

# نام پروژه

# دیگ بخار

تهییه کننده :

امیر منصوری

۱۳۹۱

## چکیده

دیگ بخار دستگاهیست که برای تولید بخار از آن استفاده می‌شود. این بخار می‌تواند برای چرخاندن توربین یا گرم کردن برخی کوره‌ها استفاده شود. در دیگهای بخاری که در نیروگاهها کار می‌کنند به دلیل نیاز به فشار بالاتر بخار به صورت سوپرهیت (ما فوق گرم) است. آب در این دیگهای بخار از لوله هایی که در میان شعله‌های مشعل محصور شده‌اند عبور می‌کند اما در دیگهای بخار کوچک‌تر بخار به صورت اشباع خواهد بود و در این مشعل‌ها شعله در داخل لوله و آب در اطراف لوله قرار دارد.

## فهرست مطالب

### صفحه

### عنوان

.....	چکیده
.....	✓ فصل اول
۲ .....	مقدمه
۳ .....	انواع دیگ های بخار و طبقه بندی آنها
۱۱ .....	آب رسانی برای دیگ بخار
۱۳ .....	سیستم گازرسانی برای دیگ بخار
۱۴ .....	مشعل
.....	✓ فصل دوم
۱۶ .....	انتخاب نوع دیگ
۱۸ .....	دیگ لوله - آتشی
۱۸ .....	محدودیت دیگ لوله - آتشی
۲۱ .....	راهنمای راه اندازی دیگ های بخار لوله آتشی (فایر تیوب)
۲۲ .....	مختصری در خصوص مراحل ساخت دیگ بخار
۲۳ .....	وجود دریچه های بازرگانی در دیگ بخار
۲۳ .....	مکان و شرایط نصب
۲۴ .....	شرایط نصب دودکش

## ✓ فصل سوم

۲۷.....	رسوبات تشکیل شده از آب و بخار
۳۱.....	آزمایش آب تغذیه و آب دیگ بخار
۳۳.....	تمیز کردن سطوح داخلی (سمت آب)
۳۴.....	دمیدن بخار
۳۵.....	پاره ای از فرصت های صرفه جویی در دیگ های بخار
۳۵.....	دماهی دودکش
۳۶.....	پیش گرمایش آب تغذیه با استفاده از پیش گرمکن
۳۶.....	پیش گرمایش هوای احتراق
۳۶.....	جلوگیری از احتراق ناقص
۳۷.....	کنترل هوای اضافی
۳۹.....	عوامل بحرانی
۴۳.....	شناسایی
۴۴.....	اکسیدهای آهن
۴۸.....	دیگر فلزات و اکسیدهایشان
۴۹.....	نمک ها
۴۹.....	رسوبات تشکیل شده از آب و بخار
۵۰.....	مرفولوژی رسوب

۵۰ ..... حذف

۵۱ ..... موارد احتیاطی

۵۲ ..... مایع

#### ✓ فصل چهارم

۶۱ ..... چگالی گازها

۶۳ ..... چگالی مخلوط گازها

۶۵ ..... ترکیب شیمیایی سوخت ها

۶۸ ..... محاسبات احتراق

۶۸ ..... سوخت های گاز

۷۴ ..... سوخت های جامد و مایع

۷۸ ..... ارزش گرمایی (انرژی ویژه)

#### ✓ منابع

۸۰ ..... فهرست منابع

# فصل اول

مقدمہ

## مقدمه

امروزه از دیگ های بخار در صنایع غذایی، سیستمهای گرمایشی و نیروگاهها استفاده میگردد و آنچه مشخص میباشد این است که استفاده از دیگ های بخار از اوایل قرن هجدهم میلادی با پیدایش ماشین های بخار در صنعت رایج گردیده است دیگ های اولیه از ظرف سربسته ای از ورقهای آهنی که بر روی هم برگردانده شده و پرچ شده بودند در اشکال کروی ساده تا انواعی پیچیده تر نظیر دیگ های واگن وات که شبیه والگن سر پوشیده ای بود ساخته میشدند.

این ظروف بر روی دیواره ای از آجر بر روی آتش قرار داشتند و برای رساندن حرارت به نقاطی از ظرف که مقابل آتش نبودن از کanal های آجری استفاده می شد این دیگ ها را بیرون سوز می نامند و بزرگترین اشکال آنها ایجاد رسوب و لجن در پایین ترین نقطه یعنی بالای سطح داغ آتش بود که سبب جلوگیری تماس فلز و آب می شد که نتیجه آن بالا رفتن درجه حرارت فلز (حدود ۵۰۰ درجه سلسیوس) و تغییر شکل و در نهایت سوختن آن بود و هر چند فشار کاری دیگ های آنزمان در حدود فشار اتمسفر بود ولیکن این مشکل با عث خراب شدن و یا مواردی ترکیدن دیگ می شد.

با افزایش تقاضا برای تولید دیگ های با فشار بالا تر، ساخت دیگ هایی که درون سوز بودند آغاز شد که از استوانه های فلزی ساخته می شدند و کوره نیز به شکل استوانه در درون مخزن استوانه ای قرار میگرفت و محصولات احتراق که در آن زمان بیشتر به صورت جامد (زغال سنگ) بودند از روی صفحه ای مشبك به درون کوره انتقال می یافتدند و درون کوره می سوختند.

در این دیگ های بخار اولیه برای بهره برداری از دمای گازهای خروجی دودکش ، از طریق انتقال آنها از کوره به کانالهای تعبیه شده در زیر مخزن استوانه ای و در نهایت هدایت به سمت دودکش خروجی دیگ بخار اقدام به بالا بردن راندمان می نمودند ولیکن با توجه به اینکه فلز مخزن زیر کوره که به دلیل جمع شدن گل ولای حاصل از آب و کاهش تماس آن با آب مخزن دیگ بخار دارای دمای بیشتری می شد ، همان مشکل تغییر خاصیت فلز تاحدودی وجود داشت هرچند دمای گازهای کanal خیلی کمتر از قبل بود.در ادامه فرآیند پیشرفت تولید دیگ های بخار صنعتی ، دیگ های معروف به لوله آتشی عقب خشک (FireTube) طراحی & DryBack) و ساخته شدند که در این دیگ ها با قراردادن لوله های متعدد داخل مخزن دیگ بخار، گازهای داغ انتهای کوره را از داخل آنها عبور داده و در نهایت از قسمت دودکش دیگ بخار خارج می شدند ولی از مشکلات این دیگ ها وجود سطح عایقکاری شده در انتهای کوره بود که علاوه بر اتلاف انرژی حرارتی ، حین کار ویا انتقال در اثر لرزش و ضربه های ایجاد شده در کوره باعث صدمه دیدن عایقکاری و در نتیجه سوختن فلز انتهای کوره میگردید که این مشکل در نسل بعدی دیگ های بخار صنعتی با قرار دادن انتهای کوره در داخل آب تا حدود زیادی مرتفع گردید و سطح حرارتی دیگ افزایش یافت در این طرح که به نام طرح لوله آتشی وعقب تر (FierTube & WetBack) معروف میباشد به طور معمول بسته به ظرفیت دیگ بخار از لحاظ انرژی حرارتی ورودی ، به دو صورت : دوپاس و سه پاس ، طراحی و ساخته میشوند راندمان حرارتی در دیگ های جدید با اعمال سطح حرارتی قابل قبول و عایق کاری مناسب به حدود ۸۵٪ قابل دستیابی میباشد



#### انواع دیگ های بخار و طبقه بندی آنها:

دیگ بخار پرفشار به دیگی اطلاق می شود که بخار آب را در فشاری بالاتر از  $psig\ 15$  تولید نماید. در پایین تراز فشار مذکور دیگ در گروه دیگ بخار کم فشار قرار می گیرد. دیگ های کوچک پرفشار در گروه دیگ های کوچک قرار می گیرند.

مطابق بخش یک آیین نامه دیگ و مخازن تحت فشار مربوط به انجمن آمریکایی مهندسین مکانیک یا به طور اختصار ASME دیگ پرفشار کوچک به دیگ پرفشاری اطلاق می شود که از محدوده های زیر تجاوز ننماید:

قطر داخلی پوسته  $in\ 16$  ، حجم کلی بدون روکش و عایقکاری  $Ft\ 35$  ، و فشار  $100\ psig$  .

چنانچه دیگ از هریک از محدوده های مذکور تجاوز نماید، به آن دیگ نیرو می گویند. مقرارت مربوط به جوشکاری در اینگونه دیگ های کوچک به سختی دیگ های بزرگ نیست.

دیگ نیرو یک دیگ بخار آب یا بخار می باشد که در بالاتر از فشار  $psig\ 15$  کار کرده و ابعادش از ابعاد دیگ کوچک تجاوز نماید. این تعریف شامل دیگ های آب گرم گرمایشی یا آب گرم مصرفی که در فشار بالاتر از  $psig\ 16$  و دمای  $F\ 2500$  کار کند، اطلاق می شود.

دیگ آب گرم گرمایشی عبارتست از دیگی که در آن هیچگونه بخار آبی تولید نمی شود، لیکن آبگرم آن به منظور گرمایش در یک مدار به گردش درآمده و مجدداً به دیگ باز می گردد. فشار آب در اینگونه دیگ ها را در نقطه خروجی آن نباید از  $F_{\text{sig}} = 160$  و دمای آن از  $T_{\text{sig}} = 2500$  تجاوز نماید. اینگونه دیگ ها را دیگ گرمایشی کم فشار می نامند، که مطابق بخش ۵ آیین نامه دیگ های گرمایشی از آیین نامه ASME ساخته می شوند. چنانچه فشار یا دما، از این حدود تجاوز نماید، دیگ باید به مانند دیگ های پرفشار و طبق آیین نامه ASME طرح شود.

دیگ آبگرم مصرفی به دیگی گفته می شود که بطور کامل پر از آب بوده، و برای استفاده خارجی، آبگرم تولید می نماید. (آبگرم دیگر به دیگ باز نمی گردد) فشار آن از  $F_{\text{sig}} = 160$  و دمای آن از  $T_{\text{sig}} = 2500$  تجاوز نمی کند. این نوع دیگ ها را نیز در زمرة دیگ کم فشار قرار می دهند و آنها را مطابق بخش چهار (دیگ های گرمایشی) آیین نامه ASME می سازند. چنانچه فشار یا دما از این حد تجاوز نماید این دیگ ها باید مطابق دیگ های پرفشار طراحی شوند.

دیگ استفاده کننده ضایعات حرارتی از ضایعات حرارتی که محصول فرعی پاره ای از فرآیند های صنعتی است، از قبیل گازهای داغ ناشی از کوره بلند کارخانه ذوب آهن یا محصولات ناشی از احتراق خروجی از یک توربین گازی، یا محصولات فرعی یک فرآیند صنعتی، استفاده می کند. ضایعات حرارتی از روی سطوح تبادل کننده گرما عبور نموده و آبگرم یا بخار آب تولید می شود.

برای ساخت این نوع دیگ ها، همان مقررات ساخت آیین نامه ASME استفاده شده برای دیگ های آتش شده بکار بده می شوند. قطعات کمکی و ایمنی مربوط به این دیگ ها بطور معمول مطابق آیین قطعات در دیگ های دیگر می باشند.

دیگ یکپارچه به دیگی اطلاق می شود که بطور کامل در کارخانه ساخته و سوار شده باشد. این دیگ دارای انواع لوله آبی و لوله دودی یا چدنی بوده و دستگاه های احتراق، تجهیزات کنترل و ایمنی را نیز به همراه خود دارد. دیگی که در کارخانه ساخته شده و سوار می شود نسبت به دیگ مشابه ای که دارای همان ظرفیت بخاردهی بوده و در خارج از کارخانه و در محل بهره برداری، نصب و سوار می شود، ارزانتر است. گرچه دیگ ساخته و سوار شده در کارخانه به طور معمول حاضر و آماده تحويل نمی باشد، ولی نسبت به دیگی که در محل بهره برداری ساخته و سوار می شود دارای زمان ساخت و تحويل کمتری است. زمان نصب و راه اندازی آن نیز نسبتاً کمتر است. در کل می توان گفت که کار در کارگاه بطور معمول بهتر و قابل رسیدگی بوده و هزینه کمتری دارد.

دیگ فوق بحرانی به دیگی اطلاق می شود که در فشاری بالاتر از فشار بحرانی یعنی  $\text{psig}^{3206.2}$  و دمای اشباع  $F705.40$  کار کند. بخار آب و خود آب دارای فشار بحرانی  $\text{psig}^{3206.2}$  می باشند. در این فشار، بخار آب، دارای جرم ویژه یکسانی هستند و به معنای این است که بخار، تا حد آب فشرده شده است. هنگامی که این مخلوط در بالاتر از دمای اشباع  $F705.40$  دما ببیند، بخار خشک فوق داغ تولید شده که برای کار در فشارهای بالا مناسب است. این بخار خشک به ویژه برای به حرکت درآوردن مولدهای توربینی مناسب است.

دیگ فوق بحرانی به دو نوع یکسره و باز چرخشی تقسیم می شوند. هر دو نوع در محدوده فوق بحرانی یهندی بالاتر از  $\text{psig}^{3206.2}$  و  $F705.4$  کار می کنند. در این محدوده خواص مایع و بخار اشباع یکسان است. هیچگونه تغییری در فاز مایع-بخار صورت نمی گیرد و از اینرو چیزی بنام سطح آب وجود نداشته و به استوانه بخار (steam drum) احتیاجی نیست.

دیگ ها را همچنین می توان طبق طبیعت مواد استفاده آنها گروه بندی کرد. گروه بندی رایج عبارت است از: دیگ ساکن، قابل حمل، لکوموتیوی (ساخت این گونه دیگ ها امروزه متداول نیست) و دریایی که به صورت زیر تعریف می شوند:

دیگ ساکن به دیگی اطلاق می شود که بطور همیشگی بر روی زمین نصب شده است.

دیگ قابل حمل به دیگی اصلاح می شود که بر روی کامیون، کشتی کوچک رودخانه ای و یا هر نوع وسیله نقلیه نصب می شود.

دیگ لکوموتیوی دیگی است که برای کشیدن وسیله نقلیه بروی ریل راه آهن طرح می شود.

دیگ دریایی به دیگی گفته می شود که بطور معمول ارتفاع آن کم بوده و برای کشتی های مسافربری و باری اقیانوس پیما طرح می شوند. سرعت بخار دهی این نوع دیگ ها زیاد است.

نوع ساختمان دیگ ها را نیز می توان به ترتیب زیر گروه بندی کرد:

دیگ چدنی، واحدهای گرمایش کم فشاری هستند که قطعات فشاری آن توسط ریختگری از چدن، برنز، یا برنج ساخته می شوند. این دیگ ها را بیشتر بر اساس شیوه ای که محفظه های ریختگری شده آن برهم سوار می شود گروه بندی می کنند. این محفظه ها توسط پستانک های فشاری، سوله های خارجی و پستانک پیچی به همدیگر محکم می شوند. سه نمونه از دیگ های چدنی عبارتند از:

۱- دیگ های پره ای عمودی که پره ها بطور عمودی بر روی یکدیگر قرار گرفته و توسط پستانک های فشاری یا پیچی به یکدیگر متصل می شوند.

۲- دیگ های پره ای افقی که پره ها بطور افقی پهلوی هم قرار می گیرند. در این وضعیت طرز قرارگرفتن پره ها نسبت به هم مانند پشت سر هم قرار گرفتن بش هایی از یک قالب نان مکعب مستطیلی است.

۳- دیگ های چدنی کوچک که با ریختگری بصورت یکپارچه ساخته می شوند. این دیگ ها در گذشته جهت تهیه آب گرم بکار می رفته اند.

دیگ های فولادی می توانند از نوع پرفشار یا کم فشار باشند و امروزه بطور معمول از ساختمان جوشی برخوردار هستند. این دیگ ها به گروه های زیر تقسیم می شوند:

۱- دیگ لوله دودی که در آنها محصولات احتراق از داخل لوله ها عبور می کنند در حالیکه آب پیرامون لوله ها دربر می گیرد.

۲- دیگ لوله آبی که در آنها آبل از داخل لوله ها و محصولات احتراق از اطراف آنها عبور خواهد کرد.

دیگ های لوله دودی بطور معمول تا ظرفیت  $lb/hr \times 10^6$  و تا فشار  $psig \times 10^6$  ساخته می شوند. در شرایط بالاتر از این حدود، دیگ های لوله آبی مورد استفاده قرار می گیرند. دیگ های لوله دودی به دیگ های پوسته ای نیز معروفند. در اینجا، آب و بخار آب درون پوسته محبوس می باشند.

این نوع دیگ حجم بخاری را که دیگ می تواند تولید نماید محدود می کند. در رابطه با فشار پوسته های بزرگ، ضخامت بسیار زیادی را احتیاج خواهد داشت و این موضوع ساخت آنها را گران می نماید.

گامی هرچند کوتاه به دنبال دیگ بخار کورنیش تک کوره ای برداشته شد و و آن دیگ بخار بزرگتر دو کوره

ای لانکاشیر بود که تحت امتیاز FAIRBAIRN HETHERINGTON در سال ۱۸۴۴ به ثبت رسید (

شکل ۱ - ۳) که تا اوایل دهه ۱۹۵۰ میدان دار دیگ های صنعتی بود. احتمالا بیش از هزار عدد از این دیگ

بخار هنوز در انگلستان کار می کنند، گرچه امروزه آنها را با نوع پرصرفه تر و چند لوله ای به نام "

ECONOMICS" جایگزین می نمایند .

باید در نظر داشت که هر چه سطوح در معرض حرارت دیگ بخار زیادتر باشد مقدار حرارت جذب شده از

صرف مقدار معینی سوخت، یعنی بازده بازیافت حرارتی، بیشتر خواهد بود. برای این منظور تعداد بیشماری

لوله های باریک که از آن ها گازهای گرم جریان دارد و در داخل اب قرار دارند عامل ازدیاد سطوح گرم هستند، و در عین حال نیازی به کanal گازهای گرم در پایین دیگ بخار و دو طرف آن نخواهد بود. این نوع دیگ ها یکپارچه می باشند. هر چه لوله ها بلندتر و باریکتر باشند، سطوح انتقال حرارت کارایی بیشتری خواهند داشت. این دیگ های چند لوله ای برای ظرفیت معینی، کم حجم تراز نمونه های پیشین خود هستند و نیازی به آجر کاری ندارند. این دیگ ها در کشتیها و لکوموتیوها که فضان نقش تعیین کننده دارد، کاربرد زیادی دارند .

تعدادی از دیگهای اولیه کشتیها جهت استفاده بیشتر از فضا، دارای سطح مقطع چهار گوش بودند که بر اثر پارگی گوشه ها، منجر به انفجارات شدید این دیگها گردید.

