

## ۱-۱- مقدمه

چگالنده<sup>۱</sup> در اصل به عنوان منبع سرد در چرخه بخار عمل می نماید. طبق قانون دوم ترمودینامیک امکان ندارد که کل حرارت تحویل شده به یک ماشین حرارتی تبدیل به کار شود، بلکه باید قسمتی از این حرارت به محیط دفع گردد. در واقع چگالنده وظیفه دفع این حرارت اضافی را از چرخه بر عهده دارد. این دفع حرارت از سیال عامل چرخه (بخار) عملاً باعث تقطیر آن هم می گردد.

چنانچه فشار بخار خروجی از آخرین ردیف پره های توربین فشار ضعیف کاهش یابد، بازدهی چرخه نیروگاهی بهبود پیدا می کند، زیرا فشار پائین تر مبین تولید کار بیشتر روی محور توربین خواهد بود. چگالنده ها با تقطیر بخار خروجی از توربین، فشار پائینی را در خروجی برقرار و حفظ می نمایند. البته لازم به ذکر است که پائین ترین فشار لزوماً اقتصادی ترین فشار نخواهد بود.

نظر به اینکه آب نسبت به بخار دارای حجم مخصوص بسیار کمتری می باشد هنگامی که بخار تقطیر می شود ایجاد خلاءای می نماید که امکان می دهد تا بخار تا میزان بسیار پائینی در آخرین ردیفهای پره های توربین منبسط گردد. نتیجتاً انرژی بیشتری از بخار به محور توربین انتقال می یابد، لذا بدین لحاظ است که بازدهی چرخه بهبود می یابد.

از سوی دیگر چنانچه درجه حرارت ورودی آب خنک کن در گردش، به قدر کافی پایین باشد که معمولاً چنین است، پس فشار<sup>۲</sup> پائینی را جهت بخار خروجی از توربین تولید می نماید که ملازم است با خلاء بالا (زیرا پائین بودن درجه حرارت آب خنک کن ملازم است با تسهیل عمل تبادل حرارت بین بخار و آب خنک کن و در نتیجه تقطیر بهتر). این پس فشار معادل است با فشار اشباع به ازاء درجه حرارت تقطیر بخار که به نوبه خود تابعی از درجه حرارت آب خنک کن می باشد.

افت آنتالپی و لذا کار تحویلی به محور توربین، به ازاء واحد افت فشار، در انتهای فشار پائین یک توربین خیلی بیشتر از افت های فشار بالای آن است [۱]. کاهش پس فشار در حد چند دهم کیلوگرم بر سانتی مترمربع در چگالنده، چنانچه اشاره شد موجب افزایش کار توربین می شود. در نتیجه بازدهی

<sup>۱</sup> - Condenser<sup>۲</sup> - Back pressure

سیستم بالا می رود و دبی بخار به ازاء قدرت خروجی مفروض واحد کاهش می یابد (با توجه به افزایش بازدهی). لذا از نظر ترمودینامیکی انتخاب پائین ترین درجات حرارت ممکن و قابل دسترس جهت آب خنک کن اهمیت دارد.

## ۱-۲-۲- کلیات

### ۱-۲-۱- تعریف چگالنده و تشریح وظایف آن

همچنانکه در مقدمه اشاره شد به منظور کارایی یک چرخه بسته آب و بخار در نیروگاه حرارتی، تأسیسات چگالش (تقطیر)، می بایست حداکثر میزان انرژی حرارتی را از بخار خروجی توربینهای فشار ضعیف جذب نمایند.

همچنین بخاطر ورود مقادیر بسیار زیاد انرژی حرارتی با کیفیت پائین به چگالنده (عمدتاً ناشی از خروج بخار از توربین و نیز تخلیه هایی<sup>۳</sup> که به آن صورت می گیرد)، چنانچه طراحی یا بهره برداری آن ضعیف باشد می تواند بالقوه بازدهی واحد را بطور جدی متأثر سازد.

بر این اساس وظایف چگالنده عبارتند از:

- تبدیل بخار خروجی از توربین به آب (با عمل تقطیر) و ذخیره سازی آن جهت کاربرد مجدد در چرخه بعنوان آب تغذیه دیگ بخار.

