بسم الله الرحمن الرحيم

هوالجمیل

وَ اِلهِ، وَ احْجُبْنی عَنِ السَّرَفِ وَ الْاِزْدِیادِ،
وَ قَوِّمْنی بِالْبَذْلِ وَ الْاِقْتِصادِ،
وَ عَلِّمْنی حُسْنَ التَّقْدیرِ،
وَ اقْبِضْنی بِلُطْفِکَ عَنِ التَّبْذیرِ،
وَ اَجْرِنی مِنْ اَسْبابِ الْحَلالِ اَرْزاقی،
وَ وَجِّهْ فی اَبْوابِ الْبِرِّ اِنْفاقی ..

خدایا ، مرا از اسراف و زیاده خواهی باز دار ،
و به بخشش و انتخاب میانه روی سامان ده ،
و اندازه نگاه داشتن نیکو را به من بیاموز ،
و مرا به لطف خود از ولخرجی حفظ کن ،
و روزیم را از راههای حلال روانه ساز ،
و خرج کردن مالم را متوجه برنامه های خیر فرما ..

صحیفه سجادیه

بهینه‌سازی مصرف سوخت

در

سیستم‌های حرارت مرکزی

مولف:

مجید سلطانی ـ عضو هیأت علمی دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی

علیرضا تقی نظری

شرکت ملی نفت ایران
شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت
www.ifco.ir
فرهنگ‌سازی و ارتباطات: ۸۸۶۰۴۷۹۳ نمابر ۸۸۶۰۴۹۶۴

همه حقوق چاپ و نشر برای شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت محفوظ است.

سرشناسه	: سلطانی، مجید، ۱۳۵۳. تقی نظری، علیرضا، ۱۳۶۱
عنوان و نام پدیدآورندگان	: بهینه‌سازی مصرف سوخت در سیستم‌های حرارت مرکزی/ مؤلفان؛ مجید سلطانی ـ علیرضا تقی نظری به سفارش شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت.
مشخصات نشر	: تهران: کلید آموزش، ۱۳۸۶.
مشخصات ظاهری	: ۲۷۲ص، مصور.
شابک	: ۹۷۸-۹۶۴-۲۵۵۳-۴۲-۶.
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا.
یادداشت	: کتابنامه: ص ۲۷۲.
موضوع	: حرارت مرکزی.
موضوع	: انرژی ـ استفاده بهینه.
شناسه افزوده	: شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت کشور.
رده‌بندی کنگره	: THV۴۶۱/س۸ب۹.
رده‌بندی دیویی	: ۶۹۷/۰۳.
شماره کتاب‌شناسی ملی	: ۱۰۷۰۲۴۶.

نام کتاب : **بهینه‌سازی مصرف سوخت در سیستم‌های حرارت مرکزی**

مولفان : مجید سلطانی ـ علیرضا تقی نظری

ناشر : انتشارات کلید آموزش

به سفارش شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت

آماده‌سازی و اجراء : آتلیه توسعه آموزش

شمارگان : ۲۰۰۰ جلد

نوبت چاپ : اول ـ ۱۳۸۶

شابک : ۹۷۸-۹۶۴-۲۵۵۳-۴۲-۶

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
مقدمه شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت	۱۱
چکیده	۱۳
فصل اول: معرفی انواع سیستم‌های حرارت مرکزی	۱۵
مقدمه	۱۷
۱ـ۱ حرارت مرکزی با آب گرم	۱۷
۱ـ۲ حرارت مرکزی با آب داغ	۱۸
۱ـ۳ سیستم حرارت مرکزی با بخار	۱۹
۱ـ٤ سیستم حرارت مرکزی با هوای گرم	۱۹
فصل دوم: دیگ و انواع آن	۲۳
مقدمه	۲۵
۲ـ۱ دیگ‌های چدنی	۲٦
۲ـ۲ دیگ‌های فولادی با لوله‌های آتش	۲۷
۲ـ۳ دیگ‌های فولادی با لوله‌های آب	۳۰
۲ـ٤ دیگ‌های تقطیری	۳٤
۲ـ۵ دیگ‌های الکتریکی	۳۵
فصل سوم: برآورد ظرفیت دیگ‌ها	۳۷
مقدمه	۳۹
۳ـ۱ چگونگی برآورد توان خروجی و ظرفیت دیگ‌ها	۳۹
فصل چهارم: تدوین برنامه کاری و کنترل تاسیسات دیگ‌ها برای‌کاهش تلفات انرژی	٤۳
مقدمه	٤۵
٤ـ۱ به حداقل رساندن زمان کارکرد دیگ‌ها	٤۵
٤ـ۱ـ۱ استفاده از کنترلرهای زمانی (ساعتی)	٤۹

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
٤ـ١ـ٢ استفاده از کنترلرها با راه‌اندازی بهینه	٥٦
٤ـ١ـ٣ استفاده از کنترلرها در تاسیساتی که تنها برای تامین بار گرمایشی فضاست	٥٨
٤ـ٢ استفاده از اقتصادی ترین سوخت	٦٠
٤ـ٢ـ١ سیستم تعویض سوخت اتوماتیک	٦٣
٤ـ٣ تقلیل انرژی مصرفی توسط اجزای جانبی دیگ	٦٤
٤ـ٣ـ١ اتصال تجهیزات جانبی به دیگ	٦٧
٤ـ٣ـ٢ تقلیل انرژی مصرفی در تجهیزات جانبی دوتایی	٦٨
٤ـ٤ تقسیم بهینه بار حرارتی بین دیگ‌ها	٦٩
٤ـ٤ـ١ نصب کنترلر اتوماتیک	٧٧
فصل پنجم: اندازه‌گیری راندمان دیگ‌های حرارت مرکزی	٨١
مقدمه	٨٣
٥ـ١ روش‌های عملی برای اندازه‌گیری منظم و متوالی راندمان دیگ‌ها	٨٤
٥ـ٢ نصب تجهیزاتی برای برآورد راندمان	١٠٥
٥ـ٣ کالیبراسیون تجهیزات اندازه‌گیری	١١١
فصل ششم: نسبت هوا به سوخت	١١٥
مقدمه	١١٧
٦ـ١ بهینه کردن نسبت هوا به سوخت	١١٧
٦ـ١ـ١ مشکلات عدم برقراری نسبت هوا به سوخت بهینه	١١٩
٦ـ١ـ٢ تنظیم نسبت هوا به سوخت	١٢١
٦ـ٢ کنترل نسبت هوا به سوخت	١٢٥
٦ـ٢ـ١ انواع کنترلرهای اتوماتیک نسبت هوا به سوخت	١٢٧
٦ـ٢ـ٢ـ چگونگی انتخاب کنترلرها	١٢٩

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
٦ـ٢ـ٣ کالیبره کردن سنسورها	١٣١
٦ـ٢ـ٤ چگونگی کارکرد کنترلرها	١٣٢
٦ـ٣ تعمیر و تنظیم کنترلرهای هوا به سوخت	١٣٣
فصل هفتم: مشعل‌ها و فن‌ها	١٣٧
مقدمه	١٣٩
٧ـ١ تمیز، تنظیم و تعمیر کردن مشعل‌ها	١٤٠
٧ـ٢ از بین بردن نشتی‌های هوا در تاسیسات دیگ‌ها	١٤٦
٧ـ٣ کاهش میزان بارگیری ماکزیمم از مشعل‌ها	١٤٧
٧ـ٤ نصب مشعل‌هایی با بالاترین راندمان و قابلیت‌های گوناگون	١٥٢
٧ـ٤ـ١ تعویض مشعل‌ها	١٧٣
٧ـ٥ تعویض موتور در مشعل‌ها و فن‌ها	١٧٧
٧ـ٦ تعویض پیلوت‌ها با انواع راه اندازه‌های الکتریکی	١٧٨
فصل هشتم: بالا بردن سطح تبادل حرارتی و استفاده بهینه از انرژی دود	١٧٩
مقدمه	١٨١
٨ـ١ استفاده از مبدل‌های حرارتی در دود	١٨١
٨ـ١ـ١ استفاده از اکونومایزرها	١٨٤
٨ـ١ـ٢ استفاده از مبدل حرارتی جهت پیش گرمایش هوای احتراق	١٩٤
٨ـ١ـ٣ استفاده از اکونومایزرهای تقطیری	٢٠١
٨ـ١ـ٤ استفاده از اسپری‌های آب	٢٠٤
٨ـ٢ـ استفاده از مغشوش‌کننده‌ها در دیگ‌های فولادی با لوله‌های آتش	٢٠٧
فصل نهم: تلفات هدایتی و تابشی در محیط موتورخانه	٢١٣
مقدمه	٢١٥
٩ـ١ تعمیر عایق‌های آسیب دیده و ناکارا در کلیه‌ی اجزاء سیستم گرمایشی	٢١٥

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۹ـ۲ کاهش نفوذ هوای سرد به تونل‌های مربوط به لوله‌های سیال ناقل و محیط موتورخانه	۲۲۰
۹ـ۳ گرم کردن هوای لازم برای احتراق توسط انرژی گرمایی موجود در فضای موتورخـانه	۲۲۲
فصل دهم: تدوین دستورالعمل‌های جامع در رابطه با بهینه‌سازی مصرف انرژی در دیگ‌های حرارت مرکزی	۲۳۳
مقدمه	۲۳۵
۱۰ـ۱ دستورالعمل جامع برای انتخاب و نصب بهینه تأسیسات دیگ‌های حـرارت مرکـزی	۲۳۶
۱۰ـ۲ دستورالعمل جامع جهت کاهش هزینه جاری دیگ‌های حرارت مرکزی در حال کار	۲۵۰
۱۰ـ۲ـ۱ دستورالعمل جامع جهت تشخیص وضعیت کارکرد دیگ‌های حرارت مرکزی	۲۵۰
۱۰ـ۲ـ۲ دستورالعمل جامع در رابطه با اجرای اصولی برای کاهش هزینه جـاری کارکرد دیگ‌های حرارت مرکـزی	۲۵۳
فهرست منابع	۲۷۱

مقدمه شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت

شرکت بهینه سازی مصرف سوخت در راستای سیاست های استراتژیک کشور در بخش انرژی و بر اساس ماده ۱۲۱ قانون برنامه سوم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران به منور اعمال صرفه جویی و منطقی کردن مصرف انرژی، حفاظت از محیط زیست، همچنین اجرای اقدامات مرتبط با بهره برداری کارآمد و بهینه از نوع حاملهای انرژی، در سال ۱۳۷۹ توسط وزارت نفت جمهوری اسلامی ایران تأسیس گردید .

بطور کلی فعالیت شرکت بهینه سازی مصرف سوخت بر مطالعه، پژوهش، بستر سازی، ممیزی و تدوین استانداردهای مصرف انرژی و انجام اقدامات لازم برای بهینه سازی مصرف سوخت در تمامی فعالیتهایی که بنحوی در فرآیند تولید و یا بعنوان مصرف کننده نهایی، سوخت مصرف می نماید، متمرکز می باشد .

در همین ارتباط، این شرکت انتشار فعالیتها، یافته های پژوهشی، مطالعات و گزارشات علمی در زمینه بهینه سازی انرژی در بخشهای صنعت، ساختمان و حمل و نقل را از رسالت های مهم خود قلمداد نموده و تاکنون نیز با نشر دهها عنوان کتاب، سعی در گسترش فرهنگ تفکر، دانایی محوری و رویکرد کاوشگری و پژوهش با هدف توسعه دانش بهینه سازی انرژی در کشور نموده است .

کتاب حاضر از سری کتابهایی است که بصورت تخصصی در مدیریت محترم بخش ساختمان و مسکن و به همت واحد انتشارات روابط عمومی و فرهنگ سازی برای ارتقاء سطح آگاهی متخصصان از فناوری ها و روش های بهینه سازی مصرف انرژی تدوین و منتشر شده است .

شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

روابط عمومی و فرهنگ سازی

پاییز ۱۳۸۷

چکیده

در حال حاضر مصرف سوخت در دنیا به طور سرسام‌آوری رو به ازدیاد می‌باشد بشر مترقی امروزه برای کلیه کارهای روزمره‌ی خود به انرژی نیازمند است، به طوریکه بدون آن زندگی او مختل می‌گردد. بنابراین در عرصه‌ی جهانی در راستای مصرف بهینه و تولید هر چه بیشتر، کشورها، جوامع و صنایعی موفق‌تر خواهند بود که در این رقابت که شاید از دیدگاهی بتوان آن را مبارزه برای تنازع بقاء و ادامه‌ی فعالیت نامید، با تحقیقات و مطالعات، موفق به یافتن و پس از آن بکار بردن راه‌های جلوگیری از اتلاف انرژی شوند.

برای نیل بدین مقصود اغلب کشورهای پیشرفته و حتی در حال توسعه، استفاده صحیح از انرژی را در رأس اهم اهداف خود قرار داده و صاحبان صنایع، مدیران سازمان‌ها، سازندگان ساختمان‌های مسکونی و حتی استفاده‌کنندگان این بناها را مخاطب قرار داده و با وضع دستورالعمل‌ها و در مواردی ضوابط و قوانین بازدارنده آنها را در جهت جلوگیری از اتلاف انرژی تشویق، راهنمایی و حتی راهبری می‌نمایند. در میان کاربری‌های متنوع و متفاوت انرژی در صنعت، انرژی مصرفی برای تأمین بار گرمایشی یکی از مهمترین زیر شاخه‌ها از مصارف انرژی است که ظرفیت بالایی را نیز جهت جلوگیری از تلفات انرژی دارا می‌باشد. علیرغم وجود تجهیزات و اجزاء گوناگون

مرتبط با تأمین بار گرمایشی همچنان دیگ‌ها نقش اصلی و بنیادی را در تـأمین ایـن بـار دارا می‌باشند. با توجه به این نکات کـه اولاً سـهم عمـده‌ای از انـرژی گرمایشـی مـورد مصرف در تجهیزات انتهایی سیستم‌ها از طریق دیگ‌ها تأمین مـی‌گـردد و ثانیـاً هزینـه‌ی سوخت مصرفی دیگ‌ها اغلب جزو گرانترین هزینـه‌هـای جـاری تأسیسـات مـی‌باشـد می‌توان دریافت که بهبود هر چند جزئی راندمان در دیگ‌ها بـه مراتـب از تـلاش بـرای بهبود راندمان تجهیزات انتهایی و جانبی مرتبط دیگر مفید تـر خواهـد بـود. خوشـبختانه اغلب دیگ‌ها و موتورخانه‌ها ظرفیت بهبود در رانـدمان کـارکرد را دارا مـی‌باشـند و بـه همین جهت با رعایت و اجرای راهکارهایی می‌توان علاوه بر جلوگیری از هـدر رفـتن انرژی به طور چشمگیری به کمتر شدن هزینه‌ی کارکرد سیستم نیز کمک کرد.

در این مجموعه پس از آشنایی جامع و کامل در ارتباط با انـواع سیسـتم‌هـای حـرارت مرکزی و مشخصات انواع دیـگ‌هـا و مشـعل‌هـای مـورد اسـتفاده در صـنعت، اصـول و روش‌هایی جهت نزدیکتر شدن هر چه بیشتر به حالت کارکرد ایـدآل سیسـتم، کـم کـردن هزینه‌های جاری کارکرد، جلوگیری از اتلاف انرژی و کاهش آلاینده‌هـای محـیط زیسـت ارائه گردیده که با اجرای صحیح و مناسب این اصول می‌توان تا حد قابـل قبـولی کـارکرد دیگ‌ها و تأسیسات وابسته گرمایشی دیگر را بهینه نمود. امیـد اسـت تـدوین و ارائـه ایـن دستورالعمل‌ها نقشی هر چند کوچک در ارتقاء کارآیی و کاهش اتلاف انـرژی در صـنعت تأسیسات کشور داشته باشد، چرا که امروزه با توجه به روند افزایش جمعیت و تبعـات آن و هر چه بیشتر مستهلک شدن منابع تولید انرژی، چندان دور نخواهد بود که نه تنهـا افـراد بلکه جوامع نیز در موقعیتی قرار نداشته باشند که بتوانند به میزان مورد علاقه‌ی خود انرژی مصرف نمایند. بنابراین با تحقیق، بررسی و اجرای اصولی این چنینـی مـی‌تـوان گـام‌هـای محکمی در ساخت آینده‌ای بهتر برای کشور عزیزمان برداشت.

فصل اول

معرفی انواع سیستم‌های !

حرارت مرکزی

مقدمه

پیش از آغاز بحث در رابطه با انرژی مصرفی دیگ‌ها و همچنین بررسی روش‌هایی در جهت کاهش میزان مصرف سوخت در این سیستم‌ها لازم است با انواع سیستم‌های حرارت مرکزی از لحاظ نوع و دمای سیال ناقل حرارت، چگونگی گردش آب و نوع منبع انبساط آشنا شد.

۱ـ۱ سیستم حرارت مرکزی با آب گرم

سیستم‌های که فشار آنها در حدود فشار جو می‌باشد را سیستم‌های حرارت مرکزی با آب گرم می‌نامند. لذا دمای آب گرم ناقل حرارت با توجه به نقطه جوش آب در ارتفاعی که سیستم در آن کار می‌کند تعیین می‌گردد، که معمولاً از ۱۹۰°F(۸۸°C) تجاوز نمی‌نماید. این سیستم را می‌توان به نوبه خود بر حسب چگونگی گردش آب به ترتیب طبقه بندی نمود:

- **سیستم با جریان طبیعی**

در این سیستم گردش آب بر اثر نیروی ترموسیفون ناشی از اختلاف وزن مخصوص آب گرم رفت و برگشت و بدون کمک عامل خارجی(پمپ) صورت می‌گیرد. به دلیل

محدود بودن نیروی ترموسیفون و عدم توانایی آن برای مقابله با افت فشار زیاد در مسیر لوله کشی، این سیستم تنها برای ساختمان‌های کوچک قابل استفاده است. دمای آب رفت در این سیستم معمولاً بین ۱٤۰°F(٦۰°C) تا ۱۸۰°F(۸۲°C) و اختلاف دمای آب رفت و برگشت حدود ۲۵°F(۱٤°C) تا ٤۰°F(۲۲°C) در نظر گرفته می‌شود.

- **سیستم با جریان اجباری**

در این سیستم انرژی لازم برای گردش آب و غلبه بر افت فشارهای مسیر، به جای نیروی ترموسیفون، توسط یک پمپ تامین می‌گردد لذا سرعت گردش آب بیشتر بوده و اختلاف دمای آب رفت و برگشت را می‌توان تقلیل داد. مناسبترین حالت کارکرد سیستم با دمای آب رفت بین ۱۷۰°F(۷۷°C) تا ۱۹۰°F(۸۸°C) و با اختلاف دمای رفت و برگشت ۲۰°F(۱۱°C)، حاصل می‌شود.

۱ـ۲ سیستم حرارت مرکزی با آب داغ

تفاوت این سیستم با سیستم آب گرم در آن است که سیستم حرارت مرکزی با آب داغ در فشارهایی بالاتر از فشار جو کار می‌کند. در این سیستم که بیشتر در تاسیسات بزرگ مورد استفاده قرار می‌گیرد، دمای آب از حد نقطه جوش آن در فشار جو فراتر رفته و حتی به ٤۰۰°F(۲۰٤°C) نیز می‌رسد. بدیهی است که در چنین صورتی دیگر سیستم نمی‌تواند تحت فشار اتمسفریک کارکند بلکه باید به ترتیبی فشار سیستم را بالاتر برد تا دمای تبخیر آب بالاتر رود. برای نیل بدین مقصود، در سیستم‌های حرارت مرکزی با آب داغ از منابع انبساط بسته استفاده می‌گردد. این منابع علاوه بر جبران نوسانات حجمی آب سیستم، که ناشی از تغییرات دمای آب می‌باشد، وظیفه ایجاد فشار مناسب را توسط بالشتکی از هوا، بخار یا گاز بی اثر مانند ازت که بخشی از حجم منبع را اشغال می‌کند به

عهده دارند. فشار این بالشتک بر روی سطح آب داخل منبع را می‌توان به دلخواه روی سوپاپ اطمینانی که روی منبع قرار دارد، تنظیم نمود. نکته قابل توجه در سیستم‌های حرارت مرکزی با آب داغ این است که فشار سیستم به نحو کاملاً مطمئنی کنترل گردد تا نه از میزان لازم فراتر رفته و به حد خطرناکی برسد و نه آنقدر نزول کند که امکان تبخیر آب فراهم شود. لازم به ذکر است که گردش آب در سیستم‌های حرارت مرکزی با آب داغ حتما به صورت اجباری و توسط پمپ صورت می‌گیرد.

۱ـ۳ سیستم حرارت مرکزی با بخار

در این سیستم سیال ناقل حرارت بخار می‌باشد. مقدار حرارتی که توسط بخار حمل می‌شود نسبت به آب گرم یا آب داغ بسیار قابل ملاحظه است زیرا انرژی آزاد شده در اثر گرمای نهان سیال بسیار بیشتر از انرژی آزاد شده در حالت تک فازی در اثر تغییرات درجه حرارت می‌باشد. بنابراین در این سیستم بخار می‌تواند تا ۵۰ برابر نسبت به سیستم‌های آب گرم در اثر تقطیر شدن خود گرما به محل منتقل کند. بدین دلیل برای مناطق بسیار سرد، حرارت مرکزی منطقه‌ای، آسمان‌خراش‌ها، کارخانجات بزرگ، پادگان‌ها و اصولاً ساختمان‌های پراکنده‌ای که از یک مرکز گرمایش تغذیه می‌شوند و همچنین برای برخی از تاسیسات نظیر بیمارستانها که بخار دارای مصارف عدیده‌ای مثل رختشویی، پخت و پز و استریلیزاسیون و غیره می‌باشد گرمایش با بخار بسیار مناسب است.

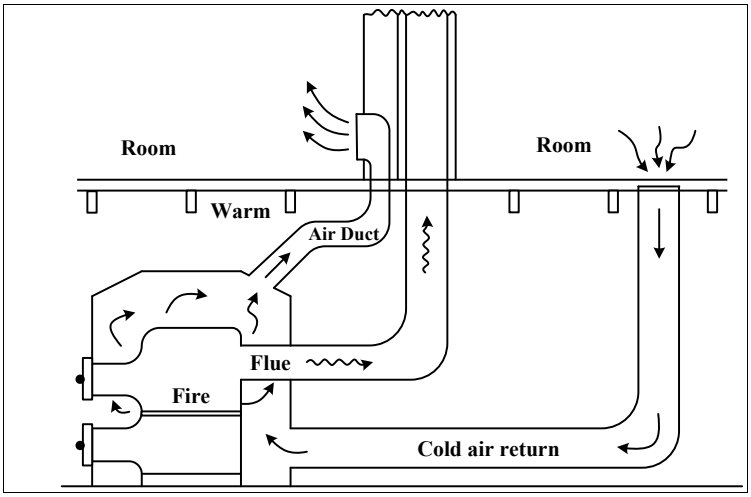
۱ـ٤ سیستم حرارت مرکزی با هوای گرم

در این سیستم سیال ناقل حرارت، هواست. گرم کردن هوا ممکن است بطور مستقیم در کوره هوای گرم و یا به صورت غیر مستقیم توسط آب گرم یا بخار ارسالی از دیگ

در وسایلی مانند هواساز و فن کویل انجام پذیرد. گردش هوای گرم نیز می‌تواند مانند گردش آب گرم، به صورت طبیعی یا اجباری (توسط بادزن) صورت گیرد.[9]

- **گردش طبیعی هوا**

نیروی محرک هوا در این سیستم همان اختلاف وزن مخصوص هوای گرم و هوای سرد می‌باشد. هوا پس از گرم شدن از داخل کانال به محل‌های مورد نظر ارسال گردیده و پس از گرم کردن محیط با از دست دادن مقداری از حرارت خود سردتر شده و از طریق کانال برگشت به کوره هوای گرم باز می‌گردد. این سیستم در شکل ۱ـ۱ نشان داده شده‌است. بدیهی است که در این سیستم باید مقاومت در مسیر کانال کمتر از سیستم اجباری باشد تا هوا قدرت گردش طبیعی در تمام قسمت‌های مورد نظر را داشته باشد.

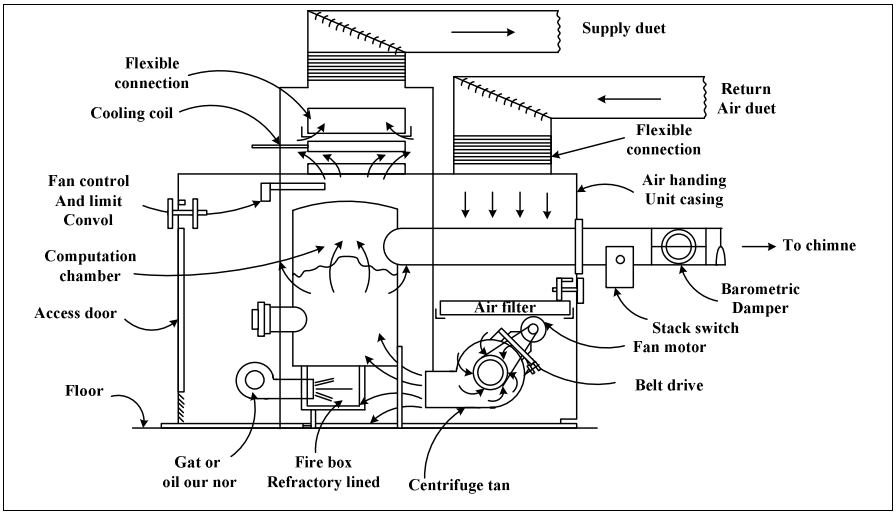


شکل ۱ـ۱ چگونگی گردش هوا در یک سیستم طبیعی

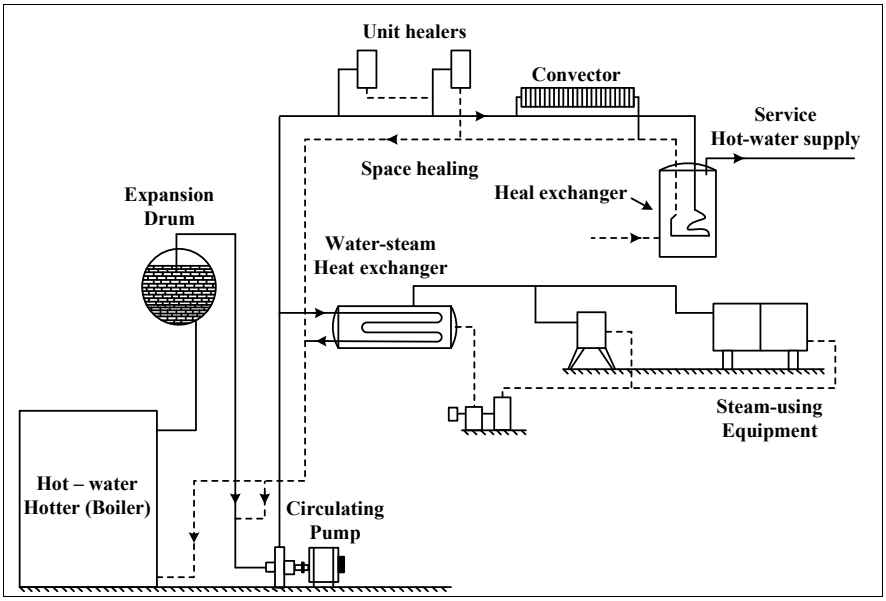
- **گردش اجباری هوا**

در این سیستم نیروی محرکه توسط بادزن تامین می‌گردد. این بادزن ممکن است در کوره هوای گرم مثل شکل ۱ـ۲ و یا در وسایلی مانند هوا ساز و فن کویل قرار داشته باشد. در این سیستم نیز هوای گرم ارسالی به محل مورد نظر پس از گرم کردن محیط به دستگاه گرم کننده هوا باز می‌گردد ولی نسبت به حالت قبلی گردش هوا بیشتر بوده و کنترل بهتری را می‌توان روی این پروسه اعمال نمود.

گاهی ممکن است بر حسب نیاز، با تهیه آب داغ در دیگ و ارسال آن به مبدل‌های حرارتی مختلف در یک زمان از هر سه نوع سیال ناقل حرارت یعنی آب، بخار و هوا در قسمت‌های مختلف ساختمان استفاده نمود. که این پروسه در شکل ۱ـ۳ نشان داده شده‌است.



شکل ۱ـ۲ کوره هوای گرم



شکل ۱ـ۳ استفاده همزمان از هر سه نوع سیال ناقل حرارت در قسمت‌های مختلف ساختمان

فصل دوم

دیگ و انواع آن

مقدمه

در نگاه اولیه دیگ مجموعه‌ای است از لوله‌ها و مشعل. از آغاز انقلاب صنعتی تاکنون از تکنولوژی دیگ‌ها در کاربری‌های متفاوت استفاده گردیده‌است. در موتورخانه دیگ وظیفه انتقال گرما به سیال ناقل گرما، که پیشاپیش در رابطه با انواع آن توضیح داده شد، را بر عهده دارد. در بررسی دیگ‌ها از لحاظ انرژیمی‌توان آنها را به عنوان مبدل‌های حرارتی در نظر گرفت که خود دارای منبع حرارت نیز می‌باشد که این منبع عموماً به صورت مشعل‌هایی با سوخت فسیلی و یا المنت‌های گرمایی الکتریکی می‌باشد. در واقع مشعل وظیفه احتراق و تولید آتش جهت گرم کردن یا بخار نمودن آب در دیگ را برعهده دارد. نوع مشعل نیز با توجه به سوخت مصرفی آن معین می‌شود و این تقسیم بندی مشعل‌ها را به سه نوع گازی، گازوئیلی و مازوت سوز تقسیم می‌کند.[6]

درحالت کلی دیگ‌ها به پنج دسته اصلی تقسیم بندی می‌شوند که هر یک در ذیل توضیح داده شده‌است:

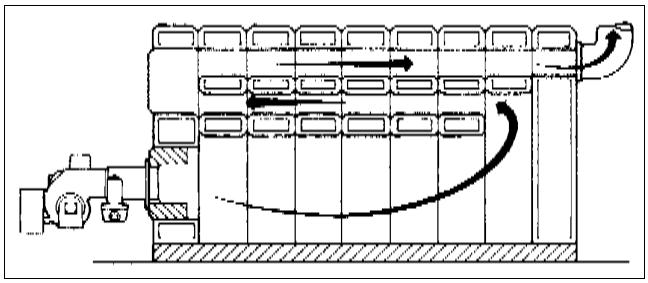
۲ـ۱ دیگ‌های چدنی

این دیگ‌ها از قطعاتی به نام پره تشکیل شده‌اند که می‌توان آنها را بطور جداگانه به محل موتورخانه حمل نموده و در آنجا توسط یک وسیله ارتباطی به نام مغزی یا بوشن روی هم جمع و آب بندی کرد (سیستمی شبیه به رادیاتورهای قدیم بخار). این نوع دیگ از کلگی‌های جداگانه برای ورود سیال ناقل استفاده نمی‌کند اما با تقسیم یکنواخت جریان بین همه پره‌ها به بازدهی مطلوب رسیده است.[12]

با کم و زیاد کردن تعداد این پره‌ها می‌توان قدرت حرارتی دیگ را کاهش یا افزایش داد. در واقع این پره‌ها به صورتی ساخته می‌شوند که وقتی کنار هم قرار گرفتند فضای خالی جهت احتراق سوخت و عبور شعله آتش به وجود آید. قسمت‌هایی از پره‌ها که در معرض برخورد آتش می‌باشند توسط آسترنسوز یا آجر نسوز و ملات خاک و سیمان نسوز پوشیده می‌گردند. جهت نصب مشعل و خروج دودهای حاصل از احتراق نیز، حفره‌هایی به ترتیب در جلو و عقب دیگ تعبیه شده‌اند و در بدنه آن نیز سوراخ‌هایی برای اتصال لوله‌های رفت و برگشت آب، شیر اطمینان، فشار سنج، دماسنج و ترموستات ایجاد گردیده‌است. به دلیل خاصیت شکنندگی چدن، هنگام حمل و نقل آن باید دقت کافی را مبذول داشته و مراقبت نمود که ضمن کار از آب خالی نشود زیرا در این حالت ترک بر می‌دارد.

همانطور که اشاره گردید اصلی ترین فایده این نوع دیگ‌ها توانایی مونتاژ کردن آن در داخل موتورخانه می‌باشد بنابراین این سیستم در موتورخانه‌های از پیش ساخته شده با درب‌های کوچک بسیار کارا بوده چرا که می‌توان پره‌ها را به طور جداگانه به داخل موتورخانه آورد و سپس در داخل موتورخانه مونتاژ دیگ را انجام

داد. ولی اصلی ترین مشکل این سیستم‌ها نشتی در اثر کارکرد طولانی سیستم می‌باشد. چرا که پره‌ها توسط مغزی به یکدیگر متصل شده‌اند و در اثر مرور زمان و تاثیر مواد شیمیایی از کارایی این مغزی‌ها کاسته شده و در محل اتصال پره‌ها نشتی به وجود می‌آید.



شکل ۲ـ۱ مدلی از یک دیگ چدنی که مسیر گاز دود و نکات فوق در آن قابل مشاهده می‌باشد

دیگ‌های چدنی معمولاً برای تحمل فشار تا ۵ اتمسفر با قدرت‌های حرارتی گوناگون و حداکثر تا Btu/hr ۲۵۰۰۰۰۰ساخته می‌شوند. از این دیگ‌ها می‌توان برای سیستم‌های حرارت مرکزی با آب گرم، آب داغ و بخار فشار ضعیف استفاده نمود علت پایین بودن فشار در این سیستم نیز به دلیل وجود بوشن برای اتصال پره‌ها و کم بودن مقاومت کششی بوشن‌ها می‌باشد. در شکل ۲-۱ نمونه‌ای از یک دیگ چدنی مشاهده می‌شود.

۲ـ۲ دیگ‌های فولادی با لوله‌های آتش[2]

برای سیستم‌های با فشار پایین و در اندازه‌های متوسط اقتصادی ترین نوع دیگ، با توجه به ساختار، دیگ‌های فولادی با لوله‌های آتش می‌باشد. این نوع دیگ از

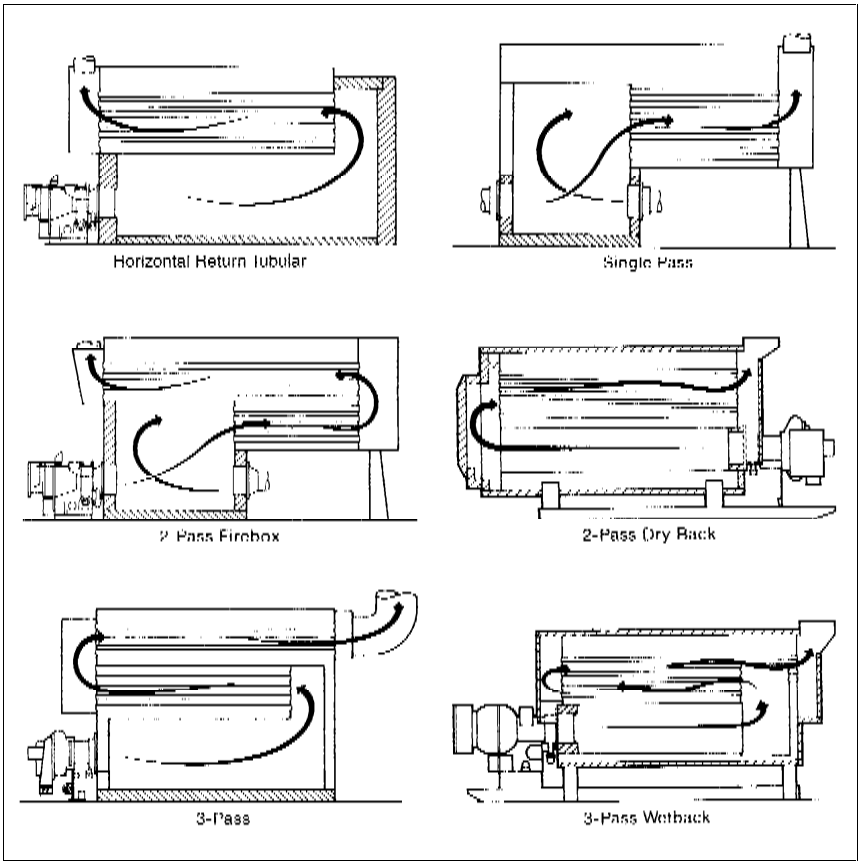
تعداد زیادی لوله تشکیل یافته که توسط صفحه نگهدارنده لوله‌ها[1] در دو انتهای دیگ نگه داشته شده‌اند. اکثر دیگ‌های فولادی با لوله‌های آتش امروزی دارای پوسته استوانه‌ای می‌باشند و اتاقک احتراق نیز به صورت یک استوانه کوچک در کف پوسته استوانه‌ای اصلی نصب شده‌است. در شکل ۲-۲ نمونه‌ای از یک دیگ فولادی با لوله‌های آتش امروزی نشان داده شده‌است.

همانطور که در شکل ۲ـ۳ نیز مشاهده می‌شود معمولاً در این نوع دیگ برای بالا بردن سطح تبادل حرارتی و کم کردن دمای گازهای حاصل از احتراق خروجی از سیستم، پاس‌های[2] مختلف استفاده می‌شود. در واقع هر پاس تشکیل شده از لوله‌هایی که گازهای داغ حاصل از احتراق در آن جریان دارد و سپس در انتهای هر پاس جهت حرکت گاز عوض شده و وارد پاس بعدی می‌شود و سپس از طریق دود کش گازهای حاصل از احتراق خارج می‌گردند. بالاترین بازده را دیگ‌هایی با ۳ تا ٤ پاس دارا می‌باشند که این حالت، احتراق صحیح، تقلیل صدا و افزایش بازده دیگ را نیز به همراه دارد.

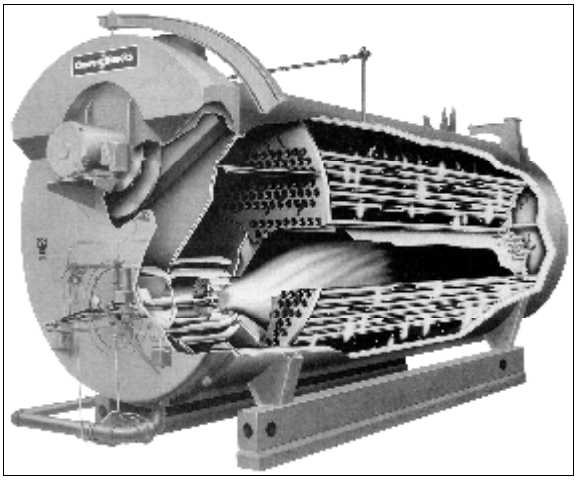
از آنجا که ضخامت دیواره هر مخزن تحت فشار متناسب با قطر و فشار آن مخزن می‌باشد، بنابراین ساخت دیگ فولادی با لوله‌های آتش برای فشارهای بالا دارای توجیه اقتصادی نمی‌باشد زیرا در این حالت ضخامت دیگ بسیار زیاد شده و همچنین صفحه‌های نگه دارنده لوله‌ها نیز نمی‌توانند به طور کامل در فشار بالا لوله‌ها را در جای خود نگه دارند. بنابراین حداکثر تحمل فشار برای این نوع دیگ در انواع

1. Tube sheets
2. Pass

امروزی lb/in^2 ۲۵۰ می‌باشد. در این دیگ آتش و دود حاصل از احتراق از میان لوله‌هایی که توسط آب در گردش احاطه شده‌اند عبور می‌نماید. از این دیگ‌ها در سیستم‌های حرارت مرکزی با آب داغ یا بخار استفاده می‌شود و سوخت مورد استفاده این دیگ‌ها ممکن است گازوئیل، گاز و یا ترکیبی از هر دو باشد.



شکل ۲ـ۲ نمونه‌هایی از دیگ‌های فولادی با لوله‌های آتش با تعداد پاس‌های متفاوت و نمایش مسیر دود در آنها



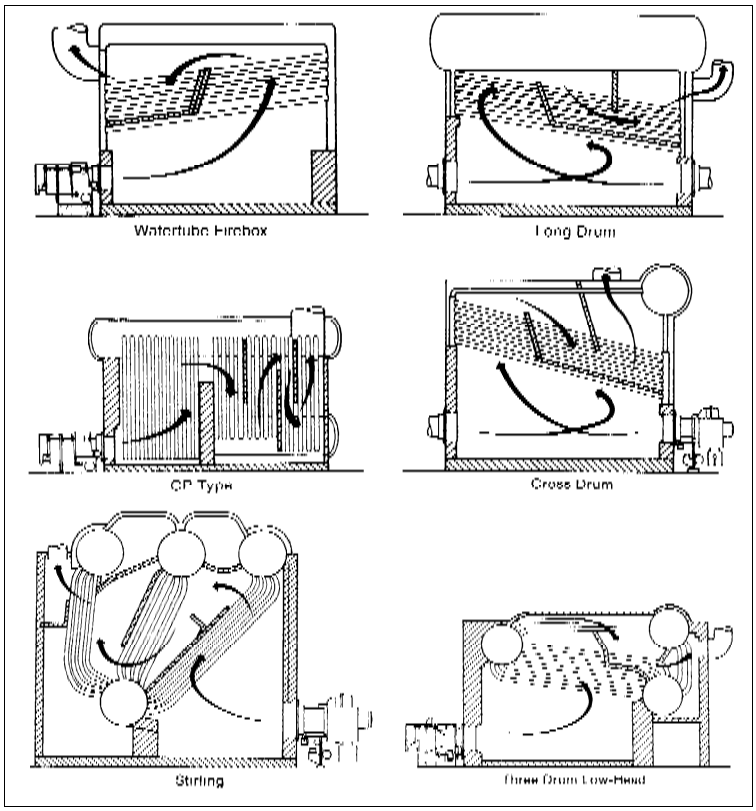
شکل ۲ـ۳ نمونه‌ای از دیگ‌های امروزی فولادی با لوله‌های آتش با چهار پاس مجزا برای عبور گاز دود

۲ـ۳ دیگ‌های فولادی با لوله‌های آب[2]

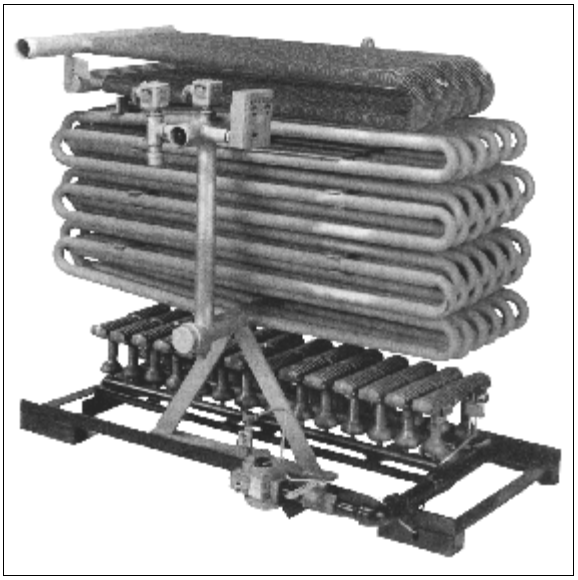
این نوع دیگ‌ها تشکیل شده‌اند از مجموعه لوله‌هایی که آب در آنها گردش نموده و آتش بر لوله‌ها محیط است. این لوله‌ها در دو سر دیگ توسط کلگی‌ها در جای خود ثابت نگه داشته شده‌اند. در شکل ۲-٤ نمونه‌های قدیمی از دیگ‌های فولادی با لوله‌های آب که در آنها لوله‌ها به طور مستقیم و یا با خمیدگی خیلی ساده طراحی می‌شدند نشان داده شده‌است.

در شکل ۲ـ۵ نیز نمونه‌ای از دیگ‌های فولادی با لوله‌های آب امروزی نشان داده شده‌است. این نوع دیگ‌ها دارای خمیدگیهای مختلف و متفاوتی می‌باشند که با توجه به سطح تبادل حرارتی و مقدار ماده مصرف شده در ساخت آنها نسبت به مدل‌های پیشین بسیار اقتصادی و سبکتر می‌باشد.

دیگ‌های فولادی با لوله‌های آب اغلب در سیستم‌های با فشار بالا (تا فشاری معـادل ۲ ۹۰۰lb/in) و در سازه‌های بزرگ قابل استفاده می‌باشد. با توجه به استدلالی که در رابطه بـا مخازن در قسمت قبل انجام گرفت ضخامت لوله‌هـا بـه طـور نسـبی کـاهش یافتـه ولـی ضخامت کلگی‌ها به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد (زیـرا قطـر اسـتوانه بدنـه دیـگ نسبت به قطر لوله‌ها به طور نسبی بسیار بزرگتر می‌باشد) ظرفیت این نـوع از دیـگ‌هـا بـا توجه به تعداد و طول لوله‌ها معین می‌شود.



شکل ۲ـ٤ مدل‌های قدیمی از دیگ‌های فولادی با لوله‌های آب که با فن آوری‌های ساده و ابتدایی خمکاری ساخته می‌شدند

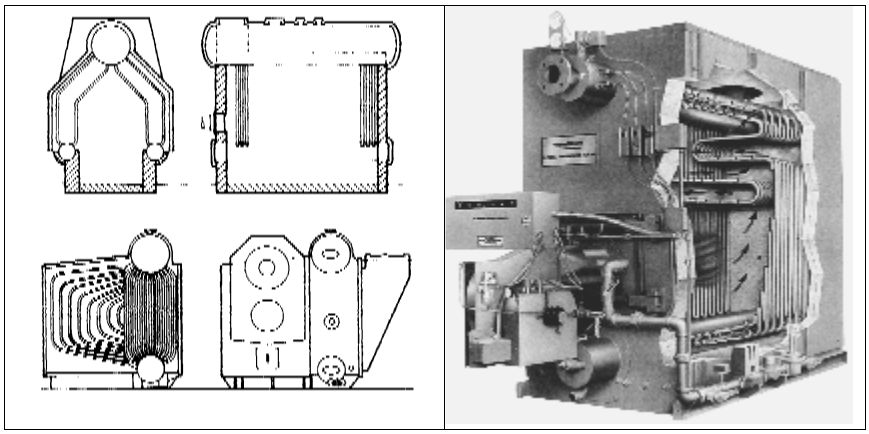


شکل ۲ـ۵ نمایی از قسمت درونی دیگ فولادی با لوله‌های آب که با مشعل گازسوزاتمسفریک کار می‌کند

به دلیل حجم کمتر آب در دیگ‌های فولادی با لوله‌های آب، سیال ناقل در این سیستم بسیار سریعتر از انواع دیگر دیگ‌ها دمایش بالا خواهد رفت. همچنین دیگ‌های فولادی با لوله‌های آب نسبت به دیگ‌های با لوله‌های آتش به دلیل شکل‌پذیری و قابلیت خم کاری لوله‌های آب دارای اندازه‌های مناسبتری است. در شکل ۲ـ۶ نمونه‌هایی از اینگونه دیگ‌ها نشان داده شده‌است.

بدلیل جریان آب در داخل لوله‌ها، دیگ‌های فولادی با لوله‌های آب، تنها نوع دیگ می‌باشند که در آن می‌توان بخار سوپر هیت تولید کرد. یکی از مهمترین مسائل در این نوع دیگ‌ها چرخش آب می‌باشد زیرا آب در داخل لوله‌هایی که توسط شعله و گازهای حاصل از احتراق داغ احاطه شده نقش خنک کننده را دارد و اگر چرخش

آب در سیستم کم باشد، آب داخل لوله‌ها بخار شده، که این بخـار خاصـیت خنـک کنندگی کمتری نسبت به آب خواهد داشت. علاوه بر این، چرخش کم آب موجـب زنگ زدگی در لوله‌ها نیز می‌گردد. از سوی دیگر چرخش آب در داخل این دیگ‌هـا به صورت ثقلی انجام می‌گیرد، بدین ترتیب که حباب‌های بخار تشکیل شـده در آب موجب سبک شدن آب و چـرخش آن در سیسـتم مـی‌گـردد. البتـه از آنجـا کـه در دیگ‌هایی با سیال ناقل آب داغ و گرم دیگر بخاری ایجاد نمی‌شود چرخش سیال در این سیستم‌ها را توسط پمپ نیز می‌توان انجام داد.



شکل ۲ـ٦ شماتیکی از جدیدترین و پیشرفته ترین انواع دیگ‌های فولادی با لوله‌های آب

از عوامل محدود کننده این نوع دیگ می‌توان به حجم کم آب، مشکلات حمل و نقل، مشکلات زنگ زدن و قیمت بالا (قیمت دیگ‌های فولادی بـا لولـه‌هـای آب از آنجا که هر ردیف از لوله‌ها با زاویه متفاوتی باید خم شوند تـا حالـت بهینـه سـطح تبادل حرارتی حاصل شود و همچنین پوسته اصلی دیـگ نیـز بایـد طـوری ماشـین کاری و ساخته شود که تحمل مقاومت در برابر گازهای حاصل از احتراق را داشـته

باشد حتی از دیگ‌های فولادی با لوله‌های آتش نیز بیشتر است) اشاره کرد، که موجب گردیده استفاده از دیگ‌های فولادی بخصوص دیگ‌های با لوله‌های آب در مقیاس‌های کوچک به هیچ عنوان توجیه اقتصادی نداشته باشد. انواع جدید این دیگ‌ها می‌تواند تا lb/hr ٦٠٠٠٠ بخار تولید کند و سوخت آنها نیز همانند دیگ‌های فولادی با لوله‌های آتش می‌تواند گازوئیل، گاز و یا ترکیبی از هر دو باشد. همچنین می‌توان ترتیبی داد که از سوخت جامد نیز استفاده گردد. دیگ‌های فولادی بیشتر در سیستم‌های حرارت مرکزی با آب داغ یا بخار فشار قوی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

دیگ‌های کویلی نیز نوعی از دیگ‌های فولادی با لوله‌های آب می‌باشد که در ظرفیت‌های پایین مورد استفاده می‌گیرند. این نوع از دیگ‌ها از یک یا تعداد کمی کویل که به صورت حلزونی (مارپیچ) در اطراف اطاق احتراق پیچیده شده‌است تشکیل شده‌اند. دیگ‌های کویلی دارای سطح تبادل حرارتی بالا بوده و نیاز به چرخش اجباری آب دارند.

۲ـ٤ دیگ‌های تقطیری[1]

یکی از جدیدترین انواع دیگ که امروزه مورد استفاده قرار می‌گیرد دیگ‌های تقطیری می‌باشد و علت اهمیت پیدا کردن آنها راندمان به مراتب بالاترشان نسبت به دیگر انواع دیگ می‌باشد. علت این امر آنست که در این نوع از دیگ‌ها گازهای حاصل از احتراق نه تنها دمایشان پایین می‌آید بلکه از حالت گازی شکل نیز به حالت مایع تبدیل می‌شوند. در واقع بدین طریق از گرمای نهان تبخیر گازهای حاصل از احتراق نیز برای گرم کردن آب درون سیستم استفاده می‌شود. از آنجا که

1. Condensing boilers

گازهای حاصل از احتراق خاصیت خورندگی بالایی دارند بنابراین سطح تبادل حرارتی دراین نوع از دیگ از جنس‌های مقاوم در برابر خوردگی ساخته می‌شود. از دیگر فواید دیگ‌های تقطیری می‌توان به کم کردن و حتی در مواقعی از بین بردن هزینه مربوط به دودکش اشاره کرد. چرا که در این نوع دیگ‌ها دود به صورت مایع در آمده و دیگر نیازی به وجود دودکش نخواهد بود. ساختار داخلی این نوع دیگ‌ها نسبت به دیگر مدل‌ها تا حد زیادی متفاوت می‌باشد و جنس بدنه داخلی آنها نیز اغلب از فولاد ضد زنگ است. در دیگ‌های تقطیری بیشتر از سوخت‌های سبک مثل گاز استفاده گردیده و بیشتر در توان‌های پایین و سایزهای کوچک مورد استفاده قرار می‌گیرند که البته با توجه به مزایای فوق می‌توان در صورت نیاز چند دیگ تقطیری را به طور موازی برای تامین بارهای بیشتر نیز مورد استفاده قرار داد.

۲ـ۵ دیگ‌های الکتریکی

این دیگ‌ها خود به دو دسته تقسیم می‌گردند. نوع اول که ازمقاومت‌هایی برای گرم کردن آب استفاده می‌شود و نوع دیگر که دیگ‌های الکترودی نامیده می‌شود و در آنها از خود آب به عنوان مقاومت الکتریکی استفاده می‌شود. این نوع دیگ دارای بالاترین راندمان نسبت به انواع دیگر بوده چرا که تنها در سطح تبادل حرارتی و مقاومت الکتریکی افت‌های جزئی وجود خواهد داشت. بعلاوه در این سیستم دیگر نیازی به دودکش و نگهداری و بازدیدهای روزمره نیز نمی‌باشد. ولی بزرگترین مشکل این سیستم هزینه بالای برق آن می‌باشد که در اکثر نقاط جهان این هزینه قابل توجه است.

فصل سوم

برآورد ظرفیت دیگ‌ها

مقدمه

ظرفیت دیگ‌ها از گذشته تاکنون به روش‌های گوناگونی اندازه‌گیری شده که تعدادی از این روش‌ها امروزه دیگر کاربرد چندانی ندارد. ولی شناخت آنها و آشنایی با آنها در برآورد ظرفیت دیگ‌های قدیمی و نصب شده در سیستم لازم می‌باشد. معمولاً این برآورد ظرفیت به دو صورت کلی بررسی سوخت مصرفی و انرژی خروجی تقسیم بندی می‌شود. معمولاً سوخت مصرفی (انرژی ورودی به سیستم) به صورت واحدهای انرژی مثل Btu/hr بیان می‌گردد، در حالیکه انرژی خروجی معمولاً در حد استانداردی از انرژی سوخت ورودی فرض می‌شود. به طور مثال معمولاً انرژی خروجی در دیگ‌های با سوخت گاز در ظرفیت‌های پایین و ساخت آمریکا، ٪۸۰ انرژی ورودی سیستم فرض می‌شود. اما در دیگ‌های با ظرفیت‌های بالا معمولاً انرژی خروجی دیگ در کاتالوگ‌های آن ارائه می‌گردد.

۳ـ۱ چگونگی برآورد توان خروجی و ظرفیت دیگ‌ها[3]

در حالت کلی انرژی خروجی دیگ‌ها به صورت واحدهای زیر بیان می‌گردد:

- **واحدهای توان (انرژی)**

در سیستم متریک به صورت وات و در سیستم انگلیسی به صورت Btu/hr بیان می‌گردد.

- **اسب بخار**

یک سیستم قدیمی برای برآورد ظرفیت خروجی دیگ بوده و امروزه کاربرد بسیار کمی دارد که هر اسب بخار برابر Btu/hr ۳۳٤۷۵ می‌باشد.

- **سطح تبادل حرارتی در دیگ**

این روش نیز یکی دیگر از روش‌های منسوخ شده برای برآورد ظرفیت خروجی دیگ‌ها می‌باشد. در این روش ظرفیت سیستم بر حسب مساحت سطح تبادل حرارتی در دیگ با واحد ft^2 بیان می‌شد که هر ft^2 برابر Btu/hr ٦۷۰۰ می‌باشد.

- **خروجی شبکه**

روش دیگر در برآورد ظرفیت خروجی دیگ‌ها بوده که مقدار آن برروی پلاک دیگ موجود می‌باشد که این عدد را باید در ۱.۱۳ طبق استاندارد IBR[1] و در ۱.۲۵ طبق استاندارد[2] MCA ضرب کرد تا ظرفیت واقعی به دست آید.

- **مساحت سطح تبادل حرارتی در تجهیزات انتهایی**

در سیستم‌های قدیمی که برای رادیاتورها بخار تولید و تامین می‌گردید برآورد ظرفیت خروجی با اندازه گیری سطح تبادل حرارتی رادیاتورها انجام می‌گرفت. در این حالت به ازای هر ft^2 از سطح تبادل حرارتی رادیاتورها Btu/hr ۲٤۰ در حالتی که دیگ تولید بخار می‌کرد و Btu/hr ۱۵۰در حالتی که دیگ تولید آب داغ می‌کرد، برای دیگ ظرفیت حرارتی در نظر می‌گرفتند. در بسیاری از دیگ‌های قدیمی که مشعل آنها تعویض شده، اگر ظرفیت مشعل ثابت باشد با توجه به ظرفیت مشعل که

1. Institute of boiler and radiator manufacturers
2. Mechanical contractors association

بر روی پلاک آن آمده است می‌توان ظرفیت حرارتی خروجی دیگ را معین کرد. ظرفیت مشعل معمولاً بر حسب سوخت ورودی به آن معین می‌شود (بطور مثال GPH) در این حالت با توجه به میزان سوخت ورودی به مشعل و نوع سوخت و ارزش حرارتی سوخت می‌توان ظرفیت خروجی دیگ را به دست آورد. حال با این آشنایی مقدماتی نسبت به انواع سیستم‌های حرارت مرکزی و همچنین انواع دیگ‌ها و نحوه برآورد ظرفیت آنها میتوان به بیان راهکارهایی برای بهینه کردن کارکرد دیگ‌های حرارت مرکزی و جلوگیری از اتلاف انرژی در آنها پرداخت. همانطور که در جدول ۳ـ۱ نیز نشان داده شده‌است، روش‌های مختلفی برای نیل به این هدف وجود دارد. در این جدول اتلاف انرژی در قسمت‌های مختلف موتورخانه مورد توجه قرار گرفته و میزان صرفه جویی انرژی نیز در اثر از بین بردن این تلفات ذکر گردیده است.

جدول۳ـ۱ اتلاف انرژی در قسمت‌های مختلف موتورخانه و میزان صرفه‌جویی انرژی در اثر از بین بردن این تلفات

Energy Requirement / Loss	Percent Increase in Plant Energy	Most Improvement Possible In:
Unnecessary operation of equipment	0 to 200	Facilities with non-continuous operations
Improper air-fuel ratio	0 to 200	All boilers
Burner operation	0 to 1	Large heavy oil-burners
Forced – draft & induced – draft fans	0 to 0.7	Large fans
Standby losses	0 to 10	Atmospheric burners
Flue losses due to fouling	0.1 to 10	All boilers
Flue losers due to inadequate Heat transfer surface	0 to 40	Old.cheap,& overdriven boilers
Flue losses due to un recovered Latent heat of water in flue gas	2 to 10	Boilers with high blow down rates
Condensate loss	0 to 10	Facilities with old or missing condensate systems
Condensate system operation	0 to 0.2	Systems with large pumps
Defective vacuum condensate system	0 to 50	Vacuum condensate systems
Fuel oil heating	0 to 0.5	Heavy-oil burners
Fuel oil transfer	0 to 0.1	Odd cases
Steam/hot water loss	0 to 50	Old. Large underground distribution systems
Steam trap leakage	0 to 20	All systems with steam traps
Combustions air leakage	0 to 0.1	Boilers with separate fans
Boiler plan radiation & conductive loss	0.3 to 4	Medium-sized & older plants
Distribution system conduction loss	0.5 to 30	Old distribution systems in damp soil

فصل چهارم

تدوین برنامه کاری و کنترل تاسیسات
دیگ برای کاهش تلفات انرژی

مقدمه

در این قسمت در رابطه با اولین روش‌ها و گام‌هایی که برای کم کردن مصرف انرژی در محیط موتورخانه لازم است بحث می‌شود. اکثر روش‌هایی که در این قسمت پیشنهاد شده‌است مربوط به کنترل تجهیزات، کم کردن کارکرد اضافی سیستم و چگونگی کارکرد سیستم با کمترین میزان انرژی می‌باشد. با استفاده از این روش‌ها که اجرای چندان پیچیده‌ای هم ندارند می‌توان با یک هزینه متوسط اولیه، به تدوین برنامه کاری و کنترل تاسیسات دیگ برای کاهش تلفات انرژی[1] پرداخت و بطور قابل توجهی از تلفات انرژی در موتورخانه کاست.[13]

٤ـ١ به حداقل رساندن زمان کارکرد دیگ‌ها

اولین اصل در صرفه جویی انرژی آن است که هنگامی که به کارکرد دستگاه‌ها نیازی نداریم، آنها را خاموش کنیم که می‌توان این اصل را در مورد موتورخانه نیز تعمیم داد. در این قسمت روش‌های اصلی و پایه برای رسیدن به این اصل بیان شده‌است که می‌توان با توجه به نوع سیستم و شرایط کاری سیستم ترکیب مناسبی از آنها را برگزید.

1 Equipment scheduling and operating practices

تاسیسات گرمایش در سه مکان اصلی پتانسیل جلوگیری از اتلاف انرژی را دارا می‌باشد.[14]

- **اتلاف انرژی در خود دیگ**

اتلاف حرارت از جداره دیگ به صورت انتقال حرارت هدایتی و تا زمانی که دیگ داغ باشد ادامه می‌یابد بعلاوه تا زمانی که دیگ تحت فشار باشد نشتی‌ها نیز ادامه خواهد داشت. این اتلافات در سیستم‌هایی با ظرفیت‌های بالا، بازدیدهای دوره‌ای کم و زمان کارکرد طولانی به مراتب بیشتر از دیگر سیستم‌ها می‌باشد.

- **اتلاف انرژی در تجهیزات جانبی دیگ**

با توجه به چگونگی طراحی سیستم موتورخانه، حتی در زمانی که گرمای مصرفی دیگ به کمترین مقدار خود می‌رسد اجزایی از سیستم مانند پمپ‌های گردش دهنده آب گرم و یا پمپ‌های تغذیه آب برای دیگ‌های بزرگتر همچنان به کار خود ادامه داده و به اتلاف انرژی می‌پردازند.

- **تجهیزات انتهایی سیستم که به صورت جداگانه کنترل نمی‌شوند**

میزان این افت بستگی به تعداد تجهیزات انتهایی دارد که به طور جداگانه کنترل نمی‌شوند. به طور مثال در این رابطه می‌توان به رادیاتورهای بخاری اشاره کرد که دارای کنترل اتوماتیک نبوده و بدون توجه به نیاز محیط تا زمانیکه که در سیستم بخار وجود دارد به کار خود ادامه می‌دهند.