ظروف تحت فشار داخلی، تمایل دارند که به حالت کروی درایند و بنابراین مکانهای غیر کروی ظروف، تحت تنش شدید قرار دارند. نزدیکترین شکل عملی و ممکن دیگ های بخار، به خصوص اگر انتهای دیگ ها گنبدی شکل باشد، استوانه است. طرحی از دیگ استوانه ای در اوایل سالهای ۱۸۰۰ به ثبت رسید که هدف آن تحمل فشار 200 bar بود. در این طرح پیشنهاد شده بود که چنین استوانه ای باید از جنس مس و با ضخامت 46 mm ساخته شود، ولی سابقه ای از ساخت این نوع دیگ در دست نیست . همچنین قرار بود این دیگ برون سوز باشد که به نوبه خود موجب مشکلاتی می گردید، ولی شکل کروی دیگ، برون سوز بودن دیگ را توجیه نمی کند. امروزه نیز با داشتن آلیاژهای فولادی مختلف، در سطح جهانی از ساخت دیگهای لوله- آتشی با ضخامت بیش از 22mm که در معرض آتش یا گازهای داغ باشد، خودداری می شود . این امر به منظور جلوگیری از تنشهای حرارتی فوق العاده در فلز می باشد .

سرانجام همه دیگ های کشتیها را استوانه ای ساختند ولی به علت محدودیت وزن و اندازه، از آجر کاری و ساخت کanalهای جانبی خودداری گردید و از دیگهای چند لوله ای و کوره های درون سوز- تا چهار کوره - استفاده شد. گازهای داغ کوره ها وارد محفظه های جداگانه ای با دیواره های لوله - ابی در عقب کوره می گردید و از آنجا با یک چرخش ۱۸۰° وارد یک سری لوله های با قطر حدود 75 mm می شد. بعد از

عبور از داخل این لوله ها، گازها وارد دودکش قیفی شکل می شدند . این دیگهای بخار را دیگ های بخار دو کanalه می نامیدند .

بعادها، دیگ های سه کanalه ساخته شد که در آن، گازها از طریق یک سری لوله های دیگر به قسمت عقب کوره برمی گشت. این دیگ ها را دیگ های اسکاچ دریابی می نامیدند که از سالهای ۱۸۵۰ تا پیدایش موتورهای دیزل و جایگزینی آنها کاربرد داشتند .

به تدریج دیگ های اسکاچ را در خشکی به کار بردن و چون محدودیت جا نبود از آجر کاری نیز استفاده شد و آنها را بلند تر ساختند. این دیگ ها را در انگلستان به نام اقتصادی و در آمریکا هنوز به نام اسکاچ می شناسند .

این دیگ ها به علت ارزانتر، با صرفه تر و کوچکتر بودن از دیگهای لانکاшир تا اوایل سالهای ۱۹۳۰ با آن به رقابت پرداختند . دیگ های اسکاچ فوق ابتدا داری قسمتهای عقبی عایق کاری شده بودند، ولی بعدها این دیواره ها را با دیواره های لوله - آبی پوشاندند . شکل های ۱ - ۴ / الف و ۴-۱ / ب به ترتیب دیگهای اقتصادی دو کanalه با محفظه های عقبی عایقکاری شده که به نام دیگهای DRY-BACK معروفند را نشان می دهند .

دیگ های سه کanalه اقتصادی دارای مشکل عمده ناشی از استفاده صفحه لوله مشترکی جهت کانل دوم و سوم بودند. گازهای ورودی به کانل دوم داری دمای  $1000^{\circ}C$  بود که پس از خروج از کانال سوم تا  $250^{\circ}C$  تقلیل می یافت. بنابراین، صفحه لوله در معرض دو اختلاف دمای شدید قرار داشت که باعث تنش و در نهایت نشتی انتهای لوله ها می شد .

در ۱۹۳۵ شرکت لینکلن در Ruston و Hornsby ساخت دیگ سه معبره جدیدی را بر اساس دیگ های سه کanalه دریابی اسکاچ به ثبت رساند .

طرح جدید مشکل صفحه لوله های مشترک را که تحت دو اختلاف دمای زیاد قرار داشتند از طریق ایجاد صفحه لوله جداگانه برای هر یک از کانالها، برطرف ساخت

دیواره های محفظه عقبی کوره با دیواره لوله – آبی مجهز شد و دیواره جلویی، خروجی گازهای کوره و ورودی گازها به سری لوله های معبّر دوم را تشکیل می داد .

این دیواره لوله آبی در انتهای کوره دیگ بخار که به نام WET\_BACK نیز نامیده می شد این مزیت را داشت که سطوح عایقکاری اتلاف حرارت را تبدیل به سطوح مفید و جاذب حرارت نمود .

گازهای کوره پس از عبور از جلوی دیگ بخار، در محفظه دود مقابل دیگ بخار، تغییر جهت داده و از طریق سری لوله های کanal سوم به قسمت عقبی دیگ وارد می شود. این سری لوله به صفحه لوله جداگانه ای در عقب دیگ بخار، متصل می گردند .

صفحه لوله جلویی دیگ بخار، سری لوله های کanal دوم و ورودیهای کanal سوم را در خود جای داده که بدین طریق مشکل اختلاف دما وجود ندارد زیرا دمای گازهای خروجی کanal دوم و ورودی کanal سوم تقریباً یکسان هستند. این ساختار جدید دیگ بخار امروزه در همه جا رواج دارد .

پیشرفت عمده دیگری نیز در آمریکا صورت گرفت . در زمان جنگ جهانی دوم نیاز شدیدی به تامین بخار در تاسیسات جبهه ها احساس گردید و ضررورت داشت که نصب و راه اندازی این دیگ ها در کمترین زمان انجام شود. قبل از این، پوسته دیگ بخار با قطعات آتشکاری، تلمبه ها، شیرها و دمنده های تولید کنندگان مختلف، در محل نصب، تجهیز می گردید ولی از این زمان به بعد دیگ بخار با همه این قطعات به صورت

کامل و آماده به کار نصب می گردید. این نوع دیگ بخار را به نام پکیج یا یک پارچه می نامند و شامل دی با همه این قطعات به صورت کامل و آماده به کار نصب می گردید.

این نوع دیگ بخار را به نام پکیج یا یک پارچه می نامند و شامل دیگ بخار اسکالاج سه معبره و dry-back است که بر روی یک پایه نصب شده است. پس از جنگ، این نوع دیگ های یکپارچه عمومیت یافتند و جزء دیگ های با ظرفیت بسیار بالای لوله - آتشی، سایر دیگ ها را از این نوع ساختند.

دیگ های کوچکتر، مخصوص دیگ های آب گرم کن را از نوع شعله - معکوس می سازند . کوره این دیگها فقط در یک طرف باز است و شعله مشعل در مرکز کوره به سمت عقب کوره که بسته است می تابد. گازهای حاصل از احتراق به صورت متعددالمرکز (concentric) در اطراف شعله به عقب بر می گردند. تنها کanal لوله های این کوره نیز به طور متعددالمرکز در اطراف کوره قرار گرفته است . چون این دیگ فقط یک کanal دارد، وسایلی جهت تشدید اغتشاش گازهای گرم در نظر گرفته شده که باعث افزایش انتقال حرارت و کاهش دمای گازهای خروجی می شوند .

ناحیه انتهایی کوره عملاً به علت بسته بودن آن و بالا بودن فشار، از نظر جریان گاز ها راکد و غیر فعال است. قبل ذکر است که طراحی مشعل به نحوی است که ایجاد شعله ای بلند ، باریک و نفوذی می نماید. شعله ای کوتاه و چتری باعث کشیده شدن توسط گازهای گرم خروجی و ادامه احتراق در لوله های دیگ بخار است که منجر به افزایش دمای فلز در این نواحی می گردد .

با زده دیگ بخار لانکاشیر بر اساس ارزش گرمایی ناخالص سوخت و در شرایط مطلوب 65% است، حال آن که دیگ امروزی، با همان شرایط، 80% بازدهی دارد. نتیجه این امر نشان دهنده حدود 20% صرفه جویی در سوخت است.

## آب رسانی برای دیگ بخار:

سیال اصلی استفاده شده در دیگهای بخار آب است باید این سیال طی مراحلی آماده و وارد دیگ شود.

قسمت‌های اصلی آبرسانی عبارتند از:

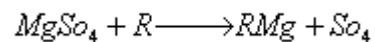
۱. منبع آب صنعتی مانند چاه عمیق

۲. فیلتر شنی: ذرات جامد معلق در آب را جمع آوری می‌کند که از طبقات شنی، سیلیسی و سنگی تشکیل شده است. شیرها در این قسمت و فیلتر بعدی بگونه‌ای طراحی شده‌اند که بعد از ساعاتی کار و کثیف شدن بتوان جریان آب را به صورت معکوس از آن عبور داد تا تمیز شوند.

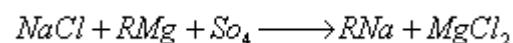
۳. سختی گیر: سختی گیری برای جدا کردن دو عنصر کلسیم و منیزیم بکار می‌رود. اگر این دو عنصر از آب جدا نشوند همان اتفاقی در دیگ بخار می‌افتد که در کتری رخ می‌دهد. در واقع رسوبات سطح بین لوله‌های آتش کار با آب را کاهش میدهد و انرژی بیشتری برای تولید میزان معینی فشار مصرف می‌شود. همچنین پاکسازی این لوله‌ها علاوه بر هزینه بر بودن خط تولید را نیز متوقف می‌کند.

این بخش از دو مخزن تشکیل می‌شود مخزن اول شامل بافت رزین سه بعدی بوده که با منیزیم ترکیب شده  $RMg$  بوجود می‌آورد در نتیجه سختی آب از بین می‌رود ولی نمی‌توان آن را به فاضلاب هدایت کرد چون رزین از دست خواهیم رفت. پس از مخزن دوم به عنوان مخزن احیا استفاده می‌کنیم در این مخزن آب‌نمک وجود دارد. واکنش‌های به صورت زیر انجام می‌شود زیر را با ترکیب رزین و منیزیم انجام میدهد.

واکنش اول :



واکنش دوم :



اکنون وارد فاضلاب شده و  $RNa$  مجددا با سولفات منیزیم تر کیب شده و تولید  $RMg$  می‌نماید که با

انجام چرخه‌ای این واکنش‌ها رزین مجددا احیا شده و  $MgCl_2$  از چرخه خارج می‌شود.

اکنون سختی آب گرفته شده ولی برای وارد شدن به داخل دیگ هنوز مشکلاتی وجود دارد:

۱. اکسیژن محلول در آب که باعث اکسید شدن خط لوله می‌شود.

۲. دمای پایین آب که به دیگ بخار که در دمای بالا است شک وارد می‌کند.

برای حل مشکلات بالا از ریگازور استفاده می‌کنند که مخزنی است حاوی آب بدون سختی که از مرحله قبل تولید شده و قسمتی از بخار تولیدی دیگ با فشار وارد آن می‌شود تا علاوه بر بالا رفتن دمای آب اکسیژن موجود به صورت حباب از آن خارج شود.

آب موجود میتواند مورد استفاده دیگ بخار قرار گیرد که توسط پمپ با دبی بالا دیگ را تغذیه می کند. این تغذیه هم می تواند اتوماتیک باشد و هرگاه سنسورهای دیگ سطح آب داخل دیگ را کافی تشخیص ندادند به پمپ فرمان تغذیه دهند و یا به صورت دستی و توسط اوپراتور پمپ روشن شود.

### سیستم گازرسانی برای دیگ بخار:

لوله گاز شهری با یک کلید قطع و وصل اصلی وارد مدار دیگ بخار می شود. بعد از این کلید مانومتر فشار خط را نشان می دهد که حدود ۲/۵ بار است اما این فشار برای مشعل خیلی زیاد و خطرناک است، پس باید از رگلاتور که فشار شکن است استفاده می کنیم . همچنین قبل از رگلاتور از یک فیلتر برای مواد جامد معلق در گاز استفاده می کنیم سپس گاز وارد رگلاتور می شود. با استفاده از مانومتر می توان دریافت فشار گاز بعد از رگلاتور به ۲۵ میلی بار کاهش یافته است.

گاز فشار پایین بعد از عبور از یک سوپاپ اطمینان وارد دو شیر برقی می شود که مستقیماً توسط مشعل هدایت می شوند. شیر برقی شماره یک به صورت تک ضرب فقط حالت روشن و خاموش دارد که یا گاز را قطع می کند یا وصل، اما شیر شماره دو به صورت تدریجی می تواند میزان گاز عبوری را کم و زیاد کند. این گاز مستقیماً وارد مشعل می شود.

:مشعل

در دیگهای بخار معمولاً از مشعل‌های دو مرحله‌ای استفاده می‌کنند. یک سروو موتور میزان گاز و هوای ورودی را تنظیم کرده وارد محفظه تخلیط می‌نماید. در خروجی این محفظه دو الکترود با فاصله وجود دارند که با عبور جریانی حدود ۱۰ میکروآمپری ایجاد جرقه می‌نماید تا شعله تشکیل شود. اما اگر این جرقه تحت هر شرایطی نتواند شعله ایجاد کند سنسور نوری (سلول UV) که در مدار وجود دارد مشعل را ریست می‌نماید چون در غیر اینصورت گاز در محفظه جمع می‌شود که بسیار خطرناک است.

این مشعل‌ها با یک رله هوشمند کار می‌کنند که تمامی قسمتهای مشعل را تحت کنترل دارد و هر مرحله از کار مشعل (مانند فن تنها، جرقه، شعله کامل، ریست و ...) را با رنگ‌های مختلف نشان می‌دهد.

در هنگام روشن شدن فن مشعل به مدت ۴۰ ثانیه کار می‌کند تا گازهای سوخته نشده که در محفظه باقیمانده کاملاً خارج کند سپس گاز نیز وارد شده و مشعل جرقه می‌زند تا شعله تشکیل شود.



## انتخاب نوع دیگ:

انتخاب نوع دیگ مورد نیاز جهت کاربری خاص بستگی به عوامل زیادی دارد که از آن جمله می‌توان از محدودیت‌های موجود از نظر ظرفیت، فشار و دمای بخار نام برداشت. این محدودیت‌ها در سطح گسترده‌ای در بین سازنده‌ها متفاوت است و بستگی به تخصص آنها در تولید انواع دیگ‌های بخار دارد. بنابراین هر نوع محدودیتی که در این فصل به آن اشاره می‌شود در ارتباط با مسائل کلی صنعت است (جدول ۱-۲) به طور نمونه ممکن است سازنده‌ای برای مورد خاصی، دیگ بخار لوله – آبی کوچکی را معرفی نماید. هزینه‌ها نیز ممکن است بین یک سازنده و سازنده دیگر فرق کند و امر انتخاب را مشکل سازد. مقایسه‌هایی که در این فصل شده با این فرض است که همه انواع دیگ‌ها توسط یک سازنده ساخته شده است. شاید عامل عمده در تاسیس یک کارخانه، هزینه اولیه آن است. با رسیدن پیشنهادات مختلف قیمتها و تولیدات یکسان، بایستی به ارزیابی شاخصه‌های مهندسی پرداخت و بهترین طرح را انتخاب نمود و به نکات زیر توجه نمود:

صرف نیروی برق لوازم کمکی، سهولت پاک کردن دیگ، مقدار انتقال حرارت قطعات مختلف دیگ، کیفیت آب تغذیه مورد نیاز و توانایی کارکنان عملیاتی موجود کارخانه.

انواع دیگ‌های موجود مورد نیاز صنایع از این قرار است:

-لوله – آتشی یا شل (SHELL)

-ترکیبی (ترکیب لوله – آتشی و لوله – آبی)

-لوله – آبی

دیگ‌های لوله – آبی از نظر شیوه ساخت از این قرار هستند:

## -مونتاژ در کارخانه-

-مدولار (ساخت قطعات یک پارچه و وصل آنها در محل)

## -مونتاژ در محل-

لوله - آبی	لوله - آتشی	
تقریباً نامحدود است.	با آتشکاری عادی محدود به ۲۰ - ۳۰ bar در دیگهای بزرگ) با سوختهای ضایعاتی فشار بالاتر است.	فشار
تقریباً نامحدود است	تقریباً محدود به MW20	ظرفیت
به علت بزرگ بودن کوره قابلیت تطابق با هر نوع سوخت را دارد.	تمام سوختهای تجاری و بعضی ضایعات تصفیه شده.	سوخت مناسب
در مقایسه با لوله - آتشی وقتی کاربری یکسانی داشته باشدند	در کاربریهای یکسان با لوله - آبی، ارزان تر است (شکل ۱۲-۲)	هزینه
گران تر است (شکل ۱۳-۲)	یکپارچه است و پس از وصل به سرویس های قابلیت مونتاژ در محل یا در کارخانه را دارد.	نصب
٪ ۹۰-۸۵ (ارزش گرمایی خالص)	٪ ۸۵-۸۰ (ارزش گرمایی ناخالص) بستگی به نوع سوخت، با اضفه کردن اکونومایزر بازده بیشتر می شود.	بازده
بستگی به نوع سوخت. معمولاً اکونومایزر و گرم کن هوا طبق استاندارد وجود دارد . استفاده از هر دوی آنها باعث افزایش بازده است.	BS2486 مطابق استاندارد	آب تغذیه
مطابق استاندارد BS2486 ولی با		

دقت بیشتر از لوله - آتشی	ایجاد گرما
ایجاد گرما و نیرو	هر ۱۴ ماه
هر ۲۶ ماه	کاربرد اصلی بازرگی

### دیگ لوله - آتشی:

این دیگها به اشكال عمودی و اكثراً افقی ساخته می شوند، گرچه پیشرفتهای اخیر احتراق در بسترهای سیال باعث استقبال از دیگهای عمودی به خاطر فضای کافی بالای بستر احتراق موجود در کوره شده است . یکی از عوامل محدود کننده ظرفیت دیگهای عمودی به  $3.5 \text{ MW}$  محدودیت فضای آزاد شدن بخار (در مخزن بخار) است. عامل دیگر مساله قرار دادن سطوح داغ در درون یک پوسته عمودی است .

