

وزارت نیرو
سازمان بهره‌وری انرژی ایران (سایا)

مبانی صرفه‌جویی و اصول مدیریت انرژی

تهیه و تدوین :
کامبیز رضاپور
محمدحسن زویخش

رضافور، کامبیز، ۱۳۴۴ -

مبانی صرفه جویی و اصول مدیریت انرژی / تدوین و تألیف کامبیز رضافور، محمدحسن زربخش، ویراستار

علیرضا محمدی، تهران، سازمان بهره‌وری انرژی ایران، ۱۳۸۴

۳۴۴ بی: مصور، عنوان، نمودار.

ISBN: ۹۶۲-۶۵۵۳-۱۷-۶

فهرست نویسی بر اساس اطلاعات قبیه.

۱. انرژی - مصرف - مدیریت، ۲. انرژی - استفاده بهینه

الف. زربخش، محمدحسن، ۱۳۴۳ - ب. سازمان بهره‌وری انرژی ایران،

ج. عنوان.

۳۴۴/۷۹۱۷

۲۵ خ ۱۶۲/۲۱

۸۴-۲۹۹۶

کتابخانه ملی ایران

مبانی صرفه جویی و اصول مدیریت انرژی

ناشر: وزارت نیرو - سازمان بهره‌وری انرژی ایران (سناپا)

تألیف و تدوین: کامبیز رضافور - محمدحسن زربخش

ویراستار: علیرضا محمدی

لینوگرافی، چاپ و صحافی: طیف نگار

نوبت چاپ: دوم - پالیز ۸۸ (با تجدید نظر و اصلاح)

تیراژ: ۲۰۰۰ جلد

شابک: ۹۶۲-۶۵۵۳-۱۷-۶ / ۹۶۲-۶۵۵۳-۱۷-۶

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 منطقی‌سازی 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.

مجموعه حاضر که پس از اصلاحات لازم تجدید چلپ شده، با استفاده از مراجع معتبر و تجربیات ارزنده نگارندگان جهت تدوین مرجع جامعی در خصوص ارائه اصول و مبانی مدیریت انرژی و نحوه 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 هر یک 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 خلاهای متن حاضر و بهبود کیفی و کمی آن یاری دهند، سپاسگزاری می‌گردد.

مؤلفین

« فهرست مطالب »

عنوان	صفحه
فصل ۱- 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 فعالیت برای کاهش هزینه تولید	۱۶
۶- روش ارزیابی نتایج صرفه‌جویی انرژی	۱۹
۷- فرایندهای اساسی برای ارتقاء صرفه‌جویی انرژی در مکان تولید	۱۹
۱-۷- ساختار کمیته مدیریت انرژی	۲۱
۲-۷- ساختار فعالیت خود مدیریتی	۲۲
۳-۷- ساختار یک تیم پروژه	۲۳
۸- ده گام برای بهبود اصول صرفه‌جویی انرژی	۲۴
۹- مفاهیم و اصول مدیریت انرژی	۶۲
۱-۹- اصول مدیریت انرژی	۶۲
۲-۹- اجزای یک برنامه مدیریت انرژی	۶۴
۳-۹- اصول عمومی مدیریت انرژی	۶۵
۴-۹- برنامه‌ریزی برای مدیریت انرژی	۶۸
۱۰- تعریف مصیبت انرژی	۶۹
۱۱- ماتریس مدیریت انرژی و جایگاه آن در برنامه‌ریزی	۷۳
۱۲- شرح وظایف مدیر انرژی در یک کارخانه	۷۸
۱۳- فرایند صرفه‌جویی انرژی در یک کارخانه	۷۸

فصل ۲- مبانی صرفه‌جویی انرژی حرارتی و احتراق

۱- بررسی سیستم‌های احتراقی	۸۱
----------------------------------	----

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

فصل ۳ - 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- استفاده 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 دمنده‌های بوئیر 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- ککتورهای (گرد آورنده‌های) اصلی بخار و اتصال بهینه چند دیگ بخار با یکدیگر ۱۴۵
- ۳-۲- استفاده از شیرهای کنترل بخار ۱۴۷
- ۳-۳- شیرهای فشار شکن ۱۴۷
- ۳-۴- محاسبه میزان پاشش مستقیم بخار ۱۴۸
- ۳-۵- نشتی‌های 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 تقطیر شده ۱۵۷
- ۴-۵- محاسبه هزینه نشت بخار از تله‌ها ۱۵۱

۶-۴- مسدود شدن تله های بخار..... ۱۶۲

فصل ۴ - روش ها و تجهیزات اندازه گیری انرژی حرارتی

- ۱- آشنایی با دستگاه های معیاری انرژی ۱۶۵
- ۲- انواع دستگاه های اندازه گیری حرارتی ۱۶۶
 - ۱-۲- دستگاه تحلیل گر احتراق ۱۶۶
 - ۲-۲- دستگاه دی سنچ مافوق صوت ۱۶۸
 - ۳-۲- دماسنج مادون قرمز ۱۷۱
 - ۴-۲- جمع کننده اطلاعات ۱۷۳
 - ۵-۲- دستگاه اسپکتروفتومتر ۱۷۳
- ۳- پارامترهای قابل اندازه گیری در دیگ های بخار و کوره ها..... ۱۷۴
- ۴- موازنه جرم و انرژی ۱۷۸
 - ۱-۴- انتخاب حجم کنترل در سیستم های انرژی بر..... ۱۷۹
 - ۲-۴- موازنه جرم ۱۷۹
 - ۳-۴- موازنه انرژی ۱۸۴

فصل ۵ - سیستم های مدرن صرفه جویی انرژی

- ۱- بازیافت انرژی ۱۸۹
 - ۱-۱- منابع اتلاف انرژی ۱۸۹
 - ۲-۱- عوامل مؤثر در انتخاب سیستم بازیافت انرژی..... ۱۹۱
- ۲- تجهیزات بازیافت انرژی حرارتی ۱۹۱
 - ۱-۲- بازیاب کننده ۱۹۱
 - ۲-۲- پیش گرم کن هوای کوره ۱۹۳
 - ۳-۲- لوله های گرمایی ۱۹۵
 - ۴-۲- زباله سوزها ۱۹۷
 - ۵-۲- دیگ های بخار بازیاب حرارت ۱۹۸
- ۳- نمونه هایی از بکارگیری سیستم های بازیافت انرژی ۱۹۹
 - ۱-۳- بازیافت حرارت از کوره های عملیات حرارتی..... ۱۹۹

- ۲-۳- باز یافت 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- مدیریت مصرف انرژی در ساختمان

- ۱- مبانی مدیریت انرژی در ساختمان..... ۲۱۶
- ۱-۱- روش شناسایی منابع اتلاف انرژی در ساختمان مسکونی..... ۲۱۶
- ۲-۱- پوششها و سطوح خارجی ساختمان..... ۲۱۷
- ۳-۱- سیستمهای روشنایی..... ۲۲۳
- ۴-۱- موارد اندازه گیری..... ۲۲۴
- ۵-۱- تعیین منابع اتلاف و پتانسیل جلوگیری از اتلاف انرژی..... ۲۲۶
- ۶-۱- ارائه فهرست کنترل جهت اجرای روش..... ۲۲۶
- ۷-۱- جمع بندی..... 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
- ۳-۲- روشهای صرفه جویی 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..... ۲۴۳
- ۳-۳- تراز تلفات انرژی حرارتی از جداره های خارجی ساختمان..... ۲۴۳
- ۴-۳- امکان صرفه جویی انرژی الکتریکی و حرارتی..... ۲۴۹
- ۴- عایق کاری حرارتی ساختمانها..... ۲۵۱
- ۴-۱- انتقال حرارت از جداره های خارجی ساختمان..... ۲۵۱

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

فصل ۷- روشهای مدیریت و صرفه جویی انرژی الکتریکی

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

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

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

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

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

فصل ۹ - صرفه‌جویی انرژی در فن ها (دمنده‌ها) و پمپ‌ها

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

فصل ۱۰ - صرفه‌جویی انرژی در روشنایی و سیستم‌های تهویه مطبوع

۳۸۹	۱- بهینه‌سازی انرژی در سیستم‌های روشنایی
۳۸۹	۱-۱- مقدمه
۳۹۰	۲-۱- چگونگی تولید نور
۳۹۰	۳-۱- تعریف
۳۹۲	۴-۱- انواع منابع روشنایی (لامپ)
۴۰۳	۵-۱- مقایسه خواص منابع نور مختلف
۴۱۷	۶-۱- بالاست‌ها
۴۲۰	۷-۱- چراغ‌ها
۴۲۲	۸-۱- کنترل‌های سیستم روشنایی
۴۲۵	۹-۱- تعمیر و نگهداری سیستم‌های روشنایی
۴۲۷	۱۰-۱- محاسبات اقتصادی روشنایی
۴۲۹	۱۱-۱- جانیایی مؤثر روشنایی
۴۳۱	۲- بهینه‌سازی انرژی در سیستم‌های گرمایش و تهویه مطبوع HVAC
۴۳۱	۱-۲- تعریف
۴۳۱	۲-۲- شرایط لازم برای آسایش و سلامت انسان
۴۳۲	۳-۲- معرفی سیستم‌های نمونه
۴۳۸	۴-۲- محاسبه بار سرمایش و گرمایش ساختمان
۴۴۹	۵-۲- استفاده از کامپیوتر جهت محاسبه بار سرمایش و گرمایش
۴۵۰	۶-۲- فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی در تهویه مطبوع

فصل ۱۱ - سیستم‌های محرکه

۴۵۷	۱- سیستم‌های محرکه
۴۵۸	۱-۱- موتورهای با رانندمان بالا
۴۶۲	۲-۱- کنترل‌کننده‌های موتور
۴۶۵	۳-۱- سیستم‌های با سرعت متغیر

مراجع

۴۷۱	۱- مراجع فارسی
۴۷۲	۲- مراجع انگلیسی

فصل اول

اصول صرفه جویی

مقدمه

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

حرکت بهینه‌سازی مصرف انرژی که از اوایل دهه 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 عرصه وجود گذاشته است.

آمار و ارقام مصرف انرژی در سه دهه 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 ۲/۴ 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

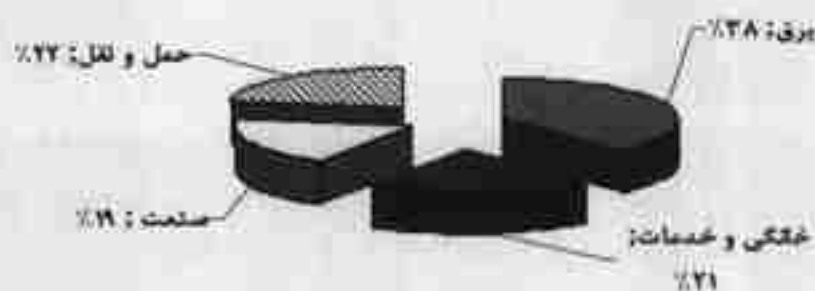
کشور می‌باشد.

۱- بررسی وضعیت انرژی در ایران و کشورهای صنعتی:

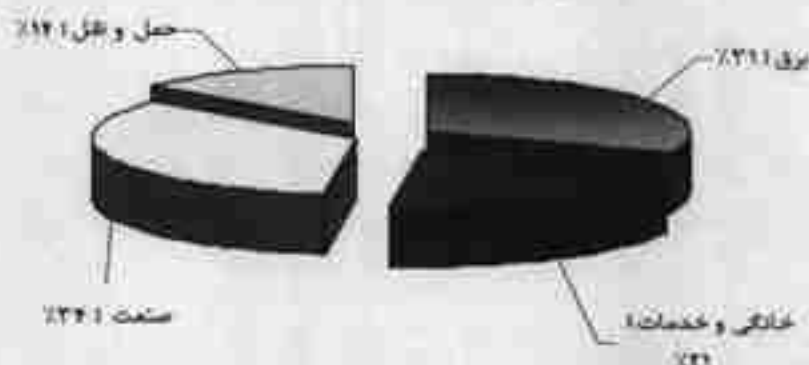
به طور کلی اگر آخرین تراز انرژی (سال ۸۶) کشور را بررسی کنیم، می‌بینیم که در حال حاضر از کل انرژی اولیه مصرفی در کشور فقط ۱٪ را انرژی‌های تجدیدپذیر و ۹۹٪ باقیمانده را انرژی‌های تجدیدناپذیر تشکیل می‌دهد که پس از مصرف، جایگزینی نخواهند داشت.

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 نهایی 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 ۲۴٪ و بخش خانگی و خدمات ۲۱٪ است (شکل ۱-۲) و در مقایسه با ایران متوجه می‌شویم که الگوی مصرف انرژی در ایران نادرست است یعنی بیشترین مصرف انرژی در بخش غیرمولد صورت می‌گیرد در حالیکه یک کشور در حال توسعه باید بخش صنعت و تکنولوژی آن بیشترین سهم از مصرف انرژی را به خود اختصاص دهد.

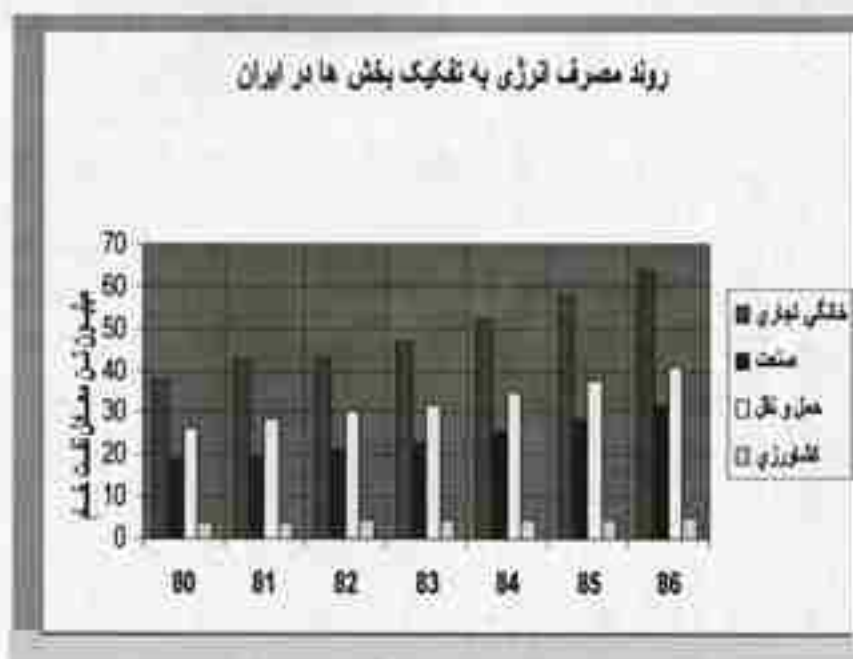
روند مصرف نهایی انرژی در کشورهای صنعتی



روند مصرف نهایی انرژی در کشورهای در حال توسعه



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



شکل (۱-۲). 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 کندهای 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) 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 طریق مختلف تأمین نماید.

— چگونه می‌توان صرفه‌جویی انرژی را ارتقاء داد؟

مفهوم اساسی صرفه‌جویی انرژی

اساس صرفه‌جویی انرژی با نگاه به موضوعات جزئی در کار روزانه و بررسی‌هایی به شرح ذیل شروع می‌شود:

- 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 روش‌های سنتی مشکلی وجود ندارد." اگر وضعیت فعلی به صورتی مؤثر برای صرفه‌جویی انرژی تغییر کند، ما به اصولی برای تغییرات در خصوص وضعیت فعلی نیاز خواهیم داشت. سه اصل "جلوگیری کردن" برای صرفه‌جویی انرژی در تغییر الگوی تفکر مفید خواهد بود که در ذیل توصیف شده است.

جلوگیری از استفاده نادرست (غیر منطقی)

جلوگیری از نشت کردن

جلوگیری از تلف شدن

این سه قاعده "جلوگیری کردن"، "اساس و مبنایی برای صرفه‌جویی 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 دمبر 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 نخواهد بود.

بر اساس سه اصل بالا، جلوگیری از استفاده نادرست، جلوگیری از نشت کردن و جلوگیری از تلف شدن، برای

صرفه‌جویی 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 می‌گوید: "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 فرایند رنگرزی ارائه می‌شود.

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

- ۱- آیا واقعاً برای گرمایش آب به این میزان انرژی نیازی وجود دارد؟
 - ۲- 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 نتیجه ناشی از ساختار تجهیزات است؟
 - ۳- 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 دربرگیرنده هدف نخستین افزایش بهره‌وری و استفاده از انرژی است و یا اینکه نتیجه عدم دقت در خصوص هزینه های انرژی در گذشته است.

جلوگیری از نشت کردن

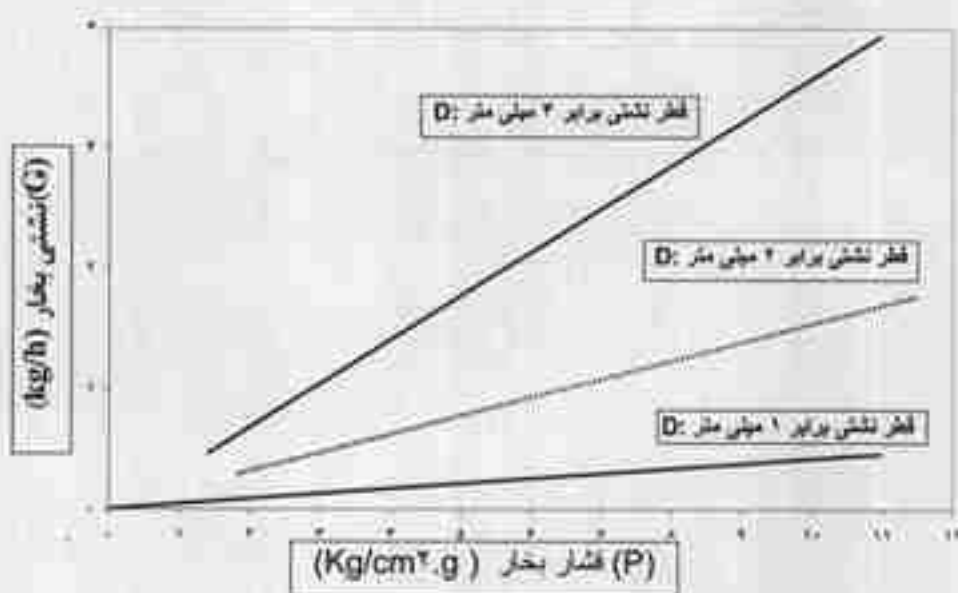
هر کسی معنی و مفهوم "توقف نشت" را می‌داند، اما آیا واقعاً معلوم است چه مقدار انرژی در اثر نشتی از دست می‌رود؟ یک نشتی بزرگ از یک شکاف زمانی رخ می‌دهد که با فشار به بیرون فوران کند. اما، یک نشتی کوچک تا زمانی که کشف شود به آرامی و پنهانی ادامه می‌یابد و مجموع اتلافی که طی زمان نشتی صورت گرفته است، رقمی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

وقتی که این میزان اتلاف را به پول تبدیل می‌کنیم، چنان رقمی می‌شود که اغلب افراد می‌گویند "می‌تواند این طور باشد". مشکل این است که افراد را باید به این آگاهی رساند که تفاوت بین یک نشت لحظه‌ای و مجموع اتلاف در یک نشت مستمر که خیلی زیاد است، چیست.

در این جا نمونه‌ای از یک کارخانه که از بخار استفاده می‌کند ارائه می‌شود. تأسیسات آن بیش از ده سال مورد استفاده قرار گرفته و فرسوده شده است، همچنین بخار در فشار بالایی تحویل می‌شود. بنابراین نشت در محل اتصال لوله و درز شیرها و مانشین دیده می‌شود.

در محاسبه ذیل با فرض اینکه نشت به مدت یکسال ادامه یابد، بنحو غیرقابل باوری مشخص می‌شود 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.

$$G = -0.0624(D)^2(P/V)^{1/2} \quad V = \text{حجم مخصوص بخار خشک} \quad [m^3/kg]$$



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

همانطور که در شکل شماره (۳-۱) نشان داده شده است، وقتی فشار بخار $(kg/cm^2.g)$ ۵ است (g به معنی فشار نسبی است)، نشت از راه یک حفره یا قطر ۳ mm به $19(kg/h)$ می‌رسد که اگر به همان حالت رها شود، ۱۱۴ تن بخار در هوا طی یک سال تلف می‌شود (با فرض زمان نشت که ۶ هزار ساعت است).

$$[کیلوگرم ساعت \times 19] [سال / ساعت] = 6000 = [کیلوگرم / سال] 114000 = [سال / تن] 114$$

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

موضوع نگران‌کننده 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 نشی" یا "توقف نشی را" به ایجاد سیستم مدیریت "جلوگیری از نشت کردن" و با ارتقاء صرفه جویی انرژی را با انجام پیشرفت‌هایی 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 می‌کند و توجه به اتلاف را آسان می‌سازد. از سوی دیگر، با جلوگیری از تلفات، درک مقدار واقعی اتلاف، مشکل بوده و به همین دلیل است که نادیده گرفته می‌شود و به طور معمول هر نوع اقدامی در زمینی انجام می‌گیرد که دیگر خیلی دیر شده است.

نشت بخار سرد و صدای زیادی دارد و بنابراین اتلاف مورد توجه قرار می‌گیرد. اما حقیقت این است که اتلاف گرمای تلف شده از منبع‌های بدون عایق حرارتی بیش از اتلاف از نشی‌ها است. اگر احساس کنید که "نمی‌تواند حقیقت داشته باشد" پس بهتر است یکبار دیگر در اطراف کارخانه خود قدم بزنید و تعداد تقاضا 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 نشی بسیار عقب‌تر هستند. در ذیل اتلافات گرما طبقه‌بندی شده است:

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

ب) گرمای تلف شده از کف ماشین‌ها و مخازن با دمای بالا و تقطیر آن

ج) گرمای تلف شده از سطح رو باز آب

د) گرمای تلف شده توسط مایع تلف شده

ه) گرمای تلف شده توسط گاز خارج شده

و) بخار لحظه‌ای تخلیه شده از لوله تخلیه بخار

ز) گرمای داده شده به آب خنک‌کننده 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 ۱- دما بالا است ۲- مساحت سطح زیاد است ۳- 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.

۲- مشکلات ارتقاء صرفه‌جویی انرژی:

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

جدول ۱-۱- مشکلات اصلی برای بهبود اصول صرفه‌جویی انرژی (۱۴ و ۱۵)

رده	مشکلات	محتوای مشکلات	وضعیت و سابقه
۱	۱- فقدان شناخت برای صرفه‌جویی انرژی	- فقدان انگیزه برای صرفه‌جویی انرژی - کالبی نیست بگویم که شما در گذشته به اندازه کافی کار کرده‌اید.	- تعامل به استفاده اضافی از هر چیزی و نبود توجه به صرفه‌جویی انرژی - ایده ای درباره ضرورت صرفه‌جویی انرژی وجود ندارد - رضایت از انرژی ثابت، قیمت پایین
	۲- فقدان شناخت 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 صرفه‌جویی انرژی وجود ندارد
۲	۳- عدم تفکیک و تجربه در فعالیت	- در حال حاضر تعدادی معدود از اشخاص دارای تجربه در صرفه‌جویی انرژی هستند	- بعثت تعلیق فعالیت جهت صرفه‌جویی انرژی تجربه و فن کافی نیست
	۴- ظرفیت اضافی (مشخصات) تجهیزات	- تحت شرایط تولید پایین طی یک دوره توسعه کنند 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	- نزول عملکرد تجهیزات صرفه‌جویی انرژی باعث افزایش غیر

ادامه جدول ۱-۱

۳-۱	۶- استفاده بیش از حد برای کیفیت	عدم توجه به استفاده بیش از حد انرژی (بیش از مقدار تلوری)	- هدایت محصول با کیفیت بالا
	۷- عدم انطباق با تجهیزات موجود	- روند کند و آهسته فرایند و عملیات باعث آماده‌سازی - عدم انطباق تجهیزات صرفه‌جویی انرژی با وضعیت فعلی عملیات	- محدودیت فضا، وسعت محصولات و...
۳-۲	۸- فعالیت نامناسب صرفه‌جویی	- فقدان انگیزه نسبت به میزان مصرف انرژی که باید مسئول مدیریت روزانه باشد، همچنین نبود آگاهی از تجهیزات	- در گذشته بخش مدیریت انرژی با متخصصان کانون فعالیت بودند
	۹- عدم انتقال تجارب و آموخته‌ها در رابطه با روش‌های صرفه‌جویی انرژی	- تکنیک‌ها در حال از بین رفتن اند (مانند احتراق، گرمایش، سرمایش، بازیافت گرما، عایق بندی گرمایی، عدم آلودگی، صرفه‌جویی انرژی الکتریکی و غیره)	- همانند مورد بالا
	۱۰- فعالیت‌های محدود و ناکافی برای صرفه‌جویی انرژی	- روش‌های مرسوم صرفه‌جویی انرژی گاهی مداوم نداد	- عدم وجود استانداردها و قوانین در رابطه با صرفه‌جویی انرژی و یا ناکافی بودن آنها

۳- عوامل مؤثر در صرفه‌جویی انرژی

در جدول شماره (۱-۲)، (۱-۳) و (۱-۴)، عوامل مؤثر در صرفه‌جویی انرژی آورده شده است.

جدول ۱-۲- رابطه بین اقدامات صرفه‌جویی انرژی و بخش کاری

بخش	مسئولیت مربوطه
(۱) تولید، مکان کار	فضاوت و تصمیم‌گیری درباره اجرای واقعی، عملیات و کار موسسه
(۲) تولید، فرایند	اطلاعات برای فضاوت و تصمیم‌گیری درباره اقلام تولید و برآورد تولید
(۳) کیفیت بازرسی	فضاوت و تصمیم‌گیری درباره محدوده کیفیت و اثر آن
(۴) برق، مواد	فضاوت و تصمیم‌گیری درباره تولید نیرو و عرضه
(۵) اندازه‌گیری و کنترل	فضاوت و تصمیم‌گیری درباره اقدام و کنترل
(۶) نصب، کارهای مهندسی	فضاوت و تصمیم‌گیری درباره طراحی نصب و شرایط کاربرد آن
(۷) ایمنی، محیط	فضاوت و تصمیم‌گیری درباره ایمنی، آلودگی و فوژین
(۸) محاسبه، بودجه	فضاوت و تصمیم‌گیری درباره برآوردها و بودجه‌ها
(۹) پژوهش مهندسی	فضاوت و تصمیم‌گیری درباره شرایط واکنش و تولید
(۱۰) سایر موارد	انتخاب پرسنلی مسئول (مقتضای امور کلی، شرکت‌های همکار و نظایر آن)

جدول ۱-۳. درجه بندی ارتباط بین هر بخش و ماهیت موضوعات مربوط به اقدامات صرفه‌جویی انرژی

ماهیت موضوع		خط		کارکنان		
		بخش	کارخانه	تجهیزات	تولید	مدیریت
مدیریت	- مدیریت فوی تر در راه انرژی موسسه - سرمایه گذاری در سطح تجهیزات روزانه	◊	■	Δ		
بهبود روندها (بزرگ)	همانگونی استانداردهای مهندسی - سرمایه گذاری وسیع در تجهیزات	■	◊	■	Δ	
بهبود روندها (کوچک)	سرور 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 سرور مجدد تجارت			Δ	■	◊

◊ : بخش مسئول

■ : بخش همکار

Δ : بخش مربوط

جدول ۱ - خلاصه نکات بازرسی فنی مهم برای صرفه‌جویی انرژی در صنایع مختلف [۱۴ و ۱۵]

صحت	مورد	ساخت آهن و فولاد		پتروشیمی	کالک و خمیر
۱- مدیریت عملیات		- شرط عملیات تجهیزات - تولید امنی - تنظیم برنامه تولید		- شکستن (کراکینگ) نفتا - کنترل احتراق کوره‌ها مانند کوره کراکینگ نفتا - نسبت جریان مجده ۱ بهینه - مطلوب و فشار بخار مطلوب هر ستون تقطیر	- فشار دمای مطلوب و تمرکز مواد اولیه در هر روند - مصرف مطلوب انرژی الکتریکی با تنظیم عملیات تجهیزات تولید و تجهیزات روند - فشار بخار تولید - صرفه‌جویی آب بیشتر - بهره‌گیری کارآمد از گرمای ضایعات
		- شرایط بازیافت انرژی - انرژی بازیافت گرمای محسوس کک و تقاریر آن - معرفی کوره گرمایش مجدد با کرایه بالا		- بازیافت گرمای انلاقی کوره کراکینگ نفتا - عایق بندی لوله و کوره‌ها - بازیافت مؤثر گرمای واکنش - بازیافت رهاکنشی بخار - گسترش مبدل های گرما	- تطبیق نقطه شبنم بالا در هود بسته ماشین اسکوپینگ کالک - نصب مبدل های گرما - نصب سیستم کنترل احتراق خودکار - بهره‌گیری از پسماندهای گرمایش - تجهیزات بازیافت گرمای تلف شده - بهره‌گیری از ضایعات بعنوان سوخت

ادامه جدول ۱-۴

	قدرت الکتریکی	• تولید نیرو با بازافت فشار بالای کوره از طریق بازافت گرمایی تلف شده • جلوگیری از رادگازی • بهبود موتورها و کنترل سرعت چرخشی	• کمربندور با گاز این بالا • توربین گاز • کنترل دور موتورها	• کنترل دور موتورها • تولید نیرو با استفاده از بخار اضافی • با فشار متوسط با پایین سوسپله • اختلاط توربین فشار توربین های • مترادف کننده با فشار پایین و غیره • صرفه جویی انرژی الکتریکی در روند شارگیری
۳- تجهیزات تولید	• ماشین ریخته گری مقاوم فلزی • آسیاب با تغذیه مستقیم • کوره پخت و حرارت مقاوم	• لوله پرتولایی با گاز این بالای کوره کراکینگ فلزا • معرفی روند دمای پایین و فشار • پایین سوسپله تعبیر کالابست • تولید کننده پلی اتیلن با چگالی • پایین تولید کننده فاز گازی پلی پروپیلن	• استفاده از فواید با تمرکز و فشار بالا و سیستم بسته	
۴- سایر موارد	• سیستم مدیریت مرکزی انرژی		• بهره گیری کارآمد از منابع بازافت شده از خمیر • تخریب کننده منابع سبک کارآمد • چندگانه ۱. دمای بالا، دیگ بازافت با فشار بالا	

ادامه جدول ۱-۴

صنعت	سیمان	شیشه	رنگ آمیزی	اتومبیل	موارد	
					۱- مدیریت عملیات	۲- تجهیزات الکتریکی
	• کنترل اجزای کوره	• شرایط مخزن لوب (شرط متعادل)	• کنترل عملیات دیگ ها • کنترل خودکار دی • تست کردن • عملیات تحت شرایط مطلوب از نظر دما و جس گرهای (مسورهای) • دما و • بررسی مجدد الکتری • گرمایش رنگ آمیزی	• کنترل عملیات تجهیزات تولید اصلی (عملیات با کارایی بالا و نظایر آن)		
	• عایق بندی بیشتر کوره ها و تطبیق پیش گرم کن ها • بهبود پیش گرم کن ها • تولید توان با استفاده از دمای انلاقی متوسط و پایین • خنک کننده کوره با کارایی بالا	• نصب دیگ های گرمایش بازماند • عملیات تجهیزات گرمایشی • عایق بندی بیشتر حرارتی مخزن لوب	• بازماند گرمایش گازهای خروجی • بازماند رهاگشی • بازماند گرمای مایع ضایعات • عایق بندی گرمایشی لوله و کوتاه کردن آن تا حد ممکن • عملیات بار لنت (التره)	• عایق بندی حرارتی و بازماند گرمایش و ضایعات از فرآیند رنگ آمیزی کوره • بازماند گرمای ضایعات در روند پردازش گرما • عایق بندی حرارتی کوره ها		
	• کنترل رانده ای ورودی مکانیکی (کنترل دور و نظایر آن) • آسیب صودی • آسیب با پیش سنگ شکن • جداکننده کارایی بالا		• کنترل دور موتور ها	• کنترل بار موتور ها در روند کار ماشین • تعمیر و نگهداری گرمایش الکتریکی (گرمکن و نظایر آن) به گرمایش مستقیم		
	• کوره با پیش گرمایش سیکلوئی جدید • کوره پیش گرمایش معلق • آسیب با کارایی بالا		• ماشین رنگ آمیزی نوعه بر • شستوگر از نوع صرفه جویی کننده در مصرف آب • تنظیم کننده گرما هرگز کن با کارایی بالا	• کاهش حجم گاز از پرخش مجدد در اتاق رنگ از فرآیند رنگ آمیزی		
			• نصب دیگ های توزیع کننده • معرفی سیستم تولید همزمان	• بازماند گرما از دستگاه زیاده سوز ضایعات (برای تولید نیرو و نظایر آن) • معرفی سیستم تولید همزمان برقی و گرما		
					۳- تجهیزات تولید	۴- سایر موارد

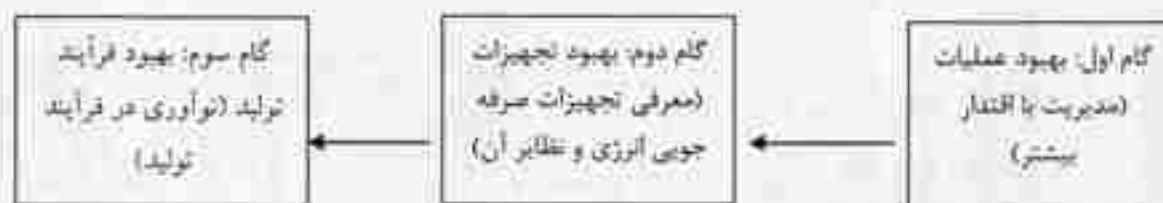
1- CO₂

2- Nsp (new suspension producer)

3- Sp (suspension producer)

۴- سه گام برای صرفه جویی انرژی

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



این سه مورد به تفصیل و به شرح ذیل می باشد.

گام اول: بهبود عملیات	بمنظور خلاصه می توان گفت که این مورد به مفهوم بهبود در شیوه و روش عملیات می باشد. هدف بهبود روش بهره گیری یا روش عملیات وسایل یا تجهیزات بدون تغییر در ساختار اصلی آنهاست. به عنوان مثال تنظیم نسبت هوا به فشار کوره در یک کوره احتراقی یکی از نظایر آن می باشد. امتیاز این روش آن است که انجام این کار بدون هزینه های زیاد میسر است. تلاقی در جهت ارتقاء آگاهی کارگران و کارمندان از موضوع صرفه جویی انرژی و آموزش آنها در ارتباط با فرآیندهایی مانند نمودارهای علت و معلول و نظایر آن کار آمد است.
گام دوم: بهبود تجهیزات	در اینجا صرفه جویی انرژی با به روز کردن تجهیزات یا تجدید وسایل برای کارایی بالاتر تحقق می یابد. برای مثال بهبود یا خود کار کردن تجهیزات کنترل دور یک موتور، طولانی ساختن هر یک از اینها محاسبه قابلیت سود و تأثیر سرمایه گذاری لازم است (سال های استهلاک)، که میزان سرمایه گذاری 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 بازریخته مستقیم بعد از آهنگری، داشتن روشن غشاء تبادل یون در ساخت کربن سدیم و نظایر آن. هر چند سرمایه گذاری در مقیاس وسیع در کارخانه و تجهیزات مورد نیاز است و خطرات (ریسک) هم قابل توجه است اما انتظار می رود که تأثیرات آن خیلی برجسته باشد. این نوع بهبود نیازمند همکاری تمام شرکت از جمله بخش پژوهش و توسعه است.

۵- صرفه‌جویی انرژی بعنوان فعالیت برای کاهش هزینه تولید

رابطه بین نتایج صرفه‌جویی انرژی و کاهش هزینه تولید در جدول ۱۵ نشان داده شده است. این موضوع در زیر بصورت خلاصه ارائه می‌شود:

۵-۱- صرفه‌جویی انرژی یعنی کاهش هزینه تولید

وقتی که هدف کاهش هزینه تولید باشد، موضوعات اصلی و اساسی عبارتند از: هزینه‌های انرژی، هزینه‌های مواد، هزینه‌های کار و نظایر آن. در میان آنها صرفه‌جویی 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.

۵-۲- 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.

۵-۳- 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، الکتریسته بجای بخار استفاده می‌شود و پیش‌بینی توازن تقاضا و عرضه در میان مدت ضروری است.

۵-۴- بهبود در صرفه‌جویی انرژی اثرات چشمگیری بر سایر هزینه‌ها دارد.

بهبود در صرفه‌جویی انرژی اغلب در کاهش سایر هزینه‌ها نیز سهیم است (هزینه‌های مواد، هزینه ملزومات قابل توسعه، هزینه‌های نیروی انسانی، هزینه‌های 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 صرفه جویی انرژی بر هزینه های گوناگون

[illegible]

۶- روش ارزیابی نتایج صرفه‌جویی انرژی

همانند سایر معیارها ارزیابی روش‌های ارزیابی نتایج صرفه‌جویی انرژی انواع گوناگونی دارند که مناسب‌ترین 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 (KI) و نظایران است و برای تولید، کیلوگرم (Kg) دما ($^{\circ}C$ یا k)، (کیلولیتر (KI) و نظایران می‌باشد.

روش ارزیابی (مثالها):

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

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

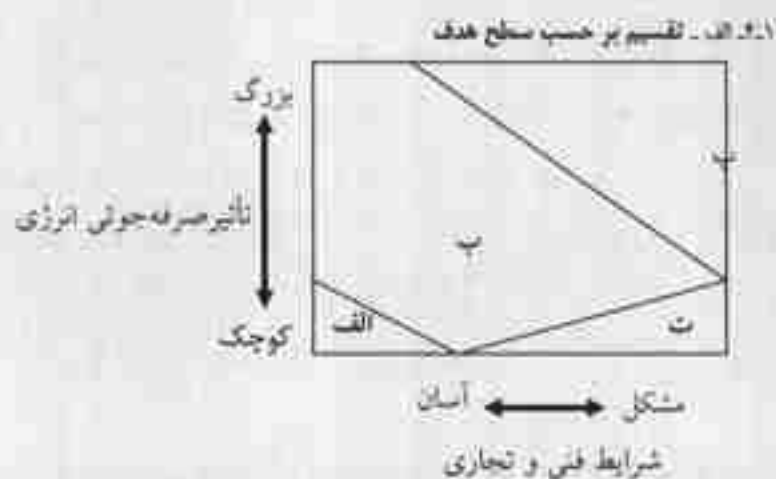
$$۳- \text{نیاز هزینه انرژی واحد تولید (تن / ریال)} = \frac{\text{هزینه انرژی}}{\text{مقدار تولید}}$$

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

۷- فرایندهای اساسی برای ارتقاء صرفه‌جویی انرژی در مکان تولید

یک سازمان و منابع انسانی آن باید براساس این روندها اصول صرفه‌جویی انرژی را بهبود دهند و در رسیدن به نتایج مطلوب سهیم باشند. برای بهبود اصول صرفه‌جویی 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 صرفه‌جویی انرژی، واحدهای مورد نیاز باید با یکدیگر همکاری کنند. اگر لازم باشد، باید یک سازمان خاص یا واحد خاص صرفه‌جویی انرژی ایجاد شود.

یک مثال به قرار ذیل است:



۱-۲ ب - اهداف و ساختار اجرایی

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

شکل ۱-۴ - سازمان و وظایف صرفه‌جویی انرژی در آن

شرکت می‌تواند زیرمجموعه‌های مختلف درون سازمانی داشته باشد، که این زیرمجموعه‌ها به قرار زیر

است:

(۱) کمیته مدیریت صرفه‌جویی انرژی

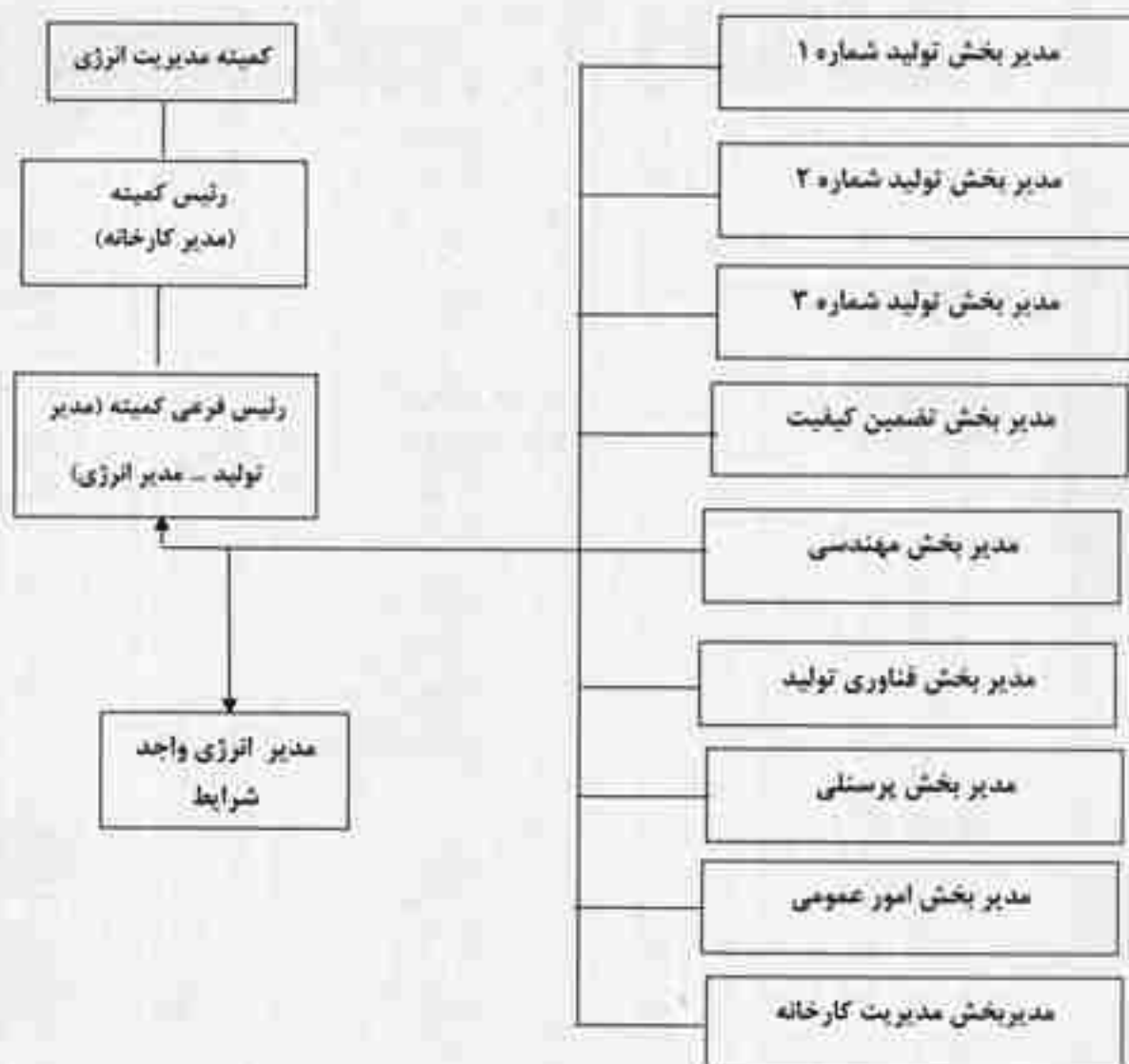
(۲) فعالیتهای خود مدیریتی

(۳) تیم پروژه

۷-۱- ساختار کمیته مدیریت انرژی

این ساختار اغلب در فعالیت مدیریت انرژی حراقتی استفاده می‌شود. 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 ۵-۱- مثالی از ساختار کمیته مدیریت

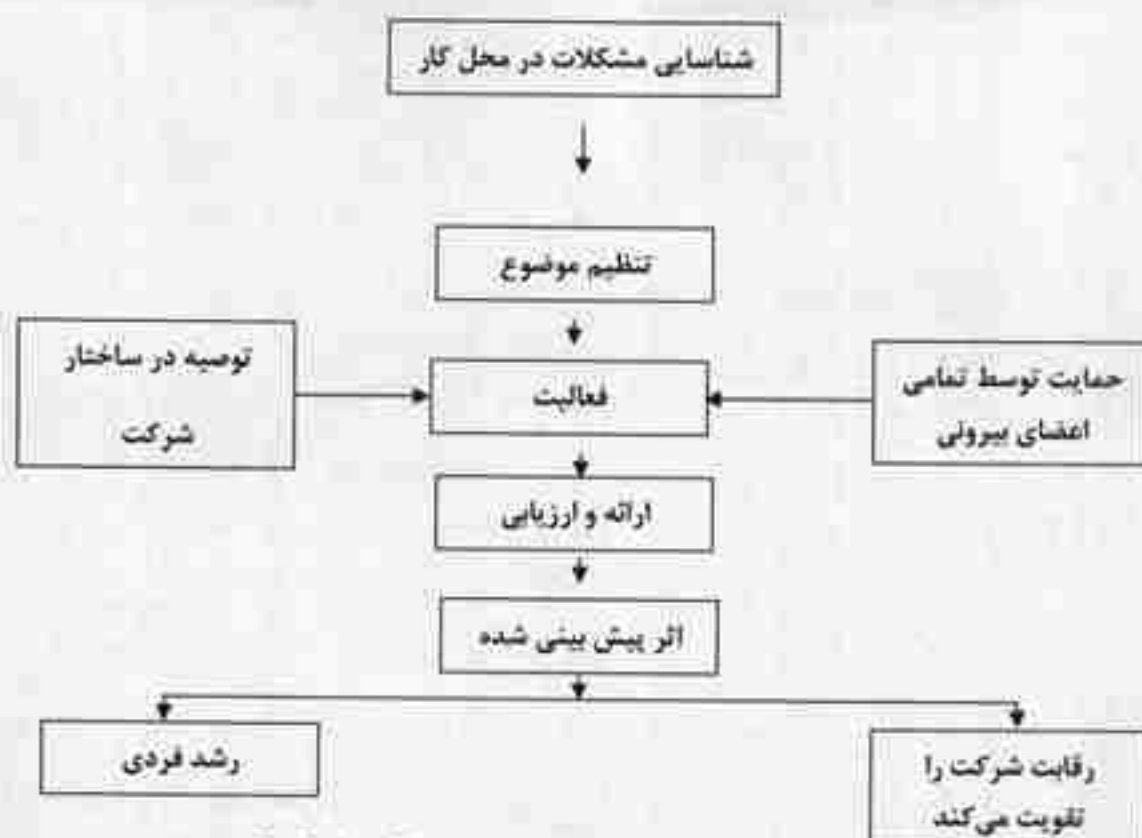
این نوع ساختار بطور کلی در نخستین مرحله بهبود اصول صرفه‌جویی انرژی مؤثر است. اما در دراز مدت، تحقیقات نشان داده است به علت رفتار و عادات کارگران، اجرای بعضی از راهکارها با مشکل مواجه می‌شود و این امر باعث نبود جدیت در کارها شده که اغلب در مرحله اجرای طرح مشکل ایجاد می‌کند.

۲-۲- 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 صرفه‌جویی 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^۱ را معرفی کرده‌اند و در دراز مدت با ارتقاء پایدار بهبود مطالعات به نتایج مثبتی دست یافته‌اند.



شکل ۶-۱- فعالیت خود مدیریت توسط گروه‌های کوچک

۳-۷- 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 یا روند خاص، تیم تقسیم می‌شود و اعضای تیم به مکان‌های اصلی خود باز می‌گردند. پس این نوع ساختار یک تیم کوتاه مدت، موقت، فشرده با اعضای کوچک برای حل مشکلات خاص است (جدول ۶-۱). 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 ۶-۱ - مقایسه‌ای بین نوع سازمان و فعالیت‌های نوع تیم پروژه

نوع فعالیت سازمان	نوع فعالیت تیم پروژه
تیم 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
رابطه‌ای 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

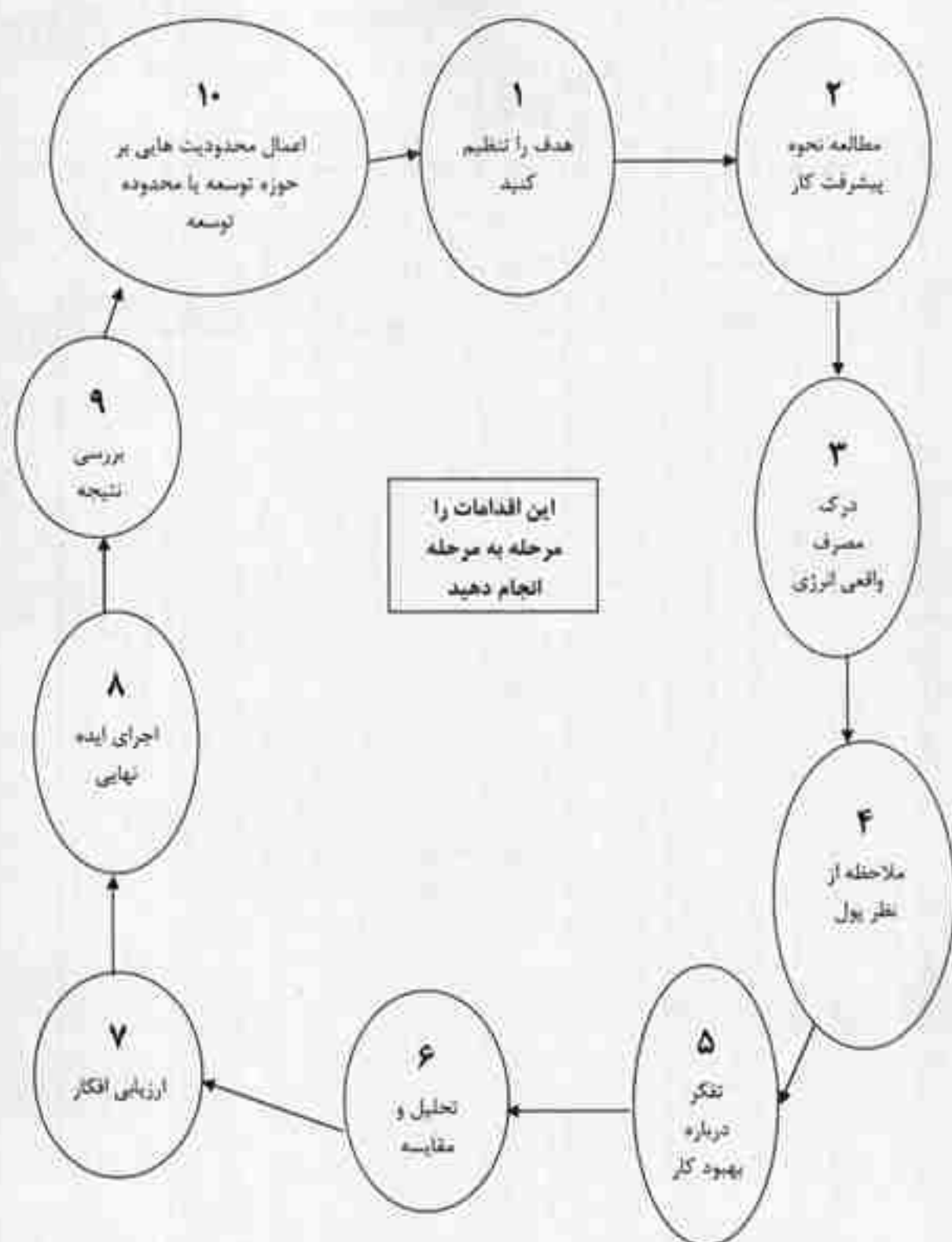
۸- ده گام برای بهبود اصول صرفه‌جویی انرژی

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

روش‌های مختلفی برای این کار وجود دارد و روش خاص مدیریت بوسیله اهداف به‌قرار روند نشان داده شده در شکل شماره (۷-۱) است.

این نکته مهم خواهد بود تا در جهت بهبود اصول صرفه‌جویی انرژی عبورانه، براساس روند تلاش کنیم به احتمال زیاد، مشکلاتی در راه خواهد بود اما ده گام به کارگران کمک خواهد کرد تا بتجوی مؤثر و با اعتماد، کار 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 همکاری کنند.



شکل ۱-۷. ده گام برای بهبود اصول صرفه‌جویی انرژی (۱۴ و ۱۵)

۸-۱- 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 می‌شوند شرح جدول ۷-۱ است.

جدول ۷-۱- مثال‌های کلی جهت تصمیم‌گیری در زمینه یک هدف

نوع هدف	نمونه‌های هدف	مقایسه و ارزیابی
۱- هدف انتزاعی	• بیایید هدفمان شماره ۱ در جهان باشد • بیایید در مورد موضوعات کارآمد فکر کنیم	این موارد فقط مثل یک شعار به نظر می‌رسد و فاقد قدرت اجرایی است (در پایان آنها فقط کلماتند)
۲- هدف واقعی	• بیایید حداقل یک مورد بیهوده را در تمامی تجهیزات به انجام برسانیم	
۳- هدف مقدار مطلق	• بیایید به کمتر از $10^4 \times$ کیلوگالری بر ثان از نیل سوخت در واحد برسیم • بیایید به کمتر از $10^4 \times$ کیلووات ساعت نیرو در روز از نیل برق در واحد برسیم	این موارد نمونه‌های خوبی هستند چون واقعی است و احتمال ارزیابی عینی آنها وجود دارد (پیگیری آنها آسان است)
۴- هدف مقدار نسبی	• بیایید به $10^4 \times$ ریال صرفه‌جویی به‌صورت مطلق از طریق صرفه‌جویی انرژی دست یابیم	
۵- سایر	• بیایید بنگاه ایده صرفه‌جویی انرژی بیشتر از $10^4 \times 100$ ریال برای هر نفر در تیم خودمان پیشنهاد (انرژی) کنیم • بیایید بیش از ۱۰۰ فکر مورد توسعه را پیشنهاد کنیم	اینها واقعی اند، اما کسب نتایج مستر بعد از شروع فعالیت مشکل است

انتخاب هدف به وضعیت خاص بستگی دارد؟

انتخاب مناسب‌ترین 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 ۱- شناسایی مشکلات و موضوعات مطالعه برای بررسی
روند برای تنظیم هدف

- ۱- گرایش‌ها، نحوه تفکر و جهت‌گیری مدیر خود و سایر همکاران را از نزدیک در محل کارتان بررسی کنید.
- ۲- آیا مدیر مربوط یا مدیران بخش‌های دیگر نیاز یا تقاضایی خاص دارند؟
- ۳- در خصوص هزینه‌های نتایج، و بودجه صرفه‌جویی انرژی چگونه؟
- ۴- درباره نیازهای واحد انرژی و تجهیزات صرفه‌جویی انرژی در مقایسه با سایر شرکت‌ها در همان صنعت چه می‌توان گفت؟
- ۵- آیا کارایی هر مورد را به طور مجزا می‌توان بهبود بخشید؟
- ۶- آیا مشکلات آتی یا از قبل پیش‌بینی شده را می‌توان بررسی کرد؟
- ۷- آیا اهداف، مقاصد و یا نشان‌ها را براساس نتایج تقسیم مصرف انرژی براساس روندها و اشکال مصرف می‌توان تنظیم کرد.
- ۸- در زمینه بازتاب فعالیت‌ها آیا هیچ هدف دست‌نیافتنی 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 ۲- شناسایی مشکلات و موضوعات

- با ارزیابی تمام مشکلات و موضوعات پیشنهادی، برای بررسی و مطالعه، مهم‌ترین مواردی که می‌توان به آنها پرداخت (جدول ۱-۸) به‌قرار ذیل است:
- ۱- ضرورت و وسعت بهبود کار (راه حل) را ارزیابی کنید، شایستگی‌ها، میزان فوریت، محدوده مشکل، چشم‌اندازهای آینده و گرایش‌ات مدیر مربوط را ارزیابی کنید.
 - ۲- قدرت تیم را ارزیابی کنید.
 - چند نفر- ساعت برای فعالیت نیاز است؟

دوره فعالیت چه مدت است؟

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

۳- از مدیر مربوط و سایر دست‌اندرکاران بسته به نسبت دخیل بودن در مشکل یا موضوع، نظرخواهی کنید.

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

شماره	موارد ارزیابی	ضرورت بهبود					نیروی تیم			ارزیابی کلی		
		شاخصی ها	ترتیب اولویت	میزان راجعت	آینده	چشم انداز	دانشی	جهت گیری	مشترک		ساختار مورد نیاز	نیروی فعالیت
	مشکلات	۳۰	۲۵	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۵	۵	۵	۱۰۰
۱	روند گرمایش به معنی یک تنگنا برای کارایی هزینه سوخت بالاست	۳۰	۲۵	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۲	۳	۳	۹۲
۲	توجه آب منطقه با ۱۰۰ تا ۳۰۰ ریال و نیروی الکتریکی نیز به همین صورت مورد استفاده است	۲۵	۲۵	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۵	۳	۵	۹۲
۳	نیاز انرژی برقی واحد ۱/۲ برابر بالاتر از سایر شرکت هاست	۲۰	۲۰	۱۰	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۷۵
۴	کارایی پایین استفاده از بخار	۱۵	۱۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵۸

روند ۳- 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- شناسایی تکنیک برای پرداختن و حل مشکل

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

۳- شناسایی نسبت هزینه انرژی به هزینه تولید و پیش‌بینی هزینه افزایش آن

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

روند ۴- 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.

۱- از اصطلاحات کلی استفاده نکنید.

۲- از تکرار بردن اصطلاحات مبهم پرهیز کنید.

۳- از عبارت بررسی مجدد استفاده نکنید.

۴- از تکرارگیری عناوین قرعی غیر ضروری پرهیز کنید.

روند ۵- هدف را مشخص کنید

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

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

الف - بیشترین استفاده را از داده‌های گذشته حاصل کنید.

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

ج - اجماع نظر همه اعضای گروه یا نزدیک ترین دیدگاه‌ها به آن را اتخاذ کنید.

• تأثیر مورد انتظار تغییرات باید تا حد امکان واضح باشد تا هم شایستگی‌های اقدامات و هم نفوذ ساعت مورد نیاز را نشان دهد.

۲- 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 نظایران را مشخص کنید. علاوه، اگر داده‌هایی در ارتباط با سیاست شرکت در مقایسه با شرکت دیگر در همان صنعت وجود دارد، شما باید این را تشخیص دهید و دستمندی 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 با مقصد فعالیت صرفه‌جویی انرژی است.

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



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	مینا	۲۰٪	۳ ماه بعد از شروع فعالیت
۲	بهبود کارایی فرایند	۹۰ واحد در روز	۱۰۰ واحد در روز	۵ ماه بعد از شروع فعالیت

اهداف غیر از صرفه‌جویی انرژی باید همزمان مکتوب شود.

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

• جدولی را برای برنامه ارتقاء تهیه کنید (جدول شماره ۱-۹)

- از روش ۵ Ws و ۲ Hs استفاده نمایید (این روش شامل نخستین حروف کلمات چه کاری؟، چرا؟، چه کسی؟، چه وقت؟، کجا؟، چگونه؟ و چه مقدار؟ 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 ۱-۹ نمونه بررسی ارتقاء با استفاده از روش $5Ws$ و $2Hs$ (۱۴ و ۱۵)

مورد	هدف	مقادیر
۱- چه چیزی باید انجام شود؟ چه چیزی	لرزی هدف	در خصوص مقدار صرفه جویی لرزی هدف تصمیم گیری کنید و یک مقاله در توصیف برنامه هایی که برای رسیدن برنامه لازم است تهیه کنید
۲- چه کاری باید انجام شود؟ چرا	هدف دلیل	هزینه لرزی خیلی بالا است جایی برای صرفه جویی لرزی هست وضعیت سوخت مشکلات زیست محیطی و نظایر آن
۳- چه کسی آن را انجام می دهد؟ چه کسی	شخص مسئول شخص متصدی	تمام اعضا باید با هم برای ارتقاء اصول صرفه جویی لرزی همکاری کنند کار را تقسیم کنید هر عضو باید مسئولیتی برای وظایف انفرادی تعهد گیرد
۴- 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 کار علقه تحت تعمیر است؟
۵- کجا انجام می شود؟ کجا	تجهیزات اهداف مکان بخش	تا چه حد فعالیت برای کارایی تجهیزات انجام می شود؟ کدام بخش فعالیت را انجام می دهد در کدام محل؟ آیا نیازی هست از بخش دیگری برای همکاری سوال کرد؟
۶- چگونه باید انجام شود؟ چگونه	وسایل ترتیب سختش (اقدام)	ده گام برای صرفه جویی لرزی چگونه ارتقاء می یابد؟
۷- چقدر ارزش خواهد داشت؟ چه مقدار	بودجه هزینه	چقدر بودجه و هزینه برای بهبود کار مورد نیاز است؟ چگونه بودجه و هزینه می تواند 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. به منظور تضمین همکاری یکتاواخت بین بخش‌ها، شخص متصدی هر بخش را مشخص کنید.

برنامه‌ای را در نمودار گانت^۱ 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 صرفه‌جویی انرژی دوره فعالیت معمولی ۶ ماه است و اگر مدت آن طولانی‌تر شود، قدرت فعالیت و اندازه آن کاهش می‌یابد.

جدول ۱-۱۰ نمونه یک نمودار گانت برای ارتقاء صرفه‌جویی انرژی

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

عوامل علمی برای نتیجه‌گیری در صرفه‌جویی انرژی

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

- ۱- آموزش درباره صرفه‌جویی انرژی
 - اهمیت صرفه‌جویی انرژی
 - واحد قیمت انرژی و هزینه آن
 - فناوری، روش صرفه‌جویی انرژی
 - تجربه صرفه‌جویی انرژی (شامل آموزش کاربردی در صرفه‌جویی انرژی)
- ۲- بررسی مجدد ساختار صرفه‌جویی انرژی
 - تربیت یک نفر به عنوان راهبر که کارآمد باشد
 - ایجاد یک تیم، به‌طور عمده شامل اعضای فعال برای درگیر شدن اختصاصی در فعالیت‌های صرفه‌جویی انرژی در یک دوره مشخص
 - برنامه ریزی مشترک با بخش تولید و بخش تجهیزات
 - همکاری استوار و پابرجا بین بخش‌های دخیل در صرفه‌جویی انرژی
- ۳- ایجاد روش‌های صرفه‌جویی انرژی
 - ایجاد دستور العمل‌ها و روندها برای بهبود اصول صرفه‌جویی انرژی
 - تربیت سرمایه‌ای که توان اجرای شیوه‌های صرفه‌جویی انرژی را داشته باشند
- ۴- 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 اتلاف

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

یک ضرب‌المثل قدیمی می‌گوید: "اگر شما خود و دشمنان را بشناسید هیچ چیز از بین نمی‌رود". این قضیه در خصوص صرفه‌جویی انرژی نیز صادق است. بنابراین، در بهبود اصول صرفه‌جویی انرژی، آگاهی از وضعیت مصرف انرژی مهم است. لازم است بطور کامل درک کنیم چه نوع از انرژی مصرف می‌شود؟ چه مقدار انرژی مصرف می‌شود؟ درجه مکانی انرژی زیادی مصرف می‌شود؟ به چه شیوه‌ای انرژی مصرف می‌شود؟ یا در چه مکانی انرژی بیشتر تلف می‌شود؟"

فعالیت‌های 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 داده‌ها و تبیین آنها از طریق استفاده از ارقام و جدول‌ها انجام می‌شود.

چگونه باید بررسی وضعیت موجود را بهبود بخشید



شن 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 می شوند می توانند بسیار مفید بوده و مزایای قابل توجهی را داشته باشند.

وقتی نمودارها ترسیم می شود، این موضوع حائز اهمیت است که حامل های 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 مقدار خرید و بخار براساس میزان مصرف، محاسبه می شود.

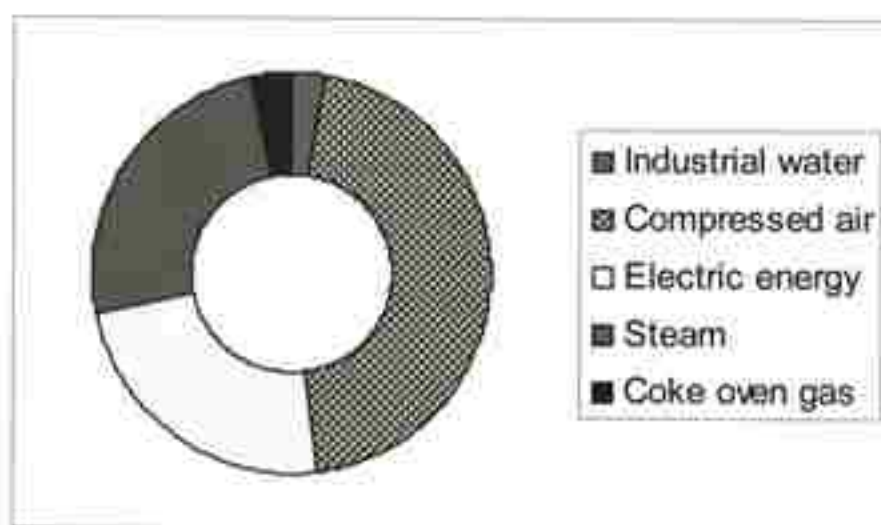
جدول ۱-۱۱-۱. نشی نمودار برای درک انرژی

نشی استفاده	انواع نمودار
برای کسب اطلاعات جهت تمرکز به اتخاذ اقدام و بررسی صرفه جویی انرژی بکار می‌رود	۱- نمودارهای مختلف مصرف انواع انرژی ها را نشان می‌دهند
برای بررسی عوامل تغییر مصرف انرژی یا نتایج صرفه جویی انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرد	۲- نمودارهای مدیریت تغییر در نیاز انرژی واحد را نشان می‌دهند
برای شناخت وسعت نزدیک شدن به هدف بکار می‌رود. همچنین در تنسيق سایر بخش های مربوطه مؤثر است	۳- نمودارهای مبته ای* جایگاه فعلی را نشان می‌دهند
برای سطح برنامه تولید و کسب متجی های انحراف از معیار (رگرسیون) مصرف انرژی و نیاز واحد درگیر در تولید بکار می‌رود	۴- نمودارهای پیوستگی عوامل مؤثر بر تغییرات در نیاز انرژی واحد انرژی را نشان می‌دهد
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	۵- نمودارهای جریان گرما (نمودار توازن گرما) انرژی در حال گریز را نشان می‌دهد
برای مثال برای کسب مواد لازم در بررسی امکان باز یافت گرمای اتلاقی، مانند وضعیت حقیقی گرمای اتلاقی با مقدار آن که توسط دما جتا شده بکار می‌رود	۶- هیستوگرام که وضعیت واقعی گرمای اتلاقی را نشان می‌دهد

آماده سازی 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.

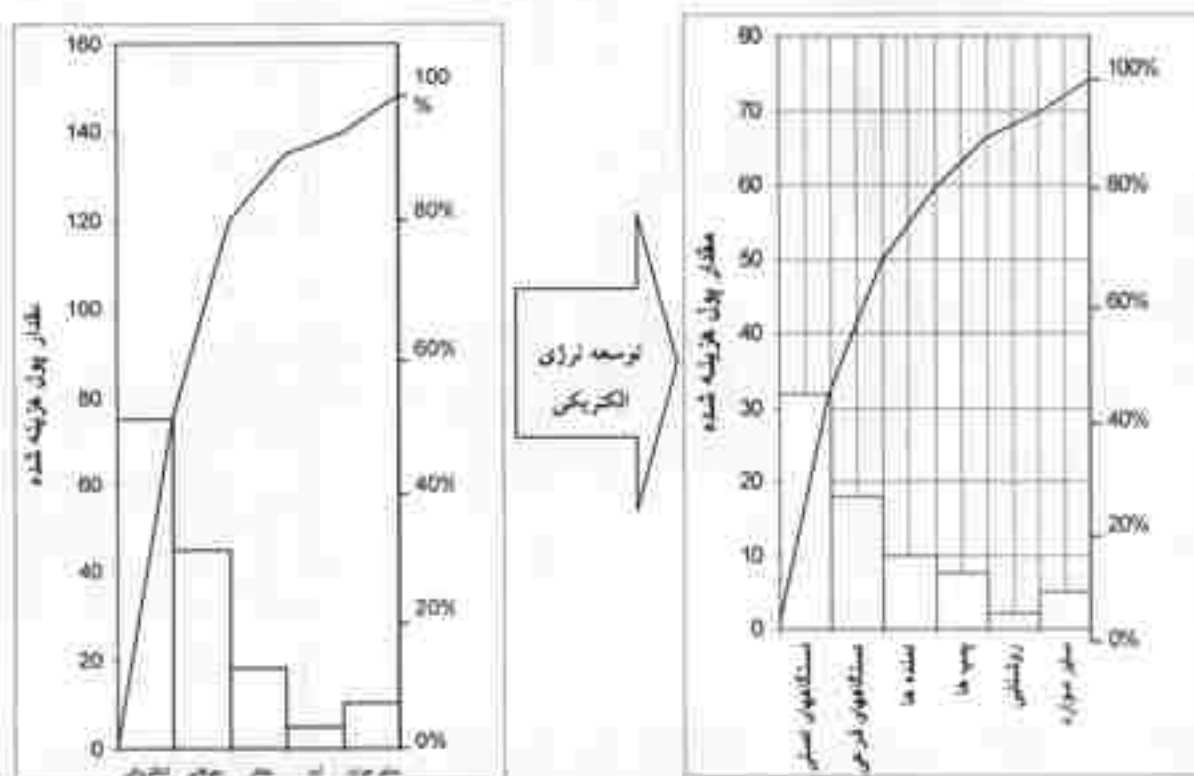
۱- نمودارهای دایره‌ای، شکل ۱-۸ با تهیه یک نمودار دایره‌ای که مصارف متنوع انرژی مانند سوخت، برق، بخار و غیره را نشان داده، وضعیت حقیقی مصرف انرژی را بصورت واضحی ارائه می‌کنند. همچنین اطلاعات مهم را برای تمرکز بر توسعه و استمرار صرفه جویی انرژی فراهم می‌سازد.

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



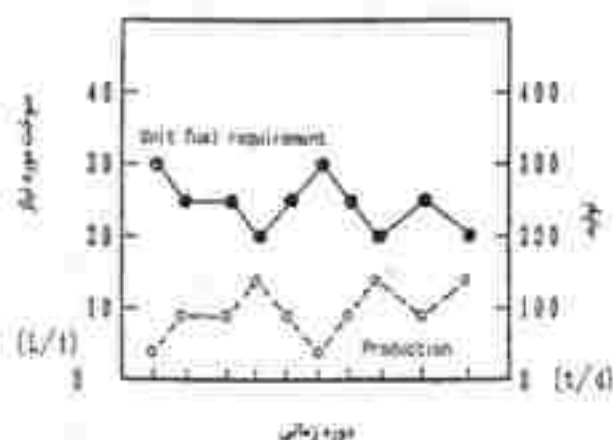
شکل ۱-۸ - نمودار دایره‌ای جزئیات مصارف متنوع انرژی

- نمودار پارتو که در شکل شماره (۹۱) نشان داده شده است، دارای ویژگی‌های ذیل است:
- یافتن اینکه کدام مورد (تجهیزات) بیشترین انرژی را مصرف می‌کند.
 - 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 سرعت دید و تشریح آن آسان خواهد بود.



شکل ۹-۱- نمودار پارتو

- ۲- یک نمودار مدیریتی که تغییرات را در نیاز واحد انرژی، نشان می‌دهد.
- نیاز بالای واحد انرژی به معنی کارایی انرژی است و مقدار کم به معنی نتیجه مطلوب است.
 - اگر این مقدار به درستی معلوم نشود، در درک برنامه صرفه‌جویی انرژی مشکل ساز خواهد بود.
 - نمودار مدیریتی همچنین برای بررسی نتیجه برنامه صرفه‌جویی انرژی بکار می‌رود.
 - تکرار بررسی ممکن است (روزانه، هفتگی یا ماهیانه) براساس وضعیت باشد.



شکل ۱-۱- نتیجه تغییر در واحد سوخت^۱

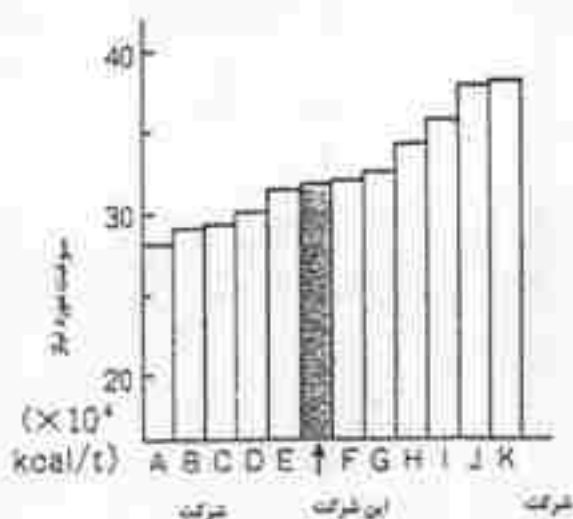
$$\text{نیاز سوخت واحد} = \frac{\text{مصرف سوخت}}{\text{مقدار تولید}}$$

۳- 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 میله ای نیز ممکن است برای بدست آوردن یک مقدار مرجع تصمیم گیری در زمینه ارتقاء مقدار هدف برای دوره بعد بکار رود. همچنین در تشویق و ترغیب بخش های مربوط مفید است.

وقتی که عوامل مشکل بر روی محور مختصات در نظر گرفته می شود، نمودار میله ای 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.

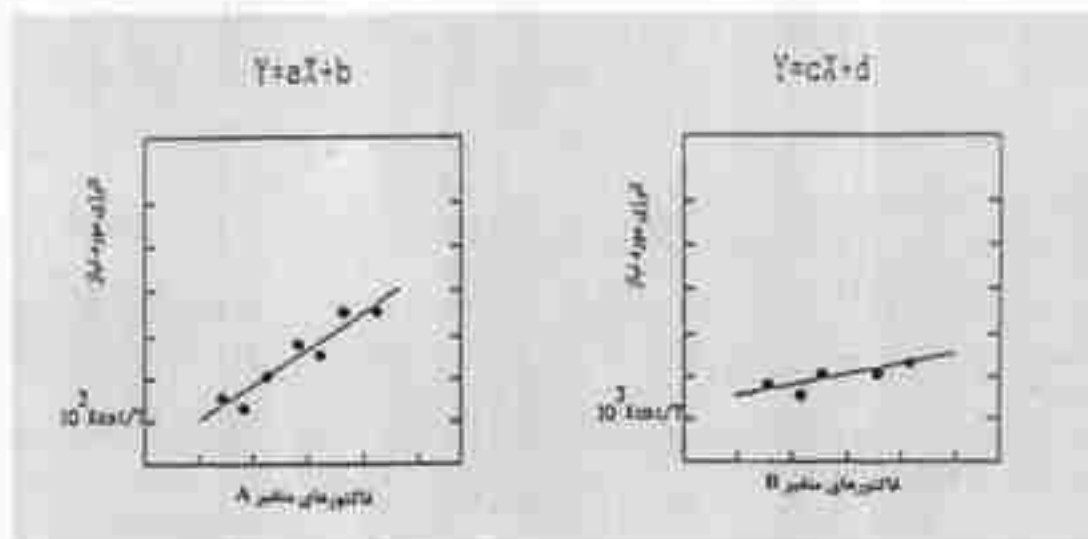


شکل ۱۲-۱- نمونه یک نمودار همبستگی سوخت مورد نیاز یک واحد

۴- یک رابطه همبستگی عوامل مؤثر بر نیاز واحد انرژی را نشان می‌دهد.

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

به این منظور همانگونه که در شکل شماره (۱۲-۱) نشان داده شده است، داشتن رابطه همبستگی بین نیاز واحد و هر عامل متغیر دیگری، اهمیت دارد.



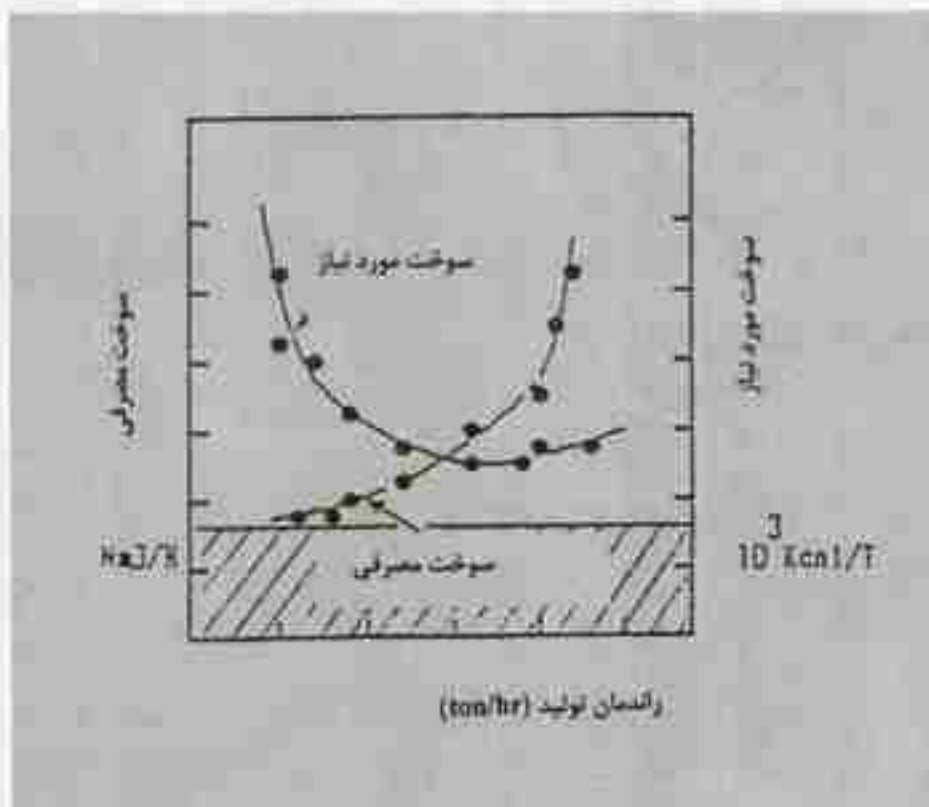
شکل ۱۲-۱- نمونه های نمودار همبستگی بین نیاز انرژی و عوامل متغیر

• داشتن مؤثرترین نقطه نیاز واحد انرژی ضروری است.

بطور کلی، همان طور که در شکل شماره (۱۳-۱) نشان داده شده است، واحد نیاز سوخت به سوازیات

افزایش تولید کاهش (بهبود) می‌یابد، اما وقتی نیاز سوخت واحد فراتر از ظرفیت تجهیزات تولید شود، تمایل به

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



شکل ۱-۳-۱- 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 مسائل و مشکلات بالقوه سازمان متبوع خود و همچنین مشکلاتی که شامل تجهیزات و نوع فرایندهای سازمان است، اطلاع حاصل نمایید.

جدول ۱-۱۲. آگاهی درباره شرایط یا موقعیت فعلی

موردی که باید مشخص شود	ملاحظات
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*

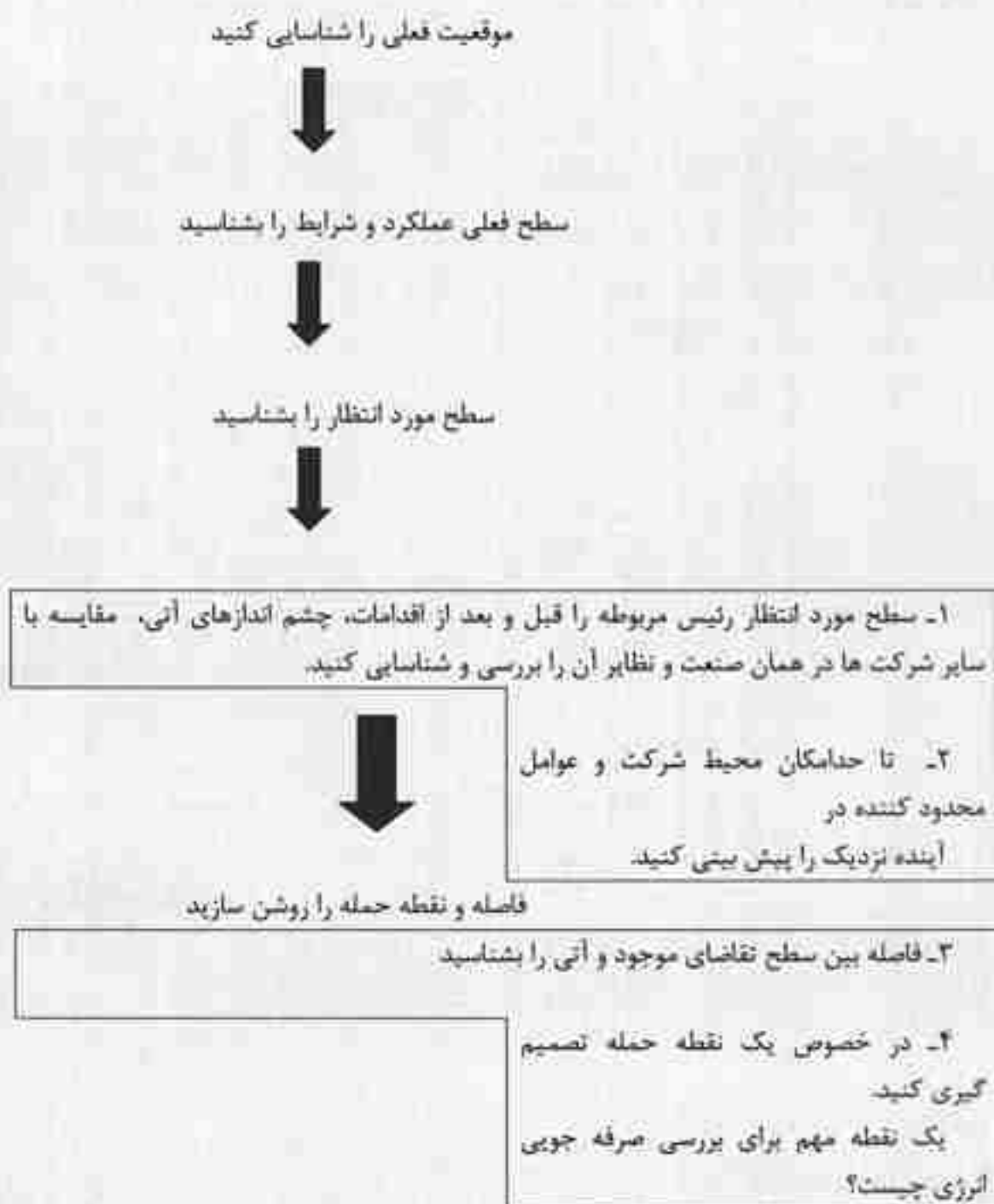
- اطلاع از الگوی مصرف انرژی

- الگوی عملیات و تحلیل: بررسی عملیات واحد بصورت بهم پیوسته، مستمر یا متقطع
- تحلیل الگوی کار: بررسی نوع کار و ویژگی های عملیات تعدادی کوچک از واحدها با ظرفیت کم
- روش مصرف انرژی و عوامل دخیل در تصمیم های صرفه جویی انرژی را توضیح دهید
- شناخت ویژگی های عملکرد سیستم های گرمایش، سیستم های قدرت مکانیکی و سیستم های روشنایی
- از بیان کمی برای هر عامل یا توجه به مقدار مورد نیاز نظری، اتلاف تجهیزات و نظایر آن استفاده کنید.
- روشی را برای بهبود صرفه جویی انرژی تعارک ببینید.

- 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.
- نقشه ای از مصرف انرژی ترسیم کنید.
- جریان تولید محصولات را شناسایی کنید

بنابراین:



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 فکری 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 داس جدول جهت تصمیم گیری ارائه شود.

انواع انرژی	بهت واحد صرفه جویی انرژی	واحد	تجهیزات
انرژی الکتریکی		ریال بر کیلو وات ساعت ^۱	
بخار یا فشار پایین		ریال بر تن ^۲	
هوای فشرده		ریال بر نرمال متر مکعب ^۳	
مازوت		ریال بر کیلو لیتر ^۴	
گازوئیل		ریال بر کیلو لیتر	
گاز طبیعی		ریال بر نرمال متر مکعب	
بنزین		ریال بر کیلو لیتر	
آب صنعتی		ریال بر کیلو لیتر	
آب آشامیدنی		ریال بر کیلو لیتر	

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 صرفه‌جویی انرژی را می‌توان انجام داد" اما برای آگاهی از صرفه‌جویی انرژی، مشاهدات سطحی کافی نیست و مهم نخواهد بود که منشأ افکار، نقطه نظرات یا پیشنهادات از کجا هستند چیزی که حائز اهمیت است، بدست آوردن افکار و ایده‌ها، تلاش برای آمیختن افکار به شیوه‌های متنوع می‌باشد موارد ذیل راه‌های مختلف کسب ایده را ارائه می‌کند.

(۱) فکر بکر و ناگهانی^۱

یک مثال قدیمی می‌گوید "هر سری یک فکری دارد" یعنی اگر همه 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 گفته‌های قدیمی جا گرفته است. در یک جلسه تبادل افکار، افکار متعددی آزادانه و براحتی براساس داده‌های صرفه‌جویی 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 صرفه‌جویی انرژی به نسبت کارآمد است. وقتی اعضا در جلسه فکر بکر شرکت می‌کنند و می‌خواهند افکاری را پیشنهاد دهند، داشتن روش‌هایی برای تفکر، بجای نشستن و فکر کردن بدون هدف مفید است. یکی از این روش‌های مناسب، روش بررسی فهرست اوسبورن^۲ 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- بزرگ‌تر کردن آن چگونه؟ (با افزایش مقدار یا کاربرد با استفاده از بزرگ‌تر ساختن یا افزودن چیزی؟)

۵- کوچک‌تر کردن آن چگونه؟ (افزایش مقدار با استفاده از کاهش یا برداشتن چیزی؟)

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

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

۸- آرایش مجدد چگونه؟ (معکوس ساختن، جلو و عقب، راست و چپ یا بالا و پایین یا تغییر موقعیت؟)

۹- ترکیب کردن چگونه؟ (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^۱ در سال ۱۹۵۲ م تهیه شد. این روش در اصطلاح روش استخوان ماهی^۲ هم نامیده می‌شود.

این امر با خلاصه کردن منظم ویژگی‌های مورد پرسش و روابط بین عوامل و همچنین عواملی که تصور می‌شود دارای تأثیر بر آن هستند، ترسیم می‌شوند. برای مثال، اگر هدف فعالیت، مقایسه تنه درخت باشد، افکار پیشنهادی شما طبقه‌بندی شده و بعنوان شاخه و برگ مکتوب می‌شود.

روش پنج گام^۳ و Ru اغلب در مورد صرفه‌جویی انرژی بکار می‌رود. 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 الکتری و نظایر آن)
- ۷- تأسیسات ضروری (نیروی مکانیکی، یا هر نوع از انرژی‌های مصرفی به تنهایی)

1- Ishikawa

2- Fish bone

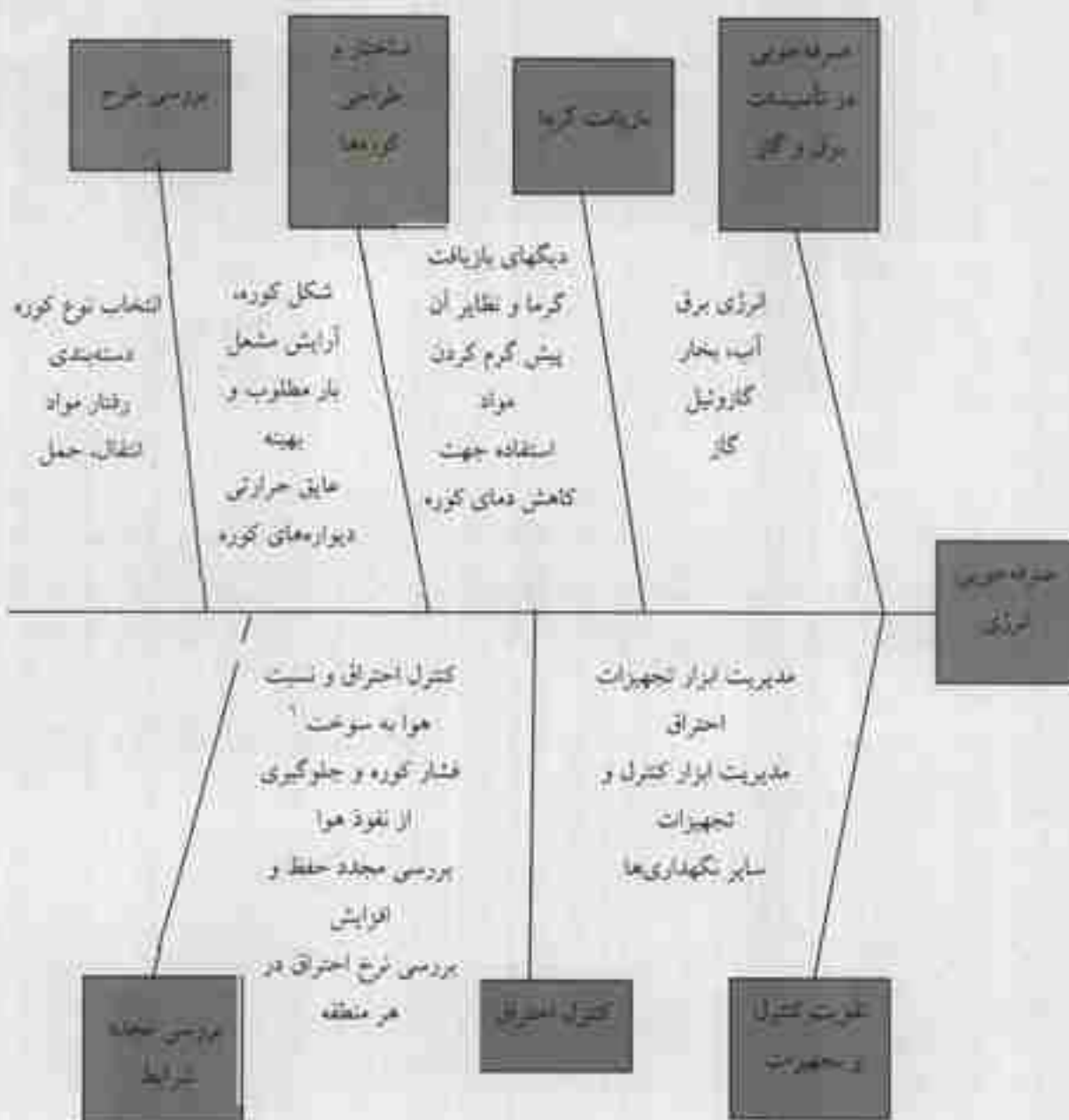
3- ۵Ms

ویزگیهای نمودار علت و معلول

- (۱) تمام اعضا می‌توانند در مشکل سهیم شوند، چرا که ایده‌های آنها دخیل بوده است و آنها می‌توانند ایده‌ها و نظرات خود را در نمودار مشاهده کنند.
- (۲) زمانی که بهبودی حاصل می‌شود، نمودار علت و معلول تعدیل خواهد شد و از این رو دیدن پیشرفت بهبود کار را آسان می‌سازد.

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 ویزگی‌های مورد پرسش، مورد نیاز است؟
- (۳) چه وقت جمع کردن دانش فنی با نوشتن مفاد و اقدامات مورد تأییدی که باید اتخاذ شود، سودمند خواهد بود؟
- (۴) چه وقت اطلاعات یا دانش افراد برای استفاده در تعلیم یا آموزش روش‌های 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

- ۱- ساخت یک نمودار علت و معلول، آموزشی است (هر شخصی فکر می‌کند).
- ۲- نمودار علت و معلول در ماهیت گفتگو موثر است (گفتگو در رابطه با موضوع مورد بحث).
- ۳- پیگیری مفصل علت، ایده‌ها و افکاری را برای توسعه فعالیت‌ها و اقدامات ایجاد می‌کند.

- 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 می‌گیرد. 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:

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

اصولی برای بهبود

فرایند اساسی بهبود	سؤالی که باید هدف گذاری شود
۱- کاهشی فرایند	آیا تغییر روند یا حذف فعالیت امکان پذیر است؟ آیا موردی وجود دارد که لازم باشد حذف شود؟
۲- ترکیب و تغییر فرایند	آیا بهبود روند فعالیت امکان پذیر است؟ (از جمله تغییر ترتیب کار)
۳- ساده سازی 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)
۴- تغییر ترتیب فرایند	آیا حذف بخشی از یک فرایند امکان پذیر است (ترکیب یا فرایند دیگر، کوتاه تر ساختن زمان و نظایر آن)
۵- کاهشی حرکت یا سکون	تغییر به یک فرایند کاری آسان تر

۸-۶- گام ششم: پیشنهاد بهبود کار

الف- امکان 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 ثان بر اساس روندهای ذیل قابل توجیه است:

- ۱- نخستین پیشنهاد بهبود فعالیت را ارزیابی کنید.
- ۲- از موارد پیشنهادی بهبود کار، مواردی را که بدون تردید امکان تحقق آن در آینده وجود دارد، برگزینید.
- ۳- سلسه مراتبی از تأثیرات را در موارد منتخب ارائه دهید.
- ۴- 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 مشابه سازی، یا آزمایش جزئی، اقدامات یا تجاربی که موجب بهبود فعالیت شده است را در صورت لزوم ارزیابی کنید.

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

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

- ۱- مواردی را که امکان تحقق آن زیاد و احتمال حمایت فنی از آن زیاد خواهد بود را ارائه کنید.
- ۲- مواردی را که نیازمند اندکی بررسی یا پژوهش هستند، ارائه نمایید. پژوهش های مورد نیاز را نیز برای توسعه فعالیت پیشنهاد کنید.

۳- 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 می‌توانند سریع‌تر به اجرا درآیند.

در رابطه با پیشنهادات توسعه کار در مورد ۲، پژوهش و پیش‌بینی توسعه فعالیت باید بیشتر انجام شود. لذا لازم است تا در خصوص جزئیات نحوه انجام کار، چه در شرکت خود و یا پرسش از شرکت‌های 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 از موارد 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- ۱- برای توسعه چه چیزی لازم است؟

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

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

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

۲- ۵- چه اقداماتی را برای حل مشکل می‌توان انجام داد؟

۲- ۶- آیا مناسب خواهد بود پیشرفت‌ها را بصورت ناگهانی انجام دهیم؟ آیا آزمایش و سایر موارد ضروری است؟

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

۸-۷- گام هفتم: ارزیابی

به منظور کسب موافقت رئیس و بخش‌های 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 می‌شود، 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 سرمایه‌گذاری در بخش‌های تجاری وجود دارد که وقتی به دقت انجام گیرد، محاسبه سود لازم است. همچنین در یک مقیاس بزرگ سرمایه‌گذاری، همکاری بخشی حسابداری نیز مورد نیاز خواهد بود.

در اینجا بتوان روش ارزش‌یابی ساده برای سود دهی که اغلب بوسیله مسئولان صرفه‌جویی انرژی به‌کار می‌رود، یک نوع روش محاسبه بازگشت سرمایه، توضیح داده می‌شود. در این روش محاسبه، در ابتدا مزایای صرفه‌جویی انرژی برای یک سال در ارتباط با هر پیشنهاد محاسبه و سپس هزینه تجهیزات برآورد می‌گردد و با جایگزینی آنها در معادله ذیل، سال‌های بازگشت سرمایه محاسبه می‌شود.

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

سال‌های بازگشت سرمایه به معنی آن است که چند سال طول می‌کشد تا سرمایه‌گذاری‌های انجام شده به واحد اقتصادی باز گردد؟ پس از سپری شدن سال‌های بازگشت سرمایه، تمام منافع از طریق فعالیت صرفه‌جویی انرژی تبدیل به سود می‌شود.

بطور کلی، هزینه تجهیزات سرمایه‌گذاری شده در ابتدا، اغلب از یک موسسه مالی وام گرفته می‌شود، 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 سال‌های بازگشت سرمایه کوتاه‌تر باشد، مزایای اجرای آن بیشتر است. این محدودیت بوسیله قدرت و سیاست شرکت معین می‌شود. مثال درجه بندی کلی برای سال‌های بازگشت سرمایه در جدول ذیل نشان داده شده است.

جدول ۱۴-۱- نمونه‌هایی در خصوص انجام و یا عدم انجام طرح‌های بهبود، منوط به تعداد سال‌های بازگشت سرمایه

فصلت	سالهای بازگشت سرمایه	فصلت برای انجام یا عدم انجام
الف (A)	کمتر از ۳ سال	لازم الاجرا
ب (B)	۳ تا ۵ سال	بررسی مجدد مقدار پیشنهادی طرح توسعه و هزینه تجهیزات یا بررسی امکان کاهش تعداد سال‌های 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 نظایران

(۳) ارزیابی امکان تحقق

- ۱- برای افزایش شانس موفقیت برای پیشنهاد بهبود با امکان تحقق، باید بررسی بیشتری انجام شود.
- ۲- 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 ۱۵-۱- هزینه ارزیابی و قضاوت، یک پیشنهاد توسعه کار

نمره منفی	امکان تحقق	درجه اثر	نکته (معمولاً برای فهرست بررسی)
نقاره	سریعاً تحقق می‌یابد	وسیع	Θ
ناچیز	نسبتاً به آسانی تحقق می‌یابد	تأثیر ضعیف	O
کم	با دشواری اندکی تحقق می‌یابد	تأثیر قابل تحمل	Δ
زیاد	تحقق آن مشکل است	تأثیر کم	Δ
بسیار زیاد	تحقق آن غیر ممکن است	تقریباً بدون اثر	x

• امکان تحقق

- امکان تحقق از نظر فناوری، اقتصادی، قوانین، قدرت و نظایران، قضاوت می‌شود (فناوری، یا به عبارتی شیوه تولید، شیوه تجهیزات، شیوه ساخت و نظایران)

- درجه اثرگذاری، این را قضاوت می‌کند که اثر صرفه‌جویی 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، کارگران، سایر مکان‌های کار و نظایران) در اجرای پیشنهاد بهبود کار

۸-۸-۸- گام هشتم: اجرا

(۱) اجرای یک طرح

- بمنظور اثبات نتایج مطلوب، انجام یک طرح واقعی ضروری است.
- ۱- در مورد دوره و مشارکت کار، با استفاده از روش ΔWs و ΔHs تصمیم‌گیری کنید.
 - ۲- موافقت و تأیید رئیس خود را حاصل نمایید.
 - ۳- 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	تأثیر	زمان
توسعه اجرای آزمایش		
خرید نمودن مواد و ابزار		
تولید تجهیزات آزمایش		

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

- ۱- طرح را براساس پیشنهادات انجام دهید.
 - ۲- 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.
 - ۳- اگر مشکلی در اجرای فعالیت‌ها و اقدامات باعث تغییر در محیط کار پیش آید، لازم است با رئیس یا کارکنان مشورت کرده و توصیه‌ها داده شود.
- طرح را هرچه سریعتر انجام داد.

صرفه‌جویی انرژی تأثیری مستقیم بر هزینه‌های تولید دارد. بنابراین لازم است که کارگران تغییرات را سرعت اجرا کنند. همچنین بعلمت اینکه شخص متعددی ممکن است تغییر کند یا کارگران کمتر انگیزه داشته باشند، اجرای فعالیت‌ها باید تا حد امکان سرعت انجام شود.

❖ همیشه ارتباط نزدیک با بخش‌های 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 بخش‌های مربوطه به نتایج بهتری می‌انجامد. در این خصوص، فکر کردن در مورد اهمیت دوره‌ها در زمینه انجام آن به شکل مطلوب، رسیدن به نتایج، حفظ نتایج و ارتباط با بخش‌های مربوطه، غیر قابل اجتناب است.

۸-۹- گام نهم: بررسی یا نظارت

وقتی در بهبود کاری، صرفه‌جویی انرژی اعمال شده است، ممکن است ابزار و تجهیزات 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 صرفه‌جویی 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 می‌شود.

۲- درک اثرات قابل سنجش

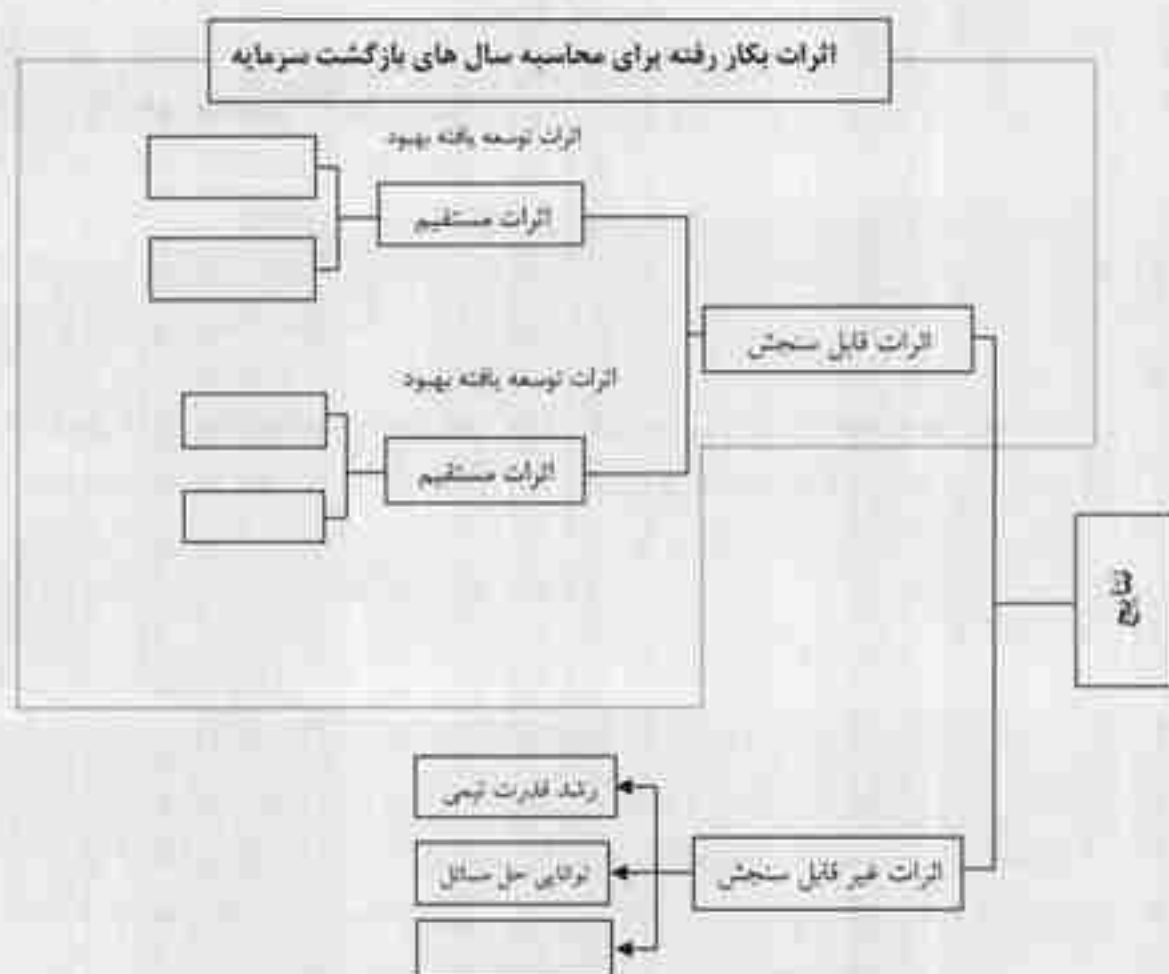
موارد ذیل چگونگی درک آثار قابل سنجش را توصیف می‌نمایند:

۱-۲. با مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده فعلی با داده‌های گذشته، می‌توان میزان تأثیر را مشخص کرد.

- داده‌های جدید با استفاده از همان روش کسب داده‌ها در گذشته، مورد نیاز است.
- تا حد امکان، اثرات صرفه‌جویی انرژی باید بر حسب مقدار بوالی محاسبه شده و برای هر فعالیت و یا اقدامی که موجب صرفه‌جویی انرژی شده توصیف شود.
- وقتی مقدار هدف هنوز حاصل نشده است، لازم است علت آن جستجو شود.
- ۲-۲. تأثیرات ثانویه (یا اثرات توسعه یافته) علاوه بر آن اثرات هنگام نیز باید ارزیابی شوند.
- ۳-۲. هزینه‌های مورد نیاز توسعه و هر نوع اثر نامطلوب بر عوامل دیگر باید مشخص شوند.

۳- درک اثرات غیرقابل سنجش

- رشد اشخاص بصورت انفرادی با تیم باید تجزیه و تحلیل شود (مثال: کار تیمی برای مشارکت در کاره آگاهی از بهبود کار، توانایی حل مشکلات، اجرای روند، روش های مناسب بکار رفته و نظایر آن).
- ۳-۱- درک اثرات با ایجاد امکان برای تیم در جهت ارزیابی موارد و روش های سنجش
- ۳-۲- مقایسه درجه رشد با آنچه که توسط تیم هدف گذاری شده است. مثال: استفاده از نمودارهای رادار^۱، نمودارهای ماتریس^۲ و نظایر آن.



