیستم CHP و سرویس‌های جانبی (شامل دیگ بخار بازیافت، سوئیچ‌گیر) ساخته شد.

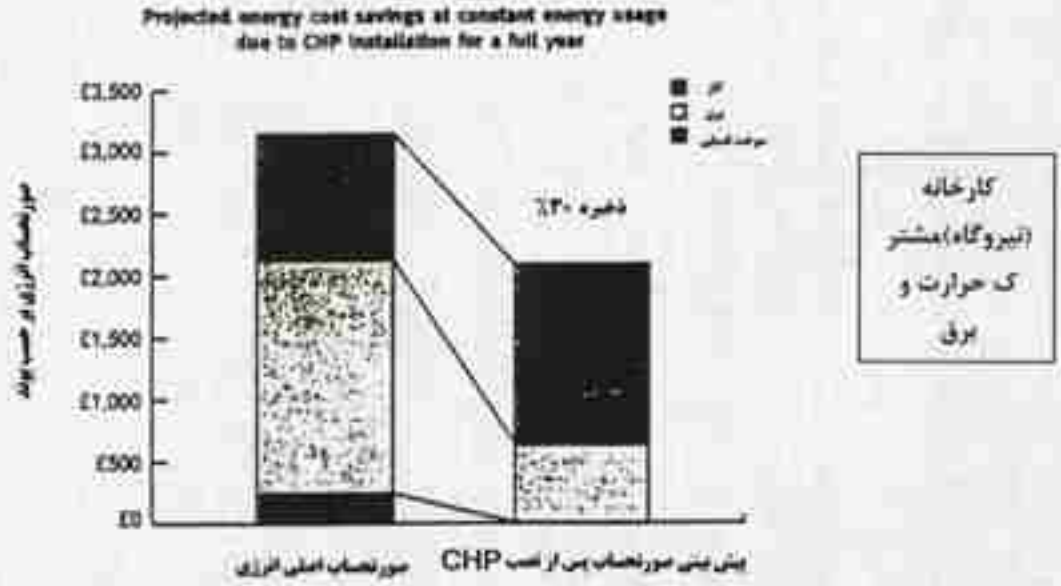
در شکل زیر میزان صرفه‌جوئی انرژی و مصرف انرژی در دو حالت قبل از نصب CHP و بعد از آن نشان داده شده است.



شکل ۵-۱۴- پیش بینی صرفه جوئی انرژی اولیه بر حسب گیگاوات(۵)

میزان صرفه‌جوئی انرژی:

صرفه‌جوئی انرژی و میزان هزینه‌ها در نمودار زیر بصورت مختصر آمده است. همانطور که در شکل زیر ملاحظه می‌شود کل سرمایه‌گذاری انجام شده شامل (نصب سیستم CHP و کارهای عمرانی حدود ۳ میلیون پوند بوده است. بازگشت سرمایه بطور تقریبی در حدود ۳/۷ سال می‌باشد. البته با کمک‌هایی که توسط مرکز انرژی ایرلند انجام شد این مدت به ۳/۲ سال رسید. با توجه به شکلهای قبلی و شکل زیر میزان صرفه‌جوئی انرژی ۱۵٪ و میزان صرفه‌جوئی پوندی انرژی ۳۰٪ می‌باشد که نشاندهنده سودمند بودن نصب سیستم CHP می‌باشد.



شکل ۱۵-۵ – پیش بینی صرفه جوئی سالانه در هزینه انرژی با مصرف ثابت انرژی، ناشی از نصب CHP(۵)

فصل ششم

مدیریت مصرف انرژی در ساختمان

مقدمه

مصرف انرژی در چند دههٔ اخیر بطور سرسام‌آوری افزایش یافته، که این افزایش از یکطرف نشانهٔ رشد اقتصادی بوده و بیشتر به گردش افتادن چرخ‌های صنعت و در پی آن جابجا شدن کالاهای صنایع به نقاط مختلف و از طرف دیگر شاید به دلیل قیمت ارزان انرژی صورت می‌گیرد و بهمین دلیل صاحبان صنایع و مصرف‌کنندگان خصوصی در کشور ما در پی صرفه‌جویی و استفادهٔ منطقی از آن نبوده‌اند. در بحران انرژی در سال‌های ۱۹۷۴به بعد که با بالا رفتن قیمت نفت خام و قیمت انرژی، بطور کلی روند مصرف انرژی کمی تغییر کرد و کشورهای بدون نفت در مصرف آن بصورت منظم‌تر عمل نمودند. بهمین دلیل کشورهای مصرف‌کنندهٔ انرژی در جهت جایگزینی انرژی‌های جدید بجای انرژی فسیلی و صرفه‌جویی در مصرف انرژی و بهره‌برداری بهتر از انرژی‌های موجود گام برداشته‌اند.

استفاده منطقی از انرژی در رئوس اصلی کار کشورهای بدون منابع انرژی فسیلی قرار گرفت و بر آن شدند که در یکی از مراکز اصلی مصرف انرژی، یعنی ساختمان‌های مسکونی، مسئله بهینه کردن مصرف انرژی را جدی بگیرند، بدین ترتیب این مسئله مطرح شد و چندین سال است که کشورهایی مانند آلمان، سوئد، ایتالیا، انگلیس و ... قوانین خاصی در امر ساختمان‌سازی و بکار بردن عایق‌های حرارتی، بهبود روش گرمایش و سرمایش و ساختار کلی ساختمان در جهت بهینه کردن مصرف انرژی در آن تدوین نموده‌اند که لازم‌الاجرا می‌باشد. اجرای این موارد نتایج چالبی بدنبال داشته بطوری که موفق شده‌اند با بکارگیری این قوانین تا حدود

۳۰٪ در مصرف انرژی صرفه‌جویی نمایند. با توجه به ترازنامهٔ سال۱۳۸۵، مصرف انرژی در بخش ساختمان‌های خانگی و تجاری ایران حدود ۴۰ درصد (۴۰/۲۷ ٪) کل مصرف انرژی می‌باشد که صرفه‌جویی حدود۳۰٪ در آن رقم بسیار قابل توجهی خواهد بود.

با توجه به اینکه کشور ما از صادرکنندگان انرژی به کشورهای مختلف است و هنوز ارزش واقعی آن از مصرف‌کنندگان دریافت نمی‌شود(لذا مصرف‌کنندگان در پی صرفه‌جویی و یا استفادهٔ منطقی از آن نیستند.) جهت جلوگیری از روند مصرف بی‌رویه انرژی در ایران اقدامات اساسی از طرف دولت جمهوری اسلامی باید بصورت قوانین همگانی صورت بگیرد. یکی از اقدامات،کنترل ساختار ساختمان‌های جدید مسکونی می‌باشد که باید تحت شرایط معینی که در آن کاهش مصرف انرژی مدنظر باشد. صورت بگیرد.

در مورد ساختمان‌های فعلی که در حال استفاده می‌باشند و از نظر مصرف انرژی در وضعیت خوبی قرار ندارند، باید تغییرات اساسی در آنها انجام شده و یا اصولی در آنها پیاده شود که از نظر مصرف انرژی منطقی شوند. برای اینکه بدانیم ساختمانی از نظر اتلاف انرژی در چه سطحی است، باید روشی در دست باشد که بر اساس آن بتوان ساختمان را محک زد و منابع اتلاف آنرا شناسائی کرد. در این فصل روشی ارائه می‌شود که طبق آن، منابع اتلاف انرژی در یک ساختمان مسکونی، تعیین می‌شود. ضمناً راهکارها و توصیه‌هایی در مورد جلوگیری و یا کاهش مصرف انرژی در اینگونه ساختمان‌ها نیز ارائه شده است. تهیه این فصل بر مبنای مطالعاتی در مواردی از قبیل وضع ظاهری ساختمان، تأسیسات گرمایی و سرمایی، روشنایی، پوشش‌های ساختمان، عملیات بازیافتی و نظایر آن می‌باشد که در زیر به شرح آنها می پردازیم.

۱- مبانی مدیریت انرژی در ساختمان

۱-۱- روش شناسایی منابع اتلاف انرژی در ساختمان‌های مسکونی :

جهت شناخت منابع اتلاف انرژی در ساختمان‌های مسکونی و تجاری لازم است بررسی کلی انرژی (ممیزی انرژی) در آنها صورت گیرد و نتایج حاصل از آن را با یک الگوی به نسبت مناسب از یک نمونه کلی ساختمان مقایسه نمود. تا منابع اتلاف انرژی مشخص گردد و در جهت رفع آن اقدامات لازم بعمل آید.

بررسی مصرف انرژی اگر بصورت درست انجام شود و بر اساس یک دستورالعمل معین و حساب شده صورت پذیرد، می‌تواند بعنوان یک خط راهنما برای آنهایی که مسئولیت کنترل مصرف انرژی را دارند، باشد و آنانرا در جهت مسئولیتشان بطور دقیق راهنمایی کند. برای تأمین یک الگوی مناسب و به نسبت مناسب، برای ساختمان‌ها از نظر مصرف انرژی، باید از تمام زوایا به ساختمان توجه نمود و با بررسی و مطالعات دقیق نکات مهم از دید اتلاف انرژی در ساختمان‌ها را مشخص نمود. تا بتوان الگوی مورد نظر را بر مبنای این پارامترها استوار نمود. زوایای مهمی که در تأمین الگوی لازم جهت تعیین منابع اتلاف در ساختمان‌های مسکونی باید مد نظر داشت را می‌توان چنین پیشنهاد کرد.

۱-۲- پوشش‌ها و سطوح خارجی ساختمان:

بطور کلی در کشورهای اروپایی که از نظر انرژی دارای مسئله می‌باشند و انرژی در آنها بسیار ارزش دارد، از قبیل دانمارک، فرانسه، آلمان، هلند، ایتالیا، نروژ، سوئد و ... عموماً در سه مرحله بهبود وضعیت پوشش‌های ساختمانی را اجباری کردند و قوانینی در رابطه با نوع مشخصات مواد و مصالح ساختمان وضع نموده‌اند که در حال حاضر اجرا می‌شود. این سه مرحله عبارتند از:

مرحلهٔ اول: تا سال ۱۹۷۰کمتر کشوری قوانینی در مورد عایق‌بندی ساختمان داشته و بیشتر کشورها این موضوع را نادیده گرفته بودند. در این سال‌ها بدلیل بحران انرژی، قوانینی را در مورد عایق‌بندی ساختمان وضع نمودند و استانداردهایی را در این باره ایجاد کردند.

مرحلهٔ دوم: تا سال ۱۹۷۵مقررات عایق‌بندی منسجم‌تر شده و ضرایب حرارتی عایق‌های استفاده شده در ساختمان‌ها بر اساس مطالعات و تحقیقات متخصصین عایقکاری کشورها تجدید نظرشد و ضرائب حرارتی عایق‌های ساختمان‌های دولتی و اداری را به طور قانونی از درجه بالاتری تعیین کردند.

مرحلهٔ سوم: از سال ۱۹۸۰ قوانین در مورد آیندهٔ عایق‌کاری و همچنین استانداردهائی برای انتخاب نوع ساختمان‌ها و نسبت‌های لازم برای ساختمان‌ها در نظر گرفته شده است که برخی از موارد عبارتند از:

➢ **نسبت پنجره‌ها به سطوح خارجی** در ساختمان‌ها از نظر کمینه کردن میزان افت حرارتی ساختمان بر اساس استانداردهای ساختمانی سوئد[1] که در حال حاضر در آن کشور اجرا می‌شود عبارتست از :

خانهٔ یک طبقه	٪۱۵
خانهٔ یک و نیم طبقه	٪۱۶
خانهٔ دو طبقه	٪۲۰
خانهٔ پنج طبقه	٪۲۰

➢ **ضرائب انتقال حرارت قسمت‌های مختلف ساختمان** در مراحل مختلف کامل شدن قوانین حاکم بر کنترل انرژی در ساختمان‌ها در کشورهای اروپایی در جدول (۶-۱) آمده است.

1 - SBN (swedish bulding Norm)

جدول شماره (۶-۱) نمونه ضرایب انتقال حرارت جدارهای خارجی ساختمان مربوط به قوانین ساختمان کشور های اروپائی(۱۱)

EURIMA	ضریب انتقال حرارتی k بر حسب $W/m^2\,^{\circ}C$								
قسمت‌های مختلف ساختمانی	مراحل مختلف	دانمارک	فرانسه	آلمان	هلند	ایتالیا	نروژ	سوئد	انگلستان
دیوار	۱	۰/۲۲	۱/۵۲	۱/۵۷	۱/۶۷	۱/۲۹	۰/۵۸	۰/۵۸	۱/۲۰
	۲	۰/۳۶	۰/۷۰	۰/۸۱	۰/۴۸	۱/۲۹	۰/۲۲	۰/۲۵	۱/۰۰
	۳	۰/۳۰	۰/۲۱	۰/۴۷	۰/۵۷	۰/۳۶	۰/۲۷	۰/۲۰	۰/۵۵
پنجره	۱	۳/۰۰	۵/۲۲	۵/۲۲	۵/۰۰	۶/۰۵	۳/۱۲	۳/۱۰	۵/۴۸
	۲	۳/۰۰	۳/۴۰	۳/۲۹	۵/۰۰	۶/۰۵	۳/۲۹	۳/۱۰	۵/۴۸
	۳	۲/۵۰	۲/۲۲	۲/۰۲	۲/۸۶	۳/۲۷	۲/۲۲	۲/۰۰	۵/۴۸
سقف	۱	۰/۳۷	۲/۹۱	۰/۸۱	۰/۹۷	۲/۰۳	۰/۴۷	۰/۴۷	۱/۲۲
	۲	۰/۲۷	۰/۵۵	۰/۴۹	۰/۴۸	۲/۰۳	۰/۲۳	۰/۲۵	۰/۴۰
	۳	۰/۲۰	۰/۳۰	۰/۳۸	۰/۴۲*	۰/۲۲	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۵
کف	۱	۰/۵۵	۲/۲۲	۱/۰۱	۰/۹۷	۱/۲۷	۰/۴۰	۰/۴۷	۱/۰۰
	۲	۰/۵۱	۰/۸۰	۱/۸۳	۰/۹۷	۱/۲۲	۰/۲۵	۰/۲۰	۱/۰۰
	۳	۰/۳۰	۰/۷۱	۰/۲۷	۰/۹۷	۰/۷۰	۰/۲۲	۰/۲۰	۰/۵۰

* سقف شیبدار $0/280\ W/m^2\,^{\circ}C$

ضرائب انتقال حرارت متوسط K_{ave} برای ساختمان‌های ۱ الی ۵ طبقه در مراحل مختلف که طبق رابطهٔ زیر بر حسب $W/m^2\,^\circ C$ در جدول شمارهٔ (۲-۶) بیان شده است.

جدول شماره (۲-۶) ضرایب انتقال حرارت متوسط دیوارهای خارجی ساختمان ،مربوط به قوانین ساختمان کشورهای اروپائی (۱۱)

EURIMA	ضریب انتقال حرارتی متوسط K بر حسب $W/m^2\,^\circ C$ در سه مرحله برای انواع ساختمان‌های انتخابی											
	یک طبقه			یک طبقه و نیم			دو طبقه			پنج‌طبقه		
مراحل	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳
دانمارک	۰/۷۰	۰/۶۲	۰/۲۱*	۰/۷۰	۰/۶۲	۰/۲۲*	۰/۷۲	۰/۶۶	۰/۲۹*	۱/۰۶	۱/۰۱	۰/۶۵*
فرانسه	۲/۶۲	۰/۹۵	۰/۱۷	۲/۵۹	۰/۹۵	۰/۱۵	۰/۵۶	۰/۹۷	۰/۲۷	۲/۸۷	۷۳۵	۰/۹۱
آلمان	۱/۵۰	۱/۰۲	۰/۲۰	۱/۵۲	۱/۰۵	۰/۲۰	۰/۵۸	۱/۰۷	۰/۲۲	۲/۲۰	۷۲۲	۱/۰۷
هلند	۱/۵۲	۱/۲۱	۰/۲۵	۱/۵۹	۱/۱۹	۰/۸۸	۱/۶۲	۱/۲۲	۰/۲۲	۲/۲۱	۱/۷۹	۱/۲۲
ایتالیا	۲/۱۰	۲/۱۰	۰/۸۰	۲/۰۹	۲/۰۹	۰/۷۸	۲/۰۹	۲/۰۹	۰/۸۱	۲/۶۶	۲/۶۰	۱/۲۵
نروژ	۰/۸۲	۰/۶۱	۰/۲۲	۰/۸۳	۰/۶۱	۰/۲۵	۰/۸۲	۰/۶۳	۰/۲۲	۱/۲۰	۰/۹۷	۰/۷۵
سوئد	۰/۷۶	۰/۶۱	۰/۲۵*	۰/۷۷	۰/۶۱	۰/۲۸*	۰/۷۸	۰/۶۳	۰/۲۳*	۱/۱۵	۱/۰۱	۰/۵۲*
انگلستان	۱/۷۷	۱/۳۳	۰/۲۸	۱/۸۳	۱/۳۲	۰/۹۹	۱/۸۲	۱/۲۸	۱۰۰	۲/۲۸	۲۰۰۵	۱/۵۷

* بالتمام محدودیت‌های سطوح پنجره

$$K_{ave} = \frac{\text{دیوارها (K.A)} + \text{پنجره (K.A)} + \text{سقف (K.A)} + \text{کف (K.A)}}{\text{دیوارها A} + \text{پنجره A} + \text{سقف A} + \text{کف A}}$$

که در این رابطه A سطح(بر حسب in^2)، K_{ave} ضریب انتقال حرارت متوسط (بر حسب $W/m^2\,^\circ C$) و K ضریب انتقال حرارت قسمت های مختلف می‌باشد.

چنانچه از هر دو جدول بالا پیداست بهبود درجات عایقکاری (یعنی کاهش ضریب هدایتی حرارت)از مرحله (۱) تا (۳) ،در اکثر کشورها کاملاً آشکار بوده و رشد مورد انتظار، عدد قابل ملاحظه‌ای را نشان می‌دهد. اجباری شدن این استانداردها در کشور ما نیز با رعایت مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان می‌تواند، آثار مطلوبی در کاهش مصرف انرژی ساختمانها داشته باشد.

یکی از مهمترین پارامترهایی که در اتلاف انرژی ساختمان دخالت دارد نوع پوشـتهای ساختمان[1] می‌باشد. این پوشش‌ها عبارتند از پنجره‌ها، دیوارها، سقف و کف، انتقال حرارت از این سطوح بطریقهٔ هدایتی و یا نفوذ حرارت از شکاف‌های کوچک ایجاد شده در سطوح و از طریق نفوذ هوا بداخل و خارج ساختمان انجام می‌گیرد.

جهت جلوگیری اتلاف حرارتی از پوشش‌های ساختمان، باید مهمترین پارامتر در انتقال حرارت یعنی ضریب انتقال حرارت (K) پوشش‌ها مورد بررسی قرار گیرد. هر چه این ضریب کمتر باشد، مقدار اتلاف حرارت از ساختمان کاهش یافته و نتایج بهتری حاصل می‌شود. در پوشش‌های ساختمان به دلیل مقاومت مکانیکی مصالح بکار برده شده، شاید نتوانیم مقاومت حرارتی آنها را زیاد تغییر دهیم. اما می‌توان برای رفع این اشکال از عایق‌های حرارتی در پوشش‌های ساختمان استفاده نمود. مراجع معتبر نشان می‌دهند که عایق کردن دیوارها و سقف‌های ساختمان (تا حدود ۱۵ mm ضخامت) اثر زیادی در بار انرژی، جهت خنک کردن و گرم کردن ساختمان‌ها بترتیب در تابستان و زمستان دارد. این اثر شامل ۲۷٪ کاهش بار انرژی در فصل گرما بوده و همچنین باعث کاهش بار انرژی گرمایی در فصل سرما می‌باشد که بطور متوسط در طول سال حدود ۲۷٪ از مصرف انرژی سالانه ساختمان را می‌کاهد. با توجه به اینکه مصرف انرژی ساختمان‌های مسکونی و تجاری در ایران معادل رقم $۱۰^{۶} \times ۴۰۰$ بشکه معادل نفت خام در سال می‌باشد با عمل عایق‌کاری درست در ساختمان‌ها، حدوداً $۱۰^{۶} \times ۱۰۸$ بشکه معادل نفت خام در سال صرفه‌جویی می‌شود.(ترازنامه سال ۸۵)

➢ **میزان عایق‌کاری:** میزان عایق‌کاری با توجه به اقلیم‌های مختلف متغیر بوده و بستگی به درجه حرارت محیط خارج ساختمان و مقدار مقاومت حرارتی عایق دارد. دمای محیط خارج در کنترل طبیعت می‌باشد. لکن می‌توان مقاومت حرارتی عایق را تغییر داد تا از تلفات انرژی جلوگیری نمود. هر قدر این مقاومت بزرگتر باشد صرفه‌جویی در انرژی بیشتر می‌گردد. مقدار مقاومت حرارتی عایق‌ها در کشورهای مختلف که در طراحی و محاسبات منظور می‌نمایند مختلف می‌باشد. بطور کلی این ضرائب حرارتی برای سطوح مختلف منجمله سقف‌ها و دیوارها و کف‌ها تعیین شده است و در برخی کشورها اجرای آنها اجباری می‌باشد. لذا در امر جلوگیری از اتلاف انرژی در ساختمان‌ها نیز موفق بوده‌اند. افزایش میزان مقاومت حرارتی عایق‌های استفاده شده در پوشش‌های ساختمان هزینهٔ بیشتری را می‌طلبد ولی این بدان معنا نیست که ارتباط بین این دو رابطه خطی باشد. بلکه در برخی موارد می‌توان در قبال مخارج بسیار جزئی با بکارگیری عایق خیلی بهتر (مقاومت حرارتی بالاتر) نتیجهٔ بسیار خوبی در کاهش مصرف انرژی گرفت. در بعضی از روش های عایق‌کاری که در آنها عایق های حرارتی با مقاومت بالا مصرف می‌شود. رقم بسیار زیادی در مصرف انرژی را صرفه‌جویی می‌کنند.

➢ **انتخاب مصالح یا عایق های های حرارتی:** برای عایق حرارتی مصالح مختلفی می‌توان بکار برد. میزان عایق حرارتی اصولاً به مقاومت حرارتی قسمت‌های مختلف ساختمان بشرح زیر بستگی دارد.

الف : مصالح بکار رفته، ضریب انتقال حرارتی مصالح بکار رفته در جدار ساختمان، بستگی به ضخامت ، میزان رطوبت و وزن مخصوصشان دارد.

ب : مقاومت حرارتی سطوح داخلی و خارجی، مطابق جدول زیر می‌باشد.

---

1 -Envelope

مقاومت حرارتی سطوح داخلی:	سطوح	مقاومت حرارتی ($m^2°c/w$)
	دیوارها	۰/۱۲
	کف	۰/۱۵
	سقف‌ها	۰/۱۱

مقاومت حرارتی سطوح خارجی:	دیوارها ($m^2°c/w$)	بام‌ها ($m^2°c/w$)
طبقات اول و دوم	۰/۸	۰/۷
طبقات سوم، چهارم و پنجم	۰/۵۳۷	۰/۴۴
طبقات ششم به بالا	۰/۲۷	۰/۱۸

در انتخاب مصالح برای نواحی مرطوب، بایستی عایق‌کاری رطوبتی نیز انجام شود. زیرا در نواحی مرطوب که مقدار رطوبت نسبی هوا بالاست باید به فکر عایق بخار نیز بود. زیرا تعریق بخار آب در مصالح ،موجب کاهش کارایی حرارتی آنها شده و در دیوارهای حفره‌دار باعث زنگ زدگی فلزات بکار رفته در آنها می‌شود که در نتیجه بازده حرارتی و قدرتی آنها را کاهش می‌دهد.

پیشنهاداتی در مورد عایق‌کاری حرارتی

الف : طبقهٔ همکف :

در کف طبقهٔ همکف، معمولاً بتن‌ریزی بر روی قلوه‌سنگ‌ها انجام می‌گیرد و این روش عایق خوبی بوده و احتیاج به عایق‌کاری اضافی ندارد. بیشتر اتلاف حرارت در کف از کنارهٔ دیوارها انجام می‌گیرد، لذا عایق‌کاری در کف باید در کنارهٔ دیواره‌ها انجام شود. عایق‌کاری حرارتی بایستی روی عایق‌کاری رطوبتی انجام بگیرد.

سقف طبقهٔ همکف که کف طبقه اول می‌باشد و مانند سقف پارکینگ‌ها به هوای سرد راه دارد. باید عایق‌کاری حرارتی بشود که می‌توان برای اینکار از پشم شیشه[1] یا پشم سنگ استفاده نمود و آنها را بصورت یکپارچه انجام داد. در مناطق مرطوب بهتر است عایق راه تنفس داشته باشد تا از پوسیدگی آن جلوگیری شود.

1-Glass Wool

ب : دیوارهای خارجی:

با دو لایهٔ آجرچینی و یا یک لایه آجرچینی در خارج و یک لایه بلوک از بتن سبک در داخل می‌توان مقاومت حرارتی خوبی ایجاد نمود. برای بهتر شدن عایق‌کاری، می‌توان بین دو لایه، فضایی خالی ایجاد نمود. عایق‌کاری باید بعد از اینکه دیوارها کاملاً خشک شد صورت گیرد.

ج : پنجره‌ها :

پنجره‌هایی با یک لایه شیشه از نظر مقاومت حرارتی ضعیف بوده، گرما از میان شیشه خیلی سریع‌تر از کف طبقهٔ همکف که مجاور زمین است عبور می‌کند. شیشه هر قدر که برای ساختمان لازم است ولی یکی از عوامل اصلی اتلاف انرژی می باشد. بهرحال بایستی برای سطوح شیشه‌ها محدودیت‌هایی در نظر گرفت. پنجره‌های دو شیشه‌ای از نظر عایق بودن خیلی بهتر بوده و قرار گرما، (از آنها حدود نصف پنجره‌های یک جداره است)و منطقهٔ سرد اطراف آنها از بین می‌رود و خطر تعریق روی آنها کاهش می‌یابد. اما از نظر قیمت با صرفه نیستند.(زیرا در خانه‌های معمولی نیمه‌چسبیده در کل فقط باعث یک دهم صرفه‌جویی انرژی می‌شود) درپنجره‌های دو جداره برای عایق‌کاری حرارتی فاصلهٔ ۵۰ mm دو لایه باید طوری طراحی شود که اولاً جلوی تعریق گرفته شود و در عین حال تمیز کردن شیشه از داخل نیز بسادگی امکان‌پذیر باشد. اگر فاصلهٔ دو لایه را به ۲۰mm برسانیم از نظر عایق بودن حرارتی تغییری بوجود نمی‌آید ولی از نظر عایق صوتی مؤثر می‌باشد. در بین جداره‌های پنجره‌های مدرن دوجداره از گاز آرگن نیز استفاده می‌شود.

د : بام‌ها :

بام‌های شیبدار که با شیروانی آهن سفید و یا سیمان پوشیده می‌شوند در فضای زیرین آن می‌توانند یک عایق خدپوسیدگی داشته باشند که بصورت پوشش یکپارچه‌ای باید کشیده شوند. این عایق بایستی دارای مقاومت حرارتی حدود ($m^{2\circ}$ c/w) ۰/۷۶ باشد. بام‌های صاف ساخته شده از بتن یا تیرآهن، بهتر است از دو رو عایق‌کاری شوند که در این صورت جسم بام گرم بوده و در صورت از کار افتادن احتمالی تأسیسات گرمایشی یا سرمایشی، درجه حرارت داخل ساختمان برای مدتی قابل قبول خواهد بود. صفحات پلی‌استایرن چه بصورت صاف و چه شیبدار نباید در جایی بکار روند که درجه حرارت آنها از ۸۰ درجه سانتیگراد بالاتر رود.(در غیر اینصورت روی بام را باید با یک لایه منعکس‌کننده پوشانید.)

برای جلوگیری از نفوذ بخار به عایق حرارتی، زیر آن را نیز باید با یک لایهٔ قیرگونی نم‌بندی کرد. عایق بام‌ها باید دارای مقاومت حرارتی ($m^{2\circ}$ c/w) ۰/۷ باشد.

هـ : انواع عایق‌ها :

عایق‌هایی که برای جلوگیری از اتلاف انرژی بکار برده می‌شوند، محدود هستند در اینجا بطور اجمال به شرح آنها می‌پردازیم:

پشم شیشه : الیاف حاصل از شیشه ذوب شده بصورت توپ پارچه یا تختهٔ پتو یا مقاومتی در حدود ۳ (m^{2o} c/w) برای هر اینچ ضخامت.

پشم معدنی یا پشم سنگ: الیافی حاصل از ذوب سنگها شبیه پشم شیشه و با همان مقاومت.

الیاف سلولزی : ساخته شده از پلی‌استایرن و پلی‌اورتان با مقاومتی برابر ۴ m^{2o} c/w تا ۶ m^{2o} c/w در هر اینچ ضخامت، ولی قابل اشتعال بوده و باید از آتش دور نگهداشته شود.

کف پلی اورتان: بیشتر در میان دیوارهای دو جداره بوسیله ماشین مخصوصی با فشار داخل جدار می‌شود. مقاومت آنها بیش از ۵ m^{2o} c/w در هر اینچ ضخامت می‌باشد.

تئوپان[1]: از الیاف چوبی ساخته شده است و برای جلوگیری از نفوذ صدا نیز مناسب است. دارای مقاومتی برابر ۲/۶ m^{2o} c/w می باشد.

۱-۳- سیستم‌های روشنایی:

تجربه نشان داده است که بهره و کیفیت انجام بسیاری از کارها مخصوصاً کارهای ظریف با افزایش شدت روشنایی، بالا می‌رود. از طرفی افزایش شدت روشنایی مستلزم هزینه اجباری بیشتری است. لذا در انتخاب شدت روشنایی، هم باید به راحتی و هم به هزینه توجه شود. البته شدت روشنایی توصیه شده توسط مجامع مهندسین روشنایی در کشورهای مختلف متفاوت است، ولی بطور متوسط شدت روشنایی در سطح خیابان حدود ۳۰ لوکس[2]، در اتاق نشیمن حدود ۱۰۰ لوکس و در اتاق کار حدود ۳۰۰ لوکس می‌باشد.(کمیته ملی روشنایی مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران برای اغلب اماکن مانند محل‌های مسکونی،تجاری و صنعتی مقادیری برای شدت روشنایی حداقل یا کمینه پیشنهادی داده است که بطور کامل در جدول (۶-۳) ارائه شده است) همچنین در این جدول شدت روشنایی توصیه شده توسط جامعه مهندسین روشنایی آمریکا[3] جهت مقایسه ذکر شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود، ارقام ارائه شده برای آمریکا بیشتر از ارقام ارائه شده برای ایران می‌باشد.

1-Partici board

۲- واحد شدت روشنائی و عبارت است از مقدار روشنائی که بر هر متر مربع سطح کار می رسد

3-ASIE

جدول (۶-۳) مقادیر استاندارد شدت روشنایی اماکن و فضا ها با کاربری های مختلف

نوع محل مسکونی	شدت روشنایی کمینه (ایران)	شدت روشنایی پیشنهادی (ایران)	شدت روشنایی مجمع مهندسین روشنایی امریکا
اتاق نشیمن	۷۰	۲۰۰	۱۶۰
اتاق مطالعه	۱۵۰	۵۰۰	۳۲۰
آشپزخانه	۱۰۰	۲۰۰	۵۴۰
روشنایی عمومی اتاق خواب	۵۰	۱۰۰	-
روشنایی تختخواب و میز توالت	۲۰۰	۵۰۰	-
روشنایی حمام	۵۰	۱۰۰	-
آئینه اصلاح صورت	۲۰۰	۵۰۰	-
پلکان‌ها	۱۰۰	۱۵۰	-
راهرو سرسرا و آسانسور	۵۰	۱۵۰	-

با توجه به وضع نابسامان مصرف انرژی در کشور، در زمینه روشنایی معمولاً اصول رعایت نمی‌شود و عوارضی مانند درخشندگی بیش از حد میزهای کار، دیوارها و چشم‌زدگی و خستگی زودرس، سایه‌های ناراحت کننده و ضمناً افزایش هزینه را نیز بدنبال دارد. بمنظور حذف این موارد و کاهش مصرف انرژی در کشور توصیه شده که موارد زیر رعایت گردد:

۱- پیشنهادی می‌شود بمنظور پی‌گیری جدی‌تر، مجمع مهندسان روشنایی ایران تأسیس شود تا ضمن مطالعات و بررسی‌های عمیق‌تر نسبت به مسئله روشنایی مقادیر استاندارد روشنایی در اماکن مختلف با توجه به سطح زندگی و آداب و رسوم خاص هر منطقه از کشور تأمین و پس از قانونمند شدن جهت اجرا به سازمان‌های مربوطه ابلاغ شود.

۲- پیشنهاد می‌شود با تربیت نیروهای متخصص در دانشگاه‌ها در زمینه مهندسین روشنایی، در امر طراحی و سیستم‌های روشنایی ساختمان‌ها از نظرات تخصصی افراد خبره نیز استفاده شده و حتی در امر ساخت و سازها تأییدیه مهندس روشنایی نیز بصورت اجباری برای اخذ پایان کار آورده شود.

۳- با توجه به پیشرفت علم روشنایی در زمینه محاسبات و لوازم و تجهیزات، پیشنهاد می‌شود نرم‌افزاری در این مورد تهیه و در طراحی ساختمان‌ها مورد استفاده قرار بگیرد.

۱-۴- موارد اندازه‌گیری:

جهت شناخت مصرف انرژی در ساختمان، لازم است اندازه‌گیری‌هایی به منظور تأمین میزان اتلاف و مصرف انرژی در ساختمان صورت بگیرد که از آن جمله موارد زیر پیشنهاد می‌شوند:

➢ انواع اندازه‌گیری‌ها

۱- اندازه گرفتن دمای سطوح داخلی ساختمان که طرف مقابل آنها بیرون ساختمان می‌باشد که از آنجا با داشتن دمای بیرون و مقدار ضریب انتقال حرارت استاندارد دیوارها، می‌توان انتقال حرارت را توسط رابطهٔ $Q= U.A.\Delta T$ حساب نمود.

۲- اندازه‌گیری مقدار جابجایی هوا از درزهای پنجره‌ها و درها و ...

۳- اندازه‌گیری میزان عایق‌بندی لوله‌های آبگرم و منبع آبگرم هر ساختمان و عایق دیگ های بخار بخش تأسیسات

۴- اندازه‌گیری میزان آبگرم مصرفی در ساختمان

۵- اندازه‌گیری درجه حرارت داخل اتاق‌ها و بخش‌های مختلف ساختمان مانند انباری‌ها ، آشپزخانه، توالت، حمام ، شوفاژخانه و ... .

۶- اندازه‌گیری شدت روشنایی توسط لوکس متر

۷- محاسبه بازده حرارتی و احتراق دیگ بخار بر حسب اندازه‌گیری پارامترهایی از قبیل : آهنگ و دمای گازهای خروجی از دودکش[1] ، فشار داخل دودکش، میزان مکش دودکش ، میزان نسبت هوا به سوخت ، اندازه‌گیری آلاینده‌های موجود در گاز خروجی از دودکش و ...

۸- اندازه‌گیری مشخصات هوای داخل ساختمان از قبیل فشار جزئی بخار آب، میزان رطوبت نسبی و رطوبت مطلق هوا .

➢ زمان اندازه‌گیری‌ها

آزمایش‌ها و اندازه‌گیری‌های ذکر شده باید در دوره‌های فصلی (تابستان و زمستان) درشرایط زیر انجام شود:

۱- در موقعی که مصرف انرژی عادی است.

۲- در حالتی که مصرف انرژی در حالت بار کامل[2] می‌باشد.

۳- در حالتی که مصرف انرژی در حالت بی بار[3] باشد (این کار جهت یافتن نشتی در مصرف انرژی ساختمان لازم می‌باشد.)

➢ تعیین استانداردهای بخش‌های مختلف ساختمان

با توجه به مطلب یاد شده در قسمت‌های قبلی، لازم است استانداردهای زیر در بخش‌های مختلف ساختمان در اختیار باشد.

۱- درجه حرارت بخش‌های مختلف ساختمان (اتاق‌ها، انبارها، راهروها و ...)

۲- استاندارد اتلاف انرژی در بخش‌های مختلف ساختمان (البته با توجه به استانداردهای هدایت حرارتی مصالح و عایق‌های بکاررفته در پوششهای ساختمان)

۳- استاندارد مصرف انرژی در بخش‌های مختلف ساختمان

1- Flue gas
2- Full Load
3- No Load

۴- استاندارد مصرف انرژی وسایل خانگی و سیستم تهویه مطبوع و روشنائی‌ها

لازم به ذکر است که بعضی از استانداردهای لازم که جمع‌آوری شده‌اند در بخش‌های مختلف فصل آورده شده است و میزان استاندارد مصرف انرژی در برخی از وسایل خانگی در جدول (۶-۴) ارائه شده است.

جدول (۶-۴) میزان استاندارد مصرف انرژی در برخی از وسایل خانگی

نوع وسیله	مصرف تقریبی (Kw) درساعت
مخلوط کن	۱۵
قهوه‌جوش	۱۰۶
ظرفشویی	۳۶۳
ماکروویو	۱۹۰
توستر	۳۹
فریزر ۱۵ فوتی	۱۱۹۵
یخچال ۱۲ فوتی	۷۲۸
خشک کن	۹۹۳
اتو	۱۴۴
ماشین لباسشویی	۱۰۳
آبگرم کن	۴۲۱۹

۱-۵- تعیین محل‌های اتلاف و پتانسیل جلوگیری از اتلاف انرژی:

بر اساس مقادیر مصرف و اتلاف انرژی اندازه‌گیری شده و مقایسه آنها با مقادیر استاندارد مربوطه، منبع اتلاف انرژی و میزان آن را می‌توان تعیین نمود. همچنین با توجه به طبیعت هر کدام از منابع اتلاف، می‌توان میزان قابلیت جلوگیری از اتلاف انرژی را تأمین کرد.

۱-۶- ارائه فهرست کنترل جهت اجرای روش

چک لیست:

با جواب دادن به سؤالات زیر، ممیز انرژی می‌تواند در مورد اینکه ساختمان دارای اتلاف انرژی می‌باشد یا خیر تصمیم‌گیری نماید. این سؤالات در چندین بخش مطابق زیر آورده شده است.

۱- اطلاعات پایه‌ای :

- نام ساختمان
- عمر ساختمان
- ساختمان آپارتمانی است یا خیر؟
- نوع آپارتمان : آیا بصورت مجموعه است ؟
- تعداد طبقات
- ابعاد ساختمان: طول و عرض و ارتفاع.
- مساحت زیر بنا
- سطح فضایی که باید گرم شود
- سطح متوسط یک طبقه
- حجم کل فضایی که باید گرم شود

۲- اطلاعات پوشش‌های ساختمان:

پشت بام: ساختار ، مواد سازنده ، ضخامت ، (کل سطح بالای ساختمان) ، ضریب انتقال حرارت: U ، نوع عایق (عایق حرارتی)

دیوارها : ساختار ، مواد سازنده ، ضخامت ، کل سطح دیوارهایی که در تماس با فضای گرم قرار دارند ، نوع عایق بکار رفته ، ضریب عمومی انتقال حرارت U .

پنجره‌ها : مواد سازنده چهارچوب آن ، تعداد شیشه‌ها (دوجداره یا یک جداره) ، آیا پنجره‌ها خوب بسته می‌شوند (محکم هستند؟) ، آیا دور پنجره‌ها نوار دارند؟ اندازهٔ پنجره‌ها ، شکل پنجره‌ها ، کل سطح پنجره‌ها .

درب اصلی ساختمان : مواد سازنده ، ضخامت ، سطح ، ضریب عمومی انتقال حرارت U .

طبقهٔ همکف : موارد استفاده از هم کف ، دیواره‌های تفکیک کننده در هم‌کف ، لوله‌های بکاررفته در هم‌کف ، جنس ، ساختار ، ضخامت ، ضرائب انتقال حرارتی آنها ، عایق های بکار رفته.

۳- در مورد وضع مصرف انرژی و آب:

صورت‌حساب‌های مصرف انرژی: برق ، مصرف انرژی جهت گرمایش (در صورت امکان) ، مصرف انرژی در مورد سرمایش (اگر امکان دارد) ، مصرف آب ، مصرف گاز ، مصرف گازوئیل یا نفت ، مصارف سوخت‌های دیگر.

۴- اندازه‌گیری‌هایی که در گذشته برای بهره‌وری بیشتر در مورد ساختمان انجام شده (در صورت امکان):

در مواردی که ارائه شده است(شامل: پشت بام ، دیوارها ، پنجره‌ها ، سیستم گرمایش و سرمایش).

۵- سؤالات در مورد سیستم مصرف انرژی ساختمان

گرمایش : تولید انرژی حرارتی

دیگ بخار : عمر و سال ، ظرفیت حرارتی ، بازده تقریبی

اجزاء سیستم گرمایش: نوع پمپ ، تعداد ، قطر ، نقشه سیستم گرمایش ، کنترل دما ، بازده شبکه گرمایش (در صورت امکان) ، عایق لوله‌ها.

وسایل گرمایش در اتاق‌ها : نوع ، فناوری ، ظرفیت برای فن کوئل‌ها و یا رادیاتورها

تهویه مطبوع : سیستم سرمایش: فناوری، ظرفیت سرمایش ، سال (عمر) کنترل دما ، مدار خنک‌کننده‌ها ، نوع فن‌کوئل‌ها یا رادیاتورها

تهویهٔ هوا : سیستم تغییر هوا ، میزان هوای مصرفی (m^3/hr)

درجه حرارت: میانگین ماهانه دمای بیرون ، مقدار روز ، درجه گرمایش[1] برای محاسبات ظرفیت سیستم گرمایش ، درجه حرارت برای محاسبات ظرفیت سیستم سرمایش ، اندازه‌گیری دما در چند نقطه مختلف ساختمان

۶- اطلاعاتی در مورد جنس و مشخصات مصالح:

پشت بام : آیا پشت بام عایقکاری شده است؟، قیمت عایق به ضخامت ۸ سانتیمتر،قیمت و نوع عایق ضدآب، قیمت کل هزینهٔ اجراء و قیمت عایق ، به ازای هرمتر مربع

پنجره‌ها: امکان بهبود دادن درزبندی پنجره‌ها ، امکان تغییر نوع پنجره‌ها

دیوارها: آیا عایق داخلی و خارجی در دیوارها بکار رفته است؟ نوع عایق های داخلی ، نوع عایق های خارجی ، هزینه عاقکاری به ضخامت ۸ سانتیمتر ، قیمت و هزینهٔ کل عایقکاری.

کنترل دما: آیا کنترل دما در ساختمان وجود دارد؟ نوع ، کارائی ، قیمت

عایقکاری لوله‌ها: آیا لوله‌های آب گرم و سرد عایق دارند؟ مشخصه های حرارتی عایق ، قیمت عایقکاری و کارمزد آن.

۱-۷-جمع‌بندی:

در الگوی مصرف انرژی درکشور، بخش مسکونی و تجاری عمده‌ترین مصرف‌کنندهٔ انرژی کشور در مقایسه با بخش‌های دیگری چون صنعت، حمل و نقل و کشاورزی می‌باشند. با توجه به مصارف گوناگون در بخش تجاری، مسکونی، بیشترین سهم مصرف انرژی در این بخش صرف سرمایش، گرمایش و سیستم‌های تهویه می‌گردد. بدین ترتیب می‌توان چنین انگاشت که ۱۵ تا ۲۰ درصد از کل انرژی مصرف کشور، مصرف گرمایش، سرمایش و تهویه اماکن و ساختمان‌ها می‌باشد.[ترازنامه انرژی سال ۱۳۸۶]

مطابق با آخرین تراز انرژی کشور که در سال ۱۳۸۶ انتشار یافته است. مصرف نهایی انرژی در بخش مسکونی و تجاری و عمومی معادل ۴۳۵میلیون بشکه معادل نفت‌خام بوده که این میزان ۴۰،۲۷درصد از کل مصرف نهایی انرژی کشور را به خود اختصاص داده است. چنانکه ذکر گردید با فرض سهم ۳۰ درصد از مصرف انرژی در بخش مسکونی – تجاری و عمومی، جهت گرمایش، سرمایش و تهویه اماکن، بیش از ۸۷۰ میلیون بشکه معادل نفت خام مورد استفاده قرار گرفته است که با در نظر گرفتن قیمت ۴۰ دلار برای هر بشکه ارزشی معادل ۳۴/۸ میلیارد

---

1 - Degree-Days

دلارخواهد شد. بنابراین لزوم توجه و بررسی نحوه و استفاده از سیستم‌های گرمایشی، سرمایشی و تهویهٔ مطبوع در اماکن مختلف، امری ضروری به نظر می‌رسد.

جهت صرفه‌جویی در مصارف سیستم‌های گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع ساختمان‌ها می‌توان به مواردی مانند اصلاح کاربری ساختمان‌ها، عایق‌بندی جداره‌ها، کف و بام ساختمان‌ها، کاهش سطح پنجره‌ها و در صورت امکان اصلاح استفاده از درب و پنجره‌های بدون درز و پنجره‌های دو جداره، تنظیم دمای آب گرم و سرد مصرفی در حد نیاز و استفاده از سیستم‌های کنترلی مناسب و یا تنظیم آنها، اشاره نمود. بعنوان نمونه می‌توان نشان داد که ساخت ساختمانی با زیربنای تقریبی ۹۰ متر مربع با رعایت اصول جلوگیری از تلفات حرارتی یعنی استفاده از عایق‌کاری ساختمان، دو جداره نمودن پنجره‌ها و استفاده از درب‌های چوبی بجای نوع فلزی آنها به ترتیب، ۲۲/۱ درصد ، ۷/۸ درصد و ۳/۲ درصد سبب صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌گردد. شناخت اتلافات انرژی در ساختمان‌ها و در سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی موجود در آنها با انجام ممیزی انرژی امکان‌پذیر می‌باشد. ممیزی انرژی در واقع بررسی موقعیت‌ها و نیز چگونگی مصارف انرژی را شامل شده و در سطوح مختلف قابل اجراست. این سطوح شامل ممیزی انرژی ابتدایی، ممیزی انرژی کوتاه‌مدت و ممیزی انرژی جامع و یا با جزئیات کامل می‌باشد. انتخاب هر یک از این سطوح بستگی به وضعیت ساختمان و اهداف تعیین شده برای صرفه‌جویی داشته و از نظر هزینه، زمان انجام و تعداد نیروهای متخصص از یکدیگر متمایز می‌باشند. بهرحال برخی از رئوس صرفه‌جویی انرژی که در انجام ممیزی انرژی (صرفنظر از سطح انجام آن) می‌بایست در نظر گرفته شوند عبارتند از:

- انتخاب تجهیزات مناسب و با ظرفیت کافی (با ضریب اطمینان کمتر از ۱۰ درصد). در ساختمان‌های جدید و یا جایگزینی تأسیسات قدیمی با تأسیسات کاراتر در ساختمان‌های موجود.
- وجود سیستم‌های اندازه‌گیری و کنترل برای اطمینان از کارایی مناسب تأسیسات و نیز مراقبت دائمی آنها و در صورت موجود نبودن، اقدام به تهیه و نصب این سیستم‌ها.
- انجام تجزیه و تحلیل کامل جهت مصرف بهینه انرژی در سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی .
- تنظیم کنترل‌کننده‌ها بطوریکه اثر کلی بر سایر مشخصات سیستم نداشته باشد.
- عایق‌بندی خطوط لوله‌های آب سرد و گرم و کانال‌های انتقال هوا .
- جلوگیری از نشتی‌ها و بازبینی عملکرد تله‌ها .
- استفاده از مخازن عایق‌بندی شده جهت ذخیره‌سازی آب گرم یا آب سرد و استفاده از آنها یا کاربرد آنها در زمان‌های خارج از اوج بار.
- تجزیه و تحلیل دوره‌ای احتراق و تنظیم مشعل‌های مولدهای آب گرم و بخار و یا سایر سیستم‌های احتراق
- تعمیر کردن سطوح مبادله کن های حرارتی

با این حال باید توجه داشت که انجام برخی از راهکارهای ذکر شده مانند عایق‌بندی و دو جداره کردن پنجره‌ها و یا استفاده از درب‌های چوبی، هزینه‌هایی را در پی خواهد داشت که متأسفانه بعلت پایین بودن هزینهٔ انرژی در مقایسه با سایر هزینه‌ها، مدت زمان طولانی برای بازگشت سرمایه را بدنبال دارد.

۲- روش و مراحل انجام ممیزی انرژی در ساختمان

۲-۱- مراحل انجام ممیزی انرژی در ساختمان:

جدول (۶-۵) مراحل انجام ممیزی انرژی در ساختمان" (۳)

مراحل	اقدامات	اهداف
اول	تجزیه و تحلیل و شناسایی ساختمان‌های موجود در ایران	انواع ساختمان‌ها (سال ساخت، نوع سازه، مصالح و ...) دسته‌بندی کلی ساختمان‌ها (اداری،تجاری، مسکونی، بیمارستان و ...) میزان مصرف انرژی بر واحد سطح (در انواع ساختمان‌ها) قیمت‌ها و هزینه‌های انرژی (برای انواع انرژی‌های مصرفی) محاسبهٔ روز – درجه (برای گرمایش و سرمایش) شرایط آب و هوایی رطوبت محیط
دوم	تعیین اهداف انجام ممیزی انرژی	میزان صرفه‌جویی انرژی (۱۰٪، ۱۵٪، ۲۰٪ و ...) زمان برگشت سرمایه (کوتاه‌مدت،میان‌مدت، بلندمدت) میزان سرمایه‌گذاری
سوم	انتخاب تعدادی ساختمان نمونه در هر دسته	تعداد طبقات (۴ تا ۵ طبقه،۶ تا ۱۲ طبقه و بالاتر از ۱۳ طبقه) شکل کلی ساختمان (آپارتمان تک واحدی، مجتمع ، ویلائی و ...) نوع مصالح ساختمانی (آجر مجوف، بتن، ...)
چهارم	بازدید از ساختمان	کنترل مصالح (آجر، بتن، ضخامت عایق، ...) کنترل پنجره‌ها (تعداد جداره‌ها، قالب، نحوهٔ باز و بسته شدن) شرایط عمومی (مطلوب ، نامناسب ، ...) موتورخانه (دیگ بخار، کنترل کننده ها، پمپ‌ها، ...) سیستم سرمایش (فنکوئل ، میزان مصرف انرژی) لوله‌کشی (شبکه انتقال، عایق‌کاری، ...) فن‌کویل‌ها ، رادیاتورها (امکان کنترل ترموستاتیک)

"ادامه جدول (۶-۵) مراحل انجام ممیزی انرژی در ساختمان"

مراحل	اقدامات	اهداف
پنجم	جمع‌آوری اطلاعات مربوط به ساختمان	نقشه‌های ساختمان (پلان طبقات، نما، برش عرضی) نقشه‌های تأسیسات (گرمایش، سرمایش، آبگرم مصرفی) قبوض مصرف انرژی (برق، گاز، نفت، آب و ...)
ششم	پردازش اطلاعات	شرح اطلاعات عمومی ساختمان (بررسی اطلاعات جمع‌آوری شده) میزان مصرف انرژی در ساختمان (محاسبهٔ تلفات و مصرف واقعی انرژی)
هفتم	جمع‌آوری اطلاعات مربوط به هزینه اجرای اقدامات صرفه‌جویی	پنجره‌ها (محکم‌کاری و درزبندی، جایگزینی پنجرهٔ دو جداره، ...) عایق‌کاری سقف (نوع عایق، ضریب انتقال حرارت، ضخامت) عایق‌کاری دیوارها (نوع عایق، ضریب انتقال حرارت، ضخامت) سیستم گرمایش (نوع دیگ بخار، کنترل مرکزی دما، عایق‌کاری لوله‌ها، بازده مصرف انرژی) سیستم سرمایش (کولرهای گازی و آبی، نوع چیلر، بازده مصرف انرژی) سایر موارد (لیست تجهیزات مصرف‌کننده برق)
هشتم	برآورد اقتصادی	تخمین هزینه (موارد و مصالح، تجهیزات و دستمزد اجراء) برآورد ارزش ریالی انرژی قابل صرفه‌جویی (مطابق با تعرفه‌های موجود) محاسبه زمان برگشت سرمایه (برای هر یک از اقدامات پیشنهادی)
نهم	ارائه مدل‌های مختلف اجرای طرح‌های پیشنهادی	مدل‌های اجرائی (یافتن مدل‌های منطقی و تعیین اولویت‌های اجرایی) هزینه‌ها (محاسبهٔ مقادیر پرداخت‌ها و هزینه‌ها) سرمایه‌گذاری (ارائه طرح مناسب سرمایه‌گذاری)
دهم	نظارت فنی و عمومی	رفتارها (نظارت بر رفتار و مقبولیت مصرف‌کننده) نتایج فنی (اندازه‌گیری منظم مصرف انرژی، دما و ...) گزارش نهایی (نتایج فنی، اقتصادی و اجتماعی)

۲-۲- فهرست کنترل برنامه مدیریت انرژی در ساختمان[1]:

بخش ۱: این فهرست مختصر را مطالعه کنید، اقلامی را اضافه یا حذف نمایید، سپس بررسی را در فرصت ها جستجو کنید تا مصارف نامناسب و بیهوده انرژی را مشخص نمایید.

بخش ۲: سوالات فهرست شده را بخوانید. این سؤالات ممکن است چیزی را تعیین کنند که شما بتوانید برنامه مدیریت انرژی خود را شروع نمایید.

بخش ۱	عوامل قابل اجرا	نتایج تحقیقات	ملاحظات
خارج ساختمان			
۱- نوع نما			
۲- رنگ نما			
۳- پشت بام، سطح یا فیراندود، دودکش دار و نظایر آن			
۴- جهت ساختمان			
۵- پنجره‌ای رو به خورشید (بدون حصار)			
۶- راههای ورود،درهای یک لنگه یا دو لنگه، درهای خودکار و غیره			
۷- چراغ‌های روشن محوطه خارجی در طول ساعات روز			
۸- چراغ‌های تبلیغاتی روشن در طول ساعات روز			
۹- کانال‌های هوای تعبیه شده در داخل دیوارها (سیستم دودکش‌ها و غیره)			
۱۰- درها و پنجره‌های باز			
۱۱- استفاده از درختان در اطراف ساختمان (پوشش گیاهی)			

1 -Building Energy Management

ادامه بخش ۱	عوامل قابل اجرا	نتایج تحقیقات	ملاحظات
داخل ساختمان			
۱- سیستم روشنایی الف – نوع لامپ (فلورسنت، رشته‌ای و غیره) ب – شرایط منعکس کننده ج – چراغهای چشمک زن یا سوخته شده د – سطوح روشنایی هـ - تعداد مدارهای کنترل‌کننده و – نوع کنترل (تقلیل دهنده توان زمان سنج، حس‌گر حضور افراد ، ...) ز – کیفیت بازتاب دهندگی دیوارها و سقف ح – استفاده از روشنایی خارج (چگونه کنترل می‌شوند؛ سلول فتوسل) ط – محل‌های روشنی که به طور پیوسته اشغال نمی‌شوند (انبارها، اطاق‌های انباری، راهنگن‌ها و غیره) ی – استفاده از روشنایی طبیعی ک – ارتفاع نصب لوازم و قفسه‌بندی			
۲- وسایل و تجهیزات بازرسی و اندازه گیری			
۳- شرایط و رنگ دیوارها			
۴- فقدان عایق‌بندی روی مخازن، کانال‌ها، لوله‌ها ، دیواره‌ها و سقف ساختمان			
۵- وضعیت عایق‌بندی (پاره شدن ، خیس و غیره)			
۶- لوازم روشنایی و پنجره‌های کثیف			
۷- باز بودن درها و پنجره‌ها در فضایی با دمای کنترل شده			

ادامه بخش ۱	عوامل قابل اجرا	نتایج تحقیقات	ملاحظات
۸- پنجره‌های باز یا شکسته			
۹- نفوذ سیستم‌های دودکش از طریق سقف و یا دیوارها و نظایر آن			
۱۰- وسایل و تجهیزات تولید که کار می‌کنند ولی مورد استفاده واقع نمی‌شوند			
۱۱- وسایل و تجهیزات ساختمان مانند روشنایی و دمنده ها که می‌توانند در زمان عدم استفاده از محل خاموش شوند (لامپ‌ها ، فن‌های دودکش و غیره)			
۱۲- وسایل کنترل را مشاهده کنید آیا آنها برای عملیات مناسب آزمایش و کالیبره شده‌اند؟			
۱۳- موتورهایی که کثیف هستند و یا به طور مناسب محافظت نشده‌اند			
۱۴- ابعاد و کاربردهای مناسب موتورهای برقی			
۱۵- کاربرد وسایل زمان سنجی			
۱۶- راههایی برای خاموش کردن و یا ضایع کردن فرایند وسایل حرارتی			
۱۷- درهای باز و یا نیمه باز آیا محل گرم یا سرد شده است؟			
۱۸- آیا از خازن‌ها در کارخانه به منظور بهبود ضریب توان (قدرت) استفاده می‌شود؟			
۱۹- آیا خورشید از داخل پنجره‌ها و یا سایر محل‌های باز به داخل محل‌هایی که از تهویه مطبوع استفاده می‌کنند می‌تابد؟			
۲۰- وسایل و تجهیزات حفاظت نشده و سیستم لوله‌کشی که حرارت را تولید، حمل و یا جذب می‌کند مانند: الف – خطوط تغذیه آب داغ ب – خطوط آب سرد و نظایر آن			
۲۱- نشتی خطوط لوله، دستشویی‌ها، شیرها، کانال‌ها، مخازن، کویل‌های کثیف انتقال حرارت ، پنکه‌های کثیف و غیره			

ادامه بخش ۱	عوامل قابل اجرا	نتایج تحقیقات	ملاحظات
۲۲- موارد استعمال دستگاههای بازرسی حداکثر نقاط			
۲۳- موارد استعمال در جایی که وسایل بازرسی (هشداردهندهها و نظایر آن) می‌توانند به عملکرد تجهیزات در بازدهی حداکثر کمک کنند			
۲۴- سیستمهای روشنایی در کنار پنجرهها که می‌توان در هنگام شرایط نور خوب روز آنها را کم و یا خاموش نمود			
۲۵- پنجرههای رنگ شده شدت نور طبیعی را کاهش می‌دهند			
۲۶- وسایل و تجهیزاتی را که به طور خودکار کار می‌کنند بررسی کنید حتی در مواقعی که ساختمان در اشغال نیست. مثل آنهایی که با ترموستات فتوسل و ساعت کنترل می‌شوند			
۲۷- آیا مواقعی در واحدهای تخلیه کننده هوای تغذیه وجود دارند؟			
۲۸- محل قرار دادن ترموستاتها			
۲۹- روشن یا خاموش کردن فرایندهایی مانند گرمکن‌های شناور در مخازن باز			
۳۰- اتاقهای ماذون قرمز باز خطوط نقاله را که از داخل اتاقها عبور می‌کنند			
۳۱- مراقب تلمبه‌ها، پنکه‌ها ، نقاله‌ها و سایر بارهایی که دائماً مشغول به کار هستند باشید (و نیاز به آنها را بررسی کنید)			
۳۲- آیا خدمات جمع کردن زباله در طول ساعات عادی کار انجام می‌پذیرد؟			
۳۳- سیستمهای هوای فشرده را بررسی کنید (ظرفیت ذخیره‌سازی)، نشتی‌ها و سطوح فشار را بازرسی کنید			

ادامه بخش ۱	عوامل قابل اجرا	نتایج تحقیقات	ملاحظات
۲۴- محل کانال‌های تغذیه گرمایش محیط(چه نوع حرارتی استفاده می‌شود) در یک ساختمان فولادی. گرمایش اجباری هوا ممکن است کمترین کارایی را داشته باشد			
۲۵- کانال‌های تغذیه گرمادهنده تجهیزات و کنترل‌ها در کجا قرار دارند؟			
۲۶- برقراری برنامه‌های کنترل کیفیت به منظور کاهش میزان تلفات			
۲۷- آیا حفظ و نگهداری وسایل به طور دائمی انجام می‌شود یا متقطعی است؟			
۲۸- چه نوع حفظ و نگهداری به صورت منظم انجام می‌پذیرد؟			
۲۹- آیا کارکنان تعمیر و نگهداری دارای ابزار مناسب برای انجام کار هستند؟			
۳۰- فن‌های به کار گرفته شده در اجاق‌ها، کوره‌ها و مخازن حرارت داده شده و نظایر آن را ملاحظه کنید.			
۳۱- تعمیر و نگهداری وسایل و تجهیزاتی را که در صورت کار نکردن اثر جدی بر روی عملیات تولید خواهند داشت کنترل کنید			
۳۲- در صورتی که از برج خنک‌کننده استفاده می‌شود، در چه شرایطی قرار دارد؟ الف – چه مدت یکبار تمیز می‌شود؟ ب- آیا کیفیت آب دائماً بررسی می‌شود؟			
۳۳- ارتفاع سقف چقدر است؟			
۳۴- دمای سیستم حرارتی چقدر است؟			
۳۵- درجه حرارت آب تغذیه جهت مصارف خانگی را بازرسی کنید؟			
۳۶- درجه حرارت آب تغذیه سیستم را بازرسی کنید.			
۳۷- دنبال راههایی که بتوان حرارت سیستم را بازیافت نمود بگردید.			

بخش۲	عوامل قابل اجرا	نتایج تحقیقات	ملاحظات
۱-آیا مسئول انرژی ساختمان صورتحسابهای برق را می‌بیند؟			
۲- آیا فرد مسئول، جداول ماه به ماه هزینه‌ها، تقاضاها و مصارف اسکانات شهری را نگهداری می‌نماید؟			
۳- آیا کارکنان شما می‌دانند که چگونه نرخهای برق را محاسبه کنند؟			
۴- آیا یک متخصص از بار مصرفی روزانه ساختمان را ترسیم نموده‌اید؟			
۵- آیا کارکنان شما می‌دانند که چگونه کنتورهای برق و گاز را بخوانند؟			
۶- چه مقدار از انرژی شما برای اهداف خارج از نوبت‌کاری ساختمان مورد استفاده قرار می‌گیرد؟			
۷- آیا پرونده‌ای برای اعمال برنامه‌های مدیریت انرژی تشکیل داده‌اید؟			
۸- آیا از کارکنان درخواست همکاری و ارائه پیشنهادات نموده‌اید؟			
۹- آیا یک فرد رده بالا دارید که در پیشبرد برنامه‌های مدیریت انرژی شما اقدام نماید؟			
۱۰- آیا می‌دانید که در زمان وقوع کمبودهای جدی چه انتظاراتی از شما وجود خواهد داشت؟			
۱۱- آیا کارکنان شما می‌دانند که در زمان کمبود جدی سوخت چه بایستی بکنند؟			
۱۲- آیا فهرستی از اولویت‌های استفاده از وسایل و تجهیزات خود تهیه کرده‌اید؟			
۱۳- آیا یک فهرست یادآوری مدیریت انرژی برای کارکنان و افراد ساختمان دارید؟			
۱۴-آیا مصرف‌کننده‌هایی دارید که بتوانند به غیر از مواقع اوج بار کار کنند؟			

۲-۳- روش‌های صرفه‌جویی انرژی در ساختمان‌های موجود

الف - اصلاحات در ساختار و پوشش خارجی ساختمان:

- اضافه کردن عایق در بام، کف یا دیواره‌هایی که عملاً امکان‌پذیر هستند.
- در صورت تعمیر و اصلاح بام استفاده از مصالح بارنگ روشن جهت کاهش بار حرارتی ناشی از تابش خورشید در ساختمان‌های با تهویه مطبوع
- تهویه فضاهای زیرشیروانی
- استفاده از قشر بازتابنده در پنجره‌ها در مقابل نور خورشید به منظور کاستن از بار سرمایش
- نصب کرکره یا پرده در پنجره‌ها جهت کاهش بار سرمایشی و گرمایشی
- نصب پنجره‌های دو جداره بجای پنجره‌های معمولی
- تعویض چهارچوبه درب‌ها و پنجره‌ها با نوع مناسب
- آب‌بندی نمودن پوشش دیوارها
- حذف فاصله میانی اضافی بین درهای ورودی
- نصب نوار آب‌بندی گرداگرد درب‌ها و پنجره‌ها
- تعویض پنجره‌های شکسته شده
- بسته نگه‌داشتن درب‌های انبارها و گاراژها تا حد امکان

ب- اصلاحات سیستم روشنایی و توان الکتریکی:

- نصب سیستم روشنایی با کارایی بیشتر در هر جا که امکان پذیر باشد
- کاهش سطوح روشنایی کلی
- تهیه اجرای برنامه تعمیر و نگهداری سیستم روشنایی به منظور حصول به کارایی بیشینه سیستم‌های موجود.
- استفاده از روشنایی مکمل برای اهداف خاص بجای افزایش روشنایی کلی
- استفاده از نور طبیعی در پیرامون مکان‌های اداری
- استفاده از کلیدهای چندگانه برای انتخاب سطح روشنایی در ادارات، سالن‌های کنفرانس و ...
- کاهش سطح روشنایی در اماکنی که به سطوح روشنایی بالا نیازی ندارند مانند اتاق های انباری و کریدورها و ...
- به هنگام تغییر دکوراسیون استفاده از رنگ‌های روشن در سقف ، دیواره‌ها و کف اماکن با هدف کاستن از سطح روشنایی بالاتر
- کاستن از روشنایی دکوراسیون و تبلیغات
- استفاده از تایمر (زمان‌سنج) و یا سلول‌های نوری (فتوسل‌ها) جهت کنترل روشنایی محوطه بیرونی ساختمان
- کاهش روشنایی بیش از حد پارکینگ‌ها و رساندن آن به حداقل سطحی که از نظر ایمنی مناسب باشد.

- استفاده از موتورهای الکتریکی با ابعاد مناسب ، زیرا موتورهای با ابعاد بزرگتر از حد لزوم، در ضریب توان پایین عمل می‌کنند
- تصحیح ضریب توان در هر جا که امکان‌پذیر باشد (حذف توان راکتیو)
- نصب تجهیزات محدود کننده

ج - استفاده از کنترل‌ها:

- تنظیم نمودن مجدد تمامی کنترل‌کننده‌ها
- تنظیم و قفل ترموستاتها جهت ممانعت از دخالت افراد غیرمسئول
- بررسی ترموستات های اتاق از نظر اینکه در جای مناسبی قرار گرفته باشند یعنی بر روی دیوارهای سرد یا دکوراسیون و یا در معرض تابش خورشید نباشند.
- نصب کنترل‌کننده‌های مجزا در هر اتاق و در هر جائیکه امکان‌پذیر است.
- نصب شیرهای با کنترل دما در رادیاتورهایی که دارای شیرهای معمولی بوده و یا دست کنترل می‌شوند.
- نصب سیستم کنترلی آنتالپی به منظور بهینه‌سازی استفاده از هوای بیرون جهت سرمایش ساختمان
- نصب سیستم کنترل خودکار برای ساختمان، در صورتی که مناسب و امکان‌پذیر باشد.

د- اصلاحات سیستم گرمایش، تهویه مطبوع و تجهیزات متنوع دیگر:

- مطالعه دقیق انجام تغییرات، زیرا انجام برخی از تغییرات ممکن است مصرف انرژی را افزایش دهد.بررسی مجدد، موازنه و تنظیم سیستم‌ها.
- خاموش نمودن تجهیزات تهویه مطبوع در طول ساعاتی که از اماکن استفاده نمی‌شود.
- تهیه و یا تجددنظر و اصلاح جداولی برای آنکه بتوان چراغها و سیستم‌ها را هر چه زودتر خاموش نمود.
- بهینه‌سازی برای دفعات و زمان‌های راه‌اندازی سیستم
- بستن مجرای هوای خارج در ساعاتی که از ساختمان استفاده نمی‌شود.
- کاهش مقدار هوای بیرونی
- کاهش حجم نفوذ و تعویض هوای سیستم
- کاهش نشتی از مجراها و کانال‌ها
- بررسی و تنظیم دریچه های هوای خارج به منظور اطمینان از بسته شدن کامل و محکم آنها
- جایگزینی دمپرهای موجود با انواع با کیفیت بالاتر آنها در هر جائیکه امکان‌پذیر باشد.
- توجه به نشتی هوای خارج از سیستم تنظیم شده به هنگام متوازن یا غیر متوازن نمودن سیستم.
- تنظیم دمپرهای محفظهٔ اختلاط و واحدهای چندناحیه‌ای، بطوری که برای جلوگیری از نشتی هوا کاملاً چفت شوند.
- در صورت امکان از کویل‌های پیش‌گرم‌کن برقی اجتناب گردد.
- افزایش دمای هوای مخلوط شده
- تنظیم مجدد دماهای گرم و سرد مبنا در جهتی که نیاز به گرمایش و سرمایش کاهش یابد.

- تنظیم گرم کردن مجدد تا حدی که بتوان فواصل زمانی را کاهش داد.
- باز تنظیمی دمای آب گرم و آب سرد متناظر با بارهای موجود.
- استفاده از پایین‌ترین دمای تابشی ممکن در پیرامون اماکن.
- ممانعت از اینکه محیط و سیستم‌های داخلی بر خلاف یکدیگر عمل نکنند.
- بهینه نمودن عملکرد چیلرهای چند مرحله‌ای.
- به کار انداختن سیستم‌های جانبی سرمایش و گرمایش تنها هنگامی که به آنها نیاز است.
- در صورت امکان، در ساعات عدم حضور افراد تنها دمنده برگشت هوا برای گرمایش عمل کند.
- نصب سیستم تزریق هوای کمکی به منظور کاهش توان لازم دمنده .
- تبدیل سیستم دمنده حجم ثابت به عملکرد حجم متغیر (VAV).
- کاهش گرمایش در اماکنی که کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرند.
- کاهش گرمایش در اماکنی که بیش از حد گرم شده‌اند و اجتناب از باز کردن پنجره‌ها به منظور کاهش دما.
- از کار انداختن دمنده های خروج هوا در طول جرخه‌های زمانی که از مکان استفاده نمی‌شود.
- بررسی سیستم‌های خروج هوا به منظور اطمینان از آنکه تنها مقدار هوای لازم به خارج فرستاده می‌شود.
- در صورت امکان کاهش مقدار هوای خروجی از توالت‌ها، اتاق‌ها، آزمایشگاه‌ها و نظایر آن.
- تغییر در سیستم دمنده‌های خروج هوا بطوریکه تنها هنگامی که افراد در محل حاضرند عمل کنند.
- کاهش دمای سیستم‌های تهیه آب گرم مصرفی.
- استفاده از چگالنده آبی جهت پیش گرمایش آب گرم مصرفی.
- استفاده از چگالنده آبی برای گرمایش مجدد هوای تهویه مطبوع.
- اصلاح در توزیع کننده های خورشیدی و بکار بردن آنها در ساختمان جهت پیش‌گرمایش آب گرم مصرفی و آب گرم فرایند.
- نصب تجهیزات بازیافت حرارت به منظور استفاده مجدد از خروجی‌های آشپزخانه و فرایند.
- انجام عایق‌بندی لوله‌ها و کانال‌ها و مجاری عبور سیال گرم و سرد.
- جایگزینی عایق‌های مستعمل در دیگ های بخار، کوره‌ها، لوله‌ها و کانال‌ها.
- کاهش جریان آب خنک شده و آب گرم.
- اصلاح پروانه پمپ به منظور مطابقت با بار آن.
- تبدیل شیرهای سه راهه و دوراهه و نصب پمپ‌های با سرعت و دور متغیر[1].
- بررسی ابعاد مخزن انبساط، زیرا مخازن انبساط کوچک سبب اتلاف در مصرف آب می‌شوند که این امر تلفات در مصرف انرژی را نیز در پی دارد.
- ارزیابی و اطمینان از خاموش شدن مولدهای بخار و آب گرم در فصل تابستان و استفاده از دیگ ها و آبگرمکن‌های کوچک به جای آنها درطول دورهٔ زمانی مربوطه.

1-VSD-variable speed Drive

- جلوگیری از اتلاف بخار تقطیر شده و برگشت آن به دیگ های بخار.
- در صورت دسترسی به بخار با فشار بالا استفاده از توربین‌های بخار برای راندن دمنده‌ها و پمپ‌ها، بعلاوه توربین می‌تواند بعنوان شیر انبساط جهت تهیه بخار با فشار کم نیز عمل نماید.
- تعمیر و رفع کلیهٔ نشتی‌های آب، گاز، بخار و هوای فشرده.
- استفاده از سیستم مناسب تصفیه و سختی‌گیری آب به منظور کاهش رسوباتی که بر روی سطوح تبادل حرارتی مبادله کن‌ها جمع می‌شوند.
- عدم استفاده بیش از حد لزوم از مواد شیمیایی جهت سختی‌گیری آب.
- بررسی دوره‌ای آب خنک شده توسط برج خنک‌کننده به منظور اطمینان از اینکه آب سختی‌گیری شده و مواد شیمیایی استفاده شده برای سختی‌گیری آن هدر نمی‌شوند.
- نگهداری تجهیزاتی چون برج‌های خنک‌کننده، کولرهای تبخیری و چگالنده های هوایی به منظور حصول به بهترین کارایی ممکن آنها.
- تعمیر و بازرسی دوره‌ای وسایلی چون تله‌های بخار، شیرهای شناوری و ...
- تهیه و اجرای برنامه‌ای برای تعمیرو نگهداری به منظور اطمینان از کارایی بیشتر تجهیزات.
- اجرای برنامه های تعمیرات و نگهداری پیشگیرانه در تاسیسات و تجهیزات گرمایش و سرمایش و تهویه مطبوع

هـ - اصلاحات تجهیزات احتراقی:

- بررسی ساختمان از نظر وجود فشار منفی، زیرا در این صورت سبب کاهش بازده احتراق می‌گردد.
- بررسی دودکش‌ها و مجراهای خروجی گازهای حاصل از احتراق از نظر بسته بودن و یا شرایط نامناسب مکشی در آنها.
- تمیز کردن سطوح احتراقی .
- بررسی و تنظیم نسبت هوا به سوخت.
- جایگزینی مشعل‌های اتمسفر یک با مشعل‌های قدرتی.
- نصب کنترل کننده‌های فشار بر روی کوره‌ها.
- نصب کنترل‌کننده‌های خودکار احتراق هوا – گاز.
- تعمیر دوره‌ای درزهای ایجاد شده در کوره ها و اجاق‌ها و نظایر آن
- پیش‌گرمایش هوای احتراق با استفاده از حرارت اتلافی .

و – استفاده از پنجره‌های مانع حرارتی[1]:

این سیستم به گونه‌ای طراحی شده است که پروفیل سطوح داخل و خارج از یکدیگر مجزا شده و یک نوع عایق از جنس پلی‌آمید بین آنان قرار می‌گیرد و موجب کاهش انتقال حرارت می‌شود. به منظور حذف آلودگی

1- Thermal break

صوتی نیز می‌توان این نوع سیستم و پنجره ها را شیشه دوجداره در نظر گرفت. این سیستم در پنجره‌های موجود و نصب شده قابل تعبیه نبوده و جهت استفاده از آن باید تمامی پنجره‌ها را تعویض نمود.
عایق حرارتی پلی آمید تحت نام عمومی نایلون شناخته می‌شود.

عایق پلی آمید دارای خصوصیات زیر می‌باشد:

۱- عایق‌بندی قوی حرارتی
۲- در مقابل باران‌های سنگین، غیرقابل نفوذ ، در مقابل رطوبت و شرایط جوی مقاوم بودن.
۳- جلا پذیری و قابلیت آبکاری
۴- طول عمر زیاد
۵- ضریب انتقال حرارت پایین با کمترین ضخامت ممکن
۶- استحکام بالا، انبساط حرارتی همسو با آلومینیوم
۷- مقاوم در مقابل مواد شیمیایی، آب، اشعه ماورای بنفش(UV)و حرارت
۸- قابلیت شکل‌پذیری بالا
۹- این عایق در محل اتصال به پروفیل آلومینیوم، دارای جسمی به صورت میله است که در برابر نم و رطوبت و باران‌های شدید مقاومت خوبی داشته و همانطور که گفته شد، استحکام کشش را نیز افزایش می‌دهد.

۳-نتایج مطالعات موردی در ۵ نمونه ساختمان:

۳-۱- تراز مصرف انرژی الکتریکی :

یکی از اهداف ممیزی انرژی تعیین سهم مصرف انرژی در بخش های مختلف مصرف کننده است.از این رو این نمودارها نشان‌دهندهٔ میزان مصرف انرژی الکتریکی در بخش‌های مختلف مصرف‌کننده می‌باشد و همانطور که در نمودارهای (۶-۱) ملاحظه می‌شود، بخش روشنایی حدود ۲۵٪ از مصرف را در انواع ساختمان‌ها به خود اختصاص می‌دهد که با تمهیداتی مانند استفاده از لامپ‌های کم‌مصرف و یا کنترل زمانی مصرف این بخش در ساختمان کاهش می یابد.[۳]

۳-۲- شاخص‌های مصرف ویژه انرژی حرارتی و الکتریکی[1]:

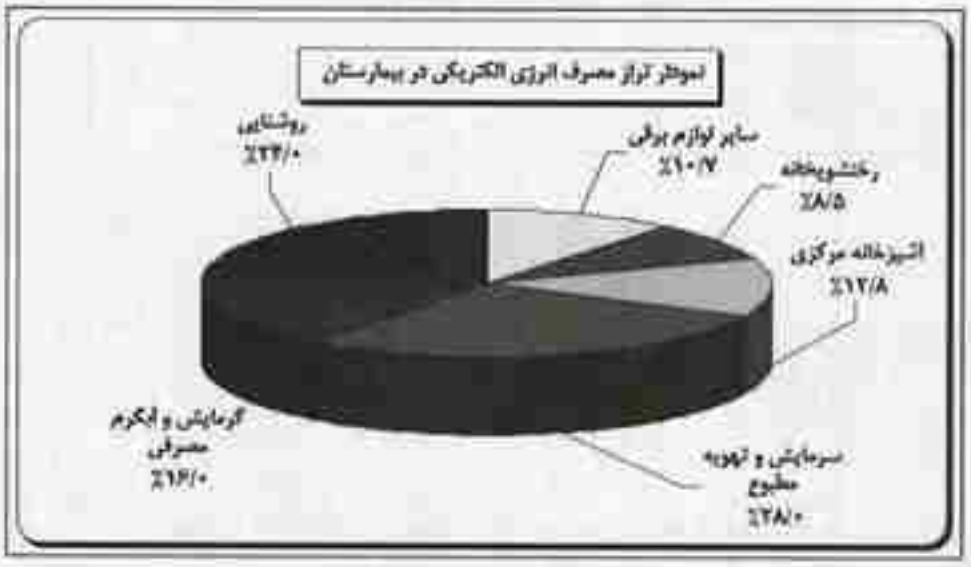
این شاخص‌ها نشان‌دهنده میزان مصرف انرژی بر واحد سطح بوده که مبنای مقایسهٔ مناسبی برای ساختمان‌های دارای یک نوع کاربری[2] می‌باشد و در صورت مطالعه و انجام ممیزی انرژی در نمونه‌های بیشتری از ساختمان‌های نمونه و برآورد متوسط مصرف بین آنها و یا مقایسه با نرم‌های جهانی این شاخص، می‌توان مقادیر بیشینه مصرف و یا پتانسیل صرفه‌جویی را تعیین کرد.مقایسه این شاخص ها در نمودارهای(۶-۲) در۵ نمونه ساختمان مشاهده می کنید.[۳]

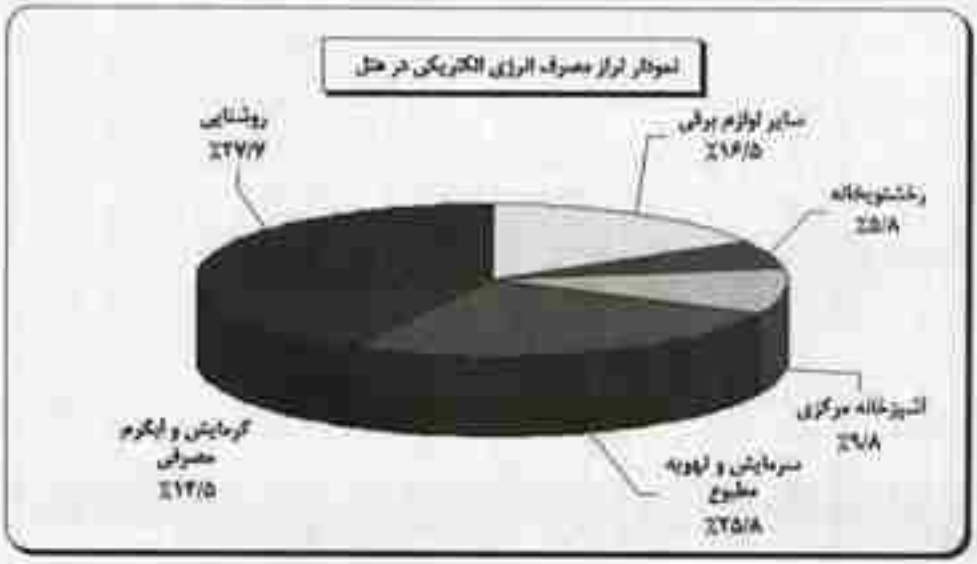
---

1 - KWh/m2 , MJ/m2 بر حسب
2-Typology

۳-۳- تراز تلفات انرژی حرارتی از جداره‌های خارجی ساختمان:

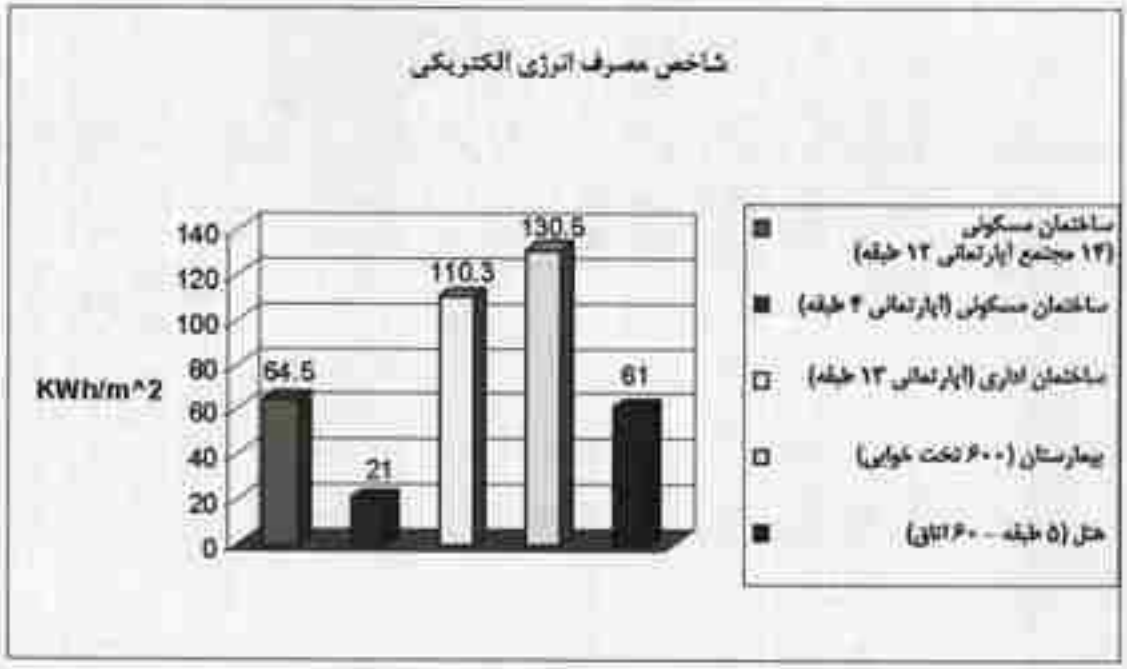
نمودارهای (۶-) براساس بار گرمایشی ساختمان (انرژی حرارتی مورد نیاز) و مقادیر ضریب انتقال حرارت جداره‌های خارجی ساختمان با در نظر گرفتن نرخ تعویض هوا و تلفات نفوذ از درزها ترسیم شده و میزان تلفات انرژی حرارتی از روش متداول (روز – درجه (Degree-Days) برآورد گردیده است)[1] در این نمودار درصد تلفات انرژی از هر یک از جداره‌های ساختمان (سقف، کف، دیوارهای خارجی و پنجره‌ها) مورد مقایسه قرار گرفته و در نتیجه اولویت اجرای عایقکاری و یا استفاده از پنجره‌های دوجداره را به منظور کاهش این تلفات و در نتیجه کاهش مصرف انرژی مشخص می‌کند.