این دیگ شامل کوره افقی با قطر  $0.5 \text{ m}$  تا  $1.8 \text{ m}$  بسته به ظرفیت تولید آن است . برای ظرفیتهای بالاتر از  $10 \text{ mw}$  (با سوخت نفت یا گاز) و  $6 \text{ mw}$  (با سوخت زغال) دو کوره مجاور هم در نظر گرفته شده است. دیگهای لوله - آتشی را به صورت از قبل طراحی شده در ظرفیتهای استاندارد می سازند. ولی در موارد ویژه دیگهای خاص نیز ساخته می شوند. چون تمامی سطوح انتقال حرارت، از جمله مخزن آب و مخزن بخار، همه بایستی در یک پوسته (SHELL) قرار گیرند، حج پوسته نسبت به ظرفیت کلی دیگ نسبتاً بزرگ است ، که امکان جواب گویی تولید فوق العاده بخار را در ساعات اوج مصرف فراهم می سازد. در واقع می توان با افزایش فوق العاده ظرفیت پوسته، سطوح حرارتی زیادتری را در آن جای داد و این امر اساس دیگهای ذخیره حرارتی را تشکیل می دهد )

### محدودیت دیگ لوله - آتشی

در انگلستان حمل بار در جاده ها محدود به عرض 4.3m شود، که البته این امر بستگی به وضعیت مسیر انتخاب شده دارد. این محدودیت باعث محدود شدن طراحی ظرفیت تولیدی به 20mw (سوختهای نفت یا گاز) و 12mw (سوخت زغال) برای هر دیگ لوله - آتشی گردیده است. برای قرار دادهای خاص، می توان تسهیلات ویژه ای از اداره کل ترابری در اعمال محدودیتها کسب کرد.

#### فشار

کوره استوانه ای شکل دیگ لوله - آتشی در معرض متلاشی شدن و در هم پیچیده شدن بر اثر فشارهای خارجی واردہ بر آن است. افزایش ضخامت دیواره ای کوره باعث افزایش حرارتی ناشی از شیب حرارتی دو ظرف فلزی می گردد. از طرف دیگر استانداردهای ملی حداکثر ضخامت جداره کوره را 22mm تعیین کرده و طبق فرمولی فشار عملی ایمن را می توان محاسبه نمود. در عمل این فشار بین 30 bar برای کوره های کوچک تا 18 bar برای کوره های بزرگ متغیر است. بنابراین کوره عامل اصلی محدود کننده فشار در ساخت دیگهای لوله - آتشی به شمار می رود. از طرف دیگر کوره های (بازیافت) ضایعات حرارتی که نیازی به کوره ندارند، برای تهیه فشارهای بالاتر کاربرد دارند. از این نوع کوره ها در دیگهای ترکیبی هم استفاده می شود.

کوره دیگ لوله - آتشی به علت محدودیت اندازه خود، در به کارگیری وسائل آتشکاری به خصوص احتراق سوختهای پر حجم نظیر ضایعات نخلات و تفاله کارخانجات نیشکر، نیز محدود هستند ولی می توان از ادوات آتشکاری احتراق سوختهای فسیلی به خوبی استفاده کرد.

بنابراین برای بالا بردن ظرفیت به میزان بالاتر از توانمندیهای بایستی از دیگهای ترکیبی یا لوله - آبی استفاده کرد. در سایر موارد می توان از دیگهای لوله - آتشی ارزان تر و آماده نصب استفاده نمود.

امروزه تصور کلی بر این است که دیگهای یکپارچه (پکیج) لوله - آتشی را می توان به راحتی حمل، نصب، وصل و در عرض چند روز آماده بهره برداری نمود. تمام این مراحل البته شدنی است، ولی در موارد زیادی، موضوعاتی فرعی نظیر نیروهای کار خارجی و مقررات اداری موجب تاخیر چشمگیری می گردد، بنابراین هماهنگی بین مقاطعه کاران ضروری است.

دیگهای لوله - آتشی را می توان مجهز به داغ کننده های بخار یا اکونومایزرها یا هر دوی این وسایل نمود. از داغ کننده های بخار در موارد رساندن بخار به مصرف کننده ها در فواصل دور، یا نیروگاه های متوسط برق استفاده می شود. از اکونومایزرها امروزه در سطح وسیعی در دیگهای گازسوز استفاده می شود، ولی در احتراق سوختهای مایع نفتی و زغالی احتمالی تقطیر مواد اسیدی وجود دارد . چنین مسایلی را می توان با طراحی دقیق ، یا با اضافه کردن افزودنیهای خنثی کننده به سوخت یا به جریان هوای احتراق حل نمود. با استفاده از امکانات فوق می توان بازده دیگهای لوله - آتشی را تا حد بازده دیگهای لوله - آبی، یعنی ۸۵٪ یا بالاتر (براساس ارزش حرارتی ناخالص سوخت) ارتقا داد.

در این دیگها، قسمت لوله - آتشی دیگ فاقد لوله های قطره گازهای احتراق است و این امر مشکل عمدۀ دیگهای لوله - آتشی یعنی محدودیت فشار و ظرفیت تولیدی آن ها بر طرف می سازد. ظرفیت دیگهای ترکیبی وابسته به توانایی ساخت پوسته دیگها توسط سازندگان و مقررات حمل جاده ای می باشد. حداکثر فشار بخار با دمای صفحه - لوله کنترل می شود که این دما طبق استاندارد BS2790 مشخص شده است. در مورد احتراق سوختهای جامد، این محدودیتها تقریباً  $32\text{bar}$  و دمای  $26\text{mw}$  ( $11\text{kg s}^{-1}$ ) در فشار

400 °C می باشد. قطعات دیگهای ترکیبی را معمولاً به صورت مجزا یا مدول، به محل حمل می کنند و قطعات عمدۀ ان شامل کوره و اجزاء دیگ لوله - آتشی است که در کارخانه مونتاژ شده اند .

### راهنمای راه اندازی دیگ های بخار لوله آتشی (فایر تیوب):

\* ساختار کلی دیگ های بخار فایر تیوب سه پاس:

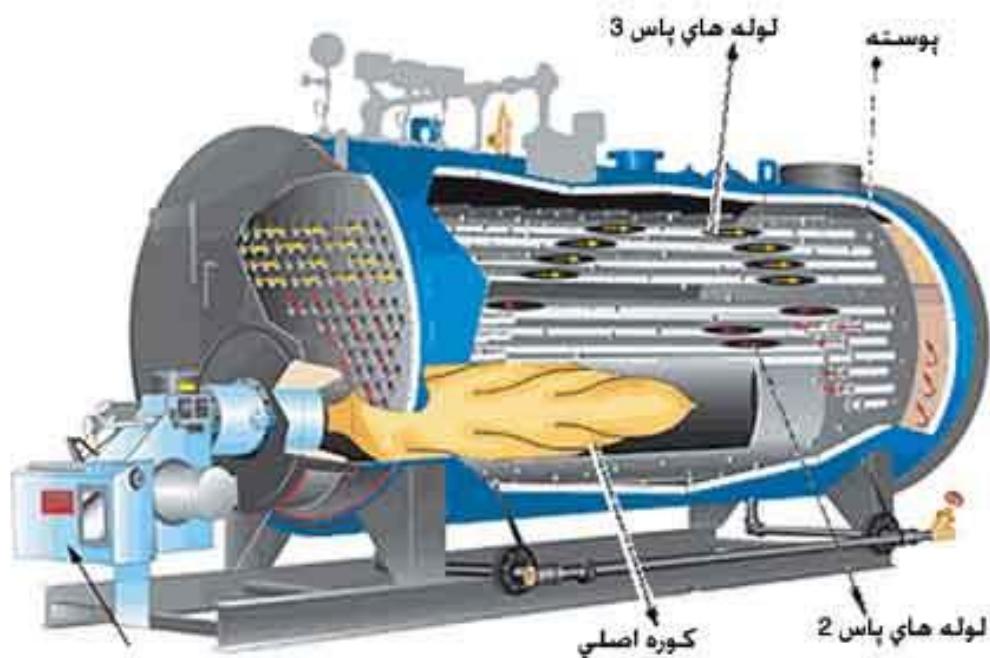
دیگ های بخار لوله آتشی سه پاس معمولاً ، شامل اجزاء ذیل می باشند

۱- بدنه اصلی یا پوسته (shell) که شامل استوانه ای می باشد که قطعات دیگ بخار در داخل آن قرار می گیرند.

۲- صفحه لوله ها یا صفحه های جلو و عقب (Tube plates) که در دو طرف پوسته قرار گرفته است و لوله های پاس ۲ و ۳ روی آن نصب می گردند

۳- کوره دیگ (Furnace) که پاس ۱ یا مسیر اول ورود گازهای داغ را ایجاد می نماید

۴- کوره لنگ یا کوره برگشتی (WRAPPER) که سبب اتصال بین پاس ۱ و ۲ رو برای گازهای داغ فراهم می نماید.



\*مختصی در خصوص مراحل ساخت دیگ بخار :

۱-تهیه نقشه فنی مطابق استاندارد ملی ایران

۲-تهیه متریال دیگ بخار مطابق نقشه فنی

۳-انجام مراحل برشکاری و سوراخکاری ورقهای دیگ بخار و انجام مراحل عملیات نورد و مونتاژ اولیه

۴-شروع مراحل جوشکاری مطابق دستورالعمل های تایید شده واحد تولید دیگ بخار

۵-باررسی فنی جوش های دیگ بخار و انجام آزمایش های غیر مخرب (RT-UT-PT-VT) توسط شرکت  
های مورد تایید

۶-قراردادن لوله های پاس های مختلف دیگ بخار و انجام جوشکاری های مربوطه

۷-نصب نازل ها و اتصالات دیگ بخار و انجام جوشکاری ها

۸- انجام تست هیدرواستاتیک با آب و در ۱.۵ بار فشار طراحی دیگ بخار

۹- انجام مراحل عایق کاری و ایزولاسیون داخلی و خارجی دیگ بخار

۱۰- انجام روکش کاری و نصب تجهیزات و لوازم پکیج دیگ بخار

\*پاس های حرارتی در دیگ های بخار:

به هر مرحله از عبور جریان گازهای داغ و دود ، در دیگ های بخار یک پاس اطلاق می گردد به طوریکه :  
پاس اول فقط شامل کوره و کوره برگشتی می باشد یعنی اولین مرحله ای که آتش و گازهای داغ توسط مشعل به آنجا وارد میشوند . پاس دوم نیز از کوره برگشتی به داخل لوله های پاس دوم تا جلوی دیگ که اتاقک یا محفظه دود میباشد . و پاس سوم نیز به لوله هایی اطلاق میگردند که از صفحه جلویی(صفحه سمت مشعل دیگ) در جهت صفحه عقبی (سمت دودکش) ، قرار داده شده اند .

\*وجود دریچه های بازرسی در دیگ بخار:



در بدنه دیگ های بخار معمولاً سه نوع دریچه بازرسی قرار داده میشوند که بزرگترین آنها دریچه آدم رو (Man hole) می باشد که به ابعاد حداقل ۴۰\*۳۰ سانتی متر میباشد و در بالا و مرکز بدنه دیگ قرار دارد

از الزامات دیگر به جهت بازدید و بازرسی داخل دیگ بخار، در بدنه کناری دیگ های بخار نیز بسته به نظر طراح دریچه های سررو (Head hole) و دست رو (Hand hole) به تعداد کافی قرار داده میشوند که

این دریچه ها هر کدام دارای یک درب متحرک بوده و توسط واشر گرانیتی آب بندی می گردند. و همچنین جعبه دود در جلو و عقب دیگ بخار نیز به جهت ایجاد فضای ایزوله شده و انتقال حرارت بین پاسی و همچنین برای دسترسی سرویس کاران دیگ بخار برای تعمیر، تعویض یا تمیز کاری لوله ها پیش بینی شده اند.

### \*مکان و شرایط نصب:

\*ابعاد محل نصب دیگ بایستی با در نظر گرفتن ابعاد دیگ بخار در حالت درهای باز و نیز تجهیزات مرتبط با آن، همانند دستگاه های سختی گیر، هوازدا، منبع تغذیه آب، کلکتور، شیرها و موارد مشابه ، طراحی و لحاظ گردن.

دیگ بخار باید در محلی نصب شود که دارای هوای لازم جهت سیستم و نیز فضای کافی برای تمیز کردن لوله ها و همچنین مکان مناسب جهت نگهداری وسایل کنترل تجهیزات جانبی باشد.

و همچنین توصیه می گردد که در محل نصب دیگ، سکویی(فونداسیون ) مناسب با وزن، اندازه ها و متعلقات دیگ بخار، ایجاد گردد.

این سکو باید حداقل ۳۰ سانتیمتر از هر طرف ۱۵ سانتیمتر) بیشتر و با اندازه ۱۵ سانتیمتر هم از کف محل نصب بلندتر باشد.

در اطراف این فونداسیون باید مجرایی برای هدایت آب کف به چاه و یا سیستم فاضلاب در نظر گرفته شود و حوضچه ای نیز جهت زیر آب زدن دیگ بخار بایستی در نزدیکی شیر تخلیه دیگ ایجاد شود که همواره پر از آب بوده و قسمت بالای آن نیز به چاه یا مجرای خروجی آب راه داشته باشد و لوله تخلیه جهت خفه شدن بخار، به داخل آن هدایت و با درب متحرک پوشانده شود (چاه بلودان).

و از موارد مهم دیگر چنانچه مسیر کابل کشی از درون کanal انجام شده ، برای جلوگیری از بروز هر گونه اشکال الکتریکی، لازم است نکات ایمنی با دقت کامل رعایت گردد.

پوشش روی کanal باید سبک و در مقابل وزنهای سنگین دارای مقاومت کافی باشد. توصیه می شود دیگ به نحوی روی فونداسیون استقرار یابد که قسمت جلویی آن مقابل درب ورودی قرار گیرد. وجود وسائل اطفاء حریق در محل الزامی بوده و ضریب ایمن سازی دستگاه را در مقابل آتش سوزی های احتمالی بالا می برد.

#### \*شرایط نصب دودکش :

دیگ های بخار معمولاً مجهر به دمنده مناسب بوده و بدون دودکش هم می تواند کارکند، ولیکن برای کارکرد بهتر ، مواد حاصل از احتراق باید به نحوی به فضای بیرون هدایت شوند، که این کار توسط طراحی و نصب دودکش با ارتفاع مناسب صورت می گیرد. ارتفاع دودکش دیگ بخاربستگی به شرایط محلی دارد ولیکن موقعیت هایی مانند ساختمان های بلند مجاور، جهت باد و عوامل جغرافیایی دیگر بر آن مؤثر خواهد بود .

## فصل سوم

رسوبات تشکیل شده از آب و بخار

## رسوبات تشکیل شده از آب و بخار

### مکان ها

در هرجایی از دیگ بخار که آب و بخار وجود دارد رسوبات تشکیل می شوند. علاوه بر تشکیل رسوب زیاد در دیواره لوله ها، در شبکه لوله ها، کف و سقف لوله ها نیز رسوب تشکیل می شود. سوپرهیترها و ری هیترها غالبا رسوب می گیرند که این رسوب در جاهای دیگر تشکیل شده و توسط آب دیگ بخار به داخل سیستم حمل می گردد. بخار غالبا در اکونومایزرها تولید نمی شود. در این لوله ها رسوبها معمولا از محصولا خورده‌گی است که از محل تشکیل شدنشان در این لوله ها حرکت کرده وسپس در این لوله ها رسوب نموده اند. اساسا هنگام تولید بخار، رسوب گذاری اتفاق می افتد. جهت لوله روی مکان و مقدار رسوبها تاثیر می گذارد و مقدار رسوبها در قسمت داغ لوله های تولید بخار بیشتر است.

بخاطر پدیده کanal بخار (تولید حبابهای بزرگ روی دیواره لوله ها)، تجمع رسوب روی قسمت های افقی و شیب دار لوله ها بیشتر است. همچنین رسوب گذاری، درست در شیب حلقه های جوشکاری اتفاق می افتد که این حلقه ها باعث آشفتگی حریان می شود و محل مناسبی برای ایجاد پوشش بخار است. چون رسوبات تمایل به تجمع در نواحی داغ لوله های مولد بخار را دارند لذا لوله های نزدیک به پایین دیواره پشتی دیگ

بخارکه بعنوان وسیله ای برای حمل سوخت در طول کوره استفاده می شوندو یا در لوله های اسکرین،بسیار مستعد رسوب گذاری هستند.در لوله های افقی که سرعت جریان آب کم است احتمال وجود ذرات بزرگ بیشتر است.

اکثر اکونومایزرها طوری طراحی شده اند که بخار تولید نمی کنند.رسوبات ناشی از منابعی مثل آب کندانس برگشتی (معمولًا تصفیه نشده) وارد اکونومایزر می شوند.اکسیدها در نتیجه افزایش غلظت اکسیژن در داخل و یا قبل از اکونومایزر تولید شده،سپس حرکت کرده و در اکونومایزر رسوب می کنند.

گل ولای استیم درام ها اغلب محتوای رسوب هستند.بازدید از مخازنی که به راحتی در دسترس قرار دارند،جزئیات شیمی آب و فرآیند رسوب گذاری را نمایان می سازد.برای مثال ،هنگامی که آهن در اثر تجزیه کمپلکس های آلی آزاد می شود،کریستالهای سیاه مگنتیت ته نشین می شوند.

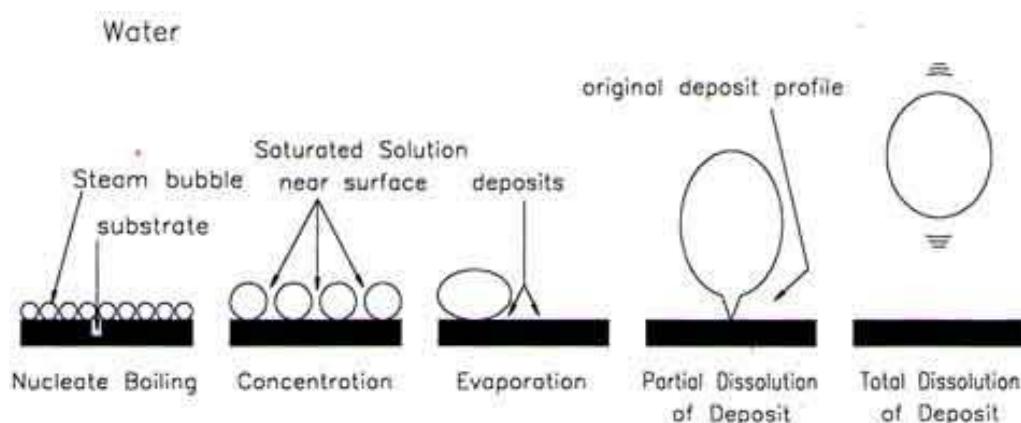
رسوبات سوپر هیترها از تراوش املاح آب دیگ بخار ناشی بوده و گاهی اوقات با کف و افزایش سطح آب همراه هستند.این رسوب ها معمولًا در ورودی سوپر هیترها یا در اتصالات ((U)) شکل متراکم می شوند.آب آلوده ای که بر روی آن بهسازی انجام شده می تواند درست در محل ورود ،باعت افزایش رسوبات گردد.تکه های رسوب واکسیدهای لایه لایه شده که از سوپر هیتر خارج شده اند می توانند در اتصال ((U)) شکل متراکم گشته ویا حتی به داخل توربین ها وارد شوند.