شکل ۱۵-۱ نمونه محدوده نتایج توسعه کار

(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 سال‌های بازگشت سرمایه کاهش یابد.

(نکته ۲): وقتی نتایج فعالیت گزارش می‌شود، 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 می‌رود و اهمیت فعالیت خنثی خواهد شد. چنانچه فقط به شعارهای ذهنی مبهم تکیه شود، نتایج خوب و مطلوب را نمی‌توان حفظ کرد (مانند این جملات: "اجازه بدهید همه توجه کنند"، "بیاپید تا حد امکان سخت کار کنیم". این نکته حائز اهمیت است که بررسی و اجرای نتایج تا زمانی که با استاندارد، قوانین و اقدامات معینی اجرا شده، حل و فصل گردد. با توجه به ارتباط با بخش‌های دیگر، لازم است که با تأیید رئیس مربوطه به اشخاص دخیل در اقدامات به طور کامل اطلاع دهید.

۱- استاندارد نمودن

- استانداردها یا دستورالعمل‌ها برای فعالیت‌های جدید باید تهیه یا تعدیل شود.
- ۱- این کار درک ماهیت فعالیت و پیچیدگی‌های آن را بدون اشتباه، آسان می‌کند.
 - ۲- دوره اجرا را روشن می‌سازد.
 - ۳- هدف و دلیل و رای اقدام را روشن می‌سازد (چرا ما این کار را انجام می‌دهیم).
 - ۴- به ما در خصوص تصمیم‌گیری در زمینه نحوه بررسی یا نظارت و نحوه پیگیری کمک می‌کند (روشن ساختن ΔWs و ΔHs).
- شد تأکید رئیس مربوطه علاوه بر هر برنامه ریزی ضروری دیگر در بخش‌های مربوطه.

خلاصه کردن و استاندارد کردن به وسیله ۵S و ۲H

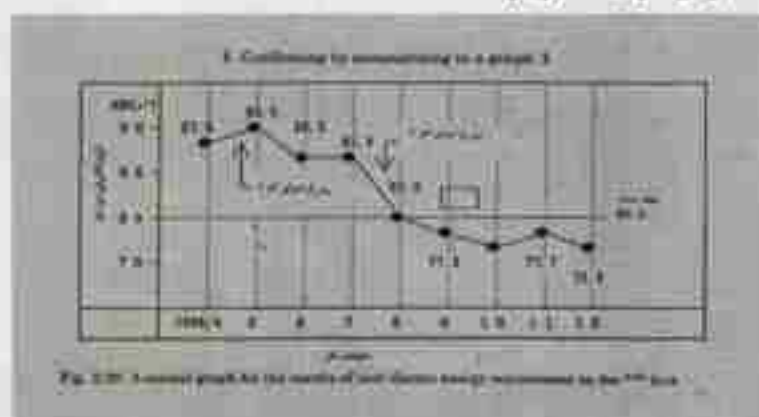
جزء	چه کار باید انجام داد	چگونه	کجا	چه وقت	چه کسی
هدف	مورد قابل اجرا	مفاد برای اجرا	مکان	تاریخ اجرا	متصدی
۱					
۲					
۳					

۲- همه را کاملاً مطلع سازید

- ۱- دوره اجرا شده را مورد تأیید مجدد قرار می دهد.
- ۲- آموزش پرسنل به نحوی که هرکس بتواند مسئولیت خود را به خوبی انجام دهد. ضمانت می کند که اشخاص مسئول نقش خود را درک کنند.
- ۳- دلیل اجرا و روش جدید انجام کار برای اشخاص مربوط ، اهداف را برای همکاری آنها در صورت لزوم توضیح می دهد.

۳- تثبیت مدیریت

- ۱- به وسیله بررسی چگونگی استفاده از استانداردها.
- ۲- با اطمینان از اینکه تأثیر مثبت و دیر پاست و می تواند از محدوده هر نوع مشکلی که پیش میاید برآید. (با استفاده از فهرست بررسی (چک لیست) ، نمودارهای خطی، نمودارهای کنترل و نظایر آن)
- ۳- وقتی تأثیر، مثبت و دیرپا است باید بعنوان بخشی منظم از کار روزانه اعمال شود.
- ۴- تأیید با خلاصه کردن در یک نمودار



شکل ۳-۱۶- یک نمودار کنترل برای نتایج نیاز واحد انرژی الکتریکی بر روی خط

۴- منعکس نمودن فعالیت

- ۱- انعکاس مفاد موقعیت اقدامات
 - آیا تفاوتی بین نتیجه و هدف یا برنامه فعالیت وجود دارد؟
 - اگر تفاوتی وجود دارد علت آن چیست؟
- ۲- 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- 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
 - ۱- با انجام چرخه فعالیت تیم^۱ (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.
 - ۲- 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.
 - ۳- اگر تحلیل ها 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.

جدول ۱-۶ چگونه تشخیص، تحلیل، سنجش در صرفه جویی انرژی را ارتقاء بخشیم (۱۴)
(خلاصه هدف هر گام، مفاد کار و مشکلات)

گام	مورد	هدف	مفاد کار	مشکلات و پاسخها از پیش
آمادگی	آمادگی برای شرایط برای پیشبرد اصول صرفه جویی انرژی	تهیه شرایط انسانی و ذهنی بمنظور ارتقاء فعالیت صرفه جویی انرژی منجر کارآمد	- به رسمیت شناختن هدف ارتقاء صرفه جویی انرژی - مشارکت وسیله انگیزه (تیم) مسئول صرفه جویی انرژی ایجاد سیستم همکاری	- خودآگاهی نسبت به وظیفه و مسئولیت برای پیشبرد اصول صرفه جویی انرژی بوسیله مدیر ادمین کارخانه مدیر بخش و انتهای مسئول در هر بخش - سازمان برای ارتقاء صرفه جویی انرژی
۱	تحلیل فرایند تولید	ترک و توس رولند تولید و تهدیه داده های ضروری برای فعالیت های آنی	- تهیه یک فهرست جریان کار که رئیس فرایند تولید و همچنین یک نمونه را نشان می دهد که مصرف انرژی را در فرایند برای هر انرژی مورد استفاده نشان دهد - جمع آوری مواد فرایند (ورقه تراز جریان مواد ساختار و طراحی فهرست وسایل و تجهیزات) - جمع آوری اسناد فنی (تولید، استفاده، استانداردهای کنترل کیفیت و غیره)	- حفظ سیستم طراحی و ساخت مربوط به مشخصات تجهیزات و نظایران - آماده سازی ناکافی انرژی برای باررسی نقش در خصوص عملیات مطلوب
۲	تحلیل مصرف هر یک از انرژی های مصرفی و هر یک از فرایندها	شناخت مصرف انرژی برای هر دوره هر فرایند و هر محصول	- نشان دهنده تولید مصرف انرژی و هزینه های روزانه، ماهانه و سالانه - تحلیل عوامل متغیر برای نیاز انرژی و شد	- وجود یک سیستم برای سنجش دوره ای مصرف انرژی برای هر فرایند و هر نوع انرژی - حفظ داده های سنجش
۳	تحلیل نسبت هزینه انرژی مصرف شده برای هر یک از فرایندهای اصلی	تخصیص در خصوص اهداف صرفه جویی انرژی با ارزیابی مصرف انرژی بصورت اقتصادی	- نشان دادن هزینه انرژی برای هر روند - تخصیص در خصوص تجهیزات هدف برای صرفه جویی انرژی - تحلیل نرخ عملیات	- تخیر روش حفظ در تقسیم محاسبات مربوط به هزینه های هزینه انرژی - ارزیابی هزینه انرژی بعنوان قسمتی از هزینه تولید
۴	تحلیل هزینه انرژی در هزینه تولید	همیشه بالا	- هزینه انرژی از جنبه مدیریت با تحقیق اظهار نامه های محاسبات - محاسبه و مقایسه شاخص های مختلف - بررسی قابلیت سوددهی کار اثبات گسترده	- آگاهی صحیح درباره ظرفیت تجهیزات و شرایط عملکرد آنها - شناسایی هزینه انرژی برای هر محصول بعینت نوع وسیع از محصولات با مقدار کم

ادامه جدول ۱۶-۱

۵	برنامه ریزی تولید - تعمیر و نگهداری تجهیزات شرح فضا کنترل مدیریت	بررسی روش کار کامل و موقعیت کنترل انرژی	• شناسایی روش صرفه جویی در بچجه، سبست مدیریت و نظایر آن • بررسی حالت واقعی طرح فضا و نظایر آن • بررسی برنامه تولید (کوته مدت میان مدت، بلند مدت) • بررسی وضعیت کنترل انرژی	• روش تهیه گزارشات فنی • وسیله شخص مسئول • عنوان اعتماد حرفه • مشکلات مربوط به سایر شرکت ها (مشکلات در شرکت های مشترک)
۶	تحلیل ویژگی های رول تولید از دیدگاه صرفه جویی انرژی	تحلیل فرایند تولید از جنبه کیفی انرژی	• تهیه رقی از توزیع دما در مقابل زمان • تحلیل کیفی انرژی • تحلیل اولیه هر فرایند توسط تحلیل سیستم فرایند	• دانش پیرامون رفتار پویای فرایند • فرایندهایی برای تحلیل سیستم
۷	داده های کشی سنجش	جمع آوری داده های 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 زمن سنجش، ترکیب پرسنل	• سیستم همکاری کارگران در مکان تولید • فرجه اثر بر خط تولید
۸	بالانس (موازنه) گرمایی تخمینی (محاسبه و مثالی)	تحلیل اتلاف توسط 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 • نشانه یا گرایش فرایند
۹	تحلیل الگو برای هر نوع ویژگی انرژی های مصرفی	تهیه الگو توسط مصرف انرژی برای هر شکل انرژی	• تحلیل سیستم تولید شکل انرژی برای مصرف • مشابه سازی مدیریت با تغییر انواع یا شرایط • تحلیل الگو	• روش تجزیه و تحلیل
۱۰	استخراج موضوعات توسعه	استخراج تعداد زیادی از موضوعات با شناخت مصرف انرژی موجود و پدروی از یک سیستم مطلوب	• بررسی واقعی کاهش اتلاف انرژی • بررسی استفاده موثر از انرژی در حال خروج • بررسی فهرست مورد ارزیابی	• اعضای ثابت برای بحث ها
۱۱	محاسبه بررسی و ارزیابی تقریبی	ارزیابی موضوع با قابلیت سازگاری، تبدیل کردن آن به ارقام معنی تا حد امکان برای بررسی آن از نظر فنی و اقتصادی	• استخراج موضوعات کارآمد • محاسبه تقریبی اثر صرفه جویی انرژی • انجام استدلاری ارزیابی (فنی، اقتصادی) • فرجه پدروی موضوعات	• روش استخراج • منابع تحقیق موضوع • عدم قطعیت ارزیابی

۹- 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.

۹-۱- 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 می‌پردازیم:

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 و همچنین 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 نقطه نظرات 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^۱

۹- داشتن معیار و روش صحیح برای سرمایه‌گذاری در انرژی

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

تجهیزات.

۱۱- اطمینان از اینکه موضوع کارایی 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- به‌کارگیری روش‌های تبلیغات از طریق روزنامه‌ها و آگهی‌های تبلیغاتی.

۱۵- حفظ اهمیت و تأکید مسأله کارایی انرژی در فرهنگ و راه و روش شرکت به طوری که همیشه سرلوحه

فعالیت‌های شرکت باشد.

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

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 فناوری‌ها 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 (پوشیده) نگهداری مطلوبه ^۱	تنظیم مجدد سیستم‌های کنترل کننده خاموش نمودن سیستم‌ها در زمانی که احتیاج نیست برطرف نمودن نشتی‌ها برنامه‌ریزی مجدد بازها ^۲ و موارد استفاده	تأکید روی رفتار و عادات افراد با استفاده از فناوری‌هایی موجود در کارخانه
کم‌هزینه	سیستم نگهداری و پیشگیری کنترل گیج‌ها (آبازا، گیرها) و درجه‌نابلرها روش رویایی و هدف‌بانی عایل کاری 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 ^۲ 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 طور معمول 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، زمانی که 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 بازنگشتگی کاربرد (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 بکار گرفته 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، تجهیزات 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



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 نسی به منظور پیشرفت بیشتر پاسخ‌های فنی ویژه باشند.

جدول زیر خلاصه‌ای از اصول عمومی را نشان می‌دهد 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

نوع تست	درجه	زمان انجام یکبار تست	پایه‌های تست	میزان تست (درصد)
۱- بررسی تأثیر مصرف انرژی در سیستم‌های گداخته	کم	یکبار	کم	۱۰-۲۰ درصد
۲- بررسی میزان انرژی مصرفی در سیستم‌های گداخته	کم	یکبار	کم	۱۰-۲۰ درصد
۳- تعمیرات و نگهداری	کم	یکبار	کم	۱۰-۲۰ درصد
۴- تحلیل مصرف انرژی در سیستم‌های گداخته، سیستم‌های انتقال حرارت و سیستم‌های پمپاژ	کم تا متوسط	۱ تا ۲ سال	متوسط تا زیاد	۲۰-۳۰ درصد
۵- تجهیزات با کارایی بیشتر	متوسط تا زیاد	سالها	متوسط تا زیاد	۳۰-۴۰ درصد
۶- فرآیندهای با کارایی بیشتر	متوسط تا زیاد	سالها	متوسط تا زیاد	۳۰-۴۰ درصد
۷- سیستم‌های انرژی (انرژی‌های گرمایی و الکتریسیته)	کم تا متوسط	سالها	متوسط تا زیاد	۳۰-۴۰ درصد
۸- مواد جایگزین	کم تا متوسط	یکبار	کم	۲۰-۳۰ درصد
۹- صرفه‌جویی در مواد (انرژی‌های گرمایی و الکتریسیته)	کم	یکبار	کم	۱۰-۲۰ درصد
۱۰- انتخاب کیفی مواد (انرژی‌های گرمایی و الکتریسیته)	کم	یکبار	کم	۱۰-۲۰ درصد
۱۱- جمع‌آوری انرژی	متوسط تا زیاد	سالها	متوسط تا زیاد	۳۰-۴۰ درصد
۱۲- انرژی مصرفی انرژی	متوسط تا زیاد	سالها	متوسط تا زیاد	۳۰-۴۰ درصد
۱۳- منابع انرژی جایگزین (انرژی‌های گرمایی و الکتریسیته)	متوسط تا زیاد	سالها	متوسط تا زیاد	۳۰-۴۰ درصد
۱۴- تبدیل انرژی	متوسط تا زیاد	سالها	متوسط تا زیاد	۳۰-۴۰ درصد
۱۵- ذخیره انرژی	متوسط تا زیاد	سالها	متوسط تا زیاد	۳۰-۴۰ درصد
۱۶- انرژی‌های تجدیدپذیر (انرژی‌های گرمایی و الکتریسیته)	کم	یکبار	کم	۱۰-۲۰ 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 دهیم؟" 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 متعهد است، اما تشخیص

داده نشده‌اند. بررسی مراحل مختلفه 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 ماشین‌الات است و نگرشی درونی به عملیات غیرمؤثر را فراهم می‌آورد.

بهبود بخشیدن به وضعیت تعمیر و نگهداری در یک واحد صنعتی به طور معمول 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 کارآتر، اغلب می‌توانند با وسایل مورد نیاز همان عملیات، جایگزین شوند، برای مثال به منظور روشنایی محوطه از لامپ‌های سدیم یا مثال هالاید به جای لامپ‌های جیوه‌ای استفاده می‌شود. بسیاری از انواع وسایل و تجهیزات صنعتی و خانگی / تجاری بر اساس نوع کارایی‌شان برچسب زده و طبقه‌بندی شده‌اند. 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 زمان‌آوری 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 ماشین‌آلات 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 مایورای 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 باز یافت 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.

۴-۹- برنامه‌ریزی برای مدیریت انرژی

در قسمت قبل، اجزای مدیریت انرژی مورد بحث قرار گرفت 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 فایده‌آمیز برای آنها می‌پردازد. این بخش بطور مفصل 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 باشد که بر اساس اطلاعات بخش عرضه انرژی شرکت، مواجه شدن با مشکلات را پیش‌بینی می‌نماید. در مورد دیگر ممکن است افزایش هزینه‌های انرژی، انگیزه‌ای 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 یا 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، در زمینه 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، بهره‌بردار، 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 ۱-۱۲- 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 بخش‌های 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 می‌شود 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 کارخانه‌ها

انواع (سطوح) ممیزی انرژی^۱

- بررسی و سنجش مصرف انرژی^۲ (برآورد تقریبی از مصرف، پتانسیل‌ها و امکانات صرفه‌جویی از طریق بازرینی و مشاهده ظاهری^۳)
- ممیزی انرژی مقدماتی^۴ (اولیه) (برآورد اولیه از مصرف انرژی) یا ممیزی کوتاه مدت انرژی^۵
- ممیزی جامع انرژی^۶ (مفصل) برآورد جامع از مصرف انرژی با جزئیات کامل

نوع اول: بررسی و سنجش مصرف انرژی^۷**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.

گزارش‌هایی شامل موارد زیر است:

- خلاصه‌ای از چگونگی توزیع مصرف انرژی و همچنین وضعیت هزینه‌ها
- بیان مشغلات در بازه 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 با ممیزی کوتاه مدت انرژی^۱

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 ۲ 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 نهایی 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 طور معمول هر دو یا سه سال انجام می‌شود.
- به اجرای مراحل (انواع) قبلی ممیزی انرژی نیاز است.

- 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 گزارش‌ها که سبب می‌شود تا توصیه‌ها نامربوط تلقی شوند.
- سهل‌انگاری در ممیزی سبب فقدان جدیت در تلاش و کوشش‌ها می‌شود.

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

انشخاص 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^۱
- بخش پرسنلی
- مدیر عامل یا مدیریت رده بالا

۱۱- ماتریس مدیریت انرژی و جایگاه آن در برنامه‌ریزی

برنامه‌ریزی، مهم‌ترین عنصر کلیدی در مدیریت انرژی است. برنامه‌ریزی مرحله‌ای مهم‌تر از تصمیم‌گیری است که ایده صرفه‌جویی در انرژی را با توجه به محدودیت‌های سازمان تبدیل به فعالیت‌های سازمان به صورت مجموعه‌ای منسجم و مرتب می‌نماید.

یکی از راه‌های تعیین وضعیت موجود هر سازمان از نظر انرژی، معین کردن جایگاه سازمان در ماتریس مدیریت انرژی است. سطوح 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 نمایید.

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 شده‌اند 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 کلی 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 دانسته‌تین که آن را به عنوان بخشی از مسئولیت خود در نظر می‌گیرند.

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 می‌گذارد 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 می‌دهد و از چگونگی پیشرفت برنامه انرژی گزارش‌های 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 کارایی 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 نشان‌دهنده 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 قدم‌های 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

سطح	سیاست انرژی	سازماندهی	انگیزه	سیستم‌های اطلاعات	بازارهای	سرمایه‌گذاری
۱	سیاست انرژی برنامه‌ریزی شده مبتنی بر اهداف منظم از طرف مدیران بالا به عنوان استراتژی شرکت وجود ندارد	مدیریت انرژی به طور کامل همین‌جا ساختار مدیریت است. تقویم مسئولیت‌ها به‌طور کلیش روشن است	از طریق مجاری رسمی و غیررسمی از قبیل به طور منظم توسط مدیر انرژی و کارکنان انرژی در همه سطوح سازمانی استفاده می‌شود	سیستم جامع اهداف را معین کرده بر مصرف نظارت کرده تا هم‌اکنون معلوم می‌شود. مقادیر صرفه‌جویی را به دست آورده و نحوه تخصیص بودجه را بررسی می‌کند	بازارهای در باره انرژی تکرایمی انرژی و عملکرد مدیریت انرژی چه در داخل سازمان و چه در خارج از سازمان	تجربین به تبع برنامه‌های "سبز" احاطه‌یافته با انرژی دقیق از سرمایه‌گذاری در ایجاد ساختارهای جدید و توسعه
۲	سیاستی در باره انرژی به‌طور رسمی وجود دارد اما از طرف مدیران بالا هیچ تعهدی به‌طور کلی وجود ندارد	مدیر انرژی که مربوط از همه مدیران هست استفاده‌کننده به نویسنده یکی از اطلاعات هیئت مدیره می‌باشد مسئول است	کمیته انرژی به عنوان کنترل اصلی بوده همچنین در تأمین مستقیم یا مصرف کنندگان فصله می‌باشد	گزارش‌های قوی برای افراد بر اساس داده‌گیری ارائه می‌شود اما میزان صرفه‌جویی به‌طور مؤثر به استفاده‌کنندگان گزارش نمی‌شود	برنامه‌ای که در کنترل و برقراری تحت‌های عمومی به طور منظم	استفاده از نیروی سرمایه برای همه سرمایه‌گذاری‌ها
۳	سیاست‌ها و برنامه‌های انرژی توسط مدیر انرژی یا مدیران ارائه نفسی نشده است	سیاست سازمانی مدیریت انرژی وجود دارد که به کمیته موقت انرژی گزارش می‌دهد اما مدیران مستقیم و غیرمستقیم آنها روشن نیست	از طریق کمیته‌ای که مسئول از مدیران ارشد واحد است یا مصرف کنندگان فصله نمایی و قرار می‌شود	گزارش‌های نظارتی بر اساس اطلاعات عرضه ارائه می‌شود. واحد انرژی مسئولیت موقت در تعیین بودجه دارد	برخی از افراد که برای این کار تعیین شده‌اند آموزش لازم را می‌بینند	سرمایه‌گذاری فقط با استفاده از منابع دوره برگشت در کوتاه‌مدت
۴	مجموعه‌ای از خط مشی انرژی مکتوب وجود دارد	مدیریت انرژی به صورت بارموقت با اختیار محدود وجود دارد	تکلیف‌های غیررسمی فرماندهی مدیریت انرژی و تصداری از مصرف کنندگان وجود دارد	هزینه گزارش‌دهی بر اساس داده‌های فاکتورهای است. مهندس گزارش‌ها را برای استفاده داخلی در توسعه مجموعه فنی جمع‌آوری و منظم می‌کند	اساس‌های غیررسمی برای پیشبرد کارهای انرژی به‌طور رسمی و غیر	فقط هزینه‌های پایین به حساب می‌آید
۵	هیچگونه سیاست روشن و سریعی وجود ندارد	در سازمان مدیریت انرژی و یا هر فرد دیگری به عنوان مسئول صرفه‌جویی انرژی وجود ندارد	هیچگونه تکلیف با استفاده‌کنندگان انرژی وجود ندارد	هیچگونه سیستم اطلاعاتی وجود ندارد. در باره مصرف انرژی هیچ اطلاعاتی وجود ندارد	در تکرایمی انرژی هیچگونه پیشرفت وجود ندارد	هیچگونه سرمایه‌گذاری در افزایش تکرایمی انرژی انجام نمی‌شود

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 خط‌مشی‌ها 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

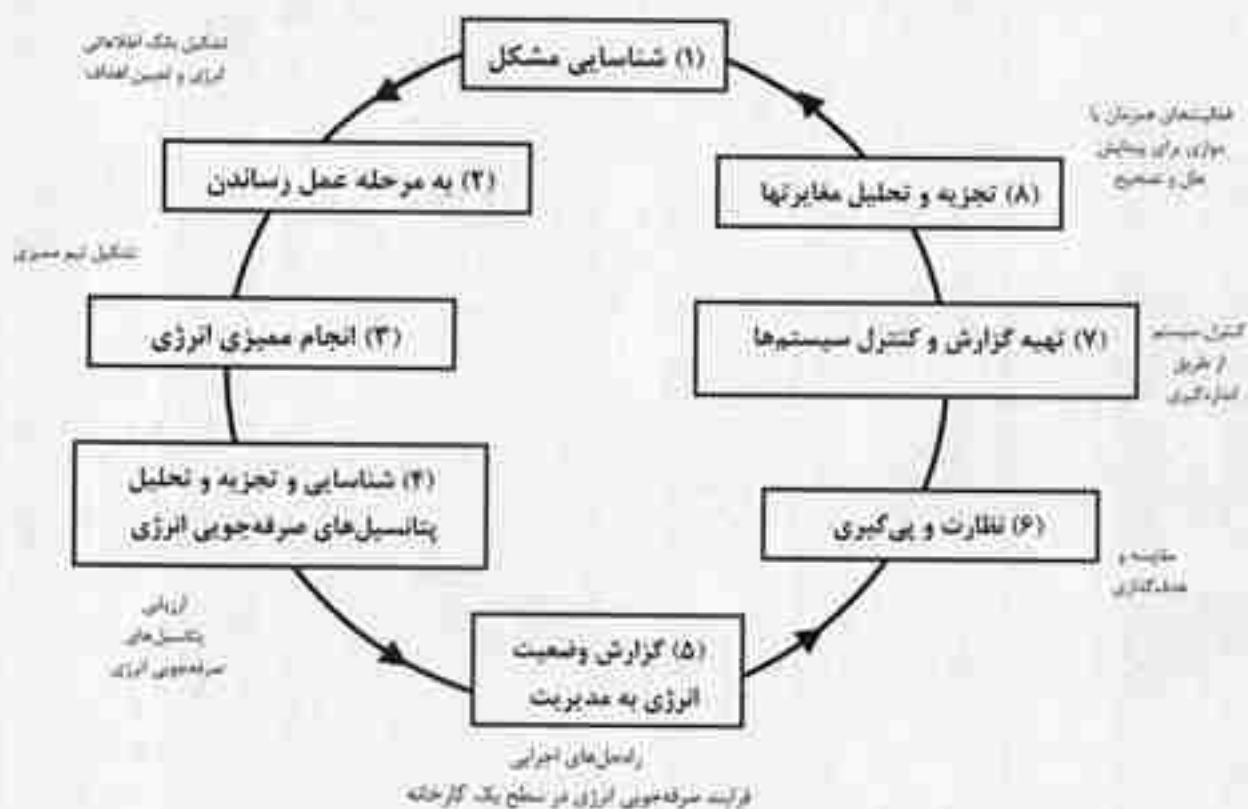
۱۳- فرایند صرفه‌جویی انرژی در یک کارخانه

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

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

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

اخذ پشتیبانی مدیریت رده بالای سیستم



شکل (۱-۱۸) فرآیند صوفه 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 روش‌ها 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

۱-۱-۱- 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

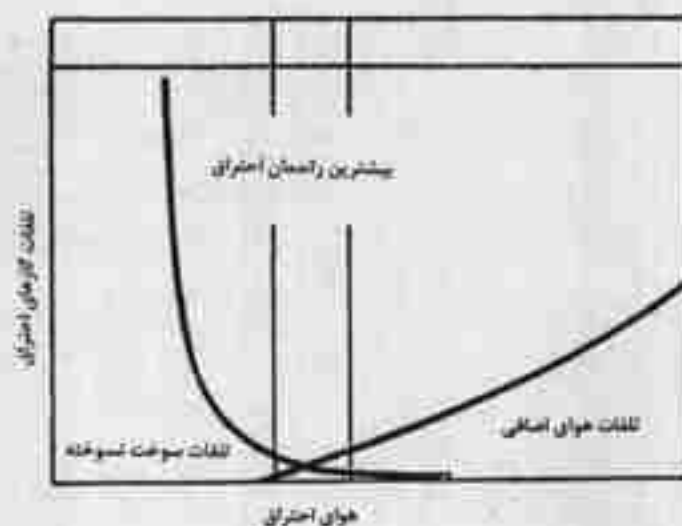
می‌باشد و چنانچه در محل تولید شود، می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. در کوره، محصول به طور مستقیم در معرض گرمای تولید شده در محفظه احتراق قرار می‌گیرد، مانند گاز، کک یا گازهای داغ احتراق که توسط روند احتراق تولید شده‌اند.

۱-۲- هوای احتراق

هوای استوکیومتریک^۱ (S.C) معرف مقدار هوای مورد نیاز برای احتراق کامل با مخلوط کامل سوخت است و هوای (S.C) گاهی اوقات مقدار هوای نظری^۲ 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:

$$\text{Total air} = \text{Stoichiometric air} \times \left(1 + \frac{\% \text{Excess Air}}{100}\right)$$

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 مونوکسید کربن (CO) در محصولات احتراق ظاهر می‌شود. آنالیزور (تحلیل‌گر) احتراق گاز با یک دستگاه اورست^۳ یا سایر تحلیل‌گرهای O_2 و احتراق می‌تواند برای بررسی مونوکسید کربن در گازهای خروجی کوره استفاده شود.



شکل ۱-۲- 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

۱. Stoichiometric: مقدار هوایی که از نظر شیمیایی برای سوختن کامل سوخت نیاز می‌رود.

۲. Theoretical: مقدار هوای نظری.

۳. 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 (۱-۲) 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 (روشنی 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 (۱-۲) مقداری را برای چندین نوع مختلف سوخت نشان می‌دهد که ممکن است در دیگرها 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 (۱-۲) ۱۵ درصد هوای اضافی مصرف می‌کند. (مفروضات: مقدار ارزش حرارتی سوخت با $2/5$ درصد سولفور در حدود $42/3 \text{ MJ/l}$ است) مقدار سولفور موجود در سوخت اغلب از شرکت تأمین‌کننده سوخت بدست می‌آید.

حل:

بر اساس جدول شماره (۱-۲)، هوای احتراق تنوری 327 Kg/GJ است

$$\text{هوای مورد نیاز} = \frac{700 \text{ l/h} \times 42/3 \text{ MJ/l} \times 327 \text{ kg/GJ} \times 1/15}{1000 \text{ MJ/GJ}} = 11135 \text{ kg/h}$$

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

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 و جذب هوای احتراق به داخل کوره استفاده می‌کند. مرسوم‌ترین نمونه این گروه، آبگرم کن گازی است. مکش طبیعی بیشتر در کوره‌های کمتر از حدود 4 GJ/h مورد استفاده قرار می‌گیرد.

معایب متعددی در شعله با مکش طبیعی وجود دارد زیرا میزان هوای احتراق جذب شده به داخل کوره نمی‌تواند پیرامونی 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 به موازاتی که وارد کوره می‌شود می‌تواند یک تلاطم ایجاد نماید. این مزایا به معنی 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 ps 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:

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 به عنوان موردی که دارای سوخت و هوای احتراق به عنوان ورودی و گاز خروجی به عنوان خروجی است مطالعه شود. شکل شماره (۲-۲).

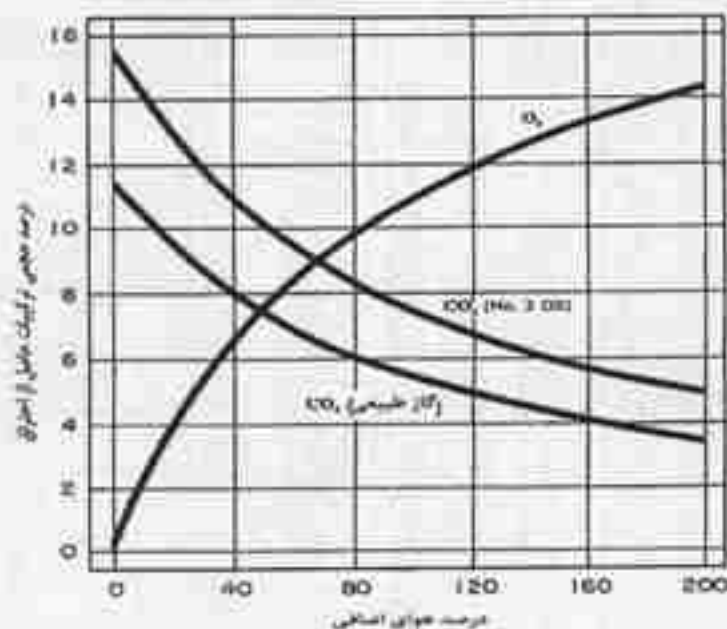
در عمل، تمام سوخت‌های مورد استفاده در کوره‌ها هیدروکربن‌ها هستند که شامل عناصر هیدروژن و کربن است. با وجود آن که برخی سوخت‌ها شامل سایر اجزا هستند اما اغلب برای روند احتراق مهم نیستند. هیدروژن در سوخت می‌سوزد تا بخار آب را شکل دهد و کربن می‌سوزد تا دی‌اکسید کربن را شکل دهد (CO_2) یا

مخلوطی از دی اکسید کربن و متواکسید 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 نمی کند.

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

تجزیه و تحلیل گازهای خروجی کوره را می توان با استفاده از یک آنالیزور دائم یا نمونه برداری دوره ای 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 اندازه گیری می کنند و نتایج را ثبت یا نشان می دهد. سایر تحلیل گرهای مستمر، مقدار قابل احتراق گاز مجرای کوره را نیز اندازه گیری می کنند که بیشتر (CO) است اما ممکن است شامل برخی ترکیبات نسوخته به شکل گاز باشد. اگر یک آنالیزور (تحلیل گر) گازهای احتراق کوره دائم در دسترس نباشد، نمونه ای از گاز مجرای خروجی کوره می تواند برداشته شود و با دستگاه اورست یا سایر دستگاه های اندازه گیری، تجزیه شود.

دستگاه اورست درصد حجمی O_2 ، CO_2 و CO را در گازهای احتراق تعیین می کند. تجزیه کننده های دستی دیگری موجود است که CO_2 یا O_2 را در گاز خروجی کوره اندازه گیری می کنند و استفاده از آنها آسان تر است و بعنوان یک بررسی مقطعی در مقابل یک دستگاه اورست می تواند مفید باشد.



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

تعیین هوای اضافی

تحلیل گر (آنالیزور) احتراق کوره، داده های کافی را برای محاسبه هوای اضافی در کوره آماده می سازد. در بیشتر کوره ها مولوکسید کربن باعث 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 (۱-۲) تعیین کرد. اگر سایر سوخت‌ها یک‌بار 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 مونوکسید 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.

$$O_2 = 9.8\%$$

$$CO_2 = 6.2\%$$

$$CO = 0\%$$

با توجه به شکل شماره (۳-۲)، هوای اضافی تقریباً ۷۷٪ است. این عدد را می‌توان با معادله ذیل مقایسه کرد.

$$\%N_2 = 100\% - (9.8\% + 6.2\% + 0\%) = 84\%$$

$$77\% = \frac{9.8 - (0.5 \times 0)}{(0.2682 \times 84) - [9.8 - (0.5 \times 0)]} \times 100 = \text{درصد هوای اضافی}$$

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 احتراقی به شوح ذیل می‌سوزد:

$$O_2 = 2.1\%$$

$$CO_2 = 10\%$$

$$CO = 0\%$$

$$N_2 = 87.9\%$$

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

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

نوع سوخت	هوای مورد نیاز تنوری سوخت (kg/GJ)	درصد هوای اضافه	هوای مورد نیاز احتراق (kg/GJ)
۱ گاز طبیعی	۳۱۸	۵	۳۲۳
۲ سوخت مایع (نمونه ۲)	۳۲۳	۱۰	۳۵۵
۳ سوخت مایع (نمونه ۶)	۳۲۷	۱۵	۳۶۰
۴ گاز کوره کک سازی	۲۹۵	۱۵	۳۲۰
۵ گاز پالایشگاه	۳۱۲	۱۰	۳۲۳
۶ پروپان	۳۱۲	۵	۳۳۰

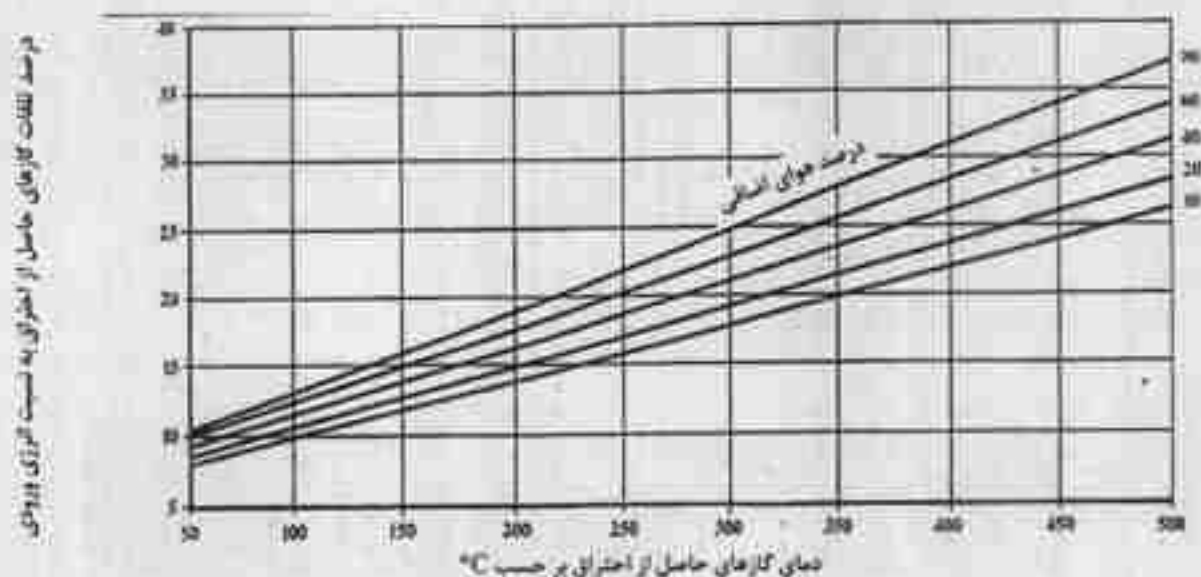
آنالیز حجمی	
31 %	CH_4
20 %	C_2H_6
38 %	C_3H_8
5/60 %	H_2
1/00 %	C_4H_{10} و کربن بالانتر
4/40 %	گازهای بی اثر

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

بیشترین افت حرارتی در دیگ با 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 برسند.

یعنی در این احتراق، هوا ۴٪ کمتر از هوای تنوری 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 دمبرهای (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^۱:

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^۲
- تلفات حرارتی ناشی از بخار آب تولید شده ناشی از هیدروژن موجود در سوخت^۳ این کمیت تابع سوخت است و با عملیات نمی‌تواند تغییر کند، بنابراین در این بحث لحاظ نشده است.
- تلفات ناشی از تولید بخار آب ناشی از احتراق^۴

برای مواد نفتی و گاز طبیعی، رطوبت در سوخت جزئی است و تخییر 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 (۵-۲) 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 پلاس بهتر و کنترل بهتر هوای احتراق لازم است. همین عوامل برای دیگرهای نفت سوز نیز لازم است، مشعل‌ها باید بدون آسیب دیدگی بوده و یخوبی تعمیر و نگهداری شود و هوای احتراق (اولیه و ثانویه) باید به میزان صحیح و با اختلاط مناسب وارد منطقه احتراق شود.

۱. Heat Losses

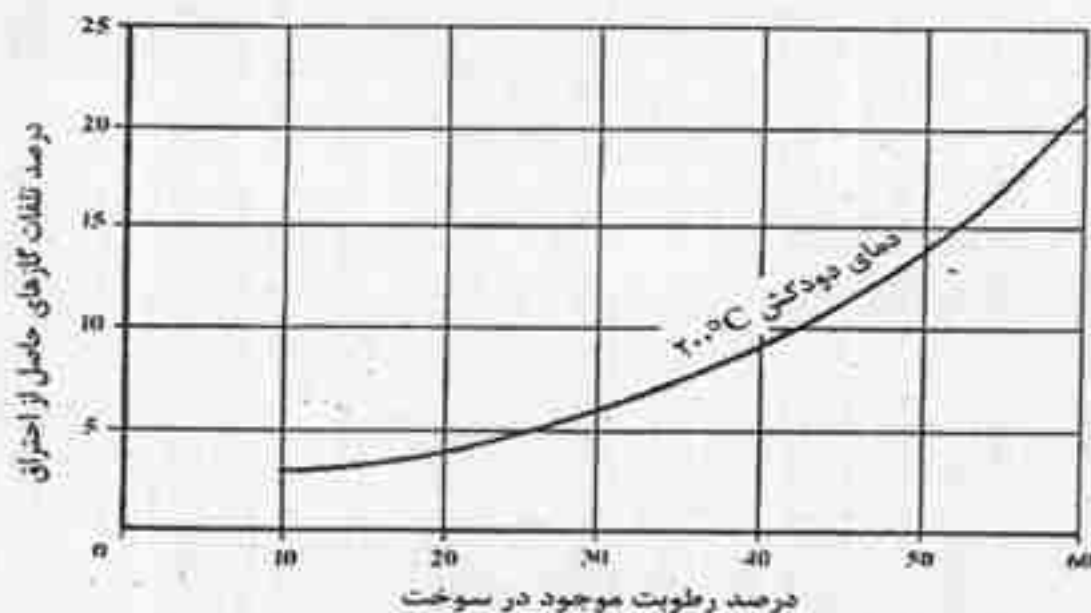
۲. این غالباً خیلی کوچک است و تابع رطوبت جوی است.

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

۴. عملکرد مورد فوق این مقدار نسبتاً تابع سوخت است و بنابراین بوسیله عملیات نمی‌تواند تغییر کند. بنابراین در این بحث لحاظ نشده است.

برای سوخت‌هایی مانند ذغال سنگ، زیست توده و ضایعات صنعتی یا زباله‌های 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 (۵-۲) 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 ۵-۲- 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 شدن 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 به علت احتمالی دارد. توزیع هوای ضعیف در زیر قفسه، خلط زرد بستر آتش یا ضخامت ناهموار ناشی از اعمال سوخت‌ریزی ضعیف.

تلفات مواد قابل احتراق نسوخته برای تأسیسات تفت سوز و گاز سوز اهمیت ندارد اما برای واحدهای سوخت جامد می‌تواند مهم باشد. شکل شماره (۱-۲) نشان می‌دهد که تلفات مواد سوختنی نسوخته می‌تواند کم و در حداکثر نقطه کارائی باشد اما اهمیت واقعی این رقم این است که تلفات هموازاتی که هوای کلی کاهش می‌یابد سرعت 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 دپگ 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^۱ 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 l)

مقدار گرمای زباله (MJ/kg)

۳- انتقال حرارت

انتقال حرارت از شعله مشتعل به محصول می‌تواند با هدایت (رسانش)^۱، جابجایی (همرفت)^۲ یا تشعشع (تابش)^۳ و در بیشتر موارد ترکیبی از هر سه باشد.

۱-۳- هدایت (رسانش)

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

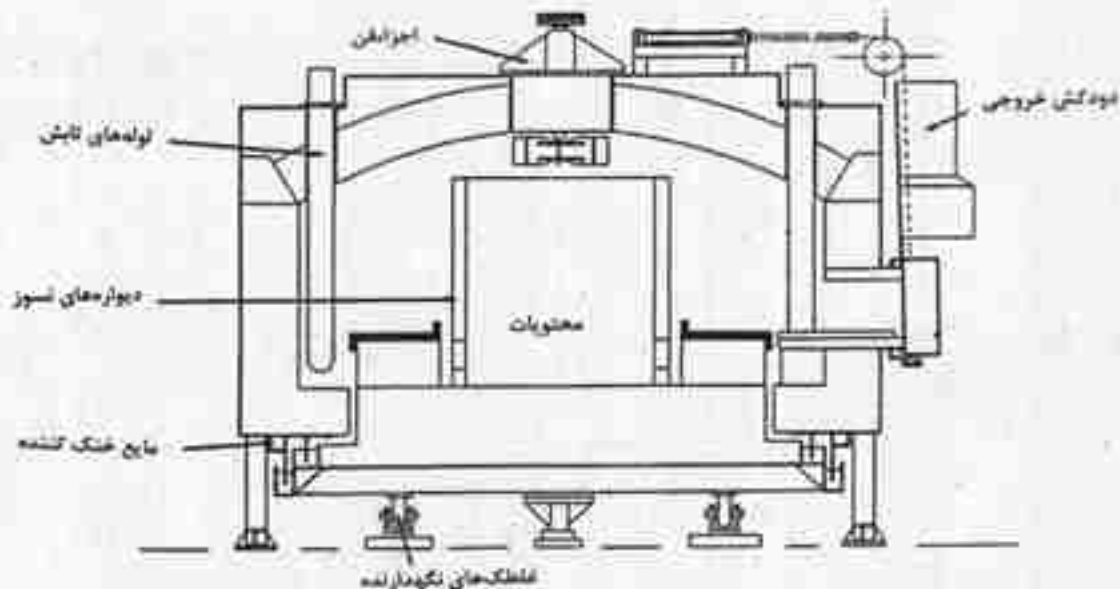
1. conduction

2. conduction

3. convection

4. Radiation

جا محصول از شعله بوسیله سطح مبادله گرما مجزا می‌شود. کوره مثل^۱ و کوره‌هایی که از گرم‌کن‌های لوله‌ای تابشی استفاده می‌کنند شکل شماره (۶-۲) نمونه‌ای از ترکیب گرمایش غیرمستقیم‌اند. گرمای انتقال یافته از طریق یک جامد را می‌توان محاسبه کرد.



شکل ۶-۲: کوره چرخشی گاز سوز با لوله‌های تابشی

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 $(W/m^{\circ}C)$

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 عاقل دارای یک حصار فولادی با نیکل به ضخامت 10 mm یا مساحت 55 متر مربع است. گرمای مفید محصول، که همه آن از طریق دیوار منتشر می‌شود 1.9 GJ/h است. هدایت حرارتی فولاد نیکل $(31\text{ W/m}^{\circ}C)$ است. افت دما از طریق دیوار کوره می‌تواند به قرار ذیل تعیین شود:

گرمای هدایت شده $1/9 \text{ GJ/h}$ یا $1/9 \times 10^9 \text{ KJ/h}$ است.

$$\Delta T = \frac{1/9 \times 10^9 \times 0/01}{31 \times 55 \times 3/6} = 3/1^\circ \text{C}$$

یا جایگذاری در معادله

افت دما در عرض دیواره $3/1$ درجه سانتیگراد با آهنگ مشخص انتقال گرمایی.

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 ($^\circ \text{C}$)

V : سرعت (m/s)

d : چگالی گاز (Kg/m^3)

مثال: کوره‌ای ۳ متر طول و ۱ متر در ۱ متر عرضی دارد. گاز خروجی کوره از میان کوره با سرعت متوسط $0/5 \text{ m/s}$ با یک دمای گاز 500 درجه سانتیگراد جریان می‌یابد. اختلاف دما بین دمای کوره و گاز خروجی کوره بطور متوسط 150 درجه سانتیگراد است. برای اهداف عملی‌تر چگالی هوا را می‌توان برای گاز خروجی کوره استفاده کرد بر اساس مراجع استاندارد چگالی هوا در 5000°C $0/458 \text{ kg/m}^3$ است. آهنگ متوسط انتقال گرما بوسیله جابجایی برای دیوارهای کف و سقف را می‌توان به‌قرار ذیل تعیین کرد:

$$(1+1+1+1) \text{ m} \times 3 \text{ m} = 12 \text{ m}^2 \quad (\text{مساحت کوره که توسط گاز مجرای خروجی کوره جاروب می‌شود})$$

$$Q = 23/46 \times 12 \text{ m}^2 \times 150^\circ \text{C} \times (0/5 \text{ m/s})^{0/78} \times 0/458 \text{ Kg/m}^3 = 11263 \text{ KJ/h}$$

۳-۳- تشعشع (تابش)

انتقال گرما بوسیله تشعشع (تابش) برای دماهای بالای 600 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 به‌طور مستقیم با ضریب نشر آن متناسب است.

سنجش ضریب نشر گرمای منتشره از یک شیء 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 دیوارهای کوره و فولاد اکسید شده $0/8$ تا $0/9$ است. زیرا هم جسم داغ (دیواره کوره) و جسم سرد (محتویات کوره) پرتو منتشر می‌کنند.

$$Q = K \cdot F \times [(T_1/100)^4 - (T_2/100)^4]$$

حرارت برابر است با:

Q : میزان انتقال حرارت (KJ/h)

K : ضریب جسم سیاه (۰/۶)

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:

$$F = A \left[\frac{1}{\epsilon} + \left(\frac{A}{A_1} \right) \left(\frac{1}{\epsilon_1} - 1 \right) \right]$$

A_1 : سطح محتویات کوره (m^2)

A_2 : مساحت دیواره‌های کوره (m^2)

ϵ_1 : ضریب انتشار محتویات کوره

ϵ_2 : ضریب انتشار دیواره‌ها

مثال: کوره‌ای 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.

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

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

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

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

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

$$Q = 20/6 \times (0/234) \left[\left(\frac{1273}{100} \right)^4 - \left(\frac{923}{100} \right)^4 \right] = 91604 \text{ KJ/h}$$

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 منظور معمول هر سوخت از نظر ویژگی‌های احتراق یا 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 شایع‌تری محصولات فرعی با 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، سادگی 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 نمی‌کند 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 دی‌اکسید 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 و گاز 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، درازمدت و نشت هستند. اگر یک مشتری مخزن‌های خود را داشته

باشد. خود مسئول اجرای تمام بازرسی‌ها و نشت‌ها یا 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 را سوخت، برای ایمنی تمام منابع احتراق (احتمال حرقه 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، آب‌گذر، 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 پس‌انداز 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 صافی‌ها یا روی لوله‌های توزیع سوخت بیرونی برای احتیاط نصب می‌کنند.

نفت خلم مخلوط پیچیده‌ای از هیدروکربن‌ها است. استفاده کنندگان 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 چسبیده است که نیازمند دمای ذخیره‌سازی و پمپاژ بالاتر است.

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

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

نوع سوخت مایع	درجه	چگالی نسبی ($100^\circ C$)	حداقل دمای نگهداری ($^\circ C$)	دمای مسابقت سوخت ($^\circ C$)
گازی/ نفتی	D	۱	—	—
سبک	E	۸۲	۱۰	۱۰-۱۲
متوسط	F	۲۰	۲۵	۳۰-۳۵
سنگین	G	۲۰	۴۰	۵۵-۶۰
بزرگ ^۱	H	۵۶	۴۵	۷۰

گرمایش شدید کنترل نشده نفت نیز می‌تواند پرهزینه باشد و مخازن و لوله‌های عایق نشده با عایق‌بندی ضعیف می‌توانند منبع عمده اتلاف انرژی باشد. چنانچه مخازن نیز با 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 پمپاژ کامل 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 آلاینده‌های سوخته‌ها، نفت کوره که دارای سولفور است، طی احتراق (SO_x) تولید می‌کند که تصور می‌شود این گاز در مشکل آلودگی جهان سهیم هستند، از طرفی نفت که در دمایی پایین‌تر از سوخته‌های گازی می‌سوزد، گازهای (NO_x) کمتری تولید می‌کند (NO_x در دماهای بالای احتراق تولید می‌شود).

۴-۴- ذغال سنگ

نقص سوزی سوخته‌های جامد بی‌انگر این مسئله است که هوای مورد نیاز برای احتراق در مقایسه با سوخته‌های مایع و گازی شکل، کمتر است. سوخت ذغال سنگ نیز که از سوخته‌های 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

می کنند، کمتر است (با استفاده از خورد کردن و ریز کردن) (بودر کردن) سوخت این مشکل را حذف کرده اند) کنترل شدید SO_x و ذرات ریز می تواند از طریق استفاده از تزریق سنگ آهک، سیلیکون و فیلترهای کیسه ای حاصل شود.

در سرتاسر مناطق نیمه قاره ای و معتدل، ذخایر ذغال سنگ جهانی پنحو چشمگیری از ذخایر نفت خام و یا گاز طبیعی بزرگترند. بسیاری از کشورهای واردکننده نفت با ذخایر مهم نفت، پژوهش های قابل توجهی را در زمینه سوخت ذغال سنگ انجام داده اند و در برخی از موارد، تصمیماتی را به اجرا گذاشته اند که در جهت ارتقاء معروف ذغال سنگ برای سوخت دیگ ها بوده است.

ذغال سنگ ارزان ترین سوخت متداول موجود است. علاوه بر این، قیمت ذغال از قیمت سوخت های دیگر ثابت تر است و قراردادهای درازمدت، با افزایش قیمت متعادل تر انجام می گیرد.

اما یک کارخانه با سوخت ذغال سنگ، سرمایه و هزینه های عملیاتی زیادی را متحمل می شود مانند دیگ یا کوره، هزینه سرمایه شامل اتمام ساختن، تجهیزات استعمال ذغال، تسهیلات محو خاکستر و...

هزینه های نگهداری نیز پنحو بارزی از هزینه های سوخت های فسیلی دیگر بالاتر است. مشکل رسیدن به احتراق پاک، بمعنی آن است که دیگ ها نیازمند پاک سازی بیشتر هستند. هم سوخت و هم خاکستر خیلی سخت و ساینده هستند، بنابراین میزان فرسایش دستگاه های استعمال ذغال و خاکستر نیز بالاست.

در معرض قرار دادن خاکستر به شیوه ای که از آلودگی اجتناب شود یک جز عملیاتی مهم محسوب می شود و در برخی مناطق کشور می تواند حرفه ای بر خرج باشد.

ذغال های احتراق پایین، آلودگی ناشی از NO_x را محدود می سازد، اما SO_x رها شده از احتراق ذغال سنگ می تواند مورد توجه قرار گیرد. ارزش گرمایی و جزء سولفور ذغال در هر منبعی متفاوت است. ذغال سنگ افریقای جنوبی که به بازار صنعتی فروخته می شود دارای جزء سولفور کمی است و کمتر از نفت کوره سنگین، آلودگی ایجاد می کند.

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 هزینه های عملیات و نگهداری است. ملاحظات دیگری نیز از قبیل تعمیرات احتمالی آینده در سوخت و سیاست های قیمت گذاری و مقررات کنترل آلودگی باید در نظر گرفته شود.

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، گدگورد 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 متواکسیدکربن (در صورت ناقص‌سوزی و نبود اکسیژن کافی)، دی‌اکسیدکربن CO_2 ، بخار آب H_2O و ترکیبات اکسیدگوگرد (در صورت وجود گوگرد در سوخت مانند ذغال سنگ، 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^۱ به خود اختصاص می‌دهد.

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

قسمت دیگر از ترکیبات و محصولات احتراقی نیز بصورت ذرات جامد به همراه دود خروجی از آگروز 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^۲: انواع سوخت‌های جامد و ترکیبات مربوط در جدول شماره (۵-۲) نشان داده شده است.

جدول ۵-۲- ترکیبات سوخت‌های جامد معمول

درصد رطوبت	درصد کربن	درصد هیدروژن	درصد اکسیژن	درصد سولفور و نیترژن	درصد دوده	درصد رطوبت
۱	۹۰/۳	۳	۲/۳	۱/۴	۲/۸	۱
۲-۱۰	۷۴	۴	۶	۲/۳	۲/۸	۲-۱۰
لیگنیت	۵۶/۵	۴	۶	۱/۴	۴/۵	بالای ۱۵

سوخت‌های مایع^۳: کلیه سوخت‌های مایع، ناشی از محصولات پالایشی پالایشگاه‌ها جزو این نوع سوخت‌ها محسوب می‌شوند. از جمله این سوخت‌ها می‌توان به انواع پارافین‌ها (C_nH_{2n+2}) اشاره کرد. جدول شماره (۶-۲) 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	درصد هیدروژن	درصد سولفور
بنزین مولود	۸۵/۵	۱۴/۴	۰/۱
روغن ذخیره شده	۸۶/۸	۱۴/۹	۰/۳
نفت سفید	۸۶/۳	۱۴/۶	۰/۱
کاروشل	۸۶/۳	۱۴/۸	۰/۹
نفت کوره سنگ	۸۶/۴	۱۴/۴	۱/۴
نفت کوره سنگین (ماروت)	۸۶/۱	۱۱/۸	۲/۱

سوخت‌های گازی^۱: 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_3H_8	O_2	N_2	CO_2
گاز شغال سنگ	۲۹/۴	۱۸	۲۰	-	۲	۰/۴	۶/۴	۲
گاز فرآوری شده	۱۴	۲۹	۲/۶	۰/۴	-	-	۵۴	۲
گاز کوره بلند	۲	۲۷	-	-	-	-	۶۰	۱۱

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

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

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.

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 ملکولی 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 ملکولی 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 ملکولی 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 ۲۱٪ O_2 اکسیژن و ۷۹٪ N_2 نیتروژن است بنابراین برای احتراق کامل در حالت استوکیومتری (Stoichiometric=S.C)



$$Kg \quad 16 + 64 + (7.52 \times 28) = 44 + 36 + (7.52 \times 28)$$

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

$$Mols \quad 1 + 2 + 7.52 = 1 + 2 + 7.52$$

$$m^3 \quad 2 + 1 + 7.52 = 1 + 2 + 7.52$$

* بر اساس قانون آوگادرو^۱ برای گازهای کامل، حجم دی اکسیدکربن 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 داغ است و همچنین هر مترمکعب 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 اندازه گیری شده در محصولات یک احتراق گازی ۹/۵٪ باشد یک واکنش احتراق کامل در حالت استوکیومتری انجام پذیرفته است.

در اغلب اندازه گیری های گازهای خروجی احتراقی مقدار CO_2 مقدار واقعی نیست. واکنش بخار آب موجود در گازهای احتراقی و دی اکسیدکربن باعث ایجاد خطا در اندازه گیری های CO_2 می باشد و بصورت زیر است:



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

همچنین واکنش بالا باعث نمایش مقدار غیرواقعی CO_2 در دستگاه اندازه گیری CO_2 می شود. لذا به طور معمول CO_2 موجود در گازهای احتراقی را از روش محاسباتی بدست می آورند نه از طریق اندازه گیری.

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

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^۱: 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 (۸-۲) نمونه‌ای از استاندارد حرارت تشکیل چند ماده را نشان می‌دهد.

بنابراین:

جدول ۸-۲- حرارت استاندارد تشکیل چند ماده

نام	حرارت $kJmol^{-1}$	جرم مولی gram	انرژی حرارتی kJ/kg^{-1}
O_2, N_2, etc	0	-	-
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
گفت سفید	25/4	14	1/81

۱- Heat of formation

حرارت آزاد شده احتراق =

مجموع حرارت‌های تشکیل محصولات احتراق - مجموع حرارت‌های تشکیل مواد اولیه

بنابراین:

$= \text{CO}_2$	1 mol	393.8	KJ
$+ \text{H}_2\text{O}$	2 mol	2×241.8	KJ
$+ \text{H}_2$	7.52 mol	7.52×0.0	KJ
مجموع	9.52 mol	877.4	KJ
$- \text{CH}_4$	1 mol	74.9	KJ
$- \text{O}_2$	2 mol	2×0	KJ
$- \text{N}_2$	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 برابر است با

$$877.4 - 74.9 = 802.5 \text{ KJ}$$

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^۱ متان گفته می‌شود.

به این ارزش حرارتی، ارزش حرارتی پایین^۲ نیز گفته می‌شود که در آن H_2O بصورت بخار آب در محصولات احتراق ظاهر می‌شود.

چنانچه حرارت نهان تبخیر آب^۳ که معادل 25 MJ/kg است و صرف تبخیر آب شده است به مقدار فوق اضافه کنیم مقدار ارزش حرارتی بالای^۴ یا ارزش حرارتی ناخالص^۵ 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. (با 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

$$50/156 \text{ MJ/kg} + 5/625 \text{ MJ/kg} = 55/78 \text{ MJ/kg} \text{ یا } (892.5 \text{ KJ/mol})$$

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

$$892.5 \text{ KJ/mol} - 802 \text{ KJ/mol} = 90 \text{ KJ/mol}$$

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

جدول ۹-۲ - 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	۲۲۰
هیدروژن مایع	۹۲	H_2O	۲	۱۸۶
متان	۵۰	CH_4	۱۶	۸۰۰
پتئول	۴۸	C_7H_{16}	۱۰۰	۲۸۰۰
پتئول	۴۶	C_3H_8	۴۴	۲۰۲۲
نفت کوره	۴۴/۷	-	-	-
بنزین	۴۴	-	-	-
کربن	۳۲/۶	C	۱۲	۳۹۱
زغال سنگ	۲۸/۳	-	-	-
متانول	۱۵	-	-	-

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

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

آنتالپی محصولات احتراق (دمای بالاتر از 298.15 کلوین و بر حسب [J/mol])					
محصولات احتراق	O_2	N_2	CO_2	H_2O (بخار)	CO
(بر حسب کلوین) دما / جرم مولی (کرم)	۲۲	۲۸	۴۴	۱۸	۲۸
۳۰۰	۵۲	۵۲	۶۷	۶۳	۵۲
۴۰۰	۳۰۲۹	۲۹۷۱	۴۰۰۸	۳۲۵۲	۲۹۷۵
۶۰۰	۹۲۵۲	۸۹۰۱	۱۲۹۱۶	۱۰۳۰۵	۸۹۲۷
۸۰۰	۱۵۸۳۷	۱۵۰۶۰	۲۲۸۲۲	۱۸۰۰۷	۱۵۱۸۵
۱۰۰۰	۲۲۷۲۱	۲۱۲۷۸	۳۳۲۱۹	۲۶۰۰۷	۲۱۷۰۰
۱۲۰۰	۲۹۷۸۹	۲۸۱۳۱	۴۳۰۰۶	۳۳۵۱۲	۲۸۲۲۵
۱۴۰۰	۳۶۹۹۰	۳۴۹۶۰	۵۵۹۳۶	۴۳۵۰۱	۳۵۳۶۲
۱۶۰۰	۴۴۰۰۹	۴۱۹۳۱	۶۷۶۱۷	۵۲۹۲۵	۴۲۲۰۸
۱۸۰۰	۵۱۷۲۳	۴۹۰۱۱	۷۹۲۸۶	۶۲۷۲۲	۴۹۹۵۱
۲۰۰۰	۵۹۳۳۹	۵۶۱۷۰	۹۱۵۰۳	۷۲۸۲۶	۵۷۶۶۹
۲۲۰۰	۶۶۸۴۶	۶۳۳۹۷	۱۰۳۶۲۷	۸۲۲۲۶	۶۴۰۵۲
۲۴۰۰	۷۴۵۲۲	۷۰۶۸۲	۱۱۵۸۳۹	۹۲۸۸۵	۷۱۳۸۱
۲۶۰۰	۸۲۳۳۹	۷۸۰۰۰	۱۲۸۱۲۱	۱۰۴۷۷۹	۷۸۷۲۵
۲۸۰۰	۹۰۲۰۵	۸۵۳۶۵	۱۴۰۵۰۱	۱۱۵۷۵۲	۸۶۱۲۸
۳۰۰۰	۹۸۱۶۲	۹۲۷۵۲	۱۵۲۹۱۲	۱۲۶۹۳۱	۹۳۵۷۵

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

$$G_o = (1 - 0/21) A_h + 1.875 + 11/2h + 0/7s + 1.244 W + 0/8(Nm^3/kg)$$

ج: حجم تئوری گازهای احتراق بر پایه خشک (G_d)

$$G_d = G_o - (11/2H) + (1.22244 W)(Nm^3/kg)$$

د: نسبت هوا^۱ (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)

$$A = mA_h \quad (Nm^3/kg)$$

$$G = G_o + (m-1) A_h \quad (Nm^3/kg)$$

$$G' = G_d + (m+1) A_h \quad (Nm^3/kg)$$

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

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

ط: ارزش حرارتی ناخالص سوخت (H_H)

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

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

ی: ارزش حرارتی خالص سوخت (H_L)

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

$$H_L = H_H - 600 (9H + W) \quad (Kcal/kg)$$

معادلات برای سوخت‌های گازی از قبیل:

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

الف: حجم هوای تنوری (سوخت Nm^3 / Nm^3)

$$A_0 = \frac{1}{0.21} (0.15 H_2 + 0.15 CO + 1 CH_4 + 3.5 C_2H_6 + 2 C_3H_8 + 5 C_4H_{10} - O_2) \quad \text{سوخت } (Nm^3 / Nm^3)$$

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

$$C_p = 1 + A_0 - 0.15 (H_2 + CO + C_2H_6 - 2 C_3H_8 - 2 C_4H_{10}) \quad \text{سوخت } (Nm^3 / Nm^3)$$

ج: نسبت هوا (m)

$$m = 1 + \frac{[(O_2) - 0.5(CO)] G}{0.21 A_0}$$

د: حجم واقعی هوای احتراقی (A)

$$A = m A_0 \quad [\text{سوخت } Nm^3 / Nm^3]$$

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

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

و: حجم واقعی گاز احتراقی بر پایه خشک

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

ز: ارزش حرارتی ناخالص (H_H)

$$H_H = 3020 \cdot CO + 3050 \cdot H_2 + 9520 \cdot CH_4 + 16820 \cdot C_2H_6 + 1570 \cdot C_3H_8 + 24370 \cdot C_4H_{10} + 32010 \cdot C_4H_{10} \quad [\text{سوخت } Kcal / Nm^3]$$

ح: ارزش حرارتی خالص (H_L)

$$H_L = H_H - 9 \cdot (H_2 + 2 CH_4 + 2 C_2H_6 + 2 C_3H_8 + 4 C_4H_{10}) \quad [Kcal / Nm^3]$$

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 اطرافش 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 و در نتیجه کارایی دیگ کاهش می‌یابد. دیگری بزرگتر یا 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 حداکثر رساندن 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 گرانیروی 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 سرعت 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^۱ است که در آن سوخت با فشار از طریق یک شیبوره (نازل) پاشیده می‌شود. نوع دیگر مشعل اتمایز^۲ 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^۳ 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 به علت 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 کاب (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 هزینه‌بر است.
- برای حرکت در آوردن کلاهک مشعل^۱، انرژی الکتریکی مصرف می‌شود.
- بیشتر کشورها برای تولید مشعل‌های نفت سوز و گاز سوز، قانون استانداردهای ایمنی و انتشار آلاینده‌ها را رعایت می‌کنند.

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

♦ طراحی بهتر شیپوره‌های (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، ملاحظات برای سیستم کنترل، مورد توجه است. ساده‌ترین کنترل (on/off) به معنی 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.

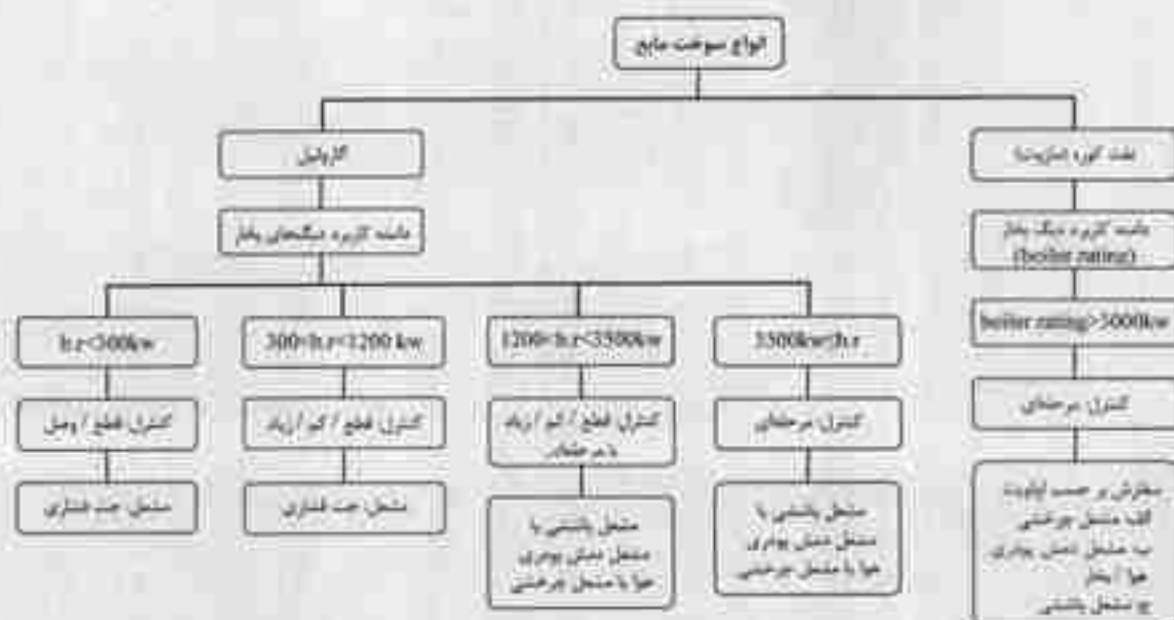
سیستم اندکی پیچیده‌تر مستقیم High/Low/off است که در آنها مشعل دارای دو است. مشعل ابتدا در درجه آتش پایین‌تر عمل می‌کند و بعد با بار کامل مورد نیاز تغییر وضعیت می‌دهد و از آن طریق بر شوک‌های زیاد گرمایی غلبه می‌کند. این نوع مشعل‌ها همچنین می‌توانند به وضعیت شعله کم در بارهای کاهش یافته برگردند و به طور مجدد حرارت را در داخل دیگ محدود سازد. این سیستم بنحوی 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 کتلل‌های دیگ پاک شود. این کار انرژی را تلف می‌کند و کارایی 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)
- ♦ از نوع سوخت انتخاب شده و مورد استفاده

مثلاً یک کنترل (قطع / وصل)^۱ متناسب نفت کوره سنگین نیست. انتخاب‌های اساسی هم‌اگرانی که به مشعل‌های سوز ارتباط می‌یابد در شکل (۱۰-۲) خلاصه شده است. همیشه مقداری اختلاف بین انواع مشعل و انواع سیستم کنترل وجود دارد. اما ترکیب‌ها ترجیحی ترسیم شده‌اند.



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

۴-۶- 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 کنار شده‌اند از ذغال‌های جدید متفاوت‌ترند. در نتیجه سیستم احتراق دیگر، باید به طور منظم برای به حداکثر رساندن تبدیل انرژی تنظیم شود. در بخش ذیل، تنها آن نوع از سوخت ریزها که مناسب یک دیگ با بارده 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 بشر محفظه احتراق می‌ریزند تا احتراق

صورت گیرد. آنها برای تغذیه سوخت مستمر یا متقطع، 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 تنوری) سوخت وارد منطقه احتراق می‌شود که در جهت مخالف جریان هواست.

سوخت‌ریز زنجیری^۱

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 زمینی 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^۲

سوخت‌ریز پاششی یک سیستم سوخت ریز مکانیکی اصلی است که عرضه شده است. اصل کار بر آن است که ذغال 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 ذغال بسیار کمی را با خاکستر بالا (حتی با ضایعات صنعتی و تجاری) می‌سوزانند.

۲- به علت پایین بودن دما امکان استفاده از مواد ارزانه‌تر فراهم می‌شود.
اما این فناوری همچنان جدید است و در بعضی کشورها در مرحله تجریمی است.

۷- تجهیزات صرفه‌جویی انرژی حرارتی

در ذیل تعریف مختصری از نیازهای 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- مبادله‌کن‌های بازیافت گازهای احتراقی

چون بیشتر تلفات از یک کوره در گازهای خروجی ظاهر می‌شود بازیافت این گرما می‌تواند باعث صرفه‌جویی اساسی در مصرف انرژی شود. یک روش متداول نصب یک مبادله‌کن 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.

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

Q = میزان (آهنگ) انتقال حرارت KJ/h

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

A = سطح انتقال حرارت (m^2)

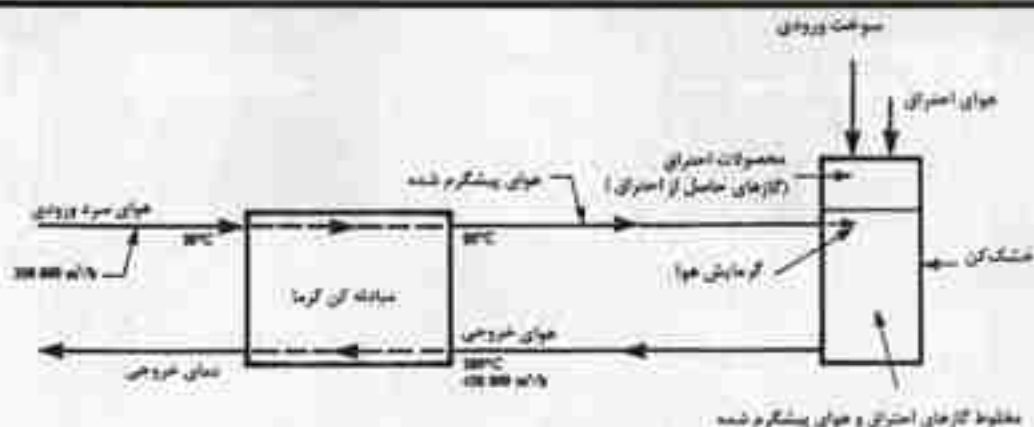
$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right)} \quad \Delta T_m = LMTD \text{ (یعنی اختلاف دمای متوسط لگاریتمی)}$$

ΔT_1 = اختلاف دمای بالای گاز خروجی کوره با آب گرم شده یا هوا $^{\circ}C$

ΔT_2 = اختلاف دمای پایین گاز خروجی کوره با آب یا هوا $^{\circ}C$

ضریب تبدیل = 3.6

یک مبادله‌کن 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 زیر داده شده است.



شکل ۱۱-۲- دمای پیش گرمکن هوا

مثال صرفه‌جویی

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

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

$$Q_c = V (\text{m}^3/\text{h}) \times D (\text{Kg}/\text{m}^3) \times C_p (\text{KJ}/\text{kg}^\circ\text{C}) \times \Delta T (^\circ\text{C})$$

سرد

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

$$Q_h = 450000 \times 1/204 \times 1/006 \times (100 - T_{\text{mid}})$$

گازهای خروجی

تلفات حرارتی گازهای خروجی = حرارت دریافتی بوسیله هوای سرد

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

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

دمای

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

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

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_m \cdot 3/6$$

از طرف دیگر

$$Q = 31/79 \times 10^6 = 28 \text{ W/m}^2 \cdot C \times 22/1^\circ C \times 3/6^\circ C$$

هوای سرد

از آنجا مساحت سطح تبادل گرما بدست می‌آید:

$$\rightarrow A = 14142 \text{ m}^2$$

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

$$T_{\text{هوای گرم}} = 100 - 5 = 95^\circ C$$

$$\text{حرارت دریافتی هوای سرد} = 350000 \times 1.204 \times 1.06 \times (95 - 10) = 36/03 \times 10^6 \text{ KJ/h}$$

$$(100 - T_m) = \frac{36/03 \times 10^6}{450000 \times 1/204 \times 1.006} = 66/1^\circ C$$

$$T_m = 100 - 66/1 = 33/9^\circ C$$

$$\Delta T_1 = 33/9 - 10 = 23/9$$

$$\Delta T_2 = 100 - 95 = 5^\circ C$$

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

$$A = \frac{36/03 \times 10^6}{28 \times 12/1 \times 3/6} = 29541 \text{ m}^2$$

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^۱

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.

پیش گرم کن هوا^۲

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 پیش‌گرمایش 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. پیش‌گرمکن‌های هوا بزرگ و کم‌اثرتر از مبادله‌کن‌های مایع مورد استفاده برای گرم کردن آب یا پیش‌گرم کن آب می‌باشند.

۲-۲-۲-۱ انباشتگر^۳

دیگ‌ها برای رفع نیاز، بخار تولید می‌کنند. وقتی تقاضا زیاد باشد، اغلب این گونه است که با 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 باعث تلفات همراه با گرمایش و سرمایش پوسته دیگ‌ها گردد. در هر دو مورد می‌توان با استفاده از یک انباشتگر از بعضی از ظرفیت‌های مورد نیاز دیگ (راهنمایی و هزینه سرمایه) اجتناب نمود.

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

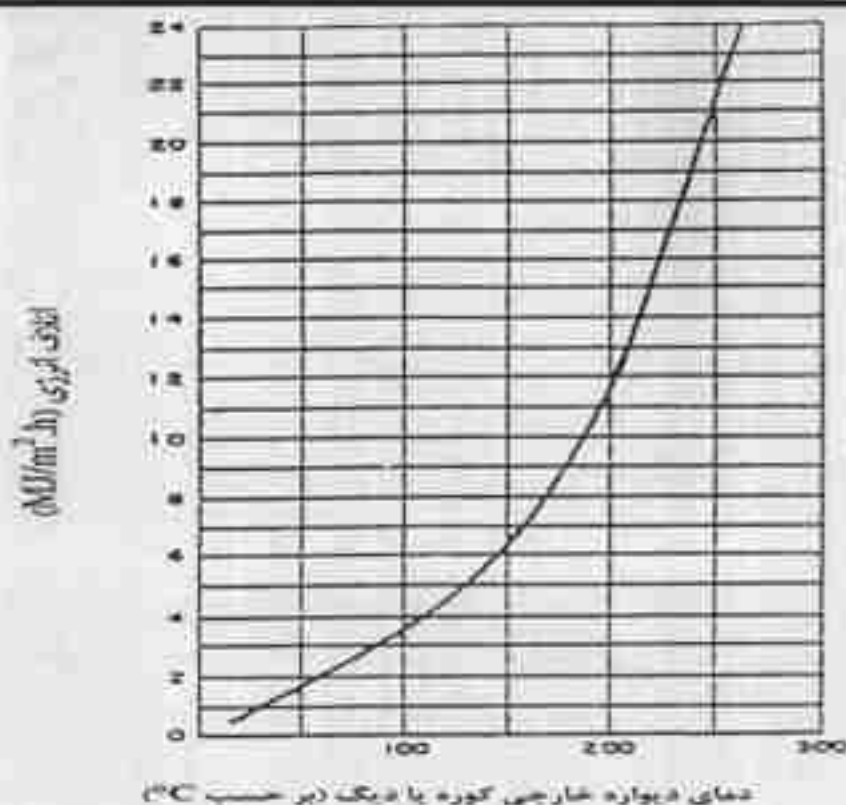
۲-۲-۳ عایق‌بندی

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 دیواره‌های داغ یک کوره یا دیگ داده شده است.

1- Economizer

2- Air Pre-Heater

3- Accumulator



شکل ۲-۱۲- تلفات انرژی حرارتی از دیواره کوره یا دیگ. بتوان نامی 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.

۴-۷- تحلیل گر 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 زیروکسیم^۱ 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.

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

۷-۵- کنترل دور موتور با استفاده از کنترل‌کننده دور متغیر^۱

در اروپا و ژاپن کنترل‌های دور متغیر برای موتورهای 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 دمیپرها 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 دور متغیر، کمتر جذابیت دارند.

۷-۶- دمیپ‌های گازهای خروجی

در نیروگاه‌هایی که دیگ‌ها یا کوره‌ها پیوسته بخاطر تغییر بار از مدار خارج می‌شوند، افت حرارت باعث 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 بالاتر متغیر اقتصادی عمل کنند. در گذشته مشکلات عمده‌ای وجود داشت که ناشی از طراحی دمیپرها بود که واقعاً در برابر گاز مقاوم بوده و سیستم کنترلی که از آتش دیگ در برابر دمیپر بسته جلوگیری کند برخوردار باشند. امروزه انواع دریچه‌ها برای این گونه مسائل طراحی شده‌اند. در مورد دهنش اجباری^۲ (FD فن) مشعل‌های گازسوز و نفت سوز جایگزین ارزاتری 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 = دهنش اجباری

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

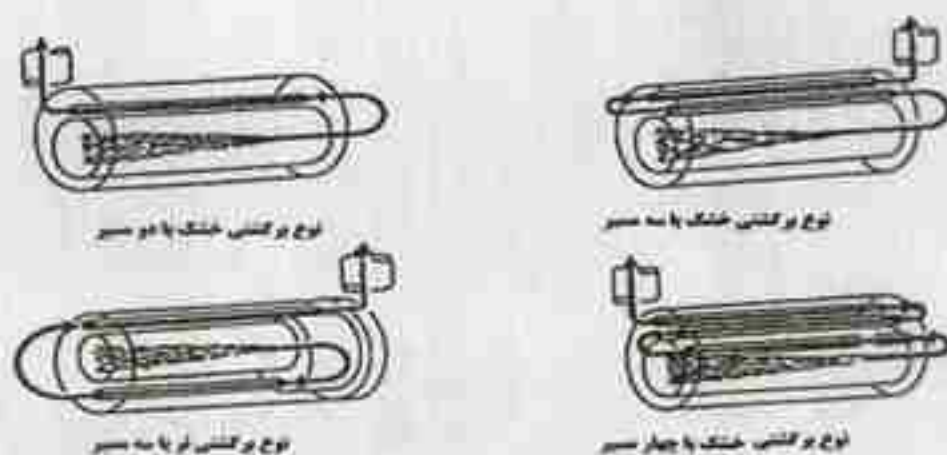
در این قسمت به بررسی دو نوع از این دیگ‌ها می‌پردازیم. یکی دیگ‌های با لوله-آتش^۱ و دیگری دیگ‌های لوله-آب^۲ می‌باشد.

الف) دیگ‌های با لوله آتش:

در این نوع دیگ‌ها، گازهای احتراق داخل لوله‌ها و آب در اطراف لوله‌ها جریان می‌یابد 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 دیگ‌ها بسته به جریان گاز داخل لوله، بصورت دوگذرسه‌گذر و چهارگذر می‌باشند که در شکل ۱-۳ آمده است.

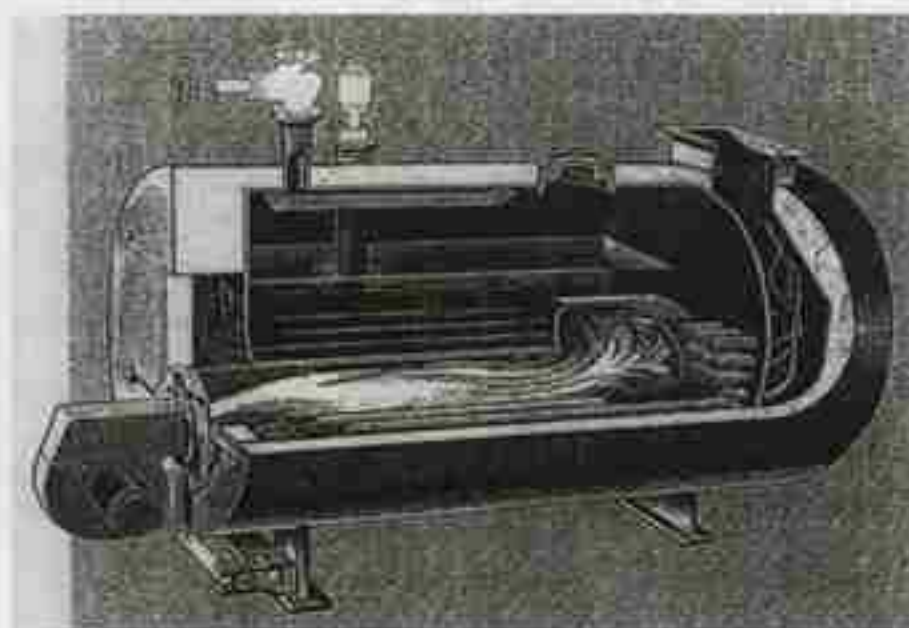
1 - Fire tube boilers

2 - water tube boilers



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

وای در حالت کلی نوع دیگ های با لوله دود بصورت شکل ۲-۳ می باشد.

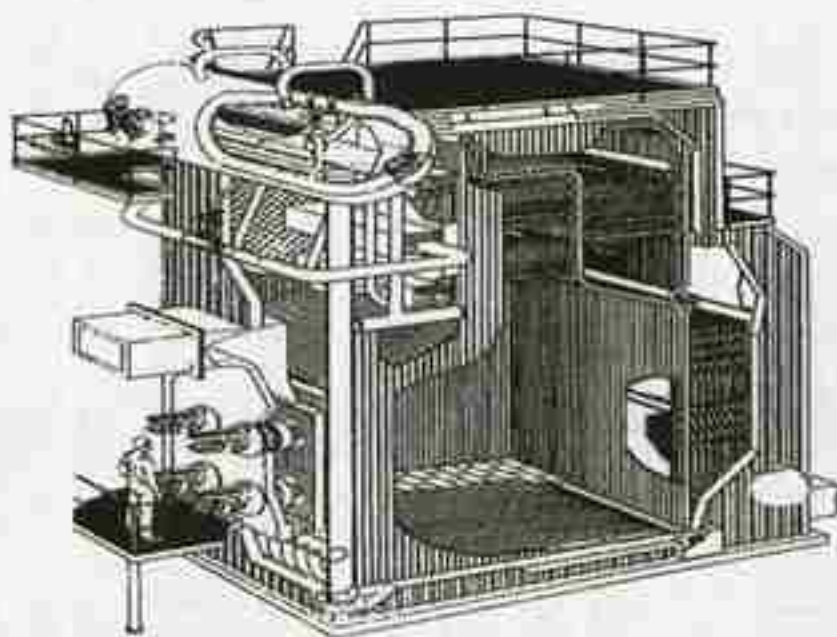


شکل ۲-۳- نمونه ای از دیگ های بخار با لوله - آتش

معمولاً بیشترین فشار کار این نوع دیگ ها ۲۵ بار بوده و دارای ظرفیتی بین ۰/۵ تا ۱۰ تن بخار در ساعت می باشند.

ب) دیگ‌های لوله - آب:

این دیگ‌ها مانند دیگ‌های با لوله دود می‌باشند با این تفاوت که آب در داخل لوله‌ها و گازهای داغ در بیرون لوله‌ها 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 ۱۰ ton/hr با فشار بخار تولیدی بالاتر از ۲۰ bar مورد استفاده باشد حتماً از این نوع دیگ‌ها باید استفاده نمود. نمای کلی این دیگ در شکل ۳-۳ آمده است.



شکل ۳-۳- نمونه‌ای از دیگ‌های بخار لوله - آب

۱-۲- استفاده اقتصادی از دیگ‌های بخار (بویلرها) و راه‌های 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.

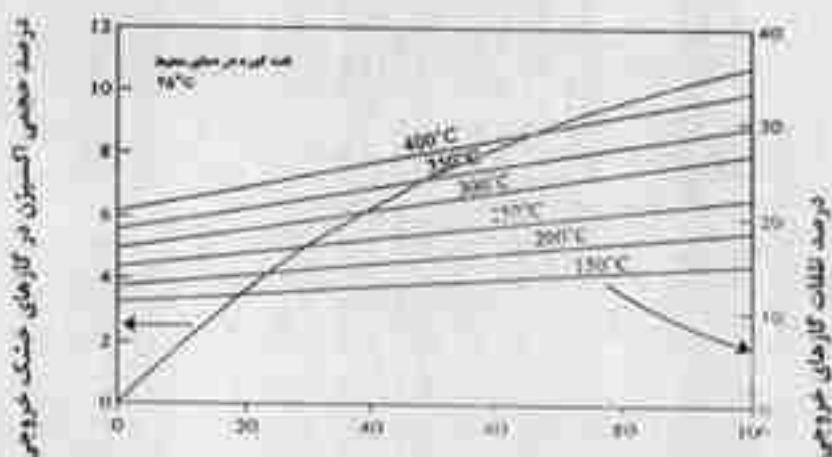
راندمان دیگ بخار معمولی حدود ۷۵٪ می‌باشد البته دیگ‌های بخار با طراحی جدید دارای راندمان بین ۸۰-۹۰٪ نیز می‌باشند.

۱-۲-۱- تلفات گازهای خروجی^۱

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 دیگر، 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 علاوه تولید دود می‌کند بنابراین میزان هوای اضافه باید کاملاً تنظیم شود. میزان هوای اضافی برای دیگرهای کوچک با سوخت گاز و سوخت‌های مایع حدود ۱۵ درصد و برای دیگرهای بزرگ حدود ۵ تا ۱۰ درصد می‌باشد. ولی برای سوخت‌های جامد حدود ۱۰ تا ۵۰ درصد است. نمودار ۱-۳ درصد تلفات گازهای خروجی را بر اساس درصد هوای اضافی نشان می‌دهد.



درصد هوای اضافی احتراق

نمودار ۱-۳ تلفات گازهای خروجی بر اساس درصد هوای اضافی

برای مثال در یک دیگ بخار با اندازه‌گیری درصد هوای اضافی ۴۰٪ و دمای دودکش 225°C می‌باشد با توجه به نمودار ۱-۳ داریم:

هوای اضافی $\lambda = 40\%$

قبل از تنظیم:

→ Loss تلفات دودکش $= 1.9\%$

$T = 225^{\circ}\text{C}$

بعد از تنظیم:

$$\lambda = 1.10$$

$$\text{Loss} = 1.41\%$$

$$T = 225^{\circ}\text{C}$$

یعنی با تنظیم نسبت هوا به سوخت و درصد هوای اضافه (λ) راندمان بویلر به میزان ۲/۱۸٪ افزایش می‌یابد که 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 متواکسید کربن در اثر احتراق ناقص از فرمول زیر محاسبه می‌گردد:

$$\text{Loss (Co)} = m_{\text{co}} \cdot (\text{H.H.V})_{\text{co}} \text{ (KJ)}$$

m_{co} : آهنگ جرمی متواکسید کربن

$(\text{H.H.V})_{\text{co}}$: ارزش حرارتی بالای متواکسید کربن

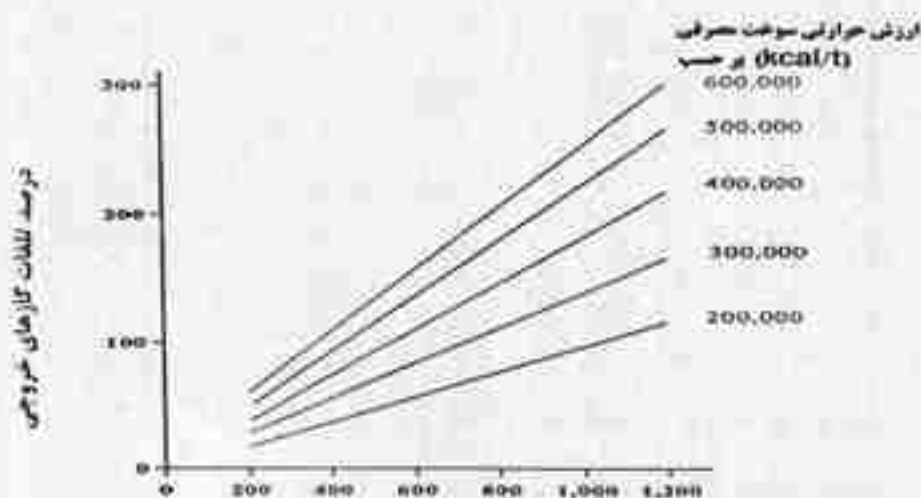
ب) کنترل دمای گازهای خروجی

دمای متعارف برای گازهای خروجی باید حدود 20°C بالاتر از نقطه شبنم باشد.

$$175^{\circ}\text{C} - 130^{\circ}\text{C} = \text{دمای نقطه شبنم}$$

$$20^{\circ}\text{C} + \text{دمای نقطه شبنم} = \text{دمای نرمال گازهای خروجی}$$

نمودار ۲-۳ 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 معمولاً جداره‌ها یا لوله‌ها را دوده یا جرم گرفته و عمل انتقال حرارت را به خوبی انجام نمی‌دهند.



نمودار ۲-۳- 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 ۱-۳- مقایسه احتراق خوب و بد در یک دیگ ۲۵ تنی بخار

بد	خوب	احتراق خوب و بد	
۲۰	۲۰	T/h	بخار
۳۰۰	۲۰۰	°C	دمای گازهای خروجی
۱۰	۱۲	%	CO ₂
۹/۵	۷/۵	%	O ₂
۰/۵	۰/۰۱	%	CO
۲۰	۳۰	gr/kg-fuel	دوده

جدول ۲-۳- مقایسه میزان تلفات خوب و بد در یک دیگ ۲۵ تنی بخار

بد	خوب		تلفات
۱۵/۳	۹/۸	%	گازهای احتراق
۱	۰/۷	%	رطوبت در گاز خروجی
۲/۵	۰/۰۵	%	CO
۱/۷	۰/۷	%	دود
۲/۵	۲/۵	%	حرارت خاکستر
۲۴/۹	۱۴/۸	%	کل تلفات

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.

جدول ۳-۳- میزان تلفات دودکش بر حسب درصد CO_2 و دمای گازهای خروجی

دمای گازهای خروجی			درصد CO_2 در گازهای خشک
$200^{\circ}C$	$200^{\circ}C$	$100^{\circ}C$	
۱۴/۹	۹/۴	۴	٪۱۰
۱۲/۶	۷/۹	۳/۳	٪۱۲
۱۰/۹	۶/۸	۲/۹	٪۱۴

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 می‌یابد) 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 می‌شود).

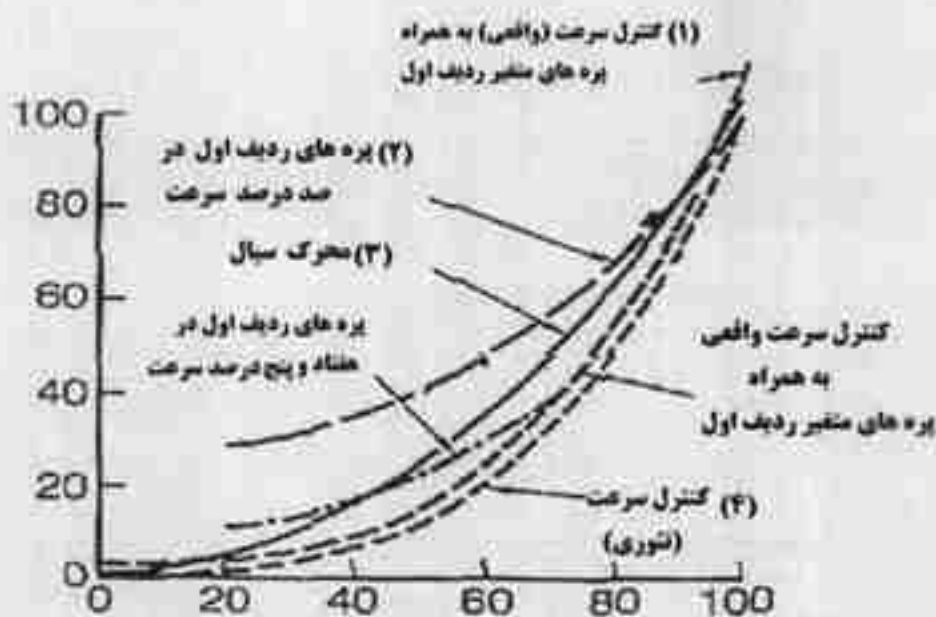
۱-۲-۲- تلفات تابشی و هرفنی

این تلفات برای دیگ‌های پیشرفته بسیار پایین و حدود ۱ تا ۲٪ در بیشترین ظرفیت حرارتی می‌باشد ولی برای دیگ‌های 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 موتور برای فن‌های بوiler

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 سرعت با ۱۰۰٪ و ۷۵٪ سرعت نامی و استفاده از گیربکس هیدرولیکی و همچنین کنترل فرکانس را بر حسب شرایط مختلف درجه با یکدیگر مقایسه نموده و با استفاده از آن می‌توان مقدار صرفه‌جویی در انرژی الکتریکی فن را محاسبه کرد.



نمودار ۳-۲: درصد پتانسیل صرفه‌جویی ناشی از نصب موتورهای کنترل سرعت

۴-۲- پیش گرمایش هوای احتراق^۱

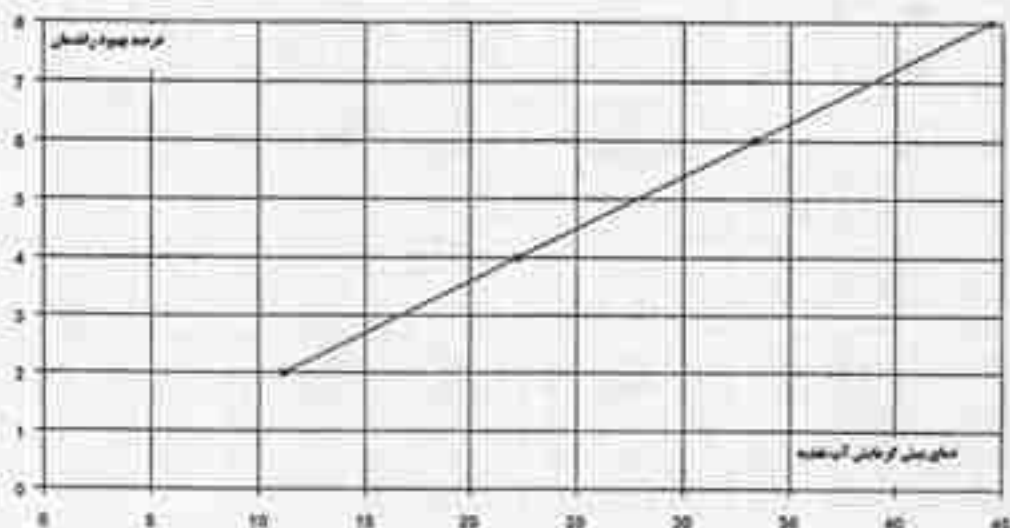
با افزایش دمای هوای ورودی به دیگ، راندمان آن افزایش می‌یابد. برای اینکار می‌توان از انرژی حرارتی موجود در گازهای خروجی استفاده نمود. به ازای هر 25°C افزایش دمای هوای احتراق، راندمان بویلر حدود ۱٪ افزایش می‌یابد.



نمودار ۴-۳: افزایش راندمان در اثر پیش گرمایش هوای احتراق

۱-۲-۵- پیش‌گرمایش آب تغذیه^۱:

با افزایش دمای آب تغذیه، می‌توان راندمان دیگ را افزایش داد که این کار با نصب یک بازتاب حرارت (اکونومایز) و استفاده از گازهای داغ خروجی انجام می‌شود که با این کار، دمای گازهای خروجی کاهش می‌یابد. در حالت کلی با افزایش 60°C دمای آب تغذیه دیگ، مصرف سوخت دیگ به اندازه ۱٪ کاهش می‌یابد.



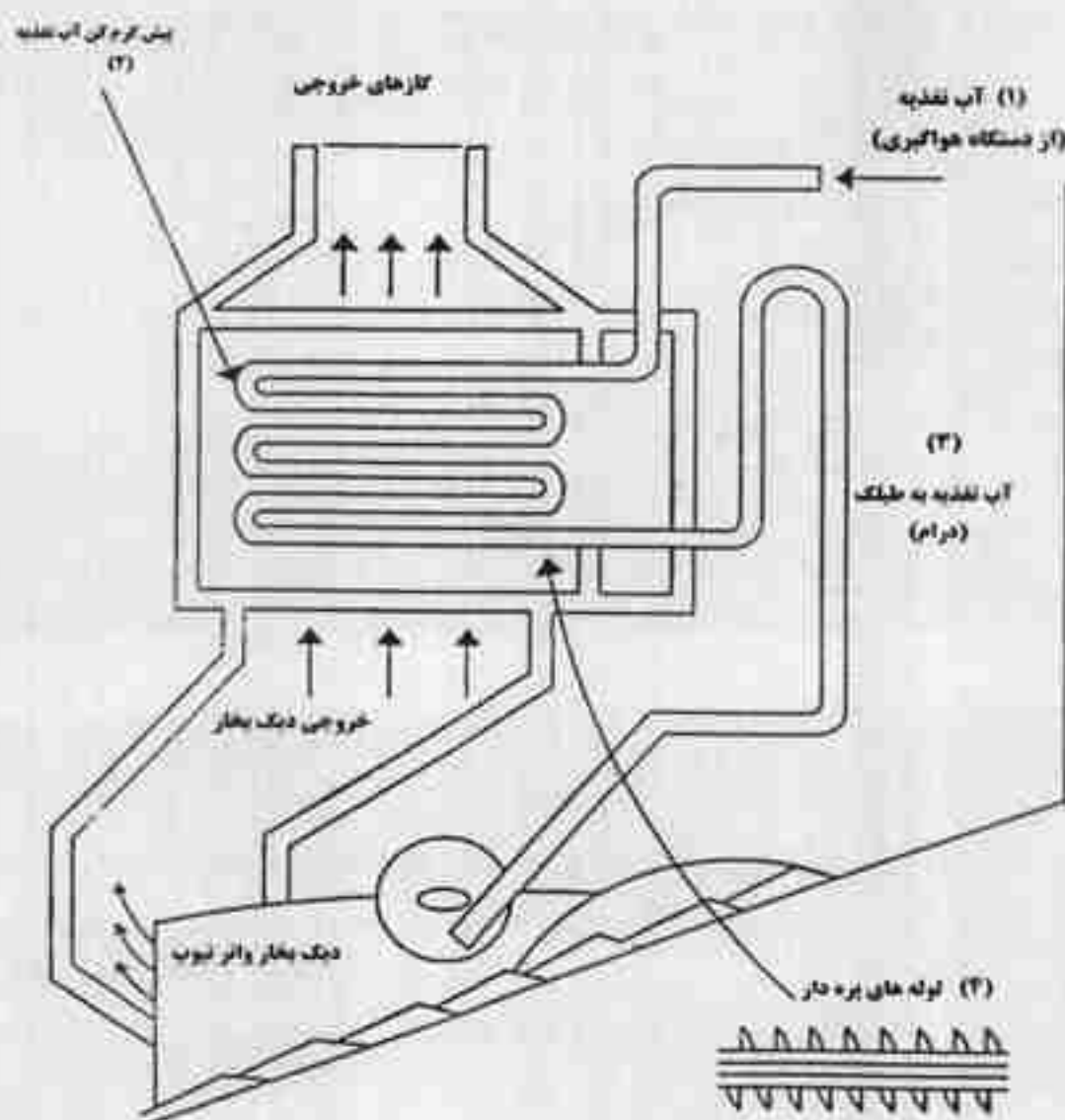
نمودار ۵-۳- درصد افزایش راندمان بویلر در اثر پیش‌گرمایش آب تغذیه (۱۱)

شکل (۳-۴) نصب اکونومایزر را در یک دیگ بخار با لوله‌های 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: 7 ton/hr (ذغال سنگ)

درصد CO_2 : ۱۱٪

افزایش راندمان: ۵٪

میزان صرفه‌جویی سالانه سوخت با نصب اکونومایزر برابر 240 ton/yr خواهد شد.



شکل ۲-۳- نصب آکونومایزر 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 (زیرکشی) دیگ بخار:

با کارکرد سیستم و به مرور زمان، مقدار TDS انباشته شده درون آب دیگ در اثر تبخیر مداوم افزایش می‌یابد که به منظور افزایش عمر سیستم، بازده بیشتر، امنیت بالاتر و تعمیرات و نگهداری سیستم، بایستی بشوئه مناسب کاهش یابد. سختی بالای آب در مرحله اول باعث رسوب در سطوح انتقال حرارت و لوله‌های دیگ می‌شود که باعث کاهش آهنگ گرمای مبادله شده و راندمان سیستم می‌گردد که در نتیجه سرویس و تعمیر کردن سریعتر دیگ‌ها را به همراه خواهد داشت.