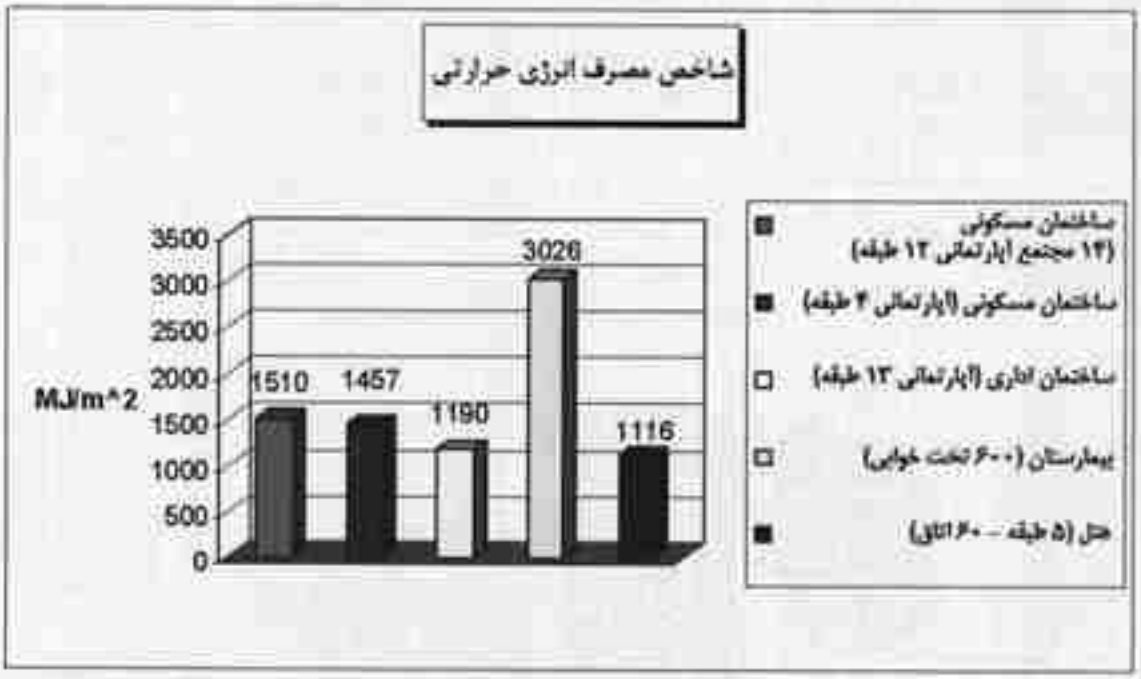




1-Degree Day

نمودار های (۶-۱) تراز مصرف انرژی الکتریکی در بخشهای مختلف ساختمان [۳]



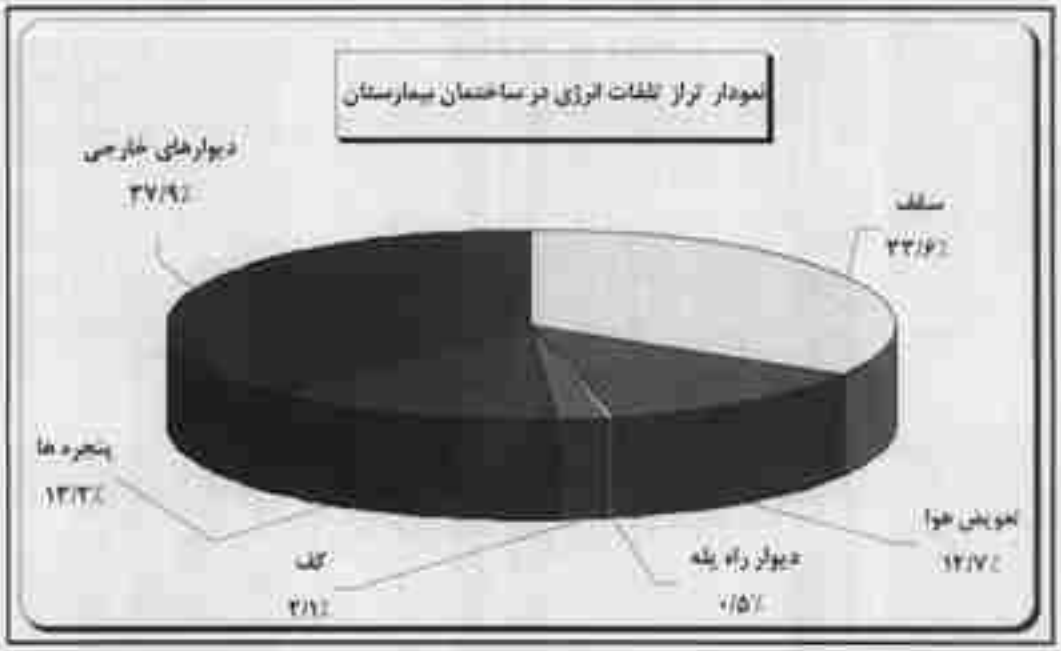


نمودار های (۶-۳) شاخصهای مصرف انرژی الکتریکی و حرارتی در ۵ نمونه ساختمان(۶)

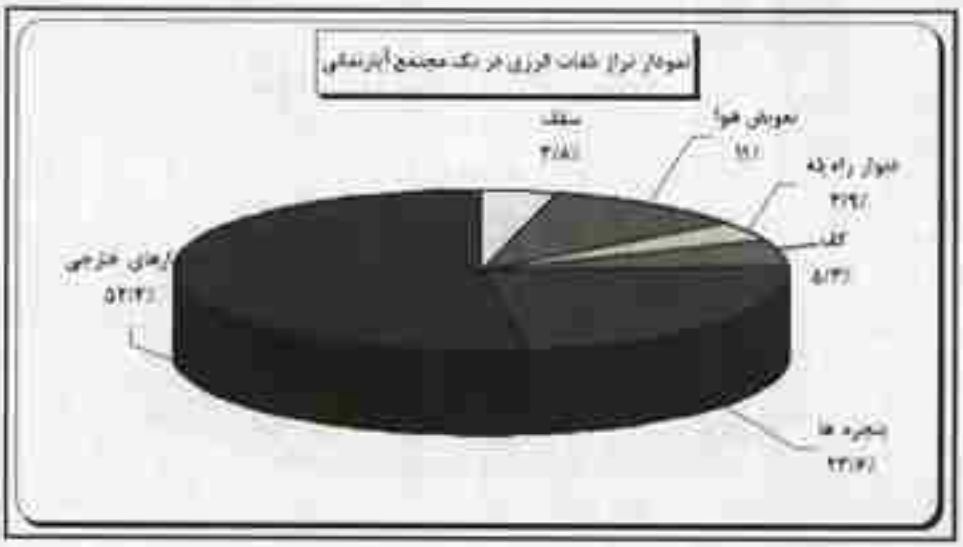
جدول(۶-۶) میزان تلفات انرژی از سطوح مختلف نفوذ هوا در یک بیمارستان(۳)

نوع جدار	تلفات انرژی(U*A) W/°C	روز درجه Degree-Day	تلفات انرژی سالیانه Kwh/yr	درصد %
سقف	5432	2509	327093	33/6
دیوارهای خارجی	6134	2509	369364	37/9
پنجره‌ها	2142	2509	128983	13/2
کف	340	2509	20473	2/1
دیواره راه‌پله	85	2509	5118	0/5
تعویض هوا[1]	2050	2509	123443	12/7
مجموع	16183	2509	974474	100

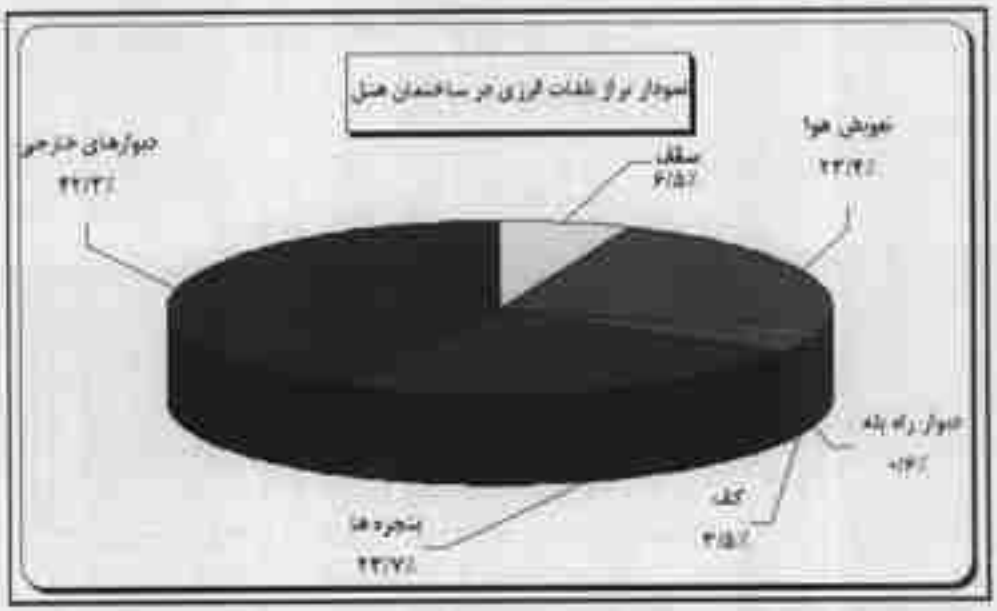
$$Q(KWh/yr) = [\, U(W/m^2.°C) \times A(m^2) \times D.D(\frac{°c.day}{yr}) \times 24(hr/day) \,] \div 1000$$



1-Infiltration



نمودارهای(۶-۳) تراز تلفات انرژی حرارتی از جداره های خارجی و نفوذ هوا در ساختمان یک بیمارستان(3)



نمودارهای(۶-۴) تراز تلفات انرژی حرارتی از جداره های خارجی ساختمان (۳)

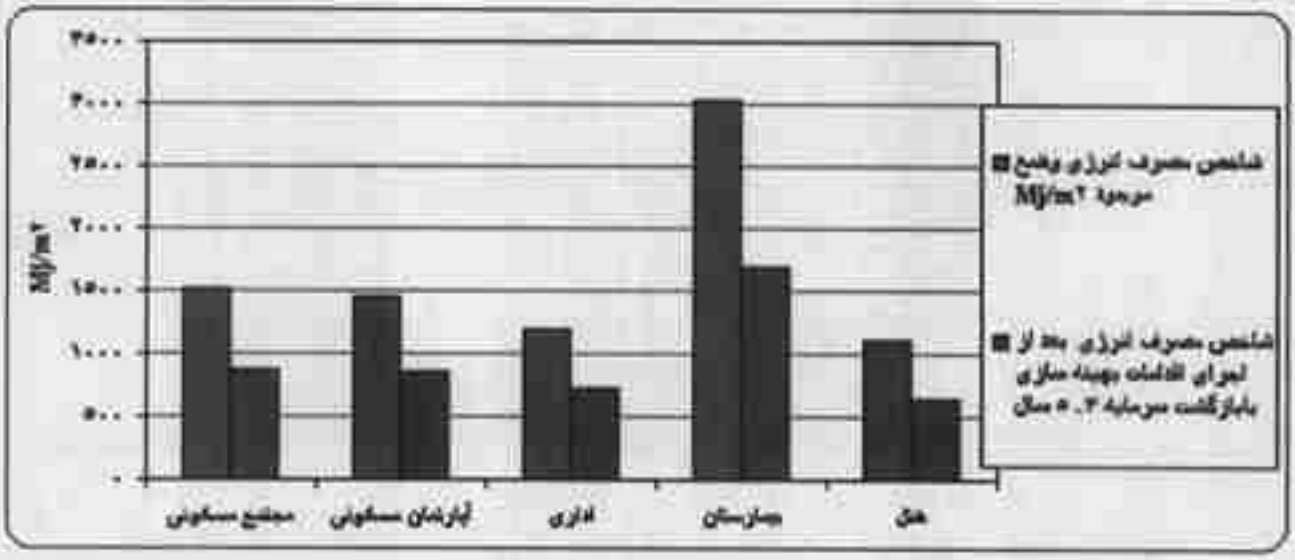
۳-۴- امکان صرفه‌جویی انرژی الکتریکی و حرارتی

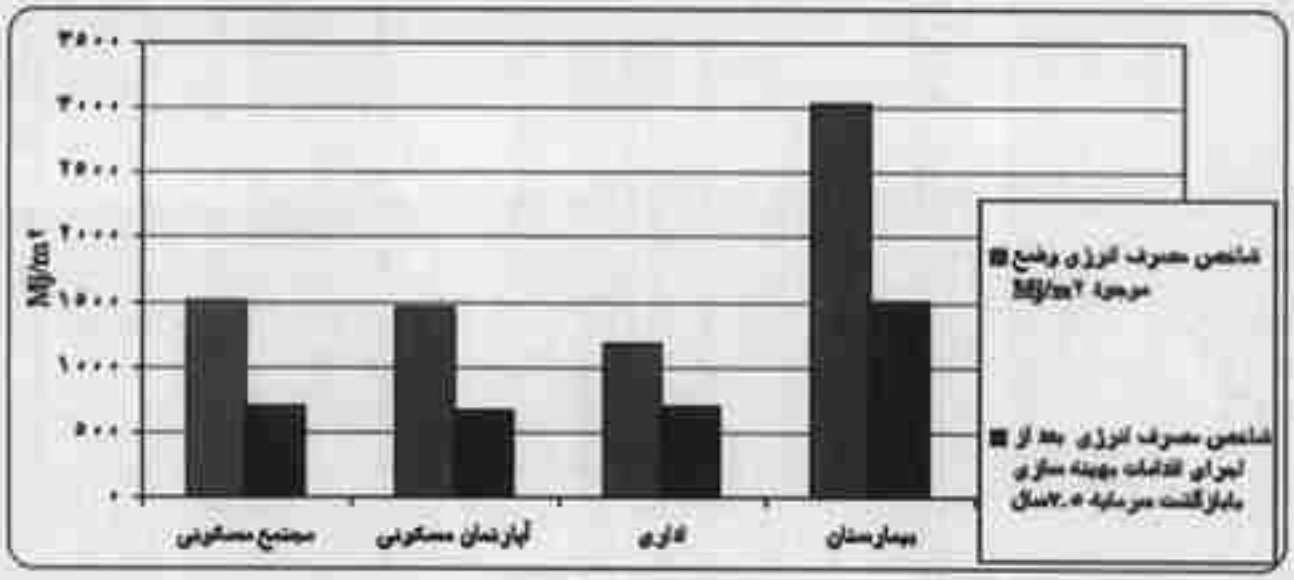
امکان صرفه‌جویی با بکارگیری روش‌های متداول بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان قابل دسترسی است این صرفه‌جویی با استفاده از عایقکاری جداره‌های خارجی ساختمان (سقف، کف و دیوارهای خارجی) – استفاده از پنجره‌های دوجداره‌نصب سیستم ترموستاتیک مرکزی دما و یا استفاده از لامپ‌های کم‌مصرف و سایر موارد پیشنهادی محاسبه شده است.

جدول(۶-۷)پتانسیل صرفه‌جویی انرژی الکتریکی و مقادیر شاخص مصرف انرژی بعد از اجرای اقدامات بهینه‌سازی مصرف انرژی (۳)

ساختمان‌های نمونه	مساحت زیربنا	شاخص مصرف انرژی وضع موجود	شاخص مصرف انرژی بعد از اجرای اقدامات بهینه‌سازی	صرفه‌جویی درصد	صرفه‌جویی سالانه انرژی معادل تن نفت خام
	m^2	Kwh/m^2	با بازگشت سرمایه ۵ سال Kwh/m^2	٪	TOE[1]
ساختمان مسکونی (۱۴مجتمع آپارتمانی ۴طبقه)	50480	64/5	51	21	174/96
ساختمان مسکونی (آپارتمان ۴طبقه)	1578	21	18	14	1
ساختمان اداری (۳طبقه)	9238	113	96	15	40
بیمارستان (۲۰۰ تختخوابی)	28601	130/5	107	18	233
هتل (۵طبقه ۶۰۰اتاق)	3761	61	47/6	22	13
مجموع	103580	-	-	-	463

۱- TOE=Ton oil Equivalent معادل تن نفت خام





نمودار(۶-۵)پتانسیل صرفه جویی انرژی قبل و بعد از اجرای اقدامات بهینه سازی مصرف انرژی

۴- عایق کاری حرارتی ساختمان ها:

مقدمه

در زمینه صرفه‌جویی در مصرف انرژی در ساختمان‌ها، رعایت ضوابط مربوط به عایق‌کاری حرارتی (گرمایندی) از اهمیت بسزایی برخوردار است. این امر نه تنها مانع از به هدر رفتن سرمایه‌های ملی انرژی می‌شود، بلکه آسایش حرارتی ساکنین را نیز بهبود می‌بخشد.

در اینجا روش‌های مختلف عایق‌کاری جداره‌های خارجی ساختمان و همچنین نکاتی در زمینه روش‌های اجرا، نقاط ضعف و مزایای هر سیستم تشریح می‌شود.

کلیات

۴-۱- انتقال حرارت از جداره های خارجی ساختمان:

در ساختمان‌ها، در تمامی فصل های سال و در تمام ساعات شبانه روز بین فضای داخل ساختمان و محیط خارج، تبادل حرارت صورت می‌گیرد. درشکل (۶-۵) دو حالت اصلی در تبادل حرارت نشان داده شده است:

حالت اول (گرمایش) در صورتی بوجود می‌آید که در تراز انرژی ساختمان، میزان مابه‌تفاوت بین انرژی‌های رایگان کسب شده شامل گرمای ساکنین، حرارت روشنایی، وسایل پخت و پز و انرژی خورشید، شکل((۶-۶) و انرژی از دست رفته از طریق هدایت از پوسته خارجی ساختمان و تهویه ،شکل(۶-۷) نشان داده شده و از تجهیزات گرمایشی استفاده شود.

در حالت دوم (سرمایش) انرژی‌های رایگان کسب شده باید با استفاده از تجهیزات سرمایشی به خارج از ساختمان هدایت شود.

بدیهی است که در هر دو حالت، وجود عایق‌کاری حرارتی پوسته خارجی ساختمان و همچنین کنترل هوشمند میزان تهویه و تعویض هوا نه تنها باعث صرفه‌جویی در مصرف انرژی جهت گرمایش یا سرمایش می‌شود، بلکه آسایش حرارتی ساکنین را نیز بهبود می‌بخشد.

۴-۲- کاربرد عایقهای حرارتی در ساختمان:

عایق حرارتی قابل استفاده در ساختمان به عایقی اطلاق می‌شود که دارای ضریب هدایت حرارتی کمتر یا مساوی w/m.k ۰/۰۶۲و مقاومت حرارتی مساوی یا بیشتر از m.k/w ۰/۵ باشد.

عایق‌کاری حرارتی یا بوسیله یک ماده یا مصالح خاص (شکل۶-۸) و یا توسط سیستمی با چندین کارایی صورت می‌گیرد (شکل۶-۹). برای مثال یک دیوار باربر می‌تواند در عین حال عایق‌کاری حرارتی را نیز تأمین کند. ولی در اکثر موارد، لازم است که لایه‌ای صرفاً جهت محدود کردن انتقال حرارت به جدار اضافه شود.

۴-۳- آسایش حرارتی:

شرایط آسایش حرارتی زمانی بوجود می آید که(۸۰٪ انسان‌ها در آن احساس آسایش می‌کنند.) لازم به ذکر است که دماهای متفاوت قسمت‌های مختلف جدارها، پایین بودن دمای سطح داخلی جدارهای خارجی، بالا

باید مورد تجزیه و تحلیل و قضاوت قرارگیرند که از مهم ترین آنها، افکارهای صاحب ساختمان و جنبه اقتصادی طرح می‌باشند. عمده‌ترین نکاتی که در موقع طراحی و انتخاب سیستم تهویه مطبوع باید مد نظر باشند عبارتند از:

- امکانات مالی
- نوع ساختمان – هدف و موقعیت مکانی
- مشخصات هوای خارج از نظر دما – رطوبت – باد و تابش خورشید
- جنبه‌های فیزیکی ساختمان از نظر تطبیق با سیستم گرمایش و سرمایش
- کیفیت هوای داخلی ساختمان
- رعایت صرفه‌جویی و بهینه کردن سیستم انتخابی- انواع سیستمهای تهویه مطبوع (گرمایش و سرمایش ساختمان‌ها)

۶-۲- سیستم‌های متداول تهویه مطبوع به انواع زیر تقسیم می‌شوند:

- سیستم تهویه مطبوع تمام آب (سیستم فن کویل)
- سیستم تهویه مطبوع تمام هوا (سیستم هواساز)
- سیستم هوا – آب
- سیستم پمپ حرارتی

هر یک از سیستم‌های بالا، برای آشنائی با نوع و عملکرد آنها بطور خیلی مختصر تشریح می‌شوند.

سیستم تهویه مطبوع تمام آب:

در این سیستم سیال ناقل حرارت و برودت، آب می‌باشد. آب در موتورخانه در دستگاه‌های حرارتی مانند دیگ بخار یا دیگ آبگرم، گرم می‌شود و برای گرمایش ساختمان در فصول سرد مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای فصول گرم مثل تابستان‌در موتورخانه از چیلر یا آبسردکن برای تهیه آب سرد استفاده می‌شود و برای سرمایش ساختمان از این آب سرد استفاده می‌گردد.

آبگرم یا آبسرد تهیه شده به داخل لوله های ماریچ [1] مبادله کن حرارتی اتاق‌ها (مثل فن‌کویل) ارسال می‌شود. بادبزن یا (فن) متعلق به این دستگاه هوا را از روی لوله های ماریچ عبور داده و باعث گرمایش یا سرمایش اتاق‌های داخلی ساختمان می‌شود.

سیستم تهویه مطبوع تمام هوا (سیستم هواساز):

در این سیستم نیز در موتورخانه دستگاه‌های تهیه آبسرد (چیلر) و آبگرم (دیگ آبگرم) با تجهیزات مربوطه فعالیت می‌کنند و برای تهیه و ارسال هوای گرم یا سرد از دستگاه‌هایی بنام هواساز مرکزی [2] استفاده می‌شود. دستگاه هواساز دور از موتورخانه و در محلی نزدیکتر به فضای تهویه شونده در اتاقکی نصب می‌شود. سیال ناقل

1-Coil
2 - A.H.U

حرارت و برودت (آب گرم و سرد) به داخل لوله های مارپیچ دستگاه هوا سازپمپ می‌شود و هوایی که توسط دمنده و با سرعت از روی این لوله های مارپیچ عبور می‌کند، سرد یا گرم شده و بوسیله کانال‌های هوای سقفی بداخل فضاهای تهویه شونده توزیع می‌شود. توضیح اینکه هوای عبوری از روی کویل تصفیه فیزیکی شده و رطوبت‌زنی یا رطوبت‌گیری می‌شود و بعد به داخل فضاها ارسال می‌شود.

سیستم تهویه مطبوع هوا – آب :

در این سیستم نیز سیال انتقال دهنده حرارت و برودت، آب می‌باشد که مثل حالت اول در موتورخانه آب سرد و یا آب گرم در فصول مختلف تهیه و به داخل دستگاه مبادله کن حرارتی(فن‌کویل)فرستاده می‌شود و بخش اعظم گرمایش و سرمایش اتاق را تأمین می‌نماید. از طرف دیگر مقداری هوای گرم و یا سرد که در یک دستگاه هواساز مرکزی تهیه شده است به اتاق فرستاده می‌شود که وظیفه تأمین قسمت کمی از بارحرارتی و برودتی اتاق را بر دوش دارد ولی در حقیقت نیاز اتاق را به هوای تازه برآورده می‌کند. از این سیستم‌ها در بیمارستان‌ها و هتل‌ها بیشتر استفاده می‌شود. دستگاه نصب شده در اتاق را واحد القائی نیز می‌نامند، که حتی می‌تواند یک ورق کلفت نایشی باشد.

سیستم تهویه مطبوع پمپ حرارتی:

سیستمی است که قابلیت سرمایش و گرمایش فضاهای کوچک ساختمانی را به اقتضای فصل بعهده دارد. این سیستم اساساًیک سیستم تبرید می‌باشد که می‌توان بوسیله شیر مخصوص، مسیر سیال سرد را در آن تغییر داد تا نقش اواپراتور را ایفا کرده، و در زمستان با گذر از روی همین کویل که توسط شیر مخصوص تبدیل به چگالنده شده است، گرم شود. این سیستم برای کشورهائی که در آنها برق ارزان‌تر از سوخت‌های فسیلی است مقرون به صرفه بوده و دارای جذابیت خاص برای مکان‌های کوچک است. استفاده از این سیستم باعث می‌شود که هزینه اولیه تأسیسات و نیز فضای مورد نیاز برای موتورخانه کاهش یابد. همچنین بدلیل عدم استفاده از سوخت‌های فسیلی، آلودگی کاهش یافته و سیستم در مقابل خطرات آتش‌سوزی از ایمنی بیشتری برخوردار خواهد بود.

در مدار ساده سرمازای این سیستم، از شیر انبساط حرارتی استفاده شده است ودر آن شیر چهار راهه تغییر مدار سیستم وجود دارد.

در فصل زمستان مسیر گاز داغ خروجی از کمپرسور ، بوسیله شیر چهارراهه تغییر می‌یابد و با ورود گاز داغ به کویل حرارتی داخلی،هوای ورودی به ساختمان نیز گرم می‌شود.

۶-۳- بهره‌برداری و صرفه‌جویی انرژی در سیستم‌های تبرید:

مقدمه

گسترش و کاربرد روزافزون صنایع تبرید از نیاز خانواده‌های کوچک تا شهرهای چند میلیونی جهت نگهداری مواد غذایی سالم، از ساختمان‌های ویلائی تا برج‌های عظیم مسکونی و تجاری جهت تهویه مطبوع تابستانی، از صنایع غذائی کوچک تا صنایع عظیم نفت و گاز و پتروشیمی برای تبخیر و تقطیر و جداسازی و ... اهمیت صنعت تبرید و سردسازی و توجه بیشتر به این رشته را آشکار می‌کند.

تاریخچه و کاربردهای تبرید:

در اوایل پیدایش تبرید مکانیکی، دستگاه‌های موجود حجیم و گران بودند و کارائی زیادی نداشتند بهمین دلیل صرفاً به چند کاربرد بزرگ نظیر واحدهای تولید یخ، بسته‌بندی گوشت و یخچال‌های بزرگ محدود می‌شدند ولی این صنعت در عرض چند دهه به سرعت رشد نموده و بصورت امروزی درآمده است. این رشد سریع، حاصل چند عامل مختلف بود. با پیشرفت روش‌های تولید دقیق، امکان تولید تجهیزات کوچکتر با بازده بالاتر فراهم شد. این امر بهمراه تهیه سرد کننده های بی‌خطر و اختراع موتورهای الکتریکی با قدرت کمتر، امکان ساخت واحدهای کوچک تبرید را که امروزه درکاربردهائی مثل یخچال‌ها و فریزرهای خانگی، دستگاه‌های هواساز کوچک و دستگاه‌های تجاری، مورد استفاده قرار می‌گیرند، فراهم نمود. بطوریکه امروزه کمتر خانه یا واحد تجاری و صنعتی را می‌توان یافت که از یکی از انواع مختلف دستگاه‌ها و سیستم‌های تبرید استفاده نکنند.

برای مثال امروزه بدون بهره‌گیری از صنعت تبرید، تهیه و نگهداری مواد پروتئینی با رشد فزاینده جمعیت ممکن نخواهد بود. همچنین در بیشتر ساختمان‌های بزرگ نظیر مجتمع‌های مسکونی،تجاری و صنعتی در صورتیکه از تجهیزات تهویه مطبوع و تبرید بهره‌گیری نشود، به دلیل گرمای محیط در تابستان، این ساختمان‌ها غیر قابل تحمل خواهند بود.

علاوه بر کاربرد تبرید در تهویه مطبوع و استفاده آن در فرایندهای انجماد و سردخانه‌ها، در حمل و نقل نگهداری مواد غذایی فاسدشدنی، از تبرید مکانیکی در تهیه و عرضه اغلب مواد یا اجناس و دستگاه‌های بزرگ امروزی استفاده می‌شود.

تعداد فرایندها یا محصولاتی که با استفاده از تبرید، تحقق یا بهبود یافته‌اند بی‌شمار است بطور مثال وجود تبرید، امکان ساخت سدهای بزرگ را که برای پروژه‌های تولید برق و آبیاری ضروری است فراهم می‌سازد.

بوسیله تبرید امکان تولید پلاستیک‌ها، لاستیک‌های مصنوعی و بسیاری محصولات و مواد مفید دیگر، امکان‌پذیر می‌گردد. تولیدکنندگان منسوجات و کاغذ می‌توانند با استفاده از تبرید، سرعت تولید محصول خود را افزایش دهند. استفاده از تبرید روش‌های بهتری برای آبکاری فولادهای مورد استفاده در دستگاه‌ها بوجود می‌آورد. این موارد تنها گوشه‌ای از صدها کاربرد تبرید جدید است که امروزه مورد استفاده قرار می‌گیرد و همه ساله چندین کاربرد جدید به آنها اضافه می‌شود.

بطور خلاصه و برای سهولت مطالعه صنعت تبرید، می‌توان کاربردهای تبرید را به شش گروه اصلی تقسیم کرد.

تبرید خانگی ، تبرید تجاری ، تبرید صنعتی ، تبرید حمل و نقل ، تهویه مطبوع ساختمان‌ها ، تهویه صنعتی . با توجه باینکه قسمت اصلی این مبحث مربوط به سیستم‌های گرمایش و سرمایش (تهویه مطبوع ساختمان ها) می‌باشد توضیح مختصری در این مورد ضروری است.

بطوریکه از اسم تهویه مطبوع برمی‌آید، این مقوله با شرایط هوا در ساختمان‌ها و فضاهای مورد نظر در ارتباط می‌باشد و نه تنها کنترل دما ، بلکه کنترل رطوبت و سرعت وزش هوا را نیز بهمراه تصفیه و تمیز کردن هوا شامل می‌شود.

کاربردهای تهویه مطبوع بر دو نوع خانگی و صنعتی می‌باشد. سیستم‌هائیکه وظیفه عمده آنها مطبوع کردن هوا برای تأمین راحتی انسان‌ها است، تهویه مطبوع خانگی نامبرده می‌شود، نمونه‌ای از این سیستم‌ها را می‌توان در منازل، مدارس، دفاتر، مساجد، هتل‌ها، سوپرمارکت‌ها، ساختمان‌های عمومی، کارخانجات، اتومبیل‌ها، اتوبوس‌ها، هواپیماها، کشتی‌ها و ... مشاهده نمود. از طرف دیگر هرگونه مطبوع‌سازی هوا که هدف اصلی آن رفاه انسان‌ها نباشد، تهویه صنعتی نامیده می‌شود.

کاربردهای تهویه صنعتی از نظر تعداد و تنوع نامحدود هستند، به بیان کلی، وظیفه سیستم‌های تهویه مطبوع صنعتی عبارتند از: کنترل میزان رطوبت مواد مرطوب، کنترل شدت واکنش‌های شیمیایی و بیوشیمیایی، محدود کردن میزان تغییرات مواد ظریف از لحاظ انبساط و انقباض حرارتی – فراهم نمودن هوای تمیز و تصفیه شده که اغلب برای کار راحت و تولید محصولاتی با کیفیت بهتر لازم می‌باشد.

۶-۴- صرفه‌جویی انرژی در کمپرسورها :

کمپرسورهای مورد استفاده در صنعت تبرید، بطور کلی و عمومی در سه نوع می‌باشند:

۱-کمپرسورهای رفت و برگشتی[1] یا (متناوب)

۲- کمپرسورهای دوار[2]

۳- کمپرسورهای گریز از مرکز[3]

که از بین سه نوع مذکور، کمپرسورهای متناوب بیشتر از بقیه مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این کمپرسورها از حرکت پیستون در داخل سیلندر استفاده کرده و بوسیله سوپاپ های مکش و فشار، گاز مبرد را متراکم می‌نمایند. کمپرسورهای دوار و گریز از مرکز هر دو در اثر گردش دورانی محورهای خود، عمل تراکم بخار را انجام می‌دهند. کمپرسورهای متناوب و دوار یک ماشین با جابجایی مثبت بوده و نوع گریز از مرکز بر اساس نیروی گریز از مرکز عمل تراکم را انجام می‌دهند.

ظرفیت تبرید کمپرسورها به شرایط سیستم تبرید بستگی داشته و همانند ظرفیت سیستم، با جرم مبرد جریانی در واحد زمان، و اثر تبرید واحد جرم مبرد، تعیین می‌شود. محرک کمپرسورها معمولاً الکتروموتوری است که بوسیله محور خود باعث گردش کمپرسور می‌گردد. دو عامل خیلی مهم در کمپرسورها مورد توجه است که عبارتست از:

---

1 -Reciprocating
2 - Rotary
3 - Centrifugal

۱- ظرفیت کمپرسور

۲- قدرت مورد نیاز کمپرسور، که این دو عامل در کمپرسورها بطور مؤثری بوسیله فشار مکش و رانش تغییر می‌کنند. البته اثر فشار مکش بیشتر است.

۶-۵- روش‌های بازیافت در سیستم‌های تبرید:

تأسیسات تبرید در شرایطی کار می‌کنند که دمای دفع حرارت، بالاتر از دمای محیط می‌باشد. بعلاوه مقدار حرارت دفع شده برابر میزان برودت تولید شده باضافه کار حرارتی متراکم کننده می‌باشد. بنابراین از حرارت مذکور در موارد زیر می‌توان بازیافت انرژی حرارتی کرد:

ازگاز داغ خروجی از متراکم کننده که دارای دمائی حدود ۱۵۰ °C می‌باشد.

از چگالنده که معمولاً حدود ۳۰ درجه از دمای محیط گرم تر است

از جریان روغن در متراکم کننده که دمای آن بین ۶۰ تا ۸۰ درجه سانتیگراد می‌باشد

بازیافت حرارت می‌بایست در مرحله طراحی سیستم مد نظر باشد و از آثار منفی آن بر عملکرد سیستم جلوگیری کند.

یک فوق گرم زدا[1]، حرارت زیاد گاز در حال تخلیه از کمپرسور، سیستم تبرید را بازیابی می کند. البته دمای تخلیه بستگی به شرایط کار سیستم و مبرد دارد.

مثلا در مورد (R-۲۲) و آمونیاک که دارای دمای تخلیه نسبتاً بالائی نسبت به دیگر مبردها هستند در یک سیستم آمونیاکی با ظرفیت ۱۰۰ کیلووات با استفاده از فوق گرم زدا می‌توان در حدود ۲۴ کیلووات بازیافت کرد.

در یک سیستم تبرید با طراحی خوب، دمای متراکم کننده بحدی است که می‌توان آنرا بازیافت کرده و برای گرم کردن بعضی مکان‌ها مثل رختکن‌ها و سرویس‌ها بکار برد.

اگر مبرد ورودی به شیر انبساط، توسط آب خنک شود ظرفیت تبخیر کننده سیستم افزایش می‌یابد و اندازه متراکم کننده مورد نیاز برای ۱۰۰ کیلووات خنکسازی، کاهش و در نتیجه در انرژی مصرفی صرفه‌جویی می شود.

در متراکم کننده های پیچی شناور در روغن، بخش بزرگی از حرارت موتور به روغن منتقل می‌شود معمولاً روغن ورودی به متراکم کننده ۴۰ درجه سانتیگراد بوده و دمای خروجی در حدود ۶۰ تا ۸۰ درجه سانتیگراد می‌باشد. در یک سیستم تبرید با (R-۲۲) در حدود ۳۸ درصد توان موتور بوسیله روغن جذب می‌شود که برای بازیافت مناسب است. برای سیستم‌های آمونیاکی این رقم به ۶۰ درصد افزایش می‌یابد. بعضی از سیستم‌های مجهز به مخازن بزرگ ذخیره آب با آب نمک، با استفاده از برق ارزان قیمت در شبها، برودت تولید و ذخیره می‌کنند و در ایام روز که برق گران است از منابع ذخیره استفاده می‌کنند[2].

---

1 - Desuperheater
2 -Ice Storage

۶-۷- توصیه های بهینه سازی مصرف انرژی در تاسیسات حرارتی و آبگرم مصرفی:

الف- بازرسی تأسیسات حرارت :

- در زمانی که دمای هوا متعادل است سیستم بخار (گرمایش) را خاموش کنید.
- عایقکاری لوله‌ها را کنترل و نواقص موجود را برطرف کنید.
- تله‌های بخار را کنترل و قطعات معیوب را تعویض یا تعمیر کنید.
- تله‌های بخار را همیشه تحت نظر داشته باشید.
- اتلافات سیستم توزیع بخار را کاهش دهید.
- شیرها و اتصالات را از جهت اتلاف حرارتی بازبینی کنید.
- از لوله‌های بخار به اندازه مناسب استفاده کنید و سیستم تغذیه بخار را کنترل نمایید.
- کارائی انتقال حرارت در محل‌های مصرف را بهبود بخشید.
- از انرژی حرارتی بخار برای تولید آبگرم مصرفی و گرمایش با آبگرم استفاده کنید.
- از بخار برای فرایندهای با فشار کم استفاده کنید.
- با نگهداری و مراقبت از کارکرد مناسب وسایل و تجهیزات مطمئن شوید.
- از برج‌های تقطیر در شرایط نزدیک به سرریزی استفاده کنید.
- خطوط لوله‌کشی بخار تقطیر شده را عایقکاری کنید.
- رسوب‌زدایی لوله‌های آب را مرتب انجام دهید.
- از عایقکاری مناسب در کوره‌ها، دیگ‌ها، کانال‌ها و لوله‌های حامل سیال گرم،استفاده کنید.
- در دیگ‌ها و کوره‌ها از مشعل‌های کارا استفاده کنید.
- در کوره‌ها، هوای احتراق اولیه و ثانویه را کنترل کنید و آنرا با اندازه واقعی تنظیم نمایید.
- درجه حرارت آب گرم مصرفی را کاهش دهید.
- تجهیزات فرایند تأمین گرمایش را در زمانی که استفاده نمی‌کنید، خاموش کنید.

ب- بازرسی تأسیسات:

- سیستم تهویه مطبوع را در ساعات بدون نیاز خاموش کنید.
- هوای دمیده شده را کنترل کنید و کاهش دهید.
- چگالنده های سیستم تبرید را مرتب تمیز کنید.
- دریچه‌های هواساز، میزان گرد و غبار و کویل‌ها و فیلترها را بازرسی کنید تا مقاومت هوا کاهش یابد.
- از ورود هوای خیلی مرطوب به سیستم تهویه مطبوع خودداری کنید.
- فقط در مکان‌های مورد نیاز واقعی ، از سیستم تهویه مطبوع استفاده کنید.
- برج خنک‌کن را زمانی که نیاز نیست،خاموش کنید.
- در سیستم‌های با درجه حرارت پایین برای عایقکاری از ضخامت اقتصادی مناسب استفاده کنید.

عایدی حرارت از	اتلاف حرارت
گرمای ساکنین گرمای وسایل خانگی انرژی خورشیدی گرمایش	در اثر هدایت از جداره ها
	در اثر تهویه

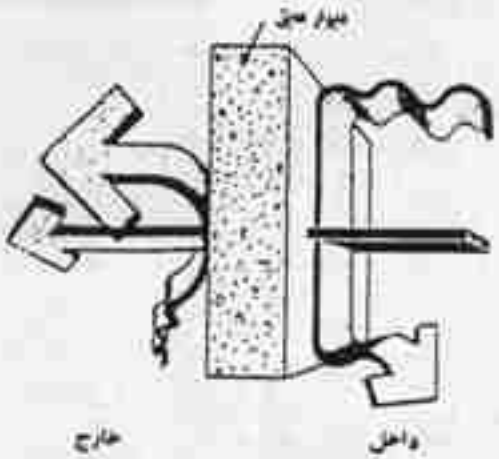
گرمایش ساکنین گرمای وسایل خانگی انرژی خورشیدی ورود حرارت در اثر هدایت از جداره ها ورود حرارت در اثر تهویه	سرمایش

شکل ۶-۵- حالت های تبادل حرارت از جداره های ساختمان

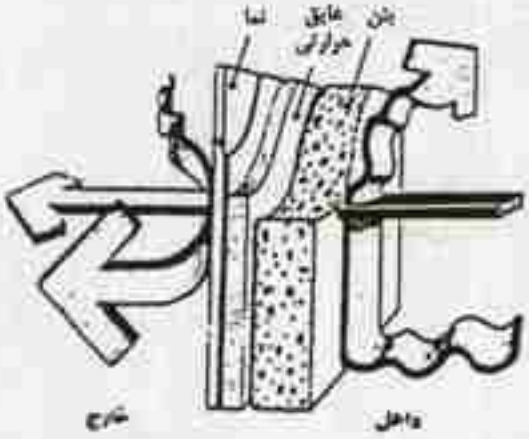
انرژی های گرمایشی رایگان

شکل ۶-۶ انرژی های گرمایشی (رایگان)(۶)

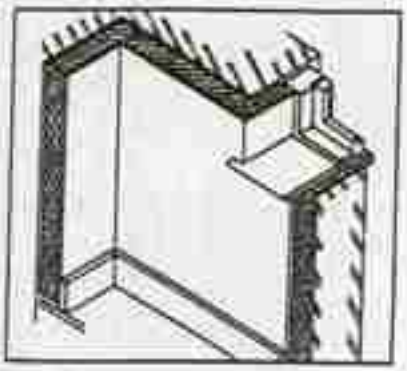
شکل ۶-۷ اتلاف انرژی از پوسته خارجی ساختمان



شکل ۶-۸- عایقکاری حرارتی با سیستم های صرفاً عایق(۶)

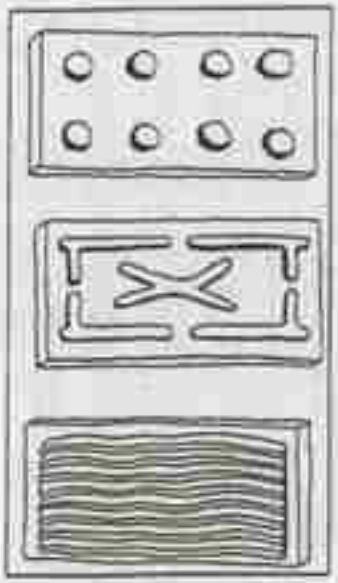


شکل ۶-۹- عایقکاری حرارتی با سیستم هایی با چندین کارایی(۷)

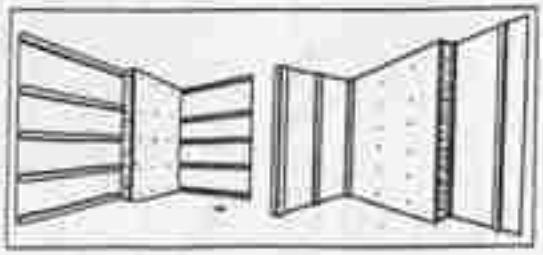


شکل ۶-۱۰- عایقکاری دیوارها از داخل(۷)

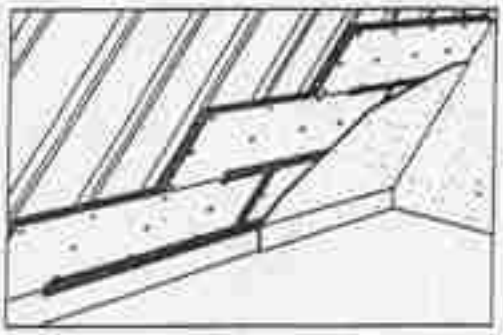
شکل ۶-۱۱- روش نصب ورق های عایقکاری دیوار ها از داخل(۷)



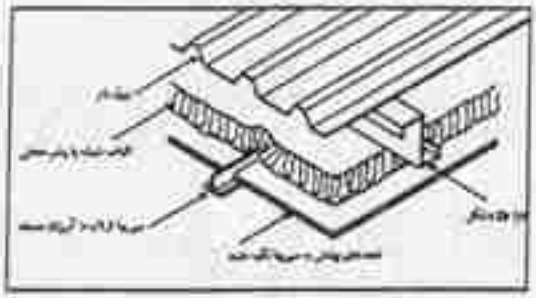
شکل ۶-۱۲- روش اجرای خمیر چسب بر روی ورق های عایقکاری داخلی(۷)



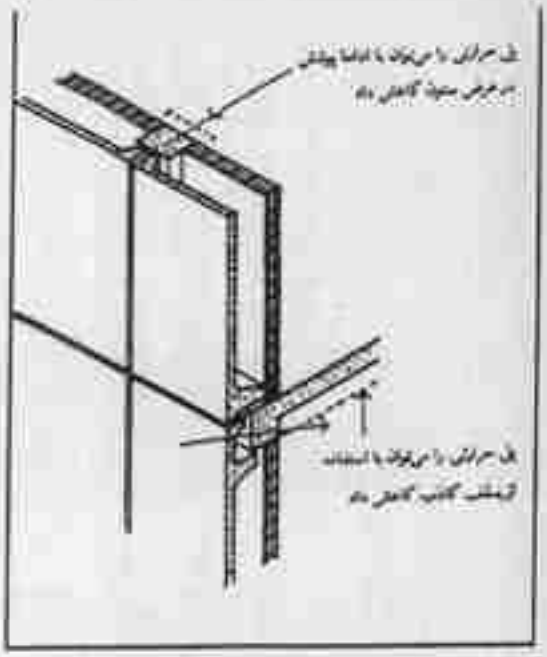
شکل ۶-۱۳- اتصال مکانیکی (بیجی) ورق ها به دیوار(۷)



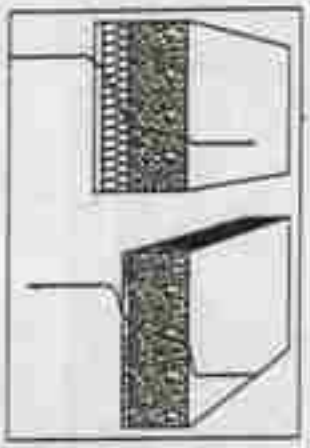
شکل ۶-۱۴- اتصال مکانیکی (بیجی) ورق ها به سقف های شیب دار(۷)



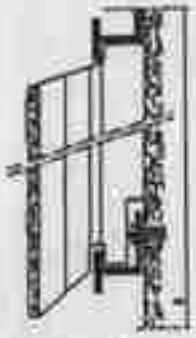
شکل ۶-۱۵- عایقکاری حرارتی بر روی سقف کاذب(۷)



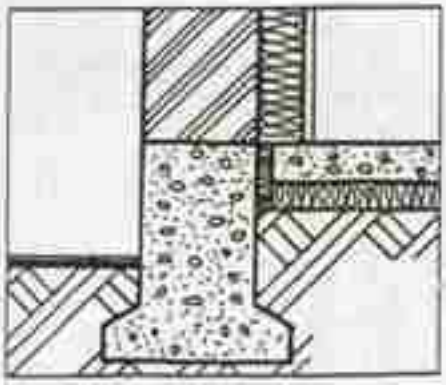
شکل ۶-۱۶- پل های حرارتی در عایقکاری از داخل و روش های رفع آن(۷)



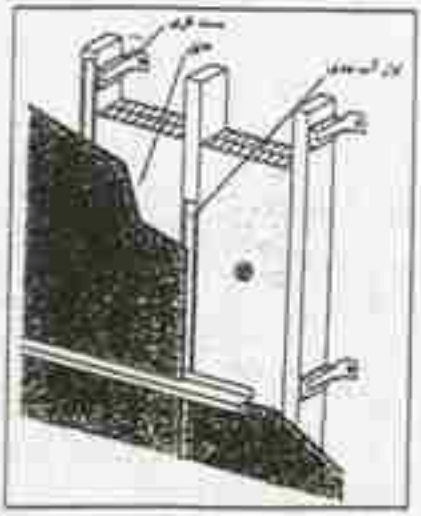
شکل ۶-۱۷- پایین آمدن دمای رویه داخلی جدار در صورت حذف عایق های حرارتی(۷)



شکل ۶-۱۸- جزییات اجرای عایقکاری حرارتی داخلی در محیط کف مجاور به خاک(۷)

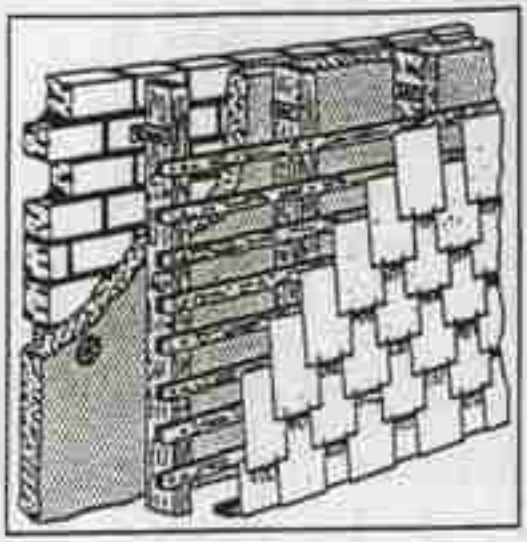


شکل ۶-۱۹- نمونه ای از سیستم های پیش ساخته عایقکاری خارجی(۷)

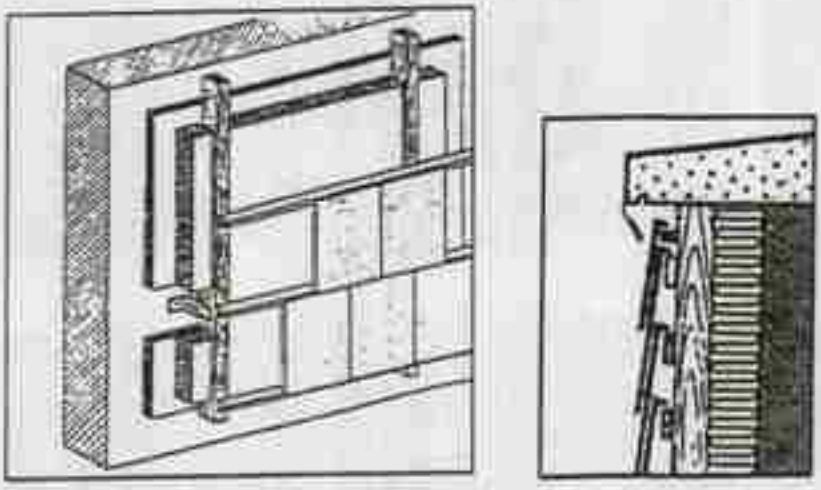


شکل ۶-۲۰- نمونه ای از روش های عایقکاری از خارج(۷)

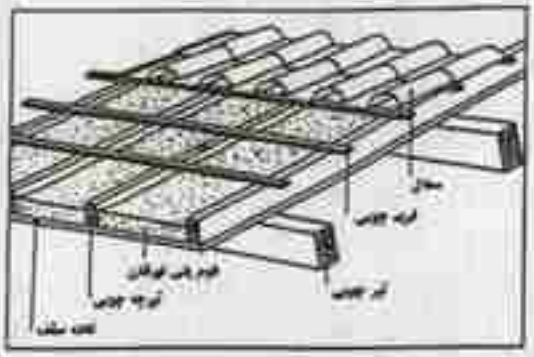
شکل ۶-۲۱- در پروژه های بازسازی،عایقکاری از خارج متداولترین روش است(۷)



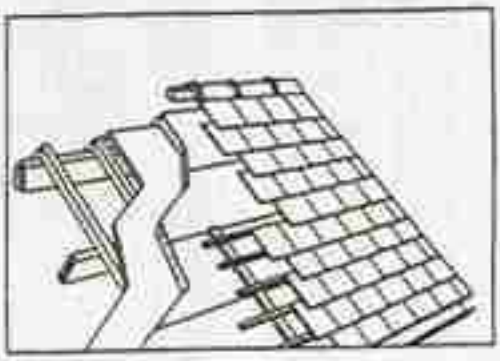
شکل ۶-۲۳- پوشش نمای آردواز سنتی همراه با عایقکاری حرارتی(۷)



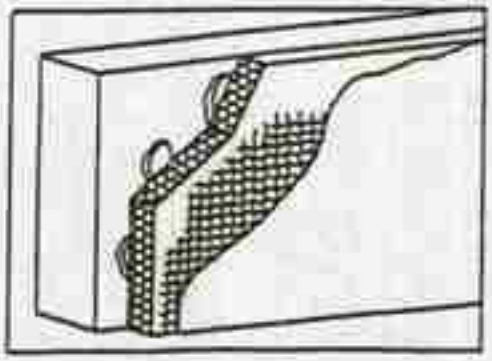
شکل ۶-۲۳- پوشش نمای سفالی عمودی همراه با عایقکاری حرارتی (۷)



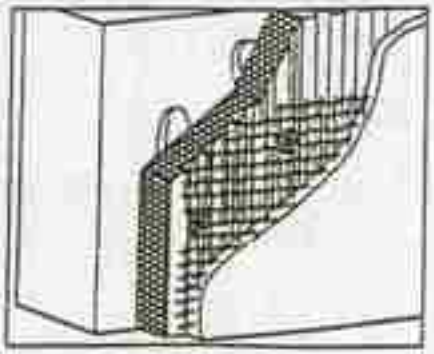
شکل ۶-۲۴- عایقکاری با فوم پلی اورتان زیر سقف شیب دار سفالی(۷)



شکل ۶-۲۵- عایقکاری با فوم پلی اورتان زیر سقف شیب دار آردواز (۷)

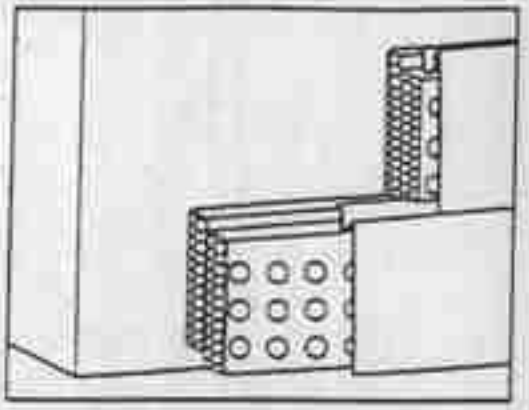


شکل ۶-۲۶- عایقکاری با پلی استایرن چسبانده همراه با الیاف فایبرگلاس (۷)

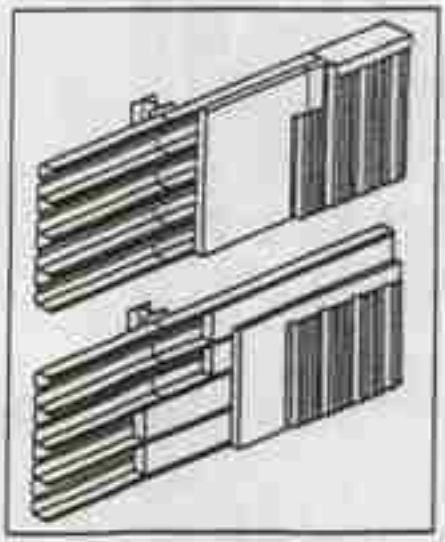


شکل ۶-۲۷- عایقکاری با پلی استایرن چسبانده و ثابت شده (اتصال مکانیکی)همراه با الیاف شیشه ای [۱] یا سیمان روی توری فلزی(۷)

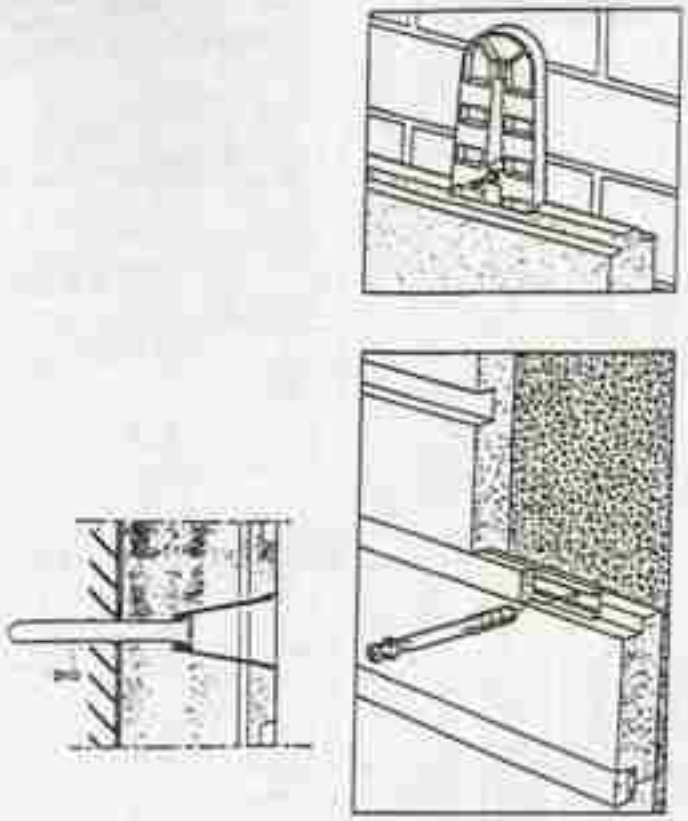
1-Fibre Glass



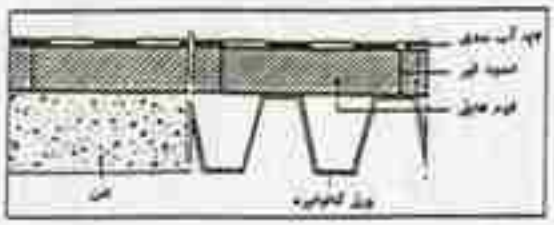
شکل ۶-۲۸- عایقکاری با قطعات پلی استایرن همراه با روکش فلزی چسبانده و ثابت شده (اتصال مکانیکی) (۷)



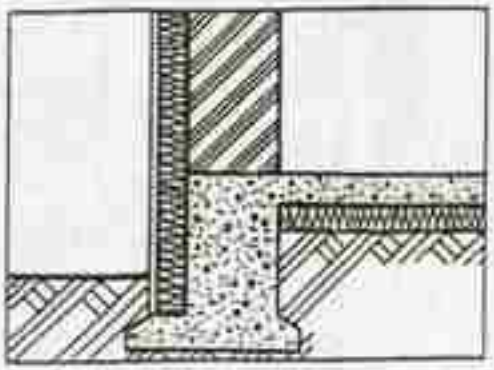
شکل ۶-۲۹- عایقکاری با قطعات پلی استایرن یا پلی اورتان همراه با روکش فلزی ثابت شده (اتصال مکانیکی)(۷)



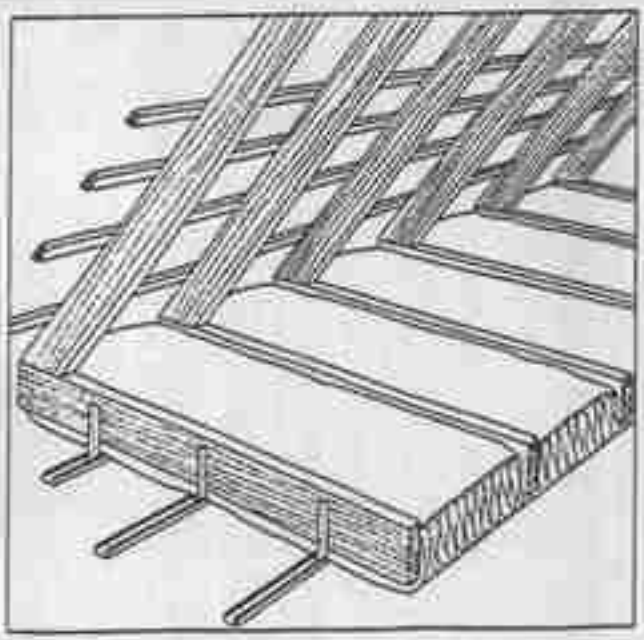
شکل 6-30- جزییات اتصال مکانیکی قطعات پیش ساخته عایق به دیوار(۷)



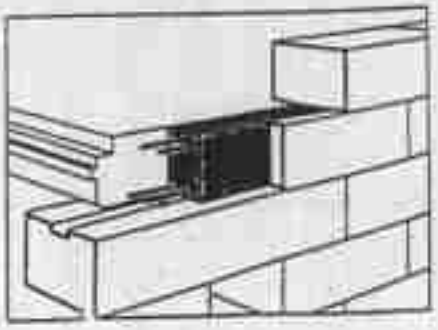
شکل ۶-۳۱- عایقکاری خارجی سقف ها(۷)



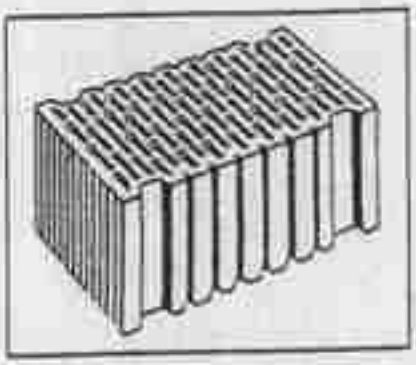
شکل ۶-۳۲- جزییات عایقکاری حرارتی خارجی در مجاورت کف(۷)



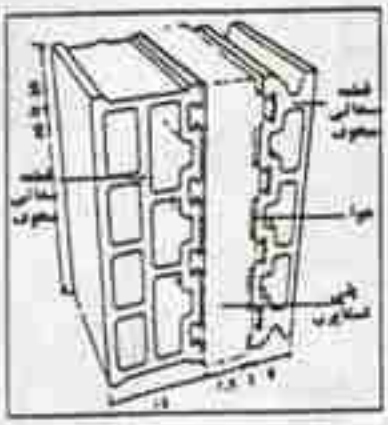
شکل ۶-۳۳- جزییات اجرای عایقکاری حرارتی خارجی در زیر شیروانی های غیر قابل دسترس(۷)



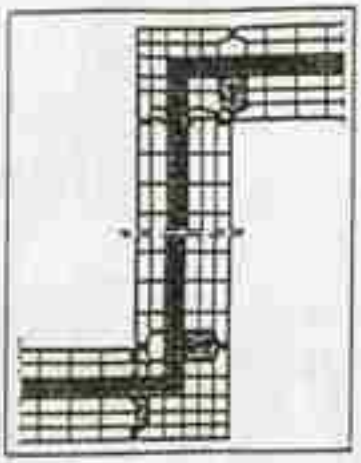
شکل ۶-۳۴- دیوار با بلوک های سبک عایق



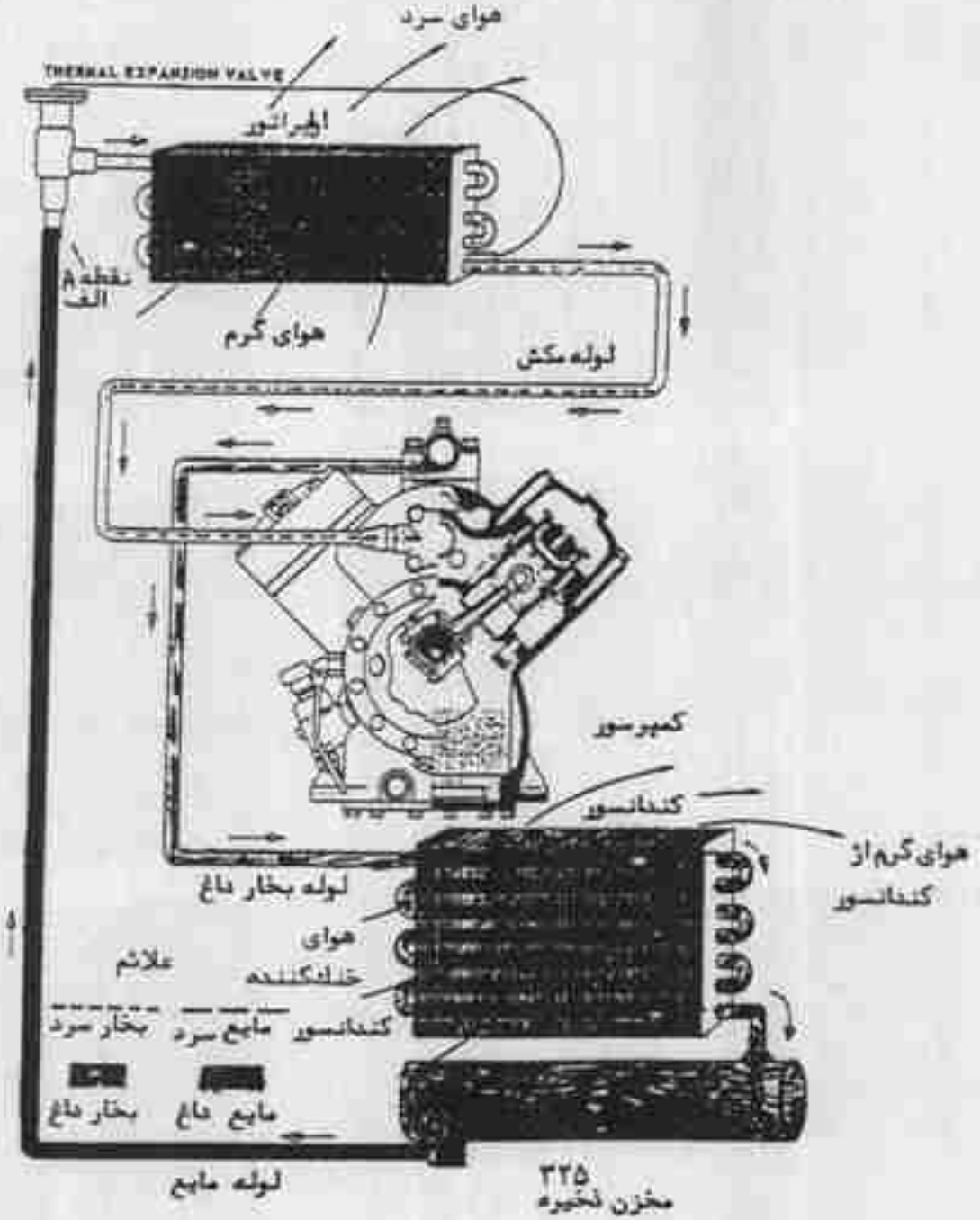
شکل ۶-۳۵- بلوک های سبک مجوف(۷)



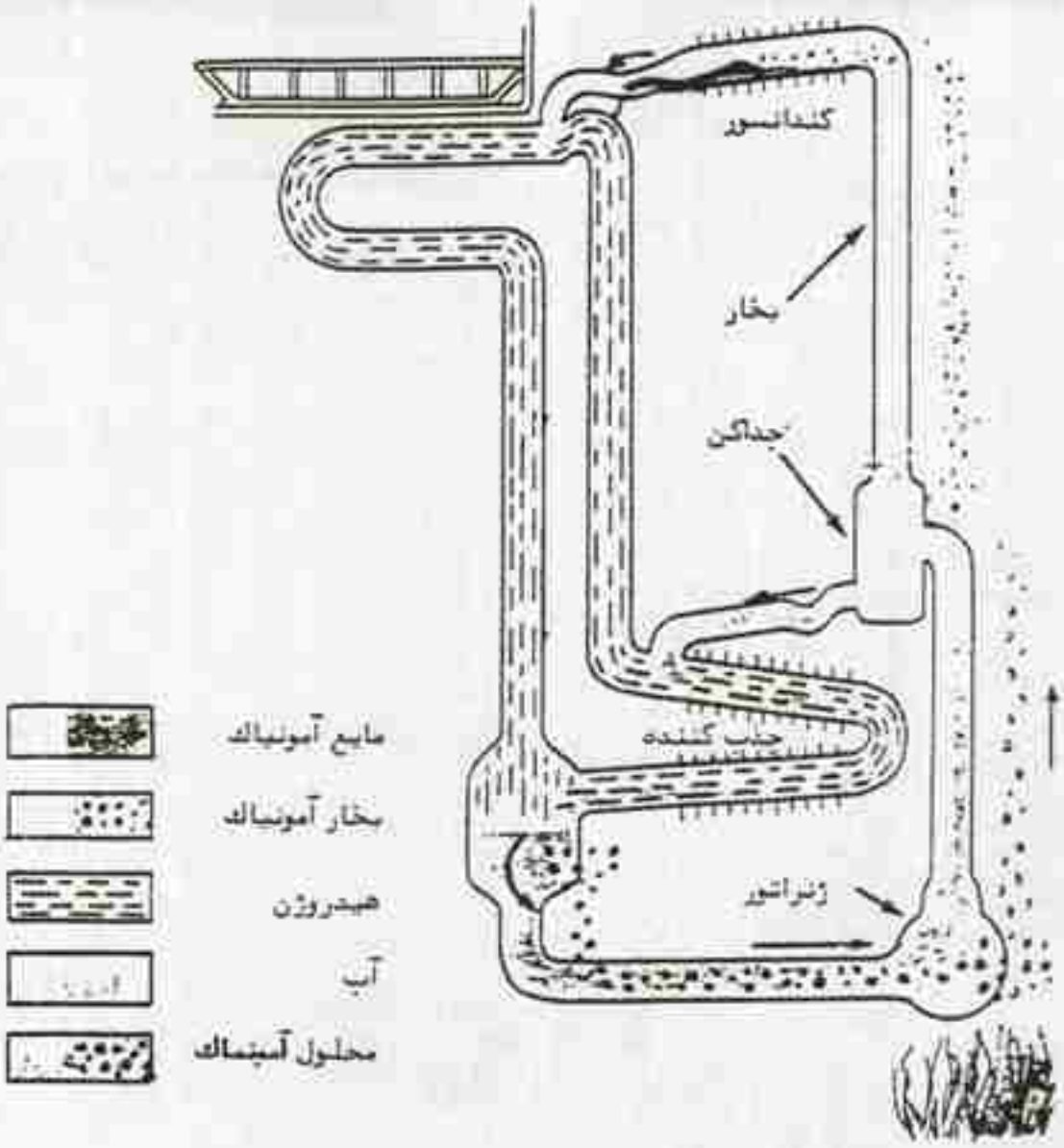
شکل ۶-۳۶- بلوک مرکب با لایه عایق (بلی آستایرن)(۷)



شکل ۶-۳۷- مقطع افقی از یک دیوار با بلوک های مرکب با لایه عایق(۷)

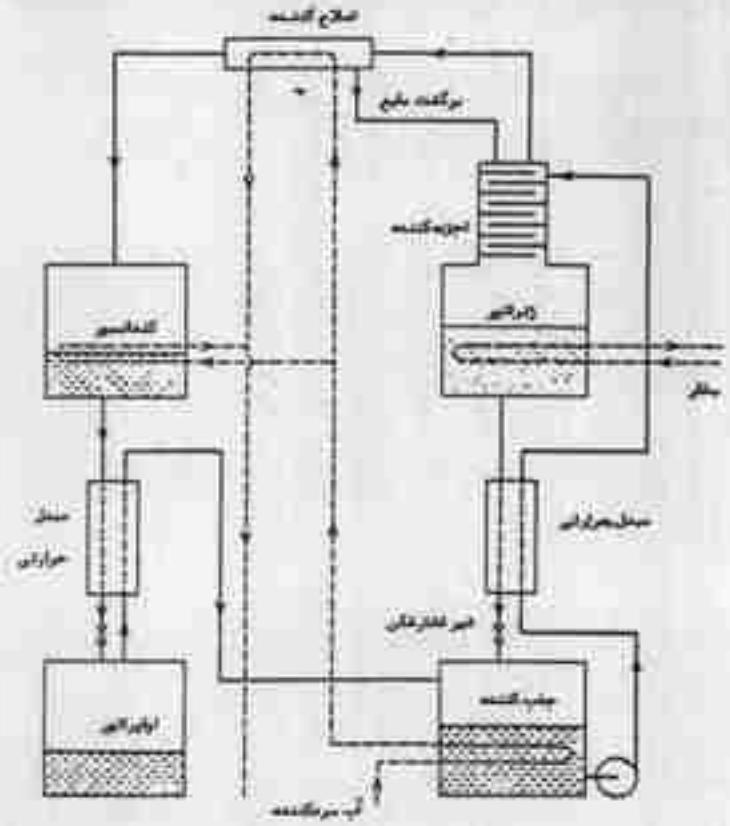


شکل ۶-۳۸- یک سیستم تبرید تراکمی تجاری مجهز به چگالنده هوایی‌شیر انبساط حرارتی و متراکم کننده رفت و برگشتی(۸)

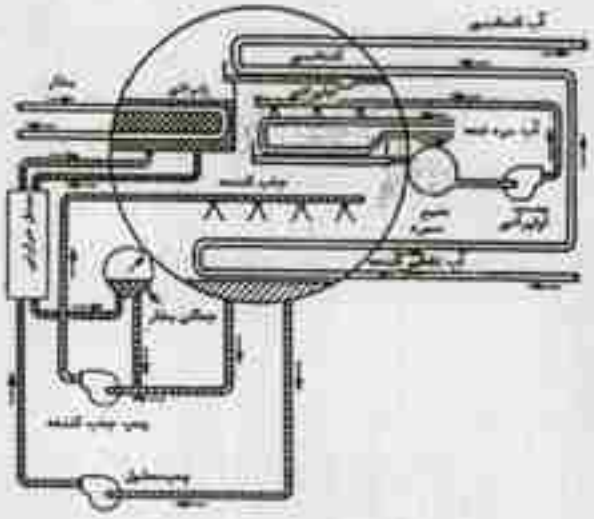


شکل ۶-۲۹- طرحواره چرخه تبرید جذبی خانگی(یخچال نفتی) شامل مدار گردش آب،

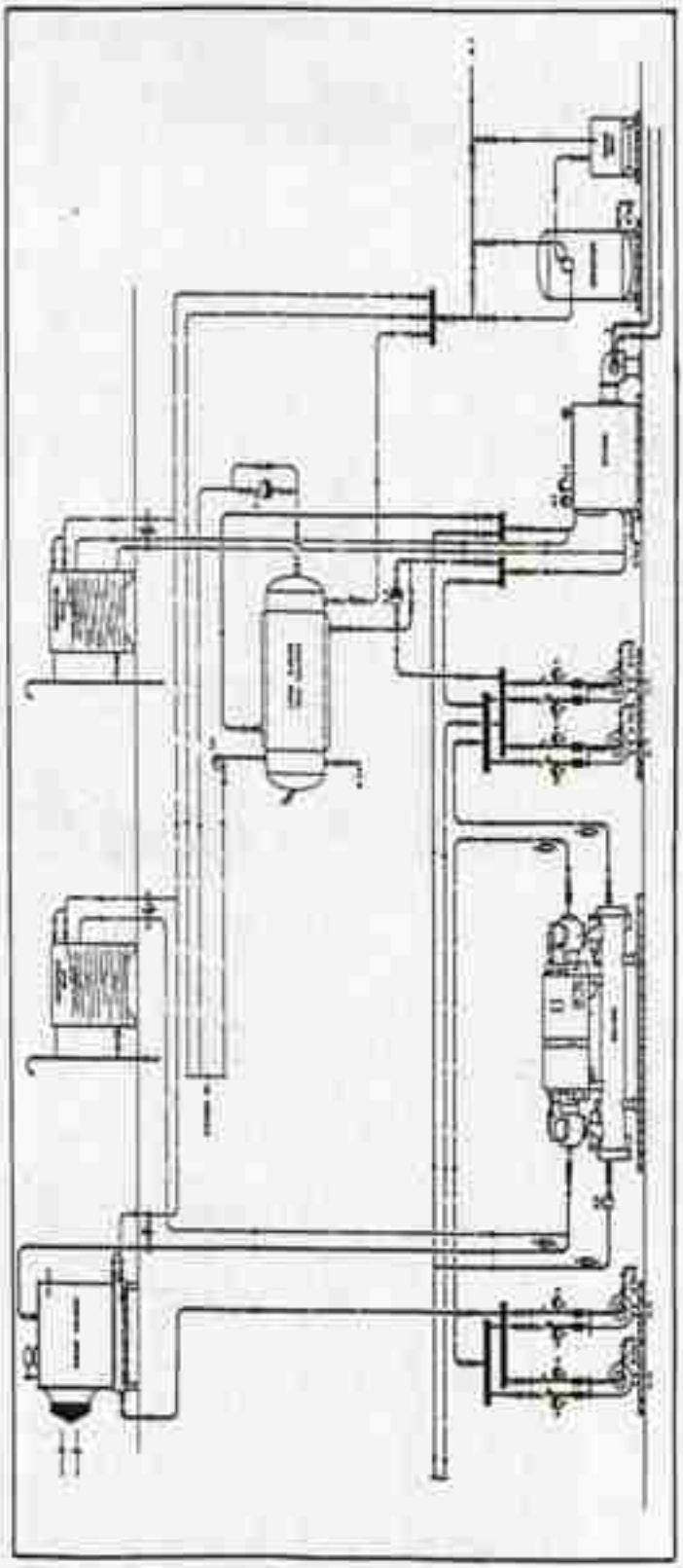
جریان آمونیاک و هیدروژن،محلول آب آمونیاک در مولد ومخزن جذب کننده(۸)



شکل ۴۰۰۶- سیستم تبرید جذبی آب و آمونیاک(۸)

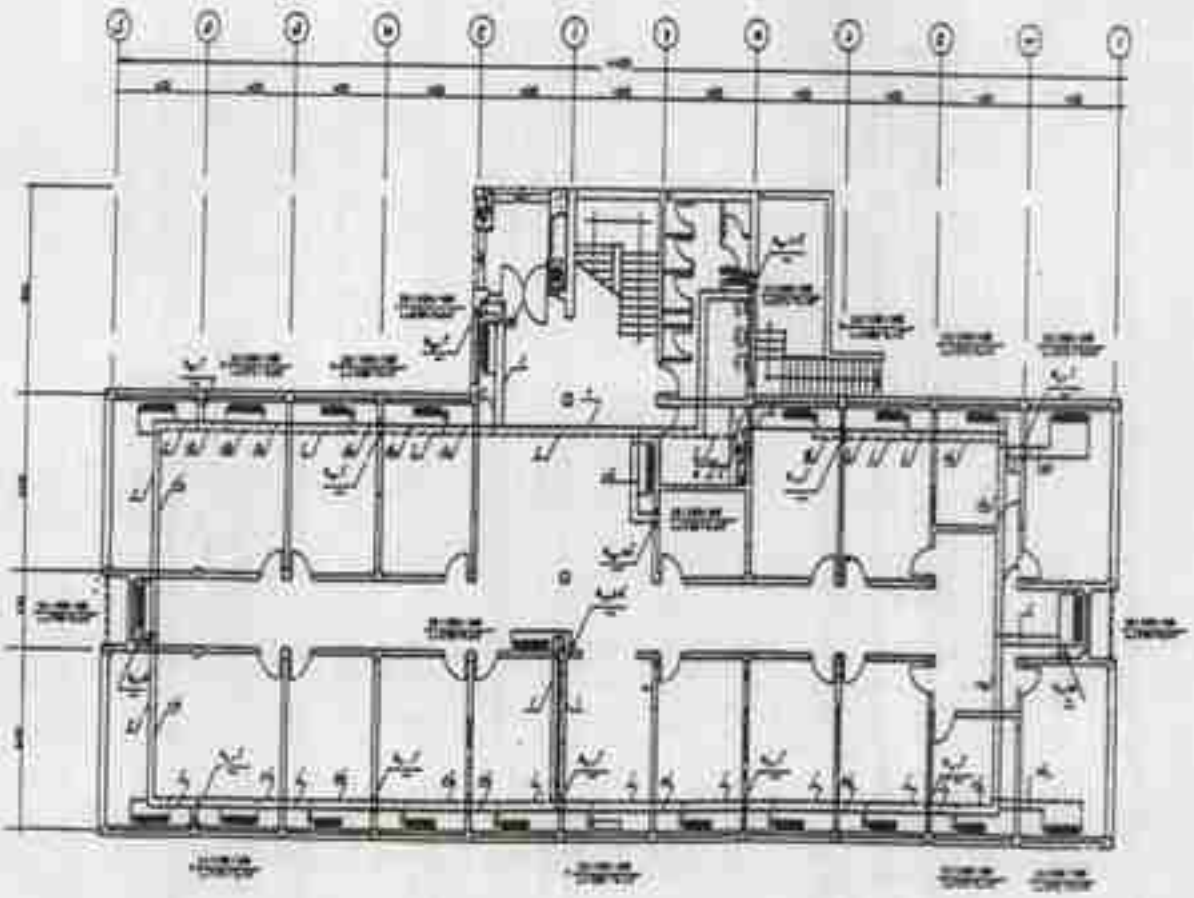


شکل ۴۱۰۶- سیستم تبرید جذبی آب و بروموز لیتیوم(۸)

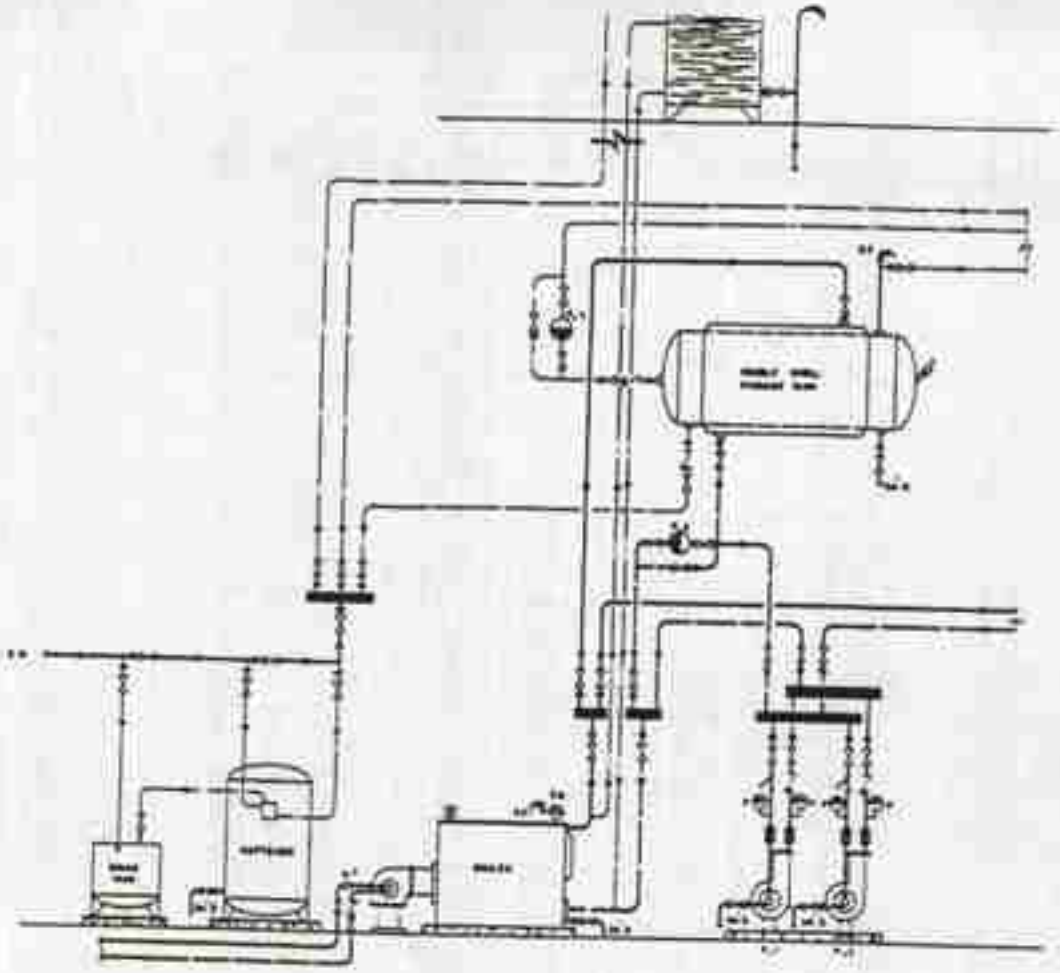


شکل ۶-۴۲- نمونه‌ای موتورخانه سیستم سرمایش و گرمایش (تهویه مطبوع دو فصلی)

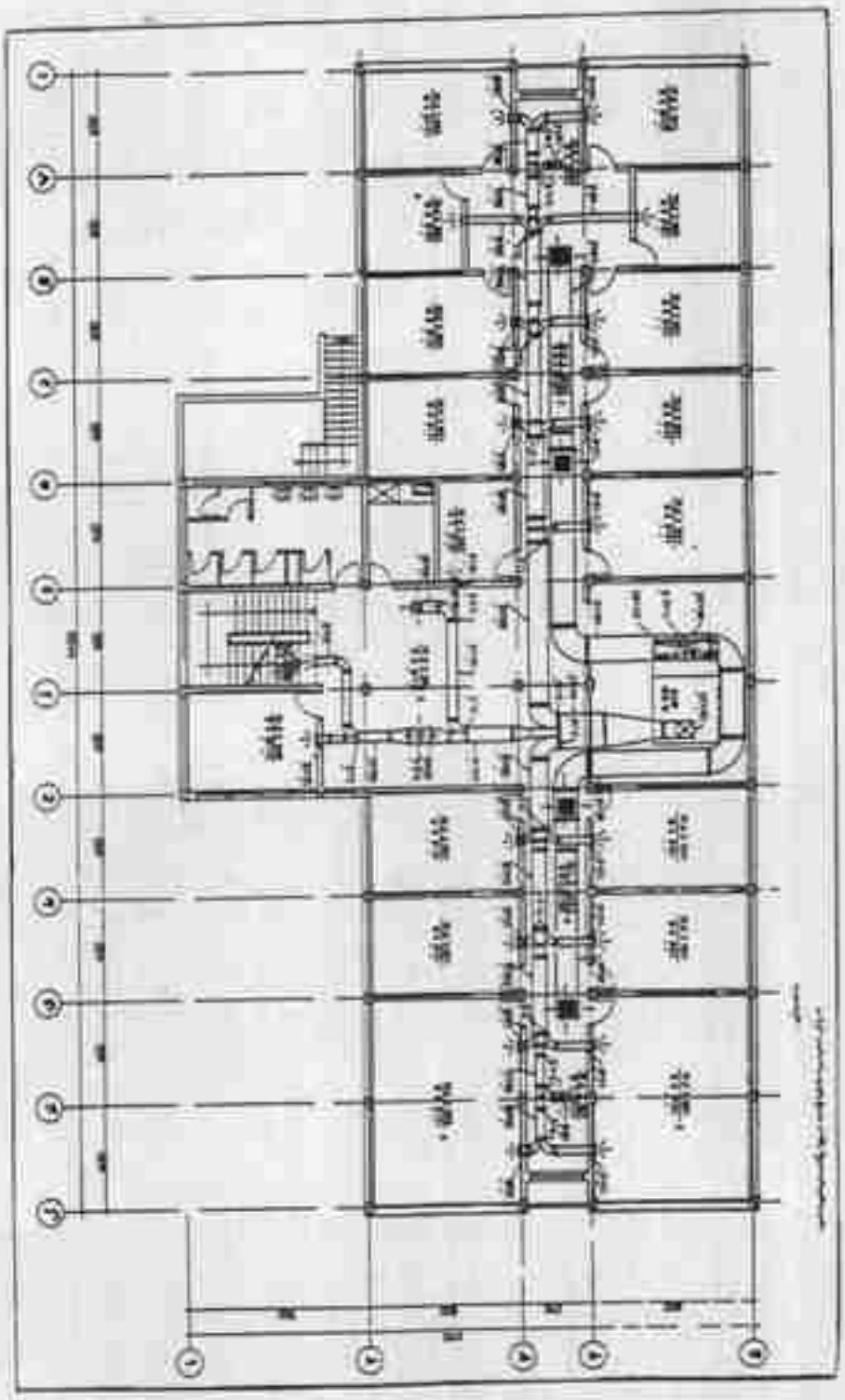
تجهیزات این موتورخانه در سیستمهای تهویه مطبوع تمام آب،تمام هوا و سیستمهای هواب آب بکستان می باشد.(۸)



شکل ۶-۴۳- نمودار دیاگرام موتورخانه سیستم گرمایش با ایکوم (شوفاژ۸X)



شکل ۶-۲۲- محل نصب رادیاتورها و سیستم گرمایش لوله کشی برگشت معکوس(۸)



شکل ۶-۲۵- شبکه کانال کشی سیستم تهویه مطبوع تمام هوا با کانال کشی رفت و برگشت در سقف کاذب

مبحث نوزدهم (۱۹)
(صرفه‌جویی در مصرف انرژی)

- ✓ تعاریف
- ✓ مقررات کلی طراحی و اجراء
- ✓ عایق‌کاری جدارهای خارجی ساختمان
- ✓ روش الف – رویش کارکردی
- ✓ روش ب – روش تجویزی
- ✓ **چک لیست مبحث ۱۹**

تعاریف :

- **جدارهای پوسته خارجی :**

کلیه سطوح پیرامونی ساختمان ،اعم از دیوارها ، سقفها ، کفها ، بازشوها ، سطوح نور گذر (شیشه) و نظایر آنها که از یک طرف با فضاهای خارج یا فضای کنترل نشده و از طرف دیگر با فضای کنترل شده داخل ساختمان در ارتباط هستند .

- **فضای کنترل شده :**

بخش‌هایی از فضای داخل ساختمان که به علت داشتن عملکرد و بهره‌برداری خاص ، به منظور ایجاد شرایط آسایش انسانی تحت کنترل می‌باشند (نیاز به گرمایش و سرمایش فضاها)

- **محدودهٔ آسایش :**

شرایط حرارتی و رطوبتی که حدود ۸۰٪ ساکنین یا استفاده کنندگان در آن احساس آسایش می‌کنند که تابع پارامترهای درجه حرارت ، رطوبت نسبی محیط و سرعت باد می‌باشد .

- **فضاهای کنترل نشدهٔ :**

بخشهایی از فضای ساختمان ،که تعریف فضای کنترل شده در موردشان صادق نمی‌باشد (همانند : فضاهای درز انقطاع بین دو ساختمان ، راه‌پله‌ها ، دالان‌ها و پارکینگ‌هایی که مورد گرمایش و سرمایش قرار نمی‌گیرند .

- **کاربری ساختمان :**

نوع کاربرد ساختمان طبق گروه‌بندی ارائه شدهٔ در پیوست ۴ مبحث ۱۹ (گروه‌بندی کاربری ساختمان‌ها)

- **عایق (عایق حرارت) :**

مصالح یا سیستم مرکبی که انتقال گرما را از محیطی به محیط دیگر را بطور مؤثر کاهش دهد . عایق حرارت قابل استفاده در ساختمان به عایقی اطلاق می‌شود که دارای ضریب هدایت حرارتی کمتر یا مساوی 0/065 W/m.k و مقاومت حرارتی مساوی یا بیشتر از 0/5 $m^2.k/W$ باشد .

- **ضریب هدایت حرارت K یا λ :**

مقدار حرارتی که در یک ثانیه از یک متر مربع عنصری همگن به ضخامت یک متر ، در حالت پایدار ، عبور می‌کند و اختلافی برابر یک درجه کلوین و یا سانتی‌گراد بین دمای دو سطح طرفین عنصر ایجاد نماید . ضریب هدایت حرارتی[1] نام دارد آنرا با K یا λ نشان می‌دهند و واحد آن W/m. k یا W/m.C است .

- **مقاومت حرارتی R :**

نسبت ضخامت لایه (x) به ضریب هدایت حرارتی آن λ می‌باشد ، بدیهی است که مقاومت الکتریکی یک پوسته تشکیل شده از چند لایه ، مساوی است با مجموع مقاومت‌های هر یک از لایه‌ها مقاومت حرارتی، قابلیت عایق بودن (از نظر حرارتی) یک یا چند لایه از پوسته و یا کل پوسته را مشخص می‌کند . مقاومت حرارتی[2] با R نشان داده می‌شود و واحد آن $m^2.k/W$ است .

- **ضریب عمومی انتقال حرارت U :**

ضریب انتقال حرارت از پوسته خارجی یک ساختمان برابر است با توان حرارتی منتقل شده از سطحی از آن ، با مساحت یک مترمربع در صورتی که اختلاف دمای داخل و خارج برابر یک درجه باشد . واحد مورد استفاده برای ضریب عمومی انتقال حرارت یا $W/m^2.°C$ است .

$$U=\frac{1}{R}=\frac{\lambda}{X}$$

- **ضریب انتقال حرارت طرح H :**

ضریب انتقال حرارت طرح ساختمان یا بخشی از آن برابر است با مجموع انتقال حرارت از جداره‌های فضاهای کنترل شده ، در صورتیکه اختلاف دمای داخل و خارج برابر یک درجه باشد . واحد مورد استفاده برای ضریب انتقال حرارت [W/K] یا [W/°C] است .

در روش کارکردی (روش الف) برای کنترل صحت طراحی ،این ضریب با ضریب انتقال حرارت مرجع مقایسه می‌گردد .

– ضریب انتقال حرارت $\hat{H}$: ضریب انتقال حرارت مرجع ، ضریب انتقال حرارت حداکثر مجاز ساختمان یا بخشی از آن است و با استفاده از روابط ارائه شده در این مبحث محاسبه می‌گردد . واحد مورد استفاده برای ضریب انتقال حرارت [W/K] است .

---

1 - Thermal conductivity
2 - Thermal Resistance

- **ضریب انتقال حرارت سطحی مرجع $\hat{U}$ [1]:**

ضریب انتقال حرارت سطحی مرجع ، ضریب انتقال حرارت سطحی انواع مختلف جداره‌های تشکیل دهندهٔ پوسته خارجی ساختمان (دیوار، سقف ، کف ، جدار نور گذر ، در و ...) است که دراین مبحث برای محاسبهٔ ضریب انتقال حرارت مرجع $\hat{H}$ مورد استفاده قرار می‌گیرد . واحد مورد استفادهٔ ضریب انتقال حرارت سطحی مرجع $[W/m^2.k]$ است .

ضریب انتقال حرارت سطحی U :

ضریب انتقال حرارت سطحی قسمتی از پوسته خارجی ساختمان که برابر است با توان حرارتی منتقل شده از سطحی از آن ، با مساحت یک متر مربع در صورتیکه اختلاف دمای داخل و خارج برابر یک درجه باشد . این ضریب دراین مبحث برای محاسبهٔ ضریب انتقال حرارت طرح H مورد استفاده قرار می‌گیرد . واحد مورد استفاده ضریب انتقال حرارت سطحی $W/m^2.\ k$ است .

عوامل ویژه

عواملی که نقش تعیین وضعیت ساختمان را از نظر صرفه‌جوئی در مصرف ایفا می‌کنند این عوامل شامل دو نوع اصلی و فرعی می‌باشند .

- **ضریب تصحیح انتقال حرارت مرجع γ :**

ضریبی که در صورت طراحی مناسب و بهره‌گیری بهینه از انرژی خورشیدی درمناطق سردسیر برای تصحیح مقادیر انتقال حرارت مرجع محاسبه می‌گردد .

اینرسی حرارتی :

قابلیت کلی پوسته خارجی دیوارهای داخلی در ذخیره کردن انرژی (با جذب آن) و باز پس دادن آن (در صورت لزوم) برای به حداقل رساندن نوسان‌های دما و بارگرمایی – سرمایی در فضاهای کنترل شده ساختمان . گروه بندی اینرسی حرارت کلی ساختمان با استفاده از جرم سطحی مفید ساختمان صورت می‌گیرد .

---

1 - overall coefficient of heat transfer

– شاخص خورشیدی I_s:

ضریبی که بر اساس آن ، مقدار بهره‌گیری ساختمان از انرژی تابشی خورشید تعیین می‌شود .

– ضریب انتقال خورشیدی سطح نورگذر S_i:

نسبت انرژی عبوری به انرژی تابیده شده به سطح نور گذر

– روز درجه سرمایش[1]:

واحدی براساس دما و زمان ، که برای برآورد مصرف انرژی و تعیین بار سرمایش یک ساختمان در اوقات گرم سال به کار می‌رود . روز درجه سرمایش برابر است با مجموع اختلاف دمای متوسط روزانه نسبت به ۲۱ درجه سانتیگراد مربوط به دوره‌ای از سال که دمای متوسط روزانه از ۲۱ درجه سانتیگراد بالاتر است .

– روز درجه گرمایش[2]:

واحدی بر اساس دما و زمان ، که برای برآورد مصرف انرژی و تعیین بار گرمایشی یک ساختمان در اوقات سرد سال به کار می‌رود . روز درجه گرمایش برابر است با مجموع اختلاف دمای متوسط روزانه نسبت به ۱۸ درجه سانتیگراد مربوط به دوره‌ای از سال که دمای متوسط روزانه از ۱۸ درجه سانتیگراد پائین‌تر است

1 -cooling Degree Days
2 - Heating Degree Days

فصل هفتم

روش‌های مدیریت و صرفه‌جویی انرژی الکتریکی

ضرورت مدیریت انرژی الکتریکی

۱-۱- مقدمه:

یکی از اهداف استراتژیک بخش انرژی الکتریکی کشور، مصرف انرژی به شکل بهینه و مناسب آن می‌باشد. از آنجائیکه ظرفیت تولید انرژی الکتریکی با توجه به هزینه سنگین سرمایه‌گذاری در آن محدود می‌باشد، لذا افزایش میزان بهره‌وری از ظرفیت موجود در کشور تأثیر بسیار مطلوبی در زمینه هزینه و سرمایه‌گذاری در بخش تولید، انتقال و توزیع انرژی الکتریکی را بدنبال خواهد داشت.

یکی از ابزارهای مطرح در این بخش، استفاده از روش‌های مدیریت بار و انرژی است. لذا معرفی مدیریت بار و اهداف آن با استفاده از بررسی‌های انجام شده در صنایع مختلف کشور ضرورت دارد.

منافع ناشی از اقدامات صرفه‌جوئی،در عین حال که به سود صنایع کشور است در ارتقاء اقتصاد ملی و امکان بهره‌گیری از فرصت‌های اقتصادی ناشی از عدم سرمایه‌گذاری‌های کلان در بخش عرضه انرژی، مفید خواهد بود.