اکنون با آشنایی با پتانسیل‌های صرفه جویی انرژی و بهینه سازی باید به طرق مختلف از این اتلاف‌ها در سیستم جلوگیری کرد. بهترین راه برای این مقصود استفاده از کنترلرها می‌باشد اما سوالی که در اینجا مطرح می‌شود آن است که بهترین محل

برای نصب کنترلرها چه مکانی است در واقع کنترلرها را هم می‌توان بر روی دیگ و هم بر روی تجهیزات انتهایی و هم ترکیبی از این دو نصب کرد. در ذیل بررسی اجمالی در این رابطه انجام گرفته است:

- **نصب کنترلرها بر روی تجهیزات انتهایی**

در این حالت هر یک از تجهیزات انتهایی سیستم با توجه به نیاز آن در سیستم کار می‌کند. در نگاه اول و توجه خاص به صرفه جویی انرژی، راندمان سیستم به طور قابل توجهی بالا خواهد رفت. ولی بزرگترین اشکال این روش هزینه نگهداری و نصب این تعداد کنترلر برای سیستم می‌باشد. در این حالت با خارج شدن کلیه تجهیزات انتهایی از سیستم، دیگ نیز از آنجا که دیگر باری روی آن نیست از سیستم خارج می‌گردد. بنابراین دیگر نیازی به کنترلر جداگانه برای دیگ نمی‌باشد. البته در این حالت اتلاف انرژی هدایتی از جداره دیگ و همچنین اتلافات انرژی در تجهیزات جانبی موجود در محیط موتورخانه هنوز وجود دارد.

- **نصب کنترلرها بر روی دیگ و تجهیزات جانبی آن**

بزرگترین مزیت این روش نسبت به روش پیشین هزینه به مراتب کمتر آن می‌باشد. البته در این حالت از آنجا که کلیه تجهیزات انتهایی مثل هم کار می‌کنند تلفات انرژی در اجزای انتهایی وجود خواهد داشت همچنین تجهیزات جانبی مربوط به اجزای انتهایی (مانند برق فن در فن کویل) نیز تا زمانی که دیگ‌ها در حال کار می‌باشند به کار خود ادامه می‌دهند. که این مورد نیز به نوبه خود موجب اتلاف انرژی می‌گردد.

در این قسمت ذکر این نکته بسیار مهم است که همواره دیگ و تجهیزات جانبی آن مثل پمپ‌های گردش دهنده آب گرم، پمپ تغذیه،کمپرسورها و ... با هم کنترل می‌شوند.

- **نصب کنترلرها در تأسیساتی که تجهیزات انتهایی سیستم در آنها دارای مدت زمان کارکرد متفاوتی می‌باشند**

در زمانیکه تعدادی از تجهیزات انتهایی دارای زمان کارکرد کمتری نسبت به دیگ‌ها می‌باشند می‌توان با نصب کنترلرها تنها بر روی این تجهیزات انتهایی، بازمان کارکرد کمتر، از اتلاف انرژی در این تجهیزات جلوگیری کرد. به طور مثال برای هتل‌ها در حالی که سالن اصلی هتل همواره نیاز به گرمایش دارد می‌توان با نصب کنترلرها بر روی هر یک از تجهیزات انتهایی در اتاق‌ها از اتلاف انرژی در زمان خالی بودن اتاق‌ها جلوگیری کرد.

- **استفاده از کنترلرهای مختلف**

در این حالت برای دیگ و تجهیزات جانبی و تجهیزات انتهایی از کنترلرهایی با فرمان پذیری مختلف استفاده می‌شود تا حالت بهینه در سیستم به وجود آید. در حالت کلی کنترلرها فرمان اولیه خود را به طرق مختلف مثل دمای هوای بیرون یا درون یا زمان کارکرد و ... دریافت می‌کنند.

ذکر این نکته بسیار قابل توجه است که با نصب این سیستم‌های کنترلی و تنها با در نظر گرفتن صرفه جویی در مصرف انرژی نمی‌توان دیگ را خاموش و روشن کرد. زیرا این امر باعث ایجاد تنش‌های حرارتی بر روی دیگ‌ها و تجهیزات جانبی آنها گشته، عمر مفید سیستم را کم می‌کند و موجب بوجود آمدن نشتی در دیگ‌ها می‌شود. البته در دیگ‌های با ظرفیت‌های بالاتر این مشکلات چشمگیرتر خواهد بود. بنابراین در هنگام خاموش کردن سیستم باید برآوردی بر هزینه انرژی صرفه جویی شده با خاموش کردن مشعل‌ها و هزینه خرابی‌ها و مشکلات بعدی آن انجام داد و سپس اقدامات لازم را به عمل آورد. در آخر باید توجه داشت که همواره نصب کنترلرهای اتوماتیک از نصب

کنترلرهای دستی کاراتر خواهد بود. زیرا در کنترلرهای دستی ممکن است افراد دقیقاً در زمان صحیح و معین شده سیستم را خاموش و روشن نکنند. احتمال بروز این حالت بخصوص در هنگامی که کارکرد سیستم در زمان‌های غیر منظم می‌باشد بیشتر نیز خواهد شد. در شرایطی که از کنترلرهای دستی استفاده می‌شود، توصیه می‌گردد پلاک‌هایی که معین کننده زمان خاموش و روشن شدن سیستم می‌باشد بر روی سیستم و در محل قابل رویت نصب گردد.

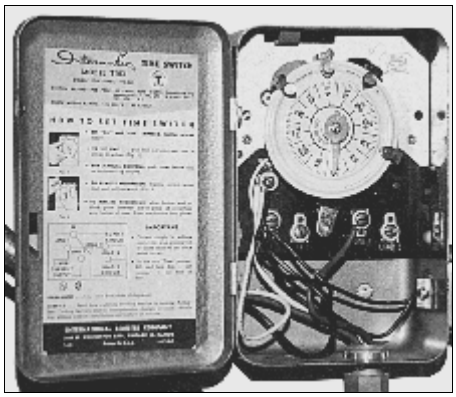
٤ـ١ـ١ استفاده از کنترلرهای زمانی (ساعتی)[1]

اولین گام در صرفه جویی در هر سیستمی کم کردن ساعات کاری آن می‌باشد. کنترلرهای زمانی بهترین روش برای سیستم‌هایی است که روشن و خاموش کردن دیگ‌ها در زمان‌های منظم و ثابتی مورد نیاز باشد. البته این روش اولین روش برای کم کردن مدت زمان کاری دیگ‌ها با استفاده از کنترلرها می‌باشد که معمولاً در صنعت ترکیبی از روش‌های گوناگون مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای دریافت بالاترین راندمان و داشتن کاراترین حالت سیستم در زمانی که از کنترلرهای زمانی استفاده می‌شود رعایت نکات زیر لازم و ضروری می‌باشد:

- استفاده از کنترلرهای زمانی که قابلیت تطبیق با کلیه تغییرات برنامه کاری را داشته باشند.
- تدوین برنامه‌ای واضح و روشن برای تنظیم آنها
- نصب حذف کننده‌هایی[1] که اجازه استفاده از سیستم و بای پس کردن[2] کنترلرها را در زمان‌های غیر برنامه ریزی شده به مصرف کننده بدهد.

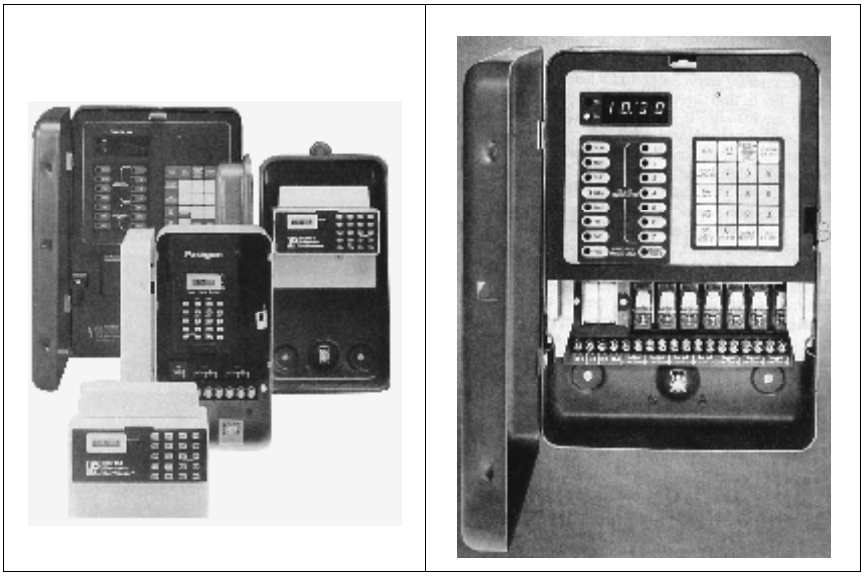
1. Clock controls

در گذشته، بیشتر کنترلرهای زمانی که مورد استفاده قرار می‌گرفت به صورت مکانیکی بودند که نمونه‌ای از آن در شکل ٤ـ١ نشان داده شده‌است. این کنترلرهای مکانیکی دارای محدودیت‌های فراوانی بودند که از جمله آنها می‌توان به عدم قابلیت تطبیق با شرایط جدید عملکرد سیستم، به هم خوردن تنظیمات کنترلر در اثر قطع برق، عدم توانایی تنظیم دقیق سیستم و عدم وجود سیستم حذف کننده در آنها اشاره کرد، که اگر هم وجود داشت کار با آن بسیار مشکل و در واقع غیرعملی بود. کلیه این عوامل باعث گردید تا این کنترلرها جای خود را به کنترلرهای الکترونیکی بدهند. در این سیستم‌ها دیگر آن مشکلات قبلی وجود نداشته و امکانات فوق العاده‌ای را می‌توان با قیمت مناسبی به دست آورد. این امر سبب گردیده تا حتی تعویض کنترلرهای مکانیکی با انواع الکترونیکی آن در سیستم‌های در حال کار نیز دارای توجیه اقتصادی گردد. در شکل ٤ـ٢ نمونه‌هایی از کنترلرهای الکترونیکی نشان داده شده‌است.



شکل ٤ـ١ نمایی از کنترلر مکانیکی که امروزه استفاده از انواع اینگونه کنترلها در صنعت منسوخ شده‌است

1. Overrides
2. Bypass



شکل٤ـ۲ نمونه‌هایی از کنترلرهای الکترونیکی با انواع قابلیت‌های مورد نیاز برای محیط موتورخانه

در انتخاب کنترلرهای زمانی نکات زیر را باید در نظر گرفت:

- **تعداد مدارها**

کنترلرهای الکترونیکی که امروزه در صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرند در دو حالت کلی تک مداره و چند مداره تقسیم بندی می‌شود. در کنترلرهای چند مداره از چند مدار جداگانه برای کنترل اجزای مختلف استفاده گردیده که اجازه کارکرد اجزاء مختلف با زمان کاری متفاوت را فراهم می‌سازد. این مسئله امکان استفاده از یک کنترلر چند مداره به جای چند کنترلر تک مداره برای یک سیستم را فراهم می‌آورد. البته استفاده از کنترلرهای تک مداره که توسط آنها بتوان یک سیستم را کنترل کرد نیز به دلایل زیر از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد.

- قابلیت برنامه‌ریزی و کارکرد ساده تر و عیب یابی راحتتر سیستم‌های تک مداره نسبت به چند مداره.
- خراب شدن یک کنترلر چند مداره اجزاء بیشتری را از حالت کنترل خارج می‌کند تا سیستم تک مداره.
- کنترلر تک مداره در مجاورت سیستمی است که آنرا کنترل می‌کند و در نتیجه مانند کنترلرهای چند مداره نیاز به صرف هزینه اضافی جهت اتصال به سیستم‌ها را ندارد.
- در مواردی ممکن است حتی استفاده از چند کنترلر تک مداره از استفاده از کنترلر چند مداره ارزانتر باشد.

لازم به ذکر است که معمولاً کنترلرهای چند مداره دارای امکانات و قابلیت‌های بیشماری می‌باشند که در صورت نیاز به آن قابلیت‌ها می‌توان علاوه بر کنترلرهای زمانی الکترونیکی تک مداره از یک کنترلر چند مداره نیز استفاده کرد و از این قابلیت‌ها بهره برد.

- **برنامه‌پذیری مختلف**

معمولاً کنترلرهای زمانی تنها در حالت خاموش و روشن سیستم عمل می‌کنند، اما تفاوت آنها در قابلیت تعداد خاموش و روشن کردن سیستم در طول روز یا هفته می‌باشد انواع ارزانتر کنترلرهای الکترونیکی قابلیت تنها یک تعداد مشخص خاموش و روشن کردن سیستم را دارا می‌باشند درحالیکه انواع گرانتر آن توانایی چندین بار خاموش و روشن شدن را دارا می‌باشند. حتی در بعضی از انواع کاملتر و پیچیده تر برای روزهای مختلف (آخر هفته، تعطیلات و روزهای هفته) قابلیت برنامه ریزی مختلف را دارا می‌باشند.

- **راه اندازی بهینه سیستم**

یکی از قابلیت‌های مورد نیاز برای کنترلرها، راه‌اندازی بهینه سیستم می‌باشد. بدین صورت که با در نظر گرفتن شرایط محیط داخل و خارج و زمان شروع استفاده از محیط داخل و با توجه به برنامه‌ای که در آن قرار داده شده، کنترلرها توانایی راه‌اندازی بموقع تجهیزات متصله را دارا باشند.

- **سادگی استفاده از کنترلر**

کنترلرها را باید بتوان به سادگی و مطابق با نیاز برنامه ریزی کرد. همچنین نصب کنترلرها در تاسیسات باید بگونه‌ای انجام گیرد که کار با حذف کننده آنها نیز ساده باشد. بعلاوه کنترلرها باید قابلیت نمایش دادن برنامه کاری موجود در خود را نیز داشته باشند. متاسفانه سیستم‌های امروزی که در صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرند قابلیت برنامه‌ریزی ساده‌ای ندارند و تعمیر کاران و تنظیم کنندگان در این حالت اغلب قادر به تنظیم دقیق آنها نبوده و این خود موجب تلفات قابل توجه انرژی می‌گردد.

- **محکم و سخت بودن بدنه کنترلر**

ضعف عمده کنترلرهای زمانی آن است که اکثر آنها دارای بدنه‌ای متناسب با محیط موتورخانه نمی‌باشند و در اثر برخورد کوچکترین وسیله‌ای دچار مشکل می‌شوند. اما در برخی از مدل‌ها بر روی بدنه پوششی از فلز قرار گرفته که این امر مقاومت کنترلر را در برابر ضربات و یا برخورد اشیاء مختلف به دستگاه افزایش داده است. مشکل اصلی کنترلرهای زمانی آن است که اگر در زمان غیر کاری و تنظیم شده برای سیستم، مصرف کننده نیاز به استفاده از سیستم داشته باشد با تغییر دادن تنظیمات کنترلر موجب خارج کردن کنترلر از حالت استاندارد سیستم گردیده و به

طبع آن موجب تلفات انرژی می‌گردد. بنابراین نیاز به سیستمی است که بدون ایجاد تغییرات در برنامه تنظیم شده برای کنترلر زمانی اجازه کارکرد سریع و ساده را در مواقعی غیر از ساعات کارکرد به سیستم بدهد. به این سیستم که امکان این کار را در کنترلر الکترونیکی فراهم می‌سازد حذف کننده گفته می‌شود. حذف کننده‌ها ممکن است جزئی از کنترلر زمانی باشند یا جدا از کنترلر. البته اکثرکنترلرها دارای حذف کننده می‌باشند، اما مشکل این کنترلرها در آنست که شرکت‌های سازنده کنترلرهای زمانی از اهمیت این سیستم آگاه نبوده و این قسمت را به طور واضح، ساده و مشخص بر روی کنترلرها قرار نمی‌دهند. در این حالت بهترین راه در رابطه با سیستم‌های از پیش نصب شده‌استفاده از حذف کننده به صورت یک مدار موازی با مدار کنترلر الکترونیکی می‌باشد.

پس از قرار گرفتن حذف کننده در مدار لازم است که خود کنترلر زمانی برای جلوگیری از اعمال تغییرات توسط افراد غیر مسئول در آن در محل دیگر و دور از دسترس نصب شود. در حالیکه سیستم حذف کننده در مکانی واضح و مشخص برای مصرف کننده نصب می‌گردد.

اغلب حذف کننده‌ها پس از کارکرد سیستم در یک سیکل برنامه ریزی شده خود به خود از سیستم خارج می‌گردند. البته این عامل نیز خود در برخی موارد همراه با اتلاف انرژی می‌باشد. به طور مثال فردی را تصور کنید که در محل کار خود و در خارج از ساعات اداری مشغول به کار می‌باشد. بنابراین برای گرمایش محل کارش از حذف کننده استفاده می‌کند. اما پس از چند ساعت این فرد محل کار خود را ترک و مشعل‌ها تا پایان ساعات کاری روز بعد که خاموش شوند همچنان به کار خود ادامه می‌دهند.

برای حل این مشکل نیز استفاده از شمارشگر معکوس[1] برای خاموش کردن سیستم توصیه می‌گردد تا با مشخص کردن میزان ساعت کارکرد خارج از برنامه معین شده، تجهیزات در بهینه ترین حالت کار کند.

اکنون با شناخت کنترلرهای زمانی، نحوه عملکرد آنها، انواع آنها و نحوه استفاده از حذف کننده‌ها به سراغ نصب این کنترلرها در سیستم می‌رویم. در واقع نصب کنترلرهای زمانی روشی ارزان و قدرتمند برای از بین بردن تلفات انرژی اضافی و بیهوده دیگ‌هایی با کارکرد زمانی معین می‌باشد. برگشت هزینه سریع، سادگی نصب، هزینه اولیه پایین و عدم ایجاد مشکل درکارکرد قسمت‌های دیگر سیستم باعث گردیده تا متخصصین استفاده از کنترلرهای زمانی را برای هر قسمتی از بخش‌های مختلف موتورخانه که قابلیت نصب این سیستم را داشته باشد، توصیه کنند. درانتخاب و نصب یک کنترلر زمانی باید به کلیه قابلیت‌های مورد نیاز برای سیستم نظیر توانایی تغییر در برنامه، سادگی کار با آن، سادگی در استفاده از حذف کننده و ... توجه داشت، زیرا در صورت عدم وجود قابلیت‌های مورد نیاز، کنترلر زمانی پس از مدتی به صورت جزئی بلااستفاده در سیستم تبدیل می‌شود. باز هم خاطر نشان می‌شود که مهمترین عامل در کارکرد مفید و طولانی کنترلرها در محیط موتورخانه استفاده از حذف کننده‌هایی ساده و با دسترسی آسان برای مصرف کننده و قرار دادن کنترلر دور از دسترس افراد غیر متخصص می‌باشد. تشخیص عدم کارکرد صحیح کنترلرهای زمانی نیز بسیار ساده بوده و با بازبینی منظم و متناوب سیستم می‌توان آنها را کنترل کرد تا از حالت تنظیم شده، خارج نگردند.

1. Rundown timer

٤ـ١ـ٢ استفاده از کنترلرها با راه‌اندازی بهینه[1]

این روش دومین روش در کم کردن میزان ساعات کاری کارکرد دیگ‌ها می‌باشد. روش اول که در قسمت قبل در رابطه با آن توضیح داده شد، استفاده از کنترلرهای زمانی بود که در زمان معین و از پیش برنامه ریزی شده‌ای باعث شروع و خاتمه کار سیستم می‌گردید. اما در این قسمت در رابطه با استفاده از کنترلرهای زمانی بحث می‌شود که قابلیت تطبیق با شرایط محیطی را نیز دارا می‌باشند یعنی با توجه به زمان شروع و خاتمه نیاز به گرمایش و شرایط محیطی، سیستم را به حالت بهینه راه‌اندازی می‌کنند. منظور از شرایط محیطی، دمای محیط خارج و در مدل‌های پیچیده تر حتی دمای محیط داخل می‌باشد. به طور مثال برای فضایی که در تعطیلات آخر هفته و برای مدت نسبتاً طولانی فردی درآن حضور نداشته و گرمایشی برای آن فضا انجام نگرفته دیگ‌ها زمان بیشتری را برای رساندن شرایط محیط به شرایط مطلوب نیاز دارند تا روز بعدی که تنها سیستم برای چند ساعت خاموش بوده است. در این حالت در صورت استفاده از کنترلرهای زمانی قسمت قبل، تنظیمات برای بدترین شرایط برنامه ریزی می‌شود و این امر موجب اتلاف در روزهای دیگر هفته می‌گردد. از جمله کاربردهای مهم دیگر این نوع از کنترلرها در زمانی است که می‌خواهیم نقاط حساس از سیستم دچار یخ زدگی نشود که در این حالت با نصب و تنظیم سنسورهای شرایط محیطی مربوط به کنترلر راه اندازبهینه در آن نقاط مشخص، می‌توان به این هدف رسید.

در ساده ترین نوع کنترلرهای با راه‌اندازی بهینه سیستم، زمان شروع کارکرد دیگ‌ها با توجه به شرایط محیطی بصورت دستی و با سعی و خطا بدست می‌آید، در

1. Optimum-start controller

حالی که در مدل‌های پیچیده تر و جدیدتر این کار به صورت اتوماتیک و در بهینه ترین حالت ممکن انجام می‌گیرد. اکثر این نوع از کنترلرها دارای مدارهای جداگانه بوده و این قابلیت را دارند که هر کدام از این مدارها برنامه کاری متفاوتی را بپذیرد. به طور مثال با استفاده از یک کنترلر با راه‌اندازی بهینه چند مداره می‌توان چند دیگ را با برنامه کاری مختلف بصورت بهینه راه‌اندازی کرد. اما همانطورکه در قسمت قبل نیز اشاره شد ساده ترین و قابل اطمینان ترین راه برای نصب این نوع از کنترلرها در سیستم استفاده از کنترل تک مداره به طور جداگانه برای هر یک از اجزاء می‌باشد. نمونه‌ای از این کنترلرها در شکل ٤-٣ نشان داده شده‌است.

برای سیستم‌هایی که در آنها از کنترلرهای زمانی ساده استفاده شده و نیاز به استفاده از کنترلهای با راه‌اندازی بهینه می‌باشد، از نظر اقتصادی افزودن سنسور و تبدیل کنترلهای زمانی به راه‌اندازی بهینه دارای توجیه اقتصادی نبوده و اغلب به صرفه تر خواهد بود که آنها تعویض گردند که در این هنگام باید توجه داشت که کلیه قابلیت‌های مورد نیاز در کنترلر جدید موجود باشد.

شکل ٤ـ٣ نمونه‌ای از انواع متداول کنترلرهای با راه‌اندازی بهینه

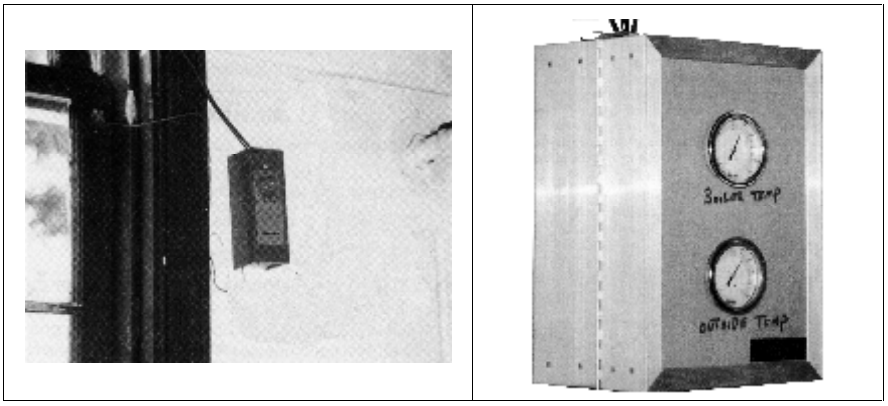
همانطور که اشاره گردید این نوع از کنترلرها در واقع کنترلر زمانی می‌باشند که قابلیت تطبیق شرایط داخلی را با شرایط محیط فراهم آورده اند. بنابراین میزان صرفه جویی در مصرف سوخت در این روش به شدت بستگی به آب و هوا و همچنین کارکرد دقیق کنترلر دارد. برای کارکرد دقیق کنترلر، نصب سنسور هوای خارجی به صورت مناسب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. سنسورهای هوای خارج باید در معرض هوای خارج و در محلی که از صدمات فیزیکی دور باشد و دور از تابش مستقیم خورشید، بارش باران و درزها، که به دلیل وجود فشار مثبت داخل منجر به عبور هوای داخل از روی سنسور گردد، نصب شود.

٤ـ١ـ٣ استفاده از کنترلرها در تاسیساتی که تنها برای تامین بار گرمایشی فضا است

این روش سومین روش در کم کردن ساعات کارکرد اضافی دیگ‌ها می‌باشد. روشی ساده و قابل اطمینان که در آن برروی دیگ‌هایی که وظیفه آنها تنها تامین گرمایش فضا می‌باشد، کنترلرهایی نصب می‌شوند که تنها بر مبنای اندازه‌گیری دمای هوای خارج (محیط) کار می‌کنند. استفاده از این روش نسبت به خاموش کردن فصلی سیستم، بسیار کاراتر، مناسبتر و هماهنگ تر با شرایط هوای خارج می‌باشد. بیشترین کاربرد استفاده از این نوع از کنترلرها در مکان‌هایی است که دارای ترموستات‌های مناسب در تجهیزات انتهایی نبوده و یا افراد ساکن در آن مکان‌ها مسئول پرداخت هزینه انرژی نمی‌باشند. بخصوص در مواردی که این فضاها دارای پنجره‌های زیادی نیز باشد، مثل هتل‌ها، سازمان‌های اداری و .... در این حالت ممکن است ساکنین با باز کردن پنجره‌ها و بی توجهی به اتلاف انرژی موجب افزایش زمان کارکرد دیگ‌ها و ایجاد هزینه بیشتر برای انرژی گردند. برای رفع این معضل بهترین روش استفاده از کنترلرهایی با سنسور هوای

خارج می‌باشد. بدین صورت که کنترلر با اندازه‌گیری دمای هوای خارج میزان کارکرد سیستم را معین کرده و دیگ‌ها تنها در آن زمان تعیین شده کار می‌کنند تا بار گرمایشی مربوط به فضای مورد نظر تامین گردد، بنابراین هر گونه اتلاف انرژی منجر به کاهش دمای محیط داخل و ایجاد شرایط نامطبوع می‌گردد و مانع از بی توجهی ساکنین به تلفات انرژی می‌شود. کمتر کار کردن دیگ‌ها در این حالت علاوه بر صرفه جویی انرژی در تجهیزات انتهایی منجر به صرفه جویی انرژی با کمتر کردن کارکرد تجهیزات جانبی دیگ و کمتر شدن تلفات هدایتی از جداره دیگ و لوله‌های منتقل کننده آب داغ و گرم می‌گردد. نمونه‌ای از این کنترلرها در شکل ٤-٤ نمایش داده شده‌است.

در این نوع از کنترلرها نیز مهمترین و اساسی ترین نکته نصب صحیح سنسور دمای محیط خارجی می‌باشد که شرایط نصب آن در قسمت قبل به تفصیل مورد بررسی قرار گرفت. چرا که خطایی در حدود چند درجه نیز موجب شرایط نامطبوع در فضای داخل می‌گردد. بنابراین با کنترل منظم و مناسب سیستم می‌توان از بروز این مشکل جلوگیری کرد.

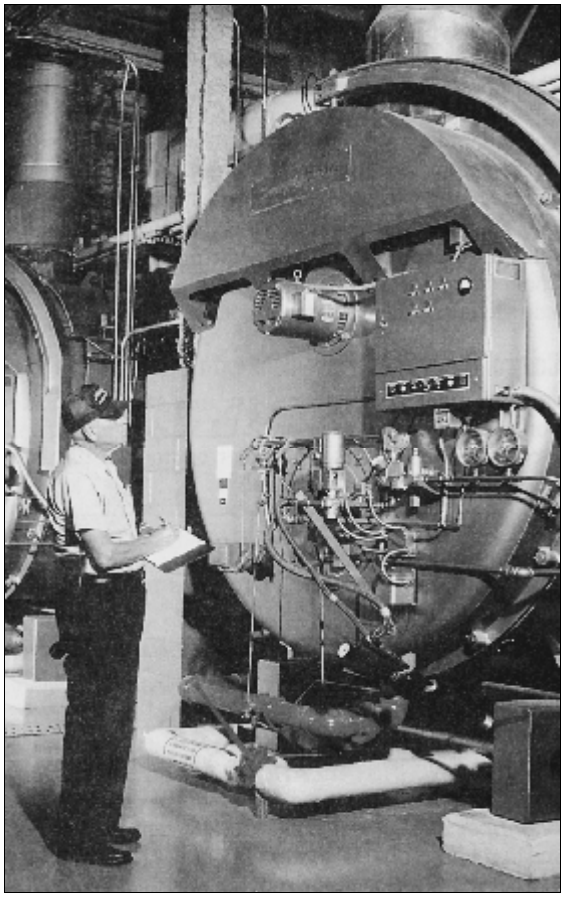


شکل ٤ـ٤ نمونه‌هایی از انواع کنترلرهایی که بر مبنای اندازه گیری دمای هوای خارج کار می‌کنند

٤ـ۲ استفاده از اقتصادی ترین سوخت

پس از بررسی روش‌های گوناگون برای کم کردن زمان کارکرد دیگ‌ها با استفاده از کنترلرهای مناسب، حال در این بخش جنبه دیگری از صرفه جویی در هزینه‌ها مطرح می‌شود. قیمت سوخت در زمان‌های مختلف بسیار متفاوت می‌باشد و اکثر دیگ‌ها توانایی کار با سوخت‌های متفاوت را دارا می‌باشند. بنابراین در این بخش به تدوین دستور العملی برای تعویض نوع سوخت در زمان‌های مختلف سال می‌پردازیم تا بتوان از دیگ با کمترین هزینه بهره برداری کرد. برای نیل به این هدف باید مراحل زیر را دنبال کرد:[8]

- اولین گام تعیین هزینه خرید انواع سوخت‌های قابل مصرف در دیگ می‌باشد. سوخت‌ها معمولاً به دو صورت خریداری می‌شوند. دسته اول سوخت‌هایی می‌باشند که در حجم‌هایی (مثل گالن) عرضه گردیده و هر چند وقت یکبار خریداری شده و برای مدتی نگهداری می‌شوند. مثل نفت و پروپان که در رابطه با هزینه خرید این سوخت‌ها باید هزینه پرداختی در زمان خرید مورد محاسبه قرار گیرد. دسته دوم سوخت‌هایی می‌باشند که از طریق انشعابات دریافت می‌شود و هزینه آنها درهر زمان متفاوت می‌باشد مانند گاز و برق. پس از تدوین میزان هزینه لازم برای خرید انواع سوخت‌ها در زمان‌های مختلف سال به روش‌هایی برای خرید اقتصادی تر سوخت نیز دست خواهیم یافت.



شکل ٤ـ٥ نمونه‌ای از دیگهای دو سوختی(نفت و گاز)

- گام دوم برآورد هزینه‌های جانبی برای سوخت‌های مختلف می‌باشد. استفاده از سوخت‌های مختلف باعث تفاوت در هزینه نگهداری سیستم، تاثیر بر روی راندمان دیگ و تاثیر بر کارکرد اجزاء جانبی دیگ می‌شود. به طور مثال استفاده از نفت به جای گاز نیاز به تمیز کردن مشعل، بدنه طرف آتش و ... را افزایش می‌دهد و این عوامل باعث بالا رفتن هزینه نگهداری سیستم می‌گردد.

همچنین سوخت‌های مختلف دارای راندمان‌های احتراق متفاوتی می‌باشند که باعث تغییر در راندمان دیگ می‌گردد. در رابطه با تجهیزات جانبی دیگ نیز می‌توان به طور مثال نیاز به کارکرد پمپ نفت در سیستم‌هایی با سوخت نفت در مقایسه با سیستم‌های گاز سوز اشاره کرد. البته لازم به ذکر است که در این حالت هزینه خرید و نصب تجهیزات را به حساب نمی‌آوریم، چرا که این تجهیزات از قبل بر روی سیستم نصب شده‌اند و هزینه جدیدی را بر مصرف کننده تحمیل نمی‌کنند و تنها انرژی مصرفی آنها در این قسمت مد نظر خواهد بود.

- با توجه به محاسباتی که در گام‌های اول و دوم انجام می‌گیرد، در گام سوم باید تصمیم گرفت که در چه زمانی و چگونه تعویض در نوع سوخت را انجام داد. تعویض در نوع سوخت هنگامی صورت می‌گیرد که مجموع هزینه‌های خرید سوخت، نگهداری از سیستم و کارکرد اجزاء جانبی با استفاده از سوخت جدید از سوخت قبلی کمتر باشد. این تعویض نوع سوخت را هم به صورت دستی و هم به صورت اتوماتیک می‌توان انجام داد که تعویض سوخت اتوماتیک در قسمت بعد توضیح داده خواهدشد.
- آخرین مرحله، تدوین دستور العملی واضح و مشخص که زمان معین و دقیق تغییر نوع سوخت را مشخص کند، می‌باشد.

خاطر نشان می‌گردد که کلیه محاسباتی که در گام‌های یک و دو انجام می‌گیرد، باید بر مبنای یک واحد یکسان انجام شود. البته اکثر کارکنان و مسئولان بیشتر مشعل‌ها را با سوخت‌هایی راه‌اندازی می‌کنند که نیاز به نگهداری و هزینه نگهداری

را کاهش دهد و توجهی به قیمت خریداری سوخت، راندمان احتراق و کارکرد اجزاء جانبی ندارند. به طور مثال گاز را به نفت و نفت سبک را به نفت سنگین ترجیح می‌دهند. در حالیکه هزینه خریداری گاز به مراتب از هزینه خریداری نفت سنگین بیشتر است. بنابراین باید این افراد را نیز از اقتصادی بودن این روش آگاه کرد و آنها را نسبت به تغییر نوع سوخت در زمان‌های معین توجیه کرد.

٤ـ٢ـ١ سیستم تعویض سوخت اتوماتیک[1]

سیستم تغییر سوخت اتوماتیک بیشتر برای تغییر سوخت‌های غیر قابل پیش بینی و نامنظم کاربرد دارد. به طور مثال هنگامی که در فصل سرما فشار گاز افت می‌کند، برای تامین سوخت مشعل باید بتوان به سرعت نوع سوخت را عوض کرد. در این حالت با استفاده از سیستم اتوماتیک این عمل بسیار ساده تر و با اطمینان خاطر بیشتری انجام می‌گیرد. بخصوص در مواقعی که دیگ‌ها دارای دسترسی آسانی نباشند زیرا در این حالت کنترل در تعویض نوع سوخت توسط افراد، زیاد قابل اطمینان نبوده و اگر این تغییر نوع سوخت انجام نگیرد، دیگر این روش کارایی خود را در سیستم از دست می‌دهد.

برای نصب تعویض نوع سوخت اتوماتیک نیاز به کنترلرهایی است که وظیفه این کنترلرها آنست که مشعل مربوط به سوخت مصرفی را خاموش کرده و مشعل مربوط به سوخت جدید را روشن کنند. اما زمان این عمل باید توسط سیگنال‌هایی به این کنترلرها داده شود. برای نیل به این هدف با توجه به این که عمل تغییر سوخت وابسته به چه شرایطی انجام می‌گیرد می‌توان سیگنال ورودی را از طریق یک کنترلر زمانی، اگر سیستم بر مبنای زمانی این عمل را انجام دهد، و یا در مواقعی

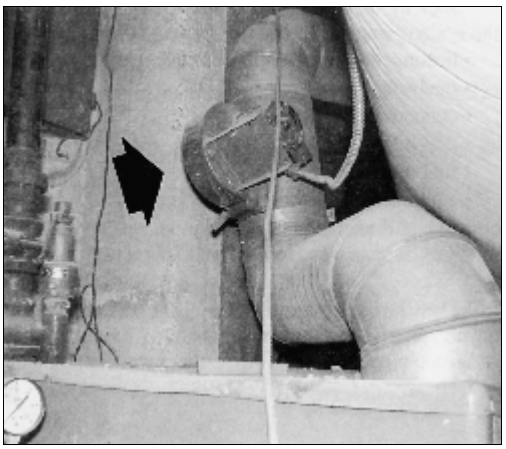
که سیستم بر مبنای دمای هوای خارج کار می‌کند استفاده از کنترلرهایی که بـر ایـن مبنا کار می‌کنند، انجام داد. نصب این سیستم در موتورخانه‌ها برای مصرف اقتصادی ترین نوع سوخت، باعث میگردد تا بتوان بدون نیاز به حضور دائم فرد مسئول بـرای انجام تعویض در نوع سوخت این عمـل را بطـور مطلـوبی انجـام داد. البتـه نصـب کنترلرهای مورد نیاز این سیستم کار حساس و دقیقی بوده که باید به متخصص ایـن امر سپرده شود. بعلاوه این سیستم نیز نیاز به بازبینی متناوب دارد تا از حالت کارکرد ایده‌آل خود خارج نگردد.

٤ـ٣ تقلیل سوخت مصرفی توسط اجزای جانبی دیگ

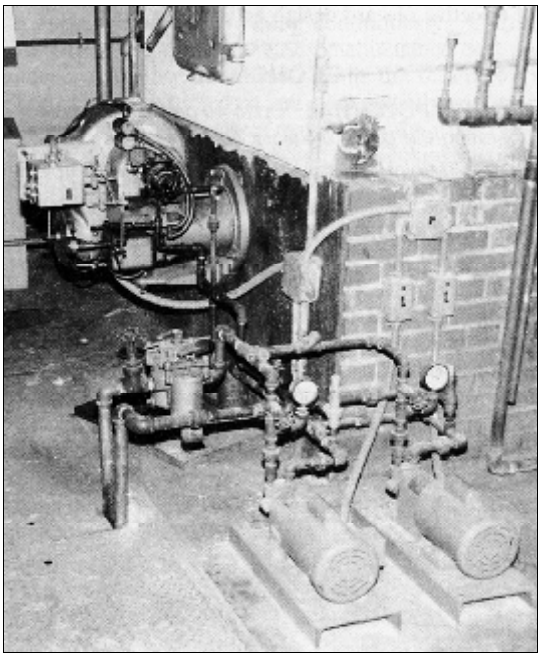
پس از بررسی در رابطه با کم کردن سـاعات کـارکرد اضـافی دیـگ و همچنـین انتخاب اقتصادی ترین سوخت مصـرفی بـرای کـارکرد سیسـتم، اکنـون بـه تحلیـل چگونگی کم کردن سوخت مصرفی در اجزای جانبی دیگ پرداخته می‌شود. اجـزای جانبی از دو طریق اصلی به اتلاف انرژی می‌پردازند:

- **کنترل کارکرد تجهیزاتی که نیاز به کار آنها در سیستم نمی‌باشد**[5]

همانطور که در شکل‌های ٤ـ٦ و ٤ـ٧ مشاهده می‌شود، تجهیـزات جـانبی دیـگ برای افزایش ضریب اطمینان و همچنین بـرای توانـایی کـارکرد سیسـتم در شـرایط حداکثر بار اغلب به صورت دوتایی در سیستم نصب می‌شوند. ولـی در اکثـر مواقـع نیاز به کارکرد سیستم دوم نمی‌باشد. حال اگر این تجهیزات دو گانـه دائمـاً در حـال کار باشند، موجب اتلاف انرژی در سیستم می‌گردند. برای جلوگیری از ایـن تلفـات انرژی بهترین روش استفاده از کنترلرهای اتوماتیک می‌باشد، تا از ایـن طریـق بتـوان کارکرد اضافی تجهیزات جانبی را کنترل نمود.



شکل ٤ـ٦ از جمله اجزای جانبی که بر روی دودکش نصب می‌گردد و باید کارکردشان در زمانیکه مشعل‌ها خاموش می‌باشند متوقف گردد.



شکل ٤ـ٧ پمپ‌های نفت که تنها در زمان کارکرد مشعل‌ها باید کار کنند

- **هماهنگ کردن شرایط کاری اجزای جانبی با توجه به مصرف دیگ**[6]

اکثر تجهیزات جانبی در کلیه شرایط بار دارای توان کاری یکسان و یکنواختی می‌باشند و این امر باعث می‌گردد تا طراحی آنها بر مبنای بیشترین بار انجام گیرد و این امر موجب اتلاف انرژی قابل توجهی در کارکرد طولانی مدت سیستم می‌گردد. برای حل این معضل یا باید در فاز انتخاب، اجزاء را با قابلیت تنظیم انتخاب کرد و همواره آنها را با قدرت خروجی دیگ تنظیم نمود و یا از چند سیستم با شرایط باری مختلف بهره جست.

پتانسیل صرفه جویی انرژی در این حالت بسیار متفاوت بوده و به طور عمده وابسته به انرژی مصرفی توسط تجهیزات جانبی، نحوه کنترل آنها و حتی نوع سوخت دیگ می‌باشد. بطور مثال انرژی مصرفی توسط تجهیزات جانبی دیگ با سوخت نفت سنگین در حدود ٪۵ تا ٪۱۰ از کل انرژی ورودی به سیستم می‌باشد. در حالیکه این انرژی در انواع گاز سوز آن بسیار کم و حتی قابل صرف نظر کردن است. همچنین در رابطه با نحوه کنترل تجهیزات نیز می‌توان به این نکته اشاره کرد که میزان تلفات انرژی سیستم‌هایی با کنترلرهایی که سیگنال ورودی خود را از بار دیگ می‌گیرند، به مراتب کمتر از دیگر سیستم‌ها است. زیرا در این سیستم‌ها تجهیزات جانبی تنها در زمان نیاز، شروع به کار می‌کنند. ولی در بقیه حالات ممکن است حتی در هنگام خاموش بودن دیگ نیز تجهیزات جانبی به کار خود ادامه دهند. برای کنترل کردن این تجهیزات ابتدا باید شناختی نسبت به انواع آنها، شرایط لازم برای شروع به کار آنها و چگونگی کنترل آنها با توجه به بار دیگ داشت. تجهیزات جانبی در تاسیسات دیگ شامل: پمپ‌های گردش آب گرم، پمپ‌های تغذیه آب، پمپ‌های تقطیری، پمپ‌های سوخت، گرم کننده‌های سوخت، تجهیزات لازم برای سوخت جامد، فن‌ها، کمپرسورهای هوا، تصفیه

کننده‌های آب و ... می‌باشد که می‌توان آنها را به صورت اتوماتیک و دستی با توجه به بار دیگ کنترل نمود. البته در زمانی که از کنترلرهای دستی استفاده می‌گردد، نصب پلاکهایی واضح و روشن که بیانگر رابطه بین کارکرد تجهیزات جانبی و دیگ می‌باشد و آموزش افراد مسئول در این رابطه از اهمیت فراوانی برخوردار است .

٤ـ٣ـ١ اتصال تجهیزات جانبی به دیگ

اولین روش برای کم کردن تلفات انرژی در تجهیزات جانبی، وابسته کردن کارکرد آنها با کارکرد دیگی است که در ارتباط با آنها می‌باشد. زیرا همانطور که در بخش قبل نیز توضیح داده شد اگر این کار انجام نگیرد، تجهیزات جانبی حتی در زمانی که مشعل نیز خاموش باشد و باری هم روی دیگ نباشد به کارکردشان ادامه می‌دهند. این وابستگی را بدین طریق در سیستم ایجاد می‌کنند که انرژی لازم برای این تجهیزات از طریق دیگ برای آنها تامین می‌شود. حتی اگر چند دیگ نیز داشته باشیم می‌توان برای کم کردن انرژی مصرفی تجهیزات، آنها را به کل دیگ‌ها متصل کرد. به طور مثال پمپ تغذیه‌ای را در نظر بگیرید که از طریق شیر سولونوئیدی به کلیه دیگ‌ها متصل شده‌است. در صورتی که سیستم کنترلی بر روی این پمپ نصب نشود این پمپ پیوسته و به طور مداوم کار خواهد کرد. حال برای جلوگیری از مصرف اضافی انرژی می‌توان انرژی لازم برای پمپ تغذیه توسط شیر سولونوئید و با استفاده از رله، از طریق دیگ‌ها تامین نمود. در این حالت تا زمانی که کلیه دیگ‌ها نیاز به پمپ نداشته باشند، پمپ خاموش می‌باشد. در واقع این سیستم یک سیستم کنترلی برای تجهیزات جانبی بوده که این کنترلرها سیگنال لازم برای روشن کردن این تجهیزات را از طریق نیاز دیگ‌ها به آنها دریافت می‌کنند.

مهمترین نکته‌ای که در رابطه با این مسئله باید همواره مد نظر داشت آنست که نباید سیستم بیش از اندازه به صورت سیکلی در آید. این مسئله بخصوص در سیستم‌هایی با اینرسی راه‌اندازی بالا، مهمتر می‌باشد. زیرا سیکلی کردن سیستم موجب خاموش و روشن شدن مداوم تاسیسسات گشته و این امر هزینه نگهداری بالاتر و عمر و ضریب اطمینان کمتر را برای آنها در پی خواهد داشت. به طور مثال موتوری که هر چند دقیقه روشن و خاموش می‌شود، دارای عمر به مراتب کمتری نسبت به موتوری با کارکرد در مدت زمان طولانی می‌باشد. بنابراین در هنگامی که انرژی لازم برای تجهیزات جانبی از طریق دیگ‌ها تامین می‌شود باید این نکته را همواره مدنظر داشت که انرژی صرفه جویی شده دارای ارزش بیشتری خواهد بود یا هزینه نگهداری و تعمیرات سیستم برروی اغلب پمپ‌ها و فن‌های کوچک، از آنجا که اینرسی بالایی برای راه‌اندازی ندارند، می‌توان این سیستم کنترلی را پیاده کرد. در حالت کلی نیز استفاده از این روش بیشتر برای تجهیزات کوچک کاربرد دارد تا تجهیزات بزرگتر. با استفاده از این روش ارزان، قابل اطمینان و ساده می‌توان تا ٤٠٪ از هزینه انرژی لازم برای تجهیزات جانبی کاست، که این امر موجب گردیده تا اجرای این طرح برای تجهیزات کوچک دارای توجیه اقتصادی قابل قبولی باشد.

٤ـ٣ـ٢ تقلیل انرژی مصرفی در تجهیزات جانبی دوتایی

همانگونه که اشاره گردید، برای افزایش ضریب اطمینان، بسیاری از تجهیزات جانبی را به صورت دوتایی در موتورخانه‌ها نصب می‌کنند، که در صورت عدم کنترل صحیح آنها انرژی قابل توجهی از این طریق اتلاف می‌شود. روشی که برای کنترل این تجهیزات در این قسمت ارائه می‌شود دومین روش برای کم کردن انرژی مصرفی توسط دیگ‌ها

می‌باشد. از جمله تجهیزات جانبی دوتایی می‌توان به پمپ‌های آب گرم، پمپ‌های تغذیه تقطیری و پمپ‌های انتقال دهنده سوخت اشاره کرد. با نصب یک کلید قطع و وصل در مدار قدرت این تجهیزات می‌توان مانع از کارکرد اضافی سیستم دوم یا کمکی شد.

٤ـ٤ تقسیم بهینه بار حرارتی بین دیگ‌ها

چهارمین روش در تدوین برنامه کاری برای کاهش تلفات انرژی که در سیستم‌هایی با چند دیگ کاربرد دارد، تقسیم بهینه بار حرارتی بین دیگ‌ها می‌باشد. با توجه به دلایل زیر با تدوین دستور العملی که توسط آن ترتیب روشن شدن دیگ‌ها و همچنین تقسیم بار حرارتی بین آنها مشخص گردد، می‌توان با هزینه اولیه بسیار پایین، تا حد قابل توجهی هزینه کارکرد سیستم را پایین آورد:[1]

- دیگ‌ها در نوع‌ها، سایزها و مدل‌های مختلف ارائه می‌شوند، بنابراین دارای راندمان‌های مختلف می‌باشند. در بعضی موارد تفاوت در راندمان برای دیگ‌های مختلف حتی به ٪۳۰ نیز می‌رسد.
- راندمان دیگ‌ها در شرایط مختلف بار به طور قابل توجهی تغییر می‌کند. به طور مثال اگر دو دیگ موجود باشد که ماکزیمم راندمان آنها در ٪٦۰ بار رخ دهد و تامین بار ٪۱۲۰ مدنظر باشد، با تقسیم برابر بار بین دو دیگ می‌توان به بهینه ترین حالت کاری سیستم دست یافت. در حالیکه اگر به یک دیگ ٪۱۰۰ بار و به دیگ دیگر ٪۲۰ بار داده شود، راندمان سیستم به شدت افت خواهد کرد.
- دیگ‌ها دارای هزینه متفاوت برای نگهداری و کارکرد تجهیزات می‌باشند.
- دیگ‌های مختلف سوخت‌های متفاوتی را مصرف می‌کنند.

- در این قسمت چگونگی کارکرد سیستم‌هایی با چند دیگ با کمترین هزینه در کلیه شرایط بار بیان می‌شود برای رسیدن به این هدف باید مراحل زیر انجام گیرد:
- محاسبه هزینه لازم برای هر یک از دیگ‌ها و در کلیه شرایط بار.
- تعیین بهینه ترین حالت ترکیب دیگ‌ها برای تامین حالات مختلف بار کل مورد نیاز.
- تهیه یک دستور العمل کارا برای کارکرد دیگ‌ها در شرایط مختلف بار و با کمترین هزینه ممکن.

برای بیان این روش ابتدا لازم است مقدمه‌ای کوتاه در رابطه با راندمان دیگ‌ها و عوامل افت راندمان در آنها بیان گردد چرا که این موضوع دیدگاه روشنی را در رابطه با هدف از تدوین دستور العمل کاری که در قسمت قبل بیان شد به ما می‌دهد.

به طور کلی دیگ‌ها را می‌توان در این بحث به دو قسمت دیگ‌های قدیمی و دیگ‌های جدید تقسیم بندی کرد. دیگ‌های قدیمی با راندمان‌هایی در حدود ٪۷۰ می‌باشند که با افزایش بار، راندمان این دیگ‌ها حتی کمتر نیز خواهد شد. اتلاف انرژی در حالت آماده باش[1] از جمله عوامل مهم در کاهش راندمان این دیگ‌ها به حساب می‌آید. البته تفاوت‌های زیادی در افت راندمان ناشی از تلفات انرژی در حالت آماده باش در این دیگ‌ها وجود دارد. به طور مثال دیگ‌هایی با اتاق احتراق باز دارای تلفات انرژی بالاتری در حالت آماده باش (حدود ٪۱۰ از کل انرژی ورودی) نسبت به دیگ‌های با اتاق احتراق بسته می‌باشند و یا دیگ‌هایی با مشعل یک مرحله‌ای در حالت آماده باش، دارای اتلاف

1. standby losses

انرژی بالاتری نسبت به دیگ‌های با مشعل چند مرحله‌ای می‌باشند. در این رابطه مشعل‌هایی که در گستره بزرگی قابل تنظیم می‌باشند دارای کمترین میزان اتلاف انرژی در حالت آماده باش هستند. در دیگ‌های قدیمی با کاهش بار بر روی دیگ‌ها میزان تلفات انرژی در حالت آماده باش افزایش یافته و این امر موجب افت راندمان دیگ می‌شود.

ولی در دیگ‌های امروزی، دیگ‌های مختلف با سوخت یکسان دارای راندمان‌های تقریباً مساوی می‌باشند. حتی با تغییرات بار بر روی این دیگ‌ها نیز تغییرات چندانی در راندمان ایجاد نمی‌گردد (در بارهای کم در حدود چند درصد و در بارهای زیادتر تقریباً ثابت باقی می‌ماند). به طور مثال دیگ‌های با سوخت نفت که امروزه عرضه می‌شوند دارای راندمان‌هایی در حدود ٪۸۵ –٪۸۲ و دیگ‌های با سوخت گاز نیز راندمان‌هایی در حدود ٪۸۱ را دارا می‌باشند. البته در برخی از نوع‌های جدید، در دیگ‌هایی با سوخت گاز با بهره گیری از گرمای ناشی از گازهای احتراق راندمان را حتی به ٪۹۰ نیز رسانده‌اند.

یکی از نکات مهم دیگر که در رابطه با راندمان دیگ‌های مختلف باید مد نظر قرار گیرد، نوع مشعل دیگ‌ها می‌باشد، چرا که نوع مشعل نقش مهمی در تنظیم توان خروجی دیگ داشته و این امر موجب تغییر قابل توجهی در راندمان می‌گردد. در حالت کلی مشعل‌ها به سه دسته تقسیم می‌گردند:

- **مشعل‌های تک مرحله‌ای**[1]

هنگامی که در دیگ از این نوع مشعل استفاده می‌گردد، بالاترین راندمان تنها در بار کامل به دست می‌آید در این مشعل‌ها تلفات انرژی در حالت آماده باش اصلی ترین عامل افت در راندمان محسوب می‌گردد.

1. Single-stage burner

- **مشعل‌های دو مرحله‌ای**[1]

با نصب این مشعل‌ها بر روی دیگ‌ها می‌توان در دو حالت بار، به ماکزیمم راندمان دست یافت. معمولاً حد پایین این مشعل‌ها را در ٪۶۰ و حد بالا را در ٪۸۰ بار تنظیم می‌کنند. البته لازم به ذکر است در دیگ‌هایی که دارای سطح تبادل حرارتی کمی می‌باشند، راندمان حد پایین به طور قابل توجهی از راندمان حد بالا بیشتر خواهد بود.

- **مشعل‌های تنظیم‌شونده**[2]

این مشعل‌ها با قابلیت تنظیم توان خروجی در یک بازه پیوسته توانسته اند راندمان بالایی را در کلیه شرایط بار دیگ برای دیگ‌ها فراهم آورند. حال با این مقدمه کوتاه در رابطه با راندمان انواع دیگ‌ها می‌توان با انجام سه مرحله زیر و با کمترین هزینه اولیه و با تقسیم بهینه بار بین دیگ‌ها به طور قابل توجهی در هزینه‌ها صرفه جویی کرد:

- **محاسبه هزینه کارکرد در شرایط مختلف بار برای هر یک از دیگ‌ها**

اولین گام برای استفاده بهینه از دیگ‌ها برآورد راندمان برای کلیه دیگ‌ها و در تمام شرایط بار می‌باشد. البته این برآورد راندمان، تلفات سیستم در حالت آماده باش را شامل نمی‌شود و این تلفات را باید با توجه به نوع دیگ تعیین کرد. پس از برآورد راندمان، باید هزینه سوخت به ازای واحد انرژی خروجی از دیگ در کلیه شرایط بار محاسبه گردد. علاوه بر این، هزینه کارکرد تجهیزات جانبی و نگهداری از سیستم نیز در کلیه شرایط بار به ازای واحد انرژی خروجی از دیگ‌ها مورد محاسبه قرار می‌گیرد. با جمع این سه مورد هزینه کارکرد هر یک از دیگ‌ها در کلیه شرایط بار بدست خواهد آمد.

1. Two-stage burner
2. Modulating burner

این روش در واقع مشابه روشی است که در دیگ‌های با قابلیت سوزاندن سوخت‌های مختلف برای تعیین اقتصادی ترین سوخت مورد استفاده قرار گرفت. بنابراین با انجام محاسبات می‌توان از دو جهت سیستم را بهینه کرد.

- **تعیین روند روشن و خاموش شدن و تقسیم بار در دیگ‌ها**

حال با معین شدن هزینه کارکرد هر یک از دیگ‌ها در کلیه شرایط بار، باید بتوان بار کل که باید توسط دیگ‌ها تامین گردد را طوری بین آنها تقسیم نمود تا توجیه اقتصادی قابل قبولی را داشته باشد. مهمترین عاملی که می‌تواند در تقسیم بار بین دیگ‌ها تاثیر گذار باشد، نوع مشعل آنهاست. همانطور که اشاره گردید مشعل‌ها به سه دسته کلی تک مرحله‌ای دو مرحله و تنظیم شونده تقسیم می‌شوند که برای هر یک از این حالات، تقسیم بار بین دیگ‌ها توضیح داده می‌شود.

اولین حالتی که در رابطه با تقسیم بار در دیگ‌ها بررسی می‌گردد، دیگ‌های با مشعل تک مرحله‌ای می‌باشد. در این حالت با توجه به مطالبی که در قسمت قبل بیان گردید، اقتصادی ترین دیگ‌ها از لحاظ هزینه سوخت و نگهداری و کارکرد تجهیزات جانبی در واحد انرژی خروجی، در بالاترین دما و فشار آب گرم یا داغ وارد سیستم شده و شروع به کار می‌کند. به همین ترتیب دیگ‌های با هزینه بالاتر در واحد انرژی خروجی در دماها و فشارهای پایین تر آب داغ یا گرم تنظیم می‌گردند. بدین ترتیب دیگ‌هایی با توجیه اقتصادی بهتر ابتدا شروع به کارکرده و سپس بقیه دیگ‌ها در صورت نیاز بطور پی در پی شروع به کار خواهند کرد. تقسیم بار بین دیگ‌ها و نحوه روشن و خاموش شدن مشعل‌ها هنگام استفاده از مشعل‌های تک مرحله‌ای بسیار ساده بوده و نیاز به محاسبات پیچیده و مشکلی ندارد.

نکته دیگری که باید در این حالت به آن اشاره کرد راه‌اندازی سیستم در زمانی است که موتورخانه برای مدت طولانی خاموش بوده که در این حالت با توجه به قسمت قبل، از آنجا که دمای آب داخل دیگ‌ها پایین می‌باشد کلیه مشعل‌ها شروع به کار می‌کنند، اما با خاموش کردن دیگ‌های با هزینه کارکرد بالا و استفاده از دیگ و یا دیگ‌های با توجیه اقتصادی مناسبتر می‌توان هزینه مصرف انرژی برای راه‌اندازی در حالت سرد سیستم را نیز کاهش داد. البته لازم به ذکر است که در این حالت برای رساندن سیستم به شرایط کاری، مدت زمان بیشتری لازم می‌باشد که برای حل این مشکل می‌توان از کنترلرهای با شروع به کار بهینه با سنسوری که سیگنال ورودی به کنترلر را از طریق دمای هوای خروجی به آن می‌دهد و با توجه به انرژی مورد نیاز برای راه‌اندازی سیستم، استفاده کرد تا در این حالت تنها با استفاده از دیگ‌هایی با کمترین هزینه کار کرد بتوان هنگام نیاز به استفاده از محیط، گرمای مطلوب را برای فضای مورد نیاز تامین نمود. مواردی که در رابطه با راه‌اندازی سیستم در حالت سرد بیان گردید بیشتر در هنگامی کاربرد دارد که تاسیسات دیگ با فواصل زمانی کم روشن می‌گردد چرا که اگر دیگ به طور دائم و مثلاً برای فصل سرما کار کند، نصب کنترلر و خارج کردن دیگ‌های با هزینه کارکرد بالا از سیستم برای یک بار راه‌اندازی آن چندان دارای توجیه اقتصادی نبوده و بهتر است که کلیه دیگ‌ها برای یک بار گرم کردن سیستم کار کنند تا دیگ‌ها سریعتر به شرایط کاری برسند.

دومین حالتی که به بررسی آن می‌پرداخته می‌شود، تقسیم بار در دیگ‌هایی با مشعل دو مرحله‌ای می‌باشد. در این حالت هر یک از دو حالت کارکرد مشعل را به صورت یک مشعل جدا فرض می‌کنیم و با توجه به راندمان هر دیگ و هر مرحله از کارکرد مشعل، اقتصادیترین حالت کارکرد سیستم تعیین می‌شود. به طور مثال دیگی با مشعل دو

مرحله‌ای را در نظر بگیرید که در مرحله اول کار می‌کند حال در اینجا بـه ایـن موضـوع باید توجه کرد که با افزایش بار آیا باید از مرحله دوم همـان مشـعل اسـتفاده کـرد و یـا مشعل مربوط به دیگ دیگری را در مرحله اول قرار داد؟ پاسخ براسـاس رانـدمان معـین می‌شود. در حالت اول اگر دیگ‌ها دارای راندمان‌های برابر باشند، در این زمـان بایـد بـه راندمان در هر یک از دو حالت کارکرد مشعل توجه کرد. مثلاً اگر دیگ‌ها دارای راندمان ٪۸۰ برای مرحله اول و راندمان ٪۷٦ برای مرحله دوم باشند بهتـر آن اسـت کـه هـر دو دیگ در مرحله اول کارکنند. حال اگر بر عکس این حالت وجود داشت یعنی دیـگ اول دارای مشعلی دو مرحله‌ای که راندمان هر دو مرحله ٪۸۰ و دیگ دوم نیز دارای مشـعلی با راندمان دو مرحله‌ای ٪۷٦ بهتر است که دیگ اول خود در مرحله دوم نیز کار کند.ایـن مثال به صورت خلاصه در زیر آماده است:

جدول٤ـ١ ترتیب وارد شدن مراحل مختلف دیگ‌ها در سیستم مذکور

فشار تنظیم شده برای سیال ناقل	ترتیب وارد شدن مراحل مختلف دیگها در سیستم (حالت اول)	ترتیب وارد شدن مراحل مختلف دیگ‌ها در سیستم (حالت دوم)
13 PSI	#1مرحله اول	#1مرحله اول
12 PSI	#2مرحله اول	#1مرحله دوم
11 PSI	#1مرحله دوم	#2مرحله اول
10 PSI	#2مرحله دوم	#2مرحله دوم

همانطور که در جدول ٤ـ١ نیز مشاهده می‌گردد هر مرحله از مشعل‌ها به عنـوان یک حالت جداگانه در نظر گرفته شده و مانند حالت قبل ابتدا دیگ‌های بـا رانـدمان بالاتر در سیستم شروع به کار می‌کنند.

برای راه‌اندازی سیستم در حالت سرد نیز مانند قبل عمل کرده و هر مرحله از مشعل‌ها در هر یک از دیگ‌ها که دارای راندمان بالاتری باشد، در حالت راه‌اندازی سرد شروع به کار می‌کند، که در این حالت نیز می‌توان از کنترلرهایی با راه‌اندازی بهینه در صورتی که تعداد دفعات خاموش و روشن شدن سیستم زیاد باشد، استفاده نمود.