برای اندازه‌گیری دو روش عمده وجود دارد:

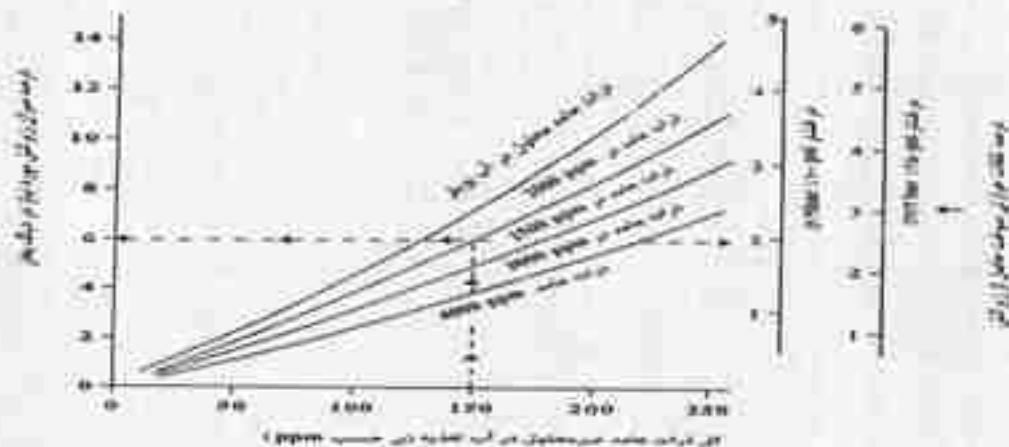
الف: روش استفاده از چگالی یا دانسیته نسبی آب می‌باشد

به: استفاده از خاصیت رسانش جریان الکتریسته توسط آب می‌باشد که مناسب‌تر و رایج‌تر و بسیار راحت‌تر و دقیق‌تر است زیرا می‌توان 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 ۱-۳- میزان صرفه‌جویی در مصرف سوخت در اثر کاهش تخلیه آب دیگ

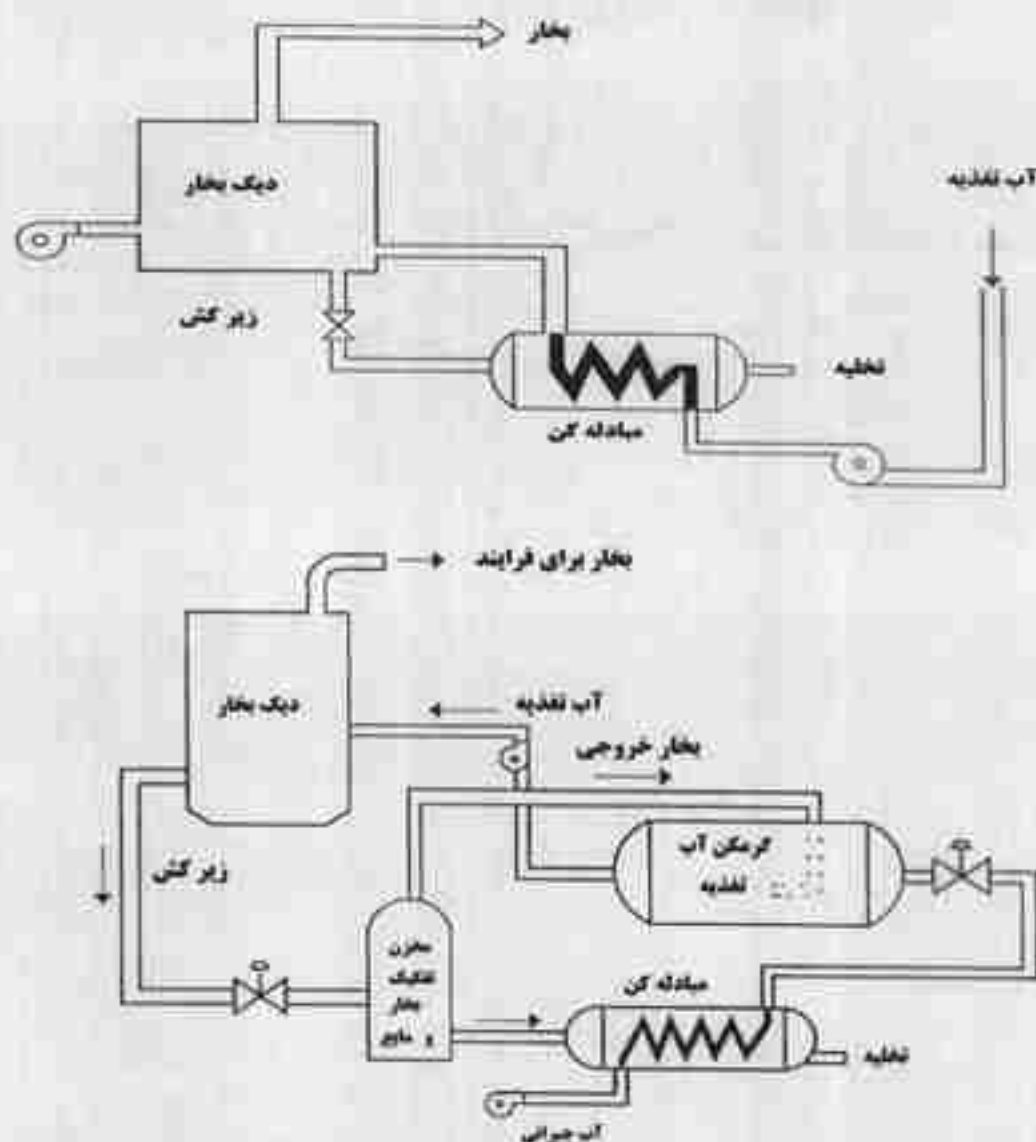
میزان صرفه جویی در مصرف سوخت برای کاهش زیرکش به میزان یک درصد	فشار کاری دیگ (bar g)
0.19%	7
0.21%	10
0.25%	17
0.28%	25

همچنین با استفاده از نمودار ۴-۳ می‌توان میزان صرفه‌جویی سوخت دیگ بخار را بوسیله کنترل بلودان (زیرکش) بدست آورد.



نمودار ۴-۳- میزان صرفه‌جویی در مصرف سوخت در اثر کنترل بلودان (۱۱)

بوسیله نصب یک مبادله کن گرما می‌توان از این زیرکشی بازبافت نموده و جهت گرم کردن آب تغذیه دیگ بخار استفاده نمود که دو مورد آن در شکل‌های ۵-۳ نشان داده شده است.



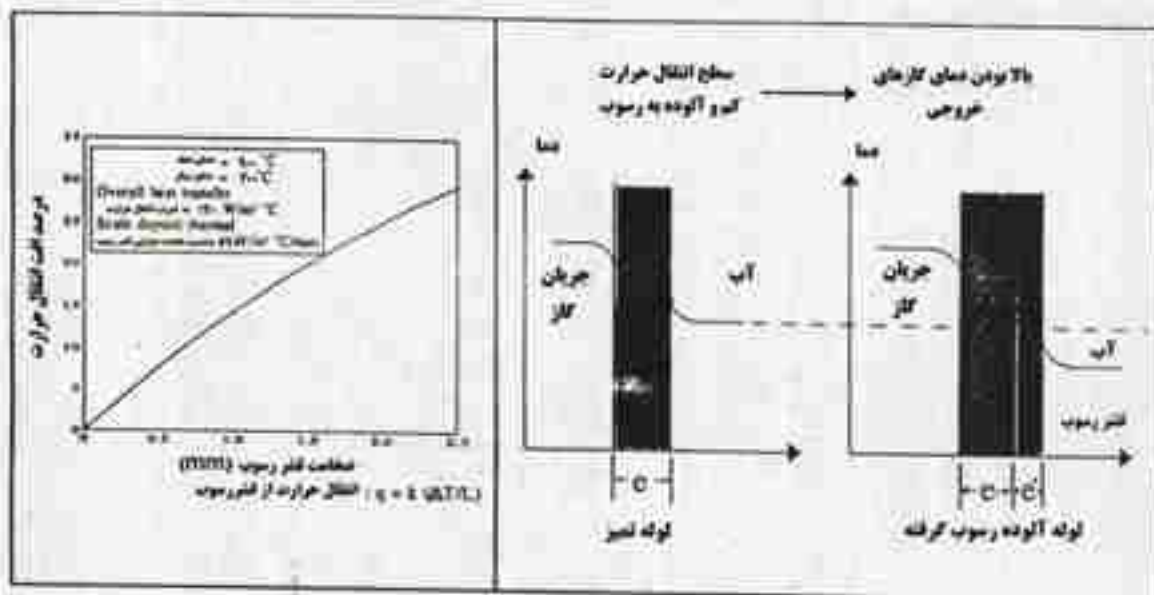
شکل ۵-۳- نصب مبادله کن حرارتی جهت بازبافت و گرم کردن آب تغذیه دیگ بخار

۱-۲-۷- عملیات دودزدایی

گذشت زمان و کارکرد مداوم دیگ‌ها 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 دودزدایی و تمیزکاری (رسوب زدایی) را انجام داد که معمولاً به روش زیر انجام می‌گیرد.

- تمیزکاری مکانیکی
- دودزدایی بوسیله بخار
- دودزدایی بوسیله فشار هوا
- عملیات تمیزکاری صوتی

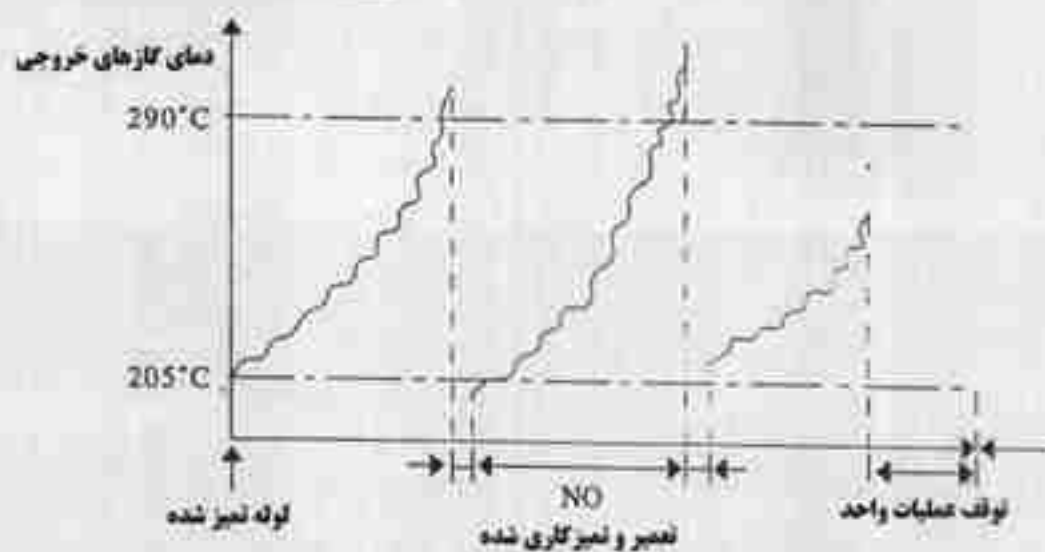
عمل دودزدایی و تمیزکاری موجب انتقال حرارت بهتر شده و به میزان ۱/۵ تا ۲ درصد در مصرف سوخت دیگ بخار صرفه‌جویی و این امر دمای گازهای خروجی و همچنین دفعات روشن/خاموش شدن دیگ بخار کاهش می‌یابد.



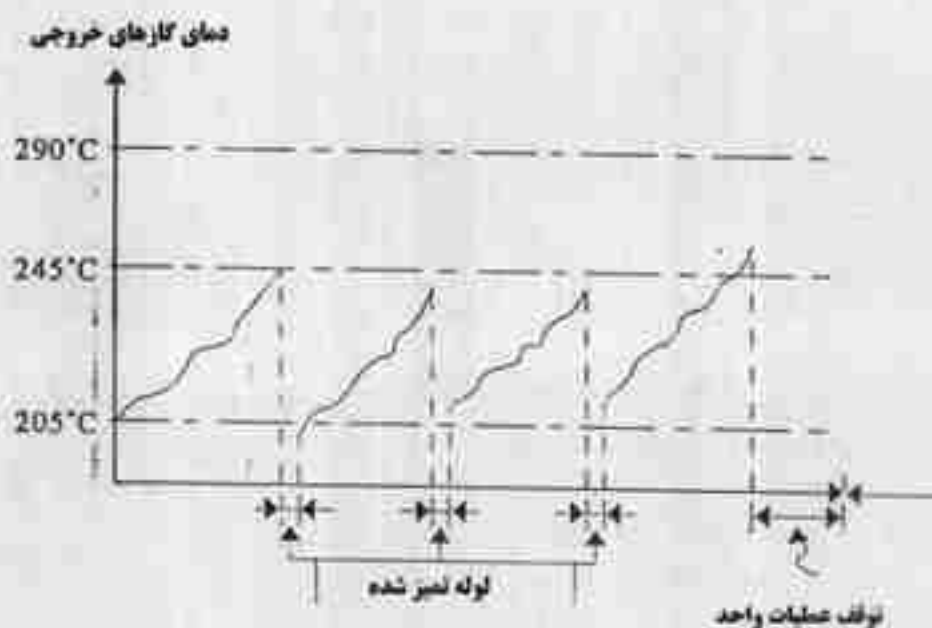
نمودار ۷-۲- درصد کاهش انتقال حرارت بر حسب ضخامت جرم داخل لوله‌ها

همچنین نمونه‌ای از کاهش دمای گازهای خروجی در اثر تمیزکاری لوله‌ها در نمودار (۸-۳) نشان داده شده که اگر لوله‌ها بخوبی تمیز شوند عمل انتقال حرارت بخوبی انجام گرفته و دمای گازهای خروجی کاهش می‌یابد.

روش فادرست



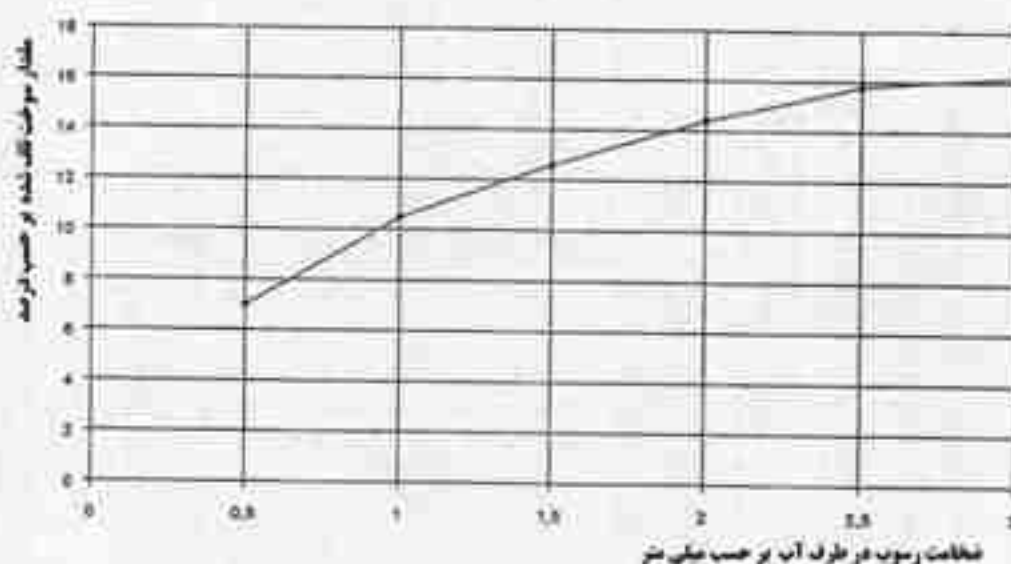
روش درست



نمودار ۸-۳- کاهش دمای گازهای خروجی و افزایش راندمان در اثر تعمیرکاری لوله‌ها

۱-۲-۸- عملیات تصفیه آب^۱:

- تصفیه آب بخصوص برای بویلرهای بخار بدلائل زیر صورت می‌گیرد:
- جلوگیری از بوجود آمدن جرم در لوله‌ها
- جلوگیری از بوجود آمدن جرم در تجهیزات خالصی 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 ۹-۳ می‌توان میزان تلفات را محاسبه نمود



نمودار ۹-۳: میزان تلفات سوخت بویلر بر حسب درصد و به ازای ضخامت رسوب (scale) لوله‌ها

بر حسب میلی‌متر (۱۱)

۲- تراز مصرف و تلفات انرژی در دیگ‌های بخار

از زمانی که جیمزوات اولین ماشین بخار را ساخت، بشر روز بروز بفکر توسعه ایده‌های طراحی خورش به کمک امکانات بالقوه زمان بود. رشد صنایع به کمک توسعه ماشین‌آلات قدیمی در حقیقت در جوهره خورش، نقش تکامل را یدک می‌کشید. تکامل ماشین‌های پر دردر دردی به کمک افزایش بهره‌وری آنها میسر می‌شود و هر چه جلوتر می‌رویم بهینه‌سازی مصرف انرژی، تنها با افزایش بازده ماشین‌های موجود امکان‌پذیر می‌شود. دیگ بخار بعنوان یک ماشین ترمودینامیکی است که محاسبه آن با دو روش زیر انجام می‌شود:

- وضعیت انرژی خروجی نسبت به انرژی داده شده به کوره دیگ مقایسه می‌شود. تا میزان قابلیت انتقال گرما توسط این ماشین را ارزیابی کنند. این محاسبه را تجزیه و تحلیل اجمالی می‌گویند.
- میزان انرژی تلف شده در طول فرایند تولید بخار مشخص می‌شود تا علاوه بر محاسبه بازده، امکانات بالقوه صرفه‌جویی و به تبع آن افزایش بازده دیگ بخار امکان‌پذیر شود. این روش را آنالیز تفصیلی می‌گویند.

۱-۲- 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 (۱-۳) استفاده می‌شود:

$$100 = \frac{\text{انرژی خروجی}}{\text{بازده دیگ بخار}}$$

انرژی ورودی

(۱-۳)

چنانچه می‌دانیم انرژی خروجی از دیگ بخار، انرژی بخار می‌باشد. این مقدار انرژی در کوره دیگ از احتراق سوخت و انتقال گرمای حاصله به آب بدست می‌آید و مقدار آن از رابطه (۲-۳) محاسبه می‌شود:

$$m_v(KJ) (H_2 - H_1) = \text{انرژی خروجی}$$

(۲-۳)

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 شده سوخت مصرفی است که از رابطه (۳-۳) بدست می‌آید:

$$m_f \times H.H.V = \text{انرژی ورودی}$$

(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 کلیه انرژی‌های ورودی و خروجی از مرز سیستم محاسبه می‌شود و با استفاده از رابطه (۴-۳) بازده حرارتی دیگ بدست می‌آید.

$$\eta = 100 \times \frac{\text{انرژی ورودی منهای تلفات}}{\text{انرژی ورودی}} \quad (4-3)$$

پیدا کردن شدت انرژی در مرز کنترل سیستم این حسن را دارد که علاوه بر نشان دادن انرژی‌های خروجی طبق رابطه (۵-۳) 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 محاسبه بازده آن نبوده بلکه بهینه‌سازی مصرف انرژی و صرفه‌جویی‌های بعدی یا افزایش بازده دیگ بخار امکان‌پذیر می‌شود:

$$(Kj) \quad \text{انرژی ورودی منهای تلفات} = \text{انرژی}$$
۲-۲- محاسبات بازده حرارتی دیگ‌های بخار به روش مستقیم**- حرارت ورودی از احتراق سوخت مصرفی کوره:**

برای محاسبه مقدار حرارت آزاد شده از احتراق سوخت مصرفی کوره دیگ بخار از رابطه (۶-۳) استفاده می‌شود:

$$H_1 = m_f \times L.H.V \quad (Kj) \quad (6-3)$$

ارزش حرارتی پایین از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$L.H.V = H.H.V - 2500 \quad (Kj) \quad (7-3)$$

- حرارت ورودی به کوره توسط سوخت:

سوخت‌های مایع نفتی برای پودر شدن سریع در هنگام پمپ کردن به سوی شعله‌های دیگ باید دارای گرانی پایینی باشند برای نفت کوره‌ها و عمدتاً مازوت‌های سخت و سنگین پیش‌گرم کردن آنها لازم است معمولاً سوخت‌های سنگین را حداکثر تا ۱۲۵ درجه سانتیگراد گرم می‌کنند.

برای پیدا کردن مقدار انرژی محسوس سوخت‌ها در ورود به کوره از رابطه (۸-۳) استفاده می‌شود:

$$H_2 = m_f C_{pf}(T_f - T_a) \quad (Kj) \quad (8-3)$$

- 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 پیش گرم شود. دمای هوا تقریباً تا ۳۰۰ درجه سانتیگراد افزایش می یابد. انرژی محسوس هوای ورودی از رابطه (۹-۳) محاسبه می شود:

$$H_3 = m_f C_{pm} (T_2 - T_a) \quad (\text{kJ}) \quad (9-3)$$

- انرژی موجود در آب تغذیه:

آب تغذیه مورد نیاز دیگ بخار قبل از ورود به دیگ توسط مبادله کن های حرارتی گرم می شود که علت آن دو چیز است:

- ۱- جلوگیری از تنش های حرارتی در متعلقات دیگ بخار
- ۲- بالا بردن بازده دیگ بخار

مقدار انرژی که توسط آب تغذیه وارد دیگ بخار می شود از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$H_4 = 4.18 m_w T \quad (\text{kJ}) \quad (10-3)$$

- انرژی ورودی به دیگ بخار توسط بخار باز گرم شده:

وقتی که بخار در آخرین گرمکن دیگ بخار به دمای مطلوب رسید وارد توربین فشار قوی می شود و بعد از ايساط در آن، جهت افزایش انتالپی، مجدداً به دیگ بخار برگشته و در مبادله کننده های بنام بازگرمکن گرمتر می شود.

$$H_5 = m_v H_v \quad (\text{kJ}) \quad (11-3)$$

- انرژی ورودی به مرز سیستم دیگ بخار از پمپ های گردش دهنده آب دیگ:

در دیگ های بخار نیروگاه های با فشار بیش از ۱۵۰ بار، جهت گردش آب، احتیاج به پمپ می باشد. می دانیم که تا ۱۵۰ بار بر اثر گرم شدن آب و دو فاز شدن آن، اختلاف چگالی بین آب ورودی به دیگ و بخار آب تولید شده مخلوط دو فاز ایجاد می شود. که این اختلاف چگالی نیروی بنام نیروی ترموسیفون ایجاد می کند که باعث گردش طبیعی آب در دیگ بخار می شود اما هر قدر فشار دیگ بالاتر باشد اختلاف چگالی، و در نتیجه نیروی ترموسیفون کمتر می شود، برای محاسبه انرژی ورودی به مرز سیستم توسط پمپ های گردش دهنده آب دیگ بخار از رابطه زیر استفاده می شود:

$$H_6 = 3600 P_{B.C.P} \quad (\text{kJ}) \quad (12-3)$$

- انرژی ورودی به مرز سیستم از فن‌های دمنده هوا:

انرژی فن‌های تأمین کننده هوای احتراق که به سیستم منتقل می‌شود از رابطه محاسبه می‌شود:

$$H_7 = 3600 P_{F.D.F} \quad (13-3) \quad (kj)$$

- انرژی ورودی به مرز سیستم توسط فن گردش دهنده 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 بیشینه 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 می‌شوند از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$H_8 = 3600 P_{G.R.F} + m_g C_{pg} (T_g - T_a) \quad (14-3) \quad (kj)$$

- انرژی ورودی به مرز سیستم توسط مواد شیمیایی تزریق شده:

این مقدار انرژی از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$H_9 = m_g H_g \quad (15-3) \quad (kj)$$

- مجموع کل انرژی‌های ورودی به مرز سیستم:

مجموع کل انرژی‌های ورودی به مرز سیستم از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$H_T = \sum_{i=1}^9 H_i \quad (16-3) \quad (kj)$$

- 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 محاسبه این انرژی از رابطه زیر استفاده می‌کنیم:

$$L_1 = m_{D_g} C_{F.D.g} (t_g - t_a) \quad (17-3) \quad (kj)$$

- انرژی تلف شده بوسیله گرین سوخته سوخت مصرفی:

این مقدار انرژی از رابطه (۱۸-۳) محاسبه می‌شود:

$$L_2 = m_c C_{P.D.g} (t_g - t_a) \quad (18-3) \quad (kj)$$

1- فشار فن دمنده هوا است (Forced Draft Fan)

2- $P_{G.R.C}$ فشار فن گردش دهنده دود است (Gas Recirculating Fan)

– انرژی تلف شده بوسیله رطوبت موجود در هوای ورودی به کوره

این مقدار انرژی از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$L_3 = m_{LW} (2482,3 - 4,18t_g + 192t_g) \quad (kj) \quad (19-3)$$

– انرژی تلف شده بوسیله احتراق ناقص و تولید مونواکسید کربن:

این انرژی از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$L_4 = m_{CO} (H.H.V)_{CO} \quad (kj) \quad (20-3)$$

– انرژی تلف شده بوسیله خاکستر موجود در سوخت:

بعضی از سوخت ها مثل زغال سنگ و مازوت دارای خاکستر هستند که موجب اتلاف حرارت در دیگ بخار می شوند این مقدار اتلاف از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$L_5 = m_{Ash} C_r D_g (t_g - t_a) \quad (kj) \quad (21-3)$$

– انرژی تلف شده بوسیله عملیات دودزدایی:

برای تعمیر کردن مبدل ها و دیگ های بخار از اجزای محصولات احتراق در هر شیفت بهره برداری توسط دودزدایی، عملیات دودزدایی با آب پر فشار و گرم انجام می شود این عمل، دوده ها را از روی سطوح تبادل گرمای مبدل کن ها پاک کرده و آهنگ انتقال گرما را بیشتر می کند مقدار انرژی تلف شده از رابطه زیر محاسبه می شود

$$L_6 = m_{DLW} C_{p,DLW} (T_g - T_{DLW}) \quad (kj) \quad (22-3)$$

– انرژی تلف شده در اثر تخلیه آب دیگ بخار:

بر اثر گردش مکرر سیال عامل در چرخه دیگ بخار، آب سخت می شود و املاح جامد آن افزایش می یابد این املاح در صورت دفع تشدن در مبادله کن های حرارتی رسوب کرده و باعث کاهش ضریب انتقال گرما و خوردگی شیمیایی می شوند. ممکن است املاح همراه بخار به سمت توربین فشار قوی رفته باعث آسیب پرده های توربین شود لذا در بهره برداری توسط عمل تخلیه آب، مقداری از آب دیگ را از درام بطور پیوسته تخلیه می کنند تا املاح از سیستم دفع شود مقدار انرژی تلف شده توسط این عمل از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$L_7 = m_{LD} C_{p,LD} (t_{LD} - t_a) \quad (kj) \quad (23-3)$$

– انرژی تلف شده توسط هیدروکربورهای نسوخته:

این انرژی از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$L_8 = m_{u,h,c} D_g (t_g - t_a) \quad (kj) \quad (24-3)$$

- انرژی تلف شده بوسیله همرفت و تابش:

بر اثر ناشی دیواره‌های کوره و صد در صد نبودن عایق‌بندی کوره دیگ‌ها، معمولاً مقداری انرژی حرارتی از کوره‌ها به صورت تابش و همرفت تلف می‌شود. یک رابطه دقیق و مطمئن عملی برای محاسبه این تلفات در دست نیست. سازندگان دیگ‌های بخار مقدار این تلفات را یک درصد کل تلفات کوره در نظر می‌گیرند.

$$L_9 = \frac{1}{100} \sum_{i=1}^8 L_i \text{ (kj)} \quad (25-3)$$

مجموع کل انرژی تلف شده در دیگ‌های بخار

رابطه (۲۶-۳) مجموع کل انرژی تلف شده را نشان می‌دهد:

$$L_T = \sum_{i=1}^9 L_i \text{ (kj)} \quad (26-3)$$

- بازده دیگ بخار:

بعد از محاسبه انرژی‌های ورودی و تلفات دیگ بخار با استفاده از رابطه (۲۷-۲) می‌توان بازده دیگ بخار را

به دست آورد:

$$\eta_B = \frac{Ht - Lt}{Ht} \times 100 \quad (27-3)$$

جدول ۲-۴- علائم و نمادهای به کار رفته در موازنه انرژی

واحد	نماد	شرح
KJ/kg.k	$C_{p,i}$	گرمای ویژه سوخت
KJ/kg.k	$C_{p,a}$	گرمای ویژه هوای احتراق
KJ/kg.k	$C_{p,g}$	گرمای ویژه محصولات احتراق
KJ/kg.k	$C_{p,dg}$	گرمای ویژه دود خشک
KJ/kg.k	$C_{p,nw}$	گرمای ویژه آب داغ
KJ/kg.k	$C_{p,nl,n}$	گرمای ویژه آب تخلیه شده از دیگ
KJ/kg	H	انتالپی
KJ/kg	H.H.V	ارزش حرارتی بالا
KJ/kg	(H.H.V) CO_2	ارزش حرارتی بالای دی اکسید کربن
KJ	H_T	انتالپی کلی
KJ/kg	$H_{k,n}$	انتالپی بخار فوق گرم
KJ/kg	$H_{n,w}$	انتالپی آب داغ
KJ/kg	H_s	انتالپی بخار داغ
KJ/kg	H_k	انتالپی مواد شیمیایی
KJ/kg	L.H.V	ارزش حرارتی پایین
KJ	L_T	تلفات کل
Kg/hr	m_v	آهنگ جرمی بخار داغ
Kg/hr	m_f	آهنگ جرمی سوخت
Kg/hr	m_a	آهنگ جرمی هوا
Kg/hr	m_w	آهنگ جرمی آب تغذیه
Kg/hr	$m_{g,n}$	آهنگ جرمی آب زیر کش
Kg/hr	$m_{A,d}$	آهنگ جرمی خاکستر موجود در محصولات احتراق
Kg/hr	m_{co}	آهنگ جرمی مونوکسید کربن موجود در محصولات احتراق
Kg/hr	$m_{h,d}$	آهنگ جرمی هیدروکربن های نسوخته در محصولات احتراق

جدول ۵-۳- مثالی از موازنه انرژی در دیگ‌های بخار

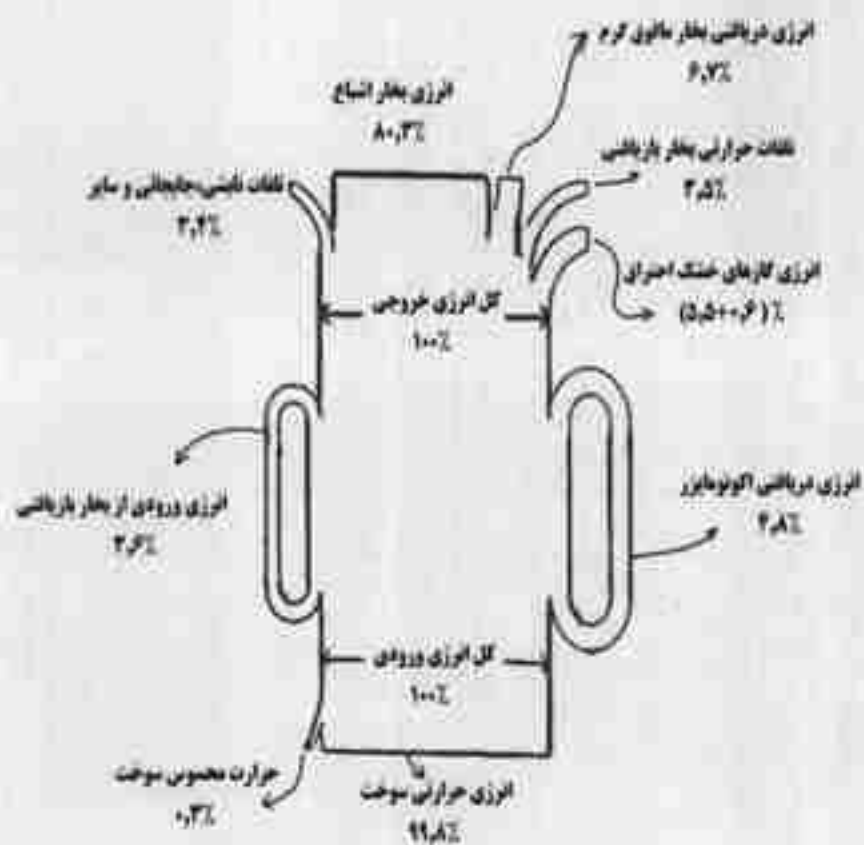
انرژی ورودی	Kcal/kg.fuel	%	انرژی خروجی	Kcal/kg.fuel	%
۱- ارزش حرارتی سوخت	۹۷۲۰	۹۹/۸	۱- انرژی بخار اشباع	۷۸۲۰	۸۰/۳
۲- حرارت محسوس سوخت	۲۰	۰/۲	۲- انرژی دریاقتی بخار مطلق گرم	۶۵۰	۶/۷
۳- حرارت محسوس هوای احتراق	۰	۰	۳- انرژی دریاقتی الیومایزر	<۴۶۸>*	*۴/۸
۴- حرارت محسوس آب تغذیه	۰	۰	۴- انرژی گازهای خشک احتراق	۳۴۱	۳/۵
۵- انرژی ورودی از بخار بازیاقتی	*۳۵۵	*۳/۶	۵- انرژی بخار برای گرمایش سوخت	۶۱	۰/۶
			۶- تلفات حرارتی، بخار بازیاقتی	۵۳۶	۵/۵
			۷- تلفات حرارتی بدلیل تلفات بودن احتراق	۰	۰
			۸- تلفات تشعشعی، جابهجایی و سایر	۳۳۲	۳/۴
کل	۹۷۴۰	۱۰۰	کل	۹۷۴۰	۱۰۰

با توجه به جدول ۵-۳ بازده دیگ بخار برابر است با:

$$\eta_B = \frac{HT - LT}{HT} \times 100$$

$$\eta_B = ((9740 - 1270) / 9740) \times 100$$

$$\eta_B = \frac{8470}{9740} \times 100 = 87\%$$

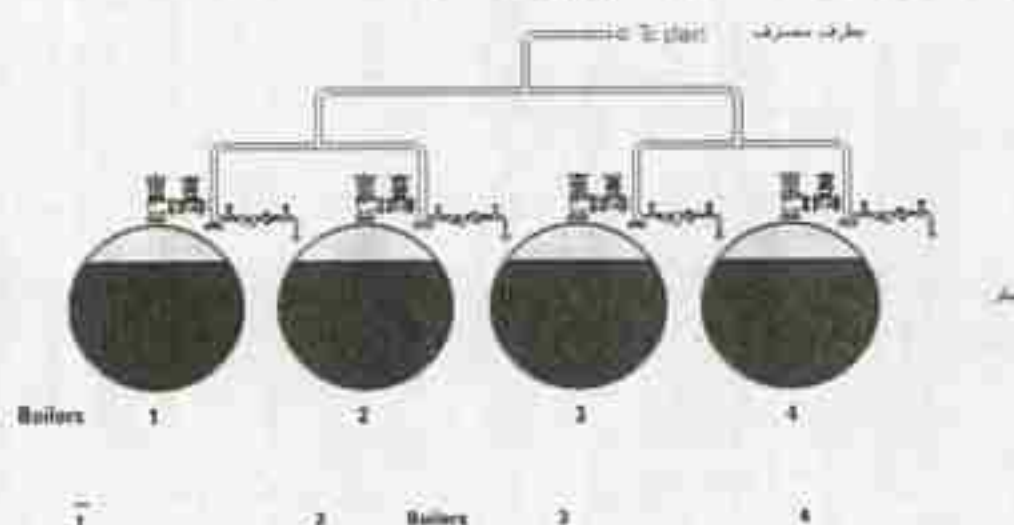


شکل ۳-۶- ملوحظه کلی از موازنه انرژی در دیگ‌های بخار (۳)

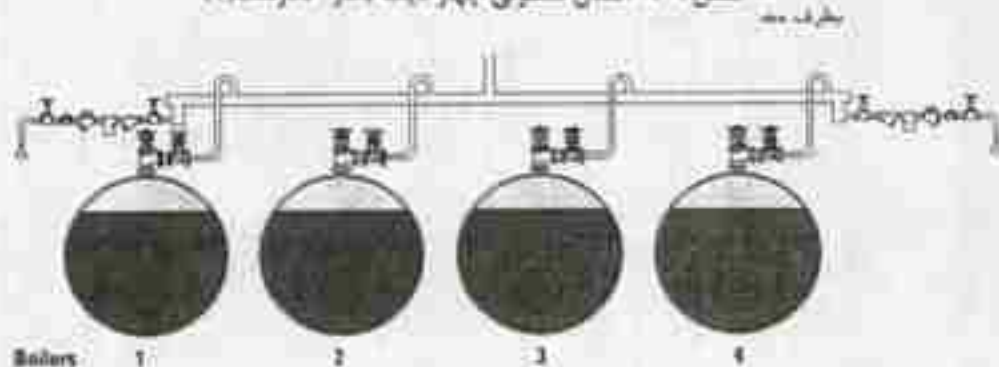
۳- بهینه‌سازی در سیستم‌های توزیع بخار

۳-۱- کلکتورهای (جمع‌کننده‌های) اصلی بخار و اتصال بهینه چند دیگ بخار با یکدیگر

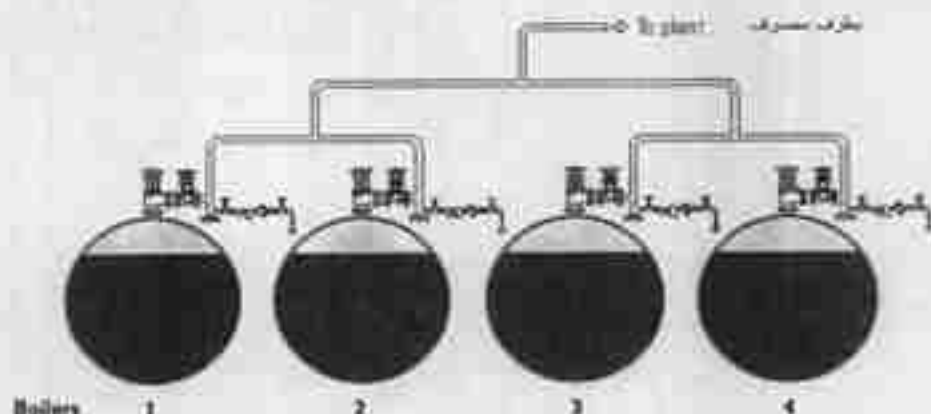
در مواردی که نیاز به بخار به مقدار زیاد باشد باید از چند دیگ بخار بطور همزمان استفاده نمود و برای استفاده از بخار این دیگ‌های بخار، نیاز است که ابتدا کلیه بخار دیگ‌های بخار به یک کلکتور اصلی وصل و از آنجا بطرف مصرف‌کننده هدایت شود. در این حالت باید این اتصال به نحوی باشد که تمام دیگ‌های بخار در شرایط بار یکسان کار کنند تا باعث نشود که یکی از دیگ‌های بخار در بار کامل یا بالاتر و دیگری در ۲۰ درصد بار کامل باشد که این کار موجب 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 (۴)

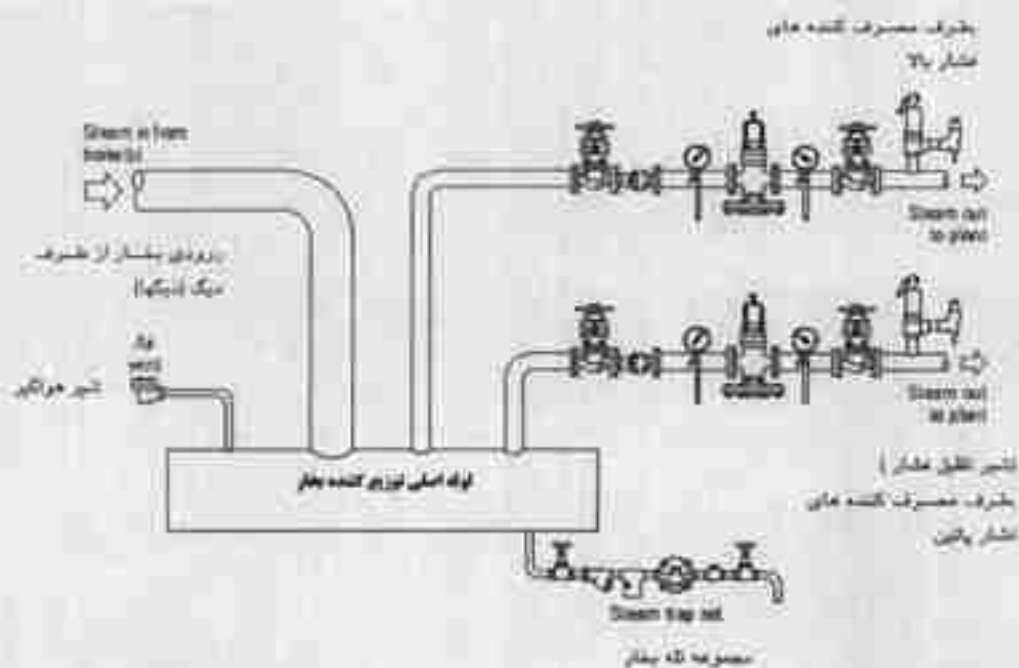


شکل ۳-۸- اتصال معمولی چهار دیگ بخار - درست (۴)



شکل ۹-۳- اتصال بهینه چهار دیگ بخار - بهترین وضعیت (۴)

- ضمناً علاوه بر رعایت چیدمان کلی کلکتورهای بخار، بمنظور اطمینان از خروج بخار تولیدی از کلکتور بخارف مصرف‌کننده بنحو مطلوب و با بهترین کیفیت باید به موارد زیر توجه کرد:
- الف - بخار خروجی از دیگ‌ها و کلکتور حتی المقدور خشک و عاری از رطوبت باشد.
 - ب - مرحله گرمایش و رافاندازی کاملاً کنترل شده و تفریجی صورت گیرد.
 - ج - از اسکان تحت فشار قرار گرفتن (تصادفی و ناگهانی) دیگی توسط بقیه دیگ‌ها جلوگیری شود.
 - د - توزیع بخار به داخل شبکه توزیع بخار بنحو مناسب صورت گیرد.



شکل ۱۰-۳- نمونه کلکتور توزیع بخار (۲)

۳-۲- استفاده از شیرهای کنترل بخار^۱

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 نگه داشتن 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 نیوماتیک (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 شد. 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 سپرینور^۲ (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 مصرف‌کننده‌هایی فشار پایین، با استفاده از شیرهای فشار شکن، 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 شد. اساس کار تمامی شیرهای تقلیل فشار بخار برپایه عبور جریان از روزنه‌ای با قطر کوچک می‌باشد که در واقع حد فاصل قسمت‌های کلاهی^۳ و نشیمن گاه^۴ بوده و هر چه این اندازه کوچکتر باشد، فشار بخار بیشتر کاسته خواهد شد.

1- control valves

2- Separator

3- Plug

4- Seat

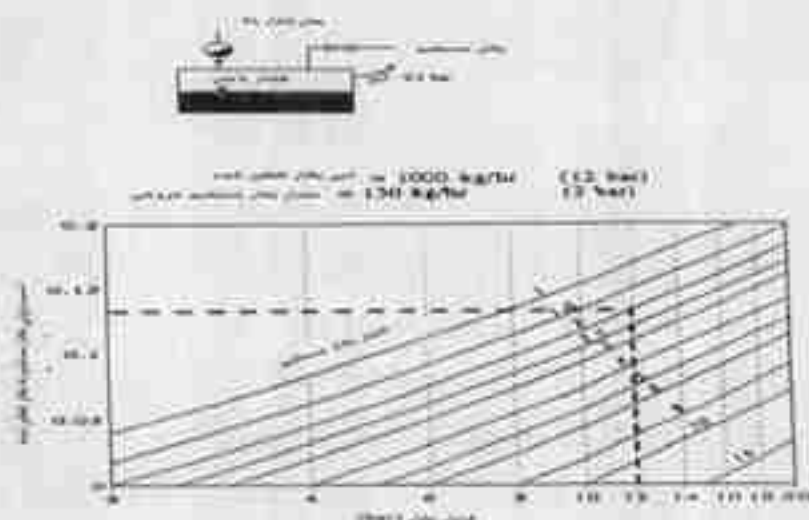
انواع این شیرها عبارتند از:

- شیرهای فشار شکن یا عملکرد مستقیم
- شیرهای فشار شکن از نوع شمعک دار
- شیرهای فشار شکن تئوماتیکی (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 پابلوت دار می‌تواند بهترین انتخاب باشد.

۳-۴- محاسبه میزان پاشش مستقیم بخار^۱:

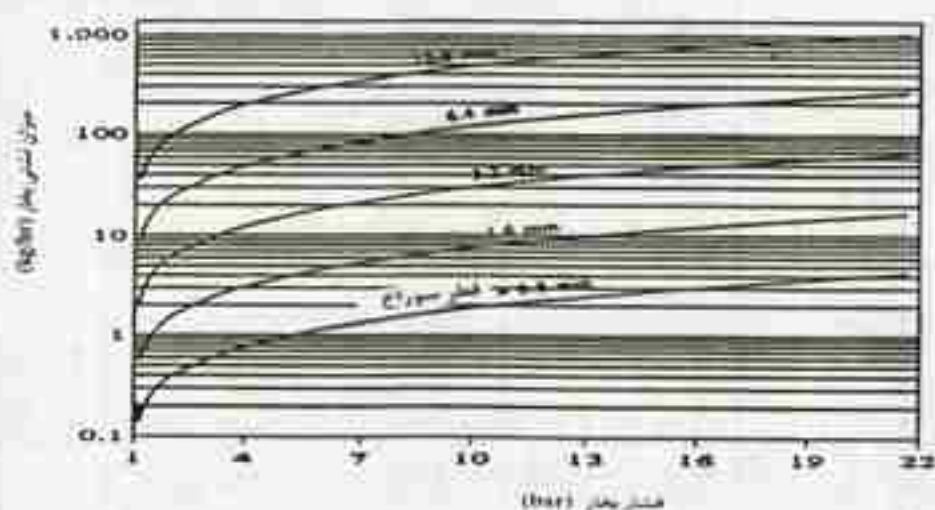
یکی از راه‌های کاهش تلفات در سیستم توزیع بخار، جلوگیری از پاشش بخار و یا بازیافت آن می‌باشد، چون دارای انرژی بالا برای بازیافت می‌باشد و همچنین کیفیت (خشکی) بخار مصرفی بالا می‌رود و یکی از راه‌های بازیافت آن استفاده از پاشش بخار برای پیش گرمایش آب در واحدهای فشار پایین می‌باشد. مقدار پاشش بخار تابعی از فشار بخار می‌باشد یعنی هر چه فشار بالاتر رود پاشش بیشتر خواهد شد.



نمودار ۳-۱۰- میزان پاشش بخار بر حسب میزان چگالنده در فشارهای مختلف

۳-۵- نشتی‌های بخار

یکی از آشکارترین منابع 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 یا سوراخی به اندازه ۰.۸ mm، بیش از ۱۵۰۰ لیتر سوخت مایع در سال تلف می‌شود، که با استفاده از نمودار ۱۱-۳ می‌توان مقدار نشتی بخار را محاسبه کرد.



نمودار ۱۱-۳- میزان نشتی بخار بر حسب قطر سوراخ و فشار بخار (۱۷)

برای مثال در یک لوله با فشار بخار ۱۰ bar یا سوراخی به اندازه ۶/۴ mm مقدار نشتی بخار از نمودار ۱۱-۳ برابر ۱۲۰ kg/hr می‌باشد که اگر از این لوله در سال ۷۵۰۰ ساعت بخار عبور کند مقدار تلفات بخار از این سوراخ در سال برابر ۹۰۰ ton خواهد شد که مقدار بسیار زیادی می‌باشد.

۴- تله‌های بخار^۱

تله بخار شیر اتوماتیکی (خودکاری) است که مانع از خروج بخار از سیستم شده و در صورت لزوم آب و یا گازهای نامخلول موجود در سیستم را تخلیه می‌نماید. تله‌های بخار بصورت موازی یا 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!

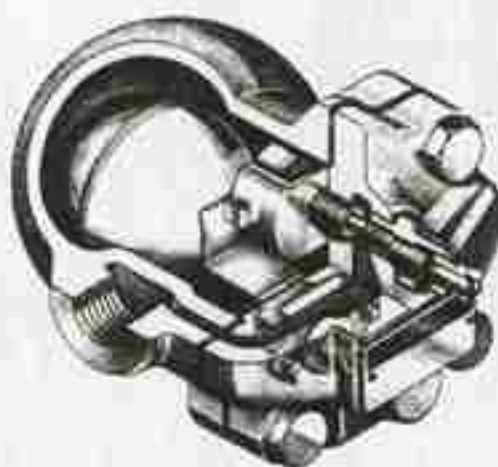
ضمناً آب بعنوان عایقی در بویلر انتقال حرارت محسوب می‌شود که باعث کاهش آهنگ انتقال حرارت در مصرف‌کننده‌ها و مبادله کن‌های حرارتی شده و در نتیجه کاهش بازده کل سیستم را در پی خواهد داشت. وجود هوا و گازهای نامخلول در سیستم نیز به صورت مشابه باعث کاهش آهنگ انتقال حرارت به میزان زیاد می‌گردد. مقاومت حرارتی که یک لایه از آهن به ضخامت $\frac{4}{3}$ فوت ایجاد می‌کند برابر مقاومت لایه‌ای از آب به ضخامت ۱ اینچ و یا معادل لایه‌ای از هوا به ضخامت $\frac{1}{4}$ 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 صدای زیاد 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.

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 تأثیر گذار نمی‌باشند.



شکل ۳-۱- تله بخار مکانیکی از نوع توپ شناور (۴)

الف) تله بخار مکانیکی از نوع توپ شناور^۱:

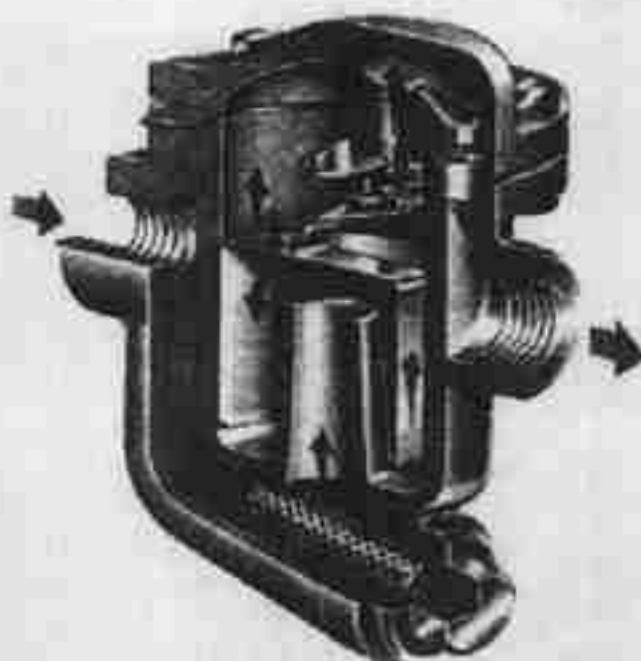
اجزاء اصلی این تله‌ها از یک توپ شناور و مکانیزم اهرم و شیر متصل تشکیل شده است. هنگام ورود چگالیده به تله، توپ مذکور در آب غوطه‌ور شده به طرف بالا حرکت می‌کند و شیر اصلی خروجی تله را باز می‌نماید که اجازه خروج هوا از تله را می‌دهد.

این نوع تله‌ها برای استفاده در مناطقی که نرخ انتقال حرارت زیاد و در نتیجه جریان پیوسته‌ای از چگالیده وجود دارد (تظیر، مبدل‌های حرارتی، آبگرم‌کن‌ها، چیلرها، یونیت هیترها، کویل حرارتی دستگاه‌های هوارسان و ...) مناسب می‌باشند. متحنی 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 بالایی نسبت به تخلیه هوا در هنگام راه‌اندازی دارند و نیز دارای سیستم رها کن قفل بخار^۲ 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 کوچکی از دیگر 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 ۱۱-۳- تله بخار مکانیکی از نوع سطل معکوس (*)

ب) تله بخار مکانیکی از نوع سطل وارونه^۱:

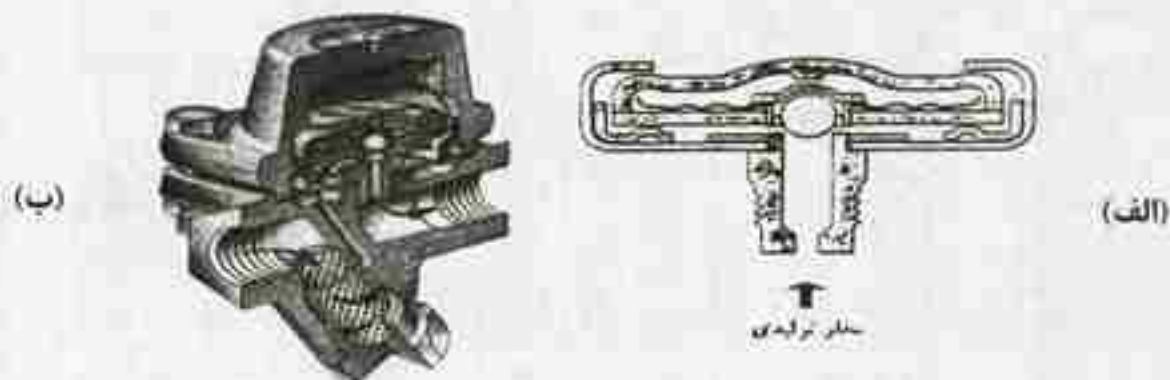
این دسته از تله‌های بخار نیز از تفاوت وزن مخصوص بین چگالیده و بخار استفاده می‌نمایند. اساس کار با استفاده از یک سطل وارونه در داخل تله می‌باشد که هنگام ورود چگالیده به داخل تله، در اثر وزن خود و غوطه‌ور شدن در آب به پایین می‌افتد و شیر خروجی تله را به منظور تخلیه چگالیده باز می‌نماید و هنگام ورود بخار، 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 نیز مناسب 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 بخ 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 شیر هواگیر در نزدیکی آن استفاده نمود از این نوع تله‌ها در کاربردهایی نظیر کلکتورهای اصلی توزیع بخار، مخازن گرم کننده سوخت، بونیت هیترها، خشک‌کن‌ها، پرس‌های لاستیک، رادیاتورهای بخار و ... می‌توان استفاده نمود.

– 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^۱، فشار متوازن^۲ و دو فلزی^۳ 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. اساسی 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 (۴)

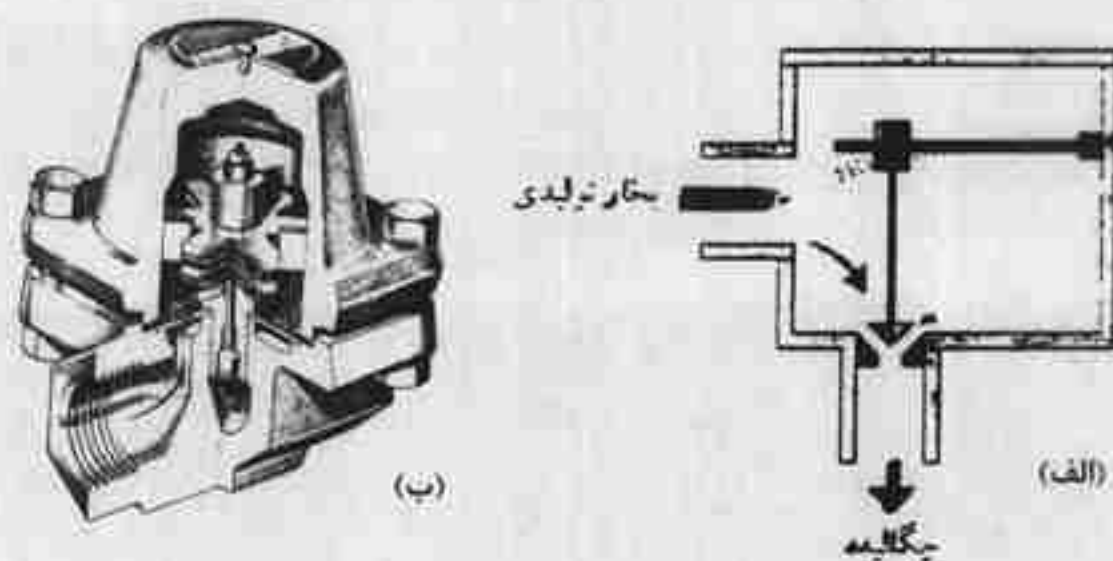
ب – تله بخار ترموستاتیک از نوع فشار متوازن:

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 می‌شود. در صورت ورود بخار، به علت دمای بالای بخار، کپسول فوق منبسط شده و مایع 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 می‌کند. این تله‌ها 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 بخار مافوق گرم را دارند.

- 1- Liquid Expansion
- 2 - Balanced Pressure
- 3 - Bimetallic

نگهداری آن‌ها 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^۱، نظیر صنایع غذایی، ژاکت‌های بخار، اتوکلاوها و استریل‌کننده‌ها در تجهیزات بیمارستانی، خشک‌کن‌ها، رادیاتورهای بخار، خطوط اصلی توزیع بخار، جداکننده‌ها، خطوط دنبال‌کننده^۲ و - اشاره نمود.

ج - تله بخار ترموستاتیک از نوع دو فلز:



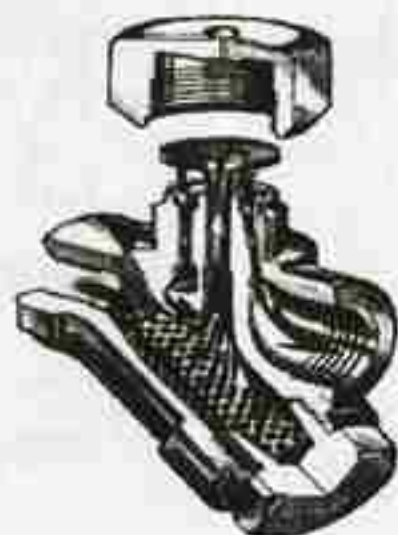
شکل ۳-۱۲. تله بخار ترموستاتیک (حرارتی) از نوع دوفلزی

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 دمایی 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 می‌شود. هنگام ورودی چگالیده سرد به تله، عنصر 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 - از مزایای این تله‌ها می‌باشد ضمن اینکه می‌توانند در محدوده گسترده‌ای از فشار بدون نیاز به تغییر در قطر روزه 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 دمایی بخار اشباع کار می‌کنند باید حتماً در انتهای یک پایه خنک‌کننده نصب شوند (مانند انواع دیگر تله‌های ترموستاتیک) 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 نمی‌کنند. نسبت به ناخالصی‌ها و مواد خارجی داخلی 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 یا 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 سر گرفته می‌شود. تکرار چرخه‌ها به دمای بخار و شرایط محیط بستگی دارد. این نوع تله‌ها 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 مایع 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 کار تله 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 اختلال خواهد شد. حداقل فشار ورودی به این تله‌ها 0.25 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 چرخ‌های 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 دببال‌کننده، ژاکت‌های بخار، تجهیزات خشک‌شویی، پرس‌ها، خطوط اصلی توزیع بخار در سایت‌ها، کلکتورهای فشار بالا و - اشاره نمود.

انواع دیگر از تله‌ها نیز نظیر مارپیچی^۱ و ضربه‌ای^۲ نیز وجود دارد که به علت جلوگیری از طولانی شدن میحث، 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. پارهای از این نقاط به شرح زیر می‌باشند:

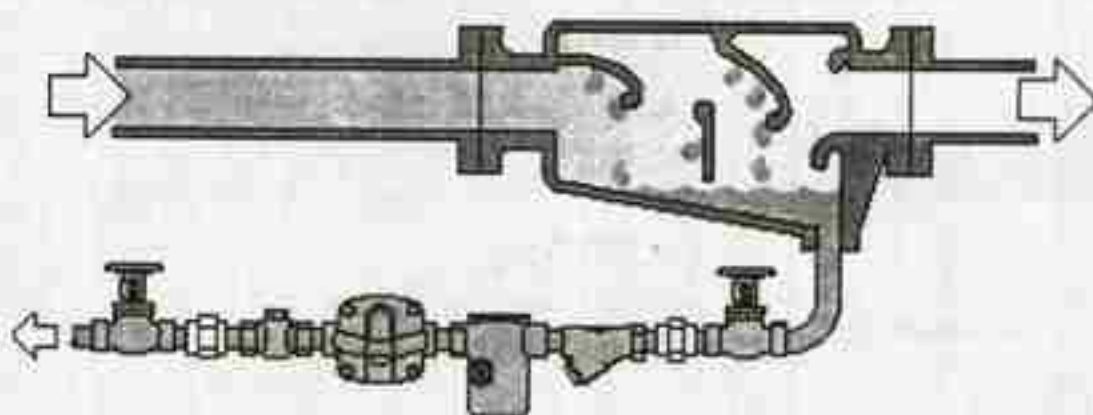
- خروجی مبادله کن‌های حرارتی و تجهیزاتی که از بخار به عنوان عامل انتقال حرارت استفاده می‌نمایند.
(نظیر منابع آبگرم مصرفی، ظروف گرم‌کننده، مبادله کن‌های حرارتی، چیلرهای جذبی، کویل حرارتی هوارسان‌ها، رادیاتورهای بخار، یونیت هیترهای بخار و ...)

- 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 (تعقیب‌کننده).
- پایین‌ترین نقطه لوله‌های بخار و حلقه‌های انبساط.
- فواصل حدود ۲۵ متر در روی خطوط مستقیم توزیع بخار.
- خروجی جداکننده‌های موجود در خطوط بخار. (شکل ۳-۱۵)

1-Labyrent

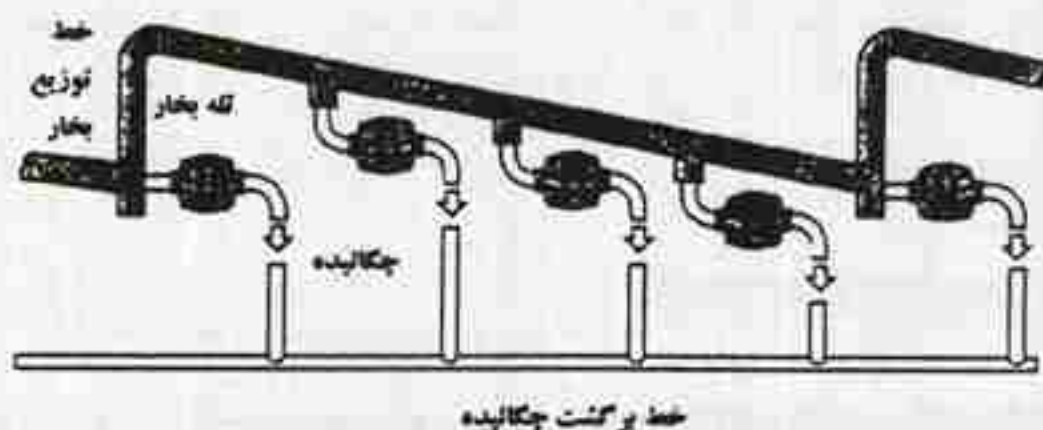
2-Impulse



شکل ۳-۱۵- نصب تله بخار در خروجی جدا ساز

۴-۴- رعایت نقاط نصب تله‌های بخار در خطوط برگشت بخار تغذیه شده

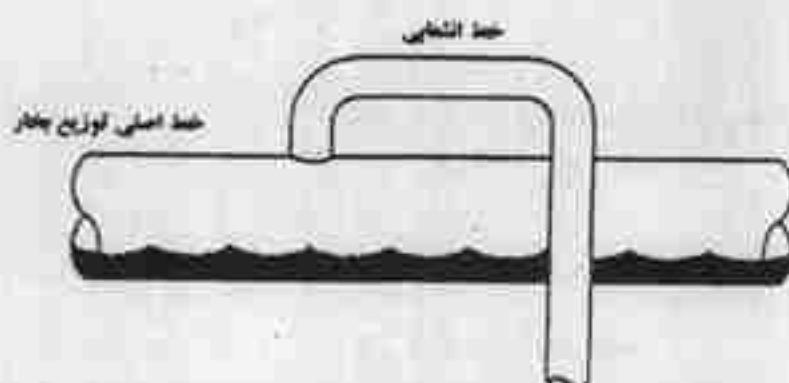
کلید خطوط اصلی توزیع بخار باید دارای شیب منفی (رو به پایین) با اندازه یک متر در طول ۲۵۰ متره در جهت حرکت بخار باشند. در خطوط طولانی انتقال بخار که نر از لوله بمقدار زیادی پایین می‌آید، می‌توان از لوله های موضعی بخار همراه با تله نصب شده در پایین لوله استفاده کرد.



شکل ۳-۱۶- نحوه صحیح توزیع بخار به ارتفاع بالاتر (تور مشین)

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 $1/120$ در نظر گرفته شود.

کلیه انشعاب‌های خطوط بخار از قسمت فوقانی لوله گرفته شوند تا از ورودی جگالیده به داخل خطوط فرعی توزیع بخار جلوگیری شود.



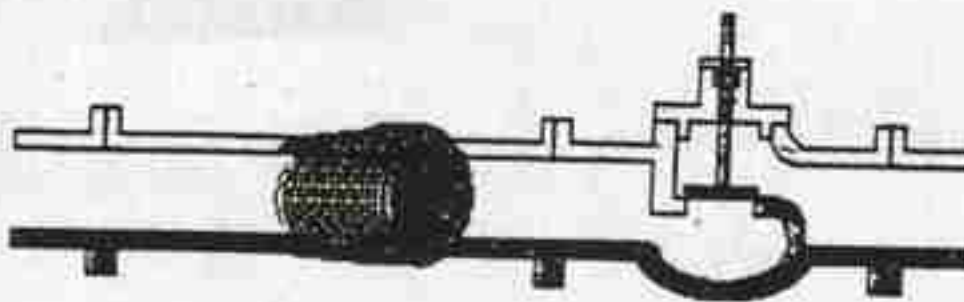
شکل ۱۷-۳- روش صحیح انشعاب از خط لوله توزیع بخار

کاهش قطر لوله‌های بخار مطابق 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 جگالیده، مقداری از جگالیده در پشت محل تبدیل جمع شده و مشکل ایجاد می‌کند.



شکل ۱۸-۳- 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 جگالیده در داخل صافی‌ها جمع خواهد شد و در زمان راه‌اندازی مجدد سیستم، سرعت بالای بخار باعث خواهد شد تا جگالیده با شدت به طرف شیر حرکت کرده و ایجاد ضربه و صدمه در شیر نماید.



Steam Strainer before Control Valves

شکل ۱۹-۳- نصب صافی بخار قبل از شیرهای کنترل، فشار شکن

قبل از تله‌های بخار، صافی نصب گردد تا از ورود ذرات و ناخالصی‌های موجود در خط، بدخل تله جلوگیری بعمل آید (بجز تله‌هایی که دارای صافی داخلی هستند). تله‌های بخار دارای اجزا متحرک کوچکی هستند که توسط اجسام و ذرات کوچک براحتی گرفته شده و از کار خواهند افتاد.

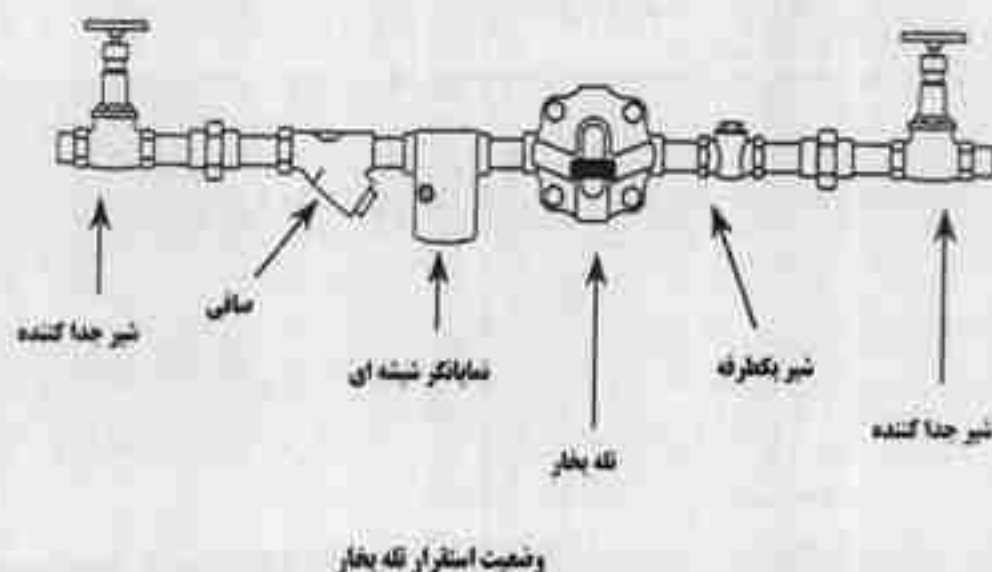
به منظور با خیر بودن از وضعیت کاری تله‌های بخار، در ورودی کلیه تله‌ها از شیشه نشان دهنده^۱ و یا ترجیحاً از تجهیزات کاهش دهنده تله‌های بخار^۲ استفاده شود.

در خروجی تله‌های بخار که دارای شیر یکطرفه داخلی نیستند و به علت فشار منفی^۳ یا فشار زیاد در خروجی تله (خط چگالیده)، احتمال برگشت چگالیده به داخل تله وجود دارد، حتماً بایستی از شیر یکطرفه^۴ 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 مجرای 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 یکار بردن راه میان بر^۱ 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^۲ 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 می‌کند که خود اتلاف هزینه و مسائل بعدی را بدنبال خواهد داشت.



شکل ۳-۲-۳- 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^۳ 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 اشعاب 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 اشعاب 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 توزیع کننده های بخار، حفره با ابعاد مناسب پیش‌بینی شود. جدول زیر نمونه ای از ابعاد مختلف را نشان می‌دهد:

- 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"
1/5 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

نمونه هزینه سالیانه (بر حسب ۱۰۰۰ پوند انگلیس)			میزان نشتی بخار از هر تله بخار (kg/h)			اندازه متوسط سوراخ در تله های بخار	اندازه تله بخار
32 bar g	14 bar g	6 bar g	32 bar g	14 bar g	6 bar g	(mm)	(mm)
72	32	13	43	19	8	3.0	DN15
200	89	40	119	53	24	5.0	DN20
453	203	92	270	121	55	7.0	DN25
802	359	164	478	214	98	10.0	DN40
1254	562	255	747	335	152	12.5	DN50

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:	$10\% \times 200 = 20$
میزان نشتی بخار از هر تله (از جدول ۳-۲۱):	53 kg/hr
میزان نشتی بخار در طول سال:	$20 \times 53 \times (350 \times 24) = 8900 \text{ ton}$

اگر هزینه کلی تولید بخار برای این سایت حدوداً برابر ۲۰,۰۰۰ ریال برای هر تن بخار باشد، هزینه نشت بخار از تله‌ها رقمی معادل ۱۷۸ میلیون ریال خواهد بود. در ضمن برای جبران نشتی بایستی هزینه زیادی بمنظور تهیه آب مقطر خالص صورت گیرد.

همچنین میزان دی اکسید کربن آزاد شده به اتمسفر از سوختن سوخت برای جبران نشتی 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 پیش‌بینی است. بمنظور کاهش هزینه‌های سوخت و هزینه‌های اضافی ناشی از نشت 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، اسلتر از انتخاب صحیح تله بخار معیوب است)
- ۳- امکان رفع خرابی تله بمنحصر مشخص شدن عیب آن.
- ۴- سیستم نشان‌دهنده که بتواند اهداف بالا را بطور دقیق، مرتب و پیوسته دنبال نماید.

Pressure (bar)	Temperature (°C)	Specific Enthalpy			Specific Volume Steam (m ³ /kg)
		Water (kJ/kg)	Evaporation (kJ/kg)	Steam (kJ/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	0.138
14.00	198.35	845.1	1947.1	2792.2	0.132

فصل ۴

روش‌ها و تجهیزات اندازه‌گیری انرژی حرارتی

۱- آشنایی با دستگاه‌های معیاری 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 معیاری 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 اختلال 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 فرایند
- کنترل و بازبینی اندازه‌گیری ثابت و اطمینان از مقادیر اندازه‌گیری شده توسط آنها

مهمترین دستگاه‌های اندازه‌گیری و معی‌ز انرژی که در حال حاضر رایج بوده و مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از:

۲- انواع دستگاه‌های اندازه‌گیری حرارتی

- آنالیزور (تحلیل گر) احتراق^۱
- دبی سنج مافوق صوت^۲
- دما سنج مادون قرمز^۳
- جمع‌کننده داده‌ها^۴
- طیف سنج^۵
- هدایت سنج و PH متر

۲-۱- دستگاه تحلیل گر احتراق:

دستگاه testo 35 یک تحلیل گر احتراق می‌باشد که دارای بازه اندازه‌گیری وسیعی برای کنترل فرایندها در کوره‌های صنعتی و دیگ‌های بخار و حتی در زمینه تعمیرات و نگهداری آنها می‌باشد و می‌تواند مقدار دقیق NO_2, NO, CO, CO_2, SO_2 و درصد هوای اضافی را نشان بدهد.



شکل ۲-۱- تصویری از دستگاه تحلیل گر احتراق (۳)

موارد کاربرد تحلیل گر احتراق:

- دیگ‌های بخار و کوره‌های صنعتی
- تنظیم مشعلهای صنعتی و خانگی جهت بهینه کردن بازده احتراق
- نصب جهت انجام معی‌ز زیست محیطی داخلی
- تعیین فشار و سرعت گازهای خروجی
- مشخصات فنی آنالیزور احتراق:

1- Testo 350
2- Ultrasonic flowmeter
3- Infrared thermometer
4- data logger testo 454
5- Spectrophotometer

مشخصات فنی آنالیزور احتراق:

جدول ۴-۱- مشخصات فنی تحلیل گر احتراق

دامنه اندازه‌گیری	۴۰-۹۸۰ درجه سلسیوس (۴۰-۱۸۰۰ درجه فارنهایت)
کنش (اندازه‌گیری فشار)	
محدوده اندازه‌گیری	20 $\pm$ درصد آب
اندازه‌گیری O_2	
محدوده اندازه‌گیری	5 تا 21 درصد
دقت	0.2 $\pm$ درصد
حساسیت CO_2	
محدوده معوشن	۰ تا بیشترین مقدار CO_2
اندازه‌گیری CO (درصد جریان H_2)	
محدوده اندازه‌گیری	۰ تا ۲۰۰۰۰ ppm (درصد در هر میلیون)
دقت	۱ تا ۲۰۰ ppm و 5 $\pm$ درصد محدوده اندازه‌گیری (۲/۰۰۰ تا در صد در هر میلیون) و ۱۰ $\pm$ درصد محدوده اندازه‌گیری (۲۰/۰۰۰ ppm)
محدوده اندازه‌گیری	۰ تا ۴۰۰۰۰ ppm
دقت	50 $\pm$ (۱ تا ۱۰۰۰ ppm) و 5 $\pm$ درصد از محدوده اندازه‌گیری (۱/۰۰۰ تا ۱۰/۰۰۰ ppm) و ۱۰ درصد محدوده اندازه‌گیری (۱ برای بیشتر از ۱۰/۰۰۰ ppm)
اندازه‌گیری CO (درصد جریان H_2)	
محدوده اندازه‌گیری	۰ تا ۱۰۰۰۰۰ ppm
دقت	۴۰ $\pm$ (۲۰۰ تا ۲۰۰۰ ppm) و 5 درصد محدوده اندازه‌گیری (۲/۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰ ppm)

ادانه جدول ۴-۱

اندازه‌گیری NO	
محدوده اندازه‌گیری	تا ۲۰۰۰ ppm
دقت عملکرد	$\pm 5 \text{ ppm}$ (تا ۱۰۰ ppm) و ۵ درصد محدوده اندازه‌گیری (تا ۲۰۰۰ ppm) و ۱۰ درصد محدوده اندازه‌گیری (تا ۲۰۰۰ ppm)
اندازه‌گیری NO ₂	
محدوده اندازه‌گیری	تا ۵۰۰ ppm
دقت عملکرد	$\pm 10 \text{ ppm}$ (تا ۱۰۰ ppm) و ۵ درصد از محدوده اندازه‌گیری (برای بیشتر از ۱۰۰ ppm)
اندازه‌گیری SO ₂	
محدوده اندازه‌گیری	تا ۵۰۰۰ ppm
دقت عملکرد	$\pm 10 \text{ ppm}$ (تا ۴۰۰ ppm) و ۵ درصد محدوده اندازه‌گیری (تا ۴۰۰۰ ppm) و ۱۰ درصد محدوده اندازه‌گیری (تا ۵۰۰۰ ppm)
اندازه‌گیری رطوبت	
محدوده اندازه‌گیری	تا ۱۰۰ درصد رطوبت نسبی
اندازه‌گیری سرعت	
محدوده اندازه‌گیری	200 تا ۹۹۹۹ fpm
اندازه‌گیری اختلاف فشار	
محدوده اندازه‌گیری	
دعای مخزن ذخیره	20 تا 50 درصد سلیسو (۴ تا ۱۲۲ درصد فشارها)
عناصر تابلو کن	
دستگاه اندازه‌گیری	۲۴ ماه
براب (میل‌های بازسی)	۱۲ ماه
Heated Umbilical	۶ ماه
سنلر O ₂	۱۸ ماه
سنلرهای CO ، NO _x ، SO _x	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:

- اندازه‌گیری دبی سیالات بدون هیچگونه تداخل در مسیر جریان مایعات
- اندازه‌گیری بدون توقف فرایند
- نصب آسان و سریع جهت اندازه‌گیری
- دامنه وسیع اندازه‌گیری $(0.001\text{ m/s}-99\text{ m/s})$
- قابلیت اندازه‌گیری بدون نیاز به دانستن فشار مایعات

انواع پراب:

الف: پراب (مبله بازرسی) 1584 I

این پراب برای اندازه‌گیری سرعت در لوله‌هایی به قطر ۱۵ میلی‌متر تا ۱۰۰ میلی‌متر قابل استفاده می‌باشد.

ب: پراب (مبله بازرسی) 1595

این نوع پراب برای اندازه‌گیری سرعت در لوله‌هایی به قطر ۸۰ میلی‌متر تا ۲۵۰۰ میلی‌متر قابل استفاده می‌باشد. از مزایای 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 ۳-۴- تصویر از بکارگیری دستگاه دبی سنج فوق صوت در اندازه‌گیری دبی سیالات

- اساس اندازه‌گیری دستگاه 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 می‌آید:

$$V = (L^2 / 2d) \cdot [\Delta T / (T_{AB} \times T_{BA})]$$

در واقع:

V = سرعت سیال

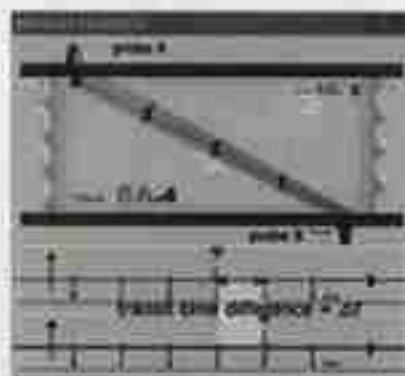
L = طول مسیر صوت

d = فاصله بین دو پراب

T_{AB} = زمان رفت صوت

T_{BA} = زمان برگشت صوت

ΔT = اختلاف زمان رفت و برگشت صوت



شکل ۳-۴- اساس اندازه‌گیری دستگاه دبی سنج مافوق را نشان می‌دهد

بطور کلی این دستگاه یکی از آخرین فناوری‌های 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 (-30°C) تا $(+1200^{\circ}\text{C})$ است. یکی از کاربردهای متداول این ابزار جهت استفاده در فرایندهای دما بالا (صنایع فولاد) و پهنه 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 ۳i دو سری هستند:

الف) نوع لیزری

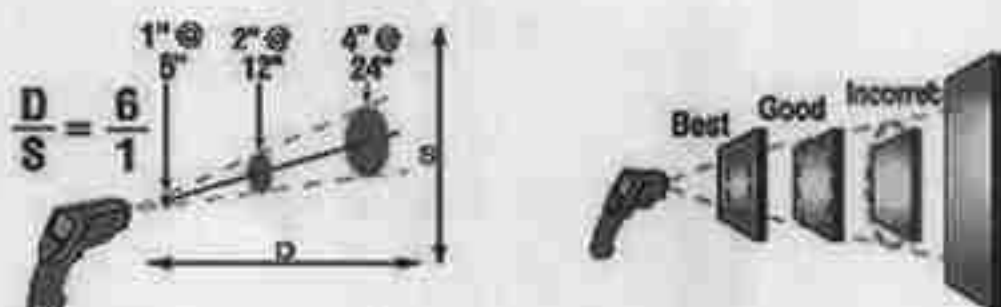
ب) نوع دوربین دار

در واقع کار برد عمده آن‌ها، برای نظارت، تعمیرات و نگهداری و بازرسی‌های ماهانه در صنایع مختلف به منظور تعیین دمای مورد نظر است.

– نکات مهم در اندازه گیری دما بوسیله دماسنج مادون قرمز:

- دقت در تعیین نسبت فاصله (D) به سطح چشم مورد نظر (S)
- شرایط محیطی اندازه گیری از قبیل (میزان بخار، گرد و غبار، میدان مغناطیسی، ارتعاشات و...)

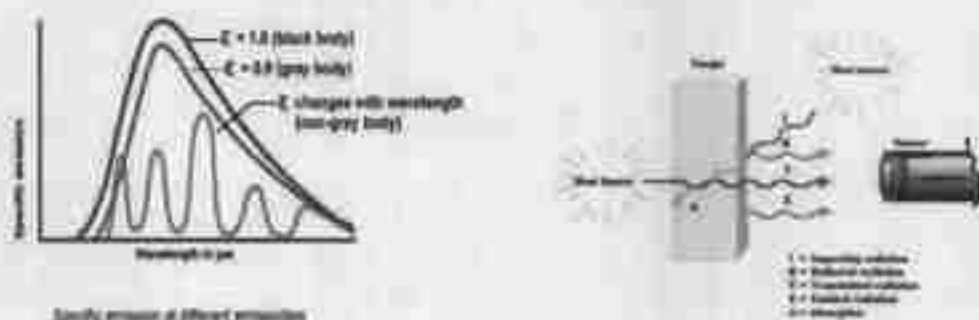
– توجه به میزان دمای محیط، سطح جسم مورد نظر



شکل ۴-۶- تصویری از استفاده درست از دماسنج مادون قرمز را نشان می دهد

– اساس کار دستگاه دماسنج:

این دستگاه با توجه به تمرکز روی جسم مورد نظر و میزان دریافت انرژی ناشی از اشعه مادون قرمز که از جسم گسیل می شود اندازه گیری دمای جسم را ممکن می سازد.



شکل ۴-۷- اساس کار دماسنج مادون قرمز را نشان می دهد

۲-۴- جمع‌کننده اطلاعات (Data logger) :

این دستگاه می‌تواند عواملی از قبیل درجه حرارت، رطوبت نسبی، سرعت سیال، فشار و وقت فشار را اندازه‌گیری و ذخیره کند.

با توجه به پراپیهای مورد استفاده، این دستگاه می‌تواند بصورت همزمان اطلاعات مورد نیاز را اندازه‌گیری کند.



شکل ۲-۴- تصویر از یک جمع‌کننده اطلاعات (۳)

۲-۵- دستگاه اسپکتروفتومتر^۱ :

این دستگاه برای اندازه‌گیری میزان غلظت یونهای نیترات (NO_3)، فسفات (PO_4)، سولفات (SO_4)، آهن کل، مس، کروم، منگنز و در آبهای مصرفی استفاده می‌شود.

- اساس اندازه‌گیری دستگاه اسپکتروفتومتر :

این دستگاه بصورت ریز پردازنده^۲ بوده و از نور تک رنگ جهت اندازه‌گیری نورسنجی در آزمایشگاه و حتی در محل نمونه برداری استفاده می‌کند.

این دستگاه توانایی اندازه‌گیری ۱۲۰ آزمایش نورسنجی مختلف را داشته و در ضمن جهت انجام آزمایشات دیگر از معرفیها به شرح زیر استفاده می‌شود.

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 می‌باشد، استفاده می‌شود.

۲- کیپول پلاستیکی پودر- به ازای هر آزمایش، پودر مربوطه انتخاب و در نمونه آزمایش کاملاً حل می‌شود.

۳- بسته پودر- در بسته های فلزی نگهداری می‌شود پس از انتخاب بسته مناسب، آن را کاملاً داخل نمونه‌های آزمایش حل می‌کنند.

1-Spectrophotometer

2-Microprocessor

3-Monochromatic



شکل ۹-۴- تصویری از دستگاه اسپکترورفئومتر (۳)

۳- پارامترهای قابل اندازه‌گیری در دیگ‌های بخار و کوره‌ها

در فصول گذشته در خصوص اهمیت اندازه‌گیری پارامترهای مختلف در دیگ‌های 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 تابشی :

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 در کتاب‌های انرژی آورده شده است. در اینجا به ذکر مثالی در این خصوص می‌پردازیم.

مثال ۴-۱: در یک کوره دمای اندازه‌گیری شده در جداره‌ها برابر 200°C و دمای سقف آن 250°C می‌باشد. در حالیکه ابعاد کوره $6\text{m} \times 2\text{m} \times 2\text{m}$ باشد میزان صرفه‌جویی انرژی ناشی از عایق‌کشی برای اینکه دمای سطوح به 50°C برسد چه مقدار می‌باشد؟

$$250^{\circ}\text{C} \text{ در دمای } = 21.5 \text{ MJ} / \text{m}^2 \cdot \text{hr} \text{ میزان تلفات انرژی در دمای}$$

$$200^{\circ}\text{C} \text{ در دمای } = 11.6 \text{ MJ} / \text{m}^2 \cdot \text{hr} \text{ میزان تلفات انرژی در دمای}$$

$$50^{\circ}\text{C} \text{ در دمای } = 1.7 \text{ MJ} / \text{m}^2 \cdot \text{hr} \text{ میزان تلفات انرژی در دمای}$$

$$12 \text{ m}^2 = 2 \times 6 = \text{مساحت سقف}$$

$$32 \text{ m}^2 = (2 \times 2 \times 2) + (2 \times 6 \times 2) = \text{مساحت جداره‌ها}$$

$$\text{تلفات حرارتی قبل از عایق کاری} = 21/5 \times 12 + 11/6 \times 22 = 692/2 \text{ MJ/hr}$$

$$\text{تلفات حرارتی بعد از عایق کاری مجدد} = 1/7 \times (12 + 22) = 74/8 \text{ MJ/hr}$$

$$\text{صرفه‌جویی انرژی} = 692/2 - 74/8 = 617 \text{ MJ/hr}$$

با توجه به ارزش حرارتی گاز مصرفی برابر $39/2 \text{ MJ/Nm}^3$ خواهیم داشت:

$$\text{میزان صرفه‌جویی سوخت} = 617 \text{ MJ/hr} / 39/2 = 15/7 \text{ Nm}^3/\text{hr}$$

با در نظر گرفتن ۶۰۰۰ ساعت کارکرد کوره در سال و مبلغ ۱۵۰ ریال به ازای هر متر مکعب گاز طبیعی خواهیم داشت:

$$15/7 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) \times 6000 \frac{\text{h}}{\text{yr}} \times 150 \frac{\text{Rials}}{\text{m}^3} = 141/3 \times 10^6 \frac{\text{ریال}}{\text{سال}} \cong 140/000/000 \frac{\text{ریال}}{\text{سال}}$$

اندازه‌گیری درجه حرارت گازهای خروجی^۱:

همانگونه که قبلاً نیز اشاره شده است اندازه‌گیری و کنترل درجه حرارت گازهای خروجی در دودکش دیگ‌های بخار و کوره‌ها نقش مهمی در کاهش تلفات دودکش دارد. با توجه به روابط مربوط به انرژی، مشاهده می‌شود که بالا بودن دمای دودکش رابطه مستقیمی با میزان تلفات آن دارد، در صورتی که نسبت هوا به سوخت^۲ کنترل نشده باشد، این افزایش دما تشدیدکننده تلفات خواهد بود.

مثال ۴-۲: اندازه‌گیری در یک دیگ بخار صنعتی با لوله‌های آب در یک پالایشگاه گاز نشان می‌دهد که درجه حرارت گازهای خروجی برابر 295°C می‌باشد سوخت مصرفی این دیگ، گاز طبیعی و به میزان m^3/hr ۵۴۵۴ است. در صورت تنظیم مشعل و کاهش دمای دودکش به 200°C میزان صرفه‌جویی سوخت را محاسبه نمایید؟

(حجم گازهای حاصل از احتراق در دودکش برابر $73100 \text{ m}^3/\text{hr}$ اندازه‌گیری شده است)

$$Q = \dot{m} C_p \Delta T$$

راه حل:

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.

$$V = 73100 \text{ Nm}^3/\text{hr}$$

$$\rho = 1/3 \text{ kg/Nm}^3 \quad \text{وزن مخصوص گازهای حاصله از احتراق}$$

$$C_p = 1/2 \text{ KJ/kg}^\circ\text{K}$$

$$295^\circ\text{C} \text{ دمای} = 73100 \times 1/2 \times 1/3 \times 295 = 33/64 \times 10^6 \text{ KJ/hr}$$

$$200^\circ\text{C} \text{ دمای} = 73100 \times 1/2 \times 1/3 \times 200 = 22/8 \times 10^6 \text{ KJ/hr}$$

1 - Flue gas temperature

2 - Air Fuel Ratio

$$\text{میزان کاهش تلفات} = 10/84 \times 10^3 \text{ KJ/hr}$$

با توجه به ارزش حرارتی گاز مصرفی در دیگ بخار که برابر $39/2 \text{ MJ/Nm}^3$ است خواهیم داشت:

$$\text{کاهش تلفات سوخت} = 276/5 \text{ Nm}^3/\text{hr}$$

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:

$$\text{سال} / \text{Nm}^3 = 1/980/000 \quad \text{کاهش تلفات سوخت}$$

$$\text{سال} / \text{ریال} = 297/000/000 \quad \text{ارزش ریالی صرفه‌جویی شده}$$

– 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 جدول ۴-۲ 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 تبدیل 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.

مثال ۴-۳. 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 295°C حساب کنید؟

$$\lambda = 24/4\% \quad \text{کاهش دبی حجمی گازهای احتراق} = 5500 \text{ Nm}^3/\text{hr}$$

$$\lambda = 15\% \quad \text{میزان کاهش تلفات دودکش} = 2/5 \times 10^3 \text{ Kg/hr}$$

$$73100 \text{ Nm}^3/\text{hr} = \text{حجم گازهای خروجی از دودکش}$$

$67600 \text{ Nm}^3/\text{hr}$ = حجم گازهای خروجی از دودکش

که با در نظر گرفتن ارزش حرارتی گاز:

$63/8 \text{ Nm}^3/\text{hr}$ = میزان صرفه‌جویی سوخت

که این میزان برابر $1/116$ از سوخت مصرفی بویلر می‌باشد.

$460000 \text{ Nm}^3/\text{yr}$ = میزان صرفه‌جویی سالانه سوخت

$69 \times 10^6 \text{ Rls/yr}$ = ارزش ربایی صرفه‌جویی سالانه

- تجزیه و تحلیل گازهای خروجی از دودکش:

یکی از مهمترین موارد اندازه‌گیری در کوره‌ها و دیگ‌های 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 خوردگی این گاز در دماهای پایین در زمان تنظیم مشعل و ... باید به دمای دودکش توجه شود تا از نقطه شینم 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 اندازه‌گیری‌های انجام شده، تأثیر وجود CO و احتراق ناقص در میزان اتلاف انرژی مشخص می‌شود.

مثال ۴-۴: اندازه‌گیری در یک کوره هافمن^۱ بخت آجر نشان می‌دهد که میزان CO خروجی از دودکش برابر $21600 \text{ m}^3/\text{hr}$ می‌باشد. میزان 285 ppm است. با توجه به اندازه‌گیری دبی حجمی گازهای دودکش که برابر $21600 \text{ m}^3/\text{hr}$ می‌باشد. میزان دبی جرمی CO و همچنین تلفات انرژی ناشی از وجود CO در گازهای دودکش را محاسبه کنید؟ راه حل:

$\text{CO} = 285 \text{ PPm}$

$21600 \text{ m}^3/\text{hr}$ = حجم گازهای خروجی دودکش (در دمای 76°C درجه سانتی گراد)

76°C = دمای گازهای خروجی

$10/2 \text{ MJ/kg}$ = ارزش حرارتی CO

$\text{درصد حجمی CO} = \frac{285}{10.6} \times 100 = 2.7\%$

= حجم CO خروجی از دودکش

درصد حجمی CO ضرب در حجم گازهای خروجی در حالت استاندارد (دمای 25°C درجه سانتی گراد) برابر است

با:

$$۱۶۹۰۰ \times ۰.۰۱۰۳۸۵ = ۶/۵ \text{ Nm}^3/\text{hr} = ۷/۸ \text{ Kg/hr}$$

که با توجه به ارزش حرارتی CO:

$$\text{تلفات ناشی از بدمسوزی} = ۷/۸ \times ۱۰/۲ = ۸۰ \text{ MJ/hr} = ۲/۲ \text{ Lit/hr}$$

$$\text{تلفات سالانه سوخت} = ۱۵۸۰۰ \text{ Lit/yr}$$

با فرض ۳۰۰ روز کاری:

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. در شکل زیر طرحواره موازنه جرم و انرژی نشان داده شده است.



در این رابطه بسته به نوع فرایند (گرم‌گیر، گرم‌ر، ... می‌تواند مثبت یا منفی باشد.

مهمترین قوانینی که از موازنه 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 برای 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.

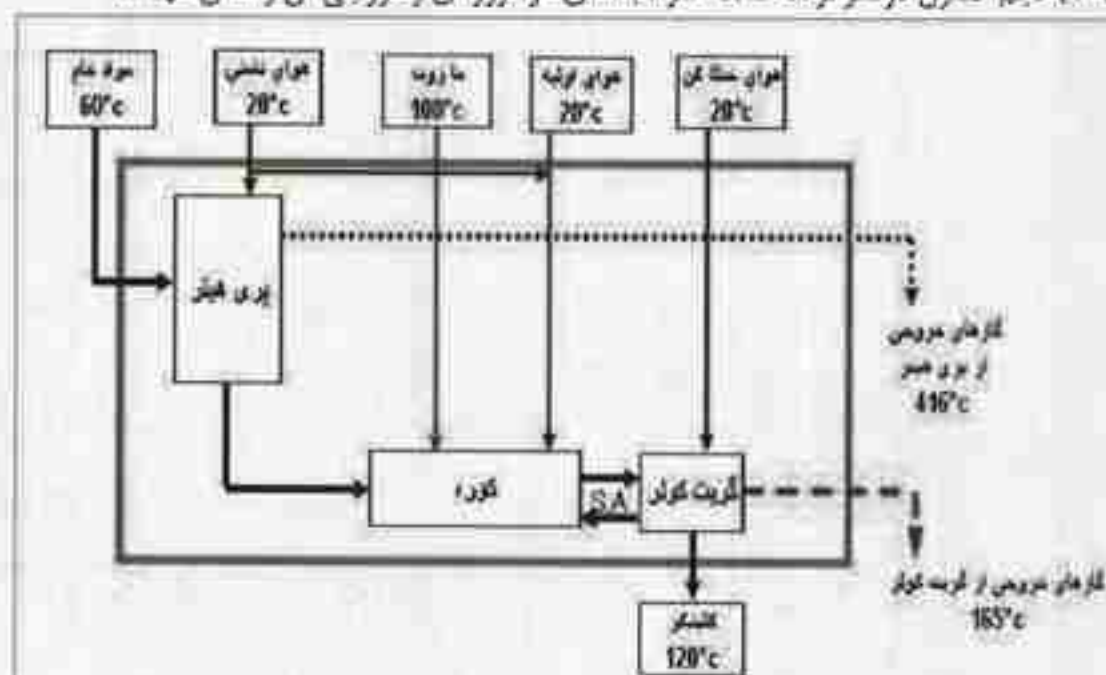
در ادامه به منظور روشن شدن موضوع، نمونه‌ای از موازنه جرم و انرژی در کوره یک کارخانه سیمان ارائه

شده است.

۴-۱- انتخاب حجم کنترل^۱ در سیستم‌های انرژی بر:

اولین مسئله‌ای که در محاسبات موازنه جرم و انرژی باید مد نظر قرار گیرد انتخاب حجم کنترل می‌باشد. 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^۲، پخت، کلساینر^۳ و پیش گرم کن می‌باشد به عبارت دیگر حجم کنترل در نظر گرفته شده با سیستم کوره می‌باشد.

شکل (۴-۱) حجم کنترل در نظر گرفته شده همراه بادمای مواد ورودی و خروجی آن را نشان 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^۴:

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 می‌شود. 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 (C₂S)، قبل از مرحله آسیاب سیمان

3- منطقه ای برای عمل کلسینه شدن (CaO و CaCO₃)

4- Mass Balance

- جرم ورودی به سیستم^۱:الف) جرم هوای ورودی توسط دمنده های خنک کن بزرگ^۲:

میزان دبی هوای ورودی به خنک کن بزرگ توسط دمنده ها برابر $307000 \text{ m}^3/\text{hr}$ می‌باشد.
با در نظر گرفتن وزن مخصوص هوا در شرایط موجود، $1/29 \text{ kg/m}^3$ داریم:

$$m_{11} = 307000 \times 1/29 = 296/6 \text{ Ton/hr}$$

ب) جرم هوای ورودی اولیه در مشعل‌های کوره و کلساینر:

میزان دبی هوای اولیه ورودی به مشعل‌های کوره و کلساینر عبارتند از:

$$9800 \text{ m}^3/\text{hr} \text{ : هوای اولیه برای مشعل کوره}$$

$$2100 \text{ m}^3/\text{hr} \text{ : هوای اولیه برای کلساینر}$$

با توجه به جرم حجمی هوای محیط $1/29 \text{ Kg/m}^3$ داریم:

$$m_{12} = 9800 \times 1/29 = 12/6 \text{ Ton/hr} \text{ : هوای اولیه مشعل کوره}$$

$$m_{13} = 2100 \times 1/29 = 2/7 \text{ Ton/hr} \text{ : هوای کلساینر}$$

ج) جرم سوخت ورودی به سیستم:

سوخت مصرفی در کوره از نوع مازوت بوده که در دو نقطه کوره و کلساینر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

$$3440 \text{ Lit/hr} \text{ : مصرف سوخت در کوره}$$

$$4100 \text{ Lit/hr} \text{ : مصرف سوخت در کلساینر}$$

با توجه به جرم حجمی مازوت در دمای 100°C درجه ورودی به سرمشعل‌ها برابر $0/89 \text{ kg/lit}$ خواهیم داشت:

$$m_{14} = 3440 \times 0/89 = 3061/6 \text{ kg/hr} = 3/0616 \text{ Ton/hr}$$

کوره

$$m_{15} = 4100 \times 0/89 = 3649 \text{ kg/hr} = 3/649 \text{ Ton/hr} \text{ : کلساینر}$$

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.

$$m_{16} = 140 \text{ Ton/hr}$$

1 - Mass Input

2 - Great Cooler Fans

- جرم خروجی از سیستم^۱:

الف) جرم گازهای داغ خروجی از پیش‌گرم‌کن:

با توجه به ابعاد (قطر) کانال خروجی از پیش‌گرم‌کن برابر $D = 2/7 \text{ m}$ و همچنین اندازه‌گیری سرعت در خروجی از پیش‌گرم‌کن توسط لوله پیتوت می‌توان دبی حجمی گازهای خروجی از پیش‌گرم‌کن را محاسبه و با توجه به جرم حجمی گازهای مورد نظر، دبی جرمی آن را محاسبه نمود.

21 m/s = سرعت اندازه‌گیری شده در کانال بعد از دمنده پیش‌گرم‌کن

$$\text{دبی حجمی} = 432886 \text{ m}^3/\text{hr}$$



$$D = 2/7 \text{ m} \text{ قطر کانال قبل از دوراهی دمنده پیش‌گرم‌کن}$$

حال با در نظر گرفتن جرم حجمی گازهای حاصله از احتراق در دمای 310°C (دمای خروجی از پیش‌گرم‌کن) برابر $0/66 \text{ kg/m}^3$ خواهیم داشت:

$$m(O) = 432886 \times 0/66 = 285695 \text{ Ton/hr}$$

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 132 درجه برای $0/93$ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد بنابراین خواهیم داشت:

$$m(O_2) = 270000 \text{ m}^3/\text{hr} \times 0/93 = 25125 \text{ Ton/hr}$$

ج) جرم غبار خروجی از سیستم کوره و پیش‌گرم‌کن:

از اطاق کنترل میزان ورودی مواد خام و همچنین میزان کلیتکر خروجی محاسبه و برابر مقدار زیر دریافت شد.

$$\text{مواد خام ورودی} = 140 \text{ on/hr}$$

$$\text{کلیتکر خروجی} = 81 \text{ Ton/hr}$$

با توجه به میزان تلفات ناشی از تغییر فرم^۱ برابر ۰/۳۶ تا ۰/۳۵ خواهیم داشت.

$$\text{اختلاف جرم مواد خام کلینکر} = ۱۴۰ - ۸۱ = ۵۹ \text{ Ton/hr}$$

$$\text{تلفات ناشی از تغییر فرم} = ۱۴۰ (۰/۳۶) = ۵۰/۴ \text{ Ton/hr}$$

$$\dot{m}_{O3} = ۵۹ - ۵۰/۴ = ۶/۸ \text{ Ton/hr}$$

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

$$\dot{m}_{O4} = ۸۱ \text{ Ton/hr}$$

ساعت می‌باشد.

محاسبه هوای ناشی:

حال با داشتن تمامی جرم‌های ورودی و خروجی در سیستم کوره، می‌توان توسط موازنه جرم میزان هوای

ناشی به سیستم کوره را محاسبه کرد.

جرم خروجی از سیستم = ناشی هوا + جرم ورودی به سیستم

$$\dot{m}_{O1} + \dot{m}_{O2} + \dot{m}_{O3} + \dot{m}_{O4} = \dot{m}_{F1} + \dot{m}_{F2} + \dot{m}_{F3} + \dot{m}_{F4} + \dot{m}_{F5} + \dot{m}_{F6} + \text{Leak}$$



$$\text{میزان ناشی هوا} = ۶۷/۹۳۵ \text{ Ton/hr}$$

این میزان ناشی شامل ناشی هوا در سیستم‌های کوره، کلساینر و پیشگرمکن به‌علاوه میزان هوای ناشی از انتقال

مواد به پیشگرمکن یا به عبارت دیگر هوای لازم برای حمل می‌باشد.

جدول شماره (۱-۴) نتایج موازنه جرم در یک سیستم کوره نمونه را نشان می‌دهد.

جدول (۱-۴): موازنه جرم در یک کوره نمونه (۳)

ردیف	نوع جرم	ورودی (tor) (T/hr)	خروجی (tor) (T/hr)
I ₁	ورودی هوا به خنک‌کن کلینکر	۳۹۶/۶	-
I ₂	هواي اولیه مشعل کوره	۱۲/۶	-
I ₃	هواي 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	هواي نشتی و حمل مواد اولیه	۶۷/۹۳۵	-
	نتیجه نهایی	۶۲۶/۵۴۵	۶۲۶/۵۴۵

۳-۴- موازنه انرژی^۱

پس از موازنه جرم و اندازه گیری جرم های ورودی و خروجی به سیستم کوره در حجم کنترل مشخص شده، اینک با در نظر گرفتن انرژی آنها می توان به موازنه انرژی پرداخت و میزان انرژی های تلف شده را مشخص کرد.