در مورد انرژی الکتریکی شامل توان مصرفی در اوقات پرباری بویژه اوج مصرف و همینطور کاهش انرژی واحد تولید با توجه به شرایط فنی و نوع فناوری در بخش صنعت کشور، بدلیل مدیریت پذیری بهتر در قالب اقدامات کوتاه مدت و میان مدت می‌تواند مؤثر بوده و باعث کاهش اختلاف اوج مصرف و پایه شود.

۱-۲- شناخت امکانات و محدودیت‌های بار و انرژی الکتریکی

انرژی الکتریکی به دلیل قابلیت اندازه‌گیری و کنترل بهتر و همینطور(به دلیل محدودیت ناشی از عدم امکان ذخیره‌سازی)از سایر انواع انرژی متمایز است. سرمایه‌گذاری انرژی در تأسیسات تولید برق برحسب نیروگاه‌های مختلف از ۳۰۰ تا ۱۰۰۰ دلار برای هر کیلووات قدرت اسمی منصوبه متفاوت است و بالاخره در شرایط کشور ما برای تولید، انتقال و توزیع یک کیلووات قدرت الکتریکی در حدود ۱۴۰۰ دلار و ۲۸۰۰۰۰ ریال سرمایه‌گذاری اولیه و صرف دوره زمانی نسبتاً طولانی (۴ تا ۱۰ سال) ضروری است.

در یک سیستم برق، برنامه‌ریزی توسعه، اساساً بر محور اقدامات زیر صورت می‌گیرد:

۱. شناخت و ارزشیابی وضع موجود (شامل تأسیسات و میزان درآمد حاصله از عملیات)
۲. پیش‌بینی تقاضای بار (MW) و انرژی (MWh) دوره‌های زمانی آینده
۳. بررسی و انتخاب بهترین حالت فنی و اقتصادی توسعه تأسیسات تولید، انتقال و توزیع بمنظور حصول به اهداف پیش‌بینی شده با توجه به قابلیت آمادگی و ضریب اطمینان سیستم
۴. ارزیابی منابع مالی مورد نیاز برای توسعه تأسیسات و تعیین هزینه تمام شده که بر این اساس، تدوین ساختار تعرفه‌های مناسب برق با لحاظ کردن سیاست‌های اجتماعی و اقتصادی انجام می‌گیرد.
۵. ویژگی سیستم قدرت ایجاب می‌کند تا به منظور امکان ارائه خدمات به مصرف کنندگان، علاوه بر میزان توان عملی تولید، ظرفیتی (در شرایط مناسب حداقل صفر درصد) نیز به عنوان ذخیره در دسترس باشد. سیستم برق بایستی در هر لحظه از زمان آمادگی تأمین تقاضا را داشته باشد و همین محدودیت است که اهمیت صرفه‌جوئی در آن را اولویت ویژه می‌بخشد.

در زمینه عرضهٔ نیروی برق، تا به حال سیاست‌های توسعه‌ای اجرا شده ومسلماً ادامه خواهد یافت. در سال ۱۳۸۵ قدرت نامی نیروگاه‌های وزارت نیرو بالغ بر ۴۵۱۳۸/۸ مگاوات گردید که حدوداً ۱۰ درصد نسبت به سال قبل افزایش داشته است. از مجموع قدرت نامی نیروگاه‌های نصب شده وزارت نیرو ۳۶/۴ درصد سهم نیروگاههای بخاری ، ۲۷/۶ درصد سهم نیروگاه‌های گازی، ۱۸/۸ درصد سهم نیروگاه‌های چرخه ترکیبی ، ۱ درصد سهم نیروگاه‌های دیزلی و۱۶/۱درصد سهم نیروگاه‌های برق‌آبی می‌باشد.

در سال ۱۳۸۵ تولید انرژی نیروگاه‌های وزارت نیرو از مرز ۱۸۱ میلیارد کیلووات ساعت گذشت که در مقایسه با سال قبل از آن معادل ۶/۱ درصد رشد داشته است. دراین سال قدرت سرانه به ۶۴۰/۳ وات و تولید سرانه به ۲۷۳۳/۲ کیلووات ساعت رسید که نسبت به سال گذشته به ترتیب از رشدی معادل ۶/۴ و ۶/۲ برخوردار بوده است.

حداکثر بار همزمان تأمین شده به ۳۲۵۹۲ مگاوات و حداکثر نیاز مصرف همزمان و هم روز اصلاح شده به ۳۳۳۳۰ مگاوات رسید که نسبت به سال قبل به ترتیب معادل ۱۰/۳ و ۵/۶ درصد رشد را نشان می‌دهد.

طی سال‌های اخیر رشد بار در شبکه برق کشور نزدیک به ۱۰ درصد (در سال) و رشد انرژی در حدود ۸ درصد بوده است. که این امر مبین این نکته مهم است که اکثر مصارف ایجاد شده طی سالهای اخیر در بخش‌های غیر مولد (از قبیل خانگی - تجاری) تمرکز داشته که معمولاً دارای ضریب بار خوبی نیستند. سهم مصارف برق بخش صنعت (که دارای ضریب بار مناسب است) در سال ۸۵ به حدود ۳۲ درصد رسیده است. در حالیکه بخش خانگی و تجاری ۳۴ درصد کل مصرف برق کشور را بخود اختصاص می‌دهد.

بالا بودن سهم مصارف خانگی و تجاری، اولویت این بخش‌ها در صرفه‌جویی بیشتر را مطرح می‌نماید ولی مشکلات عمده این بخش‌ها ناشی از کثرت تعداد مصرف کنندگان و وجود الگوهای رفتاری است که طبعاً طرح مسائل فرهنگی را نیز می‌طلبد. در بخش خانگی و تجاری توجه به موضوع روشنایی اهمیت اساسی دارد.

۱-۳- ضرورت مدیریت مصرف برق در صنایع کشور

در برابر رشد سریع مصرف برق (به ویژه توان الکتریکی) عموماً دو راه حل پیش پای ما است. راه حل اول افزایش بیش از پیش ظرفیت‌ها است. این امر به مفهوم مصرف بیشتر منابع مالی در بخش‌های ناهمگن با نیازهای واقعی اقتصادی کشور است که با توجه به محدودیت منابع مالی عملاً امکانپذیر نمی‌باشد. راه حل دوم عبارت است از تصحیح الگوی مصرف برق و به عبارتی دیگر حذف مصارف غیر ضروری یا جابجایی زمانی مصرف و ... که هم به سود مصرف کننده بوده و در عین حال به توزیع عادلانه‌تر منابع کشور منتهی می‌گردد.

یکی از روش‌های مدیریت مصرف برق به مفهوم تغییر و بهینه‌سازی الگوی مصرف با حفظ سطح رفاه یا تولید است. بنابراین کنترل رشد بار، تغییر شکل منحنی بار، استفاده از منابع اختصاصی (مثلاً تأسیسات برق داخلی صنایع)، صرفه‌جوئی در برق مصرفی برای واحد تولید و ... همه در این مقوله‌اند. همچنین از دیدگاه بهبود سیستم عرضه، ضروری است تا راندمان نیروگاهها افزایش، میزان تلفات سیستم کاهش و ضریب بار و ضریب قدرت شبکه بهبود پذیرد و در این راستا توجه به فناوری جدید از قبیل کاربرد نیروگاههای سیکل ترکیبی به منظور افزایش راندمان نیروگاههای گازی، بررسی امکان استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر نیز باید مورد توجه قرار گیرند.

نتایج مدیریت مصرف برق که از دیدگاه مصرف کننده کاهش هزینه برق است از دیدگاه سیستم برق و اقتصادی عمومی کشور به مفهوم : تقلیل مخارج سرمایه‌گذاری ، رفع محدودیت از ظرفیت‌های موجود، فراهم کردن زمینه‌های پخش اقتصادی قدرت [1]، کاهش قیمت تمام شده برق و افزایش کارآیی و ضریب اطمینان سیستم برق می‌باشد.

مدیریت مصرف برق در بلند مدت می‌تواند به یک سیاست توسعه اقتصادی منتهی گردد.

---

1 - Economic Dispatching

مدیریت مصرف برق در بخش صنایع کشور به عواملی از قبیل سطح فناوری، عمر ماشین‌آلات، ارزش افزوده در صنایع و قیمت نهاده‌های صنعتی و ... وابسته است.

مدیریت مصرف برق را بر اساس دوره اجرای تصمیمات، می‌توان به کوتاه مدت، میان مدت و بلندمدت تقسیم‌بندی کرد و از دیدگاه نوع مصرف نیز این گروه بندی را می‌توان به شکل: مدیریت مصرف در روشنایی، سرمایش، گرمایش، تجهیزات موتوری و فرایند دسته‌بندی نمود.

۲- اصول مدیریت بار

راحتی و سهولت کنترل، یکی از دلایل رشد سریع در مصرف الکتریسیته است. پس منطقی است اولین زمینه‌ای که برای کاوش در یک برنامه مدیریت انرژی انتخاب می‌گردد، کنترل‌های بهینه باشد. مثالی در این زمینه، تایمرها و کلیدهایی هستند که در زمان و مکان مورد لزوم، چراغ‌ها را روشن می‌کنند و یا مثالی دیگر، بکارگیری محرکه‌های موتوری جدید با سرعت متغییر(SCR[1] یا VSD[2]) خواهد بود. ریز پردازنده‌ها (کنترل‌های هوشمند) با قیمت مناسب، امروزه بقدری در دسترس هستند که می‌توان گسترهٔ وسیع‌تری از عملیات کنترلی را نسبت به آنچه در گذشته مقدور بود، فراهم کرد.

دومین زمینه کلی، بهینه‌سازی ظرفیت است. بخصوص در موتورهای الکتریکی، اضافه ظرفیت باعث دوگونه عدم کارآیی می‌گردد. اول اینکه، راندمان موتورها در بارهای کمتر از بار نامی کاهش می‌یابد و دوم اینکه ضریب قدرت در بارهای اندک، کمتر می‌شود و در نتیجه موجب وارد شدن تلفات بیشتر در سیستم توزیع الکتریکی می‌شود.

قدم سوم این است که در صورت امکان، بارها را کاهش دهیم، بعنوان مثال می‌توان از بارهای روشنایی نام برد. در ساختمان‌های اداری مدرن، بجز انهایی که اخیراً کارهایی را جهت اصلاح انجام داده‌اند، تقریباً همیشه روشنایی‌های اضافی وجود دارند. این عمل به دو طریق انرژی را تلف می‌کند: اول در الکتریسیته‌ای که این نور را تأمین می‌کند و دوم انرژی‌ای که صرف تهویه هوای گرم اضافی در تابستان می‌شود.

چهارمین قدم، استفاده از فرایندهای کارآمد است. مثال آن استفاده از گرمایشهای مایکروویو یا دی الکتریک (که مستقیماً گرما را به جسم مورد نظر اعمال می‌کنند) بجای استفاده از روشهای دیگر گرمادهی است.

قدم پنجم، بررسی امکان استفاده بیشتر از تجهیزات کارآمدتر است. موتورهای با راندمان بالا، لامپ‌های با راندمان بالا، پمپ‌های حرارتی (بجای گرمایش مقاومتی) ، و بسیاری دستگاههای الکترونیکی حالت جامد که انرژی کمی مصرف می‌کنند، در دسترس می‌باشند.

قدم ششم، بکارگیری روش‌های مخصوص جهت کاهش تلفات است، همچون تصحیح ضریب قدرت[3] یا اصلاح سیستم‌های توزیع برای کاهش تلفات اهمی (I^2R)

---

1 - SCR: Static Control System
2 - VSD: Variable Speed Drives
3 - Power Factor

هفتمین قدم، نگهداری انرژی بصورت مؤثر و تقلیل تلفات است. این مسأله را می‌توان با عایق‌بندی بهتر ساختمانها و لوازمی که دمای بالا دارند، انجام داد. بازیافت گرمای حاصل از موتورها، مبدل‌ها یا تجهیزاتی مانند کمپرسور هوا نیز در این دسته جای می‌گیرند.

قدم هشتم، جستجوی موقعیت‌هائی برای تولید و مصرف متوالی[1] انرژی می‌باشد. بارزترین نمونه آن تولید مشترک برق و حرارت[2] است که اغلب در اماکنی که مقدار زیادی حرارت و الکتریسیته مصرف دارند، امکانپذیر و اقتصادی است. در صنعت، تدابیری که بتواند هم از توربین گازی و هم از توربین بخار به این منظور استفاده کنند، وجود دارد.

قدم نهم، آزمودن فرصت‌هایی برای تبدیل انرژی است. بکارگیری یک موتور با سرعت متغیّر می‌تواند سیستم متحرک مکانیکی را که برای تغییر سرعت بکار می‌رود حذف کند، که منجر به کاهش تلفات می‌گردد- یا تجهیزات پنوماتیک[3] را می‌توان با محرک‌های برقی جایگزین کرد.

۲-۱- انگیزه‌های مدیریت بار

الف) از دیدگاه تولید

نیروگاهها و شبکه‌های انتقال و توزیع بعنوان تأمین کنندگان انرژی الکتریکی برای مشترکین می‌باشند، بنابراین توجه به مدیریت انرژی در آنها، به دلایل زیر مورد لزوم است :

۱. کاهش مصرف برق در ساعات پیک شبکه و در نتیجه کند شدن روند احداث نیروگاه
۲. کاهش و به تعویق انداختن سرمایه گذاریهای لازم جهت احداث شبکه انتقال و توزیع
۳. بهره‌برداری بهینه از ظرفیت‌های موجود شبکه تولید ، انتقال و توزیع
۴. کاهش مسأله ناپایداری احتمالی و در نتیجه بهبود قابلیت اطمینان شبکه
۵. کاهش تلفات داخلی نیروگاهها

ب) از دیدگاه مصرف کنندگان

زمینه فعالیت در همه بخش‌های صنعتی ، تجاری ، خانگی و کشاورزی جهت اعمال مدیریت مصرف برق وجود دارد که برخی از مزایای آن عبارتند از :

۱- کاهش سرمایه‌گذاریهای اولیه به جهت طراحی و انتخاب مناسب تجهیزات مانند ترانسفورماتورها ، الکتروموتورها و اجزاء تأسیسات الکتریکی
۲- افزایش راندمان و کاهش تلفات برق با استفاده از ظرفیت کامل ماشین‌آلات
۳- کاهش هزینه‌های برق حاصل از اصلاح مصرف و انتخاب تعرفه مناسب

---
1 - Cascading
2 - CHP:Combined Heat & Power
3 - Pneumatic

ج) از جنبه محیط زیست

مصرف بهینه برق منجر به کاهش مصرف انرژی اولیه شده و در نهایت انتشار آلاینده‌های زیست محیطی کمتر می‌شود. آلودگی هوا، سلامتی جامعه را تهدید می‌کند و هزینه اجتماعی مضاعفی را ایجاد می‌نماید.

۲-۲- تکنیک‌های اجرای مدیریت بار

در جدول ۷-۱ تکنیک‌های موفق در بخشهای مختلف بمنظور اصلاح منحنی بار خانگی - تجاری و صنعتی معرفی شده است.

جدول ۷-۱-روشهای اصلاح منحنی بار

روش اصلاح منحنی بار	خانگی	تجاری	صنعتی
برش پیک	کنترل مستقیم سیستم‌های تهویه	کنترل سیستم تهویه مرکزی	قطع مصارف غیر ضروری
پرکردن دره	کاربرد سیستم گرمایش الکتریکی	ذخیره سازی سیستم‌های حرارتی	ایجاد شیفت کار شب
جابجایی بار پیک	برنامه‌ریزی مصرف	کاربرد سیستم‌های ذخیره‌ساز حرارتی	انتقال شیفت روز به شب
صرفه‌جوئی استراتژیک	بهبود عایق حرارتی ساختمانها	کاهش شدت روشنایی	کاربرد فرایندهای با راندمان بالا
افزایش بار استراتژیک	کاربرد انرژی الکتریکی به جای فسیلی	کاربرد پمپ حرارتی	کاربرد انرژی الکتریکی بجای فسیلی
انعطاف پذیری بار	کنترل سیکلی	کنترل سیکلی	کنترل سیکلی

پس از شناخت منحنی بار واحد صنعتی و در پی آن، منحنی بار مطلوب و مطالعه مدیریت پذیری فرایند، لازم است روشهای فوق در جهت اصلاح منحنی بار مورد استفاده قرار گیرند.

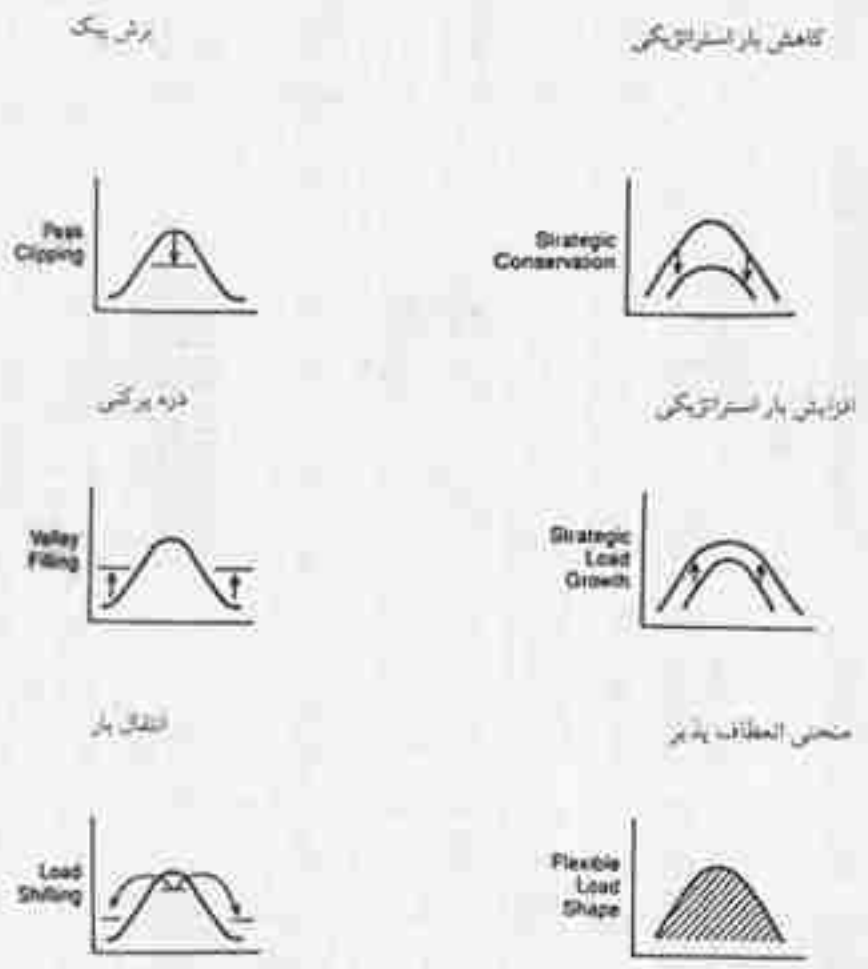
سه روش اول نشان داده شده در شکل شمارهٔ (۷-۱)، تکنیک‌های قدیمی و سه روش دیگر، روشهای نسبتاً جدیدتری را معرفی می‌نمایند. در روش اول اوج سایی توسط کنترل مستقیم بارهای غیر ضروری در هنگام زمان اوج صورت می‌پذیرد. به همین ترتیب در روش دوم، بارهای مورد نیاز و غیر ضروری در زمان غیر پیک وارد شبکه می‌شوند. جابجایی پیک بار نیز بدون اختلال در امر تولید فرایند توسط برنامه‌ریزی‌های بهینه صورت می‌پذیرد. در این بخش استفاده از تأسیسات ذخیره‌سازی انرژی آثار بسیار مطلوبی را از خود نشان می‌دهد.

روش چهارم (صرفه‌جوئی استراتژیک) با تغییر الگوی مصرف در بخشهای مختلف، مصرف انرژی کاهش می‌یابد.

در این روش مصرف کنندگان انرژی الکتریکی با استفاده از روشهائی نظیر تشویق مالی و غیره،کاهش مصرف انرژی الکتریکی را بدون اعمال کنترل و برنامه خاص انجام می‌دهند.

در این حالت رشد فناوری تجهیزات مصرف کننده‌های انرژی الکتریکی نیز به طور طبیعی باعث کاهش مصرف می‌گردد. در روش پنجم نیز رشد مصرف انرژی در کنار روش دوم (پر کردن دره منحنی بار) مورد استفاده قرار می‌گیرد. در نهایت انعطاف پذیری مصرف کننده انرژی الکتریکی بعنوان یک روش مدیریت بار مطرح شده است. در این روش نیز قابلیت اعتماد در بهره‌برداری انرژی الکتریکی مصرف کننده توسط بکارگیری

برخی از تجهیزات مدرن محدود می‌گردد، بطوری که میزان انرژی مصرف کننده توسط تولید کننده تحت کنترل و برنامه‌ریزی قرار می‌گیرد. روش مزبور به فناوری پیشرفته و هزینه بالا نیاز دارد. در عوض، اثرات اصلاح منحنی بار در آن بسیار، مؤثرتر از سایر روشها می‌باشد.



شکل شمارهٔ (۷-۱)- روشهای اصلاح منحنی بار

۲-۳- پارامترهای لازم برای مدیریت بار

۲-۳-۱- منحنی بار و توزیع تداوم بار

نمایش تغییرات توان الکتریکی هر مصرف کننده برق در یک بازه زمانی، مشخص منحنی بار گفته می‌شود. تغییرات زمان بر حسب ثانیه ، دقیقه ، ساعات ، شبانه‌روز ، هفته و ماه قابل تعیین است. بررسی توسانات 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 شبکه قابل بررسی است.

به منظور بررسی توزیع بار بر حسب زمان در یک مجموعه مصرف کنندهٔ برق ، لازم است در فیدرهای[1] اصلی توسط دستگاه تحلیل‌گر اندازه‌گیری بعمل آید . برای بررسی جزئی‌تر تجهیزات مصرف کننده برق با فرآیندها و بخشهای مختلف کار باید فیدر توزیع برق بعد از فیدر اصلی با نصب دستگاه مورد اندازه‌گیری قرار گیرند. با توجه به سیکل فرایند تولید مدت اندازه‌گیری بر حسب یک شیفت کاری ، یک شبانه‌روز یا یک هفته تعیین می‌شود. نمودارهای استخراج شده از دستگاههای اندازه‌گیری که بیانگر تغییرات توان مصرفی بر حسب زمان می‌باشند . منحنی بار مربوط به هر فیدر می‌باشد . تعیین تراز انرژی الکتریکی ، ضریب بار ، وضعیت تقاضا در ساعات پیک و غیر پیک ، حداکثر و حداقل توان مصرفی با مشخص شدن زمان وقوع، عوامل‌هائی هستند که از منحنی بار قابل استخراج و بهره‌برداری است.

۲-۳-۲- ضریب تقاضا (D.F)

شرکتهای تولید و توزیع برق به حداکثر مصرف برق روزانه مشترکین نیاز دارند. چرا که این عامل ظرفیت نیروگاهی تعیین می‌کند را که آنها باید نصب کنند تا پاسخگوی نیازهای توانی مصرف کنندگان باشد. این مقدار به وسیله ضریب تقاضا بصورت زیر تعریف می‌شود.

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

که در آن :

Dmax : تقاضای حداکثر (KW)

CL[2] : بار متصل شده (KW)

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

عموماً، توان درخواستی خریداری شده توسط مشترکین برق از وزارت نیرو بیشتر از تقاضای مصرفی است. در برخی موارد این اختلاف بسیار زیاد می‌باشد. این در حالی است که اضافه بودن تقاضا موجب افزایش هزینه برق می‌شود. افزایش هزینه اولیه بابت خرید انشعاب با قدرت بالا و از طرفی افزایش هزینه جاری بدلیل پرداخت ماهیانه بهای دیماند ناشی از عدم برآورد مناسب می‌باشد. جدول پیشنهادی زیر در تعیین دیماند واقعی و کم کردن اختلاف دیماند قراردادی با دیماند مصرفی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

---

1 - Feeder
2 - Connected Load

مصرف کننده	نوبت‌کاری		
	اول (KW)	دوم (KW)	سوم (KW)
A_1	P_1	P_1	
A_2		P_2	P_2
A_3	P_3		P_3
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
جمع	D_1	D_2	D_3

دیماند مورد نیاز برابر است با بیشترین مقدار از بین D_3,D_2,D_1 $(D=D_{max})$

دیماند خریداری شده (دیماند قراردادی با شرکت برق)

دیماند مصرفی (دیماند واقعی که معمولاً متغیر می‌باشد)

دیماند محاسباتی (حداقل ۹۰ درصد دیماند خریداری شده)

۲-۳-۳-ضریب بار[1]

ضریب بار پارامتر دیگری است که توانائی کارخانه را برای استفاده مؤثر از الکتریسیته اندازه‌گیری می‌کند. در عمل این ضریب، نسبت بار متوسط برای دوره زمانی داده شده به حداکثر باری را که در خلال همان دورۀزمانی رخ می‌دهد را اندازه می‌گیرد. مؤثرترین شکل مصرف، زمانی رخ می‌دهد که ضریب بار در زمانی که E حداقل شده است، در بالاترین مقدار ممکن باشد(همیشه کمتر از یک می‌باشد) ضریب بار به این شکل تعریف می‌شود.

$$LF = \frac{E}{(D\max)(P)}$$

که در آن :

LF : ضریب بار (بدون بعد)

E : انرژی مصرفی در دوره زمانی P (KWh)

Dmax : حداکثر تقاضا در طی دوره زمانی P (KW)

P : دوره زمانی که در آن ضریب بار تعیین می‌شود(برای مثال یک روز، یک ماه ، یک سال)

1 - Load Factor

راههای افزایش ضریب بار

- عدم راه‌اندازی همزمان موتورهای الکتریکی
-کاهش ضریب همزمانی ماشین‌آلات پر مصرف
-کاهش دیماند اضافی واحد صنعتی

۲-۳-۴- توان اکتیو و توان راکتیو

توان اکتیو مقدار توان مفیدی است که در تجهیزات برق به مصرف می‌رسد، و از روابط زیر قابل محاسبه می‌باشد:

مصرف کنندگان سه فاز:
$$P = \sqrt{3}VICOS\varphi$$
$$Q = \sqrt{3}VISin\varphi$$

مصرف کنندگان تک فاز:
$$P = VICos\varphi$$
$$Q = VIsin\varphi$$

بنابراین هر مصرف کننده برق غیر اهمی به مجموع توانهای اکتیو و راکتیو نیاز دارد. البته با توجه به ماهیت تغییرات جریان و ولتاژ به صورت شکل موج سینوسی توان کل یا توان ظاهری (S) از جمع‌برداری توان اکتیو (P) و توان راکتیو (Q) بدست می‌آید.

$$\vec{S} = \vec{P} + \vec{Q}$$

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

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

کسینوس زاویه بین S و P (φ) را ضریب قدرت (Cosφ) گویند.

۲-۳-۵- ضریب توان P.F[1]

همانطور که ذکر شد در حالت عمومی، توان ظاهری بر حسب KVA که باید برای بار تأمین شود، جمع‌برداری توان اکتیو بر حسب کیلووات (KW) و توان راکتیو بر حسب (KVAR) است:

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

که در آن:

S : توان ظاهری (KVA)

1 - Power Factor

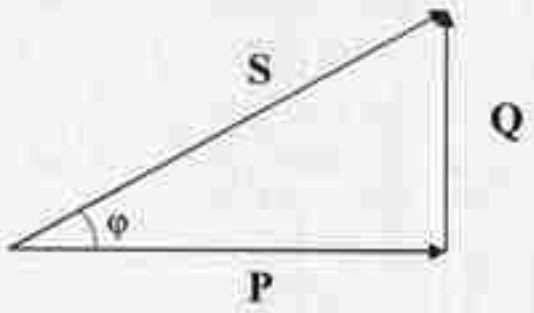
P : توان حقیقی (اکتیو) (KW)

Q : توان راکتیو (KVAR)

پارامتر مفید دیگر، ضریب توان است که از این رابطه بدست می‌آید:

$$P.F = \frac{P}{S} = Cos\varphi$$

این روابط در شکل زیر ترسیم شده‌اند.



ضریب توان همیشه کوچکتر یا حداکثر مساوی یک است. مقادیر بالاتر (نزدیک به یک) برای ضریب توان مطلوب می‌باشند زیرا حاکی از آن است که مؤلفه راکتیو بار کوچکتر است. مقدار کم آن به معنی بزرگ بودن مؤلفه راکتیو است.

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)، تجهیزات پست‌های فشار قوی و سیستم توزیع باید به اندازه‌ای باشند که از عهده جریان مورد نیاز توان ظاهری یا جمع‌برداری مؤلفه‌های توان اکتیو و راکتیو برآیند. این کار مستلزم سرمایه و هزینه‌های عملیاتی عظیمی است. هزینه‌های عملیاتی به دلیل تلفاتی که هنگام تأمین مؤلفه راکتیو بار بوجود می‌آید، افزایش پیدا می‌کند.

ضریب توان را می‌توان با افزودن خازن‌هایی به بار، به منظور جبران بخشی از راکتانس القائی بهبود بخشید. سودمندی این روش بستگی به جنبه‌های اقتصادی هر مورد خاص دارد و عموماً نیازمند بررسی و تحلیل دقیق است.

تأثیرات منفی پائین بودن ضریب قدرت

افزایش هزینه برق

افزایش هزینه تجهیزات به لحاظ بزرگتر شدن اندازهٔ آنها (مانند:کلیدها-فیوزها-کابل‌ها- ترانسفورماتورها)

ایجاد تلفات انرژی الکتریکی در خطوط انتقال و توزیع

کاهش راندمان ترانسفورماتورها

روشهای اصلاح ضریب قدرت

- استفاده از موتورهایی که خوب طراحی شده‌اند
- حتی الامکان استفاده از موتورهای با سرعت زیاد به جای موتورهای با سرعت کم
- پرهیز از انتخاب موتور با توان نامی بزرگتر از بار
- نصب خازن
- در صورت امکان استفاده از موتور سنکرون

۲-۴- روشهای اندازه‌گیری قدرت و انرژی الکتریکی

روشهای اصلی اندازه‌گیری انرژی، ابزار مهمی برای مدیران انرژی به شمار می‌روند. اندازه‌گیری ابزاری است که می‌توان به کمک آن، داده‌های اضافی (برای تکمیل بررسی انرژی و پایش داده‌ها) را به دست آورد. همچنین پایش، گاهی اوقات مشکلات بالقوه‌ای را آشکار می‌سازد که آنها را می‌توان توسط اندازه‌گیری تعریف و اصلاح نمود.

جنبه دیگر اندازه‌گیری انرژی حسابرسی است و در هر برنامهٔ کارآمد مدیریت انرژی، حسابرسی، یک امر اساسی می‌باشد. حسابرسی معمولاً به عنوان مسئولیت فروشنده انرژی شناخته می‌شود. اما وظیفه فروشنده انرژی کاملاً با مدیریت انرژی متفاوت است. وظیفه فروشنده انرژی این است که بر میزان انرژی تحویل شده به یک مشترک نظارت کند و با گرفتن نرخهای مناسب برای صورت حساب‌ها، هزینه مشتری را محاسبه کند. ولی مدیر انرژی می‌خواهد بداند که انرژی در کجا و چگونه مصرف می‌شود و معمولاً به جزئیات آن علاقه‌مند است. در این رابطه، حسابرسی، سه وظیفه اصلی را برآورده می‌سازد.

۱- اطلاعاتی راجع به نرخ مصرف انرژی به دست می‌دهد و لذا می‌تواند برای ارزیابی کارآیی روشهای مدیریت انرژی مورد استفاده قرار گیرد.

۲- می‌تواند اطلاعاتی فراهم آورد که برای کنترل مصرف انرژی و باقی ماندن در محدوده مرزها یا حدود مشخص شده مفید باشد.

۳- اطلاعاتی راجع به کیفیت اجرای برنامه مدیریت به مدیرانرژی باز می‌گرداند.

یکی از دلایل اساسی لزوم حسابرسی این است که اطلاعات حاصل از آن می‌تواند به خودی خود به استفاده کارآمدتر از انرژی کمک کند. تجربه نشان می‌دهد که اگر مدیران انرژی اطلاعات حسابرسی شده برای مجموعهٔ خود را دریافت کنند و آن را بازبینی نمایند، صرفاً اطلاع از میزان انرژی مصرفی می‌تواند به صرفه‌جوئی در هزینه و انرژی منجر شود.

اندازه‌گیری را می‌توان هم با استفاده از دستگاههای موقتی و هم دستگاههای دائمی انجام داد. تجهیزات می‌توانند قابل حرکت یا ثابت باشند. اصولاً ابزارهای دقیق را می‌توان به سه گروه تقسیم نمود:

- ابزارهای قابل حرکت و دستی
- دستگاههای ثابت موقتی که قابلیت ثبت یا نشان دادن کمیات را به مدت چندین ساعت ، روز و یا هفته دارا می‌باشند.
- دستگاههای ثابت دائمی

کلیه دستگاههایی که برای اندازه‌گیری انرژی به کار می‌روند، این کار را به طور غیر مستقیم انجام می‌دهند. به عنوان مثال، دستگاه سنجش کیلووات ساعت مقدار متوسط جریان الکتریکی را اندازه‌گیری کرده و از روابط معلوم ولتاژ و ضریب قدرت برای تعیین انرژی کل بهره می‌گیرد.

۲-۵- اصلاح منحنی بار

منحنی بار شبکه سراسری طی مدت شبانه‌روز دارای وضعیت حداکثر و حداقل مصرف می‌باشد. حداکثر مصرف تقریباً دو برابر حداقل مصرف می‌باشد. مدت زمان حداکثر بار، ساعات اوج یا پیک مصرف شبکه و مدت زمان حداقل بار، ساعات کم باری شبکه نامیده می‌شود. ساعات اوج مصرف پس از غروب آفتاب و تاریک شدن هوا تا نزدیک نیمه شب اتفاق می‌افتد. در تعرفه‌های برق مدت تعیین شده برای ساعات پیک ۴ ساعت و زمان آن در شش ماهه اول سال با شش ماهه دوم، یک ساعت متفاوت است. در شش ماهه اول سال بین ساعات ۱۹ الی ۲۳ و در شش ماهه دوم سال بین ساعات ۱۸ الی ۲۲ می‌باشد. ساعات کم باری بعد از نیمه شب و با کم شدن شدید مصرف‌کنندگان شروع می‌شود و تا اوایل صبح ادامه دارد. مدت تعیین شده برای ساعات کم باری بطور متوسط ۸ ساعت و زمان آن در شش ماهه اول از ساعت ۲۳ الی ۶ و در شش ماهه دوم از ساعت ۲۲ الی ۷ است. بقیه مدت شبانه‌روز، ساعات عادی تلقی می‌شود.

تفاوت زیاد مصرف بین ساعات پیک و غیر پیک، از لحاظ تولید و عرضه برق، افزایش تلفات، ناپایداری و غیر اقتصادی بودن تأمین انرژی الکتریکی در نیروگاهها را به دنبال دارد. لذا اصلاح منحنی بار شبکه و افزایش ضریب بار (L.F) مستقیماً متأثر از منحنی بار مصرف کنندگان است. تأمین توان در نیروگاه بستگی به دیماند مصرفی مشترکین دارد. مطالعه و انجام ممیزی در فرایندهای صنعتی، مدیریت در بخش‌های خانگی و تجاری راهکارهای افزایش ضریب بار و کاهش تقاضا در ساعات پیک را مشخص خواهد کرد.

همانطور که قبلا نیز اشاره گردید اقدامات کلی در تغییر و اصلاح منحنی بارعبارتند از:

الف- پیک سائی[1]

ب- دره پر کنی[2]

ج- انتقال بار[3]

الف - پیک سائی (حذف بار در ساعات پیک شبکه) - این روش در مورد بارهایی می‌تواند اعمال شود که به صورت غیر ضروری در ساعات پیک استفاده می‌شود و قطع آنها صدمه‌ای بر روند تولید از نظر کیفی و کمی ندارد.

1- Peak Shaving
2 - Valley Filling
3 - Load Shifting

ب – پر کردن دره (افزایش بار در ساعات غیر پیک شبکه) – در صورتی که در ساعات غیر پیک خصوصاً شب، مصرف پائین باشد، با افزایش آن باعث پر کردن دره در منحنی بار شبکه و در نتیجه بالا بردن ضریب بار شبکه می‌شویم. برنامه‌ریزی جهت ایجاد مصرف جدید در راستای افزایش تولید و یا طرح توسعه.

ج – انتقال پیک (انتقال بار از ساعات پیک به غیر پیک) – در واقع مهمترین عامل در اجراء مدیریت بار و تأثیر آن بر روی منحنی بار، انتقال بار از ساعات پیک به غیر پیک می‌باشد.

۳– تعرفه‌های برق و مدیریت تقاضا

۳–۱– تعرفه‌های برق بخش صنعت

اجزای تشکیل دهنده بهای برق بر اساس تعرفه‌های وزارت نیرو که در هر دوره قرائت کنتور در قبوض برق اعمال می‌شود به شرح ذیل است:

۱. بهای انرژی اکتیو : قیمت مصرف اکتیو به ازاء یک کیلووات ساعت (KWh/ریال)
۲. بهای دیماند : قیمت توان مصرفی به ازای یک کیلووات (KW/ریال)
۳. بهای انرژی راکتیو: هزینه مصرف انرژی راکتیو بیش از مقدار مجاز
۴. ضریب فصلی : افزایش ۲۰ درصد بهای برق در فصل تابستان
۵. اعمال ضرایب ساعات پیک و کم باری طی مدت شبانه‌روز

موارد فوق و اعمال هر یک در تعیین کل هزینه برق یک واحد یا مشترک صنعتی، بهای برق در قالب دو گزینه ۱ و ۲ طبق تعرفه‌های تعیین شده از طرف وزارت نیرو، مورد محاسبه قرار می‌گیرد. مصرف کنندگان برق در ابتدای هر سال با توجه به شرایط مصرف برق کارخانه و وضعیت تولید، می‌توانند یکی از گزینه‌ها را انتخاب نمایند. لذا بهای برق برای هر دو گزینه در جداول ذیل آورده شده است.

قابل ذکر است قیمت در اینجا بر مبنای تعرفه‌های سال ۸۳ می‌باشد.

الف – بهای انرژی اکتیو

گزینه	انشعاب		
	فشار قوی (۶۳ KV و بالاتر)	فشار متوسط (۱۱ KV و بالاتر)	فشار ضعیف (۳۰ KW و بالاتر)
۱	۱۳۴/۵	۱۴۲/۵	۱۶۱/۵
۲	۱۵۰/۳	۱۶۲/۲	۱۸۲/۷

ارقام در جدول فوق به ریال می‌باشد (قیمت یک کیلووات ساعت انرژی اکتیو)
انشعاب فشار قوی شامل کلیه انشعابهای بیش از ۶۳ کیلووات می‌باشد .
انشعاب فشار متوسط شامل کلیه انشعابها با ولتاژ بیش از ۱۱ کیلووات و کمتر از ۶۳ کیلووات می‌باشد .
انشعاب فشار ضعیف شامل کلیه انشعابها با ولتاژ کمتر از ۱۱ کیلووات تا قدرت بیش از ۳۰ کیلووات می‌باشد.

ب – بهای دیماند

بهای یک کیلووات دیماند قراردادی (KW/ریال)

گزینه	۱	۲
قیمت	۱۱۸۷۰	۵۹۳۵

نحوه محاسبه هزینه دیماند

دیماند	حالت اول	حالت دوم	حالت سوم
مصرفی	کمتر از ۹۰ درصد دیماند قراردادی	بین ۹۰ تا ۱۰۰ درصد دیماند قراردادی	بیش از ۱۰۰ درصد دیماند قراردادی
محاسباتی	۹۰ درصد دیماند قراردادی	دیماند خوانده شده	۱۰۰ درصد دیماند قراردادی و جریمه

دیماند قراردادی ، مقدار توان بر حسب کیلووات (KW) که از وزارت نیرو توسط مشترک خریداری شده است .
دیماند مصرفی ، مقدار حداکثر توان مصرفی یک واحد صنعتی در یک دوره فرانت کنتور که توسط ماکسیمتر ثبت شده است .
دیماند محاسباتی ، مقدار توان مورد محاسبه بر مبنای جدول فوق برای دریافت کل هزینه دیماند می‌باشد.

ج – بهای انرژی راکتیو

با توجه به محدودهٔ ضریب قدرت (Cos φ) که حداقل مجاز آن ۰/۹ می‌باشد ، اعمال هزینه انرژی راکتیو (KVAR) در قبوض برق نیاز به محاسبه ضریب قدرت (Cos φ) مصرف کننده می‌باشد. ضریب زیان تعیین کننده هزینه راکتیو است که از روابط زیر بدست می‌آید.

$$\text{ضریب قدرت } \cos\varphi = \frac{\text{مصرف اکتیو}}{\sqrt{(\text{مصرف انرژی راکتیو})^2 + (\text{مصرف انرژی اکتیو})^2}}$$

$$\text{ضریب زیان} = \frac{0.9}{Cos\varphi} - 1$$

هزینه انرژی راکتیو در یک دوره مشخص قرائت کنتور یا یک مرحله صدور قبض برق، برابر است با حاصل ضرب عدد ضریب زیان در مجموع هزینه دیماند و هزینه انرژی.

د - ضریب فصلی

به علت افزایش مصرف برق درفصل تابستان بهای برق شامل بهای انرژی ، بهای دیماند و هزینه راکتیو به میزان ۲۰ درصد در ماههای تیر ، مرداد و شهریور نسبت به سایر فصول سال بیشتر است.

بهای انرژی اکتیو و دیماند مطابق جدول زیر تغییر می‌یابد

گزینه	بهای انرژی (KWh/ریال)			بهای دیماند (KW/ریال)
	انشعاب			
	فشار قوی (۶۳ KV تا)	فشار متوسط (۱۱ KV تا)	فشار ضعیف (۳۰ KW تا)	
۱	۱۶۱/۴	۱۷۱	۱۹۳/۸	۱۴۲۴۴
۲	۱۸۰/۳۶	۱۹۴/۶۴	۲۱۹/۲۴	۷۱۲۲

ه - ضرایب ساعات پیک و کم باری

به منظور افزایش ضریب بار شبکه سراسری برق کشور و کاهش مصرف برق در ساعات پیک (مدت ۴ ساعت) و توزیع مناسب‌تر تقاضای توان ، ضرایب افزایش و کاهش بهای برق در قالب کنتورهای دو تعرفه و سه تعرفه مطابق جدول زیر می‌باشد .

		ساعات عادی	ساعات پیک	ساعات کم باری
مدت	شش ماهه اول	۷-۱۹	۱۹-۲۳	۲۳-۷
	شش ماهه دوم	۶-۱۸	۱۸-۲۲	۲۲-۶
نوع کنتور		ضرایب محاسبه		
دو تعرفه		۱	۱/۸	-
سه تعرفه		۱	۳/۳	۰/۲۵

تعیین ضریب قدرت و ضریب زیان

اطلاعات واقعی استخراج شده از یک دوره قبض برق صنعتی در اینجا مورد بررسی قرار گرفته است.

نوع کنتور : سه تعرفه

مصرف اکتیو ساعات عادی (معمولی) : ۲۸۳،۲۰۰ (KWh)

مصرف اکتیو ساعات پیک (اوج بار): ۷۵،۲۰۰ (KWh)

مصرف اکتیو ساعات کم باری : ۱۶۷،۲۰۰ (KWh)

مصرف انرژی راکتیو : ۵۲۴،۰۰۰(KVAR)

محاسبات جهت تعیین ضریب قدرت ، ضریب زیان ، هزینه راکتیو و هزینه کل برق :

کل مصرف اکتیو = ۲۸۳،۲۰۰ + ۷۵،۲۰۰ + ۱۶۷،۲۰۰ = ۵۲۵،۶۰۰ (KWh)

$$\text{ضریب قدرت } \cos\varphi = \frac{۵۲۵۶۰۰}{\sqrt{(۵۲۵۶۰۰)^۲ + (۵۲۴۰۰۰)^۲}} = ۰/۷۱$$

$$\text{ضریب زیان} = \frac{۰/۹}{۰/۷۱} - ۱ = ۰/۲۷۱۲$$

هزینه راکتیو = ۰/۲۷۱۲ (هزینه دیماند + هزینه انرژی اکتیو)

کل هزینه برق = هزینه راکتیو + هزینه اکتیو + هزینه دیماند

۳-۲- توصیه‌های مدیریت بار در دو کارخانه

- مدیریت در کارخانه شماره ۱

جابجایی بار[1]

پیک سایی را می‌توان از طریق مهار مستقیم بخشی از مصارف انجام داد، باتوجه به سه شیفت بودن بخشهای مختلف کارخانه، امکان پیکسایی در این قسمت‌ها منتفی است اما تغییر ساعات کاربری ماشین‌آلات و دستگاههای ناپیوسته[2] و انتقال آنها به ساعات غیر پیک، صرفه‌جوئی قابل ملاحظه‌ای را در پی خواهد داشت.

با بررسی‌های بعمل آمده در واحدهای سنگ‌شکن و آسیای گلوله‌ای دوغاب معمولی، این واحدها را می‌توان در زمان اوج بار خاموش کرده تولید این واحدها را به ساعات غیر پیک منتقل نمود .

1- Load Shifting
2- Batch Instruments

با توجه به ظرفیت مخزن بالمیل‌های دوغاب و ظرفیت تولید واحد خشک کن افشانه ای[1] امکان خاموش نمودن دستگاهها در ساعات اوج بار وجود دارد، در این صورت میزان صرفه جویی بعمل آمده به شرح زیر خواهد بود:

میانگین توان مصرفی واحد سنگ شکن در ساعات اوج بار ۷ KW

میانگین توان مصرفی ۱۲ واحد بالمیل‌های دوغاب در ساعات اوج بار ۳۷۵ KW

ظرفیت مخزن بالمیل‌های دوغاب

۱۹۰ m^3 × ۱/۶ ×۳۰۴ Ton

میزان صرفه‌جوئی بعمل آمده حاصل از جابجایی پیک

۳۸۲(KW) × ۴(ساعت) × ۳۰۰ (روز) ×۱۴۸/۸

= (تفاوت ضریب عادی با اوج بار) ۰/۸۲ × (قیمت پایه انرژی در سال ۸۲ برای کنتورهای دو تعرفه به ریال) ریال در سال ۵۶۰۰۰۰۰۰

با نصب کنتور سه تعرفه صرفه‌جوئی هزینه حاصل از جابجایی پیک به شرح ذیل خواهد بود:

۳۸۲ KW × ۴ ساعت × روز ۳۰۰ × (۲۷۰/۸-۳۷/۲) ریال = ۱۰۷،۰۰۰،۰۰۰ ریال

در مجموع جابجایی پیک با کنتور دو تعرفه معادل ۵۶ میلیون ریال و با کنتور سه تعرفه ۱۰۷ میلیون ریال درسال صرفه‌جوئی هزینه برق خواهد داشت .

با بررسی بعمل آمده بر روی قبوض برق مربوط به سالهای ۱۳۸۱ و ۱۳۸۲ مشخص گردید که بهای برق محاسباتی کارخانه در قالب گزینه ۲ انجام می‌شود . با تجزیه و تحلیل قبوض ۵ ماه که شامل مصرف برق ۱۷۰ روز می‌باشد ، مجموع بهای برق این تعداد روز ۱،۵۷۴،۰۰۰،۰۰۰ ریال بوده که با انتخاب گزینه ۱ مجموع بهای برق برای همین تعداد روز با همان مصارف ۱۴۸۷۰۰۰۰۰۰ ریال خواهد شد .

لذا انتخاب گزینه ۱ بجای گزینه ۲ حدوداً به میزان۸۷ میلیون ریال طی ۱۷۰ روز،معادل ۱۸۰ میلیون ریال (یک صد و هشتاد میلیون ریال) در طول سال کاهش هزینه برق بدنبال خواهد داشت. محاسبات در جدول صفحه بعد ارائه شده است .

انتخاب گزینه ۱ : ریال ۱۸،۰۰۰،۰۰۰ = ۱۷۰ ÷ ۳۶۰ ×۸۷،۰۰۰،۰۰۰ : صرفه‌جوئی اقتصادی برای کارخانه در طول یکسال

جابگزینی کنتور سه تعرفه

در کنتورهای سه تعرفه ساعات عادی ، اوج بار ، کم باری به ترتیب ۱۲ ساعت ، ۴ ساعت و ۸ ساعت می‌باشد که البته این زمانبندی برای کنتورهای دو تعرفه ۲۰ ساعت برای ساعات عادی و ۴ ساعت برای اوج بار تعیین شده است .

کنتور سه تعرفه		عادی	اوج بار	کم باری
ساعات فصل	زمستان	۶-۱۸	۱۸-۲۲	۲۲-۶

1 - Spray Drier

	تابستان	۷-۱۹	۱۹-۲۳	۲۳-۷
سهم زمانی تعرفه‌ها (درصد)		۵۰	۱۶/۷	۳۳/۳
ضریب محاسبه قیمت برق		۱	۳/۳	۰/۲۵

کنتور دو تعرفه		عادی	اوج بار
ساعات فصل	زمستان	۲۲-۱۸	۱۸-۲۲
	تابستان	۲۳-۱۹	۱۹-۲۳
سهم زمانی تعرفه‌ها (درصد)		۸۳/۳	۱۶/۷
ضریب محاسبه قیمت برق		۱	۱/۸۲

با بررسی قبوض برق کارخانه بطور نمونه و با توجه به اندازه‌گیریهای انجام شده در طول دوره ممیزی انرژی توسط دستگاههای آنالیزور توان و با عنایت به استفاده از کنتور سه تعرفه در آن کارخانه وضعیت انرژی مصرفی و هزینه برق کارخانه نمونه از قرارذیل میباشد.

در صورت استفاده از کنتور سه تعرفه و با احتساب ضرایب ۱ برای ساعات عادی ، ۳/۳ برای ساعات اوج بار و ۰/۲۵ برای ساعات کم باری سالانه در حدود ۱۵ میلیون ریال صرفه‌جوئی اقتصادی برای آن کارخانه در پی خواهد داشت .

صرفه‌جوئی اقتصادی حاصل از تعویض کنتور ۱۵/۰۰۰/۰۰۰ (Rial /year)

هزینه نصب کنتور سه تعرفه ۵/۰۰۰/۰۰۰ (Rial)

زمان بازگشت سرمایه ۴ ماه می‌باشد. ۵,۰۰۰,۰۰۰ ÷۱۵,۰۰۰,۰۰۰ = ۰/۳۳ Year ≅ ۴ (Month)

استفاده از تعرفه جمعه

با توجه به اینکه برخی از تجهیزات و ماشین‌آلات کارخانه مانند کوره‌ها و ... در روزهای جمعه نیز مشغول بکار می‌باشند استفاده از کنتورهای تعرفه جمعه علاوه بر ثبت مصرف این بخشها، باعث کاهش هزینهٔ برق نیز خواهد شد .

در روزهای جمعه، بهای انرژی ساعات اوج بار در مورد اشتراکهای دارای کنتور سه تعرفه با ضریب ۰/۷۶ محاسبه می‌شود و در مورد اشتراکهای دارای کنتور دو تعرفه بهای انرژی ساعات اوج بار و کم باری معادل بهای انرژی ساعات عادی می‌باشد .

مثال زیر را در نظر بگیرید

انرژی مصرفی در ساعات اوج بار در روزهای جمعه در سال (KWh) ۲۳۰,۰۰۰

هزینه اوج بار مصرفی روزهای جمعه در کنتور دو تعرفه در سال (Rial) ۶۲,۳۰۰,۰۰۰

کاهش هزینه انرژی با استفاده از کنتور تعرفه جمعه در سال (Rial) ۱۴,۹۰۰,۰۰۰

هزینه نصب کنتور تعرفه جمعه (Rial) ۳,۰۰۰,۰۰۰ ریال

زمان بازگشت سرمایه ۳ ماه می‌باشد. ۳,۰۰۰,۰۰۰ ÷۱۴,۹۰۰,۰۰۰ = ۰/۲ Year ≅ ۳ (Month)

لازم به ذکر است هزینه‌های انرژی، بر مبنای سال ۱۳۸۲ محاسبه گردیده است و هزینه نصب کنتور سه تعرفه و جمعه جمعاً در حدود ۸،۰۰۰،۰۰۰ ریال می‌باشد.

– مدیریت بار در کارخانه نمونه
پیک سائی در آسیابهای دوغاب
(بالمیل‌های تهیه بدنه)

تولید سالانه این کارخانه برابر است با:

متوسط تولید روزانه = ۳۷۴۲۴ ÷ ۳ = ۱۲۴۷۵ m^2

متوسط تولید سالیانه = ۱۲۴۷۵ m^2/day× ۳۳۵ day/year= ۴۱۷۹۰۱۳ m^2/year

با توجه به ظرفیت تولید اسمی کارخانه ، ۴/۰۰۰/۰۰۰ متر مربع در سال ، تولید کاشی طی سه روز اندازه‌گیری مصرف برق در حد ظرفیت اسمی بوده است. مصرف انرژی الکتریکی سالیانه بر اساس اندازه‌گیری برابر است با :

میانگین مصرف انرژی الکتریکی روزانه = ۷۳۱۳ KWh

میانگین مصرف انرژی الکتریکی سالیانه = ۷۳۱۳ × ۳۳۵ =۲،۴۴۹،۸۵۵ KWh

درصد سهم مصرف و ضرایب هزینه برق در ساعات شبانه روز

	عادی	اوج بار	بی باری
درصد سهم مصرف واقعی	٪۴۲	٪۱۷/۵	٪۴۰/۵
درصد سهم مصرف یکنواخت	۵۰	۱۷	۳۳
ضریب هزینه (K)	۱	۲/۵	۰/۴

با توجه به جدول فوق و مصرف سالیانه 2449855 KWh در این واحد، هزینه سالیانه برق با وضعیت فعلی طبق جدول زیر می‌باشد. محاسبهٔ هزینه‌ها طبق رابطه زیر انجام شده است.

هزینه سالیانه هر نوبت (ریال) = (KWh سالیانه) × (درصد سهم مصرف واقعی) × ۶۳/۵ × ۱/۰۵ K

	عادی	اوج بار	کم باری	جمع کل
هزینه (میلیون ریال)	۶۷/۲	۷۱	۲۶/۳۲	۱۶۴/۵

جهت کاهش هزینه برق این واحد با مصرف سالیانه KWh ۲۴۴۹۸۵۵، سه طرح مدیریت مصرف پیشنهاد می‌گردد. با توجه به مصرف KWh ۷۳۱۳، طی ۲۴ ساعت حاصل از اندازه‌گیری و توان هر بالمیل برابر KW ۹۰ ، بالمیل ساعت مورد نیاز برابر است با :

۷۳۱۳ ÷ ۹۰ = ۸۱/۳

با در نظر گرفتن مدت ۸ الی ۹ ساعت (میانگین ۸/۵ ساعت) برای هر دوره کار بالمیل ، بطور متوسط تعداد بالمیل‌های مورد نیاز طی ۲۴ ساعت برابر است با :

۸۱/۳ ÷ ۸/۵ = ۹/۶

پس طی ۲۴ ساعت تعداد ۱۰ بالمیل موجود ، بطور متوسط هر کدام تنها یکبار مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند.

ظرفیت مخازن ذخیره دوغاب با حجم m^3 ۲۶۰ برابر است با :

۲۶۰ m^3 × (۱/۵۷ ton/m^3 دانسیته دوغاب) = (۴۰۸/۲ ton)

مقدار دوغاب تولیدی از ۱۰ بالمیل در یک دوره کاری برابر است با :

۱۰ × ۲۳ = ۲۳۰ (ton)

بنابراین مخازن موجود ، گنجایش ذخیره‌سازی دوغاب، تا ۱/۵ برابر مقدار مورد نیاز را دارند.

با فرض اینکه عنوان ضریب رزرو بالمیل‌ها (۱> z > ۰) و (۱ − z) باشد و تعداد بالمیل‌های مورد بهره‌برداری طی ۲۴ ساعت ۱۰ باشد ، لذا سه طرح پیشنهادی ارائه می گردد.

پیک‌سائی در آسیاب‌های لعاب

منحنی بار طی ۴ روز مصرف برق دریافتی از فیدر این واحد، نشان می‌دهد که بالمیل‌ها تقریباً بطور یکنواخت در طول شبانه‌روز و بدون توجه به ساعات پیک مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. در صورتیکه با برنامه‌ریزی و باتوجه به ۱۱ ساعت کارکرد هر بالمیل در یک شارژ، ۲۸۰۰۰ لیتر مصرف روزانه لعاب، با بکارگیری بالمیل‌ها در ۸ ساعت کم باری و ۳ ساعت از بار عادی تأمین می‌گردد.

- محاسبه هزینه فعلی مصرف برق:

توان مورد نیاز : ۴ × ۲۲ + ۴ × ۱۵ = ۱۴۸ (KW)

مصرف سالیانه برق : ۱۴۸ kw/day× ۱۱ hr× ۳۳۵ = ۵۴۵۴۰۰ (KWh)

میانگین هزینه یک کیلووات ساعت:

(ریال) ۶۶/۶۷ = ۶۳/۵ × ۲۴ + ۳/۵ × ۴ × ۰/۴ × ۸ × ۱۲

هزینه فعلی مصرف برق:

(میلیون ریال) ۳۸/۱۸ = ۱/۰۵ × ۶۶/۶۷ × ۵۴۵۴۰۰

- با اعمال مدیریت مصرف و انتخاب یکی از سه حالات ممکن پیشنهادی در جدول زیر ضمن پیکسائی شبکه، صرفه‌جوئی در هزینه مصرف برق این واحد نیز حاصل خواهد شد.

در این جدول هزینه هر کیلووات ساعت مصرف برق بر اساس فعال بودن بالمیل‌ها در ۸ ساعت کم باری و ۳ ساعت از بار عادی محاسبه شده است که برابر است با:

(ریال) ۳۵/۷ = ۶۳/۵ × ۱۱ + ۱ × ۳ × ۰/۴ × ۸

کاهش هزینه مصرف برق نسبت به هزینه فعلی (۱۸/۳۸ میلیون ریال)					
حالات ممکن	توان (KW)	حجم روزانه تولید لعاب	کیلووات ساعت سالیانه	هزینه سالیانه (میلیون ریال)	صرفه‌جوئی نسبت به هزینه فعلی (میلیون ریال)
اول	۴×۴۰×۲۲×۱۵	۸۰۰۰+۲۰۰۰۰	۵۴۵۴۰۰	۴/۲۰	۸/۱۷
دوم	۵×۲۰×۲۲×۱۵	۴۰۰۰+۲۵۰۰۰	۵۱۵۹۰۰	۴/۱۹	۸/۱۸
سوم	۵×۵/۷×۱۵×۲۲	۲۰۰۰+۲۵۰۰۰ ۵۰۰	۴۸۸۳۰۰	۳/۱۸	۸/۱۹

۴- تلفات در سیستم‌های قدرت و راهکارهای کاهش آن

انرژی تولیدی در نیروگاه‌های برق پس از کسر مصرف داخلی نیروگاه‌ها بعنوان انرژی الکتریکی خالص به شبکه‌های انتقال تحویل می‌گردد و پس از طی مسیر خطوط، پست‌های انتقال، فوق توزیع و توزیع، بخشی از آن در سطوح انتقال و فوق توزیع و مابقی در سطح ولتاژ فشار متوسط و فشار ضعیف در اختیار مصرف‌کنندگان قرار می‌گیرد.

در مسیر یاد شده، بخشی از انرژی تولیدی به دلایل ذیل تلف می‌شوند:

- خصوصیات ذاتی تجهیزات شبکه
- نامناسب بودن تجهیزات
- وجود مشکلاتی در شبکه
- استفاده غیرمجاز توسط برخی از مصرف‌کنندگان

آنچه که به مشترکین برق جهت استفاده در وسایل برقی تحویل می‌گردد، نسبت به انرژی تولید شده در نیروگاه ها و انرژی تحویل شده در ابتدای شبکه‌های انتقال تفاوت دارد که تحت عنوان مصرف داخلی نیروگاه و

تلفات شبکه خوانده می‌شود و به غیر از بخشی از آن که ناشی از خصوصیات ذاتی تجهیزات شبکه است، بقیه قابل بررسی، کنترل و کاهش می‌باشد که البته بررسی اقتصادی هر فعالیت در راستای کاهش تلفات ضروری است تا هزینه و منافع آن تراز گردد.

عمده تلفات در ساعات اوج بار اتفاق می‌افتد که لازم است تأسیسات تولید، انتقال و توزیع برق متناسب با نیاز ساعات اوج بار احداث گردند و بدیهی است که این تأسیسات تنها چند ساعت در شبانه‌روز مورد استفاده کامل قرار خواهند گرفت. لذا با عنایت به این مسئله، باید سرمایه‌گذاری کلان برای تأمین حداکثر نیاز و کاهش تلفات انجام داد و یا عدم سرمایه‌گذاری، معادل با اعمال خاموشی و حفظ تلفات در وضع روند فعلی آن خواهد بود.

بخشی از انرژی تولید شده توسط هر نیروگاه در همان نیروگاه به مصارف مختلف می‌رسد که تحت عنوان مصرف داخلی نیروگاه است. از این دیدگاه، هر نیروگاه بعنوان یک مصرف‌کننده بزرگ در نظر گرفته می‌شود که مقدار مصرف آن قابل محاسبه، کنترل و احتمالاً کاهش است. مصرف داخلی نیروگاه حدوداً ۵ درصد از انرژی تولید شده را بخود اختصاص می‌دهد. با کسر مصرف داخلی هر نیروگاه از مقدار انرژی ناخالص تولید شده آن، انرژی خالص تحویلی به شبکه بدست می‌آید که در طول شبکه‌ها دارای دو بخش تلفات می‌باشد.

بدلیل بالا بودن سطح ولتاژ و اتصالات کم در طول مسیر شبکه‌های " انتقال و فوق توزیع" تلفات در این سطح پایین و در حدود ۵ درصد می‌باشد ولی در " شبکه‌های توزیع" بدلیل پایین بودن سطح ولتاژ، اتصالات و انشعابات بسیار زیاد و پراکندگی و گستردگی این شبکه‌ها، تلفات آنها بالا و بیش از ۱۰ درصد است.

در سال۱۳۸۵ تولید انرژی ناویژه در نیروگاه‌های کشور ۱۹۲۶۸۱/۸ گیگاوات‌ساعت بوده است که از این میزان ۸۰۹۲/۶ گیگاوات ساعت صرف مصارف داخلی نیروگاه شده است. با توجه به اینکه در سال ۱۳۸۵ سهم مصرف داخلی نیروگاه‌ها از کل تولید ناویژه ۴/۲ درصد و سهم تلفات شبکه انتقال ۴/۹ درصد و سهم تلفات شبکه توزیع ۱۷/۵ درصد بوده لذا ،کل مصارف داخلی نیروگاه‌ها و تلفات شبکه معادل ۴۳۷۶۱/۸ میلیون کیلووات ساعت برآورد گردیده است.

چنانچه بتوان تلفات شبکه را از ۱۸ درصد به ۱۰ درصد رساند در این صورت سالانه به احداث ۲۴۰۰ مگاوات ظرفیت نیروگاهی نیاز نخواهد بود که ارزش معادل ۳/۴ میلیارد دلار خواهد داشت و علاوه بر این بیش از ۳۴۴۰ میلیارد ریال در هزینه تولید انرژی الکتریکی صرفه‌جویی می‌شود و بیش از ۲ میلیون تن آلاینده کربنی به جو کشور وارد نخواهد شد. به عبارت دیگر هر نیم درصد کاهش تلفات سالانه بیش از ۲۲۰ میلیارد ریال صرفه‌جویی بهمراه خواهد داشت.

۴-۱- انواع تلفات در سیستم قدرت :

مؤلفه‌های عمده تلفات را می‌توان در قالب تلفات فنی و غیرفنی دسته‌بندی نمود که در اینجا ما فقط بر روی تلفات فنی تمرکز خواهیم کرد که به نوبهٔ خود به سه بخش تلفات فنی در سیستم تولید، انتقال و توزیع دسته‌بندی می‌شود.

۴-۲- عوامل افزایش تلفات در شبکه

تلفات فنی شبکه، با افزایش مشترکین و در نتیجه افزایش بار و انرژی مصرفی و جریان عبوری از شبکه‌ها افزایش می‌یابد و چنانچه توسعه شبکه‌ها نیز با همان سرعت و روند صورت نپذیرد، در نتیجه درصد تلفات با روند سریعتری رشد خواهد داشت.

تلفات ناشی از عبور جریان خطوط فشار متوسط به نسبت توسعه شبکه و افزایش قدرت مصرفی هر سال نسبت به سال گذشته از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$\text{ضریب افزایش تلفات} = \frac{L_{new}}{L_{old}} \times \left(\frac{\rho_{new}}{\rho_{old}}\right)^2$$

که در آن L طول شبکه و P توان مصرفی شبکه می‌باشد. بر اساس این رابطه چنانچه رشد بار شبکه را ۷ درصد فرض کنیم و در صورتیکه شبکه هیچگونه توسعه‌ای نداشته باشد، ضریب افزایش تلفات تقریباً ۱/۱۵ است یعنی مقدار تلفات سالانه ۱۵ درصد نسبت به سال قبل رشد خواهد داشت با توجه به روند فروش انرژی برق و افزایش تأسیسات شبکه در طول سالیان گذشته به این نتیجه می‌رسیم که یکی از عوامل افزایش تلفات می‌تواند این موضوع باشد.

یکی دیگر از عوامل عمده افزایش تلفات، عمر تأسیسات است که بر اثر استهلاک، تلفات آنها افزایش می‌یابد و با وجود حجم بالای شبکه‌های انتقال، فوق توزیع و توزیع برق در کشور، همه ساله سرمایه‌گذاری کلانی به منظور توسعه و جایگزینی شبکه‌ها نیاز می‌باشد. بطور متوسط قریب ۳۰ درصد از تأسیسات پستها و خطوط دارای عمر بالای ۲۰ سال می‌باشند.

یکی دیگر از عوامل افزایش تلفات، طول مسیر خطوط توزیع خصوصاً در برق‌رسانی به روستاها می‌باشد که موجب افزایش تلفات اهمی سیستم و افت ولتاژ انتهای خطوط شده است.

۴-۳- محاسبه تلفات انرژی و توان

مقدار تلفات انرژی در یک خط انتقال یا در یک مصرف کننده مشخص، از مجموع تلفات لحظه‌ای توان به دست می‌آید. اگر مقاومت هادیها و جریان عبوری از آنها بترتیب با I_i و R_i نشان دهیم، مقدار تلفات انرژی از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$EL = R_1.\left(\frac{P_1}{U_1.Cos\varphi_1}\right)^2 + \ldots + R_n.\left(\frac{P_n}{U_n.Cos\varphi_n}\right)^2$$

همانطور که این رابطه نشان می‌دهد تغییر هر یک از سه عامل P (توان اکتیو)، U (ولتاژ فاز با فاز) و Cosφ (ضریب قدرت) می‌توانند تلفات توان را تغییر دهند. از آنجا که این عوامل در طول شبانه‌روز، هفته، ماه و فصل در حال تغییر می‌باشند محاسبه تلفات انرژی بدون دسترسی به آن ارقام میسر نمی‌باشد. در محاسبات تلفات انرژی اگر ارقام لحظه‌ای با مقادیر متوسط ساعتی جایگزین شوند، نیاز به ۴×۸۷۶۰ عدد تنها برای مقادیر P، Cos φ، U و R می‌باشد که اگر پارامترهای مؤثر در مقادیر R هم به آن اضافه گردد، اطلاعات مورد نیاز برای محاسبه تلفات انرژی خط انتقال در یک دوره یکساله دشوار می‌گردد. برای رفع این

مشکل یکی از شیوه‌های مناسب محاسبه تلفات انرژی در شبکه‌های برق‌رسانی، بکارگیری مدل‌های متداول می‌باشد.

همانطور که رابطه نشان می‌دهد تلفات توان در هر لحظه به حاصلضرب چند متغیر وابسته می‌باشد که ساده‌سازی آن بدون اعمال بعضی از فرضیات و تقریب ها میسر نمی‌باشد. لذا در این قسمت به این نکات اشاره می‌گردد.

۴-۴- راهکارهای موجود برای کاهش تلفات

۴-۴-۱- راهکارهای کاهش تلفات فنی در سیستم تولید

اولین قدم در راه کاهش تلفات فنی در سیستم تولید، اعمال مدیریت مصرف بر کلیه مصارف داخلی نیروگاهها اعم از تأسیسات و روشنائی می‌باشد. در حقیقت در اینجا با نیروگاه همانند یک مؤسسه مصرف کننده انرژی برخورد می‌شود که فرصت‌های صرفه‌جوئی انرژی در تأسیسات الکتریکی و سیستم روشنائی آن وجود دارد.

عدم استفاده از انرژی الکتریکی جهت سرمایش و گرمایش ساختمان‌های اداری، سالن‌های تولید و کارگاههای نیروگاه یکی دیگر از راهکارهای صرفه‌جوئی انرژی در نیروگاه می‌باشد. نهایتاً تعویض و یا اصلاح ترانسفورماتورها و الکتروپمپهای کم بازده نیز می‌تواند موجب کاهش مصرف داخلی نیروگاه شود.

۴-۴-۲ - راهکارهای کاهش تلفات فنی در سیستم انتقال و فوق توزیع

یکی از راهکارهای اصلی و البته پر هزینه در سیستم انتقال و فوق توزیع انتخاب محل مناسب پست‌های انتقال و احداث این پست‌ها در مناطق مورد نیاز جهت اعمال مانور و کنترل بر سیستم می‌باشد.

سایر راهکارهای کاهش تلفات فنی در سیستم انتقال را می‌توان به شرح زیر برشمرد:

- اعمال جابجائی فاز بر روی خطوط جهت متعادل نمودن امپدانس فازها
- جبران سازی توان راکتیو (نصب خازن سری، بانک خازنی ، راکتور و ادوات FACTS)
- جایگزینی تجهیزات فرسوده
- اعمال پخش بار و توزیع بار اقتصادی
- استفاده از سطوح بالاتر ولتاژ در سیستم انتقال انرژی
- افزایش تعداد باندل‌ها
- حذف هارمونیکهای سیستم انتقال به طرق مختلف
- کلید زنی جهت تغییر توپولوژی شبکه به وضعیت بهینه

۴-۴-۳- راهکارهای کاهش تلفات فنی در سیستم‌های توزیع

در سیستم‌های توزیع یکی از مهمترین راهکارها، اعمال مدیریت مصرف جهت کاهش تقاضا در ساعات پیک می‌باشد که لازمه آن فرهنگ‌سازی و بکارگیری روشهای تشویقی و تنبیهی برای مشترکین است .علاوه بر این راهکارهای ذیل نیز در کاهش تلفات سیستم‌های توزیع مؤثر می‌باشد:

- عدم استفاده از فیدرهای طولانی
- احداث پست‌های فوق توزیع و توزیع در مناطق مورد نیاز
- استفاده از کابل‌های با تلفات پائین و جایگزینی کابل‌های فرسوده
- جبران سازی توان راکتیو
- جایگزینی تجهیزات فرسوده
- استفاده از روشهای نوین کلید زنی جهت رفع مشکلات کیفیت توان
- اعمال پخش بار و توزیع بار اقتصادی
- استفاده از سطوح بالاتر ولتاژ در سیستم توزیع انرژی
- حذف هارمونیکها
- کلید زنی جهت تغییر توپولوژی شبکه به وضعیت بهینه

۵- کنترل توان راکتیو

توان راکتیو، یکی از مهمترین عواملی است که در طراحی و بهره‌برداری شبکه‌های نیرو در نظر گرفته می‌شود. علاوه بر بارها، عناصر شبکه نیز اغلب مصرف کننده توان راکتیو می‌باشند. بنابراین توان راکتیو باید در بعضی از نقاط شبکه تولید شود و سپس به محل‌های مورد نیاز منتقل شود.

در عمل، تمام تجهیزات شبکه نیرو برای ولتاژ نامی طراحی می‌شوند. اگر ولتاژ برابر مقدار نامی خود نباشد، ممکن است باعث آسیب دیدن تجهیزات شبکه و یا کاهش عمر آنها شود. برای نمونه گشتاور موتور القایی با توان دوم ولتاژ ترمینال‌های آن متناسب است و نیز شار نوری یک لامپ با ولتاژ آن تغییر می‌کند. بنابراین تثبیت ولتاژ در نقاط مختلف شبکه کاملاً ضروری است. توان راکتیو مصرفی بارها در ساعات مختلف در حال تغییر است. بنابراین ولتاژ و توان راکتیو دائماً باید کنترل شوند. در ساعات پر بار، بارها قدرت راکتیو بیشتری مصرف می‌کنند. از این رو قدرت راکتیو زیادی می‌باید در شبکه تولید شود. اگر قدرت راکتیو مورد نیاز شبکه تأمین نشود، ولتاژ نقاط مختلف شبکه به ناچار کاهش می‌یابد و ممکن است از حدود مجاز خود خارج شود. نیروگاهها بوسیله سیستم کنترل ولتاژ، کاهش ولتاژ را متوجه می‌شوند و فرمان افزایش تحریک ژنراتور و نتیجتاً افزایش ولتاژ ژنراتور تا سطح ولتاژ نامی را صادر می‌کنند، ولی قدرت راکتیو تولیدی ژنراتورها به خاطر مسائل حرارتی سیم‌پیچ‌ها محدود است و ژنراتورها در ساعات پر بار، به تنهایی نمی‌توانند قدرت راکتیو مورد نیاز کل شبکه را تأمین کنند. بنابراین در این ساعات به وسایلی نیاز است، که بتوان قدرت راکتیو را به شبکه تزریق کرد تا سطح ولتاژ در محدوده مجاز قرار گیرد. بارها و عناصر شبکه در ساعات کم بار، قدرت راکتیو کمی مصرف می‌کنند و ظرفیت خازنی یا کاپاسیتانس خطوط انتقال باعث می‌شود که قدرت راکتیو تولیدی در شبکه افزایش

یابد. در این حالت، ژنراتورها به صورت زیر تحریک[1] بکار می‌افتند و مقداری از قدرت راکتیو اضافی سیستم را مصرف می‌کنند، ولی به خاطر ملاحظات پایداری، قدرت راکتیو مصرفی ژنراتورها نیز محدود است و ژنراتورها نمی‌توانند به تنهایی مسئله اضافه تولید قدرت راکتیو و افزایش ولتاژ ناشی از آن را حل کنند. بنابراین به وسایلی نیاز است که بتوانند در این ساعات ، قدرت راکتیو اضافی سیستم را مصرف کنند. وسایلی را که برای کنترل توان راکتیو و ولتاژ بکار می‌برند کمپانزاتور می‌نامند. تعادل قدرت راکتیو در شبکه، متضمن ثابت بودن ولتاژ است و کنترل قدرت راکتیو به منزله کنترل ولتاژ است.

۵-۱- روشهای کنترل قدرت راکتیو و ولتاژ

۱ - با تزریق قدرت راکتیو به شبکه بوسیله کمپانزاتورهایی که به صورت موازی وصل می‌شود (مانند: خازن، راکتور، ماشین سنکرون و SVC[2])

۲ – با جابجایی قدرت راکتیو در شبکه بوسیله ترانسفورماتورهای متغیر[3] (ترانسفورماتورهای متغیر بیشتر برای تنظیم دامنه ولتاژ بکار می‌رود. در این صورت، قدرت راکتیو به شبکه تزریق نمی‌شود و فقط قدرت‌های راکتیو موجود در خطوط و دیگر عناصر شبکه جابجا می‌شود).

۳ – از طریق کاهش راکتانس القایی خطوط انتقال با نصب خازن سری.

(نقش اصلی خازن سری در بهبود پایداری خطوط طویل است. هنگامی که در خطوط بسیار بلند خازن سری بکار برده می‌شود، از راکتور موازی نیز به طور همزمان برای کنترل ولتاژ حالت‌های کم بار و بی‌بار استفاده می‌شود).

در جبران بار راکتیو اهداف اصلی سه گانه زیر مورد نیاز است:

۱ – اصلاح ضریب توان

۲ – بهبود تنظیم ولتاژ

۳ – متعادل کردن بار

اصلاح ضریب توان و متعادل کردن بار حتی در مواقعی که ولتاژ تغذیه ثابت و مستقل از بار است، مطلوب خواهد بود.

اصلاح ضریب توان به این معناست که توان راکتیو مورد نیاز بار به جای آنکه از نیروگاه دور تأمین شود، در محل نزدیک بار تولید شود. اغلب بارهای صنعتی دارای ضریب توان پس فاز هستند، یعنی توان راکتیو جذب می‌نمایند. بنابراین مقدار جریان بار از آنچه که برای تأمین توان واقعی ضروری است، بیشتر خواهد بود. علاوه بر پرداخت هزینه توان واقعی، مشتری باید بهای هزینه اضافی کابلی که آن را انتقال می‌دهد و هزینه تلفات ژولی اضافی ایجاد شده در کابل تغذیه را نیز بپردازد.

مؤسسات تولید کننده همچنین دلیل کافی برای عدم ضرورت انتقال توان راکتیو غیرضروری از ژنراتورها به بار را دارند و این است که ژنراتورها و شبکه‌های توزیع قادر نخواهند بود در ضریب بهره کامل کار کنند و کنترل

1- Under Excit
2- SVC: Static Var Compensator
3- Tap – changing transformers

ولتاژ در سیستم تغذیه بسیار مشکل خواهد شد. تعرفه‌های برق همواره مشتریان صنعتی را به واسطه بارهای با ضریب توان کم آنها جریمه می‌نمایند و این عمل سالیان متمادی انجام گرفته و در نهایت منجر به توسعه کاربرد سیستم‌های اصلاح ضریب توان در مراکز صنعتی شده است.

تنظیم ولتاژ در حضور بارهایی، که توان راکتیو مصرفی آنها تغییر می‌کند، یک موضوع مهم و در مواردی یک مسئله بحرانی خواهد بود. توان راکتیو مصرفی کلیه بارها تغییر می‌کند، اگر چه مقدار و میزان تغییرات آنها کاملاً متفاوت است. این تغییرات توان راکتیو در تمامی موارد منجر به تغییرات ولتاژ (یا تنظیم ولتاژ) در نقطه تغذیه می‌شود و این تغییرات ولتاژ بر عملکرد مفید و مؤثر کلیه وسایل متصل به نقطه تغذیه مداخله نموده و منجر به امکان تداخل در بارهای مصرف کننده‌های مختلف می‌شود. به منظور جلوگیری از این مسئله، مؤسسات تولید کننده برق معمولاً موظف می‌شوند که ولتاژ تغذیه را در یک حد مجاز نگاه دارند. امکان دارد این حد (مقدار مثلاً ٪۵± میانگین در یک فاصله زمانی چند دقیقه یا چند ساعت، تا یک مقدار بسیار محدودتر تغییر نماید. این مقدار محدودتر از ناحیه بارهای بزرگ و دارای تغییرات سریع که منجر به ایجاد فرورفتگی در ولتاژ و اثر نامطلوب بر عملکرد وسایل حفاظتی یا چشمک زدن لامپ و آزار چشم می‌شود، تحمیل می‌شود. وسایل جبران کننده، نقش اساسی را در ثابت نگاهداشتن ولتاژ در محدوده مورد نظر ایفا می‌کنند. مسئله سوم که درجبران بار، مدّ نظر است متعادل کردن بار است. اکثر شبکه‌های نیرو **Ac**[1] سه فاز بوده و برای عملکرد متعادل طراحی می‌شوند. عملکرد نامتعادل منجر به ایجاد مؤلفه‌های جریان توالی صفر و منفی می‌شود. اینگونه مؤلفه‌های جریان اثر نامطلوبی چون ایجاد تلفات اضافی در موتورها و مولدها، گشتاور نوسانی در ماشین‌های **Ac**، افزایش دندانگی یا ریپل[2] در یکسو کننده‌ها، عملکرد غلط انواع تجهیزات، اشباع ترانسفورماتورها و جریان اضافی سیم زمین را به دنبال خواهد داشت. انواع خاصی از وسایل (از جمله تعدادی از انواع جبران کننده‌ها) در عملکرد متعادل، هارمونیک سوم را کاهش می‌دهند. در شرایط کار نامتعادل این هارمونیک نیز در شبکه ظاهر می‌شود.

هارمونیک‌ها معمولاً بوسیله فیلتر که دارای اصول طراحی متفاوتی با جبران کننده‌ها هستند، حذف می‌شوند. با وجود این، مشکل هارمونیک‌ها اغلب همراه با مسئله جبران پیش می‌آید و لذا همواره مسئله هارمونیک‌ها و پالایش آنها مورد توجه خواهد بود. بعلاوه شمار زیادی از جبران کننده‌ها ذاتاً هارمونیک سازهستند که باید بوسیله فیلتر خارجی تضعیف شوند.

۵-۲- بهبود ضریب توان

محدود کردن توان راکتیو کارخانه‌ها

همانطور که می‌دانیم موتورهای آسنکرون به علت جریان مغناطیسی که لازم دارند باعث تغییرات Cosφ شبکه می‌شوند و هر چه قدرت موتور بیشتر باشد، جریان مغناطیسی کننده آن نیز بیشتر خواهد بود. در ضمن ضریب توان (Cosφ) موتور به بار موتور بستگی دارد. مقدار ضریب توان بر حسب نوع و ساختمان در بار نامی بین ۰/۷۵ تا ۰/۸۸ است و در نیمه بار بین ۰/۴۵ تا ۰/۶ و در بی باری حتی به ۰/۲ نیز می‌رسد.

1-Altennatire Current
2 - Ripple

علت تغییرات (Cosφ) نسبت به بار، این است که موتورها هنگام بی‌باری جریان مغناطیسی زیادی از شبکه می‌گیرند. بعلاوه توان موتورها برحسب وات ناچیز است و فقط به اندازه‌ای است، که تلفات ماشین را بپوشاند. بدین جهت اگر بخواهیم مصرف راکتیو کارخانه‌ای را محدود کنیم ، کافی است، که قدرت موتورها را متناسب با قدرت ماشین‌های افزار انتخاب کنیم. به عبارت دیگر قدرت موتور نباید از مقدار قدرت مکانیکی، که از موتور گرفته می‌شود و کاری که انجام می‌دهد بزرگتر باشد.

دیگر آنکه باید از حرکت بی بار ماشین‌ها حتی الامکان جلوگیری کرد و اگر نحوه کار ماشین‌ها طوری است،که موتورها مدت نسبتاً زیادی به صورت بی بار و یا نیمه بار کار می‌کنند، بهتر است که بویژه موتورهای بزرگ مجهز به کلید خودکار ستاره مثلث باشند و در صورتی که موتور زیر ۵۰٪ توان نامی کار می‌کند سیم پیچ آن به صورت ستاره و در بالای پنجاه درصد توان نامی به صورت مثلث بسته شود. زیرا توان راکتیوی که ماشین‌ها در بار کم دریافت می‌کنند در اتصال ستاره کمتر است. درضمن بهتر است که هیچگاه کابل‌ها از تابلو قطع نشوند، بلکه مصرف کننده‌ها از کابل قطع شوند. این عمل باعث می‌شود، که کابلها در موقع بی‌باری به صورت خازن‌هایی در شبکه باقی بمانند و توان راکتیو سلفی شبکه را جبران کنند.

۵-۳- تلفات در موتورهای القائی سه فاز

تلفات ماشین یا همان تلفات داخلی موتور به دو دسته تقسیم می‌شوند :

۱ – تلفات ثابت شامل :

الف) تلفات هسته در روتور[1] و استاتور[2] بخاطر تلفات هیسترزیس و تلفات جریان گردابی

ب) تلفات ناشی از اصطکاک

ج) تلفات ناشی از تهویه

۲ – تلفات متغیر که با بار تغییر می‌نماید.

الف) تلفات مسی در استاتور

ب) تلفات مسی در روتور

۵-۴- تشریح پخش توان در موتورهای القائی سه فاز

قبل از آنکه آزمایش‌های مربوط به تعیین تلفات درون اینگونه موتورها را توضیح دهیم، قدری درباره چگونگی پخش توان در موتورهای القائی صحبت می‌کنیم. علت این امر آن است که محاسبات عددی در مورد آزمایش‌ها را واضح‌تر می‌سازد.

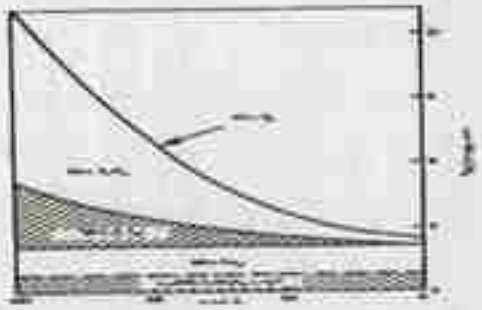
برای سهولت امر، شکل ۷-۳ را در نظر می‌گیریم. هرگاه سیم‌پیچ استاتور به منبع تغذیه (شبکه) وصل گردد، توان الکتریکی وارد موتور می‌شود و چون موتورها سه فاز هستند، این توان وارد شده به موتور اینچنین خواهد بود (بر حسب وات یا کیلووات) :

1- Rotor
2-stator

$$P = \sqrt{3} V_L I_L Cos\theta$$

هنگام آزمایش بر روی موتور ضریب توان($\cos\theta$) مشخص نیست اما با استفاده از روش دو واتمتری می‌توان توان ورودی را سنجید

$P_t = W_1 + W_2$



شکل شمارهٔ ۷-۲-افت توان در موتور های الکتریکی

در استاتور دو نوع تلفات وجود دارد:

الف) تلفات هسته (P_C) که به ولتاژ منبع تغذیه بستگی دارد.

ب) تلفات مسی (P_{Cus}) که به جریان خط بستگی دارد و البته به بار نیز بستگی خواهد داشت.

اگر مجموع تلفات فوق از توان ورودی کسر گردد توان بدست آمده از طریق فاصله هوائی به روتور منتقل می‌شود، لذا:

$P_R = P_i - P_C - P_{Cus}$

در روتور تلفات هسته ناچیز است و تلفات مسی روتور به لغزش (سرعت) بستگی دارد به سهولت می‌توان رابطه تلفات مسی استاتور و توان منتقله شده به روتور را اینچنین نوشت.

$P_{CuR} = SP_R$

پس از اینکه تلفات مسی روتور از توان وارده به روتور کسر شود توان حاصله توسط روتور بدست می‌آید.

$P_{dev} = P_R - P_{CuR}$

اگر توان مکانیکی ناشی از تهویه و اصطکاک از توان حاصله فوق کسر شود توان خروجی موتور بدست می‌آید.

$P_O = P_{dev} - P_M$

در آزمایش‌هایی که بر روی موتور جهت تعیین تلفات فوق الذکر انجام می‌شود مجموع تلفات ناشی مکانیکی و هسته استاتور بدست می‌آید ولی نمی‌دانیم که چه مقدار از این تلفات ثابت، شامل تلفات مکانیکی است و چه مقدار شامل تلفات هسته استاتور می‌باشد ما می‌توانیم چنین فرض کنیم :

الف) کل تلفات ثابت، مربوط به تلفات هسته استاتور بوده و آنرا در مدار استاتور منظور می‌نمائیم.

ب) کل تلفات ثابت مربوط به تلفات مکانیکی روتور بوده و آنرا درمدار روتور منظور می‌کنیم درعمل ممکن است هر دو روش فوق را انجام دهیم ولی در هر مورد خطا حاصل می‌شود زیرا

۱ – درحالت اول که کل تلفات را برای استاتور منظور می‌نمائیم، تلفات مسی محاسبه شده در روتور ناچیز خواهد بود، زیرا تلفات مسی روتور تابعی از توان منتقله از استاتور به روتور است.

۲ – در حالت دوم که کل تلفات را برای روتور منظور می‌نمائیم، تلفات مسی محاسبه شده روتور بسیار زیاد خواهد شد.

اما ما حالت دوم را بیشتر مد نظر می‌داریم یعنی کل تلفات ثابت را متعلق به مدار روتور می‌دانیم زیرا:

الف)تخمین محتاطانه تری از راندمان بدست خواهیم آورد زیرا تلفات محاسبه شده قدری از مقدار واقعی بیشتر خواهد شد.

ب) از آنجائیکه توان مکانیکی (P_M) را صفر نگرفته‌ایم لذا توان خروجی با توان حاصله یکسان نخواهد بود و حقیقت امر هم همین است با این فرضیات تلفات هسته (P_C) را در رابطه P_R صفر می‌گیریم و آنرا یکجا همراه با P_M در معادله P_O منظور می‌کنیم.

۵–۵–آزمایش‌های مربوط به تعیین تلفات

دو آزمایش برای تعیین تلفات موتورهای القائی سه فاز انجام می‌دهیم. اما قبل از این آزمایش‌ها، باید مقاومت مؤثر هر فاز استاتور را بدست آوریم. مقاومتی که از آزمایش DC بدست می‌آید را در ضریب ۱/۲۵ ضرب می‌کنیم تا مقاومت مؤثر هر فاز بدست آید.

$r_e=1.25r_s$

به سهولت می‌توان دریافت که کل تلفات مسی در سیم‌پیچ استاتور اینچنین است:

$P_{Cus}= 3/2\ r_eI^2_L$

در رابطه فوق I_L همان جریان خط می‌باشد.

باید گفت که رابطه فوق برای اتصال Δ (مثلث) و Y(ستاره) هر دو متغیر است، زیرا سیم‌پیچ استاتور در برخی از موتورها بصورت مثلث (Δ) بوده و در برخی بصورت ستاره(Y) می‌باشد.

حال آزمایشی مطابق شکل ۷-۲ انجام می‌دهیم.

۵–۶– روش راه‌اندازی موتورهای القائی سه فاز

دو روش برای راه‌اندازی اینگونه موتورها وجود دارد:

۱ – وصل مستقیم موتور به شبکه (منبع تغذیه)

۲ – استفاده از راه‌انداز

در روش اول (وصل مستقیم) ولتاژ اسمی به ترمینال‌های استاتور اعمال می‌گردد. اما موتورهای آسنکرون سه فاز در لحظه راه‌اندازی بین ۵ تا ۱۰ برابر جریان اسمی خود را از شبکه می‌کشند. مثلاً اگر در یک موتور سه فاز ۲۲۰ ولتی (۲۲۰ ولت ولتاژ خط می‌باشد) جریان اسمی ۱۰ آمپر باشد، لذا در لحظه راه‌اندازی حدود ۵۰ تا ۱۰۰ آمپر می‌کشد که خود مشکلاتی برای موتور و منبع تغذیه فراهم می‌سازد. البته این روش (وصل مستقیم) را می‌توان برای موتورهای کوچک (تا ۵ اسب بخار یا ۳ کیلووانی) اعمال نمود ولی برای موتورهای بزرگتر باید از

راه اندازهای مخصوص استفاده کرد. یکی از روشهای متداول، استفاده از راه‌اندازهای " ستاره – مثلث "می‌باشد. از این راه اندازها می‌توان برای موتورهایی که استاتور آنها بصورت مثلث می‌باشد استفاده نمود.