سومین و آخرین حالتی که در این قسمت به بیان آن پرداخته می‌شود، دیگ‌هایی با مشعل تنظیم شونده می‌باشد. در هنگام استفاده و بهینه کردن چنین دیگ‌هایی دو حالت ممکن است وجود داشته باشد.

اول آنکه راندمان کلیه دیگ‌ها با هم برابر باشد. معمولاً دیگ‌ها در درصد مشخصی از بار بالاترین راندمان را دارا می‌باشند بنابراین باید طوری بار کل را میان آنها تقسیم کرد و از تعدادی از دیگ‌ها استفاده کرد که هر کدام از آنها در همان درصد مشخص کار کنند. به طور مثال اگر در ٪۷۰ بار دیگ‌ها دارای بالاترین راندمان می‌باشند و بار کل ٪۱٤۰ باشد دو دیگ با ظرفیت ٪۷۰ در سیستم شروع به کار می کنند.

حالت دیگری که ممکن است وجود داشته باشد آنست که راندمان دیگ‌ها با هم متفاوت باشد به طور مثال اگر دیگ اول دارای راندمان بسیار بالایی می‌باشد، تا زمانی که به شرایط ٪۱۰۰ بار نرسیده دیگ دوم شروع به کار نمی‌کند. اما اگر راندمان دیگ اول با افزایش بار افت چشمگیری پیدا کند، راه‌اندازی دیگ دوم قبل از رسیدن دیگ اول به شرایط ٪۱۰۰ بار ضروری است.

راه اندازی سیستم در حالت سرد نیز دقیقاً مانند دیگ‌های با مشعل تک مرحله‌ای و دو مرحله‌ای بوده و همان نکات را باید در این حالت نیز رعایت نمود.

- **اجرای طرح**

سومین و آخرین گام، اجرای برنامه کاری دیگ‌ها می‌باشد. اجرای طرح، هم با آموزش افراد و کنترل دستی امکان پذیر بوده و هم با کنترل اتوماتیک که در قسمت بعد در رابطه با این نوع از کنترلرها توضیح داده خواهد شد. با صرف هزینه اولیه بالاتر و استفاده از کنترل اتوماتیک برای تقسیم بار بین دیگ‌ها می‌توان از اجرای دقیقتر طرح نسبت به کنترل دستی مطمئن بود. زیرا برای اجرای دقیق طرح در کنترل دستی نیاز به آموزش افراد مسئول و نظارت دائم و دقیق می‌باشد و باز هم با این همه دارای ضریب اطمینان قابل قبول نخواهد بود.

نکته اساسی در اجرای این طرح، اندازه‌گیری دقیق راندمان تک تک دیگ‌ها در کلیه شرایط بار می‌باشد که در فصل ۵ به طور کامل مورد بررسی قرار گرفته است.

٤ـ٤ـ١ نصب کنترلر اتوماتیک

در بخش قبل در رابطه با اجرای طرح معین شده برای تقسیم بار بین دیگ‌ها به طور اقتصادی توضیح داده شد. همانطور که اشاره گردید می‌توان برای اجرای طرح از کنترل دستی و اتوماتیک استفاده کرد. کنترل دستی دارای ضعف‌های فراوانی نظیر نیاز به حضور دائم و توجه کامل فرد متصدی به دیگ‌ها در کلیه ساعات کاری سیستم و همچنین تقسیم دقیق بار طبق برنامه بین دیگ‌ها می‌باشد، که این عوامل باعث شده تا این روش کنترل دارای ضریب اطمینان پایینتری نسبت به کنترل اتوماتیک سیستم باشد. در واقع در روش کنترل اتوماتیک با یک برنامه ریزی دقیق اولیه بدون نیاز به توجه دائم فرد متصدی می‌توان از اجرای دقیق طرح مطمئن شد. با توجه به سه حالت موجود برای مشعل‌ها لازم است در اینجا هر یک از حالات نصب کنترل اتوماتیک مورد بررسی قرار گیرد.

برای دیگ‌هایی با مشعل تک مرحله‌ای تنها در زمان راه‌اندازی سرد سیستم و آن هم در هنگامی که این عمل متناوباً انجام گیرد استفاده از کنترلر متوالی[1] لازم است چرا که در حالت کارکرد عادی با استفاده از یک کنترلر ساده که براساس دما و فشار سیال درون سیستم عمل می‌کند، می‌توان از اجرای دقیق طرح مطمئن شد.

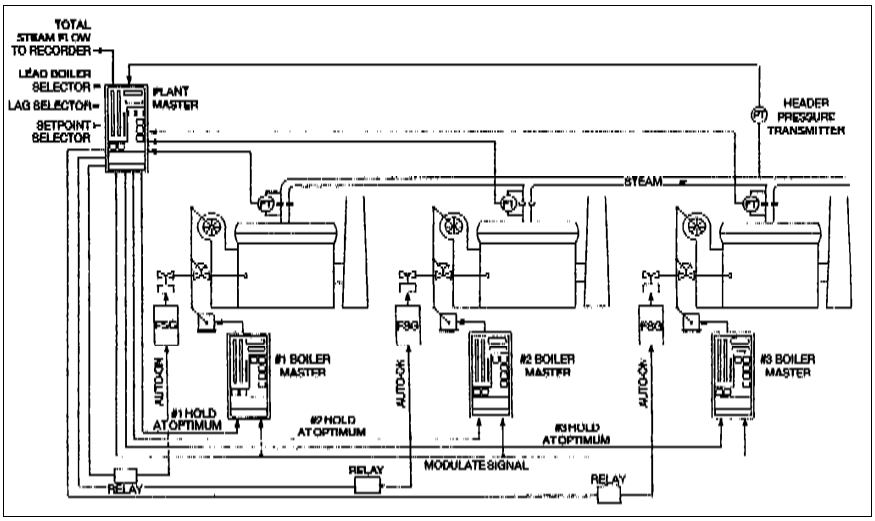
در رابطه با دیگ‌هایی با مشعل دو مرحله‌ای نیز در صورتی که دیگ‌ها دارای راندمان‌های برابر باشند مانند حالت قبل می‌توان با یک کنترلر ساده، کنترل اتوماتیک سیستم را انجام داد. البته اگر بیش از دو یا سه دیگ در سیستم وجود داشته باشد، برای جلوگیری از سیکلی شدن بیش از حد سیستم بهتر است از کنترلرهای متوالی استفاده شود. استفاده از این نوع کنترلرها در دیگ‌هایی با راندمان‌های مختلف نیز توصیه می‌گردد. در دیگ‌های با مشعل تنظیم شونده استفاده از کنترل اتوماتیک متوالی نه تنها لازم بوده بلکه ضروری نیز می‌باشد. کنترل اتوماتیک متوالی که برای اجرای تقسیم بار بین دیگ‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد یک کامپیوتر ساده بوده که سیگنال ورودی خود را از دمای آب و یا فشار بخار دریافت کرده و فرمان مناسب را به مشعل صادر می‌نماید.

امروزه مدل‌های مختلفی از این کنترلرها در قیمت‌ها و با کارایی‌های مختلف عرضه شده که نمونه متداول آنها در شکل ٤ـ٨ نشان داده شده‌است. اینگونه کنترلرها قابلیت تقسیم بهینه بار بین دیگ‌ها در شرایط مختلف بار با مشعل تنظیم شونده و با دیگ‌هایی با راندمان‌های متفاوت و همچنین راه‌اندازی بهینه سیستم در حالت سرد را دارا می‌باشند. علاوه بر این از این سیستم‌ها در مصرف اقتصادی‌ترین نوع سوخت و همچنین کنترل انرژی مصرفی توسط تجهیزات جانبی نیز استفاده می‌شود. اغلب شرکت‌های سازنده،

1. Sequencing controller

انواع کنترلرهای متوالی را به صورت پکیج عرضه می‌کنند. برای برنامه ریزی کنترلر خریداری شده باید شرایط مختلف بار برای مشعل‌ها در کلیه دماها و فشارها و تک تک دیگ‌ها به طور دقیق به آن داده شود. برای بدست آوردن این شرایط باید سه مرحله‌ای که در قسمت قبل به آن پرداخته شد، انجام گیرد. چرا که این کار کمک بزرگی در انتخاب کنترلر نیز خواهد کرد.

از جمله نکاتی که در این رابطه باید مورد توجه قرار گیرد عبارتند از: انتخاب کنترلری که قابلیت کارکرد و تقسیم بار برای تعداد دیگ‌های مورد استفاده را داشته باشد. استفاده از کنترلرهای پیچیده تر و گران تر هنگامی که در موتورخانه دیگ‌هایی از انواع مختلف وجود داشته باشد. برنامه‌ریزی کنترلرها به صورت دستی و بازدیدهای دوره‌ای آنها تا از حالت کارکرد ایده‌آل و برنامه‌ریزی شده‌شان خارج نگردند.



شکل ٤ـ٨ متداولترین روش موجود در صنعت برای بهینه کردن بار دیگ‌ها

فصل پنجم

اندازه‌گیری راندمان دیگ‌های حرارت مرکزی

مقدمه

در بخش قبل در رابطه با تدوین دستور العمل کاری و کم کردن ساعات کارکرد اجزاء مختلف تاسیسات دیگ‌ها به منظور کاهش هزینه کارکرد توضیح داده شد. یکی از مهمترین گام‌هایی که برای رسیدن به این هدف مطرح گردید، اندازه‌گیری راندمان دیگ‌ها بود که در این بخش به بحث در این رابطه پرداخته می‌شود.

اندازه گیری منظم و متوالی راندمان دیگ‌ها نقش مهمی در بهینه سازی انرژی دارد تا جایی که حتی استخدام فردی که مسلط به اندازه‌گیری راندمان دیگ‌ها باشد برای انجام اینکار دارای توجیه اقتصادی می‌باشد. در اینجا چند دلیل اصلی که اهمیت این اندازه‌گیری را مشخص کند بیان شده‌است:[8]

- بخش بزرگی از انرژی که توسط وسایل تبادل حرارتی و تجهیزات دیگر مصرف می‌شود، از طریق دیگ‌ها تامین می‌گردد. بنابراین حتی افت کوچکی در راندمان دیگ‌ها موجب هدر رفتن مقدار زیادی انرژی در سیستم می‌گردد. در صورتی که کنترل و اندازه‌گیری منظم راندمان در دیگ‌ها صورت نگیرد، ممکن است راندمانشان بین ٪۵ تا ٪۱۰ افت پیدا کند که این میزان افت در دیگ‌ها باعث بالا رفتن چشمگیر هزینه کارکرد سیستم خواهد شد.

- با اندازه‌گیری متوالی راندمان دیگ‌ها می‌توان از خارج شدن هر یک از اجـزاء موجود در موتورخانه از حالت تنظیم شده برای آنها آگاه شد و به اصـلاح آن پرداخت تا انرژی در سیستم تلف نشود.
- برای آگاهی از زمان نگهداری و سرویس سیستم، اندازه‌گیری مـنظم رانـدمان دیگ‌ها ضروری می‌باشد زیرا راندمان دیگ‌ها با گذشت زمان کاهش یافتـه و باید مانع از کاهش زیاد راندمان و خارج شدن سیستم از حالت بهینه گشت.
- با اندازه‌گیری راندمان دیگ‌ها به طور متناوب مـی‌تـوان اکثـر عیـوب کـارکرد سیستم را دریافت. در حقیقت اندازه‌گیری راندمان دیـگ‌هـا درسـت هماننـد اندازه‌گیری فشار خون در پزشکی مهم می‌باشد.
- با این روش می‌توان دریافت که آیا افزودن تجهیـزات اضـافی، نظیـر سیسـتم کنترل کننده هوا به سوخت، بـرای افـزایش رانـدمان و کـاهش تلفـات دارای توجیه اقتصادی می‌باشد یا خیر.

خوشبختانه اندازه‌گیری رانـدمان دیـگ‌هـا کـار مشـکلی نبـوده و بـا اسـتفاده از توضیحات این بخش می‌توان به سادگی این کار را انجام داد و نتایج مفیدی را از آن بدست آورد.

۵ـ۱ روش‌های عملی برای اندازه‌گیری منظم و متوالی راندمان دیگ‌ها

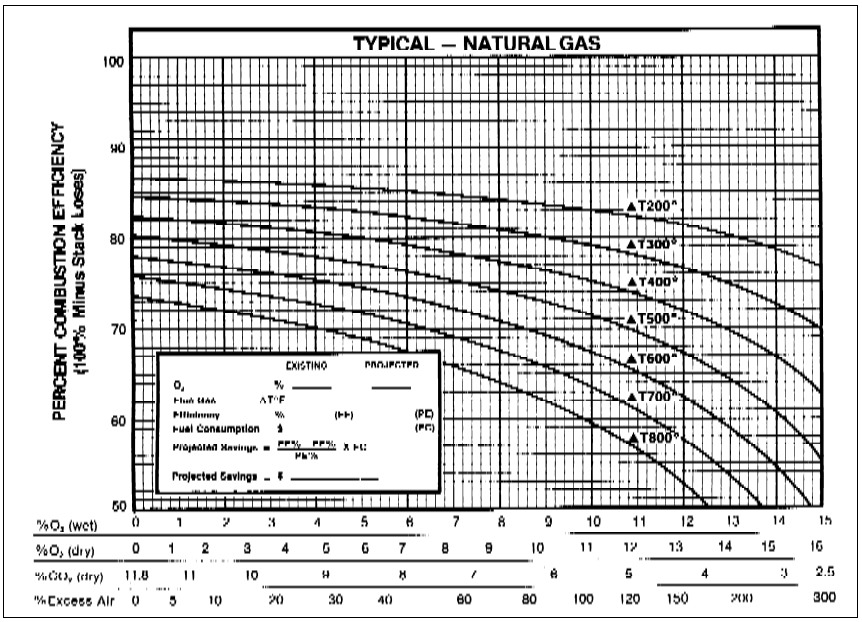
راندمان بیانگر نسبت انـرژی مفیـد خروجـی از سیسـتم بـه انـرژی ورودی بـه آن می‌باشد. بنابراین با برآورد ظرفیت انرژی آب گرم یـا داغ و همچنـین محاسـبه انـرژی سوخت مورد استفاده برای مشعل و تجهیزات جـانبی و تشـکیل نسـبت ایـن دو بایـد بتوان راندمان دیگ‌ها را بدست آورد. اما این روش، روشـی کـاملاً تئـوری بـوده و در

حالت واقعی قابل اجرا نمی‌باشد زیرا اندازه‌گیری ظرفیت انرژی آب گرم یا داغ تنها در شرایط آزمایشگاهی و با استفاده از تجهیزات لازم امکان پذیر بوده که در این حالت نیز دارای خطا می‌باشد. بعلاوه اندازه‌گیری ارزش حرارتی و انرژی سوخت نیز با توجه به شرایط متغیر نوع سوخت، دما و فشار با خطا همراه می‌باشد. بنابراین استفاده از این روش آزمایشگاهی و با خطای بالا برای بررسی تغییرات راندمان دیگ‌ها روش مناسبی به حساب نمی‌آید. به همین دلیل برای بررسی تغییرات راندمان دیگها، از حالت ایدآلشان از روش دیگری استفاده می‌گردد. در این روش به بررسی تغییرات راندمان احتراق پرداخته می‌شود و از آن طریق می‌توان دریافت که تا چه حد سوخت به طور کامل می‌سوزد و چه میزان از حرارت آزاد شده از احتراق سوخت، به آب گرم یا داغ منتقل می‌شود. با بررسی راندمان احتراق می‌توان به سادگی تغییرات در راندمان دیگ‌ها نسبت به حالت ایدآل را به دست آورد. البته این روش نیز دارای محدودیت‌هایی می‌باشد که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:[4]

- از آنجا که این تست در زمان کارکرد دیگ‌ها در شرایط بار ثابت انجام می‌گیرد، بیانگر اتلاف انرژی در حالت آماده باش نمی‌باشد.
- تلفات انرژی از جداره دیگ به محیط را نمی‌توان در این تست معین کرد.
- توسط این تست نمی‌توان مقدار راندمان تأسیسات موجود در موتورخانه را بدست آورد بلکه تنها می‌توان تغییرات راندمان سیستم‌ها را نسبت به حالت ایدآلشان محاسبه کرد.

تست برآورد راندمان احتراق بر پایه اندازه‌گیری میزان اکسیژن یا دی اکسید کربن در دود می‌باشد. این روش ساده با استفاده از دو دماسنج که یکی برای اندازه‌گیری

دمای هوای ورودی به مشعل بوده و دیگری دمای دود را اندازه‌گیری می‌کند و اغلب در سوراخ کوچکی در دود کش دیگ و حتی‌الامکان نزدیک به خود دیگ قرار داده می‌شود، انجام می‌گیرد. علاوه بر این دماسنج‌ها، دستگاه اندازه‌گیری میزان اکسیژن یا دی اکسید کربن نیز مورد نیاز می‌باشد، که امروزه با کیفیت‌های بالا و قیمت‌های مناسب عرضه می‌گردد. برخی از انواع این دستگاه‌ها با داشتن یک رایانه داخلی و دریافت سه متغیر حدودی (دمای هوا ورودی، دمای دود و میزان اکسیژن در دود) قادر به محاسبه راندمان احتراق می‌باشند. حال اگر دستگاه این قابلیت را دارا نبود، با استفاده از گراف‌هایی نظیر آنچه در شکل ۵-۱ نشان داده شده‌است می‌توان راندمان دیگ‌ها را محاسبه کرد.



شکل۵ـ۱ نمونه ای از گراف‌هایی که در تعیین راندمان احتراق در دیگ‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد

بطور مثال اگر دستگاه سنجش اکسیژن، میزان اکسیژن در دود را برابر ٪۵ نشان دهد و دمای دود خروجی $٤٨٠^{o}F$($٢٤٩^{o}C$) و دمای هوای ورودی برابر$٨٠^{o}F$($٢٧^{o}C$) باشد،با توجه به شکل ۵ـ۱ راندمان احتراق برابر ٪۸۰ خواهد شد.

لازم به ذکر است که استفاده از این گـراف‌هـا بـر پایـه مجموعـه‌ای از فرضـیات استوار می‌باشد. اول آنکه سوخت‌های مورد استفاده در صنعت اغلب دارای ناخالصی بوده و در هنگام استفاده از این نمودارها ترکیب سوخت را باید ترکیب جزء اکثریت در نظر گرفت. این مسئله در هنگام انتخاب نمـودار هماهنـگ بـا سـوخت مصـرفی بسیار قابل توجه می‌باشد. همچنین هنگامی که از دستگاه‌های بـا رایانـه داخلـی نیـز استفاده می‌گردد، معرفـی نـوع سـوخت بـه دسـتگاه از اهمیـت ویـژه‌ای برخـوردار می‌باشد، زیرا برای سوخت‌های گوناگون این نمودار متفاوت می‌باشد.

فرض دوم در رابطه با این نمودارها آن است که احتراق سوخت، احتـراق کامـل می‌باشد. این فرض تا زمانی که مشعل‌ها دچار مشکل نشده باشند و نسـبت هـوا بـه سوخت نیز زیاد از حالت بهینه خارج نشده باشد، صحیح می‌باشد. ولی هنگامیکه یـا به دلیل کارکرد ناصحیح مشعل و یا هوای ناکـافی در مشـعل احتـراق نـاقص انجـام گیرد، سوخت بدون آنکه تولید انرژی کند، از دودکش خارج می‌شود و از آنجـا کـه این سوخت نسوخته توسط دستگاه‌های انـدازه‌گیـری اکسـیژن و دی اکسـید کـربن احساس نمی‌شود بنابراین این دستگاه‌ها راندمان بالایی را نشان می‌دهند، در صورتی که احتراق ناقص بوده و طبق قانون دوم ترمودینامیک در این حالت سـهم زیـادی از انرژی هدر می‌رود. به همین دلیل استفاده از یک تسـت دیگـر بجـز تسـت رانـدمان احتراق نیز برای کارکرد صحیح و بهینه سیستم لازم می‌باشد.

سومین و آخرین فرض در این روش آن است که بار حرارتی محسوس ناشی از گرم شدن سوخت را به حساب نمی‌آوریم. چرا که گرمای ناشی از احتراق در مقایسه با آن بسیار بیشتر بوده وقابل صرفه نظر کردن می‌باشد بعلاوه دمای سوخت نیز ثابت نبوده و بسته به شرایط محیطی تغییر می‌کند.این فرضیات منجر به شکل گیری و ایجاد گرافهایی نظیر آنچه در شکل ۵ـ۱ مشاهده می‌شود،گردیده است.

در این تست هنگامی می‌توان به بالاترین راندمان احتراق دست یافت که اولاً احتراق سوخت به صورت احتراق کامل باشد تا بالاترین میزان انرژی ممکن آزاد گردد. ثانیاً با کمترین میزان هوای اضافی این احتراق انجام گیرد چرا که هوای اضافی موجب جذب بخشی از حرارت آزاد شده در اثر احتراق می‌گردد و موجب کاهش انرژی تبادل شده با سیال می‌شود و ثالثاً دیگ توانایی دریافت بیشترین میزان انرژی را از گازهای حاصل از احتراق داشته باشد. تمامی این موارد در رابطه با تعریف گرافهایی نظیر آنچه در شکل ۵ـ۱ مشاهده می‌گردد، قابل توجیه می‌باشد.

نکاتی که در رابطه با استفاده از این قبیل گرافها باید از آن آگاهی داشت عبارتند از:

- میزان اکسیژن موجود در گازهای احتراق بیانگر میزان هوای اضافی است که در مشعل مورد استفاده قرار می‌گیرد. در گرافهای بیانگر راندمان احتراق، همانطور که مشاهده می‌شود با کم شدن میزان اکسیژن راندمان احتراق بالا می‌رود. زیرا درصد بالای اکسیژن در گازهای احتراق بیانگر آن است که هوایی بیش از هوای لازم برای احتراق کامل در مشعل مورد استفاده قرار گرفته و این هوای اضافی موجب جذب بخشی از انرژی گازهای احتراق می‌گردد. در واقع در حالت تئوری اگر میزان اکسیژن برابر ٪۰ گردد احتراق

سوخت به صورت احتراق کامل خواهد بود و در این حالت می‌توان به بالاترین راندمان احتراق در هر سوخت معین دست یافت.

- گرافهای بیانگر راندمان احتراق از آنجا که بر مبنای گرمای ویژه می‌باشند، برای هر سوخت به صورت جداگانه رسم می‌گردند.
- حجم دود را از طریق دانستن ترکیب شیمیایی سوخت و میزان هوای اضافی می‌توان به دست آورد و با دانستن حجم دود و دمای آن می‌توان دریافت که چه میزان انرژی از طریق دود اتلاف می‌گردد.
- با داشتن درصد اکسیژن یا دی اکسیدکربن و اختلاف دما می‌توان راندمان احتراق را بدست آورد.

همانطور که اشاره گردید روش تست راندمان احتراق که اکنون دید کاملی نسبت به فرضیات و اصول آن ارائه شده‌است به دو شاخه اندازه‌گیری میزان اکسیژن در دود و اندازه‌گیری میزان دی اکسید کربن در دود تقسیم بندی می‌گردد. اگر چه این دو روش تا حدود زیادی از لحاظ روش محاسباتی مانند هم هستند اما در اصول اولیه دارای تفاوتهایی می‌باشند. برای هر سوخت معین در احتراق کامل همواره نسبت معینی بین دی اکسید کربن آزاد شده و اکسیژن موجود در گاز دود وجود دارد و به همین دلیل می‌توان با استفاده از دستگاه‌های تست اکسیژن یا دی اکسید کربن و با استفاده از گرافهایی مانند شکل ۵ـ۱، راندمان احتراق را به دست آورد.

از آنجا که سوخت‌ها اغلب به صورت هیدروکربنها می‌باشند، بنابراین در تست دی اکسید کربن برای تعیین راندمان احتراق مقدار دی اکسید کربن نشان داده شده در گاز دود بستگی کامل به تعداد اتم کربن در یک مولکول از سوخت غالب و

میزان هوای اضافی برای احتراق دارد. در حالت ایدآل اگر احتراق بدون هوای اضافی به صورت احتراق کامل انجام گیرد، مقدار دی اکسید کربن میزان ثابتی خواهد بود، که با توجه به ترکیب سوخت می‌توان آنرا معین کرد. وجود هوای اضافی باعث کم شدن درصد دی اکسیدکربن در حجم کل دود می‌گردد که از این طریق می‌توان میزان هوای اضافی را تنظیم نمود. در حقیقت در تست اکسیژن میزان هوای اضافی به طور مستقیم به دست می‌آید در حالی که در تست دی اکسید کربن این کار با توجه به نوع ترکیب شیمیایی سوخت و به دست آوردن حجم دی اکسید کربن برای آن سوخت معین در احتراق کامل و مقایسه آن با مقدار نشان داده شده در سیستم، معین می‌شود.این امر موجب مقبولیت بیشتر استفاده از تست اکسیژن نسبت به روش دیگر برای تعیین راندمان احتراق در صنعت گردیده است.

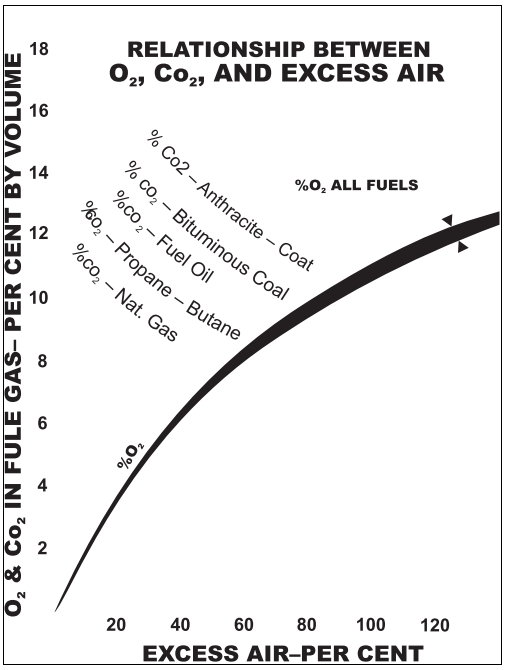
هنگامی که هوای اضافی برای سیستم به طور بهینه تنظیم شده و پس از مدتی از کارکرد سیستم به اندازه‌گیری راندمان احتراق با تست اکسیژن پرداخته شود و نتایج آن با تست دی اکسید کربن مقایسه شود، اختلاف عدد نشان داده شده توسط تست اکسیژن با حالت بهینه به طور نسبی از اختلاف عدد نشان داده شده توسط تست دی اکسید کرین با حالت بهینه بیشتر خواهد بود. این امر موجب می‌گردد تا در تست اکسیژن، این تغییرات را دقیقتر بتوان اندازه‌گیری نمود. دلیل دیگر در مقبولیت بیشتر تست اکسیژن آن است که در این روش درصد اکسیژن موجود در دود، وابستگی کمتری نسبت به نوع سوخت دارد تا تست دی اکسید کربن. بنابراین استفاده از تست اکسیژن دررابطه با سوخت‌هایی که حتی اطلاع چندان دقیقی هم از ترکیبشان در دست نباشد تا حد قابل قبولی قابل استفاده می‌باشد. علت این امر هم همانطور

که قبلاً نیز اشاره گردید آنست که در تست دی اکسید کربن میزان دی اکسید کربن، اندازه‌گیری شده به تعداد کربن موجود در هیدروکربنها وابسته است. موارد فوق به وضوح در شکل ۵ـ۲ که نسبت اکسیژن و دی اکسید کربن را برحسب هوای اضافی نشان می‌دهد قابل مشاهده می‌باشد.

البته لازم به ذکر است که در روش اندازه‌گیری تغییرات راندمان احتراق با حالت ایدآل از طریق تست اکسیژن همواره نیاز به هوای اضافی برای احتراق سوخت و وجود اکسیژن در دود می‌باشد، که از آنجا که اکثراً احتراق در مشعل با هوای اضافی انجام می‌گیرد،این عامل مشکل چندانی را ایجاد نخواهد کرد.

اندازه‌گیری دقیق راندمان دیگ‌ها به صورت متوالی تا حدی دارای اهمیت می‌باشد که حتی انجام هر دو تست اکسیژن ودی اکسید کربن برای اطمینان از صحت اندازه‌گیری نیز توصیه می‌گردد. به طور مثال می‌توان با نصب یک دستگاه تست اکسیژن در سیستم به طور متوالی درصد اکسیژن و به تبع آن تغییر در راندمان احتراق را به دست آورد و در کنار آن برای اطمینان از محاسبات و عدم خرابی دستگاه تست اکسیژن، با هزینه کمی، از یک تست دی اکسیدکربن قابل حمل (دستی) استفاده نمود، تا در صورت اختلاف در جواب به دست آمده برای راندمان احتراق بتوان از مشکل موجود در سیستم آگاه شد. از جمله مشکلاتی که می‌تواند موجب خطا در محاسبات گردد، خطا در اندازه‌گیری دمای دود به دلیل وجود فشار منفی در دیگ‌ها و وجود نشتی‌ها می‌باشد. در این حالت به دلیل نفوذ هوای خارج و ترکیب آن با دود دمای دود کمتر از مقدار اصلی، اندازه‌گیری شده و موجب خطا در برآورد راندمان احتراق می‌گردد. امروزه دستگاه‌های الکترونیکی عرضه شده‌اند که

قابلیت اندازه‌گیری اکسیژن و دی اکسید کربن را دارا می‌باشند اما این دستگاه‌ها از آنجا که درصد دی اکسید کربن را با توجه به درصد اکسیژن اندازه‌گیری شده در تست اکسیژن و نوع سوخت معین می‌کنند، بنابراین نمی‌تواند کنترل محاسبات را انجام دهند. در واقع درصد دی اکسید کربنی که توسط این دستگاه‌ها اندازه‌گیری می‌شود دارای ارزش محاسباتی خاصی نمی‌باشد.



شکل ۵ـ۲ مقدار اکسیژن و دی اکسید کربن برحسب درصد هوای اضافی

تست برآورد راندمان احتراق تنها در حالتی صحیح می‌باشد که احتراق در مشعل به صورت احتراق کامل باشد. برای اطمینان از این موضوع آشنایی با تست احتراق ناقص نیز لازم می‌باشد. در دیگ‌ها برای احتراق کامل سوخت نیاز به مقداری هوای

اضافی است. حال اگر مقدار هـوای اضـافی کـم شـود و بـه صـفر برسـد مقـداری از سوخت، دیگر به طور کامل نخواهد سوخت که ایـن احتـراق نـاقص موجـب ایجـاد پدیده اسمک[1] و باقی گذاشتن دوده در سمت آتش دیگ و مشکلات زیسـت محیطـی دیگر می‌شود. همچنین این احتراق ناقص موجب تلفات زیادی در انرژی می‌گردد، که این میزان بستگی به ارزش حرارتی سوختی که در احتراق کامل شرکت نکرده و جـرم سوخت دارد. بنابراین احتراق ناقص در سوخت‌هایی با ارزش حرارتی بالاتر به مراتب بیشتر از سوخت‌هایی با ارزش حرارتی پایینتر موجب تلفات انرژی می‌گردد. بـه طـور مثال اتلاف انرژی در اثر احتراق ناقص با نفت سنگین با ارزش حرارتی بسیار بـالا در مقایسه با زغال سنگ ناخالص با ارزش حرارتی پایین به مراتب بیشتر می‌باشد.

همانطور که اشاره گردید احتراق ناقص موجب کاهش قابل توجه رانـدمان دیـگ‌هـا می‌گردد و با تست راندمان احتراق نیز نمی‌توان از آن آگاه شد. در این قسـمت دو روش اصلی برای پی بردن به احتراق ناقص در سیستم ارائه گردیده است:[7]

- **تست دود[2]**

در هنگام راه‌اندازی دیگ‌ها میزان هوای لازم با توجـه بـه دودی کـه از دودکـش خارج می‌گردد تنظیم می‌شود. زیرا هر سـوخت در احتـراق کامـل دارای رنـگ دود مشخصی می‌باشد که با توجه به آن می‌توان بهینه ترین حالت کارکرد سیسـتم را بـه دست آورد. البته این تست به تنهایی برای تنظیم دقیق سیسـتم بـرای احتـراق کامـل کافی نبوده، اما روشی ساده و مفید برای پی بردن به احتراق ناقص می‌باشد. لازم بـه ذکر است که این روش در رابطه با سوخت‌های سنگین و یا جامـد جوابگـو بـوده و

1. Smoke
2. Smoke Opacity Test

روش مطمئنی در رابطه با سوخت‌های سبک و گاز نمی‌باشد. چرا که دود حاصل از احتراق ناقص در سوخت‌های سبک به راحتی قابل تشخیص نیست.

- **تست مونو اکسید کربن**

این روش مناسبترین و کاملترین روش برای پی بردن به احتراق ناقص مشعل می‌باشد. هنگامی که احتراق سوخت به صورت ناقص انجام گیرد، میزان مونواکسید کربن در محصولات به سرعت افزایش می‌یابد. با اندازه‌گیری مونواکسید کربن می‌توان به احتراق ناقص سوخت و پایین آمدن راندمان دیگ‌ها پی برد و توسط آن نسبت هوا به سوخت مناسب را برای مشعل تنظیم نمود. حال اگر در بازه مناسب برای نسبت هوا به سوخت، میزان مونواکسیدکربن همچنان زیاد باشد، این امر نشانگر بروز مشکل در یکی از اجزاء داخلی دیگ می‌باشد. این موارد موجب گردیده تا از این روش به عنوان روشی تکمیلی برای بررسی کارکرد صحیح و بهینه دیگ‌ها استفاده گردد.

علاوه بر موارد فوق دیگ‌ها را از لحاظ شعله و آلوده کننده‌های محیط زیست نیز مورد بررسی قرار می‌دهند. با توجه به روش‌های جدید و دقیق برای تنظیم شعله مشعل، دیگر تنظیم شعله با توجه به رنگ و شکل آن قابل قبول نمی‌باشد. گرچه با استفاده از رنگ و شکل شعله نیز می‌توان به مشکلات احتمالی احتراق سوخت پی برد. در رابطه با اندازه‌گیری آلوده کننده‌های محیط زیست نظیر ترکیبات اکسید نیتروژن[1]، اکسیدهای گوگرد، سولفید هیدروژن و مونواکسیدکربن نیز باید توجه داشت که مقدار آن از میزانی که طبق استانداردها معین گردیده تجاوز نکند. روش اندازه‌گیری مقدار این گازها نیز بسیار ساده بوده و تنها با استفاده از یک دستگاه

1. Nox

اندازه‌گیری الکترونیکی یا شیمیایی امکان‌پذیر می‌باشد. پس از اندازه‌گیری درصد گازهای آلاینده برای تنظیم این درصد، می‌توان از باز چرخش مجدد گاز دود در سیستم، افزایش میزان هوا و یا تنظیم شعله بهره جست. از آنجا که همواره رابطه مستقیمی میان درصد آلاینده‌ها در دود و راندمان احتراق وجود دارد، در صورت زیادتر بودن میزان گازهای آلاینده از حد مجاز قبل از هر یک اعمال اشاره شده ابتدا باید راندمان دیگ را با استفاده از روش‌های ارائه شده اندازه‌گیری کرد تا از کارکرد صحیح و بهینه آن مطمئن گردید. پس از آن اگر باز هم آلاینده‌ها از حد مجاز بیشتر بودند، باید از روشی استفاده کرد که کمترین میزان افت راندمان را نسبت به حالت ایده‌آل در تاسیسات دیگ‌ها ایجاد کند.

اکنون با آشنایی کامل نسبت به انواع روش‌های موجود برای تست منظم و متوالی دیگ‌ها، نیاز به تجهیزاتی برای نیل به این هدف می‌باشد. این تجهیزات باید توانایی اندازه‌گیری دقیق راندمان را داشته باشند زیرا خطای بسیار ناچیز در این اندازه‌گیری موجب اتلاف مقدار زیادی انرژی در سیستم می‌گردد. بنابراین خطای قابل قبول برای این تجهیزات ماکزیمم یک درصد در نظر گرفته می‌شود. در این قسمت در رابطه با این تجهیزات توضیحات لازم ارائه می‌گردد:

- **دستگاه اندازه‌گیری اکسیژن و دی اکسید کربن در گاز دود**

از اولین و ابتدایی ترین دستگاه‌های اندازه‌گیری راندمان احتراق، دستگاه اندازه‌گیری راندمان ارست[1] می‌باشد. این دستگاه با استفاده از یک معرف شیمیایی مایع و ترکیب آن با گاز دود به اندازه‌گیری مقدار گازهای مختلف در گاز دود

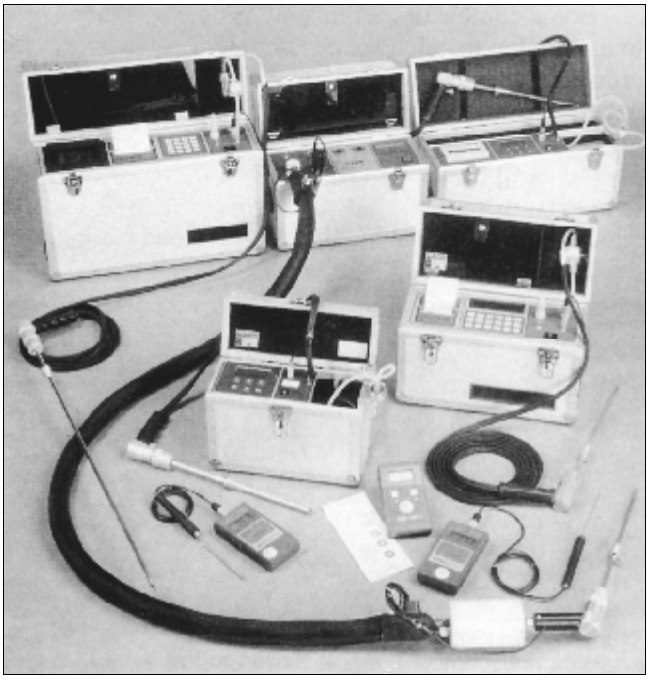
1. Orsat analyzer

می‌پردازد. بدین صورت که در اثر ترکیب گاز دود با مایع معرف توسط تجهیزات جانبی این دستگاه، تغییر در حجم با دقت بسیار بالا اندازه‌گیری شده و با استفاده از این تغییر حجم راندمان احتراق و درصد اکسیژن، دی اکسید کربن و مونو اکسید کربن و گازهای دیگر به دست می‌آید. این روش، روشی ساده و دقیق و نسبتاً ارزان می‌باشد اما مشکل آن این است که اجزاء جانبی برای اندازه‌گیری درصد گازهای مختلف در گاز دود، از جنس شیشه و بسیار شکننده می‌باشند که این مسئله کار با این وسایل را در محیط موتورخانه بسیار مشکل کرده است. سیستمی پیشرفته تر از ارست که برای اندازه‌گیری راندمان احتراق و درصد گازهای موجود در دود مورد استفاده قرار گرفت، فایرایت[1] بود که این دستگاه کوچکتر از سیستم قبلی و از جنس پلاستیک ساخته شد. این دستگاه اندازه‌گیری در شکل ۵ـ۳ نشان داده شده‌است.

شکل ۵ـ۳دستگاه اندازه‌گیری راندمان احتراق به روش شیمیایی

1. Fyrite

اندازه‌گیری با استفاده از فایرایت دارای دقت کمتری نسبت به سیستم ارست بود، ولی کارکرد با آن ساده تر بود و مانند سیستم قبلی هم خطر شکستگی ندارد. در حقیقت دستگاه اندازه‌گیری فایرایت ارزانترین دستگاه برای اندازه‌گیری راندمان احتراق می‌باشد. از معایب این روش نیاز به تعویض معرف شیمیایی پس از تعدادی اندازه‌گیری است. در ضمن این مواد شیمیایی را نمی‌توان برای مدت طولانی نگهداری کرد زیرا دارای عمر مشخصی می‌باشند. به دلیل مشکلات فراوان این دو سیستم امروزه برای تست اکسیژن و یا دی اکسید کربن از تسترهای الکترونیکی استفاده می‌شود، که نمونه‌ای از آنها در شکل ٥ـ٤ نشان داده شده‌است.



شکل ٥ـ٤ تسترهای الکترونیکی برای آنالیز ترکیبات موجود در دود

در این دستگاه‌ها از سلول‌های الکتروشیمیایی متفاوتی برای اندازه‌گیری مقدار گازهای مختلف در دود استفاده گردیده است. مهمترین مزیت تست به روش الکترونیکی آن است که با استفاده از این روش می‌توان درصد گازها را به صورت پیوسته و در زمان‌های مختلف به دست آورد. بنابراین با استفاده از این ویژگی به سادگی می‌توان سیستم را در حالت بهینه خود و در کمترین زمان تنظیم نمود. برخی از دستگاه‌های اندازه‌گیری الکترونیکی با دارا بودن یک میکروکامپیوتر داخلی قادر به محاسبه راندمان احتراق دیگ‌ها بدون نیاز به جداول و نمودارها می‌باشد. البته در برخی از اینگونه تسترها از آنجا که به جای دمای هوای ورودی به مشعل دمای گاز در اطراف تستر اندازه‌گیری می‌گردد، موجب بروز خطا در اندازه‌گیری می‌شود. برای جلوگیری از چنین حالتی در هنگام استفاده از تسترهای الکترونیکی، باید از دارا بودن یک دماسنج جداگانه برای اندازه‌گیری دمای هوای ورودی اطمینان حاصل کرد. تسترهای الکترونیکی دارای قیمت‌های بالاتری نسبت به انواع شیمیایی خود می‌باشند، اما استفاده از آنها برای تنظیم مداوم ومتوالی راندمان دیگ‌ها (بجز در موتورخانه‌هایی با دیگ‌های با ظرفیت‌های خیلی پایین) دارای توجیه اقتصادی می‌باشد. نکته مهم در رابطه با تسترهای الکترونیکی کالیبره کردن متوالی آنها می‌باشد، زیرا در غیر این صورت از حالت تنظیم شده خارج گشته و دیگر دقت کافی برای اندازه‌گیری را نخواهند داشت. برای کالیبره کردن تستر اکسیژن از مقدار اکسیژن موجود در اتمسفر استفاده می‌گردد و برای کالیبره کردن تسترهای دیگر گازها، از مخلوط از پیش آمیخته شده این گازها استفاده می‌گردد. اغلب تسترهای الکترونیکی ارزان قیمت، قادر به محاسبه جداگانه درصد دی اکسیدکربن نمی‌باشند و تنها با استفاده از درصد اکسیژن و روابط داخلی و مشخص، درصد

دی‌اکسیدکربن را به دست می‌آورند. بنابراین مقدار اندازه‌گیری شده دی اکسید کربن اعتبار لازم برای کنترل تست اکسیژن را دارا نبوده و بهتر است که درصد دی اکسید کربن توسط دستگاه دیگری که مخصوص این کار باشد، اندازه‌گیری گردد.

- **دستگاه اندازه‌گیری مونواکسید کربن و گازهای ویژه دیگر**

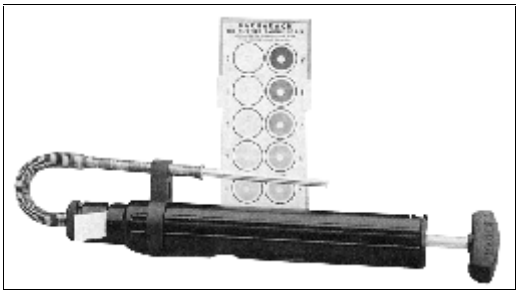
از آنجا که استفاده از تسترهای الکترونیکی در مواردی به غیر از اندازه‌گیری اکسیژن و دی اکسید کربن در گاز دود بسیار گران بوده و استفاده از آنها برای گازهای دیگر دارای توجیه اقتصادی نمی‌باشد. باید از روش دیگری برای اندازه‌گیری درصد این گازها در دود استفاده کرد. اقتصادیترین و مناسبترین روش برای اندازه‌گیری درصد مونواکسیدکربن و گازهای آلاینده دیگر استفاده از کپسول‌های یکبار مصرف شیمیایی برای هر یک از انواع گازها می‌باشد. دود به داخل کپسول‌ها مکش شده و با توجه به تغییر رنگ ایجاد شده می‌توان میزان گازهای ویژه در دود را به دست آورد. نمونه‌ای از این دستگاه‌ها در شکل ۵ـ۵ نشان داده شده‌است.

شکل ۵ـ۵ نمونه‌ای از دستگاه اندازه‌گیری مونواکسیدکربن به روش شیمیایی

در دستگاه نشان داده شده که برای اندازه‌گیری درصد مونواکسید کربن در دود می‌باشد، از کپسول‌های شیشه‌ای که داخل آنها مواد شیمیایی وجود دارد، استفاده گردیده است. این مواد با مونواکسید کربن ترکیب شده و موجب تغییر رنگ می‌شود. با سیستم‌هایی نظیر آن و با مواد شیمیایی دیگر می‌توان درصد گازهای آلاینده دیگر را نیز در گاز دود به دست آورد.

- **اندازه گیری غلظت دود**

برای اندازه‌گیری غلظت دود می‌توان از دستگاهی که مانند پمپ هوای دستی می‌باشد، استفاده نمود. این روش ساده و قابل اطمینان، بدین صورت انجام می‌گیرد که با استفاده از این دستگاه مقدار معینی از دود از یک فیلتر کاغذی عبور داده می‌شود، در اثر عبور این دود از فیلتر کاغذی و باقی گذاشتن آثاری از خود بر روی فیلتر، و مقایسه آن با جدول موجود می‌توان غلظت گاز دود را بدست آورد. این دستگاه در شکل ۵-٦ نشان داده شده‌است.



شکل ۵ـ٦ دستگاه اندازه‌گیری میزان غلظت دود

روش دیگر برای اندازه‌گیری غلظت دود که می‌توان از آن به عنوان اولین گام برای تنظیم نسبت هوا به سوخت در دیگ‌هایی قدیمی با سوخت نفت نیز استفاده نمود، نصب دستگاه نوری تعیین غلظت دود می‌باشد. در این روش باریکه‌ای از نور از دود عبور داده می‌شود. مقداری از نور که توسط دود جذب می‌گردد توسط فتوسل‌ها اندازه‌گیری می‌گردد و با استفاده از آن غلظت دود در هر لحظه و به طور پیوسته قابل محاسبه می‌باشد.

- **دماسنج‌ها**

دماسنج‌هایی که در تسترهای اکسیژن و دی اکسید کربن مورد استفاده قرار می‌گیرند باید بسیار دقیق باشند، زیرا به ازای هر $٤٠^{o}F$ خطا در اندازه‌گیری دمای دود، خطا در محاسبه راندمان دیگ برابر ٪۱ خواهد شد. استفاده از دماسنج‌های جیوه‌ای روش مناسبی برای اندازه‌گیری دقیق دما می‌باشد. این دماسنج‌ها حداکثر می‌توانند دمای $١٢٠٠^{o}F(٦٤٩^{o}C)$ را محاسبه کنند. اما برای آنکه بتوان دما را دقیقتر اندازه‌گیری نمود، دماسنج انتخاب شده برای سیستم باید دارای ماکزیمم دمایی در حدود ماکزیمم دمای دود باشد. برای اکثر دیگ‌ها، استفاده از دماسنج‌هایی با ماکزیمم دمای $٧٥٠^{o}F(٤٠٠^{o}C)$ مناسب خواهد بود. دماسنج‌های جیوه‌ای در کنار بسیاری از مزیت‌ها، مانند قیمت ارزان و مناسب دارای معایبی نیز می‌باشد که از آن جمله می‌توان به شکنندگی و همچنین مشکل بودن خواندن دما از طریق این دماسنج‌ها اشاره کرد.

امروزه تا حدی انواع متنوع و متفاوتی از دماسنج‌های الکترونیکی عرضه گردیده است که به سختی می‌توان از کارایی دقیق اکثر آنها اطمینان یافت، زیرا اغلب این

دماسنج‌ها قادر به اندازه‌گیری دقیق دما نبوده و تنها دارای ظاهری آراسته می‌باشند و به سختی می‌توان در هنگام انتخاب، انواع دقیق آنرا از بقیه تشخیص داد.

حال با شناخت کامل نسبت به انواع روش‌های اندازه‌گیری راندمان احتراق، درصد گازهای آلاینده در دود و همچنین دستگاه‌های مورد استفاده برای نیل به این هدف، لازم است با انواع مواردی که می‌تواند موجب بروز خطا در اندازه‌گیری گردد، نیز آشنا شد. اولین عامل بروز خطا در اندازه گیری، در اثر نفوذ هوای خارج به دود می‌باشد که موجب کمتر نشان دادن گازهای آلاینده توسط دستگاه‌های اندازه‌گیری نسبت به حالت واقعی می‌گردد. عامل دیگر در بروز خطا در اندازه‌گیری، استفاده از دستگاه‌های اندازه‌گیری است که هماهنگ با سوخت مورد آزمایش نباشد. اکثر دستگاه‌های اندازه‌گیری تنها برای یک گاز مخصوص طراحی می‌گردند. بنابراین اگر برای تعیین درصد گاز دیگری مورد استفاده قرار گیرند قادر به محاسبه درصد دقیق آن گاز نبوده و موجب بروز خطا در اندازه‌گیری می‌شود.

امروزه برای کاهش تولید آلاینده ناکس در دیگ‌ها، بخشی از دود را مجدداً وارد سیستم احتراقی مشعل می‌کنند، علت این امر آن است که ترکیبات، ناکس که یکی از مهمترین آلاینده‌های محیط زیست محسوب می‌گردد، در دماهای بالا ایجاد می‌شود و با وارد کردن بخشی از دود با درصد اکسیژن کم ماکزیمم دمای احتراق در دیگ به طور محسوسی کمتر خواهد شد. در این سیستم‌ها برای اندازه‌گیری راندمان دیگ، تشکیل نسبت انرژی خروجی از سیستم به انرژی ورودی به آن توصیه می‌گردد، زیرا با وارد کردن بخشی از دود به هوای ورودی درصد گازهای مختلف در دود با حالت کارکرد عادی سیستم تفاوت خواهد داشت.

در دیگ‌ها برای کاهش تلفات انرژی توسط دود با دمای بالا، از طریق دودکش‌ها از تجهیزاتی برای جذب این گرما و استفاده از آن برای گرم کردن هوای ورودی و آب تغذیه[1] استفاده می‌گردد. با استفاده از این تجهیزات جانبی، علاوه بر کاهش آلاینده‌های ناکس می‌توان راندمان احتراق را نیز تا حد زیادی بهبود بخشید. در این حالت محل نصب دماسنج‌ها برای اندازه‌گیری دماها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. دماسنج مربوط به اندازه‌گیری دمای دود در این سیستم‌ها، بعد از تجهیزات جذب انرژی گرمایی از دود[2] نصب می‌گردد و نه خروجی دیگ. همچنین برای اندازه‌گیری دمای هوای ورودی نیز قبل از پیش گرم کردن هوا، اندازه‌گیری دما انجام می‌گیرد.

همانطور که اشاره گردید برای اندازه‌گیری و برآورد چگونگی کارکرد دیگ‌ها از تغییرات راندمان احتراق استفاده می‌شود. برای به دست آوردن میزان این تغییرات ابتدا باید در بهترین شرایط کاری، راندمان احتراق به دست آید و در اندازه گیری‌های بعدی تغییرات راندمان نسبت به راندمان اندازه‌گیری شده در این حالت استاندارد، محاسبه گردد. راندمان مرجع در کلیه شرایط بار دیگ محاسبه می‌گردد و به خاطر اهمیت آن نیاز به توجه و دقت بیشتری دارد. تعمیر، تنظیم و تمیز کردن کلیه قسمت‌های تاثیر گذار بر راندمان احتراق ازجمله کارهای اولیه برای ایجاد شرایط بهینه برای اندازه‌گیری راندمان استاندارد می‌باشد. به طور مثال می‌توان به تمیز و تنظیم کردن مشعل، تمیز کردن سمت آتش و آب، از بین بردن کلیه نشتی‌ها، کنترل هوای ورودی و تنظیم دودکش‌ها اشاره کرد. پس از بدست آوردن راندمان استاندارد در کلیه شرایط بار و

1. Feed water
2. Head recovery devices

شرایط کاری سیستم می‌توان با توجه به نوع دیگ و سوخت مصرفی آن در زمان‌های مناسب تست راندمان احتراق را انجام داد. این تست بهتر است در شرایط بار ثابت انجام گیرد، بعلاوه اندازه‌گیری راندمان احتراق در زمانی‌که موتورخانه برای مدتی طولانی خاموش باشد، منجر به ایجاد خطای قابل توجهی در اندازه‌گیری راندمان می‌گردد، زیرا سهم بزرگی از دما توسط جرم دیگ و آب از دود جذب می‌شود. در واقع علت اصلی افت راندمان سیستم ایجاد آلودگی، زنگ زدگی و رسوب در سمت آتش[1] و در سمت آب[2] در مشعل‌ها می‌باشد. زمان لازم برای تجمع این آلودگی‌هایی که منجر به افت در راندمان می‌گردد با توجه به نوع دیگ و سوخت مصرفی آن معین می‌گردد. به طور مثال دیگی که با سوخت گاز سبک کار می‌کند می‌تواند بدون نیاز به اندازه‌گیری مداوم راندمان و تنها با نگهداری‌های جزئی، راندمان خود را در شرایط استاندارد حفظ کند. در حالیکه دیگی که در فشار بالا و با سوخت‌های سنگین کار می‌کند به دلیل ایجاد رسوب در سمت آتش و آب و همچنین بر روی مشعل بعد از چند هفته نیاز به اندازه‌گیری مجدد راندمان و تمیز و تنظیم کردن به منظور بهبود شرایط کارکرد خواهد داشت.

در انتها لازم به ذکر است اندازه‌گیری و بدست آوردن چگونگی کارکرد سیستم با توجه به راندمان احتراق تنها با عمل کردن به اصول معین شده امکان پذیر بوده و نیاز به مهارت فوق العاده ندارد. در ضمن در صورت کم بودن بودجه اولیه برای انجام این روش، استفاده از انواع شیمیایی تایید شده تسترها بهتر از بسیاری از تسترهای

1. Fire sides
2. Water sides

الکترونیکی غیر متغیر می‌باشد. زیرا در بسیاری از تسترهای الکترونیکی بیشتر از آنکه بـه دقت اندازه‌گیری توجه گردد به ظاهر و سادگی استفاده از دستگاه توجه گردیده است.

۵ـ۲ نصب تجهیزاتی برای برآورد راندمان

در بخش قبل با اهمیت اندازه‌گیری منظم و متوالی راندمان دیگ‌ها آشنا شدید. در این قسمت در رابطه با تجهیزات منقول و ارزانی بحث می‌گردد که توسط آنها بتـوان مصرف انرژی و راندمان را در هر لحظه بدست آورد. برای انتخاب و استفاده از این تجهیزات باید نکات زیر را در نظر گرفت:

- **توجیه اقتصادی**

در هنگام انتخاب این تجهیـزات جهـت بـرآورد رانـدمان بایـد هزینـه نصـب و نگهداری آنها را با میزان هزینه انرژی صرفه جویی شده با این روش مقایسه کرد. به طور مثال با وجود ارزان بودن، سادگی در نگهداری و کالیبره کردن و قابلیت استفاده برای چند دیگ، نصب اغلب این تجهیـزات در دیـگ‌هـای کوچـک، دارای توجیـه اقتصادی مناسبی نمی‌باشد و بر عکس در رابطه با دیگ‌های با ظرفیت‌های بالا نصب این سیستم‌ها در مقایسه با میزان انرژی صرفه جویی شده توسط آن بسیار کم هزینـه تر خواهد بود.

- **میزان تغییرات راندمان دیگ**

تغییر راندمان دیگ‌ها در زمان معین و ثابت بسته به نوع دیگ و سوخت مصـرفی آنها، کاملاً متفاوت می‌باشد. به طور مثال دیگ‌هـای بـا سـوخت گـاز کـه در فشـار اتمسفریک کار می‌کنند، دارای قسمت‌هایی به مراتب کمتر از دیگ‌های با ظرفیت بالا

و سوخت‌های سنگین، جهت تاثیر گذاری بر راندمان می‌باشند. بنابراین تغییرات راندمان در زمان معین در دیگ‌های با سوخت گاز به مراتب از نوع دیگر، که در آن‌ها اجزاء بیشتری برروی راندمان دیگ تاثیرگذار می‌باشند، کمتر خواهد بود.

- **افراد مسئول**

اگر افراد مسئول در رابطه با تاسیسات موتورخانه، با نحوه کار تجهیزات نصب شده جهت اندازه‌گیری انرژی مصرفی و راندمان، آشنایی کافی نداشته باشند و استفاده از فرد متخصص برای تنظیم راندمان دیگ‌ها مدنظر باشد نصب این تجهیزات در موتورخانه بیهوده خواهد بود زیرا فرد مسئول با استفاده از وسایل و تجهیزات شخصی قادر به انجام این کار خواهد بود.

- **سادگی کارکرد**

استفاده از این تجهیزات در مقایسه با روش‌های ارائه شده در بخش قبل بسیار ساده تر خواهد بود. به طور مثال در دیگی با ظرفیت بالا، برای اندازه‌گیری درصد آلاینده‌ها دیگر نیاز به بالا رفتن از نردبان و پر کردن کپسول‌ها از گاز داغ نمی‌باشد و با روشی بسیار ساده تر می‌توان این کار را انجام داد.

- **تعویض و نگهداری اجزا**

استفاده از این تجهیزات باعث می‌شود تا سنسورها به طور پیوسته و دائم در دود قرار داشته باشند، که این عامل موجب افزایش هزینه نگهداری و کمتر شدن عمر آنها و همچنین نیاز به کالیبره کردن آنها در فواصل زمانی کمتر می‌گردد. امروزه طراحی‌های جدید سنسورها این امکان را فراهم آورده تا بتوان از سنسورهایی با عمر بیشتر و قابلیت تعویض ساده تر استفاده نمود.

حال با توجه به مسائل فوق می‌توان در رابطه با نیاز سیستم به این تجهیزات تصمیم لازم را اتخاذ کرد. در این قسمت به بیان انواع مختلف این تجهیزات که برای اندازه‌گیری انرژی مصرفی و راندمان مورد استفاده قرار می‌گیرند، پرداخته می‌شود:

- **نمایشگر راندمان احتراق**[1]

این روش در برآورد چگونگی کارکرد سیستم در بخش قبل به طور کامل توضیح داده شد. امروزه در صنعت اغلب از انواع الکترونیکی تسترهای تعیین راندمان احتراق استفاده می‌گردد.

- **دماسنج‌های دودکش**[2]

با استفاده از جدولی که دمای دود را بر حسب بارهای مختلف نشان می‌دهد و خواندن دمای دود می‌توان شرایط کارکرد سیستم را به دست آورد. برای اندازه‌گیری دمای دود استفاده از دماسنج‌های الکترونیکی در اولویت بوده و استفاده از دماسنج‌های ارزان قیمت با المنت‌های بی متال به دلیل خارج شدن سریع از تنظیم به هیچ عنوان توصیه نمی‌گردد.

- **سنجش چگالی دود**[3]

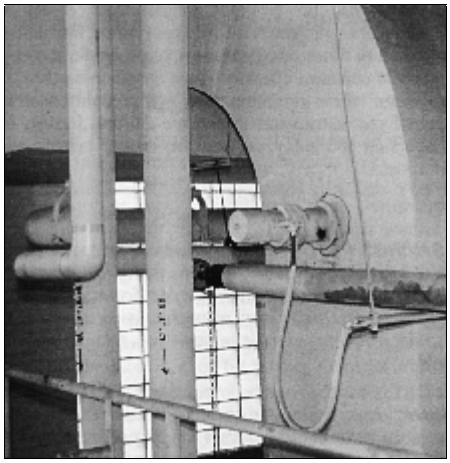
در دیگ‌هایی که از سوخت سنگین در آنها استفاده می‌گردد، استفاده از سنسورهایی برای سنجش چگالی دود توصیه می‌شود، زیرا افزایش غلظت دود موجب ایجاد کثیفی و دوده در طرف آتش می‌گردد و این عامل موجب افزایش

1. Combustion Efficiency Indicators
2. Stake Thermometers
3. Smoke Opacity Sensors

مقاومت هدایتی و کاهش قابل توجه راندمان می‌گردد. علاوه بر این با استفاده از این روش می‌توان آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از کارکرد دیـگ را نیـز کـاهش داد. نمونه‌هایی از این سنسورها در شکل‌های ۵–۷ و ۵–۸ نشان داده شده‌اند.

- **سنسورهای سنجش آلاینده‌ها**[1]

در این روش با استفاده از سنسورهای ویژه‌ای به اندازه‌گیری غلظت آلاینده‌هایی نظیر اکسیدهای نیتروژن و گوگرد و ترکیبات کلر و جیوه پرداخته می‌شود تا از حد مجاز و تعیین شده تجاوز نکنند.



شکل ۵ـ۷ سنجش چگالی دود توسط یک لامپ ساده

شکل ۵ـ۸ نمونه‌ای از تسترهای الکترونیکی جهت اندازه‌گیری چگالی دود

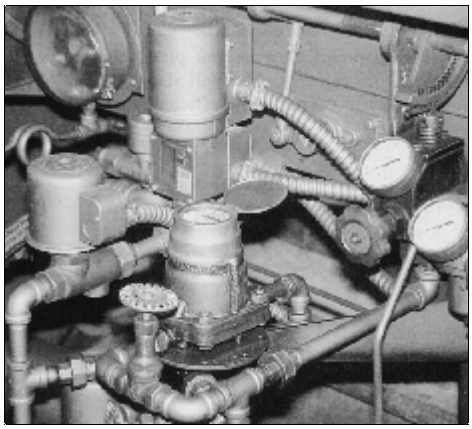
1. Pollutant Sensors

- **اندازه گیرنده جریان سوخت ورودی**[1]

استفاده از این دستگاه دقیقترین روش برای اندازه‌گیری انرژی ورودی به سیستم می‌باشد. استفاده از این سیستم برای هر یک از دیگ‌ها به طور جداگانه این امکان را فراهم می‌سازد تا علاوه بر اندازه‌گیری راندمان تک تک دیگ‌ها بتوان تقسیم بار را به طور بهینه بین دیگ‌ها با اندازه‌های مختلف انجام داد.