- انرژی ورودی به سیستم^۲

الف - انرژی هوای ورودی توسط دمنده های خشک کن شبکه ای:

با توجه به جدول (۴-۱) میزان دبی جرمی هوای ورودی توسط فن های گریت کولر برابر $396/6 \text{ T/hr}$ می باشد. با در نظر گرفتن دمای صفر درجه سلسیوس به عنوان مبای محاسبات و گرمای ویژه هوا خواهیم داشت:

$$C_p = 0/227 \text{ Kcal/kg}^\circ\text{C} \quad \rightarrow \quad E_{II} = 0/227 \times 396/6 \times 20 = 1879/9 \text{ Mal/hr}$$

$$m_{II} = 396/6 \text{ T/hr} \quad \rightarrow \quad E_{II} = 97 \text{ KJ/kg.cl}$$

$$\Delta T = 20^\circ\text{C}$$

ب - انرژی هوای اولیه مشعل کوره و کلسایتر:

میزان دبی جرمی با توجه به اعداد جدول (۴-۱) برای هوای اولیه مشعل های کوره و کلسایتر برابر است با:

$$m_{I2} = 12/6 \text{ T/hr} \quad E_{I2} = 59/72 \text{ Mcal/hr} \quad \rightarrow \quad E_{I2} = 2/05 \text{ KJ/kg.cl}$$

$$C_p = 0/227 \text{ Kcal/kg}^\circ\text{C} \quad \rightarrow \quad E_{I2} = 12/798 \text{ Mcal/hr} \quad \rightarrow \quad E_{I2} = 0/66 \text{ KJ/kg.cl}$$

$$\Delta T = 20^\circ\text{C} \quad \rightarrow \quad E_{I2} = 0/66 \text{ KJ/kg.cl}$$

$$m_{I2} = 2/7 \text{ T/hr}$$

ج - انرژی محسوس و احتراق سوخت مازوت در کوره:

برای مازوت ورودی به سیستم دو نوع انرژی در نظر می گیریم. انرژی محسوس مازوت که ناشی از دمای مازوت 100°C می باشد و همچنین انرژی شیمیایی حاصل از احتراق.

$$m_{I14} = 3/0616 \text{ T/hr} \quad E_{I14} = 162/26 \text{ Mcal/hr} \quad \rightarrow \quad E_{I14} = 8/37 \text{ KJ/kg.cl}$$

$$C_p = 0/52 \text{ Kcal/kg}^\circ\text{C} \quad \rightarrow \quad E_{214} = 30626/616 \text{ Mcal/hr} \quad \rightarrow \quad E_{214} = 1581/516 \text{ KJ/kg.cl}$$

$$\Delta T = 100^\circ\text{C}$$

$$\text{L.H.V} = 10010 \text{ Kcal.Kg}$$

1- Energy Balance

2- Energy Input

د - انرژی محسوس و ناشی از احتراق سوخت مازوت در کلسایتر:

مطابق قسمت قبل داریم:

$$\begin{aligned}
 m_{15} &= 3/649 \text{ T/hr} & E_{115} &= 193/397 \text{ Mcal/h} \rightarrow E_{115} = 9/98 \text{ KJ/kg.cl} \\
 C_p &= 0/53 \text{ Kcal/kg}^{\circ}\text{C} \\
 \Delta T &= 100^{\circ}\text{C} & E_{215} &= 3652/49 \text{ Mcal/hr} \rightarrow E_{215} = 1884/94 \text{ KJ/kg.cl} \\
 \text{L.H.V} &= 10010 \text{ Kcal.kg}
 \end{aligned}$$

ه - انرژی محسوس ناشی از مواد خام ورودی به پیشگرم کن:مواد خام از آسیاب مواد با دمای 80°C وارد پیش گرم کن می‌شود بنابراین انرژی موجود آن عبارتست از:

$$\begin{aligned}
 m_{16} &= 140 \text{ T/hr} \\
 C_p &= 0/31 \text{ Kcal.kg}^{\circ}\text{C} & E_{16} &= 2352 \text{ Mcal/hr} \rightarrow E_{16} = 121/37 \text{ KJ/Kg.cl} \\
 \Delta T &= 80^{\circ}\text{C}
 \end{aligned}$$

و - انرژی ورودی از طریق هوای ناشی و حمل:

$$\begin{aligned}
 m_{17} &= 67/935 \text{ T/hr} \\
 C_p &= 0/337 \text{ Kcal/kg}^{\circ}\text{C} & E_{17} &= 322/01 \text{ Mcal /hr} \rightarrow E_{17} = 16/61 \text{ KJ/Kg.cl} \\
 \Delta T &= 20^{\circ}\text{C}
 \end{aligned}$$

- انرژی خروجی از سیستم:**الف - انرژی ناشی از خروج گازهای داغ از پیشگرم کن:**گازهای حاصل از احتراق در کوره و کلسایتر با درجه حرارت 310°C از پیش گرم کن خارج می‌شود. با توجه به دبی جرمی گازهای حاصل از احتراق از جدول (۴-۱) خواهیم داشت:

$$\begin{aligned}
 m_{O1} &= 285/695 \text{ T/hr} \\
 C_p &= 0/325 \text{ Kcal/kg}^{\circ}\text{C} & E_{O1} &= 19927/23 \text{ Mcal /h} \rightarrow E_{O1} = 1028/24 \text{ KJ/Kg.cl} \\
 \Delta T &= 310^{\circ}\text{C}
 \end{aligned}$$

ب - گازهای داغ خروجی از خنک کن شبکه ای به سمت دودکش:گازهای خروجی از خنک کن شبکه ای با درجه حرارت 132°C درجه سلسیوس و دبی جرمی مطابق جدول

$$\begin{aligned}
 m_{O2} &= 251/25 \text{ T/hr} & (4-1) & \text{ از دودکش خارج می‌شوند} \\
 C_p &= 0/324 \text{ Kcal/kg}^{\circ}\text{C} & E_{O2} &= 7959/6 \text{ Mcal /hr} \rightarrow E_{O2} = 410/75 \text{ KJ/Kg.cl} \\
 \Delta T &= 132^{\circ}\text{C}
 \end{aligned}$$

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:

$$\dot{m}_{O3} = 8/6 \text{ T/hr}$$

$$C_p = 0/31 \quad E_{O3} = 558/52 \text{ Mcal/hr} \quad \rightarrow \quad E_{O3} = 28/82 \text{ KJ/Kg.cl}$$

$$\Delta T = 310^\circ \text{C}$$

د - انرژی ناشی از کلینگر خروجی از خنک کن بزرگ:

با توجه به اینکه برای تبدیل مواد خام به کلینگر و عملیات پخت آن در حدود ۴۵۰ کیلوکالری بر کیلوگرم انرژی حرارتی موسوم به گرمای واکنش^۱ نیاز داریم و همچنین گرمای محسوس کلینگر داغ خروجی خواهیم داشت:

$$\dot{m}_{O4} = 8 \text{ T/hr}$$

$$C_p = 0/19 \text{ Kcal/kg}^\circ \text{C} \quad E_{1O2} = 7959/6 \text{ Mcal/hr} \quad \rightarrow \quad E_{1O2} = 79/42 \text{ KJ/Kg.cl}$$

$$\Delta T = 100^\circ \text{C}$$

$$\text{Reaction Heat} = 450 \text{ Kcal/kg.cl} \quad E_{2O2} = 36450 \text{ Mcal/hr} \quad \rightarrow \quad E_{2O2} = 188 \text{ KJ/kg.cl}$$

محاسبه 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 از سطوح 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

$$E_{11} + E_{12} + E_{13} + E_{14} + E_{24} + E_{115} + E_{215} + E_{16} = E_{O1} + E_{O2} + E_{O3} + E_{O4} + \text{Losses}$$

$$\text{تلفات} = 5720/841 \text{ Mcal/hr}$$

$$= 295/22 \text{ KJ/kg.cl}$$

جدول (۳-۴): موازنه انرژی در سیستم کوره (۳)

ردیف	مواد مختلف اندازه‌گیری		انرژی ورودی		انرژی خروجی	
			KJ/kg.cl	Mcal/hr	KJ/kg.cl	Mcal/hr
I ₁	انرژی هوای ورودی توسط فن‌های خنک کن شبکه ای		۹۷	۱۸۷۹/۹	-	-
I ₂	انرژی هوای اولیه مشعل کوره		۲/۰۵	۵۹/۷۲	-	-
I ₃	انرژی هوای اولیه مشعل کلساینر		۰/۶۶	۱۲/۷۹۸	-	-
I ₄	انرژی محسوس در سوخت مازوت (نفت کوره)		۸/۲۷	۱۸۲/۲۶	-	-
	انرژی ناشی از احتراق نفت کوره		۱۵۸۱/۵۱۶	۳۰۶۴۶/۶۱۶	-	-
I ₅	انرژی محسوس در سوخت نفت کلساینر		۹/۹۸	۱۹۳/۲۹۷	-	-
	انرژی ناشی از احتراق مازوت کلساینر		۱۸۸۲/۹۲	۳۶۵۳۶/۲۹	-	-
I ₆	انرژی محسوس ناشی از ورود مواد غلام		۱۲۱/۳۷	۲۲۵۲	-	-
I ₇	انرژی ورودی از طریق انشعاب هوا و انتقال مواد		۱۶/۶۱	۳۲۲/۰۱	-	-
O ₁	انرژی گازهای داغ خروجی از پیشگرم کن		-	-	۱۰۲۸/۳۲	۱۹۹۲۷/۲۲
O ₂	انرژی خروجی از دودکش خنک کن شبکه ای		-	-	۲۱۰/۷۵	۷۹۵۹/۶
O ₃	انرژی محسوس در غبار خروجی از پیشگرم کن		-	-	۲۸/۸۲	۵۵۸
O ₄	انرژی محسوس موجود در کلیتگر خروجی		-	-	۷۹/۲۲	۱۵۳۹
	انرژی پخت کلیتگر (گرمای واکنش)		-	-	۱۸۸۱	۳۶۲۵۰
	نتیجه		۳۷۲۳/۵۶	۷۲۱۵۵/۱۰	۳۲۲۸/۳۲	۶۶۲۳۲/۲۵
O ₅	تلفات انتقال حرارتی و سایر تلفات		-	-	۲۹۵/۲۲	۵۷۲۰/۸۲
	نتیجه نهایی		۳۷۲۳/۵۶	۷۲۱۵۵/۱۹	۳۷۲۳/۵۲	۷۲۱۵۵/۱۹

فصل ۵

سیستم‌های مدرن صرفه‌جویی انرژی

۱- باز یافت انرژی :

با توجه به رشد بی‌رویه مصرف انرژی و حفظ ذخائر ملی در زمینه انرژی، باید توجه بیشتری به باز یافت انرژی‌های تلف شده نمود یا اجرای پروژه‌های باز یافت 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 باز یافت 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 باز یافت 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)

مبایم تلفات گرمایی			
درجه حرارت پایین پایین‌تر از 200°C	درجه حرارت متوسط $200^{\circ}\text{C} - 450^{\circ}\text{C}$	درجه حرارت 450°C به بالا	
- خروجی از خشک‌کن - کمپرسورها - مبادله‌کن‌های تقطیر - مایعات و بخار گاز - کوره‌های نش‌گیری - و...	- خروجی از دیگ‌های بخار - دودکش واحدهای نیروگاه گازی - موتورهای درونسوز (دیزل) - گازخانه‌های سیمان - خشک‌کن‌ها - فرایندهای پتروشیمی - و...	- کوره‌های ذوب فلزات (کرم، نیکل، روی، فولاد و...) - کوره‌های پیش‌گرم فولاد - مبادله‌کن‌های تولید هیدروژن - زیاله‌سورها - و...	- نمونه‌های موجود در صنعت
- تأمین آب گرم مصرفی - گرمایش و سرمایش واحدهای مسکونی - گرمایش و سرمایش واحدهای صنعتی - و...	- تولید بخار مورد نیاز فرآیند - تولید برق و بخار 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 سیکلی ترکیبی	- استفاده مستقیم در فرایندهای خشک‌کن - تولید همزمان برق و بخار (CHP) - پیش‌گرمکن هوای احتراق - استقاء مجدد از گازهای داغ - و...	- موارد استفاده توسط بازیافت انرژی

۱- مبادله‌کن‌ها Rectifier نوعی مبادله‌کن گرمایی است که بین سیال‌های گرم و سرد جداسازی (دلتا) 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^۱ (تولید کننده مجدد) (ریژنراتورها)
- بازیافت گرما^۲ (ریکوپراتورها)
- لوله‌های گرمایی^۳
- دیگ‌های بازیافت انرژی^۴
- زیاله‌سوزها^۵

۱-۲- بازیاب کننده‌ها^۱

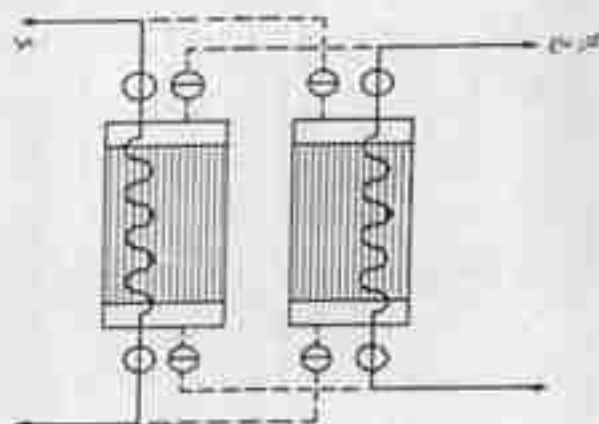
بازیاب کننده‌ها نوعی از مبادله کن‌های حرارتی با بستر فشرده هستند که برای انتقال حرارت بین دو گاز سرد و گرم استفاده می‌شوند. این دستگاه‌ها به دو نوع بستر ثابت و بستر دوار تقسیم‌بندی می‌شوند:

الف - بازیاب‌های با بستر ثابت: در نوع بستر ثابت، دو سیال گرم و سرد در جهت مخالف یکدیگر در دو

دوره زمانی متفاوت وارد بسترهای ثابت می‌شوند. 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 می‌شود. شکل (۱-۵) طرحواره کلی یک بازتاب کننده یا بستر ثابت را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۵- بازتاب کننده یا بستر ثابت

بازتاب کننده‌های یا 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، از کانالی 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 کن‌ها توسط دو رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$\eta_h = \frac{(GC_p P)_h (t_{hi} - t_{ho})}{(GC_p P)_{min} (t_{hi} - t_{ci})}$$

راندمان دوره گرم

$$\eta_c = \frac{(GC_p P)_c (t_{co} - t_{ci})}{(GC_p P)_{min} (t_{hi} - t_{ci})}$$

راندمان دوره سرد

که در آن:

η = بازده بازتاب 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

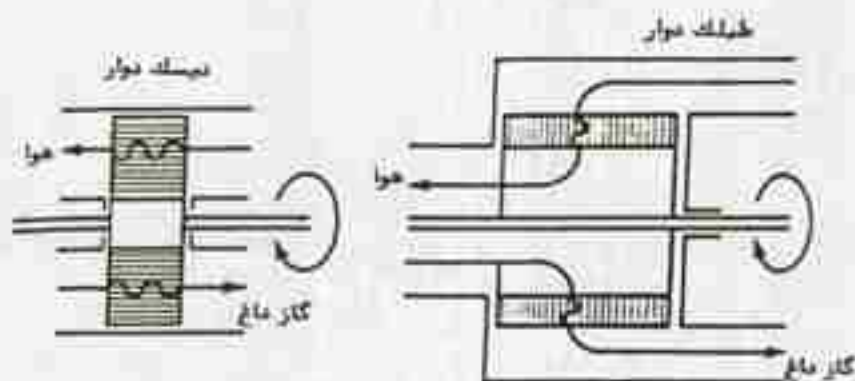
$\min = (GC_pP)_c$ و $(GC_pP)_h$ کمترین مقدار

p = دوره گردش سیال

همانطور که از دو رابطه فوق مشخص می‌گردد راندمان بازتاب 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: بازتاب 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 بازتاب که بنام چرخ‌های حرارتی^۱ نامیده می‌شوند، بیشتر برای بیش گرمایش هوای احتراق در نیروگاه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. (شکل شماره ۲-۵)



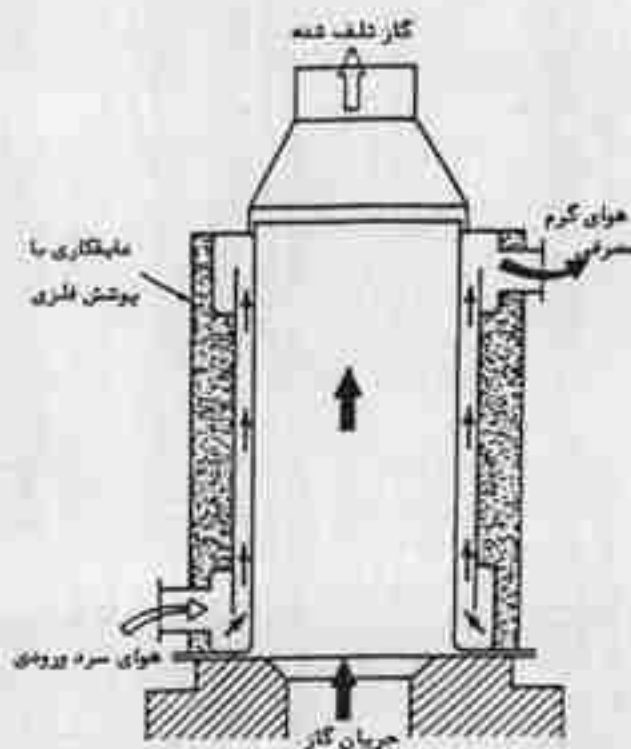
شکل ۲-۵ - بازتاب دوار

۲-۲- پیشگرمکن هوای کوره^۲:

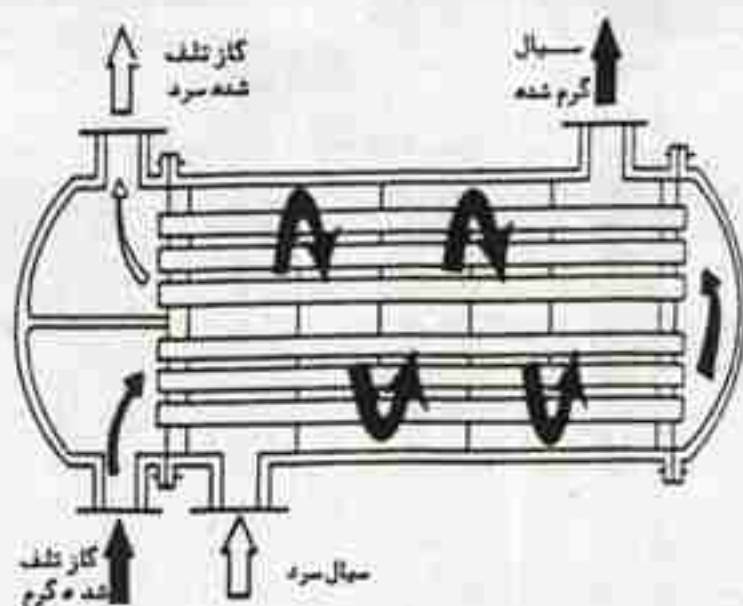
یک پیش گرم کن هوای کوره، نوعی از مبادله کن حرارتی است که در آن انتقال گرما بین دو گاز انجام می‌شود. (در حالیکه مسیر حرکت شاره ها از هم جداست) کاربرد اصلی آن در پیشگرمکن‌های هوا در دیگ‌های بخار و کوره‌های حرارتی می‌باشد. نوع ساده این مبادله کن بصورت دو لوله در داخل یکدیگر می‌باشد که در خروجی کوره‌ها نصب می‌گردد و گاز داغ از داخل و هوای سرد از جداره خارجی بین دو لوله عبور می‌کند و درجه حرارت آن افزایش می‌یابد. سه نوع پیشگرمکن هوای کوره بنام جابهجایی، تلبشی و تابشی و جابهجایی، 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 (۳-۵) دو نوع از پیش گرم کن هوای کوره را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۵. الف- نوع لایسی پیشگرمکن هوای کوره



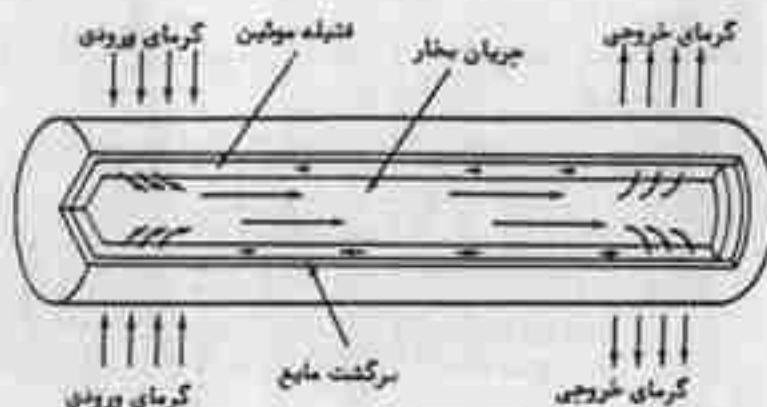
شکل ۳-۵-ب- نوع همرفتی پیشگرمکن هوای کوره

۳-۲- لوله‌های گرمایی^۱:

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^۲
- سیال داخل لوله^۳
- فتیله^۴

شکل شماره (۳-۵) ساختمان یک لوله گرمایی را نشان می‌دهد:



شکل ۴-۵- 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
- نفوذپذیری 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 گرمایی را تعیین می‌کند عدد مریٹ^۱ نامیده می‌شود که بصورت

$$M = \delta \rho \lambda / \mu$$

زیر تعریف می‌شود:

که در آن:

δ کشش سطحی مایع

ρ دانسیته مایع

λ گرمای نهان تبخیر مایع

M گرانروی مایع

– **فتیله:** فتیله جهت برگشت سیال داخل لوله از قسمت تقطیر به قسمت تبخیر در دیواره داخلی لوله قرار داده می‌شود. و بیشتر در لوله های گرمایی افقی کاربرد دارد، زیرا در لوله های قائم بخار تقطیر شده در چگالنده (کندانسور) در اثر وزن خود به تبخیر کننده (اوپراتور) بر می گردد.

فتیله باید دارای ضخامت و سوراخ‌های مناسب باشد تا این عمل سرعت انجام گردد و خللی در کار لوله گرمایی پدید نیابد. 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 دی اکسید کربن و هیدروژن بکار می‌روند. لوله‌های گرمایی همچنین در خنک کردن تجهیزات الکتریکی و در سقینه‌های قضایی کاربرد فراوانی دارد. امروزه از لوله‌های گرمایی جهت انتقال گرمای داخل زمین به سطح زمین، ذوب کردن برف و یخ جاده‌ها (بوئزه باند فرودگاهها در کشورهای سرد سیر) استفاده می‌شود.

۲-۴- زباله سوزها^۱:

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 بالارزش معدنی
- برای از بین بردن ضایعات جامد مخصوصاً زباله‌های شهری در کشورهایی 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

میزان انرژی تولیدی (معادل لیتر سوخت بازاری هر تن ضایعات)	مواد
۲۸۶	کاغذ (با ۱۵٪ رطوبت)
۳۲۳	چوب (با ۲۰٪ رطوبت)
۵۲۴	پی دی سی
۶۵۶	زغال سنگ
۸۷۰	پلی استیرن
۹۵۵	لاستیک

از موارد مصرف زباله‌سوزها در سوزاندن زباله‌های بیمارستانی است که بعثت شیوع بیماری‌های واگیردار، از بین بردن این ضایعات به‌طور معمول مجاز نمی‌باشد. میزان تقریبی انرژی حاصل از این مواد 1714 MJ/kg می‌باشد یکی از مشکلات اقتصادی استفاده از زباله‌سوزها، از بین بردن آلودگی گازهای آلاینده 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.

۵-۲- دیگ‌های بخار بازیاب حرارت^۱:

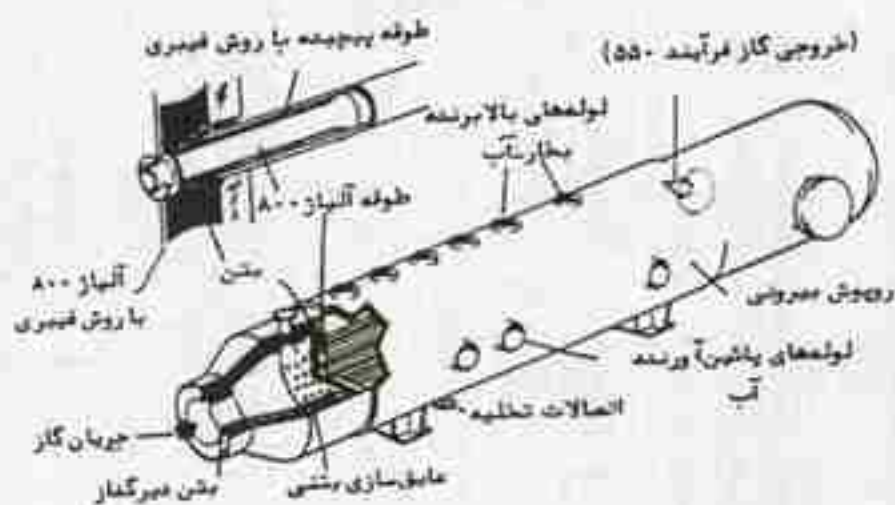
دیگ‌های بخار بازیاب حرارت نوع دیگری از تجهیزات بازیافت انرژی می‌باشند که انرژی حاصل از گازهای احتراق را بازیابی می‌نمایند. دو نوع از این دستگاه‌ها در صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرند:

- 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 یا فشار بالا استفاده می‌نمایند. 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 مبادله کنهای بازیافت حرارت شده و انرژی بازیابی شده را صرف تولید بخار یا فشار بالا (بین ۵۰ تا ۱۲۰ بار) می‌کنند.

شکل شماره (۵-۵) طرحواره کلی یک دیگ بخار بازیاب حرارت را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۵ - طرحواره کلی یک دیگ بخار بازیافت حرارت (۱۰)

۳- نمونه هایی از بکار گیری 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 را قبل و بعد 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

دبی گازهای خروجی بعد از تنظیم نسبت هوا به سوخت	دبی گازهای خروجی قبل از تنظیم نسبت هوا به سوخت	دمای گازهای خروجی از دودکش	
۱۲۸۰ Nm ³ /hr	۲۶۲۰ Nm ³ /hr	۳۵۳°C	کوره عملیات حرارتی شماره I
۲۲۰ Nm ³ /hr	۲۲۰ Nm ³ /hr	۷۶۲°C	کوره عملیات حرارتی شماره II
۷۷۰ Nm ³ /hr	۱۳۳۰ Nm ³ /hr	۴۰۰°C	کوره عملیات حرارتی شماره III
۵۲۰ Nm ³ /hr	۸۳۰ Nm ³ /hr	۷۹۶°C	کوره عملیات حرارتی شماره IV
۳۰۱۰ Nm ³ /hr	۵۲۲۰ Nm ³ /hr	۵۷۰°C متوسط	جمع

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°C در نظر گرفته شده است.

جدول زیر حرارت موجود در گازهای خروجی و ظرفیت بازیافت حرارت با در نظر گرفتن دمای 200°C پس از بازیافت و راندمان ۷۰٪ سیستم بازیافت را نشان می‌دهد [گزارشات ممیزی انرژی سابا]

جدول ۵-۴- حرارت موجود در گازهای خروجی و ظرفیت بازیافت حرارت

ظرفیت قابل بازیافت با راندمان ۷۰٪ (MJ/hr)	کل حرارت موجود در گازهای خروجی (MJ/hr)	
۲۰۰	۶۲۰	کوره عملیات حرارتی شماره I
۲۹۰	۲۹۰	کوره عملیات حرارتی شماره II
۱۴۰	۲۴۰	کوره عملیات حرارتی شماره III
۳۲۰	۶۰۰	کوره عملیات حرارتی شماره IV
۹۷۰	۲۱۷۰	جمع

بنابراین در صورت استفاده از سیستم بازیافت حرارت از کوره‌های عملیات حرارتی که به منظور پیش‌گرمایش قراضه‌ها، تولید آب گرم مصرفی کارخانه و یا پیش‌گرم نمودن هوای سو مشعل‌ها می‌باشد، به

میزان 970 MJ/hr از تلفات انرژی کاسته می شود که با توجه به ارزش حرارتی گاز مصرفی، برابر Nm^3/hr صرفه جویی در مصرف سوخت است.

با در نظر گرفتن ۱۸ ساعت کارکرد کوره‌ها در بار کامل ۲۵۳ روز کاری

$122000 \text{ Nm}^3/\text{year} = \text{صرفه جویی سوخت ناشی از بازیافت حرارت}$

۳-۲- بازیافت حرارت از دودکش دیگ های بخار در صنایع قند و شکر:

یکی از روش های متداول در کارخانجات قند برای بالا بردن راندمان انرژی، بازیافت حرارت از کوره های بخار برای استفاده در تفاله خشک کنی 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 می دهد. دمای محیط 40°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)	
$28000 \text{ Nm}^3/\text{hr}$	230°C	۱۳۰۰۰	دیگ بخار شماره III
$46700 \text{ Nm}^3/\text{hr}$	۲۱۸	۱۱۹۰۰	دیگ بخار شماره IV
۹۴۷۰۰	-	۲۴۹۰۰	جمع

با در نظر گرفتن کارکرد غیر یکتواخت دیگ ها و به دنبال آن، کاهش گازهای دودکش در بدترین شرایط، راندمان ۷۰٪ برای بازیافت در نظر گرفته می شود:

$24900 \times 0.7 = 17430 \text{ MJ/hr} = 480 \text{ Lit/hr}$ انرژی قابل بازیافت

سال / لیتر = 1283000 سوخت صرفه جویی شده

سال / ریال = 21000000 میزان صرفه جویی

با توجه به بررسی انجام شده میزان سرمایه گذاری در حدود ۱۱,۰۰۰,۰۰۰ تومان می باشد که بازگشت سرمایه ای در حدود ۵ سال خواهد داشت. با در نظر گرفتن اینکه کارخانه در آینده نزدیک برنامه گازسوز کردن واحدهای خود را دارد این سرمایه گذاری 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 سیستم‌سال‌ها 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 به‌مروری بالایی را در مصرف انرژی بدنیا دارد، به سایر مولدهای تولید قدرت (مکانیکی یا الکتریکی) گسترش داده شد. عبارت 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^۱ از عنوان "سیستم ترکیبی حرارت و قدرت"^۲ استفاده می‌شود.

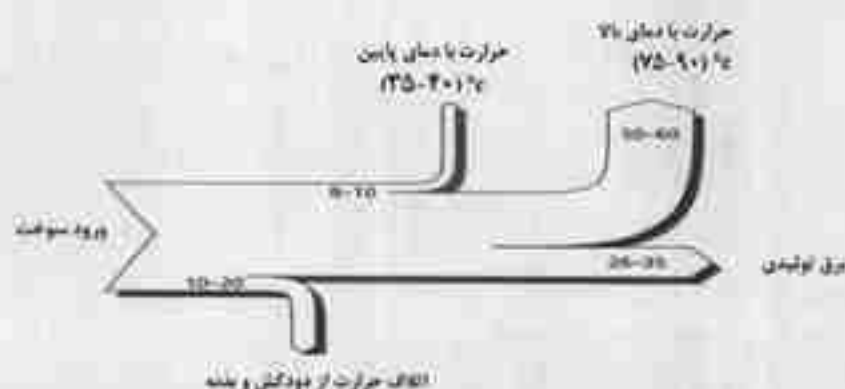
بنابراین سیستم CHP در اصل یک فناوری جدید محسوب نمی‌شود اما آنچنان پیشرفت و گسترش یافته است که کمتر شباهتی با مفهوم کلمه مترادفی، Cogeneration (تولید همزمان حرارت و برق یا چرخه ترکیبی) دارد.

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 مبادله‌کن‌های حرارتی، گرمای اتلافی بشکل حرارت با دمای بالا

1- Cogeneration

2- Combined Heat & power (CHP)



شکل ۸-۵- موازنه انرژی یک دستگاه CHP (واحد تولید همزمان حرارت و برق) (۵)

کاهش در مصرف سوخت، هزینه سوخت مصرفی را در سید 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، مزیت محسوب شود. به‌علاوه استفاده هر چه کمتر از سوخت‌های فسیلی باعث کاهش آلاینده‌های محیط زیست می‌شود. سیستم‌های CHP نه تنها توسط صافی‌هایی از آزاد شدن آلاینده‌هایی مانند CO ، CO_2 ، NO_x و جلوگیری می‌کند، بلکه کاهش ۲۵ درصدی سوخت در این دستگاه‌ها، نقش بزرگی در کم شدن تولید آنها دارد.

سیستم CHP در زمینه‌های مختلف صنعتی و کشاورزی (بویژه گلخانه‌ها)، تجاری^۱ و مسکونی^۲ 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.

> 30 Mwe	CHP با مقیاس بزرگ
> 1 Mwe	CHP با مقیاس کوچک
< 1 Mwe	CHP با مقیاس متوسط

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 1^{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

چیلر، یخچال‌های صنعتی و با 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 صرفه‌جویی 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 جمله این فعالیتها می‌توان به مواردی همچون افزایش تولید زغال سنگ، استفاده از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر، توسعه نیروگاههای هسته‌ای، صرفه‌جویی در مصرف انرژی، استفاده از عایقهای حرارتی پیشرفته، افزایش کارایی منابع حرارتی (دیگهای بخار و...)، زیاله‌سوزها و نیروگاههای زیاله 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 فراورده‌های 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 با پستی کیفیت، مقدار و دمای بالا و کافی را برای آب گرم مورد نیاز 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 فرایندها (CHP/IND^2)

که این مباحث در دهه ۷۰ شکل جدی‌تری به خود گرفت 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 $150^{\circ}C$ - $80^{\circ}C$ صورت می‌پذیرد، است.

حالت دوم (CHP/IND) بخار داغ یا گازهای داغ خروجی از توربین گاز یا بخار، گرمای مورد نیاز را برآورده می‌سازد.

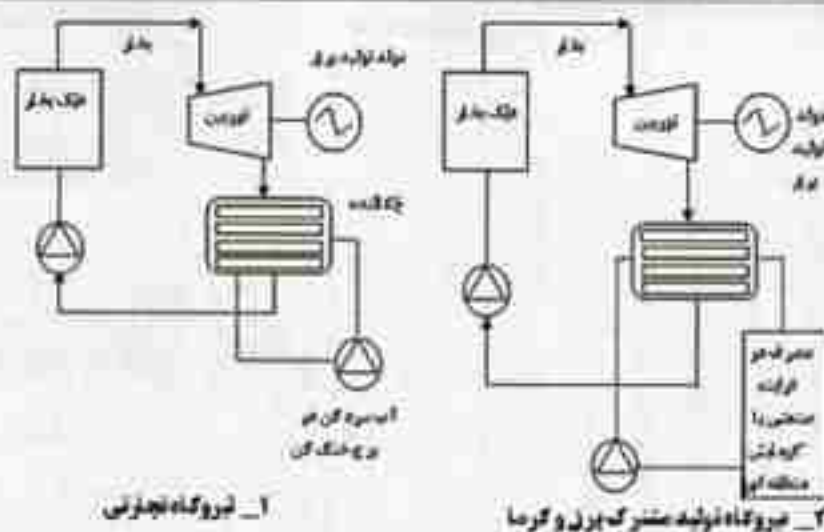
در تعریف تولید مشترک حرارت و توان و استفاده از حرارت مفید، موارد زیر شامل این حرارت سودمند نیست:

- آب گرمی که از چگالنده نیروگاه خارج شده و مصرف آن در بخش کشاورزی و استخر پرورش ماهی می‌باشد.

- زیاله‌ها و اشغالهایی که بعنوان سوخت در نیروگاههای زیاله سوز مورد مصرف قرار گرفته و تولید توان الکتریکی می‌نمایند.

1- Combined Heat and Power / District Heating

2- Combined Heat and Power / for Industry



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 اتساع خود در توربین، محور توربین را به گردش درآورده و مولد تولید برق که به محور توربین وصل است برق تولید می‌کند) می‌شود و دیگر از برج خنک کن عبور و خنک شده و دوباره 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 می‌شود و هم تعدادی خالوار به گرمایش دست می‌یابند.

مثال: کارخانه‌ای $11/7 \text{ MW}$ انرژی نیاز دارد که شامل $10/75$ تن بخار فشار پستین و $4/7 \text{ MW}$ انرژی الکتریکی می‌باشد. انرژی اولیه مورد نیاز برای یک سیستم تولید متداول، $21/7 \text{ MW}$ می‌باشد. در حالیکه سیستم تولید مشترک، انرژی مورد نیاز کارخانه را تنها با $15/9 \text{ MW}$ اولیه تأمین می‌نماید. بنابراین کارایی کلی سیستم مجزای متداول 54% درصد می‌باشد. در حالیکه سیستم تولید همزمان راندمان حداقل حدود 74% 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 صرفه‌جویی 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 فرایند.

- 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 نظایران
- 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

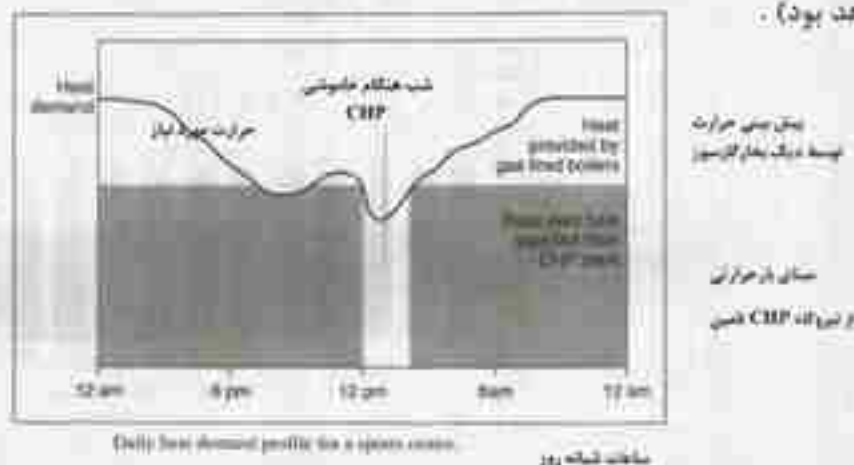
- بیمارستان
- دانشگاه
- هتل

همچنین برای تأمین برق و نیاز گرمایشی واحدهای مسکولی مانند آپارتمان‌ها، برج‌ها و حتی برای واحدهای مسکونی تک خانوار می‌توان از آن استفاده کرد. عبارت ساده‌تر سیستم CHP برای واحدهایی که نیاز توأمان به برق و حرارت داشته باشند، مفید است.

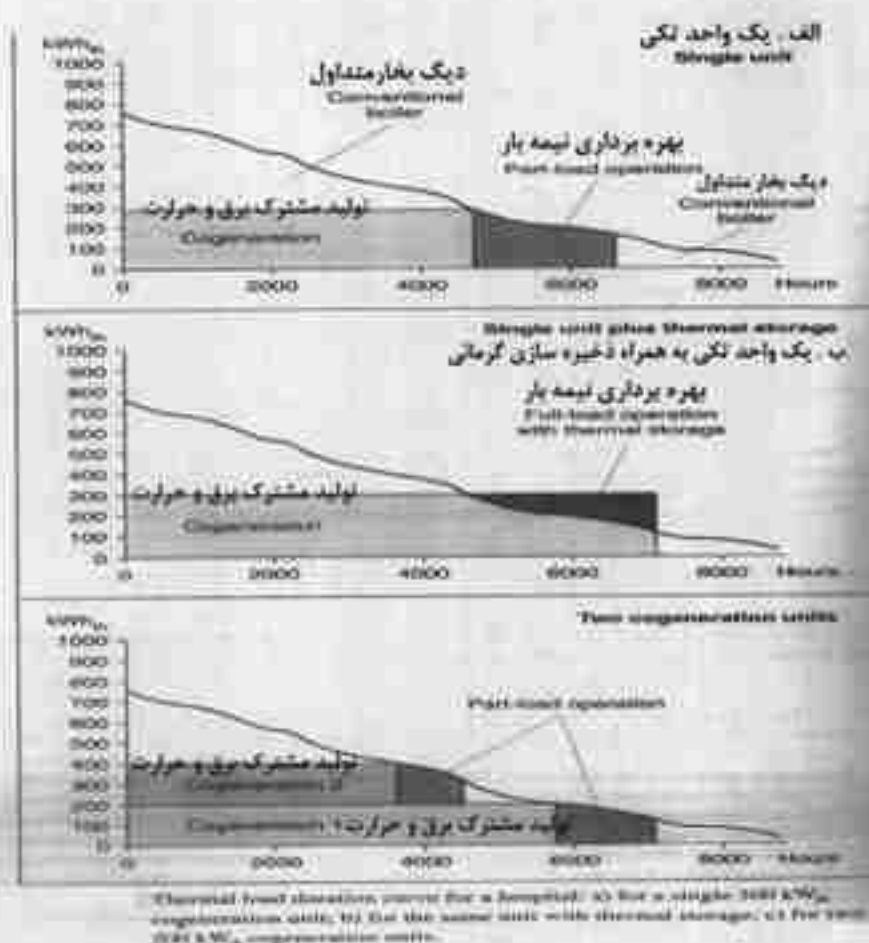
لذا برای ترویج فرهنگ استفاده از CHP شرکت‌های سازنده نیز برای جلب رضایت مشتریان و ساده‌تر شدن عرضه و خرید و نصب سیستم‌های CHP کوچکتر از 1 Mwe آنها را بصورت پکیج شده^۱ تولید می‌کنند. به این ترتیب علاوه بر اطمینان مشتریان از سلامت دستگاه هنگام خرید، هزینه نصب و تعمیر و نگهداری آن نیز کاهش می‌یابد.

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.

(برای اندازه‌های Mini CHP تا ۲۰۰۰ 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 تنگی با ظرفیت 300KW

ب. واحد تنگی همراه با ذخیره سازی گرما

ج. دو واحد تولید برق و حرارت به ظرفیت 300KW (د)

۵- مطالعه موردی استفاده از سیستمهای تولید همزمان برق و حرارت در صنایع:

۵-۱- استفاده از CHP در یکی از شرکتهای صنایع شیر^۱:

این شرکت با استفاده از سیستم CHP به صرفه‌جویی قابل توجهی دست یافته است. بطوریکه با نصب این سیستم تا ۳۰٪ مصرف انرژی را کاهش داده است. سودمند بودن این سیستم در صرفه‌جویی انرژی مالیاتهای 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، کارایی و بهره‌وری سیستم به شکل قابل توجهی افزایش یافته.

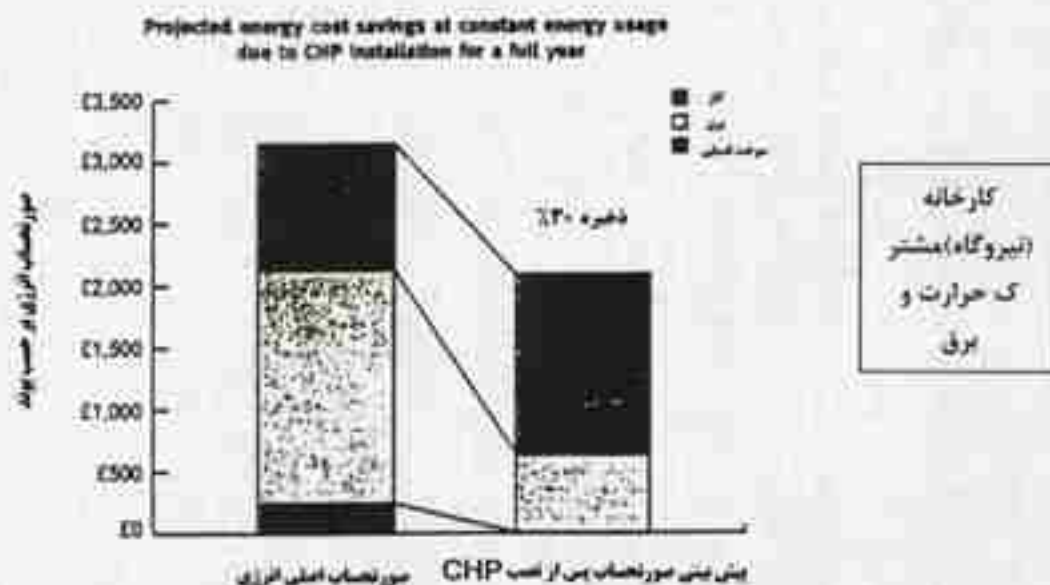
این شرکت برای نصب و استفاده از سیستم CHP با همکاری یکی از سازماتنها که بعنوان مهندس مشاور فعالیتهای مقدماتی، ممیزی انرژی را جهت استفاده از CHP برای دو کمپانی Dairy gold ، Fingleton انجام داده است.

بعد از تجزیه و تحلیل 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 انلاقی 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	
Centrax KB7	نوع
۴/۷MW	قدرت
٪۲۹	راندمان برق تولیدی
۱۴۵۰ rpm	سرعت توربین
۱۵۰۰ rpm	سرعت ژنراتور
دیگ بخار بازیافت	
Wellmann Robey	نوع
۱۱/۵ Ton/hr	خروجی بدون مشعل
۲۳ Ton/hr	خروجی با مشعل
بیش از ۷۸٪	راندمان کل
طرحواره CHP نصب شده در این شرکت بصورت زیر می‌باشد:	

میزان صرفه جویی انرژی:

صرفه جویی 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 ۲/۷ سال می‌باشد البته با کمک‌هایی که توسط مرکز انرژی ایرلند انجام شد این مدت به ۲/۲ سال رسید. با توجه به شکل‌های قبلی و شکل زیر میزان صرفه جویی انرژی ۱۵٪ و میزان صرفه جویی پوندی انرژی ۳۰٪ می‌باشد که نشان‌دهنده سودمند بودن نصب سیستم CHP می‌باشد.



شکل ۵-۱۵ - پیش بینی صرفه جویی سالانه در هزینه انرژی یا مصرف ثابت انرژی ناشی از

نصب CHP (۵)

فصل ششم

مدیریت مصرف انرژی در ساختمان

مقدمه

مصرف انرژی در چند دهه اخیر بطور سرسام‌آوری افزایش یافته، که این افزایش از یکطرف نشانه 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 استفاده منطقی از آن نبوده‌اند. در بحران انرژی در سال‌های ۱۹۷۴ به 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 مصرف‌کننده انرژی در جهت جایگزینی انرژی‌های جدید بجای انرژی فسیلی و صرفه‌جویی در مصرف انرژی و بهرمبرداری 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 کشورهایمانند آلمان، سوئد، ایتالیا، انگلیس و - قوانین خاصی در امر ساختمان‌سازی و بکار بردن عایق‌های حرارتی، بهیوه 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 جالبی بدنبال داشته بطوری که موفق شده‌اند با بکارگیری این قوانین تا حدود

۳۰٪ در مصرف انرژی صرفه جویی نمایند. با توجه به ترازنامه سال ۱۳۸۵، مصرف انرژی در بخش ساختمان‌های خانگی و تجاری ایران حدود ۴۰ درصد (۴۰/۲۷٪) کل مصرف انرژی می‌باشد که صرفه جویی حدود ۲۰٪ 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 صرفه جویی و یا استفاده 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 بداییم 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 انرژی شناسایی 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 بازآفرینی و نظایر آن می‌باشد که در زیر به شرح آنها می‌پردازیم.

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 (معماری 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 آنها را 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 پاراسترها 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.

۲-۱- 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:

مرحله اول: تا سال ۱۹۷۰ کمتر 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.

مرحله دوم: تا سال ۱۹۷۵ مقررات عایق‌بندی منسجم‌تر شده و ضرایب حرارتی عایق‌های استفاده شده در ساختمان‌ها بر اساس مطالعات و تحقیقات متخصصین عایقکاری کشورها تجدید نظر شد و ضرایب حرارتی عایق‌های ساختمان‌های دولتی و اداری را به طور قانونی از درجه بالاتری تعیین کردند.

مرحله سوم: از سال ۱۹۸۰ قوانین در مورد آینده 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^۱ که در حال حاضر در آن کشور اجرا می‌شود عبارتست از:

خانه یک طبقه	٪۱۵
خانه یک و نیم طبقه	٪۱۶
خانه دو طبقه	٪۲۰
خانه پنج طبقه	٪۲۰

«**ضرایب 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.

جدول شماره (۶-۱) نمونه ضرایب انتقال حرارت جدارهای خارجی ساختمان مربوط به

قوانین ساختمان کشورهای اروپایی (۱۱)

ضریب انتقال حرارتی k بر حسب $W/m^2 \text{ } ^\circ C$									EURIMA
برابر مختلف	دانمارک	فرانسه	آلمان	هلند	ایتالیا	ترکی	سوئد	انگلستان	قسمت های مختلف ساختمانی
۱	-۱۲۲	۱/۵۷	۱/۵۷	۱/۶۷	۱/۳۹	۱/۵۸	۱/۵۸	۱/۷۰	دیوار
۲	-۱۲۶	-۱/۷۰	-۱/۸۱	-۱/۶۸	۱/۳۹	-۱/۲۲	-۱/۲۵	۱/۰۰	
۳	-۱/۳۰	-۱/۲۱	-۱/۲۷	-۱/۵۷	-۱/۳۶	-۱/۲۷	-۱/۲۰	-۱/۵۵	
۱	۲/۰۰	۵/۲۲	۵/۲۲	۵/۰۰	۶/۰۵	۲/۱۲	۲/۱۰	۵/۶۸	پنجره
۲	۲/۰۰	۲/۲۰	۲/۲۹	۵/۰۰	۶/۰۵	۲/۲۹	۲/۱۰	۵/۶۸	
۳	۲/۵۰	۲/۲۲	۲/۱۲	۲/۸۶	۲/۷۷	۲/۲۲	۲/۰۰	۵/۶۸	
۱	-۱/۲۷	۲/۹۱	-۱/۸۱	-۱/۹۷	۲/۰۲	-۱/۲۷	-۱/۲۷	۱/۲۲	سقف
۲	-۱/۲۷	-۱/۵۵	-۱/۶۹	-۱/۶۸	۲/۰۲	-۱/۲۲	-۱/۲۵	-۱/۴۰	
۳	-۱/۲۰	-۱/۴۰	-۱/۳۸	-۱/۶۲*	-۱/۲۲	-۱/۲۰	-۱/۲۰	-۱/۲۵	
۱	-۱/۵۵	۲/۲۲	۱/۰۱	-۱/۹۷	۱/۲۷	-۱/۴۰	-۱/۲۷	۱/۰۰	کف
۲	-۱/۵۱	-۱/۸۰	۱/۸۲	-۱/۹۷	۱/۲۲	-۱/۲۵	-۱/۴۰	۱/۰۰	
۳	-۱/۳۰	-۱/۷۱	-۱/۲۷	-۱/۹۷	-۱/۷۰	-۱/۲۲	-۱/۴۰	-۱/۵۰	

* سقف شیخدار $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ (۲۸۰)

ضرایب انتقال حرارت متوسط K_{ave} برای ساختمان‌های ۱ الی ۵ طبقه در مراحل مختلف که طبق رابطه زیر بر حسب $W/m^2 \cdot ^\circ C$ در جدول شماره (۲-۶) بیان شده است.

جدول شماره (۲-۶) ضرایب انتقال حرارت متوسط دیوارهای خارجی ساختمان مربوط به قوانین ساختمان کشورهای اروپائی (۱۱)

ضریب انتقال حرارتی متوسط K بر حسب $W/m^2 \cdot ^\circ C$ در سه مرحله برای انواع ساختمان‌های انتظامی												EURIMA
یک طبقه			یک طبقه و نیم			دو طبقه			پنج طبقه			
۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳	مراحل
۰/۷۰	۰/۶۲	۰/۶۱*	۰/۷۰	۰/۶۲	۰/۶۲*	۰/۷۲	۰/۶۶	۰/۶۹*	۱/۰۶	۱/۰۶	۰/۶۵*	دائمرک
۲/۶۲	۰/۹۵	۰/۹۷	۲/۵۹	۰/۹۵	۰/۹۵	۱/۵۶	۱/۹۷	۱/۹۷	۲/۸۷	۱/۲۵	۰/۹۱	فرانسه
۱/۵۰	۱/۰۴	۰/۹۰	۱/۵۲	۱/۰۵	۰/۹۰	۱/۵۲	۱/۰۴	۰/۹۰	۲/۲۰	۱/۲۲	۱/۰۷	آلمان
۱/۵۲	۱/۲۱	۰/۹۵	۱/۵۹	۱/۱۹	۱/۸۸	۱/۶۲	۱/۲۲	۰/۹۲	۲/۲۱	۱/۲۹	۱/۲۲	هلند
۲/۱۰	۲/۱۰	۱/۸۰	۲/۰۹	۲/۰۹	۱/۸۵	۲/۰۹	۲/۰۹	۱/۸۱	۲/۲۶	۱/۳۹	۱/۲۵	ایتالیا
۰/۸۴	۰/۶۱	۰/۶۱	۰/۸۳	۰/۶۱	۰/۶۵	۰/۸۴	۰/۶۲	۰/۶۶	۱/۲۰	۱/۲۷	۰/۷۵	نروژ
۰/۷۶	۰/۶۱	۰/۶۵*	۰/۷۷	۰/۶۱	۰/۶۸*	۰/۶۲	۰/۶۲	۰/۶۲*	۱/۱۵	۱/۰۶	۰/۵۲*	سوئد
۱/۷۷	۱/۲۲	۰/۹۸	۱/۸۳	۱/۲۲	۰/۹۹	۱/۸۴	۱/۲۸	۱/۰۴	۲/۲۸	۲/۰۰	۱/۵۷	انگلستان

* باقیمانده معدودیت‌های سطوح پنجره

$$K_{ave} = \frac{(K.A)_{\text{دیوارها}} + (K.A)_{\text{پنجره}} + (K.A)_{\text{سقف}} + (K.A)_{\text{کف}}}{A}$$

$$A = A_{\text{دیوارها}} + A_{\text{پنجره}} + A_{\text{سقف}} + A_{\text{کف}}$$

که در این رابطه A سطح (بر حسب m^2)، K_{ave} ضریب انتقال حرارت متوسط (بر حسب $W/m^2 \cdot ^\circ C$) و K ضریب انتقال حرارت قسمت‌های 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 میحت 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 پوششهای ساختمان^۱ می باشد. این پوشش ها عبارتند از پنجره ها، دیوارها، سقف و کف، انتقال حرارت از این سطوح بطریقه هدایتی و یا نفوذ حرارت از شکاف های کوچک ایجاد شده در سطوح و از طریق نفوذ هوا بداخل و خارج ساختمان انجام می گیرد. جهت جلوگیری اتلاف حرارتی از پوشش های ساختمان، باید بهترین پارامتر در انتقال حرارت یعنی ضریب انتقال حرارت (K) پوشش ها مورد بررسی قرار گیرد. هر چه این ضریب کمتر باشد، مقدار اتلاف حرارت از ساختمان کاهش یافته و نتایج بهتری حاصل می شود. در پوشش های ساختمان به دلیل مقاومت مکانیکی مصالح بکار برده شده، شاید نتوانیم مقاومت حرارتی آنها را زیاد تغییر دهیم. اما می توان برای رفع این اشکال از عایق های حرارتی در پوشش های ساختمان استفاده نمود. مراجع معتبر نشان می دهند که عایق کردن دیوارها و سقف های ساختمان (تا حدود ۱۵ mm ضخامت) اثر زیادی در بار انرژی، جهت خنک کردن و گرم کردن ساختمان ها 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 می باشد که بطور متوسط در طول سال حدود ۲۷٪ از مصرف انرژی سالانه ساختمان را می کاهش دهد. با توجه به اینکه مصرف انرژی ساختمان های مسکونی و تجاری در ایران معادل رقم $10^8 \times 400$ بشکه معادل نفت خام در سال می باشد. با عمل عایق کاری درست در ساختمان ها، حدوداً $10^8 \times 108$ بشکه معادل نفت خام در سال صرفه جویی می شود. (ترازنامه سال ۸۵)

میزان عایق کاری: میزان عایق کاری با توجه به اقلیم های مختلف متغیر بوده و بستگی به درجه حرارت محیط خارج ساختمان و مقدار مقاومت حرارتی عایق دارد. دمای محیط خارج در کنترل طبیعت می باشد. لکن می توان مقاومت حرارتی عایق را تغییر داد تا از تلفات انرژی جلوگیری نمود. هر قدر این مقاومت بزرگتر باشد صرفه جویی در انرژی بیشتر می گردد. مقدار مقاومت حرارتی عایق ها در کشورهای مختلف که در طراحی و محاسبات منظور می نمایند مختلف می باشد. بطور کلی این ضرایب حرارتی برای سطوح مختلف منجمله سقف ها و دیوارها و کف ها تعیین شده است و در برخی کشورها اجرای آنها اجباری می باشد. لذا در امر جلوگیری از اتلاف انرژی در ساختمان ها نیز موفق بوده اند. افزایش میزان مقاومت حرارتی عایق های استفاده شده در پوشش های ساختمان هزینه بیشتری را می طلبد ولی این بدان معنا نیست که ارتباط بین این دو رابطه خطی باشد بلکه در برخی موارد می توان در قبال مخارج بسیار جزئی با بکارگیری عایق خیلی بهتر (مقاومت حرارتی بالاتر) نتیجه بسیار خوبی در کاهش مصرف انرژی گرفت. در بعضی از روش های عایق کاری که در آنها عایق های حرارتی با مقاومت بالا مصرف می شود رقم بسیار زیادی در مصرف انرژی را صرفه جویی می کنند.

انتخاب مصالح با عایق های حرارتی: برای عایق حرارتی مصالح مختلفی می توان بکار برد. میزان عایق حرارتی اصولاً به مقاومت حرارتی قسمت های مختلف ساختمان شرح 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 می باشد.

مقاومت حرارتی سطوح داخلی	سطوح	مقاومت حرارتی ($m^2 \cdot c/w$)
	دیوارها	۰/۱۲
	کف	۰/۱۵
	سقفها	۰/۱۱

مقاومت حرارتی سطوح خارجی	دیوارها ($m^2 \cdot c/w$)	پامها ($m^2 \cdot c/w$)
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 عایق کاری 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 حفره دار باعث زنگ زدگی فلزات بکار رفته در آنها می شود که در نتیجه بازده حرارتی و قدرتی آنها را کاهش می دهد.

پیشنهاداتی در مورد عایق کاری حرارتی

الف: طبقه همکف:

در کف طبقه همکف معمولاً بتن ریزی بر روی قلوه سنگ ها انجام می گیرد و این روش عایق خوبی بوده و احتیاج به عایق کاری اضافی ندارد. بیشتر اتلاف حرارت در کف از کناره دیوارها انجام می گیرد، لذا عایق کاری در کف باید در کناره دیوارها انجام شود. عایق کاری حرارتی بایستی روی عایق کاری رطوبتی انجام یگیرد. سقف طبقه همکف که کف طبقه اول می باشد و مانند سقف پارکینگ ها به هوای سرد راه دارد باید عایق کاری حرارتی بشود که می توان برای اینکار از پشم شیشه^۱ 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.

ب: دیوارهای خارجی:

با دو لایه آجرچینی و یا یک لایه آجرچینی در خارج و یک لایه بلوک از بتن مسک 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 طبقه همکف که مجاور زمین است عبور می‌کند. شیشه هر قدر که برای ساختمان لازم است ولی یکی از عوامل اصلی اتلاف انرژی می‌باشد. بهر حال بایستی برای سطوح شیشه‌ها محدودیت‌هایی در نظر گرفت. پنجره‌های دو شیشه‌ای از نظر عایق بودن خیلی بهتر بوده و فرار گرما، (از آنها حدود نصف پنجره‌های یک جداره است) و منطقه سرد اطراف آنها از بین می‌رود و خطر تعریق روی آنها کاهش می‌یابد. اما از نظر قیمت با صرفه نیستند. (زیرا در خانه‌های معمولی نیمه‌جسبیده در کل فقط باعث یک دهم صرفه‌جویی انرژی می‌شود). در پنجره‌های دو جداره برای عایق‌کاری حرارتی فاصله 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 فاصله دو لایه را به ۲۰ mm برسانیم از نظر عایق بودن حرارتی تغییری بوجود نمی‌آید ولی از نظر عایق صوتی مؤثر می‌باشد. در بین جداره‌های پنجره‌های مدرن دو جداره 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 خدبوسیدگی داشته باشند که بصورت پوشش یکپارچه‌ای باید کشیده شوند. این عایق بایستی دارای مقاومت حرارتی حدود $0.176 (m^2 \cdot K / W)$ 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 لایه قیرکونی نم‌بندی کرد. عایق بام‌ها باید دارای مقاومت حرارتی $0.17 (m^2 \cdot K / W)$ باشد.

ه: 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 توب پارچه یا تخته بتو یا مقاومتی در حدود $3 \text{ m}^2 \text{ c/w}$ 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 پلی استایرن و پلی اورتان با مقاومتی برابر $4 \text{ m}^2 \text{ c/w}$ تا $6 \text{ m}^2 \text{ c/w}$ 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 می شود. مقاومت آنها بیش از $5 \text{ m}^2 \text{ c/w}$ در هر اینچ ضخامت می باشد.

تئویان^۱: از الیاف چوبی ساخته شده است و برای جلوگیری از نفوذ صدا نیز مناسب است. دارای مقاومتی برابر $2/6 \text{ m}^2 \text{ c/w}$ می باشد.

۳-۱- سیستم های روشنایی:

تجربه نشان داده است که بهره و کیفیت انجام بسیاری از کارها مخصوصاً کارهای ظریف با افزایش شدت روشنایی، بالا می رود. 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 مهندسين روشنایی در کشورهای مختلف متفاوت است. ولی بطور متوسط شدت روشنایی در سطح خیابان حدود ۳۰ لوکس^۲، در اتاق نشیمن حدود ۱۰۰ لوکس و در اتاق کار حدود ۳۰۰ لوکس می باشد. (کمیته ملی روشنایی مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران برای اغلب اماکن مانند محل های مسکونی، تجاری و صنعتی مقادیری برای شدت روشنایی حداقل یا کمیته پیشنهادی داده است که بطور کامل در جدول (۳-۶) ارائه شده است) همچنین در این جدول شدت روشنایی توصیه شده توسط جامعه مهندسين روشنایی آمریکا^۳ جهت مقایسه ذکر شده است. همانطور که ملاحظه می شود، ارقام ارائه شده برای آمریکا بیشتر از ارقام ارائه شده برای ایران می باشد.

1-Partiel board

۲- واحد شدت روشنایی و عبارت است از مقدار روشنایی که بر هر متر مربع سطح کار می رسد.

3-ASIE

جدول (۳-۶) مقادیر استاندارد شدت روشنایی اماکن و فضاها با کاربری های مختلف

نوع محل مسکونی	شدت روشنایی کمینه (ایران)	شدت روشنایی پیشنهادی (ایران)	شدت روشنایی مجموع مهندسين روشنایی آمریکا
اتاق نشیمن	۷۰	۲۰۰	۱۶۰
اتاق مطالعه	۱۵۰	۵۰۰	۳۲۰
آشپزخانه	۱۰۰	۲۰۰	۵۲۰
روشنایی عمومی اتاق خواب	۵۰	۱۰۰	-
روشنایی تختخواب و میز توالت	۲۰۰	۵۰۰	-
روشنایی حمام	۵۰	۱۰۰	-
آئینه اصلاح صورت	۲۰۰	۵۰۰	-
پلکان ها	۱۰۰	۱۵۰	-
راهرو سردر و آسانسور	۵۰	۱۵۰	-

با توجه به وضع نابسامان مصرف انرژی در کشور، در زمینه روشنایی معمولاً اصول رعایت نمی شود و عوارضی مانند درخشندگی بیش از حد میزهای کار، دیوارها و چشمزدگی و خستگی زودرس، سایه های 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 می شود بمنظور پی گیری جدی تر، مجمع مهندسان روشنایی ایران تأسیس شود تا ضمن مطالعات و بررسی های عمیق تر 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 سازمان های مربوطه ابلاغ شود.

۲- پیشنهاد می شود با تربیت نیروهای متخصص در دانشگاه ها در زمینه مهندسين روشنایی، در امر طراحی و سیستم های روشنایی ساختمان ها 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 می شود نرم افزاری در این مورد تهیه و در طراحی ساختمان ها مورد استفاده قرار بگیرد.

۱-۴- موارد اندازه گیری:

جهت شناخت مصرف انرژی در ساختمان، لازم است اندازه گیری هایی به منظور تأمین میزان اتلاف و مصرف انرژی در ساختمان صورت بگیرد که از آن جمله موارد زیر پیشنهاد می شوند:

انواع اندازه‌گیری‌ها

- ۱- اندازه‌گیری 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 رابطه $Q = U.A.\Delta T$ 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 دیگ‌های 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، شوفازخانه و ...
- ۶- اندازه‌گیری شدت روشنایی توسط لوکس متر
- ۷- محاسبه بارده حرارتی و احتراقی دیگ بخار بر حسب اندازه‌گیری پارامترهایی از قبیل: آهنگ و دمای گازهای خروجی از دودکش^۱، فشار داخل دودکش، میزان مکش دودکش، میزان نسبت هوا به سوخت، اندازه‌گیری آلایندگی 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) در شرایط زیر انجام شود:
- ۱- در موقعی که مصرف انرژی عادی است.
 - ۲- در حالتی که مصرف انرژی در حالت بار کامل^۲ می‌باشد.
 - ۳- در حالتی که مصرف انرژی در حالت بی بار^۳ 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

۴- استاندارد مصرف انرژی وسایل خانگی و سیستم تهویه مطبوع و روشنایی‌ها

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 (۴-۶) ارائه شده است.

جدول (۴-۶) میزان استاندارد مصرف انرژی در برخی از وسایل خانگی

نوع وسیله	مصرف تقریبی (KW) در ساعت
مخلوط کن	۱۵
قهوه جوش	۱۰۶
ظرفشویی	۳۶۳
ماکروویو	۱۹۰
توستر	۳۹
فریزر ۱۵ فوتی	۱۱۹۵
یخچال ۱۲ فوتی	۷۲۸
خشک کن	۹۹۳
آبگوشت	۱۲۴
ماشین لباسشویی	۱۰۳
آبگرم کن	۲۳۱۹

۱-۵- تعیین محل‌های اتلاف و بهانسیل 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 پایداری:

- ◀ 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 توار دارند؟ اندازه پنجره‌ها، شکل پنجره‌ها، کل سطح پنجره‌ها.
- در باب اصلی ساختمان:** مواد سازنده، ضخامت، سطح، ضریب عمومی انتقال حرارت: U
- طبقه همکف:** موارد استفاده از هم کف، دیوارهای تفکیک کننده در هم کف، لوله‌های بکاررفته در هم کف، جنس، ساختار، ضخامت، ضرایب انتقال حرارتی آنها، عایق‌های 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 فن کوئل‌ها یا رادیاتورها

تهویه هوا: سیستم تغییر هوا، میزان هوای مصرفی (m^3/hr)

درجه حرارت: میانگین ماهانه دمای بیرون، مقدار روز، درجه گرمایش^۱ 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، هزینه اجراء و قیمت عایق، به ازای هر متر 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 عایقکاری به ضخامت ۸ سانتیمتر، قیمت و هزینه کل عایقکاری

کنترل دما: آیا کنترل دما در ساختمان وجود دارد؟ نوع، کارایی، قیمت

عایقکاری لوله‌ها: آیا لوله‌های آب گرم و سرد عایق دارند؟ مشخصه های حرارتی عایق، قیمت عایقکاری و

کارمزد آن.

۷-۱- جمع‌بندی:

در الگوی مصرف انرژی در کشور، بخش مسکونی و تجاری عمده‌ترین مصرف‌کننده 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 الگشت که ۱۵ تا ۲۰ درصد از کل انرژی مصرف کشور، مصرف گرمایش، سرمایش و تهویه اماکن و ساختمان‌ها می‌رسد [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 ۲۳۵ میلیون بشکه معادل نفت خام بوده که این میزان ۴۰،۲۷ درصد از کل مصرف نهایی انرژی کشور را به خود اختصاص داده است. چنانکه ذکر گردید با فرض سهم ۲۰ 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

دلار خواهد شد. بنابراین لزوم توجه و بررسی نحوه و استفاده از سیستم‌های گرمایشی، سرمایشی و تهویه 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 ۲/۲ 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 اجراء است. 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 متخصصی از یکدیگر متمایز می‌باشند. بهر حال 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 یا تأسیسات کارآتر 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 بازیابی 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 کن‌های 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 بعثت یا بین بودن هزینه 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 (۵-۶) مراحل انجام ممیزی انرژی در ساختمان* (۳)

مراحل	الزامات	اهداف
اول	تجزیه و تحلیل و شناسایی ساختمان‌های موجود در ایران	انواع ساختمان‌ها (مال ساخته، نوع سازه، مصالح، ...) دست‌مندی کلی ساختمان‌ها (اداری، تجاری، مسکونی، بیمارستان و ...) میزان مصرف انرژی بر واحد سطح (بر انواع ساختمان‌ها) قیمت‌ها و هزینه‌های انرژی (برای انواع انرژی‌های مصرفی) محدوده 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 تا ۱۲ طبقه و بایش از ۱۳ طبقه) شکل کلی ساختمان (آپارتمان تک واحدی، مجتمع، ویلایی و ...) نوع مصالح ساختمانی (آجر مجوف، بتن، ...)
چهارم	بازدید از ساختمان	کنترل مصالح (آجر، بتن، ضخامت عایق، ...) کنترل پنجره‌ها (تعداد جداره‌ها، قاب، نحوه باز و بسته شدن) شرایط عمومی (مطلوب، نامناسب، ...) مونوپرخه (دیگ بخار، کنترل کننده‌ها، پمپ‌ها، ...) سیستم سرمایش (فنلوری، میزان مصرف انرژی) لوله‌کشی (شبکه انتقال، عایق کاری، ...) فن‌کویل‌ها، رادیاتورها (امکان کنترل ترموستاتیک)

* ادامه جدول (۵-۶) مراحل انجام ممیزی انرژی در ساختمان *

مراحل	اقدامات	اهداف
پنجم	جمع‌آوری اطلاعات مربوط به ساختمان	نقشه‌های ساختمان (پلان طبقات، نما، پیش‌هرسی) نقشه‌های تأسیسات (گرمایش، سرمایش، آبگرم مصرفی) قبوض مصرف انرژی (برق، گاز، نفت، آب و ...)
ششم	برداشتن اطلاعات	شرح اطلاعات عمومی ساختمان (بررسی اطلاعات جمع‌آوری شده) میزان مصرف انرژی در ساختمان (محاسبه تلفات و مصرف واقعی انرژی)
هفتم	جمع‌آوری اطلاعات مربوط به هزینه اجرای اقدامات صرفه‌جویی	پنجره‌ها (محکم‌کاری و درزبندی، جت‌گزینی پنجره 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 زمانی 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 اجرایی (یافتن مدل‌های منطقی و تعیین اولویت‌های اجرایی) هزینه‌ها (محاسبه مقادیر پرداخت‌ها و هزینه‌ها) سرمایه‌گذاری (ارائه طرح مناسب سرمایه‌گذاری)
دهم	نظارت فنی و عمومی	رفتارها (نظارت بر رفتار و مقبولیت مصرف‌کننده) نتایج فنی (الزام‌گیری منظم مصرف انرژی، دما و ...) گزارش نهایی (نتایج فنی، اقتصادی و اجتماعی)

۲-۲- فهرست کنترل برنامه مدیریت انرژی در ساختمان^۱:

بخش ۱: این فهرست مختصر را مطالعه کنید، افلامی را اضافه یا حذف نمایید، سپس بررسی را در فرصت ها جستجو کنید تا مصارف نامناسب و بیهوده انرژی را مشخص نمایید.

بخش ۲: سؤالات 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 تحلیلات	ملاحظات
خارج ساختمان			
۱- نوع نما			
۲- رنگ نما			
۳- پشت بام: سطح یا فیرامود، دودکش دتر و نظایر آن			
۴- جهت ساختمان			
۵- پنجره های رو به خورشید (بدون حصار)			
۶- رانغای ورودی های یک لنگه یا دو لنگه درهای خودکار و غیره			
۷- چراغ های روشن محوطه خارجی در طول ساعات روز			
۸- چراغ های تبلیغاتی روشن در طول ساعات روز			
۹- کانال های هوای تعبیه شده در داخل دیوارها (سیستم دودکش ها و غیره)			
۱۰- درها و پنجره های باز			
۱۱- استفاده از درختان در اطراف ساختمان (پوشش گیاهی)			

ملاحظات	نتایج تحقیقات	عوامل قابل اجرا	ادامه بخش ۱
			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 ه - تعداد مدارهای کنترل کننده و - نوع کنترل (تقلیل دهنده توان زمان سنج، حس گر حضور افراد، ...) ز - کیفیت بازتاب دهنده گی دیوارها و سقف ح - استفاده از روشنایی خارج (چگونه کنترل می‌شوند) سلول تصویری (فوتوسل) ط - محل‌های روشنی که به طور پیوسته اشغال نمی‌شوند (آبشارها، اطاق‌های آبباری، رختکن‌ها و غیره) ی - استفاده از روشنایی طبیعی ک - ارتفاع نصب لوازم و فضا بندی
			۲- وسایل و تجهیزات بازرسی و اندازه گیری
			۳- شرایط و رنگ دیوارها
			۴- فقدان عایق بندی روی مخازن، کتال‌ها، آوله‌ها، دیوارها و سقف ساختمان
			۵- وضعیت عایق بندی (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 تحلیلات	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 دمنده‌ها که می‌توانند در زمان عدم استفاده از محل خاموش شوند (الرها، 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- راهکاری برای خاموش کردن و یا صایع کردن فرایند وسایل حرارتی			
۱۷- درهای باز و یا نیمه باز آیا محل گرم یا سرد شده است؟			
۱۸- آیا از خازن‌ها در کلر خفه 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- نشی خطوط لوله مستشویی‌ها، شیرها، کتال‌ها، مخازن، کویل‌های کثیف انتقال حرارت، پنکه‌های کثیف و غیره			

ملاحظات	نتایج تحقیقات	عوامل قابل اجرا	افزایش بخش ۱
			۲۲- موارد استعمال دستگاههای بازرسی حداکثر نفاذ
			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 مولتی در واحدهای تخلیه کننده هوای تغذیه وجود دارند؟
			۲۸- محل قرار دادن ترموستاتها
			۲۹- روشن یا خاموش کردن فرایندهایی مانند گرمکن‌های شلور در مخزن باز
			۳۰- اخلال‌های مانور فرمز باز خطوط نفاذ را که از داخل اجاق‌ها عبور می‌کنند
			۳۱- مراقب لمسها، پتکها، نفاذها 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

ملاحظات	نتایج تحقیقات	عوامل قابل اجرا	اداشته بخش ۱
			۲۴- محل کابل‌های تغذیه گرمایش محیط را چه نوع حرارتی استفاده می‌شود؟ در یک ساختمان فولادی، گرمایش اجباری هوا ممکن است کمترین کارایی را داشته باشد.
			۲۵- کف‌های تعبیه گرمه 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 مقطعی 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 تجهیزات 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 مصالح خشکی را بازرسی کنید؟
			۳۶- درجه حرارت آب تعبیه سیستم را بازرسی کنید.
			۳۷- دنبال راه‌هایی که بتوان حرارت سیستم را بازیافت نمود بگردید.

بخش ۲	عوامل قابل اجرا	نتایج تحقیقات	ملاحظات
۱- آیا مسئول انرژی ساختمان صورتحسابهای برق را می‌بیند؟			
۲- آیا فرد مسئول، حداقل ماه به ماه هزینه‌های تلفات و مصارف اشکالت شهری را نگهداری می‌نماید؟			
۳- آیا کارکنان شما می‌دانند که چگونه نرخهای برق را محاسبه کنند؟			
۴- آیا یک متحنی 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 نوبت کاری 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 پاناوربی 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 صرفه جویی انرژی در ساختمان‌های موجود

الف- اصلاحات در ساختار و پوشش خارجی ساختمان:

- اضافه کردن عایق در بام، کف یا دیوارهایی که عملاً امکان پذیر هستند.
- در صورت تعمیر و اصلاح بام استفاده از مصالح پارتیک 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 کاهش از بار سرمایشی
- 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 نگه داشتن درب‌های اتبازها 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 اتاق‌های اتباز و کربدورها و ...
- به هنگام تغییر دکوراسیون استفاده از رنگ‌های روشن در سقف، دیوارها و کف اماکن با هدف کاهش از سطح روشنایی بالاتر
- کاهش از روشنایی دکوراسیون و تبلیغات
- استفاده از تایمر (زمان‌منج) 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 غیرمستول
- بررسی ترموستات های اتاق از نظر اینکه در جای مناسبی قرار گرفته باشند یعنی بر روی دیوارهای سرد یا دگوارسیون و یا در معرض تابش خورشید نباشند.
- نصب کنترل‌کننده‌های مجزا در هر اتاق و در هر جاییکه امکان‌پذیر است.
- نصب شیرهای با کنترل دما در رادیاتورهایی که دارای شیرهای معمولی بوده و یا دست کنترل می‌شوند.
- نصب سیستم کنترلی انتالی 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 امکان استفاده نمی‌شود.
- تهیه و یا تجدیدنظر و اصلاح جداولی برای آنکه بتوان جرافها 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 درجه‌های هوای خارج به منظور اطمینان از بسته شدن کامل و محکم آنها
- جایگزینی دمبرهای موجود با انواع با کیفیت بالاتر آنها در هر جاییکه امکان‌پذیر باشد.
- توجه به نشتی هوای خارج از سیستم تنظیم شده به هنگام متوازن یا غیر متوازن نمودن سیستم.
- تنظیم دمبرهای محفظه اختلاط و واحدهای چندناحیه‌ای، بطوری که برای جلوگیری از نشتی هوا کاملاً جفت شوند.
- در صورت امکان از کویل‌های پیش گرم کن 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 مشاغل با بارهای موجود.
- استفاده از پایین ترین دمای تابشی ممکن در پیروامون اماکن.
- ممناعت از اینکه محیط و سیستم های داخلی بر خلاف یکدیگر عمل نکنند.
- بهینه نمودن عملکرد چیلرهای چند مرحله ای.
- به کار انداختن سیستم های 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 می گیرند.
- کاهش گرمایش در اماکنی که بیش از حد گرم شده اند و اجتناب از باز کردن پنجره ها به منظور کاهش دما.
- از کار انداختن دمنده های خروج هوا در طول جرخه های زمانی که از مکان استفاده نمی شود.
- بررسی سیستم های خروج هوا به منظور اطمینان از آنکه تنها مقدار هوای لازم به خارج فرستاده می شود.
- در صورت امکان کاهش مقدار هوای خروجی از توالت ها، اتاق ها، آزمایشگاه ها و نظایر آن.
- تغییر در سیستم دمنده های خروج هوا بطوریکه تنها هنگامی که افراد در محل حاضرند عمل کنند.
- کاهش دمای سیستم های 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 پیش گرمایش آب گرم مصرفی و آب گرم فرایند.
- نصب تجهیزات بازیافت حرارت به منظور استفاده مجدد از خروجی های آشپزخانه و فرایند.
- انجام عایق بندی لوله ها و کتال ها و مجاری عبور سیال گرم و سرد.
- جایگزینی عایق های مستعمل در دیگ های بخار، کوره ها، لوله ها و کتال ها.
- کاهش جریان آب خنک شده و آب گرم.
- اصلاح پروانه پمپ به منظور مطابقت با بار آن.
- تبدیل شیرهای سه راهه و دوراچه و نصب پمپ های با سرعت و دور متغیر^۱.
- بررسی ابعاد مخزن انبساط، زیرا مخازن انبساط کوچک سبب اتلاف در مصرف آب می شوند 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 آبگرمکن های کوچک به جای آنها در طول دوره زمانی مربوطه.

- جلوگیری از اتلاف بخار تقطیر شده و برگشت آن به دیگ های بخار.
- در صورت دسترسی به بخار با فشار بالا استفاده از توربین های بخار برای رانش دمنده ها و پمپ ها، به علاوه توربین می تواند بعنوان شیر انبساط جهت تهیه بخار با فشار کم نیز عمل نماید.
- تعمیر و رفع کلیه نشتی های آب، گاز، بخار و هوای فشرده.
- استفاده از سیستم مناسب تصفیه و سختی گیری آب به منظور کاهش رسوباتی که بر روی سطوح تبادل حرارتی مبادله کن ها جمع می شوند.
- عدم استفاده بیش از حد لزوم از مواد شیمیایی جهت سختی گیری آب.
- بررسی دوره ای آب خنک شده توسط برج خنک کننده به منظور اطمینان از اینکه آب سختی گیری شده و مواد شیمیایی استفاده شده برای سختی گیری آن هدر نمی شوند.
- نگهداری تجهیزاتی چون برج های خنک کننده، کولرهای تبخیری و چگالنده های هوایی به منظور حصول به بهترین کارایی ممکن آنها.
- تعمیر و بازرسی دوره ای وسایلی چون تله های بخار، شیرهای شناوری و ...
- تهیه و اجرای برنامه ای برای تعمیر و 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 می گردد.
- بررسی دودکش ها 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 مشعل های اتمسفر یک با مشعل های قدرتی.
- نصب کنترل کننده های فشار بر روی کوره ها.
- نصب کنترل کننده های خودکار احتراقی هوا - گاز.
- تعمیر دوره ای درزهای ایجاد شده در کوره ها و اجاق ها و نظایر آن
- پیش گرمایش هوای احتراق با استفاده از حرارت اتلافی.

و - استفاده از پنجره های مانع حرارتی^۱:

این سیستم به گونه ای طراحی شده است که پروفیل سطوح داخل و خارج از یکدیگر مجزا شده و یک نوع عایق از جنس پلی آمید بین آنان قرار می گیرد و موجب کاهش انتقال حرارت می شود. به منظور حذف آلودگی

صوتی نیز می‌توان این نوع سیستم و پنجره‌ها 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، تسلط 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 جسی به صورت سیم 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 بخش‌های مختلف مصرف‌کننده است. این نمودارها نشان‌دهنده میزان مصرف انرژی الکتریکی در بخش‌های مختلف مصرف‌کننده می‌باشد و همانطور که در نمودارهای (۱-۶) 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 می‌یابد. [۳]

۳-۲- شاخص‌های مصرف ویژه انرژی حرارتی و الکتریکی:

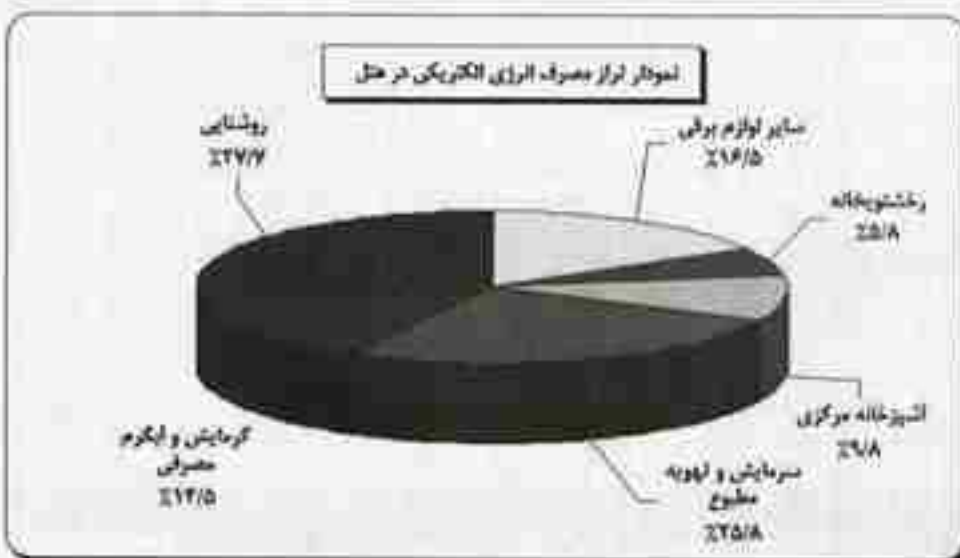
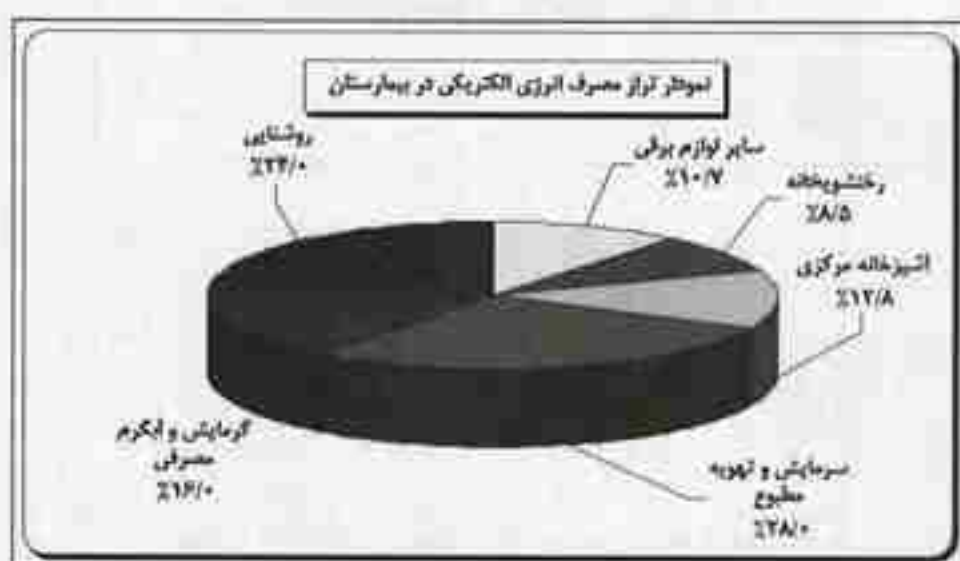
این شاخص‌ها نشان‌دهنده میزان مصرف انرژی بر واحد سطح بوده که مبنای مقایسه مناسبی برای ساختمان‌های دارای یک نوع کاربری^۱ می‌باشد و در صورت مطالعه و انجام ممیزی انرژی در نمونه‌های بیشتری از ساختمان‌های نمونه و برآورد متوسط مصرف بین آنها و یا مقایسه با نرم‌های جهانی این شاخص، می‌توان مقادیر بیشینه مصرف و یا پتانسیل صرف‌جویی را تعیین کرد. مقایسه این شاخص‌ها در نمودارهای (۲-۶) در ۵ نمونه ساختمان مشاهده می‌کنید. [۳]

۱- بر حسب $1 - \text{KWh/m}^2, \text{MJ/m}^2$

2- Typology

۳-۳- تراز تلفات انرژی حرارتی از جداره‌های خارجی ساختمان:

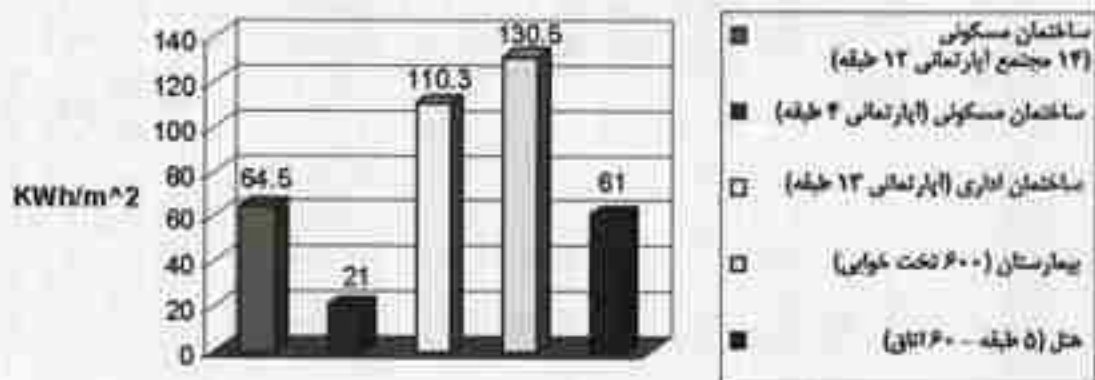
نمودارهای (۳-۶) براساس بار گرمایشی ساختمان (انرژی حرارتی مورد نیاز) و مقادیر ضریب انتقال حرارت جداره‌های خارجی ساختمان با در نظر گرفتن نرخ تعویض هوا و تلفات نفوذ از درزها ترسیم شده و میزان تلفات انرژی حرارتی از روش متداول (روز - درجه) (Degree-Days) برآورد گردیده است.^۱ در این نمودار درصد تلفات انرژی 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.





نمودارهای (۴-۱) توزیع مصرف انرژی الکتریکی در بخشهای مختلف ساختمان [۳]

شاخص مصرف انرژی الکتریکی



شاخص مصرف انرژی حرارتی

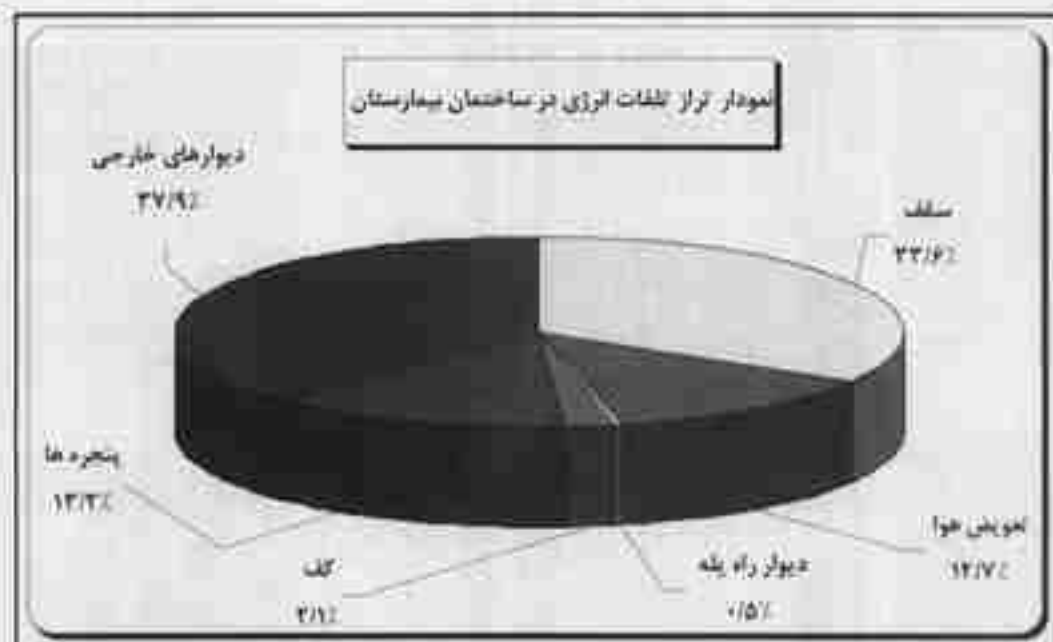


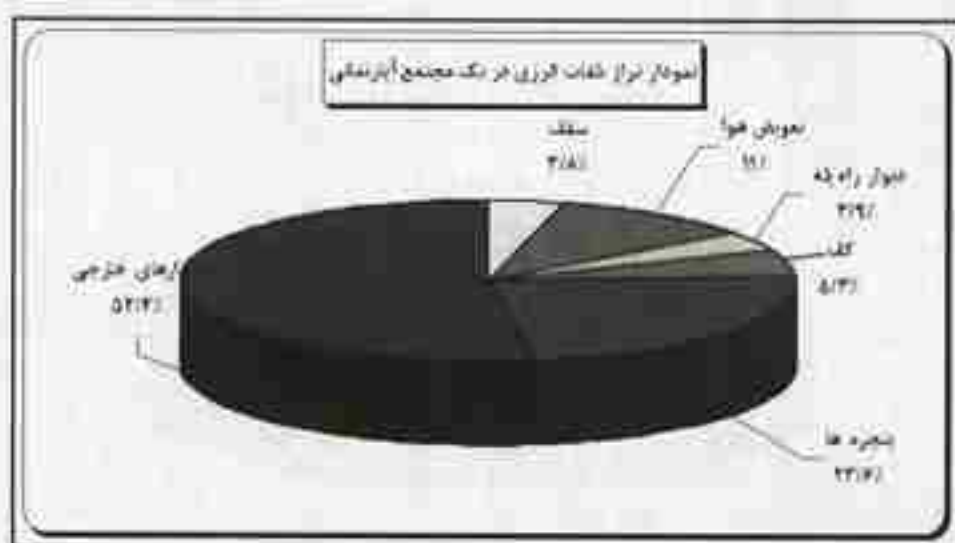
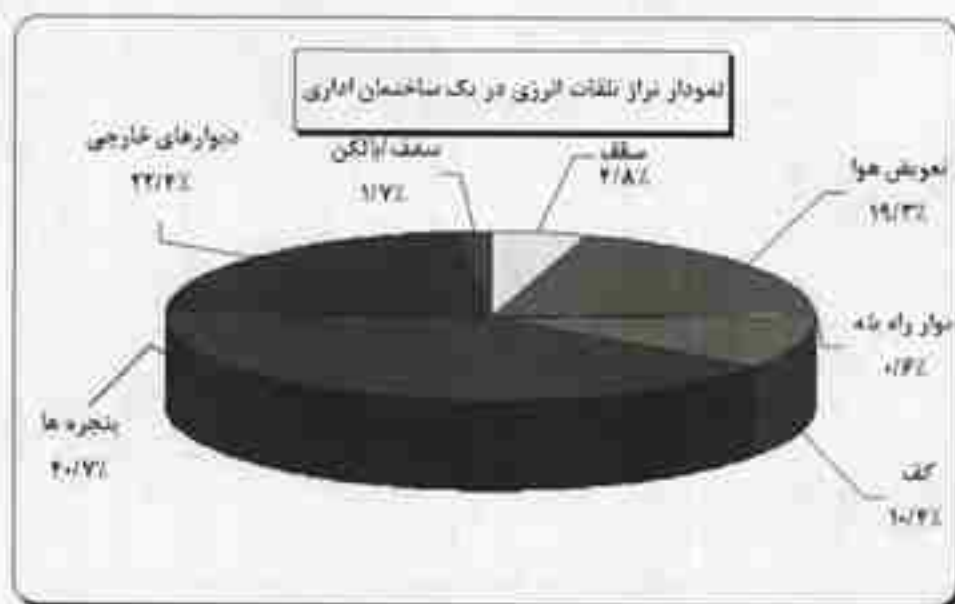
نمودارهای (۲-۴) شاخصهای مصرف انرژی الکتریکی و حرارتی در ۵ نمونه ساختمان (۴)

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 سالانه Kwh/yr	درصد %
سقف	5432	2509	327093	33/6
دیوارهای خارجی	6134	2509	369364	37/9
پنجره ها	2142	2509	128983	13/2
کف	340	2509	20473	2/1
دیوار راه پله	85	2509	5118	0/5
نویسن هوا	2050	2509	123443	12/7
مجموع	16183	2509	974474	100

$$Q(\text{KWh/yr}) = [U(\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}) \times A(\text{m}^2) \times D.D(\frac{^\circ\text{C} \cdot \text{day}}{\text{yr}}) \times 24(\text{hr/day})] \div 1000$$





نمودارهای (۳-۶) تراز تلفات انرژی حرارتی از جداره های خارجی و نفوذ هوا در ساختمان یک بیمارستان (۳)



نمودارهای (۴-۶) توزیع تلفات انرژی حرارتی از جداره های خارجی ساختمان (۳)

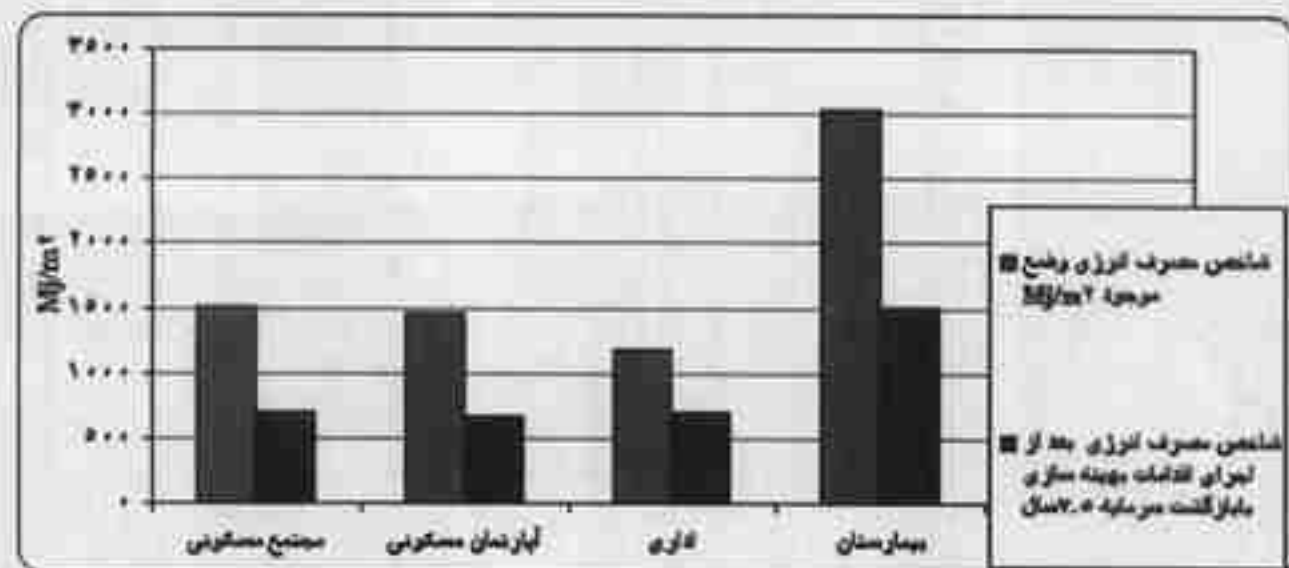
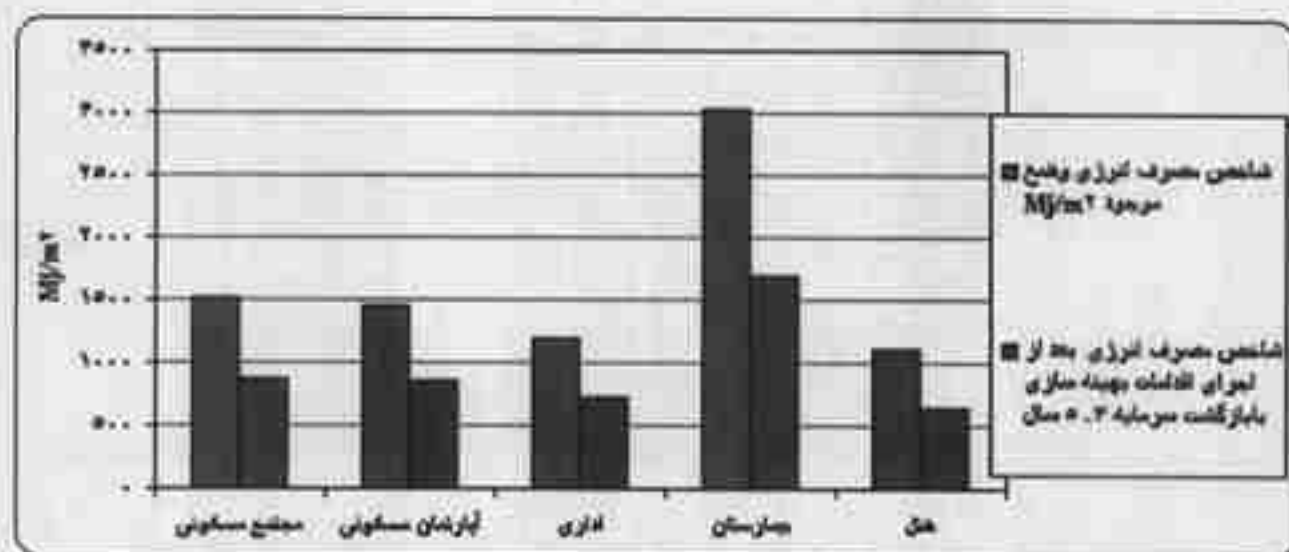
۳-۴- امکان صرفه‌جویی انرژی الکتریکی و حرارتی

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)

شاخص مصرف انرژی بعد از اجرای اقدامات بهینه‌سازی	صرفه‌جویی درصد	صرفه‌جویی سالانه انرژی معادل تن نفت خام	مساحت زیربنا	شاخص مصرف انرژی وضع موجود	ساختمان‌های نمونه
با بازگشت سرمایه ۳-۵ سال Kwh/m^2	%	TOE ^۱	m^2	Kwh/m^2	
۵۱	۲۱	۱۷۴/۹۸	۵۰۴۸۰	۶۴/۵	ساختمان مسکونی (۴) مجتمع آپارتمانی ۴ طبقه
۱۸	۱۴	۱	۱۵۷۸	۲۱	ساختمان مسکونی (آپارتمان ۴ طبقه)
۹۶	۱۵	۴۰	۹۲۳۸	۱۱۳	ساختمان اداری (۴) طبقه
۱۰۷	۱۸	۲۳۳	۳۶۶۰۱	۱۳۰/۵	بیمارستان (۶۰۰ تختخوابی)
۴۷/۸	۲۲	۱/۱	۳۷۸۱	۶۱	هتل (۵ طبقه - ۶۰۰ اتاق)
-	-	۴۶۳	۱۰۳۵۸۰	-	مجموع

۱- TOE=Ton oil Equivalent معادل تن نفت خام



نمودار (۵-۶) پتانسیل صرفه جویی انرژی قبل و بعد از اجرای اقدامات بهینه سازی مصرف انرژی

۴- عایق کاری حرارتی ساختمان ها:

مقدمه

در زمینه صرفه جویی در مصرف انرژی در ساختمان ها، رعایت ضوابط مربوط به عایق کاری حرارتی (گرمبندی) از اهمیت بسزایی برخوردار است. این امر نه تنها مانع از به هدر رفتن سرمایه های ملی انرژی می شود، بلکه آسایش حرارتی ساکنین را نیز بهبود می بخشد.

در اینجا روش های مختلف عایق کاری جداره های خارجی ساختمان و همچنین نکاتی در زمینه روش های اجرا، نقاط ضعف و مزایای هر سیستم تشریح می شود.

کلیات

۴-۱- انتقال حرارت از جداره های خارجی ساختمان:

در ساختمان ها، در تمامی فصل های سال و در تمام ساعات شبانه روز بین فضای داخل ساختمان و محیط خارج، تبادل حرارت صورت می گیرد. در شکل (۶-۵) دو حالت اصلی در تبادل حرارت نشان داده شده است:

حالت اول (گرمایش) در صورتی بوجود می آید که در تراز انرژی ساختمان، میزان مابه تفاوت بین انرژی های 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) انرژی های رایگان کسب شده باید با استفاده از تجهیزات سرمایشی به خارج از ساختمان هدایت شود.

بدیهی است که در هر دو حالت، وجود عایق کاری حرارتی پوسته خارجی ساختمان و همچنین کنترل هوشمند میزان تهویه و تعویض هوا نه تنها باعث صرفه جویی در مصرف انرژی جهت گرمایش یا سرمایش می شود، بلکه آسایش حرارتی ساکنین را نیز بهبود می بخشد.

۴-۲- کاربرد عایق های حرارتی در ساختمان:

عایق حرارتی قبل استفاده در ساختمان به عایقی اطلاق می شود که دارای ضریب هدایت حرارتی کمتر یا مساوی 0.062 w/m.k و مقاومت حرارتی مساوی یا بیشتر از 0.15 m.k/w باشد.

عایق کاری حرارتی یا بوسیله یک ماده یا مصالح خاص (شکل ۶-۸) و یا توسط سیستمی با چندین کلرایمی صورت می گیرد (شکل ۶-۹). برای مثال یک دیوار باربر می تواند در عین حال عایق کاری حرارتی را نیز تأمین کند. ولی در اکثر موارد، لازم است که لایه ای صرفاً جهت محدود کردن انتقال حرارت به جدار اضافه شود.

۴-۳- آسایش حرارتی:

شرایط آسایش حرارتی زمانی بوجود می آید که (۸۰٪) انسان ها در آن احساس آسایش می کنند. لازم به ذکر است که دماهای متفاوت قسمت های مختلف جداره ها، پایین بودن دمای سطح داخلی جداره های خارجی، بالا

باید مورد تجزیه و تحلیل و قضاوت قرار گیرند که از مهم ترین آنها، افکارهای صاحب ساختمان و جنبه اقتصادی طرح می باشند. عمده ترین 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
- جنبه های فیزیکی ساختمان از نظر تطبیق با سیستم گرمایش و سرمایش
- کیفیت هوای داخلی ساختمان
- رعایت صرفه جویی و بهینه کردن سیستم انتخابی - انواع سیستم های تهویه مطبوع (گرمایش و سرمایش ساختمان ها)

۶-۲- سیستم های متداول تهویه مطبوع به انواع زیر تقسیم می شوند:

- سیستم تهویه مطبوع تمام آب (سیستم فن کویل)
 - سیستم تهویه مطبوع تمام هوا (سیستم هواساز)
 - سیستم هوا - آب
 - سیستم پمپ حرارتی
- هر یک از سیستم های بالا، برای آشنائی با نوع و عملکرد آنها بطور خیلی مختصر تشریح می شوند:

سیستم تهویه مطبوع تمام آب:

در این سیستم سیال ناقل حرارت و برودت، آب می باشد. آب در موتورخانه در دستگاه های حرارتی مانند دیگ بخار یا دیگ آبگرم، گرم می شود و برای گرمایش ساختمان در فصول سرد مورد استفاده قرار می گیرد. برای فصول گرم مثل تابستان در موتورخانه از چیلر یا ابرسردکن برای تهیه آب سرد استفاده می شود و برای سرمایش ساختمان از این آب سرد استفاده می گردد.

آبگرم یا ابرسرد تهیه شده به داخل لوله های مارپیچ^۱ مبادله کن حرارتی اتاق ها (مثل فن کویل) ارسال می شود. بادبزن یا (فن) متعلق به این دستگاه هوا را از روی لوله های مارپیچ عبور داده و باعث گرمایش یا سرمایش اتاق های داخلی ساختمان می شود.

سیستم تهویه مطبوع تمام هوا (سیستم هواساز):

در این سیستم نیز در موتورخانه دستگاه های تهیه ابرسرد (چیلر) و آبگرم (دیگ آبگرم) با تجهیزات مربوطه فعالیت می کنند و برای تهیه و ارسال هوای گرم یا سرد از دستگاه های بنام هواساز مرکزی^۲ استفاده می شود. دستگاه هواساز دور از موتورخانه و در محلی نزدیکتر به فضای تهویه شونده در اتاقی نصب می شود. سیال ناقل

حرارت و برودت (آب گرم و سرد) به داخل لوله های مارپیچ دستگاه هوا ساز پمپ می شود و هوایی که توسط دمنده و با سرعت از روی این لوله های مارپیچ عبور می کند، سرد یا گرم شده و بوسیله کانال های هوای سقفی بداخل فضاهای تهویه شونده توزیع می شود. توضیح اینکه هوای عبوری از روی کویل تصفیه فیلتریک شده و رطوبت زنی یا رطوبت گیری می شود و بعد به داخل فضاها ارسال می شود.

سیستم تهویه مطبوع هوا - آب :

در این سیستم نیز سیال انتقال دهنده حرارت و برودت، آب می باشد که مثل حالت اول در موتورخانه آب سرد و یا آب گرم در فصول مختلف تهیه و به داخل دستگاه مبادله کن حرارتی (فن کویل) فرستاده می شود و بخش اعظم گرمایش و سرمایش اتاق را تأمین می نماید. از طرف دیگر مقداری هوای گرم و یا سرد که در یک دستگاه هواساز مرکزی تهیه شده است به اتاق فرستاده می شود که وظیفه تأمین قسمت کمی از بار حرارتی و برودتی اتاق را بر دوش دارد ولی در حقیقت نیاز اتاق را به هوای تازه برآورده می کند. از این سیستم ها در بیمارستان ها و هتل ها بیشتر استفاده می شود. دستگاه نصب شده در اتاق را واحد القایی نیز می نامند، که حتی می تواند یک ورق کلفت تابشی باشد.

سیستم تهویه مطبوع پمپ حرارتی:

سیستمی است که قابلیت سرمایش و گرمایش فضاهای کوچک ساختمانی را به اقتضای فصل بهمه دارد. این سیستم اساساً یک سیستم تبرید می باشد که می توان 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 کشورهایی که در آنها برق ارزان تر از سوخت های فسیلی است مقرون به صرفه بوده و دارای جذابیت خاص برای مکان های کوچک است. استفاده از این سیستم باعث می شود که هزینه اولیه تأسیسات و نیز فضای مورد نیاز برای موتورخانه کاهش یابد. همچنین بدلیل عدم استفاده از سوخت های فسیلی، آلودگی کاهش یافته و سیستم در مقابل خطرات آتش سوزی از ایمنی بیشتری برخوردار خواهد بود.