ابتدا سیم‌پیچ‌های استاتور را مطابق شکل (۷-۳) به کلید " ستاره – مثلث" متصل می‌سازیم. در لحظه راه‌اندازی، کلیدها در وضعیت شماره (۱) قرار دارند و لذا اتصال استاتور بصورت ستاره می‌باشد. هرگاه سرعت موتور بالا رفت و لغزش به حدود ۲۰٪ رسید کلیدها را به وضعیت شماره ۲ می‌بریم. حال استاتور به وضعیت مثلث برده می‌شود. با استدلال زیر می‌بینیم که بدین ترتیب جریان راه‌اندازی به یک سوم تقلیل می‌یابد. در اتصال مثلث جریان راه‌اندازی اینچنین است :

$$I_P = \frac{V_L}{Z}$$

$$I_{L\Delta} = \sqrt{3}\, I_P = \frac{\sqrt{3}\, V_L}{Z}$$

در اتصال ستاره جریان راه‌اندازی اینچنین است :

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

$$I_P = \frac{V_P}{Z} = \frac{V_L}{\sqrt{3}Z}$$

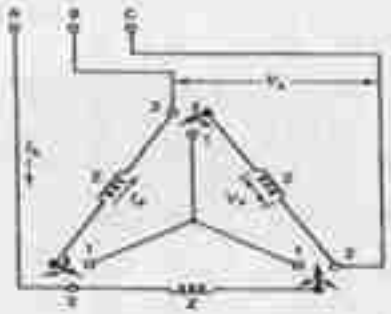
$$I_{LY} = I_P = \frac{V_L}{\sqrt{3}Z}$$

$$\frac{I_{LY}}{I_{L\Delta}} = \frac{V_L/(\sqrt{3}Z)}{(\sqrt{3}\,V_L)/Z} = \frac{1}{\sqrt{3}\sqrt{3}} = \frac{1}{3}$$

$$I_{LY} = \frac{1}{3} I_{L\Delta}$$

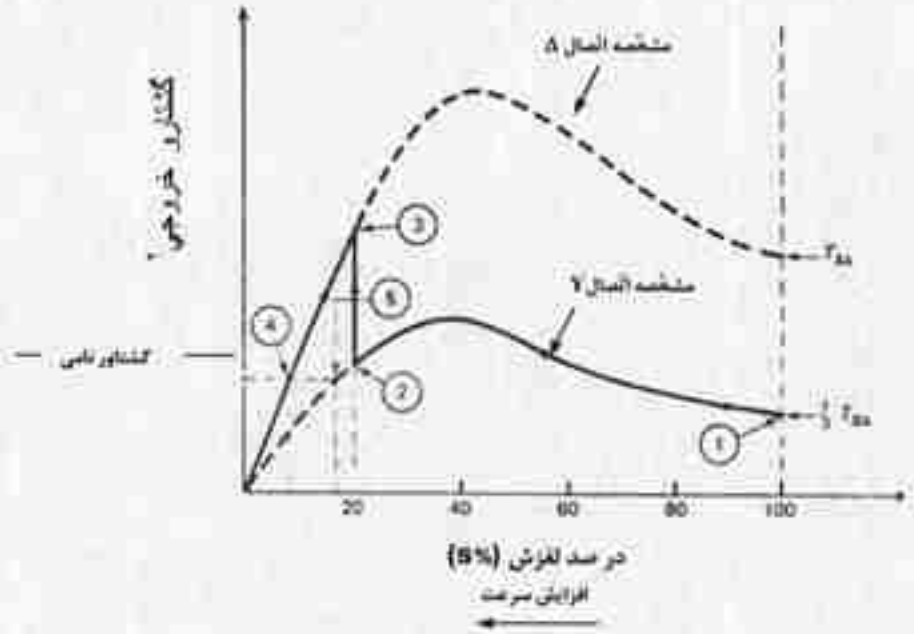
می‌بینیم که جریان خط در لحظه راه‌اندازی در حالت ستاره، ثلث جریان خط در حالت مثلث خواهد بود.

چون با اتصال ستاره شروع می‌کنیم و جریان کمتر از حالت مثلث است لذا گشتاور نیز کمتر خواهد بود. در لحظه راه‌اندازی ولتاژ دو سر سیم‌های استاتور در حالت ستاره $V_L/\sqrt{3}$ می‌باشد و از رابطه در می‌یابیم که گشتاور راه‌انداز در حالت ستاره به ثلث تقلیل می‌یابد. در نتیجه در این نوع راه‌اندازی که با حالت ستاره شروع



شکل (۷-۳)- شمای راه انداز ستاره مثلث در موتورهای القائی سه فاز

می‌شود منحنی TSC[1] مطابق شکل (۷-۴) می‌باشد . در لحظه راه‌اندازی ازنقطه شماره (۱) شروع می‌کنیم و با سرعت گرفتن موتور به نقطه (۲) می‌رویم در این لحظه است که از وضعیت ستاره به وضعیت مثلث تغییر مکان می‌دهیم. لذا یک افزایش ناگهانی در گشتاور پدید می‌آید (نقطه ۳) ، موتور از نقطه (۳) به شتاب خود ادامه می‌دهد تا بالاخره به نقطه (۴) مربوط به شرایط اسمی ماشین برسیم . باید گفت که اگر از وضعیت ستاره به وضعیت مثلث نمی‌رفتیم در منحنی پائینی باقی می‌ماندیم و نقطه کار ماشین همان نقطه (۵) خواهد بود. همانطور که مشاهده می‌شود سرعت در نقطه (۵) به مراتب کمتر از سرعت در نقطه (۴) است، زیرا لغزش در نقطه (۵) از لغزش در نقطه (۴) بیشتر می‌باشد.



شکل (۷-۴)- منحنی گشتاور-لغزش هنگام استفاده از کلید راه انداز ستاره مثلث

1- TSC:Torque speed curve
2- Output Torque

فصل هشتم

صرفه‌جوئی انرژی در سیستم های تولید هوای فشرده

خلاصه

در این مجموعه گردآوری شده به سازوکارهای اساسی در بهره‌برداری از سیستم‌های هوای فشرده خواهیم پرداخت.

راهکارها و فرصت‌های بهبود کارآیی انرژی و صرفه‌جوئی انرژی در کاهش تلفات هوای فشرده تولید شده و نیز استفاده کارا از هوای فشرده تشریح خواهد گردید. در مجموع، روشهای محاسباتی ساده در تخمین صرفه‌جوئی‌های انرژی ناشی از فرصت‌های صرفه‌جوئی انرژی در کمپرسورها ارائه می‌گردد.

۱- مقدمه

هوای فشرده یکی از یوتیلیتی‌های[1] رایج مورد استفاده در فرایندهای صنعتی بوده و سهم بسزایی را در هزینه عملیاتی تأسیسات ساخت و تولید بخود اختصاص می‌دهد. در تولید هوای فشرده، انرژی مورد استفاده انرژی الکتریکی است. متأسفانه، بدلایل:

نشت هوای فشرده، انتخاب نامناسب کمپرسورها، مصرف نامصحیح هوای فشرده و کنترل ضعیف روی سیستم هوای فشرده،

اغلب سیستم‌های هوای فشرده دارای بازده پائین هستند. در این فصل، ظرفیت‌های صرفه‌جوئی انرژی برای کاهش هزینه‌های عملیاتی در سیستم‌های تولید هوای فشرده توضیح داده می‌شوند. در ابتدا، یک مرور اجمالی

---

1 - Utility

بر مبانی متراکم‌سازی گاز خواهیم داشت. سپس، اجزای اصلی لازم برای تولید، توزیع و بهره‌گیری از هوای فشرده را مورد بحث قرار خواهیم داد.

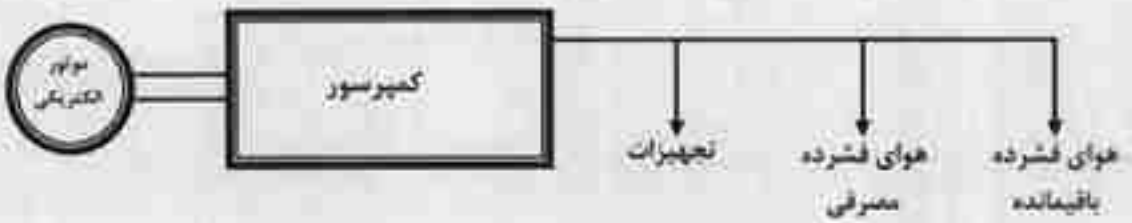
بالاخره در پایان، روشهای محاسباتی هر کدام از راهکارهای صرفه‌جوئی انرژی جهت کمی‌سازی میزان صرفه‌جوئی با مثالهای تشریحی را ارائه خواهیم داد.

۲ - مروری بر مبانی اولیه

شکل (۲-۱) نشان دهندهٔ یک سیستم ساده تولید هوای فشرده است که با یک موتور الکتریکی کار می‌کند. هوای فشرده عموماً در یک سیستم مرکزی تولید می‌شود و سپس به محل‌های مختلف با کاربردهای متفاوت توزیع می‌گردد.

کلاً، یک سیستم هوای فشرده شامل چندین جزء به قرار زیر است:

- یک یا چند کمپرسور که به یک محرک متصل هستند. این محرک می‌تواند یک موتور الکتریکی باشد.
- یک سیستم توزیع با لوله‌کشی‌ها، شیرها، تنظیم کننده‌ها و کنترل‌ها که این سیستم تجهیزات مختلف مصرف کنندهٔ هوای فشرده را تغذیه می‌کند.
- سایر تجهیزات مانند دریافت کننده‌ها[1]، خشک‌کن‌ها[2] و صافی ها[3](فیلترها)



شکل شمارهٔ (۸-۱) نمودار کارکرد سیستم هوای فشرده توسط یک موتور الکتریکی

بازده کلی یک سیستم هوای فشرده وابسته به سه مرحله است:

مراحل تولید، توزیع و بکارگیری یا استفاده. در خلال یک ممیزی، ارزیابی هر کدام از مراحل مهم است بدین منظور که عملکرد و نهایتاً پتانسیل بهبود کارایی انرژی یک سیستم هوای فشرده، مورد ارزیابی قرار گیرد.

یک مرور مختصری از مبانی اولیه و عواملی که روی مصرف انرژی در هر مرحله از تولید، توزیع و استفاده تأثیر می‌گذارند متعاقباً توضیح داده خواهند شد.

---

1 - Receivers
2 - Dryers
3 - Filters

شکل (۸-۲) طرحواره یک سیستم هوای فشرده متداول را نشان می‌دهد.

شکل شمارهٔ (۸-۲)- طرحواره یک سیستم هوای فشرده متداول

۳ – دسته‌بندی انواع کمپرسورها

نوع انتخاب کمپرسور برای هر کارگاه، بایستی با توجه به میزان فشار کاری و مقدار مصرف مورد نیاز کارگاه، صورت گیرد و با توجه به دو نکته یعنی فشار کاری و مقدار تولید، کمپرسورها را از نظر ساختمان داخلی به انواع مختلفی دسته‌بندی می‌کنند. شکل (۸-۳) نمودار مقایسه دبی و فشار خروجی در کمپرسورهای مختلف را نشان می‌دهد. معیار این دسته‌بندی را می‌توان به دو گروه عمده تقسیم‌بندی کرد:

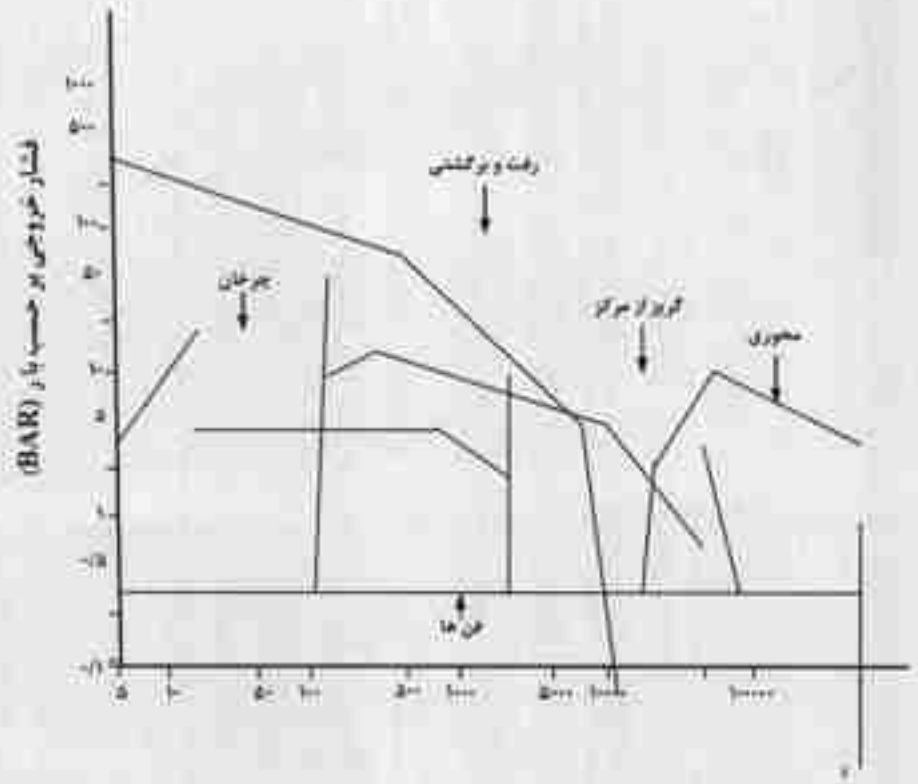
گروه اول:

کمپرسورهایی هستند که دارای آهنگ حجمی کم و فشار زیاد هستند. این گروه بر اساس حبس هوا در یک فضای محدود و کوچک کردن فضای موجود و به تبع بالا رفتن فشار آن عمل می‌کنند. کمپرسورهای پیستونی[1] از موارد پر مصرف این گروه هستند.

1- Reciprocating Compressors

گروه دوم:

کمپرسورهایی هستند که دارای آهنگ حجمی زیاد و فشار کمترند. این گروه نیز بر اساس قانون عمومی سیالات و مکش سیال عمل می‌کنند. این نوع کمپرسورها هوا را ازیک جهت مکیده واز جهت دیگر با شتاب خارج می‌کنند. با توجه به استفاده هوا با آهنگ حجمی بسیار بالا در توربین گاز، کمپرسور آن، از این گروه است.



شکل شمارهٔ (۸-۳)- نمودار مقایسهٔ دبی و فشار خروجی در کمپرسورهای مختلف

۳-۱- انواع کمپرسورها:

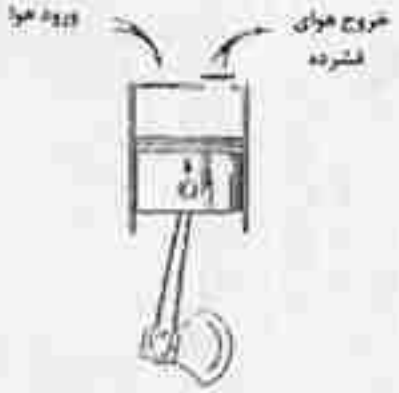
الف- کمپرسورهای جابجایی[1]

این نوع از کمپرسورها یک مقدار معینی از هوا را در مدت معینی از زمان در یک سیلندر جذب می‌کند. این سیستم حجم هوا را کاسته و آن را فشرده می‌سازد. پس از این فشرده‌سازی، هوا که فشار آن بالا رفته تخلیه می‌گردد. این نوع کمپرسورها به چهار گونه یا طبقه تقسیم بندی می‌شوند.

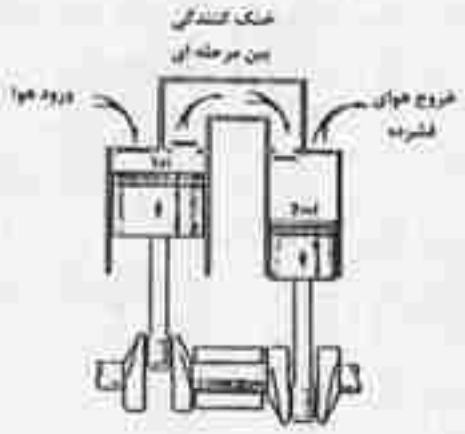
1 - Displacement Compressors

کمپرسورهای با پیستونهای رفت و برگشتی[1]:

این نوع از کمپرسورها شکل (۸-۴-الف) و (۸-۴-ب) با مدلهای متنوع و اندازه‌های مختلف بصورت خیلی رایج در صنعت مورد استفاده قرار گرفته‌اند. توان مورد نیاز برای این کمپرسورها می‌تواند از KW ۱ تا بیش از KW ۹۰۰۰ باشد. سطح فشار می‌تواند تا ۳۹۰ بار یا بیشتر نیز افزایش یابد. این نوع کمپرسورها در مقایسه با سایر انواع کمپرسورها، کاراترین نوع هستند.



شکل شمارهٔ (۸-۴-الف)- کمپرسور رفت و برگشتی تک مرحله ای

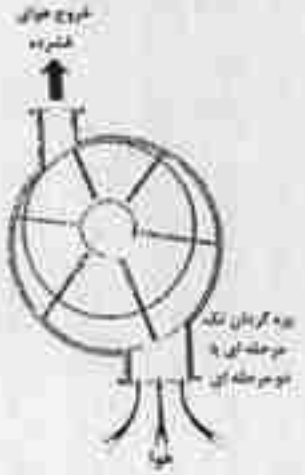


شکل شمارهٔ (۸-۴-ب)- کمپرسور رفت و برگشتی دو مرحله ای

1 - Compressors with Reciprocating Pistons

کمپرسورهای چرخان[1]:

این نوع کمپرسورها حرکات ارتعاشی بسیار کم دارند شکل (۸-۴-ج). در نتیجه در سکوت کامل کار می‌کنند از نظر کمی سر و صدا این کمپرسورها قابل رقابت با کمپرسورهای نوع پیستونی هستند. از طرف دیگر، کمپرسورهای چرخان که ظرفیت توان ۹۳KW یا بیشتر را دارند توان بالاتری را مصرف می‌کنند که در گستره ۶٪ تا ۲۰٪ این توان مصرفی به ازای هرمتر مکعب در دقیقه (m^3/min) تغییر می‌نماید. به عبارت دیگر مصرف انرژی ویژه[2] کمپرسورهای چرخان حدود ۶٪ تا ۲۰٪ بیش از مصرف توان ویژه کمپرسورهای پیستونی است.



شکل شمارهٔ (۸-۴-ج)- کمپرسور چرخان

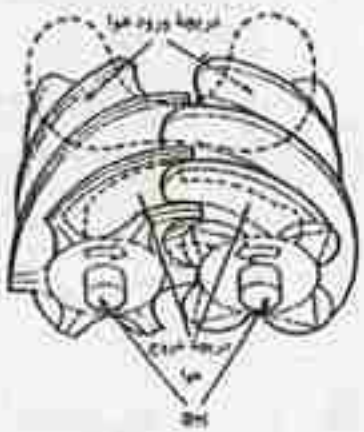
کمپرسورهای پیچشی[3]:

هنگامی که از ترکیب این نوع کمپرسورها، شکل (۸-۴-د)، و سیستم‌های کنترل و هشدار دهنده پیچیده استفاده شود، می‌توانند به مدت طولانی، بدون نیاز به تعمیرات اضافی، کار کنند. کمپرسورهای پیچشی مزایایی مانند هزینه سرمایه‌گذاری پائین‌تر، توزیع یکنواخت‌تر هوا، و نیاز به فضای کمتری را دارا هستند.

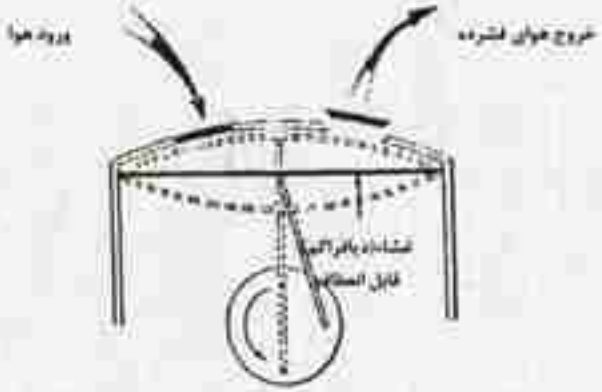
کمپرسورهای دیافراگمی[4]:

این نوع از کمپرسورها، شکل (۸-۴-ه) کمپرسورهای کوچکی بوده و تک مرحله‌ای هستند. آنها قادرند که فشار هوا را توسط دیافراگم قابل انعطافی که دارند تا ۷ بار افزایش دهند.

1- Rotary Compressors
2- SEC = Specific Energy Consumption
3 - Screw Compressors
4 - Compressors with Diaphragm



شکل شمارهٔ (۸-۴-د)- کمپرسورپیچشی



شکل شمارهٔ (۸-۴-ه)- کمپرسور دیافراگمی

ب - کمپرسورهای دینامیکی[1]

کمپرسورهای دینامیکی بطور پیوسته هوا را مکیده و سپس سرعت جریان هوا را افزایش می‌دهد. این افزایش سرعت به منزلهٔ افزایش انرژی جنبشی هواست. هنگامی که سرعت جریان هوا در سیستم توزیع شروع به کاهش می‌نماید، انرژی جنبشی شروع به تبدیل شدن به انرژی فشاری می‌کند. بقیه انرژی جنبشی که تبدیل به انرژی فشاری نشده است تبدیل به انرژی حرارتی می‌شود. خنک‌سازی از ضروریات این نوع از کمپرسورهاست.

1-Dynamic compressors

توربو کمپرسورها:

این نوع از کمپرسورها بر دو نوع کمپرسورهای گریز از مرکزی[1] و محوری[2]، شکل (۸-۵)، می باشند. استفاده از این کمپرسورها عموماً درصنایع و فرایندهای شیمیایی،کارخانجات فولاد،پالایشگاهها و پتروشیمی ها و سیستمهای انتقال سیال که به جریان بسیار بالای هوانیازدارندمی باشد. تا ظرفیت $۴۰(m^3/min)$ ، نمی توانند بطور کارا (با کارآیی بالاتر)کار کنند. به این دلیل این نوع از کمپرسورها در سیستم های هوای فشرده کارخانجات کوچک بکار گرفته نمی شوند.

شکل شمارهٔ (۸-۵)- توربو کمپرسور

۴- تولید هوای فشرده

تولید هوای فشرده، مفهوم نسبتاً ساده‌تری را دارد و عموماً، توان مکانیکی اعمال شده به کمپرسور سبب افزایش فشار هوای ورودی می‌گردد. این هوای ورودی به کمپرسور شرایط جوّی(اتمسفریک) (فشار ۱۰۰ Kpa یا ۱ bar) را داراست. کمپرسورها می‌توانند با انواع مختلف، مانند کمپرسورهای گریز از مرکزی[3]، کمپرسورهای جابجایی[4] یا کمپرسورهای پیچشی[5] با یک یا دو مرحله انتخاب شوند.

برای واحدهای کوچک یا متوسط، کمپرسورهای پیچشی بطور رایج در کاربردهای صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. جدول (۸-۱) نمونه فشار، نرخ هوادهی و توان مکانیکی مورد نیاز بصورت گستره‌هایی برای انواع مختلف کمپرسورها را نشان می‌دهد.

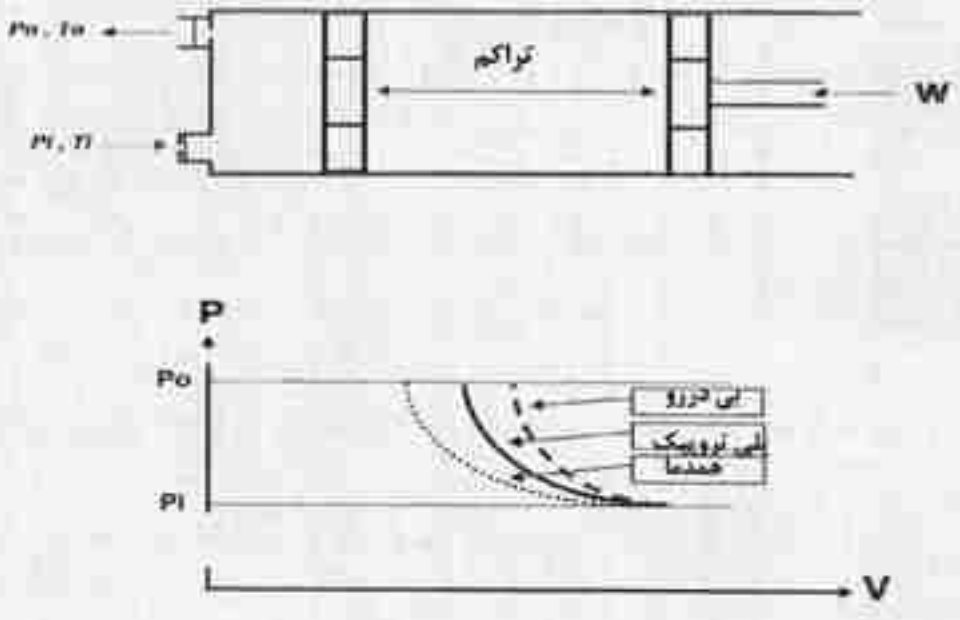
1- Centrifugal Compressors
2- Axial Compressors
3 - Centrifugal Compressors
4 - Displacement
5 - Screw

جدول شمارهٔ (۸-۱) – گستره‌های کاربرد برای انواع مختلف کمپرسورها

نوع کمپرسور	آهنگ حجمی هوادهی (m^3/sec)	فشار مطلق (Mpa)	توان مکانیکی مورد نیاز (KW/L/sec)
جابجایی	۰-۵	۰/۳۴-۲۷۵/۹	۰/۳۵-۰/۳۹
گریز از مرکزی	۰/۵-۷۰/۵	۳/۵-۱۰۳۴/۳	۰/۴۶
پیچشی	۰/۵-۱۶/۵	۰/۱-۱/۸	۰/۳۳-۰/۴۱

با اعمال قانون اول ترمودینامیک روی گازهای ایدئال می‌توان تحلیل ساده‌ای از انرژی را در کمپرسورها انجام داد. با یک مرور ابتدایی روی تحلیل انرژی اعمال شده برای تراکم گاز ایده‌آل می‌توان پارامترهای مؤثر در کاهش انرژی برای تولید هوای فشرده را شناسایی نمود.

شکل (۸-۶) نمایانگر یک پیستون – سیلندر در خلال تراکم یک گاز ایده‌آل است.این شکل ،کل تغییرات فشار را بصورت تابعی از حجم اشغال شده توسط گاز در یک دیاگرام P-V ، برای تراکم‌های همدما[1] ، بی دررو[2] و پلی تروپیک[3] نشان می‌دهد.



شکل شمارهٔ (۸-۶)- فرایندهای تراکم همدما و بی دررو و پلی تروپیک

1 - Isothermal
2 - Adiabatic
3 - Polytropic

رابطهٔ بین دماها و فشارها در ورودی (یا مکش) و خروجی یا (تخلیه) یک کمپرسور در فرآیندهای تراکم پلی تروپیک، بی دررو و همدما می‌تواند بصورت رابطهٔ زیر خلاصه شود:

$$\frac{T_e}{Ti}=\left[\frac{P_e}{p_i}\right]^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

رابطهٔ شمارهٔ (۸-۱)

که در این رابطه :

$\gamma=\left[\frac{C_p}{C_v}\right]$ (یعنی نسبت گرمای ویژه در فشار ثابت به گرمای ویژه در حجم ثابت) دارای مقادیر زیر می تواند باشد:

۱= γ ، هنگامی که تراکم همدما باشد

K = γ ، هنگامی که تراکم بی دررو باشد (k = ۱/۴ برای هوای خشک)

K > γ ، هنگامی که تراکم پلی تروپیک باشد(بطور نمونه k = ۱/۳ برای هوای خشک)

بایستی یادآور شویم که برای هوای خشک، یک رابطه ساده بین فشار، دما و چگالی موجود است. این رابطه همان معادله حالت است (یعنی P.V=m.R.T) که توسط معادلهٔ (۸-۲) برای هوای ورودی کمپرسور ارائه می شود:

$$P_i = \rho_i \cdot Z_{a,i} \cdot R_a \cdot T_i$$

رابطهٔ شمارهٔ (۸-۲)

برای هوای خشک، ثابت R_a از طریق تقسیم ثابت عمومی گازهای ایده‌ال R (R = ۸۳۱۴/۴ J/Kg.mol. K) به جرم مولی هوا M_a (M_a = ۲۸/۹) محاسبه می‌شود. بنابراین مقدار ثابت R_a معادل ۲۸۷ J/(Kg. K) است. مضافاً اینکه، فاکتور تراکم‌پذیری Z_a دلالت بر رفتار متفاوت هوا با گاز ایده‌ال در مسئله تراکم‌پذیری دارد. مقدار Z_a گستره‌ای بین صفر و یک را داراست و وابسته به فشار و دمای هوا است. برای فشار بالای ۲۰۰۰۰Kpa (۲۰۰ atm)، فرض می‌شود که هوای خشک مانند یک گاز ایده‌ال رفتار می‌کند. بطوریکه $Z_{a,i}$ = ۱

شایان ذکر است که یک عبارت شبیه به رابطهٔ (۸-۲) می‌تواند برای هوای خروجی کمپرسور نیز وجود داشته باشد. کار مورد نیاز برای تراکم یک آهنگ جریان جرمی $\dot{m}_a$ از هوای خشک می‌تواند از روی اعمال قانون اول ترمودینامیک روی یک فرایند تراکم گاز ایده‌ال تخمین زده شود.

بویژه، توان مکانیکی مورد نیاز برای یک تراکم همدما می‌تواند از روی معادله (۸-۳) محاسبه شود.

$$\dot{W}_m=\dot{m}_a R_a T_i \ln\left(\frac{P_O}{P_i}\right)$$

رابطهٔ شمارهٔ (۸-۳)

توان مکانیکی مورد نیاز برای تراکم بی دررو و یا پلی تروپیک می‌تواند از روی معادله (۸-۴) تخمین زده شود.

$$\dot{W}_m = \frac{\dot{m}_a \cdot R_a \cdot T_i \cdot \gamma}{\gamma - ۱} \left[\left(\frac{P_o}{P_i} \right)^{\frac{\gamma-۱}{\gamma}} - ۱ \right]$$ رابطهٔ شمارهٔ (۸-۴)

دو مشاهده مهم از روابط (۸-۳) و (۸-۴) در ارتباط با کارایی انرژی کمپرسورها خواهیم داشت:

الف) توان مکانیکی یک کمپرسور بطور خطی با دمای هوای ورودی افزایش می‌یابد. جهت ارتقاء کارایی انرژی مصرفی یک سیستم کمپرسور، دمای هوای ورودی به کمپرسور تا حد ممکن باید خنک شود.

ب) توان مکانیکی یک کمپرسور با نسبت فشار افزایش می‌یابد. بنابراین، تولید هوای فشرده با فشار تخلیه محدود به ماکزیمم فشار لازم برای تأسیسات، حائز اهمیت است. به عبارت دیگر، از فشرده‌سازی بیش از حد هوا تا حد ممکن بایستی اجتناب شود. مضافاً ، تغییر فشار هوای ورودی می‌تواند اثر بسزایی روی توان مکانیکی مورد نیاز برای یک کمپرسور بگذارد. بویژه، اثر ارتفاع روی فشار محیط باید مد نظر قرار گیرد.

مثال (۸-۱) یک تحلیل مقایسه‌ای برای توان مکانیکی مورد نیاز جهت سه نوع تراکم (همدما، بی دررو و پلی تروپیک) را ارائه می‌دهد. از نتایج مثال(۸-۱) روشن می‌شود که تراکم بی دررو نسبت به دو نوع تراکم دیگر، انرژی ورودی بیشتری را می‌طلبد. حالت تراکم همدما شرایط کارکرد بهینه برای یک کمپرسور است. برای این کار باید دمای هوا در مدت زمان تراکم ثابت نگه داشته شود. بنابراین برای کاهش توان مکانیکی مورد نیاز کمپرسور، خنک‌سازی هوا در مدت فرایند تراکم بایستی انجام شود. متأسفانه در کمپرسورهای واقعی، شرایط ایده‌آل دمای ثابت برای هوا قابل تحقق نیست. اما با این وجود، چنانچه خنک‌سازی مناسب هوای ورودی تأمین گردد، یک تراکم پلی تروپیک می‌تواند مبیّن یک تراکم واقعی باشد.

چنانچه بعداً مورد بحث قرار خواهد گرفت، خنک کن‌های بین دو مرحله ای[1] جهت پراکندن حرارت در مدت زمان تراکم بکار می‌روند.

مثال(۸-۱) توان مکانیکی لازم را جهت متراکم سازی ۱ Kg/sec از هوای خشک، از ۱۰۰ Kpa و ۲۰ °C (شرایط محیطی) تا ۸۰۰ Kpa (فشار مطلق) تحت تراکم‌های ایزوترمال، آدیاباتیک، یا پلی تروپیک (γ = ۱/۳) بیابید.

حل –

از رابطه (۸-۳) استفاده می‌کنیم که P_i = ۱۰۰ Kpa و P_O = ۸۰۰ Kpa و T_i = ۲۰+۲۷۳=۲۹۳ K و K_a = ۲۸۷ J/(Kg.K) توان مکانیکی لازم برای تراکم ایزوترمال ۱ Kg/sec هوای خشک بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\dot{W}_m = (۱ \text{ Kg/sec}) \cdot (۲۸۷ \text{ J/Kg.K}) \cdot (۲۹۳ \text{ K}) \cdot L_n \left(\frac{۸۰۰ Kpa}{۱۰۰ Kpa} \right) = ۱۷۴۸۶۰ \text{ (J/sec)} = 174/68 \text{ (kw)}$$

$$\left[\left(\frac{۸۰۰}{۱۰۰} \right)^{\frac{۱/۴-۱}{۱/۴}} - ۱ \right] = ۲۳۸/۸۲ \text{KW}$$

1 - Inter Coolers

برای تراکم پلی تروپیک، توان مکانیکی لازم از روی رابطه (۸-۴) و با فرض ۱/۳ = K = γ محاسبه می‌شود:

$$\dot{W}_m = \frac{(1Kg/sec)\times(287J/Kg.K)\times(293\,K)\times 1/3}{1/03-1}\left[\left(\frac{800}{100}\right)^{\frac{1/3-1}{1/3}}-1\right] = 224/42KW$$

همانطور که انتظار می‌رفت تراکم همدما کمترین توان مکانیکی را نیاز دارد و این در حالی است که تراکم بی دررو بیشترین توان مکانیکی را به نسبت دو نوع تراکم دیگر مصرف می‌کند. توجه داشته باشید که تراکم پلی تروپیک که مبیّن یک فرایند تراکم واقعی است توان مکانیکی مورد نیازش بین توان مکانیکی همدما و بی دررو است. جالب توجه است که می‌توان توان مکانیکی مورد نیاز بر حسب آهنگ جرمی جریان هوا یا به ازای واحد جریان هوا (KW/L/sec) برای سه نوع تراکم ذکر شده از طریق چگالی هوای ورودی و تعیین آن در ورودی کمپرسور محاسبه نمود. معادله گاز ایده‌آل (۲-۲) می‌تواند برای تعیین چگالی هوا (با ۱ = Z_{ig}) بکار رود. برای $T_i = 293\ ^K$ و $P_i = 100$ Kpa ، چگالی هوا $1/189\ Kg/m^3$ می‌باشد. پس توان مکانیکی ورودی برای سه نوع تراکم به ترتیب زیر می‌باشد:

۰/۲۱ KW/L/sec برای تراکم همدما ، ۰/۲۷ KW/L/sec برای تراکم پلی تروپیک و ۰/۲۹ KW/L/sec برای تراکم بی دررو.

به چند دلیل توصیه می‌شود که تراکم از نوع بی دررو برای تخمین میزان توان و انرژی الکتریکی مورد نیاز یک کمپرسور هوای واقعی فرض شود. دلایل این امر عبارتند از:

الف) گرچه تراکم پلی تروپیک بیان بهتری برای فرایندهای تراکم واقعی است، ولی بدست آوردن مقدار نمای γ بدون انجام اندازه‌گیریهای گران و پر هزینه، مشکل است. در برخی کاربردها مانند توربو کمپرسورها (که فشار هوا از طریق افزایش سرعت آن زیاد می‌شود)، نمای γ در حقیقت می‌تواند بزرگتر از ۱/۴ = K هم بشود.

ب) توان مورد نیاز برای تراکم پلی تروپیک نزدیک به توان مورد نیاز برای تراکم بی دررو است (نتایج مثال (۸-۱) را می‌توانید مقایسه کنید)

ج) توان مورد نیاز برای تراکم بی دررو، یک حد بالا برای توان ورودی واقعی است و بنابراین مبیّن بدترین شرایط یا بدترین سناریو برای مصرف توان کمپرسور است.

هنگامی که کمپرسورها بوسیله موتورهای الکتریکی گردانده می‌شوند، انرژی الکتریکی KWh_{Comp} که توسط سیستم هوای فشرده مصرف می‌شود از روی رابطه زیر تعیین می‌شود.

$$KWhComp = \frac{\dot{W}m \cdot LF_{Comp} \cdot N_{h,Comp}}{\eta_M}$$ رابطهٔ شمارهٔ (۸-۵)

$\dot{W}_m$ = توان مکانیکی مورد نیاز توسط کمپرسور که مطابق رابطهٔ (۸-۳) و (۸-۴) تخمین زده می‌شود.

$N_{h,Comp}$ = تعداد ساعات کارکرد کمپرسور در سال

LF_{Comp} = ضریب بار میانگین برای کارکرد کمپرسور

η_M = بازده الکتروموتوری که کمپرسور را می‌چرخاند.

علاوه بر کمپرسور، واحدها و بخش‌های ضروری دیگری نیز برای تولید هوای فشرده لازم است. این واحدها توان مکانیکی و توان الکتریکی مورد نیاز جهت کارکرد سیستم‌های هوای فشرده را افزایش می‌دهند. برخی از تجهیزات جانبی و نقش آنها بطور خلاصه در ادامه، مورد بحث قرار خواهند گرفت.

۵- اجزای دیگر از سیستم هوای فشرده

۵-۱-صافی ها[1](فیلترها)

هوای ورودی به کمپرسور، بخاطر حفاظت کمپرسور و تجهیزات آن از هرگونه آسیب‌های ناشی از ذرات معلق موجود در هوای تصفیه نشده، بایستی تا حد ممکن تمیز باشد. در حقیقت، ذرات معلق می‌توانند به بخش‌های مختلف کمپرسور رخنه کنند. این رخنه یا نفوذ دو اثر را خواهد داشت:

۱ – مسدود ساختن سوراخ‌های کوچک (داخل کمپرسور، خطوط توزیع، یا ماشین‌های مصرف کننده هوای فشرده)

۲ – ایجاد اصطکاک در سطوح داخلی کمپرسور (شامل سلیندرها، پیستون‌ها یا روتورها) که ذرات معلق روی این سطوح را پوشش می‌دهند. اثر تخریبی این پوشش هنگامی که ذرات معلق با روغن آمیخته شوند بیشتر خواهد شد. بسته به اندازهٔ ذراتی که همراه هوا وارد کمپرسور می‌شوند صافی های هوای مختلف و روشهای تمیزسازی هوا بصورت‌های مختلف می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. انتخاب یک صافی هوا برای یک کمپرسور بطور مشخص وابسته به دو عامل است: کارآیی صافی و افت فشار حاصل ازصافی.

کارآیی صافی هوا، مشخصاً بصورت درصد ذرات نگه داشته شده تعریف می‌شود. افت فشار روی صافی هوا یا در اثر صفحه متخلخل صافی و یا بدلیل کثیفی و گرد و غبار روی صافی رخ می‌دهد. این افت فشار ظرفیت کمپرسور را کاهش می‌دهد.

بطور سر انگشتی، به ازای هر Kpa ۱۰۰ افت فشار، آهنگ جرمی جریان جرمی هوای کمپرسور تقریباً ۱٪ کاهش می‌یابد (با فرض اینکه کمپرسور توان یکسان را مصرف بکند). بنابراین انتخاب صافی های هوای مناسب و تمیز کردن دوره ای آنها به منظور کاهش مصرف انرژی سیستم تولید **هوای فشرده، بسیار مهم است. مثال (۸-۲) – افزایش هزینه انرژی برای کارکرد یک سیستم هوای فشرده را بدلیل کثیفی صافی هوا نشان می‌دهد .**

مثال (۸-۲) – افزایش میزان هزینه انرژی در یک کمپرسور ۱۰۰KW که ۸۰۰۰ ساعت در سال کار می‌کند را به خاطر کثیفی صافی هوا بیابید با فرض اینکه:

الف) راندمان موتور الکتریکی ۹۰٪ باشد.

ب) افت فشار برای یک صافی هوای تمیز Kpa۱ و برای یک فیلتر هوای کثیف Kpa ۳ باشد.

ج) هزینه الکتریسیته S/KWh ۰/۰۵ است .

حل – از قانون سر انگشتی استفاده می‌کنیم. همانطور که ذکر گردید به ازای هر Kpa ۱۰۰ افزایش در افت فشار روی صافی هوا، توان مکانیکی ۱٪ افزایش می‌یابد(چون توان مکانیکی متناسب با آهنگ جرمی جریان

1-FILTERS

است). بنابراین، جریمه هزینه انرژی EC_{Filter}، بخاطر استفاده ازصافی هوای کثیف می‌تواند بصورت زیر محاسبه شود:

$$EC_{Filter} = \frac{۱۰۰ \times ۸۰۰۰ \times ۰/۰۵}{۰/۹} \times \left(\frac{۳}{۱}\right) \times ۰/۰۱ = ۱۳۳۰ \quad \$/year$$

۵-۲- مخازن هوای فشرده[1]

در بعضی تأسیسات هوای فشرده، مخازن هوای فشرده، مورد استفاده قرار می‌گیرند و محل نصب آنها یا نزدیک به کمپرسورها و یا نزدیک به ماشین‌های انتهایی است که مصارف هوای فشرده بالا و متغیر دارند. با سه دلیل می‌توان کاربرد مخازن هوای فشرده مرکزی یا محلی را توجیه نمود:

- ذخیره سازی انرژی به شکل هوای فشرده برای کاهش زمان کارکرد ناخواسته کمپرسورها
- تنظیم جریان هوای فشرده بر مبنای نیاز بارهای انتهایی
- کنترل فشار تخلیه هوای فشرده خصوصاً هنگامی که از کمپرسورهای نوع پیستونی استفاده می‌شود.
- تعیین اندازهٔ مخزن (بصورت تجربی):

الف – اندازهٔ ظرفیت مخزن در صورت نیاز بار ثابت

$$V_T = \frac{C \times B}{P}$$

ب – اندازهٔ ظرفیت مخزن در صورت نیاز بار متغیر

$$V_T = \frac{3 \times C \times B}{P}$$

V_T = ظرفیت مخزن بر حسب (m^3)

C = خروجی کمپرسور بر حسب (m^3/min)

B = فشار اتمسفر بر حسب بار

P = فشار کار بر حسب بار

1-Receiving Tanks

۵-۳- خشک کن‌ها [1]

هوای محیط محتوی بخار آب بوده و در واقع بصورت یک هوای مرطوب می‌باشد. این بخار آب می‌تواند یا در داخل کمپرسور و خطوط توزیع و یا در داخل تجهیزات مصرف کننده هوای فشرده کندانس شود. جهت کاهش یا حذف این کندانس آب، هوای فشرده باید از طریق استفاده از خشک کن‌ها هوای فشرده خشک شود. انتخاب نوع خشک‌کن تابعی از دو عامل مهم ذیل است:

- کیفیت هوای خشک مورد نیاز که بر حسب فشار نقطه شبنم [2] بیان می شود.
- هزینه کل خشک کن که شامل هزینه‌های اولیه، عملیاتی و تعمیر نگهداری است.

روشهای متعددی برای خشک کردن هوای فشرده در سیستم‌های هوای فشرده وجود دارد. در بیشتر حالت ها خشک‌کن‌های تبریدی [3] برای رساندن فشار نقطه شبنم به حدود زیر $5^{\circ}C$ استفاده می‌شوند. در سایر موارد مانند فرایندهای غذایی، خشک‌کن‌ها بایستی هوای خیلی خشکی را با فشار نقطه شبنم زیر $0\ ^{\circ}C$ تولید نمایند.

عموماً، مبدلهای گرما که تحت عنوان خشک کن انتهائی [4] شناخته می‌شوند وظیفهٔ کاهش محتوی بخار آب یا کاهٔ بخار روغن در هوای فشرده را قبل از تحویل آن به خطوط توزیع یا مخزن های هوای فشرده بعهده دارند. بویژه، با استفاده از هوای محیط یا آب، خنک‌سازی هوای فشرده انجام شده و بنابراین کندانس شدن محتوی بخار آب هوای فشرده رخ می‌دهد. این کندانس، در جدا کنندهٔ [5](سپراتور) کار گذاشته شده در بعد از کمپرسور جدا می‌شود. بصورت سر انگشتی می توان گفت که دمای تخلیهٔ هوای فشرده در خشک کن های انتهائی که از آب استفاده می‌کنند $10\ ^{\circ}C$ بالاتر از دمای آب بوده و در خشک کن های انتهائی که از هوا استفاده می‌کنند $15\ ^{\circ}C$ بالاتر از دمای هواست.

۵-۴- خشک کن بین مرحله ای [6]

برای پراکندن و برطرف نمودن گرمای متراکم‌سازی، خنک‌سازی سیلندرها و پوشش‌های سیلندر، با استفاده از مبدلهای حرارتی که به اینتر کولرها معروف هستند، صورت می‌پذیرد. این اینتر کولرها می‌توانند با استفاده از هوا یا آب دمای کمپرسور را کنترل نمایند. مشخّصاً، خنک‌سازی هوای فشرده بدلیل راحتی کار ارجح است.

چون این امر نیاز به سیستم تغذیه آب را بر طرف می‌کند، بنابراین از مشکلاتی که می‌تواند در سیستم توزیع آب رخ دهد (مانند خطر یخ بستن) اجتناب می‌گردد. ولی کاهش کافی و مناسب دمای کمپرسوردر برخی کاربردها از طریق خنک‌سازی با هوا می‌تواند کمی مشکل باشد.

1- Dryers
2-Dew Point Pressure
3- Refrigerated Dryers
4- After Cooler
5- Separator
6- Inter Coolers

۶- توزیع هوای فشرده

توزیع هوای فشردهٔ تولید شده به مصرف کننده‌های نهایی، از طریق یک شبکه لوله با اندازه های متفاوت صورت می‌گیرد. انتخاب لوله بر مبنای مشخصاتی مانند قطر و فشار لازم برای سیستم توزیع صورت می‌پذیرد. از طریق شبکه لوله‌کشی، آهنگ حجمی هوای فشرده توسط تعدادی شیر و تنظیم کننده‌های فشار تنظیم می‌شود. تله‌های رطوبت[1] در طول خطوط توزیع، به منظور جداسازی هرگونه کندانس از هوای فشرده، نصب می‌گردند.

فشار هوای فشرده در تجهیزات مصرف کنندهٔ هوای فشرده که در انتهای خط توزیع نصب شده‌اند همیشه از فشار تخلیه هوای فشرده از کمپرسور یا از مخازن هوای فشرده کمتر است. این مسئله بدو دلیل اتفاق می‌افتد:

- افت فشار جریان[2]
- نشتی‌ها

یک توضیح خلاصه‌وار برای هر کدام از دلایل افت فشار در سیستم توزیع هوای فشرده در پائین ارائه گردیده است.

افت فشار جریان

بدلیل مقاومت لوله‌های توزیع هوای فشرده، شیرها و اتصالات، افت فشاری روی جریان هوای فشرده اتفاق می‌افتد که میزان این افت فشار از روی معادلهٔ دارسی-وایزبخ[3] بصورت زیر تخمین زده می‌شود:

$$\Delta P = \rho\left(f.\frac{L}{D}+\Sigma K\right)\frac{V^2}{2}$$ رابطهٔ شمارهٔ (۶-۸)

ΔP = کل افت فشار هوای فشرده در سیستم توزیع (Pa)

ρ = میانگین دانسیته هوای فشرده در سیستم توزیع (Kg/m^3)

f = ضریب اصطکاک[4]

ΣK = ضریب تلفات ناشی از شیرها و اتصالات در سیستم توزیع

L = طول کلی لوله در سیستم توزیع (m)

D = قطر داخلی لوله (m)

V = میانگین سرعت جریان هوای فشرده (m/s)

بدلیل پیچیدگی و عدم دقت در محاسبه افت فشار از روی معادله فوق،(عموماً تعیین افت فشار از روی این معادله توصیه نمی‌شود) ضمن اینکه در این روش ناگزیر از در نظر گرفتن فرضیات بیشمار هستیم. به عنوان مثال، برخی از این فرضیات عبارتند از تعیین ضریب اصطکاک و ضرایب تلفات برای شیرها و اتصالات، ولیکن معادلهٔ (۶-۸) نشاندهندهٔ پارامترهایی است که روی افت فشار هوای فشرده در سیستم توزیع مؤثرند.

- افت فشار با طول سیستم توزیع افزایش می‌یابد. بنابراین، یک چیدمان[5] بهینه برای لوله‌کشی می‌تواند سبب کاهش افت فشار و به تبع آن مصرف انرژی سیستم توزیع هوای فشرده گردد. بویژه، کاهش تعداد شیرها، زانویی‌ها و تغییر مسیرها در شبکه توزیع هوای فشرده بسیار مهم است.

1- Moisture Traps
2- Flow Pressure Drop
3- Darcy Weisbach
4- Friction Factor

- سرعت هوای فشرده بایستی تا حد امکان کم باشد تا اینکه افت فشار در سیستم توزیع هوای فشرده کاهش یابد. این کاهش سرعت خصوصاً برای تأسیساتی توصیه می‌شود که لوله‌کشی سیستم توزیع در آن طولانی است. از طریق کاهش یا کم کردن آهنگ جرمی مورد نیاز (دربار مصرف نهایی)، پائین آوردن دمای هوای فشرده، یا افزایش قطر لوله‌کشی، می‌توان سرعت جریان هوای فشرده را کاهش داد.

شکل (۸-۷) نموگرام تعیین اندازهٔ لوله‌ها را در سیستم‌های هوای فشرده نشان می‌دهد.

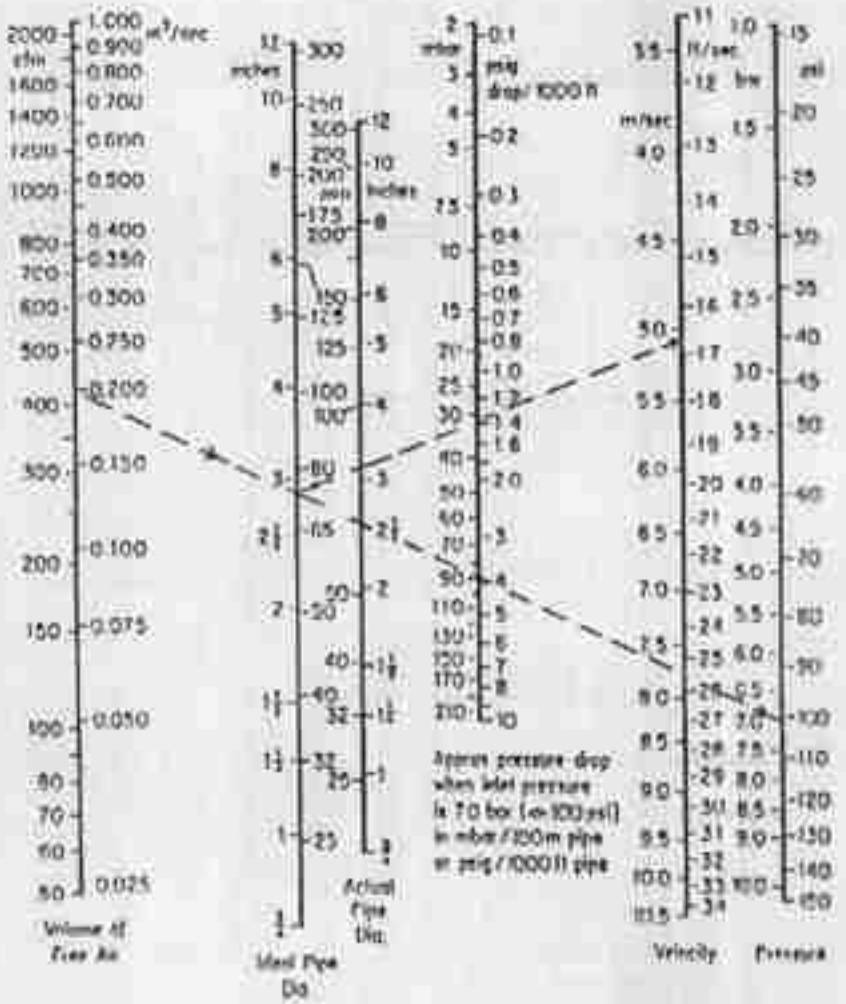
ذکر این نکته لازم است که افت فشار در سیستم توزیع هوای فشرده به منزلهٔ تلف شدن انرژی است. در واقع فشار تخلیه باید افزایش یابد تا افت فشار جریان جبران شود. معادلات (۸-۳) و (۸-۴) دلالت بر این دارند که افزایش نسبت تراکم (P_o/P_i)، سبب افزایش توان مکانیکی تأمین شونده از یک محرک (مانند الکتروموتور) برای کمپرسور می‌گردد.

بعنوان مثال، یک افت فشار ۵۰ Kpa در یک کمپرسور طراحی شده برای افزایش فشار از (1 atm) ۱۰۰ Kpa تا (۷ atm) ۷۰۰ Kpa متناظر با ۳٪ تلف در توان مکانیکی یا الکتریکی است که سیستم هوای فشرده را تغذیه می‌کند. مسائل افت فشار در سیستم توزیع که از مقاومت جریان ناشی می‌شوند، عموماً مسائل ذاتی بوده و طبیعتاً وابسته به طراحی و ساختار لوله‌کشی هستند و بنابراین هنگام ممیزی انرژی سیستم هوای فشرده، نباید مورد توجه قرار گیرند، مگر اینکه تعویض شوند. بجای آن، شخصی که ممیزی انرژی را انجام می‌دهد بایستی روی شناسایی پتانسیل و عوامل کاهش دهندهٔ اتلاف انرژی در سیستم توزیع موجود، کار کند یا تمرکز کند.

---

1 - Layout

با کمک این نمودار می توانیم اندازهٔ لولهٔ مورد نظر را برای دستیابی به فشار دلخواه بیابیم.بعنوان مثال یک کمپرسور با خروجی هوای فشردهٔ ($0/2m^3/sec$) در فشار (7bar) را در نظر بگیرید.خط کشی را طوری قرار دهید که راستای آن در امتداد خط فرضی که حجم ($0/2m^3/sec$) (بر روی خط سمت چپ)را به فشار (7bar) (بر روی خط سمت راست) متصل می کند قرار گیرد. محل تلاقی این خط با خط دوم (7mm) در حقیقت قطر لولهٔ ایده ال را به ما نشان می دهد. ولی این قطر عملاً قابل استفاده نبوده و استاندارد نیست. برای حل این مشکل نقطهٔ (8mm) که قطر استاندارد بالاتر از (7mm) می باشد بر روی خط سوم را در نظر گرفته و خطی را از نقطهٔ (7mm) به نقطهٔ (8mm) وصل نموده و امتداد دهید تا خطوط چهارم و پنجم را قطع نماید. محل تلاقی این خط و خط چهارم میزان افت فشار (33 mbar/sec) و با خط پنجم میزان کاهش سرعت (5/2 m/sec) را در صورت انتخاب لوله با قطر (8 mm) نشان می دهد.



۷ – نشتی‌های هوا[1]

در تأسیسات هوای فشرده صنعتی، تلفات انرژی ناشی از نشتی‌ها، غالباً مقدار بزرگی دارند. تخمین زده می‌شود که نشتی هوای فشرده می‌تواند تا ۲۵ درصد هوای فشرده تولیدی در تأسیسات هوای فشرده صنعتی باشد. عموماً نشتی‌ها بدلیل خرابی شیرها، اتصالات ضعیف و سوراخهای کوچک در سیستم لوله‌کشی خصوصاً لوله‌های لاستیکی هوای فشرده می‌باشد. تجهیزات مصرف کننده هوای فشرده در صورتیکه تولیدی نداشته باشند ولی شیر هوای فشرده در آنها باز باشد می‌تواند یکی از اساسی‌ترین منابع نشت هوای فشرده باشند. برای شناسایی نشت هوای فشرده، چندین روش در چهارچوب ممیزی گذری[2] می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. این روش‌ها در دو گروه تقسیم‌بندی می‌شوند:

الف – روشهای ساده

دو روش ارزان برای شناسایی محل نشت هوای فشرده وجود دارد.

I) روش شنیدن – از طریق شنود در امتداد سیستم توزیع، نشتی‌های هوا از طریق تغییر در صدای سیستم قابل شناسایی هستند، البته این روش زمانی سودمند است که صدای زمینه بسیار ضعیف باشد.

II) روش حباب صابون – روش ساده و ارزان قیمت دیگر برای شناسایی محل‌های نشت هوای فشرده، استفاده از آب و صابون در محل‌های انتخاب شدهٔ سیستم توزیع هوای فشرده، خصوصاً در محل زانویی‌ها و اتصالات و شیرها می‌باشد که تشکیل حبابهای صابون در یک محل خاص، مبیّن نشت در آن محل است.

ب – روشهای اندازه‌گیری

شناسایی نشت هوای فشرده با استفاده از تجهیزات آشکار ساز ماورای صوت[3] نیز میسر می‌باشد. با استفاده از این آشکارسازهای ماورای صوت می‌توان محل نشتی‌های موجود در سیستم توزیع هوای فشرده را تعیین نمود.

افرادی که مسئول تعمیر و نگهداری در یک تأسیسات صنعتی هستند می‌توانند کاربرد سیستم‌های آشکارساز را آموزش دیده و نشتی‌ها را در سیستم توزیع هوای فشرده، بویژه در ایامی که فعالیت تولیدی محدود بوده یا تعطیل است (آخر هفته‌ها و دوره های خاص برنامه‌ریزی شده)، آشکار نمایند. با کمی سرمایه‌گذاری در یک برنامه تعمیر و نگهداری منظم برای آشکارسازی نشتی‌ها، دیده می شود که صرفه‌جوئی‌های اقتصادی قابل توجهی در هزینه عملیاتی سیستم‌های تولید هوای فشرده حاصل می گردد.

در صورتیکه نشتی‌ها شناسایی شوند، با محاسبات ساده می‌توان میزان اتلاف هوای فشرده را تخمین زد. در واقع، آهنگ جرمی تلفات هوای فشرده $\Delta \dot{m}_a$ (آهنگ جرمی) از میان یک حفره از روی معادله زیر قابل تخمین است:

$$\Delta \dot{m}_a = \sqrt{\frac{۲}{R_a}} \cdot C_L \cdot A_L \cdot P_o \cdot T_o^{-\frac{۱}{۲}}$$ رابطهٔ شمارهٔ (۸-۷)

---

1 - Air Leaks
2 - Walk-Through-Audit
3- Ultrasonic

که در آن:

$\dot{m}_a \Delta$:آهنگ جرمی هوای فشرده اتلافی از طریق نشتی (Kg/s)

P_0 : فشار هوای فشرده‌ای که از محل نشتی بیرون می‌آید (P_a)

T_0 : دمای هوای فشرده‌ای که از محل نشتی بیرون می‌آید (K)

C_L : ضریب جریان سوراخ، این ضریب وابسته به شکل و اندازه سوراخ است. برای سوراخهای گرد، C_L حدود ۰/۶۵ است.

A_L: مساحت سوراخ (m^2)

۸- بهره‌برداری از هوای فشرده

هوای فشرده چندین کاربرد دارد. عموماً، تجهیزات انتهایی مصرف کنندهٔ هوای فشرده به گروههای زیر تقسیم‌بندی می‌شوند:

I) مصرف کننده‌های نهایی ایستا – شامل تجهیزات کنترل بادی[1] مانند تحریک‌ها[2] یا تنظیم کننده‌های فشار[3]. عملکرد این مصرف کننده‌ها فقط وابسته به وجود یا عدم وجود هوای فشرده است. این مصرف کننده‌ها را می‌توان هم در تأسیسات تجاری و هم در تأسیسات صنعتی یافت.

II) مصرف کننده‌های نهایی پویا[4] یا دینامیک – شامل ابزار مونتاژ (مانند پیچ گوشتی‌ها و آچارها)، موتورهای هوایی (مانند ابزارهایی برای سوراخ‌کاری و خردایش). عملکرد این مصرف کننده‌ها وابسته به جریان و فشار هوای فشرده است.

عمدهٔ مصرف هوای فشرده در صنعت در همین مصرف کننده‌های دینامیک است.

برای کاهش تلف انرژی، فشار تخلیه در سیستم هوای فشرده بایستی متناظر با بالاترین فشار مورد نیاز توسط مصرف کننده‌های انتهایی باشد (برای اطمینان و در نظر گرفتن فاکتور ایمنی در قبال افت فشار جریان که قبلاً بحث شد). اگر فشار موجود بزرگتر از فشار مصرفی توسط تجهیزات مصرف کننده انتهایی باشد، بدلیل افزایش توان مکانیکی مورد نیاز کمپرسور در اثر فشار اضافی و مازاد غیر لازم، مقداری انرژی تلف خواهد شد (به معادلات (۸-۳) و (۸-۴) مراجعه نمایید).

عموماً، از هوای فشرده برای کاربردهایی که در آنها می‌توان منابع دیگربکار گرفت استفاده نکنید. به عنوان مثال، ابزارهایی که با برق کار می‌کنند بهتر است جایگزین ابزارهایی شوند که با هوای فشرده کار می‌کنند. همچنین در مواردی که نیازهایی مانند خشک‌کردن، تبخیر کردن از یک سطح، و تمیز کردن وجود دارد و بهتر است از دمنده‌ها بجای هوای فشرده استفاده شود. تخمین زده می‌شود که اگر فشار مورد نیاز کمتر از (۲ atm) ۲۰۰ Kpa باشد، استفاده از یک دمنده، صرفه‌جوئی معادل ۵۰ درصد یا بیشتر را برای انرژی مصرفی بدنبال خواهد داشت (دمنده بجای هوای فشرده مورد استفاده قرار می‌گیرد).

---

1 - Pneumatic
2 - Actuators
3 - Pressure Regulators
4 - Dynamic

۹ - پتانسیل‌های رایج در صرفه‌جوئی انرژی سیستم‌های تولید هوای فشرده

یکی از وظایف ممیزی انرژی، جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات مربوط به طراحی، بهره‌برداری و تعمیرات سیستم‌های گوناگون است. در مورد سیستم‌های هوای فشرده، برخی از اطلاعات می‌تواند از طریق مصاحبه با اپراتورها، مهندسین فرایند، یا افراد مسئول تعمیر و نگهداری بدست آید. بویژه اطلاعات و داده‌های ریز می‌توانند از طریق مصاحبه با پرسنل بهره‌برداری جمع‌آوری شوند.

الف) کنترل‌های جاری و موجود روی سیستم هوای فشرده تأسیسات، که با این کنترل‌ها سیستم هوای فشرده مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد.

ب) مشکلات موجود دربارهٔ کیفیت، کمیت و فشار هوای فشرده.

ج) اطلاعات طراحی و نقشه‌ها و هرگونه یادداشت در مورد تعمیرات شامل اطلاعات بهره‌برداری کمپرسور و برنامهٔ تعمیر نشتی‌ها.

د) اطلاعات روی پلاک[1] کلیه تجهیزات موجود در سیستم هوای فشرده.

هـ) طرحهای آتی برای ارتقاء سیستم هوای فشرده شامل جایگزینی کمپرسور، تغییرات در مصرف هوای فشرده، و نصب سیستم‌های ابزار دقیق.

جمع‌آوری داده‌ها بر حسب پیچیدگی تأسیسات و سیستم هوای فشرده می‌تواند زمان بر هم باشد. ولی برای یک ممیز انرژی حصول اطلاعات کافی جهت فهم جزئیات طراحی موجود، روشهای بهره‌برداری و نگهداری جاری و طرح‌های آتی بسیار مهم است تا بتواند پتانسیل‌های صرفه‌جوئی انرژی را نه تنها برای صرفه‌جوئی انرژی و هزینه، بلکه برای تأمین یک سیستم هوای فشرده مطمئن پیشنهاد دهد.

در ادامهٔ این مبحث، برخی از راههای صرفه‌جوئی انرژی در سیستم‌های هوای فشرده که خیلی رایج هستند انتخاب و به همراه روش‌های محاسباتی خاص و مثالهای تشریحی توضیح داده شده‌اند.

۹-۱- کاهش دمای هوای ورودی

در بعضی از تأسیسات هوای فشرده، کمپرسور، هوای ورودی را از داخل اتاق (کمپرسورخانه) می‌کشد. این هوای ورودی به کمپرسور، تحت این شرایط، دارای دمای بالایی تا حدود $۳۰^{\circ}C$ خواهد بود که می‌تواند بیش از این مقدار نیز باشد.

این دمای داخل بسیار بالاتر از دمای بیرون است و مطابق معادلهٔ (۸-۳) و (۸-۴) دمای هوای ورودی بالاتر، توان مکانیکی یا الکتریکی و در نتیجه انرژی مصرفی بالاتری را در پی خواهد داشت. یک راه بسیار ساده برای کاهش دمای هوای ورودی، نصب لوله‌کشی برای اتصال کمپرسور به بیرون است که کمپرسور هوای ورودیش را از محیط بیرون از کمپرسورخانه بکشد.

صرفه‌جوئی انرژی الکتریکی ΔKWh_{Comp} ، حاصل از کاهش دمای هوای ورودی به کمپرسور از روی رابطه زیر قابل محاسبه خواهد بود:

---

1 - Name Plate Data

$$\Delta KWhComp = \frac{\dot{W}m \cdot LF_{Comp} \cdot N_{h,Comp} \cdot (T_{i,e} - T_{i,r})}{\eta_M \cdot T_{i,e}}$$ رابطهٔ شمارهٔ (۸-۸)

که:

$T_{i,e}$ - دمای متوسط سالیانه مربوط به هوای کمپرسور قبل از بهبود (K)

$T_{i,r}$ - دمای متوسط سالیانه مربوط به هوای ورودی کمپرسور پس از بهبود و اصلاح(K)

عموماً $T_{i,r}$ را می‌توان مساوی با متوسط سالیانه دمای هوای بیرون فرض نمود. مثال (۸-۳) کاربرد رابطهٔ (۸-۸) را در محاسبهٔ صرفه‌جوئی انرژی حاصل از کاهش دمای هوای ورودی نشان می‌دهد.

مثال (۸-۳) - یک سیستم تولید هوای فشرده نیاز به توان مکانیکی معادل ۱۰۰KW دارد و راندمان موتور آن ۸۷٪ است. هوای ورودی کمپرسور از داخل کمپرسورخانه که کمپرسور در آن واقع شده و دمای میانگین سالیانه آن ۳۵°C است مکیده می‌شود. زمان بازگشت سرمایه را برای نصب یک لوله‌کشی عایق شده جهت اتصال ورودی کمپرسور به محیط بیرون با استفاده از اطلاعات زیر بیابید:

الف - کل هزینه سیستم لوله‌کشی ۸۵۰ دلار

ب - دمای میانگین سالیانه محیط بیرون ۱۲°C

ج - کمپرسور ۵۰۰۰ ساعت در سال کار می‌کند که ضریب بار میانگین آن ۸۰٪ است.

د - هزینه الکتریسیته ۰/۰۵ $/KWh است.

حل - از معادلهٔ (۸-۸) استفاده می‌کنیم. صرفه‌جوئی انرژی الکتریکی در اثر کاهش دمای هوای ورودی از رابطه زیر تخمین زده می‌شود:

$$\Delta_{KWhComp} = \frac{۱۰۰ \times ۰/۸ \times ۵۰۰۰ \times (۳۵ - ۱۲)}{۰/۸۷ \times (۲۷۳ + ۳۵)} = ۳۴۳۳۰ \ KWh/yr$$

بنابراین، زمان بازگشت سرمایه ساده برای نصب سیستم لوله‌کشی جهت اتصال ورودی کمپرسور به هوای بیرون برابر است با:

زمان بازگشت سرمایه ساده = $\frac{۸۵۰}{۳۴۳۳۰ \times ۰/۰۵} = ۰/۵ = ۶$ ماه

جدول (۸-۲) درصد انرژی صرفه‌جوئی شده بر حسب درجه حرارت هوای ورودی در کمپرسورها را نشان می‌دهد.

جدول شمارهٔ (۸-۲)- درصد انرژی صرفه جویی شده بر حسب درجه حرارت هوای ورودی درکمپرسورها

دمای هوای کمپرسور بر حسب °C	حجم هوای مورد نیاز بر حسب m^3 در آهنگ حجمی $m^3$۱۰۰۰ و دمای ۲۱°C	صرفه جویی یا اضافه مصرف (٪kW) برای هوای ورودی با دمای ۲۱°C
-1	925	کاهش صرفه جویی ۷/۵٪
5	943	کاهش صرفه جویی ۵/۷٪
10	962	کاهش صرفه جویی ۳/۸٪
16	981	کاهش صرفه جویی ۱/۹٪
21	1000	صرفه جویی ۰
27	1020	افزایش صرفه جویی ۱/۹٪
32	1040	افزایش صرفه جویی ۳/۸٪
37	1060	افزایش صرفه جویی ۵/۷٪
43	1080	افزایش صرفه جویی ۷/۵٪
49	1100	افزایش صرفه جویی ۹/۵٪

۹-۲- کاهش فشار تخلیه

هنگامیکه ماکزیمم فشار مورد نیاز توسط کلیه تجهیزات مصرف کننده انتهایی در یک تأسیسات، بطور چشمگیری پائین تر از فشار تحویلی توسط سیستم هوای فشرده باشد، کاهش فشار تخلیه به منظور کاهش مصرف انرژی کمپرسور توصیه می‌گردد. تخمین زده شده که به ازای هر ۱۵ Kpa اضافه فشار تحویلی، ۱٪ انرژی بیشتر توسط کمپرسور لازم است. افزایش فشار تحویلی بیش از میزان مورد نیاز آثار سوء دیگری را در سیستم هوای فشرده بجا می‌گذارد. بویژه، اضافه فشار، اتلاف هوای فشرده از محل‌های نشتی را افزایش می‌دهد.

میزان صرفه‌جوئی انرژی الکتریکی $\Delta KWhComp$ ناشی از کاهش فشار تخلیه هوای فشرده تولیدی توسط کمپرسور، از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\Delta KWh_{Comp} = \frac{\%W_m \cdot Wm \cdot LF_{Comp} \cdot N_{h,Comp}}{\eta_M}$$

رابطهٔ شمارهٔ (۸-۹)

که $\%W_m$ درصد کاهش توان مکانیکی مورد نیاز توسط کمپرسور است. با استفاده از معادلات (۸-۳) و (۸-۴)، درصد کاهش توان ورودی کمپرسور $\%W_m$ می‌تواند تخمین زده شود.

مثال (۸-۴)- یک سیستم هوای فشرده توان مکانیکی مورد نیازش ۵۰KW بوده و یک موتور با راندمان ۹۰٪ را دارد. هزینه صرفه‌جوئی شده را در اثر کاهش فشار تخلیه از ۸۰۰ Kpa به ۷۰۰ Kpa با فرضیات زیر بیابید:

- کمپرسور ۴۰۰۰ ساعت در سال با میانگین ضریب بار ۷۰٪ کار می‌کند.
- هزینه الکتریسیته ۰/۰۵ $/KWh می‌باشد.

حل – فرض کنید که فشار هوای ورودی به کمپرسور مساوی با (۱ atm) ۱۰۰ Kpa است، میزان کاهش در فشار تخلیه، متناظر با کاهش در نسبت فشار $\frac{P_o}{P_i}$ از ۸ به ۷ است.

درصد کاهش در توان مکانیکی مورد نیاز، W_m ٪ می‌تواند از روی یکی از معادلات (۸-۳) یا (۸-۴) حساب شود:

– برای یک تراکم همدما:

$$\%W = \frac{Ln^{(8)} - Ln^{(7)}}{Ln^{(8)}} = ۶/۴ \ \%$$

از معادلهٔ (۸-۸) میزان صرفه‌جوئی انرژی الکتریکی بدست می‌آید:

$$\Delta KWh_{Comp} = \frac{۰/۰۶۴ \times ۵۰ \times ۴۰۰۰ \times ۰/۷}{۰/۹} = ۹۹۵۰ \ \text{KWh/year}$$

$$9950 \ \text{KWh/year} \times 0/05 \ \$/\text{kwh} = 500 \ \$/\text{year}$$

بنابراین میزان صرفه‌جوئی هزینه در اثر کاهش فشار تخلیه هوای فشرده حدود ۵۰۰ $/year خواهد بود.

– برای یک تراکم بی دررو:

$$\%W_m = \frac{(8)^{\frac{۱/۴-۱}{۱/۴}} - (7)^{\frac{۱/۴-۱}{۱/۴}}}{(8)^{\frac{۱/۴-۱}{۱/۴}}} = ۵/۷ \ \%$$

از معادلهٔ (۸-۸) میزان صرفه‌جوئی انرژی الکتریکی بدست می‌آید:

$$\Delta KWh_{Comp} = \frac{۰/۰۵۷ \times ۵۰ \times ۴۰۰۰ \times ۰/۷}{۰/۹} = ۸۸۷۰ \ \text{KWh/year}$$

$$8870 \ \text{KWh/year} \times 0.05 \ \$/\text{year} = 450 \ \$/\text{year}$$

بنابراین میزان صرفه‌جوئی هزینه در اثر کاهش فشار تخلیه هوای فشرده حدود ۴۵۰ $/year خواهد بود.

۹-۳- تعمیر نشتی‌های هوا

همانطور که در قبلاً نیز بحث شد، نشت هوای فشرده به منزلهٔ اتلاف هوای فشرده و اتلاف در انرژی مصرفی توسط سیستم تولید هوای فشرده است. زمانیکه محل‌های نشت و ابعاد آنها شناسایی شدند توصیه می‌شود که نسبت به تعمیر آنها اقدام عاجل بعمل آید. انرژی قابل صرفه‌جوئی توسط تعمیر محل‌های نشت هوای فشرده با استفاده از رابطهٔ زیر تخمین زده می‌شود:

– برای تراکم همدما:

$$\Delta KWh_{Comp} = \frac{\Delta \dot{m}_a \cdot LF_{Comp} \cdot N_{h,Comp} \cdot Ra \cdot T_i \cdot Ln(\frac{P_o}{P_i})}{\eta_M}$$

رابطهٔ شمارهٔ (۸-۱۰)

- برای تراکم‌های آدیاباتیک یا پلی تروپیک:

$$\Delta KWh_{Comp} = \frac{\dot{\Delta}_{m_a} \cdot LF_{Comp} \cdot N_{h,Comp} \cdot Ra \cdot Ti \cdot \gamma}{(\gamma-1).\eta_M} \left[\left(\frac{P_o}{P_i} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right]$$

رابطهٔ شمارهٔ (۸-۱۱)

که $\dot{\Delta}_{m_a}$، مبین آهنگ جرمی هوای فشرده اتلافی از نشتی شناسایی شده در سیستم توزیع است و می‌تواند از روی معادلهٔ (۲-۷) تخمین زده شود. مثال (۸-۵) نشان دهنده اهمیت اتلاف انرژی از یک نشت نمونه در سیستم توزیع هوای فشرده است. همانطور که در مثال (۸-۵) نشان داده شده زمان بازگشت سرمایه برای تعمیر نشت، بسیار کوتاه است. بایستی متذکر شد که حتی در زمانهایی هم که مصرف کننده انتهایی در حال کار نیست می‌تواند از محل نشتی‌ها تلف شود،(چون هوای فشرده در داخل سیستم توزیع وجود دارد). بعلاوه فشار اضافی برای هوای فشرده علاوه بر صرف توان مکانیکی یا الکتریکی بیشتر که به منزلهٔ اتلاف انرژی است، سبب اتلاف بیشتر هوای فشرده از نشتی‌ها می‌گردد.

جدول (۸-۳) تلفات توان الکتریکی با توجه به اندازه نشتی‌ها را نشان می‌دهد.

جدول (۸-۳)- تلفات توان الکتریکی با توجه به اندازهٔ نشتی ها

توان لازم برای فشردن هوای تلف شده	نشتی هوا در فشار نسبی		قطر سوراخ (Hole Diameter)
KW	(lit/sec)	mm	اندازه واقعی
0/3	1	1	○
3/1	10	3	◯
8/3	27	5	◯
33	105	10	◯

مثال (۸-۵)- یک نشتی 5mm در سیستم توزیع هوای فشرده مشخص شده است. زمان بازگشت سرمایه را برای تعمیر نشتی حساب کنید تراکم را بصورت همدما فرض کنید. از اطلاعات زیر را استفاده کنید:

الف) کل هزینه تعمیر نشتی ۱۵۰ دلار است.

ب) میانگین دمای سالیانه هوای فشرده و فشار مطلق آن ۲۰°C و ۹۰۰ Kpa می‌باشند.

ج) کمپرسور ۳۰۰۰ ساعت در سال با ضریب بار متوسط ۷۰٪ کار می‌کند.

د) میانگین دمای سالیانه و فشار مطلق هوای محیط به ترتیب ۱۵°C و ۱۰۰ Kpa هستند.

هـ) بازده موتور الکتریکی ۹۰٪ است.

و) قیمت الکتریسیته ۰/۰۵ $/KWh است.

حل – از معادله (۸-۷) استفاده می‌کنیم تا تلف هوای فشرده از طریق نشتی را محاسبه کنیم:

$$\dot{\Delta m}_g = \sqrt{\frac{۲}{۲۸۷}} \times ۰/۶۵ \times ۰/۰۰۰۰۱۹۶ \times ۸۰۰۰۰۰ \times (۲۷۳ + ۲۰)^{\frac{-۱}{۲}} = ۰/۰۵ \text{ Kg/sec}$$

برای یک تراکم همدما، انرژی الکتریکی اتلافی سالیانه از طریق نشت با استفاده از معادله (۸-۱۰) محاسبه می‌شود:

$$\Delta_{KWh\,Comp} = \frac{۰/۰۵ \times ۳۰۰۰ \times ۰/۷ \times ۲۸۷ \times (۲۷۳ + ۱۵) \times L_n(\frac{۸۰۰}{۱۰۰})}{۰/۹} = ۲۰۰۵۰ \text{ KWh/year}$$

بنابراین، زمان بازگشت سرمایه ساده جهت تخصیص هزینه برای تعمیر نشتی برابر خواهد بود با:

$$\text{زمان بازگشت سرمایه ساده} = \frac{۱۵۰}{۲۰۰۵۰ \times ۰/۰۵} = ۰/۱۵ \text{ year} = ۲ \text{ months}$$

جدول (۸-۴) میزان هوای فشرده مورد نیاز با توجه به وجود نشتی‌ها را نشان می‌دهد.

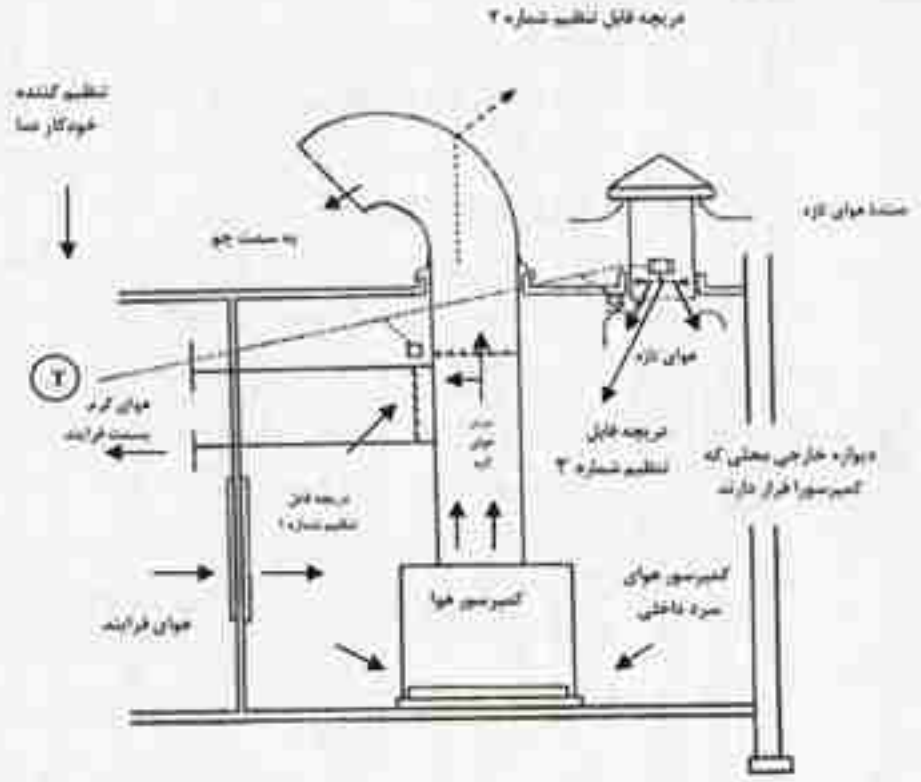
جدول شمارهٔ (۸-۴)- میزان هوای فشرده مورد نیاز با توجه به وجود نشتی ها

نشتی هوا (Lit/sn)	نشتی هوا از هر سوراخ در فشار نسبی bar	تعداد نشتی ها	قطر سوراخ (mm)
3/30	0/33	10	0/5
32/75	1/31	25	1
114/18	5/19	22	2
185/60	11/60	16	3
227/50	32/50	7	5
0/00	129/00	0	10
0/00	202/00	0	12/5
563/33	مجموع		

۹-۴- سایر پتانسیل‌های کاهش مصرف انرژی

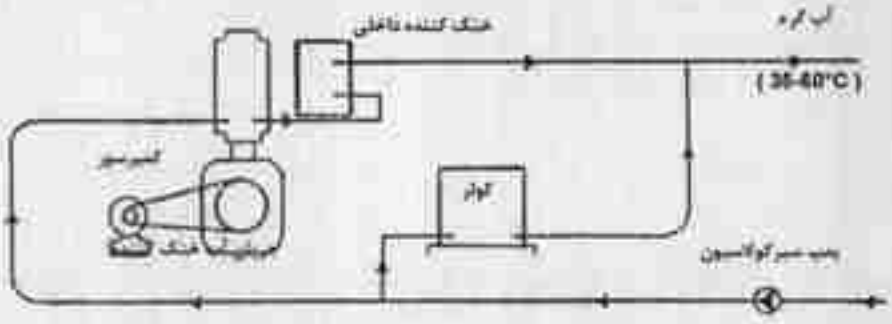
سایر پتانسیل‌های صرفه‌جوئی انرژی در سیستم‌های تولید هوای فشرده، بشرح زیر می‌باشند:

- جایگزینی کمپرسورهای با بازدهی پائین با کمپرسورهای نو و کارآتر
- انجام برخی تغییرات در فرایند تولید به منظور کاهش میزان مصرف هوای فشرده و کاهش میزان فشار مورد نیاز
- بکارگیری سیستم بازیافت حرارت شکل (۸-۸) و (۸-۹) از گرمای تراکم جهت گرمایش آب و گرمایش فضای ساختمان
- نصب سیستمهای کنترل اتوماتیک به منظور بهینه‌سازی عملکرد چند کمپرسور با کاهش زمان‌های کارکرد بی‌بار و کم بار[1]
- استفاده از کمپرسورهای کمکی برای تأمین فشار تخلیه بالاتر. لازم به یادآوری است که بدون کمپرسور کمکی، کمپرسور اولیه بایستی کل مقدار هوا را در ماکزیمم فشار مورد نظر فشرده سازد.



شکل شمارهٔ (۸-۸)- سیستم بازیافت حرارت

1 - Part Load



شکل شمارهٔ (۸-۹)- سیستم بازیافت حرارت برای کمپرسورهای آب خنک

۱۰- موارد تکمیلی در مورد شناسایی میزان نشتی هوای فشرده

I)روش استفاده از عطر در تشخیص محل نشتی:

در این روش در محل ورودی هوا به کمپرسور یک عطر با بوی مشخص را قرار می‌دهیم بوی عطر در نواحی که دارای نشت در سیستم توزیع هستند به خوبی قابل تشخیص خواهد بود.

II) روش تخمین محاسباتی در تعیین میزان نشتی هوای فشرده و تعیین اتلاف انرژی ناشی از آن:

به منظور شناسایی نشتی هوا در سیستم توزیع، می‌توان کمپرسور را با قطع هوای فشرده ورودی به تجهیزات مصرف کنندهٔ آن، بکار انداخت. کمپرسور تا رسیدن فشار هوای موجود در سیستم توزیع به یک حد خاصی کار خواهد کرد. زمان کارکرد کمپرسور را تا رسیدن فشار به آن حد خاص ثبت می‌کنیم(T). پس از رسیدن فشار به ماکزیمم میزان تنظیم شده، کمپرسور خاموش خواهد شد یا بصورت خلاص کار خواهد کرد. زمان کارکرد کمپرسور بصورت بی بار یا زمان خاموشی کمپرسور را نیز تحت عنوان زمان بی‌باری(t) ثبت می‌کنیم. این آزمونهای ثبت زمانهای کارکرد تحت بار و بی‌باری را حداقل چهار بار تکرار می‌کنیم تا میانگین قابل قبولی از زمانها به دست آید. میزان نشتی هوا از روی رابطهٔ زیر بدست می‌آید.

$$L = \frac{Q \times T}{T + t}$$

$$\text{توان مصرفی}^{1} \approx \frac{L}{3} KW$$

T : زمان کارکرد تحت بار (ثانیه)

t : زمان کارکرد بی‌باری (ثانیه)

Q: ظرفیت کمپرسور (Lit/sec)

L : میزان نشتی هوا (Lit/sec)

1 - Power Consumption

۱۱- بازیافت حرارت[1] از کمپرسورها

عمل فشرده‌سازی هوا انرژی زیادی مصرف می‌کند. اما مقدار خیلی کمی از این انرژی بصورت حرارت همراه هوای فشرده به خروجی منتقل می‌گردد. بیش از ۹۰٪ این انرژی توسط عملیات خنک‌سازی خارج شده و یا توسط تشعشع تلف می‌شود شکل (۸-۱۰).

این حرارت دارای دمای کم در حدود ۸۰°C می‌باشد و همین موضوع استفاده از آن را مشکل می‌سازد. با این حال توسط سیستم‌های خاص در حدود ۸۰٪ آن قابل بازیابی است. اگر از سیستم کانال‌کشی برای انتقال هوا استفاده شود، باید اطمینان یافت که هیچ مانعی در برابر جریان آزاد هوای خنک ایجاد نکند که باعث کاهش بازده کمپرسور می‌گردد.

سازندگان کمپرسور معمولاً حداکثر طول مشخصی را برای کانال‌کشی مجاز می‌دانند که می‌تواند برای عملیات بازیافت حرارت مورد استفاده قرار گیرد. اگر طول‌های بلندتری لازم باشد باید از فن‌های کمکی جهت به حرکت در آوردن هوا استفاده نمود.

از هوای گرم داخل کانال‌کشی جهت گرمایش فضا و فرایندهای تولید استفاده می‌شود. صرفه‌جوئی‌های مشابهی نیز می‌تواند از ماشین‌های خنک شونده توسط آب بدست آید. از حرارت موجود در آب خروجی از خنک‌کن ها می توان برای تأمین آب گرم مصرفی وهمچنین افزایش دمای آب تغذیه دیگ بخار و آب مصرفی فرایندها استفاده کرد.

مثال(۸-۶)- توان مصرفی یک کمپرسور را ۷۰KW فرض کنید. میزان ظرفیت کمپرسور (خروجی هوای فشرده) ۱۶۵ لیتر در ثانیه است. کمپرسور مدت زمان ۸ ساعت در روز با ضریب بار ۷۵٪ کار می‌کند. میزان مصرف انرژی الکتریکی کمپرسور به طریق زیر حساب می‌شود:

انرژی الکتریکی مصرفی = ۷۰ KW × ۰/۷۵ × ۸ hr = ۴۲۰ KWh/day

عمده انرژی الکتریکی مصرفی (۹۰٪) که توسط کمپرسور مصرف می‌شود به انرژی حرارتی تبدیل می‌گردد. این حرارت توسط آب خنک‌کن از کمپرسور خارج می‌شود تا کمپرسور دچار اضافه حرارت و نهایتاً آسیب نگردد.

مقدار حرارت قابل بازیابی = ۴۲۰ × ۰/۹ = ۳۷۸ KWh/day

با این مقدار انرژی و با استفاده از یک مبدل حرارتی می‌توان ۹۰۰۰ Lit/day آب گرم را با درجه حرارت ۵۳°C تولید نمود. معادل انرژی این مقدار آب گرم $۱/۴۲\times۱۰^{۶}$ KJ/day است که با احتساب راندمان ۷۵٪ برای بویلر، انرژی ورودی بویلر بصورت زیر بدست خواهد آمد:

$$\text{انرژی ورودی بویلر} = \frac{۱/۴۲\times۱۰^{۶}}{۰/۷۵} = ۱/۸۹\times۱۰^{۶}\ (\text{KJ/day})$$

اگر ارزش حرارتی سوخت مصرفی را (۴۱×۱۰^{۳} KJ/lit) در نظر بگیریم:

$$\text{میزان سوخت ورودی} = \frac{۱/۸۹\times۱۰^{۶}}{۴۱\times۱۰^{۳}} = ۴۶\ (\text{Lit/day})$$

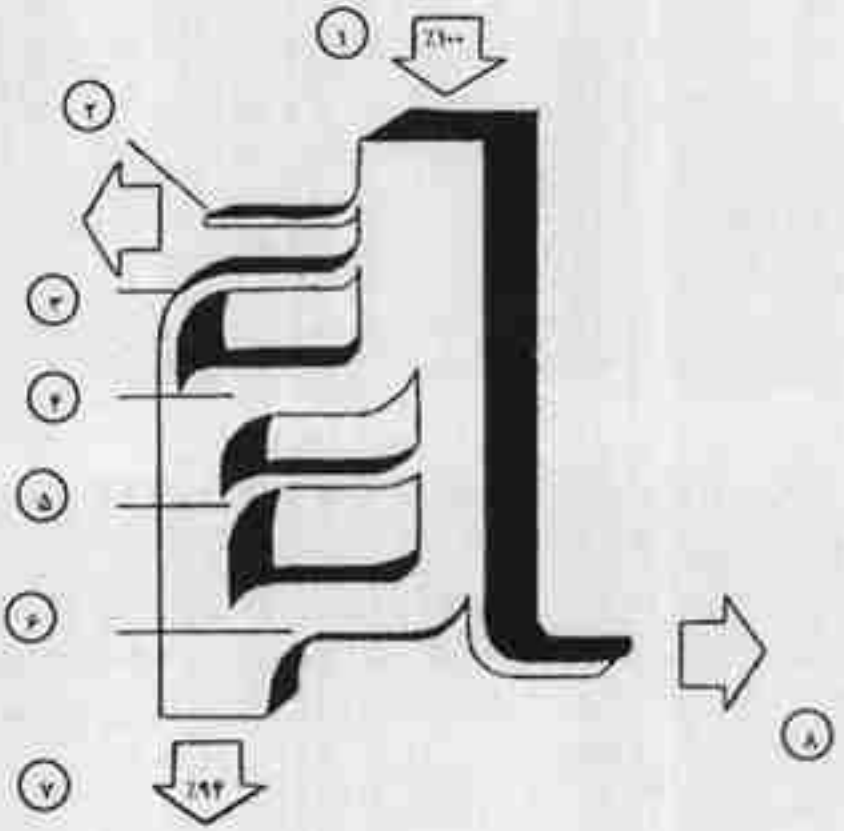
1 - Heat Recovery

اگر تعداد روز کارکرد در سال را ۳۵۰ day/year فرض کنیم. میزان سوخت ورودی سالیانه (سوخت صرفه‌جوئی شده سالیانه) برابر خواهد بود با:

مقدار مصرف سالیانه = ۴۶×۳۵۰ = ۱۶۱۰۰ (Lit/year)

درصد تقریبی توزیع حرارت در یک کمپرسور:

۱- توان الکتریکی ورودی ٪۱۰۰
۲- تلفات تابشی(تشعشعی) ٪۲
۳- بازیافت حرارت از مرحله فشار پایین ٪۴
۴- بازیافت حرارت از خنک کن داخلی ٪۴۳
۵- باز یافت حرارت از مرحلهٔ فشار بالا ٪۴
۶- بازیافت حرارت از خنک کن انتهائی ٪۹۴
۷- گرمای قابل بازیافت تئوری ٪۹۴
۸- حرارت باقیمانده در هوای فشرده ٪۶



شکل شمارهٔ (۸-۱۰)- دیاگرام جریان انرژی برای یک کمپرسور

فصل نهم

صرفه جویی انرژی در فن‌ها و پمپ‌ها

۱- فن‌ها(دمنده‌ها)

از جمله تجهیزات مصرف کننده انرژی الکتریکی در بخش صنعت و ساختمان فن‌ها می‌باشند. از جمله موارد مهم مصرف این تجهیزات می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- کاربرد فن‌ها در سیستم‌های احتراق جهت تأمین هوای احتراق و خروج گازهای احتراق
- کاربرد فن‌ها در کندانسورهای هوا خنک در صنایع نیروگاهی و فرایندی
- کاربرد فن‌ها در برج‌های خنک‌کن جهت خنک‌سازی آب
- کاربرد فن‌ها در سیستم‌های تهویه در کارخانجات و ساختمان‌ها

۱-۱- انواع فن‌ها(دمنده‌ها)

اگر بخواهیم تقسیم‌بندی کلی از فن‌ها را داشته باشیم می‌توان فن‌ها را به دو گروه اصلی زیر تقسیم‌بندی نمود:

-فن‌های نوع توربو[1]

در این فن‌ها هوا از یک جهت مکیده شده و از جهت دیگر با شتاب خارج می‌شود.