- **اندازه گیرنده میزان سوخت**[2]

از این دستگاه برای اندازه‌گیری میزان مصرف سوخت طی یک مدت زمانی معین استفاده می‌گردد، این دستگاه‌ها به دو صورت مکانیکی و الکترونیکی عرضه گردیده اند که انواع مکانیکی آن نیز از دقت بالایی برخودار می‌باشد. استفاده از این سیستم‌ها برای تک تک دیگ‌ها لازم نبوده و تنها در شاخه اصلی کافی است در شکل ۵-۹ نمونه‌ای از انواع مکانیکی این سیستم‌ها نشان داده شده‌است.



شکل ۵ـ۹ نمونه‌ای از انواع مکانیکی سیستم‌های اندازه گیرنده میزان سوخت

1. Fuel flow meters
2. Fuel quantitity meters

- **اندازه‌گیری دمای سوخت**[1]

دمای سوخت عامل موثری در تعیین راندمان مشعل می‌باشد. در ادامه به تفصیل در این رابطه توضیح داده خواهد شد. البته دمای سوخت بیشتر در رابطه با سوخت‌های مایع مطرح می‌گردد .

- **اندازه‌گیری فشار سوخت**[2]

فشار سوخت نیز از جمله عوامل موثر در در راندمان مشعل می‌باشد .

- **تنظیم فشار هوای داخل سیستم**[3]

هنگامی که از فن‌های قابل تنظیم برای وارد کردن جریان هوا استفاده می‌گردد، می‌توان میزان هوای ورودی به سیستم را برای بهینه ترین حالت کاری سیستم تنظیم کرد، که در ادامه به این موضوع پرداخته می‌شود.

پس از محاسبه راندمان و تعیین انرژی مصرفی توسط دیگ‌ها باید بتوان نتایج به دست آمده را برای هر یک از اجزا به طور جداگانه در جداولی ثبت نمود تا با مقایسه این مقادیر بتوان از مشکلات کارکرد سیستم آگاه شد. بطور مثال با ثبت و مقایسه میزان اکسیژن در دود می‌توان از چگونگی کارکرد کنترلر نسبت هوا به سوخت آگاه شد و در صورت عدم تغییر در میزان اکسیژن به خرابی سنسورها و یا مشکلاتی در کنترلر پی برد. این محاسبات در رابطه با اجزایی انجام می‌گردد که انرژی مصرفی آنها قابل توجه باشد. امروزه استفاده از دستگاه‌های الکترونیکی برای ثبت و مقایسه این داده‌ها عرضه گردیده که می‌توان در حجم کوچکی و بدون نیاز به خودکار و کاغذ و

1. Fuel oil thermometer
2. Fuel oil and gas pressure gauges
3. Air casting pressure gauges

مشکلات مربوطه، کلیه داده‌های مورد نظر را ثبت و با هم مقایسه نمود. نتایج حاصل از محاسبات نیز قابل انتقال به رایانه و چاپگر می‌باشد. قیمت این دستگاه‌ها با توجه به قابلیت آنها بسیار مناسب بوده و این عامل، استفاده از آنها را در صنعت رواج بخشیده است. البته الکترونیکی بودن این دستگاه‌ها دلیل بر دقت بیشتر اندازه‌گیری آنها نمی‌باشد و عامل اصلی در دقت، کارایی صحیح و دقیق سنسورها است.

در آخر لازم به ذکر است که برای مقایسه و اندازه‌گیری انرژی مصرفی ابتدا باید با توجه به نیاز سیستم، دستگاه و یا دستگاه‌های مورد نظر را تهیه نمود. در این مرحله انتخاب دستگاه‌های دقیق و معتبر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد، زیرا در غیر این صورت عدم نصب آنها بهتر از نصب آنها می‌باشد. در مرحله دوم به نصب این تجهیزات پرداخته می‌شود که در صورت نصب مرحله به مرحله و توجه به استانداردها، کار بسیار ساده و آسان می‌باشد. در مرحله آخر نیز نگهداری از این تجهیزات پیشنهاد می‌گردد، زیرا این تجهیزات پس از مدتی کارکرد، نیاز به کالیبراسیون دارند تا بتوانند به کارکرد دقیق خود ادامه دهند. لازم است خاطر نشان شود که اکثر سیستم‌های کنترلی و تجهیزاتی که در این بخش ارائه گردید، قابلیت نصب بر روی سیستم چیلر، تنظیم هوا و ... را دارا می‌باشد که با استفاده مشترک در هر یک از این سیستم‌ها می‌توان برگشت هزینه اولیه سریعتری را برای آنها ایجاد کرد.

۵ـ۳ کالیبراسیون تجهیزات اندازه‌گیری

همانطور که اشاره گردید با استفاده از دستگاه‌های مختلفی می‌توان به اندازه‌گیری راندمان دیگ‌ها پرداخت. برای اطمینان از اندازه‌گیری انجام شده، لازم است این

تجهیزات و دستگاه‌ها حداقل تا دقت لازم برای اندازه‌گیری راندمان، دارای دقت باشند. به همین جهت نگهداری و کالیبره کردن منظم و متوالی این تجهیزات از عوامل مهم در حصول جواب‌های دقیق در محاسبه راندمان می‌باشد. هر یک از این تجهیزات دارای روش متفاوتی برای کالیبره شدن می‌باشند. برخی از این روش‌ها ساده بوده و برخی دیگر مشکل می‌باشد. تعدادی از این تجهیزات قابلیت کالیبره شدن مجدد را دارا نبوده و در هنگامی که دقت خود را از دست می‌دهند، باید آنها را عوض کرد، که از آنجمله می‌توان به دماسنج‌های با سیال مایع اشاره کرد. در برخی دیگر از این تجهیزات نیز نمی‌توان دقتشان را پس از نصب در سیستم اندازه‌گیری نمود. بطور مثال می‌توان به دستگاه اندازه‌گیری جریان سوخت اشاره کرد که تنها توسط روش‌های آزمایشگاهی می‌توان دقت این دستگاه‌ها را اندازه‌گیری نمود.

کالیبراسیون روش مناسبی برای حفظ دقت در اندازه‌گیری راندمان، با کمترین هزینه ممکن می‌باشد و توسط آن می‌توان اقدامات لازم جهت بهبود راندمان را انجام داد. به عنوان مثالی در این رابطه می‌توان به سیستم‌های کنترل احتراق اشاره کرد که در آنها نسبت هوا به سوخت با دریافت مقدار محصولات احتراق در دود توسط سنسورهای موجود برای دود، تنظیم می‌گردد. در واقع نقش اصلی در تنظیم نسبت هوا به سوخت را همین سنسورهای موجود در دود دارا می‌باشند، زیرا در صورت از دست دادن دقتشان نسبت هوا به سوخت نیز تا حد زیادی تغییر خواهد کرد. اغلب سیستم‌های کنترل احتراق توسط اندازه‌گیری گاز اکسیژن در دود، به وسیله سنسورهای زیرکونیوم که دارای مقاومت بیشتری نسبت به دیگر سنسورها در شرایط نامناسب دودکش‌ها می‌باشد، به تنظیم نسبت هوا و سوخت می‌پردازند. اما

سنسورهای زیرکونیوم نیز پس از مدتی از شرایط دقیق و کارایی خود خارج می‌شوند. اغلب این سنسورها را بین یک تا دو سال تعویض می‌کنند و در این فاصله نیز سنسورها و وسایل جانبی آنها نیاز به کالیبراسیون و نگهداری مداوم دارند. همانطور که در ادامه توضیح داده خواهد شد، کالیبراسیون سنسورها به دو صورت اتوماتیک توسط سیستم کنترلی و به صورت دستی و با تشکیل سیکل کالیبراسیون مجدد توسط افراد مسئول انجام می‌گیرد.

در انتها لازم به ذکر است که تمامی روش‌های اشاره شده در اندازه‌گیری و بهبود راندمان سیستم تنها در زمانی موثر خواهد بود و توسط آن می‌توان در انرژی مصرفی صرفه جویی کرد که افراد مسئول موتورخانه نسبت به این دستگاه‌ها و همچنین روش‌های بهبود راندمان آگاهی و شناخت کامل پیدا کرده باشند. آموزش افراد مسئول، استفاده از پلاک‌ها و توجیه فواید کارکرد بهینه تاسیسات دیگ از جمله عواملی است که موجب بازگشت سریعتر سرمایه و کم شدن مصرف سوخت می‌گردد.

فصل ششم

نسبت هوا به سوخت

مقدمه

از مهمترین عوامل در کارکرد بهینه دیگ‌ها تنظیم نسبت هوا به سوخت می‌باشد. معمولاً هنگامیکه نسبت هوا به سوخت برای سیستم به طور بهینه انتخاب و تنظیم گردد، راندمان به طور قابل توجهی بهبود می‌یابد. در این بخش در رابطه با تنظیم سیستم در بهینه ترین حالت نسبت هوا به سوخت و کنترل، نگهداری و عیب یابی در این حالت توضیحات لازم ارائه خواهد شد.

٦ـ١ بهینه کردن نسبت هوا به سوخت

تنظیم نسبت هوا به سوخت از مهمترین تنظیمات در تاسیسات دیگ می‌باشد زیرا اگر این تنظیم بطور دقیق انجام گیرد راندمان را به طور محسوسی بالا خواهد برد و در غیر این صورت و خارج شدن سیستم از حالت تنظیم شده برای آن، منجر به تولید دوده، افزایش هزینه نگهداری و مشکلات زیست محیطی دیگر می‌گردد. البته تنظیم نسبت هوا به سوخت در مشعل‌های یک مرحله‌ای و دو مرحله‌ای به مراتب از مشعل‌های تنظیم شونده ساده تر می‌باشد.

در احتراق ایده‌آل سوخت به صورت احتراق کامل می‌سوزد. یعنی نسبت هوا به سوخت برابر نسبت استوکیومتری ترکیب می‌باشد. اما در واقعیت برای احتراق کامل سوخت نیاز به هوای اضافی می‌باشد تا بدین طریق بتوان از ترکیب شدن تمام

سوخت با هوا اطمینان حاصل کرد. حداقل مقدار هوای اضافی برای احتـراق ایـدآل سوخت با توجه به نوع سوخت و سوخت مصرفی آن معین می‌شود. در جدول ٦-١ این مقادیر نشان داده شده‌است.

جدول ٦ـ١ مشخصات و مقایسه کاملی بین کلیه مشعل‌های مورد استفاده در صنعت

	Capacity Range	Excess Air (percent)	Standby Loss	Turndown Ratio	Operating energy	Maintenance
Gas Burners						
Atmospheric	Unlimited usually small	30-50	Very high	None	None	Very low
Power on-off	Unlimited .typ. Below 1,000 MBH	5-30	Mostly From purge	None	Low	Low
Power staged	Unlimited typ 200-2,000 MBH	5-30	Mostly From purge	1.5:1 To 3:1	Low	Low
Power modulating	typ. Over 200 MBH	5-30	Low	Typ.7:1	Low	Low
Oil Burners						
Low-draft gun burners	typ below 500 MBH	Typ.50	High if No damper	None	Low	Low
Pressure atomizing on – off	Unlimited, typ.below 1000 MBH	10-25	Mostly From purge	None	Low	Low
Pressure atomizing staged	Unlimited, typ.200-2,000 MBH	10-25	Mostly From purge	1.5:1 To 3:1	Low	Low
Pressure atomizing modulating	typ.over 200 MBH	10-25	Low	3:1 to 8:1	Moderate	Low to Moderate
Air atomizing modulating	typ. over 3,000 MBH	5-25	Low	typ. 7:1	High	Moderate
Steam atomizing modulating	typ.over 10,000 MBH	5-25	Low	typ. 7:1	High	Moderate
Rotary cup	Unlimited, typ. Below 10,000 MBH	15-25	Mostly From purge	typ. 4:1	Moderate	High
Coal Burners						
Pulverized	Very large	10-15	Low	Large	Very high	Very high
Stoker	Unlimited	20-40	Low	Large	Moderate	High
Fluidized bed	Evolving, typ.large	2-10	Low	Evolving	Very High	Very High

همانطور که در این جدول نیز مشاهده می‌گردد برای سوخت‌های سنگینتر و کثیفتر میزان هوای اضافی بیشتری مورد نیاز می‌باشد. امروزه مشعل‌هایی با راندمان بالا عرضه شده‌اند که مزیت اصلی آنها نسبت به مشعل‌های دیگر، کاهش هوای اضافی مورد نیاز برای احتراق کامل، با ایجاد تغییرات و طراحی‌های جدیدی برای اتاقک احتراق می‌باشد

٦ـ١ـ١ مشکلات عدم برقراری نسبت هوا به سوخت بهینه

همانطور که اشاره گردید نسبت هوا به سوخت برای دریافت بالاترین راندمان ممکن، باید در بهینه ترین حالت خود تنظیم گردد. حال اگر مقدار هوای موجود برای احتراق از این مقدار کمتر باشد موجب احتراق ناقص و کم شدن محسوس راندمان می‌گردد، زیرا در این حالت بخشی از انرژی سوخت بدون آن که از آن استفاده شده باشد از طریق دودکش هدر می‌رود. همچنین درصورتی که میزان هوای ورودی برای احتراق از نسبت استوکیومتری برای احتراق کامل و ایدآل به مراتب بیشتر باشد نیز هوای اضافی منجر به جذب گرمای آزاد شده از احتراق کامل سوخت شده و در این حالت نیز به دلیل هدر رفتن انرژی از طریق هوای اضافی که با گرم شدن خود بخشی از انرژی حاصل از احتراق را جذب می‌کند و موجب پایین آمدن دمای دود می‌گردد، باعث کاهش راندمان می‌شود. البته میزان افت راندمان در حالت کمبود هوا که با احتراق ناقص در مشعل مواجه هستیم به مراتب از افت راندمان در حالت دیگر کمتر خواهد بود. در حالتیکه میزان هوای اضافی خیلی زیاد باشد، این حجم زیاد از هوای خنک، حتی می‌تواند منجر به خفه شدن شعله و خاتمه احتراق در مشعل گردد. البته قبل از بروز این حالت، در اثر موارد قبلی که به آنها اشاره گردید راندمان به طور محسوسی افت خواهد کرد و در صورت توجه می‌توان از بروز خفگی در مشعل جلوگیری کرد.

اشاره گردید که در زمانی که میزان هوای واقعی از مقدار هوای بهینه تنظیم شده برای سیستم کمتر باشد، این حالت موجب احتراق ناقص شده و افتی که در راندمان در این حالت ایجاد می‌شود به مراتب از افت راندمان در اثر هوایی بیش از مقدار بهینه، بیشتر خواهد بود. علاوه بر این افت چشمگیر در راندمان، احتراق ناقص باعث مشکلات زیر نیز در تاسیسات دیگ‌ها می‌گردد:

- **آلودگی هوا**

سوخت‌های مورد استفاده در مشعل دیگ‌ها همگی هیدروکربن می‌باشند (گاز، نفت، زغال سنگ، چوب و ...) و در صورتی که هیدروکربن‌ها در احتراق کامل شرکت کنند محصولات واکنش عبارتند از دی اکسیدکربن و بخار. اما در حالتی که نسبت هوا به سوخت از حالت بهینه و تنظیم شده برای آن کمتر گردد، این عامل موجب بروز احتراق ناقص در سیستم و به تبع آن تولید آلاینده‌های مختلف نظیر مونواکسید کربن می‌گردد.

- **ایجاد دوده بر روی سطح در تماس با گاز دود**

در صورتیکه در مشعل احتراق ناقص صورت گیرد محصولات حاصل از احتراق به صورت دوده چسبنده‌ای در سطحی که در تماس با گاز دود می‌باشد می‌چسبند. دوده به صورت عایقی خلل و فرج دار و چسبنده مانع از انتقال حرارت کامل میان گاز دود و آب می‌گردد و این امر به شدت راندمان را کاهش می‌دهد. در اثر بروز احتراق ناقص در سیستم ایجاد و تولید دوده با سرعت زیادی انجام می‌گیرد.

- **خطر انفجار**

در احتراق ناقص بخشی از سوخت بدون آنکه در واکنش شرکت کند از طریق دودکش خارج می‌گردد، این عامل باعث می‌شود تا در صورتی که این سوخت در

ناحیه‌ای در معرض هوا قرار گیرد و شرایط دما وفشار احتراق نیز در آن ناحیه برقرار باشد، سوخت در آن ناحیه محترق شده و مشکلات عدیده‌ای را ایجاد کند.

با توجه به مسائل و مشکلات ناشی از کمبود هوا نظیر افت شدید راندمان دیگ، افزایش غلظت آلاینده‌های خروجی از دود کش و همچنین ایجاد دوده در دیگ، که تمیز کردن و از بین بردن آنها کار بسیار مشکلی می‌باشد، اغلب افراد مسئول در رابطه با موتورخانه نسبت هوا به سوخت را بیش از مقدار لازم قرار می‌دهند، که این عامل نیز همانطور که اشاره گردید موجب مشکلاتی در کارکرد مشعل و دیگ می‌شود. علاوه بر مشکلاتی که قبلاً اشاره گردید، گاهی میزان هوای اضافی برای احتراق سوخت در حدی است که حتی موجب احتراق ناقص سوخت می‌گردد، زیرا هنگامی که حجم زیادی از هوای سرد به داخل محفظه احتراق راه پیدا می‌کند موجب کاهش شدید دما در محفظه احتراق و تبع آن احتراق ناقص می‌گردد. مقدار هوای اضافی که منجر به احتراق ناقص و پیامدهای بعدی آن در سیستم می‌گردد بستگی به نوع سوخت، طراحی مشعل و شرایط اتاق احتراق دارد. البته ترکیبات حاصل از احتراق ناقص در اثر وجود هوای اضافی با ترکیبات حاصل از احتراق ناقص در اثر کمبود هوا به طور کلی با یکدیگر متفاوت می‌باشد. به طور مثال احتراق ناقص بنزین با هوای کم منجر به تولید دود سیاه رنگ می‌گردد در حالی که دود حاصل از احتراق ناقص در اثر مقدار زیاد هوا به رنگ سفید خواهد بود.

٦ـ۱ـ۲ تنظیم نسبت هوا به سوخت

برای تنظیم نسبت هوا به سوخت می‌بایست با استفاده از روش‌های ارائه شده در بخش قبل به اندازه‌گیری راندمان احتراق پرداخته و حالت بهینه این نسبت را با

توجه به بالاترین راندمان به دست آمده، تنظیم نمود. مراحل عمومی برای تنظیم نسبت هوا به سوخت به صورت زیر می‌باشد:

- **تنظیم نسبت هوا به سوخت با استفاده از تستر اکسیژن**

توسط این روش می‌توان تا حد زیادی به کارکرد بهینه سیستم نزدیک شد.

- **اندازه‌گیری مونواکسید کربن**

برای بالا بردن دقت تنظیم نسبت هوا به سوخت می‌توان از دستگاه های اندازه گیرنده میزان مونواکسیدکربن در دود استفاده کرد. هنگامیکه برای نزدیک شدن به حالت بهینه کارکرد مشعل، میزان هوای اضافی برای آن کم می‌شود، به یکباره میزان مونواکسید کربن در دود افزایش می‌یابد. مقدار مناسب برای نسبت هوا به سوخت دستگاه اندازه گیرنده مونواکسید کربن این امکان را نیز فراهم می‌آورد تا بتوان از وجود اشکالات احتمالی که باعث احتراق ناقص در سیستم می‌گردد آگاه شد. از جمله این اشکالات می‌توان به کثیف بودن مشعل و شکل نامناسب شعله که باعث برخورد شعله به سطح محفظه اتاقک احتراق می‌گردد، اشاره کرد. در این حالت که به دلیل عیوب مختلف موجود در سیستم، احتراق در کلیه نسبت‌های هوا به سوخت به صورت ناقص انجام می‌گیرد، همواره دستگاه اندازه گیرنده مونواکسید کربن درصد این گاز را در حد بالایی نشان می‌دهد.

- **استفاده از دستگاه سنجش میزان دود**

در هنگامیکه از سوخت‌های کثیف در مشعل‌ها استفاده می‌گردد گاهی حتی در میزان نسبت کم مونو اکسیدکربن در دود نیز همچنان میزان دوده تولید شده بسیار

زیاد می‌باشد. برای از بین بردن مقدار زیاد دوده تولیدی نیاز به هوای اضافی بیشتری برای احتراق اجزاء و ترکیبات اضافی موجود در سوخت می‌باشد. در چنین حالتی استفاده از دستگاه‌های سنجش میزان دود[1] برای دستیابی به مقدار هوای اضافی مناسب بسیار مفید می‌باشد.

- **استفاده از تستر دی اکسید کربن**

برای اطمینان از محاسبات انجام گرفته توسط تستر اکسیژن از این روش استفاده می‌گردد. در صورتیکه جواب‌های بدست آمده با توجه به این دو تست با یکدیگر برابر نباشند یا در انجام آزمایش اشکالی موجود باشد بوده و یا در دیگ‌ها. با انجام مجدد آزمایش می‌توان از صحت آن اطمینان حاصل کرد که در این حالت اگر باز هم نتایج بدست آمده از دو آزمایش با یکدیگر برابر نباشند اشکال در تاسیسات دیگ‌ها می‌باشد. در این حالت نمی‌توان هوای اضافی سیستم را بدون ایجاد دوده کم کرد. کثیف بودن مشعل و یا خرابی در یکی از اجزاء دیگ و یا تجهیزات جانبی آن از جمله اشکالات متداول در دیگ‌ها می‌باشد که مانع از کاهش هوای اضافی بدون تولید دوده می‌شود.

با استفاده از روش‌های فوق می‌توان نسبت هوا به سوخت بهینه را با دقت قابل قبولی برای هر یک از مشعل‌ها به دست آورد. مقدار هوا در این حالت کمی بیش از مقدار استوکیومتری آن در احتراق کامل در شرایط ایدآل می‌باشد. البته نسبت هوا به سوخت به دلایل مختلف پس از تنظیم تغییر خواهد کرد. تعدادی از عواملی که موجب تغییر در این نسبت می‌گردند به شرح زیر می‌باشد:

1. Smoke testers

- تغییر در شرایط جوی
- عدم کالیبراسیون دقیق و مناسب مشعل‌ها در کلیه شرایط بار ممکن برای دیگ‌ها
- اصطکاک در راه‌اندازی پنوماتیک
- دوده گرفتن و کثیف شدن سنسورها و مشعل‌ها
- تغییر در نوع سوخت مصرفی توسط مشعل‌ها
- تغییر در فشار سوخت مصرفی
- تغییر در دمای سوخت مصرفی

این عوامل باعث شده تا در کنترلرهای مکانیکی جهت تنظیم نسبت هوا به سوخت مقدار هوای ورودی به سیستم پس از تنظیم، درصدی بیش از مقدار به دست آمده در حالت ایدآل انتخاب گردد تا مشکلات ناشی از احتراق ناقص در سیستم پدیدار نگردد. مقدار درصد هوای افزوده شده بسته به چگونگی مراقبت و نگهداری و کنترل سیستم، متفاوت می‌باشد که با انجام تست‌های مختلف در رابطه با راندمان احتراق و همچنین بازدید از میزان دوده چسبیده به جدار سمت آتش و دود می‌توان این مقدار را تشخیص داد.

برای تنظیم سیستم در شرایط بهینه کاری حداقل نیاز به دو نفر می‌باشد تا یکی درصد گازهای مختلف در خروجی دیگ را خوانده و دیگری به تنظیم مشعل بپردازد. این عمل همواره در بار ثابت و معین انجام می‌گیرد زیرا در غیر این صورت منجر به جواب دقیقی نخواهد شد. تنظیم هوا به سوخت به صورت منظم و متناوب باید انجام گیرد تا مانع از خارج شدن مشعل از حالت کارکرد بهینه گردد. فاصله زمانی بین هر تنظیم، بستگی کامل به نوع سوخت و طراحی دیگ دارد. بطور مثال نسبت هوا به سوخت تنظیم شده برای

دیگی با مشعل گاز سوز در فشار اتمسفریک، برای سال‌ها و بدون نیاز به نگهداری فـراوان ثابت باقی می‌ماند، در حالیکه در دیگی که با سوخت سنگین و در فشار بالا کـار مـی‌کنـد، پس از چند روز یا هفته باید این نسبت را مجدداً تنظیم نمود. به طور خلاصه، تنظـیم هـوا به سوخت به دو وسیله اصلی نیاز دارد که عبارتند از: دستگاه اندازه‌گیری رانـدمان احتـراق و کنترلرهایی برای کنترل نسبت تنظیم شده برای هوا به سوخت. همچنین بایـد از کـارکرد صحیح اجزاء مختلف دیگ‌ها نیز اطمینان حاصل کرد. چرا که در صورت وجـود عیـب در سیستم، جواب‌های غیر دقیقی به دست خواهد آمد.

٦ـ۲ کنترل نسبت هوا به سوخت

برای کنترل مداوم نسبت هوا به سوخت و تنظیم آن در بهینه ترین حالـت خـود در هر یک از شرایط باری از کنترلرهای مخصوصی استفاده مـی‌گـردد. ایـن کنترلرهـا بـا بررسی ترکیب گازهای خروجی از دیگ‌ها به تنظیم نسبت هوا به سوخت می‌پردازنـد. ساده ترین نوع از انواع کنترلرهای اتوماتیک سیستم اکسیژن تریم می‌باشد. ایـن کنترلـر تنها با اندازه‌گیری میزان اکسیژن در دود تغییرات جزئی را در نسبت هـوا بـه سـوخت ایجاد کرده تا میزان اکسیژن در دود در حد مطلوب و تعیین شده قرار گیرد. نمونه‌ای از این کنترلر ساده در شکل ٦ـ۱ نشان داده شده‌است.

نوع پیشرفته تر و کاملتر این کنترلرها که کارایی آن بیشتر در دیگ‌هایی با ظرفیت‌های بالاتر می‌باشد، قابلیت اندازه‌گیری درصد بسـیاری از گازهـا در دود در شـرایط متفـاوت احتراق را دارا می‌باشد. البته در این سیستم‌ها نیز عمده تنظیمات براساس میـزان اکسـیژن در دود انجام می‌گیرد. با استفاده از این سیستم‌ها می‌توان توان خروجی، نسـبت هـوا بـه سوخت و حتی تنظیم بسیاری از گازهای خروجی را توسط آن انجام داد.

شکل ٦ـ۱ نمونه‌ای از کنترلر اتوماتیک اکسیژن تریم[1]

میزان صرفه‌جویی در انرژی توسط این کنترلرها با توجه به نوع دیگ و سوخت مصرفی آن بسیار متفاوت خواهد بود. بنابراین در هنگام نصب و استفاده از این سیستم‌ها باید این مسئله را به دقت مد نظر قرار داد، تا بازگشت هزینه طرح برآورد گردد. بطور مثال دیگی با سوخت سنگین برای دستیابی به بالاترین میزان راندمان خود با ٪۱۵ هوای اضافی کار می‌کند. حال اگر این میزان هوای اضافی به ٪۳۰ افزایش یابد باعث افت راندمان به میزان ٪۱ خواهد شد. اکنون مقدار انرژی صرفه جویی شده به ازای ٪۱ افزایش راندمان باید با میزان هزینه اولیه جهت نصب سیستم مقایسه گردد و در صورت دارا بودن توجیه اقتصادی از این دستگاه استفاده گردد. اغلب، نصب این کنترلرها در دیگ‌هایی با ظرفیت بالا و نگهداری و مراقبت کم توانایی صرفه جویی انرژی در حدود ٪۵ تا ٪۱۰ از انرژی ورودی را دارا می‌باشد. در حالیکه نصب این گونه کنترلرها در دیگ‌هایی با سوخت گاز و با نگهداری مداوم

1. Oxygen trim system

نیاز نمی‌باشد. در این حالت با استفاده از یک سیستم مکانیکی ساده می‌توان نسبت هوا به سوخت را در حالت بهینه خود نگه داشت.

زیرا تنها می‌توان توسط این کنترلرها راندمان را در حد هزارم افزایش داد که در دیگ‌های کوچک و با انرژی مصرفی پایین این مقدار بسیار ناچیز خواهد بود.

همانطور که اشاره گردید دو سیستم کنترلی اصلی در تاسیسات دیگ عبارتند از کنترلر نسبت هوا به سوخت اتوماتیک و کنترلر راندمان احتراق. با استفاده از کنترلر هوا به سوخت می‌توان نیاز سیستم به نگهداری و مراقبت را کاهش داد، در حالی که کنترلر راندمان احتراق این ویژگی را دارا نمی‌باشد. بنابراین استفاده از کنترلرهای اتوماتیک نسبت هوا به سوخت برای محیط‌های غیر صنعتی مانند واحدهای مسکونی که در آنها افراد مسئول به صورت منظم به کنترل سیستم نمی‌پردازند، بسیار توصیه می‌گردد تا مانع از خارج شدن مشعل از حالت کارکرد بهینه خود گردد.

٦ـ۲ـ۱ انواع کنترلرهای اتوماتیک نسبت هوا به سوخت

کنترلرهای اتوماتیک جهت تنظیم نسبت هوا به سوخت که امروزه عرضه می‌گردد دارای تفاوت‌های فراوانی در پیچیدگی کارکرد، قابلیت تطبیق با شرایط جدید و دقت در اندازه‌گیری می‌باشد. کارکرد آنها نیز کاملاً وابسته به نحوه نصب و اجزای اضافی موجود بر روی سیستم می‌باشد. در اینجا به گوشه‌ای از اجزای اضافی و نحوه نصب آنها اشاره می‌گردد:

- **نصب دماسنج و سنسورهای مربوط به دود**

نصب این اجزا اغلب کار مشکلی نبوده و تنها نکته‌ای که در این مورد باید مورد توجه قرار داد، آنست که محل نصب این اجزا باید طوری باشد که بتوانند دما و یا

میزان گازهای مختلف را با دقت قابل قبولی نشان دهند و همچنین مانع از ترکیب هوای خارج در محل اندازه‌گیری با دود گردند.

- **آنالیز سخت افزاری و استدلال داده‌ها**

آنالیز سخت افزاری و استدلال داده‌ها معمولاً در داخل یک جعبه جداگانه انجام می‌گیرد. اگر خروجی سنسورها به صورت الکترونیکی باشد، جعبه در هر جای دلخواه قابل نصب می‌باشد و اگر نمونه گاز از طریق لوله‌هایی به جعبه انتقال پیدا کند، باید جعبه را در فضایی دورتر از محل برداشت نمونه قرار داد.

- **نمایشگرها**

نمایشگرها و ثبت کننده‌هایی که راندمان، درصد گازهای مختلف و مسائلی از این قبیل را نمایش و ثبت می‌کنند، اغلب در مکان‌هایی باید نصب گردند که به راحتی توسط افراد مسئول قابل خواندن باشد.

- **محرک‌ها**

ورودی محرک‌ها، سیگنال خروجی از سیستم و خروجی آنها تنظیم شیرهای سوخت و دمپرهای هوا می‌باشد. افزودن این محرک‌ها بر روی سیستم‌هایی که از قبل توسط کنترلرهای اتوماتیک الکترونیکی کنترل می‌شوند، بسیار مشکل می‌باشد، مگر این که تنها برای یک دیگ و به صورت جداگانه نصب گردد. همچنین در دیگ‌هایی با کنترلرهای مکانیکی که از یک رابط مکانیکی برای کنترل نسبت هوا به سوخت کمک گرفته می‌شود، می‌توان برای پیاده کردن سیستم محرک‌ها در آنها از یک وسیله ارتباطی[1] با طول متغیر استفاده نمود و با کنترل طول آن به این هدف دست یافت.

1. Linke

- **هشداردهنده‌هایی برای کارکرد نادرست سیستم**

سیستم‌های کنترلی لازم است همواره کارکرد خود را نیز آزمایش کنند تا در صورت بروز مشکل و خارج شدن سیستم کنترلی از بازه تعریف شده برای آن با دادن هشدار، افراد مسئول را از این قضیه با خبر کنند. اعلام هشدار به طرق مختلف می‌تواند انجام بگیرد. به طور مثال در صورتی که دیگ‌ها دائماً تحت کنترل قرار نداشته باشند (مثل دیگ‌های موجود در واحدهای مسکونی) می‌توان هشدار مورد نظر را به صورت آژیر و یا تماس خودکار تلفنی با فرد مسئول در سیستم ایجاد کرد.

٦ـ۲ـ۲ـ چگونگی انتخاب کنترلرها

از آنجا که کنترلرهایی که برای تنظیم نسبت هوا به سوخت مورد استفاده قرار می‌گیرند از نظر قابلیت‌های ممکن و قیمت، دارای تفاوت‌های فراوانی می‌باشند باید در هنگام خرید یک کنترلر تنظیم نسبت هوا به سوخت به قابلیت‌های اصلی و مورد نیاز در سیستم توجه داشت.گوشه‌ای از این قابلیت‌ها و نیازهای موجود در سیستم عبارتند از:

- **انواع گازهایی که باید توسط سنسورها اندازه‌گیری شود**

همانطور که اشاره گردید دقیقترین و مطمئن ترین روش برای اندازه‌گیری راندمان احتراق استفاده از تسترهای اکسیژن و اندازه‌گیری میزان گاز اکسیژن در دود می‌باشد، به همین ترتیب اولین و ساده ترین روش برای کنترل نسبت هوا به سوخت نیز تعیین مقدار دقیق اکسیژن در دود است .دستگاه‌هایی که این عمل را انجام می‌دهند، کنترلرهای اکسیژن تریم می‌باشند. در انواع بعدی و پیشرفته تر، کنترلرهای تنظیم نسبت هوا به سوخت با اندازه‌گیری میزان گاز مونواکسید کربن به عنوان شاخصی از درصد سوختی که در واکنش احتراق کامل شرکت نکرده، به تنظیم

نسبت هوا به سوخت می‌پردازند. البته گاهی اوقات و در موارد خاص می‌توان از اندازه‌گیری گاز هیدروژن در دود نیز به عنوان شاخصی از احتراق ناقص استفاده نموده و نسبت هوا به سوخت را تنظیم نمود. به عنوان شاخصی دیگر می‌توان از شاخص دود[1] نیز در مواقعی که از سوخت سنگین و با ناخالصی‌های زیادی استفاده می‌گردد به لحاظ کنترل زیست محیطی استفاده کرد.

امروزه کارکرد دیگ‌ها به خصوص در صنعت و با ظرفیت‌های بالا از لحاظ آلودگی محیط زیست به شدت کنترل می‌گردد. بنابراین در چنین مواقعی استفاده از کنترلرهایی برای جلوگیری از صدور گازهای آلاینده مانند اکسیدهای نیتروژن و گوگرد از اهمیت ویژه‌ای برخودار می‌باشد.

- **ساختار انواع سنسورها**

برای اندازه‌گیری میزان اکسیژن در دود از سنسورهایی با جنس اکسید زیر کنیوم استفاده می‌گردد. در این سنسورها با توجه به غلظت اکسیژن بین دو قطب سنسورها ولتاژ مناسب به نمایشگرها صادر می‌گردد.

برای اندازه‌گیری میزان مونواکسید کربن در دود نیز روش‌های مختلف و متفاوتی وجود دارد. به طور مثال می‌توان استفاده از سلول‌های الکتروشیمیایی[2] و همچنین عبور نور پولاریزه شده از دود و یا اشعه مادون قرمز[3] اشاره کرد.

می‌توان مقدار سوخت‌های سوخته را نیز به طور مستقیم و با سوزاندن بخشی از دود و اندازه‌گیری انرژی آزاد شده و یا با استفاده از یونیزاسیون شعله به دست آورد.

1. Smoke density
2. Electrochemical cells
3. Infrared absorption detectors

میزان و غلظت دود نیز که شامل مواد قابل احتراق و غیر قابل احتراق می‌باشد اغلب از طریق میزان جذب باریکه نور از طریق دود معین می‌گردد. برای اندازه‌گیری گازهایی نظیر اکسید نیتروژن که اثر مستقیم بر روی راندمان احتراق ندارند نیز می‌توان از روش‌های گوناگون و مختلف استفاده نمود. به طور مثال امروزه دستگاه‌هایی وجود دارد که بوسیله آنها با انجام واکنش‌های شیمیایی توسط اکسید نیتروژن و با ساطع شدن طول موج‌هایی از نور بتوان میزان این گازها را در دود به دست آورد.

امروزه فن آوری ساخت سنسورها و کنترلرها به سرعت در حال گسترش و پیشرفت می‌باشد. به همین جهت در هنگام انتخاب باید حتماً مدل‌های جدید با قابلیت‌های فوق العاده را مد نظر داشت تا بتوان با کمترین هزینه بیشترین قابلیت‌ها را برای سیستم ایجاد کرد.

٦ـ۲ـ۳ کالیبره کردن سنسورها

از آنجا که سنسورها دائماً در مجاورت و تماس با شرایط نامناسب دود قرار دارند، بنابراین این عامل موجب خارج شدن سریع آنها از حالت کارکرد ایده‌آل‌شان می‌گردد. کالیبره کردن منظم و متوالی سنسورها بهترین روش در حل این مشکل می‌باشد تا مانع، از دست دادن دقت سنسورها گردد. برخی از سنسورها را می‌توان در هنگام کارکرد مشعل‌ها نیز با برقراری سیکل کالیبراسیون کالیبره کرد. برای کالیبراسیون سنسورهای اکسیژن می‌توان از هوای محیط استفاده نمود، زیرا درصد اکسیژن در هوای محیط مقدار مشخصی بوده و با استفاده از این مقدار معین می‌توان به سادگی کالیبراسیون را انجام داد. در رابطه با سنسورهای منواکسید کربن که بر پایه اصول جذب اشعه مادون قرمز و پلاریزاسیون کار می‌کنند نیز کالیبراسیون را می‌توان

به طور پیوسته و با استفاده از باریکه‌های نوری انجام داد. همچنین برای کالیبراسیون مجدد سنسورهای تعیین کننده غلظت دود نیز این عمل با استفاده از باریکه نور با مشخصات معین انجام می‌گیرد. برای کالیبراسیون سنسورهایی که هدف از آنها تعیین مقدار گازهایی است که در ارتباط مستقیم با راندمان احتراقی می‌باشند، روش‌ها و اصول متفاوتی وجود دارد که با توجه به کاتالوگ‌های سازنده می‌توان این عمل را با دقت قابل قبولی انجام داد .

٦ـ٢ـ٤ چگونگی کارکرد کنترلرها

مهمترین مسئله در احتراق کامل سوخت در مشعل‌ها نسبت مناسب هوا به سوخت در شرایط کارکرد و بار مختلف سیستم می‌باشد. برای نیل به این هدف در کنترلرها لازم است تا در کلیه شرایط بار سیستم و با توجه به سوخت و نوع دیگ، میزان اکسیژن مورد نیاز تعیین گردد. این عمل به دو صورت دستی و اتوماتیک انجام می‌گیرد. به طور مثال، در انواع ساده و اولیه کنترلرهای تنظیم نسبت هوا به سوخت که این عمل با اندازه‌گیری میزان اکسیژن موجود در دود انجام می‌شود، باید برای کلیه شرایط بار سیستم مقدار اکسیژن را به صورت دستی به کنترلر وارد کرد. در حالیکه در انواع پیچیده تر و کاملتر این سیستم‌ها، نیاز به وارد کردن دستی مقادیر از بین رفته و این عمل با برآورد ترکیبات سوخت‌های نسوخته و میزان اکسیژن در دود به طور اتوماتیک انجام می‌گیرد. البته در این سیستم‌ها هنوز هم برای کنترلرهای مربوط به آلاینده‌های محیط زیست و دود، مقادیر به صورت دستی وارد می‌گردد. این تفاوت بیشترین نقش خود را در مشعل‌های دو یا چند سوخته ایفا می‌کند. زیرا سوخت‌های مختلف حتی در درصد بار یکسان نیز با نسبت‌های هوا به سوخت

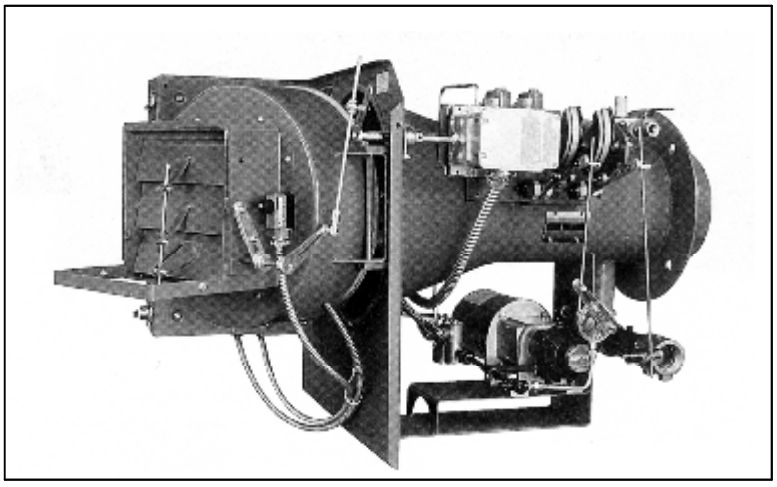
متفاوتی کار می‌کنند. بنابراین با استفاده از کنترلرهای هوا به سوخت اتوماتیک که قابلیت تنظیم نسبت هوا به سوخت را برای هر سوخت به طور جداگانه و خودکار دارند، می‌توان بدون نیاز به نیروی انسانی و به سادگی برای هر سوخت نسبت هوا به سوخت را در حالت بهینه نگه داشت.

مهمترین نکته‌ای که برای کارکرد دقیق سیستم‌های کنترل نسبت هوا به سوخت باید به آن توجه کرد، نگهداری منظم و موثر آنها می‌باشد. کارهایی نظیر تعویض و کالیبره کردن سنسورها، تدوین برنامه منظم آزمایش و تست کنترلرها و کالیبره کردن کنترلرها از جمله مهترین اقدامات در نگهداری سیستم می‌باشد که نیاز به آموزش و استفاده از افراد مسئول دارد.با رعایت این عوامل و با توجه به نوع دیگ و سوخت مصرفی آن می‌توان بین ٪۰.۲ تا ٪۳ از میزان سوخت مصرفی در دیگ‌ها کاست.

٦ـ۳ تعمیر و تنظیم کنترلرهای هوا به سوخت

باتوجه به اینکه سیستم‌های کنترل تنظیم نسبت هوا به سوخت دائماً با تغییرات بار باعث حرکت اجزای مکانیکی و تغییر در نسبت هوا به سوخت می‌گردند و به علاوه سنسورهای آنها نیز در محیط نامناسب دودکش نصب می‌شوند، نیاز به مراقبت و نگهداری منظم و متناوب دارند.

در اغلب دیگ‌ها به خصوص در ظرفیت‌های کم و متوسط، تنظیم نسبت هوا به سوخت را توسط اجزا مکانیکی واسطه که به سادگی قابل دسترسی و تعمیر و تعویض می‌باشد، انجام می‌دهند. نمونه‌ای از این اجزا مکانیکی میانی که حرکت دورانی شفت را به حرکات مطلوب تبدیل می‌کنند را می‌توان در شکل ٦ـ۲ مشاهده کرد.



شکل ٦ـ۲ مشعل دو سوختی که کلیه قسمت‌های مربوط به کنترل نسبت هوا به سوخت در آن قابل دسترسی است

تنظیم دقیق اجزا واسطه مکانیکی نیازمند دقت و تجربه بالایی می‌باشد. زیرا تغییرات مکانی این اجزا برای تنظیم نسبت هوا به سوخت دربازه بسیار کوچکی انجام می‌گیرد و بنابراین حتی لقی غیر مجاز محل اتصالات نیز باعث افت شدید راندمان احتراق می‌گردد. حساس‌ترین و دقیق‌ترین اجزا، شیرهای سوخت می‌باشند به طوری که با تغییرات میلی‌متری در این شیرها، دبی سوخت به طور قابل توجهی تغییر خواهد کرد.

به دلیل ارزان‌تر تمام شدن ساخت کنترلرهای تنظیم نسبت هوا به سوخت با اجزای مکانیکی، بسیاری از این اجزا را با کیفیت‌های پایین می‌سازند که در زمان کوتاهی منجر به خارج شدن کنترلر از حالت ایدآل کارکرد می‌گردد. بنابراین بهتر است تا این اجزا را تا حد امکان با انواع مقاوم‌تر و با کیفیت‌تر تعویض نمود.

در انتها لازم به ذکر است که بـا آزمـایش، نگهـداری از اجـزا سیسـتم کنترلـی و همچنین کالیبراسیون سنسورها با توجه به کاتالوگ سازنده می‌توان با حـداقل هزینـه حتی تا ٪۱۰ در هزینه سوخت صرفه جویی به عمل آورد.

فن آوری کنترلرهای تنظیم نسبت هوا به سوخت بـه سـرعت در حـال پیشـرفت بوده و انواع جدید آنها دارای قابلیت‌های بسیار متنوعی، نسبت به سیستم‌های نصب شده می‌باشد.که این عامل اگر با توجیه اقتصادی همراه باشد، می‌تواند دلیل خوبی بر تعویض کنترلرها با انواع جدیدترشان باشد.

فصل هفتم

مشعل‌ها و فن‌ها

مقدمه

مشعل‌ها در تاسیسات دیگ نقش احتراق سوخت با هوای معین ورودی را برعهده دارند، که انواع جدید و مدرنتر آنها توانایی احتراق کامل سوخت را نیز دارا می‌باشند. اما با این وجود همچنان در دیگ‌ها به روش‌های مختلف نظیر کم کردن مقدار هوای اضافی، کم کردن مقدار انرژی مصرفی مورد نیاز برای کارکرد مشعل، بهبود ضریب هدایت سطوح انتقال حرارتی، کم کردن تلفات در حالت آماده باش و استفاده از اقتصادی‌ترین سوخت برای کارکرد دیگ می‌توان به صرفه جویی انرژی پرداخت. در کنار این مسائل کم کردن نیاز سیستم به تمیز کردن ونگهداری، کم کردن میزان آلودگی تولیدی و جلوگیری از کارکرد ناصحیح اجزا، مسائلی است که باید به آن توجه ویژه‌ای داشت.

فن‌ها نیز از جمله اجزای مهم در تاسیسات دیگ‌ها بوده که وظیفه تامین هوای ورودی و خارج کردن دود از سیستم را برعهده دارد. در این بخش با ارائه روش‌هایی در نگهداری، تنظیم و تعویض اجزا می‌توان به اهداف فوق نزدیک شد.[5]

۷ـ۱ تمیز، تنظیم و تعمیر کردن مشعل‌ها

مهمترین عامل در اتلاف انرژی در مشعل‌ها نگهداری و مراقبت نامناسب از آنها می‌باشد. بهترین روش در کنترل و مراقبت دوره‌ای از مشعل‌ها، استفاده از کاتالوگ‌های سازنده آنها است که اغلب دارای دیاگرام‌ها و توضیحات کافی برای نگهداری و مراقبت از سیستم می‌باشد. در صورتیکه کاتالوگ سازنده در دسترس نبوده و یا توضیحات آن ناکافی باشد، می‌توان مراحل و کارهای زیر را به عنوان اصلی ترین و موثرترین فعالیت‌ها برای نگهداری از سیستم انجام داد:

- **اطمینان از تمیز بودن کلیه مسیرهای عبور سوخت**

در کلیه مشعل‌ها، چه با سوخت گازی و چه با سوخت مایع، برای احتراق بهتر و کاملتر، سوخت را توسط پره‌ها و شیارهای بسیار کوچکی پراکنده و اتمیزه می‌کنند و این سوخت اتمیزه شده از مسیرهای بسیار تنگ و باریکی عبور داده می‌شود. بنابراین کوچکترین کثیفی و رسوب در این مسیرها موجب کم شدن دبی سوخت و گاهی حتی مسدود شدن مسیر می‌گردد، که این عوامل کارکرد سیستم را به شدت تحت تاثیر خود قرار می‌دهد. در مشعل‌هایی که با سوخت نفت سبک کار می‌کنند، با استفاده از مواد شیمیایی می‌توان مسیرهای عبور سوخت را تمیز کرد. در این حالت حساسترین نقاطی که باعث مسدود شدن و یا کم شدن دبی می‌گردند عبارتند از نقاطی با دماهای بسیار بالا که منجر به تشکیل کک (دوده) در این نواحی می‌شود و سطح مقطع‌های بسیار کم که ذرات ریز موجود در سوخت موجب مسدود شدن این نقاط می‌گردد. در مشعل‌هایی با سوخت نفت سنگین، از آنجا که در اثر کارکرد مشعل، علاوه بر مشکلاتی که در مشعل‌های با سوخت نفت سبک به وجود می‌آمد، بر روی سطوح اجزای آنها نیز رسوب تشکیل

می‌گردد، نیاز به نگهداری و مراقبت منظم تر و بیشتری دارد. تمیز کردن و از بین بردن باقیمانده و رسوبات سوخت و دوده از روی سطوح در این حالت اغلب توسط حلال‌های بسیار قوی به همراه ابزارهای پاک کننده با جنسی نرمتر از جنس اجزای مختلف مشعل انجام می‌گیرد تا منجر به ایجاد خراش و صدمه به اجزای مشعل نگردد.

در رابطه با مشعل‌های گاز سوز نیز از آنجا که در اثر سوختن گاز موادی تولید نمی‌گردد که منجر به بسته شدن مسیرهای داخلی مشعل‌ها گردد، این مشعل‌ها قادر به کارکرد، بدون کم شدن راندمان احتراق حتی برای مدت طولانی نیز خواهند بود. اما در این مشعل‌ها از آنجا که منیفولدها از جنس آهن ساخته شده‌است ممکن است در اثر مرور زمان و زنگ زدگی مسیر، نازل‌ها گرفته شود که باید با کنترل منظم و متناوب آنها مانع از بروز چنین حالتی شد.

- **تعویض اوریفیس‌های اتمیزه کننده سوخت**

همانطور که اشاره گردید در مشعل با سوخت مایع برای نزدیک تر شدن به احتراق کامل سوخت، سوخت مایع را با عبور از یک اوریفیس، اتمیزه می‌کنند. این عمل باعث بازتر شدن دهانه اوریفیس پس از مدتی کارکرد می‌گردد. استانداردها در این زمینه تعویض اوریفیس‌های اتمیزه کننده سوخت را در هر یک و نهایتاً دو سال پیشنهاد می‌کنند.

- **تعمیر نشتی‌ها در مشعل**

با زیر فشار قرار دادن مشعل و بستن شیر سوخت یا شیر سولونوئیدی می‌توان نشتی‌های موجود در سیستم را شناسایی کرد. نشتی سوخت از طرق مختلف در مشعل‌ها ایجاد می‌گردد که از آنجمله می‌توان به نشتی از طریق شیرهای سوخت، پوشش‌ها و عایق‌های ضعیف و غیر موثر و شیرهای چرخش مجدد سوخت

اشاره کرد. نشتی در شیرها به سختی قابل شناسایی و تشخیص بوده و نیازمند توجه به خروجی‌های مختلف این تجهیزات می‌باشد. همچنین پوشش‌ها و عایق‌های مورد استفاده نیز که بخش عمده نشتی‌ها در سیستم از این طریق ایجاد می‌گردد، بسیار صدمه پذیر بوده و نیازمند کنترل و بازدید منظم و متوالی می‌باشد. این مسئله هنگامی که قطعاتی از مشعل‌ها تعویض می‌گردند از اهمیت بیشتری برخوردار می‌گردد.

- **از بین بردن لقی بین اجزای مختلف مشعل**

کلیه اجزای در حال حرکت مشعل باید حرکت خود را بطور آزادانه و بدون لقی انجام دهند. روغن کاری و گرفتن لقی در محل اتصالات از جمله مسائلی است که در هنگام بازدیدهای دوره‌ای باید مورد توجه قرار گیرد.

- **از بین بردن منفذهای نفوذ هوا در هنگامی که دریچه هوا بسته است**

در هنگامی که دریچه هوا بسته است و مشعل در حالت کارکرد نمی‌باشد نفوذ هوا می‌تواند با جذب انرژی گرمایی موجود در اتاقک احتراق، موجب اتلاف انرژی زیادی در حالت آماده باش سیستم گردد.

- **کنترل فن‌های هوایی**

مراقبت و نگهداریی که دررابطه با فن‌های هوایی انجام می‌گیرد دقیقاً مانند اصولی است که در بازدیدهای دوره‌ای مربوط به فن‌های سانتریفوژ لازم است، که مهمترین این اصول عبارتند از: تمیز کردن تیغه‌ها و روغن کاری یاتاقان‌ها.

پس از آشنایی با مسائلی که در بازدیدهای دوره‌ای باید به آن توجه داشت، اکنون به بررسی و تشخیص عیوبی پرداخته می‌شود که به سرعت در سیستم پیشرفت کرده

و راندمان را به طور محسوسی کاهش می‌دهد. همواره به وجود آمدن اشکال و عیب در سیستم با علایمی همراه بوده که از آن طریق می‌توان به شناسایی و از بین بردن آنها پرداخت. ازجمله مهمترین نشانه‌های بروز اشکال در سیستم می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- **دود بیش از اندازه نشانه‌ای از احتراق ناقص**

این مسئله بیشتر در رابطه با مشعل‌های با سوخت نفت و یا مازوت قابل تشخیص می‌باشد. زیرا در مشعل‌های گاز سوز احتراق ناقص درحدی دود تولید نمی‌کند که از این طریق بتوان به احتراق ناقص پی برد.

- **افت راندمان احتراق**

افت راندمان احتراق دلایل متفاوت و گوناگونی دارد، اما با اندازه‌گیری منظم و متوالی آن می‌توان به اشکالات موجود در سیستم پی برد.

- **شکل نامناسب شعله**

منظور از این مورد تغییر در رنگ، شکل، شدت و دیگر مشخصات ظاهری شعله می‌باشد که با کنترل دوره‌ای شعله می‌توان بروز این مسائل را متوجه شد. به طور مثال ایجاد جرقه در شعله بیانگر مسائلی چون احتراق ناقص و یا وجود آلودگی‌ها و ذرات آب در سوخت می‌باشد.

- **لرزش و صدای غیر معمول مشعل**

بسیاری از افراد متخصص در تاسیسات دیگ تنها با بررسی صدای کارکرد سیستم، از کارکرد نامناسب دیگ‌ها آگاه می‌گردند. البته عیب یابی سیستم به این طریق کار مشکلی بوده و نیازمند تجربه فراوان می‌باشد. از جمله علل لرزش و

صدای غیرمعقول در سیستم مخلوط نشدن متناسب سوخت و هوا است که این امر موجب ناپایداری شعله و به طبع آن ایجاد صدا و حتی لرزش دیگ میگردد. یکی دیگر از علل ناپایداری شعله کم کردن بیش از اندازه هوای اضافی در سیستم می‌باشد. لازم به ذکر است که در صورت عدم توجه به این مسائل، ناپایداری شعله می‌تواند حتی موجب انفجار در تاسیسات دیگ نیز گردد.

- **کم شدن دمای گاز دود**

در رابطه با مشعل‌های یک مرحله‌ای و دو مرحله‌ای که میزان انرژی خروجی آنها معین و مشخص می‌باشد، با کم شدن دمای دود می‌توان به کم شدن توان خروجی مشعل‌ها پی برد. اغلب این حالت به دلیل خرابی و یا کثیفی مشعل‌ها به وقوع می‌پیوندد.

- **کثیفی در مشعل‌ها**

از آنجا که حیاتی‌ترین مسئله در احتراق کامل و نزدیک شدن به کارکرد ایده‌آل مشعل‌ها اتمیزه شدن سوخت در حین احتراق می‌باشد و این مسئله نیز تنها از طریق تمیز کردن مسیرهای تنگ و باریک عبور سوخت قابل انجام می‌باشد، بنابراین کنترل و تمیز کردن این مسیرها از دوده و رسوبات از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

- **تشکیل بیش از حد دوده**

میزان تولید دوده برای هر یک از انواع سوخت مشخص می‌باشد به طور مثال در مشعل‌های گاز سوز دوده چندانی تولید نمی‌گردد. در حالی که در مشعل‌های با نفت سبک در طی مدت طولانی توده‌های کمی از دوده بر روی اجزا تشکیل می‌شود و در مشعل‌های با نفت سنگین نیز توده‌های متوسطی تشکیل می‌گردد که باید به صورت منظم و متوالی از سیستم پاک گردد. حال اگر میزان دوده تولیدی بیش از مقدار نرمال

و تعیین شده برای سوخت مصرفی باشد، نشانگر سوخت ناقص و یا عیوب مشابهی در سیستم می‌باشد که این عیوب نیز با توجه به شکل و محل تشکیل دوده قابل تشخیص می‌باشد. البته بازدید منظم و مکرر از دیگ‌ها و مشعل‌ها گرچه کار دشواری است، اما برای پی بردن به تشکیل دوده لازم و ضروری می‌باشد.

- **تغییر در ظاهر قسمت‌های نسوز سیستم**

با تغییر در رنگ و ظاهر قسمت‌های نسوز و مجاور با آتش دیگ می‌توان به عدم کارکرد صحیح مشعل پی برد. اغلب هنگامی که مشعل با دیگ هماهنگ نبوده و یا در فشارهای نامناسبی کار می‌کند و یا سوخت مورد استفاده در مشعل دارای آلودگی‌های زیادی می‌باشد، آن قسمت‌هایی از دیگ که در مجاورت آتش قرار دارند دچار تغییر رنگ و تشکیل رسوب بر روی سطحشان می‌شود.

- **خراب و یا خارج شدن تجهیزات میانی و ارتباطی از کارکرد ایدآلشان**

یکی از متداولترین اشکالات موجود در دیگ‌ها همین عامل می‌باشد که به شدت تنظیم نسبت هوا به سوخت را دچار تغییر می‌کند. خوشبختانه شناسایی و برطرف کردن این عیب کار مشکلی نبوده و تنها با تعویض و یا تعمیر قطعات واسطه آسیب دیده می‌توان دوباره سیستم را در حالت ایدآل آن راه‌اندازی کرد.

در انتها لازم است بدانید که همواره نگهداری مداوم و کنترل منظم، بهتر و کم خرج تر از رها کردن سیستم می‌باشد. اغلب مراقبت‌ها و رسیدگی‌های دوره‌ای سیستم کارهای ساده‌ای بوده که توسط فرد مسئول موتورخانه نیز قابل انجام می‌باشد. در این بررسی‌ها اگر فرد متوجه وجود عیب و اشکالی در سیستم گردد لازم است برای تعمیر این عیب در سیستم به فرد متخصص مراجعه کند.

یکی از مهمترین نکات بعد از تعمیرات، تنظیم مجدد نسبت هوا به سوخت پس از هر باز و بسته کردن مشعل و تعمیرات دیگ می‌باشد. با انجام این روند کاری می‌توان بین ٪۵ تا حتی ٪۱۰ و با هزینه اولیه بسیار کم در هزینه سوخت مصرفی صرفه جویی کرد.

۷ـ۲ از بین بردن نشتی‌های هوا در تاسیسات دیگ‌ها

یکی از مواردی که باعث اتلاف انرژی و خارج شدن سیستم از حالت کارکرد ایدآل خود می‌باشد، بخصوص در دیگ‌هایی که فن‌های آنها با استفاده از لوله‌هایی به طور جداگانه به دیگ‌ها متصل شده‌اند، نفوذ و یا فرار هوا در مسیر لوله‌های اتصالی می‌باشد. این مسئله اغلب در محل اتصالات لوله‌ها و به دلیل لرزش لوله‌ها و یا استفاده از اتصالات ضعیف و نامناسب ایجاد می‌گردد. یافتن نشتی‌های هوایی در مسیر اتصال فن‌های هوای ورودی و دود به دیگ‌ها کار بسیار آسان و ساده‌ای می‌باشد و می‌توان به سادگی در بازدیدهای دوره‌ای از عدم بروز این حالت در سیستم آگاه شد. در نواحی که فشار مثبت می‌باشد، مانند لوله‌های مربوط به هوای ورودی، با حرکت دست در اطراف لوله‌ها و محل اتصالات می‌توان از محل نشتی‌ها آگاه شد و در مواقعی که فشار منفی می‌باشد مانند لوله‌های دود نیز با حرکت یک مداد سبک در اطراف لوله‌ها می‌توان به وجود نشتی در آنها پی برد.

در لوله‌هایی که برای خروج دود، دیگ را به فن‌های خروج دود متصل می‌کند، به دلیل وجود فشار منفی هوای خارج به داخل لوله نفوذ پیدا میکند. این امر علاوه بر خنک کردن دود که منجر به بالاتر نشان دادن راندمان احتراق توسط دستگاه‌های

اندازه‌گیری آن می‌شود، باعث می‌گردد تا به دلیل وجود هوای اضافی احساس شده توسط سنسورهای تنظیم نسبت هوا به سوخت فرد مسئول نسبت هوا به سوخت را کم کرده و این امر موجب افت شدید راندمان، ایجاد دوده در سیستم و ... می‌گردد.

حالت دیگر، بررسی مشکلات به وجود آمده بر اثر نشتی هوا در لوله‌های مربوط به فن‌های هوای ورودی به دیگ‌ها می‌باشد. که در این حالت مشکلات ایجاد شده به مراتب کمتر از نفوذ هوا به لوله‌های خروج دود از دیگ بوده و تنها در اتلاف انرژی در فن‌ها در مواردی تاثیر گذاری به نسبت هوا به سوخت خلاصه می‌گردد.

از آنجا که بوجود آمدن نشتی‌ها در سیستم اغلب نیازمند زمان طولانی می‌باشد بنابراین می‌توان تنها با بازدیدهای سالانه و با کمترین هزینه اولیه مانع از ایجاد و گسترش نشتی‌ها به خصوص در لوله‌های مربوط به دود با فشار منفی شد تا دیگ‌ها از حالت کارکرد ایدآلشان خارج نگردند و به طور قابل توجهی بتوان در هزینه نگهداری و کارکرد سیستم صرفه جویی به عمل آورد.