در مدار ساده سرمایشی این سیستم، از شیر انبساط حرارتی استفاده شده است و در آن شیر چهار راهه تغییر مدار سیستم وجود دارد.

در فصل زمستان مسیر گاز داغ خروجی از کمپرسور، بوسیله شیر چهارراهه تغییر می یابد و با ورود گاز داغ به کویل حرارتی داخلی، هوای ورودی به ساختمان نیز گرم می شود.

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 ویلایی تا برج‌های عظیم مسکونی و تجاری جهت تهویه مطبوع تابستانی، از صنایع غذایی 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 کارایی زیادی نداشتند به همین دلیل صرفاً به چند کاربرد بزرگ نظیر واحدهای تولید یخ، بستبندی گوشت و یخچال‌های بزرگ محدود می‌شدند ولی این صنعت در عرض چند دهه به سرعت رشد نموده و بصورت امروزی درآمد 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 به‌همراه تهیه سرد کننده‌های بی‌خطر و اختراع موتورهای الکتریکی با قدرت کمتر، امکان ساخت واحدهای کوچک تبرید را که امروزه در کاربردهایی 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 محصولات که با استفاده از تبرید، تحقق یا بهبود یافته‌اند می‌شمار 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 ساختمان‌ها) 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. سیستم‌هاییکه 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^۱ یا (متناوب)

۲- کمپرسورهای دوار^۲

۳- کمپرسورهای گریز از مرکز^۳

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 سوپاپ‌های مکش و فشار، گاز مبرد را تراکم 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 عبارتند 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.

۵-۶- روش‌های بازیافت در سیستم‌های تبرید:

تأسیسات تبرید در شرایطی کار می‌کنند که دمای دفع حرارت، بالاتر از دمای محیط می‌باشد. به‌علاوه 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:

از گاز داغ خروجی از متراکم کننده که دارای دمایی حدود 150°C می‌باشد.

از چگالنده که معمولاً حدود 20°C درجه از دمای محیط گرم تر است.

از جریان روغن در متراکم کننده که دمای آن بین 60°C تا 80°C 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^۱، حرارت زیاد گاز در حال تخلیه از کمپرسور، سیستم تبرید را بازیابی می‌کند. البته دمای تخلیه بستگی به شرایط کار سیستم و مبرد دارد.

مثلاً در مورد (R-۲۲) و آمونیاک که دارای دمای تخلیه نسبتاً بالایی 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 می‌شود.

در متراکم کننده‌های پیچی شناور در روغن، بخش بزرگی از حرارت موتور به روغن منتقل می‌شود معمولاً روغن ورودی به متراکم کننده 40°C درجه سانتیگراد بوده و دمای خروجی در حدود 60°C تا 80°C درجه سانتیگراد می‌باشد. در یک سیستم تبرید با (R-۲۲) در حدود ۲۸ 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 یا استفاده از برق ارزان قیمت در شب‌ها، برودت تولید و ذخیره می‌کنند و در ايام روز که برق گران است از منابع ذخیره استفاده می‌کنند.^۲

۶-۷- توصیه های بهینه سازی مصرف انرژی در تاسیسات حرارتی و آبگرم مصرفی:

الف- بازرسی تاسیسات حرارت :

- در زمانی که دمای هوا متعادل است سیستم بخار (گرمایش) را خاموش کنید.
- عایقکاری لوله ها را کنترل و نواقص موجود را برطرف کنید.
- تله های بخار را کنترل و قطعات معیوب را تعویض یا تعمیر کنید.
- تله های بخار را همیشه تحت نظر داشته باشید.
- اتلافات سیستم توزیع بخار را کاهش دهید.
- شیرها و اتصالات را از جهت اتلاف حرارتی بازرسی کنید.
- از لوله های بخار به اندازه مناسب استفاده کنید و سیستم تغذیه بخار را کنترل نمایید.
- کارایی انتقال حرارت در محل های 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 برج های تقطیر در شرایط نزدیک به سرریزی استفاده کنید.
- خطوط لوله کشی بخار تقطیر شده را عایقکاری کنید.
- رسوب زدایی لوله های آب را مرتب انجام دهید.
- از عایقکاری مناسب در کوره ها، دیگ ها، کانال ها و لوله های حامل سیال گرم، استفاده کنید.
- در دیگ ها و کوره ها از مشعل های کارا استفاده کنید.
- در کوره ها، 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 نمی کنید، خاموش کنید.

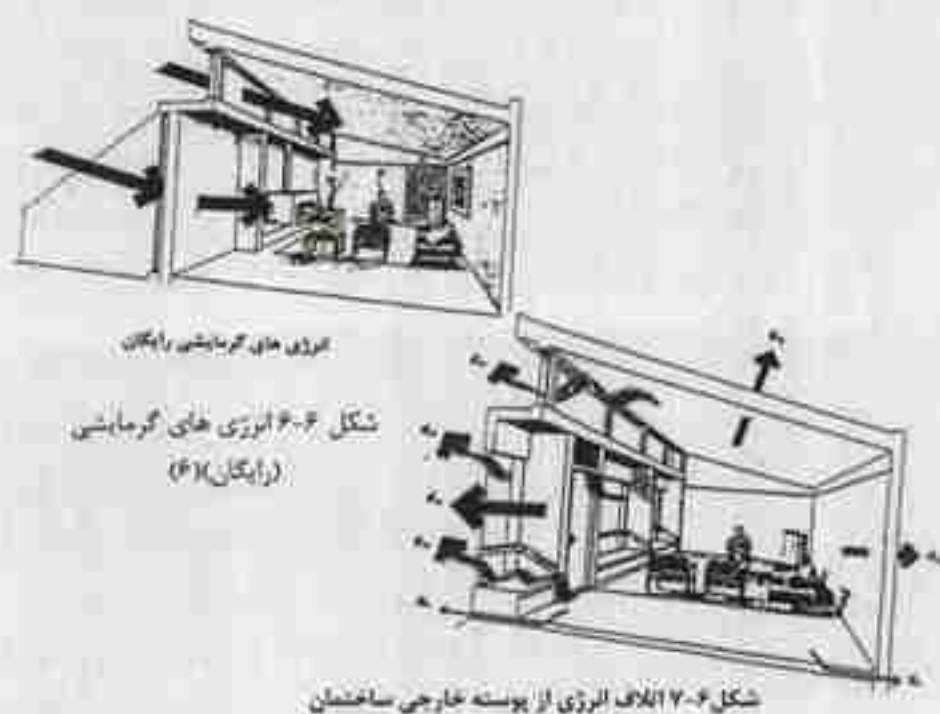
ب- بازرسی تاسیسات:

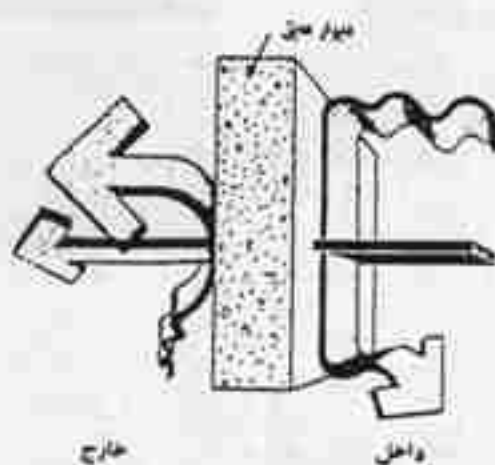
- سیستم تهویه مطبوع را در ساعات بدون نیاز خاموش کنید.
- هوای دمیده شده را کنترل کنید و کاهش دهید.
- چگالنده های سیستم تبرید را مرتب تمیز کنید.
- دریچه های هواساز، میزان گرد و غبار و کویل ها و فیلترها را بازرسی کنید تا مقاومت هوا کاهش یابد.
- از ورود هوای خیلی مرطوب به سیستم تهویه مطبوع خودداری کنید.
- فقط در مکان های مورد نیاز واقعی، از سیستم تهویه مطبوع استفاده کنید.
- برج خنک کن را زمانی که نیاز نیست، خاموش کنید.
- در سیستم های با درجه حرارت پایین برای عایقکاری از ضخامت اقتصادی مناسب استفاده کنید.

انلاف حرارت	عکس حرارت از
در اثر هدایت از جداره ها	گرمای سکنین گرمای وسایل خانگی انرژی خورشیدی گرمایش
در اثر تهویه	

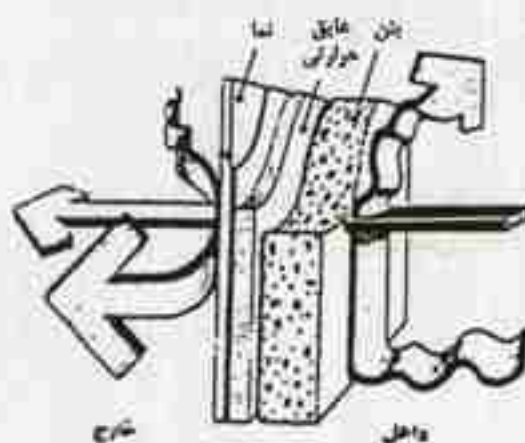
گرمایش سکنین گرمای وسایل خانگی انرژی خورشیدی ورود حرارت در اثر هدایت از جداره ها ورود حرارت در اثر تهویه	سرمایش
--	--------

شکل ۵-۶- حالت های تبادل حرارت از جداره های ساختمان

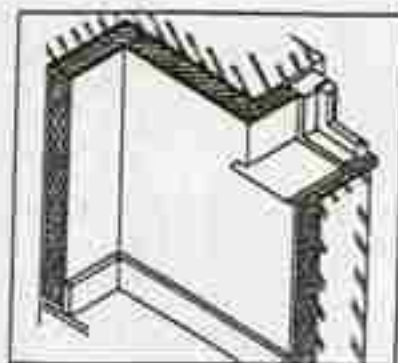




شکل ۸-۶- عایقکاری حرارتی با سیستم های صرفه "عایق" (۶)



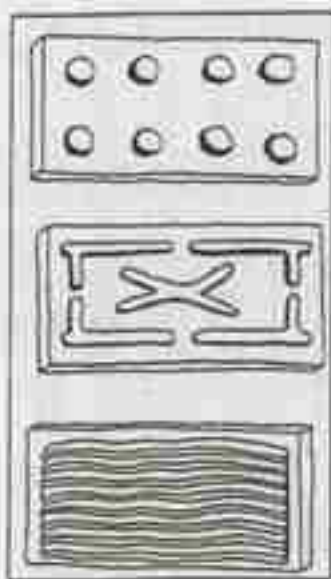
شکل ۹-۶- عایقکاری حرارتی با سیستم های با چندین کارایی (۷)



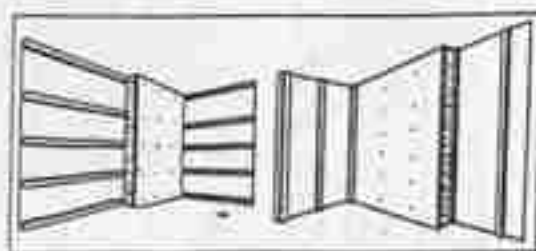
شکل ۱۰-۶- عایقکاری دیوارها از داخل (۷)



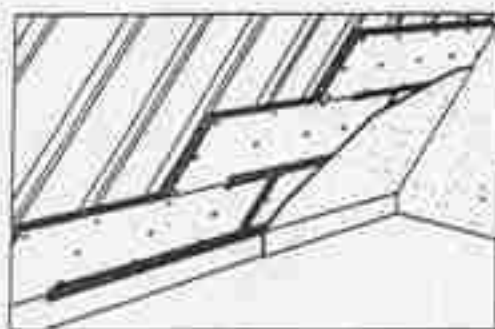
شکل ۱۱-۶- روش نصب ورق های عایقکاری دیوار ها از داخل (۷)



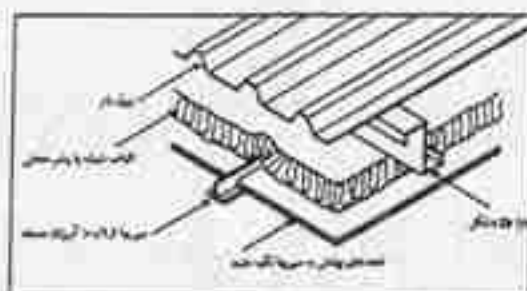
شکل ۱۲-۶- روش اجرای خمیر چسب بر روی ورق های عایقکاری داخلی (۷)



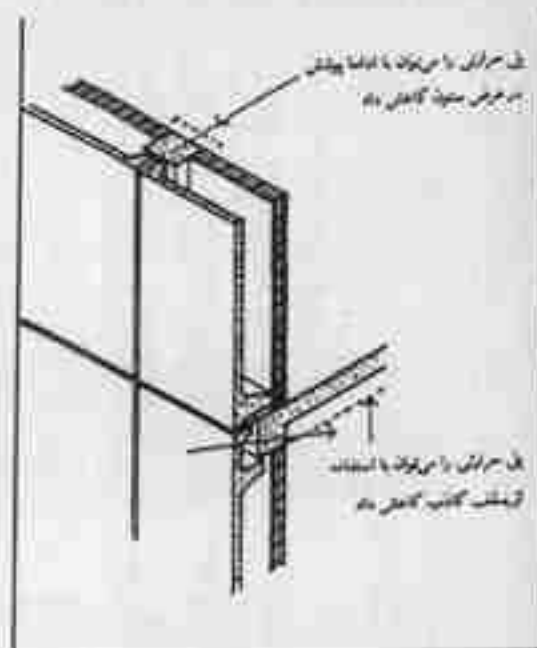
شکل ۶-۱۴- اتصال مکانیکی (پیچی) ورق‌ها به دیوار (۷)



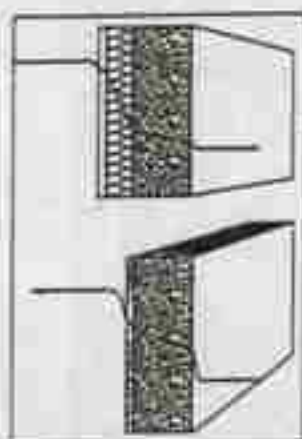
شکل ۶-۱۴- اتصال مکانیکی (پیچی) ورق‌ها به سقف‌های شیب‌دار (۷)



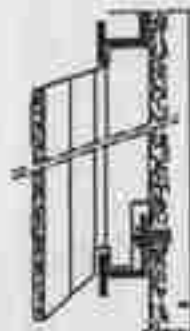
شکل ۶-۱۵- عایق‌کاری حرارتی بر روی سقف کاذب (۷)



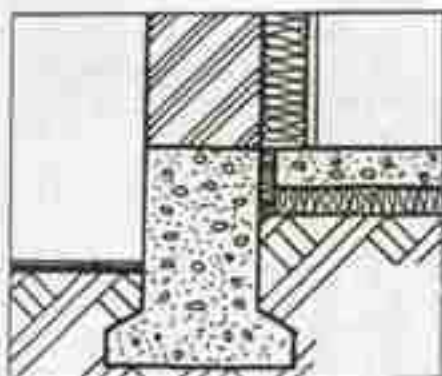
شکل ۱۶-۶- پنل های حرارتی در عایقکاری از داخل و روش های رفع آن (۷)



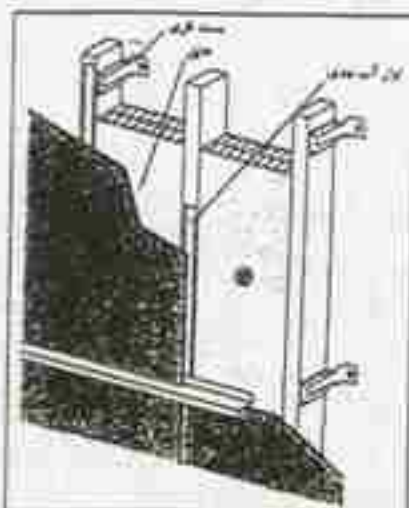
شکل ۱۷-۶- پایین آمدن دمای روبه داخلی جدار در صورت حذف عایق های حرارتی (۷)



شکل ۱۸-۶- جزئیات اجرای عایقکاری حرارتی داخلی در محیط کف مجاور به خاک (۷)



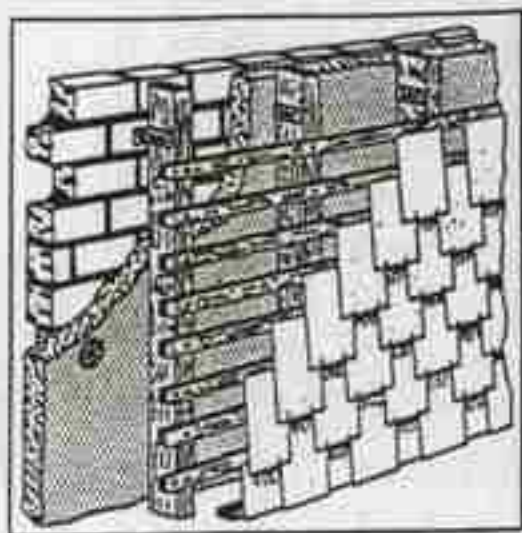
شکل ۱۹-۶- نمونه ای از سیستم های پیش ساخته عایقکاری خارجی (۷)



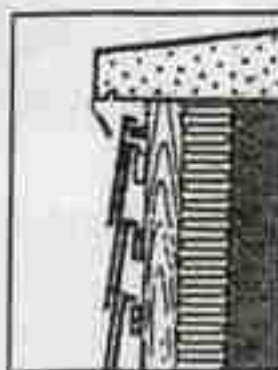
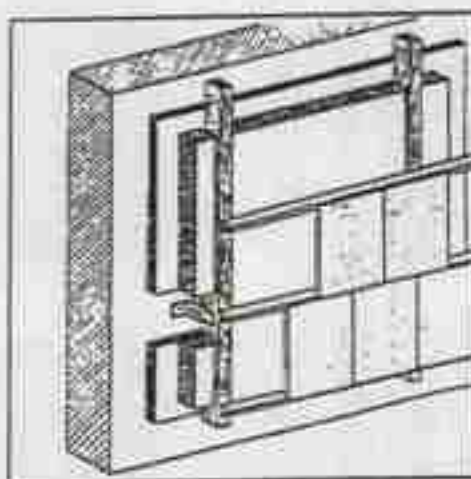
شکل ۲۰-۶- نمونه ای از روش های عایقکاری از خارج (۷)



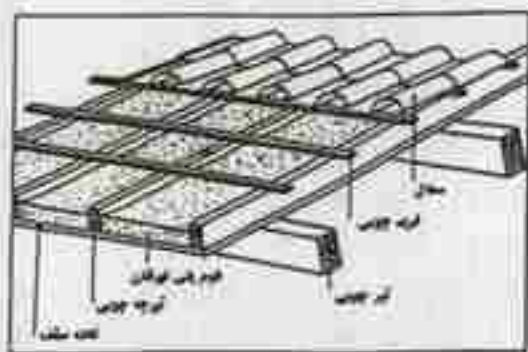
شکل ۲۱-۶- در پروژه های بازسازی، عایقکاری از خارج متداولترین روش است (۷)



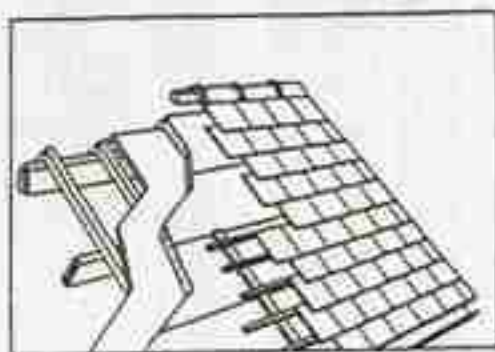
شکل ۲۲-۶- پوشش نمای اردواز سنتی همراه با عایقکاری حرارتی (۷)



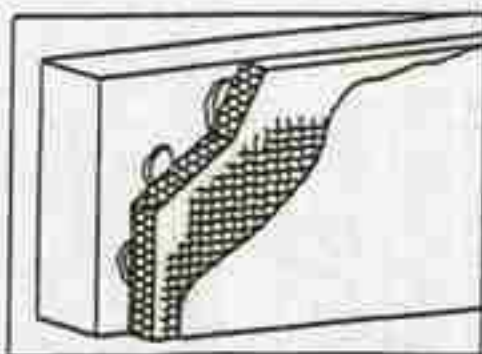
شکل ۲۳-۶- پوشش نمای سفالی عمودی همراه با عایقکاری حرارتی (۷)



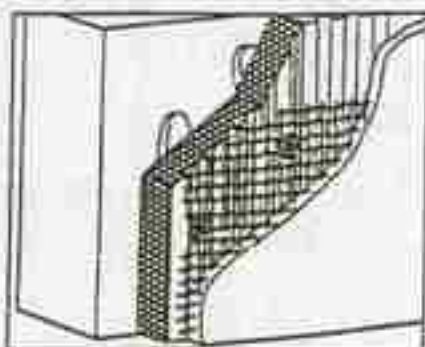
شکل ۲۴-۶- عایقکاری با فوم پلی اورتان زیر سقف شیب دار سفالی (۷)



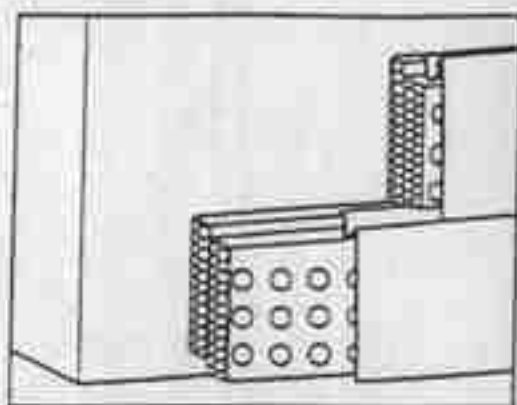
شکل ۲۵-۶- عایقکاری با فوم پلی اورتان زیر سقف شیب دار آردوار (۷)



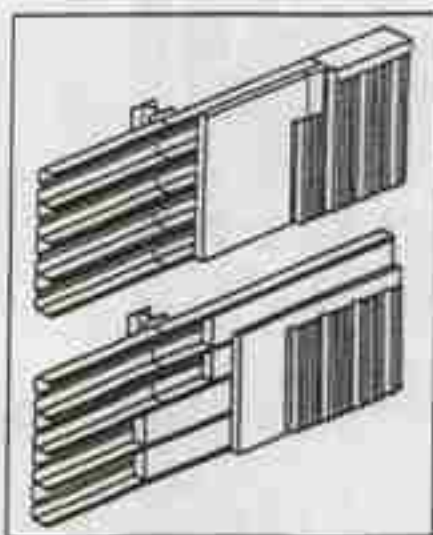
شکل ۲۶-۶- عایقکاری با پلی استایرن چسبیده همراه با اندود فایبرگلاس (۷)



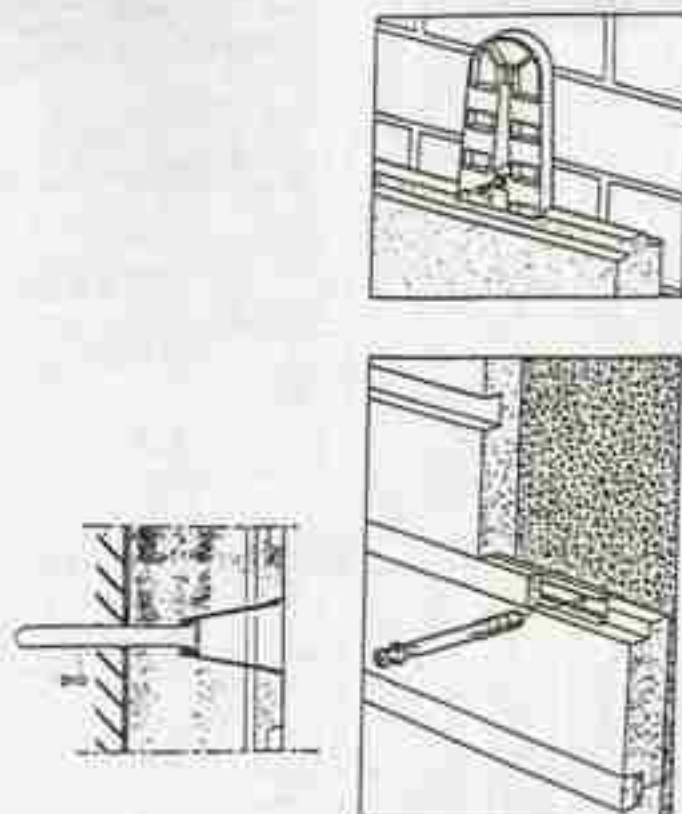
شکل ۲۷-۶- عایقکاری با پلی استایرن چسبیده و ثابت شده (اتصال مکانیکی) همراه با اندود الیاف شیشه ای^۱ یا سیمان روی نورمرغی (۷)



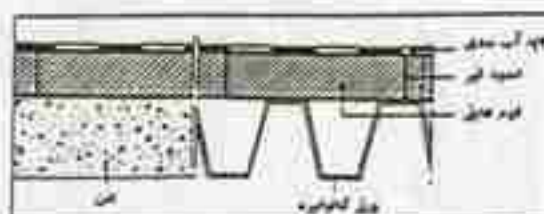
شکل ۲۸-۴- عایقکاری با قطعات پلی استایرن همراه با روکش فلزی چسبانده و ثابت شده (اتصال مکانیکی) (V)



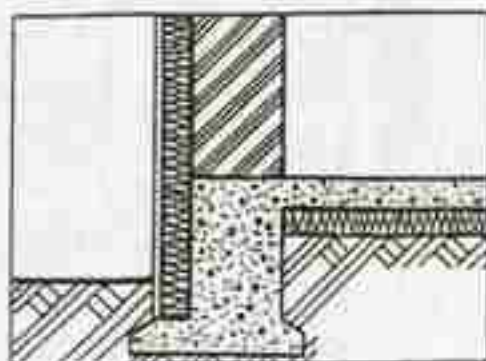
شکل ۲۹-۴- عایقکاری با قطعات پلی استایرن با پلی اورتان همراه با روکش فلزی ثابت شده (اتصال مکانیکی) (VX)



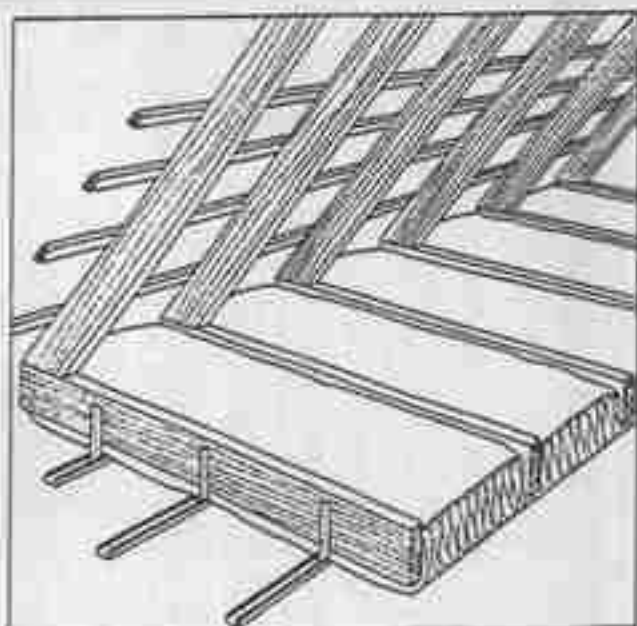
شکل 6-30- جزئیات اتصال مکانیکی قطعات پستی ساخته عایق به دیوار (۷)



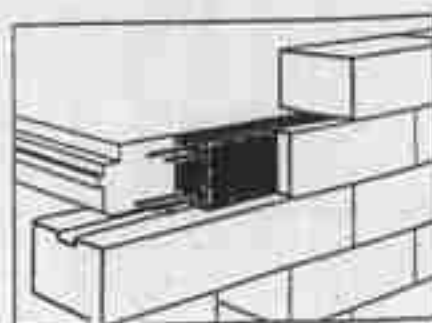
شکل ۶-۳۱- عایقکاری خارجی سقف (۷)



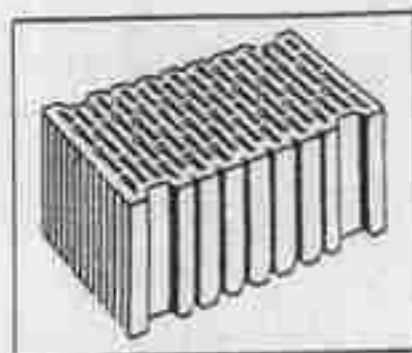
شکل ۶-۳۲- جزئیات عایقکاری حرارتی خارجی در محلولوت کف (۷)



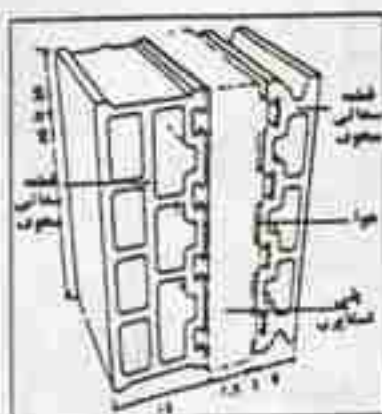
شکل ۲۲-۶- جزئیات اجرای عایقکاری حرارتی خارجی در زیر شیروانی های غیر قابل دسترس (۷)



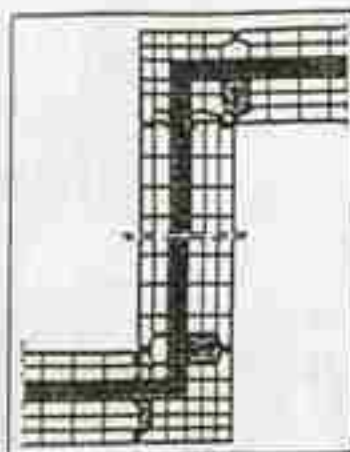
شکل ۲۳-۶- دیوار با بلوک های سبک عایق



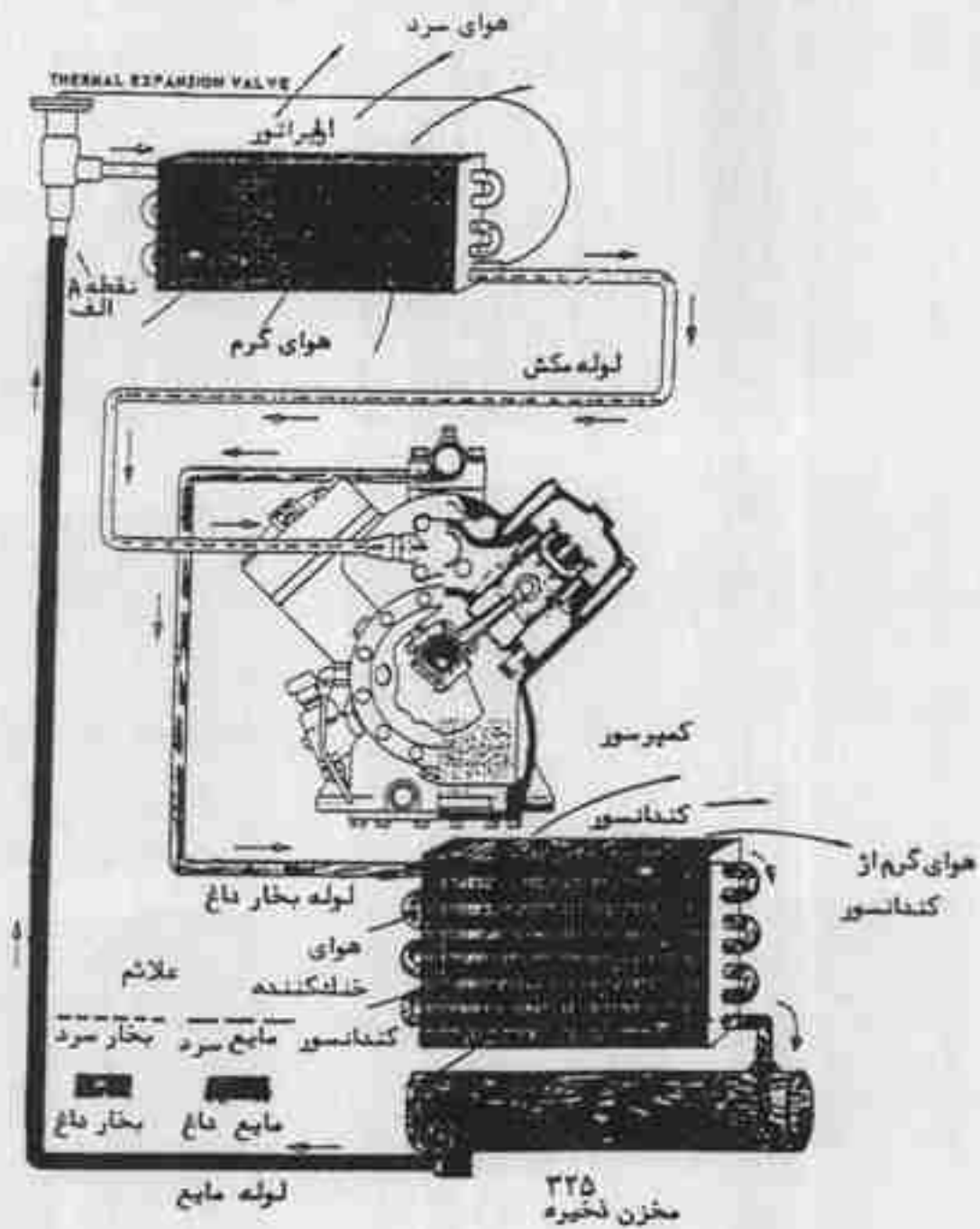
شکل ۲۵-۶- بلوک های سبک مجوف (۷)



شکل ۶-۳۶- بلوک مرکب با لایه عایق (پلی استایرن) (۷)

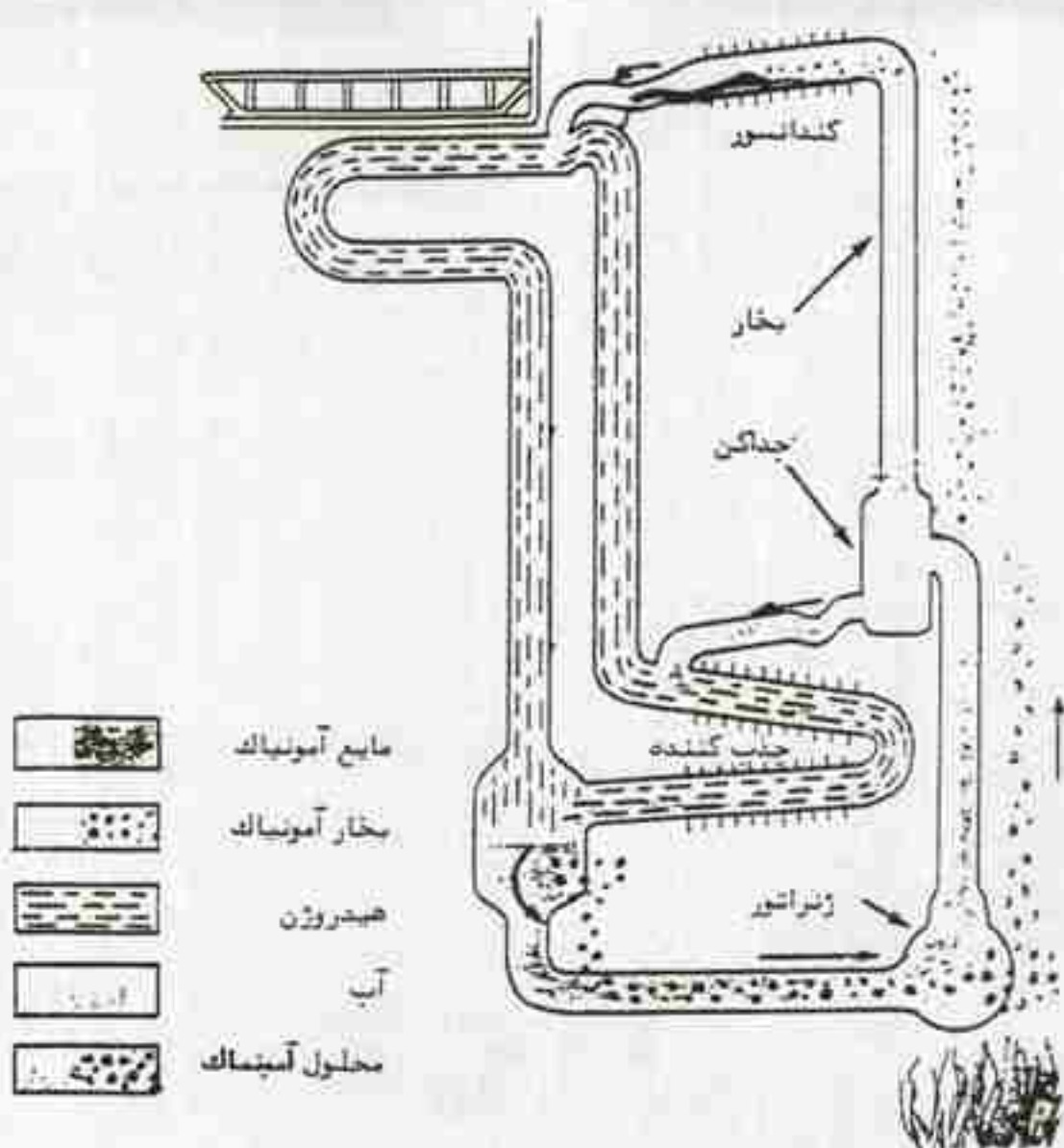


شکل ۶-۳۷- مقطع افقی از یک دیوار با بلوک های مرکب با لایه عایق (۷)



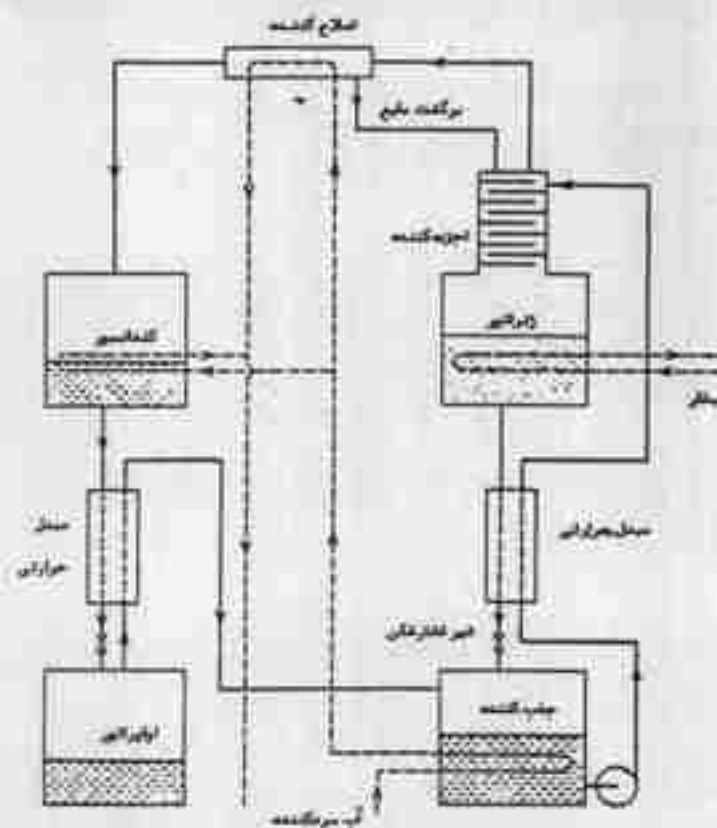
شکل ۳A-۶. یک سیستم تبرید تراکمی تجاری مجهز به چکاننده هوایی شبیه اتساع حرارتی

و متراکم کننده رفت و برگشتی (A)

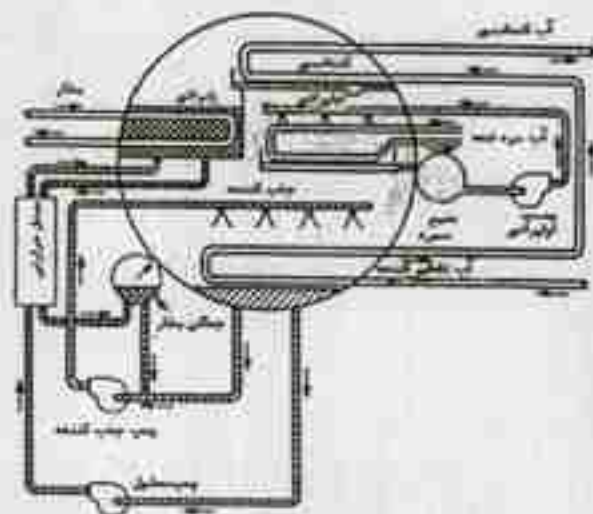


شکل ۶-۳۹- طرحواره چرخه تمیزید جذبی خانگی (بخچال نفتی) شامل مدار گردش آب،

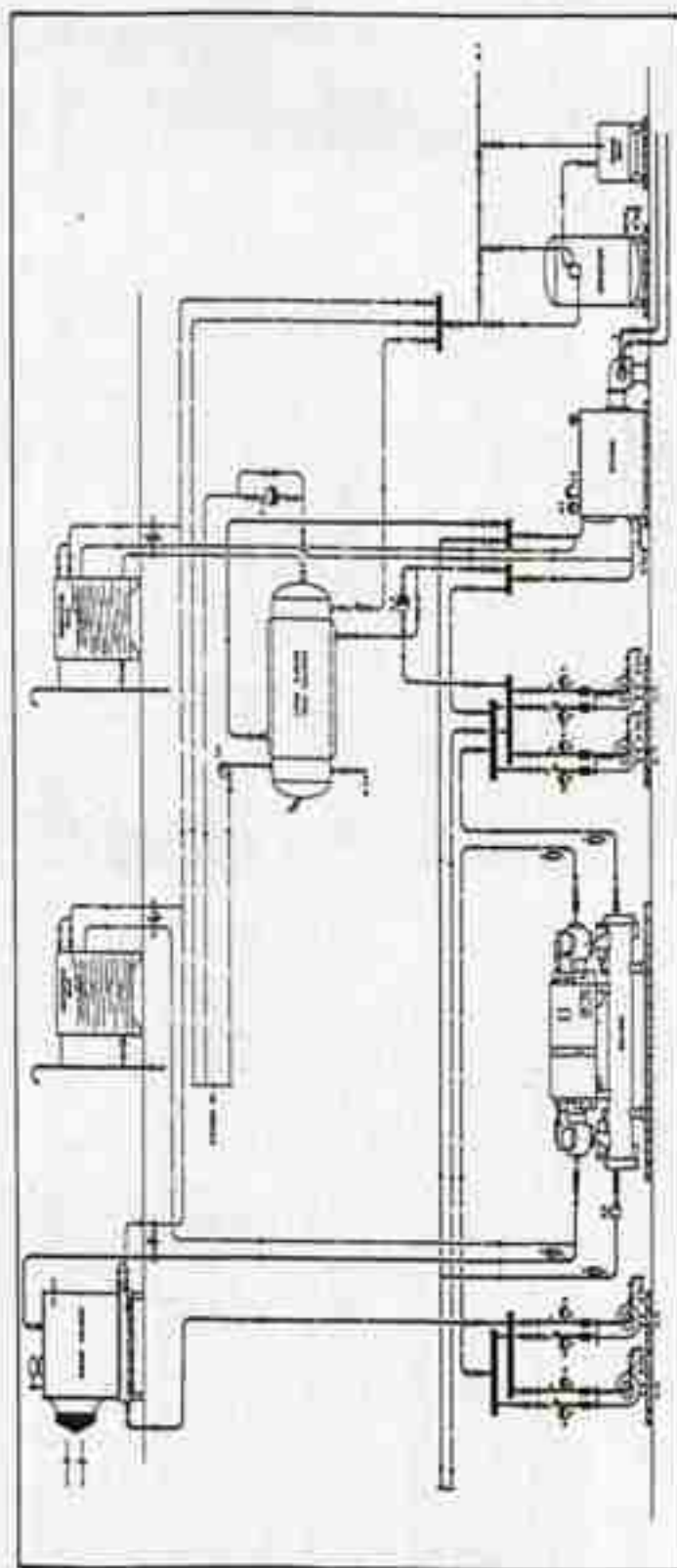
جریان آمونیاک و هیدروژن محلول آب آمونیاک در مولد و مخزن جذب کننده (۸)



شکل ۴۰-۶- سیستم تبرید جفتی آب و آمونیاک (۸)

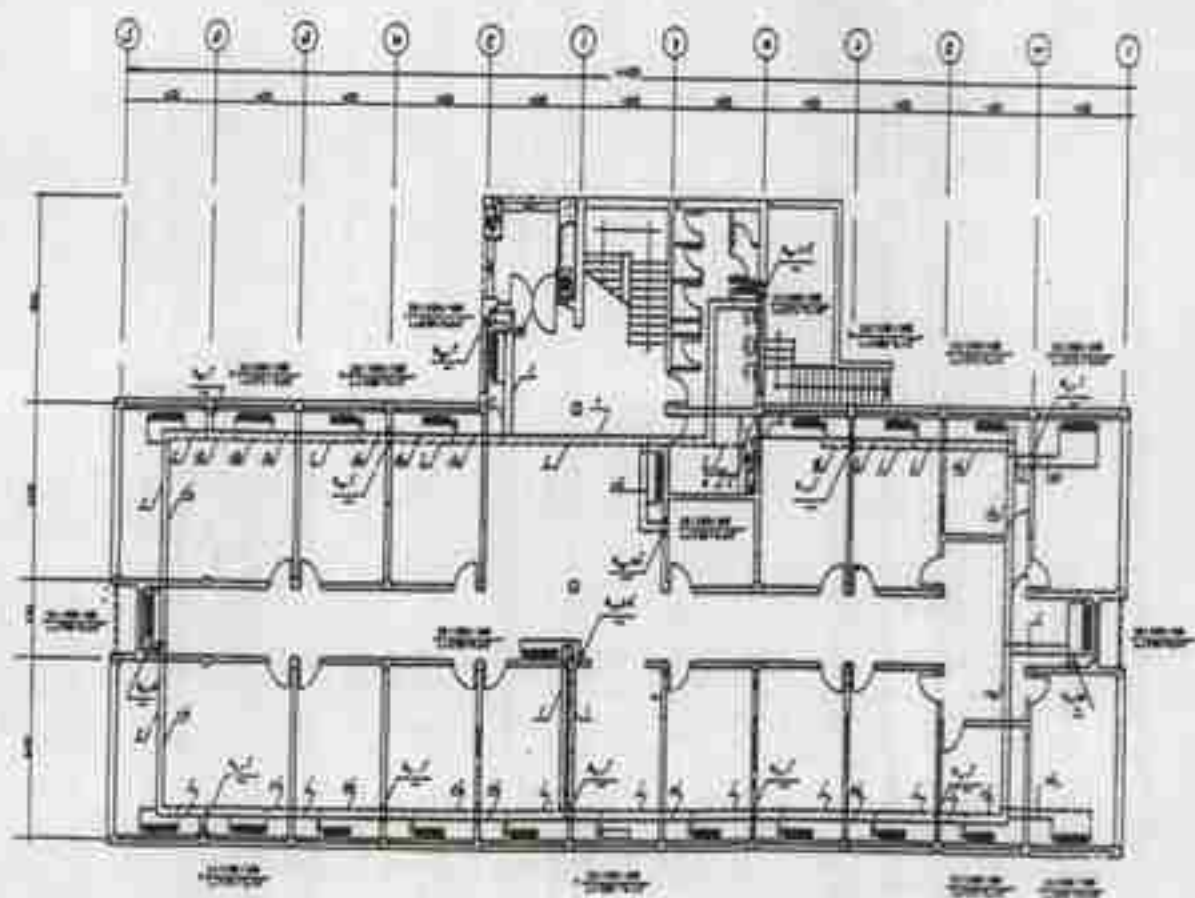


شکل ۴۱-۶- سیستم تبرید جفتی آب و برمور لیتیم (۸)

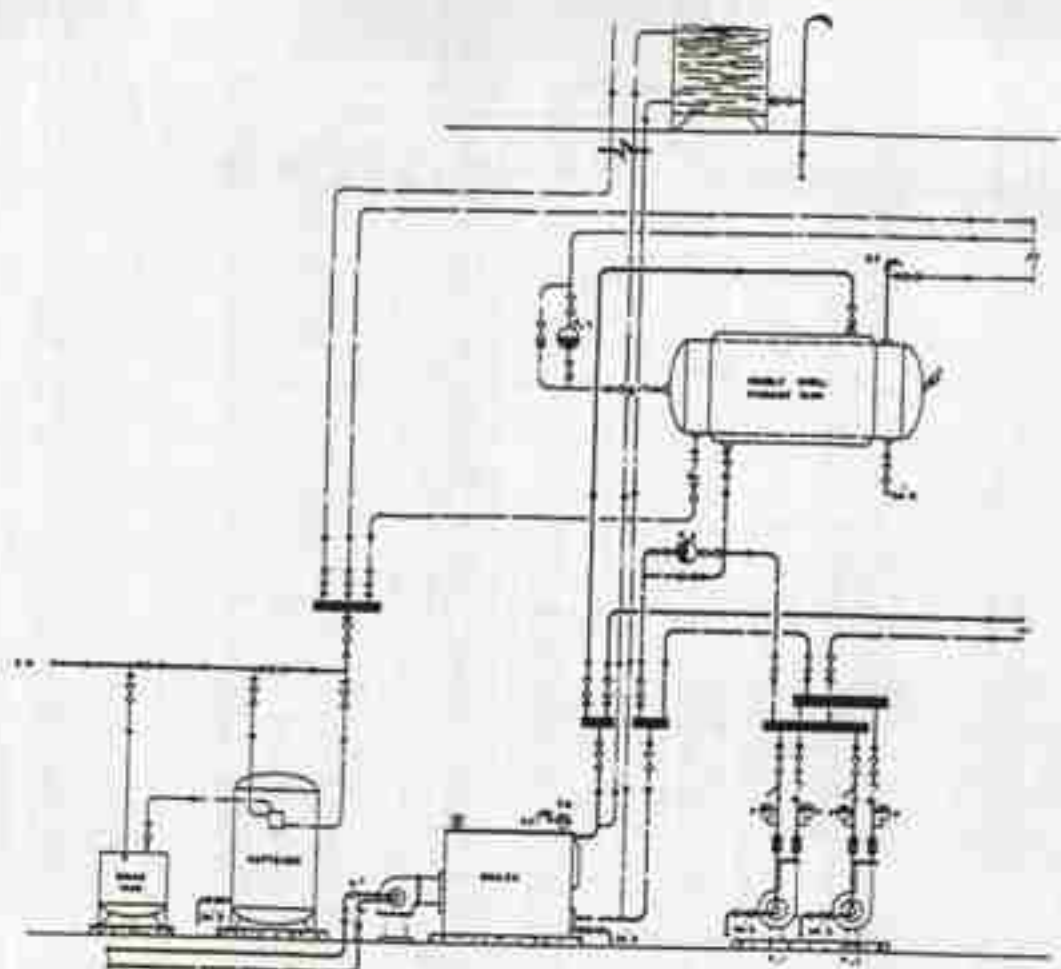


شکل ۴۲-پ. نمودار موتورخانه سیستم سرمایش و گرمایش (تهویه مطبوع دو فصلی)

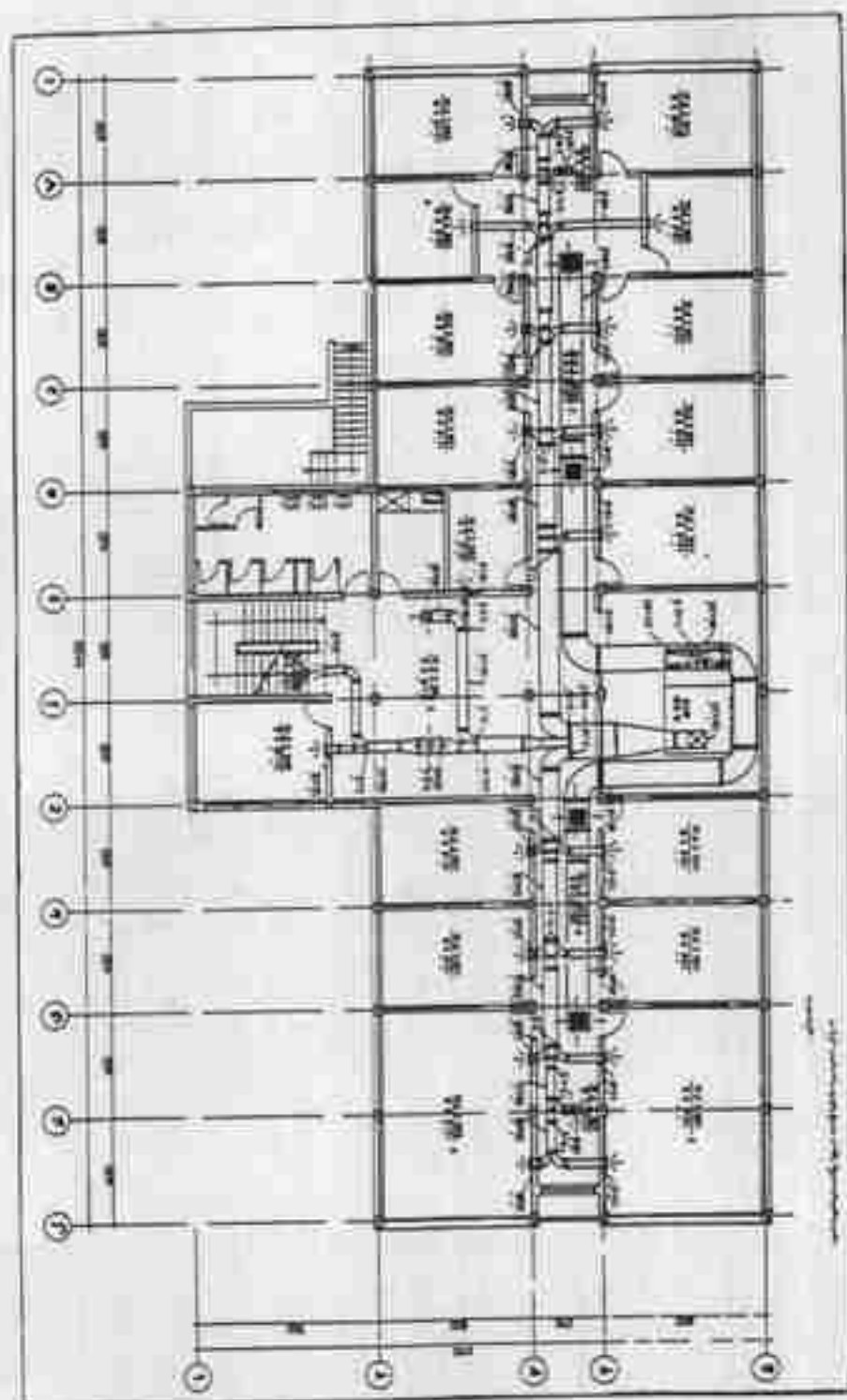
تجهیزات این موتورخانه در سیستمهای تهویه مطبوع تمام آب، تمام هوا و سیستمهای هوا-آب تکسان می باشد. (۸)



شکل ۴-۶-۱. نمودار دیاگرام موتورخانه سیستم گرمایش با آبگرم (شولاز) (۸)



شکل ۴-۲۴- محل نصب رادیاتورها و سیستم گرمایش لوله کشی برگشت معکوس (۸)



شکل ۴-۵-۳ شبکه کابل کشی سیستم تهویه مطبوع تمام هوا با کابل کشی رفت و برگشت در سقف کاذب

مقررات ملی ساختمان ایران

مبحث نوزدهم (۱۹)

(صرفه‌جویی در مصرف انرژی)

- ✓ تعاریف
- ✓ مقررات کلی طراحی و اجراء
- ✓ عایق‌کاری جدارهای خارجی ساختمان
- ✓ روش الف - روش کارکردی
- ✓ روش ب - روش تجویزی
- ✓ چک لیست مبحث ۱۹

تعاریف:

- جدارهای پوسته خارجی:

کلیه سطوح پیرامونی ساختمان، اعم از دیوارها، سقف‌ها، کف‌ها، بازوها، سطوح نور گذر (شیشه) و نظایر آنها که از یک طرف یا فضاهای خارج یا فضای کنترل نشده و از طرف دیگر یا 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)

- محدوده آسایش:

شرایط حرارتی و رطوبتی که حدود ۸۰٪ ساکنین یا استفاده‌کنندگان در آن احساس آسایش می‌کنند که تابع بارامترهای درجه حرارت، رطوبت نسبی محیط و سرعت باد می‌باشد.

- فضاهای کنترل نشده:

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 شده در پیوست ۴ مبحث ۱۹ (گروه‌بندی کاربری ساختمان‌ها)

- عایق (عایق حرارت):

مصلح 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 $0/065 \text{ W/m.k}$ و مقاومت حرارتی مساوی یا بیشتر از $0/5 \text{ m}^2.\text{k/W}$ 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 سانتی گراد بین دمای دو سطح طرفین عنصر ایجاد نماید. ضریب هدایت حرارتی^۱ 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^۲ با R نشان داده می‌شود و واحد آن $\text{m}^2.\text{k/W}$ 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 $\text{W/m}^2.\text{°C}$ 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 فضای کنترل شده، در صورتیکه اختلاف دمای داخل و خارج برابر یک درجه باشد. واحد مورد استفاده برای ضریب انتقال حرارت $[\text{W/K}]$ یا $[\text{W/°C}]$ 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 $[\text{W/K}]$ است.

1 - Thermal conductivity

2 - Thermal Resistance

- ضریب انتقال حرارت سطحی مرجع $\hat{U}$:

ضریب انتقال حرارت سطحی مرجع، ضریب انتقال حرارت سطحی انواع مختلف حداره‌های تشکیل دهنده پوسته خارجی ساختمان (دیوار، سقف، کف، جدار تور گذر، در و ...) است که در این محاسبه ضریب انتقال حرارت مرجع $\hat{H}$ مورد استفاده قرار می‌گیرد. واحد مورد استفاده 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 در این محاسبه 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 صرفه‌جویی 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 در مناطق 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 بار گرمایی - سرمایی در فضاهای کنترل شده ساختمان. گروه بندی اینرسی حرارت کلی ساختمان با استفاده از جرم سطحی مفید ساختمان صورت می‌گیرد.

- شاخص خورشیدی I_s:

ضریبی که بر اساس آن، مقدار بهره‌گیری ساختمان از انرژی تابشی خورشید تعیین می‌شود.

- ضریب انتقال خورشیدی سطح نور گذر S_t:

نسبت انرژی عبوری به انرژی تابیده شده به سطح نور گذر

- روز درجه سرمایش!

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!

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 پایین‌تر است.

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 صرفه‌جویی، 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 همچنین کاهش انرژی واحد تولید با توجه به شرایط فنی و نوع فناوری در بخش صنعت کشور، بدلیل مدیریت پندیری 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 همچنین (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 یا لحاظ کردن سیاست‌های اجتماعی و اقتصادی انجام می‌گیرد.
۵. ویژگی سیستم قدرت ایجاد 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 صرفه‌جویی در آن را اولویت ویژه می‌بخشد.

در زمینه عرضه نیروی برق، تا به حال سیاست‌های توسعه‌ای اجرا شده و مسلماً 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 ۲۶/۴ درصد سهم نیروگاه‌های بخاری، ۲۷/۶ درصد سهم نیروگاه‌های گازی، ۱۸/۸ درصد سهم نیروگاه‌های چرخه ترکیبی، ۱۰ درصد سهم نیروگاه‌های دیزلی و ۱۶/۱ درصد سهم نیروگاه‌های برق آبی می‌باشد.

در سال ۱۳۸۵ تولید انرژی نیروگاه‌های وزارت نیرو از سوز ۱۸۱ میلیارد کیلووات ساعت گذشت که در مقایسه با سال قبل از آن معادل ۶/۱ درصد رشد داشته است. در این 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 ۲۴۵۹۴ مگاوات و حداکثر نیاز مصرف همزمان و هم‌روز اصلاح شده به ۲۳۳۳۰ 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 روشنائی 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)، صرفه‌جویی 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 سیگل ترکیبی به منظور افزایش راندمان نیروگاههای گازی، بررسی امکان استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر نیز باید مورد توجه قرار گیرد.

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 بخش اقتصادی قدرت، کاهش قیمت تمام شده برق و افزایش کارایی و ضریب اطمینان سیستم برق می‌باشد.

مدیریت مصرف برق در بلند مدت می‌تواند به یک سیاست توسعه اقتصادی منتهی گردد.

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 گروه‌بندی 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 محرک‌های موتوری جدید با سرعت متغیر (SCR^1 یا VSD^2) خواهد بود. ریز پردازنده‌ها (کنترل‌های هوشمند) یا قیمت مناسب، امروزه بقدری در دسترس هستند که می‌توان گستره 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 کارایی می‌گردد. اول اینکه، راندمان موتورهای 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 آنهایی 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^۳ یا اصلاح سیستم‌های توزیع برای کاهش تلفات اهمی (RI^2)

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. بازپافت گرمای حاصل از موتورها، مبدل‌ها یا تجهیزاتی مانند کمپرسور هوا نیز در این دسته جای می‌گیرند.

قدم هشتم، جستجوی موقعیتهایی برای تولید و مصرف متوالی^۱ انرژی می‌باشد. بارزترین نمونه آن تولید مشترک برق و حرارت^۲ 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 متغیر می‌تواند سیستم متحرک مکانیکی را که برای تغییر سرعت بکار می‌رود حذف کند، که منجر به کاهش تلفات می‌گردد. یا تجهیزات پنوماتیک^۳ 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 سرمایه‌گذاریهای 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 ۱-۷ تکنیک‌های موفق در بخشهای مختلف بمنظور اصلاح منحنی بار خانگی - تجاری و صنعتی معرفی شده است.

جدول ۱-۷- 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
سرفه‌جویی استراتژیک	بهبود عایق حرارتی ساختمانها	کاهش شدت روشنایی	کاربرد فرایندهای با والدمان بالا
افزایش بار استراتژیک	کاربرد انرژی الکتریکی به جای فسیلی	کاربرد پمپ حرارتی	کاربرد انرژی الکتریکی به جای فسیلی
انعطاف پذیری بار	کنترل سیکلی	کنترل سیکلی	کنترل سیکلی

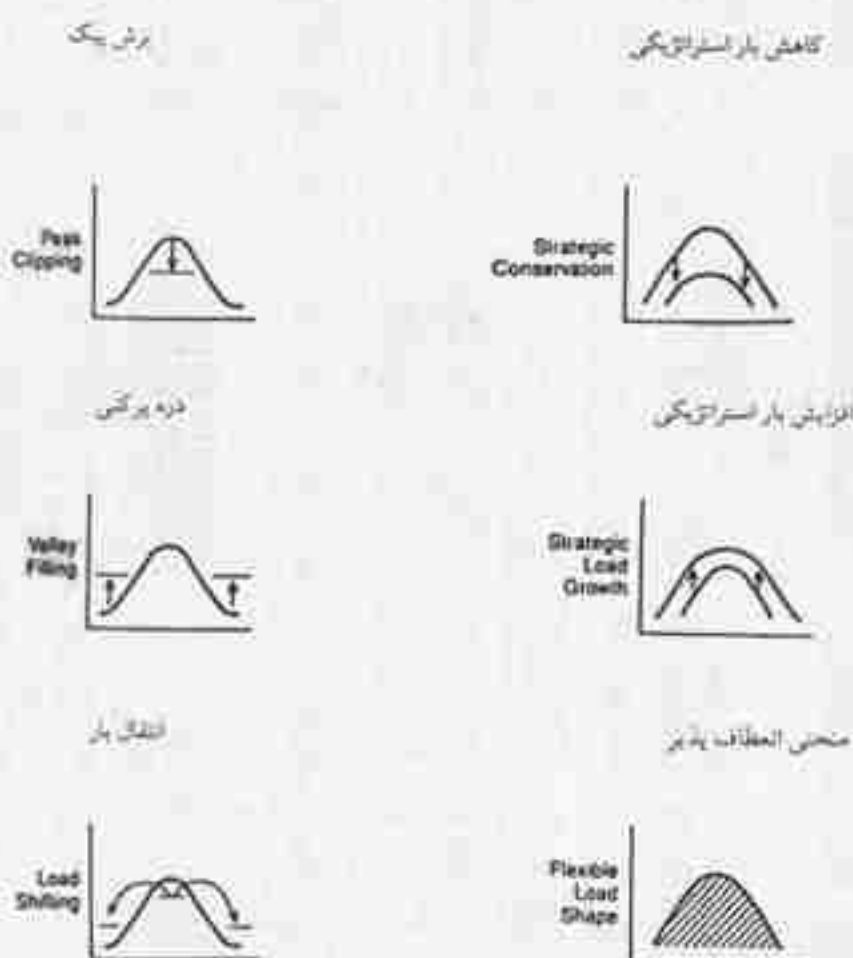
پس از شناخت منحنی بار واحد صنعتی و در پی آن، منحنی بار مطلوب و مطالعه مدیریت پذیری فرایند، لازم است روشهای فوق در جهت اصلاح منحنی بار مورد استفاده قرار گیرند.

سه روش اول نشان داده شده در شکل شماره (۱-۷)، تکنیک‌های قدیمی و سه روش دیگر، روشهای نسبتاً جدیدتری را معرفی می‌نمایند. در روش اول اوج سابی 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 آثر بسیار مطلوبی را از خود نشان می‌دهد.

روش چهارم (سرفه‌جویی استراتژیک) با تغییر الگوی مصرف در بخشهای مختلف، مصرف انرژی کاهش می‌یابد.

در این روش مصرف کنندگان انرژی الکتریکی با استفاده از روشهایی نظیر تشویق مالی و غیره کاهش مصرف انرژی الکتریکی را بدون اعمال کنترل و برنامه خاصی 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 مفرن 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. اثرات اصلاح منحنی بار در آن بسیار، مؤثرتر از سایر روشها می‌باشد.



شکل شماره (۱-۷) - روشهای اصلاح منحنی بار

۲-۳- باران‌های لازم برای مدیریت بار

۲-۳-۱- متحنی بار و توزیع مداوم بار

نمایش تغییرات توان الکتریکی هر مصرف کننده برق در یک بازه زمانی، مشخص متحنی بار گفته می‌شود. تغییرات زمان بر حسب ثانیه، دقیقه، ساعات، شبانه‌روز، هفته و ماه قابل تعیین است. بررسی توان‌های 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 متحنی بار شبکه قابل بررسی است.

به منظور بررسی توزیع بار بر حسب زمان در یک مجموعه مصرف کننده برق، لازم است در فیدرهای اصلی توسط دستگاه تحلیل‌گر اندازه‌گیری بعمل آید. برای بررسی جزئی‌تر تجهیزات مصرف کننده برق با فرایندها 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 به‌لنگر تغییرات توان مصرفی بر حسب زمان می‌باشد، متحنی 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 یا مشخص شدن زمان وقوع عوامل هائی هستند که از متحنی 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. 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:

D_{max} : تقاضای حداکثر (KW)

CL : 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 باعث 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	نوبت کاری		
	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

دیمانند مورد نیاز برابر است با بیشترین مقدار از بین D_1, D_2, D_3 ($D=D_{max}$)

دیمانند خریداری شده (دیمانند قراردادی با شرکت برق)

دیمانند مصرفی (دیمانند واقعی که معمولاً متغیر می‌باشد)

دیمانند محاسباتی (حداقل ۹۰ درصد دیمانند خریداری شده)

۲-۳-۳- ضریب بار^۱

ضریب بار پارامتر دیگری است که توانایی 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 دوره زمانی 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)

راههای افزایش ضریب بار

- عدم راهاندازی همزمان موتورهای الکتریکی
- کاهش ضریب همزمانی ماشین آلات بر 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:

$$\left. \begin{aligned} P &= \sqrt{3}VI\cos\varphi \\ Q &= \sqrt{3}VI\sin\varphi \end{aligned} \right\} \text{ مصرف کنندگان سه فاز:}$$

$$\left. \begin{aligned} P &= VI\cos\varphi \\ Q &= VI\sin\varphi \end{aligned} \right\} \text{ مصرف کنندگان تک فاز:}$$

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 جمع برداری 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 ($\cos\varphi$) گویند.

۲-۳-۵- ضریب توان P.F¹

همانطور که ذکر شد در حالت عمومی، توان ظاهری بر حسب KVA که باید برای بار تأمین شود، جمع برداری 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)

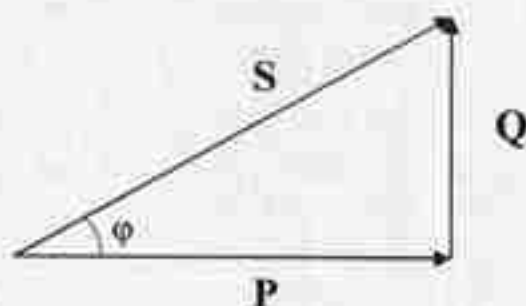
P: توان حقیقی (اکتیو) (KW)

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 بیایند. 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 جریان بخشی از راکتانس القایی بهبود بخشید. سودمندی این روش بستگی به جنبه‌های اقتصادی هر مورد خاص دارد و عموماً نیازمند بررسی و تحلیل دقیق است.

تأثیرات منفی پایین بودن ضریب قدرت

افزایش هزینه برق

افزایش هزینه تجهیزات به لحاظ بزرگتر شدن اندازه 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 یا 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 انرژی 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 حساسیتی است و در هر برنامه کارآمد مدیریت انرژی، حساسیتی، یک امر اساسی می‌باشد. حساسیتی 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، حساسیتی، سه وظیفه اصلی را برآورده می‌سازد.

۱- اطلاعاتی راجع به نرخ مصرف انرژی به دست می‌دهد و لذا می‌تواند برای ارزیابی کارایی 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 مدیران انرژی باز می‌گرداند. یکی از دلایل اساسی لزوم حساسیتی 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 حساسیتی شده برای مجموعه خود را دریافت کنند و آن را بازبینی نمایند، صرفاً اطلاع از میزان انرژی مصرفی می‌تواند به صرفه‌جویی 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 دلترا 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 یا 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 قبلاً نیز اشاره گردید اقدامات کلی در تغییر و اصلاح منحنی بار عبارتند از:

الف - پیک سانی^۱

ب - دره پر کنی^۲

ج - انتقال بار^۳

الف - پیک سانی (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 متحنی بار شبکه و در نتیجه بالا بردن ضریب بار شبکه می‌شویم. برنامه‌ریزی جهت ایجاد مصرف جدید در راستای افزایش تولید و با 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 متحنی 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 ازای 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 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	الشعاب		
	فشار قوی (۶۳ KV U)	فشار متوسط (۱۱ KV U)	فشار ضعیف (۳۰ KV U)
۱	۱۳۴/۵	۱۲۲/۵	۱۶۱/۵
۲	۱۵۰/۳	۱۶۲/۲	۱۸۲/۷

ارقام در جدول فوق به ریال می‌باشد (قیمت یک کیلووات 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 فرات گذشت که توسط ماکسیمم 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 محدوده ضریب قدرت ($\cos \phi$) که حداقل مجاز آن ۰/۹ می‌باشد ، اعمال هزینه انرژی راکتیو (KVAR) در قبوض برق نیاز به محاسبه ضریب قدرت ($\cos \phi$) مصرف کننده می‌باشد. ضریب زیان تعیین کننده هزینه راکتیو است که از روابط زیر بدست می‌آید.

$$\text{مصرف اکتیو} = \frac{\text{ضریب قدرت } \cos \phi}{\sqrt{(\text{مصرف انرژی راکتیو})^2 + (\text{مصرف انرژی اکتیو})^2}}$$

$$1 - \frac{0.9}{\cos \phi} = \text{ضریب زیان}$$

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 فاسی

به علت افزایش مصرف برق در فصل 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.

بهای دیماند (KW ریال)	بهای انرژی (KWh/ریال)			گزینه
	انواع			
	فشار قوی (۶۳ KV U)	فشار متوسط (۱۱ KV U)	فشار ضعیف (۳۰ KW U)	
۱۴۲۴۴	۱۶۱/۴	۱۷۱	۱۹۳/۸	۱
۷۱۲۲	۱۸۰/۳۶	۱۹۴/۶۴	۲۱۹/۲۴	۲

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 قیض 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 کم‌باری : ۱۶۷,۲۰۰ (KWh)

مصرف انرژی راکتیو : ۵۲۴,۰۰۰ (KVAR)

محاسبات جهت تعیین ضریب قدرت، ضریب زیان، هزینه راکتیو و هزینه کل برق :

$$(KWh) \quad ۵۲۵,۶۰۰ = ۲۸۳,۲۰۰ + ۷۵,۲۰۰ + ۱۶۷,۲۰۰ = \text{کل مصرف اکتیو}$$

$$\text{ضریب قدرت } \cos\phi = \frac{۵۲۵,۶۰۰}{\sqrt{(۵۲۵,۶۰۰)^2 + (۵۲۴,۰۰۰)^2}} = ۰,۷۱$$

$$\text{ضریب زیان} = \frac{۰,۲۹}{۰,۷۱} - ۱ = ۰,۲۷۱۲$$

$$(\text{هزینه دیملند} + \text{هزینه انرژی اکتیو}) \times ۰,۲۷۱۲ = \text{هزینه راکتیو}$$

$$\text{هزینه دیملند} + \text{هزینه اکتیو} + \text{هزینه راکتیو} = \text{کل هزینه برق}$$

۳-۲- توصیه‌های مدیریت بار در دو کارخانه

- مدیریت در کارخانه شماره ۱

جابجایی بار^۱

پیک سابی را می‌توان از طریق مهار مستقیم بخشی از مصارف انجام داد، با توجه به سه شیفت بودن بخشهای مختلف کارخانه، امکان پیک‌سایی در این قسمت‌ها منتفی است اما تغییر ساعات کاربری ماشین‌آلات و دستگاههای ناپیوسته^۲ و انتقال آنها به ساعات غیر پیک، صرفه‌جویی 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^۱ 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

$$190 \text{ m}^3 \times 1/6 = 30.4 \text{ Ton}$$

میزان صرفه‌جویی بعمل آمده حاصل از جابجایی پیک

$$382(\text{KW}) \times 4(\text{ساعت}) \times 300(\text{روز}) \times (14/8) =$$

= (تفاوت ضریب عادی با اوج بار) $\times 0/82$ (قیمت پایه انرژی در سال ۸۲ برای کنتورهای دو تعرفه به ریال)
ریال در سال ۵۶۰۰۰۰۰۰

با نصب کنتور سه تعرفه صرفه‌جویی هزینه حاصل از جابجایی پیک به شرح ذیل خواهد بود:

$$382 \text{ KW} \times 4 \text{ ساعت} \times 300 \text{ روز} \times (270/8 - 27/2) \text{ ریال} = 107,000,000 \text{ ریال}$$

در مجموع جابجایی پیک با کنتور دو تعرفه معادل ۵۶ میلیون ریال و با کنتور سه تعرفه ۱۰۷ میلیون ریال در سال صرفه‌جویی 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 ۱۵۷۴,۰۰۰,۰۰۰ ریال بوده که با انتخاب گزینه ۱ مجموع بهای برق برای همین تعداد روز با همان مصارف ۱۴۸۷,۰۰۰,۰۰۰ ریال خواهد شد.

لذا انتخاب گزینه ۱ بجای گزینه ۲ حدوداً به میزان ۸۷ میلیون ریال طی ۱۷۰ روز معادل ۱۸۰ میلیون ریال (یک صد و هشتاد میلیون ریال) در طول سال کاهش هزینه برق پدنیال خواهد داشت. محاسبات در جدول صفحه بعد ارائه شده است.

انتخاب گزینه ۱: ریال $18,000,000 \div 170 = 106,000,000$ صرفه‌جویی اقتصادی برای کارخانه در طول یکسال

جابجایی 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

تابستان	۷-۱۹	۱۹-۲۳	۲۳-۷
سهم زمانی تعرفه‌ها (درصد)	۵۰	۱۶/۷	۳۴/۳
ضریب محاسبه قیمت برق	۱	۳/۳	۰/۲۵

کنتور دو تعرفه	عادی	اوج بار
ساعات فصل	۲۲-۱۸	۱۸-۲۲
	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 آلایزور 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 ۳/۳۰ برای ساعات اوج بار و ۰/۲۵ برای ساعات کم باری سالانه در حدود ۱۵ میلیون ریال صرفه‌جویی اقتصادی برای آن کارخانه در پی خواهد داشت.

$$\begin{aligned} & \text{صرفه‌جویی اقتصادی حاصل از تعویض کنتور} \quad ۱۵/۰۰۰/۰۰۰ \text{ (Rial/year)} \\ & \text{هزینه نصب کنتور سه تعرفه} \quad ۵/۰۰۰/۰۰۰ \text{ (Rial)} \\ & \text{زمان بازگشت سرمایه ۴ ماه می‌باشد.} \quad ۵,۰۰۰,۰۰۰ + ۱۵,۰۰۰,۰۰۰ = ۰/۳۲ \text{ Year} \cong ۴ \text{ (Month)} \end{aligned}$$

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 هزینه 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:

$$\begin{aligned} & \text{انرژی مصرفی در ساعات اوج بار در روزهای جمعه در سال} \quad ۲۳۰,۰۰۰ \text{ (KWh)} \\ & \text{هزینه اوج بار مصرفی روزهای جمعه در کنتور دو تعرفه در سال} \quad ۶۲,۳۰۰,۰۰۰ \text{ (Rial)} \\ & \text{کاهش هزینه انرژی با استفاده از کنتور تعرفه جمعه در سال} \quad ۱۴,۹۰۰,۰۰۰ \text{ (Rial)} \\ & \text{هزینه نصب کنتور تعرفه جمعه} \quad ۳,۰۰۰,۰۰۰ \text{ (Rial)} \\ & \text{زمان بازگشت سرمایه ۳ ماه می‌باشد.} \quad ۳,۰۰۰,۰۰۰ + ۱۴,۹۰۰,۰۰۰ = ۰/۲ \text{ Year} \cong ۳ \text{ (Month)} \end{aligned}$$

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

بیک سانی در آسیابهای دوغاب

(بالمیل‌های تهیه باده)

تولید سالانه این کارخانه برابر است با:

$$12475 \text{ m}^3 = 27424 \div 2 = \text{متوسط تولید روزانه}$$

$$4179.13 \text{ m}^3/\text{year} = 335 \text{ day/year} \times 12475 \text{ m}^3/\text{day} = \text{متوسط تولید سالیانه}$$

با توجه به ظرفیت تولید اسمی کارخانه ، ۴/۰۰۰/۰۰۰ متر مربع در سال ، تولید کلشی طی سه روز اندازه‌گیری مصرف برق در حد ظرفیت اسمی بوده است. مصرف انرژی الکتریکی سالیانه بر اساس اندازه‌گیری برابر است با :

$$7313 \text{ KWh} = \text{میانگین مصرف انرژی الکتریکی روزانه}$$

$$2449855 \text{ KWh} = 7313 \times 335 = \text{میانگین مصرف انرژی الکتریکی سالیانه}$$

درصد سهم مصرف و ضرایب هزینه برق در ساعات شبانه روز

	عادی	اوج بار	بی‌باری
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. محاسبه هزینه‌ها طبق رابطه زیر انجام شده است.

$$K = 1/0.5 \times 63/5 \times (\text{درصد سهم مصرف واقعی}) \times (\text{KWh سالیانه}) = \text{هزینه سالیانه هر نوبت (ریال)}$$

هزینه (میلیون ریال)	عادی	اوج بار	کم باری	جمع کل
	۶۷/۲	۷۱	۲۶/۳۲	۱۶۴/۵

جهت کاهش هزینه برق این واحد با مصرف سالیانه 2449855 KWh ، سه طرح مدیریت مصرف پیشنهاد می‌گردد. با توجه به مصرف 7313 KWh طی ۲۴ ساعت حاصل از اندازه‌گیری و توان هر بالمیل برابر 90 KW ، بالمیل ساعت مورد نیاز برابر است با:

$$7313 \div 90 = 81/3$$

با در نظر گرفتن مدت ۸ الی ۹ ساعت (میانگین $8/5$ ساعت) برای هر دوره کار بالمیل، بطور متوسط تعداد بالمیل‌های مورد نیاز طی ۲۴ ساعت برابر است با:

$$81/3 \div 8/5 = 9/6$$

پس طی ۲۴ ساعت تعداد ۱۰ بالمیل موجود، بطور متوسط هر کدام تنها یکبار مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند.

ظرفیت مخازن ذخیره دوقاب با حجم 260 m^3 برابر است با:

$$260 \text{ m}^3 \times (1/57 \text{ ton/m}^3) = (408/2 \text{ ton})$$

مقدار دوقاب تولیدی از ۱۰ بالمیل در یک دوره کاری برابر است با:

$$10 \times 22 = 220 \text{ (ton)}$$

بنابراین مخازن موجود، گنجایش ذخیره‌سازی دوقاب، تا $1/5$ برابر مقدار مورد نیاز را دارند.

با فرض اینکه عنوان ضریب رزرو بالمیل‌ها $(0 < r < 1)$ و $(1 - r)$ باشد و تعداد بالمیل‌های مورد بهره‌برداری طی ۲۴ ساعت ۱۰ باشد، لذا سه طرح پیشنهادی ارائه می‌گردد.

یکسانی در آسباب‌های 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 با توجه به ۱۱ ساعت کارکرد هر بالمیل در یک شارژ، ۲۸۰۰۰ لیتر مصرف روزانه لعاب، با یکبارگیری بالمیل‌ها در ۸ ساعت کم باری و ۳ ساعت از بار عادی تأمین می‌گردد.

- محاسبه هزینه فعلی مصرف برق:

$$4 \times 22 + 4 \times 15 = 148 \text{ (KW)}$$

توان مورد نیاز:

$$148 \text{ kw/day} \times 11 \text{ hr} \times 335 = 545400 \text{ (KWh)}$$

مصرف سالیانه برق:

میانگین هزینه یک کیلووات ساعت:

$$(\text{ریال}) \quad 66/67 = 24 \times 62/5 + 4 \times 2/5 + 8 \times 0/4 + 12$$

هزینه فعلی مصرف برق:

$$(\text{میلیون ریال}) \quad 38/18 = 1/05 = 545400 \times 66/67$$

- با اعمال مدیریت مصرف و انتخاب یکی از سه حالات ممکن پیشنهادی در جدول زیر ضمن پیکسالی شبکه، صرفه‌جویی 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:

$$(\text{ریال}) \quad 35/7 = 11 \times 62/5 + 3 \times 1 + 8 \times 0/4$$

کاهش هزینه مصرف برق نسبت به هزینه فعلی (۱۸/۳۸ میلیون ریال)					
حالات ممکن	توان (KW)	حجم روزانه تولید کعب	کیلووات ساعت سالانه	هزینه سالانه (ریال)	صرفه‌جویی نسبت به هزینه فعلی (میلیون ریال)
اول	$4 \times 4 + 22 \times 15$	۸۰۰۰+۲۰۰۰	۵۲۵۴۰۰	۴/۲۰	۸/۱۷
دوم	$5 \times 2 + 22 \times 15$	۴۰۰۰+۲۵۰۰	۵۱۵۹۰۰	۴/۱۹	۸/۱۸
سوم	$5 \times 5/7 + 15 + 22$	۲۰۰۰+۲۵۰۰ 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 ملقی 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 نیروگاه‌ها 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 به‌عنوان 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 اشعاعات بسیار زیاد و پراکندگی و گستردگی این شبکه‌ها، تلفات آنها بالا و بیش از ۱۰ درصد است.

در سال ۱۳۸۵ 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 ۴۳۷۴۱/۸ 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 ۳۱۴ 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 نوبه 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.

$$\text{ضریب افزایش تلفات} = \frac{L_{\text{new}}}{L_{\text{old}}} \times \left(\frac{P_{\text{new}}}{P_{\text{old}}} \right)^2$$

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 مصرف‌کننده مشخص، از مجموع تلفات لحظه‌ای توان به دست می‌آید، اگر مقاومت هادیها و جریان عبوری از آنها را به ترتیب با I_l و R_l نشان دهیم، مقدار تلفات انرژی از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$EL = R_1 \left(\frac{P_1}{U_1 \cos \varphi_1} \right)^2 + \dots + R_n \left(\frac{P_n}{U_n \cos \varphi_n} \right)^2$$

همانطور که این رابطه نشان می‌دهد تغییر هر یک از سه عامل P (توان اکتیو)، U (ولتاژ فاز یا فاز) و $\cos \varphi$ (ضریب قدرت) می‌تواند 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 4×8760 عدد تنها برای مقادیر P ، $U \cos \varphi$ 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 تقریب‌ها میسر نمی‌باشد. لذا در این قسمت به این نکات اشاره می‌گردد.

۴-۴-۲- 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 روشنایی می‌باشد. در حقیقت در اینجا با نیروگاه همانند یک مؤسسه مصرف کننده انرژی برخورد می‌شود که فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی در تأسیسات الکتریکی و سیستم روشنایی آن وجود دارد.

عدم استفاده از انرژی الکتریکی جهت سرمایش و گرمایش ساختمان‌های اداری، سالن‌های تولید و کارگاههای نیروگاه یکی دیگر از راهکارهای صرفه‌جویی انرژی در نیروگاه می‌باشد. نهایتاً تعویض و یا اصلاح ترانسفورماتورها و الکتروموتورهای کم بارده 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 جابجایی 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

باید در این حالت، ژنراتورها به صورت زیر تحریک^۱ 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 سکرون و SVC)
 - ۲- با جابجایی قدرت راکتیو در شبکه بوسیله ترانسفورماتورهای متغیر^۲ (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 طولی 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 جریان 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 زوئی اضافی ایجاد شده در کابل تغذیه را نیز بپردازد.

مؤسسات تولید کننده همچنین دلیل کافی برای عدم ضرورت انتقال توان راکتیو غیر ضروری 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 $\pm 5\%$ 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 در جبران بار، مدنظر است متعادل کردن بار است. اکثر شبکه‌های نیرو AC سه فاز بوده و برای عملکرد متعادل طراحی می‌شوند. عملکرد نامتعادل منجر به ایجاد مؤلفه‌های جریان توانی 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 ریبیل^۱ 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 ساز هستند که باید بوسیله فیلتر خارجی تضعیف شوند.

۵-۲- بهبود ضریب توان

محدود کردن توان راکتیو کارخانه‌ها

همانطور که می‌دانیم موتورهای استکرون به علت جریان مغناطیسی که لازم دارند باعث تغییرات $\cos\phi$ شبکه می‌شوند و هر چه قدرت موتور بیشتر باشد، جریان مغناطیسی کننده آن نیز بیشتر خواهد بود. در ضمن ضریب توان ($\cos\phi$) 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.

علت تغییرات (Cosφ) نسبت به بار، این است که موتورهای هنگام بی‌باری جریان مغناطیسی زیادی از شبکه می‌گیرند. علاوه بر این، موتورهای بر حسب وات ناچیز است و فقط به اندازه‌ای است، که تلفات ماشین را ببوشاند. بدین جهت اگر بخواهیم مصرف راکتیو کارخانه‌ای را محدود کنیم، کافی است، که قدرت موتورهای را متناسب با قدرت ماشین‌های اقاز 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 بی‌بار ماشین‌ها حتی الامکان جلوگیری کرد و اگر نحوه کار ماشین‌ها طوری است، که موتورهای مدت نسبتاً زیادی به صورت بی‌بار 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 ۵۰/۷ 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. در ضمن بهتر است که هیچگاه کابل‌ها از تابلو قطع نشوند، بلکه مصرف کنندگان 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 القایی سه فاز

تلفات ماشین یا همان تلفات داخلی موتور به دو دسته تقسیم می‌شوند:

۱- تلفات ثابت شامل:

الف) تلفات هسته در روتور^۱ و استاتور^۲ بخاطر تلفات هیستریزی 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 بخش توان در موتورهای القایی سه فاز

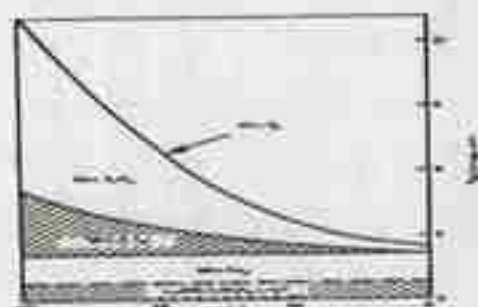
قبل از آنکه آزمایش‌های مربوط به تعیین تلفات درون اینگونه موتورهای را توضیح دهیم، قدری درباره چگونگی بخش توان در موتورهای القایی صحبت می‌کنیم. علت این امر آن است که محاسبات عددی در مورد آزمایش‌ها را واضح‌تر می‌سازد.

برای سهولت امر، شکل ۷-۲ را در نظر می‌گیریم. هرگاه سیم‌پیچ استاتور به منبع تغذیه (شبکه) وصل گردد، توان الکتریکی وارد موتور می‌شود و چون موتورهای سه فاز هستند، این توان وارد شده به موتور اینچنین خواهد بود (بر حسب وات یا کیلووات):

$$P = \sqrt{3} V_L I_L \cos \theta$$

هنگام آزمایش بر روی موتور ضریب توان ($\cos \theta$) مشخص نیست اما با استفاده از روش دو واتمتری می‌توان توان ورودی را سنجید.

$$P_1 = W_1 + W_2$$



شکل شماره 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_{Cu}) 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 هوایی به روتور منتقل می‌شود، لذا:

$$P_R = P_1 - P_C - P_{Cu}$$

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:

$$P_{CuR} = s P_R$$

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.

$$P_G = P_{dev} - P_M$$

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 می‌نماییم.

ب) کل تلفات ثابت مربوط به تلفات مکانیکی روتور بوده و آنرا در مدار روتور منظور می‌کنیم در عمل ممکن است هر دو روش فوق را انجام دهیم ولی در هر مورد خطا حاصل می‌شود زیرا:

۱- در حالت اول که کل تلفات را برای استاتور منظور می‌نماییم، 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 می‌نماییم، 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 محتاطانه‌تری از راندمان بدست خواهیم آورد زیرا تلفات محاسبه شده قدری از مقدار واقعی بیشتر خواهد شد.

ب) از آنجائیکه توان مکانیکی (P_{me}) 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_{me} در معادله P_{O} منظور می‌کنیم.

۵-۵-۵- آزمایش‌های مربوط به تعیین تلفات

دو آزمایش برای تعیین تلفات موتورهای القایی 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:

$$P_{\text{CuS}} = 3/2 r_e I_L^2$$

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.

۵-۶-۵- روش راه‌اندازی موتورهای القایی 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 استکرون 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 کیلوواتی) اعمال نمود ولی برای موتورهای بزرگتر باید از

راه اندازه‌های مخصوص استفاده کرد. یکی از روشهای متداول، استفاده از راه‌اندازهای "ستاره - مثلث" می‌باشد. از این راه اندازه‌ها می‌توان برای موتورهایی که استاتور آنها بصورت مثلث می‌باشد استفاده نمود. ابتدا سیم‌پیچ‌های استاتور را مطابق شکل (۳-۷) 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:

$$I_p = \frac{V_L}{Z}$$

$$I_{LA} = \sqrt{3} I_p = \frac{\sqrt{3} V_L}{Z}$$

در اتصال ستاره جریان راه‌اندازی اینچنین است:

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

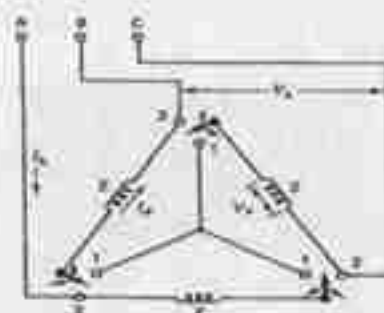
$$I_p = \frac{V_p}{Z} = \frac{V_L}{\sqrt{3}Z}$$

$$I_{LY} = I_p = \frac{V_L}{\sqrt{3}Z}$$

$$\frac{I_{LY}}{I_{LA}} = \frac{V_L / (\sqrt{3}Z)}{(\sqrt{3} V_L) / Z} = \frac{1}{\sqrt{3}\sqrt{3}} = \frac{1}{3}$$

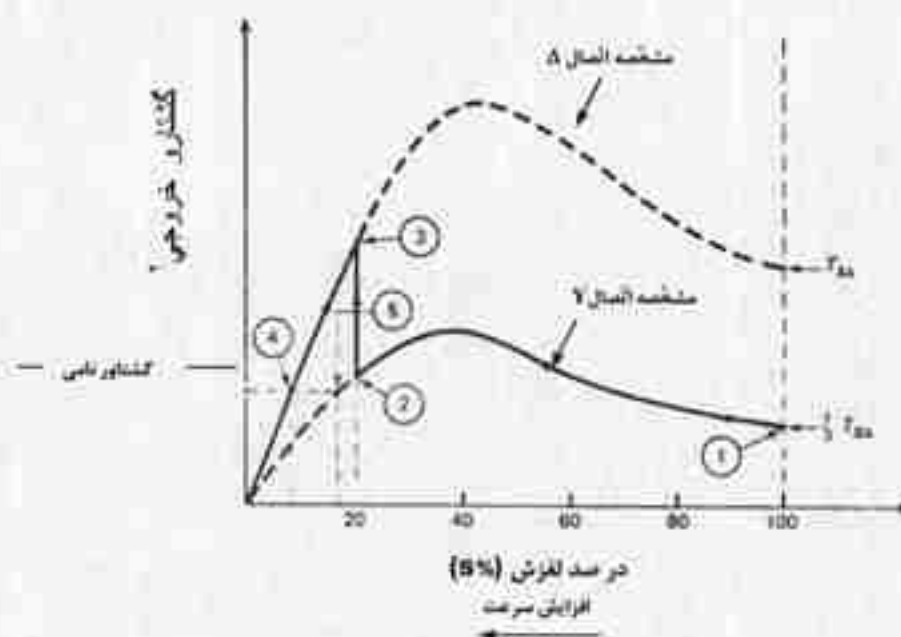
$$I_{LY} = \frac{1}{3} I_{LA}$$

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 (۳-۷) - شمای راه‌انداز ستاره-مثلث در موتورهای القایی سه فاز

می شود منحنی TSC مطابق شکل (۴-۷) می باشد. در لحظه راه اندازی از نقطه شماره (۱) شروع می کنیم و با سرعت گرفتن موتور به نقطه (۲) می رویم در این لحظه است که از وضعیت ستاره به وضعیت مثلث تغییر مکان می دهیم. لذا یک افزایش ناگهانی در گشتاور پدید می آید (نقطه ۳). موتور از نقطه (۳) به شتاب خود ادامه می دهد تا بالاخره به نقطه (۴) مربوط به شرایط اسمی ماشین برسیم. باید گفت که اگر از وضعیت ستاره به وضعیت مثلث نمی رفتیم در منحنی پلینی باقی می ماندیم و نقطه کار ماشین همان نقطه (۵) خواهد بود. همانطور که مشاهده می شود سرعت در نقطه (۵) به مراتب کمتر از سرعت در نقطه (۴) است. زیرا لغزش در نقطه (۵) از لغزش در نقطه (۴) بیشتر می باشد.



شکل (۴-۷) - منحنی گشتاور-لغزش هنگام استفاده از کلید راه انداز ستاره مثلث

فصل هشتم

صرفه‌جویی انرژی در سیستم‌های تولید هوای فشرده

خلاصه

در این مجموعه گردآوری شده به سازوکارهای اساسی در بهره‌برداری از سیستم‌های هوای فشرده خواهیم پرداخت.

راهکارها و فرصت‌های بهبود کارایی انرژی و صرفه‌جویی 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 صرفه‌جویی‌های انرژی ناشی از فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی در کمپرسورها ارائه می‌گردد.

۱- مقدمه

هوای فشرده یکی از پویایی‌های^۱ 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، بدلائل:

نشت هوای فشرده، انتخاب نامناسب کمپرسورها، مصرف ناصحیح هوای فشرده و کنترل ضعیف روی سیستم هوای فشرده،

اغلب سیستم‌های هوای فشرده دارای بازده پائین هستند. در این فصل، ظرفیت‌های صرفه‌جویی انرژی برای کاهش هزینه‌های عملیاتی در سیستم‌های تولید هوای فشرده توضیح داده می‌شوند. در ابتدا، یک مرور اجمالی

بر مبانی مترادف‌سازی 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 صرفه‌جویی انرژی جهت کمی‌سازی میزان صرفه‌جویی با مثالهای تشریحی را ارائه خواهیم داد.

۲- مروری بر مبانی اولیه

شکل (۱-۲) نشان دهنده 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 بنا 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 کننده هوای فشرده را تغذیه می‌کند.
- سایر تجهیزات مانند دریافت کننده‌ها^۱، خشک‌کن‌ها^۲ و صافی‌ها^۳ (فیلترها).



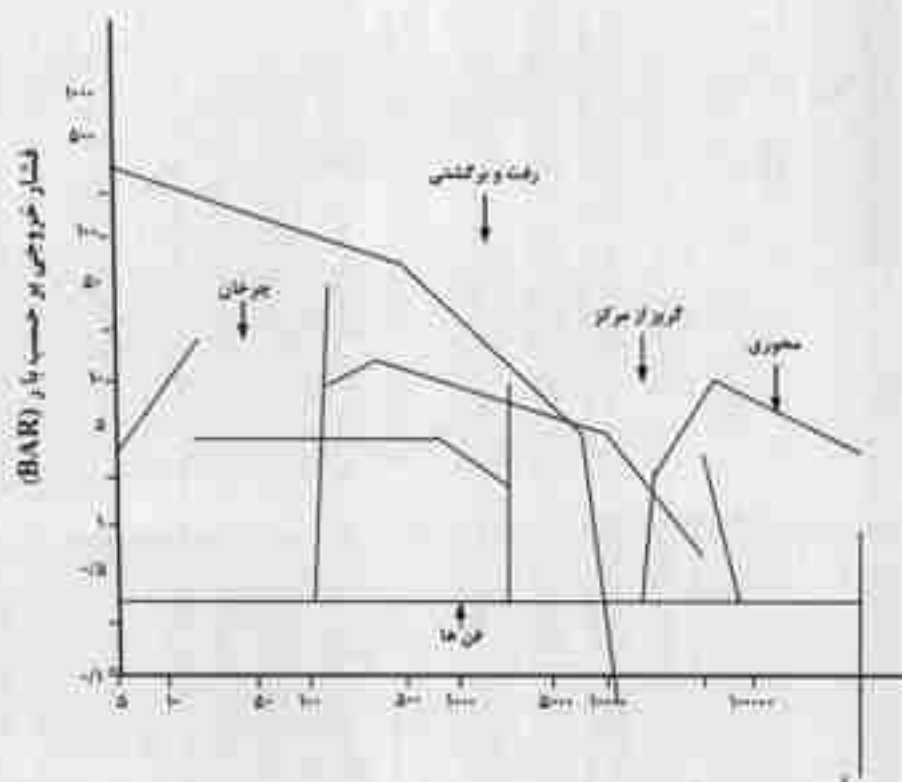
شکل شماره (۱-۸) نمودار کارکرد سیستم هوای فشرده توسط یک موتور الکتریکی

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.

گروه دوم:

کمپرسورهایی هستند که دارای آهنگ حجمی زیاد و فشار کمتریند. این گروه نیز بر اساس قانون عمومی سیالات و مکش سیال عمل می کنند. این نوع کمپرسورها هوا را از یک جهت مکشیده و از جهت دیگر به شتاب خارج می کنند. با توجه به استفاده هوا با آهنگ حجمی بسیار بالا در توربین گاز، کمپرسور آن از این گروه است.



شکل شماره (۳-۸) - نمودار مقایسه دبی و فشار خروجی در کمپرسورهای مختلف

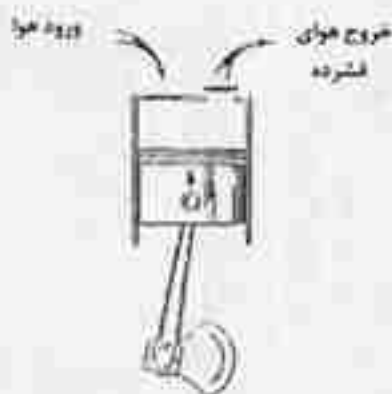
۳-۱- انواع کمپرسورها:

الف - کمپرسورهای جابجایی^۱

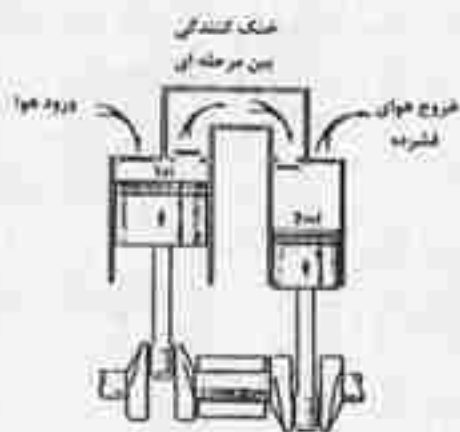
این نوع از کمپرسورها یک مقدار معینی از هوا را در مدت معینی از زمان در یک سیلندر جذب می کنند. این سیستم حجم هوا را کاسته و آن را فشرده می سازد. پس از این فشرده سازی، هوا که فشار آن بالا رفته تخلیه می گردد. این نوع کمپرسورها به چهار گونه با طبقه تقسیم بندی می شوند.

کمپرسورهای با پیستونهای رفت و برگشتی^۱:

این نوع از کمپرسورها شکل (۴-۸ الف) و (۴-۸ ب) با مدل‌های متنوع و اندازه‌های مختلف بصورت خیلی رایج در صنعت مورد استفاده قرار گرفته‌اند. توان مورد نیاز برای این کمپرسورها می‌تواند از ۱ KW تا بیش از ۹۰۰۰ KW 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 شماره (۴-۸ الف) - کمپرسور رفت و برگشتی تک مرحله‌ای



شکل شماره (۴-۸ ب) - کمپرسور رفت و برگشتی دو مرحله‌ای

کمپرسورهای چرخان^۱:

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 ۱۲KW یا بیشتر را دارند، توان بالایی را مصرف می‌کنند که در گستره ۶٪ تا ۲۰٪ این توان مصرفی به ازای هر متر مکعب در دقیقه (m^3/min) تغییر می‌نماید. به عبارت دیگر مصرف انرژی ویژه^۲ کمپرسورهای چرخان حدود ۶٪ تا ۲۰٪ بیش از مصرف توان ویژه کمپرسورهای پیستونی است.



شکل شمارة (۸-۴-ج) - کمپرسور چرخان

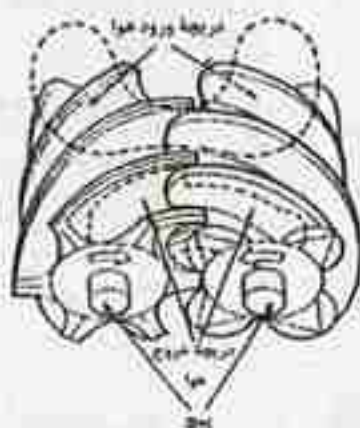
کمپرسورهای پیچی^۳:

هنگامی که از ترکیب این نوع کمپرسورها، شکل (۸-۴-د)، و سیستم‌های کنترل و هشدار دهنده پیچیده استفاده شود می‌تواند به مدت طولانی، بدون نیاز به تعمیرات اضافی، کار کنند. کمپرسورهای پیچی مزایایی مانند هزینه سرمایه‌گذاری پایین‌تر، توزیع یکنواخت‌تر هوا، و نیاز به فضای کمتری را دارا هستند.

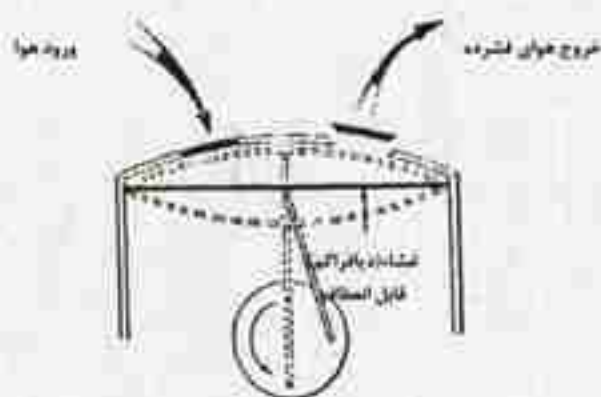
کمپرسورهای دیافراگمی^۴:

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 شماره (۸-۴-۵) - کمپرسور جنبشی



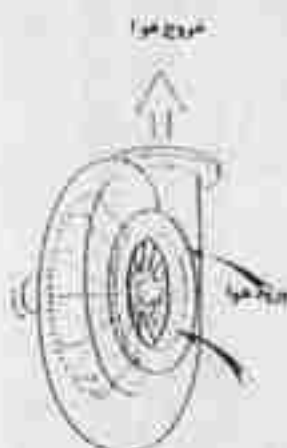
شکل شماره (۸-۴-۶) - کمپرسور دینامیکی

ب- کمپرسورهای دینامیکی^۱

کمپرسورهای دینامیکی بطور پیوسته هوا را مکیده و سپس سرعت جریان هوا را افزایش می دهد. این افزایش سرعت به منزله افزایش انرژی جنبشی هواست. هنگامی که سرعت جریان هوا در سیستم توزیع شروع به کاهش می نماید، انرژی جنبشی شروع به تبدیل شدن به انرژی فشاری می کند. بقیه انرژی جنبشی که تبدیل به انرژی فشاری نشده است تبدیل به انرژی حرارتی می شود. خنک سازی از ضروریات این نوع از کمپرسورهاست.