- ایجاد و تأمین اقتصادی ترین پس فشار (ملازم با خلاء) در خروجی توربین مطابق با تغییرات فصلی در درجه حرارت آب خنک کن به منظور کاهش نرخ حرارتی<sup>۴</sup> (فشار بخار در یک چگالنده اساساً بستگی به دبی و درجه حرارت آب خنک کن و نیز کارایی سیستم هوازدایی دارد).

- تأمین پائین ترین درجه حرارت اقتصادی در چرخه بخار پس از دفع حرارت به محیط لذا مسئله اصلی در طراحی چگالنده عبارت خواهد بود از نیل به شرایطی که تضمین دهد که فقط حرارت غیرقابل مصرف در بخار خروجی از توربین به محیط دفع می گردد.

- هوازدایی آب چگالنده و نتیجتاً تقلیل خوردگی شیمیایی سیستم آب تغذیه.

<sup>3</sup> - Drain

<sup>4</sup> - Heat rate

- جلوگیری مؤثر از آلودگی شیمیایی آب چگالیده معلول نشتی آب خنک کن یا ناشی از هوازایی ناکافی چگالنده.

- جمع آوری حرارت باقیمانده مفید از تخلیه های مربوط به سیستم گرمایش آب تغذیه و سایر تجهیزات کمکی.

- ارسال آب جبرانی<sup>۵</sup> جهت آب تغذیه دیگ بخار.

- بازیافت نشتیها (جمع آوری نشتیها در چگالنده بجای نشت آنها به خارج از سیستم).

در ضمن چگالنده چنانچه در ارتباط با دیگ بخار یکبارگذر<sup>۶</sup> بکار رود می بایست ظرفیت پذیرش بخار را مستقیماً از دیگ بخار داشته باشد، زیرا بهنگام راه اندازی، بخار مذکور ممکن است از نظر کیفیت جهت ورود به توربین نامناسب باشد.

#### ۱-۲-۲- انواع چگالنده های مورد کاربرد در نیروگاهها و محدوده کاربرد آنها

چگالنده ها به دو دسته کلی زیر تقسیم می گردند:

- نوع سطحی

- نوع تماس مستقیم

##### ۱-۲-۲-۱- چگالنده نوع سطحی

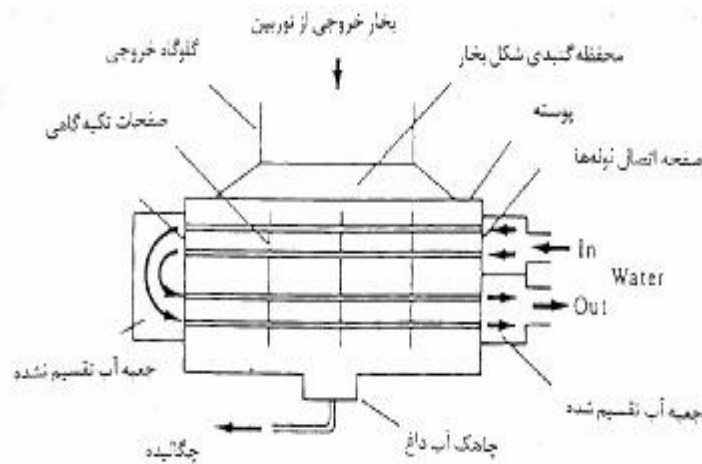
چگالنده های سطحی خود به دو نوع کلی خنک شونده با آب و خنک شونده با هوا تقسیم می شوند در این چگالنده ها انتقال حرارت از بخار به سیال خنک کننده از طریق جداره لوله صورت می گیرد که بخار در درون لوله و یا در محیط اطراف لوله جریان دارد.

<sup>5</sup> - Make up

<sup>6</sup> - Once through

### ۱-۲-۲-۱- چگالنده سطحی خنک شونده با آب

گسترده ترین و معمولترین نوع چگالنده مورد کاربرد در نیروگاهها هستند و تشکیل شده اند از تعداد زیادی لوله هایی که آب گردشی (از دریا، رودخانه یا از استخرهای برجهای خنک کن) از داخل آنها بوسیله پمپ جریان می یابد در حالیکه بخار خروجی از توربین، ردیفهای لوله ها را احاطه می نماید. عبارت دیگر این نوع چگالنده ها عبارتند از مبدلهای حرارتی پوسته - لوله ای<sup>۷</sup> که در آنها مکانیزمهای اولیه انتقال حرارت به شکل تقطیر بخار اشباع در خارج لوله ها، و گرمایش آب خنک کن از طریق جابجایی اجباری آن در داخل لوله ها می باشد. شکل (۱-۱) شمایی از چگالنده سطحی با دوگذر در سمت آب را نمایش می دهد.