۷ـ۳ کاهش میزان بارگیری ماکزیمم از مشعل‌ها

با افزایش میزان بارگیری از مشعل‌ها و نزدیک کردن مشعل‌ها به حالت کارکرد با ماکزیمم تولید شعله، دمای دود نیز به طور محسوسی افزایش یافته و این امر موجب افت قابل توجه راندمان دیگ‌ها می‌گردد. علت این مسئله اغلب مربوط به صرفه جویی‌های اقتصادی در هنگام انتخاب و نصب تجهیزات دیگ‌ها می‌باشد. زیرا قیمت دیگ‌ها متناسب با سطح تبادل حرارتی آنها می‌باشد و در بسیاری از موارد برای کاهش هزینه خرید تجهیزات، دیگ‌هایی با سطح تبادل کمتر، با مشعل‌های با ظرفیت‌های بالاتر از نیاز مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این حالت بار مورد نیاز

توسط دیگ‌ها تامین می‌گردد، اما به بهای افت شدید راندمان. در واقع با زیاد کـردن شعله مشعل‌ها علاوه بر افت راندمان به دلیل بالا رفتن دمـای دود، احتمـال احتـراق ناقص در سیستم بدلیل نزدیک شدن شعله به بدنه اتاق احتراق بالاتر خواهد رفت که این مسئله همانطور که در بخش‌های پیشین نیز اشـاره گردیـد، توسـط سنسـورهای مونواکسیدکربن در دود به سادگی قابل تشخیص می‌باشد.

میزان افت راندمان در این حالت درانواع مختلف مشعل‌ها متفاوت مـی‌باشـد کـه مشعل‌های تک مرحله‌ای بیشترین میزان افت راندمان را به دلیل افزایش بـارگیری از مشعل‌ها دارا می‌باشند(در مواردی حتی تا ٪۱۰ موجب کاهش راندمان مـی‌گـردد) و مشعل‌های تنظیم شونده کمترین میزان افت. میزان افت رانـدمان در مشـعل‌هـای دو مرحله‌ای نیز بین مقدار افت در حالت تک مرحله‌ای و تنظیم شونده بوده و بسته بـه مقدار تنظیم شده بار در دو مرحله متفاوت می‌باشد.

همانطور که اشاره گردید از اولین اقدامات در جلوگیری از اتلاف انـرژی در تاسیسات دیگ، اندازه‌گیری راندمان دیگ‌ها در کلیه شرایط باری می‌باشد. پس از تعیین نمودارها و دیاگرام‌های مربوطه، اگر میزان افت راندمان در شرایط کارکرد مشعل‌ها با ماکزیمم بارگیری از آنها به طور محسوس و زیادی بیش از حالت‌های کارکرد عادی باشد، در این حالت با کم کـردن ۲۰ تـا ٤۰ درصـدی بـار مشـعل می‌توان به طور قابل توجهی از انرژی اتلافی در سیستم کاسـت. البتـه ایـن امـر مستلزم وجود تجهیزات و دیگ‌های دیگری در محـیط موتورخانـه بـرای تـامین انرژی کاسته شده می‌باشد. در صورتی که امکانات انـدازه‌گیـری دقیـق رانـدمان دیگ‌ها در کلیه شرایط باری سیستم وجود نداشته باشد، می‌توان از علایمی چون

افزایش دمای دود و یا افزایش میزان مونواکسید کربن در دود، از افت راندمان دیگ‌ها آگاه شد. البته افزایش میزان مونواکسیدکربن در برخی موارد ممکن است ناشی از عیوب مشعل‌ها نیز باشد.

این اصلاح در سیستم نیز همانند دیگر مسائل برای اجرا نیازمند بررسی اقتصادی می‌باشد. بدین ترتیب که در بدترین شرایط کارکرد دیگ (بیشترین نیاز به بار گرمایشی) باید میزان بار گرمایشی مورد نیاز و همچنین مدت زمان کارکرد در این شرایط معین گردد. پس از تعیین این دو مورد می‌توان میزان صرفه جویی انرژی با فاصله گرفتن از ماکزیمم بار را معین کرده و آنرا با هزینه کارکرد و نگهداری از تاسیسات جانبی که باید باقیمانده بار را تامین کنند، مقایسه کرد. اغلب در هنگام نصب و راه‌اندازی اولیه سیستم‌ها از اجزای اضافی و یدکی فراوانی برای شرایط کارکرد بحرانی سیستم استفاده می‌گردد، که می‌توان برای کم کردن بار و شعله مشعل مورد نظر، بار گرمایشی را بین آنها تقسیم کرد. ممیزی انرژی، صرفه جویی انرژی و جلوگیری از کارکرد اجزائی که نیازی به آنها نمی‌باشد، از جمله کارهایی است که برای جلوگیری از افت راندمان در شرایط پیک بار می‌توان انجام داد.

تا به اینجا در رابطه با اتلاف انرژی در شرایط ماکزیمم بار مشعل‌ها توضیح داده شد، اما مسئله‌ای که در اینجا بسیار مهم می‌باشد، چگونگی دور شدن از شرایط کارکرد ماکزیمم مشعل‌ها است. در این قسمت به ارائه روش‌هایی برای نیل به این هدف پرداخته می‌شود که می‌توان در تاسیسات مختلف از یک یا چند مورد از این راهکارها استفاده نمود:

- **کم کردن سایز نازل مربوط به پاشش سوخت**

یکی از ساده ترین و ارزان ترین روش‌ها در کاهش میزان شعله در مشعل‌ها در شرایط ماکزیمم بار، تعویض نازل‌های سوخت با انواع قطرهای کم تر آن می‌باشد که در این حالت جریان هوا نیز باید متناسب با نازل جدید تنظیم گردد. اغلب شرکت‌های سازنده و نصب کننده می‌توانند این عمل را به طور دقیق انجام دهند.

- **خارج کردن حد بالای کارکرد مشعل‌های دو مرحله‌ای از سیستم**

همانطور که در بخش ٤ـ٤ نیز اشاره گردید، مشعل‌های دو مرحله‌ای توان کارکرد در دو حالت باری را دارا می‌باشد. حد پایین این مشعل‌ها در ٪٦٠ بار و حد بالا در ٪٨٠ تنظیم می‌شود. مسلماً به دلیل نزدیک شدن بار مرحله دوم به بار ماکزیمم، شعله مشعل افزایش یافته و به دلیل بالا رفتن دمای دود و همچنین احتراق ناقص، راندمان مشعل‌ها در مرحله دوم از مرحله اول کمتر می‌شود.

افزایش میزان شعله مشعل‌ها و نزدیک شدن شرایط بار آنها به بار ماکزیمم اغلب در هنگام راه‌اندازی سرد سیستم صورت می‌پذیرد و اغلب در صنعت برای راه‌اندازی در حالت سرد سیستم، برای آنکه دیگ‌ها سریعتر به شرایط کارکرد نرمالشان برسند، مشعل‌های دو مرحله‌ای را در حد بالا با راندمان کمتر قرار می‌دهند. پس از رسیدن دیگ‌ها به شرایط کاری و رسیدن شرایط آب به دما و فشار تنظیم شده برای کنترلرها، مشعل‌ها شرایط کاری خود را از حد بالا به حد پایین تغییر می‌دهند و این سیکل مرتباً بین حد بالای کاری و حد پایین کاری تکرار می‌گردد و در مواقعی که بار به طور قابل توجهی کاهش پیدا کند، مشعل‌ها خاموش می‌گردد که این حالت نیز منجر به تلفات

انرژی در حالت آماده باش[1] برای دیگ‌ها می‌شود. حال با حذف حد بالای سیکل از سه حالت کارکرد مشعل‌ها و تا حدی بالا بردن درصد بار در حالت حد پایین، می‌توان در مصرف انرژی تا حد قابل قبولی صرفه جویی به عمل آورد. در شرایطی نظیر راه‌اندازی حالت سرد سیستم نیز می‌توان با استفاده از کنترلرهای زمانی و یا کنترلرهای متاثر از دمای هوای بیرون با راه‌اندازی سیستم در قبل از زمان مورد نیاز، گرمایش مطلوب را برای فضا در زمان مورد نظر فراهم آورد. در برخی از مشعل‌ها می‌توان با استفاده از حذف کننده‌ها[2] و در شرایط خاص که حالت حد پایین مشعل جوابگوی نیاز نباشد، از حد بالا برای مدت زمان محدودی بهره جست.

- **کاهش میزان شعله در شرایط ماکزیمم بار در مشعل‌های تنظیم‌شونده**

از آنجا که مشعل‌های تنظیم شونده در مقایسه با دو نوع دیگر به دلیل قابلیت تنظیم کردن شعله با بار مورد نیاز، تلفات انرژی کمتری را دارا می‌باشد، تنها موردی که می‌تواند موجب اتلاف انرژی و درنتیجه آن کاهش راندمان در این مشعل‌ها گردد، کارکرد مشعل‌ها در شرایط بار ماکزیمم نظیر راه‌اندازی در حالت سرد می‌باشد. در صورتیکه در دیگ‌ها از کنترلرهای الکترونیکی استفاده گردد، با استفاده از این کنترلرها می‌توان میزان شعله تولیدی از مشعل‌ها را کاهش داده و مانع از افت راندمان با کارکرد مشعل‌ها در شرایط ماکزیمم بار شد. در موارد دیگر نیز با تماس با شرکت سازنده و نصب کننده دیگ می‌توان راهکارهایی برای کاهش میزان تولید شعله در شرایط بار ماکزیمم به دست آورد.

1. Standby Losses
2. Override

مباحث مطرح شده در این قسمت را می‌توان به این صورت خلاصه کرد که پس از بررسی راندمان احتراق و رسیدن به این نتیجه که دیگ‌های مورد استفاده دارای سطح تبادل حرارتی کمتر از حد مورد نیاز برای تامین بار گرمایشی بوده و به همین دلیل در شرایط حداکثر بار مجبور به نزدیک کردن کارکرد مشعل‌ها به کارکرد ماکزیممشان می‌باشد. در صورتیکه با فاصله گرفتن از شرایط کاری ماکزیمم برای مشعل‌ها، بار گرمایشی مورد نظر توسط تاسیسات دیگر موجود در محیط موتورخانه قابل تامین باشد، باید با کم کردن میزان شعله از این حالت فاصله گرفت. با استفاده از روش‌های ارائه شده در این بخش به راحتی و بدون هزینه اولیه قابل توجه می‌توان به این هدف دست یافته و حتی تا ٪۵ در مصرف انرژی صرفه جویی به عمل آورد.

۷ـ٤ نصب مشعل‌هایی با بالاترین راندمان و قابلیت‌های گوناگون

همواره هزینه تهیه مشعل‌ها برای دیگ‌ها به مراتب کمتر از هزینه سوخت مصرفی است که در کل زمان کاری مشعل‌ها به مصرف می‌رسد. بنابراین تهیه مشعل‌هایی با راندمان بالاتر هرچند در گرو هزینه بیشتر در فاز انتخاب و نصب تجهیزات می‌باشد، اما دارای توجیه اقتصادی معقولی است. مساله گرانتر بودن سوخت مصرفی نسبت به هزینه مشعل‌ها گاهی در سیستم‌های نصب شده و در حال کار نیز تا حدی معقول و منطقی می‌باشد که لزوم جایگزینی مشعل‌هایی با راندمان‌های پایین را با انواع با راندمان‌های بالاتر توجیه می‌کند. بطور مثال در این رابطه می‌توان به مشعل‌های با نسبت هوا به سوخت بالا و یا انواعی که نیازمند مراقبت و نگهداری فراوان و پر هزینه می‌باشند، اشاره کرد.

آماده کردن سوخت برای احتراق کامل و ترکیب مناسب سوخت و هوا از مهمترین مشخصه‌ها و ویژگی‌هایی است که در مشعل مورد انتخاب باید وجود داشته باشد. در حالت ایدآل باید مشعل‌ها قادر به احتراق کامل سوخت با هوای تئوری و بدون نیاز به هوای اضافی باشد، اما در صنعت و واقعیت این حالت محال می‌باشد. بنابراین در فاز انتخاب مشعل‌ها تا حد ممکن باید به این حالت نزدیک شد، تا با کاهش هوای اضافی مورد نیاز بتوان راندمان کاری سیستم را افزایش داد. علاوه بر این مسئله که مهمترین و اصلی ترین مسئله در فاز انتخاب می‌باشد، مسائل دیگری نیز مانند میزان آلاینده‌های هوا و هزینه موجود برای تهیه تجهیزات باید مورد توجه قرار گیرد. بنابراین با توجه به نیازها و شرایط موجود باید مناسبترین مشعل انتخاب گردد.

مسائلی که در هنگام انتخاب مشعل‌ها باید مورد توجه قرار گیرد را می‌توان به صورت زیر طبقه بندی کرد:

- **چگونگی سوزاندن سوخت**

یکی از مسائل مهم در تعیین و انتخاب مشعل‌ها، چگونگی سوزاندن سوخت می‌باشد بدین معنی که چه میزان از سوخت وارد شده به سیستم در واکنش احتراقی شرکت کرده و تولید انرژی می‌نماید. امروزه اغلب مشعل‌های عرضه شده قابلیت سوزاندن بیش از ٪۹۹ از سوخت ورودی را دارا می‌باشد. در صورت بروز احتراق ناقص که در اثر عدم هماهنگی مشعل با دیگ، ایراد در اجزاء مشعل و تنظیم نبودن نسبت هوا به سوخت ایجاد می‌گردد، این درصد کاهش می‌یابد. بنابراین باید مانع از بروز احتراق ناقص در سیستم شد.

- **میزان هوای اضافی مورد نیاز**

در انواع جدید مشعل‌ها بیشتر تفاوت‌ها در این قسمت خلاصه می‌گردد. زیرا هوای اضافی بیش از حد موجب جذب گرما و کاهش دمای محفظه احتراق،کاهش انتقال حرارت و افزایش قدرت مورد نیاز برای فن‌ها می‌گردد که این عوامل موجب افت راندمان کاری مشعل‌ها می‌شود. روش‌های مختلف برای ترکیب کامل و مناسب سوخت و هوا نظیر اتمیزه کردن سوخت‌های مایع از جمله موارد قابل ذکر برای کاهش میزان هوای اضافی مورد نیاز برای احتراق کامل سوخت می‌باشد.

نکته مهمی که در رابطه با کم کردن میزان هوای اضافی باید مورد توجه قرار گیرد آن است که در اثر کم شدن میزان هوای اضافی پایداری شعله کم نگردد. زیرا در این حالت مشکلات متفاوت دیگری در مشعل‌ها ایجاد خواهد شد.

- **شکل شعله**[1]

شکل شعله باید متناسب با محفظه احتراق بوده و همچنین قادر به انتقال انرژی دود از طریق سطوح تبادل حرارتی و با راندمان بالا باشد. شکل نامناسب شعله علاوه بر تبدیل احتراق سوخت به احتراق ناقص اغلب باعث صدمه به دیگ نیز می‌گردد. اغلب مشعل‌هایی که امروزه عرضه می‌گردد قابلیت تنظیم شکل شعله را نیز دارا می‌باشد.

- **عایق بندی اتاقک احتراق**

هنگامی که از سوخت‌های مایع استفاده می‌گردد و برای ترکیب بهتر آنها با هوا آنها را اتمیزه می‌کنند، لازم است که محفظه احتراق از دمای لازم برخودار بوده تا

1. Flame pattern

باعث تبخیر ذرات سوخت و ترکیب آنها با هوای موجود گردد. برای نیل به این هدف، در برخی از دیگ‌ها شعله از کلگی یا همان ابتدای دیگ آغاز می‌گردد و در برخی دیگر از عایق کاری‌های مناسب برای اتاقک احتراق استفاده می‌شود. در اغلب مدل‌های امروزی از حالت اول استفاده شده که دیگر نیازی به عایق بندی اتاقک احتراق نمی‌باشد.

- **تلفات انرژی در حالت آماده باش**

اغلب اتلاف انرژی در حالت آماده باش، در هنگام خاموش بودن مشعل‌ها ایجاد می‌گردد. به همین جهت مشعل‌های تنظیم شونده، نسبت به دو نوع دیگر تلفات انرژی کمتری در حالت آماده باش دارند. نصب دمپرهایی در مسیر دود و در پوششهای هوایی، از جمله راهکارهایی است که در دیگ‌ها برای کاهش اینگونه اتلافات انرژی به کار گرفته می‌شود.

- **نسبت توان‌های خروجی**

این پارامتر به صورت نسبت ماکزیمم توان خروجی به مینیمم توان خروجی تعریف می‌شود. در حقیقت افزایش مقدار این نسبت بیانگر کاهش میزان اتلاف انرژی در حالت آماده باش با کارکرد مشعل‌ها در بازه پیوسته تر و گسترده تر بار می‌باشد که درنتیجه آن تنش‌های حرارتی ناشی از شروع و پایان شرایط کاری نیز دیگر از سیستم حذف می‌گردد. این نسبت تنها در مشعل‌های تنظیم شونده و دو مرحله‌ای قابل محاسبه بوده که همانطور که قبلاً نیز اشاره گردید، نسبت توان‌های خروجی در مشعل‌های تنظیم شونده بیشتر از مشعل‌های دو مرحله‌ای خواهد بود و بعلاوه تنش‌های حرارتی نیز در آنها کمتر از انواع دو مرحله‌ای می‌باشد. زیرا در

مشعل‌های دو مرحله‌ای به دلیل تغییر ناگهانی در شعله بروز تنش‌های حرارتی بیشتر خواهد بود. گرچه با استفاده از انواع مشعل‌های تنظیم شونده می‌توان تا حد بسیار زیادی از انرژی هدر رفته در حالت آماده باش سیستم جلوگیری به عمل آورد، اما از جمله مضرات این مشعل‌ها تنظیم مشکلتر نسبت هوا به سوخت، در شرایط باری مختلف نسبت به مشعل‌های تک مرحله‌ای و با یک شرایط مشخص بار می‌باشد. البته با استفاده از کنترلرهای اتوماتیک تنظیم نسبت هوا به سوخت، این مشکل هم به سادگی حل شده‌است.

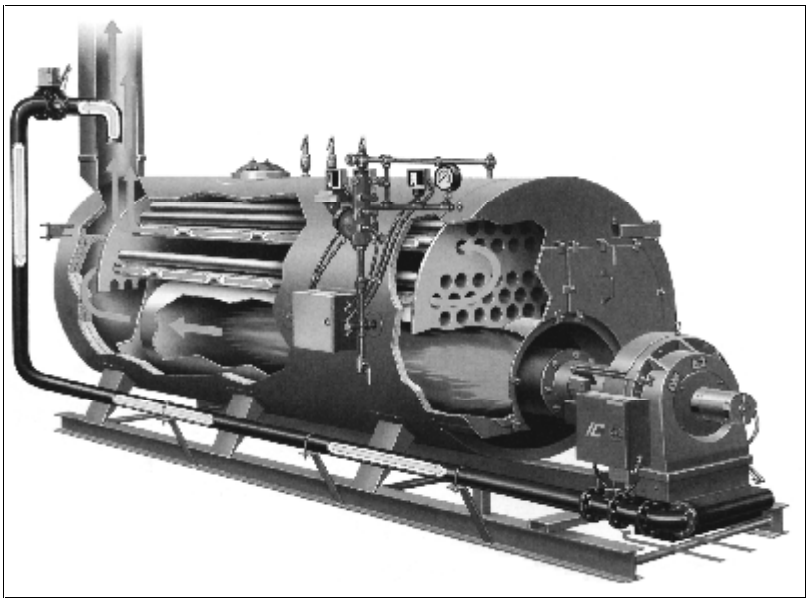
- **انرژی مورد نیاز برای تجهیزات جانبی**

انرژی لازم برای پمپ‌های سوخت در مشعل‌های نفت سوز، انرژی مورد نیاز برای فن‌ها و انرژی لازم برای کمپرسورهایی که با تولید هوای فشرده، سوخت را اتمیزه می‌کنند همگی مواردی چند از انرژی‌های مصرفی توسط تجهیزات جانبی بوده که در هنگام انتخاب نوع مشعل و سوخت آن باید به دقت مورد توجه قرار گیرد، تنها مشعل‌هایی که برای کارکردشان نیاز به انرژی چندانی جهت تجهیزات جانبی ندارند مشعل‌های گاز سوز اتمسفریک می‌باشند.

- **میزان آلاینده‌ها**

امروزه به خصوص در کشورهای صنعتی و جهان اول، شرایط ویژه‌ای برای کاهش آلاینده‌های صنعتی در نظر گرفته شده‌است. جلوگیری از انتشار اکسیدهای نیتروژن (ناکس) که اغلب در دماهای بالای محفظه احتراق و در اثر ترکیب اکسیژن و نیتروژن به وجود می‌آید، در این میان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. بنابراین در چنین شرایطی در نظر گرفتن شرایط محیط زیست گاهی، از راندمان مشعل‌ها نیز در فاز

انتخاب مهمتر می‌باشد. اغلب برای کاهش دمای محفظه احتـراق، کـه منجـر بـه کـاهش میزان تولید آلاینده‌ها می‌گردد، از روش‌هـای مختلفـی اسـتفاده مـی‌شـود. از جملـه ایـن روش‌ها می‌توان به انجام بخشی از احتراق در محیطی با اکسیژن کم، باز چرخش بخشی از دود و ترکیب آن با هوای تازه بـرای انجـام احتـراق و در مـواردی اسـتفاده از هـوای اضافی بیش از حد مورد نیاز برای احتراق کامل اشاره کـرد. البتـه در ایـن مـوارد بـدلیل جذب گرمای محفظه احتراق توسط هوای اضافی و کاهش میزان آلاینـده‌هـای تولیـدی، راندمان به طور بسیار محسوسی افت پیـدا خواهـد کـرد. در شـکل ۷-۱ چگـونگی بـاز چرخش بخشی از دود و ترکیب آن با هوای تازه برای احتراق نشان داده شده‌اسـت، کـه با توجه به آن می‌توان از نحوه ترکیب این دو گاز آگاه شد.



شکل ۷ـ۱ چگونگی بازچرخش گاز دود در دیگی با مشعل نفت سوز تنظیم شونده و با اتمیزاسیون تحت فشار سوخت

- **سادگی در نگهداری و میزان مراقبت‌های دوره‌ای**

یکی از مهمترین عوامل در کارکرد مطلوب تاسیسات موتورخانه، نگهداری و مراقبت دوره‌ای و منظم از آنها می‌باشد. بنابراین در فاز انتخاب باید به این نکته توجه داشت که از مشعل‌هایی استفاده شود که تا حد امکان نیاز به مراقبت و نگهداری کمتری داشته باشد. در ضمن، این رسیدگی‌های دوره‌ای نیز به آسانی قابل انجام بوده و کلیه اجزا و قطعات مشعل به سهولت در دسترس باشد. مشعل‌های گاز سوز کمترین میزان نیاز به نگهداری و مراقبت‌های دوره‌ای را دارا می‌باشد.

- **قابلیت کارکرد با سوخت‌های مختلف**

همانطور که در بخش ٤ـ۲ نیز اشاره گردید، یکی از اصلی ترین و اساسی ترین قابلیت‌هایی که در رابطه با مشعل‌ها باید درنظر گرفته شود، قابلیت کارکرد آنها با سوخت‌های مختلف می‌باشد. وجود این قابلیت در مشعل‌ها، این امکان را فراهم می‌سازد تا با توجه به تغییرات قیمت سوخت و با تعویض مناسب نوع سوخت، تا حد زیادی در هزینه لازم برای تامین سوخت صرفه جویی به عمل آید. حتی این قابلیت، این امکان را نیز فراهم می‌آورد تا در صورت کمبود یکی از انواع سوخت‌های مصرفی توسط مشعل، بتوان با سوخت دیگر مانع از متوقف شدن کار مشعل‌ها شد. چگونگی تعویض و زمان آن به طور کامل در بخش ٤ـ۲ توضیح داده شده‌است.

- **هزینه اولیه مشعل‌ها**

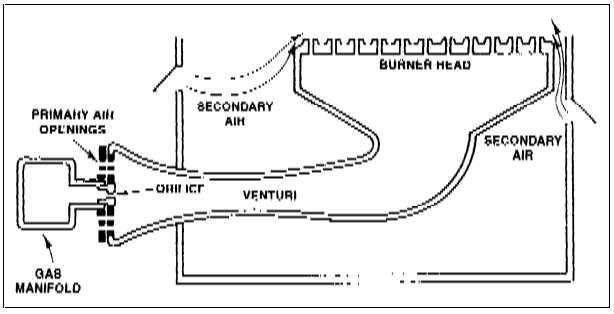
همواره در فاز انتخاب مشعل‌ها باید به این نکته توجه داشت که میزان هزینه لازم برای تامین سوخت مشعل‌ها به مراتب از هزینه اولیه جهت تهیه مشعل‌ها بیشتر می‌باشد. بنابراین با در نظر گرفتن راندمان و نکات فوق‌الذکر، می‌توان با هزینه اولیه

بیشتر و داشتن قابلیت‌های بالاتر به طور محسوسی در هزینه سوخت مصرفی مشعل صرفه‌جویی به عمل آورد.

حال با آشنایی کامل نسبت به قابلیت‌های مورد نیاز برای مشعل‌ها باید بتوان مناسب ترین و بهترین مشعل ممکن را برای تاسیسات موتورخانه انتخاب نمود. برای رسیدن به این هدف، آشنایی با انواع مشعل‌ها اولین گام برای انتخابی بهینه و مطلوب می‌باشد که در ادامه به این مطلب پرداخته شده‌است.[5]

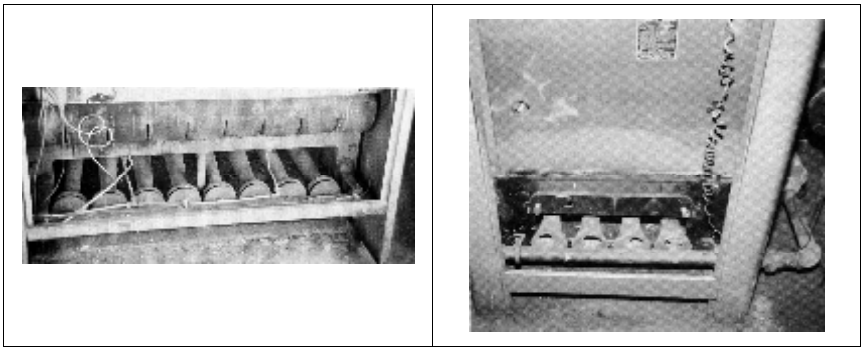
- **مشعل‌های گاز سوز اتمسفریک**

مشعل‌هایی ارزان و با اتلاف انرژی بالا در حالت آماده باش بوده که در فشار اتمسفریک کار می‌کند. در این مشعل‌ها هوا در دو مرحله وارد سیستم می‌گردد. هوای اولیه در ونتوری با سوخت ترکیب شده و این مخلوط از پیش آمیخته شده سوخت و هوا از طریق اوریفیس‌هایی که به محفظه احتراق راه پیدا می‌کند، به آنجا رفته و در آنجا محترق می‌گردد. در این زمان هوای ثانویه با مخلوط از پیش آمیخته شده و محترق شده ترکیب می‌گردد تا احتراق به حالت ایدآل خود که همان احتراق کامل می‌باشد، نزدیک گردد. برای کنترل میزان هوای اولیه از دریچه‌های هوایی در ورودی ونتوری استفاده می‌گردد. در مورد هوای ثانویه نیز میزان آن برای هر دیگ و مشعل متفاوت بوده و با توجه به این دو مورد در زمان طراحی مقدار آن معین می‌گردد. البته از آنجا که اغلب ورودی‌های هوای ثانویه بزرگ می‌باشد این امر کنترل دقیق میزان هوای ثانویه، با توجه به تغییرات بار، را غیر ممکن می‌سازد. چگونگی کارکرد مشعل‌های گاز سوز اتمسفریک در شکل ۲ـ۷ نشان داده شده‌است.



شکل۷ـ۲ نحوه چرخش گاز دود و هوا در مشعل‌های گازسوز اتمسفریک

با توجه به آنچه بیان شده می‌توان نتیجه گرفت که این مشعل‌ها دارای دو ضعف اصلی و عمده می‌باشد که این عوامل موجب پایین بودن چشمگیر راندمان اینگونه مشعل‌ها نسبت به انواع دیگر می‌گردد. اولین ضعف این مشعل‌ها نیاز به مقدار زیاد هوای اضافی برای احتراق کامل سوخت می‌باشد که این عامل همانطور که در بخش‌های پیشین نیز به آن اشاره گردید، موجب افت چشمگیر راندمان احتراق می‌گردد. مشکل دیگر مشعل‌های گاز سوز اتمسفریک تلفات زیاد اینگونه مشعل‌ها در حالت آماده باش می‌باشد، که این اشکال نیز به دلیل باز بودن محفظه احتراق و در تماس بودن این محفظه با هوای بیرون ایجاد می‌گردد. نمونه‌ای از اینگونه مشعل‌ها در شکل ۷-۳ نمایش داده شده‌است.

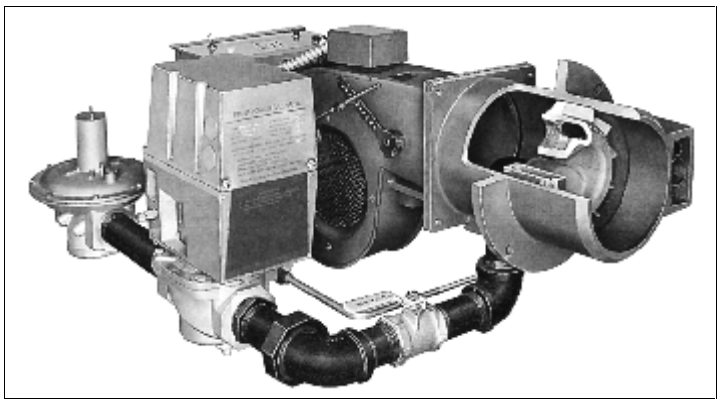


شکل ۷ـ۳ نمونه‌هایی از مشعل‌های گازسوز اتمسفریک

این مشعل‌ها مانند مشعل‌های یک مرحله‌ای قابلیت هماهنگی با بار مورد نیاز را نداشته و تنها در حالت خاموش و روشن قادر به کار می‌باشد. خروج دود نیز در این مشعل‌ها برخلاف انواع دیگر که به صورت اجباری و اغلب با سرعت‌های بالا و به طور افقی انجام می‌گیرد، به دلیل کارکرد آنها در فشار اتمسفریک، به صورت عمودی و با سرعت بسیار کم انجام می‌شود. برای کاهش میزان تلفات انرژی در حالت آماده باش سیستم، می‌توان از دمپرهای هوایی در مسیر دود استفاده کرد تا بدین طریق بتوان از میزان نفوذ هوا و اتلاف انرژی در این مشعل‌ها کاست. البته از آن جا که علت اصلی استفاده از اینگونه مشعل‌ها قیمت بسیار پایین آنها می‌باشد در هنگام ساخت، این دمپرها بر روی مشعل‌ها نصب نشده و باید در صورت نیاز این دمپرهای هوایی به طور جداگانه توسط فرد مسئول تأسیسات در مسیر خروج دود نصب گردد.

- **مشعل‌های گازسوز یک مرحله‌ای**

این مشعل‌ها از یک یا چند اوریفیس برای عبور سوخت تشکیل شده‌اند. هوا نیز از طریق فن‌های ورودی هوا تأمین شده و با دارا بودن سرعت زیاد به طور مطلوبی با گاز ترکیب می‌گردد. علاوه بر این مزیت، استفاده از فن‌ها برای ورود هوای تازه، امکان کنترل بیشتر بر روی میزان هوای ورودی را نیز نسبت به مشعل‌های اتمسفریک فراهم می‌آورد. اغلب اینگونه مشعل‌ها دارای دمپرهای هوایی نیز می‌باشد تا میزان اتلاف انرژی را در حالت آماده باش سیستم کاهش دهد. نمونه‌ای از این مشعل‌ها در شکل ۷ـ٤ نشان داده شده‌است.

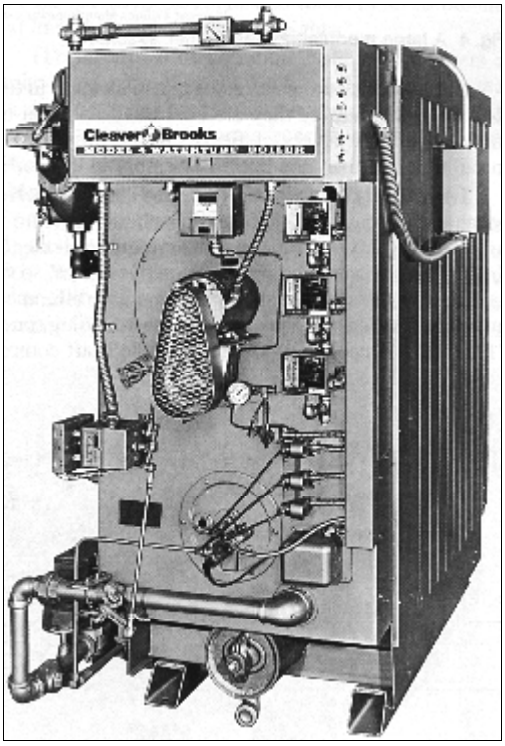


شکل ۷ـ٤ مشعل‌های گازسوز یک مرحله‌ای

- **مشعل‌های گازسوز چند مرحله‌ای**

تفاوت اینگونه مشعل‌ها با دو نوع قبلی آنست که در این مشعل‌ها می‌توان با توجه به بار مورد نیاز، میزان شعله و در واقع بار مشعل را در دو یا چند حالت تنظیم نمود. این قابلیت در مشعل‌های چند مرحله‌ای به دو صورت ایجاد می‌گردد.

در روش اول با استفاده از دو یا سه نازل مختلف برای سوخت و با استفاده از شیر سولونوئیدی می‌توان هر یک از آنها را کنترل کرد. تنظیم نسبت هوا به سوخت برای هر یک از این نازل‌ها نیز با تغییر در سرعت چرخش فن‌های مربوط به ورود هوا و یا تنظیم دمپرهای موجود در مسیر هوای ورودی انجام می‌گیرد. با استفاده از این روش می‌توان تا حد زیادی راندمان احتراق دیگ‌ها را در شرایط مختلف باری افزایش داد. شکل ۷ـ۵ نمونه‌ای از یک مشعل سه مرحله‌ای را نشان می‌دهد که در آن با استفاده از سه شیر سولونوئیدی و ترموستات‌هایی که در سمت راست آن مشاهده می‌گردد، می‌توان نازل‌های سوخت در داخل آنرا کنترل نمود.



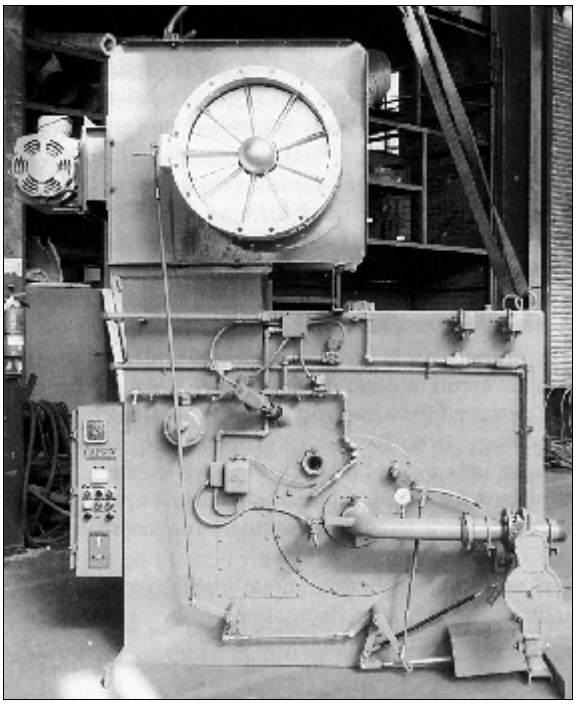
شکل ۷ـ۵ نمونه‌ای از یک مشعل سه مرحله‌ای که با روش اول تنظیم می‌گردد

نوع دیگر مشعل‌های چند مرحله‌ای تنها دارای یک نازل برای تأمین سوخت مورد نیاز برای احتراق بوده و با تغییر در شیر تأمین سوخت و تنظیم هوای مناسب برای آنها می‌توان مشعل را در حد بالا و پایین کاری خود قرار داد.

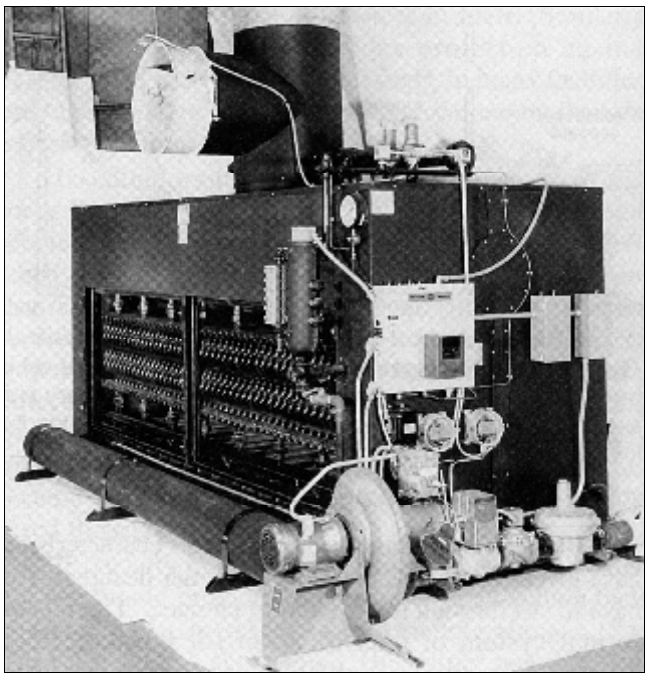
- **مشعل‌های گاز سوز تنظیم شونده**

در این مشعل‌ها از مجموعه‌ای از انواع اوریفیس در محفظه دیفیوزر استفاده گردیده است و با استفاده از شیرهای عبور گاز برای کنترل میزان سوخت و همچنین دمپرهای هوایی برای کنترل میزان هوای ورودی می‌توان نسبت هوا به سوخت را در

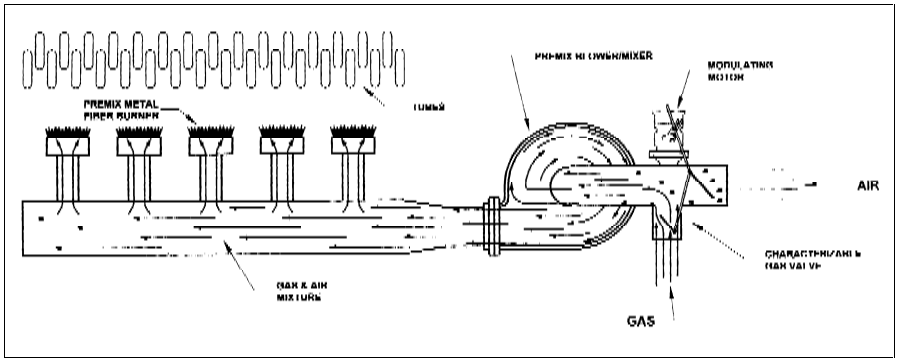
کلیه شرایط بار نزدیک بـه حالـت ایـدآل تنظـیم نمـود. در ایـن دیـگ‌هـا اغلـب در ظرفیت‌های پایین، فن‌های هوایی نزدیک به مشعل‌ها و در ظرفیت‌های بالاتر به طور جداگانه و با کانال کشی به مشعل‌ها متصل می‌شود. در شکل ۷-٦ نمونه‌ای از مشعل تنظیم شونده گاز سوز با فن هوایی آن نشان داده شده‌است. همچنین در شکل ۷ـ۷ و ۷ـ۸ نیز نمونه‌های دیگری از مشعل‌های گاز سوز تنظـیم شـونده کـه از مقبولیـت و تولید کمتری در صنعت برخوردار می‌باشد، مشاهده می‌گردد.



شکل ۷ـ٦ مشعل تنظیم‌شونده گاز سوز با تجهیزات جانبی نظیر فن هوایی



شکل ۷ـ۷ نمونه‌هایی از انواع غیر متداول تر مشعل‌های تنظیم شونده گاز سوز



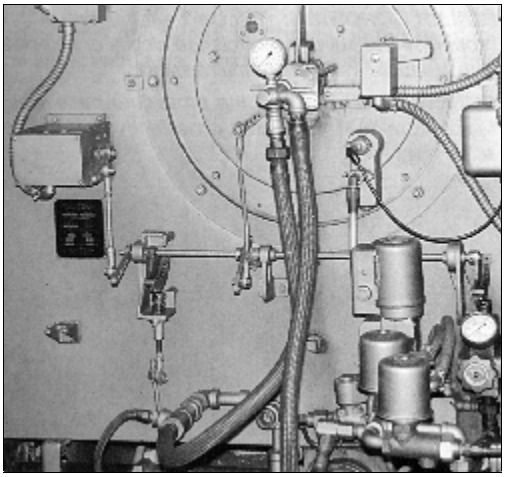
شکل۷ـ۸ نمایش چگونگی کارکرد مشعل‌هایی مانند مشعل‌های تنظیم شونده گاز سوزی که در شکل ۷ـ۷ نشان داده شد

اصلی‌ترین مسئله در رابطه با مشعل‌های تنظیم شونده تنظیم نسبت هوا به سوخت در کلیه شرایط بار می‌باشد. اغلب دیگ‌های با ظرفیت‌های پایین تنها با استفاده از واسطه‌های مکانیکی بین شیر سوخت و دمپرهای هوایی قادر به ثابت نگه داشتن نسبت هوا به سوخت در کلیه شرایط بار می‌باشد.

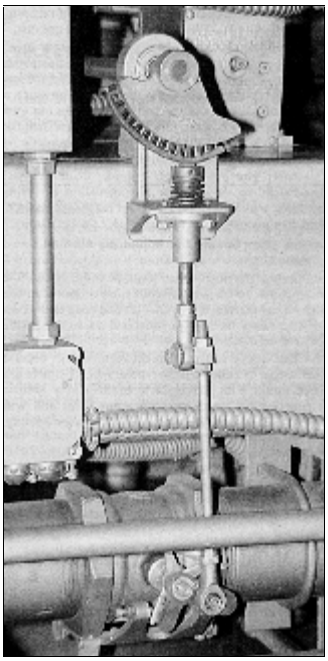
علت عدم استفاده از این واسطه‌های مکانیکی در ظرفیت‌های بالا آنست که تغییرات جریان سوخت و هوا با تغییرات بار در ظرفیت‌های بالا به طور خطی تغییر نکرده و این امر موجب خطای قابل توجهی خواهد شد. روشی که در این حالت برای تنظیم نسبت هوا به سوخت در مشعل‌های گازسوز تنظیم شونده مورد استفاده قرار می‌گیرد، استفاده از اجزای مکانیکی تنظیم شونده و هماهنگ با میزان بار می‌باشد، که باید این اجزای مکانیکی تنظیم شونده در کلیه شرایط باری مختلف کارکرد مشعل‌ها تنظیم گشته و پس از آن قادر به حفظ این نسبت در کلیه شرایط بار و در کارکرد طولانی خود باشد.

نمونه‌ای از این اجزای مکانیکی در شکل ۷ـ۹ و ۷ـ۱۰ نشان داده شده‌است. در شکل ۷ـ۹ این واسطه مکانیکی به طور افقی قرار داشته و توسط موتوری که در سمت چپ و بالای آن قرار گرفته، حرکت داده می‌شود و در شکل ۷-۱۰ نیز این واسطه تنظیم شونده که به طور عمودی در سیستم قرار داده شده، به وضوح قابل تشخیص می‌باشد.

در هنگام استفاده از این واسطه‌ها و در شرایطی که مشعل‌ها در ماکزیمم بار قرار دارد، می‌توان با بهره گیری از دستگاه‌هایی مانند اکسیژن تریم، میزان هوای اضافی در کلیه شرایط بار را بدست آورده و نسبت هوا به سوخت را ثابت نگه داشت.



شکل ۷ـ۹ اجزای مکانیکی افقی واسطه که به تنظیم نسبت هوا به سوخت می‌پردازد



شکل۷ـ۱۰ اجزای مکانیکی عمودی واسطه که به تنظیم نسبت هوا به سوخت می‌پردازد

- **مشعل‌های نفت‌سوز یک مرحله‌ای با اتمیزاسیون تحت فشار سوخت**

کلیه مشعل‌های نفت سوز تحت فشار برای ترکیب بهتر سوخت و هوا که منجر به کاهش میزان هوای اضافی برای احتراق کامل سوخت میگردد، سوخت را با فشار بالا از اوریفیس کوچکی عبورمی دهد. با تغییر ناگهانی فشار سوخت در هنگام عبور از اوریفیس و ایجاد نیروهای برشی در سوخت، سوخت مایع به صورت ذرات بسیار ریزی اتمیزه می‌شود که این عامل موجب ترکیب مناسبتر و بهتر سوخت و هوا می‌گردد. در اینگونه مشعل‌ها از نفت سبک استفاده می‌شود و همچنین همانند مشعل‌های گاز سوز تک مرحله‌ای قابلیت تنظیم و هماهنگی با بار را دارا نمی‌باشد.

- **مشعل‌های نفت سوز چند مرحله‌ای با اتمیزاسیون تحت فشار سوخت**

این نوع مشعل‌ها دارای دو حد بالا و پایین احتراقی می‌باشد و تبدیل حالت کارکرد این مشعل‌ها از حد بالا به حد پایین با کم کردن فشار سوخت و بستن نسبی دمپرهای هوایی انجام می‌پذیرد. این مشعل‌ها در دیگ‌های با ظرفیت پایین و متوسط قابل نصب بوده و قابلیت کار با نفت‌هایی با گریدهای مختلف را دارا می‌باشد. نسبت ماکزیمم توان خروجی به مینیمم توان خروجی در این مشعل‌ها بین ۱ تا ۱/٦ می‌باشد که مقدار نسبتاً کمی می‌باشد و علت آن نیز آنست که نازل‌های ساده مورد استفاده در این مشعل‌ها در تغییرات شدید و زیاد فشار قادر به اتمیزه کردن کامل و دقیق سوخت نمی‌باشد.

- **مشعل‌های نفت‌سوز تنظیم شونده با اتمیزاسیون تحت فشار سوخت**

این مشعل‌ها توانایی تنظیم کردن شعله را با بار مورد نیاز دارا می‌باشد و این عمل با تغییر در فشار نفت مورد استفاده و یا با بازچرخش سوخت انجام می‌گیرد. نسبت ماکزیمم توان خروجی به مینیمم توان خروجی در این مشعل‌ها نیز در حدود ٤

می‌باشد. نحوه تنظیم نسبت هوا به سوخت نیز در این مشعل‌ها همانند انواع مشعل‌های گازسوز تنظیم شونده می‌باشد که در رابطه با آن توضیحات کافی ارائه گردید. نمونه‌ای از این مشعل‌ها در شکل ۷-۱ نشان داده شد.

بازچرخش سوخت جهت تنظیم بار در این گونه مشعل‌ها به صورت زیر انجام می‌گیرد. سوخت خروجی از نازل که دارای فشار زیادی می‌باشد در دو مسیر می‌تواند حرکت کند، یکی خروج از اوریفیس و دیگری برگشت به خط بازچرخش سوخت. حرکت سوخت در خط و یا مسیر بازچرخش سوخت باعث می‌گردد تا سوختی که در واکنش احتراق شرکت نکرده به منبع ذخیره سوخت بازگردد. توان خروجی از مشعل نیز با وجود شیری که در مسیر بازچرخش سوخت قرار داده شده تنظیم می‌گردد.

- **مشعل‌های نفت سوز با اتمیزاسیون هوایی سوخت**

در سه حالت مشعل‌های نفت سوز تحت فشار که در قسمت قبل توضیح داده شد، اتمیزه شدن سوخت در اثر تغییر فشار ناشی از عبور سوخت از اوریفیس را انجام می‌دهد. اما در اینگونه مشعل‌ها با برخورد هوا با فشار بسیار زیاد به جریان سوخت، می‌توان سوخت را به صورت ذرات بسیار ریزی تبدیل کرد که به خوبی قابلیت ترکیب با هوا را داشته باشد. در این نوع مشعل‌ها نیز می‌توان از نفت‌هایی با گریدهای مختلف استفاده نمود و همچنین تنظیم شعله با بار نیز در اینگونه مشعل‌ها توسط باز چرخش سوخت انجام می‌گیرد. با این مشعل‌ها می‌توان به نسبت‌های ۳ تا ۷ برای نسبت ماکزیمم توان خروجی به مینیمم توان خروجی دست یافت. برای تأمین هوا با فشار بسیار زیاد نیاز به کمپرسورهای بزرگ و قدرتمند هوایی و همچنین مخزن بزرگی جهت ذخیره هوا می‌باشد، که در فاز انتخاب تجهیزات و

برآورد قیمت، باید این مسئله را نیز در نظر گرفت. اغلب انرژی مصرفی توسط این کمپرسور در حدود ٪۱ از انرژی مصرفی توسط دیگ‌ها می‌باشد.

- **مشعل‌های نفت سوز با اتمیزاسیون سوخت توسط بخار**

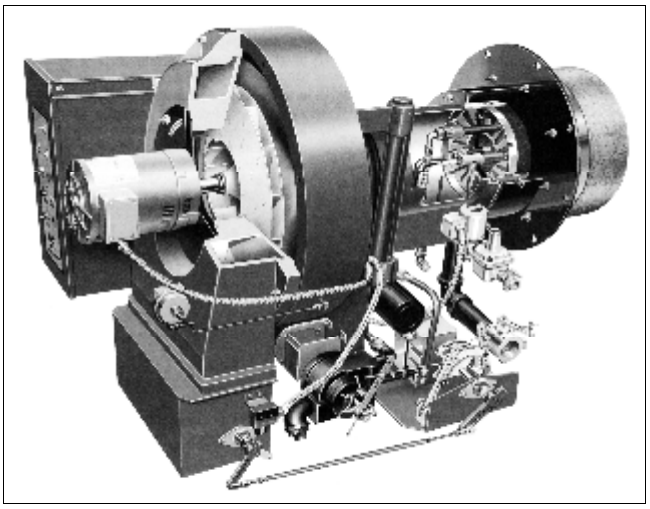
تفاوت این مشعل‌ها با نوع قبل تنها در استفاده از بخار به جای هوای فشرده می‌باشد. دمای بالای بخار امکان شکست و تبخیر سوخت را در اینگونه مشعل‌ها فراهم آورده است. در این مشعل‌ها از نفت‌های سنگین استفاده شده و می‌توان به نسبت‌های ۸ نیز برای نسبت ماکزیمم توان خروجی به مینیمم توان خروجی دست یافت. برای تأمین بخار در این حالت می‌توان از انرژی خروجی دیگ‌ها استفاده نمود، میزان انرژی لازم گرفته شده از دیگ‌ها برای تأمین بخار در حدود ٪۱ از توان خروجی دیگ‌ها می‌باشد.

- **مشعل‌های نفت سوز با اتمیزاسیون سوخت توسط حرکت دورانی**

یکی از انواع قدیمی تر مشعل‌ها می‌باشد که در آن برای اتمیزه کردن سوخت از دو عامل حرکت دورانی و جریان هوایی استفاده می‌شد. به این ترتیب که سوخت در داخل سیلندر متخلخل و دورانی قرار داده می‌شود و در اثر حرکت دورانی و سریع سیلندر سوخت به جدار خارجی سیلندر هدایت می‌گردد. در خارج سیلندر جریان هوایی وجود دارد که با عبور این جریان هوایی از روی جداره بیرونی سیلندر موجب اتمیزه شدن سوخت می‌گردد. در این مشعل‌ها نسبت ماکزیمم توان خروجی به مینیمم آن نهایتاً به ٤ می‌رسید و سوخت مورد استفاده در اینگونه مشعل‌ها نیز نفت سفید بود. به دلیل نیاز به مراقبت و نگهداری پرهزینه و فراوان و نداشتن توجیه اقتصادی مناسب، این مشعل‌ها در سال ۱۹۷۰ از تولید انبوه و صنعتی خارج شد.

- **مشعل‌های دوسوختی**

این مشعل‌ها در واقع از دو مشعل جداگانه برای هر یک از سوخت‌ها بهره می‌گیرد که از فن‌های تخلیه دود و تأمین هوای تازه به طور مشترک استفاده می‌کند. اغلب این مشعل‌های دوسوختی با گاز و نفت به عنوان دو سوخت متفاوت کار می‌کند، که در آنها نازل‌های مربوط به تأمین گاز به طور نسبی از نازل‌های مربوط به تأمین نفت بازتر می‌باشد. همان طور که در بخش ٤ـ٢ نیز توضیح داده شد در اغلب موارد تعویض به موقع سوخت می‌تواند موجب صرفه جویی قابل توجهی در انرژی مصرفی توسط مشعل‌ها گردد. نمونه‌ای از این مشعل‌ها در شکل ۷ـ۱۱ نشان داده شده‌است.



شکل ۷ـ۱۱ مشعل دو سوختی تنظیم شونده

- **مشعل‌های با سوخت زغال سنگ**

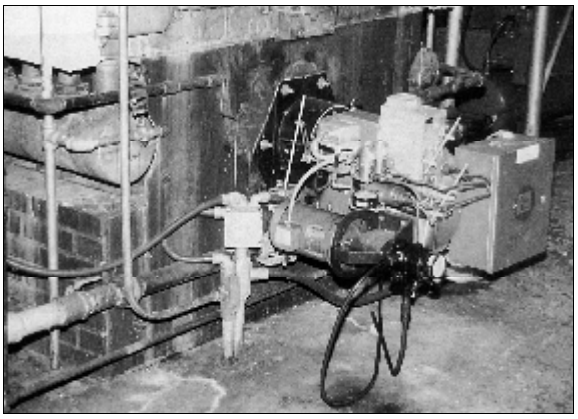
یکی از منابع مهم انرژی به خصوص در اروپا زغال سنگ می‌باشد، بنابراین استفاده از اینگونه مشعل‌ها در کشورهای اروپایی و در دیگ‌های با ظرفیت‌های

بسیار بالا دارای توجیه اقتصادی قابل قبول می‌باشد. در اینگونه مشعل‌ها ابتدا زغال سنگ در خارج از مشعل به صورت پودر تبدیل شده و سپس توسط جریان هوا به محفظه احتراق راه پیدا کرده و با احتراق خود به تولید انرژی می‌پردازد. با پودر کردن زغال سنگ می‌توان مانند مشعل‌های گازسوز و نفت سوز، به سرعت بار خروجی از مشعل را تغییر داد. مشکل اصلی در استفاده از مشعل‌های با سوخت زغال سنگ، هزینه بالای لازم جهت کارکرد، نگهداری و مراقبت‌های دوره‌ای از آنها می‌باشد.

اینک می‌توان با آشنایی کامل نسبت به قابلیت‌های مورد نیاز و انواع مختلف مشعل‌ها و بار گرمایشی مورد نیاز که باید توسط آنها تأمین گردد، مشعل مناسب برای دیگ مورد نظر را انتخاب کرد. اما نکته دیگری که باید هنگام انتخاب و نصب مشعل‌ها به آن توجه شود، محفظه احتراق (اتاقک احتراق) می‌باشد. محفظه احتراق در حقیقت ناحیه‌ای در داخل مشعل و در اطراف شعله می‌باشد که سوخت در آن ناحیه محترق می‌گردد. شرایط دمایی و فشاری در این محفظه باید به گونه‌ای باشد که مانع از برخورد شعله به جداره آن گردد. زیرا در غیر این صورت احتراق ناقص صورت گرفته و دوده تولید می‌گردد. بنابراین استفاده از محفظه‌های احتراق با حجم مناسب برای جلوگیری از احتراق ناقص در مشعل‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. علاوه بر تأمین احتراق کامل سوخت و هوا در این محفظه، اتاقک احتراق وظیفه انتقال مناسب دود با انرژی‌های بالا را به سطوح تبادل حرارتی دارا می‌باشد. بنابراین انتخاب مناسب و دقیق اتاقک احتراق در دیگ‌ها از اهمیت ویژه‌ای در رسیدن به راندمان‌های بالای احتراق برخوردار می‌باشد.

۷ـ٤ـ۱ تعویض مشعل‌ها

پس از مدتی کارکرد مشعل‌ها در سیستم، در برخی موارد تعویض آنها با انواع جدیدتر و با قابلیت‌های بالاتر دارای توجیه اقتصادی قابل قبولی می‌باشد. در شکل ۷-۱۲ نمونه‌ای از این حالت نشان داده شده‌است که در آن دیگ قدیمی از انواع جدید مشعل‌ها استفاده می‌کند. در تعویض مشعل‌ها در دیگ‌هایی که برای مدتی کار کرده اند، باید به نکات و موارد اساسی در این رابطه توجه شود، چرا که این موارد نقش مهم و اساسی در تعیین راندمان و ضریب اطمینان دیگ‌ها خواهد داشت. مسئله مهم و قابل توجه دیگر آنست که بهترین زمان برای تعویض مشعل‌ها در چه زمانی می‌باشد.



شکل ۷ـ۱۲ نصب مشعلی نو و با قابلیت‌های زیاد بر روی دیگ فولادی قدیمی با پایه آجری

با استفاده از روش‌های زیر می‌توان زمان دقیق تعویض مشعل‌ها را به دست آورد.

- **در نظر داشتن راندمان دیگ‌ها**

اغلب مشعل‌ها و دیگ‌هایی که امروزه طراحی و ساخته می‌شود از راندمان‌های بالایی بهره می‌گیرند. بنابراین هنگامی که در راندمان کاهش چشم‌گیری ایجاد شود

باید بررسی گردد که افت راندمان به دلیل دمای بالای دود بوده و یا درصد هوای اضافی بیش از حد می‌باشد. در صورتی که افت راندمان به دلیل هوای اضافی باشد، اشکال در مشعل می‌باشد و در غیر این صورت، دمای بالای دود موجب افت راندمان گردیده که در این حالت دیگر اشکال از مشعل نبوده و علت چنین حالتی کمبود سطوح تبادل حرارتی می‌باشد، که برای حل این مشکل می‌توان با استفاده از روش‌های ارائه شده در بخش ۷ـ۳ میزان ماکزیمم شعله در کارکرد مشعل‌ها را کاهش داده و یا سطوح تبادل حرارتی در دیگ‌ها را افزایش داده و یا در نهایت از دیگی با راندمان کارکرد بالاتر استفاده نمود.

- **مشاهده خاموش و روشن شدن زیاد مشعل**

حتی با بالا بودن میزان راندمان دیگ‌ها نیز در صورتی که مشعل‌ها در فواصل زمانی کوتاهی خاموش و روشن شود کارکرد دیگ‌ها از حالت ایدآل خود فاصله خواهد گرفت. مشکلاتی که باعث این کارکرد غیر ایدآل در اثر خاموش و روشن شدن مشعل می‌گردد عبارتست از، اتلاف انرژی در حالت آماده باش در سیستم و همچنین نسبت هوا به سوخت غیر ایده‌آل در ابتدای کارکرد سیستم تا رسیدن آن به شرایط کاری. علاوه بر این موارد تنش‌های حرارتی بر روی دیگ‌ها که موجب ایجاد نشتی و ترک در آنها می‌گردد، از جمله عواقب خاموش و روشن شدن مکرر مشعل‌ها می‌باشد.

با استفاده از دمپرهای هوایی مناسب می‌توان در زمان خاموشی مشعل‌ها، از تلفات سیستم در حالت آماده باش تا حد قابل قبولی کاست. انواع مشعل‌های مورد استفاده در صنعت به جز مشعل‌های گازسوز اتمسفریک دارای چنین دمپرهای هوایی می‌باشد و در صورت عدم وجود و یا قابلیت نامناسب این دمپرها می‌توان از انواع

مناسب دمپرها در این دیگ‌ها استفاده کرد. اما اگر سیکل‌های روشن و خاموش شدن مشعل‌ها در زمان‌های کوتاه انجام گیرد، حتی با وجود این دمپرها نیز همچنان تلفات انرژی در حالت آماده باش سیستم، قابل توجه می‌باشد. برای کم کردن تعداد این سیکل‌ها در زمان معین بهترین روش استفاده از مشعل‌های تنظیم شونده بوده و در مرحله بعد، استفاده از مشعل‌های دو مرحله‌ای می‌باشد، تا بتوان بار را تا حد مطلوبی با شعله مشعل‌ها تنظیم نموده و مانع از خاموش و روشن شدن زیاد این مشعل‌ها شد. البته در این مورد نیز باید قبل از تعویض مشعل‌ها ملاحظات اقتصادی انجام گیرد و بررسی و مقایسه مناسبی بین هزینه تلفات انرژی در سیکل‌ها و هزینه تهیه و نصب مشعل تنظیم شونده و یا چند مرحله‌ای انجام شود.

- **اندازه گیری راندمان دیگ‌ها پس از نصب مشعل جدید بر روی سیستم**

در این روش باید ابتدا نسبت هوا به سوخت را در مشعل در حال کار بر روی سیستم تنظیم کرده و راندمان را محاسبه نمود. سپس این عمل را در رابطه با مشعل نو و بر روی همان دیگ مورد آزمایش قرار داده و مقادیر اندازه‌گیری شده راندمان دیگ و میزان انرژی صرفه جویی شده در حالت دوم را نسبت به حالت اول مقایسه کرده و در جدولی ثبت نمود. با این روش می‌توان دیدگاه مفیدی نسبت به انرژی صرفه جویی شده و هزینه آن به دست آورد.

- **در نظر گرفتن انرژی لازم جهت کارکرد تجهیزات مرتبط با مشعل**

از جمله این انرژی‌ها می‌توان به انرژی لازم برای به حرکت در آوردن فن‌های ورود هوا و خروج دود و همچنین انرژی لازم برای اتمیزه کردن سوخت اشاره کرد. برای کاهش میزان انرژی مصرفی در فن‌ها می‌توان از روش‌های مختلف، نظیر

استفاده از فن‌هایی که قابلیت تنظیم سرعت چرخش خود با بار را دارا می‌باشد و یا کاهش انرژی مصرفی فن‌ها با توجه به مقدار بار به صورت دستی بهره جست. در رابطه با انرژی لازم جهت اتمیزه کردن سوخت در مشعل‌های با سوخت مایع نیز لازم به ذکر است که گرچه انرژی اتلافی در این قسمت بسیار جزیی می‌باشد، اما هر چند جزیی می‌تواند موجب بهبود راندمان کارکرد مشعل گردد.