## شرح کلی

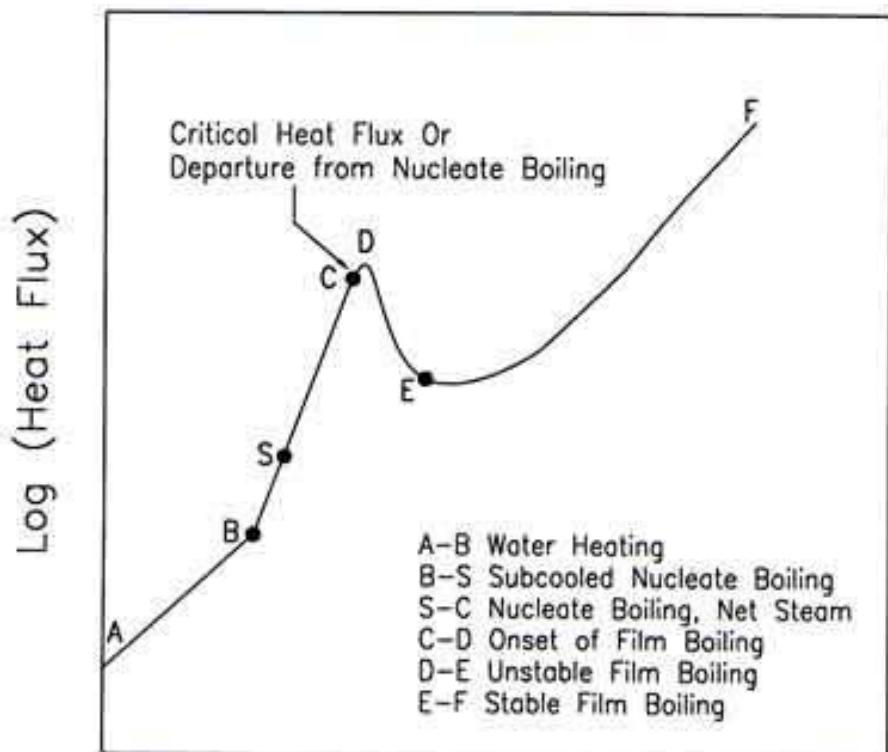
عبارت رسوب ها به موادی اطلاق می شود که در جایی دیگر تشکیل شده وسپس به محل رسوب گذاری منتقل می شوند؛ رسوب ها را نمی توان بعنوان محصولات خوردگی تشکیل شده در محل در نظر گرفت ،اگر چه همان تعریف در مورد محصولات خوردگی تشکیل شده ، که در محل دیگر ته نشین می شوند صدق می کند.منبع رسوب های دیگ بخار چهار نوع است ، موادمعدنی ، موادشیمیایی که برای بهسازی آب استفاده

می شود ، محصولات خوردگی (دیگ بخار و تجهیزات قبل از دیگ بخار) و آلوده کننده های آب. ته نسخت های این منابع ممکن است طوری عمل کنند که سرعت رسوب گذاری را افزایش داده ، لایه بسیار چسبنده تولید کنند و بعنوان هسته هایی برای تشکیل رسوب عمل نمایند.

اینگونه ذرات شامل (اما بدون محدودیت) اکسیدهای فلزی مس ، فسفات ها ، کربنات ها ، سیلیکات ها ، سولفات ها ، آلوده کننده ها و همچنین طیف وسیعی از مواد آلی و غیرآلی هستند. یک فرآیند تولید رسوب شامل تجمع ذرات محلول و نامحلول در یک فیلم نازک است که روی سطح فلز را هنگام تشکیل حباب بخار می پوشاند (شکل ۱-۱)



شکل (۱-۱) - پنج حالت در زندگی یک قطره بخار.



$$(\text{Log } (t_{\text{surface}} - t_{\text{bulk}}))$$

شکل(۱-۲)- انتقال حرارت به آب و بخار در کاتال جریان حرارت داده شده، رابطه فلاکس حرارتی به تفاوت درجه حرارت بین کاتال دیواره و توده آب یا بخار ارائه شده از طرف شرکت Babcock and wilcox، بخار و تولید و مصرف آن، نیویورک (۱۹۷۲).

ذرات در حد فاصل بین آب و بخار جدا شده ، در امتداد حد فاصل حرارت کرده و در محل تشکیل حباب در حالی که حباب بزرگ می شود ، رسوب می کند. مکانیسم های دیگر رسوب گذاری شامل ته نشینی ذرات از محلول و رسوب ذرات بزرگ هستند. بر عکس ، گرمای انحلال باعث می شود که رسوب گذاری در نقاطی که انتقال حرارت زیاد است رخ دهد. تمایل تشکیل رسوب به حرارت موضعی ورودی ، آشفتگی آب و ترکیب آب در لوله یا نزدیک دیواره لوله بستگی دارد. هنگامی که حباب بخار از دیواره لوله جدا می شود ، رسوب ها با آب شسته می شوند. سرعت ساخت رسوب به سرعت تشکیل پوششی پایدار از بخار تشکیل شده و سبب تجمع مواد محلول در آب می شود.

پوشش بخار همچنین سبب ناهموار شدن سطح و در نتیجه باعث آشفتگی جریان آب می گردد. در شیب این نوع ناهمواری، نقاط با فشار کم تشکیل شده که محل های مناسبی برای تولید حباب و به دنبال آن تشکیل رسوب است. تولید بخار معمولا در اکونومایزرها انجام نمی شود. رسوب ها معمولاً پرازآهن هستند. اکسید آهن یا در تجهیزات قبل از دیگ بخار و یا در داخل خود اکونومایزر تولید می شود.



شکل (۱-۵)- لایه های خردشده روی سطح داخلی یک اکونومایزر. آهن زیادی در محل تشکیل شده بود. اما مقداری به صورت خرد و چسبن جایه جا شده بود.

شکل (۱-۶)- تکه های ورقه ورقه شده مکنتیت در یک لوله از قسمت ابتدای سوپر هیتر یک دیگ بخار سرویس های جانبی. خودهای مکنتیت که به قسمت توربین حمل می شوند، باعث خسارت شدید می شود (شکل ۱-۷ ملاحظه شود).

## آزمایش آب تغذیه و آب دیگ بخار

با مشخص شدن پارامترهای کنترل آب تعذیه و آب دیگ بخار، این موارد در کتابچه هایی که توسط سازندگان تهیه می شود در اختیار استفاده کنندگان قرارداده می شود، و این وظیفه استفاده کنندگان است که شرایط مناسب آب را در محدوده ای مشخص جهت حصول حداقل آمادگی و عمر دیگ بخار، تامین نمایند.

این امر مستلزم آزمایش‌های تجزیه‌ای منظم و آب دیگ بخار است که توصیه‌های سازندگان دیگ باید دقیقاً به کار گرفته شود. در صورت عدم دسترسی به آزمایشگاهی مجهز در محل، می‌توان از کیت‌های آزمایش که توسط سازندگان واحدهای بهینه ساز آب ارایه می‌شود، استفاده کرد. در کارکنان رابا آن آشنا کرد.

نگهداشت دیگ‌های سرد، حفاظت سطوح داخلی (سمت آب) اگر دیگ بخار برای مدتی از سرویس خارج بماند ولزومی به بازرسی و تمیزکردن داخل آن نباشد، جهت حفاظت قسمتهای تحت فشار آن در مقابل خوردگی باید روش‌های مناسب نگهداشت دیگ بخار را به کار برد. این نگهداشت با دوشیوه مرطوب و خشک انجام می‌شود.

#### ۱- نگهداشت با شیوه مرطوب

در دیگ‌های مولد آب گرم، تمام سیستم آب گرم واژمله دیگ بخار را باید کاملاً پراز آب بهینه شده نمود. در نگهداشت‌های کوتاه و میان مدت، مثلاً سه ماه، از شیوه مرطوب برای دیگ‌های مولد بخار استفاده می‌شود. در این‌گونه موارد، دیگ و داغ‌کننده‌های بخار در صورت موجود بودن — با آب بهینه شده و بدون هوا کاملاً پر می‌شود. جهت ازین بردن اکسیژن موجود در آب و تنظیم  $\text{pH}$  آن بین ۱۰ تا ۱۱، به مقدار کافی سولفیت یا هیدرازین و آمونیاک به آب دیگ بخار اضافه می‌شود. شرایط فوق باید به طور مرتبت بررسی و در صورت لزوم اقدامات لازم صورت گیرد.

استفاده از آمونیاک و هیدرازین بر سولفیت سدیم ترجیح داده می‌شود. زیرا هردو فرار بوده است و املاح آب را افزایش نمی‌دهد. علاوه بر این چون رسوبی ایجاد نمی‌شود، احتیاج به تخلیه دیگ بخار و صرف وقت در زمان راه اندازی مجدد دیگ بخار نیست.

ممکن است اختلاط کامل آب و مواد شیمیایی توسط تلمبه لازم شود. علاوه بر این مسایل انقباض و انبساط به علت تغییر دما باید مردم توجه قرار گیرد. به حفظت دیگ بخار در مقابل یخ زدگی، به خصوص بادیگ های واقع در فضای باز نیز باید توجه شود. این عمل با وارد کردن المانهای گرم کننده در نقاط مناسب دیگ بخار انجام می گردد.

## ۲- نگهداری باشیوه خشک

در نگهداری طولانی تر، باید دیگ بخار را کاملاً تخلیه، تمیز و در صورت لزوم به کمک هوای گرم آن را خشک نمود. سپس با قراردادن کیسه یا سبد هایی از خشک کننده ها نظیر سیلیکاژن در هر یک از مخزن های دیگ های لوله-آبی یا پوسته دیگ های لوله-آتشی، دیگ بخار را به حالت خشک نگهداری کرد. پس از آن باید دیگ را کاملاً بست و از نفوذ هوای آن جلوگیری نمود. بازدید منظم خشک کننده با یادآوری شود و در صورت لزوم کمبود آن تامین گردد. می توان از جریان منظم هوای گرم در درون دیگ بخار با قرار بخار برقی در آن به جای استفاده از خشک کننده ها استفاده کرد.

به محلهای غیرقابل تخلیه دیگ بخار نظیر داغ کننده های معلق بخار و لوله کشیهای مربوط به ابزارهای دقیق و ملحقات دیگ بخار نیز باید توجه کافی نمود، پس از خشک کردن با هوای گرم می توان از هوای فشرده جهت خارج ساختن آب از لوله استفاده کرد.

## تمیز کردن سطوح داخلی (سمت آب)

شستشوی شیمیایی

شستشوی شیمیایی یکی از مراحل راه اندازی دیگ بخار بعد از تعمیرات کلی و یا تشکیل فوق العاده رسوب یا سایر ترکیبات در داخل دیگ بخار به علت اختلال در فرآیند بهینه سازی آب است

شستشوی شیمیایی دیگ بخار هنگام راه اندازی اولیه دیگ های نوبه منظور تمیز کردن روغن، گریس و سایر ذرات به جای مانده در زمان ساخت آنها و به خصوص پس از منبسط کردن لوله ها (هنگام رول کردن آنها) در دیگ های لوله آبی، انجام می گیرد، شستشوی شیمیایی

معمولًا یک جوشش قلیایی است که ترکیبی از سود سوزآور، کربنات کلسیم و تری سدیم فسفات، یامواد شیمیایی ویژه به نسبتهای معینی که سازندگان دیگ ها مشخص می کنند

به آب دیگ بخار اضافه می شوند. سپس دیگ را به منظور بالا بردن دمای فلز و محلول درون آن روشن می کنند تا روغن و گریس از فلز جدا شده و آب در دیگ بخار جریان یابد. پس از جوشش، تمام رسوبها و مواد ته نشین شده در مخزنها و سرشاخه لوله ها، خارج شده و دیگ بخار را با آب تمیز شستشو می دهند.

شستشوی اسیدی نیز در زمان راه اندازی دیگ بخار جهت خارج سازی لایه های رسوبی حاصل از **Hot rolling** و ترکیبات سیلیسی از قسمتهای تحت فشار (بالای ۶۴ bar) صورت می گیرد، زیرا در فشارهای بالا شرایط آب دیگ بخار از حساسیت بیشتری برخوردار است. به طور کلی در این شستشو از یک محلول اسید رقیق و ماده شیمیایی کند کننده فعل و انفعال جهت حفاظت سطوح دیگ بخار در مقابل خوردگی اسیدی استفاده می شود. محلول اسیدی توسط تلمبه ای در سراسر دیگ به چرخش درمی آید تا کلیه اجزاء آن را تمیز نماید.

اجرای این عمل توسط چرخش طبیعی آب، به علت وجود مدارهای متعدد و موازی آب دیگ بخار به آسانی انجام نمی‌گیرد. این شستشو باید توسط کارشناسان مهندس با مکانات کافی و تهمیدات لازم جهت تخلیه دیگ بخار انجام شود.

خارج سازی رسوبات وغیره، که در ضمن شستشو ایجادشوند باوسایل مکانیکی توسط پاک کننده‌های چرخشی واستفاده از گردنه‌های قابل ارجاع صورت می‌گیرد. دیگ‌های مدرن فشار بالا که ازلوله‌های جوشی استفاده می‌کنند، از نظر دستیابی به اجزای دیگ بخار به خصوص در محفظه احتراق ولوله‌های پیش گرمکن آب تغذیه (اکونومایزر) بسیار محدود هستند، بنابراین فقط به کمک شستشوی اسیدی تمیز می‌شوند. مواد شیمیایی مصرفی بستگی به نوع رسوبات دارد که توسط متخصصهای این فن معرفی و اجرا می‌گردد.

به طور کلی شستشوی شیمیایی گران و پر حمت است، بنابراین جلوگیری از ایجاد رسوب اجرای صحیح بهینه سازی آب است.

رسوبات موجود در داغ کننده‌های بخار که براثر تراویش املال یا غلیان آب حاصل می‌شود توسط شستشوی با آب خارج می‌گردد.

### دمیدن بخار :

قبل از راه اندازی توربین‌های بخار، ابتدا تمام شبکه داغ کننده بخار ولوله‌های مربوطه را با بخار آب شستشو می‌دهند. برای این منظور پس از روشن کردن دیگ بخار، تمام شبکه داغ کننده بخار ولوله‌های مربوطه را تانزدیک توربین، بخار آب و با سرعتی بالاتر از MCR به محلی کم فشار (معمولًا فضای باز) بادمیدن بخار شستشو می‌دهند. در مقابل دهنده خروجی بخار صفحه فولادی صافی قرار می‌دهند که با برخورد ذرات ناخالص ناشی از رسوبات و فلزهای جوشکاری، خراشها یی براین صفحه وارد شود. دمیدن بخار و تعویض صفحه تاقطع

کامل خراشها و اطمینان از تمیزشدن کامل مسیر بخار ادامه می یابد. برای اینمی بیشتر، می توان لوله کشی ویژه‌ای جهت خروج بخار در نظر گرفت.

در مجموعه‌ای از دیگ‌های بخار، با گسترش لوله کشی شبکه و مصرف کننده‌های مختلف، توجه بیشتری به پاک شدن مسیر بخار ضرورت دارد.

تنش‌های حرارتی به لایه لایه شدن اکسید کمک می کند. لایه شدن اکسیدهای تشکیل شده در اثر حرارت در سوپرهیترها و ری هیترها می توانند سبب تجمع تکه‌های اکسید در اتصالات ((U))‌شکل و لوله‌های افقی شوند (شکل‌های ۱.۶ و ۱.۷). دماهای تشکیل رسوب (دماهایی که بالاتر از آن سرعت تشکیل اکسید سریع تر می شود) برای طیف وسیعی از آلیاژها در جدول (۱.۲) آمده است. تجمع رسوب‌های آب می تواند بعلت تراوش املاح و کف کردن، قل زدن و شستشوی رسوبات با آب باشد.

### پاره‌ای از فرصت‌های صرفه‌جویی در دیگ‌های بخار

فرصت‌های مختلف صرفه‌جویی در سیستم دیگ بخار، به احتراق، انتقال گرما، تلفات قابل اجتناب، مصرف برق، کیفیت آب و تخلیه مربوط می شود. بررسی عوامل زیر مشخص می کند آیا دیگ بخار با حداکثر بازده خود کار می کند یا خیر.

### دمای دودکش

دمای دودکش باید در کمترین حد ممکن باشد. از طرفی این دما نباید آنقدر کم باشد که بخار آب موجود در گاز خروجی روی دیوارهای دودکش چگالیده شود. این مسئله در سوخت‌های حاوی مقدار زیاد گوگرد مهم است زیرا دمای کم باعث خوردگی در نقطه شبنم گوگرد می شود. دمای دودکش بیش از ۲۰۰ درجه سانتیگراد حاکی از پتانسیل بازیافت گرمای تلف شده است. این مسئله همچنین مقیاس تجهیزات انتقال و

بازیافت گرما را نشان می دهد و در نتیجه فوریت خاموش کردن دستگاه به منظور تمیزکاری قسمت آب و گاز خروجی را مشخص می کند.

## پیش گرمایش آب تغذیه با استفاده از پیش گرمکن

معمولًاً گازهای خروجی در یک دیگ نوین سه گذره، دارای دمای ۲۰۰ تا ۳۰۰ درجه سانتیگراد است. بنابراین پتانسیل بازیافت گرما از این گازها وجود دارد؛ اما همانطور که بالا هم به آن اشاره شد، این کاهش دما برای گازهای خروجی نباید دمای آن را به کمتر از ۲۰۰ درجه سانتیگراد برساند.

## پیش گرمایش هوای احتراق

پیش گرمایش هوای احتراق گزینه دیگری برای گرم کردن آب تغذیه است. جهت افزایش بازده حرارتی به میزان ۱٪، دمای هوای احتراق باید ۲۰ درجه سانتیگراد افزایش یابد. بیشتر مشعل های گازی و نفتی مورد استفاده در یک واحد دیگ بخار، برای دماهای پیش گرمکن زیاد طراحی شده اند.

## جلوگیری از احتراق ناقص

این پدیده می تواند ناشی از کمبود هوا، سوخت اضافی، یا توزیع ضعیف سوخت باشد. احتراق ناقص معمولًاً از رنگ دوده کاملاً واضح است و باید سریعاً آن را برطرف نمود.

در سیستم های گازسوز یا نفت سور، منوکسید کربن یا دوده ( فقط در سیستم های نفت سوز) با هوای عادی یا اضافی، نشان دهنده مشکلات در سیستم مشعل می باشد. یکی از متداولترین دلایل احتراق ناقص، اختلاط نامناسب سوخت و هوا در مشعل است. احتراق ضعیف نفت می تواند ناشی از گران-روی نامناسب، فرسایش نوک مشعل، جمع شدن کربن در نوک مشعل، و فرسایش شیپوری یا صفحات گردان باشد.