شکل (۱-۱) - شمایی از یک چگالنده سطحی با دوگذر

این نوع چگالنده تشکیل شده است از یک پوسته فولادی با جعبه های آب<sup>۸</sup> در هر سمت، که یکی از آنها جهت امکان برقراری دوگذر آب تقسیم شده است. ردیفهای لوله های آب در هر انتها با سوراخ کاری صفحات اتصال<sup>۹</sup> بداخل آن صفحات نورد شده و به جعبه های آب متصل می گردند و لوله ها اساساً فضای بخار را پر می کنند. صفحات اتکایی<sup>۱۰</sup> فولادی در نقاط میانی بین صفحات اتصال وجود دارد که از ارتعاش

<sup>۷</sup> - Shell and tube

<sup>۸</sup> - Water boxes

<sup>۹</sup> - Tube sheets

<sup>۱۰</sup> - Support plates

لوله ها جلوگیری می نماید.

مخزن (چاهک) آب داغ<sup>۱۱</sup> که آب چگالنده<sup>۱۲</sup> را دریافت می کند بعنوان مخزنی عمل می کند با ظرفیتی مساوی دبی کل آب چگالنده در طی یک زمان مقرر، مثلاً ۵ دقیقه [۱].

ابعاد و نیز فلسفه طراحی این نوع چگالنده ها در طی سالیان تغییراتی نموده است. در چگالنده های سطحی اولیه از صفحات اتصال لوله ها به شکل مدور و ساده استفاده می شد که آن تعداد از لوله ها را که می توانست در بین خود کاملاً آب بندی نماید، تحمل می کرد. همچنانکه ابعاد نیروگاهها و چگالنده های مربوطه افزایش می یافت طراحی ساده فوق اختلالاتی را در انتقال حرارت موجب می شد، بدین ترتیب که لوله های بالایی در چگالنده مانع تقطیر مؤثر بخار شده و در ضمن مشکلاتی نیز ناشی از افت فشار زیاد بخار به علت مسیر پر پیچ و خم و طولانی بخار از میان دسته لوله ها ایجاد می شد. مسئله اختلالات در انتقال حرارت با کاربرد فضاهاى بیشتر بین لوله ها و استقرار آنها در ردیفهایی که مسیرها یا راههای عبور بخار را ممکن می ساخت و اجازه نفوذ عمیق بخار بداخل لوله های پایین تر را می داد، حل شد.

در جهت مواجهه با افت فشارهای بالا، برش دسته لوله ها به دو نیمه انجام شد و بدین ترتیب در عمل دو سری دسته لوله های کوچکتر پهلوی پهلوی ایجاد شد که این طرح در طی دهه ۱۹۴۰ میلادی توسط اغلب سازندگان مورد عمل بوده است [۱].

در واحدهای بزرگتر، راه حل مذکور نیز کفایت نمی کرد زیرا دسته لوله ها هنوز برای نفوذ مؤثر بخار، بسیار عمیق بودند (که خود می توانست منشاء تولید افت فشار باشد). بر این اساس چهار سری دسته لوله ها در طراحی چگالنده بکار رفت. این امر به کاهش ارتفاع چگالنده نیز کمک نمود که اغلب به لحاظ فضای محدود قابل دسترس در تأسیسات جهت نصب چگالنده، از ضرورتهاى بارز سیستم بشمار می آمد.

فلسفه طراحی که امروزه مد نظر است مبتنی است بر دسترسی به طرحی از لوله ها با آرایش مخروطی شکل و با بیشترین تعداد لوله ها، و وسیعترین سطح عبور در محلی که بخار از توربین وارد چگالنده می شود. به تدریج که بخار تقطیر شده و حجم آن کاهش می یابد. تعداد لوله های کمتر و سطوح عبور

<sup>11</sup> - Hot well

<sup>12</sup> - Condensate

کوچکتری در مقابل جریان بخار ارضاء می گردد. بخار ملزم به ورود به دسته لوله ها از تمامی جهات و به سمت یک خنک کن مرکزی هوا می گردد که در آنجا هواگیری چگالنده انجام می شود. در عمل می بایست افت فشار بخار کم و متعادلی (جهت اجتناب از بروز جریان متقاطع بخار) تضمین گردد. لوله ها چنانکه قبلاً هم اشاره شد در دو انتها به داخل صفحات اتصال نورد می شوند تا از بروز نشتی آب به داخل بخار جلوگیری شود.