- **در نظر گرفتن میزان نگهداری و مراقبت لازم جهت کارکرد مشعل**

یکی از هزینه‌های قابل توجه، هزینه نگهداری و سرویس‌های دوره‌ای مشعل‌ها می‌باشد. به همین جهت مشعل‌هایی که در فواصل زمانی کوتاهی نیاز به سرویس‌های دوره‌ای دارد به دلیل بالا بودن هزینه نگهداری و همچنین خارج شدن سریع سیستم از حالت کارکرد ایدآل خود، دارای توجیه اقتصادی قابل قبولی برای کارکرد بر روی دیگ‌ها نمی‌باشد. این مسئله در رابطه با مشعل‌هایی که در واحدهای مسکونی نصب می‌شود از اهمیت بیشتری برخوردار است. زیرا در این حالت میزان کنترل و رسیدگی به مشعل‌ها به مراتب از مراکز صنعتی کمتر بوده و این امر موجب افت بسیار شدید راندمان و افزایش ناگهانی هزینه‌های کاری سیستم می‌گردد.

- **هماهنگی مشعل با تجهیزات و قسمت‌های جانبی خود**

مشعل مورد استفاده در دیگ‌ها باید با تجهیزات جانبی دیگر نظیر محفظه احتراق و سطوح تبادل حرارتی هماهنگی داشته باشد. زیرا در غیر این صورت موجب بروز مشکلات متعدد دیگری می‌شود. برای پی بردن به این هماهنگی، بررسی دقیق محفظه احتراق از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد تا مشخص گردد که آیا آثاری از برخورد شعله با دیواره محفظه وجود دارد یا خیر. زیرا وجود این آثار بر روی دیواره

محفظه احتراق، گواهی است بر احتراق ناقص، تولید دوده، صدمه به قسمت‌های دیگر و تنش‌های حرارتی در بدنه.

- **بررسی فواید جانبی دیگر ناشی از تعویض مشعل‌ها**

در هنگام تعویض مشعل‌ها با انواع جدیدتر، در نظر گرفتن قابلیت‌ها و امکانات بیشتر مشعل‌های نصب شده از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. به طور مثال استفاده از مشعل‌های چند سوخته، هزینه تهیه سوخت را به مراتب کم می‌کند و بازگشت هزینه اولیه را بسیار سریع تر خواهد کرد.

در انتها لازم به ذکر است که بهینه ترین مشعل برای نصب و کارکرد در تأسیسات دیگ، تنها از طریق بررسی و مطالعه در رابطه با انواع مشعل‌ها و فواید و معایب آنها و همچنین اطمینان از هماهنکی آنها با دیگ‌هایی که بر روی آنها نصب می‌گردد، امکان پذیر می‌باشد. برای تعویض مشعل‌ها نیز همواره باید بررسی‌های لازم که به طور کامل بیان گردید، نظیر افزوده شدن قابلیت‌های ویژه و یا کاهش در هزینه نگهداری در نظر گرفته شود، تا بتوان برگشت هزینه اولیه را تسریع کرده و توجیه اقتصادی طرح را بالا برد. علاوه بر این، برای سرویس و نگهداری و مراقبت از مشعل‌های جدید نیاز به آموزش و آگاهی افراد مسئول می‌باشد تا بتوان مانع از افت راندمان کاری این مشعل‌ها شد.

۷ـ۵ تعویض موتور در مشعل‌ها و فن‌ها

یکی از عوامل اتلاف انرژی و افزایش هزینه کارکرد مشعل‌ها و فن‌ها، موتورهای بزرگ و با راندمان‌های پایین می‌باشد. در چنین شرایطی تعویض این موتورها با انواع با کیفیت تر و با راندمان بالاتر، می‌تواند موجب کاهش چشم گیر هزینه‌های جاری کارکرد مشعل‌ها و فن‌ها گردد. بدیهی است که توجه به کارکرد موتورها در بازدیدهای

دوره‌ای از اهمیت خاص برخوردار بوده و باید از کارکرد صحیح آنها اطمینان حاصل نمود و در صورت خرابی و یا پایان عمر مفید کاری، اقدام به تعویض آنها نمود.

۶ـ۷ تعویض پیلوت‌ها با انواع راه اندازهای الکتریکی

پیلوت‌ها شعله‌های کوچکی هستند که به طور پیوسته و دائم روشن می‌باشد و اغلب در راه‌اندازی مشعل‌های گازسور اتمسفریک مورد استفاده قرار می‌گیرد. گرچه میزان سوخت مصرفی برای پیلوت‌ها در مقایسه با سوخت مصرفی در حالت کاری مشعل بسیار کمتر می‌باشد، اما به دلیل پیوسته روشن بودن پیلوت‌ها، انرژی مصرفی در مدت زمان طولانی بسیار زیاد خواهد شد. انرژی تلف شده هنگامی از اهمیت بیشتری برخوردار می‌گردد که، این سیستم بر روی دیگ‌هایی باشد که جهت گرمایش محیط به کار می‌رود و برای مدت طولانی (مثل فصل گرما) مشعل‌های آنها خاموش می‌باشد، اما پیلوت‌ها به طور پیوسته به مصرف سوخت می‌پردازد. این موارد موجب تمایل بیشتر به استفاده از جرقه‌های الکتریکی برای روشن کردن مشعل‌ها گردیده است. البته در هنگامی که دیگ‌ها دارای مدت زمان کارکرد نسبتاً بالایی می‌باشد و یا شعله پیلوت برای جلوگیری از تقطیر بر روی سطوح تبادل حرارتی و یا لوله‌ها و همچنین خروج کامل دود نیاز باشد، تعویض پیلوت‌ها با انواع راه اندازهای الکتریکی به هیچ عنوان توصیه نمی‌شود. در انتها ذکر این نکته لازم است که در مواقعی که تعویض پیلوت‌ها با انواع راه اندازه‌ای الکتریکی دارای توجیه اقتصادی قابل قبولی نباشد، می‌توان پیلوت‌ها را به طور فصلی خاموش کرده و مانع از اتلاف سوخت در فصل گرما گردیده و از این طریق تا حدودی به حالت ایدآل نزدیک شد. با تعویض پیلوت‌ها با انواع راه اندازه‌ای الکتریکی می‌توان حتی تا ٪۲ نیز از سوخت مصرفی توسط مشعل‌ها کاست.

فصل هشتم

بالا بردن سطح تبادل حرارتی و
استفاده بهینه از انرژی دود

مقدمه

عمده‌ترین میزان تلفات انرژی در تأسیسات دیگ بدلیل کم بودن توانایی انتقال انرژی گرمایی دود به سیال آب گرم، داغ و یا بخار آب می‌باشد. این امر موجب اتلاف بخش قابل توجهی از انرژی گرمایی دود از طریق دودکش می‌گردد. میزان اتلاف انرژی در این حالت در هنگامی که شرایط کاری مشعل و دیگ با هم هماهنگ نباشد، به شدت افزایش می‌یابد. در این بخش به چگونگی استفاده و بهره برداری از انرژی تلف شده توسط دود، چه در داخل دیگ و یا حتی هنگامی که دود دیگ را ترک می‌کند، پرداخته می‌شود. گرچه برخی از روش‌های ارائه شده برای بیشترین استفاده از انرژی دود در این بخش مشکل و پیچیده می‌باشد ولی انجام این گام‌ها نقش بسیار مهمی برافزایش راندمان کارکرد دیگ‌ها خواهد داشت.

۸ـ۱ استفاده از مبدل‌های حرارتی در دود

ایدآل ترین حالت کارکرد دیگ‌ها آنست که دود تمام انرژی خود را به سیال ناقل منتقل کرده و با دمایی برابر دمای هوای ورودی به مشعل، از دودکش خارج گردد.

اما در صنعت، دمای دود در هنگام خروج از دیگ‌های امروزی و با بهترین شرایط بین ۳۰۰°F (۱٤۹°C) تا ٦۰۰°F (۳۱٦°C) می‌باشد که این دما در دیگ‌های قدیمی و یا در دیگ‌های با راندمان‌های کمتر به مراتب بیشتر از این مقدار خواهد بود. این مقادیر و اعداد، اهمیت نصب یک مبدل حرارتی در دود را مشخص می‌کند که در چهار زیر شاخه در همین بخش به آنها پرداخته شده‌است.

پیش از وارد شدن به بحث باید عوامل مؤثر در تعیین دمای دود معین گردد، تا با آشنایی با آنها بتوان با دید بهتری نسبت به بازه تغییرات دمای دود و همچنین افزایش تبادل حرارت بین سیال ناقل و سیال عامل اقدام نمود.

- **ظرفیت تبادل حرارتی دیگ‌ها**

دمای دود در اکثر دیگ‌های قدیمی بسیار بالا می‌باشد و این امر به دلیل سادگی و کم بودن سطوح تبادل حرارتی در آنهاست که موجب اتلاف سهم بزرگی از انرژی گرمایشی دود می‌گردد. حتی در برخی از دیگ‌های امروزی نیز برای کم کردن هزینه اولیه دیگ‌ها، مساحت سطوح تبادل حرارتی در آنها را کاهش می‌دهند و این امر نیز مانند حالت قبل موجب افزایش دمای دود در خروج از دیگ‌ها می‌شود.

- **ظرفیت مشعل‌ها**

همانطور که در بخش ۷ نیز اشاره گردید، در برخی موارد جهت تأمین بار مورد نیاز با کمترین هزینه اولیه، از دیگ‌هایی با سطوح تبادل حرارتی کم، به همراه مشعل‌هایی با ظرفیت‌های بالا استفاده می‌گردد. این عمل علاوه بر این که راندمان مشعل‌ها را به دلیل کار کردن در شرایط ماکزیمم بار به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد، موجب بالا رفتن دمای دود خروجی از دیگ‌ها نیز می‌گردد.

- **دمای آب داخل دیگ**

برای تبادل حرارتی بین دود و آب باید دمای دود از آب بیشتر باشد. مناسبترین اختلاف بین این دو دما بین ۵۰°F تا ۱۰۰°F می‌باشد. به طور مثال برای داشتن بالاترین تبادل حرارتی در دیگی که در فشار ٦۰۰psi کار می‌کند و دمای آب در آن ٤۹۰°F می‌باشد، نباید دمای دود خروجی از دیگ کمتر از ۵۵۰°F گردد. در واقع دمای آب داخل دیگ تعیین کننده مینیمم بازه تغییرات دمای دود می‌باشد.

- **جلوگیری از تقطیر دود**

از آنجاکه تقطیر دود موجب ایجاد ترکیبات مایع اسیدی می‌گردد، بنابراین برای جلوگیری از بروز این حالت در سیستم باید دمای دود در حد متعادلی بالا نگه داشته شود تا مانع از میعان ترکیبات اسیدی در دود گردد. امروزه برای جمع آوری مایع اسیدی تولید شده در اثر میعان دود نیز تدابیری اندیشیده شده‌است.

- **بخار موجود در دود**

از آنجا که اغلب سوخت‌های مورد استفاده در مشعل‌ها هیدروکربن‌ها می‌باشد، بنابراین در محصولات حاصل از احتراق، بخار آب نیز وجود خواهد داشت که این بخار دارای انرژی نهانی در حدود ۱۰۰۰ Btu/lb می‌باشد. استفاده از گرمای نهان بخار آب تنها در دمایی کمتر از دمای تقطیر آب در فشار کاری دیگ امکان پذیر می‌باشد.

بخش عمده‌ای از انرژی دود را می‌توان با عبور آن از یک مبدل حرارتی پس از خروجش از دیگ بهره برداری کرد. از آنجاکه دمای دود در خروجی این مبدل نسبت به دمای دود در خود دیگ کمتر می‌باشد، بنابراین از گرمای گرفته شده توسط

این مبدل حرارتی می‌توان برای گرم کردن آب ورودی (تغذیه) و یـا هـوای ورودی که دارای دمای بسیار کمتری می‌باشد، استفاده کرد.

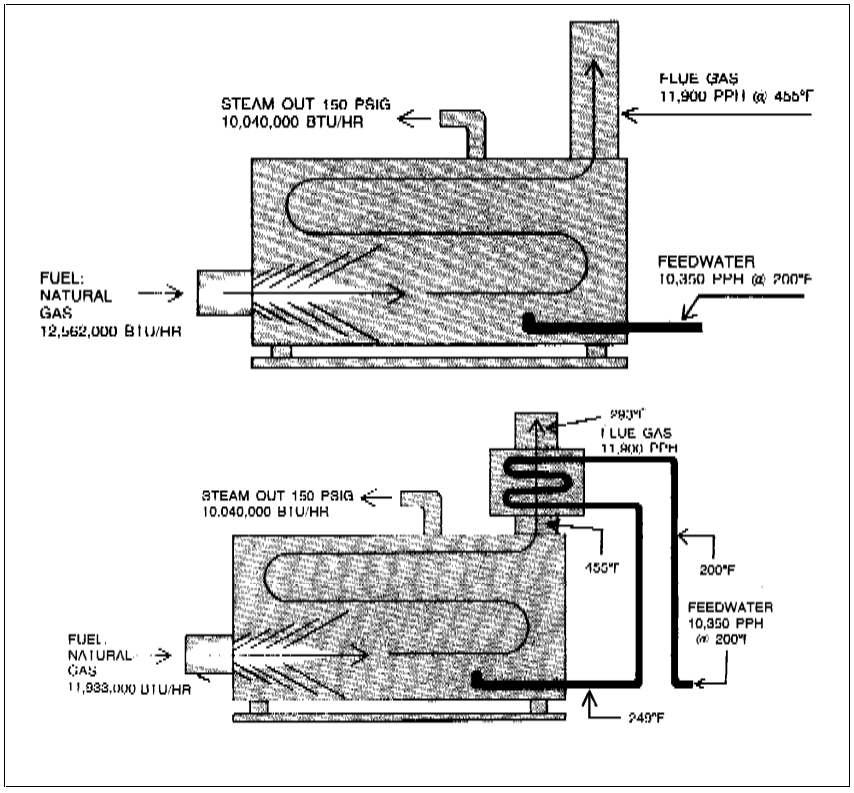
در انتها لازم است خاطر نشان شود که از آنجاکه اجرای روش‌های ارائه شـده در این بخش نسبتاً گران می‌باشد، بنابراین اجرای آنها در دیگ‌هایی بـا مشـعل‌هـای بـا راندمان پایین و ناکارا و حجم کوچک اتاقک‌های احتراق و مواردی از این قبیل کـه موجب پایین بودن راندمان کارکرد دیگ‌ها می‌باشد، توصیه نمی‌گردد. چرا که در این دیگ‌ها افزایش سطح تبادل حرارتی، برگشت هزینه اولیه کندی خواهـد داشـت کـه توجیه اقتصادی این طرح را بسیار پایین می‌آورد و به علاوه با روش‌های بسیار ارزان تر می‌توان راندمان را به میزان بیشتری در این نوع دیگ‌ها افزایش داد.

۸ـ۱ـ۱ استفاده از اکونومایزرها[1]

در این قسمت متداولترین روش برای جذب انرژی دود پس از خروج از دیـگ، که همـان اسـتفاده از اکونومایزرهـا مـی‌باشـد، توضـیح داده مـی‌شـود. در حقیقـت اکونومایزرها مبدل‌های حرارتی می‌باشد که انـرژی گرمـایی محسـوس دود پـس از خروج از دیگ را برای گرم کردن آب درون دیگ مورد استفاده قرار می‌دهد.

در شکل ۸ـ۱ نحوه نصب و چگونگی عملکرد این سیستم بر روی دیگ‌ها نشـان داده شده‌است. همانطور که مشاهده می‌شود در این مثال با نصب اکونومایزر بر روی دیگ می‌توان تا ٪۵ در انرژی مصرفی صرفه جویی نمود. در مواردی که ایـن میـزان صرفه جویی بسیار کمتر از مقدار فوق باشد، نصب اکونومایزر دارای توجیه اقتصادی نبوده و توصیه نمی‌گردد.

1. Economizer



شکل ۸ـ۱ نمونه‌ای از اکونومایزر که برای گرم کردن آب ورودی مورد استفاده قرار می‌گیرد

با توجه به این نکته که یکی از مهمترین مسائل در نصب اکونومایزرها برگشت هزینه اولیه طرح می‌باشد، متخصصین، استفاده از این سیستم را بیشتر در دو حالت زیر توصیه می‌کنند:

- **دیگ‌هایی با دما و فشار بالای کارکرد**

در این دیگ‌ها به دلیل بالا بودن فشار و دمای آب گرم، داغ و یا بخار و اختلاف دمایی زیاد بین سیال عامل و سیال ناقل، سهم زیادی از انرژی دود اتلاف می‌گردد. به

طور مثال دیگی را در نظر بگیرید که در فشار ۶۰۰psi کار می‌کند و دمای دود از دیگ برابر ۵۵۰°F می‌باشد. اگر دمای میعان دود ۲۵۰°F بوده و اختلاف دمایی ۱۰۰°F را به عنوان ضریب اطمینان در نظر بگیریم، می‌توان از گرمای محسوس دود که دارای دمای ۲۰۰°F است با استفاده از اکونومایزر برای گرم کردن آب ورودی و کاهش میزان انرژی مصرفی توسط مشعل استفاده کرد. نصب این سیستم در دیگ‌های فولادی با لوله‌های آب نسبتاً ساده بوده و با هزینه‌ای متوسط قابل انجام می‌باشد.

در حالیکه در دیگ‌های فولادی با لوله‌های آتش، افزودن اکونومایزر به دیگ امکان‌پذیر نمی‌باشد. به همین دلیل در اغلب دیگ‌های فولادی با لوله‌های آب که در فشار و دمای بالا کار می‌کنند، اکونومایزر به عنوان یکی از قسمت‌های اصلی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

- **دیگ‌هایی با سطوح تبادل حرارتی ناکافی**

در این حالت نیز به دلیل کم بودن سطح تبادل حرارتی، انتقال حرارت به طور کامل از دود به آب صورت نگرفته و این امر موجب اتلاف بخش بزرگی از انرژی دود می‌گردد. در اینگونه دیگ‌ها بالا بودن بیش از اندازه دمای دود، نشانه خوبی جهت مشخص شدن انرژی هدر رفته در سیستم می‌باشد.

البته توجه به این نکته بسیار مهم می‌باشد که بالا بودن دمای دود در خروج از دیگ شرط کافی برای نصب اکونومایزر نمی‌باشد. چرا که بالا بودن بیش از اندازه دمای دود ممکن است در اثر عوامل دیگری نظیر رسوب گرفتن در سمت آتش و سمت آب ایجاد شده باشد که در این حالت با از بین بردن رسوبات و آلودگی‌ها در این نواحی، می‌توان باعث افزایش ضریب هدایت لوله‌ها شده و میزان انتقال حرارت را افزایش داد. در رابطه

با دیگ‌های در حال کارکرد نیز که قصد افزودن اکونومایزر به آنها را داریم، توجه به عمر مفید باقی مانده دیگ بسیار مهم می‌باشد. زیرا به دلیل گران بودن اکونومایزرها، برگشت هزینه در مدت زمان طولانی امکان پذیر می‌باشد و بنابراین استفاده از این سیستم‌ها در دیگ‌هایی که به پایان عمر کاری خود نزدیک می‌گردد به هیچ عنوان دارای توجیه اقتصادی نمی‌باشد. انرژی کم به دست آمده و خطر میعان ترکیبات اسیدی دود از جمله عللی است که مانع از استفاده از اکونومایزر در دیگ‌های با دما و فشار پایین می‌گردد. دمای میعان این ترکیبات اسیدی در دود بین ۱٤۰°F تا ۲۵۰°F می‌باشد و اگر برای بالا بردن ضریب اطمینان از این حالت ۱۰۰°F فاصله بگیریم، به این نتیجه می‌رسیم که حداقل دمای دود باید بین ۲٤۰°F تا ۳۵۰°F باشد. حال دیگی که به طور مثال در فشار ۱۵psi کار می‌کند و حاوی آب با دمای ۲۵۰°F می‌باشد را در نظر می‌گیریم، از آنجا که در بهترین شرایط دمای دود در این دیگ را می‌توان تا ۳۰۰°F کاهش داد بنابراین اختلاف دما در حدود ۵۰°F می‌باشد که این میزان اختلاف دما نصب اکونومایزر را بر روی دیگ در این شرایط توجیه نمی‌کند.

اغلب اکونومایزرها ساختار ساده‌ای داشته و قسمت اصلی آنها یک مبدل حرارتی می‌باشد که آن نیز از یک یا چند لوله کویلی شکل تشکیل یافته و در داخل یک پوسته قرار داده شده‌است. آب ورودی به دیگ از داخل لوله‌ها عبور می‌کند و دود نیز در داخل پوسته و در اطراف لوله‌ها انرژی گرمایی خود را به آب منتقل می‌کند. در شکل ۸-۲ نمونه‌ای از این اکونومایزرها مشاهده می‌گردد.

انواع دیگر اکونومایزرها و با ظرفیت‌های بالاتر، از مجموعه‌ای از فین‌های مستقیم تشکیل یافته که در داخل پوسته مکعب مستطیلی شکل قرار داده شده‌است. افزایش

تعداد فین‌ها در حجم معین موجب افزایش سطح تبادل حرارتی و کمتر شدن حجم اشغال شده توسط اکونومایزر می‌گردد. البته باید فین‌ها فاصله معقول و قابل قبولی را هم از همدیگر داشته باشد تا امکان تمیز کردن و از بین بردن رسوبات از سطح این فین‌ها امکان پذیر باشد. در حالت عمومی برای نفت‌های سنگین (No.6) از ۲ فین در هر اینچ، برای نفت‌های سبک (No.2) از ۳ فین در هر اینچ و برای گاز بین ٤ تا ٦ فین در هر اینچ استفاده می‌گردد. از آنجا که بر روی سطح در تماس با دود به سرعت دوده تشکیل می‌گردد، بنابراین در اغلب اکونومایزرها از پاک کننده‌های دوده[1] استفاده می‌گردد.

شکل ۸ـ۲ نمایش اکونومایزری که بر روی دیگ کوچکی نصب شده‌است

البته برخی از شرکت‌ها این ویژگی را تنها در مواردی که سوخت جامد و یا نفت سنگین توسط مشعل مورد استفاده قرار می‌گیرد در سیستم قرار می‌دهند. اما با وجود

1. Soot blower

این تجهیزات و همچنین امکـان دسترسـی بـه سـطوح تبـادل حرارتـی بـرای تمیـز کردن‌های جزئی و ناحیه‌ای، بازدیدهای دوره‌ای و تعمیرات از نکات مهم در ساختار اکونومایزرها می‌باشد.

تا به اینجا به خطرناک بودن میعان برخی ترکیبات موجود در دود اشاره گردید،[11] اما در رابطه با نوع این ترکیبات و مشکلات ناشی از میعان آنها توضیحی ارائه نشـد. امـا بـه دلیل اهمیت این موضوع در نصب و استفاده از اکونومایزرها باید آشنایی کامل نسبت بـه این مواد به دست آورد. گوگرد و ترکیبات آن در اغلب سـوخت‌هـای مـورد اسـتفاده در مشعل‌ها به صورت ناخالصی وجود دارد. در اثر شرکت در احتراق کامل، گوگرد تبـدیل به دی اکسید گوگرد می‌گردد. علاوه بر این از آنجا که سوخت‌های مـورد اسـتفاده اکثـراً هیدروکربن‌ها می‌باشد، در اثر احتراق ایـن ترکیبـات در محصـولات احتـراق بخـار آب تولید می‌گردد. حال در اثر ترکیب بخار آب تولیـد شـده در فرآینـد احتـراق و همچنـین رطوبت موجود در هوا با دی اکسید گوگرد، اسید سولفوریک تولید می‌شود. این اسید تـا مادامی که به صورت گازی شکل وجود داشته باشد دارای خاصیت خورنـدگی نبـوده و مشکلی ایجاد نمی‌کند، اما بلافاصله پس از تقطیر شدن به سرعت موجب خورندگی فلـز می‌گردد. بنابراین باید همـواره ایـن نکتـه را مـدنظر قـرار داد کـه در هنگـام اسـتفاده از اکونومایزر، تا جایی می‌توان از انرژی دود استفاده کرد که منجر به مـایع شـدن ترکیبـات اسیدی نگردد. دمایی که در آن اسید از حالت بخار به حالـت مـایع تبـدیل مـی‌گـردد را "دمای نقطه شبنم اسید" می‌نامند که این دما بسـتگی بـه میـزان اسـید موجـود در دود و همچنین دمای جوشش اسید دارد. برای سوخت‌های مختلف مورد مصرف در مشعل‌هـا دمای نقطه شبنم اسید به صورت زیر می‌باشد.

جدول۸ـ۱ دمای نقطه شبنم سوخت‌های متداول مورد مصرف در دیگ‌ها

سوخت	دمای نقطه شبنم سوخت
گاز طبیعی	۱٤۰ ^{o}F
نفت سبک (No.2)	۱۸۰ ^{o}F
نفت سنگین (No.6)	۲۰۰–۲۵۰ ^{o}F
زغال سنگ	۲۵۰^{o}F

البته همانطور که در مثال‌های قبل نیز اشاره گردید، دمای دود خروجی از دیگ باید در حد معقولی (در حدود ۱۰۰^{o}F) از مقادیر فوق بیشتر باشد، تا بتوان احتمال بروز میعان ترکیبات اسیدی در دود را در حد قابل قبولی کاهش داد. مگر در مواردی که جنس اکونومایزر و دودکش از مواد ضد خوردگی (مثل آجر) باشد که دیگر توجه به نقطه شبنم دود و این اختلاف دما لازم نخواهد بود.

در صنعت، جلوگیری از میعان ترکیبات اسیدی دود با کنترل کردن دو دما انجام می‌گیرد. اولین دما، دمای سطح اکونومایزر می‌باشد، که باید بالاتر از دمای نقطه شبنم اسید باشد تا مانع از خوردگی در خود اکونومایزر گردد و دومین دما دمای دود در خروج از دودکش می‌باشد که آن نیز برای جلوگیری از میعان ترکیبات اسیدی و خوردگی ناشی از آن باید بیش از دمای نقطه شبنم دود باشد. البته دمای دود کاملا وابسته به بار دیگ بوده و کمترین مقدار (مقدار بحرانی) خود را در بار مینیمم بدست می‌آورد.

اکنون با آشنایی با خطرات ناشی از کم شدن بیش از اندازه دمای دود، باید به سراغ راه حل‌هایی برای جلوگیری از بروز چنین حالتی در دیگ‌ها رفت. همانطور که اشاره گردید وابستگی دمای دود به بار دیگ سبب می‌گردد تا در مواقعی که بار دیگ‌ها به حداقل خود نزدیک می‌شود، دمای دود نیز به طور محسوسی کاهش یابد. بروز این

حالت در سیستم هنگامی که از اکونومایزر نیز استفاده می‌گردد خطر پایین تر رفتن دمای دود از نقطه شبنم خود و نتیجتاً خوردگی را افزایش می‌دهد. اولین روش برای حل این معضل پیش گرمایش آب قبل از ورود به اکونومایزر در بارهای کم دیگ می‌باشد. در این حالت پیش گرمکن‌ها تنها در بارهای کم، وارد سیستم شده و درجه حرارت آب را به حد مطلوب می‌رساند. تأمین گرمایش این پیش گرمکن‌ها نیز با استفاده از آب گرم، داغ و یا بخار آب تولیدی از خود دیگ صورت می‌گیرد. لازم به ذکر است که سهم عمده انرژی گرمایشی داده شده به آب در پیش گرمکن‌ها از طریق اکونومایزرها قابل جذب می‌باشد. راه دوم برای جلوگیری از احتمال میعان دود در شرایط بار کم دیگ، بازچرخش مجدد بخشی از آب خروجی از اکونومایزرها در خود آنها می‌باشد که با این عمل می‌توان دمای آب ورودی به اکونومایزر را تا حد مطلوبی افزایش داد. البته برای اجرای این طرح در سیستم نیاز به پمپ کوچکی می‌باشد.

برای روشنتر شدن چگونگی پی بردن به پدیده خوردگی در دودکش یا اکونومایزر در اینجا به بیان مثال‌های مختلفی در این رابطه می‌پردازیم:

در اولین حالت دیگی با سوخت نفت داریم که دارای دمای نقطه شبنم $۲۰۰^{o}F$ می‌باشد، دمای آب ورودی $۱۶۰^{o}F$ بوده و دمای دود در خروج از اکونومایزر، ^{o}F ۳۰۰ در شرایط حداقل بار می‌باشد. در این حالت احتمال خوردگی در اکونومایزر وجود داشته که برای جلوگیری از آن پیش گرمایش آب ورودی لازم می‌باشد و درضمن مشکل خوردگی در دودکش به هیچ وجه وجود ندارد.

در حالت دوم دیگی با سوخت نفت و دمای نقطه شبنم ^{o}F ۲۰۰ داریم. دمای آب ورودی به دیگ $۲۱۰^{o}F$ می‌باشد و دمای دود در شرایط حداقل بار و در خروج از

اکونومایزر برابر$۲۳۰^{o}F$ می‌باشد. در این حالت برعکس حالت قبل برای اکونومایزر هیچ گونه مشکلی ایجاد نشده و در عوض احتمال خوردگی در دودکش‌ها وجود خواهد داشت. در این حالت برای جلوگیری از خوردگی در دودکش همانطور که پیشتر نیز اشاره گردید، بهترین روش عایق بندی مناسب دودکش و یا ساختن آن از مواد مقاوم در برابر خوردگی مثل آجر می‌باشد.

در حالت سوم دیگی با سوخت گاز طبیعی در نظر گرفته شده، که دمای نقطه شبنم آن $۱٤۰^{o}F$ می‌باشد. دمای آب ورودی $۱٦۰^{o}F$ و دمای دود در خروجی از اکونومایزر در شرایط حداقل بار $۲۳۰^{o}F$ می‌باشد. در این حالت است که دیگر نه خوردگی در دودکش ایجاد می‌گردد و نه در اکونومایزر.

با وجود تمامی این تدابیر و راهکارها، برای جلوگیری از میعان دود و بروز خوردگی در سیستم، همچنان این مسئله در سیستم‌های گرمایشی وجود دارد. به طور مثال خوردگی در قسمت‌های انتهایی و بالای دودکش به دلیل نفوذ هوا در اثر توربولانس و همچنین انتقال حرارت در فصول سرد، غیر قابل کنترل می‌باشد. از دیگر مسائلی که خوردگی را در دودکش‌ها و به خصوص در مواقعی که از اکونومایزرها استفاده می‌گردد و دمای دود نیز پایین می‌آید تشدید می‌کند، در معرض باران بودن دودکش می‌باشد. زیرا در این شرایط (دمای پایین دود در دودکش) آب باران راحتتر و بیشتر قابلیت نفوذ و خوردگی در دودکش را خواهد داشت. به همین جهت استانداردها استفاده از پوشش‌هایی برای دودکش‌ها در مقابل آب باران را در مواقع استفاده از اکونومایزرها توصیه می‌کنند. یکی از جنبه‌های دیگری که هنگام استفاده و نصب اکونومایزرها باید به آن توجه کرد، افزایش هزینه تهیه و نصب

تجهیزات، به دلیل افزایش قدرت مورد نیاز برای پمپ‌ها و فن‌ها می‌باشد. از آنجا که اکونومایزرها در مسیر خروج دود از دیگ‌ها نصب می‌گردد، باعث افزوده شدن مقاومت در برابر حرکت دود در این مسیر می‌گردد. برای حل این مشکل تعویض فن‌های تخلیه با انواع قوی تر و افزایش ارتفاع دودکش از جمله کارهایی است که هزینه آنها باید در هنگام تصمیم گیری لحاظ گردد.

برای افزایش تبادل حرارت در اکونومایزرها جریان آب به صورت آشفته و با رینولدز بالا می‌باشد، که این امر نیز موجب بالا رفتن مقاومت در برابر حرکت آب تغذیه دیگ که از اکونومایزر باید عبور کند، می‌شود. استفاده از پمپ‌هایی با قطر ایمپلر بزرگتر و قدرت بالاتر، راهکاری است که برای غلبه بر مقاومت افزوده شده در مسیر آب تغذیه کننده سیستم پیشنهاد می‌گردد. اجرای این مورد نیز جزو مواردی است که هزینه آن باید در برآوردهای اولیه لحاظ گردد.

به دلیل گران بودن اکونومایزرها ممکن است بسیاری از افراد مسئول قصد استفاده از یک اکونومایزر را برای چند دیگ داشته باشند. این کار همواره با مشکلات و خطرات بسیاری همراه بوده که باید آنها را مدنظر داشت. یکی از این مشکلات هنگامی ایجاد می‌گردد که یکی از دیگ‌ها در حال کار بوده و دیگ دیگر خاموش باشد. در این حالت مقداری از دود از دیگ در حال کار به دیگ خاموش منتقل می‌شود و به دلیل سرد بودن بدنه دیگ خاموش، دود میعان پیدا کرده و موجب خوردگی در دیگ سرد می‌شود. بنابراین استفاده از یک اکونومایزر برای چند دیگ، نیازمند کنترل دقیق جهت خروج کامل دود از هر دیگ به اکونومایزر می‌باشد. اغلب در مواقعی که تأسیسات موتورخانه شامل چند دیگ می‌باشد، اقتصادی‌ترین

روش، استفاده از اکونومایزرها برای دیگ‌های با بالاترین راندمان کارکرد می‌باشد که در شرایط کارکرد عادی سیستم این دیگ‌ها روشن می‌باشد و بقیه دیگ‌ها تنها در شرایط بحرانی بار و بار ماکزیمم وارد سیستم می‌گردد.

بطور خلاصه در این بخش با نصب اکونومایزرها جهت جذب انرژی گرمایی دود و جلوگیری از اتلاف آن و نکات مهمی که در هنگام نصب و راه‌اندازی چنین سیستم‌هایی باید به آن توجه گردد، نظیر جلوگیری از میعان دود در اثر افت شدید دمای دود، آشنا شدیم. با استفاده از این روش می‌توان بین ٪۲ تا ٪۱۰ در هزینه سوخت مصرفی صرفه جویی کرد. قیمت اکونومایزرها نیز بین ۲۰۰ تا ۶۰۰ دلار به ازای یک میلیون Btu از ظرفیت دیگ متغیر می‌باشد و هزینه نصب سیستم نیز با توجه به شرایط موتورخانه بسیار متفاوت می‌باشد و بیشترین مقدار هزینه نصب در زمانی خواهد بود که به دلیل کمبود فضا برای اکونومایزر مجبور به تغییر در سیستم لوله کشی و جابه جایی تأسیسات دیگر شویم. برای نگهداری و مراقبت‌های دوره‌ای از سیستم نیز مهمترین نکات تمیز کردن و از بین بردن دوده‌های تشکیل شده در سمت آتش اکونومایزرها و بررسی خوردگی‌ها در اثر میعان دود می‌باشد.

۸ـ۱ـ۲ استفاده از مبدل حرارتی جهت پیش گرمایش هوای احتراق

دومین روش از چهار روش موجود برای استفاده از انرژی گرمایی دود پس از خارج شدن آن از دیگ، استفاده از یک مبدل حرارتی به منظور استفاده از انرژی دود برای گرمایش هوای ورودی جهت انجام احتراق می‌باشد. در برخی دیگ‌ها با دمای دود بسیار بالا گاهی از هر دو روش پیش گرمایش هوای احتراق و استفاده از اکونومایزر برای پیش گرمایش آب ورودی به دیگ‌ها استفاده می‌گردد. البته مزیت پیش گرمایش

هوا به روش قبلی در آنست که با استفاده از این سیستم می‌توان در دماهای پایین دود نیز از انرژی گرمایشی آن بهره برد. زیرا دمای هوای مورد نیاز برای احتراق به طور محسوسی از دمای آب تغذیه برای دیگ پایین تر بوده و این امر سبب انتقال حرارت بهتر و مناسبتر بین دود و هوا می‌گردد. این اختلاف دمای بیشتر باعث گردیده تا استفاده از پیش گرمکن‌ها نسبت به اکونومایزرها راندمان دیگ را بین ٪۱ تا ٪٤ بیشتر بهبود بخشد. در دیگ‌های با فشار بالا اختلاف بین دو دمای هوای ورودی برای احتراق و آب ورودی به دیگ، بسیار قابل توجه تر می‌باشد. به طور مثال دمای متوسط هوا در یک سال در حدود $۵۰^{o}F$ ($۱۰^{o}C$) می‌باشد، در حالیکه دمای آب ورودی به دیگ $۲۰۰^{o}F$ ($۹۳^{o}C$) بوده که با توجه به اختلاف این دو دما،انتقال انرژی بیشتر بین سیال عامل و ناقل در روش دوم از توجیه منطقی برخوردار خواهد بود.

از آنجا که در این حالت انتقال حرارت بین دو گاز انجام می‌گیرد، بنابراین پیش گرمکن‌های مربوط به هوای لازم برای احتراق در اندازه‌های بزرگ ساخته می‌شود و این امر موجب قیمت بالای آنها می‌گردد. در گذشته استفاده از این سیستم فقط مختص دیگ‌های نیروگاه‌ها و یا کارخانه‌های بسیار بزرگ بود، اما پیشرفت تکنولوژی در زمینه مبدل‌ها، باعث گردیده که امروزه اینگونه تجهیزات در اندازه‌ها و قیمت‌های بسیار مناسبتر ارائه گردد. امروزه اغلب از پیش گرمکن‌ها به عنوان اجزایی تکمیلی در کنار اکونومایزرها استفاده می‌گردد تا بتوان نهایت انرژی موجود و قابل استحصال در دود را به دست آورد.

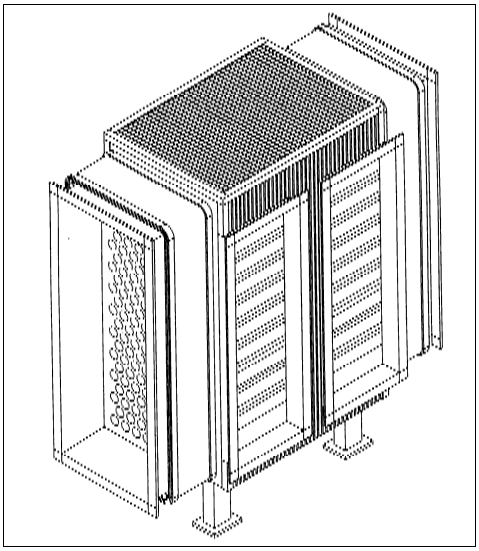
همانطور که اشاره گردید پایین بودن دمای هوای لازم برای احتراق باعث می‌گردد تا بتوان دود را تا دماهای خیلی پایین نیز سرد کرد این امر موجب تقطیر شدن بخار آب حاصل از احتراق موجود در دیگ می‌گردد که این انرژی نهان آب به مراتب از انرژی آزاد

شده محسوس به صورت تک فاز بیشتر خواهد بود. البته میزان این انرژی بـه طـور کامـل وابسته به میزان بخار آب موجود در محصولات احتراق می‌باشد که آن نیز با توجه به نـوع سوخت تعیین می‌گردد. در حالت کلی از آنجا که میزان هیدروژن درسوخت گاز به مراتب از سوخت مایع و نفت بیشتر می‌باشد، میزان بخار آب در محصـولات حاصـل از احتـراق گاز به طور محسوسی بیشتر از سوخت‌های مایع مثل نفت خواهد بود. سوخت‌های جامـد مانند زغال سـنگ نیـز کمتـرین میـزان بخـار آب را در محصـولات منـتج از احتـراق دارا می‌باشد. اما در این حالت، تشکیل شدن ترکیبات مایع اسیدی گوگرد مشکل اصـلی در اثـر پایین آمدن بیش از حد دما می‌باشد. برای حل این مشـکل درپـیش گـرمکن‌هـا، دو روش اصلی وجود دارد که یکی ساخت پیش گرمکن‌ها با مواد ضد خـوردگی و مقـاوم در برابـر ترکیبات اسیدی تولید شده توسط میعان دود می‌باشد که این روش هزینـه سـاخت چنـین پیش گرمکن‌هایی را به شدت افزایش مـی‌دهـد و روش دیگـر تعـویض مـنظم ومتنـاوب قطعات خورده شده می‌باشد. برخی از قطعات پیش گـرمکن‌هـا را کـه بیشـتر در معـرض خوردگی قرار دارد، با لایه‌ای از جنس‌های مقاوم در برابر خوردگی پوشش می‌دهنـد تـا از بین رفتن آنها را تا حدی به تأخیر بیاندازند. مسئله دیگر دودکش می‌باشد که این امر باعـث می‌گردد که تنها در تأسیساتی بتـوان از ایـن سیسـتم‌هـا اسـتفاده نمـود کـه دودکـش‌هـا از جنس‌های مقاوم در برابر خوردگی نظیر آجر و یا بتون ساخته شده باشد.

اکنون می‌توان با این آشنایی نسبی در رابطه بـا پـیش گـرمکن‌هـا بـه بیـان انـواع مختلف آنها پرداخت. در واقع هر نوع مبدل حرارتی گاز به گاز می‌توانـد بـه عنـوان پیش گرمکن هوای لازم جهت احتراق مورد استفاده قرار گیرد. در این قسمت پـیش گرمکن‌های متداول مورد استفاده در صنعت ارائه می‌گردد:

- **پیش گرمکن‌های لوله‌ای**[1]

این مبدل‌های حرارتی از مجموعه‌ای از لوله‌ها تشکیل شده که در داخل آنها دود و در محیط اطراف آنها هوای لازم جهت احتراق عبور می‌کند. اغلب لوله‌ها به طور مستقیم بوده و توسط صفحات نگه دارنده در محل خود ثابت می‌گردد. صفحات نگه دارنده علاوه بر ثابت نگه داشتن لوله‌ها، وظیفه انتقال حرارت را نیز برعهده دارد. (مانند آنچه بفل‌ها[2] در مبدل‌های لوله پوسته‌ای انجام می‌دهد) این نوع از پیش گرمکن‌ها از متداول ترین انواع آنها می‌باشد که نگهداری و تمیز کردن آنها نیز بسیار ساده می‌باشد و تنها اشکال آنها حجیم بودنشان به دلیل مستقیم بودن لوله‌ها می‌باشد. نمونه‌ای از این نوع پیش گرمکن‌ها در شکل ۸-۳ نشان داده شده‌است.



شکل ۸ـ۳ نمونه‌ای از پیش گرمکن‌های لوله‌ای

1. Tubular preheaters
2. Baffles

- **مبدل‌های حرارتی لوله گرم**

این گونه مبدل‌ها از سال ۱۹۷۰ تـاکنون اغلـب بـه صـورت پکـیج‌هـایی جهـت گرمایش محیط عرضه شده است و هنوز هم استفاده از آنها به منظور پیش گرمـایش هوای لازم برای احتراق استاندارد نمی‌باشد. اما با روند رو به رشد انـواع ایـن گونـه مبدل‌ها در چند سال آینده، استفاده از انواع جدیدتر آنها در دیگ‌ها بـه خصـوص بـا ظرفیت‌های کم امکان پذیر خواهد بود. بزرگترین مزیت این گونه مبدل‌ها نسبت بـه انواع دیگر حجم بسیار پایین آنها با توجه به ظرفیتشان می‌باشد، که این امر علاوه بر کاهش هزینه، موجب می‌گردد تا استفاده از آنها در محیط‌هـایی بـا موتورخانـه‌هـای کوچک از مقبولیت بیشتری برخوردار گردد.

- **پیش گرمکن‌های با صفحات موازی**[1]

این پیش گرمکن‌ها از صفحات فلزی بـا ضـریب هـدایت حرارتـی بـالا سـاخته شده‌است. دود و هوای لازم جهت احتراق به طور یـک در میـان از فضـای مـا بـین صفحات عبور می‌کنند و با استفاده از انتقال حرارت هدایتی، انـرژی گرمـایی از دود به هوا منتقل می‌گردد. این نوع از مبدل‌های گاز به گاز از اولین انـواع مبـدل‌هـا یـی بودند که به دلیل سادگی کارکرد، حجم کم و تمیز کردن ساده هنوز هـم در صـنعت مورد استفاده قرار می‌گیرد. در واقع این نوع پیش گرمکن‌ها بهترین انتخاب در رابطه با دیگ‌های کوچک و با ظرفیت‌های پایین می‌باشد.

1. Parallel-plate preheaters

- **پیش گرمکن‌های دوار**[1]

این سیستم‌ها که در گرمایش هوای لازم برای احتراق مورد استفاده قرار می‌گیرد، از سیلندرهای گردانی تشکیل شده‌است که دارای مسیرهای عبور هوا در راستای شعاعی می‌باشد. دود از یک طرف روتور جریان می‌یابد و جریان هوای احتراق از سمت دیگر روتور. جنس این روتور به گونه‌ای است که توانایی جذب و نگه داشتن انرژی گرمایی دود را دارا می‌باشد. با چرخش آرام روتور (با سرعتی در حدود ۳ دور در دقیقه) می‌توان انرژی گرمایی موجود در دود را به جریان هوا منتقل نمود. البته در این چرخ‌ها به دلیل بالاتر بودن فشار هوای ورودی برای احتراق نسبت به دود احتمال نشتی هوا به قسمت مربوط به دود وجود دارد که این عامل موجب اتلاف انرژی و توان در فن‌های هوای ورودی می‌گردد. برای کم کردن و حتی از بین بردن این گونه تلفات باید دو قسمت مربوط به دود و هوای ورودی به طور مطلوبی از یکدیگر جدا شود. برای نیل به این هدف از عایق‌های مناسبی استفاده می‌گردد که این عایق‌ها در بازدیدهای دوره‌ای باید مورد کنترل و بازبینی قرار گیرد تا از کیفیت مطلوب خود فاصله نگیرد. امروزه چرخ‌های حرارتی در اندازه‌های مختلف و متنوعی به بازار عرضه می‌گردد. به طور مثال یکی از شرکت‌های مطرح در این زمینه، چرخ‌های حرارتی خود را با قطر روتور بین ٤ فوت تا ۱۷ فوت عرضه می‌کند.

بزرگترین مزیت چرخ‌های حرارتی بر انواع دیگر پیش‌گرمکن‌ها حجم کم آنها می‌باشد، اما در کنار این مزیت دارای معایبی نظیر پیچیدگی، نشتی در اطراف عایق‌ها، سخت بودن تمیز کردن آنها و نیاز به تعویض قطعات در فواصل زمانی کوتاه می‌باشد.

1. Rotary preheaters

در دود حاصل از کلیه سوخت‌ها به جز گاز طبیعی، مقدار زیادی دوده وجود دارد که این دوده با رسوب بر روی سمت آتش موجب کمتر شدن ضریب هدایتی این سطوح می‌گردد. بنابراین هنگامی که از سوخت‌هایی به جز گاز طبیعی در دیگ‌ها استفاده می‌گردد، تمیز کردن سطوح تبادل حرارتی در پیش گرمکن‌ها به طور منظم و دوره‌ای از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد.

آخرین نکته‌ای که در رابطه با پیش گرمکن‌ها باید ذکر گردد آنست که یکی از اصلی ترین ویژگی‌ها و مشکلات پیش گرمکن‌ها حجیم بودن آنها است که علاوه بر فضای مورد نیاز جهت نصب خود مبدل، نیاز به لوله‌ها وکانال‌هایی برای انتقال دود و هوای احتراق بین دیگ و پیش گرمکن می‌باشد، که اغلب چنین فضاهایی در موتورخانه‌های مسکونی کمتر یافت می‌شود و در چنین موتورخانه‌هایی تغییر در مسیر لوله‌ها و مکان تجهیزات دیگر، جهت استفاده از پیش گرمکن تا حدی هزینه بر خواهد بود که اجرای این طرح به هیچ عنوان دارای توجیه اقتصادی نمی‌باشد. این موارد، عواملی است که سبب شده تا از پیش گرمکن‌ها تنها در تأسیسات بزرگ و یا دیگ‌های با ظرفیت بالا استفاده گردد. در این تأسیسات نیز استفاده از پیش گرمکن‌ها مانند استفاده از اکونومایزرها موجب مقاومت در مسیر دود و مسیر هوای لازم جهت احتراق می‌گردد.

افزایش ارتفاع دودکش و یا تعویض فن‌های تخلیه با انواع با قدرت بالاتر از جمله راهکارهایی است که برای تخلیه مناسب دود در هنگام استفاده از این سیستم‌ها لازم می‌باشد. همچنین برای مکش هوای لازم جهت احتراق نیز استانداردها تعویض فن‌های مکش با انواع پرقدرت تر را توصیه می‌کنند.

۸ـ۱ـ۳ استفاده از اکونومایزرهای تقطیری

این روش که در واقع سومین روش از روش‌های موجـود جهـت اسـتفاده از انـرژی دود و نزدیکتر شدن بـه حالـت ایـدآل کـارکرد مـی‌باشـد، بیـانگر اسـتفاده از انـواعی از اکونومایزرهاست که در آنها بتوان انرژی گرمای نهان بخار آب موجود در دود را نیـز بـه دست آورد. همانطور که در بخش ۸ـ۱ـ۱ نیز اشاره گردید، یکـی از مهمتـرین و اساسـی ترین نکات در رابطه با نصب اکونومایزرها در سیستم دمای نقطه شبنم دود بـود، کـه در این حالت مسلماً دمای دود پایین تر از آن دما خواهد رفت و این امر موجب میعـان دود می‌گردد. بنابراین برای حل این مشکل در انواع اکونومایزرهای تقطیـری آنهـا را از مـواد ضد خوردگی می‌سازند. اولین تولید انبوه اکونومایزرهـای تقطیـری در سـال ۱۹۸۰ و بـا جنس فولاد ضد زنگ انجام گرفت. از آن زمان تا کنون استفاده و تولیـد اکونومایزرهـای تقطیری تنها مختص دیگ‌هایی با ظرفیت کم بوده است.

در حالت کلی میزان بخار آب موجود در دود توسط دو عامل که وابسـته بـه سـوخت مصرفی مشعل می‌باشد تعیین می‌گردد. این دو عامل عبارتست از: میزان هیدروژن موجـود در سوخت که در احتراق کامل تبدیل به آب می‌شود و همچنین آبـی کـه در سـوخت بـه صورت ناخالصی وجود دارد. در سوخت‌های گازی مثل گاز طبیعی، هیدروژن موجـود در سوخت عامل اصلی ایجاد بخار آب در دود می‌باشد. در حالیکـه در سـوخت‌هـای زغـال سنگ و برخی مواقع نفت‌های سنگین عامل دوم نقش مؤثرتری در میزان بخار آب موجـود در دود دارد. شناخت و بررسی این عوامل در تعیین بخار آب موجـود در دود و همچنـین انرژی نهان به دست آمده از میعان آنها نقش بسیار مهمی را ایفا می‌کند و ایـن شـناخت در رابطه با بررسی توجیه اقتصادی استفاده از اکونومایزرهای تقطیری ما را یاری خواهد کرد.

به طور مثال هنگامی‌که از دیگ‌هایی در تأسیسات موتورخانه استفاده می‌گردد که سوخت مشعل آنها نفت می‌باشد، به دلیل کم بودن غلظت بخار آب در محصولات حاصل از احتراق نفت، استفاده از اکونومایزرهای تقطیری در این تأسیسات دارای توجیه قابل قبولی نمی‌باشد. برای روشن تر شدن این مطلب در ادامه به ذکر چند مثال در این زمینه می‌پردازیم.

- دیگی با سوخت گاز طبیعی با دمای نقطه شبنم $۱٤۰^{o}F$ کار می‌کند و دمای آب ورودی به دیگ برابر $۱۱۰^{o}F$ می‌باشد. در این حالت دمای دود را با توجه به تغییرات بار می‌توان بین $۱۲۰^{o}F$تا $۱٦۰^{o}F$ تغییر داد. همانطور که انتظار می‌رود در این حالت مقدار زیادی از بخار آب موجود در دود تقطیر می‌گردد که می‌توان انرژی قابل توجهی را از این طریق به دست آورد. بنابراین در این حالت استفاده از اکونومایزرهای تقطیری بسیار مفید خواهد بود.
- در حالت دوم سوختی با گاز طبیعی و با دمای نقطه شبنم $۱٤۰^{o}F$ وجود دارد که دمای آب ورودی به آن برابر $۲۰۰^{o}F$ می‌باشد. در این حالت دمای گاز دود که از اکونومایزر خارج می‌شود نمی‌تواند کمتر از $۲۱۰^{o}F$ گردد، بنابراین هیچگونه تقطیری در اکونومایزر ایجاد نمیگردد و بنابراین هیچ گونه نیازی به اکونومایزرهای تقطیری نمی‌باشد.
- به عنوان حالت سوم دیگی با سوخت نفت سنگین با دمای نقطه شبنم $۲۳۰^{o}F$ و دمای آب ورودی $۲۱۰^{o}F$ را در نظر بگیرید که دودکش در تأسیسات این موتورخانه از جنس بتن بوده و در مقابل خوردگی مقاوم می‌باشد. در این حالت دمای دود خروجی از اکونومایزر نباید از $۲۲۰^{o}F$ پایین تر آید. در بازه دماهای

پایین‌تر دود ممکن است مقدار کمی از دود تبدیل به مایع شود ولی از آنجا که سوخت مصرفی بخار آب فراوانی را در دود تأمین نمی‌کند، بنابراین با استفاده از انواع تقطیری اکونومایزرها انرژی قابل توجهی را نمی‌توان به دست آورد. در این حالت منطقی ترین کار استفاده از اکونومایزرهای معمولی بوده به طوریکه بتوان آنها را طوری طراحی کرد که دمای دود در کمترین مقدار خود (در حداقل شرایط بار دیگ) بالاتر از ۲۲۰°F باشد.

- در آخرین مثال دیگی با سوخت نفت سنگین و با دمای نقطه شبنم دود ۲۳۰°F که دمای آب ورودی به آن نیز برابر ۱۱۰°F می‌باشد را مورد بررسی قرار می‌دهیم. در این حالت نیز جنس دودکش از بتون و مقاوم در برابر خوردگی می‌باشد. در این حالت می‌توان باتوجه به شرایط بار دیگ دمای دود رابین ۱۲۰°F تا ۱۶۰°F رساند. در این شرایط دمایی قسمت عمده دود تبدیل به مایع اسیدی می‌شود اما با توجه به سوخت که نفت سنگین می‌باشد میزان انرژی به دست آمده از میعان بخار آب موجود در دود در حد قابل توجهی نمی‌باشد. اما خوردگی‌ها در این دیگ در حدی است که استفاده از اکونومایزرهای تقطیری که مقاوم در برابر خوردگی اسید باشد دارای توجیه اقتصادی مطلوبی می‌باشد.

با توجه به مثال‌های فوق می‌توان به این نتیجه دست یافت که استفاده از اکونومایزرهای تقطیری تنها محدود به دیگ‌هایی است که دمای آب ورودی به آنها پایین باشد که این امر موجب می‌گردد تا بتوان دمای دود خروجی از اکونومایزر را نیز تا حد قابل قبولی پایین آورد. اکونومایزرهای تقطیری بالاترین کارایی خود را در

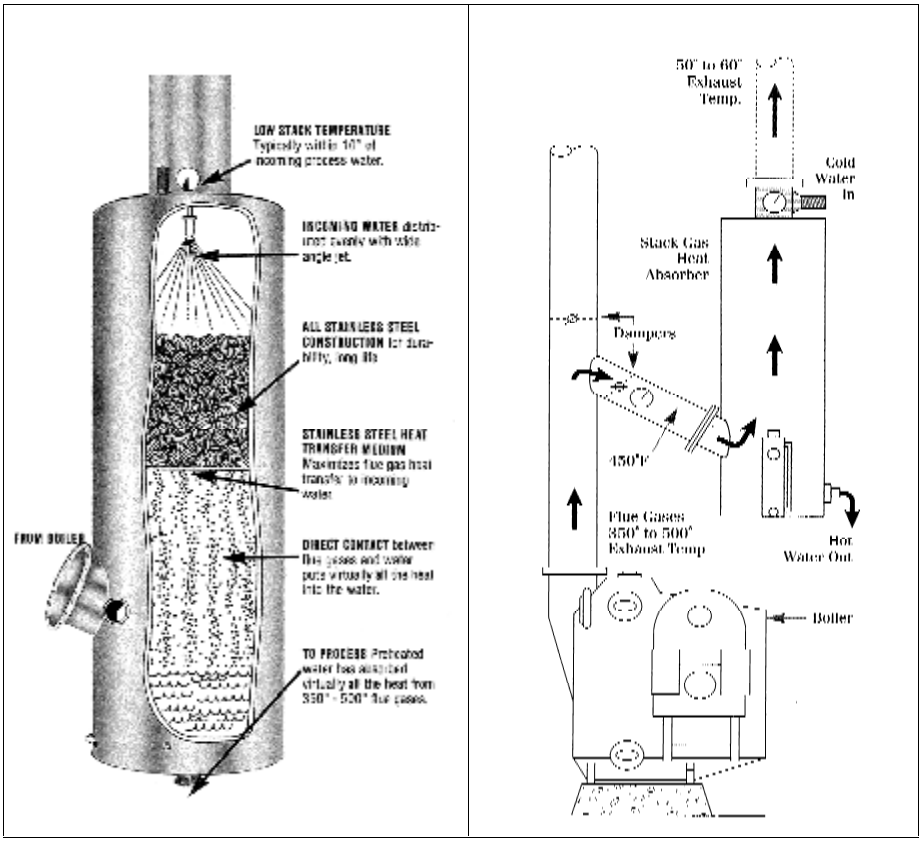
دیگ‌هایی دارا می‌باشد که علاوه بر این شرط دارای راندمانی پایین بوده و با سوخت گاز باشد که دراین شرایط می‌توان راندمان دیگ را بین٪۱۰ تا٪۱۵ افزایش داد.

به طور خلاصه با استفاده از این روش می‌توان بین ٪۵ تا ٪۱۵ در هزینه سوخت مصرفی صرفه‌جوئی نمود. قیمت اکونومایزرهای تقطیری بین ۳۰۰ دلار تا ۱۰۰۰ دلار بازای یک میلیون Btu از ظرفیت دیگ متغیر می‌باشد و هزینه‌ی نصب بسته به شرایط متفاوت می‌باشد.

۸ـ۱ـ٤ استفاده از اسپری‌های آب

این روش آخرین روش از چهار روش موجود جهت استفاده از انرژی گرمایشی موجود در دود می‌باشد. در این حالت دود از میان قطرات آب که توسط آبفشان‌ها ایجاد شده‌است، عبور داده می‌شود. توسط این روش دمای دود به بین ۱۲۰°F تا ۲۰۰°F تنزل می‌یابد. بدین طریق آب ورودی به دیگ‌ها که از طریق عبور از این سیستم وارد دیگ‌ها می‌گردد، با جذب گرمای محسوس و نهان ترکیبات موجود در دود گرم شده و سپس وارد دیگ‌ها می‌گردد. این سیستم در واقع از یک مخزن با جنس مقاوم در برابر خوردگی ساخته شده‌است که امکان عبور قطرات آب تشکیل شده توسط آبفشان‌ها را از میان دود فراهم می‌آورد. از آنجا که سیال عامل و ناقل در این سیستم مجزا از هم نمی‌باشد در برخی موارد این سیستم را مبدل حرارتی تماس مستقیم نیز می‌نامند. این مخازن در شرایط کارکرد تحت فشار نبوده به همین جهت حتی آنها را می‌توان از جنس‌های پلاستیکی نیز تهیه نمود. اما در صنعت آنها را معمولاً از جنس فولاد ضد زنگ می‌سازند و به همین جهت قیمت بالایی دارد.

نمونه‌ای از این مخازن و نحوه‌ی نصب آنها در تأسیسات دیگ‌ها در شکل ۸ـ٤ و ۸ـ۵ نشان داده شده‌است.



شکل ۸ـ٤ چگونگی نصب مبدل حرارتی برای استفاده از انرژی دود در دودکش تماس مستقیم

شکل ۸ـ۵ شماتیکی از مبدل حرارتی

نکاتی که در فاز انتخاب، طراحی و استفاده از اینگونه سیستم‌ها باید مورد توجه قرار گیرد آنست که اولا دمای دود تا حدی پایین بیاید که موجب میعان بخار آب موجود در دود گردد و ثانیاً از مبدل‌های حرارتی برای انتقال گرمای دود به آب

اسپری شده استفاده نگردد و همواره تبادل حرارت به طور مستقیم انجام گیـرد. لازم به ذکر است که هماهنگ کردن دمای دود با دمای آب اسپری شده، جهـت بیشـترین دریافت انرژی گرمایی و در عین حال جلوگیری از تبخیر آب، با تنظیم دبی‌ها امکان پذیر می‌باشد. بنابراین توجه به دبی سیال‌هـای عامـل و ناقـل در هنگـام اسـتفاده از اینگونه سیستم‌ها بسیار مهم است. به طور مثال اگر دبی آب کم باشد گرمای ناشی از دود موجب گرمایش بیش از حد آب و تبخیر آن می‌گردد و بالعکس اگر میزان دبـی آب بیش از حد زیاد باشد، آب نمی‌تواند در حد مطلوب و قابل قبول گرم شود.