## کنترل هوای اضافی

در تمام موارد عملی، هوای اضافی برای احتراق کامل لازم است تا امکان تغییرات عادی در احتراق فراهم آید و شرایط دودکش برای برخی سوخت‌ها رضایت‌بخش شود. میزان هوای اضافی بهینه برای حداکثر بازده دیگ بخار زمانی حاصل می‌شود که مجموع تلفات ناشی از احتراق ناقص و تلفات ناشی از حرارت گازهای خروجی حداقل شود. این میزان با طراحی بویلر، نوع مشعل، متغیرهای سوخت و فرایند تغییر می‌کند. با انجام یک سری آزمون با نسبت‌های مختلف هوا به سوخت می‌توان این میزان را تعیین کرد. کنترل هوای اضافی در یک سطح بهینه همواره منجر به کاهش تلفات گازهای دودکش می‌شود. به ازای هر ۱٪ کاهش هوای اضافی، بازده تقریباً ۰.۶٪ افزایش می‌یابد.

موارد دیگری برای بررسی پتانسیل‌های صرفه‌جویی در دیگ‌های بخار مانند اتلاف حرارت ناشی از تابش و هموف و کنترل تخلیه اتوماتیک و ... وجود دارند که توضیحات مربوط به هریک از آن‌ها به همراه موارد فوق و نکات مرتبط با هر روش به طور کامل در کتاب "کارایی انرژی در تأسیسات حرارتی" ذکر شده‌اند.

جدول (۱\_۱) هدایت گرمایی (€) آلیاژها و رسوب‌ها:

هدایت گرمایی (Btu.ft)/(h.ft.F)	هدایت گرمایی (c'.W/m)	
(F۲۱۲۰) (۴/۹)	(C۱۰۰۰) (۱۶)	آلیاژها
(F۹۳۲۰) (۵/۰۱۲)	(C۵۰۰) (۲۲-)	فولاد ضدزنگ ۳۰۴
(F۲۱۲۰) (۴/۱۴)	(C۱۰۰۰) (۲۵)	فولاد ضدزنگ ۴۱۰
(F۷۵۲۰) (۵/۱۶-)	(C۵۰۰) (۲۸-)	
۲۱*	۳۶*	فولاد آلیاژی
۲۴۰*	۴۲۰*	مس
۳۲*	۵۵*	فولاد کربنی (Mn64/0, C23/0)
۱۳۶*	۲۳۵*	آلومینیوم
		رسوب
۲۱	۳/۶	اکسید آلومینیوم ، (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) مذاب
۰/۷۶	۰/۱۹	آنالیست (Na <sub>2</sub> O <sub>2</sub> A1 <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> O <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O)
۰/۵۶	۰/۱۴	کربنات کلسیم (CaCO <sub>3</sub> )
۲/۲۰	۰/۵۵	فسفات کلسیم (CaPO <sub>4</sub> )
۰/۸۳	۰/۲۱۰	سولفات کلسیم (CaSO <sub>4</sub> )
۰/۳۵	۰/۰۹	اکسید آهن (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )
۰/۶۹	۰/۱۷	اکسید منیزیم (MgO)
۱/۳	۰/۳۳	فسفات میزیم (Mg <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> )
۱/۸	۰/۴۵	مگنتیت (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )
۰/۰۶	۰/۰۱	مواد با خلل و فرج
۰/۹۷	۰/۲۴	کوارتز (SiO <sub>2</sub> )

ذرات محلول در بخار می تواند از طریق سوپرهیترها به روی توربین ها منتقل شده و در آنجا رسوب کند. اگر سولفات و کلرید وجود داشته باشد، هیدراته شدن و سپس هیدرولیز آنها سبب خوردگی شدید می شود.

## عوامل بحرانی

سرعت تشکیل رسوب ها روی سطوح انتقال حرارت، می تواند توسط حلالیت، استحکام فیزیکی رسوب و میزان آب شستشوی موجود در محل تولید بخار، کنترل شود. حلالیت و آب شستشو، به عواملی مثل غلظت ذرات حل شده، گرمای موجود، مرفولوزی تراکم و آشفتگی بستگی دارد. به هر حال پیش نیاز تشکیل رسوب زیاد، معمولاً تولید بخار است. در حقیقت حتی هنگامی که تولید بخار خیلی کم است باز رسوب تشکیل می شود.

مادامی که هسته های در حال جوش وجود دارند، انتقال حرارت توسط هدایت حرارتی رسوب، دیواره لوله و همچنین دمای سمت گاز نیز کنترل می شود. هدایت حرارتی تعدادی از رسوب ها و آلیاژهای دیگ بخار در جدول (۱-۱) آمده است.

نمکهایی که در اثر حرارت حلالیتشان کم می شود به راحتی روی سطوح انتقال حرارت رسوب مینماید. برای مثال، سولفات وفسفات کلسیم با افزایش دما در نواحی داغ رسوب می کنند. در نهایت، با وقوع پیوستن بخار و تبخیر در مناطق خشک، موجب تغليظ ذرات با حلالیت، در درجه حرارت معمولی خواهد گردید.

بیشتر رسوب ها شامل مواد نامحلول می باشند که غالباً در لوله های سرد کننده که انتقال حرارت بالا دارند و با آب، سردی گردند- مثل شبکه لوله ها- ملاحظه می شوند. هنگامی که تبخیر تا مرحله دیگ بخار شود،

با افزایش دما تمايل سیستم به ایجاد پوشش بخار زیاد می شود(شکل ۳-۱).پوشش بخار جریان حرارت را کم و سبب بیش گرمایی و پارگی می گردد.

کیفیت آب نیز روی رسوب گذاری تاثیر بسزایی دارد.کیفیت آب خوراک پیشنهادی عنوان تابعی از فشار در جدول (۱-۲)آمده است.

این جدول نشان می دهد که تعداد کمی از آب لودگی ها می تواند در فشارهای بالای دیگ بخار قابل تحمل باشد.با افزایش فشار ، محدوده قابل تحمل رسوب ها به خاطر افزایش احتمال بیش گرمایی کمتر می شود.حداکثر غلظت های قابل قبول نمک ها در آب در جدول (۱-۳)آمده است.هنگامی که فشار از ۱۰۰ Psi افزایش می یابد، غلظت جامدات محلول پیشنهادی با فاکتور ۱۰۰ کاهش می یابد.مقادیر مجاز سیلیس با فاکتور ۲۵۰ و جامدات معلق با فاکتور ۵۰۰ کاهش می یابد.با یک حساب سرانگشتی روش عملی را که می توان در مورد تمییزی لوله به کار برد به شرح زیر است:

در دیگ های بخار با فشار بالا (بیش از ۱۸۰۰ Psi یا ۴/۱۲ Mpa) یا میزان رسوب های موجود در لوله های سردشونده با آب کمتر از ۱۵ mg/cm<sup>2</sup> (~14gr/ft<sup>2</sup>) باشد آن دیگ بخار نسبتاً تمییزاست.این میزان از رسوب نشان دهنده تمییزی انواع دیگهای بخار ، بدون توجه به شیمی آب ، نوع دیگ بخار یا سوخت است.در بعضی از دیگ های بخار ، وجود لایه های مگنتیت متخلخل تا ۱۰ gr/ft<sup>2</sup> (mg/cm<sup>2</sup>) تاثیر زیادی روی انتقال حرارت نموده است.لوله های دیگ بخار شامل ۱۵-۴۰ gr/ft<sup>2</sup> (mg/cm<sup>2</sup>) رسوبات نسبتاً کثیف و لوله های دیگ های بخار با فشار بالا در جدول (۱-۴)آمده است.وقتی میزان رسوب ها زیاد باشد انتقال حرارت به شدت کاهش می یابد.یکی از سازندگان دیگ های بخار بزرگ ، برای تمییز کردن دیگ بخاری که در فشار های پایین کار می کند مقدار رسوب را در حد ۳۰ gr/ft<sup>2</sup> (32mg/cm<sup>2</sup>) پیشنهاد می دهد.کار زیاد دیگ بخار ، در بالاتر از حداکثر مقدار رسوب ، سبب خوردگی شدید و بروز بیش گرمایی شده و مرغولوزی رسوب نیز روی انتقال حرارت تاثیر دارد.

جدول(۱-۲)-کیفیت آب خوراک پیشنهادی

فشار psi	*ppm مقدار سیلیس	سختی حداکثر	کل ppm	اکسیژن (ppm)	آهن (ppm) *	مس (ppm) *
۱۰۰	۱۵	۷۵	-	-	-	-
۲۰۰	۲۰-۱۰	۲۰	-	-	-	-
۳۰۰	۱۵-۵/۷	۲	-	-	-	-
۵۰۰	۵-۵/۲	۰/۲	۰/۰۳	-	-	-
۶۰۰	۵/۲-۳/۱	۰/۲	۰/۰۳	-	-	-
۷۵۰	۵/۲-۳/۱	۰/۱	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۲
۹۰۰	۵/۱-۸/۰	۰/۰۵	۰/۰۰۷	۰/۰۲	۰/۰۱۵	۰/۰۱۵
۱۰۰۰	۳/۰-۲/۰	۰/۰۵	۰/۰۰۷	۰/۰۲	۰/۰۱۵	۰/۰۱۵
۱۵۰۰	۳/۰ حداکثر	۰	۰/۰۰۵	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱
۲۰۰۰	۱/۰ حداکثر	۰	۰/۰۰۵	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱
۲۵۰۰	۰/۰۵/۰ حداکثر	۰	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲
۳۲۰۰	۰/۰۲/۰ حداکثر	۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱

\*دردیگ های بخار جدید که انتقال حرارت بسیار بالایی دارند. این غلظت ها باید اساساً صفر باشند. به همین

ترتیب سختی کل نباید از حد ۳/۰ ppm تجاوز نماید حتی در فشار های پایین تر و جامدات  $\text{CaCO}_3$  بر حسب

معلق در آب خوراک در صورت امکان باید صفر باشد.

جدول (۱-۳)- توصیه غلظت موادنمکی موجود در دیگ بخار

محدوده (PPm)			حداکثر (PPm)						فشار دمای اشباع (F) (PSi)	
هیدرازین باقیمانده	سولفیت باقیمانده	فسفات باقیمانده	شرایط لجن		سیلیکا	قلیاییت	جامدات کل*	جامدات معلق*	حباب شده	
			طبیعی	صنوعی						
NR	۱۰۰-۹۰	++NR	۱۵	۱۵۰	۲۵۰	۹۰۰	۵۰۰	۵۰۰۰	۳۲۸	۱۰۰
NR	۹۰-۸۰	۵۰-۴۰	۱۵	۱۵۰	۲۰۰	۸۰۰	۳۵۰	۴۰۰۰	۳۸۲	۲۰۰
NR	۷۰-۶۰	۴۰-۳۰	۱۵	۱۰۰	۱۷۵	۷۰۰	۳۰۰	۳۵۰۰	۴۱۷	۳۰۰
NR	۶۰-۴۵	۳۰-۲۵	۱۵	۷۰	۴۰	۶۰۰	۶	۳۰۰۰	۴۶۷	۵۰۰
NR	۴۵-۳۰	۲۵-۲۰	۱۰	۷۰	۳۵	۵۰۰	۵	۲۵۰۰	۴۸۶	۶۰۰
NR	۳۰-۲۵	۲۰-۱۵	۱۰	NR	۳۰	۳۰۰	۴	۲۰۰۰	۵۱۰	۷۵۰
-۱۰/۰										
۱۵/۰	۲۰-۱۵	۱۵-۱۰	۵	NR	۲۰	۲۰۰	۲	۱۰۰۰	۵۳۲	۹۰۰
-۱۰/۰	NR	۱۰-۵	۳	NR	۱۰	۵۰	۱	۵۰۰	۵۴۵	۱۰۰۰
۱۵/۰	NR	۶-۳	NR	NR	۳	.	۳	۱۵۰	۵۹۶	۱۵۰۰
-۰۵/۰	NR	۳-۱	NR	NR	۱	.	۱	۵۰	۶۳۶	۲۰۰۰
-۰۵/۰	NR	NR	NR	NR	۵۰/۰	.	.	۱۰	۶۶۸	۲۵۰۰
۱۰/۰	NR	NR	NR	NR	۰۲/۰	.	.	۰۲/۰	۷۰۵	++۳۲۰۰

-۰ ۲/۰									
۰ ۳/۰									
-۰ ۱/۰									
۰ ۲/۰									

## شناسایی

مواد شیمیایی بهسازی دیگ بخار ، ترکیب آب و گرمای ورودی ، روی رسوب گذاری تاثیر می گذارد. در فشارهای PSi2500(17/2Mpa) یا بیشتر ، معمولا هیدرازین مورد استفاده واقع می شود. نمک زدایی آب و تصفیه آب کندانس اعمالی هستند که در تصفیه آب بکار می روند. این امر بدان معناست که رسوب ها احتمالا فقط شامل اکسید آهن تولید شده به وسیله خوردگی سطوح داخلی ، شاید مس ، نیکل ، فلزات آلودگی های دیگر هستند.



شکل (۱-۱۲)- مس فلزی قرار گرفته روی دیواره لوله مزبوط به دیگ های بخار با فشار بالا

هیچ گونه موادشیمیایی بهسازی کننده یا محصولات حاصل از واکنش آنها در رسوب ها دیده نمی شود. در فشارهای پایین طیف وسیعی از ترکیبات می تواند بوجود آید. ترکیب و محل احتمالی ویژگی های انواع رسوب در جدول (۱-۵) آمده است.

جدول (۱-۴)- تمیزی لوله دیگ بخار

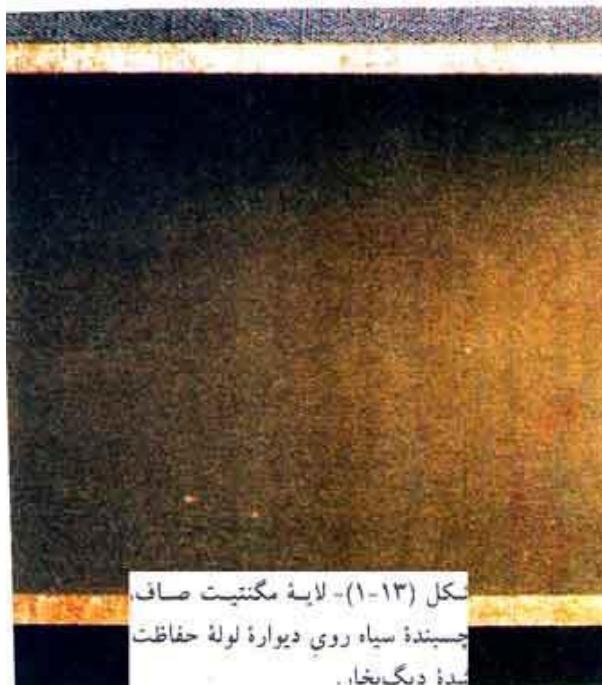
رسوب ( $\text{mg/cm}^2$ )			نوع دیگ بخار
خیلی کثیف	کمی کثیف	تمیز	
$25 <$	$25-15$	$15 >$	واحدهای فوق بحرانی
$40 <$	$40-15$	$15 >$	واحدهای زیربحراتی (و بالاتر) $\text{Psi} 1800$

$$1 \text{ psi} = 0.006895 \text{ MPa}, \text{ mg/cm}^2 = 1 \text{ g/ft}^2$$

## اکسیدهای آهن

یک لایه سیاه محکم، نرم و فشرده مگنتیت معمولاً روی سطح داخلی دیگهای بخار پیدا می شود. مگنتیت در اثر واکنش مستقیم آبادی با فلز تولید می شود. در دیگهای بخار با فشار بالا، مگنتیت شامل دولایه است که

معمولًا بوسیله بررسی میکروسکوپی قابل دیدن است. اگر سرعت ته نشینی بالا و یا تولید بخار زیاد باشد ، ذرات اکسید آهن می توانند روی لایه مگنتیت نرم تشکیل شده در اثر گرما ، رسوب کنند(۱-۱۴)



شکل (۱-۱۳)- لایه مگنتیت صاف  
چسبنده سیاه روی دیواره لوله حفاظت  
شده دیگ بخار.



شکل (۱-۱۴)- نقاط مربوط به تهشیت  
اکسید آهن خاصی که موقعیت مشخص  
دیوار؛ یک دیگ بخار بازیافتی را  
نمک می نماید. محل مشخص شده اگر  
هر سرعت حرارت متراکم قرار گیرند  
رسوب سرعت بالای تولید بخار  
و تهشیت می شوند. به تهشیت های  
نهاده هایی که هر منطقه  
نهاده هایی که هر منطقه  
نهاده هایی که هر منطقه

معمولًا ذرات درشت مگنتیت محکم به سطح نمی چسبند ، مگر این که با دیگر رسوب ها مخلوط شوند. رسوبات کریستالی سوزنی شکل مگنتیت سیاه و برآق معمولًا در نزدیک نقاط خوردگی ناشی از قلیا دیده میشوند. کریستالهای مگنتیت گاهی اوقات یک پوشش براق روی سطح استیم درام و لوله ها تولید میکنند



شکل (۱-۱۵)- کریستال های درخشان سیاه  
مگنتیت روی سطح داخلی دیواره یک لوله.  
کریستال های با تهشیتی روی سطح تشکیل  
می شوند و یا از نواحی تجهیزات قبل از  
تیگ بخار منتقل می گردند.



شکل (۱-۱۶)- وصلة کریستال براق مگنتیت مربوط به محل خوردگی ناشی از سود این نوع کریستال ها اغلب تریب  
محل های مربوط به خوردگی ناشی از سود و اسید پیدا می شوند.

تراشیدن مقادیر کمی از این ماده از سطح ونزدیک کردن یک آهن ربا به این ذرات نشان می دهد که در آن آهن وجود دارد.