توربو کمپرسورها:

این نوع از کمپرسورها بر دو نوع کمپرسورهای گریز از مرکزی^۱ و مجوری^۲، شکل (۵-۸) می‌باشند. استفاده از این کمپرسورها عموماً در صنایع و فرایندهای شیمیایی، کارخانجات فولاد، پالایشگاهها و پتروشیمی‌ها و سیستمهای انتقال سیال که به جریان بسیار بالای هوایازدارندگی باشد، تا ظرفیت $40 \text{ (m}^3/\text{min)}$ نمی‌توانند بطور کارا (با کارایی بالاتر) کار کنند. به این دلیل این نوع از کمپرسورها در سیستم‌های هوای فشرده کارخانجات کوچک بکار گرفته نمی‌شوند.



شکل شماره (۵-۸) - توربو کمپرسور

۴- تولید هوای فشرده

تولید هوای فشرده، مفهوم نسبتاً ساده‌تری را دارد و عموماً، توان مکانیکی اعمال شده به کمپرسور موجب افزایش فشار هوای ورودی می‌گردد. این هوای ورودی به کمپرسور شرایط جوی (اتمسفریک) (فشار 100 Kpa یا 1 bar) را داراست. کمپرسورها می‌توانند با انواع مختلف، مانند کمپرسورهای گریز از مرکزی^۱، کمپرسورهای جابجایی^۴ یا کمپرسورهای پیچی^۵ با یک یا دو مرحله انتخاب شوند. برای واحدهای کوچک یا متوسط، کمپرسورهای پیچی بطور رایج در کاربردهای صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. جدول (۱-۸) نمونه فشار، نرخ هوادهی و توان مکانیکی مورد نیاز بصورت گستره‌هایی برای انواع مختلف کمپرسورها را نشان می‌دهد.

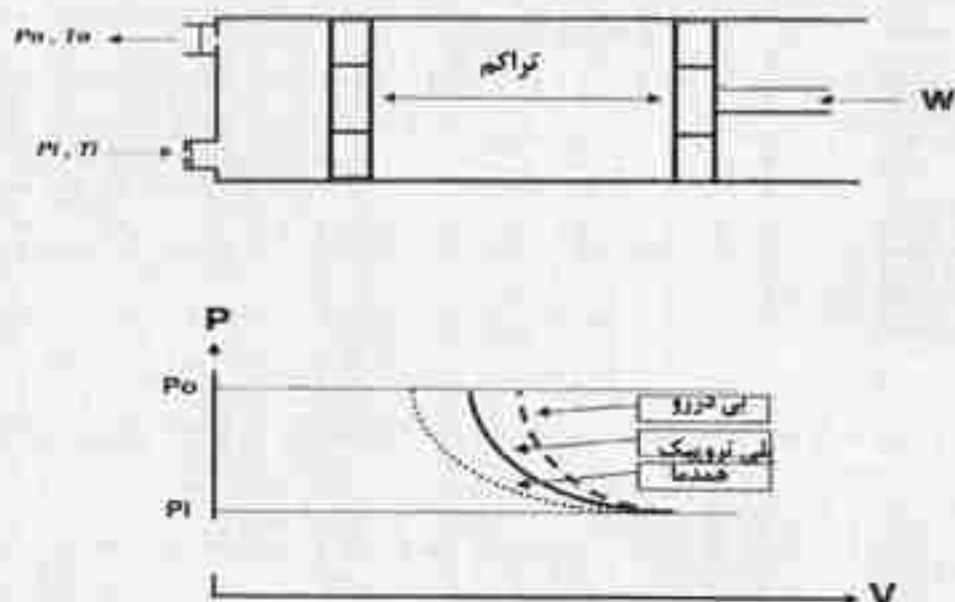
- 1- Centrifugal Compressors
- 2- Axial Compressors
- 3- Centrifugal Compressors
- 4- Displacement
- 5- Screw

جدول شماره (۸-۱) - گسترده های 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	۰/۲۴-۲۷۵/۹	۰/۲۵-۰/۳۹
گریز از مرکزی	۰/۵-۷۰/۵	۲/۵-۱۰۳۴/۳	۰/۴۶
پیچشی	۰/۵-۱۶/۵	۰/۱-۱/۸	۰/۳۳-۰/۴۱

با اعمال قانون اول ترمودینامیک روی گازهای ایده آل می توان تحلیل ساده ای از انرژی را در کمپرسورها انجام داد. با یک مرور ابتدایی روی تحلیل انرژی اعمال شده برای تراکم گاز ایده آل می توان پارامترهای مؤثر در کاهش انرژی برای تولید هوای فشرده را شناسایی نمود.

شکل (۸-۶) نمایانگر یک پیستون - سیلندر در خلال تراکم یک گاز ایده آل است. این شکل، کل تغییرات فشار را بصورت تابعی از حجم اشغال شده توسط گاز در یک دیاگرام P-V، برای تراکم های همدم، بی دررو^۱ و پلی تروپیک^۲ نشان می دهد.



شکل شماره (۸-۶) - فرایندهای تراکم همدم و بی دررو و پلی تروپیک

- 1 - Isothermal
- 2 - Adiabatic
- 3 - Polytropic

رابطه بین دماها و فشارها در ورودی (با مکش) و خروجی یا (تخلیه) یک کمپرسور در فرایندهای تراکم پلی تروپیک، بی دررو و همدمای می تواند بصورت رابطه زیر خلاصه شود:

$$\frac{T_e}{T_i} = \left[\frac{P_e}{P_i} \right]^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad \text{رابطه شماره (۱-۸)}$$

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- $\gamma = 1$ ، هنگامی که تراکم همدمای باشد.

$\gamma = K$ ، هنگامی که تراکم بی دررو باشد ($K = 1/4$ برای هوای خشک)

$\gamma < K$ ، هنگامی که تراکم پلی تروپیک باشد (بطور نمونه $K = 1/3$ برای هوای خشک)

بایستی یادآور شویم که برای هوای خشک، یک رابطه ساده بین فشار، دما و جگالی موجود است این رابطه همان معادله حالت است (یعنی $P.V = m.R.T$) که توسط معادله (۲-۸) برای هوای ورودی کمپرسور ارائه می شود:

$$P_i = \rho_i \cdot Z_{a,i} \cdot R_a \cdot T_i \quad \text{رابطه شماره (۲-۸)}$$

برای هوای خشک، ثابت R_a از طریق تقسیم ثابت عمومی گازهای ایده آل R ($R = 8314/4 \text{ J/Kg.mol. K}$) به جرم مولی هوا ($M_a = 28/9$) محاسبه می شود بنابراین مقدار ثابت R_a معادل 287 J/(Kg. K) است مضافاً اینکه، فاکتور تراکم پذیری $Z_{a,i}$ دلالت بر رفتار متفاوت هوا با گاز ایده آل در مسئله تراکم پذیری دارد. مقدار $Z_{a,i}$ گستره ای بین صفر و یک را داراست و وابسته به فشار و دمای هوا است. برای فشار بالای 2000 Kpa (200 atm)، فرض می شود که هوای خشک مانند یک گاز ایده آل رفتار می کند. بطوریکه $Z_{a,i} = 1$

شایان ذکر است که یک عبارت شبیه به رابطه (۲-۸) می تواند برای هوای خروجی کمپرسور نیز وجود داشته باشد. کار مورد نیاز برای تراکم یک آهنگ جریان جرمی $\dot{m}_a$ از هوای خشک می تواند از روی اعمال قانون اول ترمودینامیک روی یک فرایند تراکم گاز ایده آل تخمین زده شود. بویژه، توان مکانیکی مورد نیاز برای یک تراکم همدمای می تواند از روی معادله (۳-۸) محاسبه شود.

$$\dot{W}_a = \dot{m}_a \cdot Z_{a,i} \cdot T_i \cdot \ln \left(\frac{P_0}{P_i} \right) \quad \text{رابطه شماره (۳-۸)}$$

توان مکانیکی مورد نیاز برای تراکم بی دررو و یا پلی تروپیک می تواند از روی معادله (۴-۸) تخمین زده شود.

$$\dot{W}_m = \frac{\dot{m}_a \cdot R \cdot T_1 \cdot \gamma}{\gamma - 1} \left[\left(\frac{P_0}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right] \quad \text{رابطه شماره (۴-۸)}$$

دو مشاهده مهم از روابط (۳-۸) و (۴-۸) در ارتباط با کارایی انرژی کمپرسورها خواهیم داشت:

الف) توان مکانیکی یک کمپرسور بطور خطی با دمای هوای ورودی افزایش می یابد. 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 می یابد بنابراین، تولید هوای فشرده با فشار تخلیه محدود به ماکزیمم فشار لازم برای تأسیسات، حائز اهمیت است. به عبارت دیگر، از فشرده سازی بیش از حد هوا تا حد ممکن بایستی اجتناب شود. مضافاً، تغییر فشار هوای ورودی می تواند اثر بسزایی روی توان مکانیکی مورد نیاز برای یک کمپرسور بگذارد. بویژه اثر ارتفاع روی فشار محیط باید مد نظر قرار گیرد.

مثال (۱-۸) یک تحلیل مقایسه ای برای توان مکانیکی مورد نیاز جهت سه نوع تراکم (همدمای، بی دررو و پلی تروپیک) را ارائه می دهد. از نتایج مثال (۱-۸) روشن می شود که تراکم بی دررو نسبت به دو نوع تراکم دیگر، انرژی ورودی بیشتری را می طلبد. حالت تراکم همدمای 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، خنک سازی هوا در مدت فرایند تراکم بایستی انجام شود. متأسفانه در کمپرسورهای واقعی، شرایط ایده آل دمای ثابت برای هوا قابل تحقق نیست اما با این وجود، چنانچه خنک سازی مناسب هوای ورودی تأمین گردد یک تراکم پلی تروپیک می تواند مبین یک تراکم واقعی باشد.

چنانچه بعداً مورد بحث قرار خواهد گرفت، خنک کن های بین دو مرحله ای^۱ جهت پراکندن حرارت در مدت زمان تراکم بکار می روند.

مثال (۱-۸) 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 تراکم های ایزوترمال، آدیاباتیک، یا پلی تروپیک (γ = ۱/۳) بیابید.

حل -

از رابطه (۳-۸) استفاده می کنیم که $P_0 = ۱۰۰ \text{ Kpa}$ و $P_1 = ۸۰۰ \text{ Kpa}$ و $T_1 = ۲۰ + ۲۷۳ = ۲۹۳ \text{ K}$ و $K_a = ۲۸۷ \text{ J/(Kg.K)}$ توان مکانیکی لازم برای تراکم ایزوترمال ۱ Kg/sec هوای خشک بصورت زیر محاسبه می شود:

$$\dot{W}_m = (۱ \text{ Kg/sec}) \cdot (۲۸۷ \text{ J/Kg.K}) \cdot (۲۹۳ \text{ K}) \cdot L_n \left(\frac{۸۰۰ \text{ Kpa}}{۱۰۰ \text{ Kpa}} \right) = ۱۷۴۸۶۰ \text{ (J/sec)} = ۱۷۴/۶۸ \text{ (kw)}$$

$$\left[\left(\frac{۸۰۰}{۱۰۰} \right)^{\frac{1/3-1}{1/3}} - 1 \right] = ۲۳۸/۸۲ \text{ KW}$$

برای تراکم پلی تروپیک، توان مکانیکی لازم از روی رابطه (۴-۸) و با فرض $\gamma = K = 1/3$ محاسبه می‌شود:

$$\dot{W}_m = \frac{(1 \text{ Kg/sec}) \times (287 \text{ J/Kg.K}) \times (293 \text{ K}) \times 1/3}{1/3 - 1} \left[\left(\frac{800}{100} \right)^{\frac{1/3-1}{1/3}} - 1 \right] = 224/42 \text{ KW}$$

همانطور که انتظار می‌رفت تراکم همدم 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 مبتنی یک فرایند تراکم واقعی است توان مکانیکی مورد نیازش بین توان مکانیکی همدم 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 (۳-۲) می‌تواند برای تعیین چگالی هوا (با $Z_{air} = 1$) بکار رود. برای $T_1 = 293 \text{ K}$ و $P_1 = 100 \text{ Kpa}$ ، چگالی هوا $1/189 \text{ Kg/m}^3$ می‌باشد پس توان مکانیکی ورودی برای سه نوع تراکم به ترتیب زیر می‌باشد:

$0/21 \text{ KW/L/sec}$ برای تراکم همدم، $0/27 \text{ KW/L/sec}$ برای تراکم پلی تروپیک و $0/29 \text{ KW/L/sec}$ 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 $K = 1/4$ 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 مبتنی 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.

$$\text{KWh}_{\text{Comp}} = \frac{\dot{W}_m \cdot \text{LF}_{\text{Comp}} \cdot N_{h,\text{Comp}}}{\eta_M} \quad \text{رابطه شماره (۵-۸)}$$

$\dot{W}_m$ = توان مکانیکی مورد نیاز توسط کمپرسور که مطابق رابطه (۳-۸) و (۴-۸) تخمین زده می‌شود.

$N_{h,\text{Comp}}$ = 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- صافی‌ها (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 اندازه ذراتی که همراه هوا وارد کمپرسور می‌شوند، صافی‌های 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: کارایی صافی و افت فشار حاصل از صافی. کارایی صافی هوا، مشخصاً بصورت درصد ذرات نگه داشته شده تعریف می‌شود. افت فشار روی صافی هوا با 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 سرانگشتی، به ازای هر 100 Kpa افت فشار، آهنگ جرمی جریان جرمی هوای کمپرسور تقریباً ۱٪ کاهش می‌یابد (با فرض اینکه کمپرسور توان یکسان را مصرف نکند). بنابراین انتخاب صافی‌های هوای مناسب و تمیز کردن دوره ای آنها به منظور کاهش مصرف انرژی سیستم تولید هوای فشرده، بسیار مهم است. مثال (۲-۸) - افزایش هزینه انرژی برای کارکرد یک سیستم هوای فشرده را بدلیل کثیفی صافی هوا نشان می‌دهد.

مثال (۲-۸) - افزایش میزان هزینه انرژی در یک کمپرسور 100 KW که 8000 ساعت در سال کار می‌کند را به خاطر کثیفی صافی هوا ببینید با فرض اینکه:

الف) راندمان موتور الکتریکی ۹۰٪ باشد.

ب) افت فشار برای یک صافی هوای تمیز 1 Kpa و برای یک فیلتر هوای کثیف 3 Kpa باشد.

ج) هزینه الکتریسیته $0.05 \text{ \$ / KWh}$ است.

حل - از قانون سرانگشتی استفاده می‌کنیم. همانطور که ذکر گردید به ازای هر 100 Kpa افزایش در افت فشار روی صافی هوا، توان مکانیکی ۱٪ افزایش می‌یابد (چون توان مکانیکی متناسب با آهنگ جرمی جریان

است). بنابراین، جریمه هزینه انرژی EC_{Pilot} ، بخاطر استفاده از اضافی هوای کثیف می‌تواند بصورت زیر محاسبه شود:

$$EC_{Pilot} = \frac{100 \times 8000 \times 0.05}{0.9} \times \left(\frac{2}{1}\right) \times 0.01 = 1320 \text{ $/year}$$

۵-۲- مخازن هوای فشرده^۱

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 اندازه مخزن (بصورت تجربی):

الف - اندازه ظرفیت مخزن در صورت نیاز بار ثابت

$$V_r = \frac{C \times B}{P}$$

ب - اندازه ظرفیت مخزن در صورت نیاز بار متغیر

$$V_r = \frac{3 \times C \times B}{P}$$

V_r = 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

۵-۳- خشک کن ها^۱

هوای محیط محتوی بخار آب بوده و در واقع بصورت یک هوای مرطوب می باشد. این بخار آب می تواند 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 کن ها هوای فشرده خشک شود. انتخاب نوع خشک کن تبعی از دو عامل مهم ذیل است:

- کیفیت هوای خشک مورد نیاز که بر حسب فشار نقطه شبنم^۲ بیان می شود.

- هزینه کل خشک کن که شامل هزینه های اولیه، عملیاتی و تعمیر نگهداری است.

روشهای متعددی برای خشک کردن هوای فشرده در سیستم های هوای فشرده وجود دارد. در بیشتر حالت ها خشک کن های تبریدی^۳ برای رساندن فشار نقطه شبنم به حدود زیر 5°C استفاده می شوند. در سایر موارد مانند فرایندهای غذایی، خشک کن ها بایستی هوای خیلی خشکی را با فشار نقطه شبنم زیر 0°C تولید نمایند. عموماً، مبدل های گرما که تحت عنوان خشک کن انتهایی^۴ شناخته می شوند وظیفه کاهش محتوی بخار آب یا گاهی بخار روغن در هوای فشرده را قبل از تحویل آن به خطوط توزیع یا مخزن های هوای فشرده برعهده دارند. بویژه، با استفاده از هوای محیط یا آب، خشک سازی هوای فشرده انجام شده و بنابراین کندانس شدن محتوی بخار آب هوای فشرده رخ می دهد. این کندانس، در جدا کننده^۵ (سپراتور) کار گذاشته شده در بعد از کمپرسور جدا می شود. بصورت سر انگشتی می توان گفت که دمای تخلیه هوای فشرده در خشک کن های انتهایی که از آب استفاده می کنند 10°C بالاتر از دمای آب بوده و در خشک کن های انتهایی که از هوا استفاده می کنند 15°C بالاتر از دمای هواست.

۵-۴- خشک کن بین مرحله ای^۶

برای پراکندن و برطرف نمودن گرمای متراکم سازی، خشک سازی سبندرها و پوشش های سبندرها، با استفاده از مبدل های حرارتی که به اینتر کولرها معروف هستند، صورت می پذیرد. این اینتر کولرها می توانند با استفاده از هوا یا آب دمای کمپرسور را کنترل نمایند. مشخصاً، خشک سازی هوای فشرده بدلیل راحتی کار ارجح است. چون این امر نیاز به سیستم تغذیه آب را بر طرف می کند، بنابراین از مشکلاتی که می تواند در سیستم توزیع آب رخ دهد (مانند خطر یخ بستن) اجتناب می گردد. ولی کاهش کافی و مناسب دمای کمپرسور در برخی کاربردها از طریق خشک سازی با هوا می تواند 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 فشرده 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 لوله کشی، آهنگ حجمی هوای فشرده توسط تعدادی شیر و تنظیم کننده‌های فشار تنظیم می‌شود. تله‌های رطوبت^۱ در طول خطوط توزیع، به منظور جداسازی هرگونه کندانس از هوای فشرده، نصب می‌گردند. فشار هوای فشرده در تجهیزات مصرف کننده 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^۲

- نشتی‌ها

یک توضیح خلاصه برای هر کدام از دلایل افت فشار در سیستم توزیع هوای فشرده در پایین 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 معادله داریسی-وایزیج^۳ بصورت زیر تخمین زده می‌شود:

$$\Delta P = \rho \left(f \cdot \frac{L}{D} + \sum K \right) \frac{V^2}{2} \quad \text{رابطه شماره (۶-۸)}$$

ΔP - کل افت فشار هوای فشرده در سیستم توزیع (Pa)

ρ - میانگین دانسیته هوای فشرده در سیستم توزیع (Kg/m^3)

f - ضریب اصطکاک^۴

$\sum K$ - 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 به‌شمار هستیم. به عنوان مثال، برخی از این فرضیات عبارتند از تعیین ضریب اصطکاک و ضرایب تلفات برای شیرها و اتصالات، ولیکن معادله (۶-۸) نشاندهنده پارامترهایی است که روی افت فشار هوای فشرده در سیستم توزیع مؤثرند.

- افت فشار با طول سیستم توزیع افزایش می‌یابد. بنابراین، یک چیدمان^۱ بهینه برای لوله کشی 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

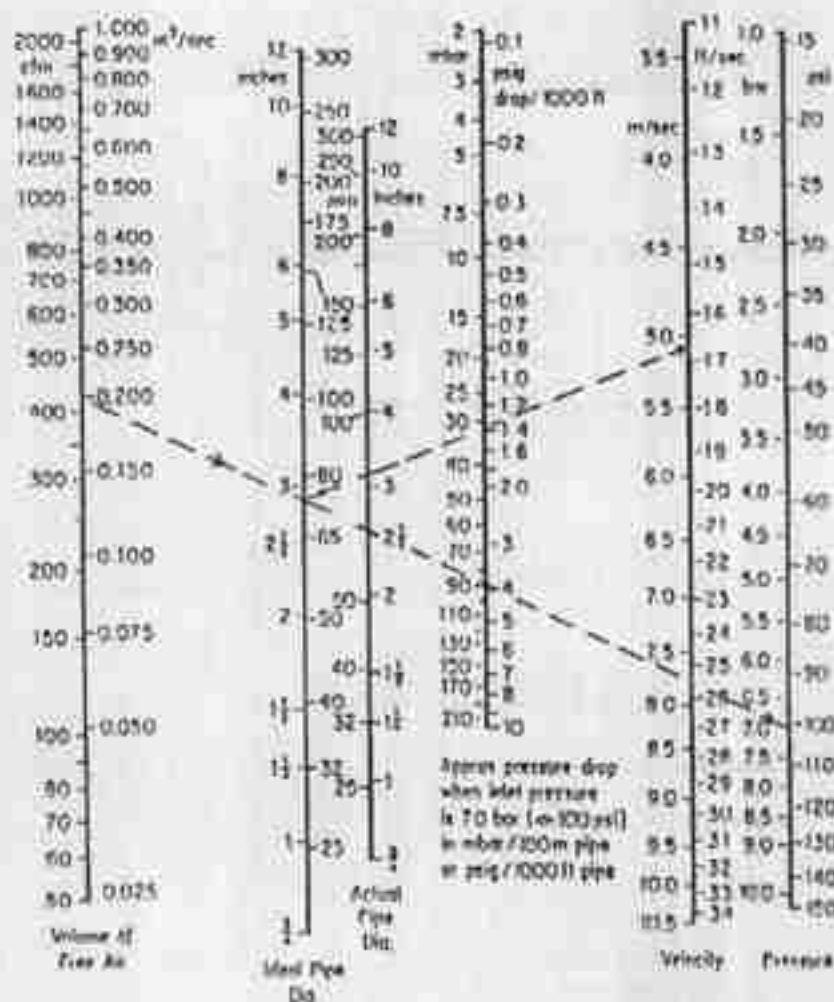
- سرعت هوای فشرده بایستی تا حد امکان کم باشد تا اینکه افت فشار در سیستم توزیع هوای فشرده کاهش یابد این کاهش سرعت خصوصاً برای تأسیساتی توصیه می شود که لوله کشی سیستم توزیع در آن طولانی است. از طریق کاهش یا کم کردن آهنگ جرمی مورد نیاز (دربار مصرف نهایی)، پائین آوردن دمای هوای فشرده، یا افزایش قطر لوله کشی، می توان سرعت جریان هوای فشرده را کاهش داد.

شکل (۷-۸) نمودار تعیین اندازه لوله ها را در سیستم های هوای فشرده نشان می دهد.

ذکر این نکته لازم است که افت فشار در سیستم توزیع هوای فشرده به منزله تلف شدن انرژی است. در واقع فشار تخلیه باید افزایش یابد تا افت فشار جریان جبران شود. معادلات (۳-۸) و (۴-۸) دلالت بر این دارند که افزایش نسبت تراکم (P_0/P_1)، سبب افزایش توان مکانیکی تأمین شونده از یک محرک (مانند الکتروموتور) برای کمپرسور می گردد.

به عنوان مثال، یک افت فشار ۵۰ Kpa در یک کمپرسور طراحی شده برای افزایش فشار از (1 atm) ۱۰۰ Kpa تا ۷۰۰ Kpa (۷ atm) متناظر با ۳٪ تلف در توان مکانیکی یا الکتریکی است که سیستم هوای فشرده را تغذیه می کند. مسائل افت فشار در سیستم توزیع که از مقاومت جریان ناشی می شوند، عموماً مسائل ذاتی بوده و طبیعتاً وابسته به طراحی و ساختار لوله کشی 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 می دهد بایستی روی شناسایی پتانسیل و عوامل کاهش دهنده اتلاف انرژی در سیستم توزیع موجود، کار کند یا تمرکز کند.

با کمک این نمودار می توانیم اندازه لوله مورد نظر را برای دستیابی به فشار دلخواه بیابیم. بعنوان مثال یک کمپرسور با خروجی هوای فشرده ($0/2 \text{ m}^3/\text{sec}$) در فشار (7bar) را در نظر بگیریم. خط کشی را طوری قرار دهیم که راستای آن در امتداد خط فرضی که حجم ($0/2 \text{ m}^3/\text{sec}$) 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) حقیقت قطر لوله ایده آل را به ما نشان می دهد. ولی این قطر عملاً قابل استفاده نبوده و استاندارد نیست برای حل این مشکل نقطه (8mm) که قطر استاندارد بالاتر از (7mm) می باشد بر روی خط سوم را در نظر گرفته و خطی را از نقطه (7mm) به نقطه (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 کابضی سرعت ($5/2 \text{ m/sec}$) را در صورت انتخاب لوله با قطر (8 mm) نشان می دهد.



۷ - نشتی‌های هوا^۱

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^۲ 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.

- (۱) **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.
- (۲) **روش حباب صابون** - روش ساده و ارزان قیمت دیگر برای شناسایی محل‌های نشت هوای فشرده، استفاده از آب و صابون در محل‌های انتخاب شده سیستم توزیع هوای فشرده، خصوصاً در محل زانویی‌ها و اتصالات و شیرها می‌باشد که تشکیل حبابهای صابون در یک محل خاص، مبین نشت در آن محل است.

ب - روشهای اندازه‌گیری

شناسایی نشت هوای فشرده با استفاده از تجهیزات آشکار ساز ماورای صوت^۳ نیز 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 خالص برنامه‌ریزی شده)، آشکار نمایند. با کمی سرمایه‌گذاری در یک برنامه تعمیر و نگهداری منظم برای آشکارسازی نشتی‌ها، دیده می‌شود که صرفه‌جویی‌های اقتصادی قابل توجهی در هزینه عملیاتی سیستم‌های تولید هوای فشرده حاصل می‌گردد.

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:

$$\Delta \dot{m}_a = \sqrt{\frac{\gamma}{R_a}} \cdot C_L \cdot A_L \cdot P_o \cdot T_o^{-\frac{1}{\gamma}} \quad \text{رابطه شماره (۷-۸)}$$

1 - Air Leaks

2 - Walk-Through-Audit

3 - Ultrasonic

که در آن:

$\dot{m}_a$: 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 کننده هوای فشرده به گروههای زیر تقسیم‌بندی می‌شوند:

(I) مصرف کننده‌های نهایی ایستا - شامل تجهیزات کنترل بادی^۱ مانند تحریک‌ها^۲ یا تنظیم کننده‌های فشار^۳. 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^۴ یا دینامیک - شامل ابزار مونتاز^۱ (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.

عمده مصرف هوای فشرده در صنعت در همین مصرف کننده‌های دینامیک است.

برای کاهش تلف انرژی، فشار تخلیه در سیستم هوای فشرده بایستی متناسب 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 (۳-۸) و (۴-۸) مراجعه نمایید).

عموماً، از هوای فشرده برای کاربردهایی که در آنها می‌توان منابع دیگر برای 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 خشک کردن، 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، صرفه‌جویی معادل ۵۰ درصد یا بیشتر را برای انرژی مصرفی بدنال خواهد داشت (دمنده بجای هوای فشرده مورد استفاده قرار می‌گیرد).

1 - Pneumatic
2 - Actuators
3 - Pressure Regulators
4 - Dynamic

۹- پتانسیل‌های رایج در صرفه‌جویی انرژی سیستم‌های تولید هوای فشرده

یکی از وظایف عمده 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، مهندسين 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 درباره کیفیت، کمیت و فشار هوای فشرده.

ج) اطلاعات طراحی و نقشه‌ها و هرگونه یادداشت در مورد تعمیرات شامل اطلاعات بهره‌برداری کمپرسور و برنامه تعمیراتی‌ها.

د) اطلاعات روی پلاک^۱ کلیه تجهیزات موجود در سیستم هوای فشرده.

ه) طرح‌های آبی 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 معیار انرژی حصول اطلاعات کافی جهت فهم جزئیات طراحی موجود، روش‌های بهره‌برداری و نگهداری جاری و طرح‌های آبی بسیار مهم است تا بتواند پتانسیل‌های صرفه‌جویی انرژی را نه تنها برای صرفه‌جویی انرژی و هزینه، بلکه برای تأمین یک سیستم هوای فشرده مطمئن پیشنهاد دهد.

در ادامه این مبحث، برخی از راه‌های صرفه‌جویی 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 30°C خواهد بود که می‌تواند بیش از این مقدار نیز باشد.

این دمای داخل بسیار بالاتر از دمای بیرون است و مطابق معادله (۳-۸) و (۴-۸) 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.

صرفه‌جویی انرژی الکتریکی $\Delta\text{KWh}_{\text{comp}}$ ، حاصل از کاهش دمای هوای ورودی به کمپرسور از روی رابطه زیر قابل محاسب خواهد بود:

$$\Delta KWh_{Comp} = \frac{\dot{W}_{m-LF_{Comp}} N_{h,Comp} (T_{i,e} - T_{i,r})}{\eta_M \cdot T_{i,e}} \quad \text{رابطه شماره (۸-۸)}$$

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 (۳-۸) کاربرد رابطه (۸-۸) را در محاسبه صرفه‌جویی انرژی حاصل از کاهش دمای هوای ورودی نشان می‌دهد.

مثال (۳-۸) - یک سیستم تولید هوای فشرده نیاز به توان مکانیکی معادل ۱۰۰ KW 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 معادله (۸-۸) استفاده می‌کنیم. صرفه‌جویی انرژی الکتریکی در اثر کاهش دمای هوای ورودی از رابطه زیر تخمین زده می‌شود:

$$\Delta KWh_{Comp} = \frac{100 \times 0.8 \times 5000 \times (35 - 12)}{0.87 \times (273 + 35)} = 34330 \text{ KWh/yr}$$

بنابراین، زمان بازگشت سرمایه ساده برای نصب سیستم لوله‌کشی جهت اتصال ورودی کمپرسور به هوای بیرون برابر است با:

$$\text{ماه} = \frac{850}{34330 \times 0.05} = 0.5 = 6$$

جدول (۲-۸) درصد انرژی صرفه‌جویی شده بر حسب درجه حرارت هوای ورودی در کمپرسورها را نشان می‌دهد.

جدول شماره (۸-۲) - درصد انرژی صرفه جویی شده بر حسب درجه حرارت هوای ورودی در کمپرسورها

دمای هوای کمپرسور بر حسب °C	حجم هوای مورد نیاز بر حسب m^3 در آهنگ حجمی $1000 m^3$ و دمای $21^\circ C$	صرفه جویی یا اضافه مصرف (kW) برای هوای ورودی با دمای $21^\circ C$
-1	926	کاهش صرفه جویی 7/5%
5	943	کاهش صرفه جویی 5/7%
10	962	کاهش صرفه جویی 3/8%
16	981	کاهش صرفه جویی 1/9%
21	1000	صرفه جویی 0
27	1020	افزایش صرفه جویی 1/9%
32	1040	افزایش صرفه جویی 3/8%
37	1060	افزایش صرفه جویی 5/7%
43	1080	افزایش صرفه جویی 7/5%
49	1100	افزایش صرفه جویی 9/5%

۹-۲- کاهش فشار تخلیه

هنگامیکه ماکزیمم فشار مورد نیاز توسط کلیه تجهیزات مصرف کننده انتهایی در یک تأسیسات، بطور چشمگیری پایین تر از فشار تحویلی توسط سیستم هوای فشرده باشد، کاهش فشار تخلیه به منظور کاهش مصرف انرژی کمپرسور توصیه می گردد. 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 می گذارد. بویژه، اضافه فشار، اتلاف هوای فشرده از محل های نشتی را افزایش می دهد. میزان صرفه جویی انرژی الکتریکی ΔKWh_{Comp} ناشی از کاهش فشار تخلیه هوای فشرده تولیدی توسط کمپرسور، از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\Delta KWh_{Comp} = \frac{\%W_m \cdot W_m \cdot LF_{Comp} \cdot N_{h,Comp}}{\eta_M} \quad \text{رابطه شماره (۸-۹)}$$

که $\%W_m$ درصد کاهش توان مکانیکی مورد نیاز توسط کمپرسور است. یا استفاده از معادلات (۸-۳) و (۸-۴)، درصد کاهش توان ورودی کمپرسور $\%W_m$ می تواند تخمین زده شود.

مثال (۸-۴) - یک سیستم هوای فشرده توان مکانیکی مورد نیازش ۵۰ KW بوده و یک موتور با رانندگی ۹۰٪ را دارد. هزینه صرفه جویی 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 می کند.

- هزینه الکتریسیته ۰/۰۵ \$/KWh می باشد.

حل - فرض کنید که فشار هوای ورودی به کمپرسور مساوی با 1 atm (101 Kpa) است، میزان کاهش در

فشار تخلیه، متناظر با کاهش در نسبت فشار $\frac{P_0}{P_i}$ از ۸ به ۷ است

درصد کاهش در توان مکانیکی مورد نیاز، W_m % می‌تواند از روی یکی از معادلات (۸-۳) با (۸-۴) حساب شود:
- برای یک تراکم همدم:

$$\%W = \frac{\ln(8) - \ln(7)}{\ln(8)} = 6/4 \%$$

از معادله (۸-۸) میزان صرفه‌جویی انرژی الکتریکی بدست می‌آید:

$$\Delta KWh_{Comp} = \frac{0.1064 \times 50 \times 4000 \times 0.17}{0.9} = 9950 \text{ KWh/year}$$

$$9950 \text{ KWh/year} \times 0.05 \text{ \$/kwh} = 500 \text{ \$/year}$$

بنابراین میزان صرفه‌جویی هزینه در اثر کاهش فشار تخلیه هوای فشرده حدود ۵۰۰ \$/year خواهد بود.

- برای یک تراکم بی دررو:

$$\%W_m = \frac{\frac{1/4-1}{(8)^{1/4}} - \frac{1/4-1}{(7)^{1/4}}}{\frac{1/4-1}{(8)^{1/4}}} = 5/7 \%$$

از معادله (۸-۸) میزان صرفه‌جویی انرژی الکتریکی بدست می‌آید:

$$\Delta KWh_{Comp} = \frac{0.1057 \times 50 \times 4000 \times 0.17}{0.9} = 8870 \text{ KWh/year}$$

$$8870 \text{ KWh/year} \times 0.05 \text{ \$/year} = 450 \text{ \$/year}$$

بنابراین میزان صرفه‌جویی 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 منزله اتلاف هوای فشرده و اتلاف در انرژی مصرفی توسط سیستم تولید هوای فشرده است. زمانی که محل‌های نشت و ابعاد آنها شناسایی شدند توصیه می‌شود که نسبت به تعمیر آنها اقدام عاجل بعمل آید. انرژی قابل صرفه‌جویی توسط تعمیر محل‌های نشت هوای فشرده با استفاده از رابطه زیر تخمین زده می‌شود:

- برای تراکم همدم:

$$\Delta KWh_{Comp} = \frac{\Delta m_a \cdot L F_{Comp} \cdot N_{h,Comp} \cdot R_a \cdot T_i \cdot \ln\left(\frac{P_0}{P_i}\right)}{\eta_M}$$

رابطه شماره (۸-۱۰)

- برای تراکم‌های ادیاباتیکی یا پلی‌تروپیک:

$$\Delta KWh_{Comp} = \frac{\dot{\Delta m}_a \cdot LF_{Comp} \cdot N_{h,Comp} \cdot R_a \cdot T_i \cdot \gamma}{(\gamma - 1) \cdot \eta_M} \left[\left(\frac{P_o}{P_i} \right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} - 1 \right]$$

رابطه شماره (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 معادله (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). علاوه فشار اضافی برای هوای فشرده علاوه بر صرف توان مکانیکی یا الکتریکی بیشتر که به منزله 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 اندازه نشتی‌ها

توان لازم برای فشردن هوای تلف شده	نشتی هوا در فشار نسبی	قطر سوراخ (Hole Diameter)	
		mm	اندازه واقعی
KW	(lit/sec)		
0/3	1	1	○
3/1	10	3	○
8/3	27	5	○
33	105	10	○

مثال (۸-۵) - یک نشتی ۵mm در سیستم توزیع هوای فشرده مشخص شده است. زمان بازگشت سرمایه را برای تعمیر نشتی حساب کنید تراکم را بصورت همدم 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 $20^{\circ}C$ 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 $15^{\circ}C$ و ۱۰۰ Kpa هستند.

هد) بازده موتور الکتریکی ۹۰٪ است.

و) قیمت الکتریسیته ۰/۰۵ \$/KWh است.

حل - از معادله (۷-۸) استفاده می کنیم تا تلف هوای فشرده از طریق نشتی را محاسبه کنیم:

$$\dot{\Delta m_g} = \sqrt{\frac{2}{\gamma \Delta P} \times 0.05 \times 0.000196 \times 800000 \times (277 + 20)} = 0.05 \text{ Kg/sec}$$

برای یک تراکم همدماء انرژی الکتریکی اضافی سالیانه از طریق نشت با استفاده از معادله (۸-۱۰) محاسبه می شود:

$$\Delta \text{KWh Comp} = \frac{0.05 \times 3600 \times 24 \times 277 \times (277 + 15) \times L_n\left(\frac{800000}{100}\right)}{0.9} = 200.50 \text{ KWh/year}$$

بنابراین، زمان بازگشت سرمایه ساده جهت تخصیص هزینه برای تعمیر نشتی برابر خواهد بود با:

$$\text{زمان بازگشت سرمایه ساده} = \frac{150}{200.50 \times 0.05} = 0.15 \text{ year} = 2 \text{ months}$$

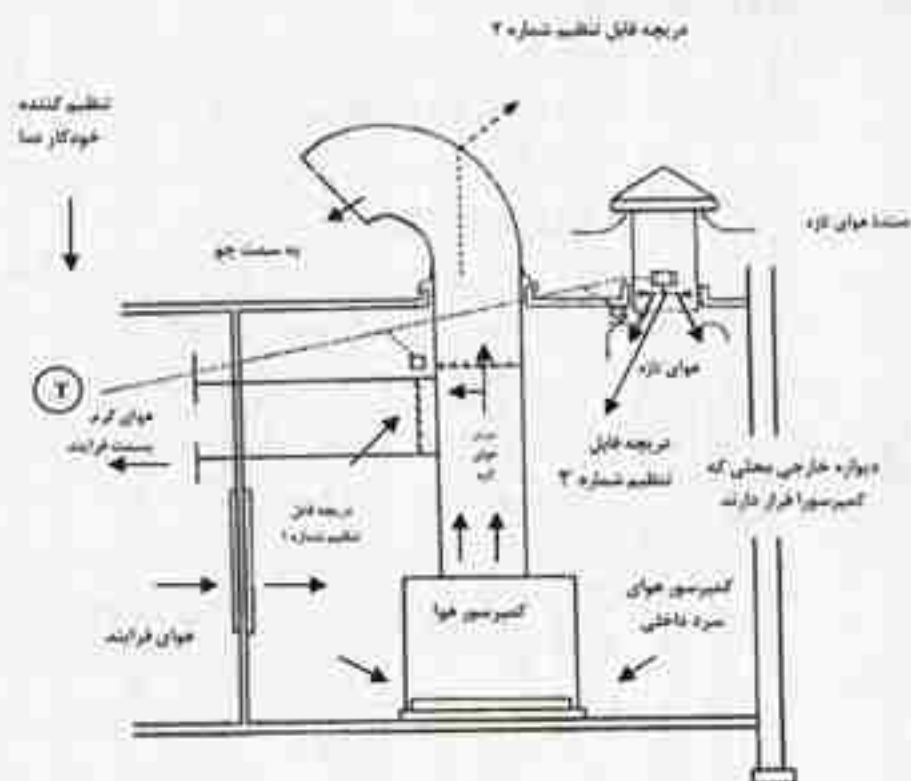
جدول (۴-۸) میزان هوای فشرده مورد نیاز با توجه به وجود نشتی ها را نشان می دهد.

جدول شماره (۴-۸) - میزان هوای فشرده مورد نیاز با توجه به وجود نشتی ها

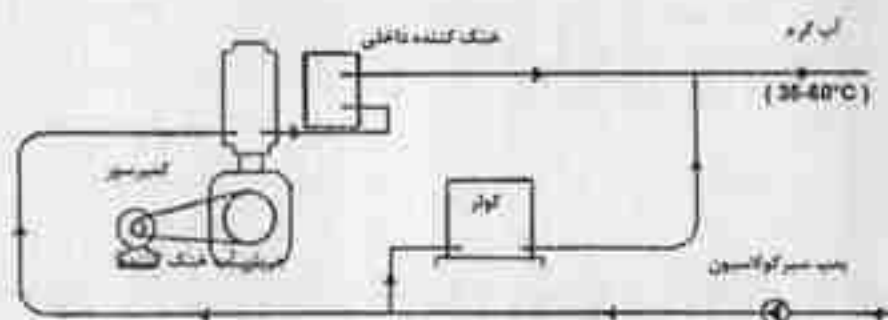
نشتی هوا (Lit/sn)	نشتی هوا از هر سوراخ در فشار نسبی bar	تعداد نشتی ها	قطر سوراخ (mm)
3/30	0/33	10	0/5
32/75	1/31	25	1
114/18	5/19	22	2
185/60	11/60	16	3
227/50	32/50	7	5
0/00	129/00	0	10
0/00	202/00	0	12/5
563/33	مجموع		

۹-۴- سایر پتانسیل‌های کاهش مصرف انرژی

- سایر پتانسیل‌های صرفه‌جویی انرژی در سیستم‌های تولید هوای فشرده، بشروح زیر می‌باشند:
- جایگزینی کمپرسورهای با بازدهی پایین با کمپرسورهای نو و کارا تر
 - انجام برخی تغییرات در فرایند تولید به منظور کاهش میزان مصرف هوای فشرده و کاهش میزان فشار مورد نیاز
 - به‌کارگیری سیستم بازیافت حرارت شکل (۸-۸) و (۹-۸) 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^۱
 - 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 شماره (۸-۸) - سیستم بازیافت حرارت



شکل شماره (۸-۹) - سیستم بازبافت حرارت برای کمپرسورهای آب خنک

۱۰- موارد تکمیلی در مورد شناسایی میزان نشتی هوای فشرده

۱) 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.

۲) 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 کننده 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 (I) 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 رابطه زیر بدست می‌آید.

$$L = \frac{Q \times T}{T + I}$$

$$L \approx \frac{I}{3} \text{ KW}$$

T: زمان کارکرد تحت بار (ثانیه)

I: زمان کارکرد بی‌باری (ثانیه)

Q: ظرفیت کمپرسور (Lit/sec)

L: میزان نشتی هوا (Lit/sec)

۱۱- باز یافت حرارت^۱ 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 باز یافت 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. صرفه‌جویی‌های مشابهی نیز می‌تواند از ماشین‌های خنک‌شونده توسط آب بدست آید. از حرارت موجود در آب خروجی از خنک‌کن‌ها می‌توان برای تأمین آب گرم مصرفی و همچنین افزایش دمای آب تغذیه دیگ بخار و آب مصرفی فرایندها استفاده کرد.

مثال (۸-۶)- توان مصرفی یک کمپرسور را ۷۰ KW 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:

$$\text{انرژی الکتریکی مصرفی} = 70 \text{ KW} \times 0.75 \times 8 \text{ hr} = 420 \text{ KWh/day}$$

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.

$$\text{مقدار حرارت قابل بازیابی} = 420 \times 0.9 = 378 \text{ KWh/day}$$

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 $1/42 \times 10^6 \text{ KJ/day}$ است که با احتساب راندمان ۷۵٪ برای بویلر انرژی ورودی بویلر بصورت زیر بدست خواهد آمد:

$$\text{انرژی ورودی بویلر} = \frac{1/42 \times 10^6}{0.75} = 1/89 \times 10^6 \text{ (KJ/day)}$$

اگر ارزش حرارتی سوخت مصرفی را $(41 \times 10^3 \text{ KJ/lit})$ در نظر بگیریم:

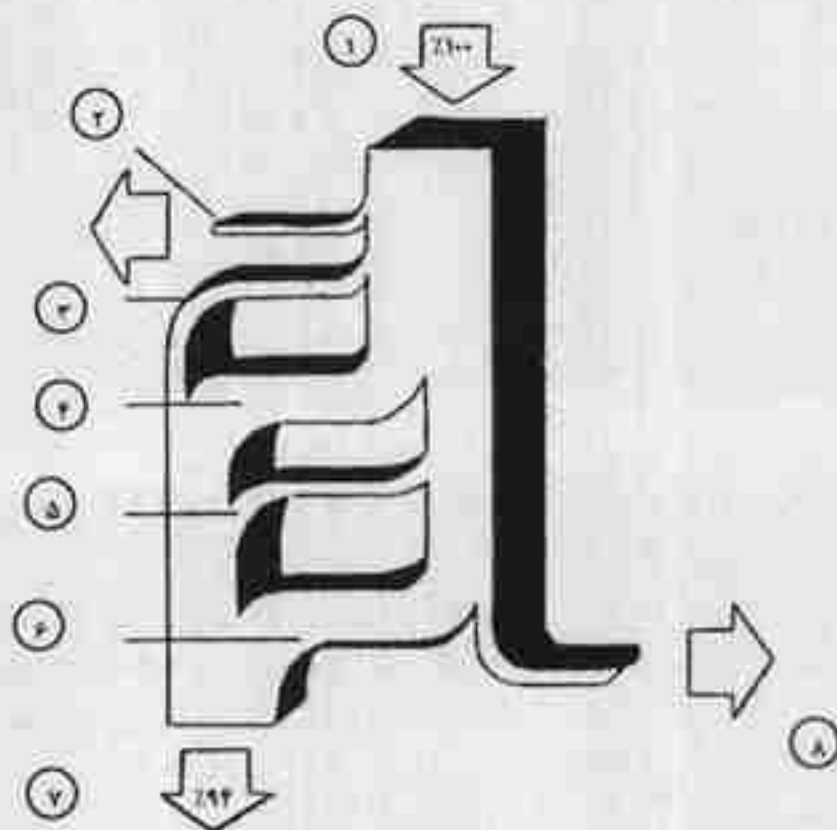
$$\text{میزان سوخت ورودی} = \frac{1/89 \times 10^6}{41 \times 10^3} = 46 \text{ (Lit/day)}$$

اگر تعداد روز کارکرد در سال را ۳۵۰ day/year فرض کنیم. میزان سوخت ورودی سالیانه (سوخت مصرفه جویی شده سالیانه) برابر خواهد بود با:

$$(Lit/year) \quad ۱۶۱۰۰ = ۴۶ \times ۳۵۰ = \text{مقدار مصرف سالیانه}$$

درصد تقریبی توزیع حرارت در یک کمپرسور:

- ۱- توان الکتریکی ورودی ۱۰۰٪
- ۲- تلفات تابشی (تشمش) ۲٪
- ۳- بازگشت حرارت از مرحله فشار پایین ۴٪
- ۴- بازگشت حرارت از خشک کن داخلی ۴۲٪
- ۵- بازگشت حرارت از مرحله فشار بالا ۴٪
- ۶- بازگشت حرارت از خشک کن انتهایی ۹۶٪
- ۷- گرمای قابل بازگشت انوری ۹۶٪
- ۸- حرارت باقیمانده در هوای فشرده ۲٪



شکل شماره (۸-۱۰): ۵۰ پاتگرام 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:

۱-۱-۱- فن‌های نوع توربو

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.

- فن‌های نوع محوری^۱ (شکل شماره ۱-۹) - دارای ظرفیت هوای بالایی برای کاربردهای تهویه دارند و بسته به نوع پروانه به سه دسته تقسیم‌بندی می‌شوند.

- فن‌های نوع پروانه‌ای^۲ (شکل شماره ۲-۹) - راندمان و فشار استاتیکی در این فن‌ها پایین است ولی حجم هوای بالایی دارند. پروانه آنها دارای دو یا چند تیغه از جنس سبک می‌باشد.

- فن‌های نوع محوری - لوله‌ای^۳ (شکل شماره ۳-۹) - این فن‌ها از نظر کارایی بهتر از فن‌های نوع پروانه‌ای 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 دوره‌ای تیغه‌ها وجود دارد.

- فن‌های نوع محوری - پره‌ای^۴ (شکل شماره ۴-۹) - این فن‌ها دارای تیغه‌های کوتاه ثابت یا قابل تنظیم هستند. بین فن‌های نوع محوری از همه کاراتر می‌باشند. فشار استاتیکی بین کم تا زیاد را دارند و در سیستم‌های گرمایش و تهویه مطبوع^۵ و سیستم‌های تهویه صنایع مورد استفاده قرار می‌گیرند.

- فن‌های گریز از مرکز (سانتریفوژ)^۶ (شکل شماره ۵-۹) - دارای ظرفیت تأمین فشار بالا هستند و در مواردی نظیر دیگهای بخار (بویلرها) کاربرد دارند. بسته به نوع پروانه که معمولاً بیش از ۱۰ تیغه دارند به چهار دسته تقسیم می‌شوند.

- فن‌های نوع ایرفویل^۷ (شکل شماره ۶-۹) - این نوع از فن‌های سانتریفوژ کاراترین نوع اما در عین حال گرانترین نوع از این فن‌ها هستند. راندمان این نوع از فن‌های سانتریفوژ تقریباً ۹۰٪ است. کاربرد آنها در سیستم‌های گرمایش و تهویه مطبوع و صنایع یا هوای تمیز در صورت اهمیت داشتن سرفه‌جویی انرژی در این صنایع و سیستم‌ها نمود پیدا می‌کند. در مواردیکه نیاز به تأمین حجم بالایی هوای با فشار استاتیک بین کم تا متوسط باشد از این نوع فن‌ها می‌توان استفاده کرد.

- فن‌های نوع بکوارد اینکلاپند^۸ (شکل شماره ۷-۹) - کارایی 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 تهویه 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

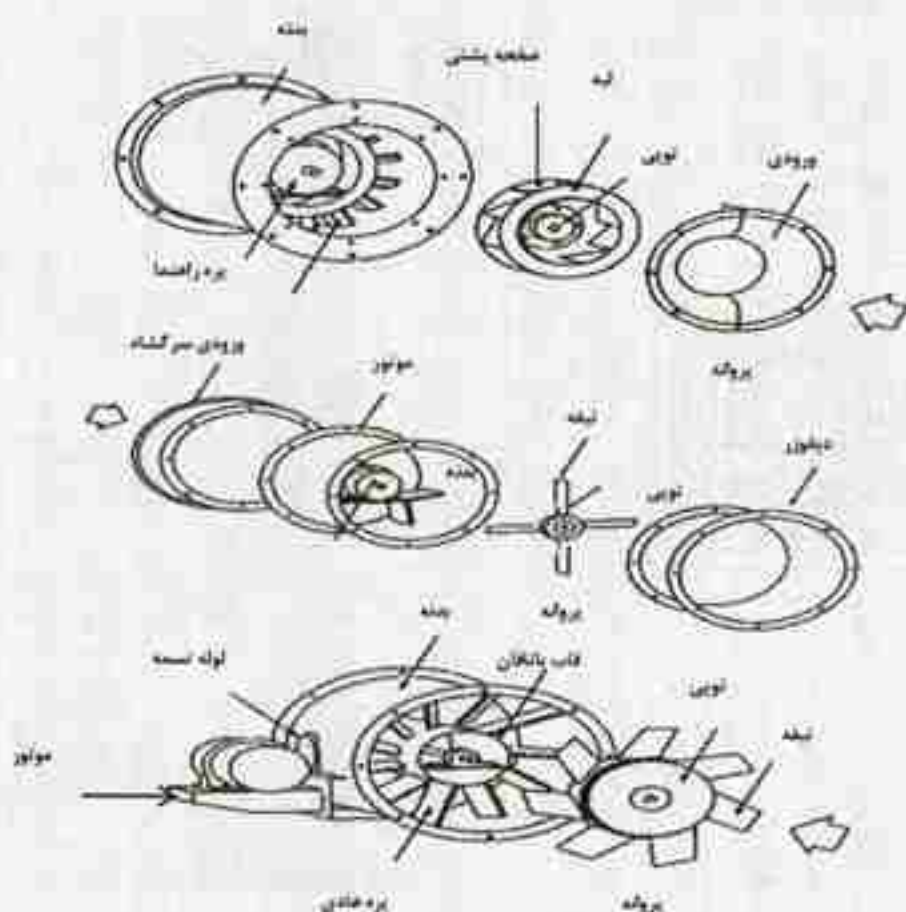
فن‌های نوع شعاعی^۱ (شکل شماره ۹-۸) - در سرعت متوسط کار می‌کنند و کمترین راندمان را دارند که حدوداً ۵۰٪ تا ۶۰٪ است. در صنایع با محیط‌های خورنده کاربرد دارند.

- فن‌های نوع فوروارد اینکلايند^۲ - سرعت این فن‌ها به نسبت سایر فن‌های سانتریفوژ کمترین بوده ولی از نظر 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 تهویه مطبوع تجاری و مسکونی کاربرد دارند و در مواردیکه نیاز به حجم پائین هوا یا فشار استاتیک کم تا متوسط است مورد استفاده قرار می‌گیرند.

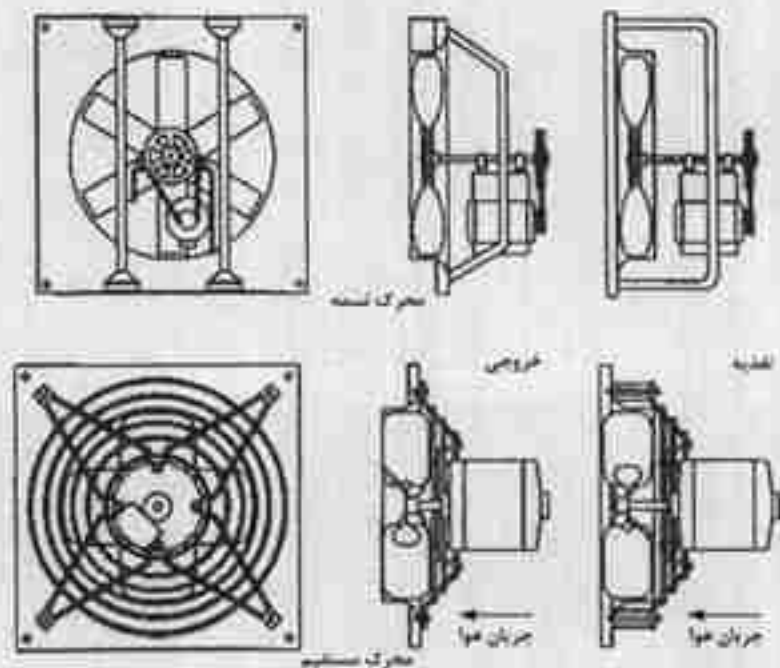
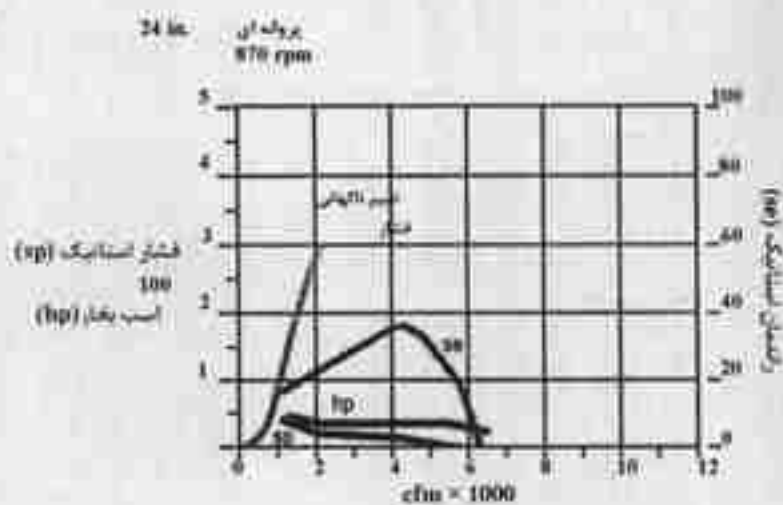
- فن‌های نوع جابجایی^۲ - در این نوع از فن‌ها، هوا به داخل یک محفظه با یک حجم مشخص مکیده می‌شود و ورودی بسته شده و هوا از سمت خروجی با فشار بیرون رانده می‌شود این عمل توسط جابجایی یک پیستون می‌تواند صورت بگیرد.

از دیدگاه کارایی نسبت فشار بین $1/2-2/5$ 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.



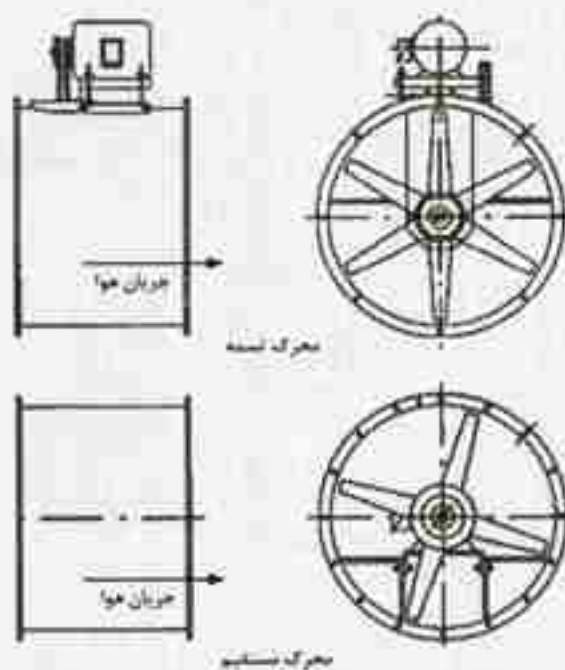
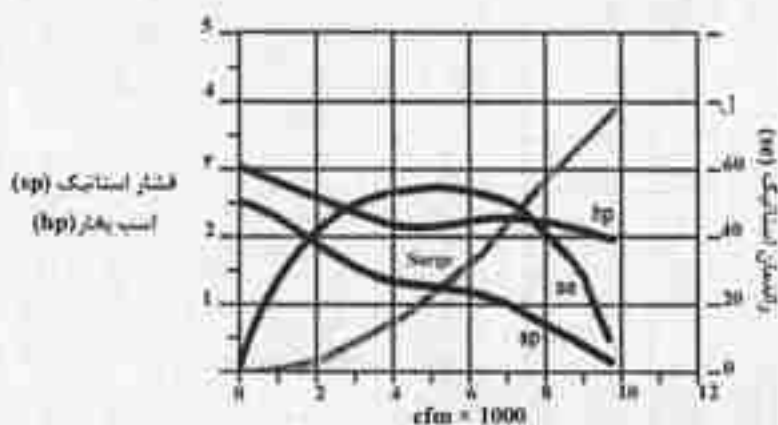
شکل ۹-۱- شکل کلی و اجزای فتهای محوری

- 1 - Radial
2 - Forward-Curved
3- Displacement Type



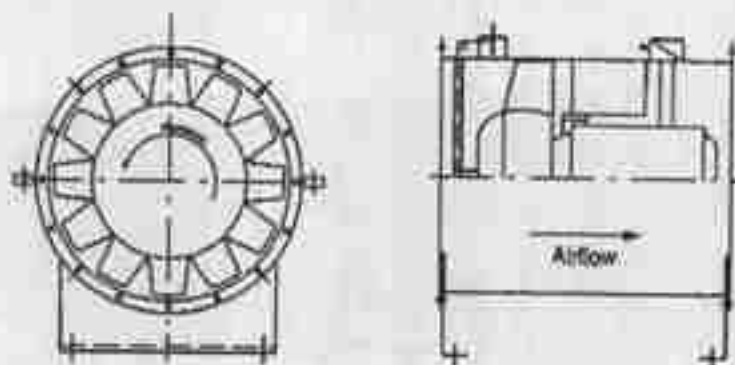
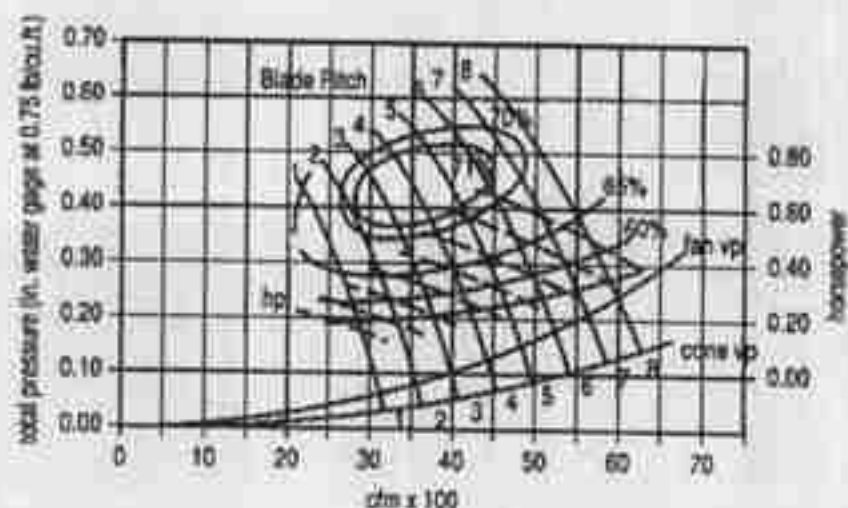
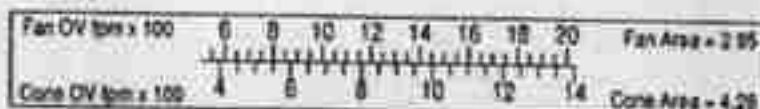
شکل ۹-۲- مشخصات یک نمونه فن از نوع پروانه ای

24 km 1770 rpm

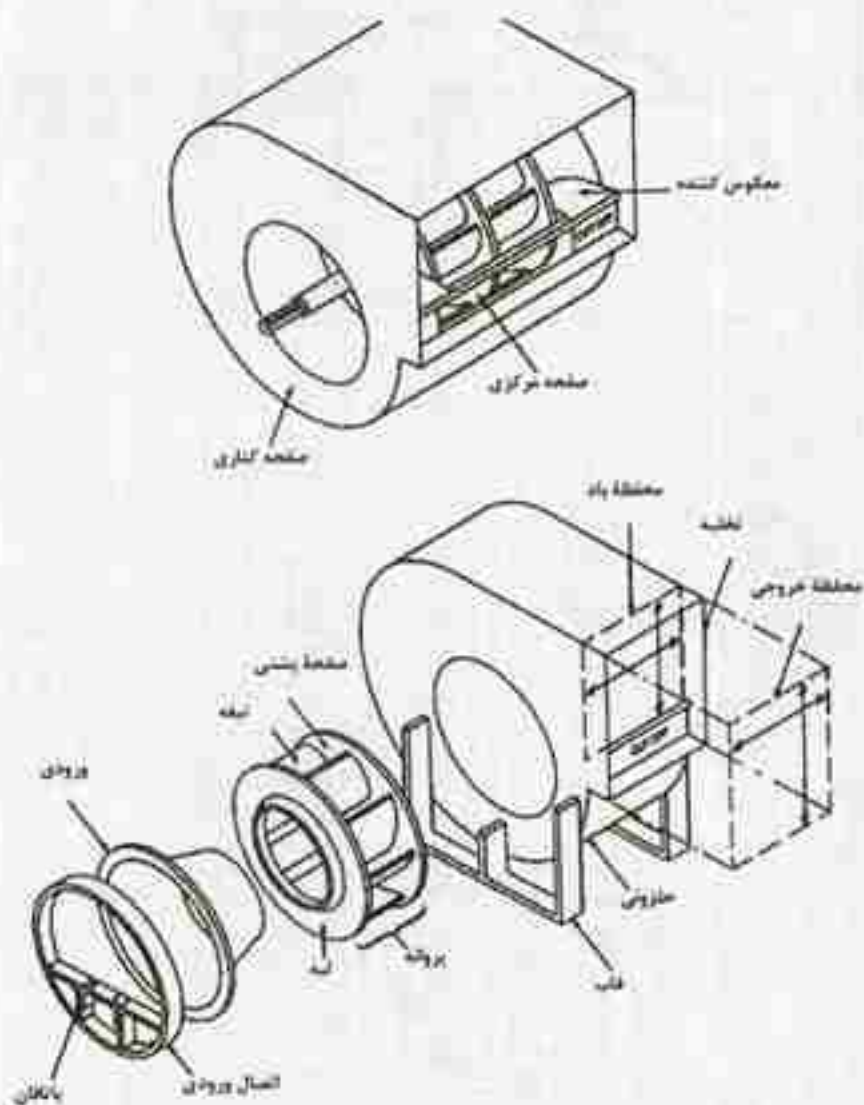


شکل ۹-۳- مشخصات یک فن از نوع محوری - لوله ای

23 in. Axial Flow
870 rpm

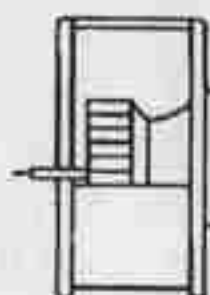
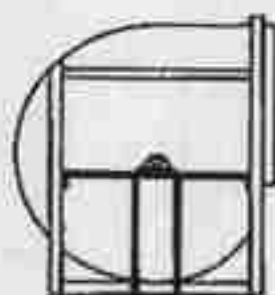
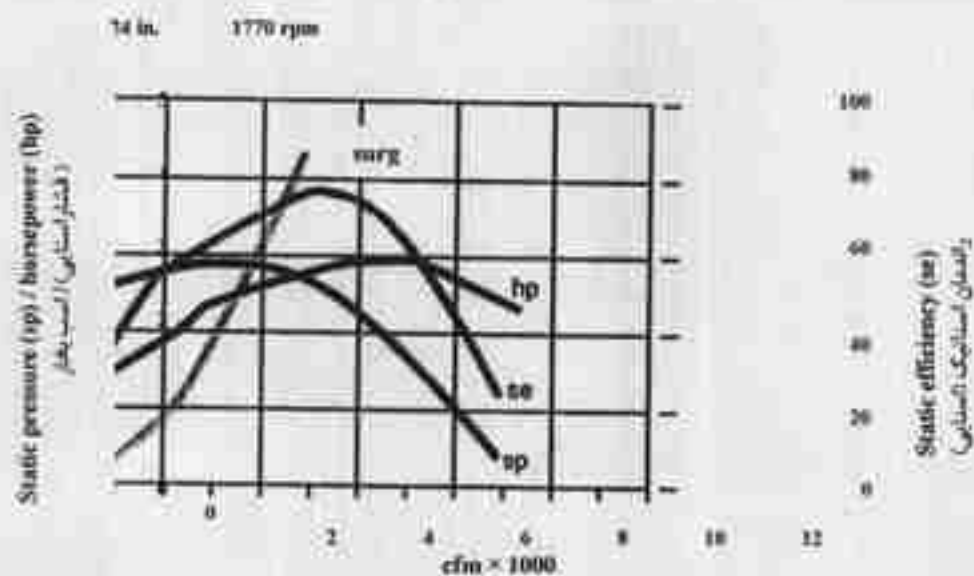


شکل ۹-۴- مشخصات یک نمونه فن از نوع محوری - پره ای



شکل ۹-۵- شکل کلی و اجزای فنهای نوع گریز از مرکز

AFSW Centrifugal

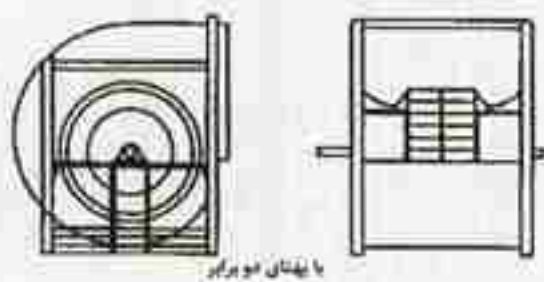
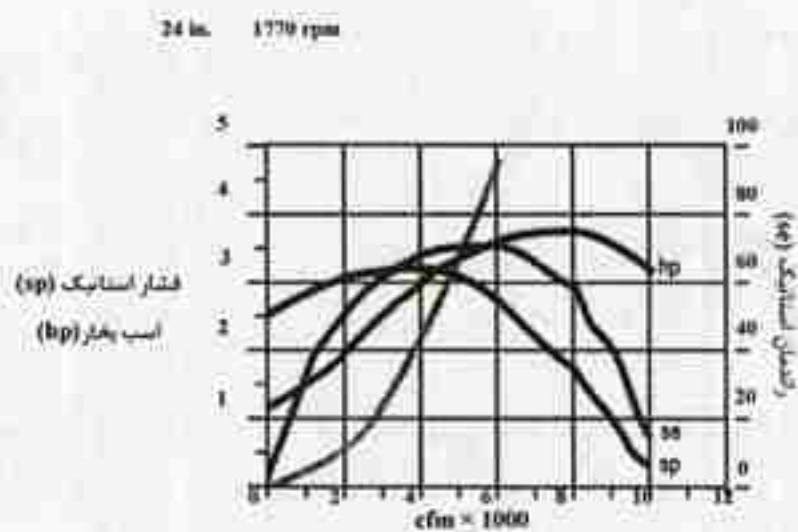


یا پهنای ساده
(Single Width)



تپه ای پهن
(Single Width)

شکل ۶-۹ - مشخصات یک فن نمونه از نوع Airfoil

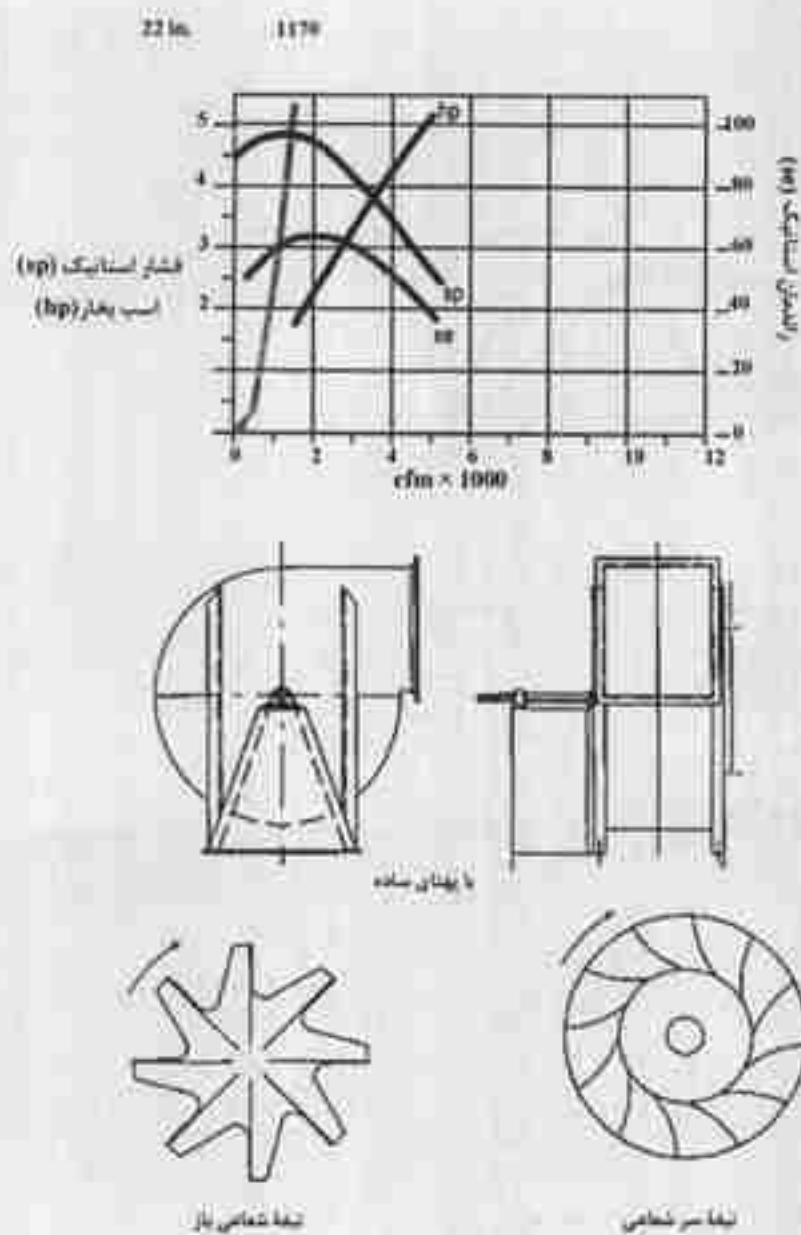


با پهنای هوای برگرد



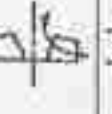
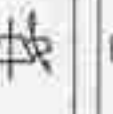
تعداد مشخص برگردان

شکل ۷-۹ مشخصات یک نمونه فن از نوع بکولرزد اینکلاپند



شکل ۹-۸- مشخصات یک نمونه فن از نوع شعاعی

جدول ۹-۱ - مشخصات و عملکرد انواع فن ها

Typical fan	Diagram of impeller	Diagram of air flow	Total efficiency (%)	Air volume (m³/min)	Pressure (mmHg)	Performance curve	Characteristics of performance
Radial flow fan			45-65	100-10,000	100-1,000		Air volume pressure curve has a peak. At high volume pressure falls rapidly to zero. The static pressure at a certain value (100 mmHg) is constant.
Forward curved fan			55-75	50-10,000	500-1,000		Air volume pressure curve has a peak. At high volume pressure falls rapidly to zero. The static pressure at a certain value (100 mmHg) is constant.
Backward curved fan			45-75	20-10,000	100		Air volume pressure curve has a peak. At high volume pressure falls rapidly to zero. The static pressure at a certain value (100 mmHg) is constant.
Centrifugal fan			75-85	100-10,000	1,000-5,000		Air volume pressure curve has a peak. At high volume pressure falls rapidly to zero. The static pressure at a certain value (100 mmHg) is constant.
Diagonal blade fan			65-85	50-10,000	100-1,000		Air volume pressure curve has a peak. At high volume pressure falls rapidly to zero. The static pressure at a certain value (100 mmHg) is constant.
Radial flow fan			65-85	2-10,000	100		Air volume pressure curve has a peak. At high volume pressure falls rapidly to zero. The static pressure at a certain value (100 mmHg) is constant.
Forward curved fan			55-75	100-10,000	100		Air volume pressure curve has a peak. At high volume pressure falls rapidly to zero. The static pressure at a certain value (100 mmHg) is constant.
Backward curved fan			45-75	20-10,000	100		Air volume pressure curve has a peak. At high volume pressure falls rapidly to zero. The static pressure at a certain value (100 mmHg) is constant.

۲-۱- 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 منحنینی تحت عنوان منحنی سیستم مشخص می‌گردد. در کنار 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:

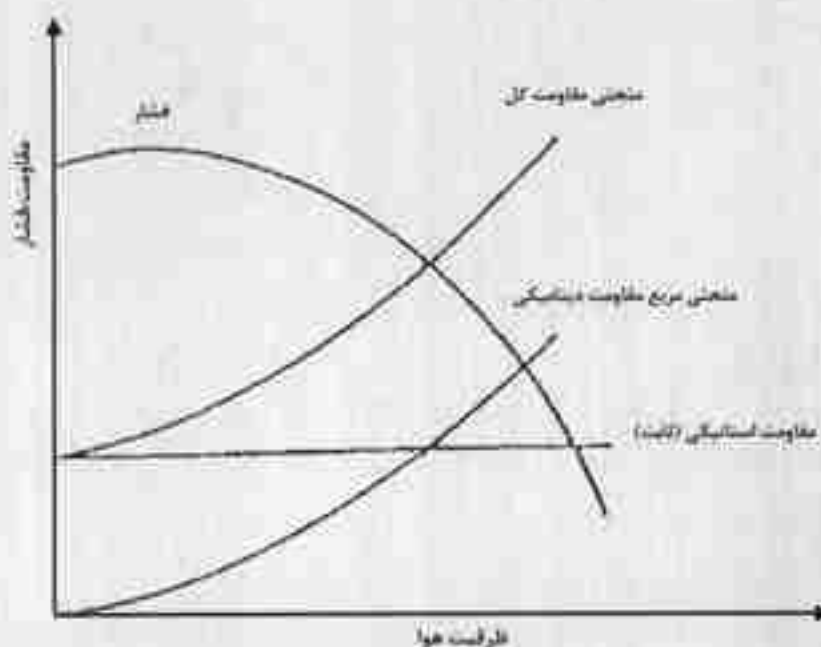
R_d - مقاومت دینامیکی که متناسب با توان دوم سرعت سیال (باد) است.

R_s - مقاومت استاتیکی که هیچ رابطه‌ای با سرعت باد ندارد.

مجموع این دو مقاومت تحت عنوان مقاومت کل ($R_t = R_d + R_s$) 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 پایین منظور از مقاومت، مقاومت استاتیکی است.

شکل شماره (۹-۹) نشان دهنده منحنی‌های سیستم و فن می‌باشد.



شکل ۹-۹- منحنی‌های سیستم و فن

۳-۱- 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^۱ (LT) - انرژی مؤثری که توسط یک فن در واحد زمان به هوا داده می‌شود.

$$LT = \frac{K}{K-1} \times \frac{P_{t1} \times Q}{6120} \left[\left(\frac{P_{t2}}{P_{t1}} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right] (KW) \quad (1-9)$$

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 ۱/۰.۳ 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^۲ (L) - از تقسیم قدرت هوا (یعنی LT) به راندمان فن (یعنی η_F)، توان محوری^۳ بدست می‌آید

$$L = \frac{LT}{\eta_F} (KW) \quad (3-9)$$

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 سنجایی استفاده می‌گردد.

$$LM = L \times \Phi \times \frac{1}{\eta_t} (KW) \quad (4-9)$$

Φ : مقادیر ویژه^۴

η_t : راندمان انتقال

جدول شماره (۲-۹) و (۳-۹) 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

محور موازی تک مرحله ای	محور موازی تک مرحله ای	محور موازی تک مرحله ای	از نوع سرعت ثابت
از نوع دنده گاهنده با انتقال	از نوع دنده گاهنده با انتقال	از نوع دنده گاهنده با انتقال	از نوع سرعت ثابت
قدرت ۱۰۰ KW و یا کمتر	قدرت ۱۰۰ KW و یا بیشتر	قدرت ۱۰۰ KW و یا کمتر	قدرت ۱۰۰ KW و یا بیشتر
۰/۹۵	۰/۹۶	۰/۹۴	۰/۹۵

نسبه λ شکل	نسبه صاف	انحلال مستقیم
۰/۹۵	۰/۹۰	۱

جدول ۹-۳- مقدار Φ

فن پروانه ای ۱	فن دیسکی ۲	فن پرده ای ۳	فن تریو ۴	فن صفحه ای ۵	فن از نوع پروپیل ۶
(Propeller fan)	(Disk fan)	(Multivane fan)	(Turbo fan)	(Plate fan)	(Profile Type fan)
۱/۳۰	۱/۵۰	۱/۳۰	۱/۱۵	۱/۲۵	۱/۱۵

۴-۱- صرفه‌جویی انرژی الکتریکی در فن‌ها

عوامل اثرگذار در صرفه‌جویی انرژی الکتریکی مصرفی در فن‌ها، از روی دیاگرام زیر قابل استخراج می‌باشد:



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 صرفه جویی انرژی، می‌تواند بطور زیر صورت پذیرد:

- I - اجتناب از راهاندازی فن‌ها قبل از شروع پیکار 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^۱ 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.

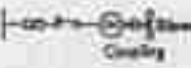
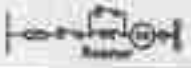
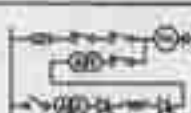
ج - طول عمر تجهیزات راهاندازی - در صورت تکرار راهاندازی، مسئله افزایش دما در راکتورها و جبران سازه‌ها که برای راهاندازی مورد استفاده قرار می‌گیرند باید بررسی شود.

د - گرمای ایجاد شده در کابل تغذیه و بررسی طول عمر کلیدها - جدول شماره (۹-۴) و (۹-۵) به ترتیب، نشان دهنده عمر کلید و مقایسه سیستم‌های 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	۴۰۰۰ تا ۵۰۰۰ بار
قطع کننده خلا	۱۰۰۰۰ بار (امکان افزایش تا ۵۰۰۰۰ بار)	۱۰۰۰۰ بار
قطع کننده گازی	۱۰۰۰۰ بار (امکان افزایش تا ۵۰۰۰۰ بار)	۱۰۰۰۰ بار
کنتاکتور الکترومغناطیسی یا ولتاژ بالا	۵۰۰۰۰۰ بار (درجه یک)	۵۰۰۰۰۰ بار (درجه یک)

جدول ۵-۹- مقایسه 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		100 18 to 7 times full-load current	100 (About 130 % at rated torque)	100	100 (in proportion to square of current)	$100 \left(\frac{0.05 \cdot I_0}{130} \right)^2$	Power voltage drop, Motor life, Breaker life
Reactor starting		10, 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		25, 42, 64	25, 42, 64	50, 63, 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 inrush (when switched from VVVF to main power source), inrush current (when switched from VVVF to main power source), effects from higher harmonics (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)		18 - 40 (Optional)	80 - 200 (Optional)	100	3 - 16	Hardly any (Consumed by external resistance)	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 of 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 ...
- II - راندمان تجهیزات انتقال قدرت
- III - راندمان موتورها

ج- کاهش در توان هوا - کاهش توان مصرفی فن به کاهش میزان جریان هوا^۱ 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؟

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 تلفات هوای دمیده شده و کاهش جریان هوا در جدول‌های شماره (۶-۹) و (۷-۹) 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 متغیر نیز عبارتند از:

بازرسی درجه قابل تنظیم^۱ (دامپر) در خروجی، 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 ۶-۹- روش کاهش تلفات دمش هوا (نوع ثابت)

دسته بندی اصلی	دسته بندی فرعی
کاهش تلفات دمش	کاهش تعداد فن‌های مورد استفاده، تعویض فن‌ها، برش یا جایجایی پروانه
انتخاب و تنظیم صحیح باز شدن پره‌های درجه قابل تنظیم	کاهش دفعات باز شدن درجه قابل تنظیم، کاهش دفعات باز شدن پره‌ها
تغییر سرعت چرخش	تعویض موتور، تعویض تسعة فلکه، تدبیل یا تعویض کاهنده

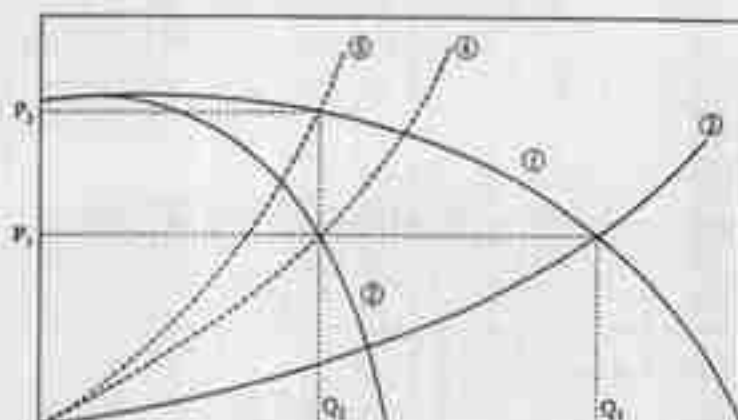
جدول ۷-۹- روش کاهش جریان هوا (سیستم متغیر)

بازرسی درجه قابل تنظیم تخلیه (متغیر)	کنترل درجه قابل تنظیم ورودی (متغیر)
کنترل پره ورودی	تغییر تعداد قطبها
کنترل کوپلینگ جریان گردابی	کنترل مقاومت ثانویه
کنترل ولتاژ متغیر - فرکانس متغیر	کنترل شریبوس (Scherbius)

I - کاهش تعداد - مطابق شکل شماره (۹-۱۰) دو فن شماره (۱) و (۲) با مشخصات یکسان بصورت موازی کار می‌کنند. جریان هوای لازم از Q^1 به Q^2 به میزان نصف کاهش پیدا می‌کند. منحنی مقاومت سیستم که شامل درجه‌ی قابل تنظیم نیز است از نقطه (۳) به نقطه (۵) تغییر می‌کند. توان لازم در این 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 صرفه‌جویی توان حاصله در بکارگیری یک فن، بجای استفاده از دو فن با دمپر می‌باشد. اختلاف در راندمان دو روش نیز به مقدار بالا اضافه می‌شود.



شکل ۹-۱۰ - منحنی عملکرد برای کارکرد موازی فن‌ها

II - جایگزینی پره‌ها^۱ - در صورتیکه ظرفیت فن بالاتر از میزان هوای مورد نیاز تعیین شده باشد راهکار جایگزینی پره‌ها مطرح می‌شود. این مورد (افزایش 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 می‌تواند 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:

$$Q \approx D^2 \text{ (جریان با توان دوم قطر متناسب است)}$$

$$P \approx D^2 \text{ (فشار با توان دوم قطر متناسب است)}$$

$$L \approx D^4 \text{ (توان مصرفی با توان چهارم قطر متناسب است)}$$

لذا کاملاً مشخص است که با کاهش قطر پره به میزان لازم صرفه‌جویی انرژی الکتریکی در فن‌ها حاصل می‌گردد. انجام بالاس مجدد فن پس از کاهش قطر پره الزامی است.

III - استفاده از دریچه 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 متغی فشار استاتیک می‌شود و اگر دمپر در خروجی فن نصب شود تغییر آن سبب تغییر متغی مقاومت می‌شود.

پره راهنما 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 متغی جریان هوا می‌شود. جدول شماره (۸-۹) اصول و مشخصات عملکردی دمپر، پره راهنما و تغییر سرعت در فن‌ها مقایسه می‌کند.

جدول ۸-۹ - مقایسه اصول و مشخصات عملکردی دمپر، پره راهنما و تغییر سرعت در فن‌ها

Method	Discharge damper rotating adjustment	Intake damper rotating adjustment	Intake vane control	Changing the rotating speed
Principle	Change blower resistance curve by horizontally increasing resistance of the piping system.	Since damper resistance is provided on intake side, it serves as a negative pressure and pressure curve slightly changes. Actual power curve also changes slightly.	Reduces the impedance with fans by incrementally changing gas flowing angle against blower impedance, thus changing the pressure and power curves at the same time.	Air capacity is in proportion to the rotating speed, the pressure is square of the rotating speed, and the axial power is cube of the rotating speed.
Diagram of principle				
	When damper is closed, resistance increases and operating point changes from (P_{s1}, L_1, Q_1) to (P_{s2}, L_2, Q_2) . Note: 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_{s1}, L_1, Q_1) to (P_{s2}, L_2, Q_2) .	Reducing vane lowers pressure and axial power curves. Operating point changes from (P_{s1}, L_1, Q_1) to (P_{s2}, 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_{s1}, L_1, Q_1) to (P_{s2}, L_2, Q_2) .
Special Remarks	1) Closing rate is wide and effective air capacity control cannot be performed. 2) Axial power does not lower much even in low air capacity state.	1) Closing rate 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 tends to lower much more than the intake damper.	Axial power lowers most and this is the best method for electric power conservation.

IV- تغییر سرعت چرخش (تغییر موتور یا تغییر قطر پولی)^۱ - در بارهای از نوع گریز از مرکز مانند فن‌ها و پمپها، تغییرات جریان، فشار و توان با دور مطابق روابط معروف زیر است:

$$Q \propto n \quad \text{جریان: } Q$$

$$P \propto n^2 \quad \text{فشار: } P$$

$$L \propto n^3 \quad \text{توان: } L$$

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 پایین‌تر می‌توان از انرژی مصرفی کاست.

در صورت استفاده از سیم، یکی از روشهای کاهش دور، تغییر قطر پولی است. این دو روش، روش‌های قبلی انعطافی نیستند چون برگشت به حالت اولیه به آسانی امکان‌پذیر نیست.

V- استفاده از سیستم‌های کنترل سرعت در فن‌ها

تا پیدایش سیستم‌های کنترل سرعت (VSD) مدرن و اینورترها، از موتورهای القایی روتور سیم‌بندی شده و موتورهای DC برای کنترل سرعت استفاده می‌شد. ولی پیدایش این سیستم‌های پیشرفته سبب شده که موتورهای القایی قفسی سنجایی 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.

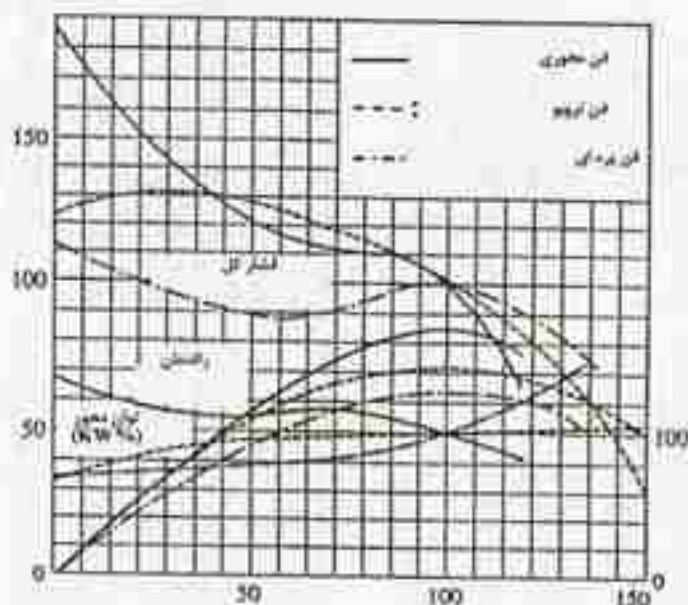
راندمان کلی سیستم‌های محرک مجموعه (الکتروموتور - فن) در شکل شماره (۹-۱۱) نشان داده شده‌اند. ب - مبدل‌های الکترونیک قدرت مولد هارمونیک‌های بالا هستند. لذا در استفاده از سیستم‌های کنترل سرعت بایستی ملاحظات حذف هارمونیک‌های مزاحم در نظر گرفته شود.

در شکل شماره (۹-۱۲) مقایسه‌ای روی عملکرد انواع سیستم‌های کنترل جریان (دبی) هوا به عمل آمده است، همانطور که از شکل پیداست کارآترین سیستم محرک‌های دور متغیر (ولتاژ متغیر - فرکانس متغیر^۲ می‌باشد.

1- Pulley

1-VSD: Variable Speed Drives

2- VVVF: Variable Voltage-Variable Frequency



۲- پمپ‌ها

۲-۱- طبقه‌بندی پمپ‌ها

- نوع توربو^۱

- پمپ گریز از مرکز^۲ (سانتریفوز) - 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^۳ - 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^۴ تأمین می‌شود.

- پمپ جریان محوری^۵ - 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 شماره (۹-۹) طبقه‌بندی و انواع مختلف پمپ‌های توربو ارائه گردیده‌اند.

- پمپ‌های از نوع جابجایی مثبت^۶ - 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.

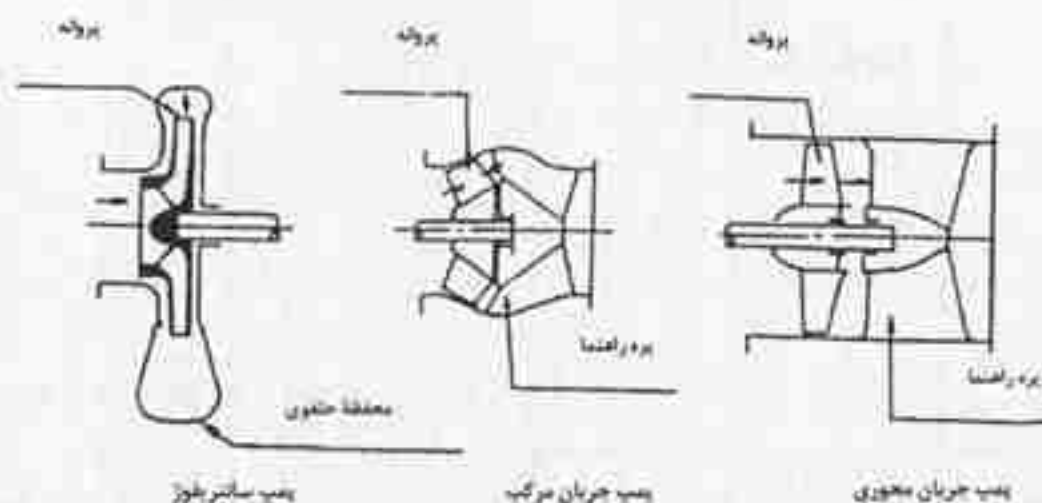
- پمپ رفت و برگشتی^۷ - با یک پیستون رفت و برگشتی داخل یک سیلندر، آب تحت فشار توسط باز و بسته کردن مرحله‌ای شیرها به بیرون ارسال می‌شود. یک محفظه هوا بنام مخزن هوا یا جمع‌کننده جهت جلوگیری از ضربه^۸ در محل تحویل آب، مورد استفاده قرار می‌گیرد. شکل شماره (۹-۱۴) نشانگر پمپ رفت و برگشتی و مخزن هوا است.

- پمپ چرخان^۹ - این نوع از پمپ‌ها بطور وسیع در پمپاژ سیالات با ویسکوزیته نسبتاً بالا (مانند روغن)، فشرده سازی و روغن کاری استفاده می‌شود. شکل شماره (۹-۱۵) پمپ‌های نوع چرخان را نشان می‌دهد.