این نوع از فن‌ها خود به دو زیر گروه تقسیم می‌شوند.

1- Turbo

– **فن‌های نوع محوری**[1](شکل شمارهٔ (۹-۱))- دارای ظرفیت هوا دهی بالا برای کاربردهای تهویه دارند و بسته به نوع پروانه به سه دسته تقسیم‌بندی می‌شوند.

– **فن‌های نوع پروانه ای**[2] (شکل شمارهٔ (۹-۲))- راندمان و فشار استاتیکی در این فن‌ها پائین است ولی حجم هوادهی بالایی دارند. پروانه آنها دارای دو یا چند تیغه از جنس سبک می‌باشد.

– **فن‌های نوع محوری- لوله ای**[3](شکل شمارهٔ (۹-۳))– این فن‌ها از نظر کارآیی بهتر از فن‌های نوع پروانه ای بوده و عموماً دارای ۴ تا ۸ تیغه می‌باشند. فشار استاتیکی در آنها بین کم تا متوسط بوده و در صورت استفاده در محل‌هایی که آلاینده‌های کربن‌دار در محیط آنها وجود دارد نیاز به تمیز کردن دوره ای تیغه‌ها وجود دارد.

– **فن‌های نوع محوری- پرّه‌ای**[4](شکل شمارهٔ (۹-۴))– این فن‌ها دارای تیغه‌های کوتاه ثابت یا قابل تنظیم هستند. بین فن‌های نوع محوری از همه کارآتر می‌باشند. فشار استاتیکی بین کم تا زیاد را دارند و در سیستم‌های گرمایش و تهویهٔ مطبوع[5] و سیستم‌های تهویهٔ صنایع مورد استفاده قرار می‌گیرند.

– **فن‌های گریز از مرکز (سانتریفوژ)**[6] (شکل شمارهٔ (۹-۵))- دارای ظرفیت تأمین فشار بالا هستند و در مواردی نظیردیگهای بخار(بویلرها) کاربرد دارند. بسته به نوع پروانه که معمولاً بیش از ۱۰ تیغه دارند به چهار دسته تقسیم می‌شوند.

– **فن‌های نوع ایرفویل**[7]**(شکل شمارهٔ (۹-۶))**– این نوع از فن‌های سانتریفوژ کارآترین نوع اما در عین حال گرانترین نوع از این فن‌ها هستند. راندمان این نوع از فن‌های سانتریفوژ تقریباً ۹۰٪ است. کاربرد آنها درسیستم‌های گرمایش و تهویهٔ مطبوع و صنایع با هوای تمیز در صورت اهمیت داشتن صرفه‌جوئی انرژی در این صنایع و سیستم‌ها نمود پیدا می‌کند. در مواردیکه نیاز به تأمین حجم بالای هوای با فشار استاتیک بین کم تا متوسط باشد از این نوع فن‌ها می‌توان استفاده کرد.

– **فن‌های نوع بکوارد اینکلاینڈ**[8] (شکل شمارهٔ (۹-۷))– کارآیی این فن‌ها کمتر از فن‌های نوع ایرفویل بوده و حدوداً ۸۰٪ می‌باشد. در سیستم‌هایی که نیاز به فشار استاتیک بین کم تا زیاد در آنها وجود دارد و سیستم‌های گرمایش و تهویهٔ مطبوع با حجم هوای متوسط کاربرد دارند. همچنین در صنایعی که دارای محیط‌های خورنده هستند مورد استفاده قرار می‌گیرند.

1- Axial
2 - Propeller
3- Tube Axial
4 - Vane Axial
5 - HVAC: Heat Ventilation and Air Condition
6 - Centrifugal Fans
7 - Airfoil
8 - Backward-inclined

فن‌های نوع شعاعی[1] (شکل شمارهٔ (۹-۸))– در سرعت متوسط کار می‌کنند و کمترین راندمان را دارند که حدوداً ۵۰٪ تا ۶۰٪ است. در صنایع با محیط‌های خورنده کاربرد دارند.

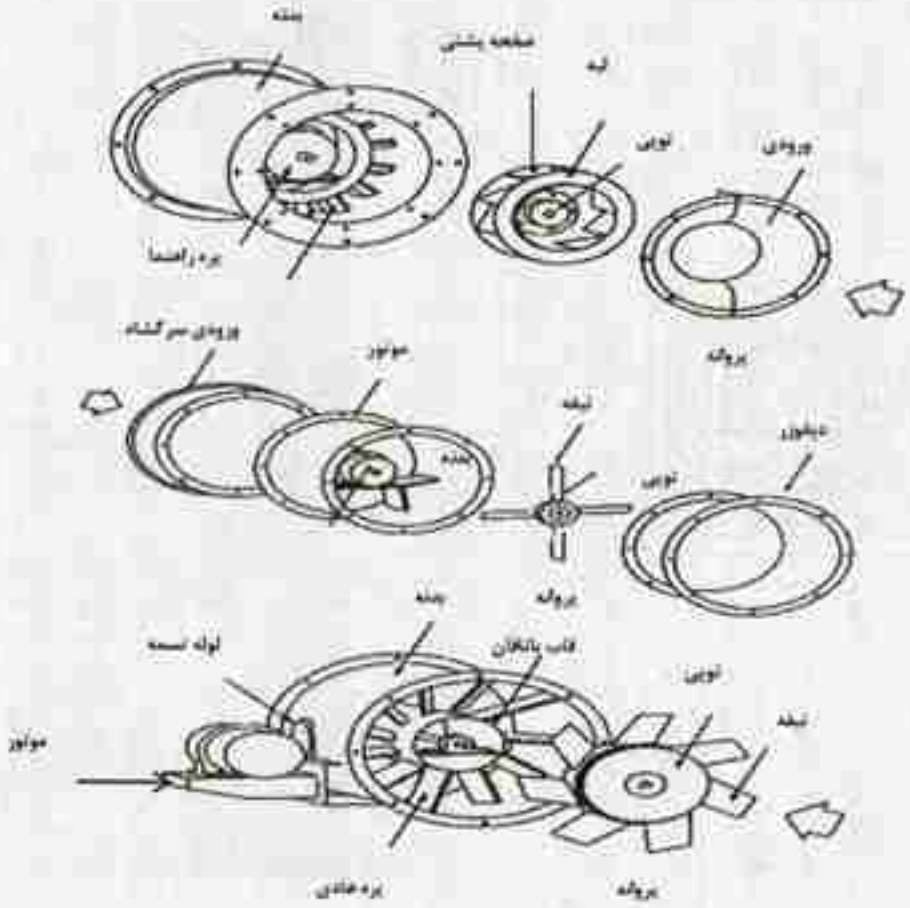
– **فن‌های نوع فوروارد اینکلایند**[2]– سرعت این فن‌ها به نسبت سایر فن‌های سانتریفوژ کمترین بوده ولی از لظر ابعاد نیز کوچک‌ترین نوع فن سانتریفوژ محسوب می‌شود. راندمان این نوع از فن‌های سانتریفوژ کمتر از راندمان نوع اول و دوم بوده و به حدود ۷۰٪ می‌رسد.

در سیستم‌های گرمایش و تهویهٔ مطبوع تجاری و مسکونی کاربرد دارند و در مواردیکه نیاز به حجم پائین هوا با فشار استاتیک کم تا متوسط است مورد استفاده قرار می‌گیرند.

– **فن‌های نوع جابجایی**[3]– در این نوع از فن‌ها، هوا به داخل یک محفظه با یک حجم مشخص مکیده می‌شود. ورودی بسته شده و هوا از سمت خروجی با فشار بیرون رانده می‌شود. این عمل توسط جابجایی یک پیستون می‌تواند صورت بگیرد.

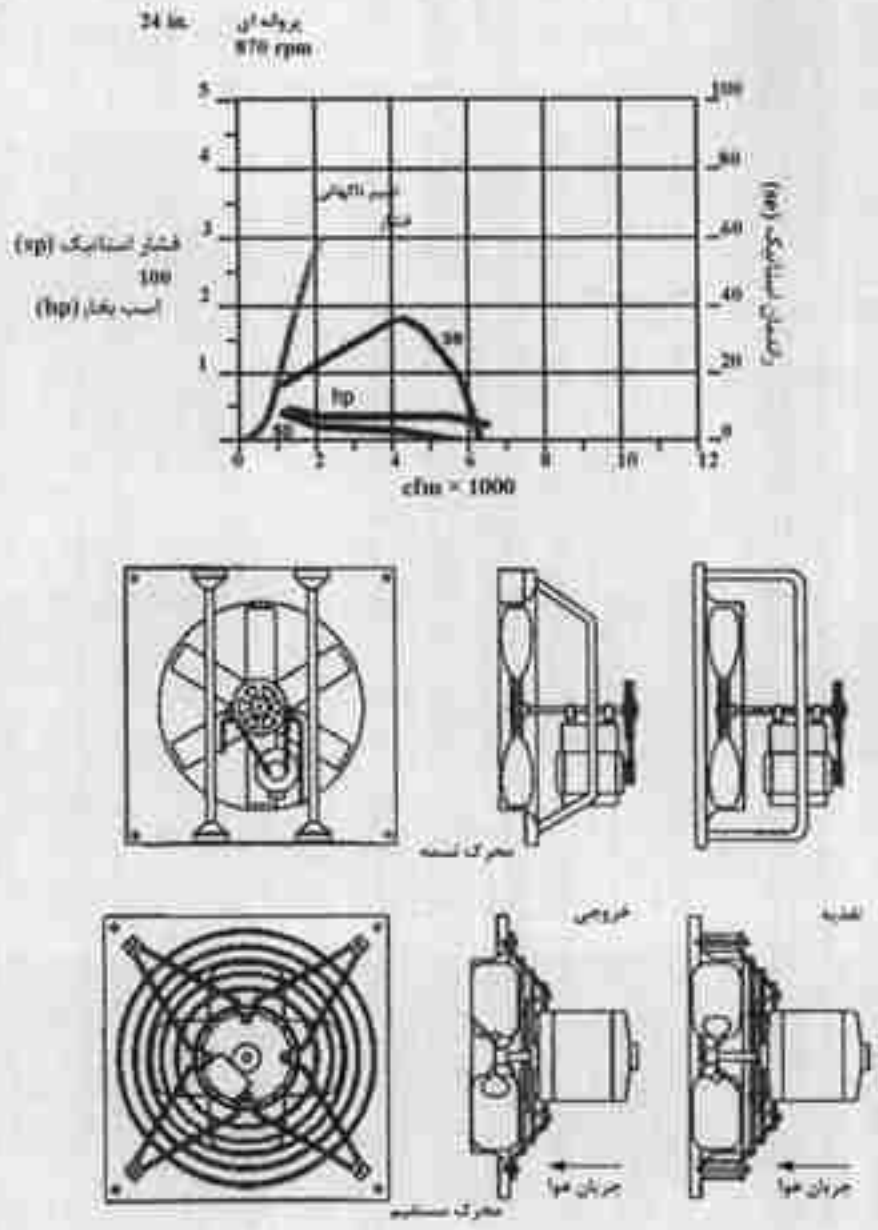
از دیدگاه کارایی نسبت فشار بین ۱/۲–۲/۵ و حجم گاز بین ۲۰۰ تا ۳۰۰ متر مکعب بر دقیقه است. این نوع از فن‌ها در سیستم‌های خلاء و گازهای با جرم حجمی پائین مورد استفاده قرار می‌گیرند.

مشخصات عملکردی انواع فن‌ها در جدول شمارهٔ (۹-۱) بطور مفصل ارائه گردیده است.

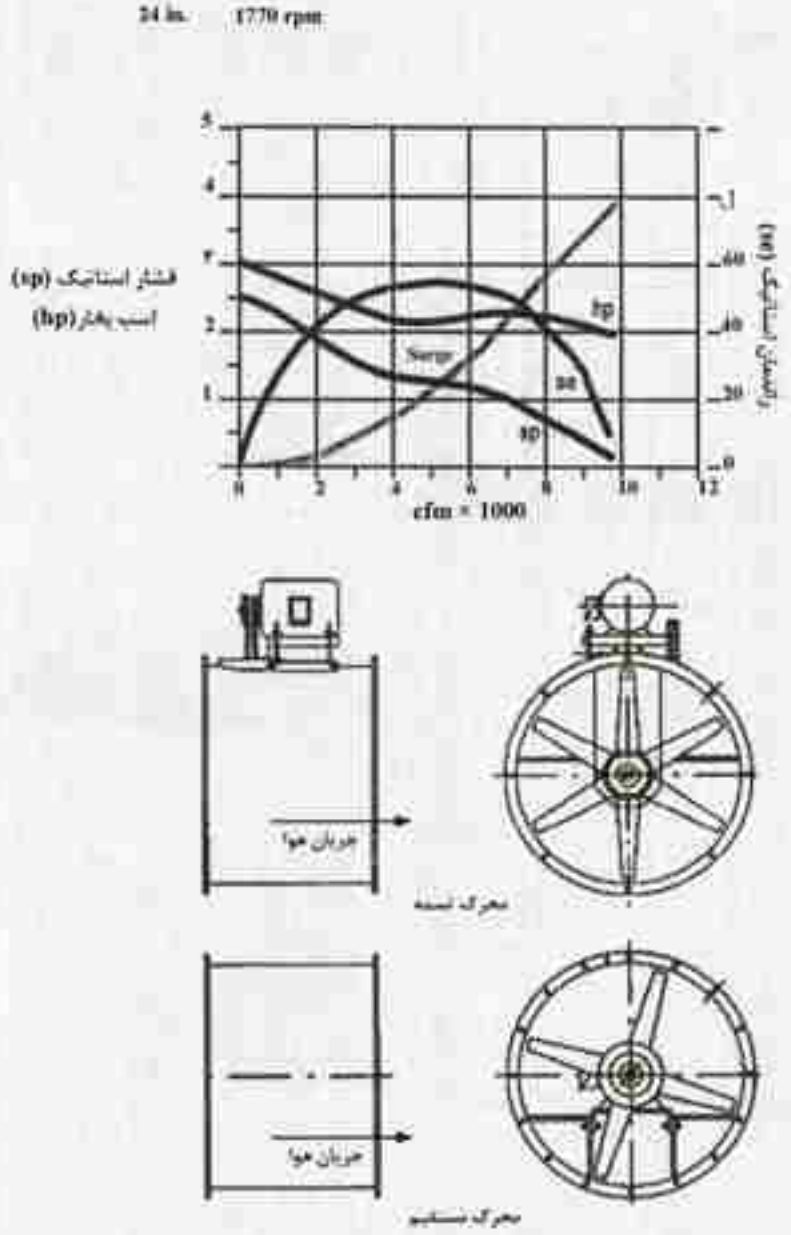


شکل ۹-۱ – شکل کلی و اجزای فنهای محوری

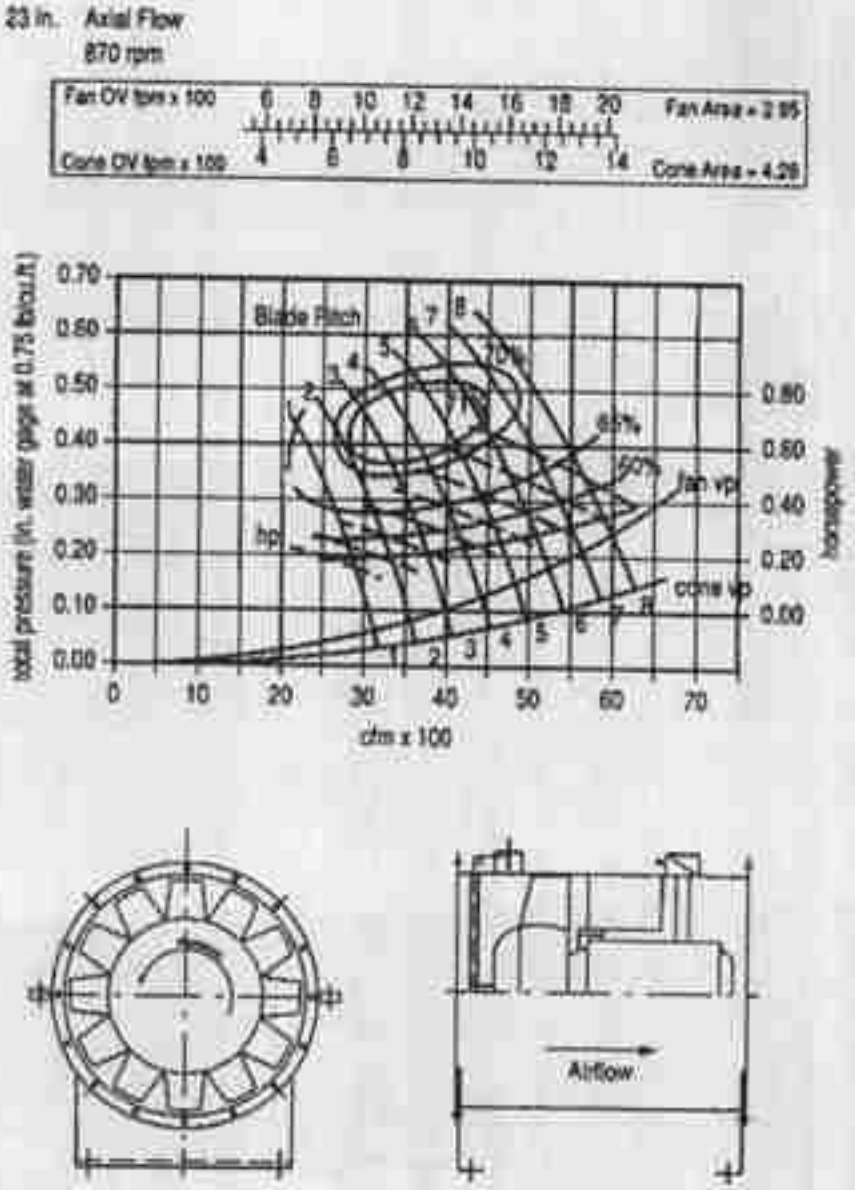
1 - Radial
2 - Forward-Curved
3- Displacement Type



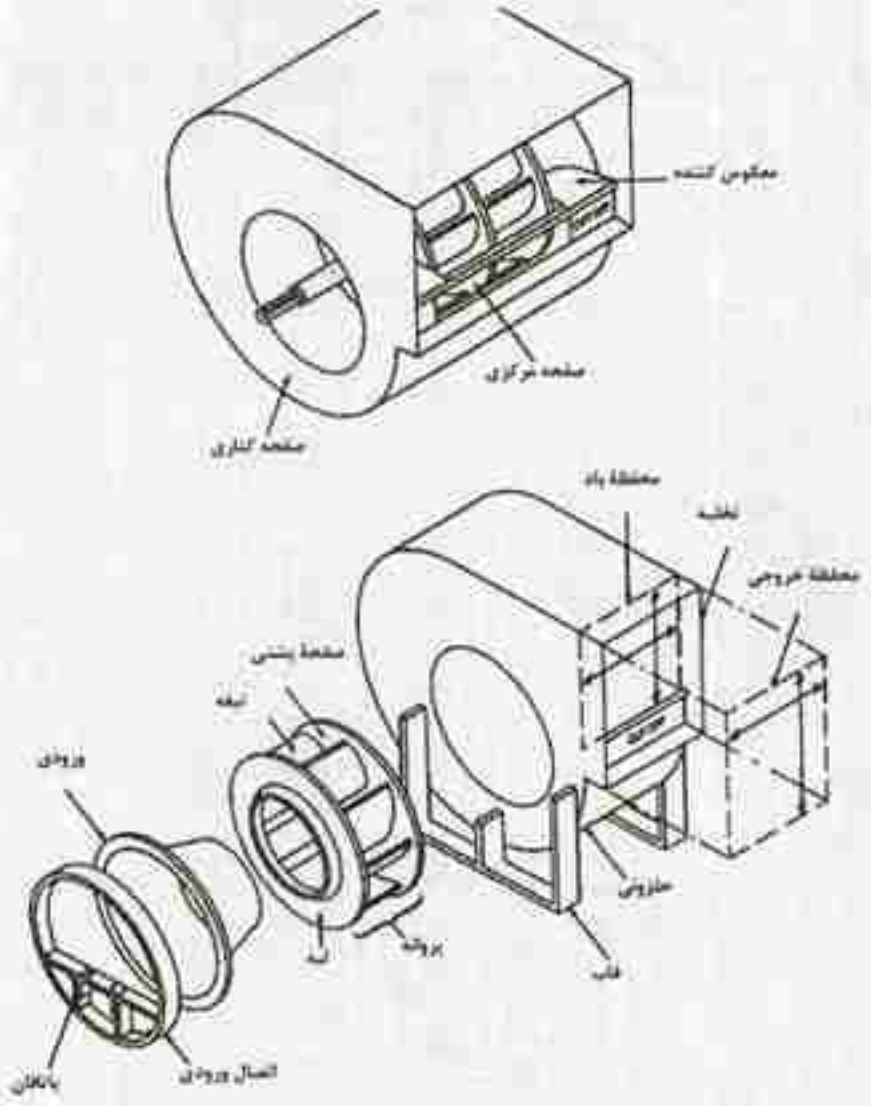
شکل ۹-۲- مشخصات یک نمونه فن از نوع پروانه ای



شکل ۳-۹- مشخصات یک فن از نوع محوری - لوله ای

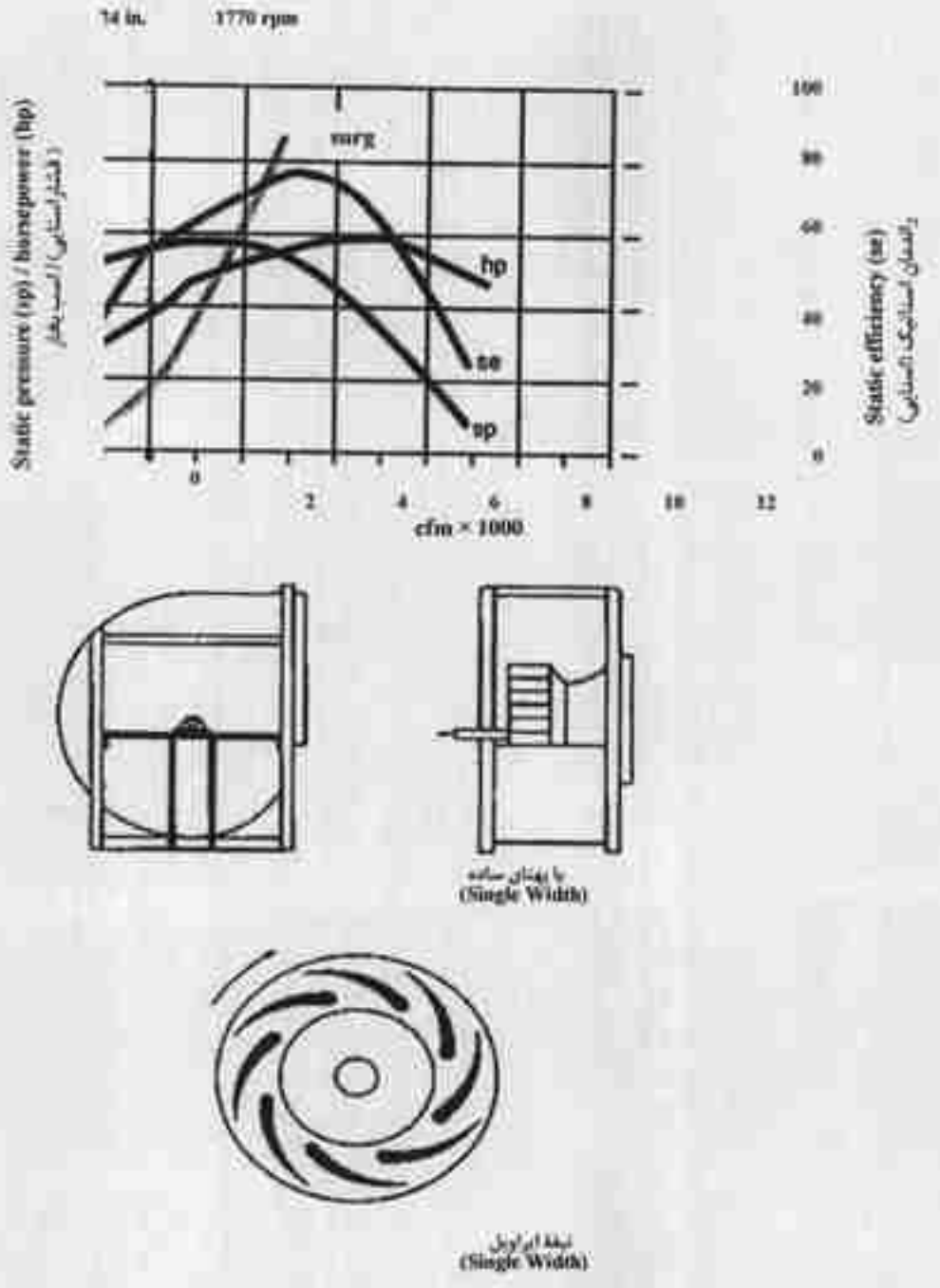


شکل ۹-۲- مشخصات یک نمونه فن از نوع محوری- پره ای

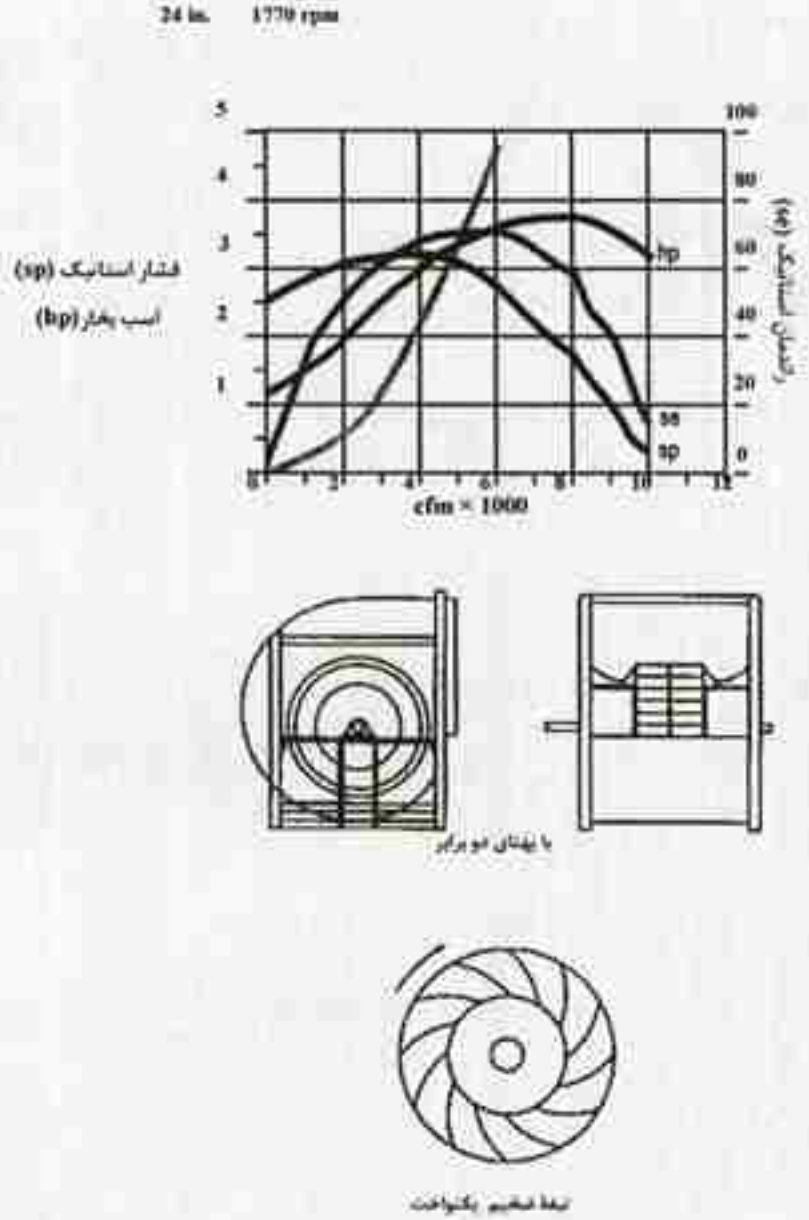


شکل ۹-۵- شکل کلی و اجزای فنهای نوع گریز از مرکز

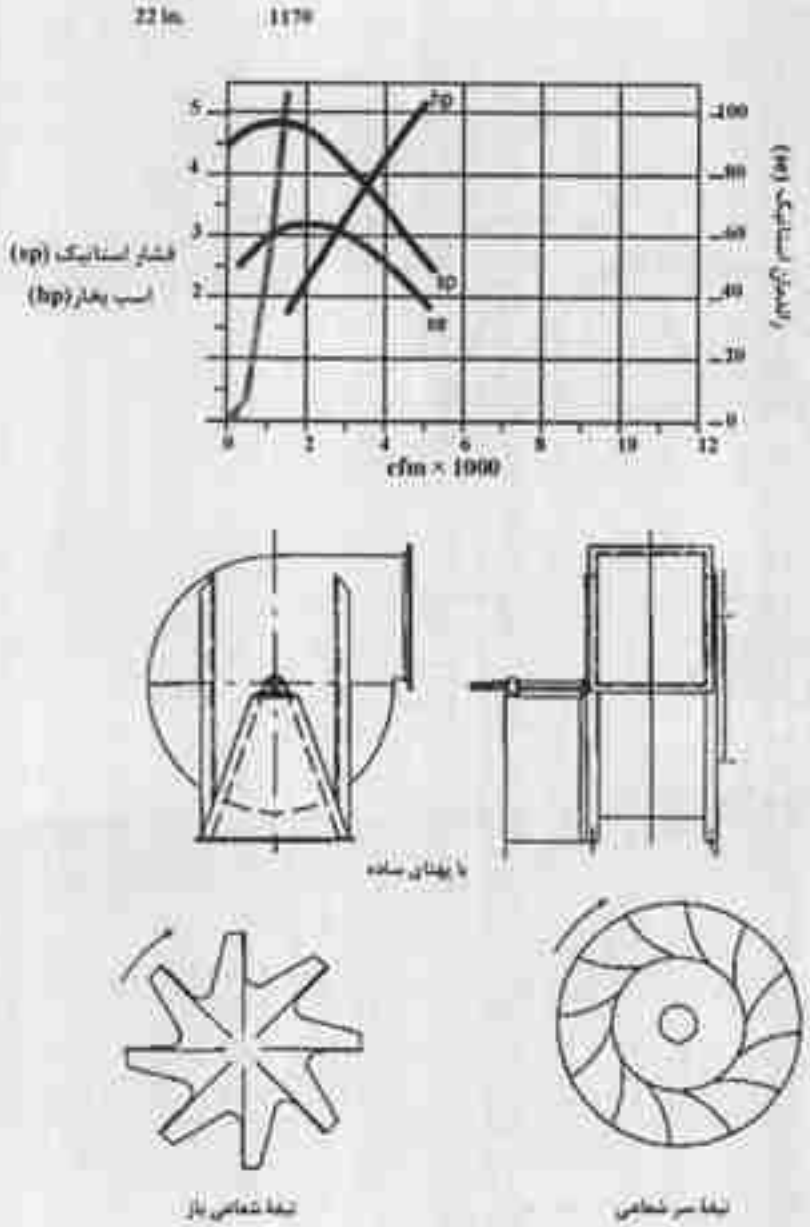
AFSW Centrifugal



شکل ۹-۶ – مشخصات یک فن نمونه از نوع **Airfoil**



شکل ۹-۷- مشخصات یک نمونه فن از نوع بکوارد اینکلاینه



شکل ۹-۸- مشخصات یک نمونه فن از نوع شعاعی

جدول ۹-۱ - مشخصات و عملکرد انواع فنها

Model	Shape of impeller	Total efficiency [%]	Air volume [m³/min]	Pressure [mmAq]	Performance curve	Characteristics of performance
Centrifugal						
Backward blower Sirocco fan	Direction of rotation / Direction of air	Backward 60~85 Aero foil 75~90	Fan 30~10,000 Blower 50~8,000	Fan 100~1,000 Blower 1,000~10,000	Pressure / Shaft power / Air volume	Air volume-pressure curve has a peak. As air volume increases, shaft power also increases, but saturates at a certain value. (Load limit characteristics)
Radial fan Paddle fan		55~75	50~10,000	500~2,000	Pressure / Shaft power	Air volume-pressure curve has a peak. As air volume increases, shaft power also increases.
Multi-blade fan		45~70	20~4,000	~ 150	Valley / Pressure / Shaft power	Air volume-pressure curve has a valley. As air volume increases, shaft power increases sharply.
Special blower (Rotary diffuser type)		70~86	100~80,000	1,000~3,500	Pressure / Shaft power	Air volume-pressure curve is flat, with high partial load efficiency and narrow surging range. As air volume increases, shaft power also increases.
Special blower (Long blade inlet type)		65~85	50~30,000	100~1,500	Pressure / Shaft power	Shutoff pressure is high and no surging character. The others are almost the same as a backward blower.
Mix flow						
Mix flow Fan		60~85	2~10,000	~ 500	Pressure / Shaft power	Intermediate characteristics between a backward and an axial flow fan.
Axial flow						
Axial flow Fan		70~90	100~80,000	~ 200	Valley / Pressure / Shaft power	Air volume-pressure curve has a valley. Shaft power is maximum at shutoff and flat generally.

۱-۲- مقاومت و منحنی‌های مقاومت در فن‌ها

هنگامی که هوا از طریق یک کانال یا یک سیستم لوله‌کشی بوسیله یک فن تأمین می‌شود در صورتیکه فن فشار مشخصی را نتواند تأمین کند هوا نمی‌تواند در مجرا (کانال) جریان یابد، چون فشار هوا بایستی بر مقاومت مسیر لوله‌کشی یا کانال غلبه نماید.

مقاومت مسیر لوله‌کشی یا کانال با منحنیئی تحت عنوان منحنی سیستم مشخص می‌گردد.

درکنار منحنی سیستم، منحنی دیگری تحت عنوان منحنی فن وجود دارد که شکل آن تابعی از طراحی، اندازه و سرعت فن است. تلاقی دو منحنی سیستم و فن نقطه کار فن را مشخص می‌سازد.

منحنی مقاومت سیستم شامل دو جزء است؛

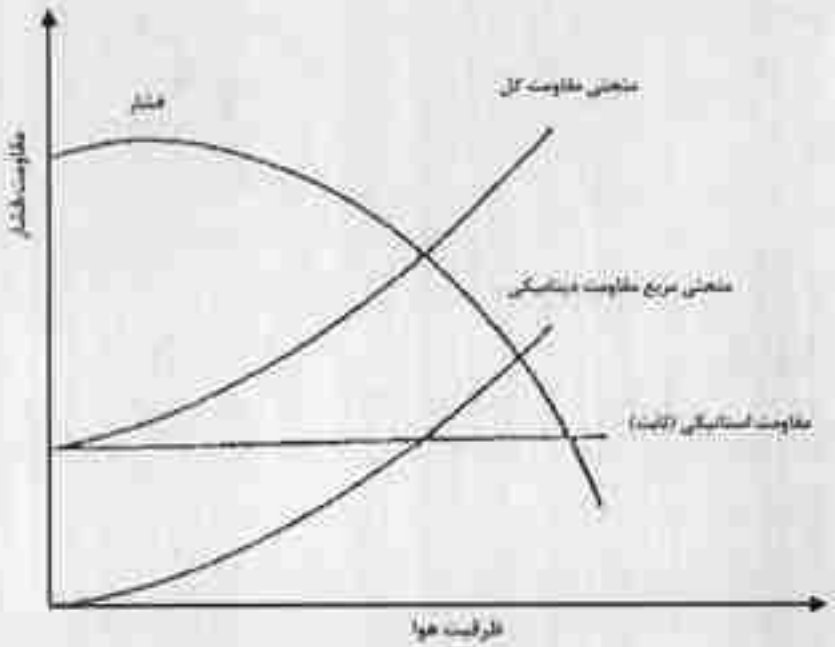
R_d – مقاومت دینامیکی که متناسب با توان دوم سرعت سیال (باد) است.

R_S – مقاومت استاتیکی که هیچ رابطه‌ای با سرعت باد ندارد.

مجموع این دو مقاومت تحت عنوان مقاومت کل ($R_C = R_d + R_S$) نامیده می‌شود.

در اکثر موارد به جز مواردی که در آن، هوا به داخل یک مخزن یا فشار بالا دمیده می‌شود منظور از مقاومت، مقاومت دینامیکی است. در مورد دمش هوا به داخل یک سیستم با فشار بالا یا مکش هوا از یک سیستم با فشار پائین منظور از مقاومت، مقاومت استاتیکی است.

شکل شمارهٔ (۹-۹) نشان دهندهٔ منحنی‌های سیستم و فن می‌باشد.



شکل ۹-۹- منحنی های سیستم و فن

۱-۳ - توان لازم برای فن‌ها

در تعیین توان لازم برای کارکرد یک فن بایستی توان لازم مصرفی به تفکیک زیر، مد نظر قرار گیرد.

-قدرت هوا[1] (LT) - انرژی مؤثری که توسط یک فن در واحد زمان به هوا داده می‌شود.

$$LT = \frac{K}{K-1} \times \frac{Pt1 \times Q}{6120} \left\{ \left(\frac{Pt2}{Pt1} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right\} (KW) \qquad (۱-۹)$$

P_{t1} : فشار مطلق در سمت مکش (Kg/m^2)

P_{t2} : فشار مطلق در سمت دمش (Kg/m^2)

Q : جریان هوا (m^3/min)

K : ثابت گازها (برای هوا $K = 1/4$)

اگر نسبت فشار ۱/۰۳ یا کمتر باشد رابطه بصورت زیر خواهد بود:

$$LT = \frac{P_T \times Q}{6120} (KW)$$

P_T : کل فشار فن $(mm\ H_2O)$

-توان محوری[2] (L)- از تقسیم قدرت هوا (یعنی **LT**) به راندمان فن (یعنی ηF)،توان محوری[3] بدست می آید:

$$L = \frac{LT}{\eta_F} (KW) \qquad (۲-۹)$$

راندمان معمولاً بر حسب میزان جریان هوای نامی بیان می‌شود.

- توان خروجی موتور - LM

به دلیل ساختار ساده و هزینه کم، معمولاً از موتورهای القایی برای فن‌ها استفاده می‌شود. برای فن‌های با ظرفیت پائین از موتورهای القایی قفس سنجابی استفاده می‌گردد.

$$LM = L \times \Phi \times \frac{1}{\eta_t} (KW) \qquad (۳-۹)$$

Φ : مقادیر ویژه[4]

η_t : راندمان انتقال

جدول شمارهٔ (۹-۲) و (۹-۳) به ترتیب نشانگر مقادیر η_t و Φ می‌باشند.

1- Air Power
2- Axial Power
3- Shaft Power
4- Allowance Rate

جدول ۹-۲- مقدار η_p

محور موازی تک مرحله ای، از نوع دنده کاهنده باانتقال قدرت ۱۰۰KW و یا کمتر	محور موازی تک مرحله ای، از نوع دنده کاهنده باانتقال قدرت ۱۰۰KW و یا بیشتر	از نوع سرعت ثابت، ترمز هیدرولیکی با انتقال قدرت ۱۰۰KW و یا کمتر	از نوع سرعت ثابت، ترمز هیدرولیکی با انتقال قدرت ۱۰۰KW و یا بیشتر
۰/۹۵	۰/۹۶	۰/۹۴	۰/۹۵

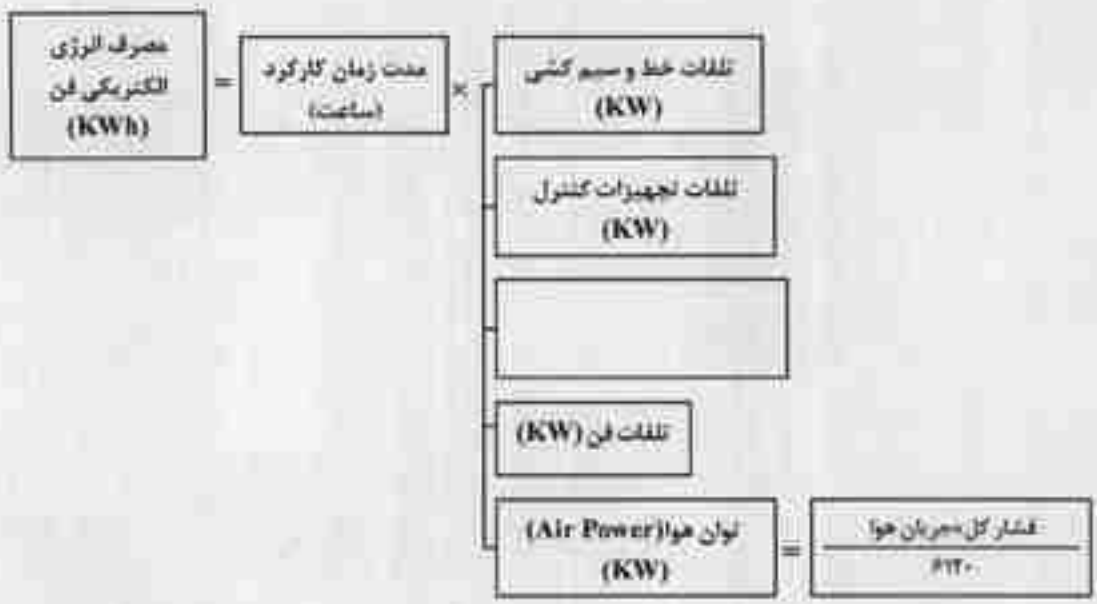
تسمه V شکل	تسمه صاف	اتصال مستقیم
۰/۹۵	۰/۹۰	۱

جدول ۹-۳- مقدار Φ

فن پروانه ای۱ (Propeller fan)	فن دیسکی۲ (Disk fan)	فن پره ای۳ (Multivane fan)	فن توربو۴ (Turbo fan)	فن صفحه ای۵ (Plate fan)	فن از نوع پروفیل۶ (Profile Type fan)
۱/۳۰	۱/۵۰	۱/۳۰	۱/۱۵	۱/۲۵	۱/۱۵

۹-۴- صرفه‌جوئی انرژی الکتریکی در فن‌ها

عوامل اثرگذار درصرفه‌جوئی انرژی الکتریکی مصرفی در فن‌ها، از روی دیاگرام زیر قابل استخراج می‌باشند:



از روی این عوامل اثر گذار روی مصرف انرژی، می‌توان راهکارهای کاهش مصرف انرژی را به شرح زیر معرفی نمود:

الف– کاهش زمان کارکرد (کاهش زمان کارکرد غیر مفید)

این راهکار صرفه‌جوئی انرژی، می‌تواند بطرق زیر صورت پذیرد:

I – اجتناب از راه‌اندازی فن‌ها قبل از شروع بکار کارخانه

II – اجتناب از کارکرد فن‌ها پس از خاتمه کار کارخانه

III – قطع کارکرد فن‌ها در مدت زمانی که کارخانه در اثر حوادث و مشکلات غیر مترقبه و ناخواسته متوقف می‌شود.

IV – استفاده از سیستم کنترل روشن-خاموش[1] برای کاهش زمان کارکرد غیر مفید فن‌ها . بدلیل اینرسی بالای فن‌ها باید ملاحظات زیر برای بهره‌گیری از سیستم کنترل خاموش-روشن مد نظر قرار گیرد.

الف – بررسی طول عمر مکانیکی و الکتریکی موتور- مقاومت مکانیکی و گرمایش و غیره در اثر راه‌اندازی‌های مکرر، بررسی می‌شوند.

ب – افت ولتاژ در منبع تغذیه – گرچه ماشین‌های الکتریکی قابلیت کارکرد با ۱۰٪ - ولتاژ نامی را نیز دارند، لیکن ضرورت استفاده از راه‌انداز نرم باید بررسی شود.

ج – طول عمر تجهیزات راه‌اندازی – در صورت تکرار راه‌اندازی، مسئله افزایش دما در راکتورها و جبران سازها که برای راه‌اندازی مورد استفاده قرار می‌گیرند باید بررسی شود.

د – گرمای ایجاد شده در کابل تغذیه و بررسی طول عمر کلیدها – جدول شمارهٔ (۹-۴) و (۹-۵) به ترتیب، نشان دهندهٔ عمر کلید و مقایسهٔ سیستم های مختلف راه اندازی می‌باشند.

جدول ۹-۴- عمر کلید (هنگامی که تحت تعمیر قرار نگیرد)

مشخصات	طول عمر مکانیکی	طول عمر الکتریکی
قطع کننده روغنی	۱۰۰۰۰ بار	۲۰۰۰ تا ۵۰۰۰ بار
قطع کننده خلاء	۱۰۰۰۰ بار (امکان افزایش تا ۵۰۰۰۰ بار)	۱۰۰۰۰ بار
قطع کننده گازی	۱۰۰۰۰ بار (امکان افزایش تا ۵۰۰۰۰ بار)	۱۰۰۰۰ بار
کنتاکتور الکترومغناطیسی با ولتاژ بالا	۵۰۰۰۰۰۰ بار(درجه یک)	۵۰۰۰۰۰۰ بار(درجه یک)

1- On/Off

جدول ۹-۵- مقایسهٔ انواع سیستمهای راه اندازی

Starting system	Composition diagram	Starting current	Starting torque	Voltage when starting	Electro-magnetic force	Armature heating capacity	Problems when starting at multi-frequency
Direct starting	Coupling	100 (5 to 7 times full-load current)	100 (About 130 % on rated torque)	100	100 (In proportion to square of current)	$100\left(\frac{100^2-80^2}{130}(\%)\right)$	Power voltage drop, Motor life, Breaker life
Reactor starting	Reactor	50,63,80	25, 42, 64	50, 63,80 (Standard tap)	25, 42, 64	100	Reactor heating capacity, motor life, breaker life
Closed circuit transition auto-transformer starting	Auto-transformer	25, 42, 64	25, 42, 64	50, 65, 80 (Standard tap)	25, 42, 64	100	Starting compensator heating capacity, motor life, breaker life
VVVF Starting		17 or less (Any value below rated current)	70 or less (Any value below rated torque)	0 - 100 (In proportion to speed)	2 - 3 (Large when there is inrush current)	Hardly any	Transient torque (when switched from VVVF to main power source), inrush current (when switched from VVVF to main power source), effects from higher harmonic (motor temperature rise, occurrence of shaft voltage, resonance of pulsating torque and shaft torsion, surging voltage when commencing)
Secondary side resistor starting (limited to wound-rotor type)	External resistance	15 - 40 (Optional)	80 - 200 (Optional)	100	3 - 16	Hardly any (Consumed by external resistator)	External resistance heating capacity, breaker life, slip ring heating capacity, mechanical life of brush lifting mechanism, life of motor for brush lifting

Note (1) Value at direct starting is regarded as 100 %.

(2) Starting torque is generated torque of motor and shall be (Starting torque + Stalling torque)/2.

ب- کنار هم گذاشتن تجهیزات با راندمان بالا

نکات قابل توجه در این راهکار عبارتند از :

I – راندمان فن‌ها – انتخاب بهترین گزینه برای فن، بهبود شکل تیغه‌ها و ـ

II – راندمان تجهیزات انتقال قدرت

III – راندمان موتورها

ج- کاهش در توان هوا - کاهش توان مصرفی فن به کاهش میزان جریان هوا[1] می‌انجامد. در مورد جریان هوا قبل از پرداختن به هر بحثی بایستی به سه سوال اساسی ذیل پاسخ داد:

۱- میزان جریان هوای مناسب چقدر است؟

۲- برای داشتن این میزان هوا، کدام روش کارا باید مورد استفاده قرار گیرد؟

۳- آیا نشت هوا در سیستم لوله‌کشی و محل استفاده وجود ندارد؟

1- Air Flow

پس از اینکه به سوالات فوق پاسخ مناسب دادیم به بیان سیستم‌هایی می‌پردازیم که برای کاهش جریان هوا وجود دارند که این سیستمها عبارتند از :

الف – سیستم ثابت

ب – سیستم متغیر

روش‌های خلاصه شده برای دو سیستم فوق‌الذکر به منظور کاهش ظرفیت هوای دمیده شده و کاهش جریان هوا در جدول‌های شمارهٔ (۹-۶) و (۹-۷) ارائه گردیده‌اند. روش‌های مطرح در تعدیل جریان هوا در سیستم ثابت عبارتند از :

روش‌های کاهش تعداد، تعویض پره‌ها و تغییر در سرعت چرخش از طریق تغییر موتور یا قطر فلکه.

تکنیک‌های مطرح در سیستم متغیرنیز عبارتند از:

بازرسی دریچهٔ قابل تنظیم[1] (دمپر) درخروجی، کنترل دریچه ورودی، کنترل فرکانس، تغییر در تعداد قطب‌های الکتروموتور، کنترل مقاومتی در ثانویه موتور و ...

پس از معرفی تکنیک‌های هر سیستم به بررسی اجمالی برخی از آنها می‌پردازیم.

جدول ۹-۶- روش کاهش ظرفیت دمش هوا (نوع ثابت)

دسته بندی اصلی	دسته بندی فرعی
کاهش ظرفیت دمندگی	کاهش تعداد فن های مورد استفاده. تعویض فن ها. برش یا جایجایی پروانه
انتخاب و تنظیم صحیح باز شدن پره های دریچهٔ قابل تنظیم	کاهش دفعات باز شدن دریچهٔ قابل تنظیم.کاهش دفعات باز شدن پره ها
تغییر سرعت چرخش	تعویض موتور.تعویض تسمهٔ فلکه. نصب یا تعویض کاهنده

جدول ۹-۷- روش کاهش جریان هوا (سیستم متغیر)

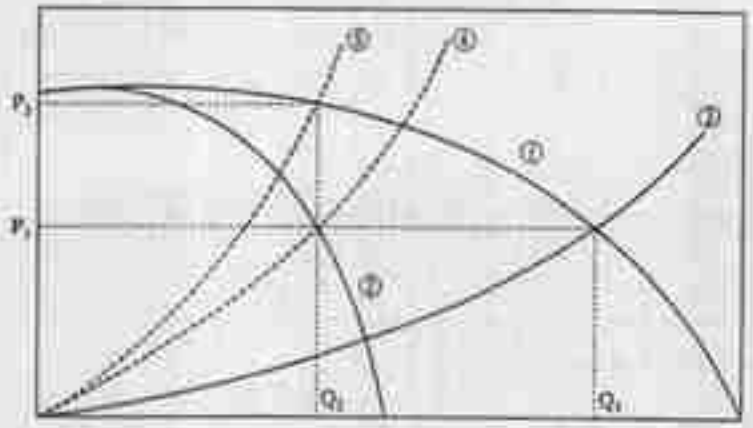
بازرسی دریچهٔ قابل تنظیم تخلیه (متغیر)	کنترل دریچهٔ قابل تنظیم ورودی (متغیر)
کنترل پره ورودی	تغییر تعداد قطبها
کنترل کوپلینگ جریان گردابی	کنترل مقاومت ثانویه
کنترل ولتاژ متغیر - فرکانس متغیر	کنترل شربیوس (Scherbius)

1- Damper

I – کاهش تعداد – مطابق شکل شمارهٔ (۹-۱۰) دو فن شماره (۱) و (۲) با مشخصات یکسان بصورت موازی کار می‌کنند. جریان هوای لازم از Q^2 به Q^1 به میزان نصف کاهش پیدا می‌کند. منحنی مقاومت سیستم که شامل دریچهٔ قابل تنظیم نیز است ازنقطه (۳) به نقطه (۵) تغییر می‌کند. توان لازم دراین نقطه متناسب با $P_2 \times Q_2$ است. همین میزان هوای لازم را می‌توان توسط یک فن با منحنی مقاومت (۴) تأمین نمود. توان لازم در این شرایط متناسب با $P_1 \times Q_2$ است. اختلاف توان در دو حالت معادل:

$$P_2 \times Q_2 - P_1 \times Q_2 = (P_2 - P_1) \times Q_2$$

می‌باشد که این مقدار حداقل صرفه‌جوئی توان حاصله در بکارگیری یک فن، بجای استفاده از دو فن یا دمپر می‌باشد. اختلاف در راندمان دو روش نیز به مقدار بالا اضافه می‌شود.



شکل ۹-۱۰- منحنی عملکرد برای کارکرد موازی فن ها

II – جایگزینی پره‌ها[1] – در صورتیکه ظرفیت فن بالاتر از میزان هوای مورد نیاز تعیین شده باشد راهکار جایگزینی پره‌ها مطرح می‌شود. این مورد (اضافه ظرفیت) اگر با افزایش وزن مخصوص هوا یا گاز همراه شود سبب افزایش فشار باد به میزان زیاد گردیده و این مسئله موجب افزایش بار الکتروموتور متصل به فن می‌شود. روابط حاکم بین جریان، فشار، توان مصرفی و قطر پره، حاکی از آن است که تغییر قطر پره می‌توانند به میزان قابل توجهی روی مصرف توان الکتریکی فن اثر بگذارد.

اگر Q نشانگر جریان، P فشار، L توان محوری و D قطر پره را نشان دهد

روابط زیر را داریم:

(جریان با توان دوم قطر متناسب است) $Q \approx D^2$

(فشار با توان دوم قطر متناسب است) $P \approx D^2$

(توان مصرفی با توان چهارم قطر متناسب است) $L \approx D^4$

1- Replacement of Impellers

لذا کاملاً مشخص است که با کاهش قطر پره به میزان لازم صرفه‌جوئی انرژی الکتریکی در فن‌ها حاصل می‌گردد. انجام بالانس مجدد فن پس از کاهش قطر پره الزامی است.

III - استفاده از دریچهٔ قابل تنظیم (دمپر) و پره راهنما - دمپر وسیله‌ای است که بصورت عمودی در مسیر جریان هوا قرار می‌گیرد و بوسیله آن سطح مقطع مفیدی که برای عبور جریان لازم است تنظیم می‌شود. اگر دمپر در ورودی فن نصب شود تغییر آن سبب تغییر منحنی فشار استاتیک می‌شود و اگر دمپر در خروجی فن نصب شود تغییر آن سبب تغییر منحنی مقاومت می‌شود.

پره راهنما[1] یک تیغه متحرک است که در ورودی فن نصب می‌شود و سبب چرخش هوای ورودی به فن در جهت چرخش فن می‌شود. تغییر در آن سبب تغییر در فشار بار و منحنی جریان هوا می‌شود.

جدول شمارهٔ (۹-۸) اصول و مشخصات عملکردی دمپر، پره راهنما و تغییر سرعت را در فن‌ها مقایسه می‌کند.

جدول ۹-۸ - مقایسه اصول و مشخصات عملکردی دمپر، پره راهنما و تغییر سرعت در فن‌ها

Method	Discharge damper opening adjustment	Intake damper opening adjustment	Intake vane control	Changing the rotating speed
Principle	Change blower resistance curve by incidentally increasing resistance of the piping circuit.	Since damper resistance is provided on intake side, it serves as a negative pressure and pressure curve slightly changes. Axial power curve also changes slightly.	Reduce the impeller work done by intentionally changing gas flowing angle against blower impellers, thus changing the pressure and power curves at the same time.	Air capacity is in proportion to the rotating speed, the pressure in square of the rotating speed, and the axial power in cube of the rotating speed.
Diagram of principle				
	When damper is closed, resistance increases and operating point changes from (P_1, L_1, Q_1) to (P_2, L_2, Q_2). Here, Operating point is a point of intersection of pressure and resistance curves.	When damper is closed, pressure curve falls and operating point changes from (P_1, L_1, Q_1) to (P_2, L_2, Q_2).	Reducing vane lowers pressure and axial power curves. Operating point changes from (P_1, L_1, Q_1) to (P_2, L_2, Q_2). Reduction in axial power is far larger than damper opening adjustment.	Changing the rotating speed from N_1 to N_2 shifts the pressure and axial power curves from (1) to (2), and the operating point from (P_1, L_1, Q_1) to (P_2, L_2, Q_2).
Special features	1) Surging area is wide and effective air capacity cannot often be performed. 2) Axial power does not lower much even in low air capacity area.	1) Surging area is narrower than for discharge damper. 2) Axial power lowers almost in proportion to air capacity.	1) Same as at left. 2) Axial power lowers almost in proportion to air capacity and lowers much more than the inside damper.	Axial power lowers most and this is the best method for electric power conservation.

1- Vane

۱۷- تغییر سرعت چرخش (تغییر موتور یا تغییر قطر پولی)[1] - در بارهای از نوع گریز از مرکزمانند فن‌ها و پمپها، تغییرات جریان، فشار و توان با دور مطابق روابط معروف زیر است :

Q : جریان $Q \alpha n$

P : فشار $P \alpha n^2$

L : توان $L \alpha n^3$

n : دور

یعنی جریان متناسب با دور، فشار متناسب با توان دوم دور و توان مصرفی متناسب با توان سوم دور می‌باشد.

در صورتیکه جریان مورد نیاز، کمتر از ظرفیت فن باشد، با جایگزینی الکتروموتور با یک الکتروموتور سرعت پائین‌تر می توان از انرژی مصرفی کاست.

در صورت استفاده از تسمه، یکی از روشهای کاهش دور، تغییر قطر پولی است. این دو روش، روش‌های قابل انعطافی نیستند چون برگشت به حالت اولیه به آسانی امکان‌پذیر نیست.

۱۷- استفاده از سیستم‌های کنترل سرعت در فن‌ها

تا پیدایش سیستم‌های کنترل سرعت[1] **(VSD)** مدرن و اینورترها، از موتورهای القایی روتور سیم‌پیچی شده و موتورهای **DC** برای کنترل سرعت استفاده می‌شد. ولی پیدایش این سیستم‌های پیشرفته سبب شده که موتورهای القایی قفس سنجابی نیز از نظر قابلیت کنترل دور با دو موتور فوق‌الذکر بتوانند رقابت کنند.

فقط در استفاده از این سیستم‌های کنترل سرعت، باید به نکات زیر توجه داشت:

الف – توان ورودی الکتروموتور بسادگی رابطه ارائه شده با توان سوم دور کاهش نمی‌یابد. این مسئله به دلیل بدتر شدن راندمان الکتروموتور فن اتفاق می‌افتد.

راندمان کلی سیستم‌های محرک مجموعه (الکتروموتور – فن) در شکل شمارهٔ (۹-۱۱) نشان داده شده‌اند.

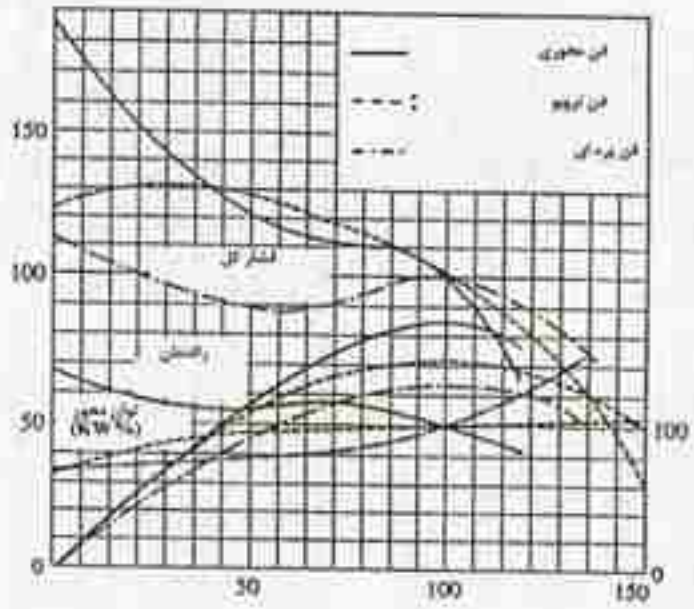
ب – مبدلهای الکترونیک قدرت مولد هارمونیک‌های بالا هستند. لذا در استفاده از سیستم‌های کنترل سرعت بایستی ملاحظات حذف هارمونیک‌های مزاحم در نظر گرفته شود.

در شکل شمارهٔ (۹-۱۲) مقایسه‌ای روی عملکرد انواع سیستم‌های کنترل جریان (دمپر) هوا به عمل آمده است، همانطور که از شکل پیداست کارآترین سیستم محرک‌های دور متغیر (ولتاژ متغیر- فرکانس متغیر[2] می‌باشد.

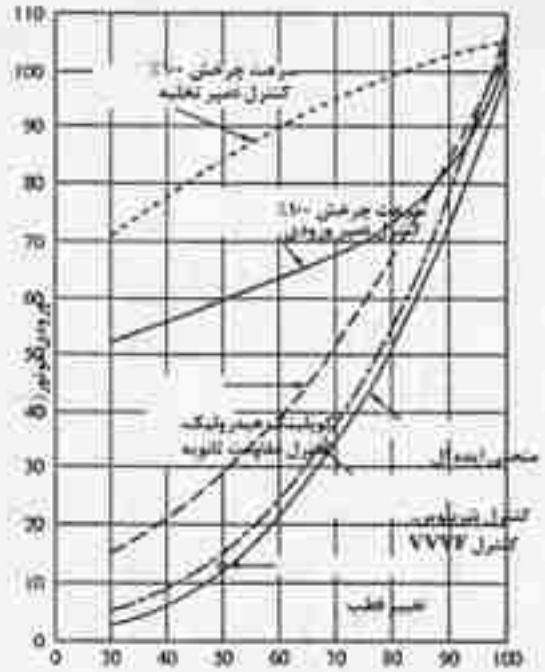
1- Pulley

1-VSD: Variable Speed Drives

2- VVVF: Variable Voltage-Variable Frequency



شکل ۹-۱۱- منحنی مشخصه برای فنهای مختلف



شکل ۹-۱۲- مقایسهٔ توان ورودی در موتورها

۲- پمپ‌ها

۲-۱- طبقه‌بندی پمپ‌ها

- نوع توربو[1]

- پمپ گریز از مرکز[2] (سانتریفوژ) - فشار آب و سرعت آن اساساً توسط نیروی گریز از مرکز پروانه تأمین می‌شود. جریان آب در جهت عمود یا مایل بر محور پروانه وارد شده و در جهت شعاعی خارج می‌شود.

در این پمپ‌ها که بیشترین کاربرد را در صنعت دارا هستند انرژی جنبشی سیال با افزایش سرعت سیال، افزایش پیدا می‌کند و در نهایت انرژی جنبشی ایجاد شده فشار آب را تأمین می‌کند.

- پمپ جریان مرکب[3] - ورود و خروج جریان آب در پمپ به صورت مایل بر محور پروانه صورت می‌گیرد. در این پمپ فشار و سرعت آب توسط نیروی گریز از مرکز پروانه و تغییر پره[4] تأمین می‌شود.

- پمپ جریان محوری[5] - جریان ورودی و خروجی آب در جهت محور پروانه می‌باشد. در این پمپ فشار و سرعت آب، توسط تغییر در پره صورت می‌گیرد.

در شکل (۹-۱۲) پمپ‌های نوع توربو نشان داده شده است و در جدول شمارهٔ (۹-۹) طبقه‌بندی و انواع مختلف پمپ‌های توربو ارائه گردیده‌اند.

- پمپ‌های از نوع جابجایی مثبت[6] - این نوع از پمپ‌ها، برای جریانهای با آهنگ جرمی پائین ولی فشار نسبتاً بالا مناسب بوده و به دو نوع پمپ رفت و برگشتی و چرخان تقسیم می‌شوند.

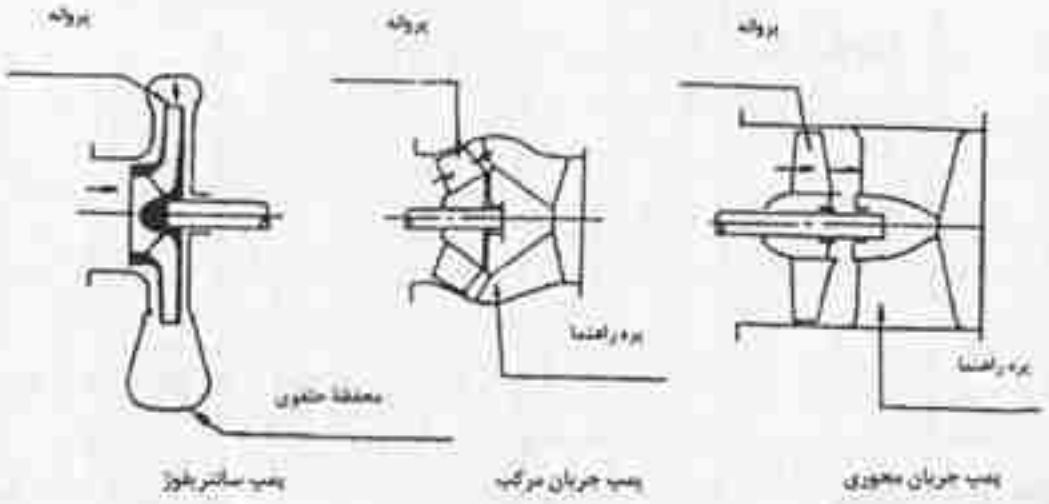
- پمپ رفت و برگشتی[7] - با یک پیستون رفت و برگشتی داخل یک سیلندر، آب تحت فشار توسط باز و بسته کردن مرحله‌ای شیرها به بیرون ارسال می‌شود. یک محفظهٔ هوا بنام مخزن هوا یا جمع‌کننده[8] جهت جلوگیری از ضربه[9] در محل تحویل آب، مورد استفاده قرار می‌گیرد. شکل شمارهٔ (۹-۱۴) نشانگر پمپ رفت و برگشتی و مخزن هوا است.

- پمپ چرخان[10] - این نوع از پمپ‌ها بطور وسیع در پمپاژ سیالات با ویسکوزیته نسبتاً بالا (مانند روغن)، فشرده سازی و روغن کاری استفاده می‌شود. شکل شمارهٔ (۹-۱۵) پمپ‌های نوع چرخان را نشان می‌دهد.

شکل شمارهٔ (۹-۱۶) و (۹-۱۷) و (۹-۱۸) و (۹-۱۹) و (۹-۲۰) به ترتیب نشانگر ساختار یک پمپ گریز از مرکزکوچک، یک پمپ گریز از مرکز چند مرحله‌ای، یک پمپ گریز از مرکز با مکش دوبل، یک پمپ جریان مرکب و یک پمپ جریان محوری هستند.

1- Turbo Type
2- Centrifugal Pumps
3 - Mixed Flow Pumps
4 - Vane
5- Axial Flow Pumps
6- positive displacement
7- reciprocating
8- Accumulator
9- Pulsation
10- Rotary Pump

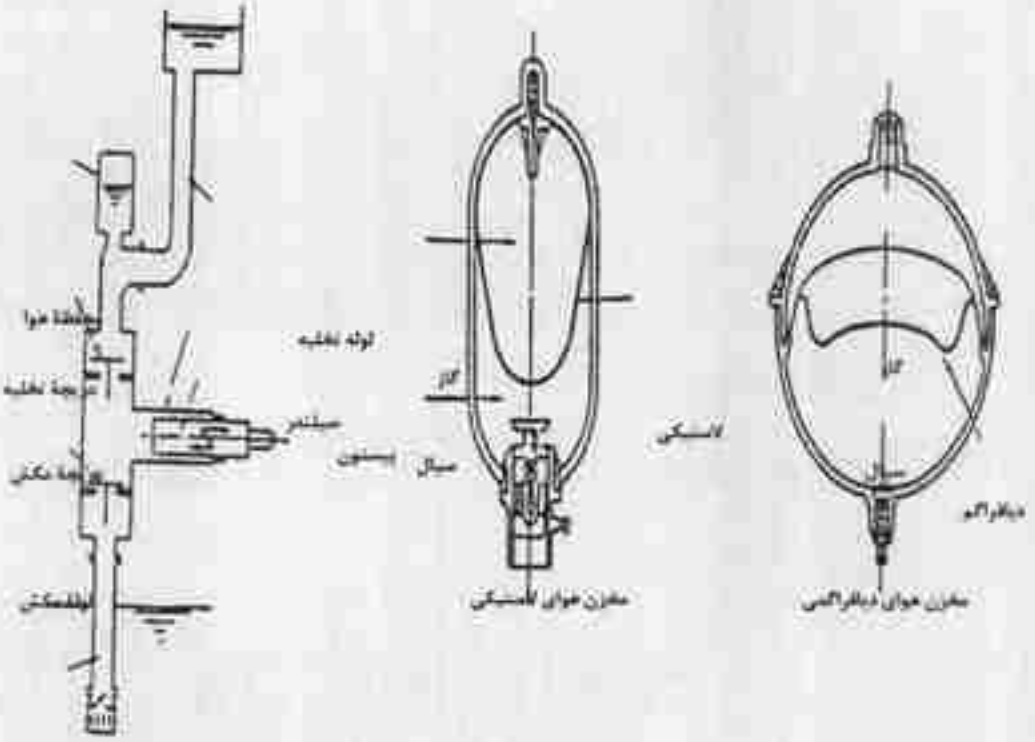
شکل شمارهٔ (۹-۲۱) نشان دهندهٔ گسترهٔ کاربرد انواع پمپ‌هاست



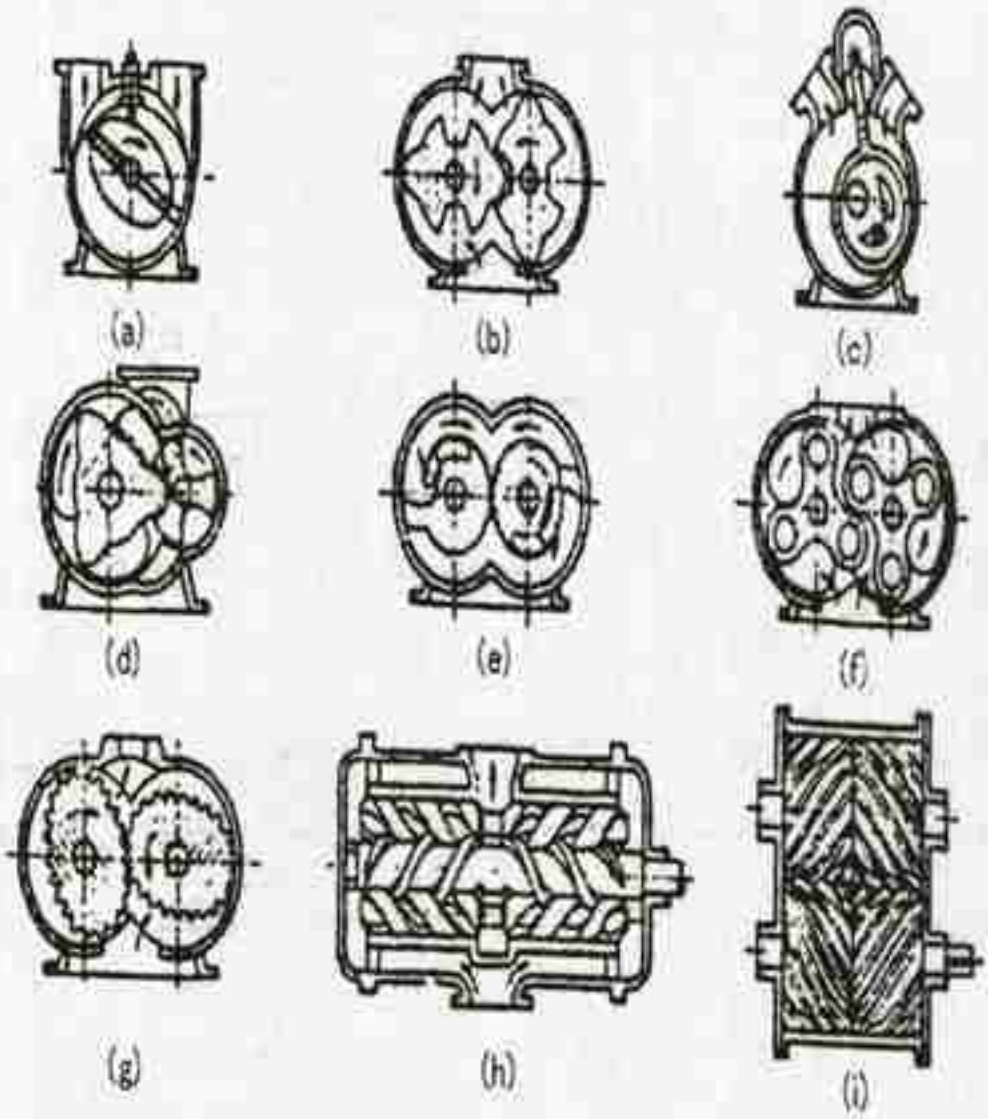
شکل ۹-۱۳- پمپ های نوع توربو

جدول ۹-۹- طبقه‌بندی و انواع مختلف پمپ‌های توربو

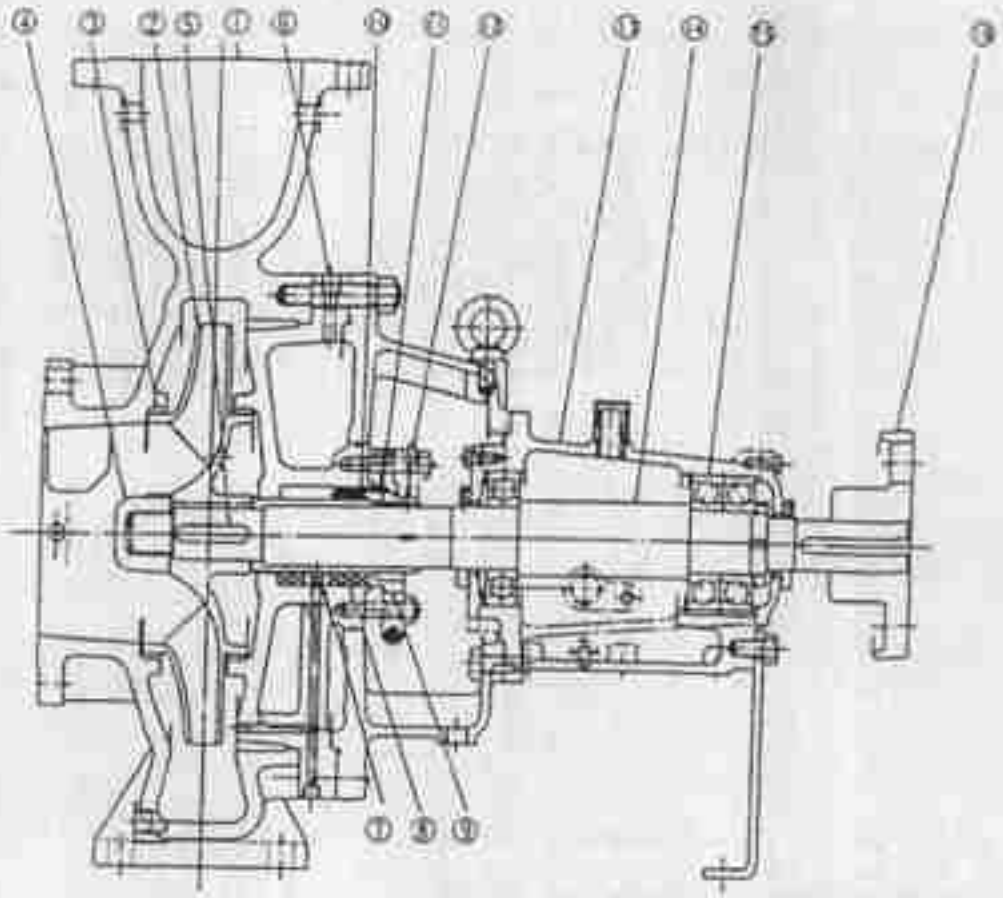
Classification				Model
Centrifugal pump	Horizontal shaft	Single suction	Single stage	Single suction volute pump
			Multistage	Single suction, multistage, volute pump (or multistage, centrifugal pump)
		Double suction	Single stage	Double suction, volute pump
			Two- stage	Double suction, tow- stage, volute pump
	Vertical shaft	Single suction	Single stage	Vertical shaft, single suction ,volute pump
			Multistage	Vertical shaft , Single suction, Multistage volute pump
		Double suction	Single stage	Vertical shaft, double suction, volute pump
			Two- stage	Vertical shaft, double suction , two- stage volute pump
Mixed flow pump	Horizontal shaft	Single suction		Mixed flow pump
				Mixed flow, volute pump
	Vertical shaft	Single suction		Vertical shaft, mixed flow, pump
				Vertical shaft, mixed flow, volute pump
		Two- stage		Vertical shaft , two- stage, mixed flow pump
Axial flow pump	Horizontal shaft		Single stage	Axial flow pump
	Vertical shaft		Single stage	Vertical shaft, axial flow pump



شکل ۱۴-۹- پمپ رفت و برگشتی و مخزن هوا



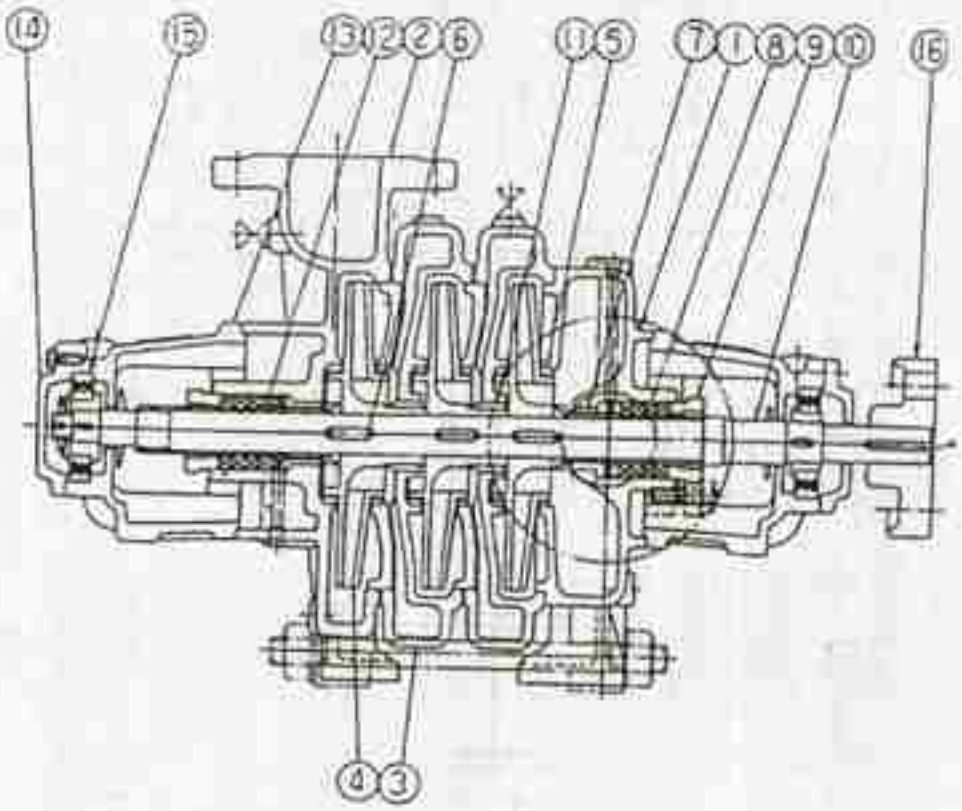
شکل ۹-۱۵- پمپهای نوع چرخان



Parts number	Parts name	Parts number	Parts name
1	Casing	9	Packing gland
2	Impeller	10	Mechanical seal sleeve
3	Liner ring	11	Mechanical seal
4	Impeller nut	12	Mechanical seal cover
5	Key	13	Bearing
6	Stuffing box	14	Ball bearing shaft
7	Water sealing	15	Ball bearing
8	Gland packing	16	Shaft coupling

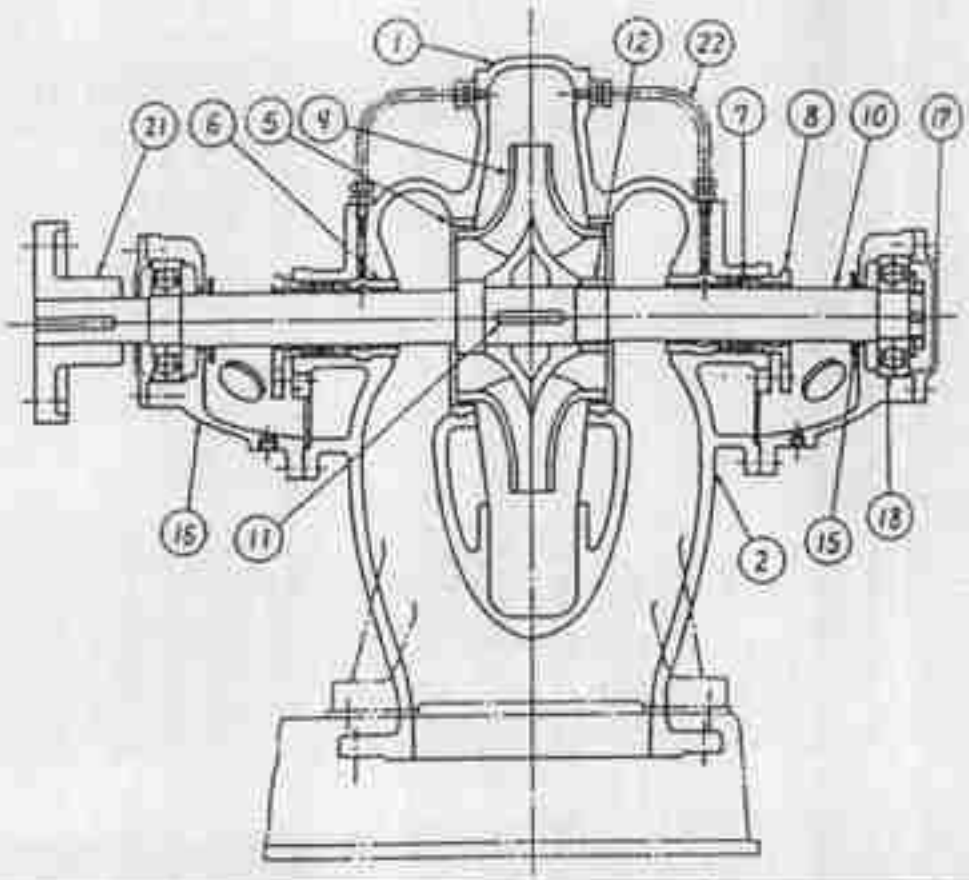
Either 7~9 or 10~12 is selected according to usage

شکل ۹-۱۶- ساختار یک پمپ گریز از مرکز کوچک



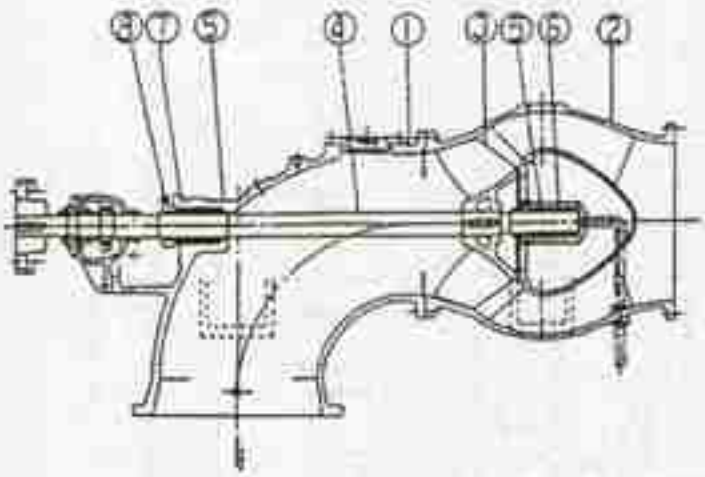
Parts number	Parts name	Parts number	Parts name
1	Suction casing	9	Packing gland
2	Discharge casing	10	Main shaft
3	Middle casing	11	Bush
4	Impeller	12	Packing sleeve
5	Liner ring	13	Bearing case
6	Key	14	Bearing cover
7	Water seal ring	15	Ball bearing
8	Gland packing	16	Shaft coupling

شکل ۹-۱۷- ساختار یک پمپ سانتریفوژ چند مرحله ای



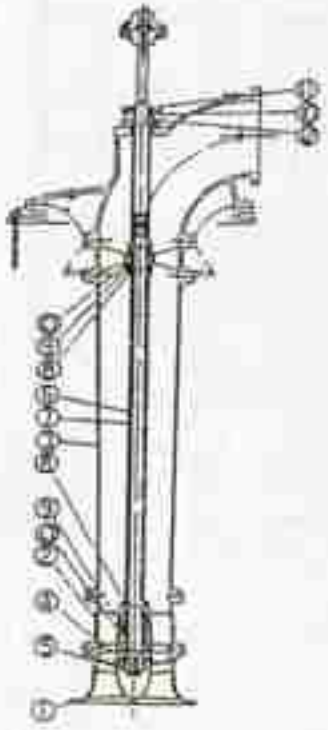
Parts number	Parts name	Parts number	Parts name
1	Upper casing	13	Deflector
2	Lower casing	16	Bearing
5	Liner ring	17	Bearing cover
6	Water seal ring	18	Ball bearing
7	Packing	21	Shaft coupling
8	Packing gland	22	Water seal tube
9	Impeller		
10	Main shaft		
11	Key		
12	Impeller nut		

شکل ۹-۱۸- پمپ گریز از مرکز با مکش دوبل



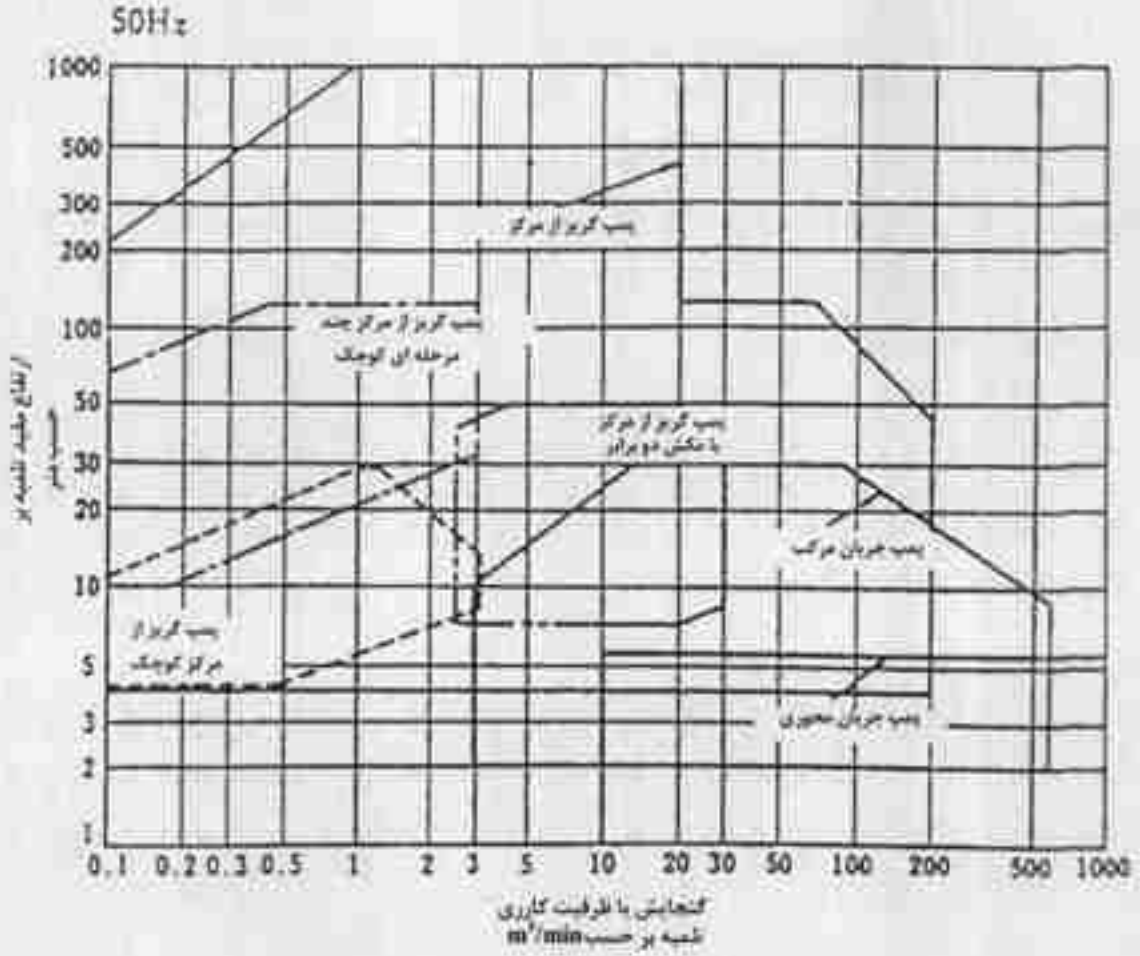
Parts number	Parts name
1	Suction casing
2	Discharge casing
3	Impeller
4	Main shaft
5	Sleeve
6	Submerged bearing
7	Gland packing
8	Packing gland

شکل ۹-۱۹- پمپ جریان مرکب



Parts number	Parts name
1	Bell mouth
2	Casing
3	Storage pipe
4	Impeller
5	Hub
6	Main shaft
7	Protection tube
8	Sleeve
9	Submerged bearing
10	Gland packing
11	Packing gland
12	Packing box
13	Bearing case

شکل ۹-۲۰- پمپ جریان محوری

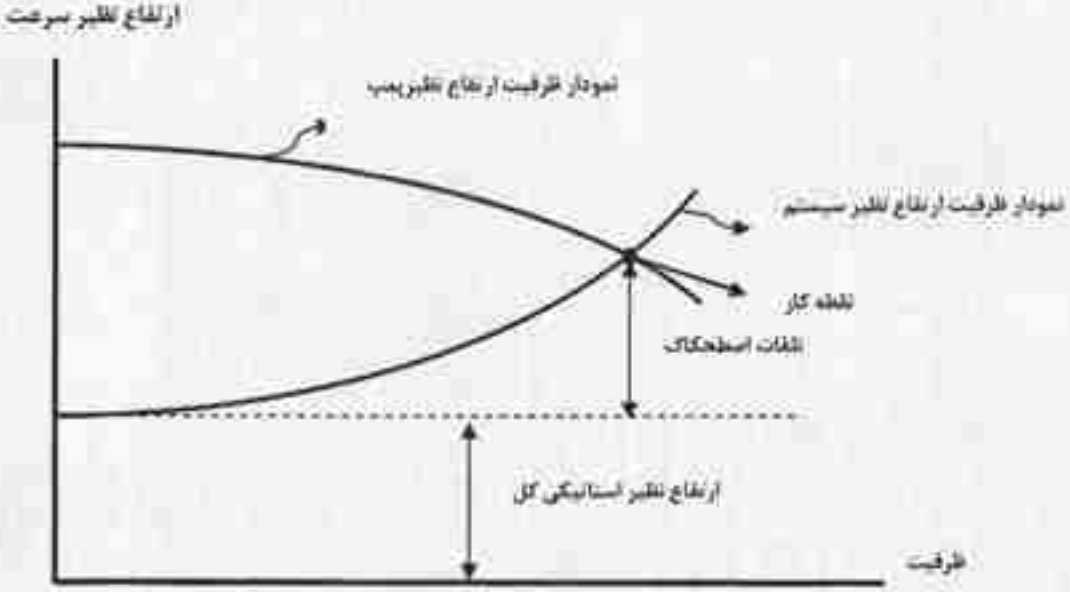


شکل ۹-۲۱- گستره کاربرد انواع پمپها (مطابق استاندارد JIS ژاپن)

۲-۲ - مشخصات پمپ‌ها

در انتقال و پمپاژ مایعات، گردش پروانه یا نیروی جابجایی ایجاد یک هد[1] (افزایش فشار) می‌کند. این افزایش فشار، مایع را از نقاط پر مقاومت پمپ یا سیستم، حرکت می‌دهد. قدرت هیدرولیکی با گذشتن از این نقاط پر مقاومت، افت می‌کند و انرژی پمپاژ به حرارت تبدیل می‌شود.