از طرف دیگر ، تشکیل رسوب هماتیت تا اندازه ای در دماهای پایین تر غلظت اکسیژن بالاتر اتفاق می افتد و هماتیت یک متصل کننده ذرات است که تمایل به جمع شدن دارد و سبب می شود بقیه ذرات در رسوب نگهداشته شوند. هماتیت در صورتی که غلظت اکسیژن بالا باشد می تواند قرمز شود و معمولا در اکونومایزرها همراه با خوردگی اکسیژن وجود دارد(شکل ۱-۵)

### جدول(۱-۵)-اجزای رسوب های تشکیل شده از آب

معدنی	فرمول	طبيعت رسوب	محل وشكل معمول
اكميت	$\text{Na}_2\text{SiO}_3\cdot\text{FeO}\cdot\text{O}_2$	سخت و چسبنده رسوب لوله تحت هيدروكسى آپاتيت يا سرپنتين	
آلفاکوارتز	$\text{SiO}_2$	سخت و چسبنده	تیغه های دوربین ، مد درام ، رسوب لوله
آمفی بول	$\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$	پیوند چسبنده	رسوب ولجن لوله
آناليسit	$\text{Na}_2\text{AlO}_2\cdot\text{SiO}_2\cdot\text{O}_2\cdot\text{H}_2\text{O}$	رسوب لوله تحت هيدروكسى آپاتيت يا سرپنتين	سخت، چسبنده
انهيدريت	$\text{CaSO}_4$	رسوب لوله ، لوله های مولد	سخت، چسبنده
آرگونيت	$\text{CaCO}_3$	رسوب لوله خطوط خوراک ، لجن	سخت، چسبنده
براسيت	$\text{Mg}(\text{OH})_2$	لجن در درام و خطوط اصلی دیواره آب	سخت، چسبنده
مس	$\text{Cu}$	لخته کننده لوله های دیگ بخار و تیغه های توربین	
کوپريت	$\text{CuO}$	لایه الکتروپلیت	لایه های توربین ، رسوب های دیگ بخار
جيپسوم	$\text{CaSO}_4\cdot\text{H}_2\text{O}$	لایه چسبنده	رسوب لوله ، لوله های مولد
بخار	$\text{FeO}$	سخت ، چسبنده در سراسر دیگ	
هماتيت	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	لخته کننده	مد درام ، دیواره آب ، لجن
هيدروكسى آپاتيت	$\text{Ca}_{10}(\text{OH})_6(\text{PO}_4)_6\text{O}$	لایه پیونددهنده لوله ها ، مد درام ، دیواره های آب	
فسفات منيزيوم	$\text{Mg}(\text{PO}_4)_2$	فilm محافظ	همه سطوح داخلی
مگنتيت	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	رسوب لوله	رسوب لوله
نوزليت	$\text{Na}_2\text{AlO}_2\cdot\text{SiO}_2\cdot\text{O}_2\cdot\text{H}_2\text{O}$	سخت و چسبنده	

پکتولیت	$\text{CaO} \cdot 0.4\text{SiO}_2 \cdot \text{Na}_2\text{O}$	رسوب لوله سخت و چسبنده
سرپنتین	$\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	لجن لخته کننده
سودالیت	$\text{NaAl}(\text{OH})_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	رسوب لوله سخت و چسبنده
گزنوکلیت	$\text{CaO} \cdot 0.5\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	رسوب لوله سخت و چسبنده

## دیگر فلزات واکسیدها یا شان

مس یا از طریق جا به جایی مستقیم با آهن و یا احیای اکسید مس توسط هیدروژن تولید شده ضمن خوردگی رسوب می کند. به طور عادی می توان لکه های بزرگ و قرمز مس را که با محصولات خوردگی مثل مگنتیت و هماتیت مخلوط است، در نزدیکی نقاط خوردگی ناشی از قلیاً خوردگی ناشی از قلیاً باعث تولید هیدروژن می شود) مشاهده کرد شکل (۱-۱۲)

رنگ قرمز سطحی شباهت به هماتیت دارد. مس فلزی را به راحتی می توان از دیگر مواد با آزمایش نیترات نقره تشخیص داد. در صورت وجود مس فلزی با افزایش یک قطره نیترات نقره کریستالهای سفیدرنگ نقره سریعاً رسوب خواهد کرد. اکسید مس تشکیل شده، تحت شرایط دیگر بخار، سیاه رنگ و غیر مغناطیسی است. خوردگی گالوانیکی در اثر رسوبات (یا به صورت مس فلزی یا به صورت اکسید) به ندرت در دیگهای بخاری که خوب رویین شده اند، اتفاق می افتد.

اکسیدهای روی و نیکل گاهی همراه با رسوبات مس دیده می شوند. این مورد قابل انتظار است، زیرا روی و نیکل اغلب در آلیاژهای برنج و مس- نیکل به کار رفته در ساخت کندانسورها و هیترهای آب خوارک وجود دارد. معمولاً غلظت این عناصر در رسوب ها کم تر از مس است. اکسید نیکل بعنوان یک اتصال دهنده، رسوب گذاری بسیاری با لایه محکم می نماید. به هر حال، غلظت نیکل معمولاً پایین است و می تواند با روش تجزیه شیمیایی واسعه ایکس فلورسانس یا تفرق شناسایی و تعیین مقدار شود.

## نمک ها

هنگامی که جوشیدن شروع می شود ابتدا ترکیباتی که دارای حداقل حلایت هستند رسوب می کنند. کربنات کلسیم سریعاً رسوب سفید و ترد تشکیل می دهد که اگر اسید هیدروکلریک بر روی آن ریخته شود کف خواهد کرد

### رسوبات تشکیل شده از آب و بخار

سولفات کلسیم به غلظت های بالاتر از کربنات نیاز دارد تا رسوب کند. برخی اوقات حضور فسفات ها را می توان با رسوبات ترد (اما خیلی کم تر از کربنات کلسیم) حدس زد.

فسفات منیزیم یک اتصال دهنده است که می تواند رسوبات سخت و چسبنده تولید کند. بیشتر رسوبات فسفات منیزیم بی رنگ هستند اما اگر با اکسیدهای آهن همراه باشند رنگ قرمز، قهوه ای یا سیاه به خود میگیرند. سیلیکات های نامحلول در اکثر دیگر های بخار وجود دارند. بیشتر سیلیکات های بسیار سخت وغیرقابل حل در اسید هستند به جز اسید هیدروفلوریک. کمپلکس سیلیکات ها مثل آنالیست آکمیت ( $Na_2O \cdot Fe_2O_3 \cdot 4SiO_2$ ) یا سود الیت ( $Na_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot 2NaCl$ ) می توانند گواهی برپوشن بخار باشد زیرا جزو ترکیبات واسطه سدیم محلول هستند. در صورتی که آلوم از زلال کننده ها تراوش کند آنالیست تشکیل می شود.

بطورکلی اگر مکانیسم تراکم موضعی شدید باشد می توان رسوب ها را در آب محلول نگه داشت. بنابراین وجود ترکیباتی مثل هیدروکسید سدیم، فسفات سدیم و سولفات سدیم در رسوب را بایستی به عنوان دلیلی

بر تبخير تا مرحله خشک شدن در نظر گرفت. گزارش شده که بوی شدید سولفید هیدروژن ناشی از تجزیه سولفیت در نرديکي ديج بخاری که دارای نقاط داغ بوده تشخيص داده شده است. نمک های قابل هيدروليزي مثل MgC12 می توانند از طريق نشست كندانسوزهای آب دريا وارد آب ديج بخار شوند. كلريدها در رسوب های متخلخل متراكم شده و به اسيد هيدروليک هيدروليزي می گردند. تجزيه روغن، گريس و ديج مواد آلی می توانند شرایط اسيدي را ايجاد كنند.

## مرفولوژي رسوب

در بحث های قبلی رسوب ها بيشتر براساس ماهيت شيميايی خاص آنها بود. به هر حال ، بيشتر رسوب های واقعی ديج های بخار شامل تركيبات زيادي هستند. ساختمان رسوب می تواند روی نوع تركيبات رسوب تاثير بگذارد ، همچنين می تواند برای تعين حرارت ورودی ، شرایط آب و نوع مكانيسم های خوردگی بكار برده شود. هر نوع رسوبی که در مقابل شستشو مقاومت کند نامطلوب است. بخصوص رسوبات غير محلول و نفوذپذير مثل مواد با ذرات درشت بسیار مضر هستند. اين رسوبات اجازه می دهند که ذرات محلول در داخل خلل و فرج آنها متراكم شوند. بنابراین هيدروكسيد سدیم که خلل و فرج آن پیدا می شود ممکن است نامحلول باشد. رسوب گذاري تركيبات متخلخل اغلب سبب می شود که تجمع تركيبات محلول بيشتر شود. بطورکلي رسوب قدیمی تر ، سخت تر است و به سختی ، به دیواره های لوله می چسبد با افزایش سن رسوب ، شکاف رسوب با مواد جامد پر می شود و سبب افزایش حجم ، دانسيته و سختی می گردد. استثنائاتی در اين قانون وجود دارد و اين قضاوتها طبیعتاً فرضی هستند. با وجوداين ، حضور رسوبات سخت و محکم اغلب نشان دهنده اين است که رسوب گذاري در مدت طولاني در دماهای بالاي فلز انجام شده است و تشكيل

رسوبات به صورت لایه لایه نشان دهنده تغییر در شیمی آب می توان تاریخچه ای از زمان رسوب گذاری تهیه کرد.

## حذف

تمام رسوب ها نامطلوب ، در نهایت ، ناشی از خواص شیمیایی آب و یا عملکرد دیگ بخار هستند. بهسازی مناسب آب می تواند رسوب گذاری را کاهش دهد. قوانین عمومی بهسازی مناسب آب ، مشخص هستند. تغییرات شیمیایی آب و شرایط عملیات آن باید حداقل باشد. برای اجتناب از رسوب گذاری باید تلاش نمود تا دیگ بخار همیشه کمی زیر ظرفیت طراحی کارکند و نیز اطمینان حاصل نمود که تمام تجهیزات به طور مناسب عمل نمایند. مهمترین فاکتور دیگ بخار که روی رسوب گذاری تاثیر دارد عمل حرارت دادن است. همچنین ، حذف نقاط داغ ، کنترل سطوح آب و ثابت نگه داشتن ظرفیت ، از راه های پیشگیری از رسوب گذاری هستند. علاوه بر آن ، امکان استفاده مناسب از مشعل ، تنظیم سوخت وزیراب کافی در کاهش رسوب گذاری موثر می باشند.

## موارد احتیاطی

رسوب ها به ندرت شامل فقط یک ترکیب هستند. آزمایش شیمیایی برای تعیین نوع و میزان هریک از اجزای رسوب لازم است. اجزای محلول هنگامی که دیگ بخار سرد شده و تولید بخار متوقف گردد مورد شستشو قرار خواهد گرفت. گاهی اقات نتایج آزمایشگاهی ترکیبات شستشو ، منعکس کننده اجزای رسوب در هنگام کار دیگ بخار نیست. معمولاً مطمئن تر است قبول کنیم که غلظت های اجزای خیلی محلول ، در نتایج آزمایشگاه کم تر گزارش شده اند. حضور هر کدام از ترکیبات با حلالیت بالا معمولاً برای اثبات انحرافات از هسته جوش ، کافی است. مقدار ترکیب درصد ولایه لایه شدن رسوب ها در نزدیکی محل پاره شده فرق

میکند. خروج مایع از این نقاط موجب خارج شدن رسوب میگردد. گاهی اوقات محصولات از احتراق در داخل سطوح داخلی نزدیک پارگی پیدا می‌شوند. وزن رسوب‌ها در نزدیکی سطوح برآمده یا پاره شده معمولاً کمتر از مقدار واقعی آن در هنگام کار دیگ بخار است. اغلب محصولات خورده‌گی با رسوب‌ها اشتباه می‌شوند. این مطلب بخصوص در مورد سوپرهیترهای دیگ بخاری که بعلت از سرویس خارج بودن در جایی که تاول زدگی اغلب با تراوش املاح ناشی از مواد جامد آب دیگ بخار اشتباه می‌شود، از خورده‌گی ناشی از اکسیژن متاثر می‌شوند (به فصل ۸ ((خورده‌گی ناشی از اکسیژن)) مراجعه شود). رسوبات سوزنی شکل مگنتیت که در اثر PH پایین بوجود می‌آیند می‌توانند با ذرات آهن وارد شده از تجهیزات قبل از دیگ بخار اشتباه گرفته شوند.

#### سابقه مطالعاتی (۱-۱)

مشخصات لوله	قطر خارجی ۲۷۳	مشخصات
فشار درام	۶۰۰-۱۳ MPa	فشار
برنامه بهسازی آب	شلات	برنامه
مدت کار کرد	۱۰ سال	مدت
جهت نمونه	خط اصلی بالایی	جهت
محل نمونه	لوله اکونومایزر از دیگ بخار باز یافته نزدیک خط اصلی بالایی	محل
صنعت	کاغذ و خمیر کاغذ	صنعت

## مابع

ضمن خارج کردن لوله های اکونومایزر آسیب دیده ، رسوب های داخلی زیادی بطور غیرمنتظره دیده شد. سطوح داخلی بعضی از لوله ها بصورت غیرمنظم با یک لایه نرم و متورم از اکسید آهن پوشیده شده بود. اکسیدهای زیرین سیاه بودند. یک لایه متراکم با ضخامت یک اینچ از مواد ترد و شکننده در محل خم لوله در شکل (۱-۱۹) نشان داده شده است.

رسوب از بستر رزین خورده شده انتقال پیدا کرده است. سطح فلز در زیر رسوب ، حفره ای و نازک شده است. رسوب های متراکم جریان سردکننده را کند ، ولی هنوز بیش گرمایی اتفاق نمی افتد زیرا دمای گاز خروجی از دودکش خیلی پایین است (حدود ۵۸۸۰ یا ۵۵۵۰ F). انحرافات از هسته جوش زیر رسوب ایجاد شده ، سبب تجمع هیدروکسید سدیم و سپس خوردگی می گردد.

جالب است که این رسوب سبب خسارت نگردیده است ، بلکه دیگر لوله های نزدیک در اثر سایش سطوح داخلی و خوردگی اکسیژن نقص پیدا کرده اند. خورده شدن بستر رزین تا زمانی که رسوبات اکونومایزر پیدا شده اند مشخص نبوده است. اگرچه این رسوبات بایستی به داخل دیگر قسمتهای دیگر بخار حمل شده باشند ، ولی هیچگونه خساراتی بخاطر حضور آنها یافت نگردیده است

## سابقه مطالعاتی (۲-۱)

کاغذو خمیر کاغذ	صنعت
خروجی سوپر هیتر	محل نمونه
قسمت عمودی پایین محل اتصال گرفته شده	جهت نمونه
۳/۵ سال	مدت کار کرد
فسفات آب	برنامه بهسازی آب
Psi ۹۰۰	فشار درام
مشخصات لوله	قطر خارجی (Cr%2/1*1)5/1 Cm <sup>2</sup> (ni)، قسمت اتصال گرفته فولاد آلیاژی پایین (1/1)
سوخت	زغال سنگ

۲. قوت از قسمت اتصال گرفته شده لوله سوپر هیتر دچار رسوب گرفتگی شده بود و هنگامی که لوله از آن جدا شد رسوبات خیس بودند. قسمت های رسوب دار به مدت سه روز شدیدا حرارت داده شدند تا رسوبات خشک شوند. بعد از خشک کردن، رسوبات سفیدرنگ در انتهای محل اتصال (پایین ترین نقطه لوله در حال کار) نمایان شد (شکل ۱-۲۱).



شکل (۱-۲۱)- نکاف طولی قست اتصال گرفته از خروجی یک سوپر هیتر. لوله یا تنشت ها دچار گرفتگی شده. سفید هیدروکسید سدیم و کربنات سدیم تغذیه شده در قست پایین محل گرفتن اتصال، ماده سیاه عصبنا مکنت است.

لوله شامل ۲ پوندرسوب در هر ۲ اینچ (CM5/1) از طول لوله ، دورتر از محل اتصال شامل ۸۰ درصد وزنی مگنتیت و ۷ درصد وزنی هیدروکسید سدیم و کربنات سدیم بود. مقادیر کم گوگرد ، کلر ، فسفر ، کروم و مگنز نیز شناسایی شد. در محل اتصال حدود نیمی از رسوب ، از هیدروکسید سدیم و کربنات سدیم تشکیل شده بود. رسوب ها در اثر نفوذ آب گی مزمن ترموستا آب و یا تراوش املاح دیگ بخار از طریق استیم درام به داخل خط اصلی سوپرهیتر ناشی شده است. آب در ناحیه هایی که سرعت شدت جریان پایین و کنداست مثل قسمت اتصال گرفته متراکم می شود. اختلاف رنگ بین رسوب ها در قسمت اتصال گرفته و طول لوله نشان می دهد که موادقلیایی سفید محلول از طول لوله جدا شده و به پایین ترین قسمت مشخص انتقال یافته است. انتقال در اثر نفوذ آب غنی از ذرات محلول به قسمت اتصال گرفته شده رخ می دهد. موادسفید متراکم شده در لوله بعداز خشک شدن ، موید این نظر است تمییز کردن این محل های اتصال گرفته شده کاری بسیار مشکل است. به هر حال به خاطر جلوگیری از خوردگی قلیا و بیش گرمایی ، تمییزکاری یا خارج کردن رسوب ها بایستی انجام گردد. قسمت داخلی لوله دارای یک پارگی و تاول کوچک و یک لایه رسوب سفیدشکننده بادانسیته (gr/ft<sup>2</sup>) ۱۶ روی سطوح داخلی در قسمت داغ و ۱۷ mg/cm<sup>2</sup> در قسمت سرد بوده است. رسوب ها در هر دو طرف بوسیله لبه های تیز به هم متصل شده اند (شکل ۱-۲۲).



شکل (۱-۲۲)- لایه نهشت روی سطح داخلی قسمت داغ یک لوله مقداری نهشت در قسمت پادکردگی کم عمق نهشت شده است. مرزهای تیز نشان دهنده پایان پوشش بخار می باشد.

لبه ها نشان دهنده انتهای پوشش بخار است. رسوب گذاری در طی یک دوره که حرارت زیادی وارد شده اتفاق افتاده است. حرارت ورودی زیاد سبب بیش گرمایی و در نهایت ، باعث خسارت می شود. رسوب ها

شامل فسفات کلسیم بازی(هیدروکسی آپاتیت) ، سیلیکات سدیم آلومینیوم هیدراته ، مگنتیت ، سیلیکات منیزیم و مقدار کمی از دیگر مواد است. مقداری آ لوم از زلال کننده ها ، تراوش می کند. عملیات حرارت دادن و زلال سازی آ ب طور مناسب بازنگری و تغییریافته است.

سابقه مطالعاتی(۱-۳)

کاغذو خمیر کاغذ	صنعت
قسمت داخلی لوله	محل نمونه
افقی	جهت نمونه
۲۰ سال	مدت کارکرد
فسفات	برنامه بهسازی آب
(Mpa52/5) Psi800	فشار درام
قطر خارجی (in%2/1*1(cm4/6	مشخصات لوله
مایع باقی مانده از پخت خمیر کاغذ در فرایند تهیه کاغذ و نفت کوره	سوخت

سابقه مطالعاتی(۱-۴)

کاغذو خمیر کاغذ	صنعت
سوپر هیتر اولیه ، خم U شکل آ ویخته	محل نمونه
عمودی	جهت نمونه
۱۱ سال	مدت کارکرد
فسفات	برنامه بهسازی آب
(Psi(Mpa62/81250	فشار درام
قطر خارجی (Mo1%.cr4/1*2%.in%4/3*1 (cm45/4)	مشخصات لوله

بخش L شکل لوله سوپرهیتر به خاطر از دست رفتن فلز لوله که همراه با فولینگ با لجن بود از سرویس خارج شدبا بررسی سطح داخلی فلز ، تاول های شدید لایه مگنتیت نمایان شد(شکل ۲۳-۱).