شکل شماره (۹-۱۶) و (۹-۱۷) و (۹-۱۸) و (۹-۱۹) و (۹-۲۰) به ترتیب نشانگر ساختار یک پمپ گریز از مرکز کوچک، یک پمپ گریز از مرکز چند مرحله‌ای، یک پمپ گریز از مرکز با مکش دوپهل، 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- Palation
- 10- Rotary Pump

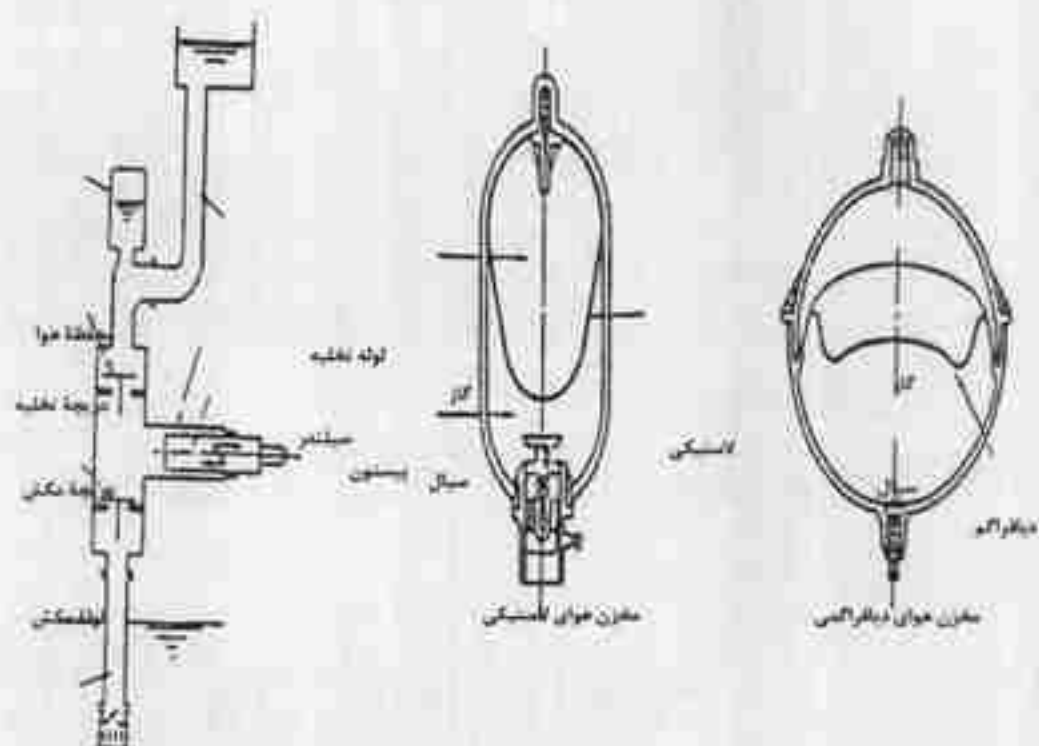
شکل شماره (۹-۲۱) نشان دهنده گستره کاربرد انواع پمپ‌هاست



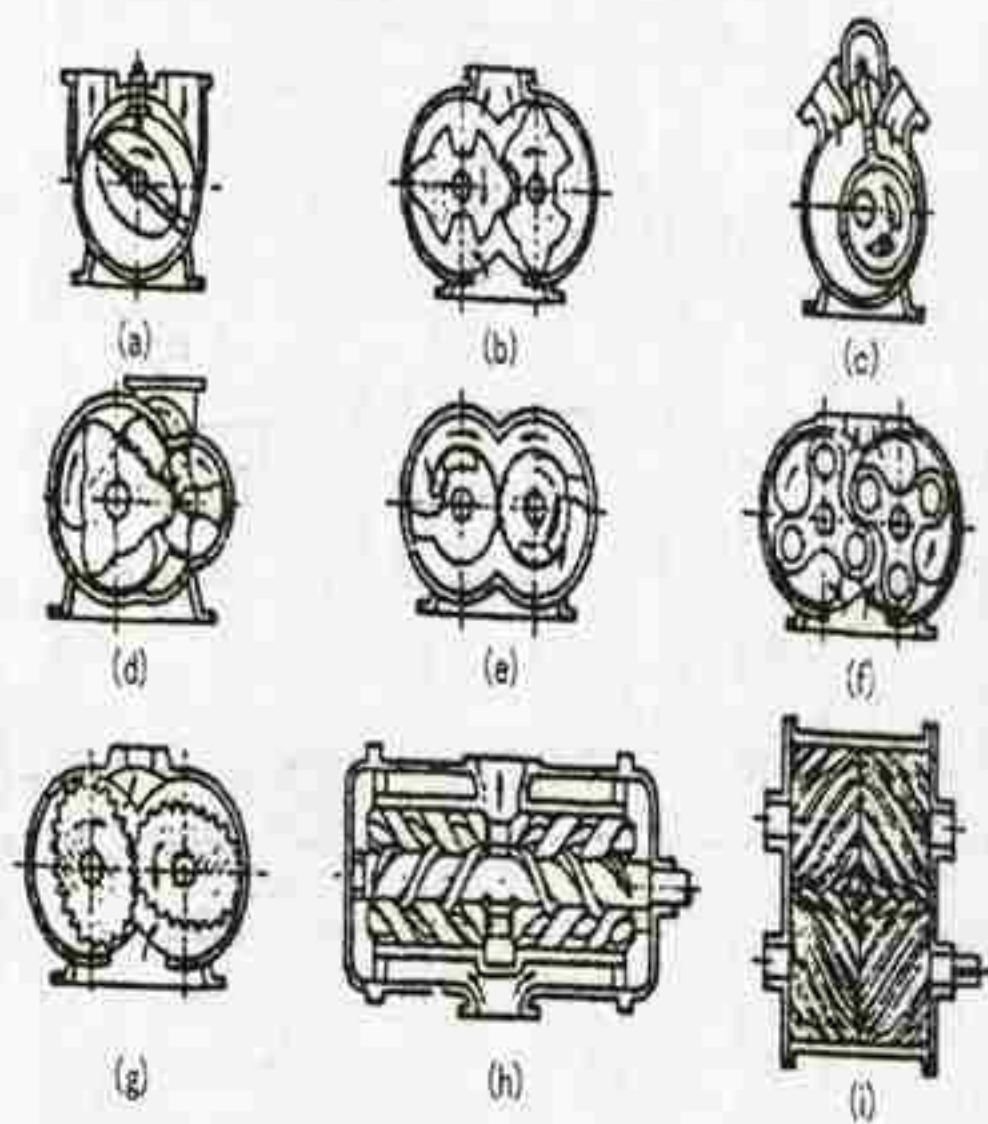
شکل ۹-۱۳ - پمپ‌های نوع توربو

جدول ۹-۹ - طبقه‌بندی و انواع مختلف پمپ‌های توربو

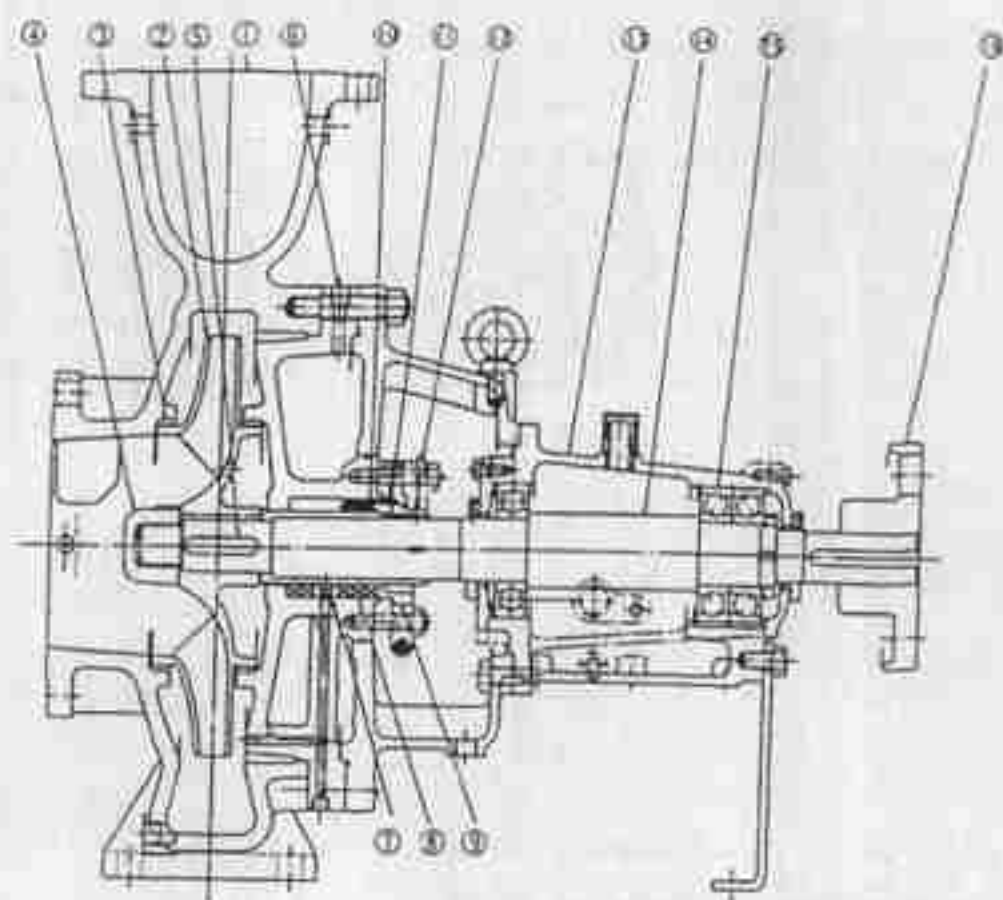
Classification			Model	
Centrifugal pump	Horizontal shaft	Single suction	Single stage	Single suction volute pump
			Multistage	Single suction, multistage, volute pump (or multistage, centrifugal pump)
		Double suction	Single stage	Double suction, volute pump
			Two-stage	Double suction, two-stage, volute 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
Axial flow pump	Horizontal shaft	Single stage		Axial flow pump
	Vertical shaft	Single stage		Vertical shaft, axial flow pump



شکل ۹-۱۴- پمپ رفت و برگشتی و مخزن هوا



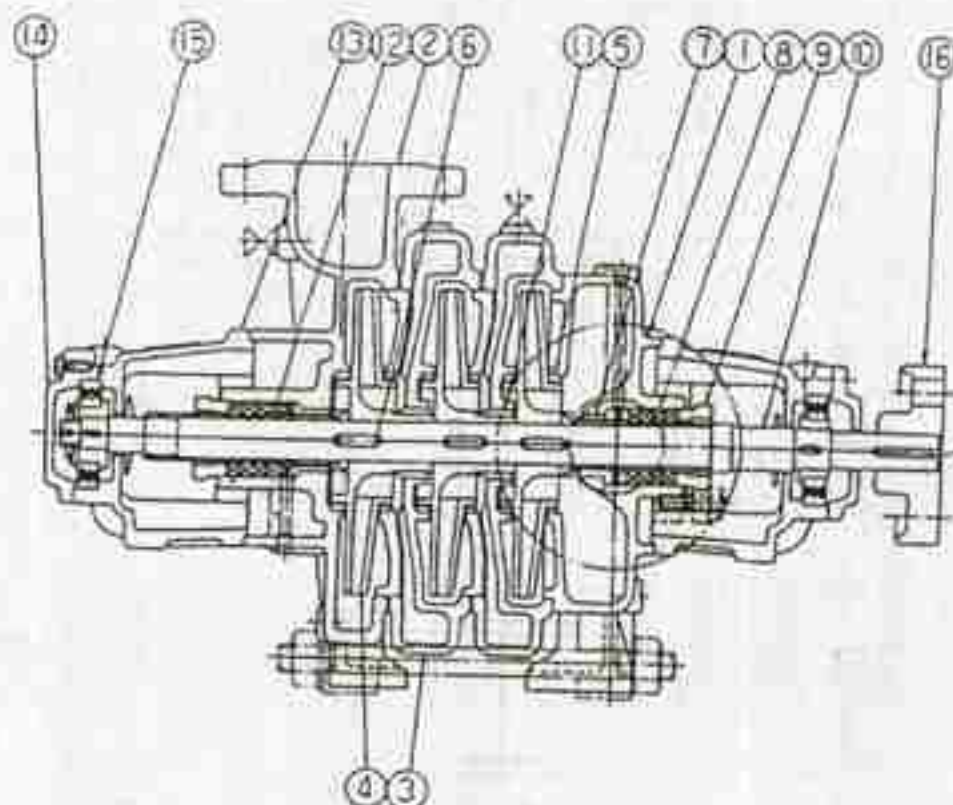
شکل ۹-۱۵- یمپ‌های نوع چرخان



Parts number	Parts name	Parts number	Parts name
1	Casing	9	Packing gland
2	Impeller	10	Mechanical seal sleeve
3	Inner 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

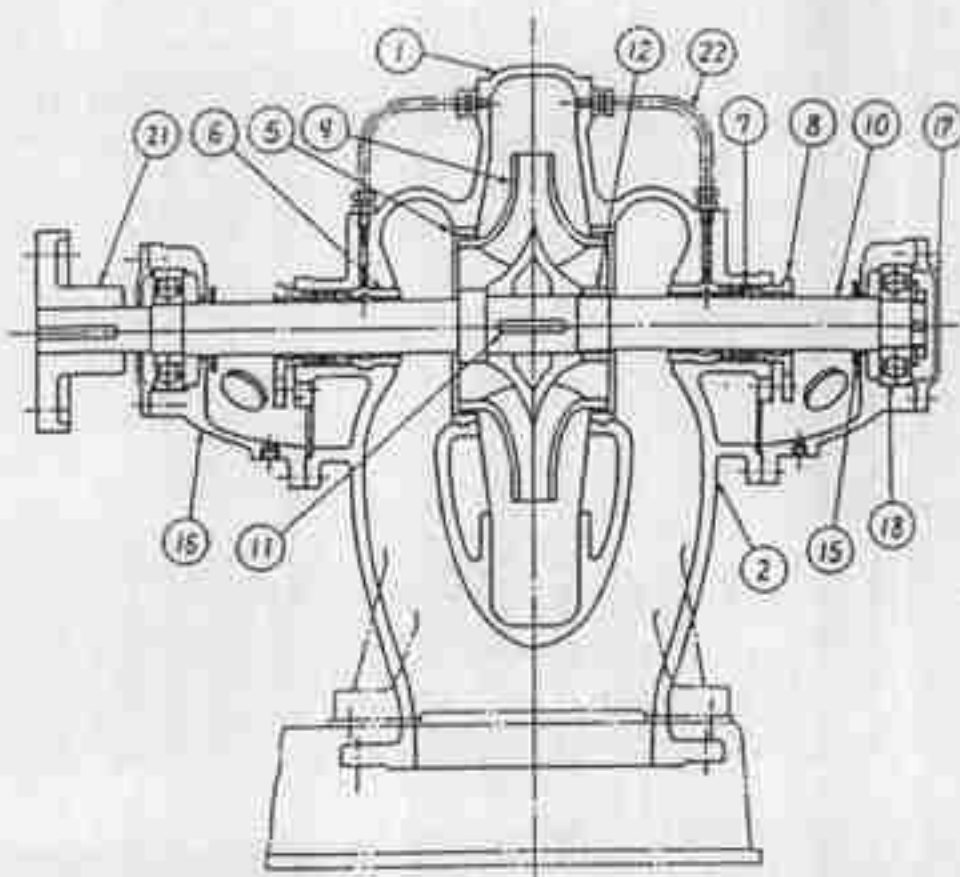
Either 7-9 or 10-12 is selected according to usage

شکل ۹-۱۶- ساختار یک پمپ گریز از مرکز کوچک



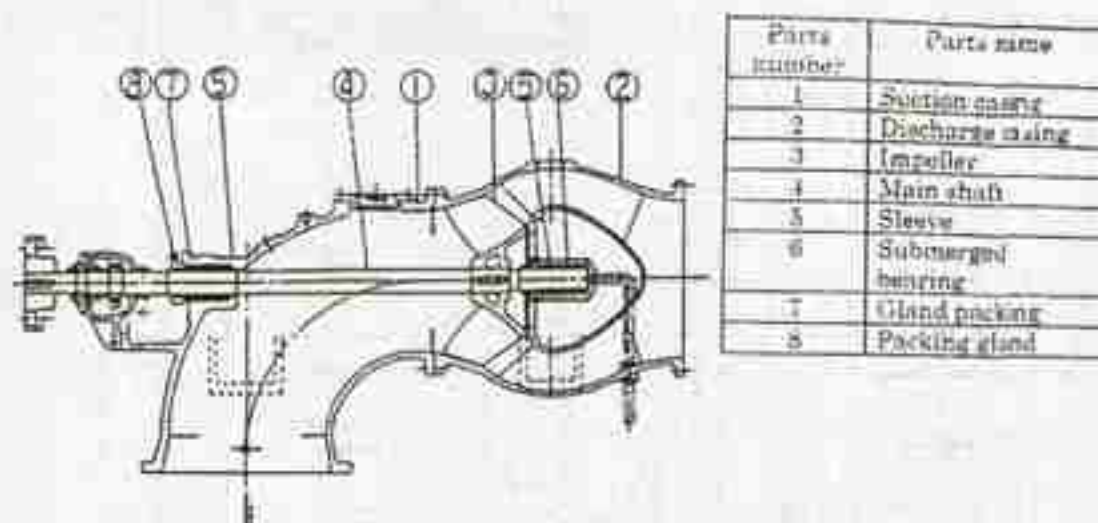
Parts number	Parts name	Parts number	Parts name
1	Suction casing	9	Packing gland
2	Discharge casing	10	Main shaft
3	Middle casing	11	Bush
4	Impeller	12	Packing sleeve
5	Liner ring	13	Bearing case
6	Key	14	Bearing cover
7	Water seal ring	15	Ball bearing
8	Gland packing	16	Shaft coupling

شکل ۹-۱۷- ساختار یک پمپ سانتریفوژ چند مرحله‌ای

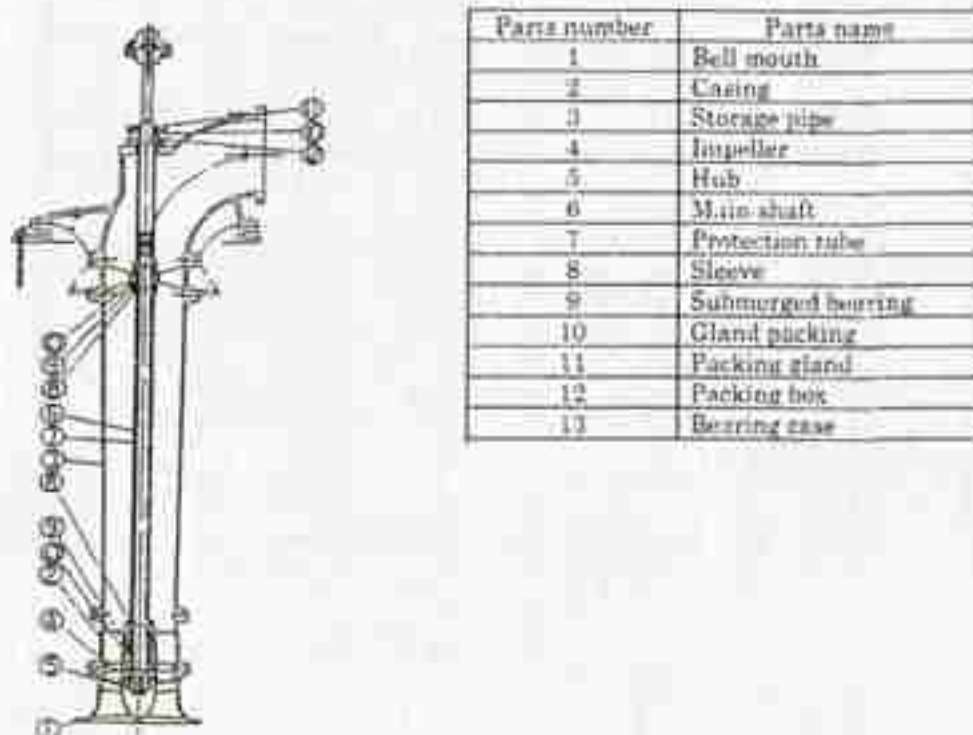


Part number	Part name	Part number	Part name
1	Upper casing	15	Deflector
2	Lower casing	16	Bearing
3	Liner ring	17	Bearing cover
6	Water seal ring	18	Ball bearing
7	Packing	21	Shaft coupling
8	Packing gland	22	Water seal tube
9	Impeller		
10	Main shaft		
11	Key		
12	Impeller nut		

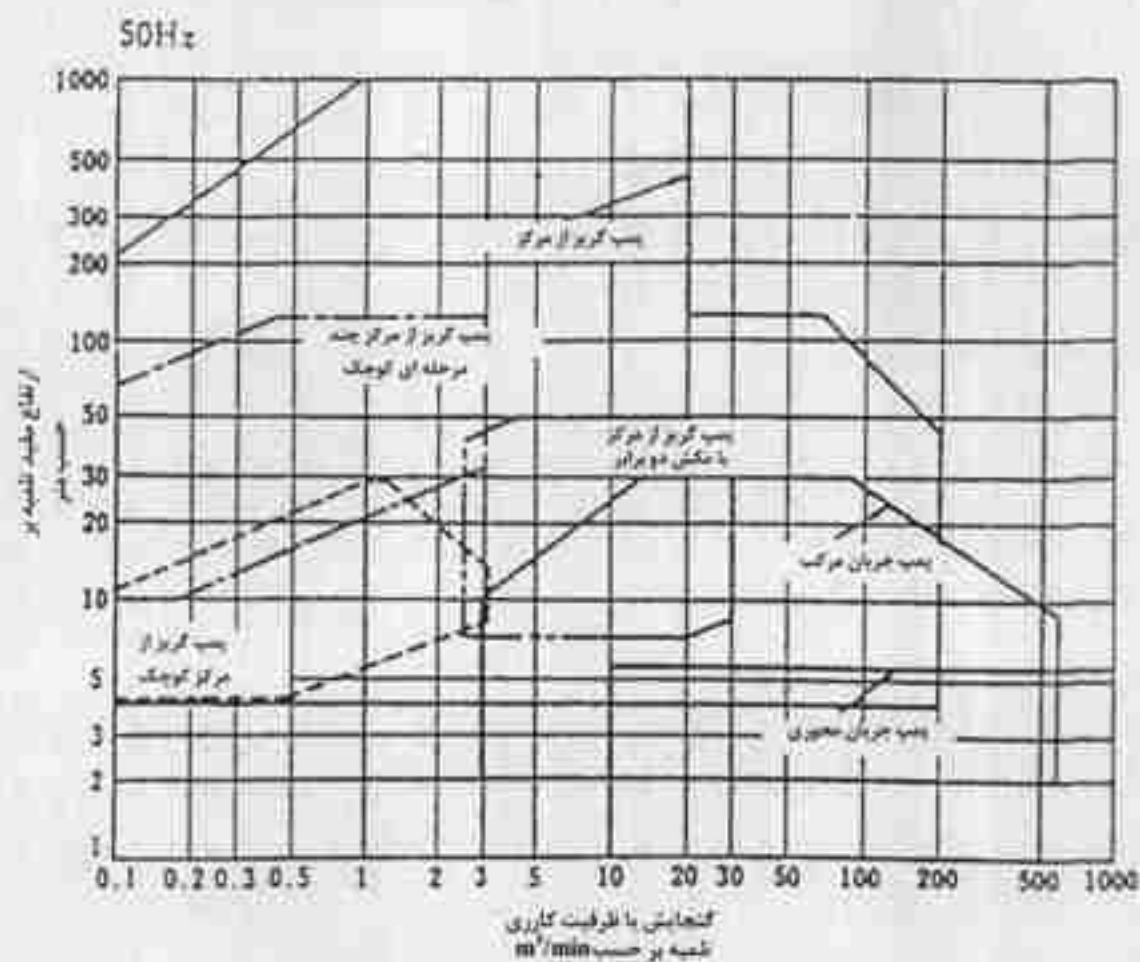
شکل ۹-۱۸ - پمپ گریز از مرکز با مکش دوتایی



شکل ۹-۱۹- پمپ جریان مرکب



شکل ۹-۲۰- پمپ جریان محوری



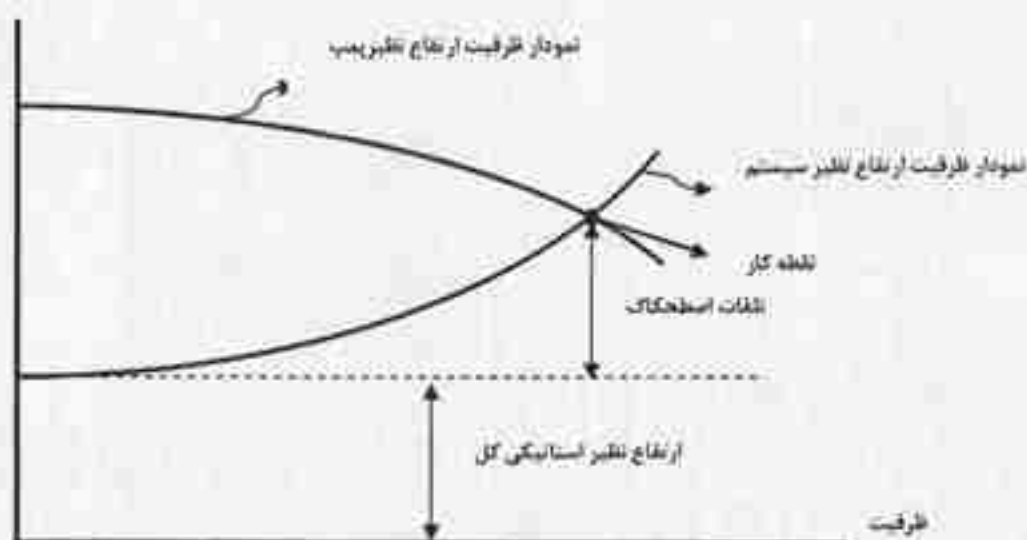
شکل ۹-۲۱- گستره کاربرد انواع پمپها (مطابق استاندارد JIS ژاپن)

۲-۲- مشخصات پمپ‌ها

در انتقال و پمپاژ مایعات، گردش پروانه یا نیروی جابجایی ایجاد یک هد^۱ (افزایش فشار) می‌کند. این افزایش فشار، مایع را از نقاط پر مقاومت پمپ یا سیستم، حرکت می‌دهد. قدرت هیدرولیکی یا گذشتن از این نقاط پر مقاومت، اکت می‌کند و انرژی پمپاژ به حرارت تبدیل می‌شود.

شکل شماره (۹-۲۲) نشان دهنده 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.

ارتفاع نظیر سرعت



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.

$$I = \frac{QH\gamma}{102 \times 60 \times \eta_p} = \frac{0.163 QH}{\eta_p} \text{ (KW)} \quad (9-6)$$

که در آن

L: توان مکانیکی مورد نیاز (KW)

Q: مقدار آهنگ حجمی آب (m^3/min)

H: هد کل (m)

γ : وزن مخصوص (Kg/m^3)

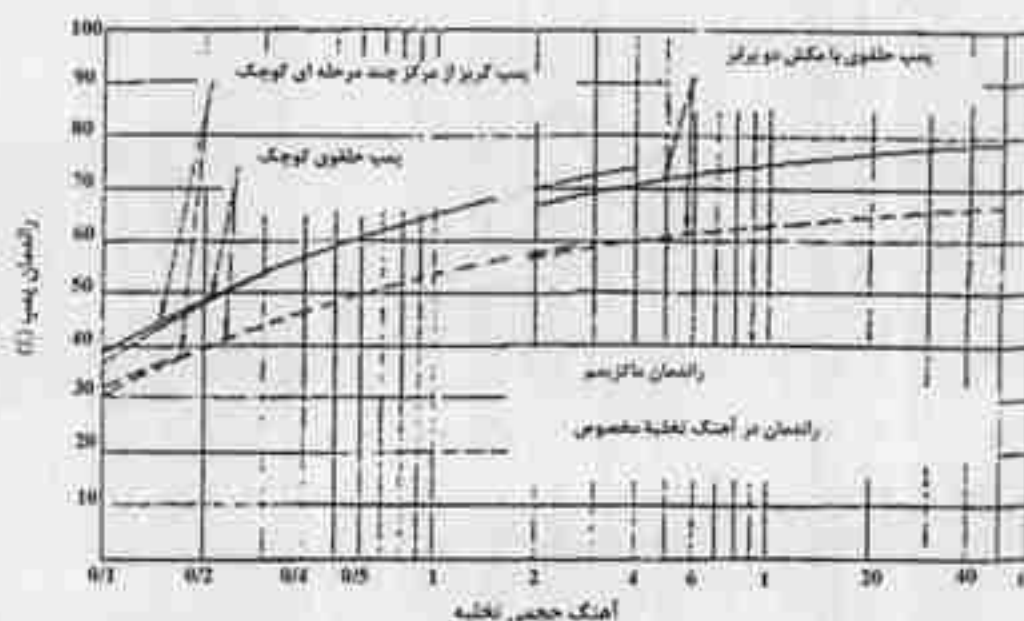
η_p : بازده پمپ

اگر راندمان موتور η_M و ضریب رزرو پمپ ϕ نیز به حساب آورده شود رابطه (۶-۹) به صورت رابطه (۷-۹)

در می‌آید:

$$L = \frac{0.163 QH}{\eta_p \eta_M} \times \phi (KW) \quad (7-9)$$

شکل شماره (۹-۲۳) منحنی تغییرات راندمان پمپ‌ها را نشان می‌دهد.

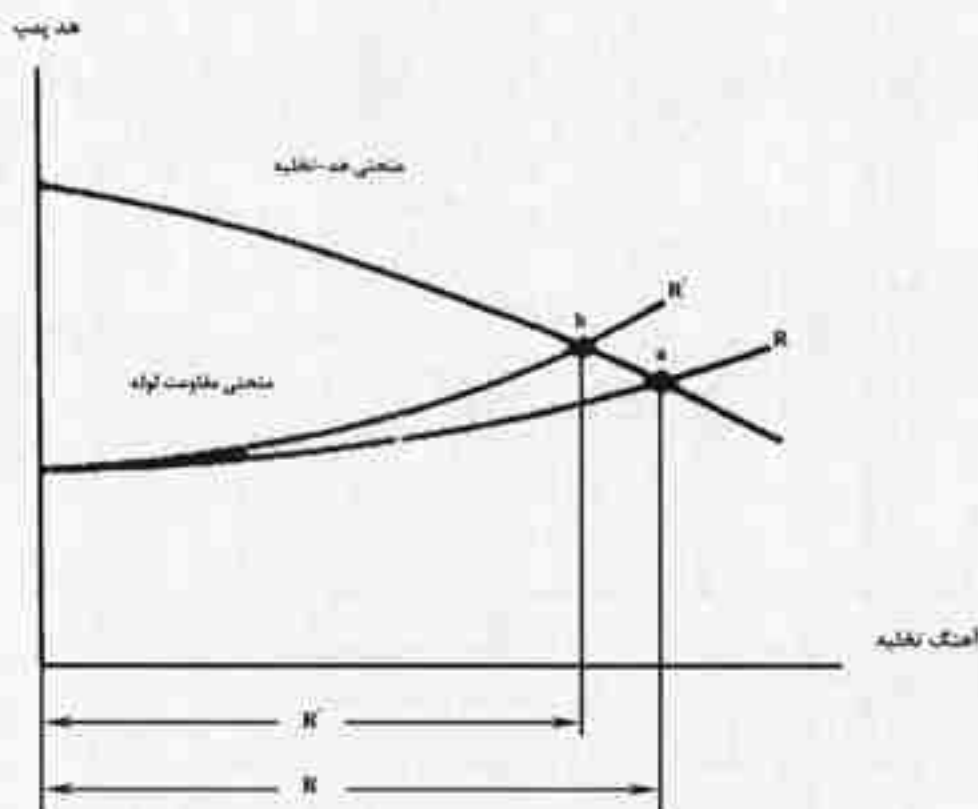


شکل ۹-۲۳- منحنی تغییرات راندمان پمپ‌ها (مطابق استاندارد JIS زاین)

۲-۴- کارگردهای مختلف یک پمپ

- تغییر نقطه کار پمپ، زمانی که مقاومت سیستم تغییر می کند:

به مرور زمان به دلیل زنگ زدگی و برآمدگی های ایجاد شده در داخل لوله، منحنی مقاومت خطوط لوله (سیستم) از R به R' مطابق شکل شماره (۹-۲۴) تغییر می یابد. بنابراین نقطه کار از نقطه a به نقطه b تغییر مکان داده و میزان جریان تخلیه شونده (از Q به Q') کاهش پیدا می کند.

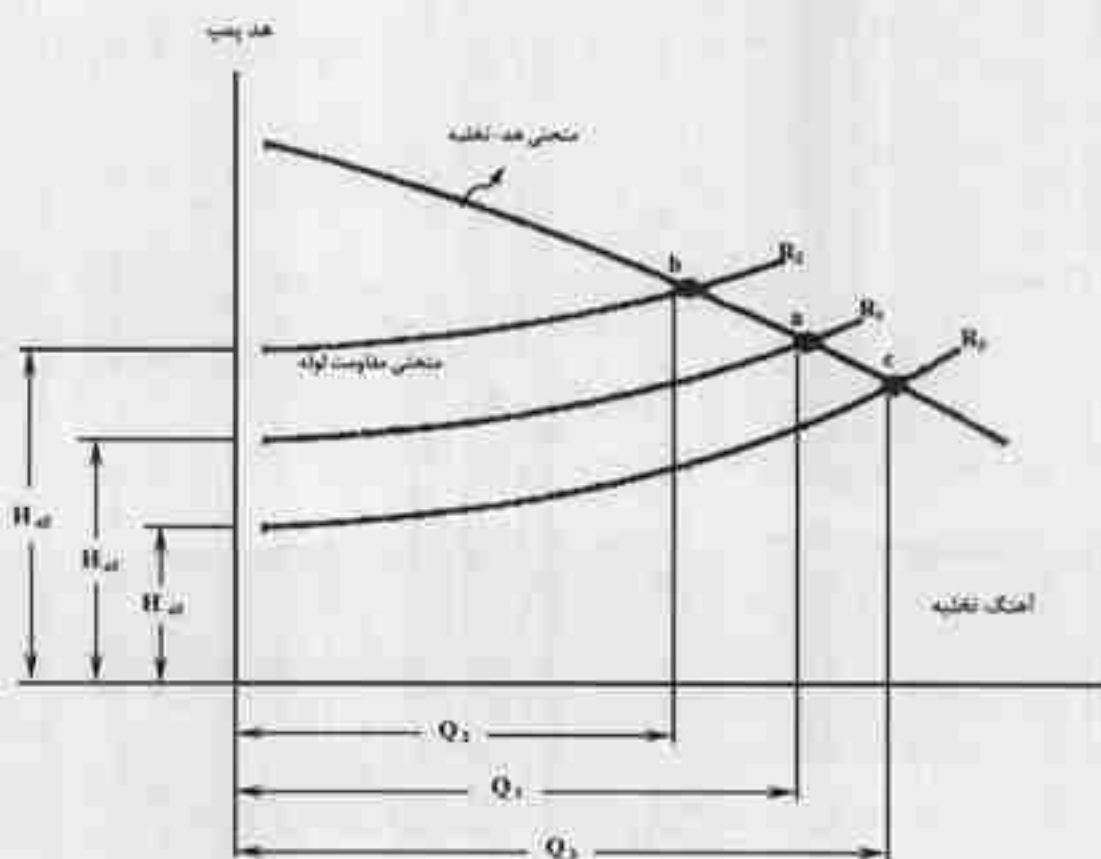


شکل ۹-۲۴- نقطه کار هنگامی که مقاومت سیستم تغییر می کند

- تغییر نقطه کار پمپ هنگامی که هد واقعی تغییر می کند:

اگر ارتفاعی^۱ که آب به آن ارتفاع پمپ می شود یا عمقی^۲ که آب از آن عمق پمپ می شود تغییر کنند، یا فشارها تغییر کنند، منحنی مقاومت خط لوله (سیستم) بطور موازی و متناظر با R_1 و R_2 به بالا یا پائین تغییر مکان می دهد. بنابراین نقطه کار هم مطابق شکل شماره (۹-۲۵) از نقطه a به نقطه b یا c حرکت می کند.

در مواردی که هد واقعی تغییر می‌کند بایستی به این مسئله توجه داشت که با تغییر نقطه کار، راندمان پمپ نیز تغییر پیدا می‌کند. بنابراین با ملاحظه گستره تغییرات و دفعات تغییرات هد واقعی، انتخاب پمپ چنان باید صورت گیرد که بیشترین راندمان حاصل شود.

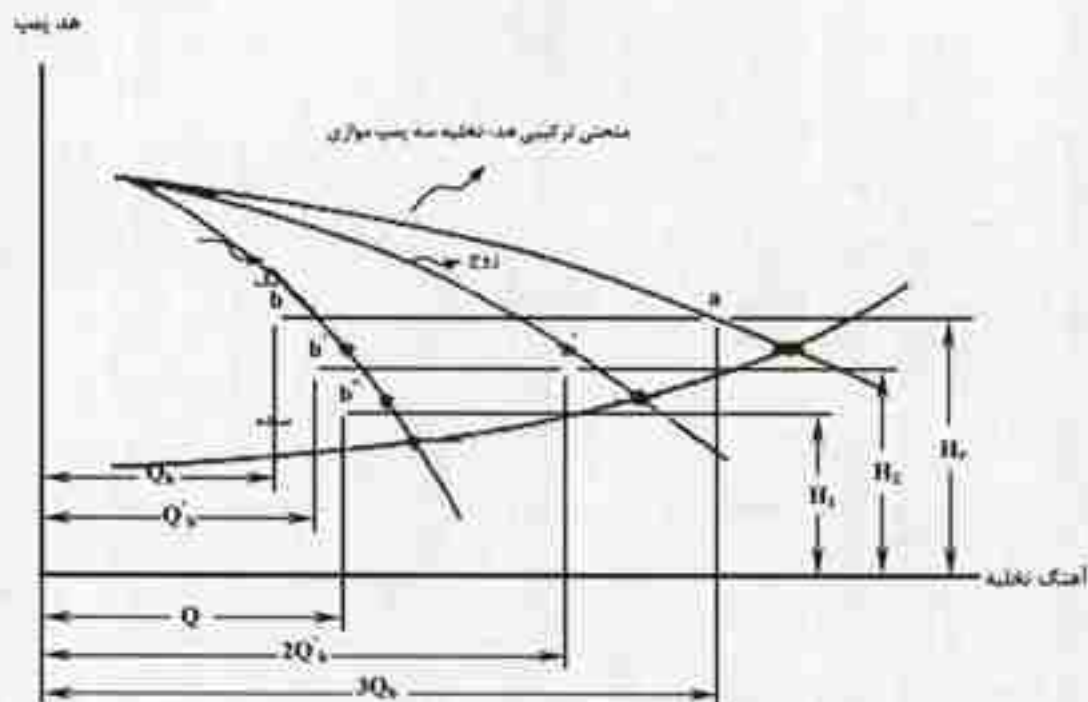


شکل ۹-۲۵- نقطه کار، زمانی که هد واقعی تغییر می‌کند

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 شماره (۹-۲۶) می‌تواند بدست آید.



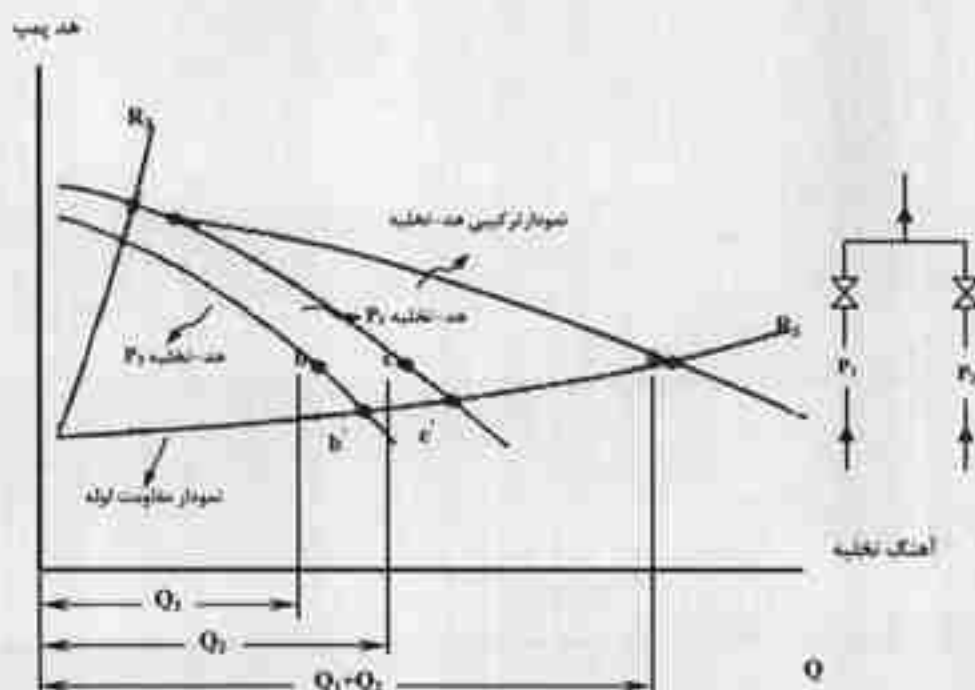
شکل ۹-۲۶- کارکرد موازی پمپ‌ها با مشخصات یکسان

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 با 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 شماره (۹-۲۷) از طریق جمع جریان تخلیه شونده از هر پمپ در هد یکسان به دست می‌آید.



شکل ۹-۲۷- کارکرد موازی پمپ‌ها 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 نقطه 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 شماره (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.

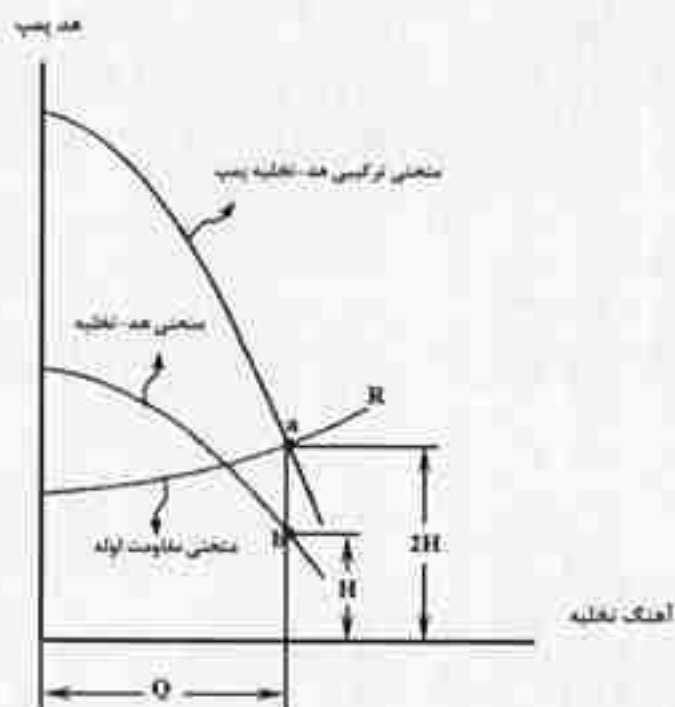
- کارکرد سری پمپ‌ها با مشخصات مختلف

در شکل شماره (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 متحنی مشخصات متفاوت بصورت سری کار کنند اگر متحنی مقاومت مسیر R_2 از زیر نقطه K عبور کند، بدلیل شرایط مکش پمپ بایستی مراقب وقوع پدیده خوردگی^۱ 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 متحنی مقاومت مسیر خط لوله از زیر نقطه K عبور ننماید.

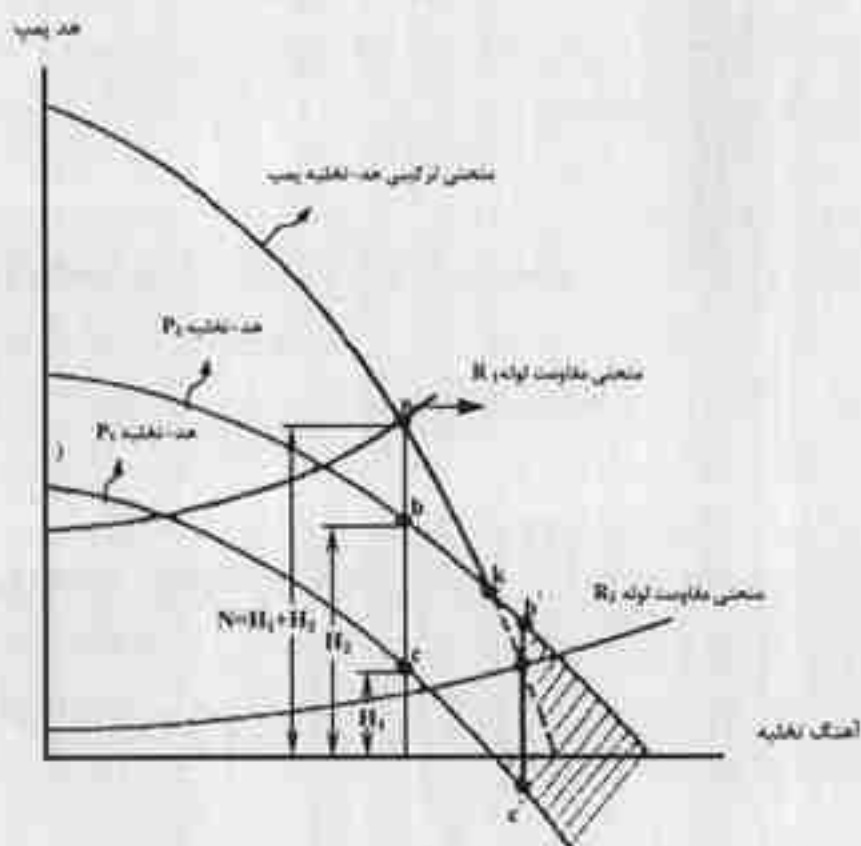
۲-۲- شرایط انتخاب کارکرد سری با موازی

اگر بخواهیم میزان جریان آب را با استفاده از دو پمپ افزایش دهیم از روی شکل متحنی مقاومت مسیر خط لوله مشخص می‌شود که کدام یک از روش‌های کارکرد موازی و یا سری پمپ‌ها سودمندتر است. در شکل شماره (۹-۳۰) مشاهده می‌شود که نقطه تلاقی متحنی هد مرکب حالت سری با متحنی هد مرکب حالت موازی نقطه K بوده و به منزله یک مرز می‌باشد. بهره‌برداری حالت موازی زمانی سودمند خواهد بود که متحنی مقاومت مسیر خط لوله از زیر نقطه K عبور کند (مانند متحنی R_1)، بهره‌برداری حالت سری نیز زمانی سودمند خواهد بود که متحنی مقاومت مسیر خط لوله از بالای نقطه K عبور کند (مانند متحنی R_2).

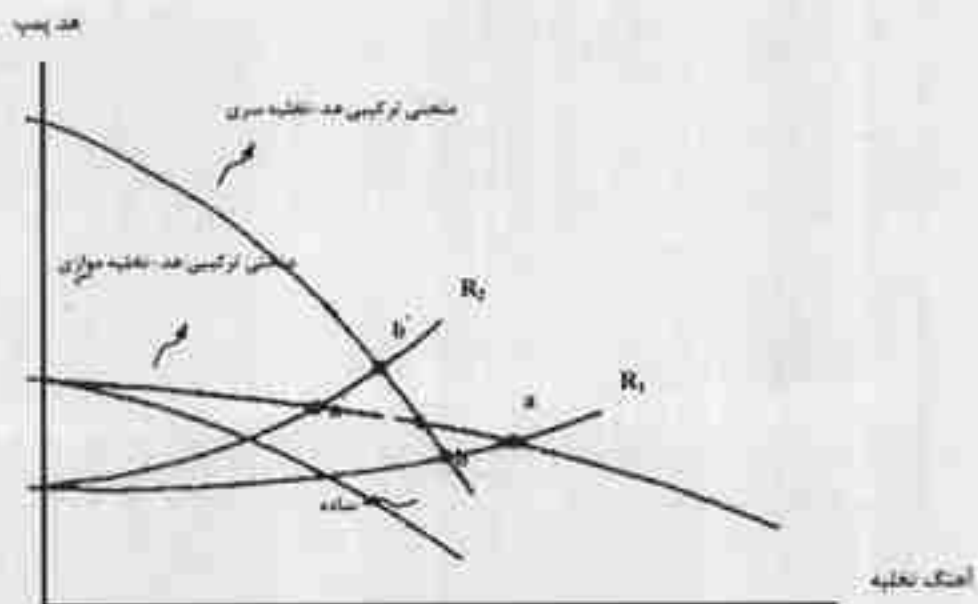


شکل ۹-۲۸- کارکرد سری پمپ‌ها با مشخصات یکسان

^۱ - Cavitation



شکل ۹-۲۹- کارکرد سری پمپ‌ها با مشخصات مختلف



شکل ۹-۳۰- شرایط انتخاب کارکرد سری یا موازی

۲-۸- راهکارهای صرفه‌جویی انرژی در پمپ‌ها

تغییر قطر پروانه

اگر جریان تخلیه شونده از پمپ و هد کلی پمپ در هنگام استفاده از آن، بدلیل تخصیص 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:

$$Q_2 = \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^2 \times Q_1 \quad \text{جریان تخلیه شونده (دبی)}$$

$$H_2 = \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^2 \times H_1 \quad \text{هد پمپ}$$

$$P_2 = \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^4 \times P_1 \quad \text{توان مکانیکی}$$

D_1 : قطر خارجی اولیه

D_2 : قطر خارجی بعد از برش

Q_1 : جریان تخلیه شونده (دبی) اولیه

H_1 : هد پمپ اولیه

P_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 شماره (۹-۳۱) تغییر در عملکرد پمپ در اثر برش قطر پروانه را نشان می‌دهد.

انتخاب پمپ‌ها و آثار آن در صرفه‌جویی 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 در نظر گرفته شده اضافه بر میزان مورد نیاز می‌باشد.

تغییر سرعت

می‌دانیم که توان مکانیکی یک پمپ با توان سوم سرعت متناسب است.

$$Q_2 = \left(\frac{N_2}{N_1} \right) \times Q_1 \quad \text{جریان (دبی)}$$

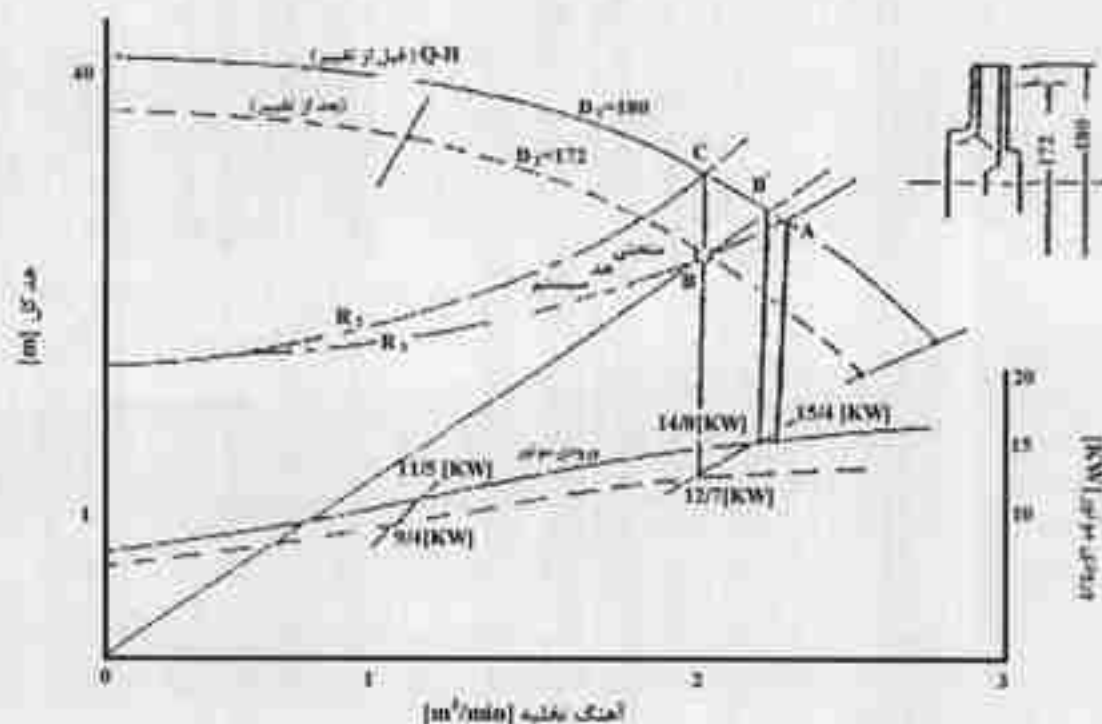
$$H_2 = \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 \times H_1$$

$$L_2 = \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^3 \times L_1$$

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 سرعتی می‌باشد. شکل شماره (۹-۳۳) نشان دهنده تغییر عملکرد یک پمپ با تغییرات سرعت در آن است.



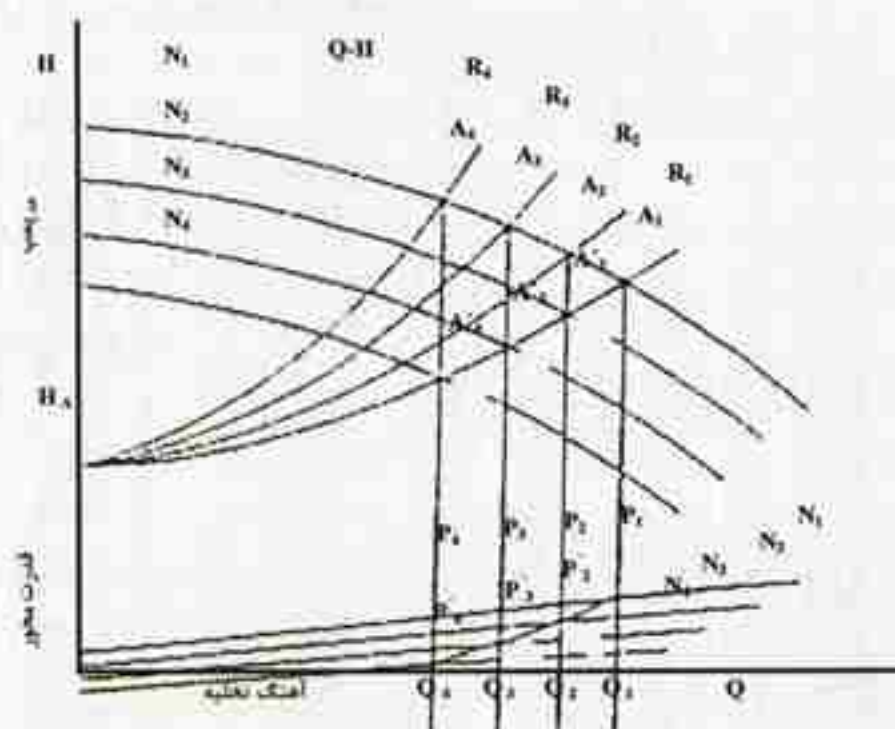
شکل ۹-۳۱- تغییر در عملکرد پمپ در اثر برش قطر پروانه

A: نقطه عملکرد پمپ قبل از بریدن پروانه $(1.5 \text{ m}^3/\text{min} \times 15.4 \text{ m})$

B: نقطه عملکرد پس از بریدن پروانه $(1.5 \text{ m}^3/\text{min} \times 12.7 \text{ m})$

B': نقطه متناظر با B قبل از بریدن پروانه $(1.5 \text{ m}^3/\text{min} \times 11.5 \text{ m})$ (نقطه B' می‌تواند بر روی B منطبق شود)

C: نقطه کار برای مقدار آب نقطه B در صورت کنترل شیر $(1.5 \text{ m}^3/\text{min} \times 11.5 \text{ m})$



شکل ۹-۲۲- تغییر عملکرد پمپ 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

در مجموع، منظور اصلی از کنترل سرعت، کنترل فشار است. کنترل فشار از دو طریق امکانپذیر است:

الف - کنترل فشار با جریان تخلیه (دبی) ثابت

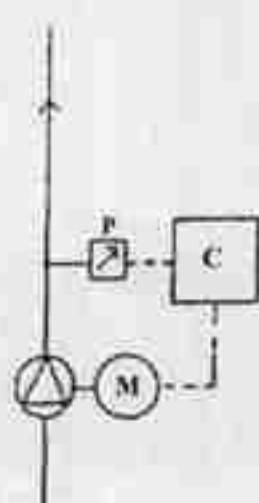
ب - تثبیت فشار ترمینال

الف - کنترل فشار یا جریان تغلیبه (دبی) ثابت :

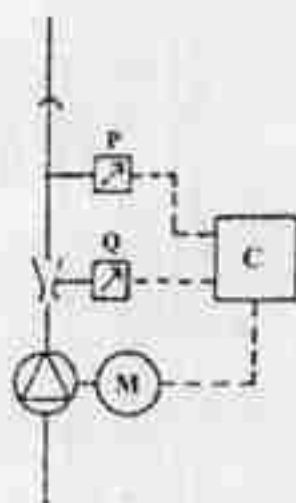
این سیستم، سرعت گردش پمپ را با فیدبک از فشار تغلیبه و ثابت نگه‌داشتن آن تغییر می‌دهد. از آنجایی که گستره تغییرات سرعت کوچک است میزان صرفه‌جویی انرژی حاصل از این سیستم نیز در مقایسه با سیستم کنترل فشار ترمینال ثابت که به آن خواهیم پرداخت کمتر است. شکل‌های شماره (۹-۲۳) به ترتیب نشانگر اثر تغییر سرعت روی توان مکانیکی و نشانگر نمودار سیستم کنترل برای دو حالت فوق می‌باشند.

ب - تثبیت فشار ترمینال :

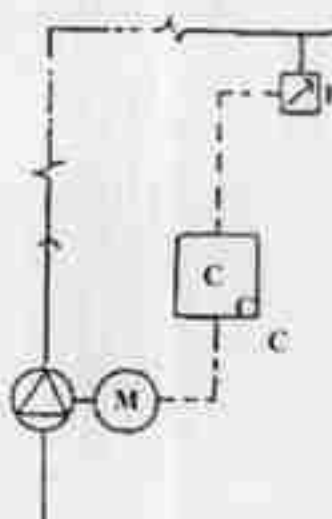
حتی اگر مقدار آب مصرفی نیز تغییر کند، این سیستم با کنترل سرعت پمپ و فیدبک از دبی خروجی از پمپ و فشار یا فیدبک از فشار ترمینال بنیال آن است که فشار آب در ترمینال ورودی به تأسیسات، همواره ثابت نگه داشته شود (در این حالت نقطه کار پمپ چنان کنترل می‌شود که این نقطه به سوازات منحنی مشخصه مقاومت سیستم حرکت کند).



کنترل فشار با جریان تغلیبه ثابت



تثبیت فشار ترمینال



P: فشار سنج
Q: اندازه گیر آهنگ
C: تابلو کنترل

شکل ۹-۲۳- دیاگرام سیستم کنترل برای دو حالت کنترل فشار با دبی ثابت و تثبیت فشار ترمینال

فصل دهم

صرفه‌جویی 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 سالانه 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.

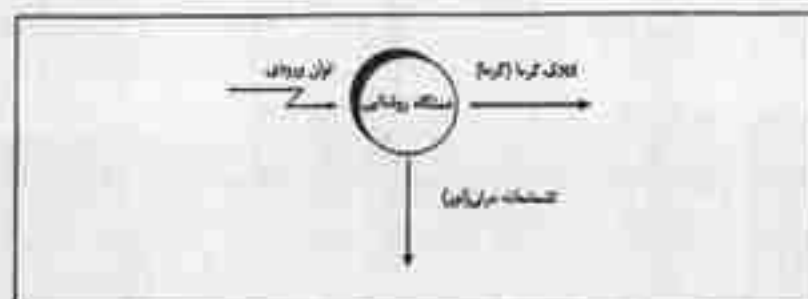
در ساختمانهای اداری و تجاری بین ۲۰ تا ۵۰ درصد از کل مصرف، مربوط به روشنایی می‌باشد. در بقیه ساختمانها ۱۰ درصد و یا کمتر و در صنایع نیز مصرف روشنایی بطور معمول، درصد کمی از کل مصرف را تشکیل می‌دهد ولی بطور مطلق مقدار قابل توجهی را در بر دارد.

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 مدار یک اتم از یک سطح انرژی در حال گردش یا در حالت انرژی به سطح بالاتر برود در برگشت به سطح قبلی، این انرژی را بصورت یک فوتون ساطع می‌کند و این فرایند، اساس کار انواع منابع نور می‌باشد. 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 (پایین‌تر) برگردند. در صورتیکه طول موج فوتون در یک محدوده خاص باشد، چشم انسان توانایی دیدن آن را دارد، یک منبع نور خوب، تعداد زیادی فوتون را در این محدوده ساطع می‌کند مانند لامپ سدیم کم فشار. بعضی از منابع نور، تنها کسری جزئی از فوتون‌های ساطع شده در محدوده بینایی است مانند لامپهای رشته‌ای شکل (۱۰-۱) ورودی و خروجی انرژی به یک منبع نور را نمایش می‌دهد.



شکل شماره (۱-۱۰) - 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^۱ 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 می‌گیرند بطور نوعی از ۵۰ تا ۱۰۰۰۰ لومن می‌باشند. لومن برای سفارش لامپ‌ها، مقایسه آنها، و محاسبه راندمان انرژی (که بر حسب لومن بر وات بیان می‌شود) مورد استفاده قرار می‌گیرد.

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 می‌رود بلا استفاده بماند.

شدت نور :

میزان توان نوری که به واحد سطح می‌رسد شدت نور نامیده می‌شود و با واحد لوکس^۱ یا فوت کندل^۲ 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 محدوده 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 رابطه 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 پروات (Lm/w) می‌باشد.

چگالی توان روشنایی :

چگالی توان روشنایی، توان بکار رفته برای سیستم روشنایی در واحد سطح می‌باشد که واحد آن وات بر متر مربع (W/m^2) بوده و بعنوان یک معیار جهت ارزیابی هر نقطه جثمایی روشنایی استفاده شده و عامل مهمی در مطالعات گرمادهی و سرمادهی ساختمانها نیز محسوب می‌شود.

نظایر رنگ :

نظایر رنگ در کمبته بین المللی روشنایی^۳ بصورت تغییر رنگ یک سطح هتگامیکه منبع نور مرجع، جایگزین منبع نور مورد آزمایش شود، تعریف شده است. این شاخص برای اجسام سیاه برابر با ۱۰۰ و درحالیکه 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 پایین‌تر از سه هزار درجه کلوین به عنوان نور گرم در نظر گرفته می‌شود. لامپ‌های انتهایی معمولی دمای رنگی حدود ۲۷۰۰ درجه کلوین دارد.

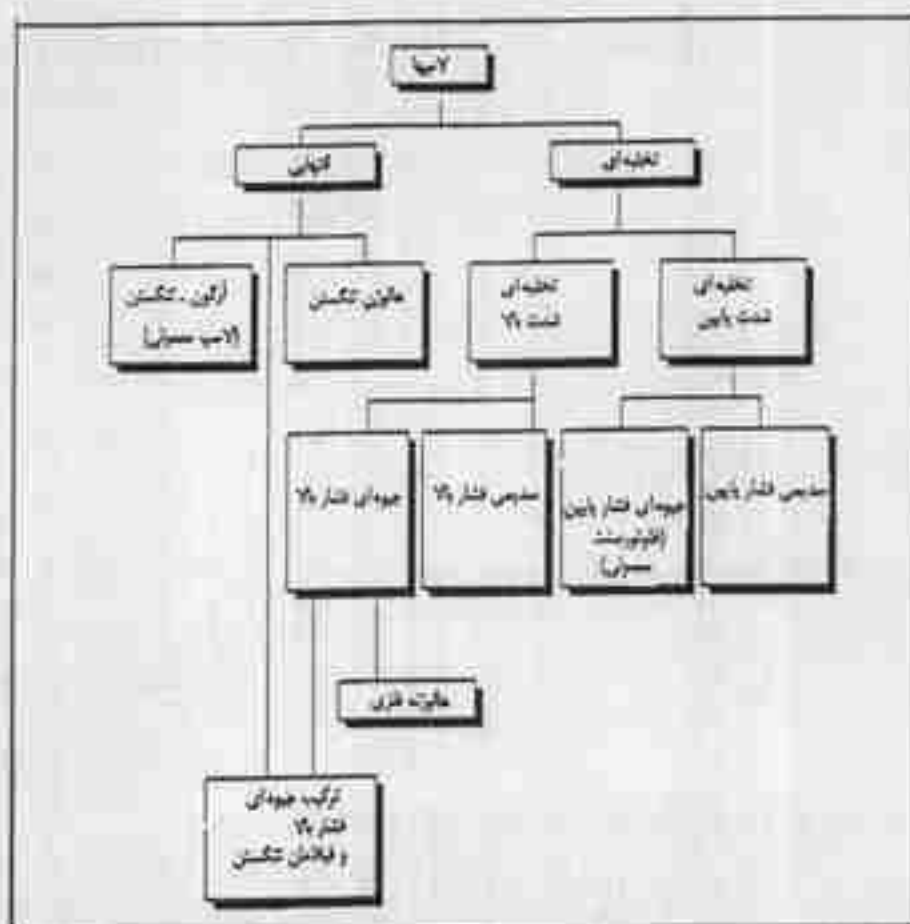
1 - Lux

2 - Foot candela

3 - International commission on Illumination

۴-۱- انواع منابع روشنایی (لامپ)

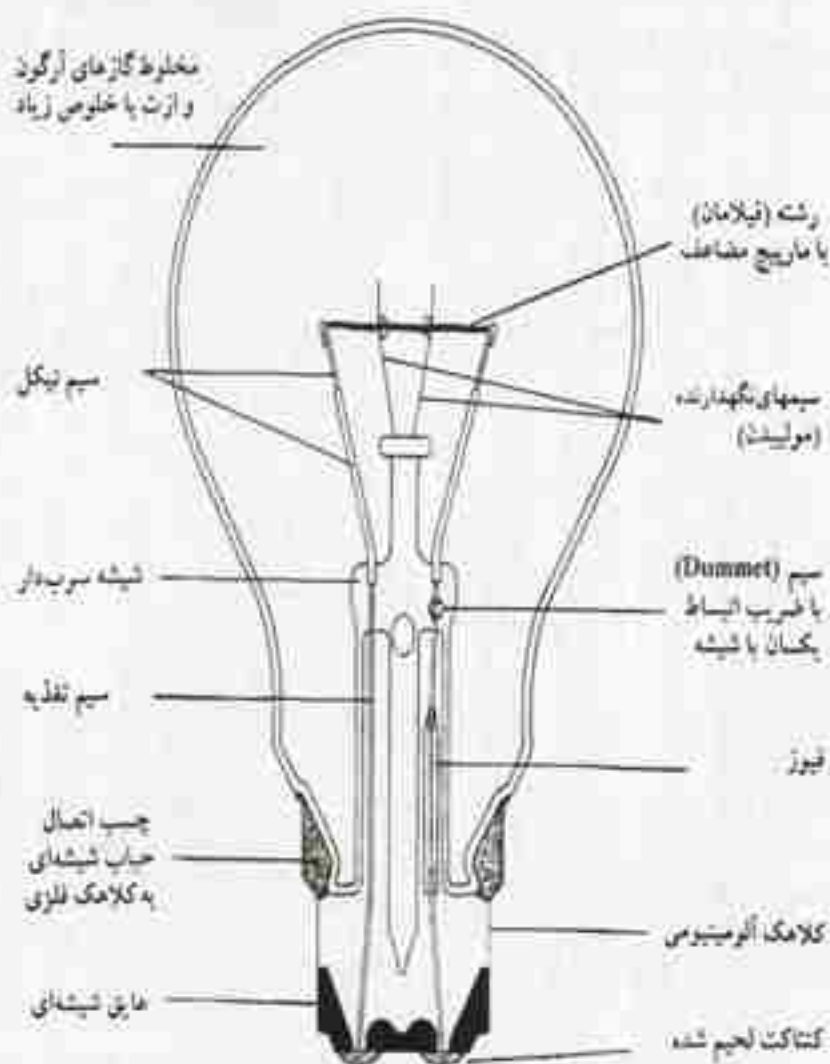
منابع مختلف برای تأمین نور مصنوعی وجود دارد که می‌توان آنها را به دو دسته کلی انتهایی و تخلیه‌ای تقسیم نمود. البته دسته سومی هم برای تأمین روشنایی وجود دارد که کاربرد عمومی ندارد و آن روشنایی بوسیله نیمه هادی‌های نوری می‌باشد که از بحث در مورد آن صرف نظر شده است. شکل (۲-۱۰) دسته‌بندی منابع روشنایی را نشان می‌دهد.



شکل شماره (۲-۱۰) - منابع مختلف نور

۴-۱-۱- لامپ‌های انتهایی :

روشنایی انتهایی ناشی از شمع یک جسم داغ ملتهب است. حرارت منبع روشنایی انتهایی است. منبع این حرارت در خورشید انرژی هسته‌ای، در شمع انرژی شیمیایی و در لامپ انتهایی 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.



شکل شماره (۴-۱۰) - اجزاء مختلف یک لامپ التهای

هر منبع نور، خواصی برای الگوی شکل موج تولیدی دارد که اسپکتروم نامیده می شود. اسپکتروم یک لامپ رشته ای نوعی مطابق شکل (۴-۱۰) می باشد که نور مرئی تنها قسمت کوچکی از پائین نمودار ناقوسی را تشکیل می دهد که نشان دهنده راندمان پائین لامپ های التهای 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 می شود.

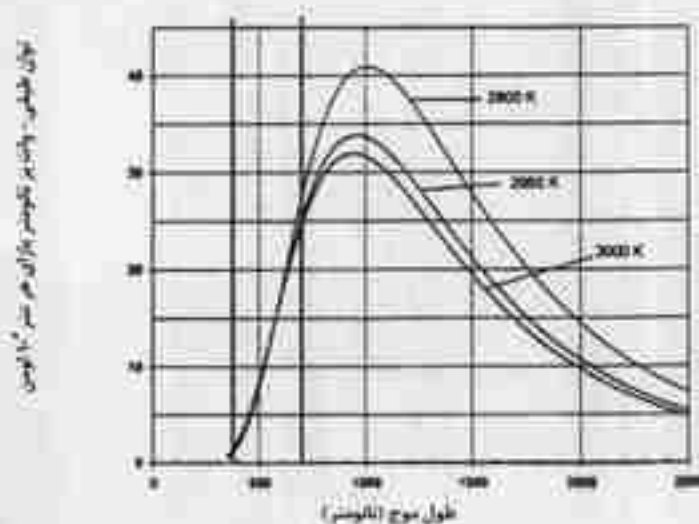
شکل (۵-۱۰) اسپکتروم نور خورشید در زمان ظهر و یک لامپ التهای را نشان می دهد. تظاهر رنگ لامپ های التهای خوب بوده و در حدود ۱۰۰ می باشد و علت آن پیوستگی اسپکتروم آن می باشد نه به علت توزیع خوب آن.

شکل (۶-۱۰) 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^۱ می‌باشد که به علت گرانی تنها برای لامپهای هالوژن به علت حباب کوچک مناسب می‌باشد. شکل (۷-۱۰) این کار موجب افزایش راندمان بین ۵ تا ۱۵ درصد می‌شود.

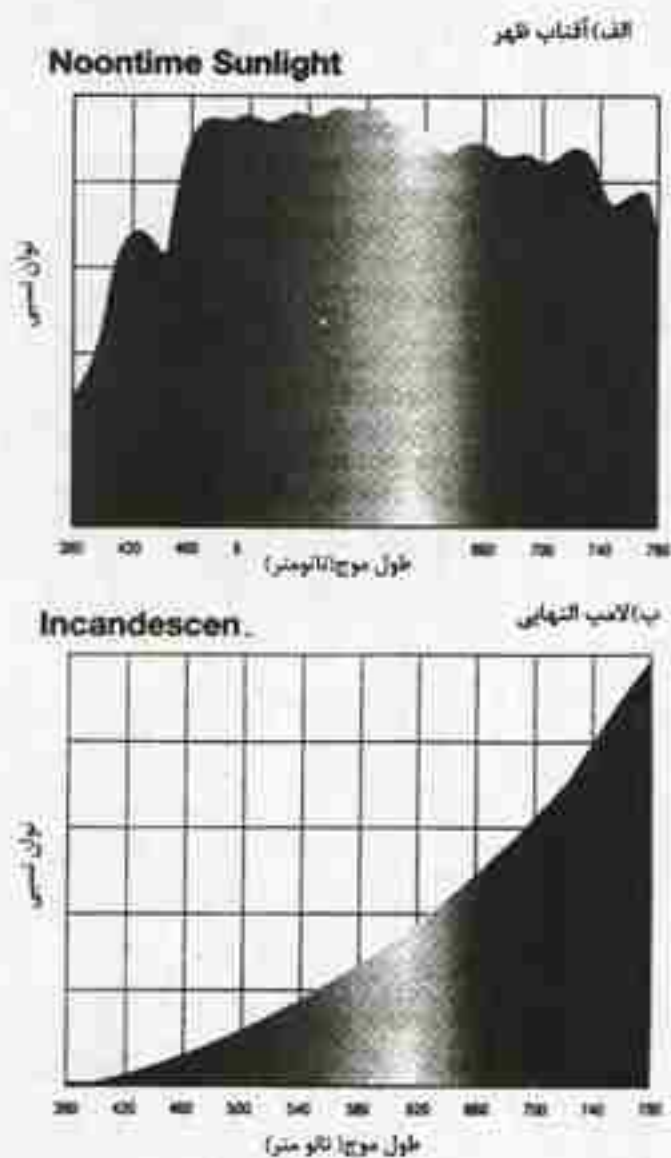
لامپهای هالوژن تنگستن نیز که با گازهای خانواده هالوژن پر شده‌اند از راندمان و طول عمر طولانی‌تری برخوردارند.

در شکل (۸-۱۰) کاهش نور خروجی لامپ انتهایی معمولی و هالوژن تنگستن آمده است.

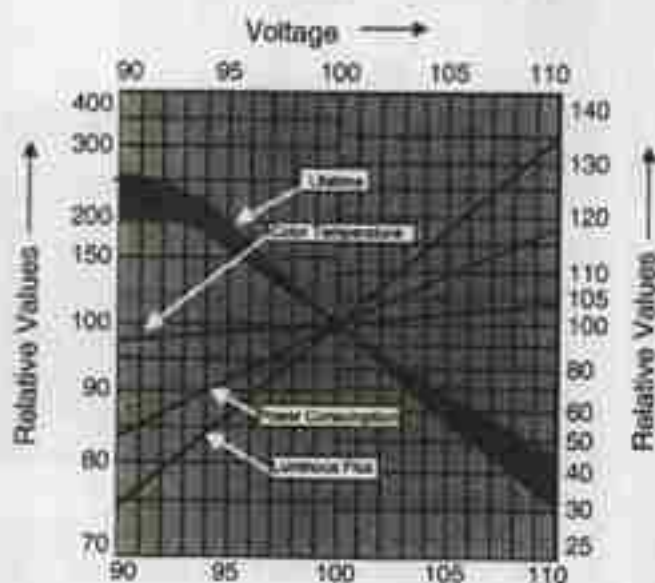


شکل شماره (۹-۱۰) - توزیع طول موج نور تولیدی (اسپکتروم) یک لامپ انتهایی

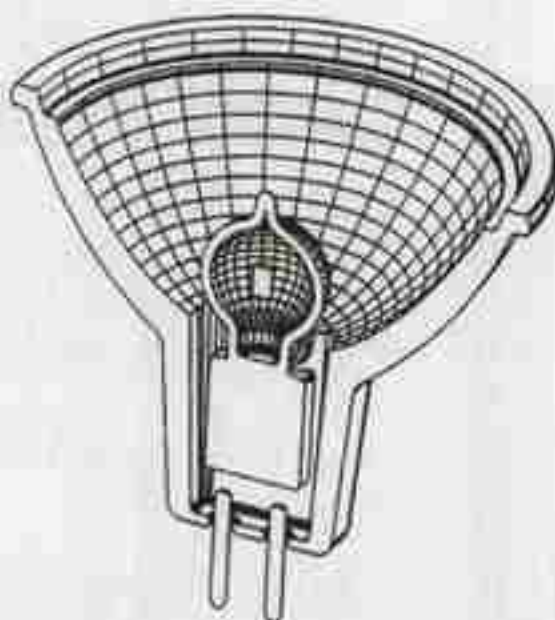
۱- کریپتون: یک نوع گاز کم‌جاذب است



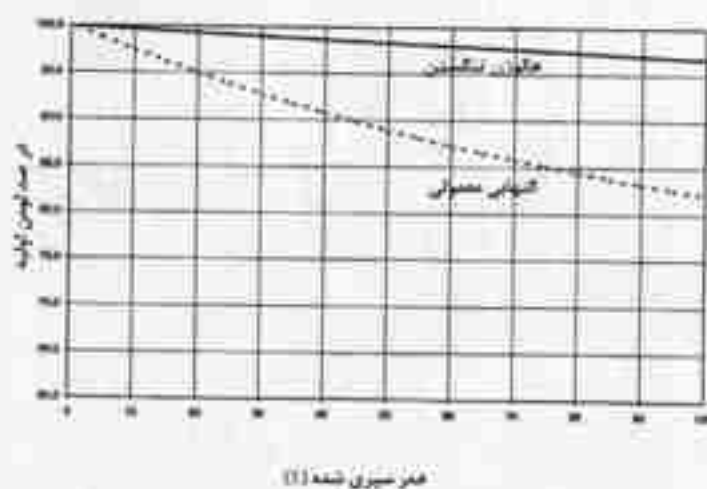
شکل شماره (۵-۱۰) - مقایسه توزیع طول موج (اسپکتروم) یک لامپ انتهایی با آفتاب ظهر



شکل شماره (۱۰-۶) - منحنی‌های تغییرات مشخصات لامپ‌های
برای تغییرات ولتاژ



شکل شماره (۱۰-۷) - یک لامپ هالوژن با انعکاس دهنده

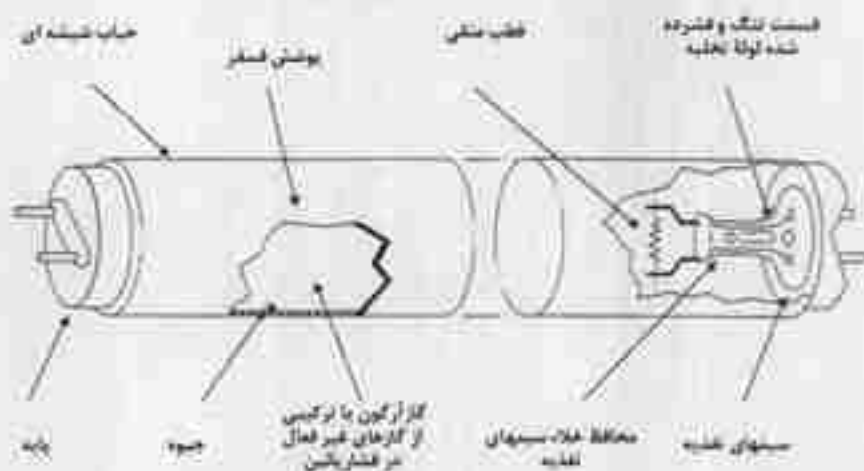


شکل شماره (۸-۱۰) - مقایسه افت نور یک لامپ انتهایی معمولی با لامپ هالوژن تنگستن

۱-۴-۲- لامپ فلورسنت :

لامپ فلورسنت یک لوله شیشه ای با الکتروود در هر انتهای آن می باشد. داخل لوله از یک یا چند ماده فسفری پوشانده شده است. بخار جیوه با فشار خیلی پائین همراه با یک یا چند گاز اصلاح کننده پر شده است. شکل (۹-۱۰) لامپ های فلورسنت متعارف را نشان می دهد.

برای ایجاد نور، نیاز به قوس الکتریکی است که بوسیله گاز یا بخاری که بار الکتریکی دارند صورت می پذیرد. ابتدا الکترون از الکتروودها جدا شده و در میدان برق بین دو الکتروود شروع به حرکت می کنند با برخورد الکترونها به اتم های جیوه، الکترون از جیوه کنده شده تولید یون می نماید. یونها و الکترون ها خلاف جهت یکدیگر حرکت نموده و قوس الکتریکی را بین دو الکتروود برقرار می نمایند.

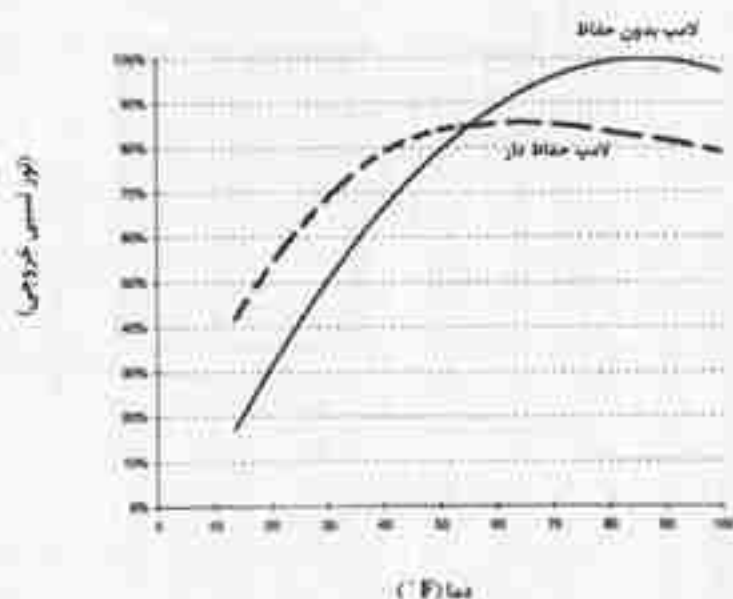


شکل شماره (۹-۱۰) - اجزاء یک لامپ فلورسنت

جریان باید مهار شود زیرا در صورت زیاد شدن الکترون‌ها ضربه‌های بیابایی 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 با 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 پروات 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.

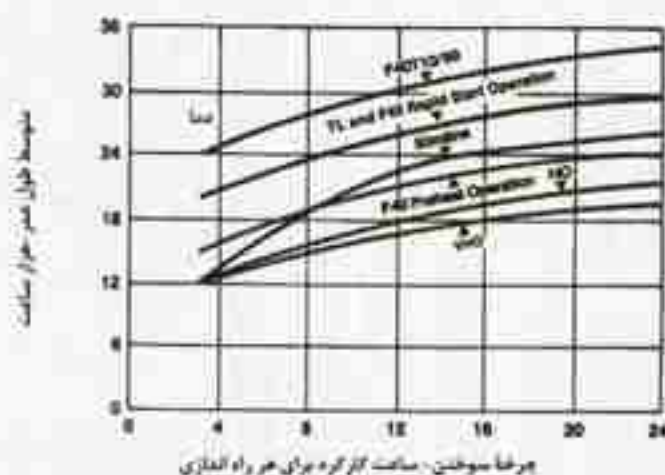
لامپ‌های فلورسنت بر خلاف لامپ‌های التهابی و تخلیه‌ای فشار بالا، به درجه حرارت محیط حساستند و باید دما در حدود 40°C باشد. شکل (۱۰-۱۱) تغییرات راندمان را با درجه حرارت محیط برای لامپ‌های فلورسنت نشان می‌دهد.



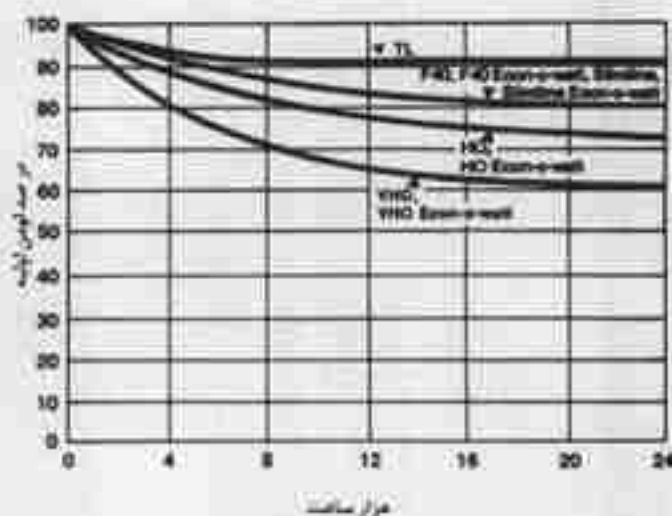
شکل شماره (۱۰-۱۰) - تغییرات نور خروجی لامپ فلورسنت در دو حالت

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 (۱۱-۱۰) آمده است و سازندگان معمولاً برای زیر ۳ ساعت عددی ارائه نمی‌دهند.

شکل (۱۲-۱۰) تغییرات نور خروجی برای انواع فلورسنت را نشان می‌دهد.



شکل شماره (۱۱-۱۰) - تغییرات طول عمر فلورسنت‌های مختلف به ازای ساعت کارکرد برای هر بار راه اندازی



شکل شماره (۱۰-۱۲) - افت نور انواع فلورسنت در طول عمر آنها

۱-۲-۴-۱- 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 یا بالاست^۱ که امکان نصب در سرپیچ لامپ‌های التهابی را دارند.
- لامپ‌های مهتابی که لوله آنها جدا بوده و یا یک آداپتور^۲ که حاوی بالاست است به سرپیچ لامپ التهابی متصل می‌شود.

شکل (۱۰-۱۳) انواع فلورسنت و فلورسنت فشرده را نشان می‌دهد.

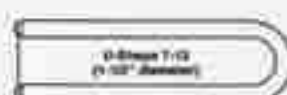
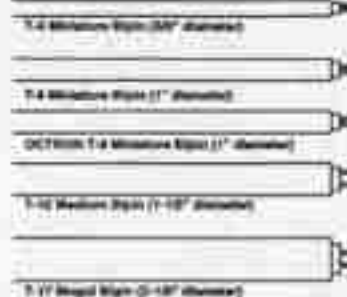
جدول (۱-۱۰) لامپ‌های فلورسنت فشرده را با لامپ التهابی مقایسه می‌کند.

1 - Ballast

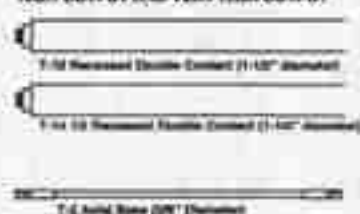
2 - Adaptor

FLUORESCENTS:

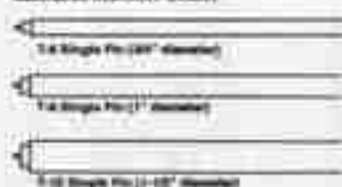
PREHEAT, RAPID START



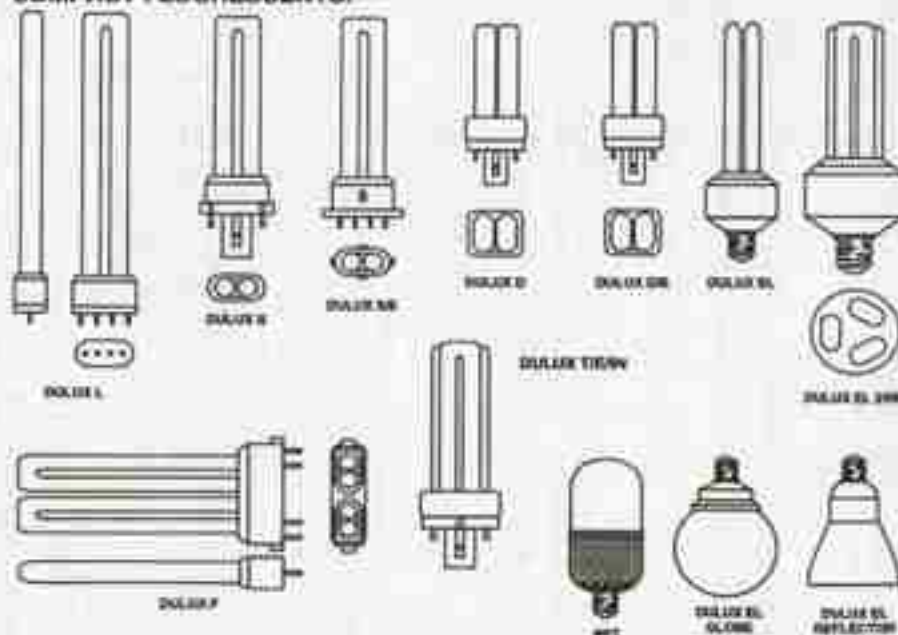
HIGH OUTPUT AND VERY HIGH OUTPUT



SLIMLINE INSTANT START



COMPACT FLUORESCENTS:



شکل شماره (۱۳-۱۰) - انواع مختلف لامپ های فلورسنت و فلورسنت فشرده

جدول شماره (۱۰-۱)- مقایسه بین لامپ‌های تنگستن-آرگون عادی و لامپ‌های فلورسنت فشرده با بالاست های فرکانس بالا و معمولی

انواع لامپها	توان (W)	طولی روشنایی (lm)	شاخص ظاهری رنگ (Ra)	بهره‌وری Lm/W
لامپ‌التهاب معمولی	۴۰	۲۳۰	۹۹	۱۱
	۶۰	۳۳۰	۹۹	۱۲
	۷۵	۴۶۰	۹۹	۱۳
	۱۰۰	۱۳۸۰	۹۹	۱۴
لامپ فلورسنت فشرده با بالاست معمولی (۱)	۹	۲۱۵	۸۲	۲۶
	۱۳	۶۲۰	۸۲	۲۸
	۱۸	۸۲۵	۸۲	۲۶
	۲۵	۱۰۸۵	۸۲	۲۳
لامپ فلورسنت فشرده با بالاست الکترونیکی (۲)	۷	۴۰	۹۰-۸۵	۵۷
	۱۱	۶۰۰	۹۰-۸۵	۵۵
	۱۵	۹۰۰	۹۰-۸۵	۶۰
	۲۰	۱۲۰۰	۹۰-۸۵	۶۰

(۱) - کاتالوگ محصولات روشنایی فیلیپس، ۱۹۹۰

(۲) - کاتالوگ محصولات اوسرام، ۱۹۹۰

۱-۴-۳- لامپ‌های تخلیه‌ای فشار بالا :

لامپ‌های تخلیه‌ای فشار بالا (HID) به ۳ دسته عمده تقسیم می‌شوند:

- لامپ‌های بخار جیوه با علامت اختصاری (MV)^۱

- لامپ‌های متال هالاید (MH)^۲

- لامپ‌های سدیم فشار بالا (HPS)^۳

در این دسته از لامپ‌ها، راندمان و ظاهر 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 (LPS)^۴ خواصی مشابه لامپ‌های تخلیه‌ای فشار بالا دارند و معمولاً هر دو

محصول بوسیله کارخانه‌های سازنده تولید شده و در یک دسته بندی قرار می‌گیرند.

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 انتهایی 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، مثال هالاید شفاف و سدیم پر فشار را نشان می‌دهد.

همانطور که از شکل (۱۰-۱۵) مشخص است لامپ‌های تخلیه‌ای فشار بالا دارای گسترده‌گی 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.

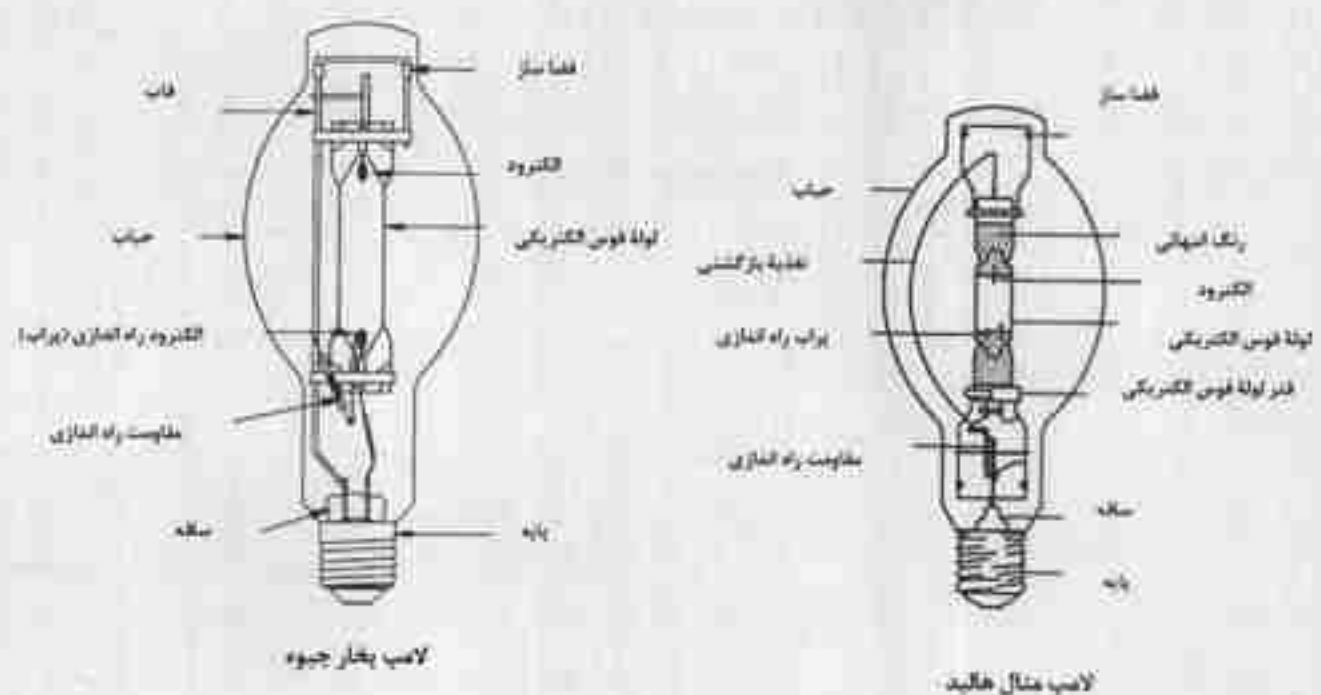
بعضی از لامپ‌های تخلیه ای فشار بالا نسبت به وضعیت نصب حساسند، شکل (۱۰-۱۷) تغییر نور یک نوع لامپ مثال هالاید را با تغییر زاویه محور آن نسبت به خط عمود نشان می‌دهد.

جدول (۱۰-۳) بهره نوری انواع لامپ‌های تخلیه ای فشار بالا را در توان‌های مختلف نشان می‌دهد.

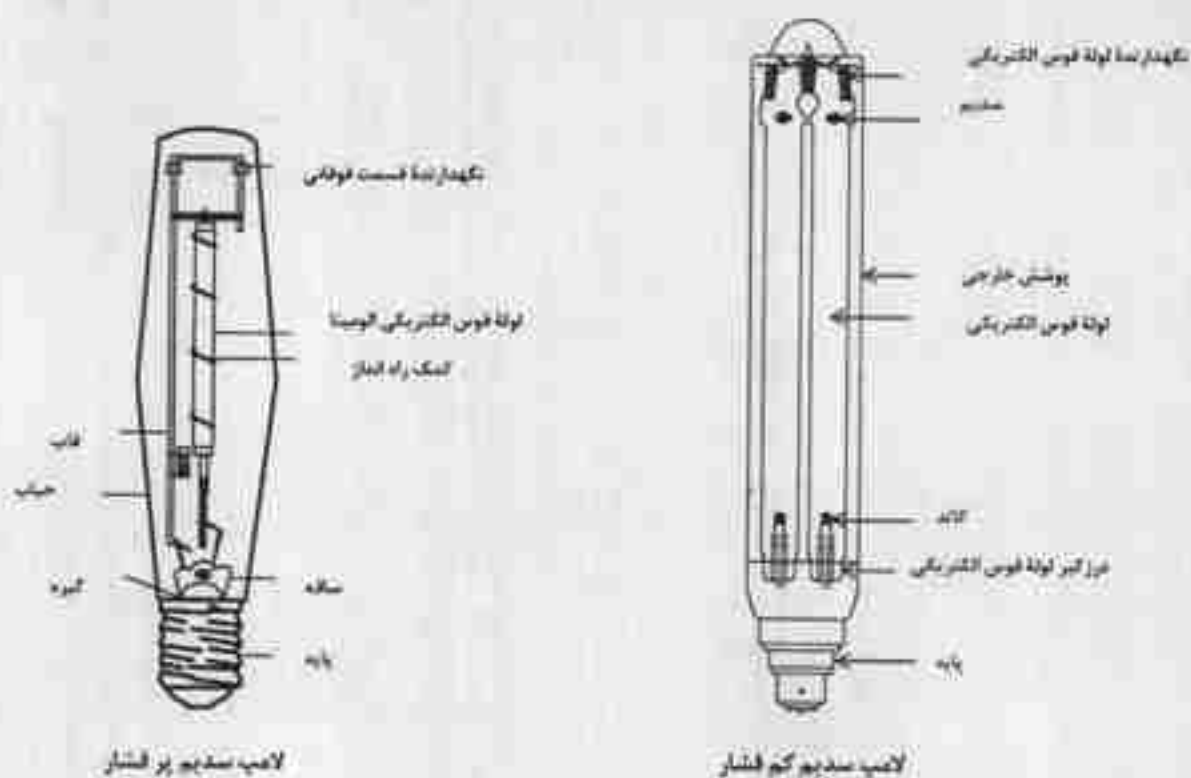
جدول (۱۰-۴) تلفات بالاست‌های مغناطیسی بر حسب درصدی از مصرف لامپ را نشان می‌دهد.

۱-۵- مقایسه خواص منابع نور مختلف

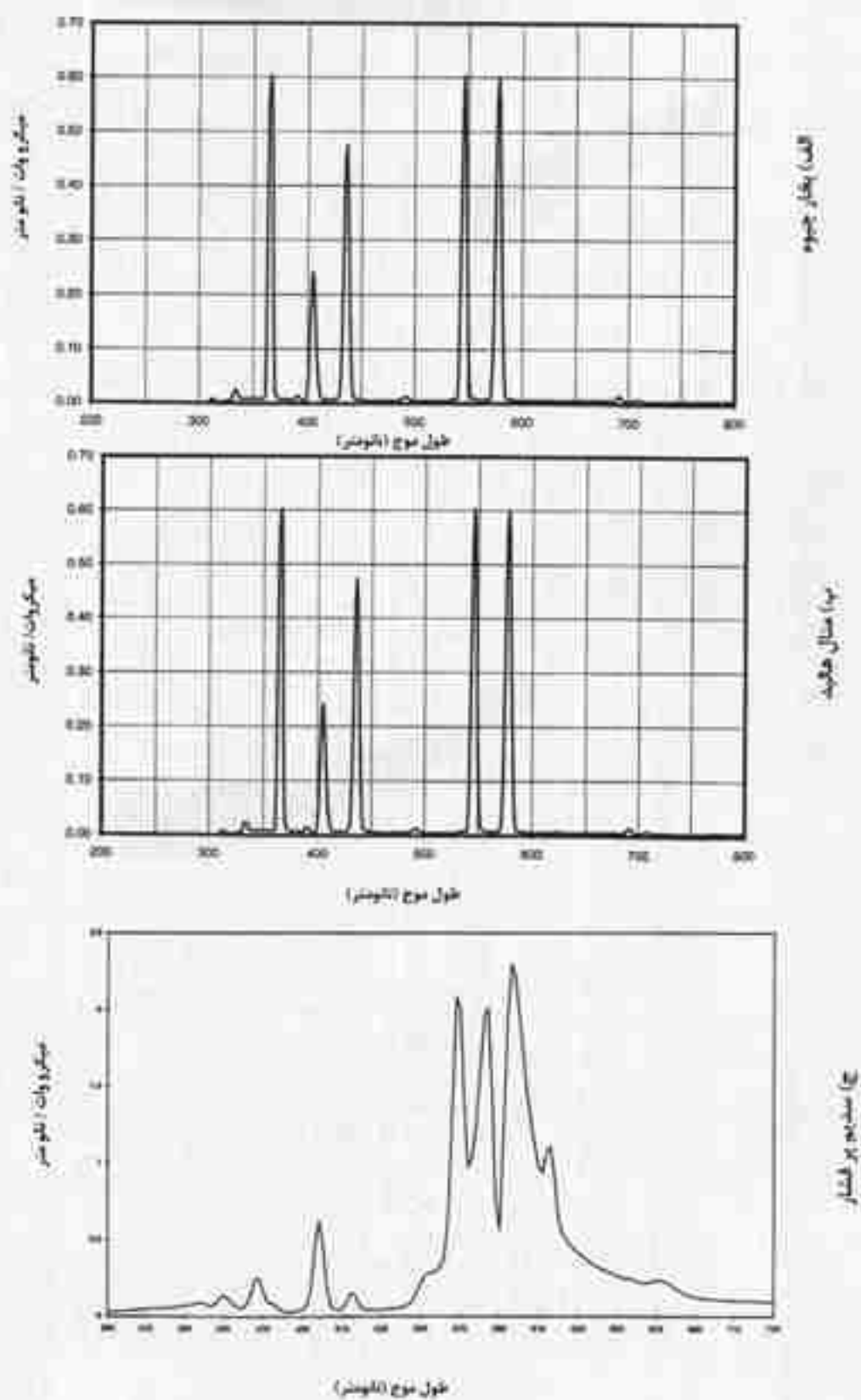
در جدول (۱۰-۵)، منابع نور مختلف، با هم مقایسه شده است.



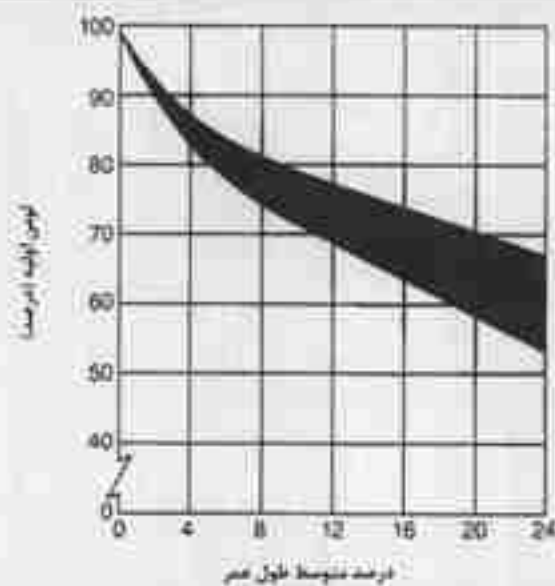
نمای لوله قوس الکتریکی



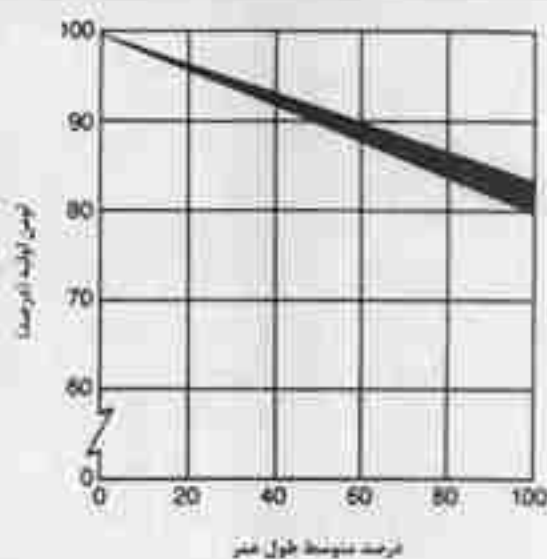
شکل شماره (۱۰-۱۴) - نوع لامپ تخلیه ای



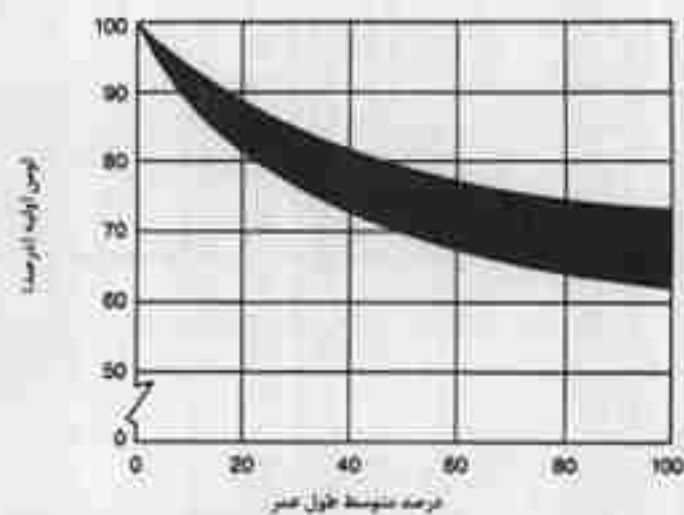
شکل شماره (۱۰-۱۵) - توزیع طول موج تولیدی (اسپکتروم) انواع لامپ‌های آنتهای



ب) کاهش نور لامپ فشار جیوه



الف) کاهش نور لامپ پر فشار سدیم

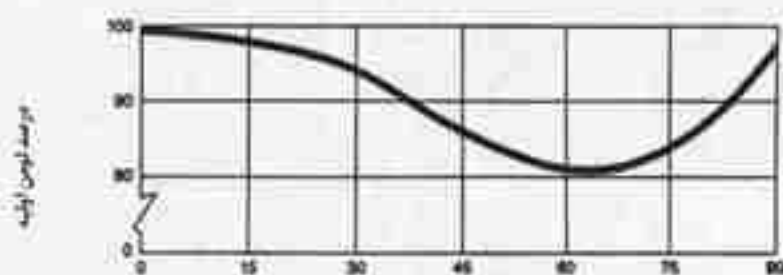


ج) کاهش نور لامپ متال هالید

شکل شماره (۱۰-۱۶) - کاهش نور انواع لامپهای تخلیه ای فشار بالا

جدول شماره (۱۰-۲) - محدوده رانندگی انواع لامپ های تخلیه ای

۲۵-۶۵	بخار جیوه
۷۰-۱۲۰	متال هالید
۵۰-۱۵۰	سدیم فشار بالا
۱۰۰-۱۹۰	سدیم فشار پایین
۳۰-۹۵	فلورسنت



محور لامپ - درجه بندی نسبت به خط عمود

شکل شماره (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

Watts	CRI	C/P	Efficacy (lumens/watt)		
			MV	MH	HPS
100	15	C	38		
	20+	C			95
	25	C	41		
	40+	P	43		
	50+	P	46		
	60+	C		78	
	80+	C			47
	80+	P			25
250	15	C	45		
	20+	C			110
	30+	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	58		
	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 شماره (۴-۱۰) - تلفات بالاست های نوعی لامپ های تخلیه فشار بالا بصورت درصدی از توان لامپ

TYPICAL H.I.D. MAGNETIC BALLAST LOSSES				
AS a percentage of lamp wattage				
LPS (لامپ فشار سدیم)	HPS بخار سدیم	MH بخار جیوه	MH منال هالید	Lamp wattage توان لامپ
72*				35
	32*		۲۸*	۵۰
	30*			۷۰
38*				۹۰
	30*	29*	۱۸	۱۰۰
۲۲*				۱۲۵
	29*			۱۵۰
		23	۱۳	۱۷۵
۲۲				۱۸۰
	20			۲۰۰
	18	۱۸	۱۲	250
	۱۲	۱۲	۱۳	۴۰۰
	۱۰	۸	۸	۱,۰۰۰
		۷		۱,۵۰۰

- The figures with asterisks are for high- power-factor reactor ballasts
- The other ballasts are CWA units.

جدول شماره (۱۰-۵) - مقایسه منابع نور مختلف

مشخصات	التهابی معمولی	التهابی هالوزن	فلورسنت معمولی
لومن خروجی	۵۰۰۰۰ U ۱۰	۲۰۰۰۰ U ۲۰۰	۱۲۰۰۰ U ۹۰۰
تضعیف لومن	۴۰ U ۱۵	۱۵ U ۸	۲۵ U ۸
عمر مفید	۴۰۰۰ U ۷۵۰	۶۰۰۰ U ۲۰۰۰	۲۰۰۰۰ U ۷۰۰۰
راندمان (l.m/W)	۲۲ U ۷	۲۲ U ۱۴	۹۰ U ۳۰
مصروف انرژی بالاست (Ballast)	ندارد	ندارد	از ۵ (برای بالاستهای الکترونیکی با کیفیت) تا ۲۰ (برای بالاستهای مغناطیسی)
پتانسیل جایگزینی وعدم تطابق لامپ	محدودیتی از جهت جایگزینی در صورت قابل نصب بودن در قاب و تحمل حرارت ایجاد شده توسط قاب وجود ندارد	محدودیتی از جهت جایگزینی در صورت قابل نصب بودن در قاب و تحمل حرارت ایجاد شده توسط قاب وجود ندارد	در محدوده خاصی از توان با نوجه به سایز لامپ، شکل سوکت و قابلیت سازگاری بالاست محدود میشود
قابلیت تنظیم نور	نامحدود	نامحدود، (بجز در مواردیکه از دیود استفاده شده باشد قابلیت تنظیم نور وجود ندارد	نیاز به انواع خاصی از بالاستهای تنظیم کننده می باشد
ضریب تطابقرنگ	۱۰۰	۱۰۰	۹۵ U ۵۰
رنگ لامپ	سفید به نظر می رسد اما رنگ واقعی آن زرد مایل به قرمز باشد. طیف آن پیوسته بوده، اما تمرکز آن به سمت 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 توک نیز و یامثل طیف نور خورشید گسترده باشد.

ادامه جدول شماره (۱۰-۵)

مشخصات	التهابی معمولی	التهابی هالوژن	فلورسنت معمولی
دمای راه اندازی	محدودیتی ندارد	محدودیتی ندارد	برای لامپهای راندمان بالا (55°C (130°F) و برای لامپهای معمولی (10°C) 50°F می باشد. بالاستهای مخصوصی وجود دارد که با بکارگرفتن آنها به دمای راه اندازی بسیار کمتری می توان دست یافت.
تأثیر دمای روی نور	کم است	کم است	تلفات جدی نور خروجی در بالا و پایین نقطه ایستیم دمای لامپ (حدود 100°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 نژادینی	تنوع زیادی دارند	تنوع زیادی دارند	ندارد

ادامه جدول شماره (۵-۱۰)

مشخصات	التهابی معمولی	التهابی هالوزن	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 می‌کنند و حفاظت از دستگاه‌های آسیب پذیر در مقابل سر و صدا در این موارد ضروری است. همچنین برخی بالاستهای الکترونیکی هم مقادیر قابل توجهی سر و صدا تولید می‌کنند.
ضرب توان	مشکلی ندارد	مشکلی ندارد	از بالاستهای با ضریب توان بالا می‌توان استفاده کرد. برخی از بالاستها ضریب توان پائین دارند.
امواج هارمونیک	ندارد	ندارد	امواج شدید رخ می‌دهد و شدت آن در بالاستهای الکترونیکی با کیفیت پائین بیشتر است.
تداخل الکترو مغناطیسی	ندارد	ندارد	بالاتهای الکترونیکی مشکلات زیادی را بوجود می‌آورند. با یکارگیری بالاستهای با کیفیت پائین این مشکلات افزایش می‌یابد.

ادامه جدول شماره (۱۰-۵)

مشخصات	فلورسنت فشرده	بخار جیوه	مثال هالید
لومن خروجی	۱۸۰۰ تا ۲۵۰	۶۰۰۰ تا ۱۲۰۰	۱۶۰۰۰ تا ۴۰۰۰
تضعیف لومن	۲۰ تا ۱۵	۲۵ تا ۳۵	۴۵ تا ۳۰
عمر مفید	۱۰۰۰۰	۲۴۰۰۰	۲۰۰۰۰ تا ۵۰۰۰۰
(L.m/W) راندمان	۲۵ تا ۷۰ (با در نظر گرفتن تلفات بالاست)	۶۵ تا ۳۵	۱۳۰ تا ۷۰
صرفه 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)
بتناسبیل جایگزینی وعدم تطابق لامپ	لامپهای سر پیچدار، بجز مواردی که اندازی آنها برای نصب بزرگ باشد، می‌توانند جایگزین یکدیگر یا سایر لامپهای انتهایی شوند. در قابهایی که برای کنترل توزیع نور طراحی شده اند قابل نصب نمی باشند. سایر لامپهای فشرده، سربجهای خاصی دارند که موجب محدودیت در امر جایگزینی آنها می گردد.	جایگزینی شدت به سازگاری بالاست وابسته است. برخی از لامپهای بخار جیوه بدون بالاستهای خارجی می‌توانند جایگزینی لامپهای انتهایی معمولی شوند. اما اینکار راندمان را به میزان قابل توجهی کاهش می دهد.	جایگزینی شدت به سازگاری بالاست وابسته است.
قابلیت تنظیم نور	انواعی که بالاستهای الکترونیکی دارند نمی‌توانند 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.

ادامه جدول شماره (۱۰-۵)

مشخصات	فلورسنت فشرده	پارچه‌ای	مثال هالید
غریب‌تظاهرات رنگ	۸۵ U ۶۵	۵۰ U ۴۰	۷۰ U ۴۰
رنگ لامپ	مانند لامپهای فلورسنت معمولی امکان انتخاب انواع رنگ از دمای K ۵۰۰۰ وجود دارد.	رنگ آن مشخصاً سبز - آبی است. قسمت عمده انرژی لامپ در خطوط باریک انتشار جیوه‌ای متمرکز میشود. لامپهایی که پوشش فسفری دارند می‌توانند 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 فسفری دارند تعداد بیشتری طیف پیوسته تولید میکنند.
دمای راه اندازی	از 20°F (-29°C) تا 22°F (0°C)	معمولاً 20°F (-29°C)	معمولاً 20°F (-29°C)
تأثیر دما بر روی نور	نقاط جدی نور خروجی در بالا و پایین نقطه ایتیم دمای لامپ (در حدود 100°F) خواهیم داشت. لامپهایی که از آلیاژهای جیوه استفاده می‌کنند در دماهای پایین نور بسیار بهتری دارند.	کمترین نقاط خروجی در دمای بالای 20°F (-29°C) می‌باشد.	کمترین نقاط خروجی در دمای بالای 20°F (-29°C) می‌باشد.
وقفه راه اندازی	از یک تا چندین ثانیه می‌باشد. لامپهایی که از آلیاژهای جیوه استفاده می‌کنند در حدود یک دقیقه زمان نیاز دارند تا به روشنایی کامل برسند.	۸ U ۴ دقیقه	۱۰ U ۳ دقیقه
زمان راه اندازی دوباره	از راه اندازی اولیه کوتاهتر است.	مشابه راه اندازی اولیه می‌باشد.	۱۰ تا ۵ دقیقه طولانی‌تر از راه اندازی اولیه می‌باشد.

ادامه جدول شماره (۱۰-۵)

مشخصات	فلورسنت فشرده	پنار جیوه	مثال هالید
کنترل توزیع نور	تقریباً می‌توان نور را متمرکز کرد. مخصوصاً اگر از قابهای بزرگ غیر معمول استفاده شود.	تقریباً می‌توان نور را متمرکز کرد.	۵ تا ۱۰ دقیقه طولانی‌تر از راه اندازی اولیه می‌باشد.
استفاده بصورت لامپهای تزئینی	جایها برخی از انواع برخی کننده‌ها	ندارد	۵ تا ۱۰ دقیقه طولانی‌تر از راه اندازی اولیه می‌باشد.
محدودیت‌های نصب	ندارد	برخی از مدلها برای نصب شدن در وضعیتهای خاصی طراحی شده‌اند.	اکثر مدلها برای نصب شدن در وضعیتهای خاصی طراحی شده‌اند.
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 سر و صدا تولید کنند.	بالاستها از نوع مغناطیسی هستند و ممکن است سر و صدا تولید کنند.
ضرب توان	انواع با ضرب توان بالا قابل استفاده هستند. برخی هم ضرب توان پایین دارند.	بالاستهای با ضرب توان بالا برای استفاده موجود می‌باشند برخی بالاستها هم ضرب توان پایین دارند.	بالاستهای با ضرب توان بالا برای استفاده موجود می‌باشند برخی بالاستها هم ضرب توان پایین دارند.
اهوجاج هارمونیک	هفته‌انواعی که بالاستهای الکترونیکی دارند بقدر کافی اهوجاج هارمونیک تولید می‌کنند. طبیعی است که در انواع ضعیف‌تر این مسئله تشدید می‌یابد.	با فرض اینکه بالاستها از نوع مغناطیسی باشد جزئی است.	با فرض اینکه بالاستها از نوع مغناطیسی باشد جزئی است.
تداخل الکترومغناطیسی	ممکن است پاره‌ای مشکلات در برخی از مدلها 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 می‌یابد.	با فرض اینکه بالاستها از نوع الکترومغناطیسی باشد مشکل وجود ندارد. در مورد بالاستهای الکترونیکی تجربه‌ای حاصل نشده است.	با فرض اینکه بالاستها از نوع الکترومغناطیسی باشد مشکل وجود ندارد. در مورد بالاستهای الکترونیکی تجربه‌ای حاصل نشده است.