شکل شمارهٔ (۹-۲۲) نشان دهندهٔ منحنی تغییرات (هد – ظرفیت) برای سیستم و پمپ است. منحنی سیستم وضعیت فرایند را نشان می‌دهد. هد در هر نقطه، مجموع هدهای استاتیک و هد ناشی از اصطکاک است. هد استاتیک با سرعت جریان تغییر نمی‌کند و تنها تابعی از ارتفاع و فشار پشت پمپ است.



شکل ۹-۲۲- منحنی تغییرات (هد- ظرفیت) برای سیستم و پمپ

هد ناشی از اصطکاک با توان دوم جریان متناسب بوده و بیانگر مقاومت ناشی از اصطکاک در لوله است. از تلاقی منحنی سیستم و منحنی پمپ، نقطه کار پمپ در سیستم موجود مشخص می‌شود.

۲-۳ - توان مصرفی و راندمان پمپ‌ها

زمانی که حجم آب و هد مشخص هستند، توان مکانیکی مورد نیاز توسط رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$\text{توان مکانیکی مورد نیاز} = L = \frac{Q.H.\gamma}{102 \times 60 \times \eta P} = \frac{0/163\ QH}{\eta P}(KW) \qquad (۶-۹)$$

که در آن:

1- Head

L : توان مکانیکی مورد نیاز (KW)

Q : مقدار آهنگ حجمی آب(m^3/min)

H : هد کل (m)

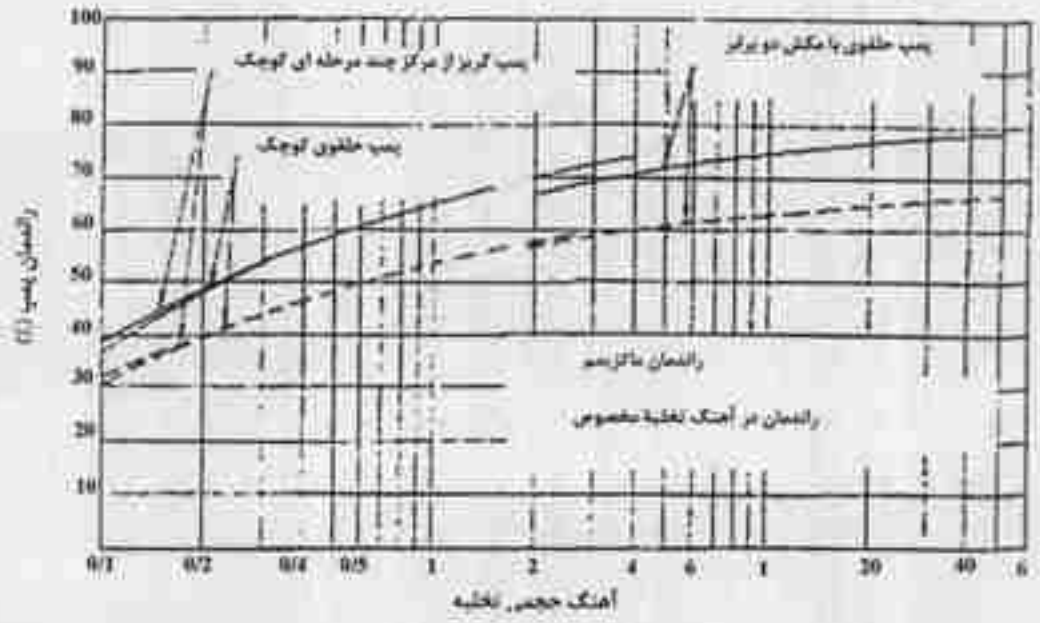
γ : وزن مخصوص (Kg/m^3)

η_P : بازده تلمبه

اگر راندمان موتور η_M و ضریب رزرو پمپ φ نیز به حساب آورده شود رابطهٔ (۹-۶) به صورت رابطهٔ (۹-۷) در می آید

$$L = \frac{0/163\ QH}{\eta_P \cdot \eta_M} \times \phi(KW) \qquad (۹-۷)$$

شکل شمارهٔ (۹-۲۳) منحنی تغییرات راندمان پمپ‌ها را نشان می‌دهد

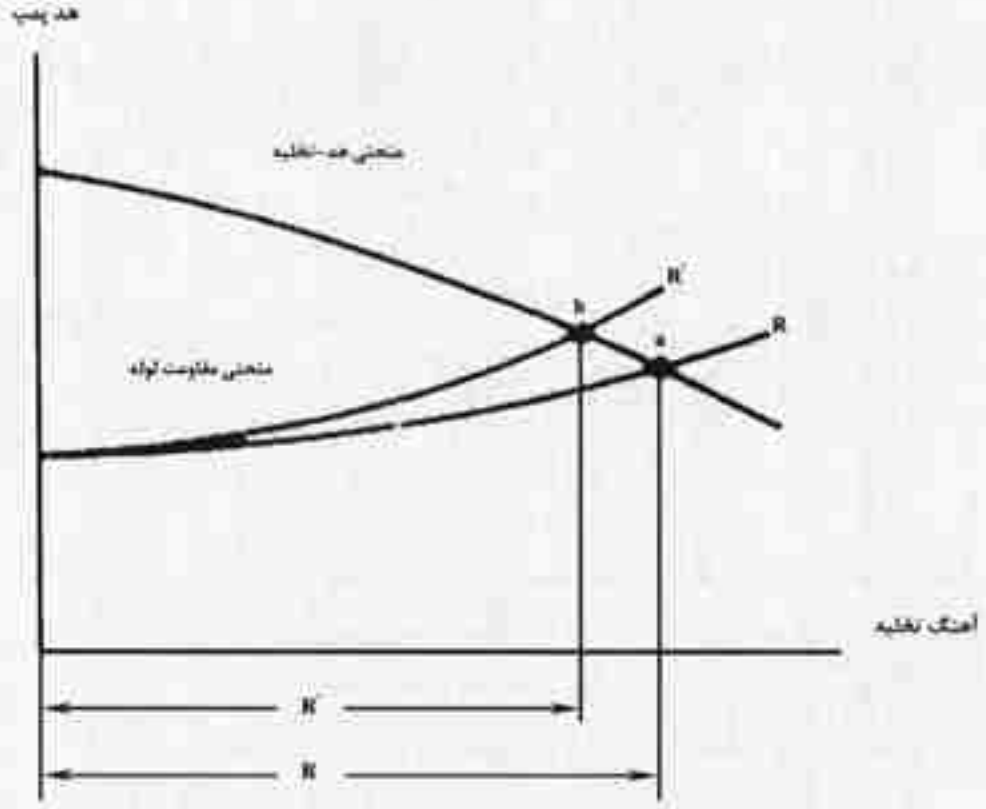


شکل ۹-۲۳- منحنی تغییرات راندمان پمپها (مطابق استاندارد JIS ژاپن)

۲-۴- کارکردهای مختلف یک پمپ

- تغییر نقطه کار پمپ، زمانی که مقاومت سیستم تغییر می‌کند:

به مرور زمان به دلیل زنگ زدگی و برآمدگی‌های ایجاد شده در داخل لوله، منحنی مقاومت خطوط لوله (سیستم) از **R** به **R'** مطابق شکل شمارهٔ (۹-۲۴) تغییر می یابد. بنابراین نقطه کار از نقطهٔ **a** به نقطهٔ **b** تغییر مکان داده و میزان جریان تخلیه شونده (از **Q** به **Q'**) کاهش پیدا می‌کند.



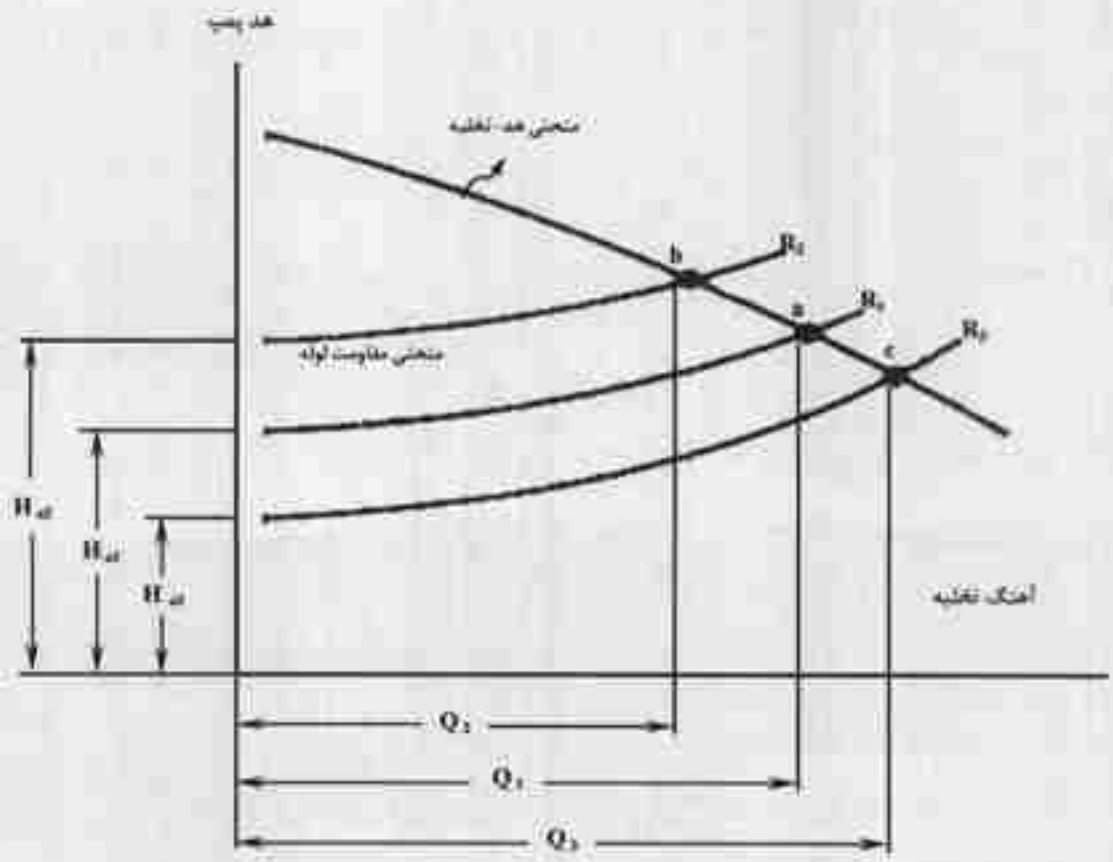
شکل ۹-۲۴- نقطهٔ کار هنگامی که مقاومت سیستم تغییر می کند

- تغییر نقطه کار پمپ هنگامی که هد واقعی تغییر می‌کند:

اگر ارتفاعی[1] که آب به آن ارتفاع پمپ می‌شود یا عمقی[2] که آب از آن عمق پمپ می‌شود تغییر کنند، یا فشارها تغییر کند، منحنی مقاومت خط لوله (سیستم) بطور موازی و متناظر با R_1 ، R_2 و R_3 به بالا یا پائین تغییر مکان می دهد. بنابراین نقطه کار هم مطابق شکل شمارهٔ (۹-۲۵) از نقطه **a** به نقطه **b** یا **c** حرکت می‌کند.

1- Discharge level
2- Take-in level

در مواردی که هد واقعی تغییر می‌کند بایستی به این مسئله توجه داشت که با تغییر نقطهٔ کار، راندمان پمپ نیزتغییر پیدا می‌کند. بنابراین با ملاحظهٔ گستره تغییرات و دفعات تغییرات هد واقعی، انتخاب پمپ چنان باید صورت گیرد که بیشترین راندمان حاصل شود.

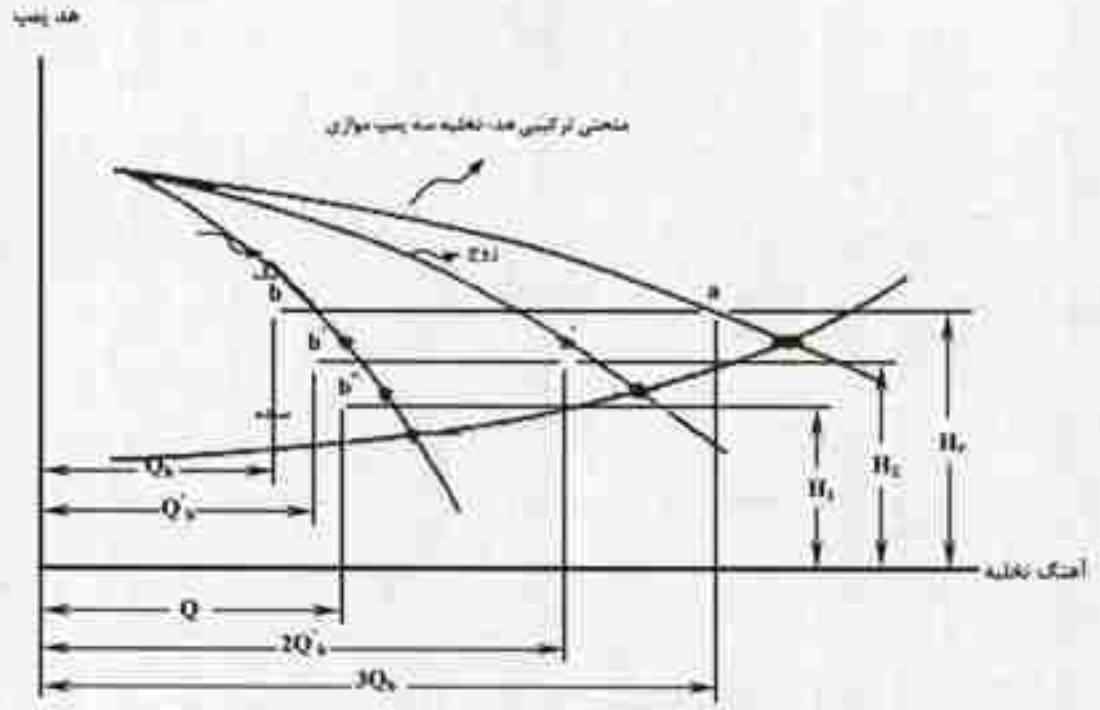


شکل ۹-۲۵- نقطهٔ کار، زمانی که هد واقعی تغییر می کند

۲-۵- کارکرد موازی پمپ‌ها

- کارکرد موازی دو پمپ با مشخصات یکسان

هنگامی که چند پمپ به صورت موازی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند، یک منحنی هد مرکب برای کل پمپ‌ها از روی ترکیب میزان جریان تخلیه شونده از هر پمپ متناظر با یک هد یکسان مطابق شکل شمارهٔ (۹-۲۶) می‌تواند بدست آید.



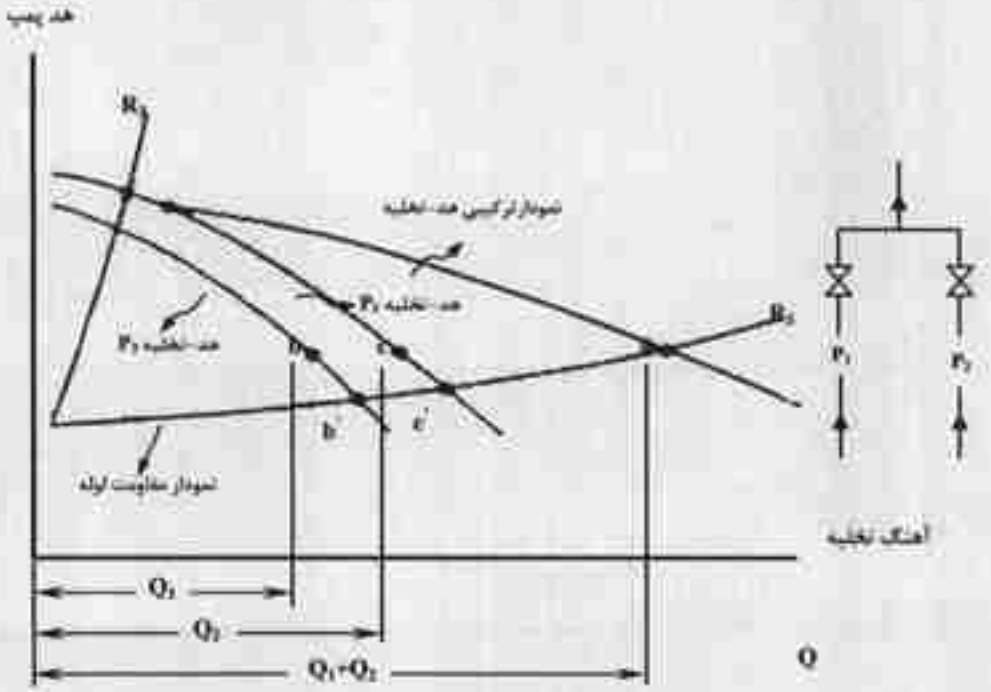
شکل ۹- ۲۶- کارکرد موازی پمپ‌ها با مشخصات یکسان

نقطه کار هر پمپ در نقطه **b** یا هدی مساوی با هد نقطه **a** در نظر گرفته می‌شود. نقطه **a** در واقع، نقطه کار پمپی فرضی است که منحنی مشخصه این پمپ همان منحنی هد مرکب بوده و از تلاقی این منحنی با منحنی مقاومت خط لوله **R** این نقطه بدست می‌آید.

نقطه کار در دو حالت دو پمپ یا تک پمپ با فرض منحنی مقاومت یکسان به ترتیب **b'** یا **b''** هستند همانطور که به وضوح از شکل پیدا است نقطه کار بسته به تعداد پمپ‌های مورد بهره‌برداری و یا فرض منحنی مقاومت (سیستم) ثابت از **b** به **b'** یا **b''** تغییر می‌کند.

– کارکرد موازی دو پمپ با مشخصات مختلف

منحنی هد مرکب برای کارکرد موازی پمپ‌های با مشخصات مختلف مطابق شکل شمارهٔ (۹-۲۷) از طریق جمع جریان تخلیه شونده از هر پمپ در هد یکسان به دست می‌آید.



شکل ۹-۲۷- کارکرد موازی پمپ ها با مشخصات مختلف

از روی نقطه تلاقی **a** بین منحنی هد مرکب و منحنی مقاومت خط لوله R_1 نقطه کار برای هر پمپ روی نقاط **b** و **c** می‌افتد. در صورتیکه در شرایط کارکرد موازی پمپها منحنی مقاومت خط لوله به R_2 تغییر یابد، تلاقی آن با منحنی هد مرکب **P** نقطهٔ **a'** را به ما می‌دهد. چنانچه از روی شکل نیز پیداست هد بدست آمده بالاتر از هد محدود کننده مربوط به پمپ کوچکتر (P_1) است و بنابراین پمپ P_1 نمی‌تواند در تغذیه آب شرکت کند. تحت این شرایط تنها پمپ با ظرفیت بالاتر یعنی P_2 می‌تواند کار کند.

۲-۶- کارکرد سری پمپها

- کارکرد سری پمپها با مشخصات یکسان

همانطور که در شکل شمارهٔ (۹-۲۸) نشان داده شده، منحنی هد مرکب **P** از روی حاصل ضرب مقدار هد در جریان یکسان تخلیه شونده از تعدادی پمپ سری به دست می‌آید.

آهنگ جریان در محل تلاقی منحنی مقاومت خط لوله **R** و منحنی هد مرکب **P** معادل مقدار آب قابل پمپاژ توسط مجموعه پمپ‌های سری است. نقطه کار برای هر پمپ در این شرایط روی نقطه **b** می‌افتد.

- کارکرد سری پمپها با مشخصات مختلف

در شکل شمارهٔ (۹-۲۹) از تلاقی بین منحنی هد مرکب **P** و منحنی مقاومت خط R_1 میزان آب قابل پمپاژ مشخص شده و نقطه کار برای هر پمپ روی نقاط **b** و **c** افتاده است.

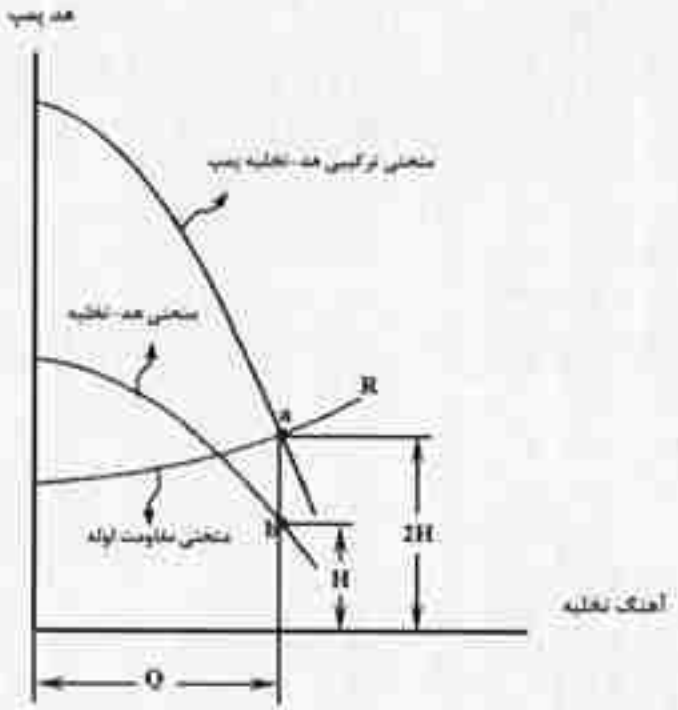
در حالتی که پمپ‌های با منحنی مشخصات متفاوت بصورت سری کار کنند اگر منحنی مقاومت مسیر R_2 از زیر نقطه K عبور کند، بدلیل شرایط مکش پمپ بایستی مراقب وقوع پدیده خوردگی[1] باشیم.

در صورتیکه پمپ با ظرفیت کوچک‌تر P_1 در ابتدا نصب شود، شرایط مکش پمپ با ظرفیت بزرگتر P_2 بدتر خواهد شد. همچنین در صورتیکه آرایش عکس را داشته باشیم یعنی پمپ با ظرفیت بزرگتر را در ابتدا نصب کنیم هد پمپ با ظرفیت بزرگتر P_2 که در ابتدا نصب شده کاهش خواهد یافت. بنابراین باید چنان طراحی انجام شود که منحنی مقاومت مسیر خط لوله از زیر نقطه K عبور ننماید.

۲-۷- شرایط انتخاب کارکرد سری یا موازی

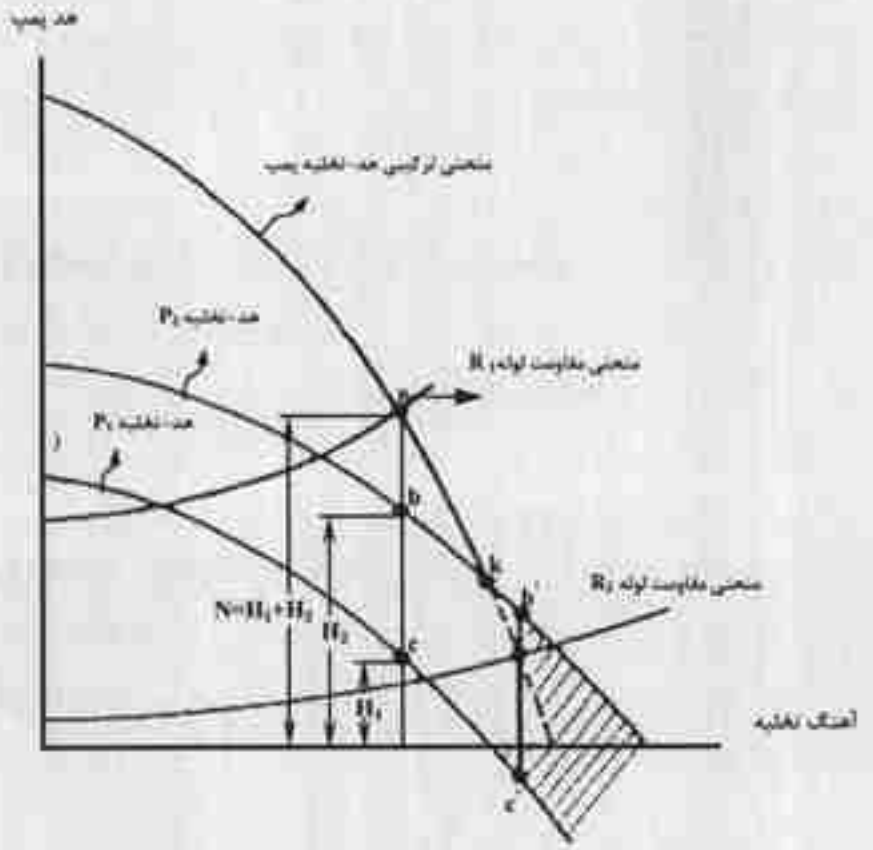
اگر بخواهیم میزان جریان آب را با استفاده از دو پمپ افزایش دهیم از روی شکل منحنی مقاومت مسیر خط لوله مشخص می‌شود که کدام یک از روش‌های کارکرد موازی و یا سری پمپ‌ها سودمندتر است.

در شکل شمارهٔ (۹-۳۰) مشاهده می‌شود که نقطه تلاقی منحنی هد مرکب حالت سری با منحنی هد مرکب حالت موازی نقطه K بوده و به منزله یک مرز می‌باشد. بهره‌برداری حالت موازی زمانی سودمند خواهد بود که منحنی مقاومت مسیر خط لوله از زیر نقطه K عبور کند (مانند منحنی R_1). بهره‌برداری حالت سری نیز زمانی سودمند خواهد بود که منحنی مقاومت مسیر خط لوله از بالای نقطه K عبور کند (مانند منحنی R_2).

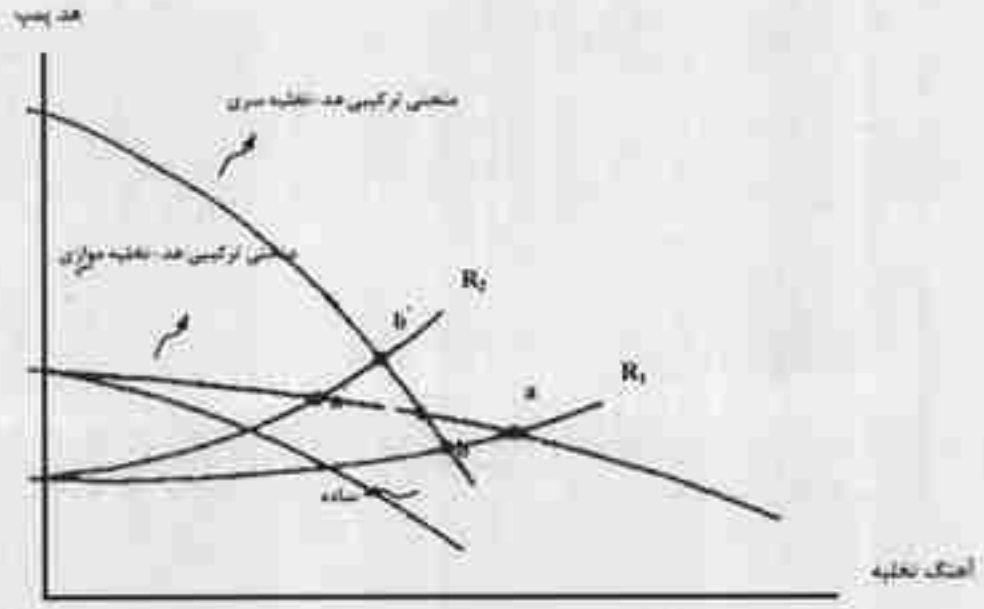


شکل ۹-۲۸- کارکرد سری پمپ ها با مشخصات یکسان

[1] - Cavitation



شکل ۹-۲۹- کارکرد سری پمپ‌ها با مشخصات مختلف



شکل ۹-۳۰- شرایط انتخاب کارکرد سری یا موازی

۲-۸- راهکارهای صرفه‌جوئی انرژی در پمپ‌ها

تغییر قطر پروانه

اگر جریان تخلیه شونده از پمپ و هد کلی پمپ در هنگام استفاده از آن، بدلیل تخمین ناصحیح در زمان طراحی بیش از میزان مورد نیاز باشد قسمتی از توان مکانیکی پمپ تلف خواهد شد.

در چنین شرایطی کاهش قطر خارجی پروانه پمپ و تطبیق عملکرد پمپ با شرایط جریان و هد مورد نیاز می‌تواند در کاهش مصرف انرژی مؤثر باشد.

عملکرد پمپ پس از برش قطر خارجی پروانه مطابق روابط زیر تغییر می‌کند:

جریان تخلیه شونده (دبی) $Q_2 = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2 \times Q_1$

هد پمپ $H_2 = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2 \times H_1$

توان مکانیکی $P_2 = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^4 \times P_1$

D_1 : قطر خارجی اولیه

D_2 : قطر خارجی بعد از برش

Q_1 : جریان تخلیه شونده (دبی) اولیه

H_1 : هد پمپ اولیه

L_1 : توان مکانیکی اولیه

همانطور که از روابط پیداست توان مکانیکی پمپ با تغییر قطر خارجی پروانه به شدت تغییر می‌کند.

هنگامی که برش قطر خارجی پروانه یک پمپ به میزان زیاد باشد راندمان پمپ کاهش خواهد یافت. البته باید توجه داشت که در برخی از انواع پمپ‌ها برش قطر پروانه غیر ممکن است.

شکل شمارهٔ (۹-۳۱) تغییر در عملکرد پمپ در اثر برش قطر پروانه را نشان می‌دهد.

انتخاب پمپ‌ها و آثار آن در صرفه‌جوئی انرژی

در نظر گرفتن حاشیه اضافی برای مقدار جریان و هد در هنگام طراحی و در نظر گرفتن آنها در تعیین مشخصات پمپ، سبب انتخاب یک پمپ با ظرفیت بالاتر از حد نیاز می‌گردد.

تحت این شرایط، بخشی از انرژی ورودی به سیستم پمپ تلف می‌شود و دلیل این امر آن است که بخشی از توان مکانیکی نیز همانند آهنگ جرمی آب که اضافی د رنظر گرفته شده اضافه بر میزان مورد نیاز می‌باشد.

تغییر سرعت

می‌دانیم که توان مکانیکی یک پمپ با توان سوم سرعت متناسب است.

جریان (دبی) $Q_2 = \left(\frac{N_2}{N_1}\right) \times Q_1$

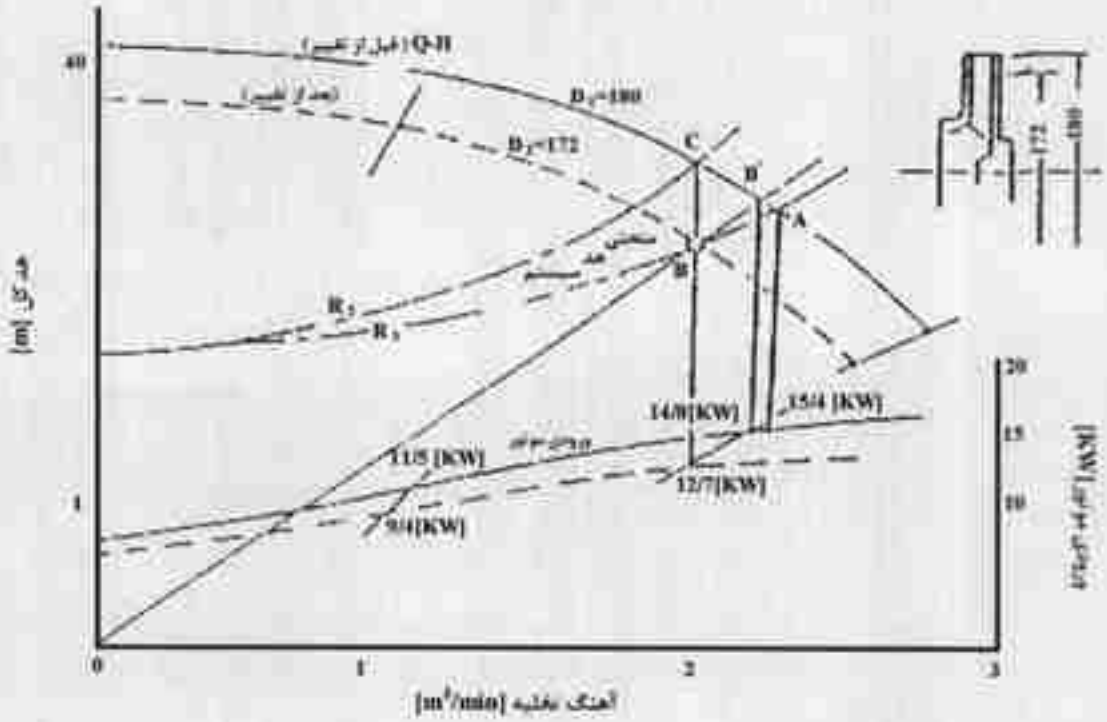
هد $H_2 = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 \times H_1$

توان مکانیکی $L_2 = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^3 \times L_1$

قبل از تغییر سرعت: L_1 , H_1 , Q_1 , N_1

بعد از تغییر سرعت: L_2 , H_2 , Q_2 , N_2

بنابراین کاهش سرعت در پمپ‌ها یکی از روشهای بسیار اساسی در کاهش مصرف انرژی در آنهاست. یکی از رهیافت‌ها بدین منظور، استفاده از الکتروپمپ‌های چند سرعته می‌باشد. شکل شمارهٔ (۹-۳۲) نشان دهندهٔ تغییر عملکرد یک پمپ با تغییرات سرعت در آن است.



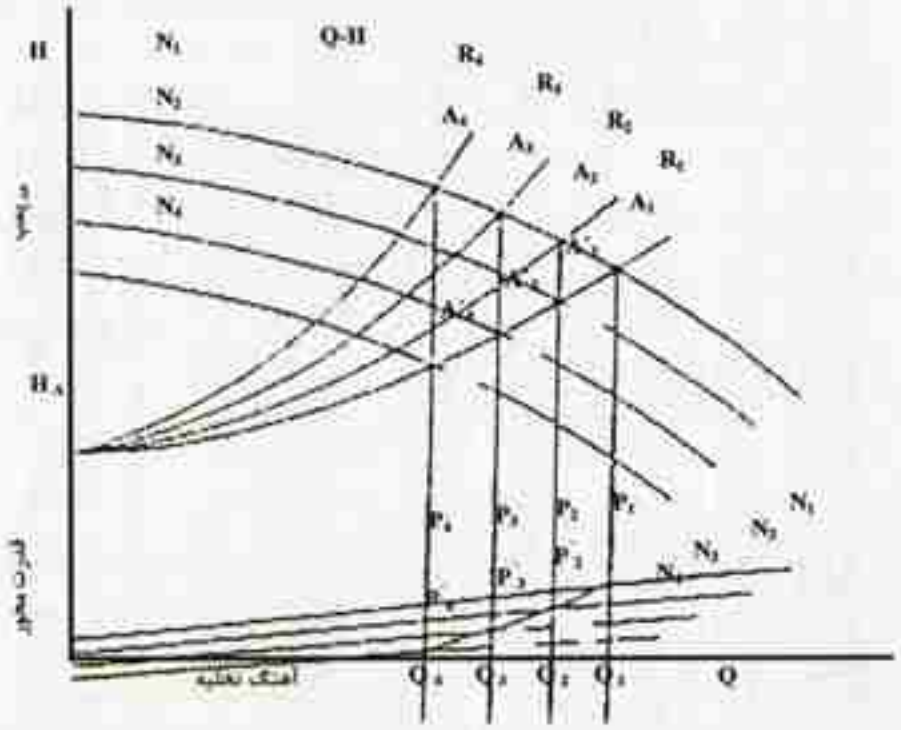
شکل ۹-۳۱- تغییر در عملکرد پمپ در اثر برش قطر پروانه

A: نقطهٔ عملکرد پمپ قبل از بریدن پروانه (۲/۲۶[m³/min] × ۳۰[m])

B: نقطهٔ عملکرد پس از بریدن پروانه (۲[m³/min × ۲۸[m])

B': نقطهٔ متناظر با B قبل‌ازبریدن‌پروانه (۳۰/۷[m] × ۲/۲[m³/min]) (نقطهٔ B' می‌تواند برروی B منطبق شود)

C: نقطهٔ کار برای مقدار آب نقطهٔ B در صورت کنترل شیر (۲/۲[m³/min] × ۳۳[m])



شکل ۹-۳۲- تغییر عملکردپمپ با تغییرات سرعت

$N_1 \sim N_4$: تعداد دور پمپ (منحنی **Q-H** یک پمپ برای تعداد دورهای متغیر)

$R_1 \sim R_4$: منحنی مقاومت

$A_1 \sim A_4$: نقاط کار در آهنگ ثابت V_1

$A'_1 \sim A'_4$: نقاط کار برای تعداد دورهای متغیر $N_1 \sim N_4$

$Q_1 \sim Q_4$: تغییر مقدار آب

$P_1 \sim P_4$: قدرت محور برای عملکرد ثابت N_1

$P_1 \sim P_4$: قدرت محور برای دورهای متغیر $N_1 \sim N_4$

سیستم‌های کنترل

درمجموع، منظور اصلی از کنترل سرعت، کنترل فشار است. کنترل فشار از دو طریق امکانپذیر است:

الف – کنترل فشار با جریان تخلیه (دبی) ثابت

ب – تثبیت فشار ترمینال

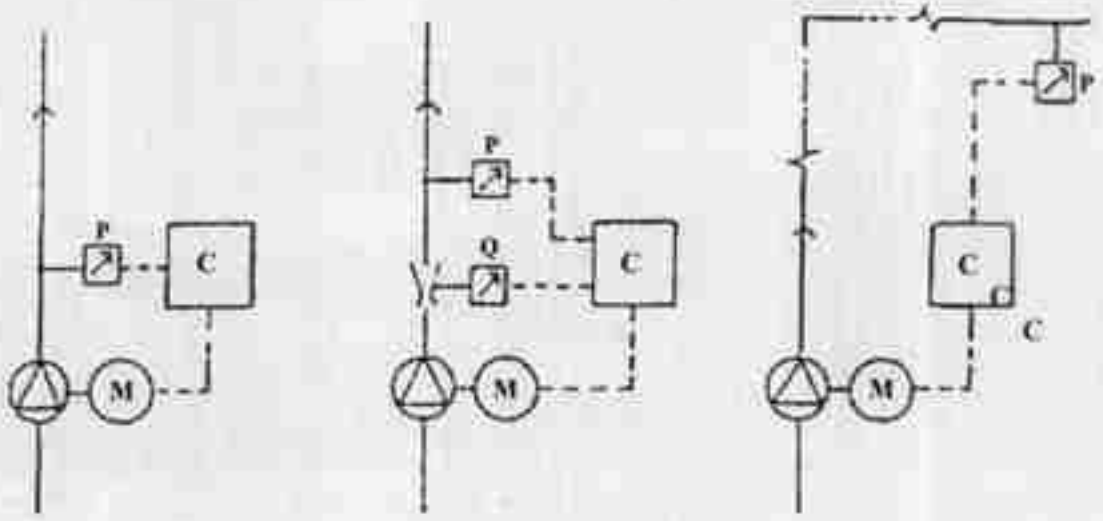
الف - کنترل فشار با جریان تخلیه (دبی) ثابت :

این سیستم، سرعت گردش پمپ را با فیدبک از فشار تخلیه و ثابت نگه‌داشتن آن تغییر می‌دهد. از آنجایی که گستره تغییرات سرعت کوچک است میزان صرفه‌جویی انرژی حاصل از این سیستم نیز در مقایسه با سیستم کنترل فشار ترمینال ثابت که به آن خواهیم پرداخت کمتر است.

شکل‌های شمارهٔ (۹-۳۳) به ترتیب نشانگر اثر تغییر سرعت روی توان مکانیکی و نشانگر نمودار سیستم کنترل برای دو حالت فوق می‌باشند.

ب - تثبیت فشار ترمینال :

حتی اگر مقدار آب مصرفی نیز تغییر کند، این سیستم با کنترل سرعت پمپ و فیدبک از دبی خروجی از پمپ و فشار یا فیدبک از فشار ترمینال بدنبال آن است که فشار آب در ترمینال ورودی به تأسیسات، همواره ثابت نگه داشته شود (در این حالت نقطه کار پمپ چنان کنترل می‌شود که این نقطه به موازات منحنی مشخصه مقاومت سیستم حرکت کند).



کنترل فشار با جریان تخلیهٔ ثابت

تثبیت فشار ترمینال

P: فشار سنج
Q: اندازه گیر آهنگ
C: تابلو کنترل

شکل ۹-۳۳- دیاگرام سیستم کنترل برای دو حالت کنترل فشار با دبی ثابت و تثبیت فشار ترمینال

فصل دهم

صرفه‌جوئی انرژی در روشنایی و سیستم‌های تهویه مطبوع

۱- بهینه‌سازی انرژی در سیستم‌های روشنایی

۱-۱- مقدمه

زمانی انسان برای مطالعه کتاب از نور یک شمع استفاده می‌کرد اما امروزه با پیشرفت فناوری و فراهم آوردن منابع مختلف روشنایی، نوری که برای این فعالیت استفاده می‌شود شاید چند صد برابر شده باشد. این روند همچنان با پیشرفت فناوری و اتوماسیون ادامه دارد. بعنوان مثال، مصرف برق در ساختمانهای اداری اروپا از ۵۰ کیلووات ساعت بر مترمربع در سال به مقدار ۲۰۰ کیلووات ساعت بر متر مربع افزایش یافته است و یا در آمریکا رشد سالانهٔ مصرف انرژی در دو دهه اخیر بطور متوسط رشد سالیانه ۴ درصد بوده در صورتیکه رشد مصرف الکتریسیته تقریباً دو برابر یعنی حدود ۷ درصد بوده است، و در همین کشور حدود ۱۷ درصد الکتریسیته فروخته شده جهت روشنایی بوده است.

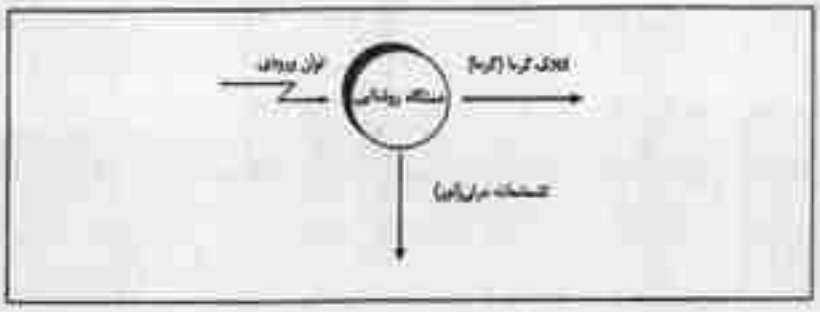
در ساختمانهای اداری و تجاری بین ۲۰ تا ۵۰ درصد از کل مصرف، مربوط به روشنایی می‌باشد. در بقیه ساختمانها ۱۰ درصد و یا کمتر و در صنایع نیز مصرف روشنایی بطور معمول، درصد کمی از کل مصرف را تشکیل می‌دهد ولی بطور مطلق مقدار قابل توجهی را در بردارد.

سیستم روشنایی در یک ساختمان نه تنها یک مصرف کننده عمده انرژی است بلکه مهم‌ترین سهم در تولید بار حرارتی داخل ساختمان را دارد بنابراین بهینه‌سازی مصرف انرژی در بخش روشنایی به دو صورت

مستقیم و یا غیر مستقیم بر مصرف برق ساختمان مؤثر است. مستقیم به علت کاهش بار مصرف سیستم روشنایی و غیرمستقیم به علت کاهش بار سیستم تهویه مطبوع به همین علت بهینه‌سازی در این بخش از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

۱-۲- چگونگی تولید نور

زمانیکه یک الکترون در مداریک اتم ازیک سطح انرژی در حال گردش با دریافت انرژی به سطح بالاتر برود در برگشت به سطح قبلی، این انرژی را بصورت یک فوتون ساتع می‌کند و این فرایند، اساس کار انواع منابع نور می باشد. بطور خلاصه، برای ساخت یک منبع نور، ما باید تعداد زیادی الکترون در یک محل داشته باشیم و آنها را برای رفتن به سطح انرژی بالاتر تحریک کنیم، و اجازه دهیم به سطح انرژی قبلی (پائین‌تر) برگردند. در صورتیکه طول موج فوتون درنیک محدوده خاص باشد، چشم انسان توانایی دیدن آن را دارد. یک منبع نور خوب، تعداد زیادی فوتون را در این محدوده ساتع می‌کند مانند لامپ سدیم کم فشار. بعضی از منابع نور، تنها کسری جزئی از فوتون‌های ساتع شده در محدودهٔ بینایی است مانند لامپهای رشته‌ایی شکل (۱۰-۱) ورودی و خروجی انرژی به یک منبع نور را نمایش می‌دهد.



شکل شمارهٔ (۱۰-۱)- تولید نور مرئی در یک دستگاه روشنایی

۱-۳- تعاریف

نور خروجی لامپ :

میزان شار نوری خروجی از یک منبع نورانی را با واحدی بنام لومن[1] بیان می‌کنند. کل شاری که از یک کره شفاف که منبع نور را احاطه کرده عبور می‌کند با لومن اندازه‌گیری می‌شود. لومن نرخ جریان انرژی را نمایش می‌دهد. در نتیجه یک واحد انرژی است نظیر وات یا اسب بخار.

لامپهایی که برای مصارف داخلی مورد استفاده قرار می گیرند بطور نوعی از ۵۰ تا ۱۰۰۰۰ لومن می باشند. لومن برای سفارش لامپها، مقایسه آنها، و محاسبه راندمان انرژی (که بر حسب لومن بر وات بیان می‌شود) مورد استفاده قرار می گیرد.

باید توجه داشت که لومن اطلاعاتی راجع به پخش نور لامپ نمی‌دهد. و ممکن است سهم بزرگی از روشنایی خروجی یک لامپ بدلیل اینکه به جهت اشتباه می رود بلا استفاده بماند.

---

1 - Lumen

شدت نور :

میزان توان نوری که به واحد سطح می‌رسد شدت نور نامیده می‌شود و با واحد لوکس[1] یا فوت کندل[2] بیان می‌شود. لوکس، لومن بر متر مربع و فوت کندل، لومن بر فوت مربع می‌باشد. (یک فوت کندل برابر ۱۰/۷۶ لوکس می‌باشد) روشنایی داخلی در محدودهٔ ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ لوکس و متوسط روشنایی خورشید در فضای خارج حدود ۵۰۰۰۰ لوکس می‌باشد.

بازده :

بازده، قسمتی از توان ورودی منبع نور را که به نور مرئی تبدیل می‌شود را مشخص می‌کند و به درصد (بدون واحد) بیان می‌شود و برای قسمتی از سیستم روشنایی یا کل سیستم روشنایی تعریف می‌شود.

بهره وری :

بهره وری رابطهٔ نور خروجی منبع نور را با توان مصرفی آن بیان می‌کند و می‌توان آن را برای کل یا قسمتی از سیستم روشنایی تعریف نمود و واحد آن لومن بروات(Lm/w) می‌باشد.

چگالی توان روشنایی :

چگالی توان روشنایی، توان بکار رفته برای سیستم روشنایی در واحد سطح می‌باشد که واحد آن وات برمترمربع(W/m^2) بوده و بعنوان یک معیار جهت ارزیابی هر نقشه جانمایی روشنایی استفاده شده و عامل مهمی در مطالعات گرمادهی و سرمادهی ساختمانها نیز محسوب می‌شود.

تظاهر رنگ :

تظاهر رنگ در کمیته بین المللی روشنایی[3] بصورت تغییر رنگ یک سطح هنگامیکه منبع نور مرجع، جایگزین منبع نور مورد آزمایش شود، تعریف شده است. این شاخص برای اجسام سیاه برابر با ۱۰۰ و رحالیکه برای لامپ فلورسنت با نور سفید گرم حدود ۵۰ است.

دمای رنگ منبع نور :

دمای رنگ، بر اساس رنگ تابیده شده از جسمی سیاه در دمای معین تعریف شده است و برحسب درجه کلوین (K) بیان می‌شود. دمای رنگ بیشتر از چهار هزار درجه کلوین به عنوان نور سرد و دمای رنگ پائین‌تر از سه هزار درجه کلوین به عنوان نور گرم در نظر گرفته می‌شود. لامپ التهابی معمولی دمای رنگی حدود ۲۷۰۰ درجه کلوین دارد.

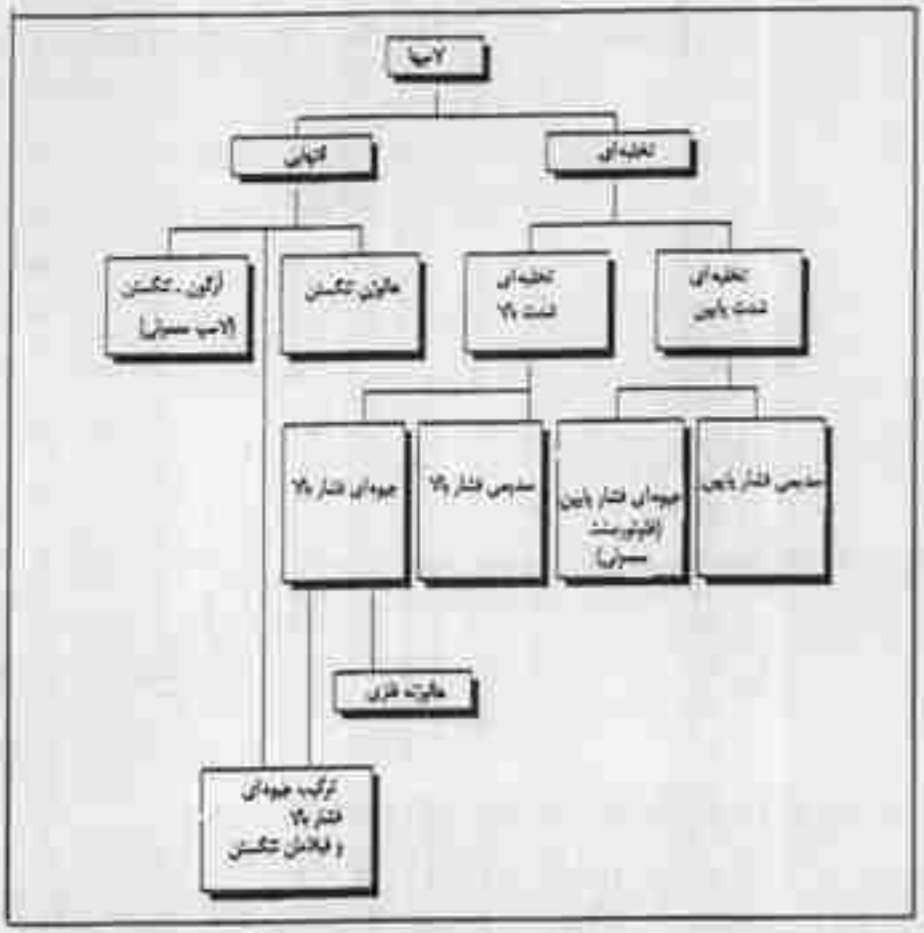
---

1 - Lux
2 - Foot candela
3 - International commission on Illumination

۱-۴- انواع منابع روشنایی (لامپ)

منابع مختلف برای تأمین نور مصنوعی وجود دارد که می‌توان آنها را به دو دسته کلی التهابی و تخلیه ای تقسیم نمود. البته دسته سومی هم برای تأمین روشنایی وجود دارد که کاربرد عمومی ندارد و آن روشنایی بوسیله نیمه هادی‌های نوری[1] می‌باشد که از بحث در مورد آن صرف نظر شده است.

شکل(۱۰-۲) دسته‌بندی منابع مختلف روشنایی را نشان می‌دهد.

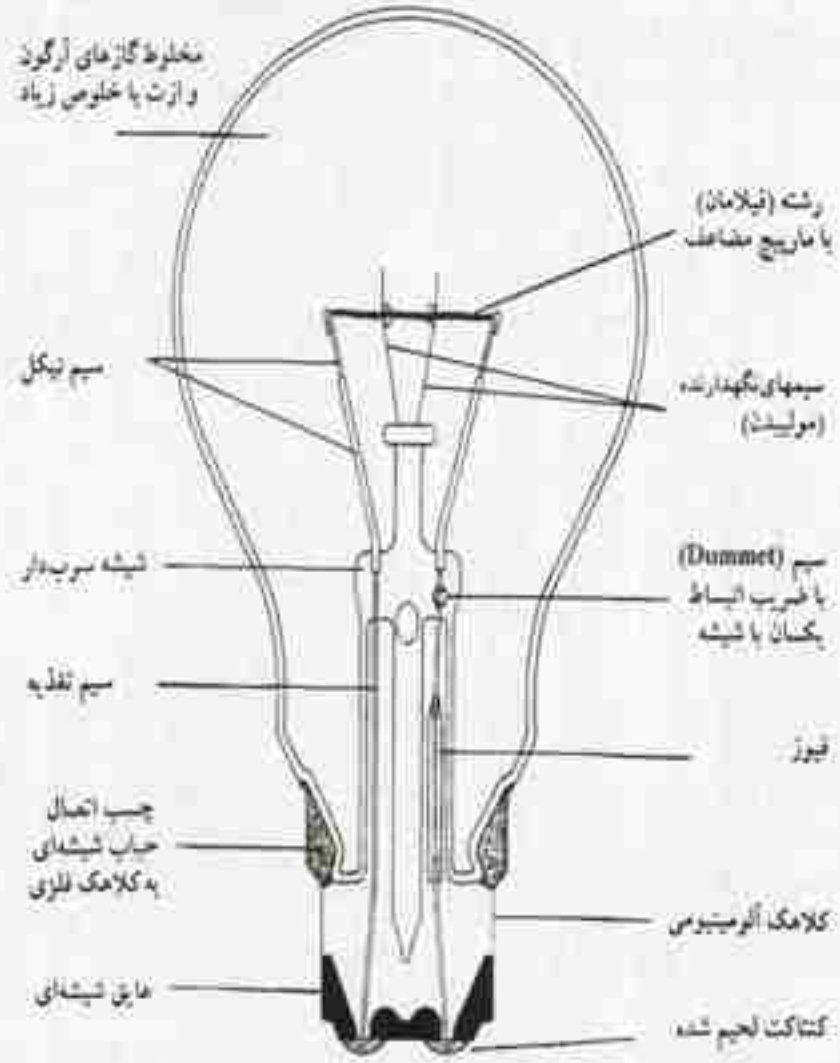


شکل شمارهٔ (۱۰-۲)- منابع مختلف نور

۱-۴-۱- لامپ‌های التهابی :

روشنایی التهابی ناشی از تشعشع یک جسم داغ ملتهب است. حرارت منبع روشنایی التهابی است منبع این حرارت در خورشید انرژی هسته‌ای، در شمع انرژی شیمیایی و در لامپ التهابی جریان عبوری از یک سیم پیچ و یا فیلامان که مثل یک مقاومت عمل نموده و در اثر عبور جریان به اندازه کافی گرم شده مانند یک منبع نور عمل می‌کند

1 - LED: Light Emitted Diode



شکل شمارهٔ (۱۰-۳)- اجزاء مختلف یک لامپ التهابی

هر منبع نور، خواصی برای الگوی شکل موج تولیدی دارد که اسپکتروم نامیده می‌شود. اسپکتروم یک لامپ رشته‌ای نوعی مطابق شکل (۱۰-۴) می‌باشد که نور مرئی تنها قسمت کوچکی از پائین نمودار ناقوسی را تشکیل می‌دهد که نشان دهنده راندمان پائین لامپ‌های التهابی است. هر چه دمای رشته ملتهب بالاتر برود قسمت بیشتری از این نمودار در محدوده نور مرئی قرار گرفته ولی این باعث کاهش طول عمر لامپ می‌شود.

شکل (۱۰-۵) اسپکتروم نور خورشید در زمان ظهر و یک لامپ التهابی را نشان می‌دهد.

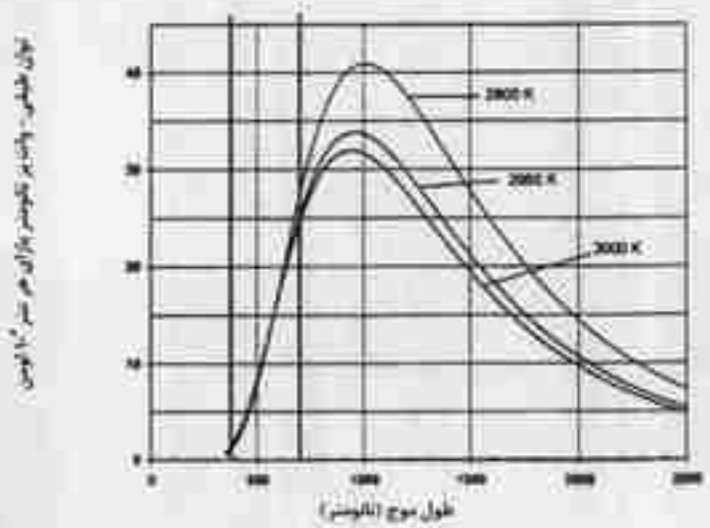
تظاهر رنگ لامپ‌های التهابی خوب بوده و در حدود ۱۰۰ می‌باشد و علت آن پیوستگی اسپکتروم آن می‌باشد نه به علت توزیع خوب آن.

شکل (۱۰-۶) تغییرات مشخصات لامپ با تغییرات ولتاژ را نشان می‌دهد.

یکی از راههای بالا بردن راندمان لامپ‌های رشته‌ای پر کردن حباب با گازهای سنگین است که از تبخیر رشته (فیلامان) جلوگیری می‌کند. بهترین گاز جهت این کار کریپتون[1] می‌باشد که به علت گرانی تنها برای لامپ‌های هالوژن به علت حباب کوچک مناسب می‌باشد. [شکل (۱۰-۷)].این کار موجب افزایش راندمان بین ۵ تا ۱۵ درصد می‌شود.

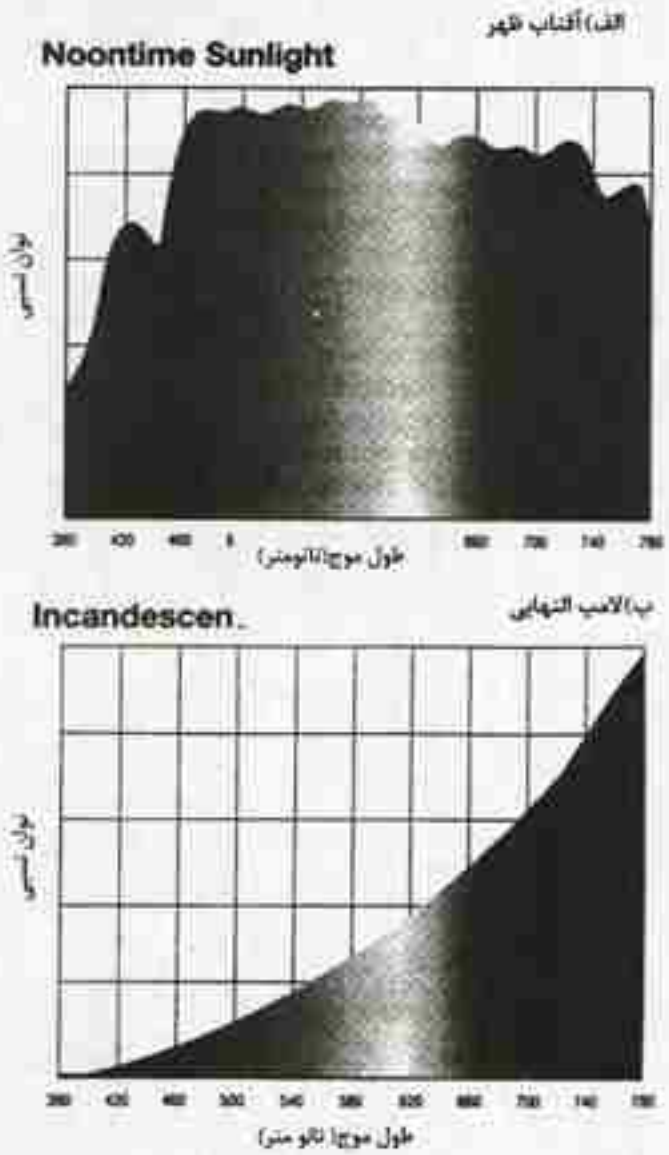
لامپ‌های هالوژن تنگستن نیز که با گازهای خانواده هالوژن پر شده‌اند از راندمان و طول عمر طولانی‌تری برخوردارند.

در شکل (۱۰-۸) کاهش نور خروجی لامپ التهابی معمولی و هالوژن تنگستن آمده است.

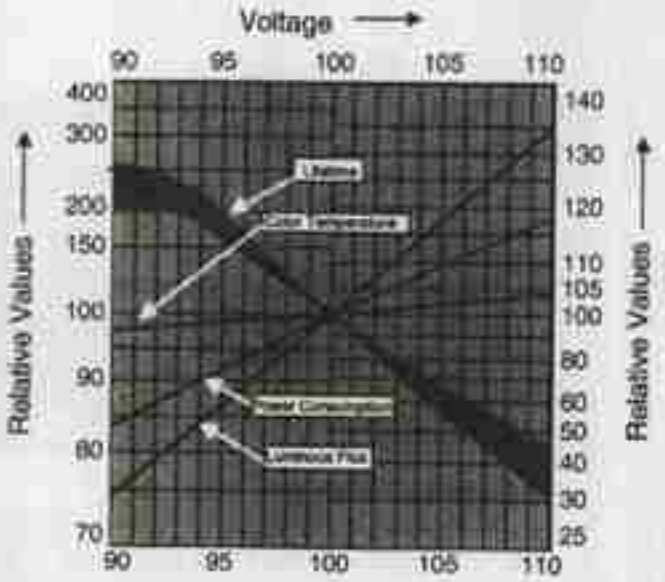


شکل شمارهٔ (۱۰-۴)- توزیع طول موج نور تولیدی (اسپکتروم) یک لامپ التهابی

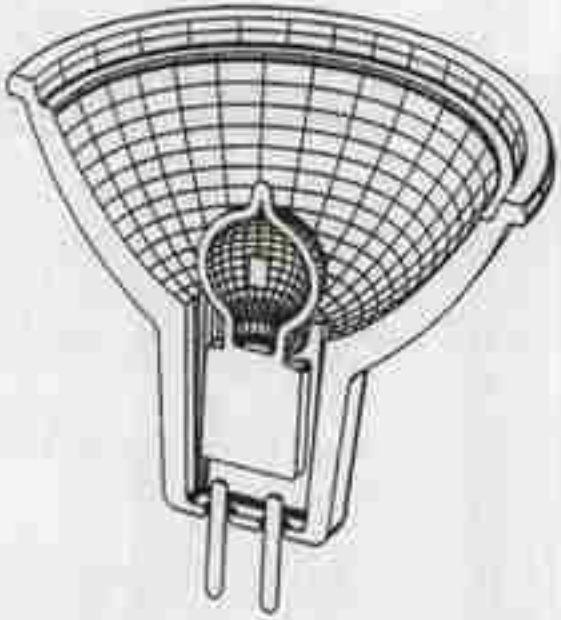
۱- کریپتون: یک نوع گاز کمیاب است



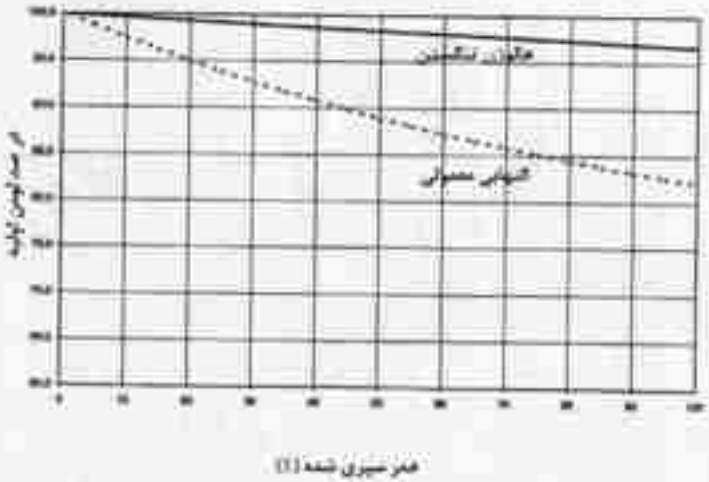
شکل شمارهٔ (۱۰-۵)- مقایسهٔ توزیع طول موج(اسپکتروم)یک لامپ التهابی با آفتاب ظهر



شکل شمارهٔ (۱۰-۶)- منحنی های تغییرات مشخصات لامپ التهابی
برای تغییرات ولتاژ



شکل شمارهٔ (۱۰-۷)- یک لامپ هالوژن با انعکاس دهنده



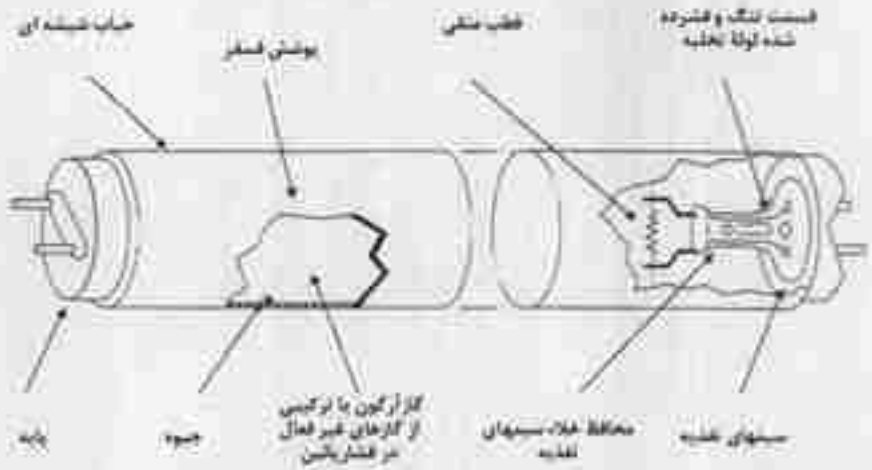
شکل شمارهٔ (۱۰-۸)- مقایسهٔ افت نور یک لامپ التهابی معمولی با لامپ هالوژن تنگستن

۱-۴-۲-لامپ فلورسنت :

لامپ فلورسنت یک لوله شیشه‌ای با الکترود در هر انتهای آن می‌باشد. داخل لوله از یک یا چند مادهٔ فسفری پوشانده شده است. بخار جیوه با فشار خیلی پائین همراه با یک یا چند گاز اصلاح کننده[1] پرشده است. شکل (۱۰-۹) لامپ‌های فلورسنت متعارف را نشان می‌دهد.

برای ایجاد نور، نیاز به قوس الکتریکی است که بوسیله گاز یا بخاری که بار الکتریکی دارند صورت می‌پذیرد. ابتدا الکترون از الکترودها جدا شده و در میدان برق بین دو الکترود شروع به حرکت می‌کنند با برخورد الکترونها به اتم‌های جیوه، الکترون از جیوه کنده شده تولید یون می‌نماید. یونها و الکترون‌ها خلاف جهت یکدیگر حرکت نموده و قوس الکتریکی را بین دو الکترود برقرار می‌نمایند.

1 - Buffer Gases

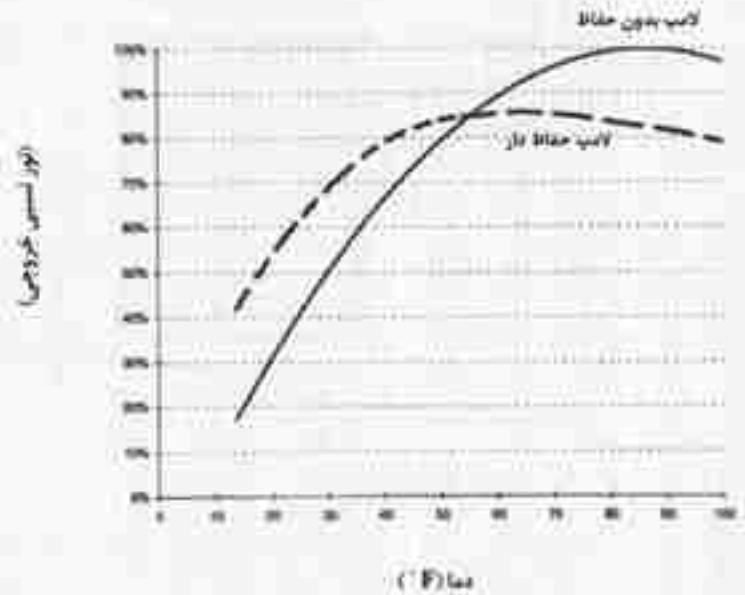


شکل شمارهٔ (۱۰-۹)- اجزاء یک لامپ فلورسنت

جریان باید مهار شود زیرا در صورت زیاد شدن الکترون‌ها ضربه‌های پیاپی به اتم جیوه وارد کرده و باعث تحریک الکترون‌ها به مدارهای بالاتر انرژی شده و موجب می‌شود که نور با طول موج‌های بالاتر تولید کنند که بلااستفاده می‌باشد. همچنین عمل جدا شدن الکترون‌های اولیه از الکترودها به وسیله ایجاد ولتاژ بالا بین الکترودها یا گرم کردن الکترودها انجام می‌شود.

لامپ‌های مهتابی جدید با استفاده از چند نوع فسفر موفق به بالا بردن راندمان از حدود ۷۵ به ۹۰ لومن بروات شده‌اند و تظاهر رنگ آنها نیز بهبود یافته و افت نور آن در مقابل طول عمر آن از ۲۰ درصد به ۷ درصد کاهش یافته است.

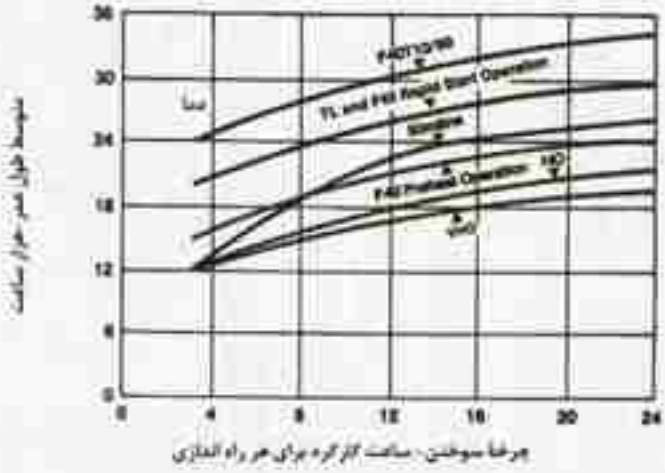
لامپ‌های فلورسنت بر خلاف لامپ‌های التهابی و تخلیه‌ای فشار بالا، به درجه حرارت محیط حساسند و باید دما در حدود $40^{\circ}C$ باشد. شکل (۱۰-۱۰) تغییرات راندمان را با درجه حرارت محیط برای لامپ‌های فلورسنت نشان می‌دهد.



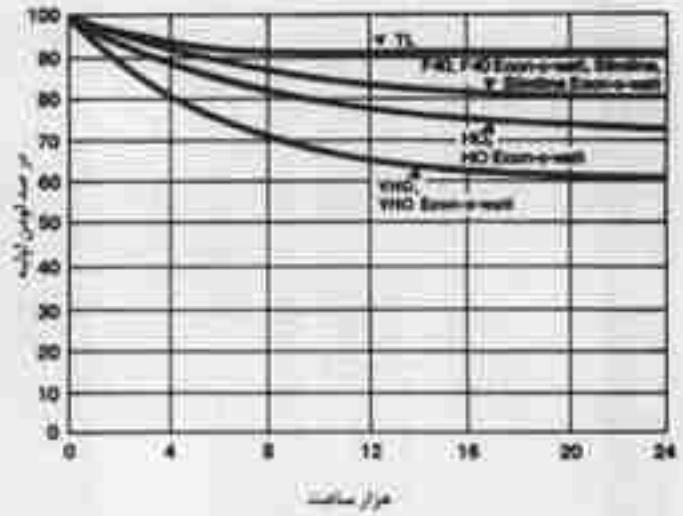
شکل شمارهٔ (۱۰-۱۰)- تغییرات نور خروجی لامپ فلورسنت در دو حالت

لامپ‌های فلورسنت در جریان‌های بالا طول عمر کوتاه‌تری دارند به همین دلیل زمان روشن بودن به ازای هر کلید زدن یک عامل مهم است که در شکل (۱۰-۱۱) آمده است و سازندگان معمولاً برای زیر ۳ ساعت عددی ارائه نمی‌دهند.

شکل (۱۰-۱۲) تغییرات نور خروجی برای انواع فلورسنت را نشان می‌دهد.



شکل شمارهٔ (۱۰-۱۱)- تغییرات طول عمر فلورسنتهای مختلف بازای ساعت کار کرد برای هر بار راه اندازی



شکل شمارهٔ (۱۰-۱۲)- افت نور انواع فلورسنت در طول عمر آنها

۱-۴-۲-۱-لامپ‌های فلورسنت فشرده :

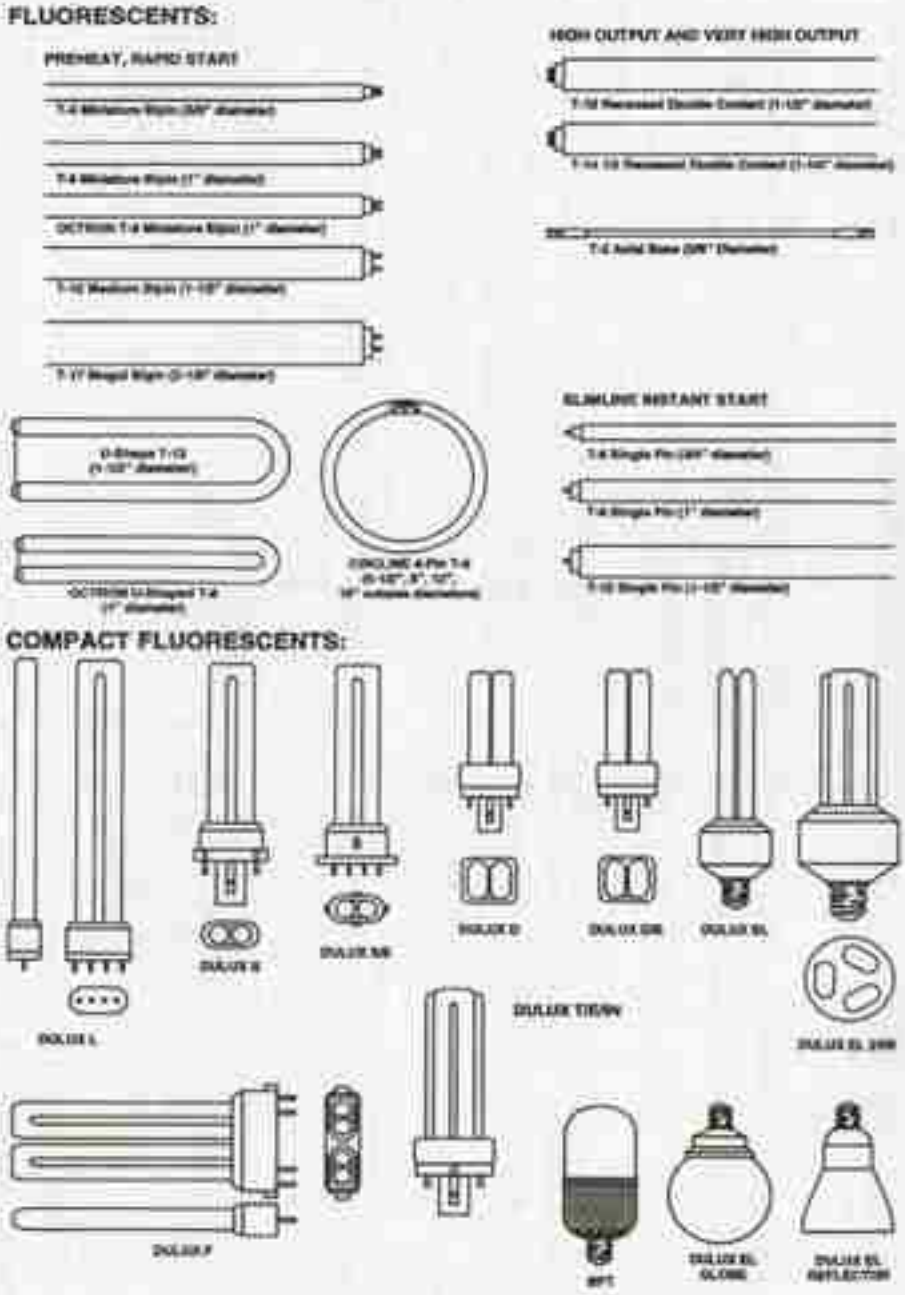
با پیشرفت فناوری، امکان تولید لامپ‌های فلورسنت فشرده در دهه ۱۹۷۰ بوجود آمد و امکان رقابت لامپ‌های فلورسنت با لامپ‌های التهابی از نظر فشرده بودن مهیا شد. امروزه دو نوع لامپ مهتابی فشرده در بازار وجود دارند:

- لامپ‌های مهتابی فشرده یکپارچه با بالاست[1] که امکان نصب در سر پیچ لامپ‌های التهابی را دارند.
- لامپ‌های مهتابی که لولهٔ آنها جدا بوده و با یک آداپتور[2] که حاوی بالاست است به سرپیچ لامپ التهابی متصل می‌شود.

شکل (۱۰-۱۳) انواع فلورسنت و فلورسنت فشرده را نشان می‌دهد.

جدول (۱۰-۱) لامپ‌های فلورسنت فشرده را با لامپ التهابی مقایسه می‌کند.

1 - Ballast
2 - Adaptor



شکل شمارهٔ (۱۰-۱۳)- انواع مختلف لامپ های فلورسنت و فلورسنت فشرده

جدول شمارهٔ (۱۰-۱)- مقایسهٔ بین لامپ های تنگستن -آرگون عادی و لامپ های فلورسنت فشرده با بالاست های فرکانس بالا و معمولی

انواع لامپها	توان (W)	قوی روشنایی (lm)	شاخص نظام رنگ (Ra)	بهره‌وری Lm/W
لامپ التهابی معمولی	۴۰	۴۳۰	۹۹	۱۱
	۶۰	۷۳۰	۹۹	۱۲
	۷۵	۹۶۰	۹۹	۱۳
	۱۰۰	۱۳۸۰	۹۹	۱۴
لامپ فلورسنت فشرده	۹	۴۱۵	۸۲	۴۶
با بالاست معمولی (۱)	۱۳	۶۲۰	۸۲	۴۸
	۱۸	۸۲۵	۸۲	۴۶
	۲۵	۱۰۸۵	۸۲	۴۳
لامپ فلورسنت فشرده	۷	۴۰	۸۵ - ۹۰	۵۷
با بالاست الکترونیکی (۲)	۱۱	۶۰۰	۸۵ - ۹۰	۵۵
	۱۵	۹۰۰	۸۵ - ۹۰	۶۰
	۲۰	۱۲۰۰	۸۵ - ۹۰	۶۰

(۱) ،کاتالوگ محصولات روشنایی فیلیپس، ۱۹۹۰
(۲) ،کاتالوگ محصولات آسرام، ۱۹۹۰

۱-۴-۳-لامپهای تخلیه‌ای فشار بالا :

لامپ‌های تخلیه‌ای فشار بالا[1] (HID) به ۳ دسته عمده تقسیم می‌شوند:

- لامپ‌های بخار جیوه با علامت اختصاری[2] (MV)
- لامپ‌های متال هلاید[3] (MH)
- لامپ‌های سدیم فشار بالا[4] (HPS)

در این دسته از لامپ‌ها، راندمان و تظاهر رنگ بسیار متفاوتی داریم. دانستن علت این تفاوت‌ها جهت انتخاب لوازم جانبی الزامی است. این لامپ‌ها همانند فلورسنت به همراه بالاست بکار برده می‌شوند.

لامپ‌های سدیم فشار پائین[5](LPS) خواصی مشابه لامپهای تخلیه ای فشار بالا دارند و معمولاً هر دو محصول بوسیلهٔ کارخانه های سازنده تولید شده و در یک دسته بندی قرار می گیرند.

1 - HID: High Intensity Discharge
2 - MV: Mercury Vapor
3 - MH: Metal Halide
4 - HPS: High-Pressure Sodium
5 - LPS: Low Pressure Sodium

لامپ‌های تخلیه ای فشار بالا چگونه کار می‌کنند؟

این لامپها همانند لامپ‌های فلورسنت، از تحریک بخار فلزات به عنوان منبع اصلی نور استفاده می‌کنند. اما علی‌رغم تشابه، تفاوت‌هایی هم وجود دارد که یکی از آنها فشار گاز داخل لوله می‌باشد که در لامپ‌های تخلیه ای فشار بالا چند هزار برابر فشار گاز داخل لامپ فلورسنت است. قوس الکتریکی و جریان بالا موجب افزایش دما و فشار گاز در یک لوله کوچک شده و نور بسیار قوی تولید می‌کند. بر خلاف لامپ‌های فلورسنت که به علت سطح بزرگشان قدرت نورشان کم است. محدوده منبع نور به قدری کوچک است که می‌توانند در چراغ‌های متمرکز کننده مانند لامپ‌های التهابی قرار گیرند. شکل (۱۰-۱۴) شکل‌های چهار نوع لامپ‌های تخلیه ای فشار بالا و سدیم کم فشار را نشان می‌دهد.

شکل (۱۰-۱۵) اسپکتروم طول موج‌های لامپ‌های جیوه‌ای شفاف، متال هلاید شفاف و سدیم پر فشار را نشان می‌دهد.

همانطور که از شکل (۱۰-۱۵) مشخص است لامپ‌های تخلیه‌ای فشار بالا دارای گستردگی طیف بیشتری نسبت به لامپ سدیم فشار پائین می‌باشند در صورتیکه راندمان نوری آنها پائین‌تر می‌باشد. جدول (۱۰-۲) محدوده راندمان نوری لامپهای تخلیه‌ای را نشان می‌دهد.

شکل (۱۰-۱۶) کاهش نور لامپ‌های تخلیه ای فشار بالا را در طول عمرشان نشان می‌دهد.

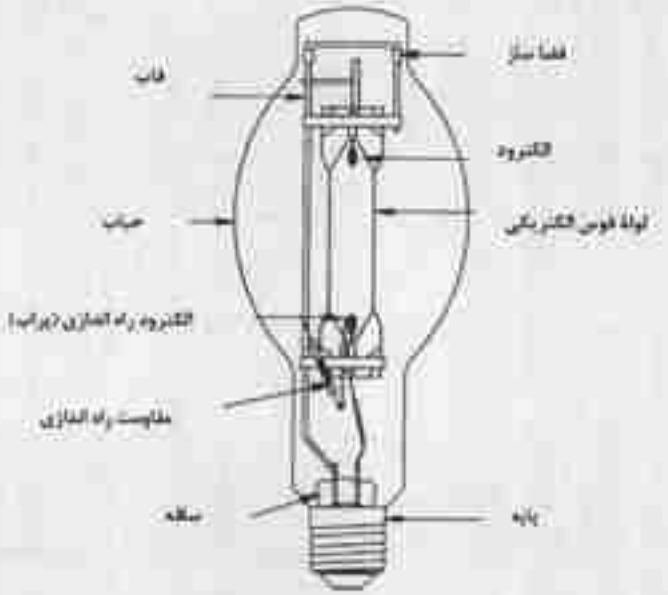
بعضی از لامپ‌های تخلیه ای فشار بالا نسبت به وضعیت نصب حساسند. شکل (۱۰-۱۷) تغییر نور یک نوع لامپ متال هلاید را با تغییر زاویه محور آن نسبت به خط عمود نشان می‌دهد.

جدول (۱۰-۳) بهره نوری انواع لامپ‌های تخلیه ای فشار بالا را در توان‌های مختلف نشان می‌دهد.

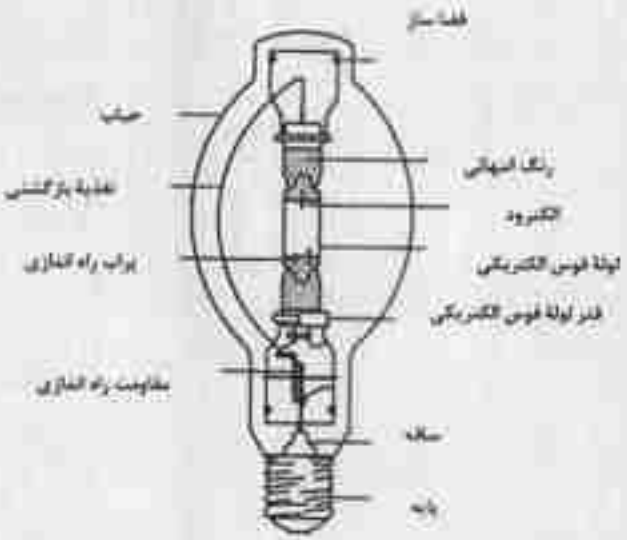
جدول (۱۰-۴) تلفات بالاست‌های مغناطیسی برحسب درصدی از مصرف لامپ را نشان می دهد.

۱-۵- مقایسه خواص منابع نور مختلف

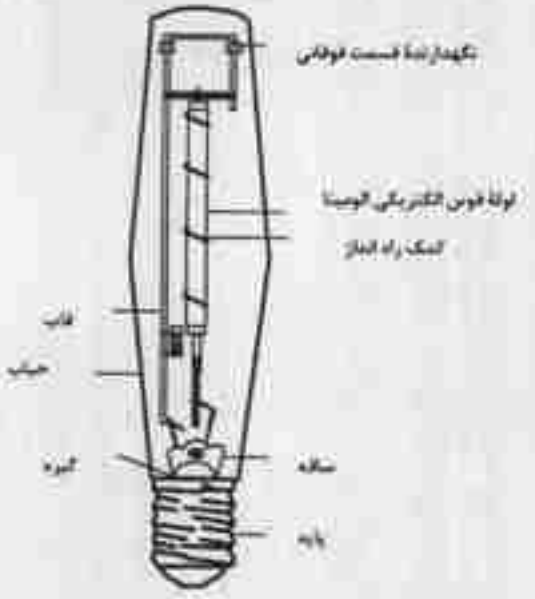
در جدول (۱۰-۵)، منابع نور مختلف، با هم مقایسه شده است.