شکل ۲۳-۱- به تاول های مگنتیت روی سطح داخلی یک خم انشکل در سوپرهیتر اوزنیه که در جاهایی طبقه طبقه شده است توجه شود.

تورق لایه مگنتیت اتفاق افتاده بود.اگرچه این تورق می تواند در توربین سبب سایش گردد ، ولی اثری از سایش دیده نشد.تورق لایه اکسید در اثر کم وزیاد شدن تنش ها و بیشتر تنش های حرارتی اتفاق می افتد.تنش ها هنگامی که لوله با لجن گرفته می شودبزرگتر می شوند.کانالیزه شدن عمدی یا غیرعمدی مسیر گازهای کوره سبب تولید نقاط داغ می شود.ترک خوردن لجن ، (احتمالاً هنگام خارج شدن دوده) سبب می گردد که دمای سطح ، سریعاً تغییر کند ، البته ثابت نشده که فقط خارج شدن دوده سبب لایه لایه شدن باشد.حباب های مگنتیت بزرگ می شود ، زیرا مگنتیت ایجاد شده در اثر حرارت ، حجم بیشتری را نسبت به فلزی که از آن تشکیل شده اشغال خواهد کرد.بنابراین تنش های فشاری ممکن است در لایه بزرگ شده رخ دهد و سبب حجیم تر شدن آن گردد.هنگامی که دماها بالا هستند ، ممکن است اکسید بجای ترک خوردن به تدریج تغییر شکل دهد.در همه سوپرهیترها ، به واقع با افزایش سن مگنتیت ، بعضی از آنها بصورت لایه لایه در می آیند.به هر حال ، لجن گرفتگی ، وزن بیش از اندازه رسوب ، ارتعاشات مکانیکی و کم وزیاد شدن دائم سرعت تنش های عملیاتی ، باعث لایه لایه شدن رسوب می گردند.

سرویس های جانبی	صنعت
توری ریزتور بین	محل نمونه
افقی	جهت نمونه
۸سال	مدت کارکرد
برنامه بهسازی آب	فسفات هماهنگ
PsiMpa2/15 ۲۲۰۰	فشار درام
مشخصات لوله	(in) ۰/۰۱۲ cm (cm088/0 .۴۰ .۳۵)
زغال	بعداز بازرسی عادی سوپرھیتر ، مشخص گردید که تورق ولایه لایه شدن مگنتیت روی سطح داخلی آن رخ داده است. نمونه های داخلی ریزودرشت توربین برای بازرسی خارج گردید. تقریباً ۱۰ درصد سوراخ های ریز توری با خرد های رسوب مگنتیت گرفته شده بودند. تکه های کوچک ورقه شده رسوب مگنتیت از طریق سوپرھیتر وارد شده و در سوراخ های صفحه نگه دارنده جا گرفته بودند (شکل ۷-۱)



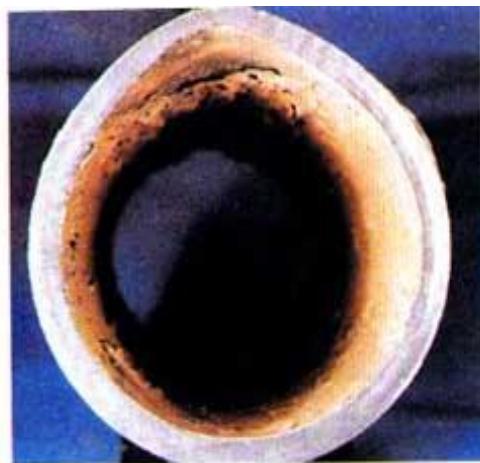
کل (۱-۷) - نایابی از توری ریزودری به توربین با مشکل زیم که قطعات ورقه شده اکسید از لوله سوپرھیتر به مردمی پیچه های توربین منتقل گردید (تصویر ۷-۵).

تعدادی سنگ ریز و نیز ذراتی که از نوک مشعل کنده شده بودند در صفحه نگه دارنده گیرکرده بودند. سوراخ های بزرگ توسط تکه های مگنتیت با ضخامت (cm<sup>0.38/0.25</sup>) in/0.01 in و عرض (cm<sup>0.25/0.38</sup>) in/0.01 in گرفته شده بودند. سمتی از سوراخ های بزرگ که در مقابل جریان بخار قرار داشت در اثر پرتاپ ذرات ضربه خورده و تیز شده بودند. کاهش ناچیزی در بازده توربین مشاهده شد و کمان می رفت که سایش شدید ناشی از اکسید لایه لایه شده ممکن است به پره های متحرک توربین آسیب رسانده باشد.

#### سابقه مطابعاتی (۱-۶)

صنعت واحد شیمیایی	
محل نمونه	لوله دیواره عمودی ft <sup>6</sup> بالای دیوار خط اصلی پایینی
جهت نمونه	افقی
مدت کارکرد	۵ سال
پلیمر	برنامه بهسازی آب
فشار درام	Psi Mpa 93/2 ۴۲۵
مشخصات لوله	قطر خارجی (cm) ۳*۱/۴ in ۲۶/۸
سوخت	نفت کوره شماره ۶ و گاز طبیعی

بهسازی شیمیایی برای کاهش لجن گرفتگی توصیه گردید و روش های عملی خروج گاز و دوده بازنگری گردیده پیشنهاد شده بود. شیستشوی شیمیایی سوپرھیتر در همان زمان لازم نیست. یکی از ۷۴ لوله دیواره عمودی، پاره شده است. یک لایه رسوب قهوه ای سوخته و شکننده، سطح داخلی را پوشانده است (شکل ۲۴-۱).



شکل (۱-۲۴)- سطح مقطع دیواره یک لوله پاد کرده. تنشت زیادی در هر دو قسمت سرد و داغ وجود دارد تنشت‌ها، فسفات‌ها، سلیکات‌ها و کربنات‌ها می‌باشند.

وزن رسوب در قسمت داغ  $100 \text{ gr/ft}^2$  در حالی که قسمت سرد  $82 \text{ gr/ft}^2$  بود.

بیش از یک سال دیگ بخار بطور متنابع  $90000 \text{ پوند در ساعت}$  ( $\text{kg/h}^{409000}$ ) بخار تولید میکرد.(ظرفیت طراحی آن  $75000 \text{ پوند بر ساعت}$  یا  $34000 \text{ کیلوگرم بر ساعت}$  بود).سوخت‌ها بین گاز طبیعی و نفت کوره شماره ۶ تغییر می‌کرد و تا یک ماه قبل از خسارت ، نفت کوره استفاده می‌شد مشعل های اصلی با مشعل های بزرگتر تعویض شده بود.رسوب گذاری ، بخصوص به خاطر افزایش بیش از حدگرمای ورودی بود.بیش گرمایی ناشی از اینگونه رسوب ها در نهایت سبب از کار افتادگی گردید.علاوه بر آن طراحی مشعل و تولید بیش از ظرفیت ، هردو بطور عمدی در رسوب گذاری و در نهایت ، بیش گرمایی سهیم بودند.

## فصل چهارم

شیمی احتراق دیگ بخار

طراحی دیگ بخار مستلزم داشتن اطلاعات جامعی از سوخت و مواد حاصل از احتراق آن است. در این فصل محاسبات احتراق که در آن مقادیر هوای لازم، گازهای حاصل و تجزیه و غلظت این گازها بررسی می شود و نیز ارزش گرمایی سوختها مورد بحث قرار می گیرد.

چون در محاسبات احتراق به تعیین غلظت گازها اشاره می شود، ابتدا به تشریح آن می پردازیم:

### چگالی گازها

جرم مولی یک جسم عبارت از مجموع حاصلضرب جرم اتمی در تعداد اتمهای هر یک از عناصر شیمیایی فرمول آن جسم است. بنابراین در مونواکسید کربن ( $\text{CO}$ ) که یک اتم کربن و یک اتم اکسیژن وجود دارد، با توجه به این که جرم‌های اتمی آن به ترتیب  $12$  و  $16$  است، جرم مولی برابر با  $28 = 1 \times 12 + 1 \times 16$  می باشد.

در دی اکسید کربن ( $\text{CO}_2$ ) که یک اتم کربن و  $2$  اتم اکسیژن دارد، جرم مولی برابر با  $44 = 12 + 32 = 12 \times 2 + 16 \times 2$  می باشد. این محاسبه را می توان برای سایر مواد به کار برد. جرم مولی را می توان در هر یک از واحدهای جرم بیان کرد.

حجم مولی یک گاز حجمی است که توسط جرم مولی آن در شرایط معین دما و فشار اشغال شده است. در واحدهای  $\text{SI}$ ، جرم مولی تمام گازها حجمی معادل  $22.4 \text{ m}^3$  در  $0^\circ\text{C}$  و  $101 \text{ bar abs}$  (k) و فشار مطلق  $101 \text{ bar}$  غلظت ( $\text{CO}_2$ )، یعنی جرم بر حجم برابر است با: در دمای  $0^\circ\text{C}$  و  $101 \text{ bar abs}$  است. برای مثال در مورد ( $\text{CO}_2$ )

$$44/22.4 = 1.9643 \text{ kg m}^{-3}$$

دما و فشار  $0^\circ\text{C}$  و  $101 \text{ bar}$  را به نام استانداردهای دما و فشار می نامند.

اصطلاح دیگری نیز به نام دما و فشار نرمال به کار می رود که شرایط عادی اتمسفر را نشان می دهد گرچه تعاریف قابل قبول جهانی برای این دو واحد وجود ندارد . بنابراین در واحد چگالی گازها، برای جلوگیری از ابهام، به شرایط دما و فشار باید اشاره کرد.

در مواردی که فشار و دمای گاز از  $100^{\circ}\text{C}$  و  $10\text{ bar}$  تجاوز می کند، چگالی گاز در شرایط جدید با استفاده از قانون گازها به این صورت محاسبه می شود:

$$PV=WRT$$

که در آن:

فشار مطلق  $P$

حجم  $V$

جرم گازی که حجم  $V$  را اشغال کرده  $W$

دما بر حسب  $T$

عدد ثابت جهانی برای گاز  $R$

(همه بر حسب واحد یکسان)

$$\text{چگالی}_{\text{گاز}} = W/V = P/RT$$

$$\text{چگالی}_{\text{گاز}} = P_1/(RT_1)$$

$$\text{چگالی}_{\text{گاز}} = P_2/(RT_2) = 2$$

بنابراین نتیجه می شود:

$$T_1 / R = P_1 \text{ چگالی } T_2 / P_2 = (1 - 3)$$

که نتیجه می شود:

$$T_1 / T_2 \times (P_2 / P_1) = 1 - 3$$

به طور مثال در مورد گاز (CO<sub>2</sub>) ، غلظت در t<sup>o</sup>C و p بار برابر است با:

$$(273 / (273 + t) \times (p / 1.013)) \text{ kg m}^{-3}$$

1.9643

### چگالی مخلوط گازها

چگالی مخلوط گازها را می توان به سادگی ابتدا با تعیین جرم مولی مخلوط و سپس به کمک اصولی که گفته شد، محاسبه نمود .

به طور مثال چگالی گاز طبیعی طبق آنالیز داده شده در جدول ۱-۳ محاسبه می شود .

جرم مولی مخلوط، با ضرب کردن نسبت حجمی هر یک از اجزا در جرم مولی و جمع نتایج به دست می آید.

جدول ۱-۳ تعیین آنالیز جرمی گاز طبیعی به کمک آنالیز حجمی آن

ترکیب	فرمول	درصد حجم	نسبت حجم	جرم مولکولی	نسبت جرمی	درصد جرمی	نسبت جرمی
		A		C	D=BxC		
متان	$\text{CH}_4$	۹۴.۵	۰.۹۴۵	۱۶	۱۵.۱۲۰	۸۹.۲۲۴	۰.۸۹۲۲
اتان	$\text{CH}_2$	۲.۹	۰.۰۲۹	۳۰	۰.۸۷۰	۵.۱۳۴	۰.۰۵۱۳
پروپان	$\text{CH}_3$	۰.۴	۰.۰۰۴	۴۴	۰.۱۷۶	۱.۰۳۶	۰.۰۱۰۴
بوتان	$\text{CH}_4$	۰.۲	۰.۰۰۲	۵۸	۰.۱۱۶	۰.۶۸۵	۰.۰۰۷
پنتان	$\text{CH}_5$	۰.۱	۰.۰۰۱	۷۲	۰.۰۷۲	۰.۴۲۵	۰.۰۰۴۲
سولفور	$\text{S}_2$	۰.۲	۰.۰۰۲	۳۴	۰.۰۶۸	۰.۴۰۱	۰.۰۰۴۰
هیدروژن	$\text{CO}$						
کربن	$\text{N}$	۰.۳	۰.۰۰۳	۴۴	۰.۱۳۲	۰.۷۷۹	۰.۰۰۷۸
اکسیدازت		۱.۴	۰.۰۱۴	۲۸	۰.۳۹۲	۲.۳۱۳	۰.۰۲۳۱
کل		۱۰۰.۰	۱.۰۰۰		۱۶.۹۴۶	۱۰۰.۰	۱.۰۰۰

جرم مولی مخلوط = 16.946

در جدول ۳-۱ خلاصه این محاسبات درج شده است. حاصل ضرب ستون  $b$  در ستون  $C$  مساوی با ستون  $D$  است. جمع ارقام ستون  $D$  برابر با حجم مولی مخلوط گازها یعنی 16.946 می‌باشد. چگالی مخلوط گاز طبیعی در  $0^{\circ}\text{C}$  و فشار  $1.013 \text{ BAR} = 0.7565 \text{ kg-3}$  می‌باشد.

راه دیگر محاسبه به این صورت است که چنانچه مقادیر غلظت هر یک از اجزا گاز معلوم باشد، نسبت حجمی (ستون  $B$ ) هر یک از اجزا را در غلظت آن جزء ضرب کرده و نتایج را جمع می‌نماییم تا غلظت گاز مخلوط به دست آید. باید دقت کرد که مقادیر چگالی همه در یک شرایط مساوی فشار و دما باشند. تبدیل نتیجه به شرایط مطلوب، طبق معادله ۳-۳ محاسبه می‌شود.

### ترکیب شیمیایی سوخت ها

اجزاء قابل احتراق موجود در کلیه سوختهای فسیلی زغال، نفت و گاز طبیعی عبارت از کربن، هیدروژن و در بعضی موارد گوگرد است. این اجزاء به صورت عنصری نیستند بلکه بین خود و گاهی نیز با سایر اجسام ترکیب شده اند. مواد خنثی نظیر سیلیس و اکسیدهای فلزی نیز ممکن است وجود داشته باشند.

آنالیز سوختهای جامد و مایع را بر حسب جرم و آنالیز سوختهای گازی را بر حسب حجم آنها مشخص می‌سازند. آنالیز سوختهای جامد به صورت تقریبی، یا نهایی نیز می‌تواند بیان شود. در آنالیز تقریبی مقدار رطوبت، خاکستر، مواد فرار و کربن ثابت سوخت برحسب درصد وزنی و نیز ارزش گرمایی آن تعیین می‌گردد.

آنالیز تقریبی اطلاعات محدودی از خصوصیات احتراق را به دست می دهد، ولی آنالیز نهایی سوختهای جامد و مایع عناصر تشکیل دهنده سوخت را که قابل احتراق هستند، همراه با خاکستر و رطوبت آن، مشخص می سازد . با آنالیز جداگانه ای، اجزا تشکیل دهنده خاکستر هم می تواند مشخص گردد . تجزیه گازها معمولا فقط گازهای تشکیل دهنده آن را به صورت حجمی نشان می دهد.

ترکیب	به حالت معمولی	خشک	خشک و بدون خاکستر
کربن خالص	۵۰.۱۹	۵۷.۰۳	۶۲.۵
مواد فرار	۳۰.۱۱	۳۴.۲۲	۳۷.۵
خاکستر	۷.۷	۸.۷۵	-
رطوبت	۱۲.۰	-	-
کل	۱۰۰.۰	۱۰۰.۰	۱۰۰.۰
-kj kg <sup>-1</sup>	۲۷۰۰۰	۳۰۶۸۲	۳۳۶۲۴

از آنالیز نهایی برای تعیین هوای لازم احتراق و محصولات حاصل از احتراق استفاده می شود. آنالیز سوختهای جامد طبق استاندارد BS1016 انجام می شود. آنالیز سوختهای مایع نیز بر حسب استاندارد IP جهت مواد نفتی و فراورده های آن به کار می رود. آنالیز سوختهای گازی در محل و توسط عرضه کنندگان آن تعیین می گردد.

آنالیز سوختهای جامد، به خصوص زغال، به صورت های مختلف نظیر وضعیت دریافتی، وضعیت احتراق، خنک، خشک و بدون خاکستر یا خشک و بدون مواد معدنی، بیان می شود. آنالیز های شکل دریافتی و

شکل احتراق، به صورت های تقریبی و نهایی فقط در رطوبت موجود آنها تفاوت دارند که با وضعیت ذخیره سازی، آب و هوا، و چگونگی جابجایی سوخت، متغیر است.

جدول ۳-۳

	زغال	نفت سنگین
کربن	٪ ٦٦.٠	٪ ٨٥.٤
هیدروژن	٪ ٤.١	٪ ١١.٤
گوگرد	٪ ١.٧	٪ ٢.٨
اکسیژن	٪ ٧.٢	٪ ٠.١
ازت	٪ ١.٣	٪ ٠.١
رطوبت	٪ ١٢.٠	٪ ٠.١
خاکستر	٪ ٧.٧	٪ ٠.١
انرژی گرمایی ناخالص	۲۷۰۰۰	۴۲۹۰۰
۱-kj kg		

آنالیز خشک درصد اجزاء سوخت را بدون رطوبت آن و آنالیز خشک و بدون خاکستر، این آنالیز را بدون رطوبت یا خاکستر نشان می دهد. اجزاء خشک سوخت را می توان با ضرب کردن وضعیت دریافتی یا وضعیت سوخت در حاصل کسر (درصد رطوبت - ۱۰۰) / به دست آورد.

اجزاء خشک و بدون خاکستر را می توان با ضرب کردن اجزاء وضعیت دریافتی یا وضعیت احتراق د ر ((رطوبت + درصد خاکستر) - ۱۰۰) / ۱۰۰ محاسبه کرد.