بررسی شرایط آب در حال چرخش از جمله مسائلی است که توجـه خاصـی را می‌طلبد. آبی که از طریق نازل‌ها، اسپری می‌شود در اثر تماس با دود آلوده می‌گـردد. میزان این آلودگی بسته به نوع سوخت مصرفی بسیار متفاوت می‌باشد. به طور مثـال در هنگام استفاده از سوخت‌هایی نظیر گاز طبیعـی، کـه سـوخت غالـب دیـگ‌هـای مصرفی در ایران می‌باشد، آب بدست آمده در اثر ترکیب دود و آب اولیه تمیز بـوده و نیاز به تصفیه چندانی ندارد. امـا در مـواردی کـه از سـوخت‌هـای دیگـر اسـتفاده می‌گردد بسته به نوع سوخت، آب بدست آمده نیاز به فیلتراسیون و تصـفیه خواهـد داشت. نکته حائز اهمیت دیگر در این رابطه اسیدی شدن آب در اثر گوگرد موجـود در سوخت می‌باشد، که این میزان اغلب ناچیز است، به خصوص در هنگام اسـتفاده از گاز طبیعی که PH آب نهایتاً ٪۱۰ کاهش می‌یابد. به طور مثال در اغلب دیگ‌های با سوخت مصرفی گاز طبیعی که این سیستم بر روی آنهـا نصـب گردیـده PH از ۷ نهایتاً به ۶/۹ کاهش پیدا کرده است. حتی در هنگام استفاده از سوخت‌هایی با درصد گوگرد بیشتر نیز به دلیل حجم بالای آب میزان تغیـرات PH آب چنـدان محسـوس

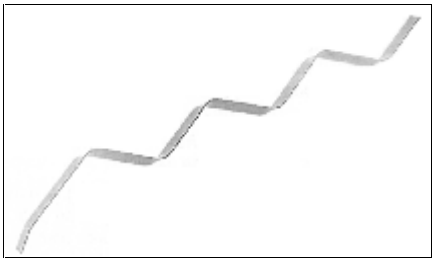
نمی‌باشد. البته در شرایط خاص که این افت PH آب زیاد باشد، به آسانی و تنها با استفاده از دستگاه‌های از بین برنده اسید[1]، می‌توان PH را در حد مطلوبی افزایش داده و با این روش مشعل‌ها را با سوخت‌هایی به مراتب ارزانتر راه‌اندازی نمود.

هزینه نصب اسپری‌های آب با جنس فولاد ضد زنگ بر روی دیگ‌هایی با ظرفیت ۳ میلیون BTUH، ۱۰۰۰۰ دلار و با ظرفیت ۲۵ میلیون BTUH ۳۰۰۰۰ دلار می‌باشد که البته هزینه‌ی جزئی را نیز باید بابت نصب و راه‌اندازی سیستم به این ارقام افزود. هزینه‌ی نصب این سیستم برای دیگ‌هایی با ظرفیت‌های دیگر نیز بین این مینیمم و ماکزیمم قرار می‌گیرد. میزان برگشت هزینه در هنگامی که مشعل‌ها گاز سوز باشد بسیار سریعتر از دیگر موارد خواهد بود و حتی در کمتر از یک سال هزینه‌ی اولیه قابل برگشت می‌باشد. در ضمن با استفاده از این روش و با توجه به راندمان دیگ‌ها و سوخت مصرفی مشعل‌ها می‌توان بین ٪۵ تا ٪۲۰ از سوخت مصرفی کاست، که این عامل بازگشت هزینه‌ی اشاره شده را به خوبی توجیه می‌کند.

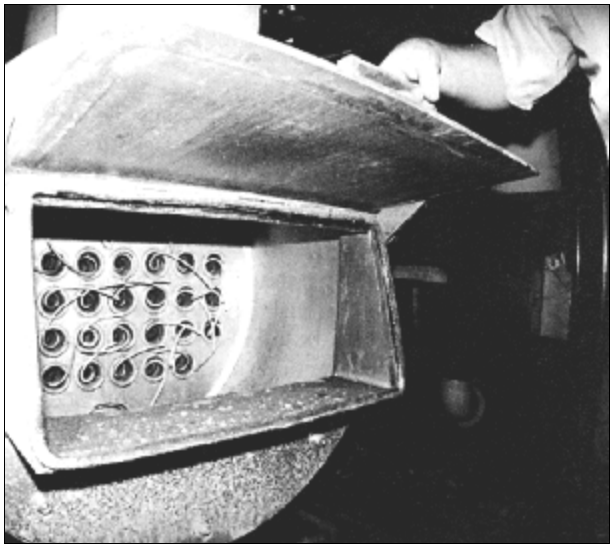
۸ـ۲ استفاده از مغشوش کننده‌ها در دیگ‌های فولادی با لوله‌های آتش

مغشوش کننده‌ها اجزایی می‌باشد که در داخل لوله‌های مربوط به دود در دیگ‌های فولادی با لوله‌های آتش قرار داده می‌شود تا تبادل حرارتی بین دود و دیواره‌ی لوله‌ها را افزایش دهد. این اجزا به شکل‌های مختلفی ساخته می‌شود که نمونه‌ای از آنها و نحوه‌ی قرار گرفتنشان در سیستم در شکل‌های ۸-٦ و ۸-۷ نشان داده شده‌است. مهمترین مزیت مغشوش کننده‌ها، ارزانتر بودن محسوس آنها نسبت به روش‌های دیگر صرفه‌جویی انرژی می‌باشد.

1. Acid removal



شکل ۸ـ٦ نمونه‌ای متداول از مغشوش کننده‌ها که در دیگ‌های فولادی با لوله‌های آتش به کار برده می‌شوند



شکل۸ـ۷ چگونگی نصب و قرارگیری مغشوش کننده‌ها در دیگ‌های فولادی با لوله‌های آتش

این امر باعث استفاده از این روش در بهبود راندمان دیگ‌ها قبل از استفاده و بهره گیری از روش‌های دیگر و یا تعویض دیگ‌ها با انواع جدیدتر و با راندمان بالاتر گردیده است. قیمت مغشوش کننده‌ها برای هر لوله بین ۱۰ دلار تا ۱۵ دلار می‌باشد و از آنجا که دیگ‌های فولادی با لوله‌های آتش بین ۲۵ تا ۱۵۰ لوله دارد، هزینه‌ی

تهیه‌ی مغشوش کننده‌ها بین ۲۵۰ دلار تا ۲۵۰۰ دلار بر آورد می‌گردد. از آنجا که نصب این سیستم بر روی دیگ‌ها نیز به سادگی و در کمتر از یک روز انجام می‌گیرد هزینه‌ی نصب چندانی را هم دارا نمی‌باشد.

مغشوش‌کننده‌ها بر مبنای تغییر در نوع جریان دود در داخل لوله‌ها به افزایش تبادل حرارت بین دود و جدار لوله‌ها کمک می‌کند. این تغییر در نوع جریان دود به سه صورت انجام می‌گیرد:

- **ایجاد جریان آشفته در داخل لوله‌های دود**

با ایجاد جریان آشفته و افزایش عدد رینولدز سیال می‌توان تبادل حرارت را بین دود و جداره لوله به طور محسوسی افزایش داد. همانطور که از نام این اجزاء نیز مشخص است، با استفاده از مغشوش کننده‌ها در داخل لوله‌های دیگ‌های فولادی با لوله‌های آتش، می‌توان به ایجاد جریان آشفته و افزایش تبادل حرارت بین دود و جداره لوله کمک کرد. البته اغلب شرکت‌های عرضه کننده مغشوش کننده‌ها نصب این اجزا را تنها در قسمتی از طول لوله‌ها و اکثراً در پاس آخر توصیه می‌کنند که این امر موجب می‌گردد تا بقیه قسمت‌های لوله از فواید ایجاد جریان آشفته بی‌بهره بماند.

- **ایجاد جریان متعادل و یکسان در کل مسیر حرکت دود**

اغلب دیگ‌های فولادی با لوله‌های آتش دارای چندین پاس می‌باشد که در انتهای هر پاس و ورود به پاس بعدی مسیر حرکت دود عوض می‌شود. این عامل موجب می‌گردد تا جریان دود در پاس بعد نسبت به پاس پیشین تغییر کند. با استفاده از توربولاتورها در مسیرهایی که جریان سیال دود بسیار زیاد می‌باشد می‌توان به طور قابل توجهی به ایجاد جریان متعادل و یکنواخت در کل مسیر لوله‌ها کمک نمود.

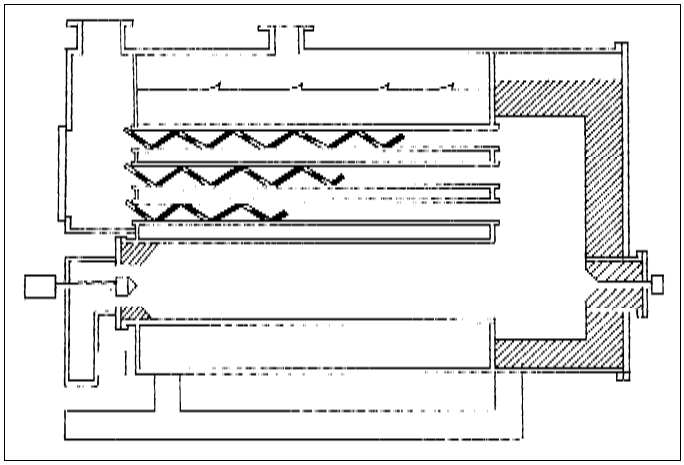
- **افزایش زمان عبور سیال دود**

سرعت عبور سیال در داخل لوله به دو عامل اصلی چگـالی سـیال و قطـر لولـه بستگی دارد. مغشوش کننده‌ها با افزایش تبادل حرارت بین سیال عامل و ناقل، باعث کاهش سریعتر چگالی و کمتر شدن سرعت عبور دود از داخل لوله‌ها می‌گردد و این عامل خود موجب افزایش زمان تبادل حرارت بین دود و جدار لوله‌ها می‌شـود و در نتیجه می‌توان انرژی بیشتری را از دود به دست آورد.

حال با این آشنایی مقدماتی با مغشوش کننده‌ها و فواید آنها این سؤال مطرح می‌شود که بیشترین کارایی این اجزاء درچه سیستم‌هایی می‌باشد. بهترین انتخاب برای استفاده از مغشوش کننده‌ها، دیگ‌های قدیمی است که با داشتن یک یا دو پاس و دمای بـالای دود در دودکش راندمان‌های پایینی را دارا می‌باشد. در این دیگ‌ها بـا انـدازه‌گیـری اخـتلاف دمای دود در دودکش با دمای نقطه شبنم دود در قبل و بعد از نصب مغشوش کننـده‌هـا در سیستم، می‌توان از اهمیت نصب این اجزا آگاه شد.

از جمله نکات دیگری که در هنگام نصب این اجزا در دیگ‌ها باید مـورد توجـه قرار داد، آنست که مغشوش کننده‌ها موجب جذب و تجمع دوده در داخل لولـه‌هـا می‌گردد. بنابراین استانداردها استفاده از آنها را تنها در دیگ‌هایی بـا سـوخت گـاز و نفت سبک مجاز می‌داند. در نظر گرفتن قدرت فن‌های تخلیه و یـا دودکـش، عامـل دیگری است که در هنگام نصب مغشوش کننده‌ها باید مورد توجه قـرار گیـرد زیـرا نصب این اجزا موجب افزایش مقاومت در برابر حرکت دود گردیـده و بنـابراین در این حالت برای تخلیه دود قدرت بیشتری لازم می‌باشد.

نحوه‌ی نصب مغشوش کننده‌ها بر روی دیگ‌ها ساده بوده و در مدت زمان کوتاهی قابل انجام است. مغشوش کننده‌ها برای هر دیگ باید سفارش داده شود و با توجه به شرایط دیگ، شرکت سازنده مغشوش کننده ویژه‌ای را تولید می‌کند. همانطور که پیشتر نیز اشاره گردید اغلب نصاب‌ها، مغشوش کننده‌ها را تنها در پاس آخر نصب می‌کنند. طول این اجزا برای لوله‌های مختلف، متفاوت می‌باشد و همانطور که در شکل ۸ـ۸ نیز نشان داده شده‌است نوارهای بلندتر در لوله‌های بالایی و نوارهای کوتاهتر در لوله‌های پایینتر نصب می‌گردد. نکته مهم در نصب این اجزا آنست که پس از نصب باید دمای دود در هنگام خروج از دودکش اندازه‌گیری شود تا در صورتیکه این دما از دمای نقطه شبنم دود کمتر بود طول نوارهای مغشوش کننده کوتاهتر گردد.



شکل ۸ـ۸ الگویی برای چگونگی نصب مغشوش کننده‌ها در دیگ‌های فولادی با لوله‌های آتش

بطور خلاصه مغشوش کننده‌ها نوارهای ویژه‌ای است که در داخل لوله‌های مربوط به دود در دیگ‌های فولادی با لوله‌های آتش مورد استفاده قرار می‌گیرد. نصب این اجزا به دلیل قیمت ارزان آنها و به خصوص در دیگ‌های قدیمی با یک یا دو پاس و سطح تبادلی کم، رواج زیادی پیدا کرده است که حتی هزینه‌ی اولیه‌ی بسیار کم آنها نیز غالباً در کمتر از یک سال با افزایش راندمان ایجاد شده در سیستم قابل برگشت خواهد بود.

فصل نهم

تلفات هدایتی و تابشی در محیط موتورخانه

مقدمه

تجهیزات و سیستم‌های مورد استفاده در موتورخانه‌ها به دلیل داشتن دمای بالا از طریق هدایت و تابش به اتلاف انرژی گرمایی می‌پردازد. میزان اتلاف انرژی از این طریق در دیگ‌ها و تجهیزات جانبی آنها در حدود ۲٪ از کل بار دیگ‌ها در شرایط بار ماکزیمم می‌باشد. تلفات در بخش‌های دیگر سیستم گرمایشی که وظیفه انتقال آب گرم، داغ و یا بخار از موتورخانه به محیط را بر عهده دارد بسته به نوع طراحی شبکه متفاوت می‌باشد. در این بخش به بررسی چگونگی کاهش این تلفات انرژی و حتی استفاده از انرژی هدر رفته در سیستم، از طریق هدایت و تابش، پرداخته خواهد شد.[5]

۹ـ۱ تعمیر عایق‌های آسیب دیده و ناکارا در کلیه‌ی اجزاء سیستم گرمایشی

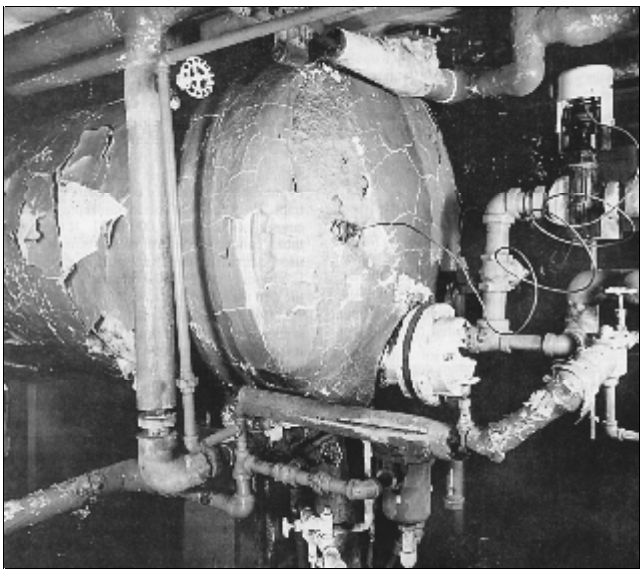
عایق وظیفه جلوگیری از هدر رفتن انرژی را در کلیه‌ی اجزایی که در انتقال سیال ناقل از دیگ‌ها تا تجهیزات انتهایی نقش دارند، دارا می‌باشد. با توجه به اهمیت نقش عایق‌ها در سیستم گرمایشی، بازبینی دوره‌ای و اطمینان از سالم بودن عایق‌ها در تمامی اجزاء و قسمت‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. به همین جهت در این قسمت به بررسی چگونگی عایقکاری، بازدیدهای دوره‌ای و شناسایی قسمت‌های آسیب دیده

عایق پرداخته می‌شود. پیش از آغاز بحث در رابطه با این موارد، لازم است در ابتدا دید کلی نسبت به عایقکاری در بخش‌های مختلف سیستم ارائه گردد.

در حالت کلی بر روی برخی اجزاء سیستم گرمایشی عایقکاری انجام می‌گیرد و در مقابل در برخی قسمت‌های دیگر این عمل صورت نمی‌گیرد. تبدیل‌ها، زانویی‌ها و اتصالات از جمله اجزایی هستند که به دلیل تلفات کم انرژی حرارتی، در آنها عایق کاری چندانی انجام نمی‌گیرد. علت تلفات کم انرژی حرارتی در این اجزاء آنست که، میزان تلفات انرژی در هنگامیکه بر روی سطوح تبادل حرارتی از عایق استفاده نمی‌گردد تنها وابسته به دمای سطح و مساحت سطح این اجزا می‌باشد و بدلیل سطح تبادل حرارتی کم این اجزا در مقایسه با قسمت‌های دیگر میزان تلفات انرژی به حدی ناچیز می‌باشد که عایقکاری در این قسمت‌ها دارای توجیه اقتصادی قابل قبولی نمی‌باشد. در مقابل، اکثر قسمت‌ها و تجهیزات دیگر موجود در موتورخانه نیازمند عایق‌کاری مناسبی است.در این تجهیزات که بر روی آنها عایقکاری انجام گرفته، میزان اتلاف انرژی وابسته به مساحت سطح تبادل حرارتی، ضریب مقاومت حرارتی عایق[1]، ضخامت عایق و نحوه عایقکاری می‌باشد. از آنجاکه عایقکاری مجدد و یا افزایش ضخامت عایق نیازمند هزینه‌ی بالای اولیه و برگشت هزینه‌ی کندی می‌باشد، بنابر این در فاز طراحی و ساخت بهتر است با استفاده از اصول و قوانین مهندسی، مثل استانداردهای اشری[2]، ضخامت عایق تعیین گردد تا بتوان هزینه‌های بعدی مربوطه را به حد قابل توجهی کاهش داد.

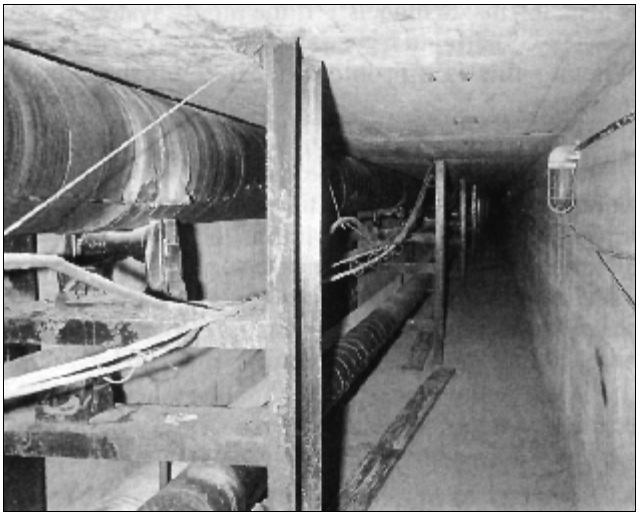
1. R-Value
2. Ashrae

پس از تعیین ضخامت عایق بر مبنای استانداردها و نصب آن بر روی سیستم در صورتیکه عایق‌ها از صدمات فیزیکی و رطوبت دور نگه داشته شود هزینه‌ی نگهداری چندانی نخواهند داشت. هزینه‌ی بالای اولیه و همچنین برگشت هزینه‌ی کند تعویض عایق‌ها باعث گردیده تا زمان تعویض آنها نیازمند بررسی و مطالعات دقیقی باشد. به طور مثال شکل ۹ـ۱ قسمتی از موتورخانه‌ای را نشان می‌دهد که عایق‌های مورد استفاده در اجزا و تجهیزات مختلف موجود دچار آسیب گردیده است. در دیگ نشان داده شده با وجود صدمات وارد شده به عایق از آنجا که عایق خشک بوده و به دیگ نیز چسبیده و مقدار آن نیز کافی می‌باشد تعویض عایق به هیچ عنوان دارای توجیه اقتصادی نمی‌باشد و تنها مشکل موجود در دیگ تبله کردن رنگ روی دیگ می‌باشد. البته در این شکل همانطور که مشاهده می‌گردد عایقکاری لوله‌های پایینی در حدی دچار مشکل شده که نیازمند تعویض می‌باشد. همانطور که اشاره گردید اصلی ترین عامل در از بین بردن عایق‌ها رطوبت می‌باشد. در صورتی که قسمت‌هایی از عایق، صدمه دیده باشد. رطوبت به سطح داخل عایق نفوذ کرده و علاوه بر کاهش چشمگیر مقاومت حرارتی عایق موجب خوردگی در اجزاء نیز می‌گردد. در این حالت نشتی‌های آب در بخش‌هایی از سیستم که در محیط‌های بسته قرار دارد، عامل اصلی ایجاد خوردگی و از بین رفتن عایق‌ها می‌باشد. در واقع عایق‌ها باید به گونه‌ای بر روی تجهیزات نصب گردد که امکان خروج آب در اثر به وجود آمدن نشتی‌ها در سیستم وجود داشته باشد، اما نصب عایق بدین طریق بندرت در صنعت انجام می‌گیرد. مسئله از بین رفتن عایق در اثر رطوبت بیشترین اثر خود را در لوله‌های تدفین شده در زیر زمین، نشان می‌دهد.



شکل ۹ـ۱ حتی عایقکاریی که مانند شکل فوق ظاهراً نا مناسب بنظر می‌رسد، در صورت خشک بودن برای جلوگیری از اتلاف انرژی گرمایی کافی می‌باشد.

توجه نکردن به این عامل تا چند سال قبل، موجب تلفات زیاد انـرژی بخصـوص در سیستم‌هایی با طول لوله‌های زیاد می‌شد. اما امروزه در نظر گرفتن ایـن مسـئله از نکـات مهم طراحی اینگونه لوله‌ها می‌باشد. آخرین محلی که در رابطه با نفوذ رطوبت و از بـین بردن عایق‌ها بررسی می‌گردد، تونل‌های عبـور لولـه‌هـای آب گـرم، داغ و یـا بخـار آب می‌باشد. از آنجا که لوله‌های حامل سیال ناقل در تونل‌ها دارای دمایی به مراتب بـالاتر از دمای محیط تونل می‌باشد بنابراین احتمال نفوذ رطوبت و از بین بردن عایق‌ها در هنگـام کارکرد سیستم وجود ندارد و تنها آسیب‌پذیری عایق‌ها در این حالت در هنگام خـاموش بودن دیگ‌ها و خنک بودن لوله‌ها امکان دارد. نمونه‌ای از این تونل‌هـا و چگـونگی قـرار گیری لوله‌ها در آنها در شکل ۹ـ۲ نشان داده شده است.



شکل ۹ـ۲ نمایش تونل‌های مربوط به قرارگیری لوله‌های انتقال سیال ناقل از دیگ‌ها به تجهیزات انتهایی که بهترین مکان برای انجام عایقکاری می‌باشد.

حال سؤالی کـه در اینجـا مطـرح مـی‌گـردد، چگـونگی شناسـایی و پیـدا کـردن قسمت‌های آسیب دیده عایق می‌باشد. اغلب برای اجزائی که در محـیط موتورخانـه قابل دسترسی می‌باشد، بازدیدهای دوره‌ای جهت یافتن قسمت‌هـای آسـیب دیـده‌ی عایق کافی است. در صورتیکه عایق‌ها خشک بوده و کاملاً به اجـزا چسـبیده باشـد، وظیفه خود را انجام داده و مشکلی ندارد. زیرا مشکلاتی که موجب از دسـت رفـتن کارایی عایق‌ها گردد، به وضوح قابل تشخیص و شناسایی می‌باشد. تنها موردی که با تشخیص چشمی مشکل عایق در محیط موتورخانه امکان‌پذیر نمی‌باشد، از بین رفتن عایق در اثر نشتی‌های آب اجزا است. در این حالت با استفاده از دوربین‌های مـادون قرمز و اسکنرهای حرارتی دیگر می‌توان به سادگی محیط‌های غیر قابل رؤیت را نیز مورد بررسی قرار داده و از صحت کارکرد عایق‌ها اطمینان حاصل کرد. این اسکنرها

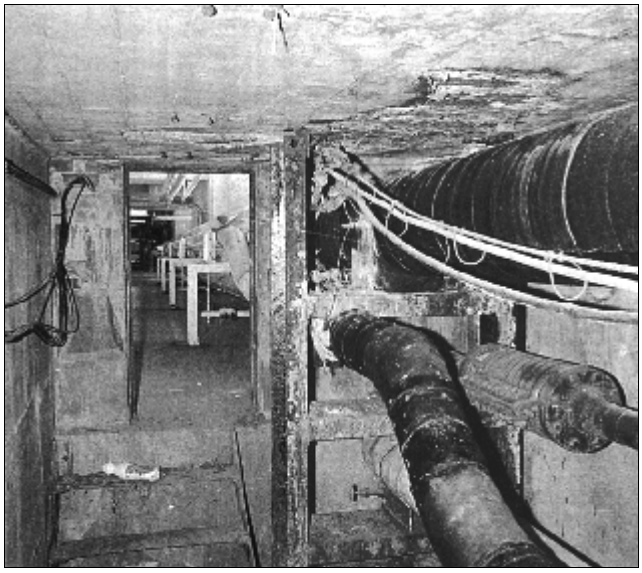
براساس اختلاف‌های جزئی دما بر روی سطح لوله‌ها، وجود نشتی در لوله‌های دفن شده در زیر زمین و یا پوشیده شده با عایق را نشان می‌دهد.

بطور خلاصه بررسی عایق‌های حرارتی در سیستم‌های گرمایشی از جمله کارهای اصلی برای جلوگیری از اتلاف انرژی گرمایی می‌باشد. تجربه اثبات کرده که بیشترین میزان هدر رفتن انرژی در اثر استاندارد نبودن عایق‌ها در لوله‌های انتقال دهنده‌ی آب گرم، داغ و یا بخار آب از دیگ به تجهیزات انتهایی می‌باشد. با اصلاح عایق‌ها و با توجه به وضعیت عایق‌ها در قبل از انجام اصلاحات، چگونگی محافظت اجزاء از رطوبت در فاصله‌ی بین دیگ‌ها و تجهیزات انتهایی و دمای سیال ناقل می‌توان حتی تا ٪۴۰ از انرژی ورودی به دیگ‌ها کاست. هزینه‌ی اولیه چنین طرحی نیز با توجه به در دسترس بودن اجزاء، مساحت عایقکاری و عوامل دیگر بسیار متفاوت می‌باشد.

۹ـ۲ کاهش نفوذ هوا به تونل‌های مربوط به لوله‌های سیال ناقل و محیط موتورخانه

تجهیزات موجود با دمای بالا در موتورخانه و بعلاوه لوله‌هایی که برای انتقال سیال ناقل از دیگ‌ها به تجهیزات انتهایی مورد استفاده قرار می‌گیرد، که بعضاً آنها را از داخل تونل‌هایی عبور می‌دهند، به تبادل حرارتی با محیط اطراف خود می‌پردازد. برای جلوگیری از اتلاف حرارت از آب گرم، داغ و یا بخار آب به محیط، باید فضای این تونل‌ها و موتورخانه را تا حد امکان گرم نگه داشت. ساده ترین و کم هزینه ترین روش جهت نیل به این هدف بستن درب و پنجره‌های موجود در این فضاهاست. شکل ۹ـ۳ مثال واضحی از مطلب فوق می‌باشد، که با بستن درب می‌توان به طور محسوسی از اتلاف انرژی از طریق لوله‌ها کاست. برای به حداقل

رساندن تلفات انرژی از این طریق می‌توان حتـی بـه عایقکـاری دیوارهـای تونـل و موتورخانه نیز پرداخت.



شکل ۹ـ۳ مثال واضحی از اتلاف حرارت از سیال ناقل به محیط اطراف که به سادگی و تنها با بستن در میتوان تا حد زیادی آنرا کنترل نمود.

نکاتی که در رابطه با اجرای این اصول باید مورد توجه قرار گیرد به صورت زیر طبقه بندی شده‌است:

- با اجرای اصول فوق، محیط موتورخانه و تونل‌های مربـوط بـه قرارگیـری لولـه‌هـا نباید به حدی گرم شود که مانع از ورود افراد برای کنترل و بازدید از سیستم گردد.
- در محیط‌هایی که نیاز به هوا برای انجام احتراق دارد، نباید محل‌های تهویه و نفوذ هوا به طور کامل بسته شود. زیرا این حالت منجر بـه احتـراق نـاقص و حتی خفگی شعله می‌گردد.

- برای از بین بردن رطوبت موجود در این فضاها، نیاز به تهویه هوا می‌باشد که میزان این تهویه با توجه به میزان رطوبت آزاد شده در فضا، که در اثر نشتی‌ها، باران و یا موارد مشابه به وجود آمده، تعیین می‌گردد. البته دمای بالای سطح لوله‌ها و تبدیل‌ها مانع از تقطیر بخار آب بر روی این اجزا می‌گردد. اما در اجزایی که دارای دمای پایینتری است، فضای گرم و وجود رطوبت موجب خوردگی و زنگ زدن سریع آنها می‌گردد.
- آخرین نکته‌ای که در رابطه با این روش باید مورد توجه قرار گیرد قرار دادن پلاک‌ها و نشانه‌هایی است، تا افراد را نسبت به بستن درب و پنجره‌ها در زمان‌هایی که فردی در این فضاها نیست آگاه کند.

با اجرای صحیح و دقیق این روش و با هزینه‌ی اولیه بسیار ناچیز می‌توان تا ٪۲۰ از تلفات انرژی در لوله‌ها و تجهیزات دیگر موجود در موتورخانه صرفه‌جویی نمود.

۹ـ۳ـ گرم کردن هوای لازم برای احتراق توسط انرژی گرمایی موجود در فضای موتورخانه

محیط موتورخانه، به دلیل وجود تلفات انرژی به طرق مختلف، غالباً دارای دمای بالایی می‌باشد. بهمین جهت استفاده از این انرژی گرمایی برای گرمایش هوای لازم جهت احتراق وبالاتربردن راندمان احتراق، طرحی منطقی و معقول به نظر می‌رسد. به ازای هر ۴۰°F (۲۲°C) افزایش دما در هوای ورودی برای احتراق، راندمان دیگ‌ها ٪۱ افزایش می‌یابد. بنابراین در موتورخانه‌هایی که هوای لازم جهت احتراق در مشعل به طور مستقیم از محیط خارج از موتورخانه تأمین می‌گردد، با عبور دادن این هوا از نواحی گرم موجود در محیط موتورخانه و افزایش دمای آن،

می‌توان به طور مؤثری راندمان دیگ‌ها را بهبود بخشید. به طـور مثـال، هنگـامی کـه دمای هوای خارج برابر (۰°C) ۳۲ °F باشد، با عبور این هـوا از محـیط موتورخانـه می‌توان به سادگی دمای آنرا به (۲۲ °C) ٤٠ °F افزایش داده و بدین طریـق رانـدمان دیگ‌ها را بهبود بخشید. البته در مکان‌هایی که دمای هوای خارج سردتر باشد میـزان این افزایش دما و درنتیجه بهبود راندمان بیشتر خواهد بود. با انجام این طرح و بسته به میزان افزایش دمای هوای ورودی جهت احتراق می‌توان بـین ٪۵ تـا ٪۲ رانـدمان دیگ‌ها را افزایش داد که این مقدار افزایش راندمان با توجه بـه انـرژی بسـیار زیـاد مصرفی توسط دیگ‌ها صرفه جویی زیادی در هزینه‌ها ایجاد می‌کند.

سؤالی که ممکن است در اینجا مطرح شود آن است که آیا انرژی گرمـایی هـدر رفته از دیگ‌ها توانایی گرم کردن مداوم و پیوسته هوای ورودی را دارا مـی‌باشـد یـا خیر. در شرایط بار ماکزیمم[1] غالباً دیگ‌ها در حدود ٪۲ از انرژی ورودی را به طـرق مختلف انتقال حرارت به محیط موتورخانه منتقل می‌کنند و میزان این اتلاف انـرژی از دیگ‌ها به محیط موتورخانه در شرایط بار کمتر[2] بیشتر خواهـد بـود. زیـرا دمـای سطح خارجی دیگ‌ها بدون توجه به میزان بار در همـان دمـای بـار مـاکزیمم بـاقی می‌ماند و در واقع این دلیل اصلی در افت راندمان دیگ‌ها در هنگـام فاصـله گـرفتن آنها از شرایط بار ماکزیمم خواهد بود. همانطور که در بخش ۹ــ۱ نیـز توضـیح داده شده تعویض عایق‌ها و عایقکاری مجدد کل سیستم گرمایش، کـاری بسـیار گـران و با برگشت هزینه کند خواهد بود. به همین دلیل اغلب در سیستم‌های از پیش نصـب

1. Full load
2. Partial load

شده تنها قسمت‌هایی از عایق که آسیب‌دیده ترمیم می‌گردد. بنابراین در اکثر اوقات اتلاف انرژی هر چند جزئی از دیگ‌ها به محیط موتورخانه وجود دارد و این امر اجرای طرح پیشنهادی در این بخش را توجیه می‌کند.

اکنون میتوان با این آشنایی مقدماتی نسبت به این طرح به بیان چگونگی اجرای موفقتر و مناسبتر این طرح در عمل پرداخت. اصول طرح به صورت خیلی ابتدایی در شکل ۹ـ٤ نشان داده شده‌است. همانطور که در شکل نیز مشاهده می‌گردد انرژی گرمایی هدر رفته از دیگ‌ها و تجهیزات جانبی دیگر موجود در موتورخانه موجب گرم شدن هوای درون موتورخانه می‌گردد و این هوای گرم به علت افت چگالی به سمت بالا حرکت می‌کند. با استفاده از یک کانال کشی مناسب می‌توان از این هوا برای احتراق در مشعل استفاده نمود. برای ایجاد هوای مناسب برای افراد مسئول نیز می‌توان محل ورود هوا از خارج محیط موتورخانه را در محل استقرار آنها قرار دارد. عاملی که باعث تغییر و بهبود این طرح ابتدایی و اولیه می‌گردد جذب حداکثر انرژی گرمایی ممکن جهت گرم کردن هوای ورودی برای احتراق می‌باشد، در نظر گرفتن چهار نکته اصلی کمک شایانی در رسیدن به این هدف خواهد کرد:

- **جلوگیری از فرار هوای گرم**

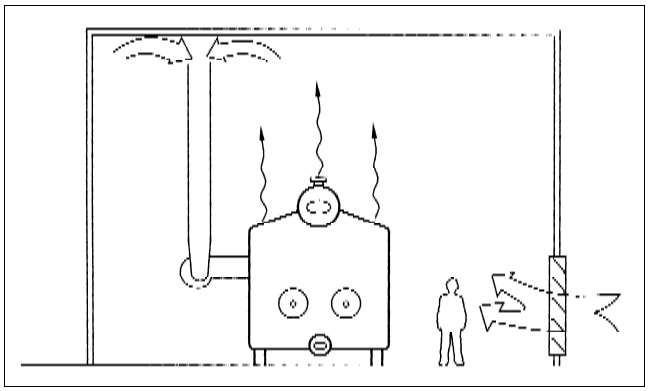
در حالت تئوری برای جذب بالاترین میزان انرژی گرمایی و به حداقل رساندن تلفات انرژی، لازم است تا دیوارهای موتورخانه به طور کامل عایقکاری شود و کلیه درزهای هوایی از بین برود.

اما در صنعت دیوارهای موتورخانه یا عایق ندارد و اگر هم داشته باشد کم و ناکافی است و در ضمن درزهای هوایی زیادی هم وجود دارد. از آنجا که عایقکاری

کامل جدارهای خارجی موتورخانه به هیچ عنوان دارای توجیه اقتصادی نمی‌باشد بنابر این در این مورد به از بین بردن درزهای هوایی و دور کردن مسیر هوای ورودی جهت احتراق از جدارهای خارجی می‌توان اکتفا نمود.

- **جذب بیشترین انرژی گرمایی توسط هوای ورودی برای احتراق**

با عبور دادن هوای لازم جهت احتراق از مجاورت تجهیزاتی که دارای دمای بالاتری نسبت به دیگر اجزا می‌باشد می‌توان جذب انرژی گرمایی از محیط موتورخانه را به حداکثر رساند.



شکل ۹ـ٤ طرح اولیه و ابتدایی جهت استفاده از انرژی گرمایی هوای موجود در موتورخانه

- **جلوگیری از مخلوط شدن هوای ورودی برای احتراق با هواهای ورودی دیگر**

برای رسیدن به بالاترین دما برای هوای ورودی جهت احتراق، تنها این هوا باید از محل‌های گرم درون موتورخانه عبور داده شود. اگر هوای دیگری هم مانند هوای لازم جهت تهویه موتورخانه برای کارگران و یا هوای لازم برای تنظیم رگلاتورهای فن‌ها مورد نیاز باشد، باید مسیر عبور آنها را از مجاورت دیگ‌ها و تجهیزات با دمای بالا دور کرد.

- **عدم ایجاد ناحیه‌های گرم در مکان‌هایی که افراد مسئول در آنجا حضور دارند**

تا حد امکان در طراحی‌ها باید نقاط گرم موتورخانه‌ها را از محل استقرار کارگران دور نگه داشت. زیرا در این حالت این افراد با تغییر در شرایط محیط موجب عدم دسترسی به هدف مربوطه می‌شوند.

در حالت کلی انرژی گرمایی در دیگ‌ها به دو صورت هدر می‌رود. حالت اول در زمانیست که دمای دیگ خیلی بالا می‌باشد که این حالت اغلب در هنگامی است که سیال ناقل مورد استفاده بخار آب می‌باشد. تلفات انرژی در این حالت عمدتاً به صورت تابشی انجام می‌گیرد. اما حالت دوم، در اغلب سیستم‌های مورد استفاده در مناطق مسکونی که سیال ناقل سیستم آب داغ یا آب گرم می‌باشد، اتلاف حرارت در دو مرحله انجام می‌گیرد. در مرحله اول از طریق هدایت انرژی گرمایی از دیگ به محیط منتقل شده و در مرحله بعد به طریق همرفت هوای گرم به طرف بالا حرکت می‌کند. در حالت ایدآل هوای لازم برای احتراق باید با عبور از اطراف تجهیزات و سیستم‌های گرم موجود در موتورخانه، انرژی گرمایی این اجزا را جذب نموده و سپس وارد مشعل گردد. در صنعت نیز باید تا حد ممکن به این حالت نزدیک شد. به همین جهت باید با انجام اقداماتی هوای گرم را از نقاط مختلف موتورخانه جمع کرد و سپس آن را از طریق کانال کشی مناسبی که از جدارهای خارجی سرد نیز فاصله داشته باشد به مشعل منتقل نمود. این اقدامات و گام‌ها به صورت زیر طبقه بندی گردیده است:

- **از بین بردن راه‌های نفوذ هوا به محیط موتورخانه**

موتورخانه‌ها به دلیل دارا بودن درزهای هوایی فراوان در جدارهای خارجی خود و همچنین تعداد زیاد پنجره‌ها و درب‌ها، بخش زیادی از هوای گرم داخلی را هدر

می‌دهد. به همین جهت بستن پنجره‌ها و درب‌ها و از بین بردن درزهای هوایی و همچنین بکاربردن پلاک‌هایی جهت آگاه کردن افراد مسئول از علت این امر از جمله اقدامات اولیه برای نزدیکتر شدن به حالت ایدآل می‌باشد.

- **استفاده از پارتیشن‌ها**

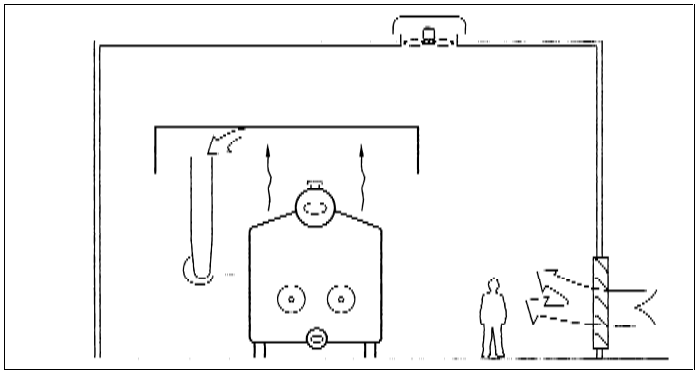
در مواقعی که در محیط موتورخانه علاوه بر دیگ‌ها از تجهیزات دیگری نظیر چیلر استفاده می‌گردد، با استفاده از پارتیشن‌ها و جدا کردن تجهیزات گرمایشی از دیگر اجزای موجود می‌توان علاوه بر کنترل بهتر هوای گرم با کمتر کردن دمای محیط اطراف، بر عمر مفید تجهیزات سرمایشی نیز افزود.

- **هودهای جمع‌کننده انرژی گرمایی**[1]

می توان با نصب این هودها در بالای دیگ‌ها و یا سایر اجزایی که دارای دمای بالایی بوده و انرژی گرمایی زیادی را هدر می‌دهد، به جمع آوری این انرژی پرداخت. این طرح به صورت ساده در شکل ۹ـ۵ نشان داده شده‌است.

در حقیقت نقش این هودها جلوگیری از تماس هوای گرم با جدارهای سرد خارجی قبل از استفاده از انرژی گرمایی آن می‌باشد. این مسئله زمانی بیشتر اهمیت پیدا می‌کند که فضای موتورخانه به مراتب از خود دیگ‌ها بزرگتر باشد. همانطور که در شکل ۹ـ۵ نیز مشاهده می‌گردد، برای تأمین هوای مطلوب مورد نیاز برای کارگران نیز می‌توان تهویه کننده‌ها را در دیوارها قرار داد که در این حالت، در عین حال که از انرژی گرمایی موجود در فضای موتورخانه استفاده می‌گردد محیط مطبوعی نیز برای کارگران فراهم می‌شود.

1. Heat collecting hoods



شکل ۹ـ۵ هود موجود در قسمت فوقانی دیگ‌ها وظیفه جمع آوری و تامین هوای گرم برای احتراق در مشعل را بر عهده دارد

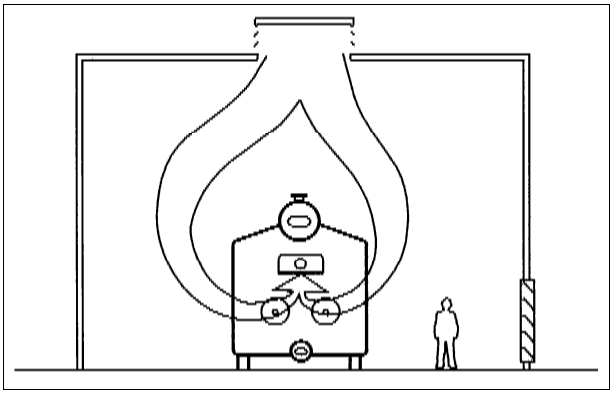
تنها مشکل این هودها آن است که این هودها تنها انرژی گرمایی منتشر شده از طریق همرفت و از تجهیزاتی که دقیقاً در زیر آنها قرار دارند را جذب می‌کند و قادر به جذب انرژی گرمایی اجزای دیگر که با فاصله از هود قرار گرفته نمی‌باشد. به همین جهت برای حل این مشکل می‌توان از هودهای بیشتری در نقاط مختلف موتورخانه استفاده نمود که این هودها تمام هوای گرم موجود در موتورخانه را به هود اصلی منتقل می‌کند تا دبی هوای گرم جمع‌آوری شده را بتوان در هود اصلی کنترل کرد.

- **مجزا کردن هوای تهویه از هوای احتراق**

همانطور که پیشتر نیز اشاره گردید، کارگران و افراد مسئول برای کار در محیط موتورخانه نیازمند سهم بالایی از هوای تازه و با درجه حرارت مطلوب می‌باشند. بنابراین باید تا حد امکان هوای لازم جهت احتراق سوخت را از هوای مورد نیاز کارگران مجزا نمود.

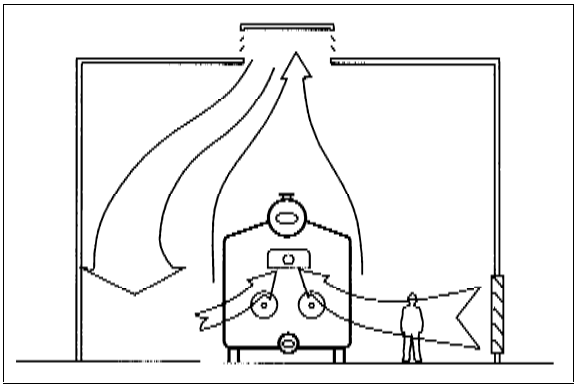
با در نظر گرفتن اقدامات و گام‌های فوق، بهترین روش جهت تأمین هوای مورد نیاز برای احتراق استفاده از کانال‌هایی می‌باشد که هوای خارج را به مشعل‌ها منتقل می‌کند. این هوا یا با استفاده از انرژی گرمایی هودها و یا با عبور دادن کانال‌ها از بالای اجزای گرمتر مانند خود دیگ، گرم شده و برای احتراق آماده می‌شود.

بسیاری از افراد ممکن است تصور کنند که می‌توان با ایجاد سوراخی در سقف و درست در بالای دیگ‌ها هوای سرد ورودی را با انرژی گرمایی موجود در اطراف دیگ‌ها گرم نموده و سپس وارد مشعل کرد و محیط اطراف را نیز برای کارگران در شرایط استاندارد قرار داد. این طرح ایدآل در شکل ۹ـ٦ نشان داده شده‌است.



شکل ۹ـ٦ طرح ایده‌آل و تئوری جهت ورود هوا از ارتفاع بالا

اما با اجرای این طرح حالت واقعی که برای سیستم ایجاد می‌گردد به صورت شکل ۹ـ۷ بوده که در این حالت هوای سرد محیط خارج وارد مشعل شده و هوای گرم از سطح موجود در سقف خارج می‌گردد.



شکل ۹ـ۷ علت عدم قرارگیری محل ورود هوای لازم برای احتراق در ارتفاع و بالای دیگ‌ها

به طور خلاصه در این قسمت به چگونگی استفاده از انرژی گرمایی هدر رفته از اجزای با دمای بالا در محیط موتورخانه پرداخته شد. با استفاده از روش‌های ارائه شده در این بخش و تغییرات جزئی در محیط موتورخانه، می‌توان حتی از گرمای هدر رفته از طرق مختلف انتقال حرارت نیز برای پیش گرمایش هوای لازم جهت احتراق و با هزینه‌ای به مراتب کمتر از هزینه‌ی مربوط به خریداری پیش گرمکن‌های هوایی، که در بخش ۸ـ۱ـ۲ به آنها اشاره گردید، به بهبود راندمان در دیگ‌ها کمک کرد. در اجرای این طرح می‌توان با استفاده از سنسورهای حساس به بخارات سوخت، ضریب اطمینان طرح را نیز تا حد مطلوبی بالا برد. همچنین باید شرایط ایجاد شده در محیط موتورخانه، حالت نامطلوبی را در هوای مورد نیاز برای کارکنان و افراد مسئول ایجاد نکند زیرا در این حالت این افراد با ایجاد تغییراتی در سیستم نظیر افزایش راه‌های نفوذ هوا، باعث فاصله گرفتن از هدف تعیین شده می‌گردند. بعلاوه از آنجا که کانال‌های مورد استفاده برای انتقال هوای لازم جهت احتراق تنها نقش هدایت جریان هوا از روی تجهیزات گرم را بر عهده دارد، می‌توان آنها را با مواد سبک و ارزانی نظیر

ورقه‌های آلومینیومی ساخت. البته گرچه استفاده از مواد سبک و ارزان، امکان تغییر مسیر کانال‌ها و همچنین اتصالات آنها را ساده تر می‌کند ولی همواره باید طوری این کانال کشی هوایی انجام گیرد که این کانال‌ها در برابر صدمات احتمالی در هنگام تعمیرات و رسیدگی‌های دوره‌ای موتورخانه، مقاوم باشد. در صورت اجرای صحیح طرح و رعایت کلیه نکات اشاره شده می‌توان بین ٪۵ تا ٪۲ از میزان سوخت مصرفی توسط دیگ‌ها کاست که این رقم با توجه به هزینه‌ی بالای سوخت، برگشت هزینه‌ی سریع طرح را نیز تضمین می‌کند.

فصل دهم

تدوین دستورالعمل‌های جامع در رابطه با بهینه‌سازی مصرف سوخت در دیگ‌های حرارت مرکزی

مقدمه

پس از آشنایی کامل با انواع راهکارهایی که توسط آن‌ها می‌توان دیگ‌های حرارت مرکزی رادر بهینه‌ترین حالت کارکردشان راه‌اندازی نمود، اینک در این فصل به تدوین دستورالعمل جامع برای بهینه‌کردن کارکرد سیستم‌های گرمایشی موجود در موتورخانه و در انواع حالات کارکردشان می‌پردازیم. این دستورالعمل در دو شاخه اصلی ارائه گردیده است. در حالت اول با ارائه اصولی که در فاز انتخاب و نصب تجهیزات باید مورد توجه قرار گیرد و با توجه به بار گرمایشی مورد نیاز که باید توسط دیگ‌های حرارت مرکزی تأمین گردد، می‌توان انتخاب و چیدمان اجزاء و تجهیزات مختلف موجود در موتورخانه را به صورتی طراحی نمود، که بار گرمایشی مورد نظر با کمترین هزینه‌ی ممکن تأمین گردد. در حالت دوم نیز راهکارهایی جهت کاهش تلفات انرژی و در نتیجه هزینه‌های جاری کارکرد دیگ‌های حرارت مرکزی که پیشاپیش در سیستم نصب گردیده و مشغول به کار می‌باشد، ارائه گردیده است.

مهمترین نکته‌ای که در تدوین این دستورالعمل جامع در رابطه با کاهش هزینه‌ی کارکرد دیگ‌های حرارت مرکزی، چه در فاز انتخاب و طراحی و چه در سیستم‌های

از پیش نصب شده و در حال کار، موردتوجه قرار گرفته است، توجیه اقتصادی طرح می‌باشد. توجیه اقتصادی طرح بدین معنی است که هزینه‌ی اولیه بیشتر، جهت به حداقل رساندن تلفات انرژی در سیستم، با چه نرخی قابل برگشت می‌باشد. بالا بودن نرخ برگشت پذیری طرح، تضمینی است بر این نکته که نه تنها هزینه‌ی اولیه اضافی در طی مدت کوتاهی و با کاهش تلفات انرژی در سیستم، جبران خواهد شد، بلکه اجرای طرح پس از این مدت موجب سوددهی نیز خواهد گردید.

۱۰ـ۱دستورالعمل جامع برای انتخاب ونصب بهینه تأسیسات دیگ‌های حرارت مرکزی

در این بخش می‌توان با اجرای دقیق و کامل اصول ارائه شده در فاز طراحی، انتخاب و نصب اجزاء مختلف سیستم گرمایشی در محیط موتورخانه تا حد امکان به حالت کار کرد ایدآل این سیستم نزدیک شد.

- **تعیین بار گرمایشی مورد نیاز**

اولین گام در رابطه با تدوین این دستورالعمل، تعیین بار گرمایشی مورد نیاز است که باید توسط دیگ‌ها تأمین گردد. بار گرمایشی مورد نیاز سیستم، برابرمجموع تلفات حرارتی اتاق‌ها (که با توجه به استانداردهای اشری می‌توان آنرا محاسبه کرد)، باضافه‌ی بار حرارتی آب گرم مصرفی می‌باشد. البته باید درصدی اضافه بار را نیز بابت تلفات حرارت از خود دیگ و لوله‌ها، به بار محاسبه شده افزود. این میزان برابر ٪۵ تا ٪۲۰ از کل تلفات حرارتی سیستم می‌باشد. البته با اجرای دقیق اصول ارائه شده در فصل نهم می‌توان تا حد زیادی به مقدار مینیمم این اضافه بار (٪۵) نزدیک شد.

- **انتخاب دیگ**

اکنون با معلوم بودن بار گرمایشی مورد نیاز که باید توسط دیگ‌ها تأمین گـردد و انتخاب نوع سیال ناقل می‌توان دیگ مناسب برای سیستم را انتخاب نمود. همـانطور که در فصل اول نیزاشاره گردید، سیستم‌های حرارت مرکزی را با توجه به نوع سیال ناقل، به چهار شاخه‌ی اصلی می‌توان تقسیم نمود که مزایا و معایب هـر یـک بطـور کامل در آن فصل بیان شـد. امـروزه بـرای اغلـب فضـاهای مسـکونی و دربارهـای متوسط، از سیستم‌های حرارت مرکزی با آب گرم یا آب داغ استفاده می‌گـردد، زیـرا استفاده از سیال ناقل بخار در دیگ‌ها، باعث افزایش چشمگیر هزینه‌ی اولیـه شـده و همچنین نیازمند مراقبت و نگه داری‌های دوره‌ای بیشتری مـی‌باشـد. بهمـین جهـت استفاده از سیال ناقل بخار، بدلیل قابلیت حمل انرژی گرمایشی بیشتر نسبت به انواع دیگر سیال‌های ناقل، تنهـا بـه منـاطق بسـیار سـرد، آسـمانخراش‌هـا، نیروگـاه‌هـا و کارخانجات بزرگ منحصر می‌گردد. اکنون می‌توان با معین شدن نوع سیال ناقـل بـه انتخاب نوع دیگ مورد نیاز پرداخت.

در فصل دوم نیز دیگ‌ها به پنج شاخه اصلی تقسیم بندی شد. در موتورخانه‌های مسکونی و باتوجه به سیال ناقل حرارت که آب گرم یا آب داغ مـی‌باشـد، اغلـب از دیگ‌های چدنی و یا دیگ‌های فولادی با لوله‌های آتش با سه یا چهار پاس اسـتفاده می‌گردد که مزایا و معایب هر یک به طور مفصل در فصل دوم بیان گردید.

اکثراً دیگ‌های چدنی هنگامی در سیستم نصب می‌گردد که سیال ناقـل حـرارت آب گرم و در فشار اتمسفریک باشد. زیرا این دیگ‌ها بدلیل اتصال پره‌هایشان توسط بوشن‌ها تحمل فشار بالا را ندارد. همچنین در هنگامیکه بار گرمایشی بیشتری مـورد

نیاز باشد و در سیستم از آب داغ به عنوان سیال ناقل استفاده گردد، بهره‌گیری از دیگ‌های فولادی با لوله‌های آتش برای کاهش بروزنشتی‌ها و همچنین ایجاد توانایی کارکرد سیستم در فشارهای بالاتر، توصیه می‌گردد.

دیگ‌های فولادی با لوله‌های آب، بدلیل آنکه بیشتر در سیستم‌های گرمایشی با سیال ناقل بخار و در فشارهای بسیار بالا مورد استفاده قرار می‌گیرد و همچنین بدلیل طراحی‌های خاص جهت انحنا و خم‌کاری لوله‌های آب در درون دیگ برای افزایش میزان تبادل حرارت بین دود و آب یا بخار، دارای قیمت‌های بسیار بالایی می‌باشد. به همین جهت از آنجا که در اغلب فضاهای مسکونی، از آب گرم و نهایتاً آب داغ به عنوان سیال ناقل استفاده می‌گردد، انتخاب دیگ‌های فولادی با لوله‌های آب به دلیل گران بودن بیش از حد و عدم نیاز به قابلیت‌های ارائه شده توسط آنها به هیچ عنوان دارای توجیه اقتصادی مناسبی نمی‌باشد.

معمولاً در صنعت برای تأمین بار گرمایشی مورد نیاز توسط دیگ‌ها، بجای استفاده از یک دیگ با قدرت مورد نیاز از چند دیگ با قدرت‌های کمتر استفاده می‌گردد. این عمل فواید و قابلیت‌های بسیار زیادی را در سیستم ایجاد می‌کند. بطور مثال هنگامیکه یکی از دیگ‌ها بدلیل تعمیرات از سیستم خارج می‌شود، ساختمان توسط بقیه دیگ‌ها اگر چه نه به حد مطلوب، لااقل تا اندازه قابل تحملی گرم باقی می‌ماند. همچنین چون اکثراً فصل سرما کوتاه مدت می‌باشد، کار دیگ در قسمت اعظم سال فقط تهیه‌ی آب گرم مصرفی می‌باشد که این امر بخصوص در مورد تأسیسات بزرگ مقرون به صرفه و صلاح نبوده و باعث استهلاک غیر ضروری دیگ و متعلقات آن می‌شود.

نکته قابل توجه دیگر در این رابطه آنست که بار گرمایشی که باید توسط دیگ‌ها تأمین گردد همواره ثابت نبوده و برای تطبیق انرژی مصرفی و کارکرد دیگ‌ها با بار مورد نیاز، استانداردها استفاده از چند دیگ به طور موازی را برای تأمین بار مورد نیاز توصیه می‌کند.

- **انتخاب مشعل‌ها**

همواره در فاز انتخاب و نصب مشعل‌ها باید به این نکته توجه داشت که میزان هزینه لازم برای تأمین سوخت مشعل‌ها در طی عمر کاریشان، به مراتب از هزینه‌ی اولیه جهت تهیه مشعل‌ها بیشتر می‌باشد. بنابراین باید بتوان تا حد امکان از مشعل‌هایی با راندمان‌های کارکرد بالاتر و قابلیت‌های بیشتر استفاده نمود.

همانطور که در فصل هفتم نیز اشاره گردید مشعل‌ها به لحاظ سوخت مصرفیشان به انواع گاز سوز، نفت سوز، مازوت سوز و با سوخت زغال سنگ تقسیم‌بندی می‌شود. در هنگام انتخاب نوع سوخت مصرفی توسط مشعل‌ها، در نظر گرفتن هزینه سوخت با توجه به موقعیت جغرافیایی و میزان نیاز به مراقبت و نگه داری دوره‌ای از سیستم، از جمله مهمترین مسائل می‌باشد. بطور مثال در ایران با توجه به منابع غنی گاز و همچنین نیاز بسیار کم تأسیسات گرمایشی به سرویس‌های دوره‌ای در هنگام استفاده از گاز به عنوان سوخت مشعل، باعث گردیده تا عمده‌ی مشعل‌ها در ایران به صورت گازسوز انتخاب گردد. در حالیکه در اروپا به دلیل وجود منابع فراوان زغال سنگ، با وجود نیاز سیستم به نگهداری و بازدیدهای دوره‌ای بیشتر، استفاده از زغال سنگ به عنوان سوخت مشعل‌ها بسیار متداول می‌باشد.

همچنین تقسیم‌بندی دیگری، مشعل‌ها را به انواع تک مرحله‌ای، چند مرحله‌ای و تنظیم شونده تقسیم می‌کند. در این میان استفاده از مشعل‌های تنظیم شونده گر چه نیازمند هزینه‌ی اولیه‌ی بالاتری در فاز انتخاب اجزاء برای سیستم گرمایشی می‌باشد، اما با دارا بودن این قابلیت که توسط آنها می‌توان توان خروجی مشعل را با بار مورد نیاز تطبیق داد، برگشت هزینه‌ی اضافی اولیه طرح تضمین می‌گردد. توانایی تطبیق توان خروجی مشعل تنظیم شونده با بار مورد نیاز، باعث می‌گردد تا علاوه بر اتلاف انرژی در کلیه شرایط بار، تنش‌های حرارتی کمتری نیز در اثر خاموش و روشن شدن مداوم مشعل‌ها در دیگ‌ها ایجاد گردد. همچنین در این حالت دیگر تلفات انرژی در حالت آماده باش نیز در سیستم وجود نخواهد داشت.

یکی از مهمترین قابلیت‌های دیگری که با هزینه‌ی اولیه بیشتر می‌توان در سیستم ایجادنمود، ایجاد توانایی کارکرد دیگ‌ها با چند سوخت مختلف می‌باشد. با ایجاد این قابلیت در سیستم و از طریق انتخاب مشعل‌های دوگانه سوز و با تدوین برنامه‌ی کاری مناسب برای زمان تعویض به موقع سوخت، می‌توان علاوه بر راه‌اندازی مشعل‌ها با کمترین هزینه‌ی سوخت ممکن این قابلیت را نیز در سیستم ایجاد نمود که بتوان در هنگام سرمای شدید نیز که فشار گاز به شدت در لوله‌ها افت می‌کند، از سوخت‌های جایگزین استفاده نمود.

امروزه تفاوت مشعل‌ها در راندمان، اغلب در چگونگی سوزاندن سوخت و میزان هوای اضافی مورد نیاز جهت نزدیک‌تر شدن به احتراق کامل می‌باشد. توانایی سوزاندن کامل سوخت و استفاده از تمام انرژی سوخت ورودی به مشعل و همچنین انجام احتراق کامل سوخت با کمترین میزان هوای اضافی که موجب جذب گرما و کاهش

دمای محفظه احتراق گردد، از جمله مهمترین نکاتی است که باعث افزایش راندمان کاری مشعل‌ها می‌گردد.بطور خلاصه و باتوجه به نکات ارائه شده، مناسبترین انتخاب برای مشعل‌ها، استفاده از مشعل‌های تنظیم شونده دوسوختی و با کمترین میزان هوای اضافی مورد نیاز برای احتراق کامل سوخت می‌باشد. بهینه‌ترین حالت انتخاب دو سوخت، برای کارکرد مشعل‌ها در ایران، گاز به عنوان سوخت اصلی و نفت سبک به عنوان سوخت دوم می‌باشد. استفاده از این دو سوخت نیاز سیستم به تمیز کردن دوده و همچنین مراقبت‌های دوره‌ای را نیز به طور محسوسی کاهش می‌دهد.

آخرین نکته‌ای که رعایت آن می‌تواند تلفات انرژی در مشعل‌ها را به حداقل برساند، استفاده از راه‌اندازهای الکتریکی به جای روش سنتی استفاده از پیلوت می‌باشد. بدین طریق می‌توان حتی از انرژی جزئی که در پیلوت‌ها به طور پیوسته هدر می‌رود نیز جلوگیری کرد.

- **انتخاب فن‌ها و تجهیزات جانبی دیگر**

تا به اینجا و با توجه به گام‌های پیشین مناسبترین انتخاب در رابطه با دیگ‌ها و مشعل‌ها انجام گرفت.با توجه به این استدلال‌ها، برای فضاهای مسکونی، دیگ‌های چدنی در هنگام استفاده از سیال آب گرم در فشار اتمسفریک و یا دیگ‌های فولادی با لوله‌های آتش در هنگام استفاده از سیال آب داغ با فشار بالاتر از فشار اتمسفریک توجیه گردید، همچنین در رابطه با مشعل‌ها نیز، بهینه‌ترین انتخاب برای کاهش هزینه کارکرد جاری تاسیسات گرمایشی، مشعل‌های تنظیم شونده دو سوختی می‌باشد. اکنون می‌توان با معین شدن دو جزء اصلی موتورخانه به سراغ انتخاب تجهیزات جانبی و متعلقات دیگر رفت.