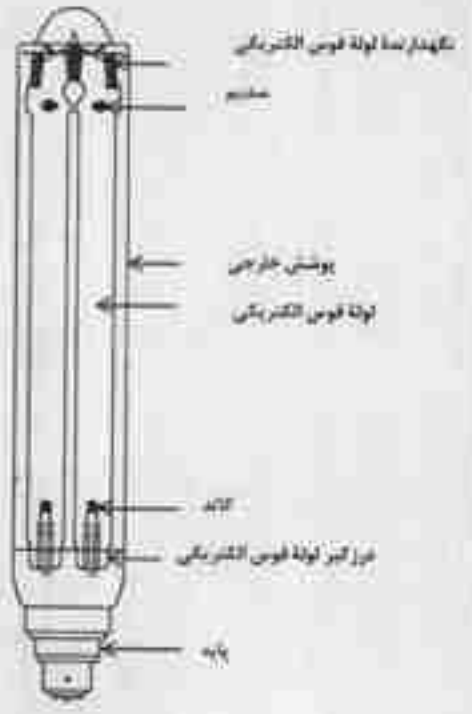
لامپ بخار جیوه



لامپ هالید

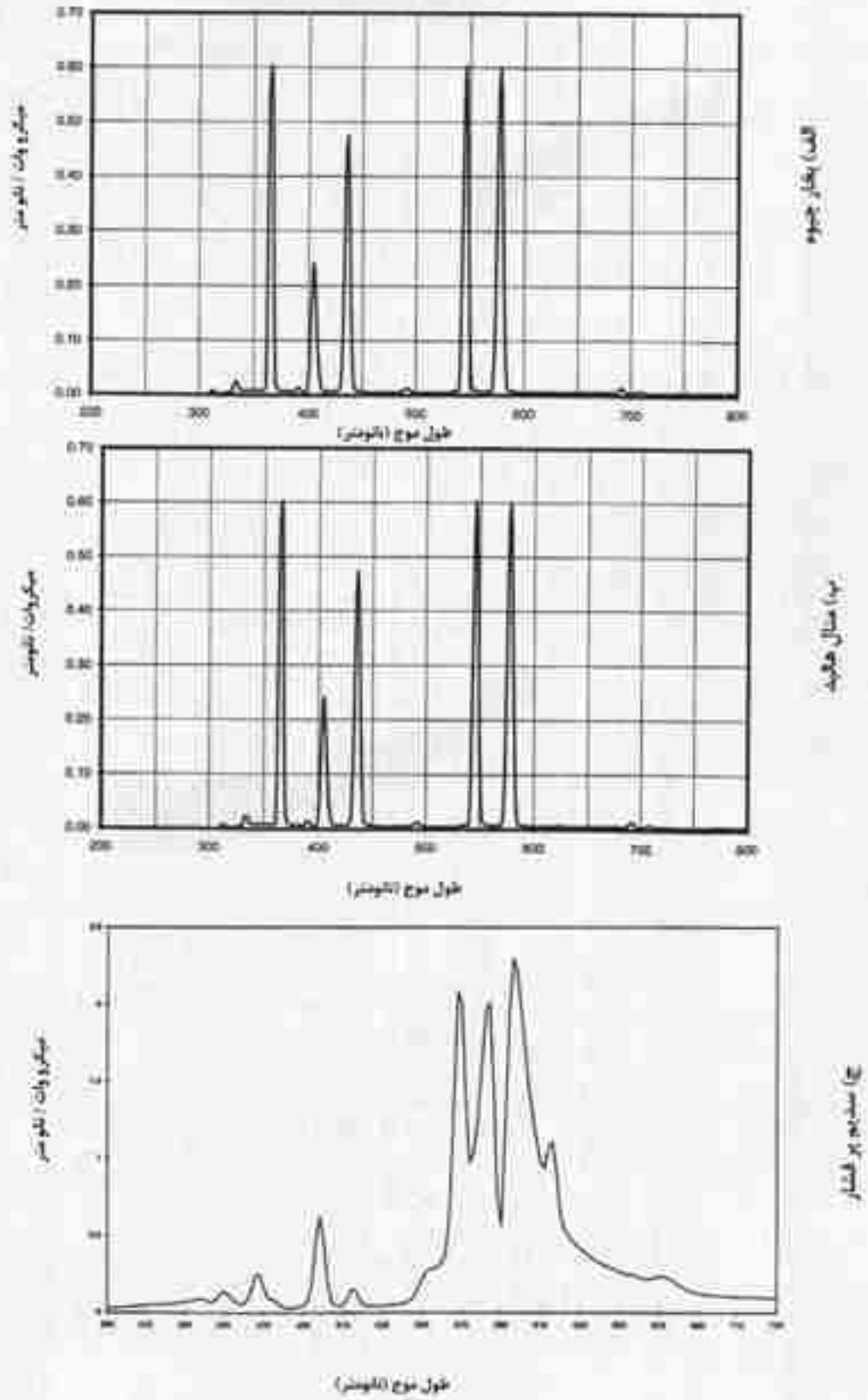


لامپ سدیم پر فشار

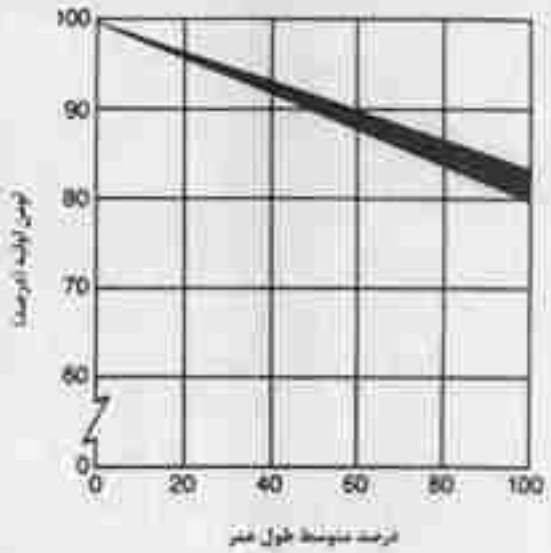


لامپ سدیم کم فشار

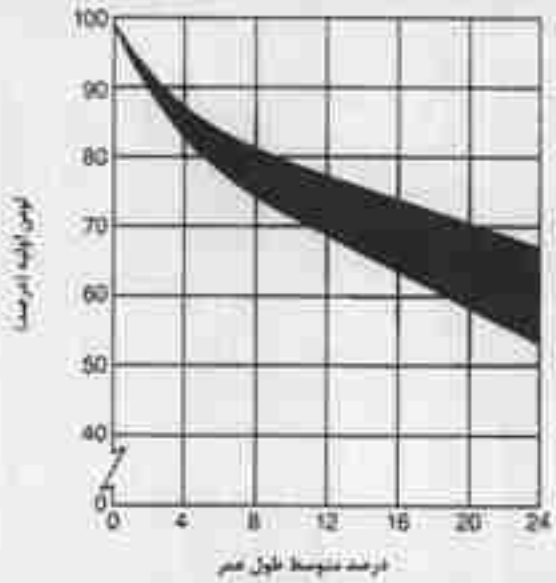
شکل شماره (۱۰-۱۴)- ۴ نوع لامپ تخلیه ای



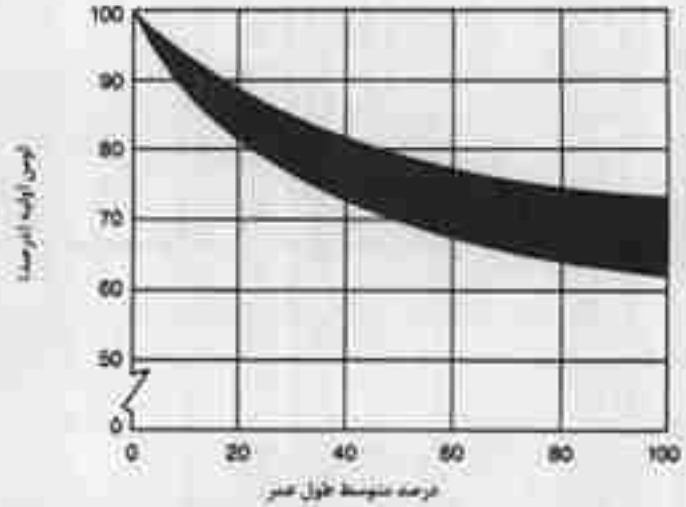
شکل شمارهٔ (۱۰-۱۵)- توزیع طول موج تولیدی (اسپکترم) انواع لامپ های التهابی



الف) کاهش نور لامپ پر فشار سدیم



ب) کاهش نور لامپ بخار جیوه



ج) کاهش نور لامپ هالید

شکل شمارهٔ (۱۰-۱۶) - کاهش نور انواع لامپهای تخلیه ای فشار بالا

جدول شمارهٔ (۱۰-۲)- محدوده راندمان انواع لامپ های تخلیه ای

بخار جیوه	۲۵-۶۵
متال هالید	۷۰-۱۳۰
سدیم فشار بالا	۵۰-۱۵۰
سدیم فشار پائین	۱۰۰-۱۹۰
فلورسنت	۳۰-۹۵

شکل شمارهٔ (۱۰-۱۷)- تغییرات نور یک لامپ متال هالید به تغییرات زاویه محور آن به خط عمود

جدول ۱۰-۳ راندمان لامپ‌های تخلیه‌ای فشار بالا در توان مختلف

Table 1. TYPICAL H.I.D. LAMP EFFICACIES

			Efficacy (lumens/watt)		
Watts	CRI	C/P	MV	MH	HPS
100	15	C	38		
	20+	C			95
	25	C	41		
	40+	P	45		
	50+	P	46		
	60+	C		78	
	80+	C			47
	80+	P			25
250	15	C	45		
	20+	C			110
	20+	P			104
	25	C	48		
	40+	P	52		
	50+	P	50		
	60+	C		92	90
	60+	P			80
	80+	P		92	
400	15	C	52		
	20+	C			125
	20+	P			119
	40+	P	57		
	50+	P	55		
	60+	C		100	94
	60+	P			89
	70	C		90	
	70+	P		100	
1,000	15	C	57		
	20+	C			140
	50+	P	62		
	60+	C		125	
	70+	P		125	

NOTES:
- The figures do not include ballast losses.
- "C" indicates clear lamps.
- "P" indicates phosphor coated lamps.

جدول شمارهٔ (۱۰-۴)- تلفات بالاست های نوعی لامپ های تخلیه فشار بالا بصورت درصدی از توان لامپ

TYPICAL H.I .D. MAGNETIC BALL AST LOSSES
AS a percentage of lamp wattage

LPS (لامپ بخار سدیم)	HPS بخار سدیم	MH بخار جیوه	MH متال هالید	Lamp wattage توان لامپ
72*				35
	32*		۲۸*	۵۰
	30*			۷۰
38*				۹۰
	30*	29*	۱۸	۱۰۰
۳۲*				۱۳۵
	29*			۱۵۰
		23	۱۲	۱۷۵
۲۲				۱۸۰
	20			۲۰۰
	18	۱۸	۱۲	250
	۱۲	۱۲	۱۲	۴۰۰
	۱۰	۸	۸	۱۰۰۰
		۷		۱۵۰۰

• The figures with asterisks are for high- power-factor reactor ballasts . The other ballasts are CWA units.

جدول شمارهٔ (۱۰-۵)- مقایسهٔ منابع نور مختلف

مشخصات	التهابی معمولی	التهابی هالوژن	فلورسنت معمولی
لومن خروجی	۱۰ تا ۵۰۰۰	۲۰۰ تا ۴۰۰۰	۹۰۰ تا ۱۲۰۰۰
تضعیف لومن	۱۵ تا ۴۰	۸ تا ۱۵	۸ تا ۲۵
عمر مفید	۷۵۰ تا ۴۰۰۰	۲۰۰۰ تا ۶۰۰۰	۷۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰
راندمان (lm/W)	۷ تا ۲۲	۱۴ تا ۲۲	۳۰ تا ۹۰
مصرف انرژی بالاست(Ballast)	ندارد	ندارد	از ۵ (برای بالاستهای الکترونیکی با کیفیت) تا ۲۰ (برای بلاستهای مغناطیسی
پتانسیل جایگزینی وعدم تطابق لامپ	محدودیتی از جهت جایگزینی در صورت قابل نصب بودن در قاب وتحمل حرارت ایجاد شده توسط قاب وجود ندارد	محدودیتی از جهت جایگزینی در صورت قابل نصب بودن در قاب وتحمل حرارت ایجاد شده توسط قاب وجود ندارد	در محدوده خاصی از توان با توجه به سایز لامپ، شکل سوکت و قابلیت سازگاری بالاست محدود میشود
قابلیت تنظیم نور	نامحدود	نامحدود، (بجز در مواردیکه از دیود استفاده شده باشد قالبیت تنظیم نور وجود ندارد .	نیاز به انواع خاصی از بالاستهای تنظیم کننده می باشد
ضریب تظاهررنگ	۱۰۰	۱۰۰	۵۰ تا ۹۵
رنگ لامپ	سفید به نظر می رسد اما رنگ واقعی آن زرد مایل به قرمز باشد. طیف آن پیوسته بوده . اما تمرکز آن بسمت انتهای قرمز رنگ بیشتر بوده و در انتهای آبی انرژی کمی دارد.	سفید به نظر می رسد اما رنگ واقعی آن زرد مایل به قرمز باشد. طیف آن پیوسته بوده . اما تا حدی رنگ آن از لامپهای التهابی معمولی متعادلتر است .	تقریباً انتخاب رنگ آن به دلیل بکارگیری فسفر نامحدود است . طیف نوری آن میتواند جمع و نوک تیزو یا مثل طیف نور خورشید گسترده باشد.

ادامهٔ جدول شمارهٔ (۱۰-۵)

مشخصات	التهابی معمولی	التهابی هالوژن	فلورسنت معمولی
دمای راه اندازی	محدودیتی ندارد	محدودیتی ندارد	برای لامپهای راندمان بالا ۶۰ °F (۱۵ °C) و برای لامپهای معمولی (۱۰ °C) ۵۰ °F می باشد. بالاستهای مخصوصی وجود دارد که با بکارگرفتن آنها به دمای راه اندازی بسیار کمتری می توان دست یافت.
تاثیر دما بر روی نور	کم است	کم است	تلفات جدی نور خروجی در بالا و پائین نقطهٔ اپتیمم دمای لامپ (حدود ۱۰۰°F) خواهیم داشت
وقفه راه اندازی	فوری	فوری	در لامپهای که از بالاستهای راه اندازی فوری استفاده می کنند فوری می باشد. در مورد لامپهای با بالاست سریع ، یک ثانیه و در مورد لامپهای با بالاست پیشگرم از یک تا چندین ثانیه می باشد.
زمان راه اندازی دوباره	فوری	فوری	در مقایسه با راه اندازی اولیه کوتاهتر می باشد.
کنترل توزیع نور	در بعضی از انواع می توان نور را متمرکز کرد.	در بعضی از انواع می توان نور را متمرکز کرد.	قابلیت کنترل و متمرکز سازی در آنها بسیار ضعیف می باشد. کنترل بیشتر بر روی خط عمود بر محور لامپ امکانپذیر است.
استفاده بصورت لامپهای نزئینی	تنوع زیادی دارند	تنوع زیادی دارند	ندارد

ادامهٔ جدول شمارهٔ (۱۰-۵)

مشخصات	لامپهای معمولی	لامپهای هالوژن	فلورسنت معمولی
محدودیتهای نصب	محدودیتی ندارد. در بعضی از لامپهای نیاز است که از قاب استفاده شود.	محدودیتی ندارد	لامپهای با طول زیاد باید بصورت افقی نصب شوند.
تداخل صوتی	کم است	کم است	تمام بالاستهای مغناطیسی سر و صدا تولید می کنند و حفاظت از دستگاههای آسیب پذیر در مقابل سر و صدا در این موارد ضروری است. همچنینی برخی بالاستهای الکترونیکی هم مقادیر قابل توجهی سر و صدا تولید می کنند.
ضریب توان	مشکلی ندارد	مشکلی ندارد	از بالاستهای با ضریب توان بالا می توان استفاده کرد. برخی از بالاستها ضریب توان پائین دارند.
اعوجاج هارمونیک	ندارد	ندارد	اعوجاج شدید رخ می دهد و شدت آن در بالاستهای الکترونیکی با کیفیت پائین بیشتر است.
تداخل الکترو مغناطیسی	ندارد	ندارد	بالاستهای الکترونیکی مشکلات زیادی را بوجود می آورند. با بکارگیری بالاستهای با کیفیت پائین این مشکلات افزایش می یابد.

ادامهٔ جدول شمارهٔ (۱۰-۵)

مشخصات	فلورسنت فشرده	بخار جیوه	متال هالید
لومن خروجی	۲۵۰ تا ۱۸۰۰	۱۲۰۰ تا ۶۰۰۰	۴۰۰۰ تا ۱۶۰۰۰۰
تضعیف لومن	۱۵ تا ۲۰	۳۵ تا ۴۵	۳۰ تا ۴۵
عمر مفید	۱۰۰۰۰	۲۴۰۰۰	۵۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰
راندمان (Lm/W)	۲۵ تا ۷۰ (با در نظر گرفتن تلفات بالاست)	۳۵ تا ۶۵	۷۰ تا ۱۳۰
مصرف انرژی بالاست	۱۰ (برای بالاستهای الکترونیکی) تا ۲۰ (برای بالاستهای مغناطیسی)	۸ (برای لامپهای بزرگ) تا ۵۰ (برای لامپهای کوچک)	۷ (برای لامپهای بزرگ) تا ۳۰ (برای لامپهای کوچک)
پتانسیل جایگزینی وعدم تطابق لامپ	لامپهای سر پیچدار ، بجزمواردی که اندازی آنها برای نصب بزرگ باشد. می توانند جایگزین یکدیگر یا سایر لامپهای التهابی شوند. در قابهایی که برای کنترل توزیع نور طراحی شده اند قابل نصب نمی باشند . سایر لامپهای فشرده ، سرپیچهای خاصی دارندکه موجب محدودیت در امر جایگزینی آنها می گردد.	جایگزینی بشدت به سازگاری بالاست وابسته است . برخی از لامپهای بخار جیوه بدون بالاستهای خارجی می توانند جایگزینی لامپهای التهابی معمولی شوند . اما اینکار راندمان را به میزان قابل توجهی کاهش می دهد	جایگزینی بشدت به سازگاری بالاست وابسته است
قابلیت تنظیم نور	انواعی که بالاستهای اتنگرالی دارند نمی توانند در تنظیم نور مورد استفاده قرار گیرند	تنظیم نور بصورت تک مرحله ای تا ۵۰٪ خروجی فقط با استفاده از بالاستهای ترانسفورمری امکانپذیر است .	تنظیم نور بصورت تک مرحله ای تا ۵۰٪ خروجی فقط با استفاده از بالاستهای ترانسفورمری امکانپذیر است . قسمت عمده رنگ لامپ تغییر می کند

ادامهٔ جدول شمارهٔ (۱۰-۵)

مشخصات	فلورسنت فشرده	بخارجیوه	هالید فلز
ضریب تظاهررنگ	۶۵ تا ۸۵	۴۰ تا ۵۰	۶۰ تا ۷۰
رنگ لامپ	مانند لامپهای فلورسنت معمولی امکان انتخاب انواع رنگ از دمای K ۲۷۰۰ تا K ۵۰۰۰ وجود دارد.	رنگ آن مشخصاً سبز - آبی است . قسمت عمده انرژی لامپ در خطوط باریک انتشار جیوه ای متمرکز میشود. لامپهایی که پوشش فسفری دارند می توانند خطوط رنگی اضافی و طیف متناوب تولید کنند .	رنگ آن سفید متمایل به زرد است . لامپهای شفاف تعداد زیادی خطوط باریک در کنار طیف مرئی تولید میکنند . لامپهایی که پوشش فسفر دارند تعداد بیشتری طیف پیوسته تولید میکنند.
دمای راه اندازی	از (۲۹ °C) ۲۰ °F- تا (۰ °C) ۳۲ °F	معمولاً (۲۹ °C) ۲۰ °F-	معمولاً (۲۹ °C) ۲۰ °F
تاثیر دما بر روی نور	تلفات جدی نورخروجی در بالا و پائین نقطهٔ اپتیمم دمای لامپ (در حدود ۱۰۰°F) خواهیم داشت . لامپهایی که از آلیاژهای جیوه استفاده می کنند در دماهای پائین نور بسیار بهتری دارند.	کمترین تلفات خروجی در دمای بالای ۲۰°F- (۲۹°C-) می باشد.	کمترین تلفات خروجی در دمای بالای ۲۰°F- (۲۹°C-) می باشد.
وقفه راه اندازی	از یک تا چندین ثانیه می باشد. لامپهایی که از آلیاژهای جیوه استفاده می کنند در حدود یک دقیقه زمان نیاز دارند تا به روشنایی کامل برسند.	۴ تا ۸ دقیقه	۳ تا ۱۰ دقیقه
زمان راه اندازی دوباره	از راه اندازی اولیه کوتاهتر است.	مشابه راه اندازی اولیه می باشد.	۵ تا ۱۰ دقیقه طولانی تر از راه اندازی اولیه می باشد.

ادامهٔ جدول شمارهٔ (۱۰-۵)

مشخصات	فلورسنت فشرده	بخارجیوه	هالید فلز
کنترل توزیع نور	تقریباً می توان نور را متمرکز کرد . مخصوصاً اگر از قابهای بزرگ غیر معمول استفاده شود .	تقریباً می توان نور را متمرکز کرد .	۵ تا ۱۰ دقیقه طولانی تر از راه اندازی اولیه میباشد.
استفاده بصورت لامپهای تزئینی	حبابها برخی از انواع پخش کننده ها	ندارد	۵ تا ۱۰ دقیقه طولانیتر از راه اندازی اولیه می‌باشد.
محدودیتهای نصب	ندارد	برخی از مدلها برای نصب شدن در وضعیتهای خاصی طراحی شده اند	اکثر مدلها برای نصب شدن در وضعیتهای خاص طراحی شده اند
تداخل صوتی	انواع با کیفیت سر و صدا ندارند ولی انواع بی کیفیت ممکن است سر و صدا ایجاد کنند.	بالاستها از نوع مغناطیسی هستند و ممکن است سرو صدا تولید کنند.	بالاستها از نوع مغناطیسی هستند و ممکن است سرو صدا تولید کنند.
ضریب توان	انواع با ضریب توان بالا قابل استفاده هستند. برخی هم ضریب توان پائین دارند.	بالاستهای با ضریب توان بالا برای استفاده موجود می باشند برخی بالاستها هم ضریب توان پائین دارند	بالاستهای با ضریب توان بالا برای استفاده موجود می باشند برخی بالاستها هم ضریب توان پائین دارند
امواج هارمونیک	همه انواعی که بالاستهای الکترونیکی دارند بقدر کافی امواج هارمونیک تولید می کنند . طبیعی است که در انواع ضعیف تر این مسئله تشدید می یابد	با فرض اینکه بالاستها از نوع مغناطیسی باشد جزئی است.	با فرض اینکه بالاستها از نوع مغناطیسی باشد جزئی است.
تداخل الکترو مغناطیسی	ممکن است باره ای مشکلات در برخی از مدلهایی که از بالاستهای الکترونیکی استفاده میکنند رخ دهد اما اهمیت آنها از مشکلاتی که در فلورسنتهای معمولی رخ میدهد کمتر است . این مشکلات در انواع با کیفیت افزایش می یابد .	با فرض اینکه بالاستها از نوع الکترومغناطیسی باشند مشکل وجود ندارد . در مورد بالاستهای الکترونیکی تجربه ای حاصل نشده است .	با فرض اینکه بالاستها از نوع الکترومغناطیسی باشند مشکل وجود ندارد . در مورد بالاستهای الکترونیکی تجربه ای حاصل نشده است ..

ادامهٔ جدول شمارهٔ (۱۰-۵)

مشخصات	سدیم پر فشار	سدیم فشار پائین
لومن خروجی	۵۰۰۰۰ تا ۲۰۰۰	۱۸۰۰ تا ۳۵۰۰
تضعیف لومن	۲۵ تا ۳۵	
عمر مفید	۱۰۰۰۰ تا ۲۴۰۰۰	۱۸۰۰۰
راندمان (Lm/W)	۵۰ تا ۱۵۰	۱۰۰ تا ۱۹۰
مصرف انرژی بالاست(Ballast)	۱۰ (برای لامپهای بزرگ) تا ۳۵ (برای لامپهای کوچک)	۲۰
پتانسیل جایگزینی وعدم تطابق لامپ	جایگزینی بشدت به سازگاری بالاست وابسته است. برخی از لامپهای سدیم پر فشار می توانند جایگزین لامپهای بخار جیوه بشوند. این لامپها راندمان بالاتری دارند ولی ضریب تظاهر رنگ این لامپها کمتر است .	جایگزینی لامپ بشدت توسط قابلیت سازگاری بالاست و شکل سوکت محدود می گردد.
قابلیت تنظیم نور	تنظیم نور بصورت تک مرحله ای تا 30٪ خروجی فقط با استفاده از بالاستهای ترانسفورمری امکانپذیر است .قسمت عمدهٔ رنگ لامپ تغییر می کند.	ندارد
ضریب تظاهررنگ	۲۰ تا ۸۵	۰ تا ۲۰
رنگ لامپ	رنگ آن سفید متمایل به زرد است . طیف پیوسته باریک در حدود ۶۰۰ نانومتر تمرکز یافته است . درآن دسته از لامپهایی که رنگ آنها تقویت شده است خروجی در انتهای قرمز رنگ طیف افزایش می یابد. این لامپها در انتهای آبی رنگ خود نقص دارند .	فقط زرد
معمولاً F°-۲۰(C°-۲۹)	معمولاً F° -۲۰ (C° -۲۹)	معمولاً F°-۲۰(C°-۲۹)
تاثیر دما بر روی نور.	کمترین تلفات خروجی در دمای بالای F°-۲۰ (C°-۲۹) می باشد.	کمترین تلفات خروجی در دمای بالای F°-۲۰(C°-۲۹) می باشد
وقفه راه اندازی	۵ تا ۱۰ دقیقه	۷ تا ۱۵ دقیقه
زمان راه اندازی دوباره	بمقدار قابل توجهی کوتاهتر از راه اندازی اولیه می باشد.	فوری

ادامهٔ جدول شمارهٔ (۱۰-۵)

مشخصات	سدیم پر فشار	سدیم فشارپائین
کنترل توزیع نور	بمقدار قابل توجهی کوتاهتر از راه اندازی اولیه می باشد.	متمرکز سازی نور بسیار ضعیف است . کنترل بیشتری بر روی خط عمود بر
استفاده بصورت لامپهای تزئینی	بمقدار قابل توجهی کوتاهتر از راه اندازی اولیه می باشد.	ندارد
محدودیتهای نصب	به وضعیت نصب زیاد حساس نمی	
تداخل صوتی	بالاستها از نوع مغناطیسی هستند و	بالاستها از نوع مغناطیسی هستند و
ضریب توان	بالاستهای با ضریب توان بالا برای استفاده موجود می باشند برخی	بالاستهای با ضریب توان بالا برای استفاده موجود میباشند . برخی از
اعوجاج هارمونیک	با فرض اینکه بالاستها از نوع	با فرض اینکه بالاستها از نوع
تداخل مغناطیسی	با فرض اینکه بالاستها از نوع الکترومغناطیسی باشد مشکل وجود ندارد . در مورد بالاستهای الکترونیکی تجربه ای حاصل نشده است .	با فرض اینکه بالاستها از نوع الکترومغناطیسی باشد مشکلی وجود ندارد. در مورد بالاستهای الکترونیکی تجربه ای حاصل نشده است .

۱-۶- بالاست‌ها

همانطور که قبلاً گفته شده لامپ‌های تخلیه، جهت راه‌اندازی و ادامه کار به بالاست نیاز دارند وظیفه بالاست، ابتدا ایجاد ولتاژ بالا برای راه‌اندازی لامپ و سپس محدود کردن جریان، هنگام کار دائم لامپ می‌باشد. درلامپ‌های مهتابی، بالاست‌ها درصد قابل ملاحظه‌ای از مصرف لامپ را به خود اختصاص می دهند دو نوع عمده بالاست وجود دارند:

الف - بالاست‌های مغناطیسی

ب – بالاست‌های الکترونیکی

ج – نوع ترکیبی

شکل (۱۰-۱۸) انواع بالاست‌های لامپ مهتابی را نشان می‌دهد.

۱-۶-۱- بالاست‌های مغناطیسی:

بالاست‌های مغناطیسی از یک هسته و سیم پیچ تشکیل شده‌اند که خاصیت سلفی داشته و معمولاً با یک خازن جهت اصلاح ضریب توان بکار می‌روند. تلفات بالاست مغناطیسی به عنوان مثال در یک لامپ ۴۰ واتی حدود ۱۰ وات می‌باشد بطوریکه توان مصرفی چراغی با دولامپ مهتابی ۴۰ وات حدود ۱۰۰وات می باشد زیرا:

وات ۱۰۰ = (۴۰+۱۰) × ۲

۱-۶-۲ - بالاست‌های الکترونیکی:

این بالاست ها برای بکار انداختن لامپ‌ها از راکتور الکترونیکی استفاده می‌کنند. امتیاز اصلی این بالاست‌ها کاهش تلفات آنها و همچنین افزایش راندمان لامپ ها به علت ایجاد فرکانس بالا می‌باشد. به عنوان مثال تلفات بالاست در یک لامپ ۳۶ واتی، ۴ وات است.

شکل (۱۰-۱۹) تغییرات نور خروجی لامپ مهتابی ۴۰W و ۲۰ W را به ازای تغییرات فرکانس خروجی بالاست نشان می‌دهد. همانطور که در شکل مشخص است بهره وری لامپ مهتابی در فرکانس بالای ۲۰ KHZ، بین ۱۵-۱۰ درصد افزایش می‌یابد. بوسیله این بالاست و مهتابی‌های خاص راندمان لامپ‌های مهتابی تا ۱۰۰ (Lm/w) افزایش یافته است.

سازندگان زیادی بالاست‌های الکترونیکی عرضه می‌کنند که مشخصه‌های متفاوتی دارد. بر اساس یک آزمایش که بوسیله بالاست‌های الکترونیکی بر روی یک لامپ ۴۰W انجام شده راندمان هایی از ۶۸ تا ۷۹ لومن بر وات بدست آمده است.

دیگر مشخصه‌های بالاست‌های الکترونیکی:

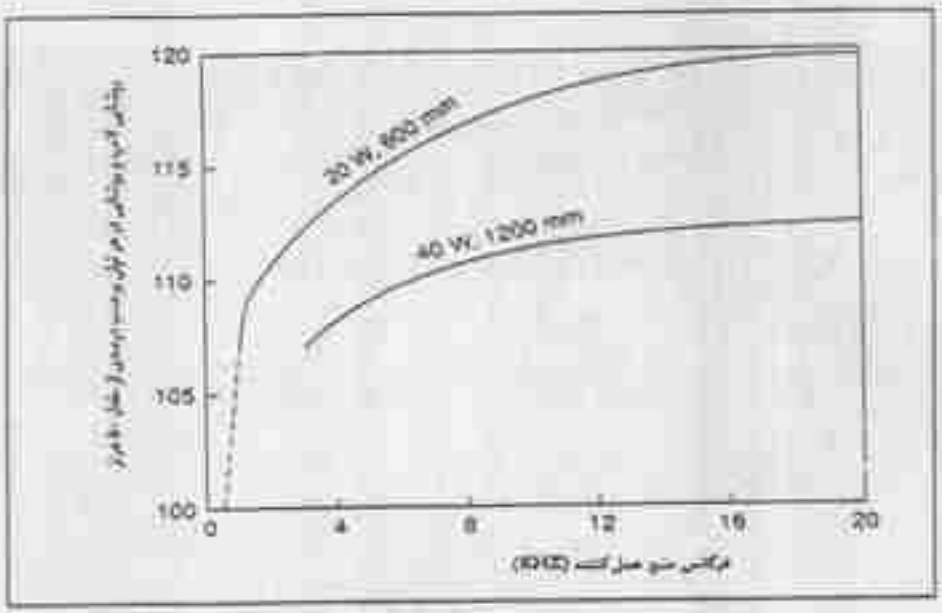
- افزایش بازده مدار، یعنی کاهش تلفات بالاست
- کاهش وزن، به ویژه برای لامپ‌های بزرگ
- افزایش بازده نور
- محو نو سو زدن
- ایجاد ضریب توان ۱ بدون نیاز به خازن‌گذاری
- وسیله تسهیل کنترل دقیق توان یا جریان لامپ
- راه‌اندازی کنترل شده بهتر و شرایط کاری مطلوب‌تر، در نتیجه افزایش عمر لامپ

بالاست ترکیبی ۱

بالاست مغناطیسی ۲

بالاست الکترونیکی ۳

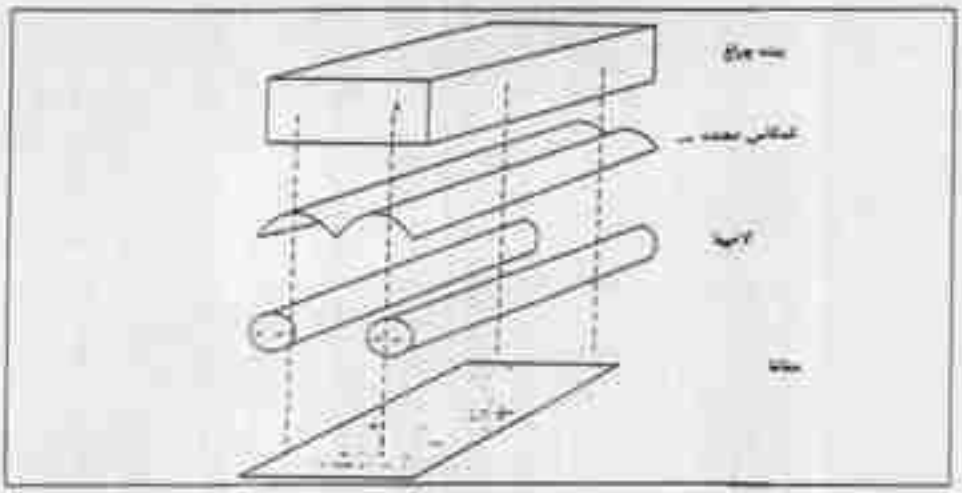
شکل شماره (۱۰-۱۸)- نمایش داخل انواع مختلف بالاست های الکتریکی



شکل شمارهٔ (۱۰-۱۹)- مشخصه های لامپ فلورسنت فرکانس بالا

۱-۷- چراغ‌ها

نور افکن‌ها یا چراغ‌ها، جزئی از سیستم روشنایی‌اند که جهت هدایت بهینه نور طراحی می شوند و راحتی دیداری را در سطح بالایی تأمین می کنند. شکل (۱۰-۲۰) اجزاء مختلف یک چراغ را بطور نمونه نشان می‌دهد.



شکل شمارهٔ (۱۰-۲۰)- ساختمان چراغ

جدا از لامپ‌ها که تأثیر بسزایی در راندمان کل مجموعه سیستم دارند. انعکاس دهنده‌ها و حفاظها نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند.شکل (۱۰-۲۱) بدنهٔ چراغ را قبل و بعد از نصب انعکاس دهندهٔ نوری نشان می دهد. حفاظها می‌توانند به صورت عدسی‌ها[1] کرکره‌های فلزی و پلاستیکی و ... باشند.

شکل شمارهٔ (۱۰-۲۱)- بدنهٔ چراغ قبل و بعد از نصب باز تاب دهنده نوری

راندمان چراغ به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\text{راندمان چراغ} = \frac{\text{کل روشنایی منتشر شده چراغ}}{\text{کل روشنایی خروجی لامپ‌ها}}$$

به طور معمول، چراغ‌هایی بیشترین راندمان را دارند، که کمترین آسایش دیداری را تأمین می‌کنند و متقابلاً لامپ‌هایی که خیرگی را به بهترین وجه کنترل می‌کنند از کمترین راندمان برخوردارند.
جدول (۱۰-۶) تأثیر انعکاس دهنده‌ها را بر راندمان چراغ نشان می‌دهد که در آن اهمیت تمیز نگه داشتن چراغ‌ها نیز آمده است.جدول (۱۰-۷) تأثیر حفاظها را بر روی راندمان چراغ نشان می‌دهد. منظور از VCP[2] شاخصی است که در صد افرادی را که در یک مکان مشخص میزان درخشندگی نور را قابل قبول می دانند نشان می دهد.

نگهدارنده	نسبت نور انتشار یافته به نور تولید شده
نگهدارنده سفید کثیف و مستعمل با لامپهای مستعمل	٪۴۵ - ۳۵
نگهدارنده سفید کثیف و مستعمل با لامپهای جدید	٪۵۰ - ۴۷
انعکاس‌دهنده آلومینیمی با لامپهای جدید	٪۶۵ - ۷۳
انعکاس‌دهنده نقره‌ای با لامپهای جدید	٪۸۱ - ۸۵

جدول شمارهٔ (۱۰-۶)- مثالهایی از نور منتشر شده چراغ و نور تولید شده پس از نصب هر کدام از انعکاس دهنده ها

1- Lens
2 - Visual Comfort Probability

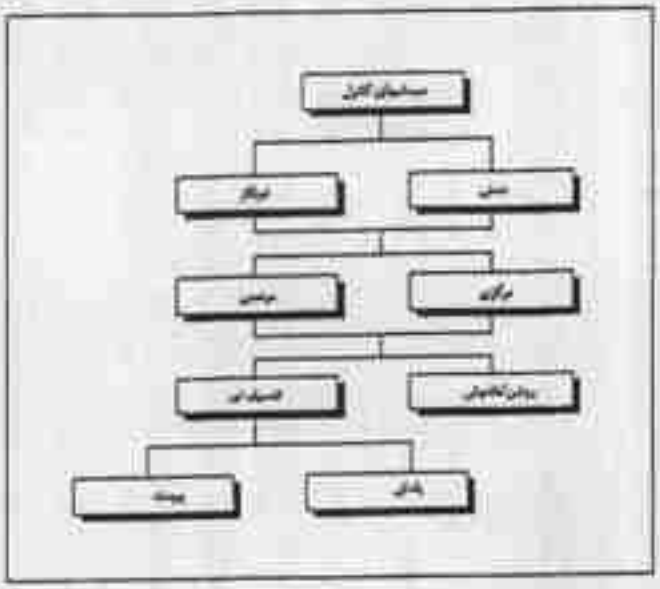
جدول شمارهٔ (۱۰-۷)- انواع مختلف پوشش چراغهای فلورسنت

Table : Shielding Media Options

Shielding Material	Luminaire Efficiency Range (%)	VCP Range (%)
Standard Clear Lens	60–80	50–70
Low-Glare Clear Lens	60–80	75–85
Deep-Cell Parabolic Louver	50–90	75–99
Translucent Diffuser	40–60	40–50
White Metal Louver	35–45	65–85
Small-Cell Parabolic Louver	40–65	99

۱-۸- کنترل‌های سیستم روشنایی :

کنترل کننده‌های روشنایی را می‌توان به دو دسته کلی دستی و خودکار تقسیم نمود. سیستم‌های تمام خودکار معمولاً امکان کنترل دستی هم دارند که به نوعی سیستم کنترل مرکب را بوجود می‌آورند. شکل (۱۰-۲۲) طرز کار سیستم‌های کنترل را نشان می‌دهد.



شکل شمارهٔ (۱۰-۲۲)- سیستم های کنترل

کنترل‌های خودکار را نیز می‌توان به دسته‌های زیر تقسیم نمود:

الف - کنترل‌هایی که بر پایه زمان هستند:

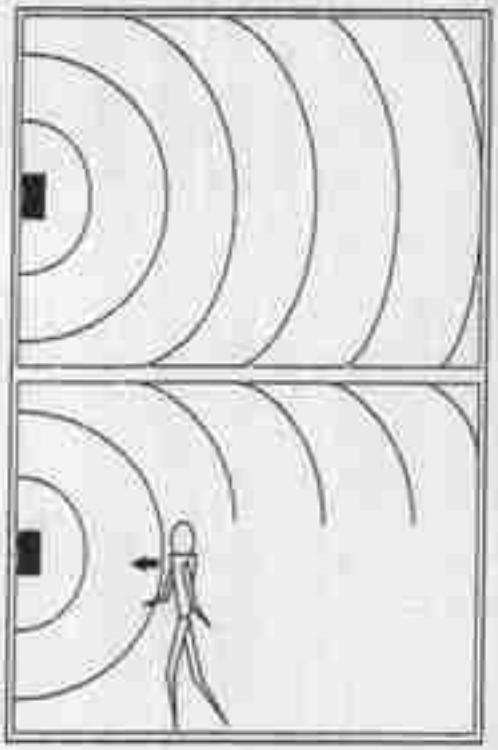
این کنترل‌ها برای مکان‌هایی مناسبند که نیازمندی‌های روشنایی‌شان قابل پیش بینی و از قبل تعیین شده است. این کنترل‌ها برای روشنایی داخلی و خارجی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مورد روشنایی خارجی بر اساس زمان طلوع و غروب خورشید تنظیم می‌شوند و برای روشنایی داخلی با استفاده از جدول زمانی کار تنظیم می‌شود. این کنترل‌ها باید امکان کنترل دستی برای استفاده روشنایی در خارج از جدول زمانی نیز داشته باشد.

ب - کنترل‌هایی که بر پایه حضور افرادند:

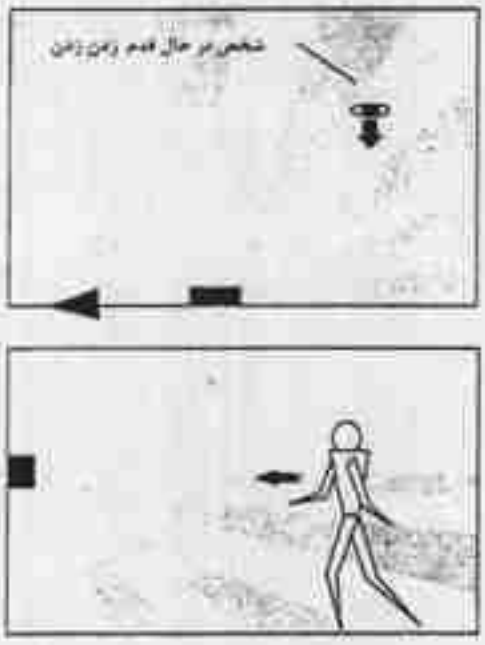
این کنترل‌کننده‌ها برای مکان‌هایی مناسب هستند که دارای الگوی غیر قابل پیش‌بینی و متغیر برای حضور افراد می‌باشد نظیر دستشویی‌ها و انبارها. این کنترل کننده‌ها با استفاده از سنسورهای مافوق صوت یا مادون قرمز حضور افراد را در می‌یابند.
شکل‌های (۱۰-۲۳) و (۱۰-۲۴) چگونگی کار این سنسورها را نشان می‌دهند و جدول (۱۰-۸) موارد کاربرد سنسورها را نشان می‌دهد.

ج - کنترل‌هایی که بر پایه سطح روشنایی‌اند:

فایده این نوع کنترل استفاده حداکثر از روشنایی طبیعی و استفاده حداقل از روشنایی الکتریکی جهت تأمین سطح روشنایی مورد نظر است. این روش علاوه بر صرفه‌جوئی انرژی، کاهش اضافه روشنایی و درخشندگی و دیماند مصرفی کلی را نیز به همراه دارد. این سیستم‌ها دارای وسیله تضعیف نورهستند و سنسورها میزان تضعیف نور را که بستگی به میزان روشنایی روز دارد مشخص می کنند. این وسیله را اغلب « جبران کننده روشنایی با استفاده از نور روز» نیز می‌نامند.



شکل شمارهٔ (۱۰-۲۳)- حسگرهای مافوق صوت



شکل شمارهٔ (۱۰-۲۴)- حسگرهای مادون قرمز

جدول شمارهٔ (۱۰-۸)- محل مناسب برای بکار بردن انواع حسگرهای حضور

Table : Occupancy Sensor Applications

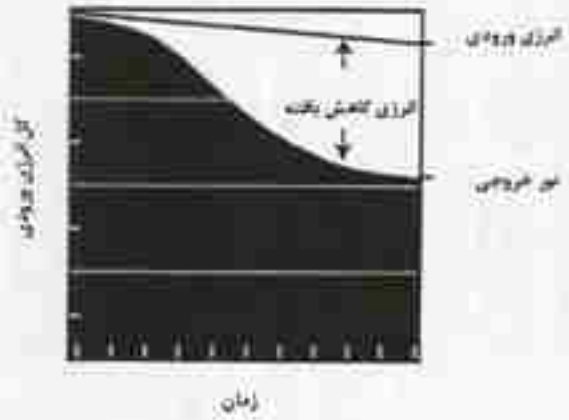
Sensor Technology	Private Office	Large Open Office Plan	Reconfigured Office Plan	Conference Room	Restroom	Copier/ Data Rooms	Hallways & Corridors	Warehouse Aisles
Ultrasonic Wall Switch	✓			✓	✓	✓		
Ultrasonic Ceiling Mount	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
Infrared Wall Mount	✓			✓		✓		
Infrared Ceiling Mount	✓	✓	✓	✓		✓		
Ultrasonic Narrow View							✓	
Infrared High-Mount Narrow View							✓	✓
Corner Mount Wide-View Technology		✓		✓				

۱-۹- تعمیر و نگهداری سیستم‌های روشنایی

روشنایی اولیه نصب شده به مرور زمان به دلائل زیر کاهش می‌یابد:

- کاهش نور لامپ‌ها در طول عمر آنها که برای هر لامپ در مبحث مربوطه آمده است.
- کثیف شدن و نشستن گرد و غبار بر روی لامپ
- کثیف شدن چراغ‌ها
- کثیف شدن سطوح انعکاس دهنده نور از قبیل دیوارها و سقف و ...
- سوختن بعضی از لامپ‌ها

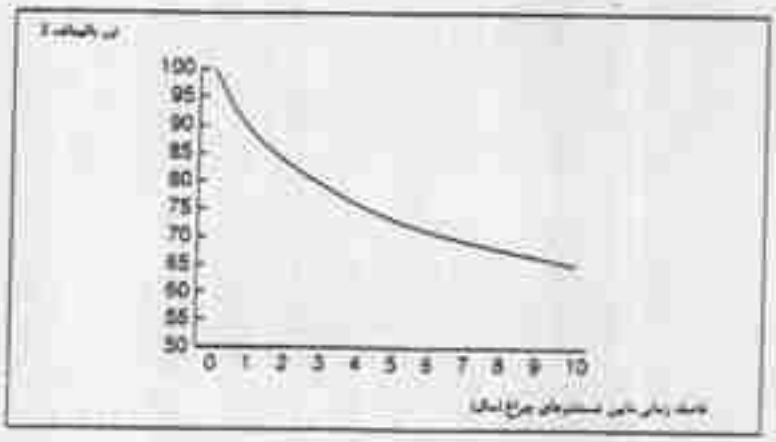
این عوامل موجب می‌شوند تا راندمان سیستم روشنایی تا ۶۰ درصد افت کند. این امر در شکل (۱۰-۲۵) نشان داده شده است.



شکل شمارهٔ (۱۰-۲۵)- افت نور خروجی سیستم روشنایی در طول زمان

شکل (۱۰-۲۶) افت نور چراغ ناشی از کثیفی آن نشان داده شده است که در آن کاهش نور اولیه لامپ در نظر گرفته نشده است و می‌توان فرض کرد با تمیز کردن چراغ دوباره به حدود ۱۰۰ درصد برگردد مگر بعضی از اجزا نظیر عدسی‌ها طوری تغییر رنگ داده یا کدر شوند که قابل تمیز کردن نباشند.

یکی از روش‌های مؤثر، تعویض گروهی لامپ‌ها به همراه تمیز کردن چراغ‌ها می‌باشد. این کار بدو صورت موجب صرفه‌جوئی می‌شود یکی اینکه مجبور نیستیم نور اولیه را در طراحی، بعلت افت زیاد نور در طول زمان،



شکل شمارهٔ (۱۰-۲۶)- افت پیش بینی شدهٔ نور در نتیجهٔ کثیف شدن داخل بدنهٔ چراغ در یک محیط اداری تمیز

خیلی زیادتر از میزان مورد نیاز در نظر بگیریم که این خود موجب کاهش هزینه اولیه و هزینه جاری انرژی سالانه می‌گردد. دوم اینکه هزینه دستمزد کارگر بازای تعویض هر لامپ (چیزی در حدود ۲۵ درصد) و قیمت لامپ‌ها به علت خرید عمده کاهش یافته و نیازی به اشغال فضایی از انبار جهت لامپ‌ها نمی‌باشد. زمان اقتصادی برای تعویض لامپ‌ها معمولاً ۷۰ درصد تقویم عمر آنها می‌باشد.

جهت این کار باید یک برنامه بهره‌برداری و نگهداری طرح ریزی کرد که شامل بندهای زیر باشد:

- اوزالید نقشه تأسیسات
- جداول مشخصات چراغ‌ها و کنترل‌ها
- مشخصات وسایل و محصولات
- تأمین کننده‌های تجهیزات و خدمات و شماره تماس‌های آنها
- جداول تمیز کردن چراغ‌ها و تعویض لامپ‌ها با گزارش‌های انجام خدمات
- روش‌های تعویض لامپ، بالاست و تمیز کردن چراغ‌ها
- روش‌های تنظیم دستورهای نوری و حضور افراد
- روش‌های درست معدوم کردن چراغ‌ها و بالاست‌ها

۱-۱۰ - محاسبات اقتصادی روشنایی

برای محاسبه اقتصادی روشنایی ۲ راه مورد استفاده قرار می‌گیرد.

مدل باز پرداخت ساده :

این مدل بر اساس محاسبه مبلغ سرمایه گذاری شده و هزینه صرفه‌جوئی شده می‌باشد و با تقسیم این دو مقدار « دورهٔ باز پرداخت ساده» را محاسبه می‌کند و ساده‌ترین مدل اقتصادی است.

فواند آن عبارتند از :

- به آسانی قابل فهم است.
- نتایج مبنای سال داده می‌شوند که به معنای آن است که این نتایج مستقل هستند و به طور مثال به تغییرات پولی وابستگی ندارند.

ایرادها عبارتند از :

- میزان سوداوری را به علت در نظر نگرفتن طول عمر سیستم محاسبه نمی‌کند.
- نرخ بهره یا هرگونه سرمایه‌گذاری مجدد را در طول عمر سیستم در نظر نمی‌گیرد.

مدل ارزش کنونی خالص :

این روش هزینه‌ها را در طول عمر سیستم روشنایی که واقعاً پیش می‌آیند در نظر گرفته و با استفاده از نرخ بهره (تغییر ارزش پول در واحد زمان را در نظر می‌گیرد) به زمان حال بر می‌گرداند که موجب افزایش کیفیت آن به عنوان ابزار تصمیم‌گیری گشته و گسترش روز افزونی یافته است.

معادله زیر چگونگی استفاده از این مدل را نشان می‌دهد:

$$C_{tot} = I_{in} + \sum I_i R_L + E \times R_E + M \times R_M + \sum_{i'} \times R_{iC} - SV \times R_{nv}$$

$$R_i = \frac{1}{(1+i)^n} \quad , \quad R_{E,M} = \frac{(1+i)^{n-1}}{i(1+i)^n}$$

در این معادله علائم عبارتند از :

I_{in} : کل سرمایه‌گذاری اولیه شامل چراغ‌ها، لامپ‌ها، بالاست‌ها، نصب و ...

I_i : سرمایه‌گذاری در قسمت‌های با عمر کوتاه (لامپ‌ها)

E : هزینه سالانه الکتریسیته

M : هزینه نگهداری

C : هزینه تمیز کردن

R : ضریب ارزش کنونی که برای هر هزینه متناظر آن با اندیس مربوط مشخص شده

i : نرخ بهره

n : تعداد سال

SV : ارزش اسقاط

با استفاده از جداول (۱۰-۹) و (۱۰-۱۰) می‌توان R های متناظر برای n و i های مختلف را بدست آورد.

جدول شمارهٔ (۱۰-۹)- ضریب ارزش کنونی یکنواخت

$$P = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}$$

n / i	۴	۵	۶	۸	۱۰	۱۲	۱۵	۱۸	۲۰	۲۵
۱	۰٫۹۶۱	۰٫۹۵۲	۰٫۹۴۳	۰٫۹۲۶	۰٫۹۰۹	۰٫۸۹۳	۰٫۸۷۰	۰٫۸۴۷	۰٫۸۳۳	۰٫۸۰۰
۲	۱٫۸۸۶	۱٫۸۵۹	۱٫۸۳۳	۱٫۷۸۳	۱٫۷۳۶	۱٫۶۹۰	۱٫۶۲۶	۱٫۵۶۶	۱٫۵۲۸	۱٫۴۴۰
۳	۲٫۷۷۵	۲٫۷۲۳	۲٫۶۷۳	۲٫۵۷۷	۲٫۴۸۷	۲٫۴۰۲	۲٫۲۸۳	۲٫۱۷۴	۲٫۱۰۶	۱٫۹۵۲
۴	۳٫۶۳۰	۳٫۵۴۶	۳٫۴۶۵	۳٫۳۱۲	۳٫۱۷۰	۳٫۰۳۷	۲٫۸۵۴	۲٫۶۹۵	۲٫۵۸۹	۲٫۳۶۲
۵	۴٫۴۵۲	۴٫۳۲۹	۴٫۲۱۲	۳٫۹۹۳	۳٫۷۹۱	۳٫۶۰۵	۳٫۳۵۲	۳٫۱۲۷	۲٫۹۹۱	۲٫۶۸۹
۶	۵٫۲۴۲	۵٫۰۷۶	۴٫۹۱۷	۴٫۶۲۳	۴٫۳۵۵	۴٫۱۱۱	۳٫۷۸۴	۳٫۴۹۸	۳٫۳۲۶	۳٫۰۵۱
۷	۶٫۰۰۲	۵٫۷۸۶	۵٫۵۸۲	۵٫۲۰۶	۴٫۸۶۸	۴٫۵۶۴	۴٫۱۶۰	۳٫۸۱۲	۳٫۶۰۵	۳٫۱۶۱
۸	۶٫۷۳۳	۶٫۴۶۳	۶٫۲۱۰	۵٫۷۴۶	۵٫۳۳۴	۴٫۹۶۸	۴٫۴۸۷	۴٫۰۷۸	۳٫۸۳۷	۳٫۲۲۹
۹	۷٫۴۳۵	۷٫۱۰۸	۶٫۸۰۲	۶٫۲۴۷	۵٫۷۵۹	۵٫۳۲۸	۴٫۷۷۲	۴٫۳۰۳	۴٫۰۳۱	۳٫۴۶۳
۱۰	۸٫۱۱۱	۷٫۷۲۱	۷٫۳۶۰	۶٫۷۱۰	۶٫۱۴۵	۵٫۶۵۰	۵٫۰۱۹	۴٫۴۹۴	۴٫۱۹۲	۳٫۷۱۰
۱۱	۸٫۷۶۰	۸٫۳۰۶	۷٫۸۸۷	۷٫۱۳۹	۶٫۴۹۵	۵٫۹۳۸	۵٫۲۳۴	۴٫۶۵۶	۴٫۳۲۷	۳٫۶۵۶
۱۲	۹٫۳۸۵	۸٫۸۶۳	۸٫۳۸۴	۷٫۵۳۶	۶٫۸۱۴	۶٫۱۹۴	۵٫۴۲۱	۴٫۷۹۳	۴٫۴۳۹	۳٫۷۲۱
۱۳	۹٫۹۸۶	۹٫۳۹۴	۸٫۸۵۳	۷٫۹۰۴	۷٫۱۰۳	۶٫۴۲۴	۵٫۵۸۳	۴٫۹۱۸	۴٫۵۳۱	۳٫۷۸۳
۱۴	۱۰٫۵۶۳	۹٫۸۹۹	۹٫۲۹۵	۸٫۲۴۴	۷٫۳۶۷	۶٫۶۲۸	۵٫۷۵۴	۵٫۰۰۸	۴٫۶۱۱	۳٫۸۲۴
۱۵	۱۱٫۱۱۸	۱۰٫۳۸۰	۹٫۷۱۲	۸٫۵۵۹	۷٫۶۰۶	۶٫۸۱۱	۵٫۸۴۷	۵٫۰۹۲	۴٫۶۷۵	۳٫۸۵۹
۱۶	۱۱٫۶۵۲	۱۰٫۸۳۸	۱۰٫۱۰۶	۸٫۸۵۱	۷٫۸۲۴	۶٫۹۷۴	۵٫۹۵۴	۵٫۱۶۲	۴٫۷۳۰	۳٫۸۸۷
۱۷	۱۲٫۱۶۶	۱۱٫۲۷۴	۱۰٫۴۷۷	۹٫۱۲۲	۸٫۰۲۲	۷٫۱۲۰	۶٫۰۴۷	۵٫۲۲۳	۴٫۷۷۵	۳٫۹۱۴
۱۸	۱۲٫۶۵۹	۱۱٫۶۸۹	۱۰٫۸۲۸	۹٫۳۷۲	۸٫۲۰۱	۷٫۲۵۰	۶٫۱۲۸	۵٫۲۷۳	۴٫۸۱۲	۳٫۹۳۹
۱۹	۱۳٫۱۳۴	۱۲٫۰۸۵	۱۱٫۱۵۸	۹٫۶۰۴	۸٫۳۶۵	۷٫۳۶۶	۶٫۱۹۹	۵٫۳۱۶	۴٫۸۴۳	۳٫۹۶۳
۲۰	۱۳٫۵۹۰	۱۲٫۴۶۲	۱۱٫۴۷۰	۹٫۸۱۸	۸٫۵۱۴	۷٫۴۶۹	۶٫۲۵۹	۵٫۳۵۳	۴٫۸۷۰	۳٫۹۸۴
۲۵	۱۵٫۶۲۲	۱۴٫۰۹۴	۱۲٫۷۸۳	۱۰٫۶۷۴	۹٫۰۷۷	۷٫۸۴۲	۶٫۴۶۴	۵٫۴۶۷	۴٫۹۴۸	۳٫۹۹۲
۳۰	۱۷٫۲۹۲	۱۵٫۳۷۲	۱۳٫۷۶۴	۱۱٫۲۵۸	۹٫۴۲۷	۸٫۰۵۵	۶٫۵۶۶	۵٫۵۱۷	۴٫۹۷۹	۳٫۹۹۴
۴۰	۱۹٫۷۹۳	۱۷٫۱۵۹	۱۵٫۰۴۶	۱۱٫۹۲۵	۹٫۷۷۹	۸٫۲۴۴	۶٫۶۴۲	۵٫۵۴۸	۴٫۹۹۷	۳٫۹۹۹
۵۰	۲۱٫۴۸۲	۱۸٫۲۵۶	۱۵٫۷۶۲	۱۲٫۲۳۳	۹٫۹۱۵	۸٫۳۰۴	۶٫۶۶۱	۵٫۵۵۶	۴٫۹۹۹	۴٫۰۰۰

جدول شمارهٔ (۱۰-۱۰)- ضریب ارزش کنونی برای مقادیر منفرد

$$P = \frac{1}{(1+i)^n}$$

n / i	۴	۵	۶	۸	۱۰	۱۲	۱۵	۱۸	۲۰	۲۵
۱	۰٫۹۶۱۵	۰٫۹۵۲۴	۰٫۹۴۳۴	۰٫۹۲۵۹	۰٫۹۰۹۱	۰٫۸۹۲۹	۰٫۸۶۹۶	۰٫۸۴۷۴	۰٫۸۳۳۳	۰٫۸۰۰۰
۲	۰٫۹۲۴۴	۰٫۹۰۷۰	۰٫۸۹۰۰	۰٫۸۵۷۳	۰٫۸۲۶۴	۰٫۷۹۷۲	۰٫۷۵۶۱	۰٫۷۱۸۲	۰٫۶۹۴۴	۰٫۶۴۰۰
۳	۰٫۸۸۹۰	۰٫۸۶۳۸	۰٫۸۳۹۶	۰٫۷۹۳۸	۰٫۷۵۱۳	۰٫۷۱۱۸	۰٫۶۵۷۵	۰٫۶۰۸۶	۰٫۵۷۸۷	۰٫۵۱۲۰
۴	۰٫۸۵۴۸	۰٫۸۲۲۷	۰٫۷۹۲۱	۰٫۷۳۵۰	۰٫۶۸۳۰	۰٫۶۳۵۵	۰٫۵۷۱۸	۰٫۵۱۵۸	۰٫۴۸۲۳	۰٫۴۰۹۶
۵	۰٫۸۲۱۹	۰٫۷۸۳۵	۰٫۷۴۷۱	۰٫۶۸۰۶	۰٫۶۲۰۹	۰٫۵۶۷۴	۰٫۴۹۷۲	۰٫۴۳۷۱	۰٫۴۰۱۹	۰٫۳۲۷۷
۶	۰٫۷۹۰۱	۰٫۷۴۶۲	۰٫۷۰۵۲	۰٫۶۳۰۲	۰٫۵۶۴۵	۰٫۵۰۶۶	۰٫۴۳۲۱	۰٫۳۷۰۴	۰٫۳۳۴۹	۰٫۲۶۲۱
۷	۰٫۷۵۹۹	۰٫۷۱۰۷	۰٫۶۶۵۰	۰٫۵۸۳۵	۰٫۵۱۳۲	۰٫۴۵۲۳	۰٫۳۷۵۹	۰٫۳۱۵۶	۰٫۲۷۹۱	۰٫۲۰۹۷
۸	۰٫۷۳۶۹	۰٫۶۷۶۸	۰٫۶۲۷۴	۰٫۵۴۰۳	۰٫۴۶۶۷	۰٫۴۰۳۹	۰٫۳۲۶۹	۰٫۲۶۶۵	۰٫۲۳۲۶	۰٫۱۶۷۸
۹	۰٫۷۰۲۶	۰٫۶۴۴۶	۰٫۵۹۱۹	۰٫۵۰۰۲	۰٫۴۲۴۱	۰٫۳۵۸۴	۰٫۲۸۴۳	۰٫۲۲۵۱	۰٫۱۹۳۸	۰٫۱۳۴۲
۱۰	۰٫۶۷۵۶	۰٫۶۱۳۹	۰٫۵۵۸۴	۰٫۴۶۳۲	۰٫۳۸۵۵	۰٫۳۲۰۰	۰٫۲۴۷۲	۰٫۱۹۱۰	۰٫۱۶۱۵	۰٫۱۰۷۴
۱۱	۰٫۶۴۹۶	۰٫۵۸۴۱	۰٫۵۲۶۸	۰٫۴۲۸۹	۰٫۳۵۰۵	۰٫۲۸۶۱	۰٫۲۱۴۹	۰٫۱۶۱۸	۰٫۱۳۴۶	۰٫۰۸۵۹
۱۲	۰٫۶۲۴۸	۰٫۵۵۶۸	۰٫۴۹۷۸	۰٫۳۹۷۱	۰٫۳۱۸۶	۰٫۲۵۶۷	۰٫۱۸۶۹	۰٫۱۳۷۲	۰٫۱۱۲۲	۰٫۰۶۸۷
۱۳	۰٫۶۰۰۵	۰٫۵۳۰۱	۰٫۴۶۹۸	۰٫۳۶۷۶	۰٫۲۸۹۷	۰٫۲۲۹۱	۰٫۱۶۲۳	۰٫۱۱۶۳	۰٫۰۹۳۵	۰٫۰۵۵۰
۱۴	۰٫۵۷۷۳	۰٫۵۰۷۱	۰٫۴۴۲۳	۰٫۳۴۰۱	۰٫۲۶۳۶	۰٫۲۰۴۶	۰٫۱۴۱۲	۰٫۰۹۸۵	۰٫۰۷۷۹	۰٫۰۴۴۰
۱۵	۰٫۵۵۴۸	۰٫۴۸۱۰	۰٫۴۱۷۳	۰٫۳۱۵۲	۰٫۲۳۹۴	۰٫۱۸۲۷	۰٫۱۲۲۸	۰٫۰۸۳۱	۰٫۰۶۴۹	۰٫۰۳۵۲
۱۶	۰٫۵۳۲۹	۰٫۴۵۸۶	۰٫۴۰۷۱	۰٫۲۹۱۱	۰٫۲۱۷۶	۰٫۱۶۳۱	۰٫۱۰۶۸	۰٫۰۷۰۵	۰٫۰۵۴۱	۰٫۰۲۸۱
۱۷	۰٫۵۱۲۶	۰٫۴۳۶۳	۰٫۳۸۴۰	۰٫۲۶۹۳	۰٫۱۹۷۸	۰٫۱۴۵۶	۰٫۰۹۲۹	۰٫۰۵۹۸	۰٫۰۴۵۱	۰٫۰۲۲۵
۱۸	۰٫۴۹۳۸	۰٫۴۱۵۲	۰٫۳۶۲۶	۰٫۲۴۹۲	۰٫۱۷۹۹	۰٫۱۳۰۱	۰٫۰۸۰۸	۰٫۰۵۰۹	۰٫۰۳۷۶	۰٫۰۱۸۰
۱۹	۰٫۴۷۶۰	۰٫۳۹۵۷	۰٫۳۴۱۰	۰٫۲۳۱۲	۰٫۱۶۳۰	۰٫۱۱۶۱	۰٫۰۷۰۲	۰٫۰۴۳۱	۰٫۰۳۱۳	۰٫۰۱۴۴
۲۰	۰٫۴۵۶۴	۰٫۳۷۶۹	۰٫۳۱۱۸	۰٫۲۱۴۵	۰٫۱۴۸۶	۰٫۱۰۳۷	۰٫۰۶۱۱	۰٫۰۳۷۲	۰٫۰۲۶۱	۰٫۰۱۱۵
۲۵	۰٫۳۷۱۰	۰٫۲۹۵۳	۰٫۲۳۱۲	۰٫۱۴۶۰	۰٫۰۹۲۳	۰٫۰۵۸۴	۰٫۰۲۹۴	۰٫۰۱۸۴	۰٫۰۱۱۶	۰٫۰۰۷۳
۳۰	۰٫۳۰۸۳	۰٫۲۳۱۴	۰٫۱۷۴۱	۰٫۰۹۹۴	۰٫۰۵۷۳	۰٫۰۳۳۴	۰٫۰۱۹۳	۰٫۰۱۱۰	۰٫۰۰۶۲	۰٫۰۰۳۶
۴۰	۰٫۲۰۸۳	۰٫۱۴۲۰	۰٫۰۹۷۲	۰٫۰۴۶۹	۰٫۰۲۲۱	۰٫۰۱۰۴۷	۰٫۰۰۴۳۱	۰٫۰۰۲۰۱	۰٫۰۰۹۳۷	۰٫۰۰۴۳۷
۵۰	۰٫۱۴۰۷	۰٫۰۸۷۲	۰٫۰۵۴۳	۰٫۰۲۱۱	۰٫۰۰۸۵	۰٫۰۰۳۱	۰٫۰۰۰۹	۰٫۰۰۰۴	۰٫۰۰۱۴	۰٫۰۰۰۵

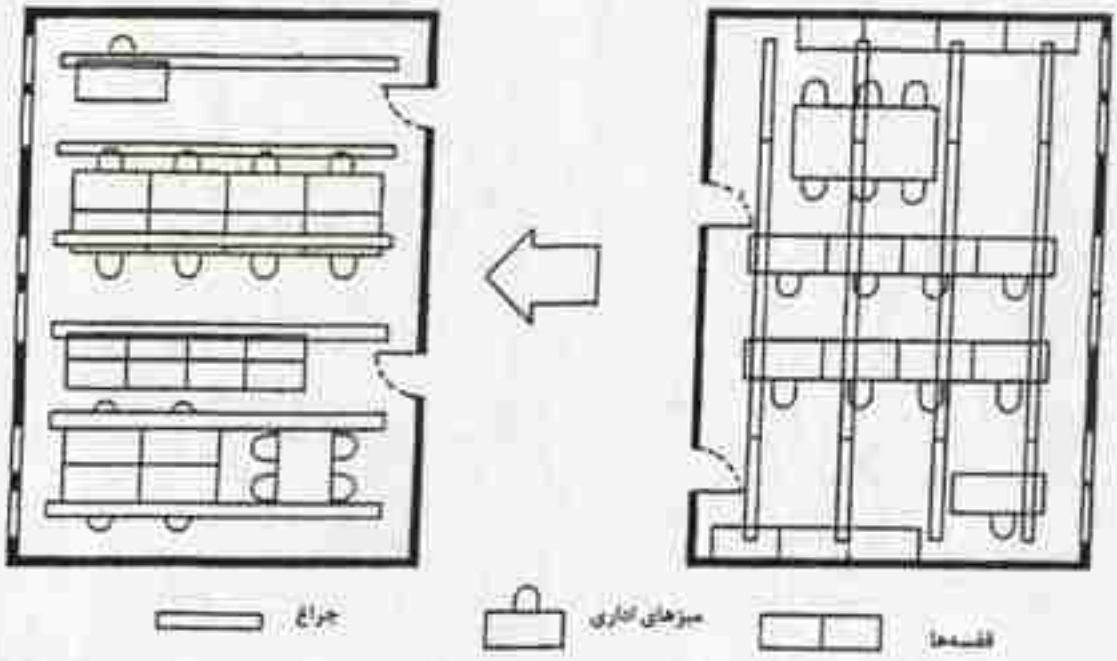
۱-۱۱- جانمایی مؤثر روشنایی

تنظیم مؤثر تجهیزات روشنایی و میزهای تحریر کار نسبتاً مشکلی است. وقتی که میزهای تحریر را منظم می‌کنیم، مجبوریم موقعیت تجهیزات اداری، شکل سازمان، حرکت پرسنل و غیره را در نظر بگیریم. بعبارت دیگر، تنظیم روشنایی معمولاً تنها برای مقدار متوسط مقدار روشنایی طراحی می‌گردد. در این حالت که در رابطه با تنظیم موقعیت روشنایی و میزهای تحریر ملاحظه‌ای صورت نمی‌پذیرد، ممکن است باعث بروز مشکلاتی از نقطه نظر مؤثر بودن روشنایی شود.

مثال (۱۰-۱):

وقتی که راستای میز تحریر با راستای روشنایی بر هم عمود باشد، همچنانکه درشکل (۱۰-۲۷) روشنایی روی میز غیر یکنواخت می‌باشد، و زمانیکه شخصی روی میز خم می‌شود یک سایه رو به جلو ایجاد می‌شود.

مثال (۱۰-۲):



شکل شمارهٔ (۱۰-۲۷)- ترتیب قرار گرفتن چراغها باید موازی پنجره ها باشد

حرکت یک شخص ممکن است بر روی میز تحریر اشخاص دیگر سایه ایجاد کند. این ممکن است جزئی به نظر برسد، اما باید در سیستم روشنایی از آن اجتناب شود.

شکل (۱۰-۲۸-الف) نشان می‌دهد که امتداد خط تولید بر امتداد روشنایی عمود است. در چنین حالتی، مقدار زیادی تلفات روشنایی به همراه خواهد داشت. به روشنایی در مکانهایی که هیچ کس در آنجا مشغول کار نیستند توجه فرمایند.

وقتی که راستای روشنایی را عوض می‌کنیم، همچنانکه در شکل (۱۰-۲۸-ب) نشان داده شده، شما از فواند زیر بهره‌مند خواهید شد:

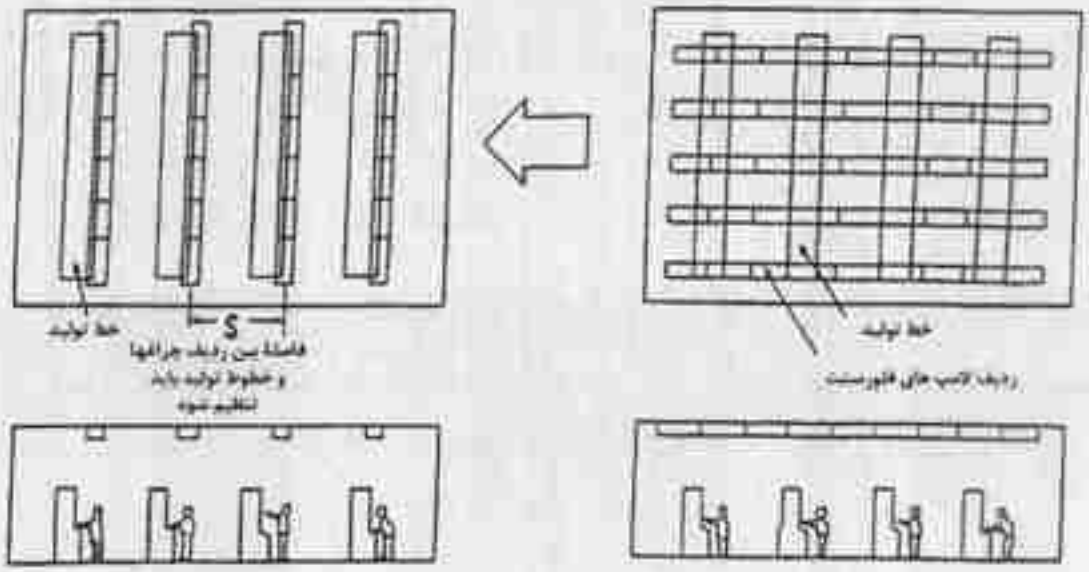
- تعداد کمتر تجهیزات
- یکنواختی روشنایی در محل کار
- تعمیر و نگهداری آسان تجهیزات الکتریکی

- **نکات کلیدی برای تنظیم روشنایی عبارتند از :**

۱ – تجهیزات روشنایی در ابتدا نباید کاملاً جایشان تثبیت شود.

۲ – تعمیر و نگهداری سیستم روشنایی باید در نظر گرفته شود. بخصوص ارتفاع روشنایی باید به اندازه کافی پائین باشد که در محدود کار آسان قرار گیرد.

۳ – حتی زمانیکه یک لامپ می‌سوزد، حرکت پرسنل و موقعیت لامپها باید به خوبی دقت شود تا عدم یکنواختی روشنایی کمترین مقدار ممکن را دارا باشد.



شکل ۱۰-۲۸- الف و ب ترتیب قرار گرفتن چراغها برای یک خط ازمیزهای کار

۲- بهینه‌سازی انرژی در سیستم‌های گرمایش و تهویه مطبوع[1](HVAC)

۲-۱- تعاریف

تهویه مطبوع فرایندی است که شرایط هوای موجود را با تنظیم دما، رطوبت، پاکیزگی، گازهای موجود در هوا، تابش(تشعشع) و فشار، جهت تأمین شرایط مطبوع[2] برای مصرف کننده تغییر می‌دهد.

هدف از تهویهٔ مطبوع ساختمانی، حفظ محیط آسایش و سلامت برای جسم افراد ساکن در آن محل می‌باشد.

هدف از تهویهٔ مطبوع صنعتی، حفظ شرایط هوایی مطلوب جهت تولید، تسهیلات تجارتی و حفظ مواد انبار شده می‌باشد.

بعنوان مثال، در صنایع نساجی برای اینکه در سالن‌های ریسندگی و بافندگی الیاف دچار پارگی نشوند باید دما و رطوبت هوا در یک محدود خاص کنترل شود و یا در انبار صنایع شیر باید دما در محدوده ای باشد که از فاسد شدن محصولات جلوگیری کند.

۲-۲- شرایط لازم برای آسایش و سلامت انسان

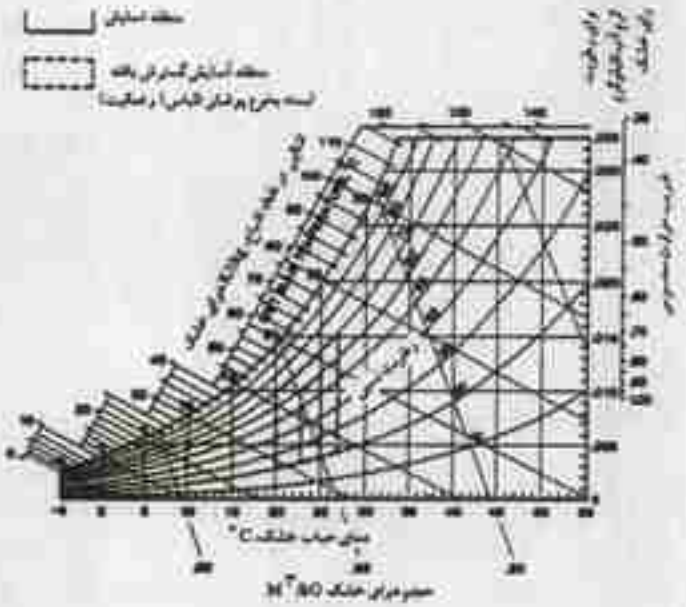
آسایش انسان در ساختمان، به دمای هوا، سرعت جریان هوا، دمای متوسط تشعشع سطوح محیط[3]، رطوبت نسبی و کنترل بو و غبار بستگی دارد. شرایط دقیق آسایش به تناسب افراد، سنین مختلف، نوع و تعداد لباس و نوع فعالیت آنها تغییر می‌کند.

با توجه به اینکه نمی‌توان تمام این متغیرها را بطور دقیق برای هر ساختمان مشخص نمود، یا تعداد افراد را دقیقاً تعیین نمود، در نتیجه سیستم‌های تهویه مطبوع برای ایجاد محدوده‌هایی از شرایط آسایش قابل انتظار، طراحی می‌شود که برای بیشتر ساکنین و در بیشتر مواقع مناسب باشند.

---

1 - HVAC: Heating, Ventilation and Air Conditioning= HVAC
2 - Comfort Conditions
3 - Mean Radiation Temperatures =MRT

شکل (۱۰-۲۹) منطقه تقریبی آسایش و همچنین حد گسترش را متناسب با سطح فعالیت و نوع لباس نشان می‌دهد.

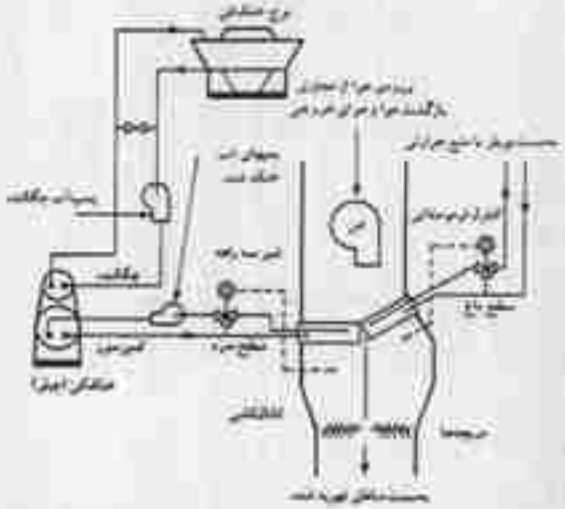


منبع : Smith, Efficient Electricity Use.

شکل شمارهٔ (۱۰-۲۹)- نمودار سایکومتریک

۲-۳- معرفی سیستم‌های نمونه

شکل (۱۰-۳۰) عناصر یک سیستم نمونه گرمایش و تهویهٔ مطبوع را نشان می‌دهد. سیستم را می‌توان بر اساس اندازه، نوع عملیات ، منبع حرارت یا منبع برودت طبقه‌بندی نمود.



شکل شمارهٔ (۱۰-۳۰)،اجزای یک سیستم HVAC نمونه

گرمایش می‌تواند به وسیله هوای داغ، یاجریان همرفت طبیعی (انتقال طبیعی گرما) یا کوران اجباری ایجاد شود،که این روش در تأسیسات کوچکتری از قبیل ساختمانهای مسکونی متداول است . در مورد ساختمانهای تجاری، سیستم‌های آب داغ یا بخارپیشتر به کار می‌روند در این سیستم‌ها، (نوعی است که در شکل (۱۰-۳۰) ترسیم شده است) ، آب داغ یا بخار به کویل مبدل حرارت باریک شده واقع در کانالها از طریق خط لوله منتقل می شود. هوا در زمانی که از بالای این مبدل گرما عبور می‌نماید، گرم شده و سپس به طرف مصرف می رود. یک شیر کنترل شده ترموستاتی دمای مناسب را در داخل فضائی که باید حرارت داده شود ایجاد می‌نماید. یک نوع دیگر منبع حرارت که بعضی از اوقات با آن برخورد می‌شود، یک واحد مولد حرارت است. این مولد ممکن است سوخت یا دستگاه برقی، معمولاً با یک پنکه کوچک باشد و یک محوطه موضعی را پوشش می‌دهد. انواع دیگر مولدهای حرارت موضعی، شامل اجزاء حرارتی مقاومت الکتریکی است که می‌توانند در کانالهای سیستم تهویه مطبوع یا در اطاق‌ها (کف ، سقف) قرار داده شوند. پمپهای حرارتی هنوز هم یک نوع مهم دیگر سیستم های حرارتی هستند.

سیستم‌های سرمایشی شامل واحدهای قابل نصب در پنجره، واحدهای دربست کوچک و واحدهای مرکزی می‌باشند که دارای دو نوع اصلی سیستم‌های سردسازی و سیستم‌های بخارسازی هستند.

در سیستم‌های سردسازی (یخچالها) برای متراکم کردن مایع مبرد از کمپرسورهای رفت و برگشتی یا محرک الکتریکی از نوع پیچی یا گریز از مرکزی استفاده می‌شود.

(هنگامیکه منبع حرارتی مناسبی در دسترس باشد از خنک کنهای (چیلرهای) جذبی استفاده می‌شود) . سپس ماده مبرد در مبدل حرارتی منبسط شده و سرما ایجاد می‌نماید. در سیستم‌های خنک کن آبی ، آب از میان مبدل حرارتی (تبخیر کننده)پمپ شده و از طریق خطوط لوله به کویلهای خنک کن سیستم تهویه هوا منتقل می‌شود. این شیوه ای است که در شکل (۱۰-۳۰) نشان داده شده است . روش ممکن دیگر یعنی سیستم انبساط مستقیم[1] (DX) هنگامی مناسب است که بتوان کویلهای خنک کن را در نزدیکی کمپرسورها جای داد. مبرد در کویلها تبخیر می‌شود و در موقع عبور ازآنها هوا را خنک می‌نماید.

هر دوی این سیستم‌ها نیازمند وسیله‌ای برای چگالش و خنک کردن مبرد می‌باشند. این امر یا توسط چگالنده‌های با هوای خنک (در واحدهای کوچک) یاچگالنده‌های با آب خنک در سیستم‌های بزرگ صورت می‌گیرد. برای خنک کردن آب چگالنده، اغلب از یک برج خنک کن [مطابق شکل (۱۰-۳۰)] استفاده می‌شود.

در سیستم‌های گرمایش و تهویهٔ مطبوع دو وسیله انرژی بر مهم دیگر وجود دارند که همانا پمپها (برای انتقال آب سرد و گرم) و پروانه‌ها (فن ها) برای ایجاد جریان هوا در ساختمان هستند.

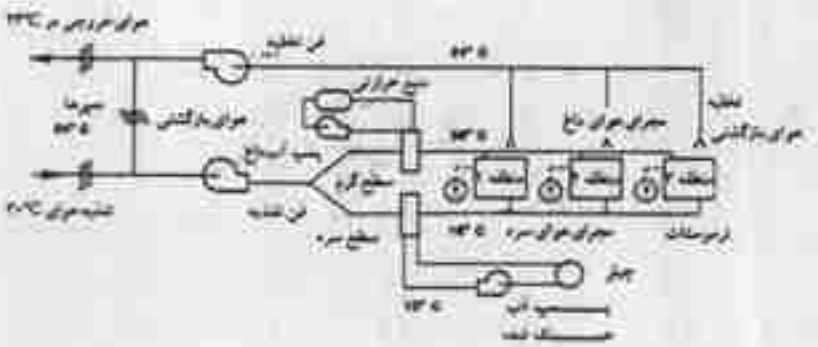
توان پمپاژ بر اساس افتهای فشار در سیستم محاسبه می‌گردد. پروانه‌ها (فن ها)را می‌توان یا در کانالها و یا در مواضع مرکزی نصب نمود. معمولاً از پروانه‌های محوری برای خط تغذیه و تخلیه استفاده می‌شود.

---

1 - Direct Expansion System

سیستم مجاری دوگانه :

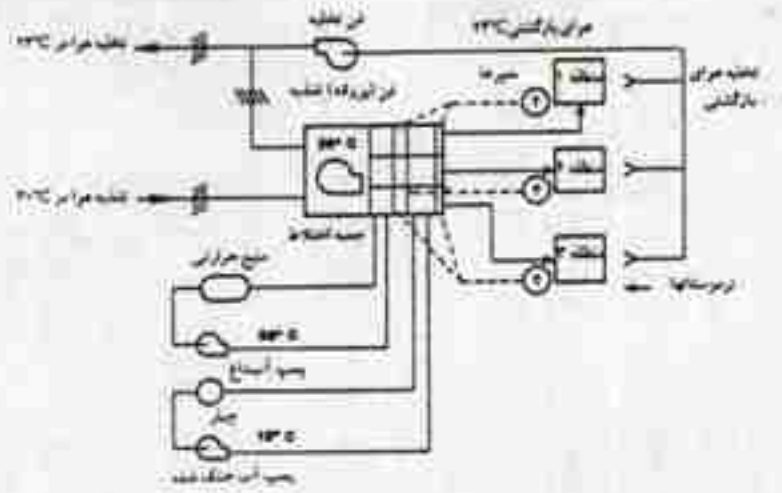
هم هوای گرم و هم هوای سرد از طریق کانالهای مجزا به هر منطقه تغذیه می‌شوند. هوای گرم و سرد بسته به دمای مورد نیاز ناحیه به نسبتهای متفاوت مخلوط می‌شوند. هنگامی که درجه حرارت متوسط است مشکلاتی به وجود می‌آید. تجربه نشان می‌دهد که در این حالت به محض اختلاط هوای گرم و سرد برای دستیابی به درجه حرارت مطلوب، گرمایش و سرمایش همزمان روی می‌دهد. شکل (۱۰-۳۱) طرحی از این سیستم است . ترموستاتهای موجود در هر ناحیه میزان هوای گرم و سرد تغذیه شده برای دستیابی به درجه حرارت مطلوب را کنترل می‌کنند.



شکل شمارهٔ (۱۰-۳۱)- سیستم مجاری دو گانه (درجه حرارتهای نمونه مربوط به فصل تابستان)

سیستم‌های چند ناحیه‌ای :

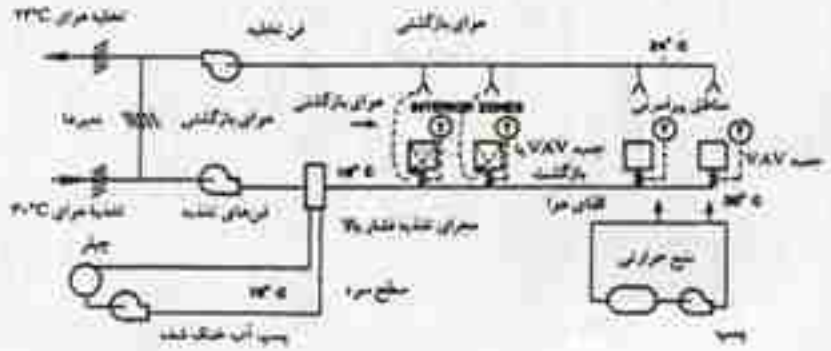
سیستم چند ناحیه‌ای مشابه سیستم مجرای دوگانه است با این تفاوت که واحدهای (جعبه‌های) اختلاط به جای آنکه در سرتاسر ساختمان پخش شده باشند، در پروانه قرار گرفته‌اند . دریچه‌های هر ناحیه مخلوط هوای گرم و سرد لازم برای رسیدن به درجه حرارت مطلوب را کنترل می‌کنند. بدین ترتیب واحد تهویه، قادر است به طور همزمان هوای گرم را به یک ناحیه و هوای سرد را به ناحیهٔ دیگر تغذیه کند [شکل (۱۰-۳۲) را ملاحظه کنید] دریچه‌ها توسط ترموستاتهای واقع در هر ناحیه کنترل می‌شوند.



شکل شمارهٔ (۱۰-۳۲)- سیستم های چند ناحیه

سیستم حجم متغیر هوا:

در این سیستم از گرمایش و سرمایش همزمان اجتناب می‌شود و جریان هوا به حداقل لازم برای سرمایش تأسیسات تقلیل می‌یابد. به ویژه در این سیستم، زمانی که به سرمایش نیاز است می‌توان جریان هوا را کم کرد و در نتیجه توان لازم برای فن راکاهش داد. هوای خنک فشار بالا به هر ناحیه تغذیه می‌شود. ترموستات موجود درهر ناحیه یک شیر را کنترل می‌کند که این شیر حجم کافی هوای لازم برای سرمایش را تغذیه می‌کند [شکل (۱۰-۳۳)]. در ساختمانهای بزرگ واحدها (جعبه‌های) VAV[1] نواحی داخلی دارای عملکرد ونتوری هستند که مقداری هوای بازگشتی (از پوشش سقف) را به جریان هوا القاء می‌کنند. این حالت در نواحی پیرامونی که نوعاً دارای منبع حرارتی خارجی هستند از بین می‌رود. بارهای روشنایی و ساکنین معمولاً می‌توانند نواحی داخلی راکاملاً گرم کنند. سیستم‌های حجم متغیر هوا در مورد ساختمانهای کوچکتر نیز قابل اجرا هستند.

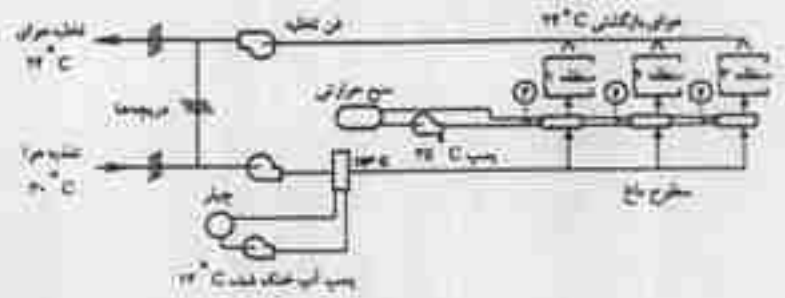


شکل شمارهٔ (۱۰-۳۳)- سیستم حجم متغیر هوا

1 - VAV: Variable Air Volume

سیستم باز گرمایش پایانه‌ای :

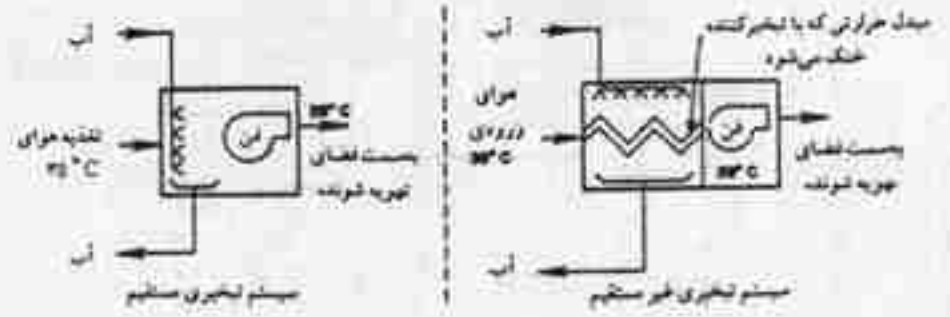
در این سیستم‌ها، هوای خنک شده به تمام نواحی تغذیه می‌شود. سپس بسته به میزان دمای لازم، هوا برای ناحیه، مجدداً گرم می‌شود . نواحی‌ای که دارای منابع حرارتی زیاد در (روشنایی، ساکنین و تجهیزات) هستند به گرمایش اضافی کمی نیاز دارند. سایر نواحی ممکن است به گرمایش اضافی قابل توجهی احتیاج داشته باشند. چون ابتدا تمام هوا خنک می‌شود مصرف انرژی مشابهی صورت می‌گیرد[شکل(۱۰-۳۴)را ملاحظه کنید].



شکل شماره (۱۰-۳۴)- سیستم باز گرمایش پایانه ای

سیستم خنک کاری تبخیری :

خنک‌کن های تبخیری در اماکن مسکونی و سیستم‌های کوچکتر با آب و هوای گرم و خشک به کار می‌روند. این سیستم‌ها با تبخیر آب به هوا و در نتیجه خنک کردن آن کار می‌کنند. هوا ، گرما (گرمای نهان تبخیر) را با نرخ تقریبی ۲/۳ MJ/Kg (۱۰۰۰ Btu/lb) از آب تبخیر شده (بسته به دمای تبخیر) از دست می‌دهد. این فرایند در امتداد خط دمای ثابت حباب مرطوب صورت می‌گیرد و در نتیجه دمای حباب مرطوب محیط ، حد پائین سرمایش قابل حصول است. در عمل از شرایط اشباع پرهیز می‌شود. مصرف انرژی سیستم‌های تبخیری از سیستم‌های تبریدی کمتر است ولی این سیستم‌ها برای ایجاد سرمایش کافی به جریانهای بیشتری از هوای بیرون نیاز دارند زیرا درجه حرارتهای هوای خنک تمایل به افزایش دارند. یک ابتکار جدید خنک کاری غیر مستقیم توسط سیکل تبخیر است [شکل (۱۰-۳۵) را ملاحظه کنید].