مقادیر خاکستر و مواد معدنی دقیقاً یکسان نیستند زیرا بخشی از مواد معدنی هنگام حرارت دادن جهت تعیین خاکستر، تجزیه شده از بین می روند. بنابراین مقدار خاکستر کمی از مقدار مواد معدنی کمتر است. گاهی اوقات آنالیز خشک و بدون مواد معدنی را "Parr's basis" می نامند.

## محاسبات احتراق

محاسبات احتراق بر اساس معادله های ساده واکنش شیمیایی اجزاء قابل احتراق سوخت با اکسیژن قرار گرفته است.

## سوخت های گاز

سوخت های گازی شامل گازهای مایع مواد نفتی سنگین مرکب از مخلوط پروپان و بوتان تا گازهای سبک کوره بلند (ذوب آهن) که محتوی فقط ۲۲٪ مونواکسید کربن با ۲.۴٪ هیدروژن رقیق شده با مواد خنثی، دی اکسید کربن و ازت است، می باشد .

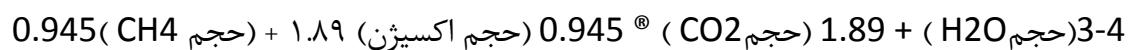
از زمانهای قدیم گاز طبیعی، معمولی ترین سوخت کوره ها بوده است. این گاز بیشتر شامل متان است که تجزیه آن در جداول مطالب قبلی نشان داده شده است . گاز دریایی شمال بدون گوگرد است، ولی به خاطر تکمیل محاسبات، مقدار ناچیزی هیدروژن سولفیره برای آن در نظر گرفته شده است، زیرا به طور کلی گوگرد از اجزاء تشکیل دهنده سایر سوختهای گازی می باشد.

واکنشهای شیمیایی مواد گازی براساس حجمی مطابق فرمولهای زیر است:

• مقدار حجمی متان % ۹۴.۵



ضرب طرفین واکنش در ۰.۹۴۵ که نسبت حجمی است



• مقدار حجمی اتان % ۲.۹



ضرب طرفین معادله در ۰.۰۲۹



\* مقدار پروپان % ۰.۴



ضرب طرفین معادله د ر ۰.۰۰۴



• مقدار بوتان % ۰.۲



ضرب طرفین معادله د ر ۰.۰۰۲



پنتان ۱٪



ضرب طرفین معادله د ر ۱۰۰۰



• هیدروژن سولفه ۲٪



ضرب طرفین معادله د ر ۲۰۰۰



باید توجه داشت که حجمهای دو طرف معادله از نظر مجموع، یکسان نیستند، این موضوع در معادله های بالا مشهود است.

مرحله بعدی خلاصه کردن معادله های فوق برای به دست آوردن مقدار اکسیژن لازم (به مقدار تئوری) Stoichiometric است. جهت نیتروژن موجود در هوای سوخت و هوای اضافی لازم جهت تکمیل احتراق (۱۰٪ در این مورد)، مقادیری منظور شده و سپس محصولات احتراق براساس مرطوب و خشک محاسبه شده است.

در عمل هوای احتراق شامل مقدار کمی رطوبت است، که در صورت معلوم بودن مقدار آن (Humidity)، می توان آن را محاسبه و همراه با هوای اضافی به محصولات احتراق اضافه نمود

## محصولات احتراق

اکثر ابزارهای دقیق که برای تجزیه گازهای خروجی از کوره به کار می‌روند، از گازهایی که رطوبت ناشی از احتراق و رطوبت همراه سوخت آنها خارج شده است، استفاده می‌کنند. عمل تجزیه با تقطیر و گاهی نیز با خشک کردن گازها انجام می‌گیرد که در این صورت حجم کلی گازهای خشک کمتر از حجم کلی گازهای مرطوب است و بنابراین درصد اجزاء دهنده آن نیز متفاوت است که در گزارش نتیجه ازمایش باید به ان اشاره کرد.

جدول ۴-۳ خلاصه معادله‌ها و تجزیه محصولات احتراق

شماره معادله	نوع گاز	درصد حجمی گاز	نسبت حجمی گاز	حجم اکسیژن لازم تئوری از معادله‌های ۹-۳ تا ۴-۳	حجم محصولات حاصل از احتراق با اکسیژن			
					۲CO	۰۲H	۲SO	۲N
۳.۴	۴CH	۹۴.۵	۰.۹۴۵	۱.۸۹۰	۰.۹۴۵	۱.۸۹۰	-	-
۳.۵	۶H۲C	۲.۹	۰.۰۲۹	۰.۱۰۲	۰.۰۵۸	۰.۰۸۷	-	-
۳.۶	۸H۳C	۰.۴	۰.۰۰۴	۰.۰۲۰	۰.۰۱۲	۰.۰۱۶	-	-
۳.۷	۱۰H۴C	۰.۲	۰.۰۰۲	۰.۰۱۳	۰.۰۰۸	۰.۰۱۰	-	-
۳.۸	۱۲H۵C	۰.۱	۰.۰۰۱	۰.۰۰۸	۰.۰۰۵	۰.۰۰۶	۰.۰۰۲	-

۳.۹	S2H	۰.۲	۰.۰۰۲	۰.۰۰۳	-	۰.۰۰۲	-	-
در سوخت	2CO	۰.۳	۰.۰۰۳	-	۰.۰۰۳	-	-	۰.۰۱۴
در سوخت	2N	۱.۴	۰.۰۱۴	-	-	-	-	-
مجموع		۱۰۰.۰	۱.۰۰۰	۲۰۳۶	۱.۰۳۱	۲.۰۱۱	۰.۰۰۲	۰.۰۱۴

هوا شامل ۲۱% حجمی ازت (نیتروژن) است. هوا لازم بمقدار تئوری برای تامین ۲.۰۳۵۵ حجم اکسیژن به این صورت عمل می شود .

$$\text{حجم هوا} = 2.0355 \text{ O}_2 + 7.657 \text{ ازت}$$

هوا لازم با احتساب ۱۰٪ هوا اضافی

$$\text{حجم هوا} = 2.239 \text{ O}_2 + 8.423 \text{ N}_2 = 10.662$$

مجموع محصولات احتراق (مرطوب ) با ۱۰٪ هوا اضافی شامل ازت موجود در سوخت به این صورت محاسبه می شود :

حجم سوخت / حجم

$$(2.239 - 2.0355) \text{ O}_2 + (8.423 + 0.014) \text{ N}_2 + 1.031 \text{ CO}_2 + 2.011 \text{ H}_2\text{O} + 0.002 \text{ SO}_2 = \\ 11.685$$

مجموع محصولات احتراق (خشک) با ۱۰٪ هوا اضافی شامل ازت موجود در سوخت :

$$\text{حجم سوخت} / \text{حجم} = (2.239 - 2.0355) O_2 + (8.423 + 0.014) N_2 + 1.031 CO_2 + 0.002 SO_2$$

9.674

ارقام فوق در جدول ۳-۵ خلاصه شده است.

بعضی تجزیه گرهای اکسیژن گازهای کوره، نمونه برداری نمی‌کنند بلکه با قرار گرفتن لوله‌ای از جنس Zirconia در کanal عبور گازهای مرطوب کوره، مقدار اکسیژن را اندازه‌گیری می‌کنند. این سنجش بر مبنای گازهای مرطوب می‌باشد. حجم کلی گازهای خروجی از کوره را براساس طراحی آن، می‌توان با محاسبه چگالی گازهای خروجی از کوره را بر اساس طراحی آن، می‌توان با محاسبه چگالی گازه مطابق آنچه در بخش مربوطه و جدول ۶-۳ ذکر شد تعیین کرد.

جدول ۳-۵ محصولات احتراق گاز طبیعی بر اساس مرطوب و خشک

محصولات احتراق	حجم تر	درصد حجم تر	حجم خشک	درصد حجم خشک
CO	1.031	8.823	1.031	1.0657
O <sub>2</sub> H	2.011	17.21	-	-
SO	0.002	0.017	0.002	0.021
N	8.437	72.20	8.437	87.213
O	0.204	1.75	0.204	2.109
مجموع	11.685	100.00	9.674	100.00

جدول ۶-۳ محاسبه چگالی گازهای خروجی از کوره

گاز	A جرم مولی	B درصد حجم تر (از جدول ۵-۳)	C درصد حجم خشک (از جدول ۵-۳)		
CO	۴۴	۸.۸۲۳	۳.۸۸	۱۰.۶۵۷	۴.۶۸۹
H <sub>2</sub> O	۱۸	۱۷.۲۱۰	۳.۱۰	-	--
SO <sub>2</sub>	۶۴	۰.۰۱۷	۰.۰۱	۰.۰۲۱	۰.۰۱۳
N <sub>2</sub>	۲۸	۷۲.۲۰۰	۲۰.۲۲	۸۷.۲۱۳	۲۴.۴۲۰
O <sub>2</sub>	۳۲	۱.۷۵۰	۰.۵۶	۲.۱۰۹	۰.۶۷۵
مجموع		۱۰۰...۰	۲۷.۷۷	۱۰۰...۰	۲۹.۷۹۷

$3\text{kg m}^{-1.24}=22.4/27.77$  = غلظت گازهای خروجی کوره (مرطوب)

$3\text{kg m}^{-1.33}=22.4/29.797$  = غلظت گازهای خروجی کوره (خشک)

## سوختهای جامد و مایع

تجزیه سوختهای جامد و مایع بر مبنای عناصر شیمیایی قابل احتراق موجود در سوخت انجام می‌گیرد، برخلاف تجزیه گازها که این کار براساس نسبتهای حجمی گازهای تشکیل دهنده، نظیر متان  $\text{CH}_4$  صورت می‌گرفت.

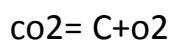
سوختهای جامد نیز دارای مواد معدنی و رطوبت هستند، که مواد جامد تبدیل به خاکستر می‌گردد و رطوبت نیز تبخیر شده و باعث رقیق کردن محصولات احتراق می‌شود. سوختهای مایع ته مانده برج تقطری، نظیر سوخت سنگین کوره دارای مواد معدنی و رطوبت است که مقدار آن بسیار کمتر از مقادیر موجود در سوختهای جامد است و در کل به حدود ۰.۲٪ بالغ می‌گردد، در حالیکه در مورد زغالهای با درجه زیر  $55\text{ mm}$  این مقدار به ۲۰٪ می‌رسد. (جدول ۳-۳)

محاسبه هوای لازم جهت احتراق و تجزیه محصولات احتراق سوختهای جامد و مایع تقریباً نظیر سوختهای گاز است. برای مثال در مورد زغال، مواد قابل احتراق آن کربن، هیدروژن و گوگرد می‌باشد. همان طور که در جدول دیده می‌شود مقدار قابل ملاحظه‌ای اکسیژن در تجزیه وجود دارد که از قبل با بعضی از اجزاء تشکیل دهنده سوخت ترکیب شده و بنابراین مقدار آن از کل اکسیژن لازم (به مقدار تئوری) کسر می‌گردد.

حال با در نظر گرفتن ۴۰٪ هوای اضافی برای احتراق زغال در دیگ های بخار متوسط (که مقدارش در دیگهای بزرگ، کمتر است) معادله های احتراق بررسی می شود. قابل ذکر است که در احتراق نفت کوره در دیگ های متوسط مقدار هوای اضافی ۱۷٪ است که این مقدار در دیگ های لوله – آبی بزرگ، کمتر می باشد.

چون آنالیز سوخت بر مبنای جرمی است، محاسبات احتراق نیز بر اساس جرم انجام می گیرد.

معادله احتراق کربن به این صورت است:



جرم مولی کربن ۱۲ و جرم مولی اکسیژن ۳۲ می باشد. بنابراین موازنۀ مولی به این صورت است:

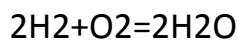
$$44 \text{ واحد جرمی دی اکسید کربن} = 32 \text{ واحد جرمی اکسیژن} + 12 \text{ واحد جرمی کربن}$$

طبق جداول قبلی مقدار کربن در تجزیه سوخت برابر با ۰.۶۶ کیلوگرم کربن در یک کیلوگرم سوخت. بنابراین، برای این سوخت، جرم‌های مولی در (۱۲/۰.۶۶) ضرب می شود که معلوم می شود ۰.۶۶ کیلوگرم کربن نیاز به ۱.۷۶ کیلوگرم اکسیژن دارد تا ۲.۴۲ کیلوگرم دی اکسید کربن بدهد. معادله به این صورت است:

$$[3-10] 2CO 2.42 = 2O 1.76C + .66$$

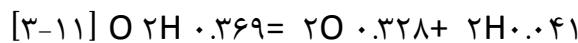
جهت سایر اجزاء تشکیل دهنده سوخت نیز به همین ترتیب عمل می شود.

• مقدار هیدروژن ۴.۱٪ یعنی ۴۱ کیلوگرم سوخت است.

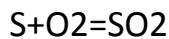


$$32+4=36$$

با ضرب دو طرف معادله در (۴۱/۰۰۰۴۱)

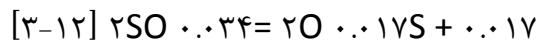


\* مقدار گوگرد ۱.۷٪ یعنی ۱۷ کیلوگرم در هر کیلوگرم سوخت است.



$$64=32+32$$

با ضرب دو طرف معادله در (۳۲/۰۰۰۱۷)



نتایج فوق در جدول ۷-۳ خلاصه شده که در آن مقدار اکسیژن موجود در سوخت، هنگام تعیین مقدار تئوری اکسیژن لازم، در نظر گرفته شده است . با اضافه کردن ۴۰٪ هوای اضافی، آنالیز گازهای خروجی از کوره براساس موازنۀ جرمی معین شده است.

در این وضعیت، براساس محاسباتی که براساس جرم انجام شده می توان نتایج را آزمایش و بررسی کرد.

به طور مثال :

جمله گازهای خروجی از کوره = جرم سوخت بدون خاکستر + جرم هوای داده شده

کیلوگرم گازهای خروجی از کوره  $13.297 = \text{کیلوگرم سوخت بدون خاکستر} \cdot 0.923 + \text{کیلوگرم سوخت}$ /

کیلوگرم هوا  $12.374$

این محاسبه برقراری جریان کافی گازهای حاصل از احتراق را در کوره جهت محاسبات انتقال حرارت فراهم می‌سازد. محاسبات سوختهای گاز را نیز می‌توان براساس جرمی محاسبه کرد مشروط بر آن که ابتدا مطابق ستون F جدول ۱-۳ آنالیز آن به جرم تبدیل شود.

### ارزش گرمایی (انرژی ویژه)

ارزش گرمایی یک سوخت مقدار حرارت آزاد شده توسط احتراق واحد جرم آن سوخت تحت شرایط خاص دما و فشار می‌باشد، که برای تعیین آن می‌توان مقدار معینی از سوخت را در کالریمتری که تمام گرمای آزاد شده قابل اندازه گیری است، سوزاند.

تعريفهای جامع تری نیز برای ارزش گرمایی وجود دارد. مقادیر واقعی ارزش گرمایی توسط عرضه کننده سوخت تحت عنوان ارزش گرمایی اعلام شده یا ارایه نمونه‌ای از سوخت در محل مصرف جهت آنالیز، معلوم می‌گردد.

شیوه اخیر در مورد زغال به علت تغییرات میزان رطوبت آن بسیار دقیق است. در مورد گاز طبیعی لوله کشی شده، یا مخزن‌های بزرگ گاز مایع، مقادیر اعلام شده آنها کفایت می‌کند. در مورد نفت کوره، باید گفت که ارتباط نزدیکی بین ارزش گرمایی، چگالی و گوگرد موجود در این سوخت برقرار است که نتیجه آن بر آزمایش‌های کالریمتری ترجیح داده می‌شود.

دو نوع ارزش گرمایی ناخالص و خالص وجود دارد که تفاوت بین این دو مهم است. ارزش گرمایی ناخالص مجموع انرژی آزاد شده است ولی در ارزش گرمایی خالص، مقدار گرمای نهان بخارات آب موجود در محصولات احتراق منظور نمی شود و نقشی در انتقال حرارت برای آن قایل نمی شوند ولی در بعضی دیگهای بخار مدرن امروزی که بخشی از بخارات تقطیر می شود، این امر کاملاً صادق نیست.

بنابراین برای جلوگیری از هر گونه ابهامی، در موقع گزارش ارزش گرمایی سوخت یا بازده دیگ، ذکر خالص یا ناخالص ضروری است. چون ارزش گرمایی خالص عدد کوچکتری است (در اروڑا به آن ارزش گرمایی ژایین تر گفته می شود) بازده دیگ – درصد تبدیل حرارت داده شده به انرژی مفید برای تولید مشخص – بیشتر از موردی است که از ارزش گرمایی ناخالص (یا ارزش گرمایی بالاتر) استفاده شود. بعضی اوقات آگاهنه واژه های خالص و ناخالص برای افراد ناوارد توسط شیادان حذف می شوند!

گاهی ارزش گرمایی سوخت مصرفی مشخص نیست، در این صورت چنانچه آنالیز حجمی، در مورد گازها ، یا آنالیز جرمی، در مورد سوختهای جامد یا مایع، معین باشد می توان ارزش گرمایی را تخمین زد.

در سوختهای گازی با ضرب کردن درصد هر یک از اجزاء قابل احتراق سوخت در ارزش گرمایی آن جزء که به اسانی می توان از کتابهای کرجع به دست آورد، ارزش گرمایی سوخت معلوم می گردد. این ارزش گرمایی عبارت از مجموع حاصل ضربهای فوق بخش بر ۱۰۰ می باشد. در عمل این نتیجه به راحتی حاصل نمی شود و نیاز به منظور کردن فاکتور تراکم پذیری دارد که توصیه می شود به منابع ویژه مراجعه شود.

## منابع

- ۱) کتاب تکنولوژی دیگ های بخار صنعتی تالیف David Gunn & Robert Horten و با ترجمه مهندس رفیعی پور
- ۲) سایت تخصصی صنایع مهندسی برق و بخار
- ۳) کتاب تجزیه و تحلیل از کارافتادگی دیگ های بخار مترجم مهندس محمد رضا نفری
- ۴) <http://mboiler.com>
- ۵) Steam Boiler Operation by James J. Jackson, Prentice-Hall Inc, New Jercsey, ۱۹۸۰
- ۶) حوری جعفری. ح، س ستاری، م مشایخی، ۱۳۹۰، کارایی انرژی در تأسیسات حرارتی، انتشارات هزاره سوم (چاپ اول)
- ۷) حوری جعفری. ح، س ستاری، م مشایخی، ۱۳۹۰، ارزیابی کارایی انرژی در تجهیزات و سیستم های تأسیساتی (چاپ اول)

[www.prozhe.com](http://www.prozhe.com)