ادامه جدول شماره (۱۰-۵)

مشخصات	سدیم پر فشار	سدیم فشار یاتین
لومن خروجی	۵۰۰۰ تا ۲۰۰۰	۳۵۰۰ تا ۱۸۰۰
تضعیف لومن	۲۵ تا ۳۵	
عمر مفید	۲۴۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰	۱۸۰۰۰
راندمان (Lm/W)	۱۵۰ تا ۱۵۰	۱۹۰ تا ۱۰۰
مصرف انرژی بالاست (Ballast)	۱۰ (برای لامپهای بزرگ) تا ۳۵ (برای لامپهای کوچک)	۲۰
پتانسیل جایگزینی وعدم تطابق لامپ	جایگزینی پشدات به سازگاری بالاست وایسته است. برخی از لامپهای سدیم پر فشار می توانند جایگزین لامپهای پغار جیوه بشوند. این لامپها راندمان بالائی دارند ولی شریب نطاهر رنگ این لامپها کمتر است.	جایگزینی لامپ پشدت توسط قابلیت سازگاری بالاست و شکل سوکت محدود می گردد.
قابلیت تنظیم نور	تنظیم نور بصورت تک مرحله ای تا ۳۰٪ خروجی فقط با استفاده از بالاستهای ترانسفورمتری امکانپذیر است. قسمت عمده رنگ لامپ تغییر می کند.	ندارد
شریب نطاهرنگ	۸۵ تا ۲۰	۲۰ تا ۰
رنگ لامپ	رنگ آن سفید متعادل به زرد است. طیف پیوسته بازیک در حدود ۶۰۰ نانومتر تمرکز یافته است. در آن 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 20°F - 29°C	معمولاً 20°F - 29°C	معمولاً 20°F - 29°C
تأثیر دما بر روی نور.	کمترین تلفات خروجی در دمای بالای 20°F - 29°C می باشد.	کمترین تلفات خروجی در دمای بالای 20°F - 29°C 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

ادامه جدول شماره (۱۰-۵)

مشخصات	سدیم پر فشار	سدیم فشار پایین
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
محدودینهای نصب	به وضعیت نصب زیاد حساس نمی	
تداخل صوتی	بالاستها از نوع مغناطیسی هستند و	بالاستها از نوع مغناطیسی هستند و
ضرب 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 اتمام کار به بالاست نیاز دارند وظیفه بالاست، ابتدا ایجاد ولتاژ بالا برای راه‌اندازی لامپ و سپس محدود کردن جریان، هنگام کار دائم لامپ می‌باشد. در لامپهای مهتابی، بالاستها درصد قابل ملاحظه‌ای از مصرف لامپ را به خود اختصاص می‌دهند دو نوع عمده بالاست وجود دارند:

الف - بالاستهای مغناطیسی

ب- بالاست‌های الکترونیکی

ج- نوع ترکیبی

شکل (۱۸-۱۰) انواع بالاست‌های لامپ مهتابی را نشان می‌دهد.

۱-۶-۱- بالاست‌های مغناطیسی:

بالات‌های 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 وات حدود ۱۰ وات می‌باشد بطوریکه توان مصرفی چراغی با دو لامپ مهتابی ۴۰ وات حدود ۱۰۰ وات می‌باشد زیرا:

$$\text{وات} = 100 = (40 + 10) \times 2$$

۱-۶-۲- بالاست‌های الکترونیکی:

این بالاست‌ها برای بکار انداختن لامپ‌ها از راکتور الکترونیکی استفاده می‌کنند. امتیاز اصلی این بالاست‌ها کاهش تلفات آنها و همچنین افزایش راندمان لامپ‌ها به علت ایجاد فرکانس بالا می‌باشد. به عنوان مثال تلفات بالاست در یک لامپ ۳۶ وات، ۴ وات است.

شکل (۱۹-۱۰) تغییرات نور خروجی لامپ مهتابی ۴۰ W و ۲۰ W را به ازای تغییرات فرکانس خروجی بالاست نشان می‌دهد. همانطور که در شکل مشخص است بهره‌وری 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 ۴۰ W انجام شده راندمان‌هایی 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 سو زدن
- ایجاد ضریب توان ۱ بدون نیاز به خازن‌گذاری
- وسیله تسهیل کنترل دقیق توان با جریان لامپ
- راه‌اندازی کنترل شده بهتر و شرایط کاری مطلوب‌تر، در نتیجه افزایش عمر لامپ



بالاست مغناطیسی ۲

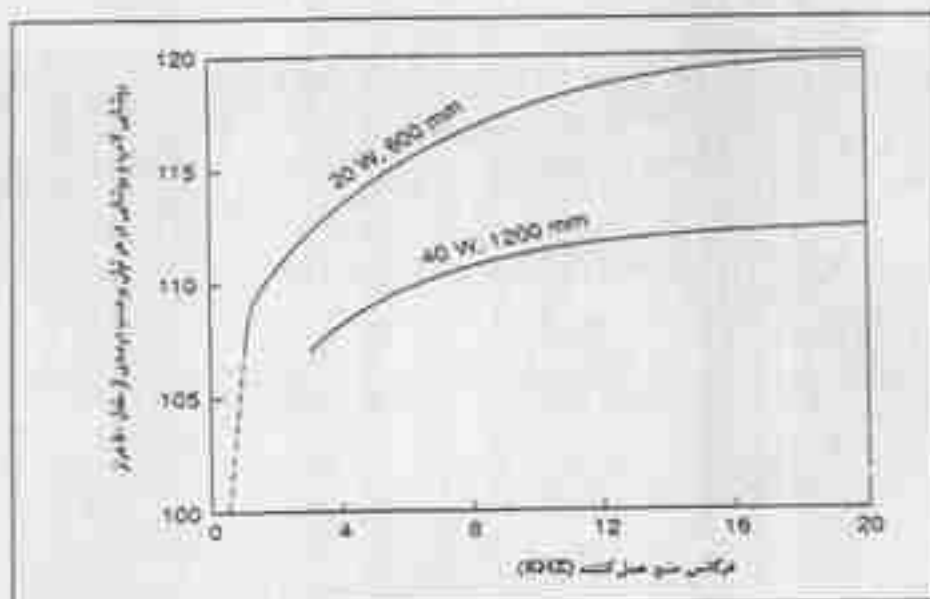


بالاست ترکیبی ۱



بالاست الکترونیکی ۳

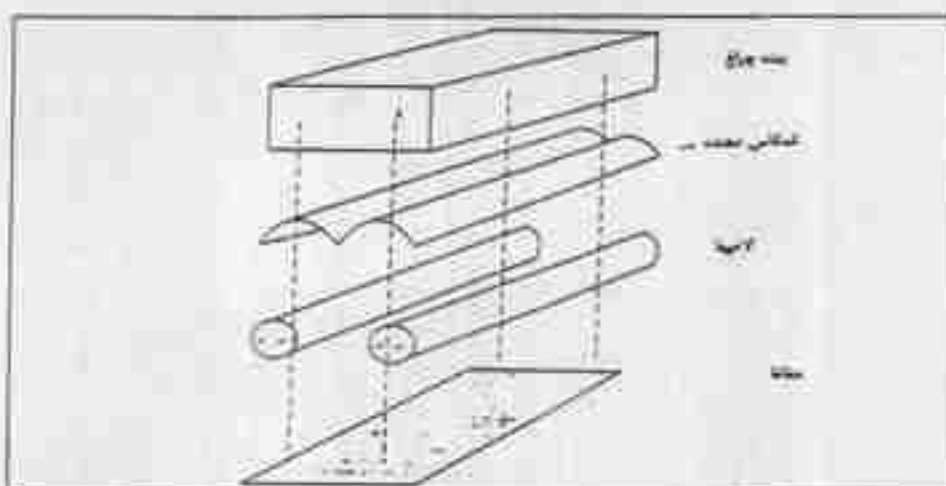
شکل شماره (۱۰-۱۸) - نمایش داخلی انواع مختلف بالاست های الکترونیکی



شکل شماره (۱۹-۱۰) - مشخصه های لامپ فلورسنت فرکانس بالا

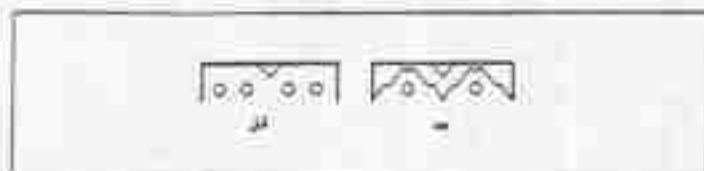
۱-۷- چراغ‌ها

نور افکن‌ها یا چراغ‌ها، جزئی از سیستم روشنایی‌اند که جهت هدایت بهینه نور طراحی می‌شوند و راحتی دیداری را در سطح بالایی تأمین می‌کنند. شکل (۲۰-۱۰) اجزاء مختلف یک چراغ را بطور نمونه نشان می‌دهد.



شکل شماره (۲۰-۱۰) - 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) بدنه چراغ را قبل و بعد از نصب انعکاس دهنده توری نشان می‌دهد. حفاظها می‌توانند به صورت عدسی‌ها^۱، کمره‌های فلزی و پلاستیکی و ... باشند.



شکل شماره (۱۰-۲۱): بدنه چراغ قبل و بعد از نصب بازتاب دهنده توری

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 (۱۰-۹) 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^۲ شاخصی است که در صد افرادی را که در یک مکان مشخص میزان درخشندگی نور را قابل قبول می‌دانند نشان می‌دهد.

نگهدارنده	نسبت نور انتشار یافته به نور تولید شده
نگهدارنده سفید کثیف و مستعمل با لامپ‌های مستعمل	۲۵ - ۳۵
نگهدارنده سفید کثیف و مستعمل با لامپ‌های جدید	۶۷ - ۷۵
انعکاس دهنده ترمیمی با لامپ‌های جدید	۷۳ - ۹۵
انعکاس دهنده ترمیمی با لامپ‌های جدید	۸۵ - ۹۱

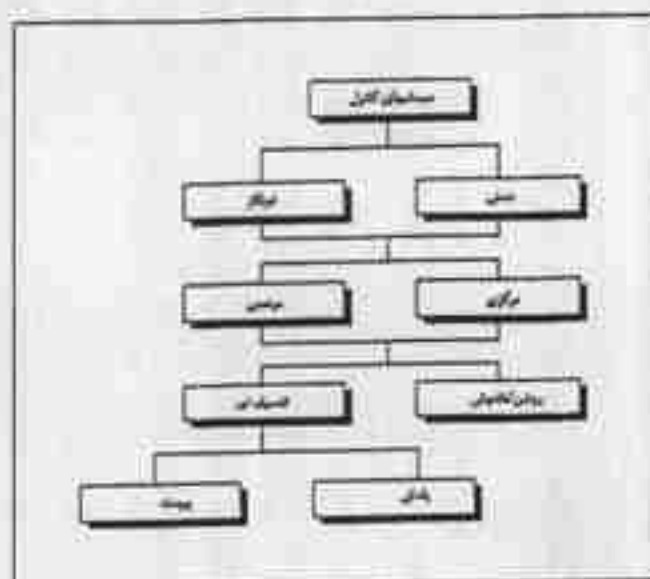
جدول شماره (۱۰-۹): مثالهایی از نور منتشر شده چراغ و نور تولید شده پس از نصب هر کدام از انعکاس دهنده‌ها

جدول شماره (۷-۱۰) - انواع مختلف پوشش چراغهای فلورسنت

Table : Shielding Media Options		
Shielding Material	Luminance Efficiency Range (%)	VLP 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

۸-۱- 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 (۲۲-۱۰) طرز کار سیستم‌های کنترل را نشان می‌دهد.



شکل شماره (۲۲-۱۰) - سیستم‌های کنترل

کنترل‌های خودکار را نیز می‌توان به دسته‌های زیر تقسیم نمود:

الف - کنترل‌هایی که بر پایه زمان هستند:

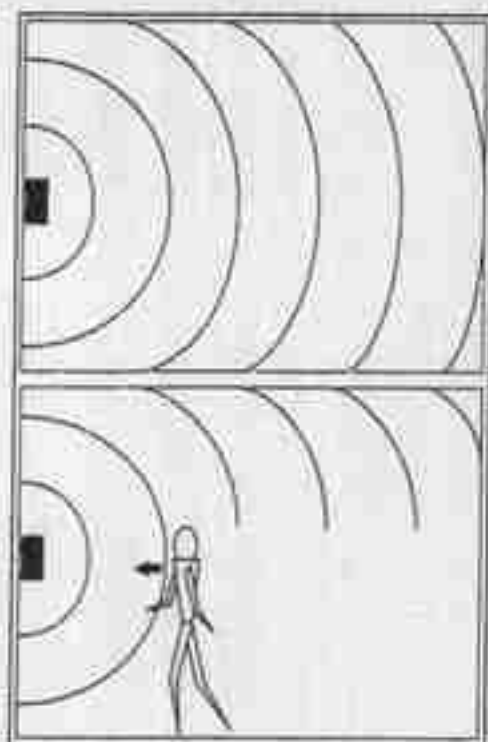
این کنترل‌ها برای مکان‌هایی مناسبند که نیازمندی‌های روشنایی‌شان قابل پیش‌بینی و از قبل تعیین شده است. این کنترل‌ها برای روشنایی داخلی و خارجی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مورد روشنایی خارجی بر اساس زمان طلوع و غروب خورشید تنظیم می‌شوند و برای روشنایی داخلی با استفاده از جدول زمانی کار تنظیم می‌شود. این کنترل‌ها باید امکان کنترل دستی برای استفاده روشنایی در خارج از جدول زمانی نیز داشته باشند.

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 کنترل‌کننده‌ها 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 صرفه‌جویی انرژی، کاهش اضافه روشنایی و درخشندگی و دیماند مصرفی کلی را نیز به همراه دارد. این سیستم‌ها دارای وسیله تضعیف نور هستند و سنسورها میزان تضعیف نور را که بستگی به میزان روشنایی روز دارد مشخص می‌کنند. این وسیله را اغلب «جیران‌کننده روشنایی یا استفاده از نور روز» نیز می‌نامند.



شکل شماره (۱۰-۲۳) - جنگرهای مافوق صوت



شکل شماره (۱۰-۲۴) - جنگرهای مادون قرمز

جدول شماره (۱۰-۸) - محل مناسب برای بکار بردن انواع حسگرهای حضور

Table 10-8: Occupancy Sensor Applications								
Sensor Technology	Private Office	Large Open Office Plan	Paraded Office Plan	Conference Room / Restroom	Casual Club Rooms	Reception & Corridor	Entrance Area	Exit Area
Ultrasonic Wall Switch	✓			✓	✓	✓		
Ultrasonic Ceiling Mount	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
Infrared Wall Mount	✓			✓		✓		
Infrared Ceiling Mount	✓	✓	✓	✓		✓		
Ultrasonic Tethered 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.

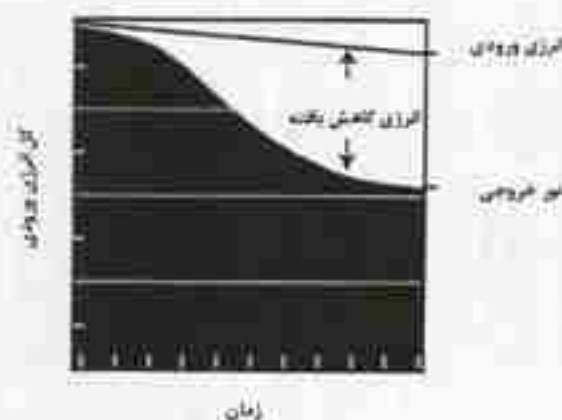
- کثیف شدن و نشستن گرد و غبار بر روی لامپ

- کثیف شدن چراغ‌ها

- کثیف شدن سطوح انعکاس دهنده نور از قبیل دیوارها و سقف و ...

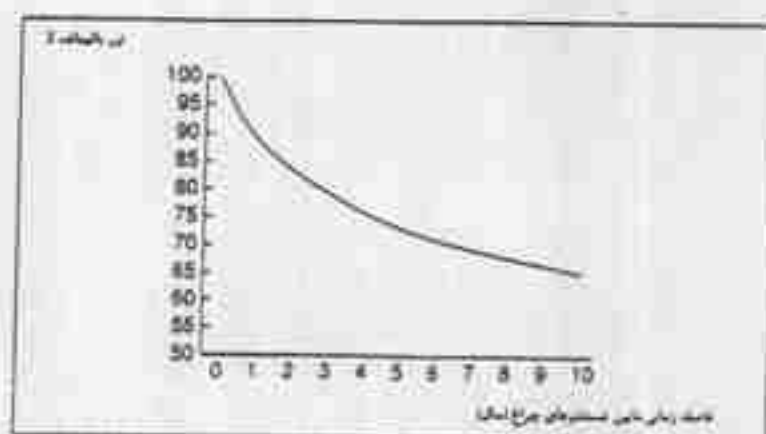
- سوختن بعضی از لامپ‌ها

این عوامل موجب می‌شوند تا راندمان سیستم روشنایی تا ۶۰ درصد افت کند این امر در شکل (۱۰-۲۵) نشان داده شده است.



شکل شماره (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 صرفه‌جویی می‌شود یکی اینکه مجبور نیستیم نور اولیه را در طراحی، بعلافت زیاد نور در طول زمان،



شکل شماره (۱۰-۲۶) افت پیش بینی شده نور در نتیجه کثیف شدن داخل بدنه چراغ در یک محیط آتاری 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 برای 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 کنندگان 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 ستورهای نوری و حضور افراد
- روش‌های درست معلوم کردن چراغ‌ها و بالاست‌ها

۱-۱- 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 صرفه‌جویی شده می‌باشد و با تقسیم این دو مقدار « دوره باز پرداخت ساده » را محاسبه می‌کند و ساده‌ترین مدل اقتصادی است.

فواید 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 سودآوری را به علت در نظر نگرفتن طول عمر سیستم محاسبه نمی‌کند.
- نرخ بهره یا هر گونه 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:

$$C_{net} = I_{in} + \sum I_t R_t + E \times R_e + M \times R_M + \sum C_t \times R_C - SV \times R_{SV}$$

$$R_t = \frac{1}{(1+i)^t}, \quad R_{e,M} = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}$$

در این معادله علائم عبارتند از :

I_{in} : کل سرمایه‌گذاری اولیه شامل چراغ‌ها، لامپ‌ها، بالاستها، نصب و ...

I_t : 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 (۹-۱۰) و (۱۰-۱۰) می‌توان R های متناظر برای n و i های مختلف را بدست آورد.

جدول شماره (۱۰-۹) - ضریب ارزش کنونی یکپوخت

$$F = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}$$

n	4	5	6	8	10	12	15	18	20	25
1	0.961	0.959	0.943	0.936	0.909	0.893	0.870	0.847	0.833	0.809
2	1.894	1.879	1.812	1.781	1.736	1.689	1.624	1.566	1.528	1.440
3	2.771	2.743	2.675	2.637	2.567	2.492	2.387	2.279	2.198	1.971
4	3.636	3.596	3.465	3.413	3.319	3.227	3.097	2.966	2.789	2.502
5	4.492	4.438	4.257	4.193	4.061	3.931	3.762	3.571	3.361	2.949
6	5.340	5.276	5.057	4.983	4.799	4.611	4.394	4.158	3.728	3.191
7	6.080	5.996	5.749	5.665	5.419	5.194	4.928	4.652	4.065	3.351
8	6.722	6.618	6.343	6.250	5.954	5.688	5.372	5.056	4.327	3.479
9	7.267	7.142	6.840	6.737	6.391	6.084	5.728	5.362	4.484	3.584
10	7.716	7.571	7.240	7.118	6.724	6.387	5.991	5.596	4.582	3.631
11	8.169	8.006	7.647	7.505	6.961	6.584	6.148	5.712	4.557	3.554
12	8.626	8.443	8.056	7.894	7.301	6.884	6.418	5.942	4.656	3.599
13	9.086	8.884	8.471	8.289	7.646	7.190	6.684	6.168	4.751	3.639
14	9.549	9.328	8.891	8.680	7.987	7.491	6.946	6.390	4.834	3.674
15	10.014	9.774	9.314	9.074	8.331	7.795	7.210	6.614	4.918	3.749
16	10.481	10.222	9.734	9.465	8.672	8.096	7.471	6.836	5.000	3.814
17	10.950	10.672	10.157	9.860	8.927	8.311	7.646	6.971	5.085	3.889
18	11.421	11.124	10.581	10.256	9.283	8.627	7.921	7.206	5.160	3.964
19	11.894	11.578	10.999	10.646	9.633	8.937	8.191	7.436	5.255	4.039
20	12.369	12.034	11.430	11.049	10.000	9.264	8.478	7.693	5.380	4.114
25	15.622	15.194	14.355	13.875	12.577	11.842	10.984	10.074	8.949	7.392
30	19.292	18.772	17.762	17.208	15.625	14.655	13.566	12.418	10.999	8.992
40	29.792	28.929	27.595	26.925	24.779	23.494	21.984	20.318	18.399	15.000
50	39.492	38.256	36.562	35.725	33.125	31.494	29.584	27.318	24.999	20.000

جدول شماره (۱۰-۱۰) - ضریب ارزش کنونی برای مقادیر منفرد

$$F = \frac{1}{(1+i)^n}$$

n	4	5	6	8	10	12	15	18	20	25
1	0.961	0.959	0.943	0.936	0.909	0.893	0.870	0.847	0.833	0.809
2	0.924	0.919	0.896	0.887	0.824	0.812	0.784	0.761	0.744	0.694
3	0.889	0.884	0.862	0.852	0.791	0.778	0.748	0.724	0.706	0.654
4	0.855	0.850	0.828	0.817	0.758	0.744	0.713	0.688	0.669	0.616
5	0.821	0.816	0.794	0.783	0.726	0.711	0.679	0.653	0.634	0.580
6	0.788	0.783	0.761	0.750	0.694	0.678	0.645	0.618	0.599	0.544
7	0.756	0.751	0.729	0.718	0.663	0.646	0.612	0.585	0.566	0.510
8	0.725	0.720	0.698	0.687	0.633	0.615	0.580	0.553	0.534	0.477
9	0.694	0.689	0.667	0.656	0.603	0.584	0.548	0.521	0.502	0.444
10	0.664	0.659	0.637	0.626	0.574	0.554	0.517	0.490	0.471	0.412
11	0.635	0.630	0.608	0.597	0.546	0.525	0.487	0.460	0.441	0.382
12	0.606	0.601	0.579	0.568	0.518	0.496	0.457	0.430	0.411	0.352
13	0.578	0.573	0.551	0.540	0.491	0.468	0.428	0.401	0.382	0.323
14	0.551	0.546	0.524	0.513	0.464	0.441	0.401	0.374	0.355	0.296
15	0.524	0.519	0.497	0.486	0.437	0.414	0.374	0.347	0.328	0.269
16	0.498	0.493	0.471	0.460	0.411	0.388	0.347	0.320	0.301	0.242
17	0.472	0.467	0.445	0.434	0.385	0.362	0.321	0.294	0.275	0.216
18	0.447	0.442	0.420	0.409	0.360	0.337	0.296	0.269	0.250	0.191
19	0.422	0.417	0.395	0.384	0.335	0.312	0.271	0.244	0.225	0.166
20	0.398	0.393	0.371	0.360	0.311	0.288	0.247	0.220	0.201	0.142
25	0.317	0.312	0.290	0.279	0.230	0.207	0.166	0.139	0.120	0.061
30	0.248	0.243	0.221	0.210	0.161	0.138	0.097	0.070	0.051	0.000
40	0.135	0.130	0.108	0.107	0.058	0.035	0.000	0.000	0.000	0.000
50	0.077	0.072	0.050	0.049	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

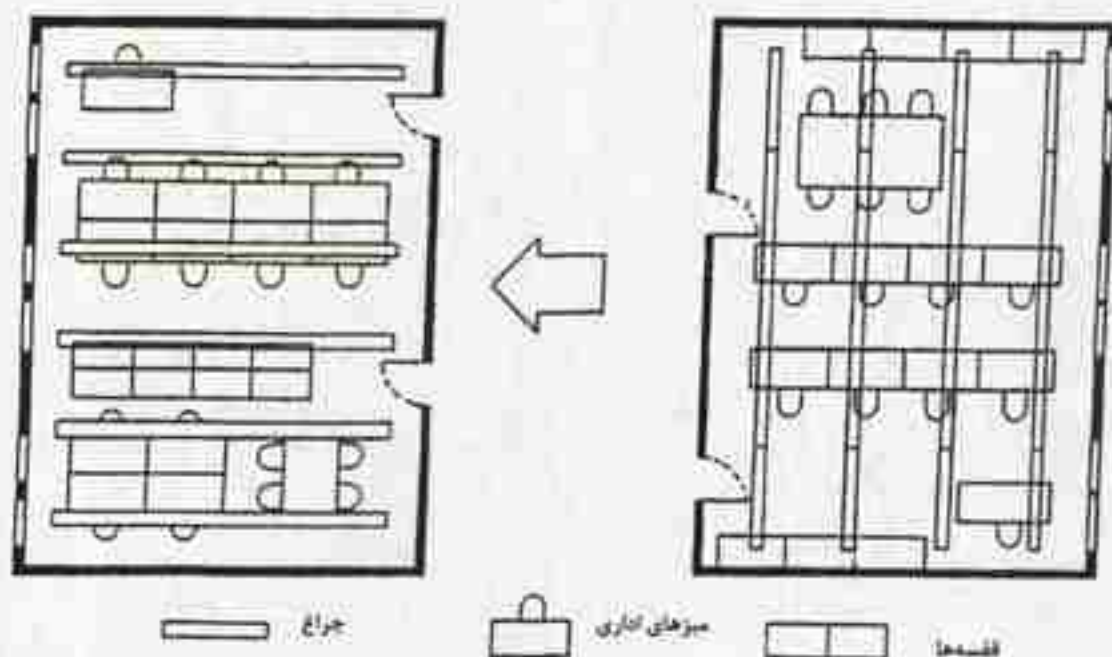
۱۱-۱- جانمایی مؤثر روشنایی

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. به عبارت 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 ملاحظاتی 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 در شکل (۱۰-۲۷) روشنایی روی میز غیر یکنواخت می‌باشد، و زمانی که شخصی روی میز خم می‌شود یک سایه رو به جلو ایجاد می‌شود.

مثال (۱۰-۲):



شکل شماره (۱۰-۲۷) - ترتیب قرار گرفتن چراغها باید موازی پنجره‌ها 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.

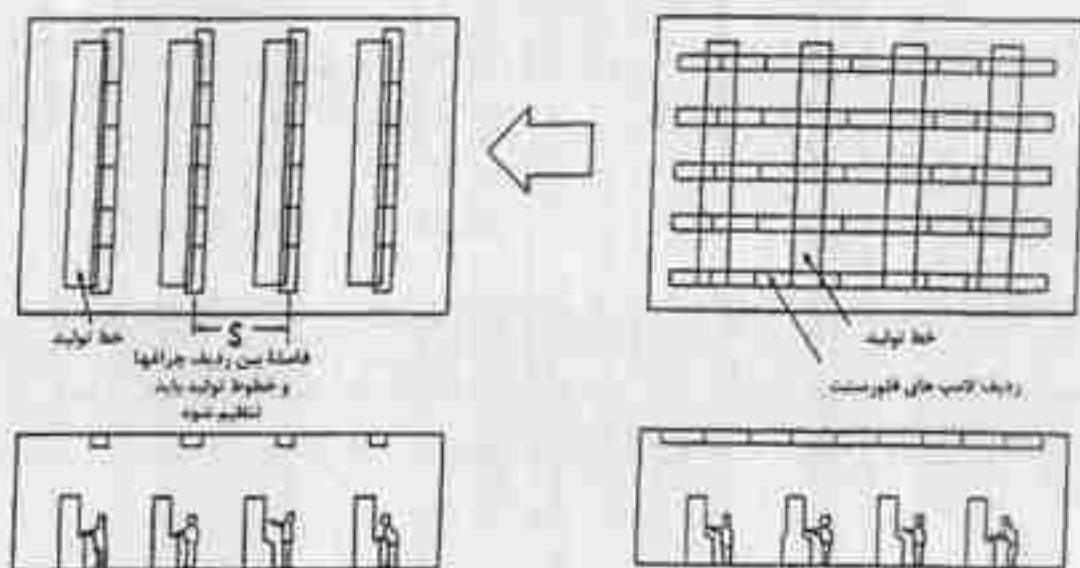
شکل (۱۰-۲۸-الف) نشان می‌دهد که امتداد خط تولید بر امتداد روشنایی عمود است. در چنین حالتی، مقدار زیادی تلفات روشنایی به همراه خواهد داشت به روشنایی در مکانهایی که هیچ کس در آنجا مشغول کار نیستند توجه فرمایند.

وقتی که راستای روشنایی را عوض می‌کنیم، همچنانکه در شکل (۱۰-۲۸-ب) نشان داده شده، شما از فوائد 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 پایین باشد که در محدود کار آسان قرار گیرد.
- ۳- حتی زمانی که 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 آزمایشی کار

۲- بهینه‌سازی انرژی در سیستم‌های گرمایش و تهویه مطبوع^۱ (HVAC)

۲-۱- تعاریف

تهویه مطبوع قرائندی است که شرایط هوای موجود را با تنظیم دما، رطوبت، پاکیزگی، گازهای موجود در هوا، تابش (تشنع) و فشار، جهت تأمین شرایط مطبوع^۲ برای مصرف‌کننده تغییر می‌دهد. هدف از تهویه مطبوع ساختمانی، حفظ محیط آسایش و سلامت برای جسم افراد ساکن در آن محل می‌باشد.

هدف از تهویه مطبوع صنعتی، حفظ شرایط هوایی مطلوب جهت تولید، تسهیلات تجاری و حفظ مواد آتبار 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 محدوده‌ای 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 تشنec سطوح محیط^۳، 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.

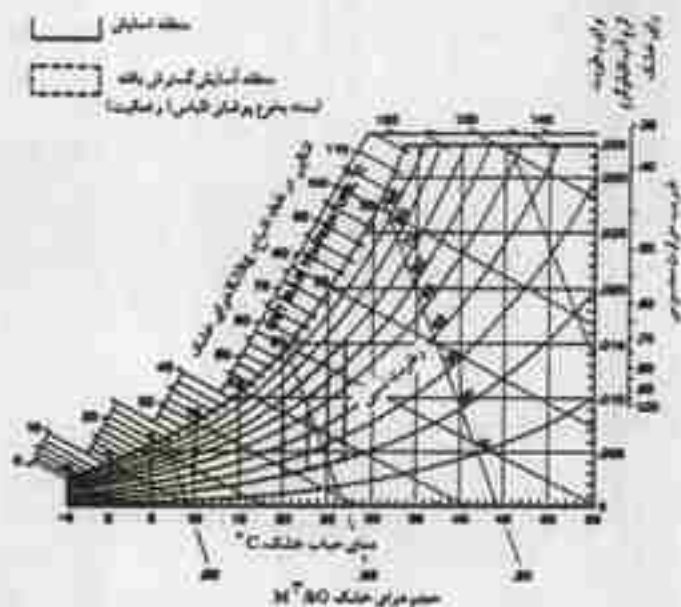
با توجه به اینکه نمی‌توان تمام این متغیرها را بطور دقیق برای هر ساختمان مشخص نمود، یا تعداد افراد را دقیقاً تعیین نمود، در نتیجه سیستم‌های تهویه مطبوع برای ایجاد محدوده‌ایی از شرایط آسایش قابل انتظار، طراحی می‌شود که برای بیشتر ساکنین و در بیشتر مواقع مناسب باشند.

1 - HVAC: Heating, Ventilation and Air Conditioning= HVAC

2 - Comfort Conditions

3 - Mean Radiation Temperatures =MRT

شکل (۲۹-۱۰) منطقه تقریبی آسایش و همچنین حد گسترش را متناسب با سطح فعالیت و نوع لباس نشان می‌دهد.

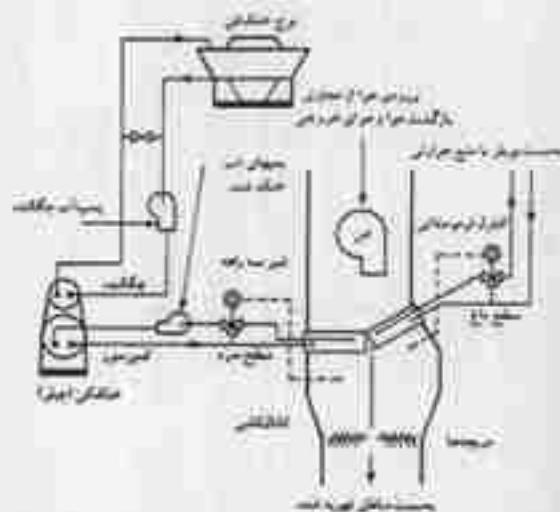


منبع: Smith, Efficient Electricity Use.

شکل شماره (۲۹-۱۰) - نمودار سایکومتریک

۳-۲- معرفی سیستم‌های نمونه

شکل (۳۰-۱۰) عناصر یک سیستم نمونه گرمایش و تهویه مطبوع را نشان می‌دهد. سیستم را می‌توان بر اساس اندازه، نوع عملیات، منبع حرارت یا منبع برودت طبقه‌بندی نمود.



شکل شماره (۳۰-۱۰) - اجزای یک سیستم HVAC نمونه

گرمایش می‌تواند به وسیله هوای داغ، یا جریان 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 بخار بیشتر 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 می‌شود. هوا در زمانی که از بالای این مبدل گرما عبور می‌نماید، گرم شده و سپس به طرف مصرف می‌رود. 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 سیستم‌های حرارتی هستند.

سیستم‌های سرمایشی شامل واحدهای قابل نصب در پنجره، واحدهای درخت کوچک و واحدهای مرکزی می‌باشند که دارای دو نوع اصلی سیستم‌های سردسازی و سیستم‌های بخارسازی هستند.

در سیستم‌های سردسازی (بخچالها) برای متراکم کردن مایع میرد 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 کنندهای (چیلرهای) جثبی استفاده می‌شود). سپس ماده میرد در مبدل حرارتی متبسط 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 (DX) هنگامی مناسب است که بتوان کویل‌های خنک کن را در نزدیکی کمپرسورها جای داد. میرد در کویل‌ها تبخیر می‌شود و در موقع عبور از آنها هوا را خنک می‌نماید.

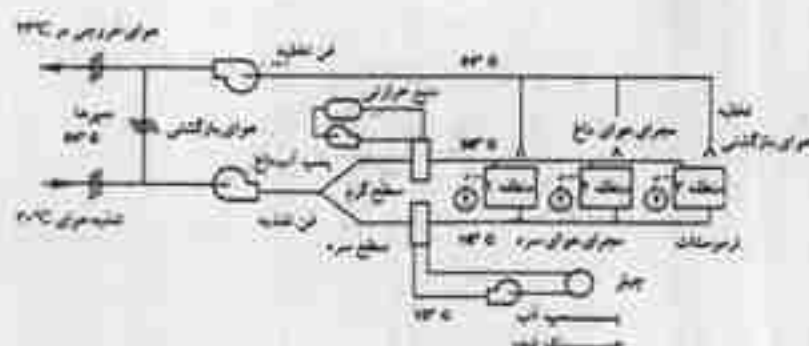
هر دوی این سیستم‌ها نیازمند وسیله‌ای برای چگالش و خنک کردن میرد می‌باشند. این امر یا توسط چگالنده‌های با هوای خنک (در واحدهای کوچک) یا چگالنده‌های با آب خنک در سیستم‌های بزرگ صورت می‌گیرد. برای خنک کردن آب چگالنده، اغلب از یک برج خنک کن (مطابق شکل (۱۰-۳۰)) استفاده می‌شود.

در سیستم‌های گرمایش و تهویه مطبوع دو وسیله انرژی بر مهم دیگر وجود دارند که همانا پمپها (برای انتقال آب سرد و گرم) و پروانه‌ها (فن‌ها) برای ایجاد جریان هوا در ساختمان هستند.

توان پمپ‌ها بر اساس افت‌های فشار در سیستم محاسبه می‌گردد. پروانه‌ها (فن‌ها) می‌توان با در کانالها و یا در مواضع مرکزی نصب نمود. معمولاً از پروانه‌های مجزایی برای خط تغذیه و تخلیه استفاده می‌شود.

سیستم مجاری دوگانه:

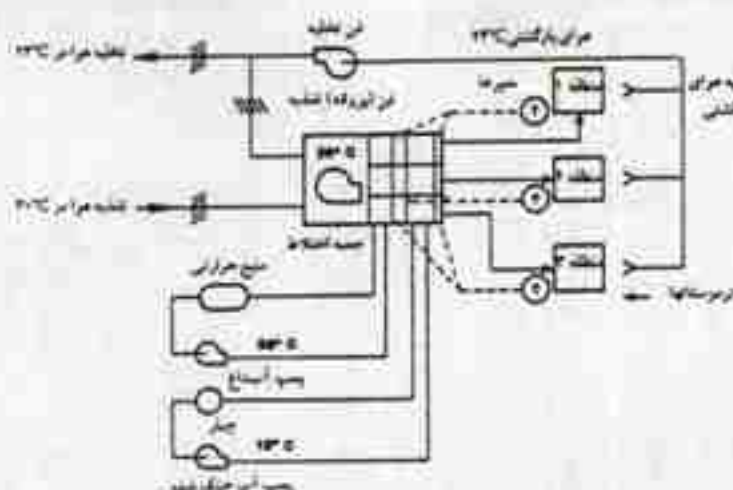
هم هوای گرم و هم هوای سرد از طریق کانالهای مجزا به هر منطقه تغذیه می‌شوند. هوای گرم و سرد بسته به دمای مورد نیاز ناحیه به سیستمهای متفاوت مخلوط می‌شوند. هنگامی که درجه حرارت متوسط است مشکلاتی به وجود می‌آید. تجربه نشان می‌دهد که در این حالت به محض اختلاط هوای گرم و سرد برای دستیابی به درجه حرارت مطلوب، 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 شماره (۱۰-۳۱) - سیستم مجاری دوگانه (درجه حرارت‌های نمونه مربوط به فصل تابستان)

سیستم‌های چند ناحیه‌ای:

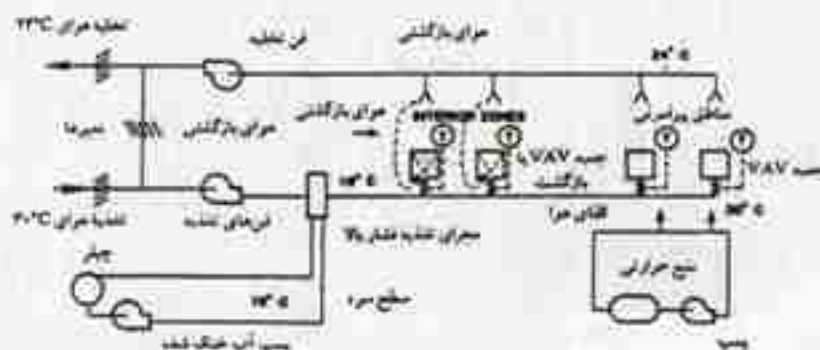
سیستم چند ناحیه‌ای مشابه سیستم مجرای دوگانه است با این تفاوت که واحدهای (جعبه‌های) اختلاط به جای آنکه در سوراخ ساختمان پخش شده باشند، در پروانه قرار گرفته‌اند. در پیچ‌های هر ناحیه مخلوط هوای گرم و سرد لازم برای رسیدن به درجه حرارت مطلوب را کنترل می‌کنند. بدین ترتیب واحد تهیه‌کننده قادر است به طور همزمان هوای گرم را به یک ناحیه و هوای سرد را به ناحیه دیگر تغذیه کند [شکل (۱۰-۳۲) را ملاحظه کنید] در پیچ‌ها توسط ترموستاتهای واقع در هر ناحیه کنترل می‌شوند.



شکل شماره (۱۰-۳۲) - سیستم های چند ناحیه

سیستم حجم متغیر هوا:

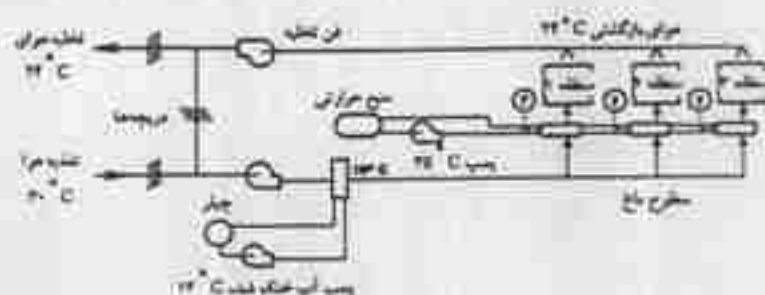
در این سیستم از گرمایش و سرمایش همزمان اجتناب می‌شود و جریان هوا به حداقل لازم برای سرمایش مناسب تقلیل می‌یابد. به ویژه در این سیستم، زمانی که به سرمایش نیاز است می‌توان جریان هوا را کم کرد و در نتیجه توان لازم برای فن راکاھشی داد. هوای خنک فشار بالا به هر ناحیه تغذیه می‌شود. ترموستات موجود در هر ناحیه 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^۱ 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 را کاملاً گرم کنند. سیستم‌های حجم متغیر هوا در مورد ساختمانهای کوچکتر نیز قابل اجرا هستند.



شکل شماره (۱۰-۳۳) - سیستم حجم متغیر هوا

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 پایانه‌ای

سیستم خنک کاری تبخیری :

خنک‌کن‌های 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 $2/3 \text{ MJ/Kg}$ (1000 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 جریانه‌های 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].

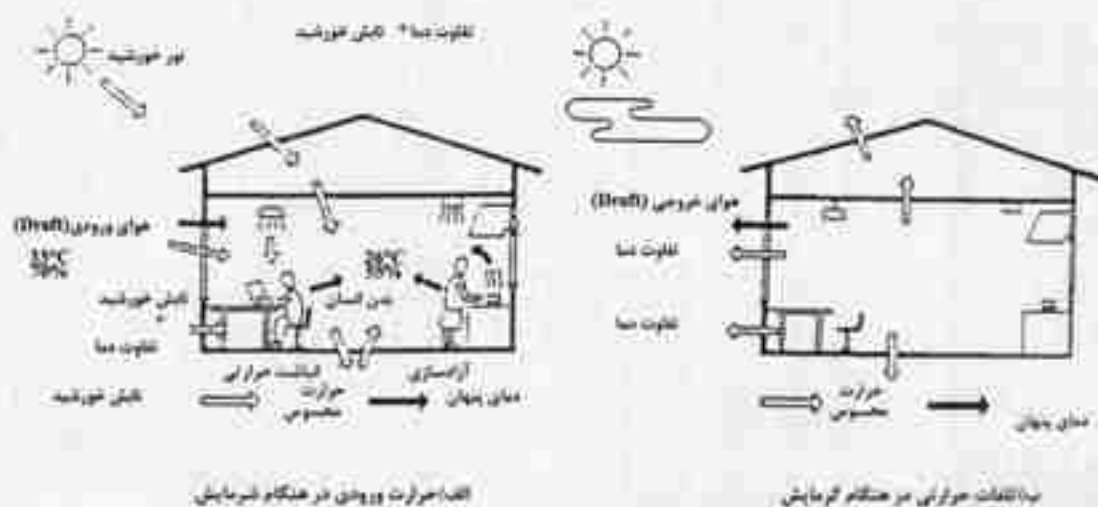


شکل شماره (۳۵-۱۰) - سیستم خنک‌کاری تبحیری

واحدهای سقفی - پنجره‌ای یا (سیستم‌های تک منطقه‌ای):

این واحدها دارای محدوده‌ای از 0.3 KW تا 30 KW (0.5 hp تا 40 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 خنک‌کاری، اغلب توسط یک موتور واحد تأمین می‌شود. خنک‌کاری از طریق یک کویل خنک‌کاری آب‌ساز مستقیم (DX) صورت می‌گیرد (شکل ۱۰-۳۶).

نیازمندیهای تصفیه هوا توسط اثره^۱ 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 0.14 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 شماره (۳۶-۱۰) - ورودی و خروجی حرارت در یک خانه تحت تهویه مطبوع

جدول شماره (۱۰-۱۱) - مستلزمات تهویه هوای ASHREA ۶۲-۷۳
(اصلاح شده بر اساس ۷۵-۹۰)

تهویه هوای خارج به داخلی هر متر ^۲		تهویه کلی به داخلی هر متر ^۲		مستلزم
m ³ /min	CFM	m ³ /min	CFM	
۰٫۱۹	۵	۰٫۲۰	۷	سایندگیها و طحلت غرور
۰٫۲۵	۹	۰٫۲۱	۱۵	کوبشگامها
۰٫۱۹	۵	۰٫۲۹	۵	بالا رفتن آلودگی کشیدن (مسترد)
۰٫۱۹	۵	۰٫۲۹	۱۰	بالا رفتن آلودگی کشیدن (مسترد)
۰٫۲۹	۵	۰٫۲۹	۱۵	دور کار
۰٫۱۹	۵	۰٫۲۹	۵	تألیف کشیدن
۰٫۲۰	۷	۰٫۲۹	۲۰	آلودگی درونی
۰٫۱۹	۵	۰٫۲۹	۱۰	تألیف فرایند تصفیه
۰٫۲۰	۷	۰٫۲۹	۲۰	کارخانه چوبی
۰٫۲۵	۱۰	۰٫۲۹	۳۰	محل آلودگی یا مستعدی
۰٫۱۹	۵	۰٫۲۹	۱۰	کلانتر از این

۸ با فرض عدم وجود تجهیزات کنترل گاز و بو

منابع: ASHRAE (۱۹۷۵) استاندارد شماره ۶۲-۷۳ استاندارد برای تهویه هوای مکانیکی و طبیعی، ۱۹۷۳.
ASHRAE استاندارد شماره ۶۵-۹۰ حفظ منابع انرژی در طراحی ساختمان جدید، ۱۹۷۵

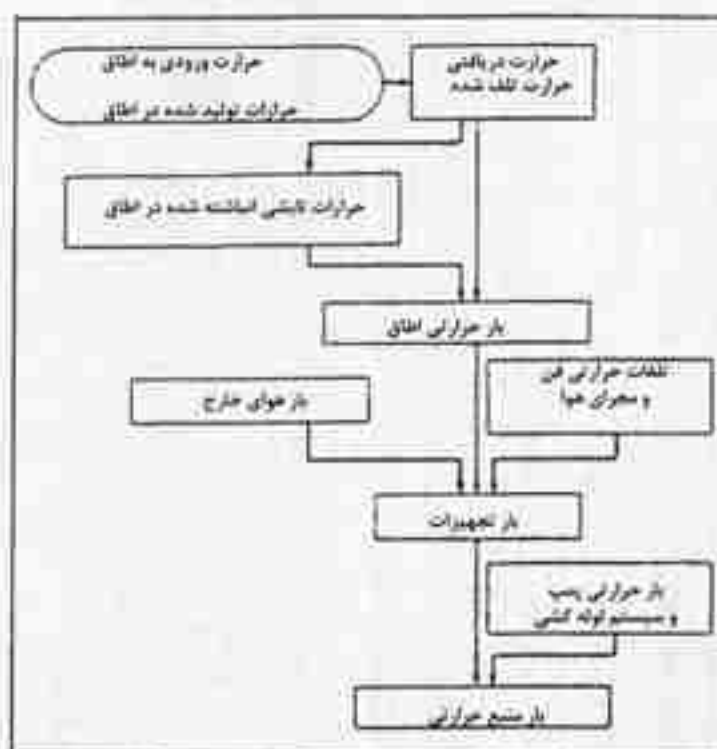
حرارت تولید شده توسط دستگاه با نسبت زیر ایجاد می گردد:

فعالیت	تولید حرارت
خوابیدن	۷۰
ساکت نشستن	۱۲۰
کار پشت میز	۱۵۰
کار سبک	۲۰۰-۳۰۰
وزارت کار به سبک	۲۰۰-۴۰۰

۴-۲- محاسبه بار سرمایش و گرمایش ساختمان

شکل (۱۰-۳۶) ورودی ها و خروجی های حرارت برای یک خنله را که تحت تهویه مطبوع قرار دارد نشان می دهد.

شکل (۱۰-۳۷) مراحل محاسبه بار تهویه مطبوع را نشان می دهد.



شکل شماره (۱۰-۳۷) - مراحل محاسبه بار تهویه 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:

$$Q_w = A_w \cdot K_w \cdot \Delta t_e$$

$$\Delta t_e = t_o + I/\alpha_o - t_r$$

علامت بکار رفته عبارتند از :

A_w : (m²) سطح دیوار

K_w : (Kcal/m².h.°C) ضریب انتقال حرارت کلی دیوار

Δt_e : (°C) اختلاف دمای مؤثر در دو طرف دیوار

t_o : (°C) هوای خارج

I : انرژی نور خورشید که توسط 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

زمستان	تابستان	ساختار دیوار	
		ضخامت بتون (mm)	اجزاء (بطور معمول)
۳/۶۵	۳/۴۴	۱۲۰	کاشی سطح خارجی ۵mm
۳/۲۹	۳/۲۱	۱۵۰	علاط سطح خارجی ۱۵mm
			بتون (ترکیبات اصلی)
۳/۰۲	۲/۸۷	۲۰۰	علاط سطح داخلی ۱۵mm
۲/۷۳	۲/۶۱	۲۵۰	تخته گچی ۳mm

ب: سقف

زمستان	تابستان	ترکیبات سقف		
		خانه چوبی با سقف کاذب که پوشانده شده است (۱۲mm قیصر)		
۱/۸۸ ۳/۷۹	۱/۶۲ ۲/۹۰	ضخامت بتون (mm) ۱۰۰	با سقف بدون سقف	علاط بتون ضد آب (ترکیبات اصلی) (mm) ۲۰
۱/۷۶ ۳/۳۴	۱/۵۲ ۲/۶۳	ضخامت بتون (mm) ۱۵۰	با سقف بدون سقف	
۱/۵۶ ۲/۶۷	۱/۴۴ ۲/۲۸	ضخامت بتون (mm) ۱۲۰	با سقف بدون سقف	علاط سطح خارجی (mm) ۲۰ بتون نسوز (mm) ۶۰ آسفالت (mm) ۱۰ سیمان (ترکیبات اصلی)
۱/۵۱ ۲/۵۲	۱/۳۹ ۲/۱۸	ضخامت بتون (mm) ۱۵۰	با سقف بدون سقف	

(توجه) با سقف: فاصله هوایی زیر بتون یا سقف کاذب ساخته شده از قیصر قرار دارد.
بدون سقف: تخته گچی ۳mm یا ۱۵mm علاط زیر بتون کامل می‌شود.

ج: دیواره جداکننده

ضریب انتقال حرارت کلی $[Kcal/m^2h.^{\circ}C]$		ترکیبات دیواره جداکننده		
۲/۸۵ ۲/۷۵	۱۰۰ (mm) ۱۲۰ (mm)	بتون	ترکیبات اصلی: بتون یا بلوکه‌های بتونی	
۱/۹۶ ۱/۸۰	۱۰۰ (mm) ۱۵۰ (mm)		سطوح داخلی و خارجی: علاط ۱۵ (mm) تخته گچی ۳ (mm)	
۲/۴۹	دیوار ساده چوبی: هر دو سطح کامل شده با گچ			
۱/۳۷	دیوار دوبل چوبی: هر دو سطح کامل شده با گچ			

ادامه جدول شماره (۱۲-۱۰)

د: سقف

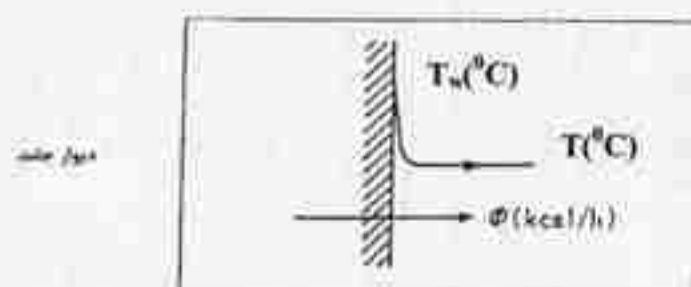
ضریب انتقال حرارت کلی $[Kcal/m^2.h.^{\circ}C]$		ترکیبات کف و سقف		
۱/۳۶	۱/۱۶	تخته چوبی (۱۰ mm) ، تخته کف چوبی (۱۸ mm) ، فاصله هوایی، تخته کف (تخته پستی و تخته ضخیم (۱۲mm))		
۱/۳۱ ۲/۰۱	۱/۵۷ ۲/۷۱	پاشنه بدون سقف	ضخامت سیمان (۱۰۰mm)	پوشانده شده با ملات سیمان (ترکیبات اصلی) همراه با فاصله هوایی سقف و تخت سخت (۱۲mm) بدون سقف: ملات (۱۵ mm) کچ (۱۲mm)
۱/۲۵ ۱/۸۸	۱/۴۸ ۲/۲۹	با سقف بدون سقف	ضخامت سیمان (۱۵۰mm)	

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 Q از t_w بالاتر است متناسب با اختلاف دما بوده و از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$Q = \alpha \cdot A \cdot (t - t_w)$$

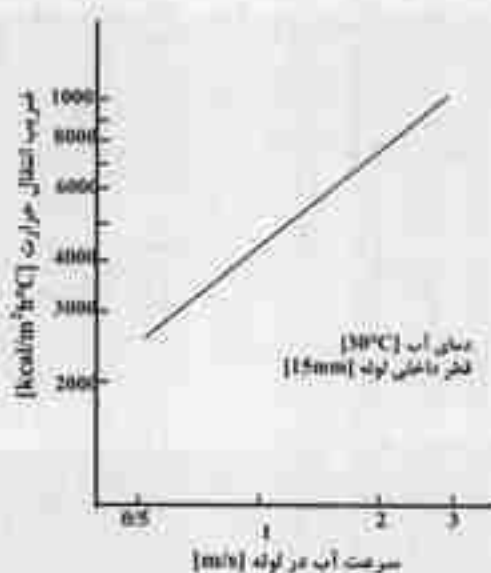
که در آن α عبارتست از ضریب انتقال حرارت $(Kcal/m^2.h.^{\circ}C)$ و مساحت A سطح جامد (m^2) می‌باشد. جدول شماره (۱۰-۱۳) ضریب انتقال حرارت برای مواد نمونه را نشان می‌دهد و شکل ضریب (۱۰-۳۹) انتقال حرارت یک لوله آب نمونه در مجاورت هوا را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰-۳۸- شار حرارتی

جدول شماره (۱۰-۱۳) - ضریب انتقال حرارت برای مواد

انواع سیال و حالات و حالات مختلف آنها	ضریب انتقال حرارت (α) [$\text{kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$]
گاز	ساکن 4 - 10
	جاری 10 - 100
مایع	ساکن 70 - 300
	جاری 300 - 10000
سطح تبخیر	ساکن 300 - 5000
	جاری 3500 - 1500
سطح جگالش	ساکن 5000
	جاری 2500 - 3000



شکل شماره (۱۰-۳۹) - ضریب انتقال حرارت آب در یک لوله

شار گرما از طریق شیشه :

شار گرمایی از طریق شیشه پنجره (q_0 [Kcal/h]) از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$q_0 = q_{or} + q_{oc}$$

$$q_{or} = A_o \times C_s \times q_{so}$$

$$q_{oc} = A_c \times q_{cn}$$

علائم بکار رفته در فرمول بالا عبارتند از :

q_{or} (Kcal/h) شار حرارتی تشعشی

q_{oc} (Kcal/h) شار حرارتی هدایتی

A_o (m²) سطح شیشه

C_s ضریب شفافیت سطح شیشه و غیره

q_{so} (Kcal/m².h) استاندارد بار تشعشی خورشید

q_{cn} (Kcal/m².h) ضریب انتقال حرارت هدایتی

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 شماره (۱۰-۱۴) - ضریب شفافیت شیشه پنجره ها با پرده

پرده			گروه
رنگ ملایم	رنگ شفاف	ندارد	
0/75	0/65	1	پرده طبیعی عادی
0/65	0/55	0/8	پرده ساده جاذب رطوبت
-	-	0/4	پرده دولایه با کوکریه میانی
0/7	0/6	0/9	پرده چند لایه عادی
0/65	0/55	0/75	قسمت خارجی جاذب حرارت و قسمت داخلی عادی
-	-	0/65	قسمت خارجی عادی و قسمت داخلی آینه

جدول شماره (۱۰-۱۵) - حرارت دریافتی از تشعشع استاندارد خورشید از میان شیشه پنجره

جهت	زمان (زمان خورشیدی)																جمع روزانه
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	
عمودی	۱	۳۸	۲۰۹	۲۷۹	۵۱۸	۲۲۹	۷۰۲	۲۲۲	۷۰۲	۲۲۹	۵۱۸	۲۷۹	۲۰۹	۳۸	۱	۵۰۲۱۸	
سایب‌شمالی	-	۷۲	۲۳	۲۸	۲۲	۲۹	۲۲	۲۲	۲۲	۲۹	۲۲	۲۸	۲۳	۷۲	-	۵۲۷	
شمال شرقی	-	۲۲۲	۲۸۲	۲۲۹	۲۲۸	۱۰۱	۲۲	۲۲	۲۲	۲۹	۲۲	۲۸	۲۱	۲۲	-	۱۰۲۲۲	
شرق	-	۲۲۲	۲۲۲	۲۲۲	۲۲۲	۲۱۲	۱۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۸	۲۱	۲۲	-	۲۰۲۲۲	
جنوب شرقی	-	۱۲۰	۲۲۸	۲۲۲	۲۵۲	۲۱۲	۲۱۹	۱۰۲	۲۲	۲۹	۲۲	۲۸	۲۱	۱۲۰	-	۱۰۲۲۲	
جنوب	-	۱۲	۲۱	۲۸	۵۲	۱۰۱	۱۲۱	۱۵۲	۱۵۱	۱۰۱	۵۲	۲۸	۲۱	۱۲	-	۸۲۸	
جنوب غربی	-	۱۲	۲۱	۲۸	۲۲	۲۹	۲۲	۱۰۲	۲۱۹	۲۱۲	۲۵۲	۲۲۲	۲۷۲	۱۲۰	-	۱۰۲۲۲	
غرب	-	۱۲	۲۱	۲۸	۲۲	۲۹	۲۲	۲۲	۱۲۲	۲۱۲	۲۲۲	۲۲۲	۲۷۲	۲۲۲	-	۲۰۲۲۲	
شمال غربی	-	۱۲	۲۱	۲۸	۲۲	۲۹	۲۲	۲۲	۲۲	۱۰۱	۲۲۸	۲۲۹	۲۸۲	۲۲۲	-	۱۰۲۲۲	

توجه: مقادیر بر حسب $[kcal/m^2.h]$ در تاریخ (23 July) در شهر توکیو اندازه گیری شده اند.

شار حرارتی بوسیله تخلیه هوا :

برای تخمین شار حرارتی بوسیله تخلیه هوا $(q_v [Kcal/h])$ از فرمول زیر استفاده می‌شود:
(ساعت / دفعه) : دفعات تهویه $\times (m^3)$ حجم اتاق $= V_s$

$$q_v = q_{vs} + q_{vt}$$

$$q_{vs} = 0.24(t_o - t_i) \times V_s$$

$$q_{vt} = 720(x_o - x_i) \times V_s$$

علامت عبارتند از :

q_{vs} : بار حرارت محسوس بوسیله تخلیه : (Kcal/h)

q_{vt} : بار حرارت نهان بوسیله تخلیه : (Kcal/h)

V_s : مقدار تخلیه (m^3/h)

t_o : درجه حرارت خارج : $(^{\circ}C)$

t_i : درجه حرارت داخل : $(^{\circ}C)$

x_o : رطوبت مطلق هوای خارج : $(Kg/Kg-dry)$

x_i : رطوبت مطلق هوای داخل : $(Kg/Kg-dry)$

$0.24 (Kcal/m^3.^{\circ}C) = 1/2 (Kg/m^3)$ حرارت ویژه $\times$ وزن مخصوص هوا = $0.24 (Kcal/Kg.^{\circ}C)$

$720 (Kcal/m^3) = 600 (Kcal/Kg)$ حرارت نهان بخار $\times 1/2 (Kg/m^3)$ وزن مخصوص هوا = $720 (Kcal/m^3)$

بار هوای تازه:

بار حرارتی هوای تازه (q_{DA} [Kcal/h]) از طریق فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$q_{DA} = 1/2 V_o \times (h_o - h_v)$$

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 و گرمایش نشان می‌دهد.

جدول شماره (۱۰-۱۶) - دفعات تهویه اتاقها نسبت به ابعاد آنها برای سرمایش و گرمایش

هنگام سرمایش							
۲۰۰۰	۲۵۰۰	۳۰۰۰	۱۵۰۰	۱۰۰۰	۵۰۰	۵۰۰	حجم اتاق (m^3)
۰/۳۵	۰/۴۰	۰/۴۲	۰/۱۰۵	۰/۱۵۵	۰/۶	۰/۷	دفعات تهویه هوا
هنگام گرمایش							
ترکیبات ارزان		ترکیبات درجه متوسط		ترکیبات گران		ترکیبت ساختمان	
-		۱/۵ - ۰/۵		۰/۵		بتون (یا قالب فلزی)	
-		۲/۵ - ۱/۵				آجر (یا قالب چوبی)	
-		۳ - ۲		۲ - ۱		چوب نرمی (یا قالب چوبی)	
۴ - ۲		۴ - ۳		۴ - ۲		چوب شرقی (یا قالب چوبی)	

- سایر بارها:

I - حرارت تولید شده توسط تجهیزات روشنایی:

$$1 (W) \equiv 0/86 (Kcal/h)$$

II - حرارت تولید شده توسط تجهیزات اداری:

$$1 (KW) \equiv 860 (Kcal/h)$$

در جدول شماره (۱۰-۱۷) حرارت تولید شده بوسیله تعدادی از لوازم خانگی آمده است.

جدول شماره (۱۰-۱۷) - حرارت تولید شده توسط وسایل خانگی

نام وسیله	گرمای محسوس [kcal/h]	گرمای نهان [kcal/h]
قهوه ساز (گاز شهری ۱۸ L/h)	۱۰۰	۲۵
تستر (گرمایش الکتریکی با ابعاد ۱۵×۲۰×۲۲ (cm))	۶۱۰	۱۱۰
چراغ بولون (گاز شهری، قطر ۱۷ (mm))	۲۲۰	۶۰
سند عقیلی کننده (گرمایش الکتریکی با ابعاد ۱۵×۲۰×۲۲ (cm))	۶۸۰	۶۰۰
سند عقیلی کننده (گرمایش الکتریکی با ابعاد ۲۲×۲۵×۲۲ (cm))	۱۳۰۰	۱۰۰۰
نوع استاندارد خشک کننده موی سر (۱۱۵ [V]، ۱/۲ [A])	۴۷۰	۸۰
نوع معمولی خشک کننده موی سر (Blower type، ۱۱۵ [V]، ۱/۵ [A])	۶۰۰	۱۰۰
دستگاه حالت دهنده دائمی مو (با گرمایش ۲۵ W)	۲۲۰	۲۰
اجاق گاز خانگی	۱۸۰۰	۲۰۰
فرز گاز خانگی	۲۰۰۰	۱۰۰۰

توجه: در جدول (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 جزئی داشته باشند.

III- حرارت تولید شده توسط بدن افراد:

بدن افرادی که در محیط‌های تحت تهویه مطبوع قرار دارند بتواند یک منبع حرارتی 37°C یا حرارتی تولید می‌کنند که ناشی از فعالیت‌های متابولیکی آنها است. در جدول شماره (۱۰-۱۸) حرارت محسوس و نهان تولید شده افراد برای فعالیت‌های مختلف نشان داده شده است.

جدول شماره ۱۰ (۱۸-۱۰) - حرارت تولید شده توسط بدن

فعالیت	دمای اتاق (kcal/h)		دمای محسوس (kcal/h)				
	مثال	دمای کل	۲۵°C	۲۸°C	۳۱°C	۳۵°C	۳۸°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	۴۴	۵۰	۵۴	۶۲	۷۲
ایستادن و راه رفتن	سازمان، بانک	۱۲۶	۴۴	۵۰	۵۵	۶۴	۷۳
	رستوران	۱۳۹	۴۸	۵۶	۶۲	۷۱	۸۱
نشسته کار کردن	کارخانه - کارسک	۱۸۹	۴۸	۵۶	۶۲	۷۴	۹۲
راه رفتن (۴/۸ km/h)	کارخانه - کار سنگین	۵۳۲	۶۸	۷۶	۸۳	۹۶	۱۱۶
پولینگ ^۱	پولینگ	۳۶۳	۱۱۳	۱۱۷	۱۲۱	۱۳۲	۱۵۳

فعالیت	دمای اتاق (kcal/h)		دمای محسوس (kcal/h)				
	مثال	دمای کل	۲۵°C	۲۸°C	۳۱°C	۳۵°C	۳۸°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	۴۴	۵۰	۵۴	۶۲	۷۲
ایستادن و راه رفتن	سازمان، بانک	۱۲۶	۴۴	۵۰	۵۵	۶۴	۷۳
	رستوران	۱۳۹	۴۸	۵۶	۶۲	۷۱	۸۱
نشسته کار کردن	کارخانه - کارسک	۱۸۹	۴۸	۵۶	۶۲	۷۴	۹۲
راه رفتن (۴/۸ km/h)	کارخانه - کار سنگین	۵۳۲	۶۸	۷۶	۸۳	۹۶	۱۱۶
پولینگ	پولینگ	۳۶۳	۱۱۳	۱۱۷	۱۲۱	۱۳۲	۱۵۳

بار فن ها :

بار حرارتی تولید شده توسط فن ها از فرمول زیر محاسبه می شود:

$$Q_F = 860 \times L_F$$

$$L_F = \frac{P_T \times Q}{60 \times \eta_F}$$

 L_F : (KW) قدرت شفت فن

 P_T : فشار کلی فن (mm H₂O)

 Q : (م^۳ / دقیقه) حجم هوا

راندمان فن: η_F

کل بار حرارتی موتور فن از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$q'_F = \frac{q_F}{\eta_F}$$

راندمان مقدار: η_M

جدول شماره (۱۹-۱۰) و شماره (۲۰-۱۰) راندمان نوعی فن‌ها و موتورهای را نشان می‌دهد.

جدول شماره (۱۹-۱۰) - راندمان فن

η_F	طبقه بندی
فن سانتریفلوژ	
0/45 ~ 0/60	نوع چند تیغه ای
0/65 ~ 0/80	نوع توربو
0/55 ~ 0/65	نوع بار محدود
0/70 ~ 0/85	نوع ایروپول
0/60 ~ 0/75	لوله ای
فن جریان محور	
0/75 ~ 0/85	با پرده
0/55 ~ 0/65	با لوله
0/10 ~ 0/50	با پروانه

جدول شماره (۲۰-۱۰) - راندمان موتورهای

η_M	خروجی (KW) (Rated output)
0/60	~ 0/4
0/80	0/75 ~ 3/7
0/85	5/5 ~ 15
0/90	20 ~

ضریب اضافی:

یک ضریب اضافی برای ظرفیت تهویه وارد محاسبه می‌شود 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_r [Kcal/h]) از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$V_S = \text{تعداد دفعات تهویه} \times \text{حجم اتاق} (m^3) \text{ (ساعت / دفعه)}$$

$$q_v = q_{vs} + q_{vl}$$

$$q_{vs} = 0.29 \times (t_i - t_o) \times V_s$$

$$q_{vl} = 720 \times (x_i - x_o) \times V_s$$

بار حرارتی هوای تازه:

بار حرارتی منتقل شده توسط هوای تازه از طریق زیر محاسبه می‌شود:

$$q_{oa} = 1.2 \times V_o \times (h_i - h_o)$$

این معادله می‌تواند از قسمت ۲ نیز بدست آید.

علاقمی که در ۳ قسمت بالا آمده است در قسمت محاسبه بار سرمایش آمده است.

سایر بارها:

معمولاً گرمای ناشی از بار تابشی خورشید، گرمای تولید شده توسط بدن افراد، روشنایی و لوازم اداری بطور مستقیم موجب گرم شدن اتاق می‌شوند 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 و مصرف زیاد آن در ساختمانها و همچنین امکان صرفه‌جویی 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^۱ 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 18°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

برای افزایش دما بین ۲ تا ۳ درجه سانتی‌گراد تولید می‌کنند. اشعه دقت این روش را در حدود ۲۰ درصد تخمین زده است.

روش دوم استفاده از یکی از چندین شیشه‌سازی 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 تهویه مطبوع و الگوهای برای آب و هوای خارجی می‌باشد. بسیاری از این برنامه‌ها را می‌توان برای مقایسه سرمایه سیستم و هزینه‌های کلری 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 صرفه‌جویی 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 کارایی سیستم تهویه مطبوع، بررسی مواردی است که با تغییرات سرراست و مستقیم قابل اجرا هستند. بعنوان نمونه، بسیاری از صرفه‌جویی‌ها 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 صرفه‌جویی‌های 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 صرفه‌جویی 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 در حال کار هستند و —

ظرفیت سیستم را بهینه کنید:

ظرفیت سیستم را به پایین‌ترین سطح قابل قبول (بر اساس استانداردها و آیین‌نامه‌های 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 متبع 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 روشنایی 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 فوت 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 زیر گرمای انتقال را محاسبه نمود.

$$Q = \frac{1}{R} \times (\text{سطح}) \times (\text{اختلاف درجه حرارت})$$

در جدول (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 شماره (۱۰-۲۱) - مقادیر R 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. 3.5
Extruded polystyrene board**	4.0 to 5.2
Polystyrene bead board**	4.0 to 5.0
Polyurethane foam board**	5.0 to 6.0
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	0.15 to 0.3
Brick	0.3
Plywood	1.2
Pine	1.2
Acoustical 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 fill 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، صرفه‌جویی انرژی نیز بیشتر می‌باشد اما سرمایه‌گذاری یک عامل محدود کننده است و باید میزان صرفه‌جویی به اندازه‌ای باشد که مقدار سرمایه‌گذاری انجام شده را توجیه کند. هدف از این مثال، نشان دادن بهترین ضخامت عایق کاری 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 30°F است.
- هزینه تلفات انرژی \$ ۱۰ برای هر میلیون Btu می‌باشد.
- هزینه بالاسری را مقدار ثابت \$ ۰/۱۲ برای فوت مربع در نظر بگیرید.
- هزینه دستمزد کارگر \$ ۰/۲ به ازای فوت مربع می‌باشد.
- هزینه اضافی دستمزد کارگر را به ازای افزایش واحد R \$ ۰/۰۱ بر فوت مربع در نظر بگیرید.
- هزینه مواد \$ ۰/۰۹ برای 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 شماره (۱۰-۲۲) - جدول محاسبات اقتصادی برای عایق‌هایی با مقادیر ضریب R متفاوت

ضریب R	هزینه (بر حسب دلار)	صرفه جویی خالص طی ۲۰ سال (بر حسب دلار)	زمان بازگشت سرمایه (بر حسب دلار)	نسبت صرفه جویی ممکن به هزینه 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	9/21
20	2/02	12/98	2/71	7/37
30	3/02	12/74	3/83	5/21

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 صرفه‌جویی‌های 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. اتاق‌هایی که نیاز به تهویه مطبوع ندارند نزدیک دیوار بیرونی قرار دهید (بدین ترتیب یک دیوار دو جداره برای قسمت تهویه شوند. 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) ورودی‌ها باید به سمت محیط‌های بسته یا حفاظت شده در مقابل باد باشند.

انتخاب، کارآمدترین فرآیند گرمایش و سرمایش است :

در ساختمان‌سازی جدید، ترکیب ساختمان‌های یا 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 اکوتومایزر و ... را پیشنهاد نمود.

برای یک اندازه خاص موتور، محدوده نسبتاً وسیعی از راندمان (کارایی) موتور الکتریکی وجود دارد. بطور مشابه در مخترکهای موتوری یا پمپ‌های سرعت متغیر، امکان صرفه‌جویی وجود دارد.

بکارگیری کارآمدترین تجهیزات :

به عنوان مثال، چیلرهای فشرده سازی مکانیکی به سه دسته تقسیم می‌شوند: 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 راندمان نشان تا مقدار ۰/۴۹ KWh/ton افزایش یافته و مصرف انرژی‌شان نصف گردیده است.

بکارگیری موتور تجهیزات :

استفاده از موتورها در بارگذاری مناسب، تعمیر و نگهداری مناسب تجهیزات، تنظیم مناسب کنترلها، می‌تواند از این دست باشد.

استفاده از منابع 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.

باز یافت 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 باز یافت 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 (۴۰-۱۰) کاهش ظرفیت چیلر در صورت امکان ذخیره‌سازی انرژی را نشان می‌دهد.



شکل شماره (۴۰-۱۰). راهبرد ذخیره جزئی

فصل یازدهم

مباحث ویژه در مدیریت انرژی الکتریکی

۱- سیستم‌های محرکه

معمولاً سیستم‌های مدرن راه‌اندازی و کنترل را سیستم‌های محرکه می‌گویند که به روش و کنترل توان خروجی و کار موتور و هر نوع کوبینگ قدرت همراه آن اشاره می‌کند. اساساً به 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- کنترل کننده‌های موتور؛ برخی اوقات بعنوان کنترل کننده‌های ولتاژ یا راه‌انداز ملایم^۱ 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. معمولاً کنترل کننده‌های موتور از یک وسیله راه‌اندازی ملایم تشکیل شده است. این وسیله شدت جریان حداکثر را در زمان راه‌اندازی موتور کاهش می‌دهد.

۲- 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^۱ (VSD) انواع مختلفی دارند و تطبیق الکترونیکی سرعت موتور و برق ورودی به آن را تا حد تیار 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 سرعت و نیز شامل موتورهای جدید می‌شوند. این موتورها از قابلیت مفرن کنترل الکترونیکی برای گسترش کاربرد موتورهایی که قبلاً توسط کنترل کننده‌های مرسوم الکترومکانیکی کنترل می‌شدند استفاده می‌کند.

محرک‌های الکترومکانیکی: موتورهای دور ثابت را با کنترل‌های مکانیکی یا الکترومکانیکی جهت تغییر سرعت سیستم بکار می‌برند.

کنترل کننده‌های دور موتور (VSD) جایگزین راهاندازی‌های مرسوم الکترومکانیکی موتورها می‌شوند و عمدتاً با قرار گرفتن در مجاورت این موتورها از لحاظ فیزیکی می‌توانند بزرگتر از راهاندازهایی 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 مداوم لازم است، معیار عمده انتخاب آن راندمان بار نسبی آن است. اگر زمان کارکرد^۲ بالا باشد، در این صورت موتورهای با بالاترین راندمان، کمترین هزینه کارکرد را خواهند داشت.

موتورهای القایی 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.

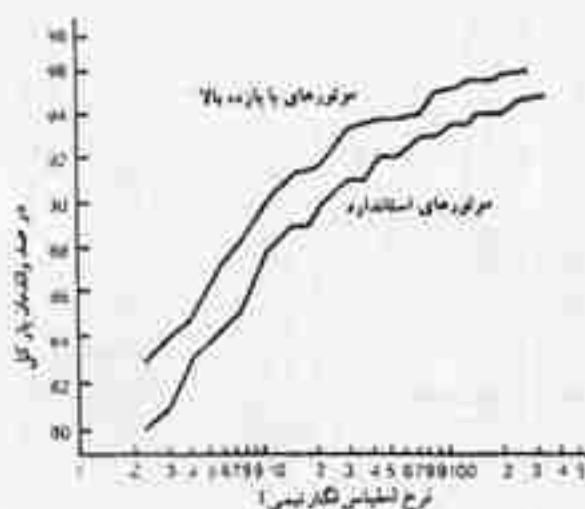
- افزایش طول هسته ساخته شده از ورقه‌های فولادی یا تلفات کم. اینها تراکم خطوط نیرو را کاهش می‌دهند و در نتیجه، تلفات آهنی نیز کاهش می‌یابد.
- تلفات مسی با حداکثر بهره‌گیری از شیارها و انتخاب اندازه سیم‌های هادی در استاتور و روتور کاهش می‌یابد.
- تلفات متفرقه با انتخاب دقیق تعداد شیارها و شکل هندسی دندان / شیار به حداقل می‌رسند.

1- Variable Speed Drives

2- Duty Cycle

- یک موتور با راندمان بالا تر، حرارت کمتری تولید می کند بنابراین می توان اندازه فن خنک کننده را کوچکتر گرفت که به نوبه خود منجر به تلفات کم سیم پیچی شده و در نتیجه قدرت تلف شده نیز کاهش می یابد.

شکل (۱-۱۱) راندمان موتورهای استاندارد را با راندمان موتورهای با راندمان بالا مقایسه می کند.



شکل شماره (۱-۱۱) - مقایسه راندمان بار کامل موتورهای استاندارد و راندمان بالا

اندازه گیری های موتور های با راندمان بالا :

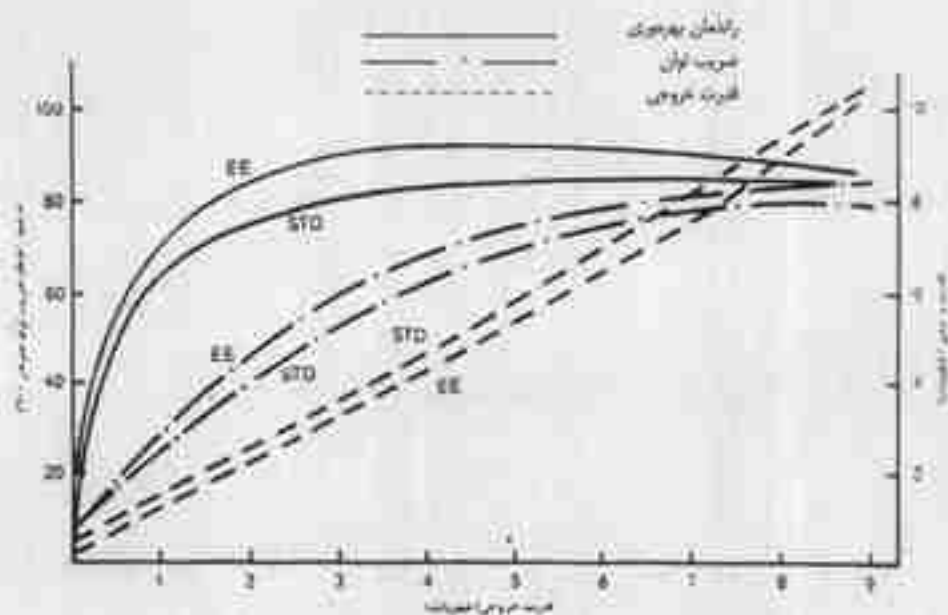
در طی یک آزمایش دانشگاهی، سه موتور با راندمان انرژی بالا، مورد آزمایش قرار گرفته و کارائی آنها با سه موتور آلفائی استاندارد مقایسه گردیده است. موتورهای مورد امتحان قدرت اسمی ۳، ۷/۵ و ۲۲ کیلووات داشتند. در شکل (۲-۱۱) نمونه داده های مربوط به موتورهای ۷/۵ کیلوواتی نشان داده شده است.

برای موتور با راندمان بالا در سرناسر محدوده کاری هم راندمان و هم ضریب قدرت برتر و بهتر است. این آزمایش گواهی های آزمون مشخصات سازنده موتور را تأیید و تصدیق می نماید.

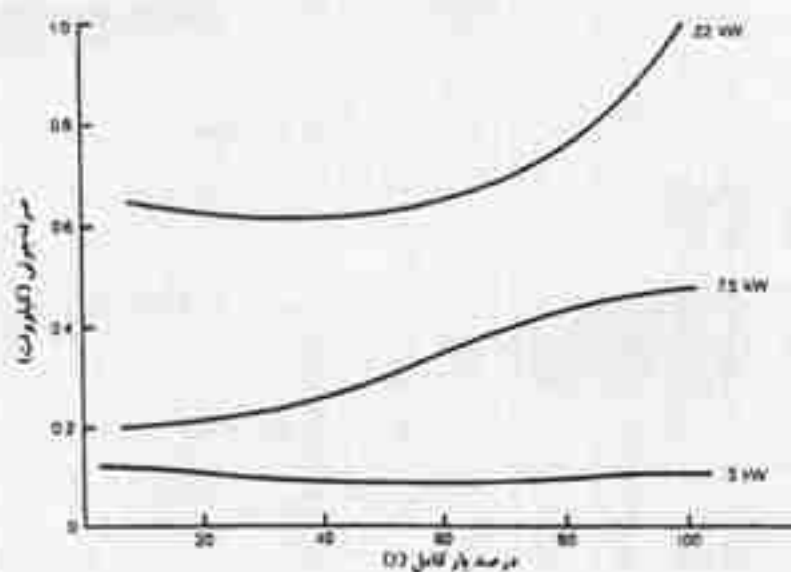
در بار کامل این صرفه جوئی ها برای موتور ۳ کیلوواتی ۳/۳٪، برای موتور ۷/۵ کیلوواتی ۶٪ و برای موتور ۲۲ کیلوواتی ۴/۵٪ بوده، همچنین صرفه جوئی های حاصله توسط سه موتور با راندمان بالا در شکل (۳-۱۱) نشان می دهد که میزان صرفه جوئی ها در بارگذاری های مختلف در موتورهای ۷/۵ و ۲۲ کیلوواتی متغیر بود، لیکن در موتور ۳ کیلوواتی تقریباً ثابت باقی ماند.

شکل (۴-۱۱) 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.

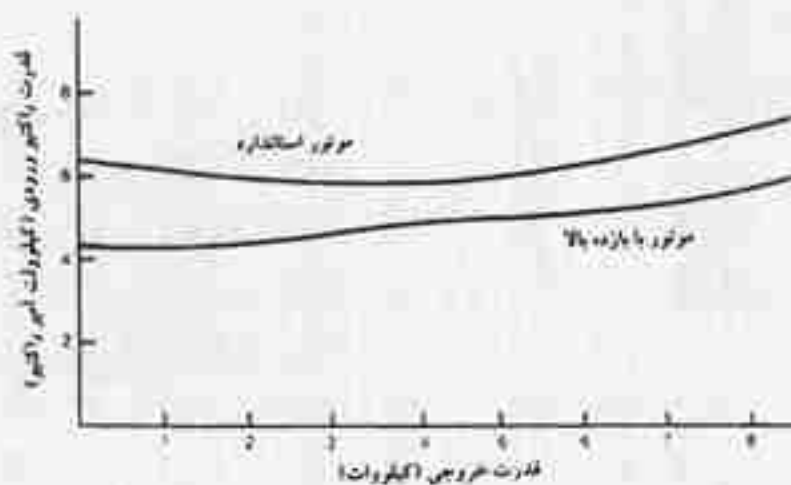
بنابراین وقتی یک موتور جدید و یا جایگزین موردنیاز است، موتورهای با بازده بالا بی‌نهایت جالب هستند. صرف کاهش هزینه انرژی، در شرایط فعلی، جایگزینی موتورهای موجود با موتورهای دارای راندمان بالا را توجیه نمی‌کند. قیمت موتور کامل به علاوه هزینه نصب آن، به قدری است که برای برگشت هزینه بیش از دو سال وقت لازم است. حتی اگر موتور به طور مداوم کار کند تعدادی از تولید کنندگان، موتورهای "با راندمان بالا" را عرضه می‌کنند یا وجود این لزوماً بازاریابی آنها تحت این عنوان صورت نمی‌گیرد. در هنگام انتخاب یک موتور جدید، دانستن جزئیات فنی درباره کارایی موتور در سراسر طیف بار کامل مهم است. اهمیت این امر از این روی است که موتورهای به طور میانگین با ظرفیت ۶۰٪ و ۸۰٪ بار اسمی شان کار می‌کنند.



شکل ۴-۱۱ مقایسه ضریب قدرت و راندمان در موتورهای استاندارد و راندمان بالا



شکل شماره (۳-۱۱) - میزان مصرف جوی در انرژی بستی از کاربرد موتورهای آزمایش شده با رانندگی بالا



شکل شماره (۴-۱۱) - مصرف قدرت راکتیو در موتورهای استاندارد و موتورهای با رانندگی انرژی بالا

۱-۲- کنترل‌کننده‌های موتور

در برخی از موارد کلیرید، لازم است که موتوری به مدت زیادی در بارهای کم کار 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 کنترل‌کننده موتور که به کنترل‌کننده ولتاژ معروف است^۱ 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 مغناطیسی‌کننده کافی را برای قائق آمدن بر تقاضای بار لازم، تولید کنند. بنابراین مطابق با آن، کاهش در تلفات آهنی بدست می‌آید و راندمان و ضریب قدرت اصلاح می‌شود.

بعلافت افت ولتاژ در "تریستورهای" که در کنترل‌کننده‌های موتور بکار رفته است این کنترل‌کننده‌های موتور، قدرت را جذب می‌کنند. این امر در 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 کنترل‌کننده‌های موتور دارای قابلیت‌های "راه‌اندازی نرم" می‌باشند که به طور تصاعدی در خلال دوره راه‌اندازی ولتاژ اعمال شده به ورودیهای موتور را تنظیم و تعدیل می‌کنند، بنابراین شدت جریان ناگهانی را به حداقل می‌رساند و کنترل کاملی را بر موتور اعمال می‌کند. همچنین راه‌اندازی نرم، تنش‌های مکانیکی را در سیم‌پیچی‌های موتور و تجهیزات خارجی آن تقلیل می‌دهد.

-آزمون‌های کنترل‌کننده‌های موتور:

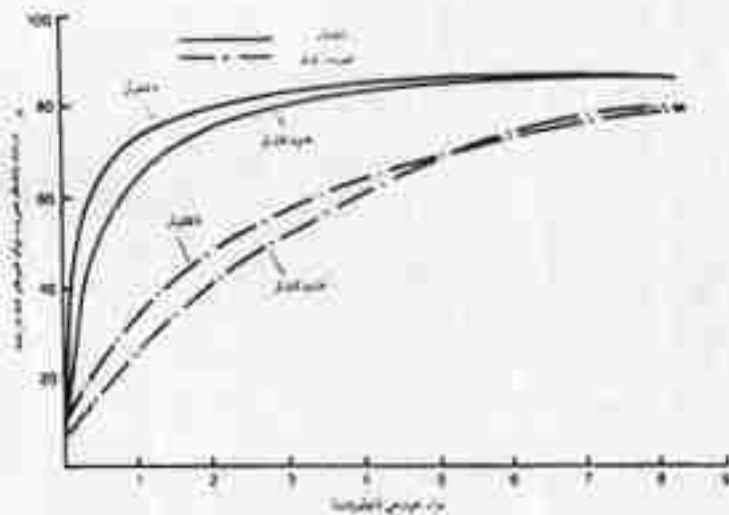
تعدادی از کنترل‌کننده‌های موتور، تحت آزمایش قرار گرفته‌اند. مواردی از این داده‌های آزمون که انتخاب شده‌اند در شکل (۵-۱۱) نشان داده شده است. شکل (۵-۱۱) راندمان و ضریب قدرت را به تنهایی برای موتور ۷/۵ کیلوواتی استاندارد و با کنترل‌کننده، مقایسه می‌کند می‌توان دید که این کنترل‌کننده در بارهای کم موتور هم راندمان و هم ضریب قدرت را اصلاح می‌کند. دو مدل دیگر کنترل‌کننده نیز به این موتور متصل شدند. مدل آنورس^۲ به طریقی مشابه با مدل فیر فورد^۳ عمل کرد، در حالیکه نوع کندر ناسا^۴ بخاطر تنزل کم ولتاژ در بارهای کم، صرفه‌جویی‌های کمتری ارائه نمود. تفاوت کمی از لحاظ صرفه‌جویی‌های برق قدرت راکنیو بین انواع کنترل‌کننده‌ها وجود داشت. شکل (۶-۱۱) ^۱، در شکل (۷-۱۱) صرفه‌جویی انرژی حاصله از یک موتور ۳ کیلو وات، ۷/۵ کیلووات، و ۲۲ کیلووات، همراه با یک کنترل‌کننده موتور نشان داده شده است. که منافع حاصله در شرایط مختلف را نشان می‌دهد.

تمام موتورها و ترکیبات موتور / کنترل‌کننده قابلیت تحویل قدرت خروجی اسمی را داشتند.

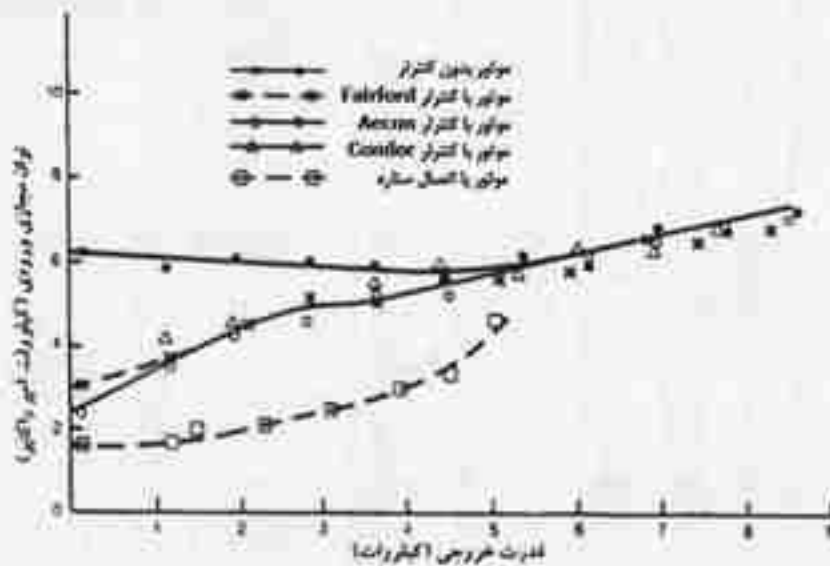
1 - Uniworth

2 - Fair ford

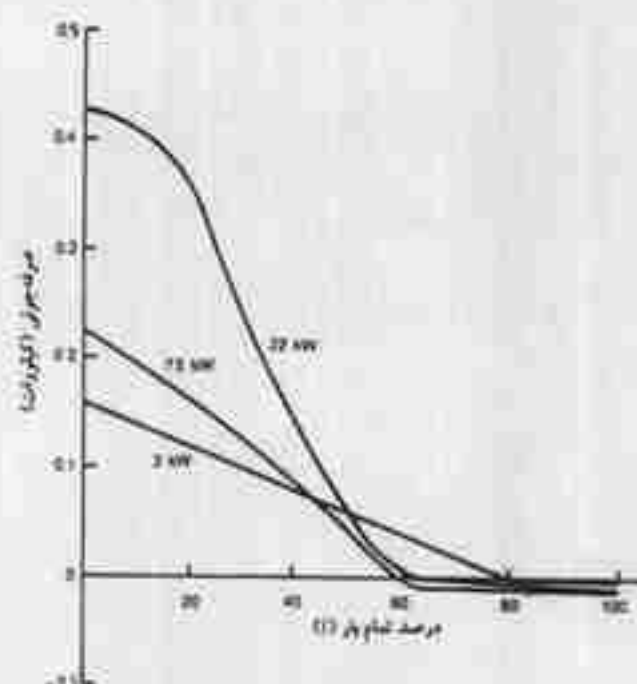
3 - Condar NASA



شکل شماره (۵-۱۱) - مقایسه عملکرد موتور استاندارد ۷/۵ کیلوواتی با کنترل کننده و بدون کنترل کننده



شکل شماره (۶-۱۱) - مقایسه عملکرد موتور استاندارد ۷/۵ کیلوواتی با کنترل کننده و بدون کنترل کننده



شکل شماره (۱۱-۷) - میزان صرفه جویی ناشی از کاربرد کنترل کننده موتور 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) صرفه‌جویی‌های انرژی حاصله را بر حسب KWH و KVAR نشان می‌دهد.

دو نوع از طرز بارگذاری یعنی زمان‌های کارکرد مورد بررسی قرار گرفتند:

- زمان کارکرد ۱: ۲ دقیقه در بار ۱۰۰٪، ۱۰ دقیقه در بار ۱۰٪ یا ۵ مرتبه تکرار.
- زمان کارکرد ۲: ۱۰ دقیقه در بار ۱۰۰٪، ۵۰ دقیقه در بار ۱۰٪.

صرفه‌جویی‌های قدرت راکتیو [جدول (۱۱-۱)] به طور مهم و معنی‌داری بالاتر از صرفه‌جویی‌های بدست آمده جهت توان حقیقی بوده، که اصلاح ضریب قدرت را نشان می‌دهد که خود حاصل بهبود تطابق بار است در مورد موتور ۳ کیلوواتی صرفه جویی 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. بهر حال، احتمال دارد که وقتی نیاز به جایگزینی و تعویض موتور باشد این کار بیش از هر کار دیگر بر هزینه‌ها تأثیر می‌گذارد. همیشه برای یک سیستم جدید، موتوری با راندمان بالا را بایستی مورد ملاحظه قرار داد.

وقتی که موتور 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. بهر حال، احتمال دارد که وقتی نیاز به جایگزینی و تعویض موتور باشد این کار بیش از هر کار دیگر بر هزینه‌ها تاثیر می‌گذارد. همیشه برای یک سیستم جدید، موتوری با راندمان بالا را بایستی مورد ملاحظه قرار داد.

جدول شماره (۱۱-۱) - نتایج دوره‌ای بار که نشان دهنده میزان صرفه‌جویی KVar, Kwh هنگام استفاده از کنترل کننده موتور در موتورهای استاندارد است

صرفه‌جویی‌ها در موتورهای فاقد کنترل کننده	Kwh	%	KVar	%	اندازه موتور (kw)	زمان کارکرد	کنترل کننده
Fairford	۰/۱۷	۱۶/۲	۱/۲۶	۴۲/۶	۳	۱	
FEL/E۹	۰/۱۸	۱۶/۵	۱/۲۷	۴۲/۹		۲	
Fairford	۰/۲۱	۶/۵	۱/۰۲	۱۵/۹	۷/۵	۱	
FEL/E۷/۵	۰/۱۰	۳/۲	۰/۹۹	۱۵/۸		۲	
AECON	۰/۲۴	۷/۴	۱/۹۸	۳۰/۹	۷/۵	۱	
AOPC۱۰	۰/۱۴	۴/۴	۱/۷۸	۲۸/۴		۲	
Fairford	۰/۳۸	۵/۰	۵/۱۳	۳۳/۰	۲۲	۱	
FEL/E ۲۲	۰/۴۵	۵/۹	۵/۸۲	۳۶/۹		۲	

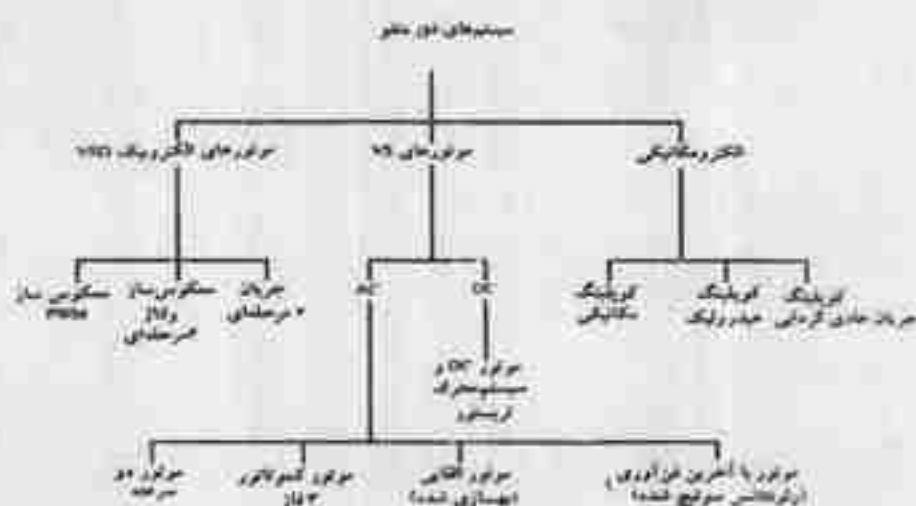
اگر بار ثابت بوده و به میزان قابل توجهی کمتر از خروجی اسمی موتور باشد، موتور کوچکتر می‌تواند مناسب باشد. در این حالت یک موتور با راندمان بالا را باید در نظر آورد.

در مواردیکه بار موتور تغییر می‌کند و مکرراً کمتر از ۵۰٪ بار اسمی است، اضافه کردن یک کنترل کننده 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 (VSD ها)، موتورهای دور متغیر و سیستم‌های دور متغیر الکترومکانیکی. هر یک از این موارد، تقسیمات فرعی نیز دارند [شکل (۱۱-۸)].



شکل شماره (۱۱-۸) - تقسیمات سیستم‌های سرعت متغیر

سیستم‌های دور متغیر به دلایل صرفه‌جویی در انرژی، نصب نشده‌اند بلکه برای رفع حواشی فرایند یا نیازهای محیطی بکار گرفته شده‌اند. 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، برانرب و تغییرات ثابتی از سرعت را بدست 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.

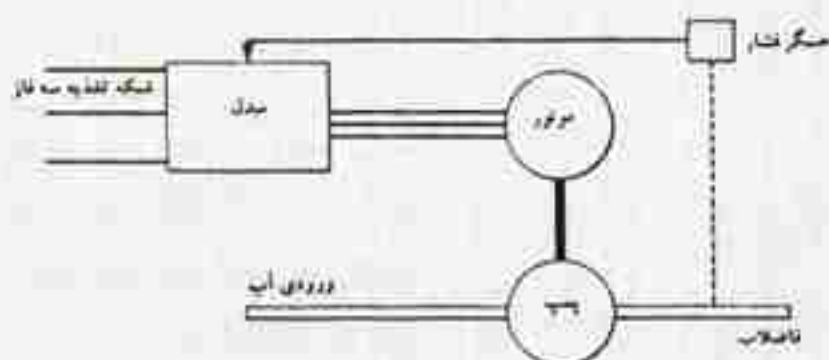
محرک‌های دور متغیر الکترونیکی (VSD ها):

به طور کلی محرک‌های دور متغیر الکترونیکی 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 تغییر دادن ولتاژ کنترل نمود).

برای اینکه یک محرک دور متغیر الکتریکی عمل نماید، باید پس‌خوران^۱ از یک پارامتر اندازه‌گیری شده به درون مدار کنترل محرک دور متغیر وارد شود. این پارامتر می‌تواند هر متغیر مهمی باشد به شرط آنکه حسگری^۲ موجود باشد تا نسبت به این تغییرات واکنش نشان دهد.

مثلاً محرک‌های 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 منطبق کنترل محرک‌های دور متغیر الکتریکی دارد.

شکل (۹-۱۱) یک مورد کاربردی محرک‌های دور متغیر الکتریکی که در آن سرعت پمپ جهت ثابت نگهداشتن فشار تخلیه صرف‌نظر از مقدار تقاضای مصرف‌کننده تغییر می‌کند، را نشان می‌دهد.



شکل شماره (۹-۱۱) - فشار تخلیه پمپ کنترل کننده یک محرک دور متغیر

برخی از آخرین تجهیزات از منطبق قابل برنامه‌ریزی مصرف‌کننده و یا نرم‌افزار پیچیده استفاده می‌کنند که مدل‌های غامض ریاضی را قادر به بهینه‌سازی مصرف انرژی و یا سایر فاکتورهای مهم می‌نمایند.

محرک‌های 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 محرک‌های دور متغیر همچنین 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 استکرون و سنکرون. هر دوی این موتورها را می‌توان با محرک‌های دور متغیر الکتریکی کنترل نمود. معیارهای عمده در ارزیابی مفید بودن یک موتور جهت محرک دور متغیر عبارتند از: موتور در کاربرد 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 با 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 در سرعت‌های بالاتر (بارگذاری) بار موتور افزایش یافته و حداکثر سرعت ممکن 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^۱ وجود دارد که عبارتند از:

- معکوس‌کننده یا متغیر ولتاژ با تلفیق پهنای پالس
- معکوس‌کننده یا متغیر ولتاژ ۶ مرحله‌ای
- معکوس‌کننده یا متغیر 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 معکوس‌کننده‌های ۶ مرحله‌ای، اینکار حداکثر تا ۱۰٪ می‌تواند انجام پذیرد.

معکوس‌کننده^۲ یا "اینورتر" متغیر ولتاژ با تلفیق پهنای پالس:

معکوس‌کننده‌های 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 موتور 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 معبود درباره 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 نوآوری بالا مثلاً، محرکه‌های برداری
- می‌توان در صورت نقص محرک دور متغیر الکتریکی وسیله‌ای فرعی را (از پیش) تعبیه کرد.

معایب:

- موج‌های هارمونیک فرکانس بالا می‌تواند در این ماشین‌ها باعث سرو صدا شوند. (این نکته را از تولید کننده

1- Inverter

2- pwm (pulse wide Modulation)

پیرسید).

- ادوات الکترونیکی پیچیده فرکانس بالا در هنگام وصل کردن می‌تواند قابلیت اعتماد آن‌ها را تحت تأثیر 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 تنهایی از فرکانس استاندارد برق اصلی بکار افتاده‌اند مورد استفاده واقع می‌شوند. بهر حال وقتی که سرعت موتور کاهش باید ضریب قدرت نیز به تبع آن کاهش می‌یابد شکل موجی جریان متناوب با فرکانس متغیر تولید شده، از شبیه‌سازی پلکاتی ۶ مرحله‌ای ولتاژ حاصل می‌شود.

مزایا :

- بازدهی بالا
- کار با چند موتور
- نوع معکوس کننده (اینورتر) کاملاً مورد تأیید 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.
- کارایی 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 معمولاً محدوده سرعت به ۲۰٪-۱۰۰٪ سرعت حاصل 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 هارمونیک 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 متناسبی 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

مغایب:

- ایجاد پالس‌ها و ضربه‌های مربوط به گشتاور در سرعت‌های پلین
- گشتاور کم در حال راه‌اندازی
- ضربه 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 استکرون 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.

ثبات 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 - گرگ بی اسمیت - سازمان بهره وری انرژی ایران - ۱۳۷۶.
۲. ترازنامه انرژی - دفتر برنامه ریزی انرژی معاونت انرژی وزارت نیرو - ۱۳۸۱.
۳. گزارش های معبزی انرژی در صنایع سیمان، آجر ماشینی و قند و شکر - سازمان بهره وری 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 - محمد حسن زریختی - مطلب مبری، غلامرضا بیانی سازمان بهره وری انرژی ایران - ۱۳۸۳.
۶. مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان (صرفه جویی 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 - نشریه شماره ۱۷۴ - سازمان مدیریت و برنامه ریز کشور - ۱۳۷۷.
۹. بررسی تلفات الکتریکی در شبکه برق رسانی - دکتر قدرت الله حیدری - معاونت برنامه ریزی و تحقیقات توالبر - ۱۳۸۷.

Foreign References:

- 10.- "Boiler and Boiler plant Saving," AF-International AB, (Sweden, 1990).
- 11.- Donald R. Wulfinghoff, "Energy Efficiency Manual," Energy Institute Press, 1999.
- 12.- "Steam Systems," Energy Efficiency Earnings, University of Cape Town, 1999.
- 13.- "Data Book on Energy Conservation for Heat Energy Management," UN-ESCAP 1998.
- 14.- "Energy Conservation training Course Document (General)," Energy Conservation Center of Japan (ECCJ), 1992.
- 15.- "Energy Conservation Handbook," Energy Conservation Center of Japan (ECCJ) 1998.
- 16.- Victor B. Ottaviano, Energy Management, Ottaviano Technical Services INC, 1981.
- 17.- B. Mohanty, "Energy Efficiency Training," Courses UN-ESCAP, 1998.
- 18.- Giovannia petrecca, "Industrial Energy Management," Kluwer Academic publishers - 1992.
- 19.- L.C. Witte, P.S. Schmidt, D.R. Brown, "Industrial Energy management and Utilization," Hemisphere Publishing Corporation, 1998.
- 20.- Charles M. Gottschalk, "Industrial Energy Conservation," CMG, Paris, France, John Wiley & Sons.
- 21.- "Boilers and Furnaces", Energy Efficiency Earnings, University of Cape Town, 1999.
- 22.- Gonen - "Electric Power Distribution System Engineering" Mcgraw Hill 1989.