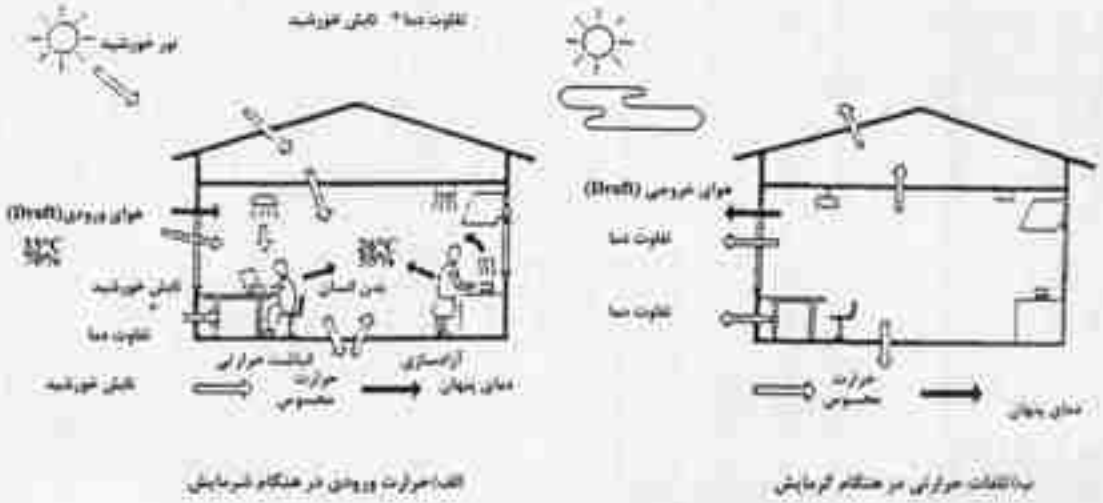
شکل شمارهٔ (۱۰-۳۵)- سیستم خنک کاری تبخیری

واحدهای سقفی - پنجره‌ای یا (سیستم‌های تک منطقه‌ای) :

این واحدها دارای محدوده‌ای از ۰/۳ KW تا ۳۰ KW (۰/۵ hp تا ۴۰ hp) و مستقل هستند . اصول کار آنها مشابه سیستم کلی تشریح شده قبلی [شکل (۱۰-۳۰)] است، با این تفاوت که تمام تجهیزات آن به صورت جمع و جوری در یک واحد نصب شده‌اند. چگالنده با هوا خنک می‌شود و گرما را به هوای خارج پس می‌دهد .

در این واحدها، گردش پنکه (فن) چگالنده و فن کویل خنک کاری، اغلب توسط یک موتور واحد تأمین می‌شود. خنک کاری از طریق یک کویل خنک کاری انبساط مستقیم (DX) صورت می‌گیرد [شکل (۱۰-۳۶)].

نیازمندیهای تصفیه هوا توسط اشره[1] توصیه شده و استاندارد ۹۰-۷۵ آنها را اصلاح نموده است. جدول شماره (۱۰-۱۱) . فهرست سایر ارزشهای پیشنهادی تهویه هوا را ارائه می‌نماید. کمیت هوای خارج به هیچ عنوان نباید از ۰/۱۴ متر مکعب در دقیقه (۵ فوت مکعب در دقیقه) کمتر باشد، اگر چه باید تشخیص داده شود که این می‌تواند شامل توزیع حاصل از تصفیه باشد.



شکل شمارهٔ (۱۰-۳۶)- ورودی و خروجی حرارت در یک خانهٔ تحت تهویهٔ مطبوع

1 - ASHRAE: American Society of Heating and Refrigerating and Airconditioning Engineers

جدول شمارهٔ (۱۰-۱۱)- مستلزمات تهویهٔ هوای ASHREA ۶۲-۷۳
(اصلاح شده بر اساس ۷۵-۹۰)

مساحت	تهویه کل بنا‌ی هر نفر		تهویه هوای خارج بنا‌ی هر نفر*	
	CFM	m³/min	CFM	m³/min
نمایشگاهها و طبقات فروش	۷	۰٫۲۰	۵	۰٫۱۴
آرایشگاهها	۲۵	۰٫۷۱	۹	۰٫۲۵
بالار کنفرانس (سیگار کشیدن ممنوع)	۵	۰٫۱۴	۵	۰٫۱۴
سالن کنفرانس (سیگار کشیدن مجاز)	۱۰	۰٫۲۸	۵	۰٫۱۴
دفتر کار	۱۵	۰٫۴۲	۵	۰٫۱۴
اتاق کامپیوتر	۵	۰٫۱۴	۵	۰٫۱۴
بالاهای زیرزمینی	۲۰	۰٫۵۷	۷	۰٫۲۰
اتاق فرایند نیمه‌خانها	۱۰	۰٫۲۸	۵	۰٫۱۴
کارخانه چوبپری	۴۰	۱٫۱۳	۷	۰٫۲۰
تعمیل آسپاکردن یا ماشینکاری	۳۰	۰٫۸۵	۱۰	۰٫۲۸
تالار درس	۱۰	۰٫۲۸	۵	۰٫۱۴

* با فرض عدم وجود تجهیزات کنترل گاز و بو

منابع: ASHRAE (الف) استاندارد شماره ۶۲-۷۳، استانداردهای تهویه هوای مکانیکی و طبیعی، ۱۹۷۳.
ASHRAE استاندارد شماره ۹۰-۷۵، حفظ منابع انرژی در طراحی ساختمانهای جدید، ۱۹۷۵

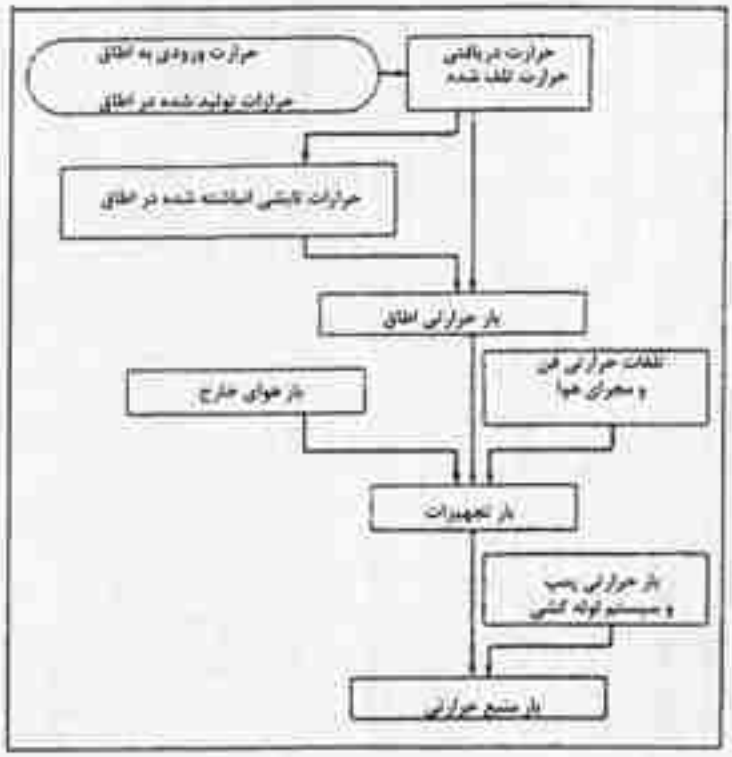
حرارت تولید شده توسط انسانها با نسبت زیر ایجاد می‌گردد:

فعالیت	توان حرارت
خوابیدن	۷۰
ساکت نشستن	۱۲۰
کار پشت میز	۱۵۰
کار سبک	۲۰۰-۲۴۰
ورزش، کار بدنی سنگین	۴۰۰-۷۰۰

۲-۴- محاسبه بار سرمایش و گرمایش ساختمان

شکل (۱۰-۳۶) ورودی‌ها و خروجی‌های حرارت برای یک خانه را که تحت تهویه مطبوع قرار دارد نشان می‌دهد.

شکل (۱۰-۳۷) مراحل محاسبه بار تهویهٔ مطبوع را نشان می‌دهد.



شکل شمارهٔ (۱۰-۳۷)- مراحل محاسبهٔ بار تهویهٔ مطبوع یک مکان

الف- محاسبه بار سرمایش ساختمان

گرمای انتقالی از دیوار :

گرمای منتقل شده از دیوار (q_w [Kcal/h]) از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$Q_w = A_w * K_w * \Delta t_e$$
$$\Delta t_e = t_O + I/\alpha_O - t_r$$

علائم بکار رفته عبارتند از :

A_w : سطح دیوار (m^2)

K_w : ضریب انتقال حرارت کلی دیوار ($Kcal/m^2.h.°C$)

Δt_e : اختلاف دمای مؤثر در دو طرف دیوار (°C)

t_O : هوای خارج (C°)

I : انرژی نور خورشید که بوسیله سطح دیوار جذب می‌شود

α_o : ضریب انتقال حرارت هوا در سطح خارجی دیوار

جدول (۱۰-۱۲) انتقال حرارت از ترکیب‌های نمونه دیوار را نشان می‌دهد.

جدول شماره (۱۰-۱۲)-ضریب انتقال حرارت کلی ترکیبات مختلف دیوار

الف: دیوار خارجی

ساختار دیوار		تابستان	زمستان
اجزاء (بطور معمول)	ضخامت بتون (mm)		
کاشی سطح خارجی۵mm	۱۲۰	۳/۲۲	۳/۶۵
ملاط سطح خارجی ۱۵mm	۱۵۰	۳/۲۱	۳/۲۹
بتون(ترکیبات اصلی)			
ملاط سطح داخلی ۱۵mm	۲۰۰	۲/۸۷	۳/۰۲
تخته گچی۳mm	۲۵۰	۲/۶۱	۲/۷۳

ب : سقف

ترکیبات سقف			تابستان	زمستان
خانه چوبی با سقف کاذب که بوسیله سنگ پوشانده شده است (فیبر ۱۲mm)			۱/۶۴	۱/۸۹
ملاط بتون ضد آب (ترکیبات اصلی)(mm) ۲۰	ضخامت بتون (mm)۱۰۰	با سقف	۱/۶۳	۱/۸۸
		بدون سقف	۲/۹۰	۳/۷۹
	ضخامت بتون (mm)۱۵۰	با سقف	۱/۵۲	۱/۷۶
		بدون سقف	۲/۶۳	۳/۳۴
ملاط سطح خارجی(mm) ۲۰ بتون نسوز (mm)۶۰ آسفالت (mm) ۱۰ سیمان (ترکیبات اصلی)	ضخامت بتون (mm) ۱۲۰	با سقف	۱/۴۲	۱/۵۶
		بدون سقف	۲/۲۸	۲/۶۷
	ضخامت بتون (mm)۱۵۰	با سقف	۱/۳۹	۱/۵۱
		بدون سقف	۲/۱۸	۲/۵۲

(توجه) با سقف : فاصله هوایی زیر بتون یا سقف کاذب ساخته شده از فیبر قرار دارد
بدون سقف : تخته گچی mm ۳ یا ۱۵mm ملاط زیر بتون کامل می شود

ج: دیواره جداکننده

ترکیبات دیواره جداکننده			ضریب انتقال حرارت کلی[Kcal/m^{2}h.°C]
ترکیبات اصلی : بتون یا بلوکهای بتونی	بتون	۱۰۰(mm) ۱۲۰(mm)	۲/۸۵ ۲/۷۵
سطوح داخلی و خارجی : ملاط (mm)۱۵ تخته گچ (mm)۳	بتون	۱۰۰ (mm) ۱۵۰ (mm)	۱/۹۶ ۱/۸۰
دیوار ساده چوبی. هر دو سطح کامل شده با گچ			۲/۴۹
دیوار دوبل چوبی. هر دو سطح کامل شده با گچ			۱/۳۷

ادامه جدول شمارهٔ (۱۲-۱۰)

د: سقف

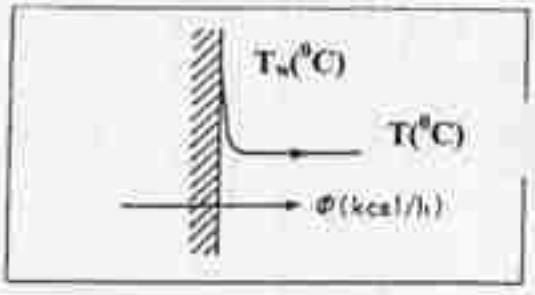
ترکیبات کف و سقف			ضریب انتقال حرارت کلی [Kcal/m²h.°C]	
تخته چوبی (۱۰ mm) ، تخته کف چوبی (۱۸ mm) ، فاصله هوایی، تخته کف (تخته پشتی و تخته ضخیم (۱۲mm))			۱/۱۶	۱/۳۶
پوشانده شده با ملاط سیمان(ترکیبات اصلی) همراه با فاصله هوایی سقف و تخت سخت(۱۲mm) بدون سقف : ملاط (۱۵ mm) گچ (۱۳mm)	ضخامت سیمان (۱۰۰mm)	باسقف	۱/۵۷	۱/۳۱
		بدون سقف	۲/۷۱	۲/۰۱
	ضخامت سیمان (۱۵۰mm)	با سقف	۱/۴۸	۱/۲۵
		بدون سقف	۲/۴۹	۱/۸۸

انتقال حرارت :

اختلاف دما بین سطح جامد و مایع در تماس با آن موجب منتقل شدن گرما می‌شود که انتقال حرارت همرفتی نامیده می‌شود. زمانیکه دمای مایع جاری و سطح جامد $t(^{\circ}C)$ و $t_w(^{\circ}C)$ نسبت به هم ثابت نگهداشته شود [شکل (۱۰-۳۸)]، شار حرارتی منتقل شده از سطح جامد به مایع در زمانیکه t از t_w بالاتر است متناسب با اختلاف دما بوده و از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$Q = \alpha\ A(t - t_w)$$

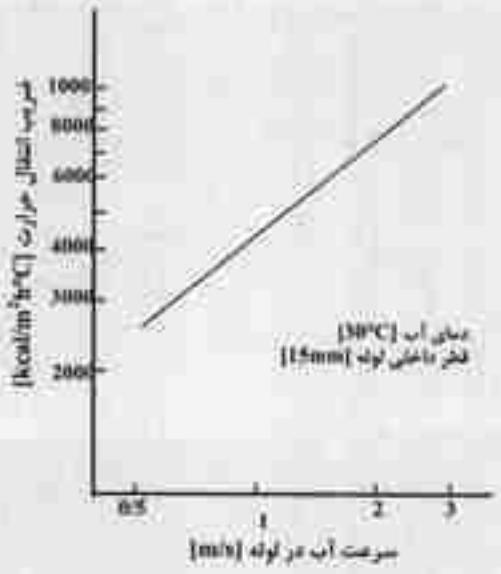
که در آن α عبارتست از ضریب انتقال حرارت $(Kcal/m^2.h.^{\circ}C)$ و مساحت A سطح جامد (m^2) می‌باشد. جدول شماره(۱۰-۱۳) ضریب انتقال حرارت برای مواد نمونه را نشان می‌دهد و شکل ضریب (۱۰-۳۹) انتقال حرارت یک لوله آب نمونه در مجاورت هوا را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰-۳۸- شار حرارتی

جدول شمارهٔ (۱۰-۱۳)- ضریب انتقال حرارت برای مواد

انواع سیّال وحالات و حالات مختلف آنها		ضریب انتقال حرارت (α) [kcal/m²h°C]
گاز	ساکن	4 – 10
	جاری	10 – 100
مایع	ساکن	70 – 300
	جاری	300 – 10000
سطح تبخیر	ساکن	300 – 5000
	جاری	3500 – 1500
سطح چگالش	ساکن	5000
	جاری	2500 – 3000



شکل شمارهٔ (۱۰-۳۹)- ضریب انتقال حرارت آب در یک لوله

شار گرما از طریق شیشه :

شار گرمایی از طریق شیشه پنجره (q_G[Kcal/h]) از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$q_G = q_{GR} + q_{GC}$$

$$q_{GR} = A_G \times C_S \times q_{SG}$$

$$q_{GC} = A_G \times q_{CG}$$

علائم بکار رفته در فرمول بالا عبارتند از :

q_{GR} : شار حرارتی تشعشعی (Kcal/h)

q_{GC} : شار حرارتی هدایتی (Kcal/h)

A_G : سطح شیشه (m^2)

C_S : ضریب شفافیت سطح شیشه و غیره

q_{SG} : استاندارد بار تشعشعی خورشید (Kcal/m^2.h)

q_{CG} : ضریب انتقال حرارت هدایتی (Kcal/m^2.h)

جدول (۱۰-۱۴) ضریب شفافیت را برای شیشه پنجره با پرده داخلی نمایش می‌دهد.

جدول (۱۰-۱۵) حرارت دریافتی از تابش استاندارد خورشید از طریق شیشه پنجره که در توکیو اندازه‌گیری شده آمده است .

جدول شمارهٔ (۱۰-۱۴)- ضریب شفافیت شیشه پنجره ها با پردهٔ

گروه	پرده		
	ندارد	رنگ شفاف	رنگ ملایم
پردهٔ طبیعی عادی	1	0/65	0/75
پردهٔ سادهٔ جاذب رطوبت	0/8	0/55	0/65
پردهٔ دولا(با کرکرهٔ میانی)	0/4	-	-
پردهٔ چند لایه عادی	0/9	0/6	0/7
قسمت خارجی جاذب حرارت و قسمت داخلی عادی	0/75	0/55	0/65
قسمت خارجی عادی و قسمت داخلی آینه	0/65	-	-

جدول شمارهٔ (۱۰-۱۵)- حرارت دریافتی از تشعشع استاندارد خورشید از میان شیشه پنجره

جهت	زمان(ازمان خورشیدی)																جمع روزانه
	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹		
افقی	۱	۵۸	۲۰۹	۳۷۹	۵۱۸	۶۲۹	۷۰۲	۷۲۲	۷۰۲	۶۲۹	۵۱۸	۳۷۹	۲۰۹	۵۸	۱		۵/۲۱۸
شمال‌شمالی	۰	۷۳	۲۶	۲۸	۳۲	۳۹	۴۲	۴۳	۴۲	۳۹	۳۲	۲۸	۲۶	۲۳	۰		۵۶۷
شمال شرقی	۰	۲۹۲	۲۸۶	۲۶۹	۲۳۸	۱۰۱	۴۴	۴۳	۴۲	۳۹	۳۲	۲۸	۲۱	۱۲	۰		۱/۶۶۲
شرق	۰	۲۲۲	۲۶۶	۲۹۲	۲۲۵	۲۱۲	۱۲۷	۴۳	۴۲	۳۹	۳۲	۲۸	۲۱	۱۲	۰		۲/۲۹۲
جنوب شرقی	۰	۱۵۰	۲۲۸	۲۲۳	۲۵۲	۲۱۲	۲۱۹	۱۰۳	۴۲	۳۹	۳۲	۲۸	۲۱	۱۲	۰		۱/۹۲۵
جنوب	۰	۱۳	۲۱	۲۸	۵۳	۱۰۱	۱۳۱	۱۵۶	۱۴۱	۱۰۱	۵۳	۲۸	۲۱	۱۲	۰		۸۶۸
جنوب غربی	۰	۱۳	۲۱	۲۸	۳۲	۳۹	۴۲	۱۰۳	۲۱۸	۲۱۲	۲۵۱	۲۲۳	۲۷۵	۱۵۰	۰		۱/۹۲۵
غرب	۰	۱۳	۲۱	۲۸	۳۲	۳۹	۴۲	۴۳	۱۲۷	۲۱۲	۲۲۵	۲۹۳	۲۷۶	۲۲۲	۰		۲/۲۹۲
شمال غربی	۰	۱۳	۲۱	۲۸	۳۲	۳۹	۴۲	۴۳	۴۲	۱۰۱	۲۲۸	۲۲۹	۲۸۲	۲۹۳	۰		۱/۶۲۶

توجه: مقادیر بر حسب [kcal/m².h] در تاریخ (23_July) در شهر توکیو اندازه گیری شده اند.

شار حرارتی بوسیله تخلیه هوا :

برای تخمین شار حرارتی بواسطه تخلیه هوا (q_v[Kcal/h]) از فرمول زیر استفاده می‌شود:

(ساعت / دفعه) دفعات تهویه × (m^3) حجم اتاق = V_s

$$q_v = q_{vs} + q_{vl}$$

$$q_{vs} = ۰/۲۹(t_o - t_r) \times V_s$$

$$q_{vs} = ۷۲۰(x_o - x_r) \times V_s$$

علائم عبارتند از:

q_{vs} : بار حرارت محسوس بوسیله تخلیه (Kcal/h)

q_{vl} : بار حرارت نهان بوسیله تخلیه (Kcal/h)

V_S : مقدار تخلیه (m^3/h)

t_o : درجه حرارت خارج (°C)

t_r : درجه حرارت داخل (°C)

x_o : رطوبت مطلق هوای خارج (Kg/Kg-dry)

x_r : رطوبت مطلق هوای داخل (Kg/Kg-dry)

۰/۲۹ (Kcal/m^3.°C) = وزن مخصوص هوا (Kg/m^3) ۱/۲ × حرارت ویژه ۰/۲۴ (Kcal/Kg.°C)

۷۲۰ (Kcal/m^3) = وزن مخصوص هوا (Kg/m^3) ۱/۲ × حرارت نهان بخار ۶۰۰ (Kcal/Kg)

بار هوای تازه :

بار حرارتی هوای تازه (q_{OA} [Kcal/h]) از طریق فرمول زیر محاسبه می‌شود :

$$q_{OA} = ۱/۲ V_o \times (h_o - h_v)$$

این معادله می‌تواند به صورت مشابه قسمت ۴ نوشته شود.

علائم بکار رفته عبارتند از :

V_o : حجم هوای تازه مورد استفاده (m^3/h)

h_o : آنتالپی هوای خارج (Kcal/Kg-day)

h_v : آنتالپی هوای داخل (Kcal/Kg-day)

جدول شماره (۱۰-۱۶) تعداد تهویه لازم را در موقعیت‌های مختلف و در زمان‌های سرمایش وگرمایش نشان می‌دهد.

جدول شمارهٔ (۱۰-۱۶)- دفعات تهویهٔ اتاقها نسبت به ابعاد آنها برای سرمایش و گرمایش

هنگام سرمایش							
حجم اطاق(m^3)	۵۰۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۱۵۰۰	۲۰۰۰	۲۵۰۰	۳۰۰۰
دفعات تهویهٔ هوا	۰/۷	۰/۶	۰/۵۵	۰/۰۵	۰/۴۲	۰/۴۰	۰/۳۵
هنگام گرمایش							
ترکیبات ساختمان	ترکیبات گران		ترکیبات درجه متوسط			ترکیبات ارزان	
بتون(با قالب فلزی)	۰/۵		۰/۵ - ۱/۵			۰	
آجر(با قالب چوبی)			۱/۵ - ۲/۵			۰	
چوب غربی(باقاب چوبی)	۱ - ۲		۲ - ۳			۰	
چوب شرقی (باقاب چوبی)	۲ - ۳		۳ - ۴			۴ - ۶	

- سایـــر بارها :

I – حرارت تولید شده توسط تجهیزات روشنایی:

۱ (W) ≡ ۰/۸۶ (Kcal/h)

II – حرارت تولید شده توسط تجهیزات اداری:

۱ (KW) ≡ ۸۶۰ (Kcal/h)

در جدول شماره (۱۰-۱۷) حرارت تولید شده بوسیلهٔ تعدادی از لوازم خانگی آمده است.

جدول شمارهٔ (۱۰-۱۷)- حرارت تولید شده توسط وسایل خانگی

نام وسیله	گرمای محسوس [kcal/h]	گرمای نهان [kcal/h]
قهوه ساز (گاز شهری ۱۸ Lit)	۱۰۰	۲۵
تستر (گرمکن الکتریکی با ابعاد ۲۰×۱۵ ارتفاع (۲۳(cm))	۶۱۰	۱۱۰
چراغ بونزن (گاز شهری، قطر (۱۰(mm))	۲۴۰	۶۰
ضد عفونی کننده (گرمایش الکتریکی به ابعاد ۲۰×۱۵ (۲۳(cm))	۶۸۰	۶۰۰
ضد عفونی کننده (گرمایش الکتریکی به ابعاد ۲۵×۲۳ (۳۳(cm))	۱۳۰۰	۱۰۰۰
نوع ایستادهٔ خشک کنندهٔ موی سر (۱۱۵ [V] ، ۵/۶ [A])	۴۷۰	۸۰
نوع معمولی خشک کنندهٔ موی سر (Blower type ،۱۱۵ [V] ، ۱۵ [A])	۶۰۰	۱۰۰
دستگاه حالت دهنده دائمی مو (با گرمکن ۴۵ W)	۲۲۰	۴۰
اجاق گازخانگی	۱۸۰۰	۲۰۰
فرگاز خانگی	۲۰۰۰	۱۰۰۰

توجه : درجدول (۱۰-۱۷)، اگر لوازم خانگی به هود (فن تخلیه) خارجی مجهز باشند، مقادیر حرارت تولید شده باید نصف در نظر گرفته شوند. زیرا اینها مقادیر مرجع هستند و از یک تولید کننده به تولید کننده دیگر ممکن است تغییر جزیی داشته باشند.

III- حرارت تولید شده توسط بدن افراد :

بدن افرادی که در محیط‌های تحت تهویه مطبوع قرار دارند بعنوان یک منبع حرارتی $37^{\circ}C$ بار حرارتی تولید می‌کنند که ناشی از فعالیت‌های متابولیسمی آنها است. در جدول شماره (۱۰-۱۸) حرارت محسوس و نهان تولید شده افراد بازای فعالیت‌های مختلف نشان داده شده است .

جدول شمارهٔ (۱۰-۱۸) - حرارت تولید شده توسط بدن

فعالیت	دمای آلاق (kcal/h)		دمای محسوس (kcal/h)				
	مثال	دمای کل	۲۱°C	۲۶°C	۲۸°C	۲۹°C	۳۰°C
نشسته	تئاتر	۸۸	۴۴	۴۹	۵۳	۵۸	۶۵
کار سبک	مدرسه	۱۰۱	۴۵	۴۹	۵۳	۶۱	۶۹
کار نشسته در دفتر	دفتر کار، هتل	۱۱۳	۴۳	۵۰	۵۴	۶۲	۷۲
ایستادن و راه رفتن	سازمان، بانک	۱۲۶	۴۳	۵۰	۵۵	۶۴	۷۳
	رستوران	۱۳۹	۴۸	۵۶	۶۲	۷۱	۸۱
نشسته کار کردن	کارخانه- کارسبک	۱۸۹	۴۸	۵۶	۶۲	۷۴	۹۲
راه رفتن (۲/۸ [km/h])	کارخانه- کار سنگین	۵۳۲	۶۸	۷۶	۸۳	۹۶	۱۱۶
بولینگ[1]	بولینگ	۳۶۳	۱۱۳	۱۱۷	۱۲۱	۱۳۲	۱۵۳

فعالیت	دمای آلاق (kcal/h)		دمای محسوس (kcal/h)				
	مثال	دمای کل	۲۱°C	۲۶°C	۲۸°C	۲۹°C	۳۰°C
نشسته	تئاتر	۸۸	۴۴	۳۹	۳۵	۳۰	۲۲
کار سبک	مدرسه	۱۰۱	۵۶	۵۲	۴۸	۴۰	۳۲
کار نشسته در دفتر	دفتر کار، هتل	۱۱۳	۶۸	۶۳	۵۹	۵۱	۴۱
ایستادن و راه رفتن	سازمان، بانک	۱۲۶	۸۱	۷۶	۷۱	۶۲	۵۳
	رستوران	۱۳۹	۹۱	۸۳	۷۷	۶۸	۵۸
نشسته کار کردن	کارخانه- کارسبک	۱۸۹	۱۴۱	۱۳۳	۱۲۷	۱۱۵	۹۷
راه رفتن (۲/۸ [km/h])	کارخانه- کار سنگین	۵۳۲	۱۸۲	۱۷۶	۱۶۹	۱۵۶	۱۳۶
بولینگ	بولینگ	۳۶۳	۲۵۲	۲۱۸	۲۱۲	۲۳۳	۲۱۲

بار فن‌ها :

بار حرارتی تولید شده توسط فن‌ها از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$Q_F = ۸۶۰ \times L_F$$

$$L_F = \frac{P_T \times Q}{۶۱۲۰ \times \eta_F}$$

L_F : قدرت شفت فن (KW)

P_T : فشار کلی فن $(mm\ H_2O)$

Q = حجم هوا $(m^3$ / دقیقه)

1 - Balling

راندمان فن : η_F

کل بار حرارتی موتور فن از رابطه زیر بدست می آید.

$$q'_F = \frac{q_F}{\eta_M}$$ بار حرارتی کل

η_M : راندمان مقدار

جداول شماره (۱۰-۱۹) و شماره (۱۰-۲۰) راندمان نوعی فن‌ها و موتورها را نشان می‌دهد.

جدول شمارهٔ (۱۰-۱۹)- راندمان فن

طبقه بندی	η_F
فن سانتریفوژ	
نوع چند تیغه ای	0/45 – 0/60
نوع توربو	0/65 – 0/80
نوع بار محدود	0/55 – 0/65
نوع ایرفویل	0/70 – 0/85
لوله ای	0/60 – 0/75
فن جریان محور	
با پره	0/75 – 0/85
با لوله	0/55 – 0/65
با پروانه	0/10 – 0/50

جدول شمارهٔ (۱۰-۲۰)- راندمان موتورها

خروجی (KW) (Rated output)	η_M
– 0/4	0/60
0/75 – 3/7	0/80
5/5 – 15	0/85
20 –	0/90

ضریب اضافی :

یک ضریب اضافی برای ظرفیت تهویه وارد محاسبه می شود که حدود ۸ تا ۲۰ درصد بار محاسبه شده می‌باشد.

ب- محاسبه بار گرمایش ساختمان

آهنگ حرارتی منتقل شده از دیوار :

آهنگ حرارتی منتقل شده از دیوار (q_w[Kcal/h]) از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$q_w = A_w \times K_w \times (t_i - t_o)$$

آهنگ حرارتی بوسیله تخلیه هوا :

شار حرارتی منتقل شده از تخلیه هوا (q_v[Kcal/h]) از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

V_S = حجم اتاق (m^3) × تعداد دفعات تهویه (ساعت / دفعه)

$$q_v = q_{vs} + q_{vl}$$

$$q_{vs} = 0.29 \times (t_r - t_o) \times V_s$$

$$q_{vl} = 720 \times (x_r - x_o) \times V_s$$

بار حرارتی هوای تازه :

بار حرارتی منتقل شده توسط هوای تازه از طریق زیر محاسبه می‌شود:

$$q_{oa} = 1.2 \times V_o \times (h_r - h_o)$$

این معادله می‌تواند از قسمت ۲ نیز بدست آید.

علائمی که در ۳ قسمت بالا آمده است در قسمت محاسبه بار سرمایش آمده است.

سایربارها :

معمولاً گرمای ناشی از بار تابشی خورشید، گرمای تولید شده توسط بدن افراد، روشنایی و لوازم اداری بطور مستقیم موجب گرم شدن اتاق نمی‌شوند و در محاسبات وارد نمی‌شوند.

۲-۵- استفاده از کامپیوتر برای محاسبه بار سرمایش و گرمایش

با توجه به اهمیت سیستم گرمایش و تهویه مطبوع ومصرف زیاد آن در ساختمانها و همچنین امکان صرفه‌جوئی بالا، در بسیاری از موارد لازم است مصرف انرژی این بخش در ساختمانها را به عنوان بخشی از برنامه مدیریت انرژی، مدل‌سازی کنیم.

برای ساختمانهای کوچک از روش محاسبات دستی می‌توان استفاده نمود، بدین ترتیب که اتلافات حرارتی از طریق پوشش ساختمان (دیوارها، پنجره‌ها، سقف و غیره) محاسبه شده و مقادیر انرژی جذب یا دفع شده توسط نفوذ هوا و نیز انرژی حاصل از بارهای خورشید به منظور طراحی شرایط آب و هوایی به آن افزوده می‌شوند، سپس این اتلافات برای کل ساختمان با هم جمع می‌شود اگر قرار باشد که حالت دیگری مورد مطالعه قرار گیرد این روند باید تکرار شود.

روش ساده تقریبی دیگر، روش درجه – روز[1] می‌باشد که برای ساختمانهای کوچک مورد استفاده قرار گرفته و از دمای هوای بیرون تبعیت می‌کند. مقادیر درجه روز گرمایش با تعیین اختلاف بین یک دمای مرجع (معمولاً ۱۸°C) و دمای متوسط ۲۴ ساعته محاسبه می‌شود و برای روزهای گرمایش در هر سال با هم جمع گردیده و برای کل سال بدست می‌آید. این روش منابع حرارتی داخل ساختمان را به حساب نمی‌آورد به همین دلیل، دمای مرجع را بالاتر در نظر می‌گیرند چرا که می‌توان فرض نمود چراغ‌ها، تجهیزات و افراد، حرارت کافی

1 - Degree day

برای افزایش دما بین ۲ تا ۳ درجه سانتی‌گراد تولید می‌کنند. اشره دقت این روش را در حدود ۲۰ درصد تخمین زده است.

روش دوم استفاده از یکی از چندین شبیه‌سازی کامپیوتری موجود است. روش کار و پیچیدگی این برنامه‌ها با یکدیگر متفاوت است اما اساس کار همه آنها استفاده از الگوریتم‌هایی برای مدل‌سازی اتلافات و جذب حرارت ساختمان‌ها ، مشخصات کاری تجهیزات گرمایش و تهویهٔ مطبوع و الگوهایی برای آب و هوای خارجی می‌باشند.

بسیاری از این برنامه‌ها را می‌توان برای مقایسه سرمایه سیستم و هزینه‌های کاری مورد استفاده قرار داد و لذا در تحلیل‌های اقتصادی مفید واقع می‌شوند. دقت این قبیل نرم افزارها تقریباً بین ۵ تا ۱۰ درصد می‌باشد.

۲-۶- فرصت‌های صرفه‌جوئی انرژی در تهویه مطبوع

کنترل‌ها را بهینه کنید:

کنترل‌ها را بهینه کنید، بطوریکه سرمایش و گرمایش تنها در مواقع لزوم، صورت پذیرد. اولین گام بهبود کارآئی سیستم تهویه مطبوع، بررسی مواردی است که با تغییرات سر راست و مستقیم قابل اجرا هستند. بعنوان نمونه، بسیاری از صرفه‌جوئی‌ها از طریق استفاده از سیستم‌های کنترلی پیچیده (نظیر کامپیوترها و میکرو کامپیوترها) و سیستم‌های کنترلی ساده مانند تایمر در دسترس هستند.

بعنوان مثال بسیاری از چیلرها برای حداکثر بار، طراحی و انتخاب می‌شوند، در صورتیکه اغلب زیر ظرفیت کار می‌کنند و یکی از زمینه‌های مهم جهت بررسی کارکرد، در بارهای کم است. استفاده دقیق از تجهیزات در شرایط بار جزئی، می‌تواند به صرفه‌جوئی‌های عمده‌ای در مصرف انرژی منتهی شود. می‌توان وسایل کنترل را طوری تنظیم نمود تا بجای اینکه چند چیلر در بار جزئی کار کنند یک چیلر با بار کامل کار کند یا بجای اینکه یک چیلر بطور دائم در بار جزئی کار کند بصورت قطع و وصل در بار کامل کار کند که این خود ۵۰ درصد صرفه‌جوئی در مصرف انرژی به همراه دارد یا کنترل جهت خاموش کردن فن‌ها در حالتی که نیاز به تهویه نیست و یا کنترل پمپها ، زمانی که چند پمپ دربار جزئی درحال کار هستند و ...

ظرفیت سیستم را بهینه کنید:

ظرفیت سیستم را به پائین‌ترین سطح قابل قبول (بر اساس استانداردها و آئین‌نامه‌های محلی)کاهش دهید. بطور مثال نسبت تصفیه هوا تنها باید به اندازه‌ای باشد که در یک روز که نیاز به حداکثر سرمایش است تأمین نماید. در صورت وجود ظرفیت اضافی ممکن است توان در پنکه تلف شود و یا موجب سرمایش و گرمایش بیش از حد شود. در صورتیکه بتوانیم ۲۰ درصد از حجم تصفیه هوا را کم کنیم آنگاه در صورت استفاده از کنترل دور بجای دمپر انرژی مصرفی پنکه‌ها به نصف کاهش می‌یابد.

کاهش بار ساختمان:

تصفیه، بارهای حرارتی خورشیدی، حرارت تجهیزات بارها یا تلفات حرارتی هدایتی یا تابشی همگی می‌توانند به بار منبع حرارتی ساختمان اضافه یا کم شوند. روش‌های قابل اجرا عایق‌کاری، درزبندی، پوشش‌های انعکاسی پنجره‌ها و ایجاد سایه، تخلیه حرارت خروجی و تلف شده تجهیزات و بهینه‌سازی سیستم روشنائی می‌باشد.

عایق‌کاری، جهت جلوگیری از انتقال حرارت از طریق هدایت می‌باشد که تأثیر بسزایی در کاهش بار تهویه دارد. مقدار تأثیر عایق حرارتی، با پارامترهای بنام عدد U (U-value) و عدد R (R-value) بیان می‌شود. در قسمت قبل عدد U با نام K_w آمده است و واحد آن در واحد انگلیسی، Btu بر ساعت بر قوت مربع بر اختلاف درجه بر حسب فارنهایت می‌باشد و معادله انتقال حرارت بصورت زیر محاسبه می‌شود.

$Q = U \times (\text{سطح}) \times (\text{اختلاف درجه حرارت})$

ضریب R در واقع عکس ضریب U است و در واقع حسن کار با آن، این است که در صورتیکه لایه‌های مختلفی در کنار هم قرار گیرند برای بدست آوردن عدد R کلی می‌توان عدد R تک تک آنها را با هم جمع نموده و سپس با محاسبه معکوس آن عدد U را بدست آورد یا مستقیماً از معادله زیرگرمای انتقال را محاسبه نمود.

$$Q = \frac{1}{R} \times (\text{سطح}) \times (\text{اختلاف درجه حرارت})$$

درجدول (۱۰-۲۱) مقادیر ضریب R برای چند عایق حرارتی جهت انتخاب عایق حرارتی نمونه و در قسمت پائین جهت مقایسه برای مصالح ساختمانی، آمده است.

جهت انتخاب عایق حرارتی مناسب، نباید تنها به ضریب R توجه شود، بلکه بسته به مورد استفاده، باید به خواص دیگر آن، نظیر قابلیت اشتعال، هزینه نصب، قیمت و برخی خواص دیگر توجه شود.

جدول شمارهٔ (۱۰-۲۱)- مقادیرR برای عایقها و ترکیبات مواد متداول

R-VALUES OF COMMON INSULATION AND CONSTRUCTION MATERIALS

Material	R-Value per inch
Mineral wool*	2.9 to 3.8
Glass fiber batt & blanket*	2.9 to 3.8
Glass fiber board	3.8 to 4.2
Cellulose, shredded paper, new	approx. 3.3
Extruded polystyrene board**	4.0 to 5.2
Polystyrene bead board**	4.0 to 5.0
Polyurethane foam board**	6.0 to 6.3
Polyisocyanurate foam board	5.5 to 6.0
Perlite	approx. 2.7
Vermiculite	approx. 2.3
Lightweight concrete	0.2 to 2.0
Concrete, sand or gravel mix	0.1
Concrete & cinder blocks	0.19 to 0.3
Brick	0.2
Plywood	1.2
Pine	1.2
Accoustical tile, typical	2.5
Fiberboard sheathing, typical	2.8

* Higher density provides better R-value because commercial batt insulation has less than the optimum density of fibers.

** Assumes CFC III gas. R-value diminishes with age because of gas loss. The figures assume moderate aging.

مثال برای نصب عایق :

هر چه ضخامت عایق بیشتر باشد، صرفه‌جوئی انرژی نیز بیشتر می‌باشد. اما سرمایه‌گذاری یک عامل محدود کننده است و باید میزان صرفه‌جوئی به اندازه‌ای باشد که مقدار سرمایه‌گذاری انجام شده را توجیه کند. هدف از این مثال، نشان دادن بهترین ضخامت عایق‌کاری برای یک عایق مشخص می‌باشد. می‌خواهیم یک دیوار مرسوم عایق نشده را عایق کاری کنیم، شرایط عبارتند از :

- ضریب R برای دیوار بدون عایق ۳ می‌باشد.
- اختلاف دمای متوسط سالیانه $۳۰^{\circ}F$ است.
- هزینه تلفات انرژی $ ۱۰ بازای هر میلیون Btu می‌باشد.
- هزینه بالاسری را مقدار ثابت $ ۰/۱۲ بازای فوت مربع در نظر بگیرید.
- هزینه دستمزد کارگر $ ۰/۲ به ازای فوت مربع می‌باشد.
- هزینه اضافی دستمزد کارگررا به ازای افزایش واحد R $ ۰/۰۱ بر فوت مربع در نظر بگیرید.
- هزینه مواد $ ۰/۰۹ بازای فوت مربع می‌باشد.

برای اعداد داده شده بالا محاسبات اقتصادی در جدول (۱۰-۲۲) داده شده است. همچنانکه در جدول بالا دیده می‌شود بهترین و اقتصادی‌ترین مقدار عایق کاری برای ضریب R برابر ۶ می‌باشد.

جدول شمارهٔ (۱۰-۲۲)- جدول محاسبات اقتصادی برای عایق هایی با مقادیر ضریب Rمتفاوت

ضریب R کل	هزینه (بر حسب دلار)	صرفه جویی خالص طی ۲۰ سال (بر حسب دلار)	زمان بازگشت سرمایه (بر حسب دلار)	نسبت صرفه جویی ممکن به هزینهٔ سرمایه گذاری
3	-	-	-	-
4	0/42	3/96	1/92	10/42
5	0/52	6/48	1/49	13/46
6	0/62	8/14	1/42	14/13
7	0/72	9/30	1/44	13/92
8	0/82	10/14	1/50	13/37
9	0/92	10/76	1/57	12/70
10	1/02	11/24	1/66	12/02
12	1/22	11/92	1/86	10/77
15	52	12/50	2/17	9/22
20	2/02	12/98	2/71	7/37
30	3/02	12/74	3/83	5/22

مشخص نمودن و بررسی مکانهایی که نیاز به تهویه دارند :

منظور از سیستم تهویه مطبوع ،گرم و سرد کردن افراد است نه ساختمان. تشخیص این واقعیت ساده، می‌تواند به تغییراتی در الگوهای اجرایی منجر شود که حاصل آن صرفه‌جوئی‌های عظیم باشد.

بجای راهروها، فضاهای ارتباطی، فضاهای خالی و ... باید مکان‌هایی را که در آن افراد مشغول بکارند را تهویه کنیم. جهت انجام چنین کاری، بهتر است ساختمان را از دیدگاه حرارتی بصورت افقی و عمودی بصورت زیر تقسیم‌بندی کنیم.

الف) فضاها را از دیدگاه نیاز و یا عدم نیاز به تهویه مطبوع مرتب کنید. اتاق‌هائی که نیاز به تهویه مطبوع ندارند نزدیک دیوار بیرونی قرار دهید (بدین ترتیب یک دیوار دو جداره برای قسمت تهویه شونده ایجاد شده است)

ب) اتاق‌ها را بر اساس نیازمندیشان (نوع کار و شغل) دسته‌بندی بهینه کنید.

- جداول زمان کاری
- حرکت پرسنل و اثاثیه
- اتاق‌هایی که تولید بار حرارتی بالایی دارند نزدیک دیوار بیرونی قرار دهید.

ج) از یک صفحه کمکی برای جداسازی ناحیه‌های مختلف حرارتی می‌توان استفاده نمود.

د) ورودی ها باید به سمت محیط‌های بسته یا حفاظت شده در مقابل باد باشند.

انتخاب، کار آمدترین فرآیند گرمایش و سرمایش است :

در ساختمان‌سازی جدید، ترکیب ساختمانهای با عایق‌بندی مناسب و جنبه‌های طراحی انفعالی می‌تواند انرژی گرمایشی را به مقدار زیادی کاهش دهد.

در شرایط آب و هوایی خاص مصرف انرژی سرمایش تبخیری و تر یا خشک از مصرف انرژی تراکمی کمتر است. بررسی استفاده از سرمایش موضعی و یا مرکزی نیز می‌تواند در مواقعی مفید باشد.

- در مورد گرمایش نیز می‌توان استفاده از بویلرها و مشعل‌های راندمان بالا ، استفاده از اکونومایزر و ... را پیشنهاد نمود.

برای یک اندازه خاص موتور ، محدوده نسبتاً وسیعی از راندمان (کارایی) موتور الکتریکی وجود دارد. بطور مشابه در محرکهای موتوری یا پمپ‌های سرعت متغیر، امکان صرفه‌جوئی وجود دارد.

بکارگیری کارآمدترین تجهیزات :

به عنوان مثال، چیلرهای فشرده سازی مکانیکی به سه دسته تقسیم می شوند: گریز از مرکز، پیچشی و رفت و برگشتی (پیستونی)، معمولاً چیلرهای قدیمی از ۰/۸ تا ۱ کیلووات ساعت بر تن راندمان دارند در صورتیکه چیلرهای جدید راندما نشان تا مقدار KWh/ton ۰/۴۹ افزایش یافته و مصرف انرژیشان نصف گردیده است.

بکارگیری موثر تجهیزات :

استفاده از موتورها در بارگذاری مناسب، تعمیر و نگهداری مناسب تجهیزات ، تنظیم مناسب کنترلها، می‌تواند از این دست باشد.

استفاده از مفاهیم طراحی انفعالی :

طرح ساختمان (یا بار سازی مجدد آن) به طریقی باشد که جریان انرژی به محیط و از محیط را بهینه سازد و از انرژی خورشید و روشنایی روز و دمای هوای خارج، حداکثر استفاده گردد.

بازیافت حرارت :

این موضوع خاصه در هوای سرد مهم و دارای ارزش اقتصادی است . در واقع حتی اگر تفاوت درجه حرارت‌های کم و توجیه اقتصادی فرایند دشوارتر باشد باز هم می‌توان « سردی» را بازیافت نمود.

امکان ذخیره انرژی:

ذخیره سازی سرمایه به معنی استفاده از انرژی الکتریکی در ساعات غیر پیک برای ایجاد سرمایش و استفاده از سرمایش ذخیره شده در ساعات پیک می‌باشد. این کار می‌تواند با ذخیره‌سازی آب سرد و یخ باشد. ذخیره‌سازی یخ، نیاز به حجم کمتری دارد.

این کار می‌تواند موجب کوچک شدن اندازه چیلر در مرحله طراحی و یا نیاز به خرید چیلر یا ظرفیت جدید برای سیستم که نیاز به افزایش ظرفیت دارد گردد.

شکل (۱۰-۴۰) کاهش ظرفیت چیلر در صورت امکان ذخیره‌سازی انرژی را نشان می‌دهد.

شکل شمارهٔ (۱۰-۴۰)- راهبرد ذخیرهٔ جزئی

فصل یازدهم

مباحث ویژه در مدیریت انرژی الکتریکی

۱- سیستم‌های محرکه

معمولاً سیستم‌های مدرن راه‌اندازی و کنترل را سیستم‌های محرک می‌گویند که به روش و کنترل توان خروجی و کار موتور و هر نوع کوپلینگ قدرت همراه آن اشاره می‌کند. اساساً سه روش برای اصلاح بازده انرژی با تعویض موتور و سیستم‌های محرکه وجود دارد.

۱- موتورهای با بازده بالا، این نام کلی موتورهای الکتریکی است که برای تقلیل تلفات موتور طراحی شده‌اند.

۲- کنترل‌کننده‌های موتور: برخی اوقات بعنوان کنترل کننده‌های ولتاژ یا راه‌انداز ملایم[1] دارای راندمان انرژی بالا شناخته شده‌اند.

اینها ولتاژی را که به ورودیهای موتور می‌آید پیوسته طوری تنظیم می‌نمایند که دقیقاً برای بار موتور کافی باشد. بنابراین تلفات آهنی مربوط به ولتاژ به حداقل می‌رسند. معمولاًکنترل کننده‌های موتور از یک وسیله راه‌اندازی ملایم تشکیل شده است. این وسیله شدت جریان حداکثر را در زمان راه‌اندازی موتور کاهش می‌دهد.

---

1 - Soft Starter

۳- سیستم‌های با دور متغیر که به طور گسترده در سه طبقه‌بندی قرار می‌گیرند. هدف، تنظیم سرعت بار، مطابق برخی پارامترهای اندازه‌گیری شده می‌باشد. این سیستم‌ها از موارد زیر تشکیل شده‌اند:

محرک‌های دور متغیر الکترونیکی[1] (VSD) انواع مختلفی دارند و تطبیق الکترونیکی سرعت موتور و برق ورودی به آن را تا حد نیاز بار بعهده دارند. بنابراین تلفات آهن و سایر تلفات تا حداقل مقدارشان کاهش می‌یابند.

موتورهای با دور متغیر: شامل موتورهای دور متغیر مرسوم، و موتورهای دو سرعته و نیز شامل موتورهای جدید می شوند. این موتورها از قابلیت مدرن کنترل الکترونیکی برای گسترش کاربرد موتورهائی که قبلاً توسط کنترل کننده‌های مرسوم الکترومکانیکی کنترل می‌شدند استفاده می‌کند.

محرک‌های الکترومکانیکی: موتورهای دور ثابت را با کنترل های مکانیکی یا الکترومکانیکی جهت تغییر سرعت سیستم بکار می‌برند.

کنترل کننده‌های دور موتور (VSD) جایگزین راه‌اندازی‌های مرسوم الکترومکانیکی موتورها می شوند و عمدتاً با قرار گرفتن در مجاورت این موتورها از لحاظ فیزیکی می‌توانند بزرگتر از راه‌اندازهائی باشند که جایگزین آنها می‌شوند، اما معمولاً بازبینی و تعویض آن‌ها آسان است.

۱-۱- موتورهای با راندمان بالا

وقتی که موتوری برای تولید گشتاور نسبتاً ثابت و مداومی لازم است، معیار عمده انتخاب آن راندمان بار نامی آن است. اگر زمان کارکرد[2] بالا باشد در این صورت موتورهای با بالاترین راندمان، کمترین هزینه کارکرد را خواهند داشت.

موتورهای القائی با راندمان بالا، در مقایسه با موتورهای استاندارد مشابه میزان برق کمتری مصرف می‌کنند. معمولاً در ساخت این موتورها از همان موادی که موتورهای استاندارد دارند استفاده می‌کنند، لیکن آهن بیشتری در ساخت آن‌ها بکار رفته و در برخی موارد ورقه‌های فولادی بکار رفته در آنها کیفیت بهتری دارند، چهار مورد اصلاحات زیر می‌تواند در راستای افزایش راندمان موتور در محدوده فعالیت آنها سودمند واقع شود.

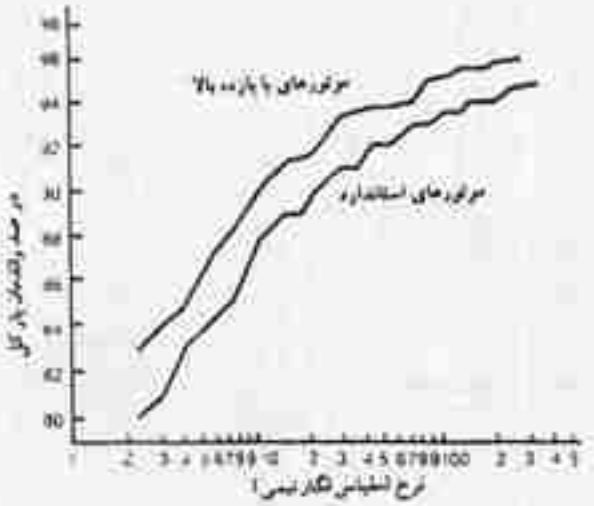
- افزایش طول هسته ساخته شده از ورقه‌های فولادی با تلفات کم. اینها تراکم خطوط نیرو را کاهش می‌دهند و در نتیجه، تلفات آهنی نیز کاهش می‌یابد.
- تلفات مسی با حداکثر بهره‌گیری از شیارها و انتخاب اندازه سیم‌های هادی در استاتور و روتور کاهش می‌یابد.
- تلفات متفرقه با انتخاب دقیق تعداد شیارها و شکل هندسی دندانه / شیار به حداقل می‌رسند.

1- Variable Speed Drives

2 - Duty Cycle

- یک موتور با راندمان بالاتر، حرارت کمتری تولید می‌کند بنابراین می‌توان اندازه فن خنک کننده را کوچک‌تر گرفت که به نوبه خود منجر به تلفات کم سیم‌پیچی شده و در نتیجه قدرت تلف شده نیز کاهش می‌یابد.

شکل (۱۱-۱) راندمان موتورهای استاندارد را با راندمان موتورهای با راندمان بالا مقایسه می‌کند.



شکل شمارهٔ (۱۱-۱)- مقایسهٔ راندمان بار کامل موتورهای استاندارد و راندمان بالا

اندازه‌گیری‌های موتورهای با راندمان بالا:

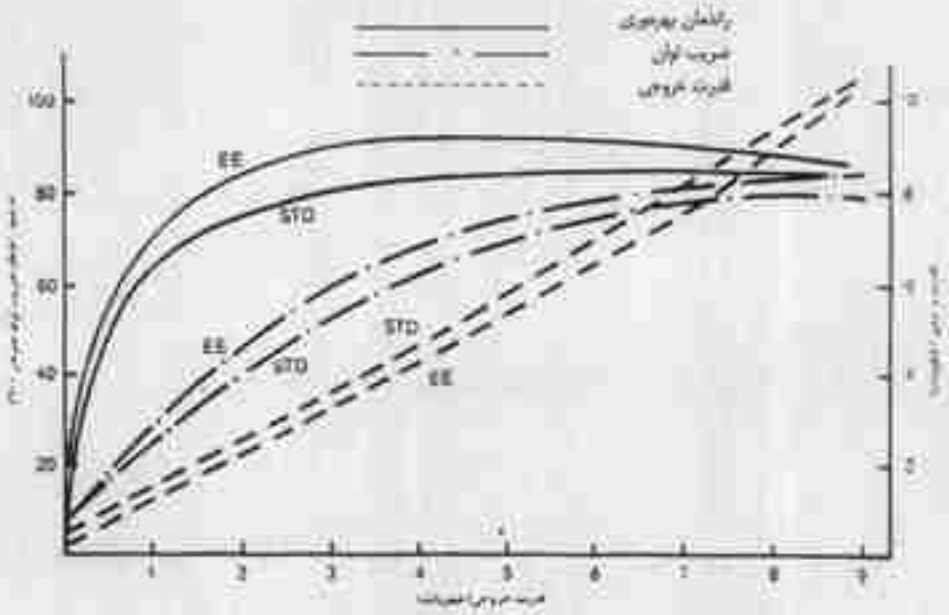
در طی یک آزمایش دانشگاهی، سه موتور با راندمان انرژی بالا، موردآزمایش قرار گرفته و کارائی آنها با سه موتور الفائی استاندارد مقایسه گردیده است. موتورهای مورد امتحان قدرت اسمی ۳، ۷/۵ و ۲۲ کیلووات داشتند. در شکل (۱۱-۲) نمونه داده‌های مربوط به موتورهای ۷/۵ کیلووائی نشان داده شده است.

برای موتور با راندمان بالا در سرتاسر محدوده‌کاری هم راندمان و هم ضریب قدرت برتر و بهتر است. این آزمایش گواهی‌های آزمون مشخصات سازنده موتور را تأیید و تصدیق می نماید.

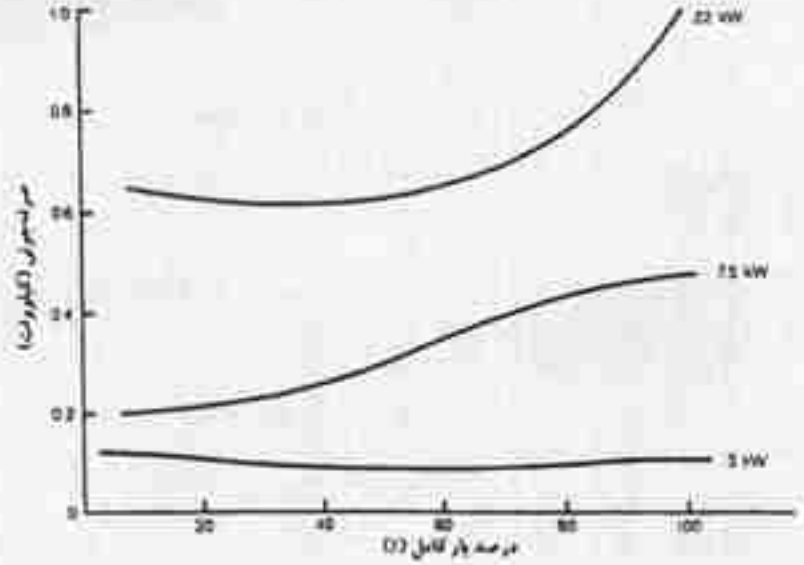
در بار کامل این صرفه‌جوئی‌ها برای موتور ۳ کیلووائی ۳/۳٪، برای موتور ۷/۵ کیلووائی ۶٪ و برای موتور ۲۲ کیلووائی ۴/۵٪ بوده، همچنین صرفه‌جوئی‌های حاصله توسط سه موتور با راندمان بالا در شکل (۱۱-۳) نشان می‌دهد که میزان صرفه‌جوئی‌ها در بارگذاری‌های مختلف در موتورهای ۷/۵ و ۲۲ کیلووائی متغیر بود، لیکن در موتور ۳ کیلو وائی تقریباً ثابت باقی ماند.

شکل (۱۱-۴) مصرف قدرت راکتیو موتورهای ۷/۵ کیلوواتی را نشان می‌دهد. دیگر بار، برتری موتور "با راندمان بالا" آشکار است. تنها موردی که در آن توان راکتیو جهت طراحی راندمان بالا بیش از موتور استاندارد معادل آن بود، مربوط به وقتی است که موتور ۳ کیلوواتی در بارهای بالا کار می‌کند، این امر در اطلاعات مندرج در گواهی‌های آزمون تولید کننده نیز ذکر شده بود.

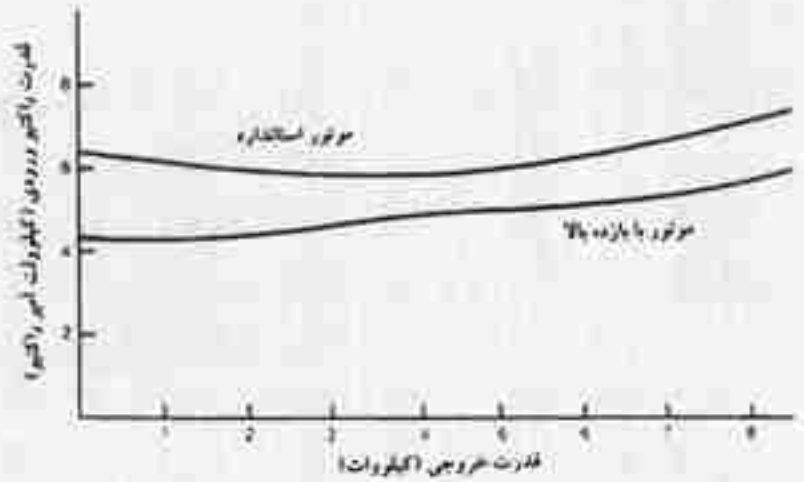
بنابراین وقتی یک موتور جدید و یا جایگزین موردنیاز است، موتورهای با بازده بالا بی‌نهایت جالب هستند. صرف کاهش هزینه انرژی، در شرایط فعلی، جایگزینی موتورهای موجود با موتورهای دارای راندمان بالا را توجیه نمی‌کند. قیمت موتور کامل به علاوه هزینه نصب آن، به قدری است که برای برگشت هزینه بیش از دو سال وقت لازم است. حتی اگر موتور به طور مداوم کار کند. تعدادی از تولید کنندگان، موتورهای "با راندمان بالا" را عرضه می‌کنند با وجود این لزوماً بازاریابی آنها تحت این عنوان صورت نمی‌گیرد در هنگام انتخاب یک موتور جدید، دانستن جزئیات فنی درباره کارآئی موتور در سرتاسر طیف بار کامل مهم است. اهمیت این امر از این روی است که موتورها به طور میانگین با ظرفیت ۶۰٪ و ۸۰٪ بار اسمی شان کار می‌کنند.



شکل ۱۱-۴ مقایسه ضریب قدرت و راندمان در موتورهای استاندارد و راندمان بالا



شکل شمارهٔ (۱۱-۳)- میزان صرفه جویی در انرژی ناشی از کاربرد
موتورهای آزمایش شده با راندمان بالا



شکل شمارهٔ (۱۱-۴)- مصرف قدرت راکتیو در موتورهای استاندارد و
موتورهای با راندمان انرژی بالا

۱-۲-کنترل کننده‌های موتور

در برخی از موارد کاربرد، لازم است که موتوری بمدت زیادی در بارهای کم‌کار کند. مثلاً در نقاله‌ها، راهروهای متحرک پرسکاری‌ها و غیره. تحت چنین شرایطی، راندمان موتور افت می‌کند چون تلفات آهنی مربوط به ولتاژ زیاد می‌شوند. برخی اوقات کنترل کننده موتور که به کنترل کننده ولتاژ معروف است،(افت راندمان موتور را کاهش می‌دهد) این عمل وقتی رخ می‌دهد که بار زیر ۵۰٪ مقدار اسمی باشد با تنظیم ولتاژ سر ترمینال‌های موتور، کاری می‌کنند که درست نیروهای مغناطیس کننده کافی را برای فائق آمدن بر تقاضای بار لازم، تولید کند. بنابراین مطابق با آن، کاهشی در تلفات آهنی بدست می‌آید و راندمان و ضریب قدرت اصلاح می‌شود.

بعلت افت ولتاژ در "تریستورهائی" که در کنترل کننده‌های موتور بکار رفته است این کنترل کننده‌های موتور، قدرت را جذب می‌کنند. این امردر بارهای بالا می‌تواند منجر به افزایش هزینه‌های عملیاتی شود و بنابراین شناخت "زمان کارکرد" برای انجام تجزیه و تحلیل کامل از هزینه و منافع اهمیت دارد.

معمولاً کنترل کننده‌های موتور دارای قابلیت‌های "راه‌اندازی نرم" می‌باشند که به طور تصاعدی در خلال دوره راه‌اندازی ولتاژ اعمال شده به ورودیهای موتور را تنظیم و تعدیل می‌کند. بنابراین شدت جریان ناگهانی را به حداقل می‌رساند و کنترل کاملی را بر موتور اعمال می کند. همچنین راه‌اندازی نرم، تنش‌های مکانیکی را در سیم‌پیچی‌های موتور و تجهیزات خارجی آن تقلیل می‌دهد.

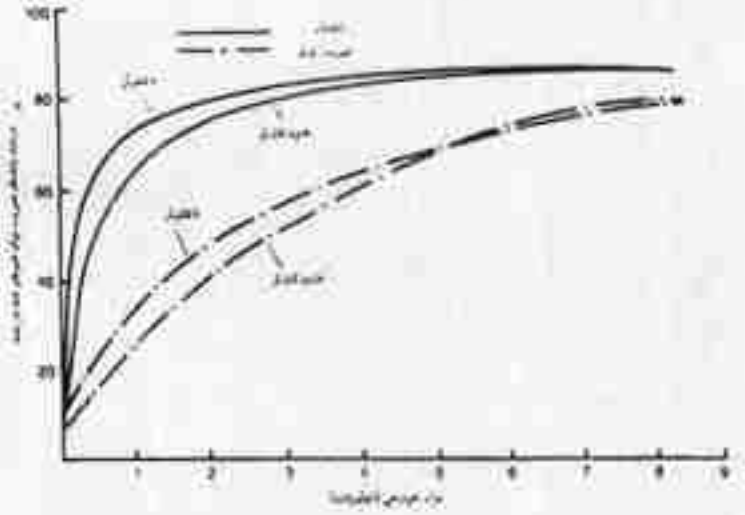
-آزمون‌های کنترل کننده‌های موتور :

تعدادی از کنترل کننده‌های موتور، تحت آزمایش قرار گرفته‌اند. مواردی از این داده‌های آزمون که انتخاب شده‌اند در شکل(۱۱-۵) نشان داده شده است. شکل(۱۱-۵) راندمان و ضریب قدرت را به تنهائی برای موتور ۷/۵ کیلووائی استاندارد و با کنترل کننده، مقایسه می‌کند. می‌توان دید که این کنترل کننده در بارهای کم موتور هم راندمان و هم ضریب قدرت را اصلاح می‌کند. دو مدل دیگر کنترل کننده نیز به این موتور متصل شدند. مدل آنورس[1] به طریقی مشابه با مدل فیر فورد[2] عمل کرد، در حالیکه نوع کندر ناسا[3] بخاطر تنزل کم ولتاژ در بارهای کم، صرفه‌جوئی‌های کمتری ارائه نمود. تفاوت کمی از لحاظ صرفه‌جوئی‌های برق قدرت راکتیو بین انواع کنترل کننده‌ها وجود داشت [شکل(۱۱-۶)]. در شکل (۱۱-۷) صرفه‌جوئی انرژی حاصله از یک موتور ۳ کیلو وات، ۷/۵ کیلووات، و ۲۲ کیلووات، همراه با یک کنترل کننده موتور نشان داده شده است. که منافع حاصله در شرایط مختلف را نشان می‌دهد.

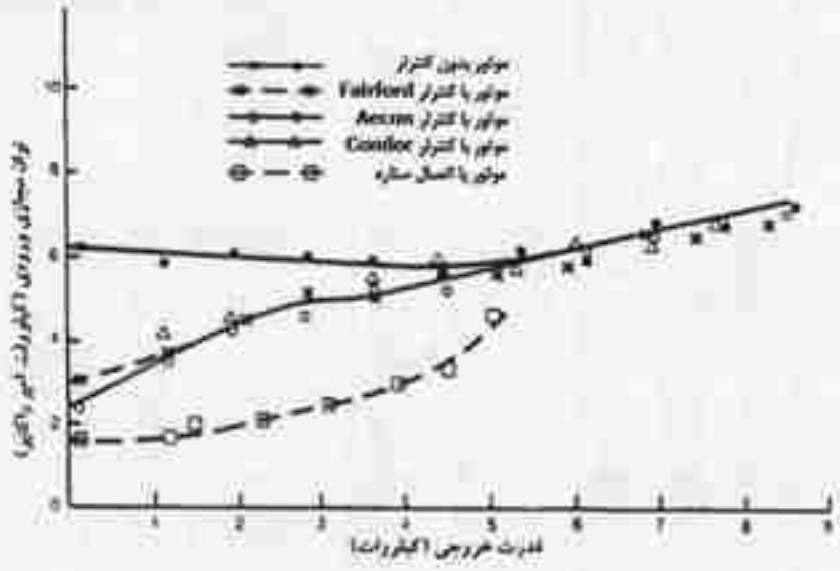
تمام موتورها و ترکیبات موتور / کنترل کننده قابلیت تحویل قدرت خروجی اسمی را داشتند.

---

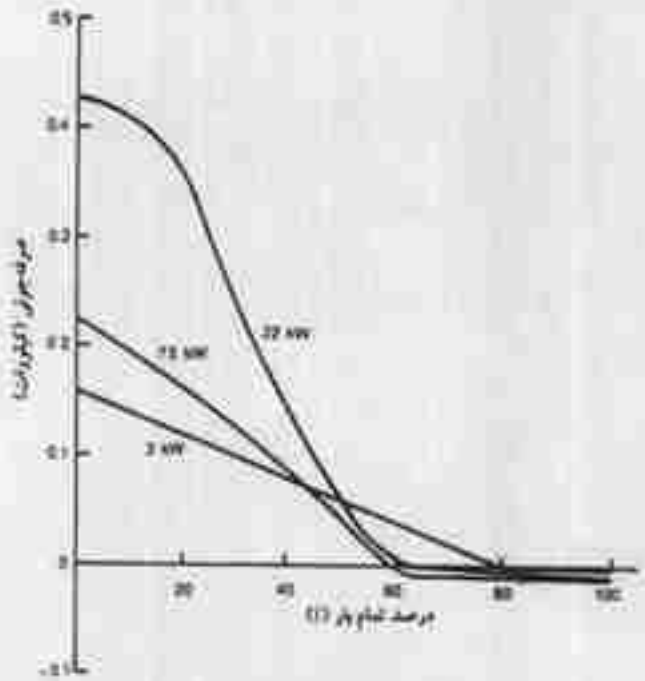
1 - Unsworth
2 - Fair ford
3 - Condor NASA



شکل شمارهٔ (۱۱-۵)- مقایسهٔ عملکرد موتور استاندارد ۷/۵ کیلووانی با کنترل کننده و بدون کنترل کننده



شکل شمارهٔ (۱۱-۶)- مقایسهٔ عملکرد موتور استاندارد ۷/۵ کیلووانی با کنترل کننده و بدون کنترل کننده



شکل شماره (۱۱-۷)- میزان صرفه جویی ناشی از کاربرد کنترل کننده‌موتور در موتورهای استاندارد

-آزمون‌های بار دوره‌ای :

همچنین طی آزمایشی درباره عملکرد دوره‌ای موتورهای استاندارد با کنترل کننده‌ها و بدون کنترل کننده‌ها، کار تحقیقاتی انجام شد. جدول (۱۱-۱) صرفه‌جوئی‌های انرژی حاصله را بر حسب KWH و KVAR نشان می‌دهد.

دو نوع از طرز بارگذاری یعنی زمان‌های کارکرد مورد بررسی قرار گرفتند:

- زمان کارکرد۱: ۲ دقیقه در بار ۱۰۰٪، ۱۰ دقیقه در بار ۱۰٪، با ۵ مرتبه تکرار.
- زمان کارکرد ۲: ۱۰ دقیقه در بار ۱۰۰٪، ۵۰ دقیقه در بار ۱۰٪.

صرفه‌جوئی‌های قدرت راکتیو[جدول(۱۱-۱)] به طور مهم و معنی‌داری بالاتر از صرفه‌جوئی‌های بدست آمده جهت توان حقیقی بوده، که اصلاح ضریب قدرت را نشان می‌دهد که خود حاصل بهبود تطابق بار است در مورد موتور ۳ کیلووائی صرفه جوئی در توان حقیقی نیز مهم بود.

وقتی که موتوری دارای زمان کارکرد بالا است (یعنی وقتی که در اکثر زمانها با بار کامل یا نزدیک آن کار می‌کند) استفاده از یک موتور با بازده بالا توصیه می‌شود. بهرحال، احتمال دارد که وقتی نیاز به جایگزینی و تعویض موتور باشد این کار بیش از هر کار دیگر بر هزینه‌ها تاثیر می گذارد. همیشه برای یک سیستم جدید، موتوری با راندمان بالا را بایستی مورد ملاحظه قرار داد.

وقتی که موتوری دارای زمان کارکرد بالا است (یعنی وقتی که در اکثر زمانها با بار کامل یا نزدیک آن کار می‌کند) استفاده از یک موتور با بازده بالا توصیه می‌شود. بهرحال، احتمال دارد که وقتی نیاز به جایگزینی و تعویض موتور باشد این کار بیش از هر کار دیگر بر هزینه‌ها تاثیر می گذارد. همیشه برای یک سیستم جدید، موتوری با راندمان بالا را بایستی مورد ملاحظه قرار داد

جدول شمارهٔ (۱۱-۱)- نتایج دوره‌ای بار که نشان دهندهٔ میزان صرفه‌جویی KVAr,Kwh هنگام استفاده از کنترل کننده موتور در موتورهای استاندارد است

کنترل کننده	زمان کار کرد	اندازه موتور(kw)	صرفه جوئی‌ها در موتورهای فاقد کنترل کننده			
			Kwh	٪	KVAr	٪
Fairford	۱	۳	۰/۱۷	۱۶/۲	۱/۲۶	۴۲/۶
FEL/E۴	۲		۰/۱۸	۱۶/۵	۱/۲۷	۴۲/۹
Fairford	۱	۷/۵	۰/۲۱	۶/۵	۱/۰۲	۱۵/۹
FEL/E۷/۵	۲		۰/۱۰	۳/۲	۰/۹۹	۱۵/۸
AECON	۱	۷/۵	۰/۲۴	۷/۴	۱/۹۸	۳۰/۹
AOPC۱۰	۲		۰/۱۴	۴/۴	۱/۷۸	۲۸/۴
Fairford	۱	۲۲	۰/۳۸	۵/۰	۵/۱۳	۳۳/۰
FEL/E ۲۲	۲		۰/۴۵	۵/۹	۵/۸۲	۳۶/۹

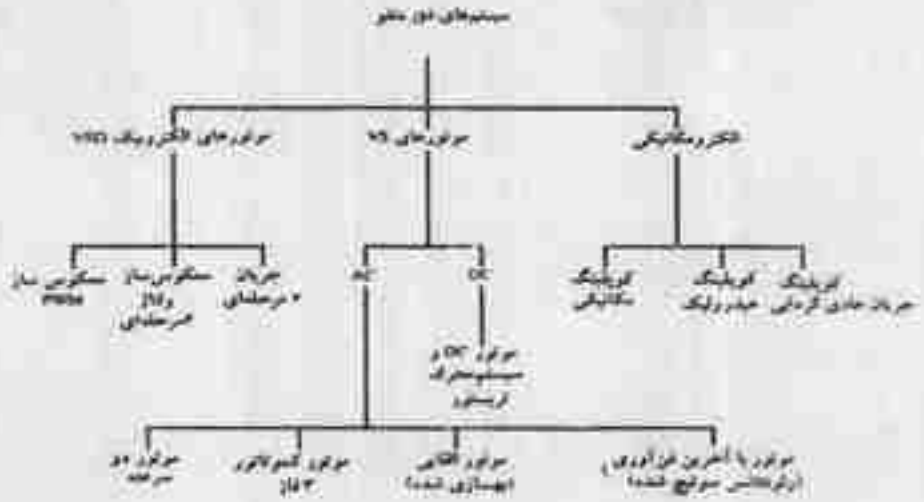
اگر بار ثابت بوده و به میزان قابل توجهی کمتر از خروجی اسمی موتور باشد، موتور کوچکتر می‌تواند مناسب باشد. در این حالت یک موتور با راندمان بالا را باید در نظر آورد.

در مواردیکه بار موتور تغییر می‌کند و مکرّراً کمتر از ۵۰٪ بار اسمی است، اضافه کردن یک کنترل کنندهٔ موتور می‌تواند از لحاظ هزینه موثر باشد. بار اینکار، موتور را قادر خواهد کرد که بار اسمی‌اش را که شاید در بخشی از زمان کارکرد، لازم باشد، ارائه دهد.

۱-۳- سیستم‌های با سرعت متغیر

هدف همه سیستم‌های دور متغیر این است ماشین امکان کارکردن در سرعتی را که به سرعت مطلوب نزدیک‌تر است و با موتورهای دارای دور ثابت قابل دستیابی نیست، پیدا کند.

سیستم‌های دور متغیر به سه دسته تقسیم می‌شوند: محرکه‌های دور متغیر الکترونیکی (VSDها)، موتورهای دور متغیر و سیستم‌های دور متغیر الکترومکانیکی. هر یک از این موارد، تقسیمات فرعی نیز دارند [شکل(۱۱-۸)].



شکل شمارهٔ (۱۱-۸)- تقسیمات سیستمهای سرعت متغیر

سیستم‌های دور متغیر به دلایل صرفه‌جوئی در انرژی، نصب نشده‌اند بلکه برای رفع حوایج فرایند یا نیازهای محیطی بکار گرفته شده اند. در نتیجه، درجه پیچیدگی آنها متناسب با شرایط فرایند تعیین می‌شود و معمولاً مستلزم آن است که سرعت ویژه مورد نیاز از قبل انتخاب شده و از میان طیف موجود با دست کنترل می‌شود.

امروزه مواردی اختیاری زیادی وجود دارد و به کمک الکترونیک مدرن با هزینه بالای برق، تغییراتی در موارد انتخاب بوجود آمده است. اکنون به قیمت نسبتاً کمی می‌توان دور بمراتب و تغییرات ثابتی از سرعت رابدست آورد، که به طور عمده توسط درجه و قابلیت انعطاف لازمه سیستم تعیین می‌شود.

اکنون امکان بالقوه سیستم‌های متنوع با تأکیدهای مخصوص بر آن دسته که جهت تعویض ادوات کهنه با ادوات جدید مفید است، ملاحظه می‌شود.

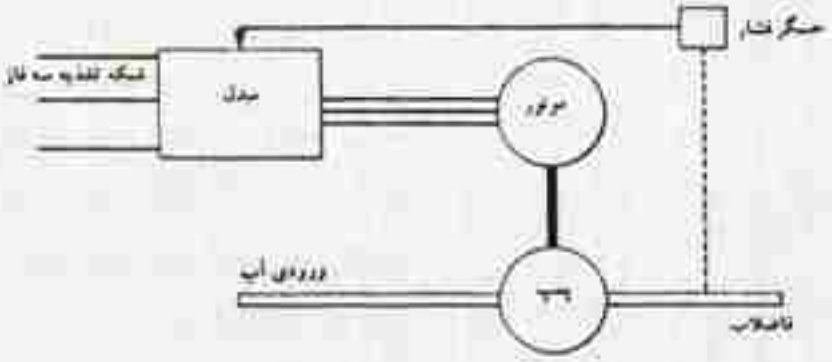
محرک های دور متغیر الکترونیکی (VSDها) :

به طور کلی محرک های دور متغیر الکتریکی با تبدیل یک منبع برق غیرقابل تنظیم به منبع برق متغیر کار می‌کنند. معمولاً ادوات الکترونیکی ولتاژ اصلی جریان متناوب را تبدیل به ولتاژ متغیر جریان مستقیم می‌کنند که بعداً معکوس شده و تبدیل به برق جریان متناوب با فرکانس متغیر و ولتاژ متغیر می‌شود (برخی از موتورهای جریان متناوب را می‌توان تنها با تغییردادن ولتاژ کنترل نمود.)

برای اینکه یک محرک دور متغیر الکتریکی عمل نماید، باید پس‌خوران[1] از یک پارامتراندازه‌گیری شده به درون مدار کنترل محرک دور متغیر وارد شود. این پارامتر می‌تواند هر متغیر مهمی باشد به شرط آنکه حسگری[2] موجود باشد تا نسبت به این تغییرات واکنش نشان دهد.

مثلاً محرک های دور متغیر الکتریکی می‌توانند از نظر فشار، درجه حرارت، سرعت، میزان و مقدار جریان حجمی، قدرت، یا ترکیبی از اینها مورد کنترل قرار گیرند. انتخاب هر کدام از این عوامل بستگی به منطق کنترل محرک های دور متغیر الکتریکی دارد.

شکل (۱۱-۹) یک مورد کاربردی محرک های دور متغیر الکتریکی که در آن سرعت پمپ جهت ثابت نگهداشتن فشار تخلیه صرف‌نظر از مقدار تقاضای مصرف کننده تغییر می‌کند، را نشان می‌دهد.



شکل شمارهٔ (۱۱-۹)- فشار تخلیهٔ پمپ کنترل کنندهٔ یک محرک دور متغیر

برخی از آخرین تجهیزات از منطق قابل برنامه‌ریزی مصرف کننده و یا نرم‌افزار پیچیده استفاده می‌کنند که مدل‌های غامض ریاضی را قادر به بهینه‌سازی مصرف انرژی و یا سایر فاکتورهای مهم می‌نماید.

محرک های دور متغیر الکتریکی علی‌الخصوص در مواردی جالب است که مدولاسیون جریان لازم باشد. مثال‌های آن، شامل پمپ‌ها، بادبزن‌ها، کمپرسورهای هوا و تبرید است. کاربرد این محرک های دور متغیرهمچنین در مواردی است که در سرتاسر یک محدوده سرعت، توان یا گشتاور ثابتی لازم باشد.

موتورهای مناسب برای کنترل * محرکهای دور متغیر الکتریکی :

نوع محرک دور متغیر را که می‌توان مورد استفاده قرار داد به نوع موتور نصب شده بستگی دارد. دو نوع اصلی در موتورهای جریان متناوب وجود دارند، موتورهای آسنکرون و سنکرون. هر دوی این موتورها را می‌توان با محرک های دور متغیر الکتریکی کنترل نمود. معیارهای عمده در ارزیابی مفید بودن یک موتور جهت محرک دور متغیر عبارتند از: موتور درکاربرد کنونی‌اش بیش از اندازه گرم نمی‌شود زیرا تهویه هوای درون آن در سرعت‌ها و دورهای پائین‌تر نقصان یافته و حرارت بیشتری در نتیجه نصب یک محرک دور متغیر در موتور ایجاد

---

1 - Feedback
2 - Sensor

می‌شود؛ اگر افزایش در مقدار دور یا سرعت پیش‌بینی می‌شود، موتور و قطعات متحرک آن از قبیل قرقره‌ها، تسمه‌ها، چرخ‌دنده‌ها و غیره بایستی تحمل نیروهای گریز از مرکز زیاد حاصل از سرعت‌های دورانی بالا را داشته باشند؛ همچنین ممکن است درسرعت‌های بالاتر (بارگذاری) بار موتور افزایش یافته و حداکثر سرعت ممکنه را محدود کند (وقتی که در وهله اول سرعت افزایش می‌یابد این امر بایستی به دقت بررسی و ثبت گردد).

انواع محرکه‌های دور متغیر جریان متناوب:

اساساً سه نوع معکوس‌کننده جریان[1] وجود دارد که عبارتند از:

- معکوس کننده با منبع ولتاژ با تلفیق پهنای پالس
- معکوس کننده با منبع ولتاژ ۶ مرحله‌ای
- معکوس کننده با منبع شدت جریان ۶ مرحله‌ای

تمام اینها را می‌توان در موتورهای موجود نصب کرد، لیکن مقداری خروج از بار یا توان اسمی برای موتور لازم است، علی‌الخصوص در مورد معکوس کننده‌های ۶ مرحله‌ای . اینکارحداکثر تا ۱۰٪ می تواند انجام پذیرد.

معکوس کننده[2] یا "اینورتر" منبع ولتاژ با تلفیق پهنای پالس:

معکوس کننده‌های ولتاژ که از نوع تلفیق پهنای پالس هستند امکان کنترل و پائین آمدن سرعت را تا حد صفر و بالا بردن سرعت را تا سه / چهار برابر سرعت عادی سنکرون فراهم می‌کنند. ضریب قدرت شدت جریان برق معمولاً زیاد است و نسبتاً در تمام محدوده سرعت ثابت می‌باشد. چون شکل "موج خروجی" نزدیک به "موج سینوسی خالص" است، بخاطر (موج‌های) هارمونیک چند مسئله معدود دربارهٔ این موتور وجود دارد. امروزه این آشناترین شکل محرکهای دور متغیر الکتریکی شده است.

مزایا :

- بازدهی بالا
- کنترل خوب در محدوده سرعت از جمله سرعت‌های پائین
- ضریب قدرت بالا
- (موج‌های) هارمونیک فرکانس پائین مشکلی ایجاد نمی‌کنند
- کار با چند موتور امکان پذیر است
- حداکثر ولتاژ خروجی برابر ولتاژ خط است
- حوزه توأوری بالا مثلاً ، محرکه‌های برداری
- می‌توان در صورت نقص محرک دور متغیرالکتریکی وسیله‌ای فرعی را (از پیش) تعبیه کرد.

معایب:

- موج‌های هارمونیک فرکانس بالا می‌تواند در این ماشین‌ها باعث سر و صدا شوند. (این نکته را از تولید کننده

1- Inverter
2 - pwm (pulse wide Modulation

بپرسید).

• ادوات الکترونیکی پیچیده فرکانس بالا در هنگام وصل کردن می‌تواند قابلیت اعتماد آن‌ها را تحت تاثیر قرار دهد.

معکوس کننده یا منبع ولتاژ ۶ مرحله‌ای :

معکوس کننده‌های منبع ولتاژ ۶ مرحله‌ای به خوبی تأیید شده‌اند و برای سرعت‌های بین یک و دو برابر سرعت‌هائی که صرفاً و به تنهائی از فرکانس استاندارد برق اصلی بکار افتاده‌اند مورد استفاده واقع می‌شوند. بهرحال وقتی که سرعت موتور کاهش یابد ضریب قدرت نیز به تبع آن کاهش می‌یابد. شکل موجی جریان متناوب با فرکانس متغیر تولید شده، از شبیه‌سازی پلکانی ۶ مرحله‌ای ولتاژ حاصل می‌شود.

مزایا :

• بازدهی بالا

• کار با چند موتور

• نوع معکوس کننده (اینورتر) کاملاً مورد تایید است.

• در مواقع نقص محرک دور متغیر الکتریکی می‌توان از ادوات فرعی استفاده کرد.

معایب :

• دارای ضریب قدرت پایین می‌باشد.

• می‌تواند گشتاورهای ضربه‌ای را در فرکانس‌های پائین به "روتور" وارد کند.

• کارائی ضعیف در سرعت پائین

معکوس کننده یا منبع شدت جریان ۶ مرحله‌ای :

معکوس کننده‌ها یا منبع جریان ۶ مرحله‌ای بر اساس اصول ۶ مرحله‌ای که به شدت جریان اعمال می‌شود بکار می‌افتند. معمولاًمحدوده سرعت به ۲۰٪-۱۰۰٪ سرعت حاصله از فرکانس برق اصلی محدود می‌شود. وقتی که این نوع کنترل کننده را به یک موتور موجود اعمال می‌کنند لازم است که بخاطر موج‌های هارمونیک و ولتاژهای بیش از حد و گذرا احتیاط کنند. شدت جریان‌های خط که وارد موتور می‌شوند حاوی موج‌های هارمونیکی هستند که مخصوصاً در سرعت‌های کم، ممکن است حرارت تولید کنند و بنابراین لازم است آن را از میزان بار اسمی خارج کنیم. بیش از حد شاید به عایق فرسوده "استاتور" فشار آورد که در آن حالت بایستی شبکه‌های مناسبی برای پراکنده‌سازی موج‌های ضربه‌ای نصب گردد. در سرعت‌های کمتر از ۵۰٪ سرعت‌هائی که توسط فرکانس برق اصلی ایجاد می‌شود، با ضریب قدرت موتور ضعیف است.

مزایا :

• نیرومندی الکتریکی

- نوع خوب تأیید شده معکوس کننده
- مدار ساده
- ترمز تجدید شونده (باز یافتنی)
- وقتی محرک دور متغیر الکتریکی دچار نقص شود می‌توان از ادوات فرعی استفاده نمود

معایب:

- ایجاد پالس‌ها و ضربه‌های مربوط به گشتاور در سرعت‌های پائین
- گشتاور کم در حال راه‌اندازی
- ضریب قدرت کم
- کنترل چند ماشینی آنقدر هم آسان نیست.
- پاسخ بازتاب ملایم
- برای اجتناب از حداکثر ولتاژ، تطابق دقیق موتور و محرک ضروری است.

انتخاب معکوس کننده:

نوع محرک دور متغیر انتخاب شده، خواه موتور آسنکرون باشد یا سنکرون، بایستی با موتور هماهنگ باشد.

انتخاب محرک دور متغیر الکتریکی مناسب به عوامل زیادی بستگی دارد. انتخاب مقدماتی را می‌توان با توجه به مزایای نسبی فوق‌الذکر انجام داد. ممکن است قابلیت تعویض محرک (با ادوات جدید) اهمیت داشته باشد، همانطور که کارهای چند موتوره این طور است. اگر کارائی در سرعت پایین مهم است، برخی از معکوس کننده‌ها را بایستی از دور خارج کرد.

ثانیاً بایستی با تهیه کنندگان تماس گرفته و قیمت‌ها را مقایسه کرد. بایستی از تهیه کنندگان خواست که هر تأسیساتی از تجهیزاتشان را که مشابه تأسیسات خواسته شده است تعیین کنند. قاعدتاً ابتدا بایستی بر روی تهیه کنندگانی متمرکز گردید که در محدوده‌ای از انواع محرکهای دور متغیر کار می‌کنند.

مراجع :

۱. اصول مدیریت انرژی ـ گرگ پی اسمیت ـ سازمان بهره وری انرژی ایران ـ ۱۳۷۶.

۲. ترازنامه انرژی ـ دفتر برنامه ریزی انرژی معاونت انرژی وزارت نیرو ـ ۱۳۸۱.

۳. گزارش‌های معیزی انرژی در صنایع سیمان ، آجر ماشینی و قند و شکر – سازمان بهره‌وری انرژی ایران ۲ و ۱۳۸۱ .

۴. بخار و تکنولوژی استفاده از آن- شرکت Spirax sarco انگلیس و شرکت TLV ژاپن

۵. مقدمه ای بر سیستم های تولید مشترک برق و حرارت ـ محمد حسن زریخش ـ مطلب میری، غلامرضا بیانی سازمان بهره وری انرژی ایران ـ۱۳۸۳.

۶. مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان (صرفه‌جویی در مصرف انرژی) – دفتر تدوین مقررات ملی ساختمان – وزارت مسکن و شهرسازی – ۱۳۸۴.

۷. جزئیات اجرایی عایقکاری حرارتی جدارهای خارجی ساختمان- وزارت مسکن و شهرسازی ۱۳۸۱

۸. عملکرد، نگهداری و بهینه سازی سیستم های گرمایش، تعویض هوا و تهویه مطبوع ـ نشریه شمارهٔ ۱۷۲ ـ سازمان مدیریت و برنامه ریز کشور ـ ۱۳۷۷.

۹. بررسی تلفات الکتریکی در شبکه برق‌رسانی – دکتر قدرت الله حیدری – معاونت برنامه‌ریزی و تحقیقات توانیر، ۱۳۸۷.

Foreign References:

١٠-" Boiler and Boiler plant Saving," AF-International AB, (Sweden, ٢٠٠٠).

١١- Donald R. Wulfinghoff," Energy Efficiency Manual," Energy Institue Press, ١٩٩٩.

١٢-" Steam Systems," Energy Efficiency Earnigs, University of Caps Town, ١٩٩٩.

١٣-"Data Book on Energy Conservation for Heat Energy Management," UN-ESCAP ١٩٩٨.

١٤-"Energy Consevation training Course Document (General)," Energy Conservation Center of Japan (ECCJ), ٢٠٠٢.

١٥-" Energy Coservation Handbook," Energy Conservation Center of Japan (ECCJ) ١٩٩٨.

١٦- Victor B. Ottaviano, Energy Management, Ottaviano Technical Services INC, ١٩٨٤.

١٧- B. Mohanty," Energy Efficiency Training,"Courses UN-ESCAP, ١٩٩٨.

١٨- Giovanmia petrecca, "Industrial Energy Management," Kluwer Academic publishers – ١٩٩٣.

١٩- L.C. Witte, P.S. Schmidt, D.R. Brown," Industrial Energy management and Utilization,"Hemisphere Publishing Corporation, ١٩٩٨.

٢٠- Charles M. Gottschalk," Industrial Energy Conservation," CMG, Paris, France, John wiely & Sons.

٢١-" Boilers and Furnaces", Energy Efficiency Earings. University of Cape Town, ١٩٩٩.

٢٢- Gonen –" Electric Power Distribution System Engineering" Mcgram Hill ١٩٨٧