از جمله مهمترین تاسیسات جانبی در محیط موتورخانه می‌توان به پمپ‌های گردش آب گرم، پمپ‌های تغذیه آب، پمپ‌های مربوط به گردش سوخت، گرم‌کننده‌های سوخت، کمپرسورهای هوا و همچنین فن‌ها اشاره کرد.

در فصل چهارم روش‌های مختلف در رابطه با کاهش هزینه جاری کارکرد اجزاء جانبی به طور کامل مورد بررسی قرار گرفت. مهمترین نکته‌ای که در فاز انتخاب این اجزاء جانبی باید مورد توجه قرار داد، انتخاب اجزایی است که توانایی تطبیق شرایط کارکردشان را با تغییرات بار داشته باشد: زیرا در غیر اینصورت توان خروجی این اجزاء، با توجه به شرایط ماکزیمم بار تنظیم می‌شود و در شرایطی که کارکرد دیگ‌ها از بار ماکزیمم فاصله می‌گیرد، همواره در این اجزاء تلفات انرژی وجود خواهد داشت. رعایت این مورد، بخصوص در رابطه بافن‌های هوای ورودی و تخلیه دود باقدرت‌های بالا که دائماً در حال کار بوده و به مصرف انرژی الکتریکی می‌پردازد، می‌تواند به طور محسوسی از هزینه کارکرد مربوط به این اجزاء بکاهد. علاوه بر این نکته، در هنگام نصب نیز باید به این مسئله توجه داشت که تجهیزات جانبی اغلب به صورت دوتایی در موتورخانه‌ها نصب می‌گردد. بنا براین باید با استفاده از کلیدهایی اجزاء یدک و ثانوی را از مدار خارج نمود تا بتوان از کارکرد بیهوده و اضافی آنها جلوگیری نمود.

- **استفاده از کنترلرهای مناسب برای کاهش کارکرد اضافی سیستم گرمایشی**

همانطور که در فصل چهارم بیان گردید،کنترلرهای مورد استفاده در موتورخانه‌ها به دو شاخه اصلی تقسیم می‌گردد. نوع اول کنترلرها که همان کنترلرهای زمانی (ساعتی) می‌باشد، در زمان‌های از پیش تعیین شده و معین باعث کارکرد سیستم می‌گردد. این

نوع از کنترلرها در زمانی در تاسیسات مورد استفاده قرار می‌گیرد که نیاز به گرمایش تنها در زمان‌های معین و ثابتی باشد، مانند ادارات و فروشگاه‌ها که تنها در ساعات کاری خود نیاز به گرمایش دارد. نوع دیگر کنترلرها بر مبنای دما کار می‌کند.

استفاده از این کنترلرها، بخصوص در فضاهای مسکونی که در آنها به طور دائم نیاز به گرمایش محیط می‌باشد، نسبت به نوع اول کنترلرها می‌تواند بطور بسیار چشمگیری از هزینه کارکرد سیستم بکاهد. زیرا در صورتی که فضاهای مسکونی از کنترلرهای زمانی استفاده گردد، تنظیمات کنترلر بر مبنای حداکثر بار انجام گرفته واین امر موجب افزایش چشمگیر هزینه جاری کارکرد دیگ‌ها می‌گردد.

محل نصب سنسورهای مربوط به کنترلرهای نوع دوم، می‌تواند چگونگی فرمان پذیری این کنترلرها را معین کند. معمولاً این سنسورها در محیط داخل یا فضای خارج و حتی گاهی در نقاطی از سیستم که احتمال یخ زدگی در آن مکان‌ها وجود دارد، نصب می‌گردد.

در صنعت اغلب کنترلرها به دو صورت مکانیکی و الکترونیکی عرضه می‌شود. امروزه استانداردها استفاده از انواع مکانیکی کنترلرها را در تاسیسات گرمایشی به هیچ عنوان توصیه نمی‌کند. بهمین جهت استفاده از کنترلرهای الکترونیکی، در فاز انتخاب اجزا گرچه با هزینه اولیه بیشتری همراه می‌باشد، اما توسط آن می‌توان از کارکرد دقیق سیستم اطمینان یافت.

در هنگام استفاده از کنترلرها و برای جلوگیری از فاصله گرفتن سیستم از حالت طراحی شده برای آن، نصب حذف کننده‌ها در مکان‌های واضح و مشخص برای مصرف کنندگان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد.

- **عایقکاری مناسب اجزاء و استفاده بهینه از انرژی گرمایی موجود در محیط موتورخانه**

پس از انتخاب و نصب کلیه اجزاء و تجهیزات درمحیط موتورخانه، باید آنها را به نحو مطلوبی عایقکاری نمود، تا بتوان از تلفات انرژی از اجزایی با دمای بالا (مانند بدنه دیگ‌ها) به محیط موتورخانه کاست. گرچه انجام عایقکاری مناسب و دقیق برای کلیه تجهیزات موجود در موتورخانه وهمچنین لوله‌های انتقال دهنده سیال ناقل از دیگ‌ها به تجهیزات انتهایی، طرح هزینه بری می‌باشد اما با جلوگیری از اتلاف انرژی، هزینه اولیه طرح در طی مدت نسبتاً طولانی قابل برگشت می‌باشد. نرخ پایین برگشت پذیری این طرح موجب گردیده تا گاهی تنها در بدنه دیگ‌ها و لوله‌های انتقال دهنده سیال ناقل از دیگ‌ها به اجزاء انتهایی، عایقکاری دقیق و مناسب انجام گیرد و در رابطه با تجهیزات دیگر موجود در موتورخانه با مساحت جانبی و یا دمای کمتر، به عایقکاری سطحی واولیه اکتفا نمود. در این حالت مسلماً نسبت به حالت قبل، اتلاف انرژی از سیستم به محیط موتورخانه بیشتر خواهد بود که می‌توان از این انرژی گرمایی موجود در محیط موتورخانه برای گرمایش هوای ورودی به مشعل‌ها جهت احتراق استفاده نمود. همانطورکه اشاره گردید، به ازای هر $40^{o}F$ افزایش دما در هوای ورودی، راندمان دیگ‌ها ٪۱ افزایش می‌یابد که با توجه به انرژی مصرفی بسیار زیاد در دیگ‌ها این میزان افزایش در راندمان بطور محسوسی از هزینه جاری کارکرد تاسیسات خواهد کاست.

این نکته اجرای طرحی جهت استفاده از گرمای موجود در محیط موتورخانه را جهت پیش گرمایش هوای ورودی برای احتراق توجیه می‌کند.برای اجرای این طرح، اولین نکته جلوگیری از اتلاف انرژی از طریق درب و پنجره‌ها به محیط

خارج و نکته دوم عبور دادن هوای ورودی برای احتراق از طریق کانال‌هایی است که از نقاط گرم موجود در موتورخانه عبور می‌کند.

استفاده از روش دوم برای عایقکاری، بدلیل هزینه اولیه پایین تر و همچنین نرخ برگشت پذیری بالاتر، باعث گردیده تا در این دستورالعمل استفاده از روش دوم، برای انجام عایقکاری اجزاء موجود در موتورخانه و همچنین کاهش تلفات انرژی به محیط موتورخانه توصیه گردد.

- **تنظیم و کنترل نسبت هوا به سوخت**

در فصل ششم اهمیت تنظیم دقیق وکنترل مناسب نسبت هوا به سوخت بطور کامل مورد بررسی قرار گرفت. به همین جهت در تدوین دستورالعمل جامع جهت بهینه نمودن کارکرد دیگ‌های حرارت مرکزی، در این بخش به ارائه نکاتی که در فاز انتخاب ونصب تجهیزات مناسب برای بهینه نمودن نسبت هوا به سوخت لازم است، می‌پردازیم.

برای تنظیم اولیه نسبت هوا به سوخت، در هنگام نصب و راه‌اندازی سیستم می‌توان از دستگاه‌های مختلفی نظیر تستراکسیژن و یا تسترمونو اکسیدکربن استفاده نمود. با استفاده ازتستردی اکسید کربن نیز می‌توان از تنظیمات انجام شده اطمینان حاصل نمود. برای جلوگیری از تغییر در نسبت تنظیم شده، می‌توان از کنترلرهایی نظیر کنترلر اتوماتیک اکسیژن تریم که با اندازه‌گیری میزان اکسیژن موجود در دود و با استفاده از اجزاء مکانیکی واسطه به تنظیم نسبت هوا به سوخت می‌پردازد، استفاده نمود. پیش از بهره گیری از چنین کنترلرهایی باید توجیه اقتصادی طرح مورد بررسی قرارگیرد. بطور مثال دیگی با سوخت سنگین برای دستیابی به بالاترین میزان راندمان خود با ٪۱۵ هوای اضافی کار می‌کند. حال اگر این میزان هوای اضافی به ٪۳۰ افزایش یابد باعث افت

راندمان به میزان ٪۱ خواهد شد. اکنون مقدار انرژی صرفه جویی شده به ازای ٪۱ افزایش راندمان باید با میزان هزینه اولیه جهت نصب سیستم مقایسه گردد و در صورت دارا بودن توجیه اقتصادی از این دستگاه استفاده گردد.

در حالت کلی، نصب این کنترلرها در دیگ‌هایی با ظرفیت‌های بالا و نگهداری و مراقبت کم که با سوخت سنگین کار می‌کند، توصیه می‌گردد و برای حالات دیگر نظیر دیگ‌هایی با سوخت گاز ونگهداری و مراقبت مداوم می‌توان با استفاده از سیستم‌های مکانیکی بسیار ساده، که بطور کامل در فصل ششم مورد بررسی قرار گرفت، نسبت هوا به سوخت را در حالت بهینه خود نگه داشت.

- **اندازه‌گیری راندمان برای کلیه دیگ‌ها و در کلیه شرایط بار**

پس از نصب و راه‌اندازی دیگ‌های حرارت مرکزی، اولین و اصلی ترین اقدام برآورد راندمان برای کلیه دیگ‌ها و در کلیه شرایط بار می‌باشد. همانطور که در فصل پنجم نیز اشاره گردید، در دیگ‌های حرارت مرکزی امکان اندازه‌گیری مستقیم راندمان کارکرد تاسیسات وجود ندارد. بهمین جهت راندمان احتراق در بهینه ترین حالت کارکرد سیستم معین گردیده و این میزان به عنوان مبنا در برآوردهای بعدی راندمان مورد استفاده قرار می‌گیرد. راندمان احتراق را با اندازه‌گیری میزان اکسیژن یا دی اکسید کربن و همچنین برآورد اختلاف دمای هوای ورودی و دود خروجی می‌توان بدست آورد.

پس از محاسبه راندمان احتراق برای تمامی دیگ‌ها و در کلیه شرایط بار،می توان به سادگی هزینه کارکرد سیستم را بازای واحد بار خروجی از سیستم بدست آورد. بدین طریق دید روشنی نسبت به شرایط کارکرد دیگ‌ها حاصل می‌گردد که در تدوین برنامه کاری مناسب برای تقسیم بار بین دیگ‌ها بسیار موثر خواهد بود. برنامه

کاری مربوط به دیگ‌های حرارت مرکزی اغلب اینگونه تدوین و اجرا می‌گردد که همواره دیگ‌هایی با بیشترین راندمان در فشار و دمای بالاتری وارد سیستم می‌گردد. بدین طریق می‌توان با کمترین هزینه به تامین بار مورد نظر پرداخت.

برآورد راندمان احتراق علاوه برآنکه در تدوین برنامه کارکرد برای دیگ‌ها بسیار موثر می‌باشد، همانطور که در فصل چهارم نیز به طور کامل بیان گردد، در تعیین اقتصادی ترین سوخت مصرفی توسط مشعل‌های دو سوختی نیز نقش اصلی را ایفا می‌کند.

- **بالا بردن سطح تبادل حرارتی و استفاده بهینه از انرژی دود**

همانطور که در فصل هشتم نیز اشاره گردید، دمای بالای دود، نشانگر آن است که سهم بزرگی از انرژی ورودی، بدون آنکه از آن به نحو مطلوبی استفاده گردد، از طریق دودکش هدر می‌رود. در این حالت راندمان کارکرد سیستم به طور محسوسی افت خواهد کرد و هزینه‌های جاری کارکرد به شدت افزایش خواهد یافت. برای از بین بردن این حالت در فاز انتخاب و نصب تجهیزات می‌توان از روش‌ها و تجهیزات مختلف و متنوعی استفاده نمود.

کم هزینه ترین و اقتصادی ترین روش در کاهش دمای دود و در دیگ‌های فولادی با لوله‌های آتش استفاده از مغشوش کننده‌های جریان دود در داخل لوله‌ها می‌باشد. استفاده از این اجزا با افزایش زمان عبور دود از داخل لوله‌ها و مغشوش کردن جریان دود در داخل لوله‌ها، موجب انتقال حرارت بهتر بین آب و دود می‌گردد و بدین طریق به طور محسوسی دمای دود در خروج از دودکش را پایین خواهد آورد. روش‌های دیگر در این رابطه که در مقایسه با روش فوق بسیار پر هزینه تر خواهد بود، بهره گیری از سیستم‌هایی جهت استفاده از گرمای دود برای گرمایش هوای ورودی برای احتراق و

یا آب ورودی به دیگ‌ها، می‌باشد. این سیستم‌ها تا چند سال پیش تنها برای افزایش راندمان کارکرد دیگ‌های نیروگاهی مورد استفاده قرار می‌گرفت، ولی امروزه باتوجه بیشتر به بهینه سازی مصرف انرژی، رفته رفته این سیستم‌ها در رابطه با دیگ‌های حرارت مرکزی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

استفاده از انواع اکونومایزرها و اسپرهای آب (مبدل‌های حرارتی تماس مستقیم) برای گرمایش آب ورودی به دیگ و همچنین استفاده از مبدل‌های گوناگون حرارتی گاز به گاز جهت گرمایش هوای ورودی از جمله سیستم‌های مورد استفاده جهت بهره گیری از انرژی دود می‌باشد.

در صورتیکه در هنگام انتخاب و نصب اجزاء، کلیه نکات قبلی که در این دستورالعمل جامع بیان گردید، اجرا گردد و همچنین از دیگ‌هایی استفاده گردد که با بار مورد نیاز هماهنگ باشد، معمولاً دمای دود در حدی بالا نخواهد بود که استفاده از سیستم‌هایی که برای گرمایش آب ورودی مورد استفاده قرار می‌گیرد را توجیه کند. بهمین جهت توضیحات مربوط به این سیستم‌ها، در بخش دوم دستورالعمل آمده است. اما از آنجا که دمای هوای مورد نیاز برای احتراق به طور محسوسی از دمای آب تغذیه برای دیگ‌ها پایین تر می‌باشد، استفاده از مبدل‌های حرارتی جهت پیش گرمایش این هوا، حتی در دماهای نه چندان بالای دود نیز دارای توجیه اقتصادی مناسب می‌باشد. نکته قابل توجه در هنگام انتخاب و نصب پیش گرمکن‌های هوایی آنست که از آنجا که در این سیستم‌ها انتقال حرارت بین دو سیال گاز انجام می‌گیرد، بنابراین این پیش گرمکن‌ها اغلب در اندازه‌های نسبتاً بزرگی عرضه می‌گردد که این امر موجب بالا بودن قیمت این سیستم‌ها می‌گردد.

در اغلب پیش گرمکن‌ها بدلیل دمای پایین دود و هوای ورودی و همچنین مساحت تبادل حرارتی بالا، دود دچار میعان شده و تولید ترکیبات اسیدی می‌نماید. در این حالت ساخت پیش گرمکن‌ها از مواد ضد خوردگی از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد که این امر خود هزینه اولیه بالای پیش گرمکن‌ها را توجیه می‌کند. البته نرخ بالای برگشت پذیری هزینه اولیه دلیلی است محکم براستفاده از انواع مناسب این سیستم‌ها. امروزه پیش گرمکن‌ها در انواع لوله ای، با صفحات موازی، دوار(چرخ‌های حرارتی) و لوله گرم عرضه می‌گردد که با توجه به شرایط استفاده و کارکرد آنها که در فصل هشتم بیان گردید، می‌توان مناسبترین نوع را با توجه به نیاز سیستم تهیه نمود.

با اجرای دقیق وکامل اصول فوق می‌توان، گرچه با هزینه اولیه بالاتر، دیگ‌های حرارت مرکزی را با کمترین میزان مصرف انرژی راه‌اندازی نمود. همین امر موجب کم بودن چشمگیر هزینه کارکرد سیستم بازای واحد انرژی خروجی، در مقایسه با سیستم‌های مشابه می‌گردد. لازم به ذکر است کلیه دستورالعمل‌هایی که در فاز طراحی و انتخاب در این بخش ارائه گردید، گرچه موجب افزایش در هزینه اولیه می‌گردد، اما اجرای دقیق وکامل آنها تضمینی است بر کاهش هزینه‌های جاری کارکرد دیگ‌های حرارت مرکزی به حداقل هزینه ممکن بازای واحد انرژی خروجی از سیستم، که این امر موجب بالا بودن نرخ برگشت‌پذیری طرح گردیده و در طی مدت کوتاهی هزینه اولیه اضافی را جبران خواهد کرد. تجربه نشان داده که با توجه به نرخ بالای برگشت پذیری، هزینه اولیه اضافی بسته به نوع و میزان سوخت مصرفی، میزان نگهداری، بازدیدهای دوره‌ای و همچنین توان خروجی از سیستم، بین یک تا پنج سال قابل برگشت می‌باشد.

۱۰ـ۲ دستورالعمل جامع جهت کاهش هزینه جاری دیگ‌های حرارت مرکزی در حال کار

در این بخش به ارائه راهکارهایی جهت کاهش هزینه‌های جاری مربوط به دیگ‌های حرارت مرکزی درحین کار می‌پردازیم. از آنجا که در اغلب تاسیسات در حال کار در موتورخانه‌ها، اصول بهینه سازی انرژی در فاز طراحی وانتخاب آنها رعایت نگردیده، بنابراین با اجرای دستورالعملی که در این بخش ارائه شده، می‌توان بطور چشمگیری از هزینه‌های جاری این سیستم‌ها کاست. برای درک بهتر دستورالعمل جامع مربوط به تاسیسات موتورخانه‌هایی که در حال کار می‌باشد، این دستورالعمل در دو بخش مجزا ارائه گردیده است. با اجرای دستورالعمل در بخش اول با وضعیت کارکرد سیستم آشنا شده و دید روشنی از فاصله سیستم از حالت ایدآل، ایجاد می‌گردد. در بخش دوم نیز با توجه به اقداماتی که در بخش اول انجام گرفت، به اجرای اصول و اقداماتی پرداخته می‌شودکه توسط آنها بتوان تا حد قابل قبولی به کارکرد ایدآل سیستم نزدیک شد.

۱۰ـ۲ـ۱ دستورالعمل جامع جهت تشخیص وضعیت کارکرد دیگ‌های حرارت مرکزی

پیش از انجام هر اقدامی، آگاهی از وضعیت کارکرد دیگ‌های حرارت مرکزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. زیرا از این طریق می‌توان دریافت که کارکرد سیستم چه میزان با حالت ایدآل خود اختلاف داشته و باتوجه به این اختلاف به اجرای اصول مناسب پرداخت.همچنین با انجام این کار می‌توان به بسیاری از عیوب و اشکالات موجود در سیستم نیز پی برد.

- **تشخیص نوع دیگ‌ها و سیال ناقل حرارت**

اولین و ابتدایی ترین گام، تشخیص نوع سیال ناقل حرارت ونوع دیگ‌ها می‌باشد.همانطور که در بخش پیش نیز اشاره گردید، در اغلب موتورخانه‌های مسکونی سیال ناقل آب گرم یا آب داغ بوده و دیگ‌های مورد استفاده نیز اغلب چدنی یا فولادی با لوله‌های آتش می‌باشد. البته ذکر این نکته حائز اهمیت است که اغلب موتورخانه‌هایی که در ایران در حال کار می‌باشد از دیگ‌های چدنی و سیال ناقل آب گرم بهره می‌برد و این امر نیز بدلیل هزینه اولیه پایین تر، زنگ نزدن آنها برخلاف دیگ‌های فولادی و قابلیت حمل ونقل ساده تر آنها به موتورخانه‌های از پیش ساخته شده می‌باشد.

- **تشخیص نوع مشعل و سوخت مصرفی آن**

در فصل هفتم، به طور مفصل و جامع، در رابطه با انواع مشعل‌ها توضیحات لازم ارائه گردید. همانطور که اشاره شد، مشعل‌ها با توجه به سوخت مصرفی و چگونگی تطبیقشان با بار مورد نیاز به دوازده نوع مختلف تقسیم بندی شد. اکنون باید بتوان با اطلاعات بیان شده در این رابطه، نوع مشعل را بطوردقیق تشخیص داد.

- **برآورد ظرفیت دیگ‌ها**

در فصل سوم روش‌های مختلف ومتفاوتی جهت تعیین توان و ظرفیت خروجی دیگ‌های حرارت مرکزی بیان گردید. معمولاً در برآورد ظرفیت دیگ‌های در حال کار بر روی سیستم، احتمال روبرو شدن با دو حالت وجود دارد. حالت اول هنگامی است که مشعل‌ها از زمانی که بر روی دیگ‌ها نصب گردیده است تعویض نشده باشد، که در این حالت برای تعیین توان خروجی از دیگ‌ها میتوان از پلاک‌هایی که بر روی بدنه دیگ موجود است، استفاده نموده و ظرفیت واقعی دیگ‌ها را با ضرب

عدد بیان شده در ضریب مناسب به دست آورد. اما در حالت دوم که مشعل‌ها تعویض شده‌است، باید ظرفیت خروجی دیگ‌ها با توجه به ظرفیت مشعل تعیین گردد.در این حالت با توجه به میزان سوخت ورودی به مشعل و نوع سوخت و ارزش حرارتی سوخت می‌توان ظرفیت خروجی دیگ را بدست آورد.

- **بررسی در رابطه با کنترلرها**

پس از تشخیص نوع دیگ، سیال ناقل، مشعل و نوع سوخت مصرفی آن و همچنین برآورد ظرفیت و توان خروجی دیگ‌ها، اکنون نوبت به بررسی نوع ووضعیت کنترلرها و حذف کننده‌های آنهاست. در این مرحله باید کلیه کنترلرهایی که در محیط موتورخانه وبرای کنترل تجهیزات مختلف مورد استفاده قرار گرفته، شناسایی شده و کارایی آنها مورد بررسی قرار گیرد. در ضمن در صورت وجود حذف کننده‌ها، که نقش بسیار موثری در کارکرد دقیق و تنظیم شده برای کنترلرها دارد، باید نحوه عملکرد آنها و محل نصبشان به دقت مورد بررسی قرار گیرد.

- **اندازه گیری راندمان دیگ‌های حرارت مرکزی**

یکی از مهمترین نکاتی که می‌تواند دید بسیار روشنی از چگونگی کارکرد دیگ‌های حرارت مرکزی ایجاد کند، اندازه‌گیری راندمان دیگ‌های نصب شده و در حال کار می‌باشد. منظور از محاسبه راندمان دیگ‌ها در این مرحله، همان برآورد راندمان احتراق می‌باشد. همانطور که پیشتر نیز بیان گردید، مناسبترین روش برای تعیین راندمان احتراق استفاده از انواع الکترونیکی دستگاه‌هایی است که با اندازه‌گیری میزان اکسیژن در دود و اختلاف دو دمای هوای ورودی و دود خروجی راندمان احتراق را محاسبه می‌کند. برای کنترل محاسبات انجام شده نیز می‌توان از

دستگاه اندازه‌گیری راندمان احتراق که بر مبنای میزان درصد گاز دی اکسید کربن در دود کار می‌کند، استفاده نمود.

- **بررسی وضعیت کارکرد مشعل‌ها**

پس از شناسایی نوع مشعل‌ها و سوخت مصرفی آنها در گام دوم این بخش، اکنون در این گام باید چگونگی وضعیت کارکرد مشعل‌ها مورد توجه قرار گیرد. در این گام توجه به تعداد روشن وخاموش شدن مشعل‌ها در یک بازه زمانی معین، بررسی میزان هوای اضافی جهت انجام احتراق کامل، میزان نگه داری و سرویس‌های دوره‌ای مورد نیاز و همچنین هزینه کارکرد مشعل‌ها می‌تواند فرد مسئول را نسبت به چگونگی کارکرد مشعل‌ها تا حد قابل قبولی آگاه کند.

- **بررسی نحوه عایقکاری تجهیزات وشرایط موجود در محیط موتورخانه**

در این گام به بررسی شرایط عایقکاری اجزاء و تجهیزات موجود در موتورخانه، پرداخته می‌شود. مرطوب بودن عایق‌ها، عدم چسبندگی آنها به تجهیزات وصدمه‌های فیزیکی که به آنها وارد شده از جمله مهمترین مسائلی است که دراین گام باید مورد توجه قرار گیرد. همچنین بررسی شرایط موتورخانه به لحاظ دمایی و وضعیت درب‌ها و پنجره‌ها و همچنین شناسایی مکان‌های گرمتر موجود در موتورخانه از جمله اقدامات مهم در شناسایی دقیق شرایط محیطی موتورخانه می‌باشد.

۱۰ـ۲ـ۲ دستورالعمل جامع در رابطه با اجرای اصولی برای کاهش هزینه جاری کارکرد دیگ‌های حرارت مرکزی

پس از انجام هفت گامی که در بخش قبل به آنها اشاره شد، اکنون دید بسیار روشن و واضحی نسبت به کارکرد دیگ‌های حرارت مرکزی و همچنین تجهیزات

موجود در موتورخانه ایجاد گردیده است. اکنون با توجه بـه ایـن دیـد کلـی و مفیـد، می‌توان با اجرای اصول و استفاده از سیستم‌های مختلفی که در این بخش به آنها اشاره می‌شود، به نحو بسیار مطلوبی به کارکرد ایدآل سیسـتم نزدیـک شـده و بـدین طریـق علاوه بر کاهش تلفات انرژی به کاهش هزینه جاری کارکرد سیستم نیز پرداخت.

- **تمیزکردن دیگ‌ها و مشعل‌ها**

اولین گام در کاهش هزینه جاری کارکرد دیـگ‌هـای حـرارت مرکـزی تمیـز کـردن سطوح تبادل حرارتی در دیگ‌ها و همچنین تمیز کردن وتنظـیم نمـودن مشـعل‌هـای در حال کار می‌باشد. تمیز کردن سطوح تبادل حرارتی چه از سـمت آتـش و دود و چـه از سمت سیال ناقل، موجب افزایش ضریب هدایتی سطوح تبادل حرارتی مـی‌گـردد. غالبـاً در اثر کارکرد دیگ‌هـا و عـدم رسـیدگی و بازدیـدهای دوره‌ای از آنهـا، در سـمت دود سطوح تبادل حرارتی در دیگ‌ها، لایه‌هایی از دوده تشکیل می‌گـردد، کـه بـه دلیـل بـالا بودن مقاومت هدایتی لایه‌هـای دوده، تبـادل حـرارت بـین دود و سـیال ناقـل بـه طـور چشمگیری افت خواهد کرد. همچنین در دیگ‌های فولادی نیز بعلت وجـود آب، زنـگ زدگی سطوح تبادل حرارتی، عامل مهمی در کاهش تبادل حرارت در اینگونـه دیـگ‌هـا می‌باشد. نکته قابل توجه در این رابطه تشخیص صحیح نوع دیگ و سوخت مصرفی آن است که در بخش قبل انجام گرفت. زیرا در صورتی که دیگ‌ها چـدنی باشـد دیگـر در آنها احتمال زنگ زدگی در سمت آب سطوح تبادل حرارتی وجود نداشـته و نیـازی بـه تمیز کردن سطوح تبادل حرارتی در تمـاس بـا آب نیسـت. همچنـین میـزان تمیزکـردن سطوح تبادل حرارتی در تماس با دود نیز کاملاً وابسته بـه سـوخت مصـرفی مـی‌باشـد. بطور مثال در صورتیکه سوخت مصرفی دیگ‌ها گاز طبیعی باشد، و احتراق بطور کامـل

انجام گیرد، می‌توان دیگ‌ها را بدون آنکه بر روی سطوح تبادل حرارتی دوده تشکیل شود، برای مدت طولانی در موتورخانه مورد استفاده قرار داد. در حالی که در دیگ‌هایی که با سوخت نفت سنگین کار می‌کند، برای جلوگیری از کاهش تبادل حرارت نهایتاً هر ماه نیاز به تمیز کردن سطوح تبادل حرارتی می‌باشد.

تمیز کردن و تنظیم نمودن مشعل‌ها نیز که بطور کامل در فصل هفتم مورد بررسی قرار گرفت، از جمله مهمترین مسائل در جلوگیری از اتلاف انرژی در این اجزا می‌باشد. تمیز کردن کلیه مسیرهای عبور سوخت، تعویض اوریفیس‌های اتمیزه کننده سوخت، تعمیر نشتی‌ها و از بین بردن لقی بین اجزاء مختلف مشعل‌ها، از جمله مهمترین اقداماتی است که در این مرحله باید مورد توجه قرار گیرد.

از آنجا که نزدیک شدن به حالت کارکرد ایدآل دیگ‌های حرارت مرکزی، نیازمند اجرای دقیق و کامل کلیه اصول و گام‌های ارائه شده می‌باشد و همچنین، اغلب اطلاعات دقیقی از چگونگی رسیدگی‌ها و بازدیدهای پیشین از موتورخانه در دست نمی‌باشد، تمیز کردن سطوح تبادل حرارتی دیگ‌ها و همچنین تمیز کردن وتنظیم نمودن مشعل‌ها در گام اول می‌تواند پایه محکمی برانجام گام‌های بعدی باشد.

- **تنظیم نمودن نسبت هوا به سوخت**

پس از اطمینان از تمیز بودن کلیه سطوح تبادل حرارتی دیگ‌ها و همچنین تمیز و تنظیم بودن مشعل‌ها، اکنون باید برای نزدیک شدن به احتراق کامل در مشعل‌ها، نسبت هوا به سوخت در بهینه ترین حالت خود تنظیم گردد. همانطور که در فصل ششم نیز اشاره گردید، بهترین روش جهت تنظیم نسبت هوا به سوخت در بهینه ترین حالت، استفاده از تسترهای سنجش مونواکسید کربن می‌باشد. علت مقبولیت

بیشتر این روش نسبت به روش‌های موجـود دیگـر، جهـت تنظـیم نسـبت هـوا بـه سوخت، آن است که با استفاده از این روش می‌توان بـه سـادگی و بـا دقـت بسـیار بالایی به نسبت هوا به سوخت ایدآل مشعل‌ها نزدیک شده و باکمترین میزان هـوای اضافی از انجام احتراق کامل در مشعل‌ها اطمینان یافت.

- **اندازه‌گیری راندمان دیگ‌ها**

همانطورکه در فصل پنجم نیز اشاره گردید، اندازه‌گیری رانـدما ن دیـگ‌هـا، نقـش بسیار موثری در تشخیص اکثر عیوب کارکرد دیگ‌های حرارت مرکـزی دارد. بهمـین جهت در این گام و پیش از انجام هر اقدام دیگری، با برآورد راندمان دیگ‌ها می‌تـوان دریافت که چه اجزا و تجهیزاتی از موتورخانه، از کارکرد ایدآلش فاصله دارد.

برای برآورد راندمان دیگ‌ها، مناسب ترین روش استفاده از تسترهای اکسیژن جهـت اندازه‌گیری راندمان احتراق می‌باشد. بطور مثال اگر در این گام نتـایج حاصـل از بـرآورد راندمان، بیانگر پایین بودن محسوس رانـدمان احتـراق باشـد، بایـد ایـن بررسـی انجـام گیرد،که پایین بودن راندمان احتراق ناشی از هوای اضافی برای احتـراق کامـل سـوخت است و یا دمای بالای دود. در صورتی که هـوای اضـافی باعـث کـاهش رانـدمان شـده باشد، اشکال در مشعل است و در مقابل اگر دمای بالای دود منجر بـه کـاهش رانـدمان شده باشد، علت این امر کم بودن مساحت سطوح تبادل حرارتی در دیگ‌ها می‌باشد.

- **تعویض مشعل‌ها**

پس از تنظیم نسبت هوا به سوخت و برآورد رانـدمان احتـراق و انجـام گـام‌هـای بخش قبل، اکنون دید روشنی از مشعل‌ها، سوخت مصرفی آنها، چگونگی کارکردشـان و میزان هوای اضافی مورد نیاز برای انجام احتراق کامل بدست آمده است. از آنجا کـه

همواره هزینه اولیه مشعل‌ها در مقایسه با سوخت مصرفی آنها در طی عمر کاریشان بسیار کمتر است، بنابراین معمولاً استفاده از انواع مشعل‌های با راندمان و قابلیت‌های بیشتر، دارای توجیه اقتصادی قابل قبولی می‌باشد.

مشاهده خاموش و روشن شدن زیاد مشعل‌ها، نیاز به حجم بالایی از هوا برای انجام احتراق کامل، نیاز به بازدیدهای دوره‌ای در فواصل کوتاه زمانی، تشکیل شدن بیش از حد دوده بر روی سطوح تبادل حرارتی، کم بودن نسبت توان‌های خروجی وعدم قابلیت کارکرد با سوخت‌های مختلف از جمله مهمترین علائمی است که تعویض مشعل‌ها در این گام را اجباری می‌کند. همانطور که در تدوین این دستورالعمل در فاز انتخاب و نصب تجهیزات نیز اشاره گردید،مناسب ترین مشعل برای کار در محیط‌های مسکونی در ایران، مشعل‌های تنظیم شونده دو سوختی (گاز و نفت سبک) می‌باشد. بدین ترتیب در صورت مشاهده هر یک از علائم و نشانه‌های فوق، استانداردها تعویض مشعل‌ها را با انواع مشعل‌های تنظیم شونده دو سوختی توصیه می‌کند.

از آنجا که این مشعل‌ها نه تنها قابلیت تنظیم انرژی مصرفیشان را با بار خروجی مورد نیاز دارا می‌باشد، بلکه با داشتن قابلیت کارکرد با دو سوخت مختلف، توانایی کاربا حداقل هزینه سوخت بازای واحد توان خروجی را نیز دارا می‌باشد. این عامل، علت اصلی در بالا بودن نرخ برگشت هزینه اولیه و مقبولیت بیشتر آنها نسبت به انواع دیگر می‌باشد.

نکته حائز اهمیت دیگر در این گام، تعویض پیلوت‌ها با انواع راه اندازهای الکتریکی می‌باشد. زیرا این پیلوت‌ها گر چه انرژی کمی مصرف می‌کند اما از آنجا که دائماً در حال مصرف انرژی است، در طی مدت زمان معین، مصرف انرژی در این اجزا قابل توجه خواهد بود.

- **بالا بردن سطح تبادل حرارتی و استفاده بهینه از انرژی دود**

همانطور که در گام سوم همین بخش نیز اشاره گردید، بالا بودن دمای دود خروجی از دیگ‌ها یکی از مهمترین عوامل در افت راندمان احتراق دیگ‌ها می‌باشد. علت بالا بودن دمای دود خروجی، یا مساحت تبادل حرارتی کم و یا مقاومت حرارتی بالای سطوح تبادل حرارتی در اثر تجمع دوده و کثیفی می‌باشد. از آنجا که در گام اول، سطوح تبادل حرارتی بطور کامل تمیز شد، بنابراین تنها عامل در بالا بودن دمای دود خروجی در گام سوم، کم بودن مساحت سطوح تبادل حرارتی می‌باشد. در اغلب دیگ‌های حرارت مرکزی در حال کار، این عامل یکی از مهمترین عوامل در بالا بودن هزینه‌های جاری کارکرد دیگ‌ها می‌باشد. زیرا در این سیستم‌ها، برای کاهش هزینه اولیه، از دیگ‌هایی با سطوح تبادل حرارتی کمتر ازنیاز استفاده شده و در عوض برای جبران بار، مشعل‌ها در ماکزیمم بار کار می‌کند. بدین روش، گر چه می‌توان بار گرمایشی مورد نیاز را تامین نمود اما این امر در منجر به اتلاف سهم بزرگی از انرژی ورودی به سیستم و افزایش هزینه‌های جاری می‌گردد. برای حل این مشکل، روش‌های مختلفی در فصل هشتم ارائه گردید. در این گام شرایط استفاده از هریک از آن روش‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. ساده ترین و کم هزینه ترین روش جهت افزایش تبادل حرارت میان دود و سیال ناقل استفاده از مغشوش کننده‌ها، در لوله‌های مربوط به عبور دود دیگ‌های فولادی بالوله‌های آتش میباشد. مغشوش کننده‌ها با تبدیل جریان آرام دود به جریان آشفته، ایجاد جریان متعادل و یکسان در کل مسیر حرکت دود و همچنین افزایش زمان عبور دود باعث افزایش تبادل حرارت بین سیال‌های ناقل وعامل گشته و بطور محسوسی باعث کاهش دمای دود و افزایش راندمان می‌گردد.

چهار روش بعدی جهت استفاده از انرژی گرمایی دود را می‌توان به دو شاخه اصلی تقسیم نمود، که یکی استفاده از انرژی دود جهت پیش گرمایش هوای احتراق بوده و دیگری بهره گیری از انرژی دود جهت افزایش دمای آب ورودی به دیگ‌ها می‌باشد.

از آنجا که پیش گرمکن‌هایی که برای افزایش دمای هوای لازم برای احتراق مورد استفاده قرار می‌گیرد، بطور کامل در دستورالعمل جامع در فاز طراحی و انتخاب، مورد بررسی قرار گرفت در اینجا تنها به ارائه سه روش دیگر جهت افزایش دمای آب تغذیه (ورودی) دیگ‌ها پرداخته می‌شود.

متداول ترین و اصلی ترین روش برای استفاده از انرژی دود، بهره‌گیری از اکونومایزرها می‌باشد. در این سیستم‌ها آب ورودی به دیگ از داخل لوله‌هایی عبور کرده و دود نیز در داخل پوسته اکونومایزر و در اطراف لوله‌ها انرژی گرمایی خود را به آب منتقل می‌کند. درهنگام نصب و به کارگیری اکونومایزرها در سیستم توجه به دو نکته از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. نکته اول جلوگیری از میعان دود بدلیل کاهش دمای آن در داخل اکونومایزر و دودکش می‌باشد و نکته دیگر که در واقع تضمینی بر توجیه اقتصادی طرح است میزان صرفه‌جویی در انرژی مصرفی با بکارگیری این اجزا در موتورخانه می‌باشد. برای آنکه اجرای طرح دارای توجیه قابل قبول اقتصادی باشد، حداقل میزان صرفه‌جویی انرژی مصرفی با بکارگیری اکونومایزرها باید برابر ٪۵ باشد.

با توجه به این دونکته اکونومایزرها در دیگ‌هایی مورد استفاده قرار می‌گیرد که اولاً دما و فشار کارکرد سیستم بالا و سطوح تبادل حرارتی کم باشد که در این حالت دمای دود در حد قابل قبولی بالاتر از دمای نقطه شبنم خود خواهد بود و می‌توان انرژی قابل توجهی را بدون آنکه دود در اکونومایزر تغییر فاز دهد، بدست آورد. ثانیاً

دمای آب ورودی کمتر از دمای نقطه شبنم دود نباشد. از آنجا که دمای نقطه شبنم گاز طبیعی که سوخت متداول اغلب دیگ‌ها در ایران می‌باشد برابر ^{o}F ۱٤۰ است، بهمین جهت در هنگامی که دمای آب ورودی به دیگ از ^{o}F ۱۵۰ بیشتر بوده و همچنین دمای دود نیز در حدود ^{o}F ۵۵۰ یا بیشتر باشد، استفاده از اکونومایزرها مناسبترین روش جهت بهره گیری از انرژی دود می‌باشد. با توجه به دو معیار دمای آب ورودی به دیگ‌ها و دمای دود خروجی از آنها، میزان صرفه جویی انرژی بین ٪۲ تا ٪۱۰ از هزینه سوخت مصرفی می‌باشد. قیمت اکونومایزرها نیز بین ۲۰۰ دلار تا ٦۰۰ دلار بازای هریک میلیون Btu ازظرفیت دیگ‌ها متغیر می‌باشد.

روش دوم برای استفاده از انرژی دود جهت گرمایش آب ورودی به دیگ‌ها، استفاده از اکونومایزرهای تقطیری است. تفاوت این سیستم‌ها با اکونومایزرها که در روش اول به آنها اشاره شد آن است که در این سیستم‌ها، از انرژی گرمای نهان تبخیر بخار آب موجود در دود جهت گرمایش آب ورودی به دیگ‌ها استفاده می‌گردد. از آنجا که انرژی آزاد شده از دود در حین تغییر فاز به طور چشمگیری از انرژی آزاد شده از دود در حالت تک فاز بیشتر می‌باشد، و همچنین در صورتی که میزان بخارآب در دود زیاد باشد می‌توان با اکونومایزرهای تقطیری بین ٪۵ تا ٪۱۵ در هزینه سوخت مصرفی صرفه جویی نمود.

شرایط نیاز به استفاده از اکونومایزرهای تقطیری تا حد زیادی با اکونومایزرهای عادی تفاوت دارد. در هنگام بررسی نیاز دیگ‌های حرارت مرکزی به اکونومایزرهای تقطیری دو نکته باید مورد توجه قرار گیرد. نکته اول میزان بخار آ ب موجود در دود می‌باشد که بسته به میزان هیدروژن موجود در سوخت و همچنین آبی که در

سوخت به صورت ناخالصی وجود دارد، در سوخت‌های مختلف، متفاوت می‌باشد. علت توجه به میزان بخار آب موجود در دود آن است که قسمت اصلی انرژی آزاد شده دود در حین تغییر فاز در اثر میعان بخار آب حاصل می‌گردد. درنتیجه هر چه میزان بخار آب در محصولات حاصل از احتراق بیشتر باشد انرژی بیشتری را می‌توان با استفاده از اکونومایزرهای تقطیری و میعان بخار آب بدست آورد. شرط دوم برای بکارگیری اکونومایزرهای تقطیری آن است که دمای آب ورودی کمتر از دمای نقطه شبنم دود باشد تا در این حالت میعان دود در اکونومایزر تقطیری انجام گیرد. لازم به ذکر است از آنجا که دود قبل از خروج از اکونومایزرتقطیری، به صورت مایع تبدیل می‌شود، در این حالت دیگر نیازی به دودکش برای دیگ‌ها نخواهد بود. همچنین از آنجا که ترکیبات دود در فاز مایع کاملاً اسیدی می‌باشد، ساخت اکونومایزرهای تقطیری با مواد ضد خوردگی انجام می‌گیرد که این امر موجب بالاتر بودن قیمت آنها نسبت به اکونومایزرهای عادی گردیده است. امروزه اکونومایزرهای تقطیری با قیمت‌هایی بین ۳۰۰ دلار تا ۱۰۰۰دلار به ازای هر یک میلیون Btu از ظرفیت دیگ‌ها متغیر می‌باشد.

بطور خلاصه، برای دستیابی به بالاترین میزان صرفه جویی در هزینه سوخت مصرفی، استفاده از اکونومایزرهای تقطیری به دیگ‌های با سوخت گاز و دمای پایین آب ورودی منحصر می‌گردد.

روش آخر در رابطه با بکارگیری انرژی دود جهت گرمایش آب ورودی به دیگ‌ها استفاده از اسپری‌های آب می‌باشد. در این روش نیز مانند روش قبل از انرژی نهان تبخیر بخار موجود در دود برای گرمایش سیال ناقل استفاده می‌گردد.

بنابراین مناسب‌ترین حالت بکارگیری این تجهیزات، در دیگ‌های حرارت مرکزی با سوخت گاز می‌باشد تا در محصولات حاصل از احتراق بتوان سهم بالایی از بخار آب را دارا بود. از آنجا که این سیستم نسبت به دونوع قبلی بطور چشمگیری گرانتر می‌باشد، بنابراین برخلاف دونوع قبلی از اسپری‌های آب اغلب در توانها و ظرفیت‌های بالا استفاده می‌گردد. نحوه کار این مبدل‌ها بدین صورت می‌باشد که دود از میان قطرات آب ورودی به دیگ‌ها عبور داده می‌شود و بدین طریق انرژی گرمایشی خود را به آب منتقل می‌کند. بهمین جهت این سیستم‌ها را اغلب مبدل‌های حرارتی تماس مستقیم می‌نامند. با این روش می‌توان بین ٪۵ تا ٪۲۰ از سوخت مصرفی دیگ‌ها کاست که این امر خود دلیل محکمی بر توجیه اقتصادی بالای این طرح بخصوص در دیگ‌های حرارت مرکزی با ظرفیت‌های بالا، می‌باشد.

- **کاهش تلفات انرژی در تجهیزات جانبی و فن‌ها**

پس از بهینه نمودن کارکرد دیگ‌ها و مشعل‌ها در گام‌های پیشین، اکنون به کاهش هزینه کارکرد تجهیزات جانبی و فن‌ها می‌پردازیم. پتانسیل صرفه جویی انرژی در این حالت بسیار متفاوت بوده و به طور عمده وابسته به انرژی مصرفی توسط تجهیزات جانبی و نوع سوخت دیگ‌ها است. بطورمثال انرژی مصرفی توسط تجهیزات جانبی دیگ‌هایی با سوخت نفت سنگین در حدود ٪۵ تا ٪۱۰ از کل انرژی ورودی به سیستم می‌باشد.در حالی که این انرژی مصرفی توسط تجهیزات جانبی در هنگام استفاده از گاز بعنوان سوخت مشعل‌ها بسیار کم و حتی قابل صرفه نظر می‌با شد.

برای کاهش تلفات انرژی و هزینه‌های جاری کارکرد تجهیزات جانبی وفن‌ها، دو راهکار اصلی در این دستورالعمل ارائه می‌گردد. اولین راهکار جهت نیل به این

هدف، بهره‌گیری از تجهیزات جانبی است که قابلیت هماهنگ نمودن انرژی مصرفی خود را با بار خروجی از دیگ‌ها دارا باشد. البته این راهکار همانطور که در بخش اول دستورالعمل جامع نیز به آن اشاره گردید، بیشتر مربوط به اقداماتی می‌گردد که در فاز انتخاب وطراحی اجزا باید انجام شود. راهکار دوم که به سادگی در رابطه با دیگ‌های در حال کار قابل اجرا می‌باشد و می‌تواند بطور محسوسی از هزینه‌های جاری مربوط به کارکرد تجهیزات جانبی بکاهد، کنترل نمودن اجزایی است که به کار آنها در سیستم نیاز نمی‌باشد.اکثراً تجهیزات جانبی دیگ‌ها برای افزایش ضریب اطمینان و همچنین ایجاد توانایی کارکرد سیستم در شرایط مختلف بار به صورت دو تایی نصب می‌گرددکه اغلب نیاز به کارکرد سیستم دوم نمی‌باشد. حال اگر تجهیزات جانبی دوتایی در کلیه شرایط بار، دائماً در حال کار باشد، می‌توان با نصب یک کنترلر ساده مانع از کارکرد سیستم دوم در کلیه شرایط بار شد وبدین ترتیب بطور چشمگیری از هزینه جاری کارکرد این تجهیزات، بخصوص در مواقعی که از سوخت‌های سنگین باانرژی مصرفی بالا در تجهیزات جانبی استفاده می‌گردد، کاست.

در رابطه با فن‌های پر مصرف نیز استانداردها اغلب وابسته کردن کارکرد آنها را به کارکرد مشعل‌ها توصیه می‌کند. همچنین تعویض آنها باانواع تنظیم شونده با توان خروجی از سیستم، غالباً دارای توجیه اقتصادی قابل قبولی می‌باشد. زیرا هنگامی که این فن‌ها قابلیت تنظیم انرژی مصرفی خود را با بار خروجی دارا نباشد، آنها را در شرایط ماکزیمم بار تنظیم می‌نماید که در این حالت و در شرایطی که بار کاهش می‌یابد، انرژی قابل توجهی توسط فن‌ها اتلاف می‌گردد.

- **کنترلرها**

استفاده از کنترلرها ساده‌ترین روش جهت کاهش کارکرد اضافی دیگ‌های حرارت مرکزی، اجزا وتجهیزات جانبی آنها و تجهیزات انتهایی می‌باشد. در واقع اولین اصل در کاهش هزینه جاری کارکرد سیستم‌ها، خاموش کردن آنها در زمانی است که نیاز به کارکردشان نمی‌باشد.

کنترلرهای زمانی وکنترلرهای با راه‌اندازی بهینه که برای نیل به این هدف مورد استفاده قرار می‌گیرد، در دستورالعمل جامع مربوط به فاز طراحی و انتخاب تجهیزات بطور کامل مورد بررسی قرار گرفت. همانطور که اشاره گردید، این کنترلرها در انواع مکانیکی والکترونیکی عرضه می‌گردد. عدم قابلیت تطبیق کارکرد با شرایط جدید عملکرد دیگ‌ها، به هم خوردن تنظیمات کنترلر در اثر قطع برق، عدم توانایی تنظیم دقیق و عدم وجود سیستم حذف کننده در کنترلرهای مکانیکی، از جمله مهمترین مسائلی است که تعویض کنترلرهای مکانیکی با انواع الکترونیکی را در این گام توجیه می‌کند.

نکته بسیار مهم دیگر در رابطه با کنترلرها، که در این گام باید مورد توجه قرار گیرد، آن است که در اکثر موتورخانه‌ها که در حال کار می‌باشد، سیستم حذف‌کننده وجود ندارد و اگر هم وجود داشته باشد، کار با آن بسیار مشکل و در واقع غیر عملی می‌باشد. این مسئله باعث می‌شود، تا در این گام نصب حذف کننده‌ها، برای هریک از کنترلرها به طور جداگانه و در محلی که به سادگی برای مصرف کننده در دسترس باشد،توصیه شود. در حقیقت حذف کننده‌ها این امکان را به مصرف کننده می‌دهد تا بدون آنکه فرد تنظیم کنترلرها را تغییر دهد، بتواند در مواقع لزوم کنترلرها

را از مدار خارج کند. نصب حذف‌کننده‌ها در مکان‌های مشخص و در دسترس و همچنین انتقال کنترلرها به مکان‌هایی که به سادگی برای مصرف کننده در دسترس نباشد، از جمله مهمترین اقداماتی است که با انجام آنها می‌توان از کارکرد طراحی شده برای سیستم اطمینان یافت.

در رابطه باانتخاب بین کنترلرهای زمانی و کنترلرهای با راه‌اندازی بهینه، در این گام نیز توجه به شرایط کارکرد و به سیستمی که بر روی آن از کنترلر استفاده می‌گردد، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد.

برای دیگ‌های حرارت مرکزی که در طول شبانه روز، نیاز به کارکرد آنها در سیستم می‌باشد، مثل دیگ‌هایی که در ساختمان‌های مسکونی مورد استفاده قرار می‌گیرد، اغلب از کنترلرهای با راه‌اندازی بهینه که از سنسورهایی جهت سنجش دمای هوای داخل یا خارج بهره می‌گیرد و بدین طریق قابلیت تطبیق میزان کارکردشان را با شرایط محیطی دارا می‌باشد، استفاده می‌گردد. در حالیکه انواع کنترلرهای زمانی برای سیستم‌هایی مطلوبتر می‌باشد که کارکردشان به شرایط محیطی وابسته نیست.

هدف دیگر از نصب کنترلرها در سیستم، اطمینان از شرایط تنظیم شده برای آن می‌باشد. بطور مثال، کنترلرهای هوا به سوخت با اندازه‌گیری میزان اکسیژن موجود در دود و با توجه به نوع مشعل و سوخت مصرفی آن، توسط اجزاء مکانیکی واسطه‌ای به تنظیم نسبت هوا به سوخت در بارهای مختلف می‌پردازد. اما از آنجا که بهره گیری از این نوع از کنترلرها دارای نرخ برگشت پذیری بسیار پایین می‌باشد، بنابراین استفاده از این نوع از کنترلرها بیشتر به تاسیساتی با ظرفیت‌های بسیار بالا و سوخت‌های سنگین محدود می‌گردد.

- **اندازه‌گیری مجدد راندمان احتراق و تدوین برنامه کاری**

در گام سوم به اندازه‌گیری راندمان احتراق قبل از انجام هر اقدام دیگری، جهت پی بردن به شرایط کاری دیگ‌های حرارت مرکزی پرداخته شد. در این گام از دستورالعمل جامع برای سیستم‌های در حال کار، به اندازه‌گیری راندمان احتراق برای کلیه دیگ‌ها و در تمام شرایط بار پرداخته می‌شود. با انجام این محاسبات می‌توان به سادگی هزینه سوخت بازای واحد انرژی خروجی از هریک از دیگ‌ها را و در تمامی شرایط بار بدست آورد. بعلاوه جهت تدوین مناسب ترین برنامه کاری برای دیگ‌های حرارت مرکزی، لازم است هزینه کارکرد تجهیزات جانبی و همچنین هزینه نگهداری و مراقبت‌های دوره‌ای از سیستم نیز بازای واحد انرژی خروجی از دیگ‌ها مورد محاسبه قرار گیرد. با جمع این سه مورد، هزینه کارکرد هریک از دیگ‌ها در کلیه شرایط بار بدست خواهد آمد. همچنین در صورتی که مشعل یامشعل‌های مورد استفاده در موتورخانه، قابلیت کارکرد با دو سوخت متفاوت را داشته باشد، انجام محاسبات فوق در رابطه با سوخت دوم نیز لازم می‌باشد.

اکنون می‌توان با بدست آوردن هزینه کارکرد هر یک از مشعل‌ها، در کلیه شرایط بار و برای سوخت‌های مختلف، به تدوین دو برنامه کاری اصلی و مجزا برای هر یک از مشعل‌ها پرداخت که با اجرای دقیق آنها می‌توان بطور چشمگیری از هزینه‌های جاری کارکرد تاسیسات گرمایشی کاست.

اولین برنامه که تدوین آن مورد بررسی قرار می‌گیرد، تدوین برنامه‌ای جهت استفاده از اقتصادی ترین سوخت در مشعل‌ها است. همانطور در گام چهارم همین بخش اشاره گردید، تعویض مشعل‌های در حال کار بر روی سیستم با مشعل‌های

تنظیم‌شونده دو سوختی باعث می‌گردد تا بتوان در این گام با عمل به دستورالعمل تعویض نوع سوخت، مشعل‌ها را با کمترین هزینه ممکن راه‌اندازی نمود. با انجام محاسبات فوق و بدست آوردن هزینه کارکرد مشعل‌ها به ازای سوخت‌های مختلف، تدوین برنامه تعویض نوع سوخت بسیار ساده می‌باشد. در حقیقت هنگامی تعویض در نوع سوخت انجام می‌گیرد که مجموع هزینه‌های خرید سوخت، نگهداری سیستم و کارکرد اجزای جانبی در سوخت جدید از سوخت قبلی کمتر باشد. به همین سادگی می‌توان زمان‌های دقیق در تعویض نوع سوخت را معین کرده و بدین طریق با تدوین دستورالعملی واضح و مشخص، دیگ‌های حرارت مرکزی را با کمترین هزینه سوخت مصرفی راه‌اندازی نمود.

دومین برنامه‌ای که در این گام باید به تدوین آن پرداخت، برنامه‌ای جهت تقسیم بهینه بار بین دیگ‌ها می‌باشد. تدوین این برنامه نیز بر مبنای محاسبات پیشین انجام می‌گیرد. در حقیقت مشعل‌ها در درصد مشخصی از بار کل دارای بالاترین راندمان کارکرد می‌باشد. بنابراین همواره باید بار کل مورد نیاز را طوری بین دیگ‌ها تقسیم نمود که هر یک از دیگ‌ها در ماکزیمم راندمان ممکن در حال کار باشد. در صورتیکه ظرفیت توان خروجی از دیگ‌ها زیاد باشد و دیگ‌ها انرژی زیادی را مصرف کند، می‌توان با بهره گیری از کنترلرهای اتوماتیک متوالی، از اجرای دقیق برنامه کاری تدوین شده اطمینان یافت.

لازم به ذکر است که روند فوق در تدوین و اجرای دو برنامه کاری را در صورتی که ظرفیت خروجی دیگ‌ها بالا باشد، در گام هشتم از دستورالعمل جامع برای انتخاب ونصب تجهیزات گرمایشی باید انجام داد.

- **تعمیر عایق‌های آسیب‌دیده**

عایق‌ها بر روی تجهیزات با دمای بالا که در محیط موتورخانه در حال کار می‌باشد، نصب می‌گردد. همچنین استفاده دیگر از عایق‌ها، بر روی لوله‌های انتقال دهنده سیال ناقل از دیگ‌ها به تجهیزات انتهایی است. از آنجا که نصب وتعمیر عایق‌ها در تاسیسات گرمایشی کار بسیار پر هزینه و با نرخ برگشت پذیری کمی است، بهمین جهت استانداردها تعویض وتعمیر عایق‌ها را تنها در صورتی توصیه می‌کند که عایق‌ها بطور جدی آسیب دیده باشد. برای شناسایی قسمت‌های آسیب دیده عایق‌هایی که برروی تاسیسات موجود در موتورخانه نصب گردیده، بازدیدهای دوره‌ای جهت یافتن قسمت‌های آسیب دیده عایق کافی می‌باشد و به سادگی می‌توان مشکلات عایق رابا چشم تشخیص داد. در حالی که آسیب دیدگی عایق، برای لوله‌های منتقل کننده سیال ناقل از دیگ‌ها به تجهیزات انتهایی، باچشم قابل تشخیص نبوده و برای پی بردن به وضعیت عایق‌ها در این حالت باید از دوربین‌های مادون قرمز و اسکنرهای حرارتی استفاده نمود. منظور از آسیب دیدگی عایق‌ها، مرطوب بودن آنها وعدم چسبندگیشان به سطوح تجهیزات می‌باشد. بهمین جهت در بازدید از عایق‌ها، در صورتی که عایق‌ها خشک بوده و به سطوح چسبیده باشد، حتی اگر قسمت‌هایی از عایق نیز از بین رفته باشد، تعویض و ترمیم آنها به هیچ عنوان دارای توجیه اقتصادی قابل قبولی نیست.

- **استفاده از گرمای هدر رفته از تجهیزات گرمایشی موجود در محیط موتورخانه**

همانطور که در گام پیشین نیز اشاره گردید، تعمیر عایق‌ها بندرت در محیط موتورخانه دارای توجیه اقتصادی قابل قبول خواهد بود. بهمین جهت در این گام با

انجام راهکاری ساده به استفاده از گرمای اتلافی از تجهیزات موجود در موتورخانه با دمای بالا، به محیط موتورخانه، می‌پردازیم. اولین اصل برای بهره گیری از این انرژی گرمایی، جلوگیری از اتلاف آن از طریق پنجره‌ها و درب‌های باز موتورخانه می‌باشد. سپس می‌توان هوای ورودی برای احتراق را با عبور دادن از طریق کانال‌هایی که از نقاط گرم موجود در موتورخانه عبور می‌کند، گرم نموده و سپس وارد مشعل نمود. همانطور که پیشتر نیز اشاره گردید، بازای هر $40^{o}F$ افزایش دمای هوای ورودی برای احتراق، راندمان دیگ‌ها ٪۱ افزایش می‌یابد. بنابراین انجام این راهکار، بخصوص در موتورخانه‌های با ظرفیت بالای خروجی می‌تواند نقش بسیار موثری در کاهش هزینه‌های جاری کارکرد داشته باشد. البته اجرای دقیق این طرح نیازمند نکاتی است که به طور کامل و مفصل در فصل نهم مورد بررسی قرار گرفت.

در صورتیکه ده گام فوق در رابطه با دیگ‌های حرارت مرکزی در حال کار به دقت انجام گیرد، می‌توان بطور چشمگیر و محسوسی از هزینه‌های جاری کارکرد سیستم کاست. بیشترین کارایی این دستورالعمل در دیگ‌های حرارت مرکزی با ظرفیت‌های بالا می‌باشد که برای مدت طولانی در حال کار است. در این حالت هزینه اولیه که جهت بهینه سازی مصرف انرژی در سیستم مورد استفاده قرار گرفته در کمتر از یک سال قابل برگشت می‌باشد.

فهرست منابع

فهرست منابع

[1] Donald R.wulfinghoff, *"Energy efficiency manual"*, Vol 1, Energy institute press, 1999.

[2] Donald R.wulfinghoff, *"Energy efficiency manual"*, Vol 2, Energy Institute press, 1999.

[3] Alex Higgins, *"Boiler room questions and answers"*, McGraw-Hill Inc, 1976.

[4] W.S.Robertson, *"Boiler efficiency and safety"*, Esso Petroleum Company, 1981.

[5] James J.Jackson, *"Steam boiler operation: principles and practice"*, Prentice-Hall, 1982.

[6] Carl D.Shields, *"Boilers types, characteristics, and functions"*, McGraw-Hill book company, 1982.

[7] Ari Rable, Jan F.Kreider, *"Heating and cooling of building design for efficiency"*, McGraw-Hill international editions, 1994.

[8] Dr.R.J.Sarjant, *"The efficient use of fuel"*, Her majesty's stationery office, 1954.

[9] David Kut, *"Warm Air heating"*, Pergamon press, 1970.

[۱۰] مهندس سید مجتبی طباطبایی، *"محاسبات تاسیسات ساختمان"*، چاپ کارون، ۱۳۸۱.

[۱۱] مهندس محمدرضا نفری، *"راهنمای تجزیه و تحلیل از کار افتادگی دیگ‌های بخار"*، چاپ سیمرغ، ۱۳۸۰.

[۱۲] مهندس خلیل جنت دوست، *"دیگ‌های بخار"*، وزارت نیرو امور انرژی، ۱۳۷۸.

[۱۳] دفتر بهینه سازی مصرف انرژی، *"ممیزی انرژی برای ساختمان‌ها"*، وزارت نیرو امور انرژی، ۱۳۷۸.

[۱٤] دفتر بهینه‌سازی مصرف انرژی، *"کنترلرها و صرفه جویی انرژی"*، وزارت نیرو امور انرژی، ۱۳۷۸.