جنبه دیگر توزیع بخار، غیر از نفوذ عمودی آن، عبارتست از توزیع سر به سر یا افقی که امروزه در چگالنده های با لوله های دراز مطرح است. طولهای ۳۰ تا ۵۰ فوت (۹ تا ۱۵ متر) کاربرد متداولی دارند [۱]. در چگالنده های چند فشاری (که بعداً بیان می شوند) ممکن است لوله های ۷۰ تا ۹۰ فوت (۲۱ تا ۲۷ متر) بکار روند [۱]. لوله های دراز تغییرات بیشتر درجه حرارت آب را در داخل خود موجب می شوند که نتیجتاً تغییرات بیشتری در قابلیت تقطیر چگالنده حادث می شود. لذا لوله ها می بایست در انتهای سرد چگالنده که تقطیر به خوبی انجام می گیرد خیلی نزدیک به هم و در انتهای داغتر نسبت به هم خیلی باز باشند.

این امر بعضاً ممکن است منتج به کوتاه شدن مسیر بخار بدون تبادل حرارت با لوله های حامل آب خنک کن گردد که با کاربرد صفحات (سپرهای) متقاطع در چگالنده با آن مقابله می گردد.

مسئله دیگر در توزیع بخار عبارتست از اثر اجتناب ناپذیر جریان نامساوی بخار از کانال خروجی توربین به چگالنده؛ لذا می بایست توجه خاص به طرح اتصال بین توربین و چگالنده (موسوم به گلوگاه خروجی) مبذول گردد؛ نظیر افزودن محفظه گنبدی شکل بخار با تغییر مقطع تدریجی در بالای دسته لوله ها جهت هدایت جریان بخار. یک اتصال انبساطی معمولاً بین خروجی توربین و ورودی بخار به چگالنده پیش بینی می گردد. این امر امکان می دهد که چگالنده به طور صلب روی پی (فونداسیون) مونتاژ گردد. آرایش دیگری که کمتر متداول است عبارتست از پیچ کردن مستقیم چگالنده به کانال خروجی توربین و حمل آن روی فنرهایی که امکان حرکت عمودی معینی را فراهم می آورد.

### ۱-۲-۲-۲- چگالنده سطحی خنک شونده با هوا

این نوع چگالنده در مواردی که آب کافی در دسترس نباشد و نیز جهت به حداقل رساندن قطعات و تجهیزات مورد نیاز بکار می رود. در این نوع چگالنده، بخار در داخل لوله ها تقطیر می شود و هوای خنک کن از روی سطوح خارجی پره دار<sup>۱۳</sup> جریان پیدا می کند. دریچه هایی، جریان هوا را که عموماً توسط فنهایی تأمین می شود، کنترل می نمایند. پدیده یخ زدن، مسئله ای است که در ارتباط با این نوع چگالنده ها نیاز به توجه خاص دارد. به منظور کاهش وزن عموماً از آلومینیم جهت لوله، پره ها، قابها و دریچه ها استفاده می گردد. مواردی که در طراحی این نوع چگالنده ها می بایست مدنظر باشند عبارتند از ضریب انتقال حرارت کلی، افت فشار سمت بخار و آب در لوله های افقی و یا عمودی و همین طور سرعت سیال (آب و بخار).

### ۱-۲-۲-۲- چگالنده نوع تماس مستقیم

این نوع چگالنده ها در مواردی بطور مؤثر کاربرد دارند که سرمایه گذاری کمتری مدنظر باشد. در این نوع چگالنده ها آب خنک کن با بخار مخلوط شده آنرا تقطیر می نماید، ضمن اینکه گازهای محلول را به فضای بخار هدایت می کند تا در آنجا آزاد گردد. این امر باعث کاهش خلاء و پر کاری دستگاه هواردا می گردد. این نوع چگالنده ها نیاز به میزان کمتری از آب خنک کن در شرایط یکسان دارند (به لحاظ تبادل حرارت بلاواسطه).

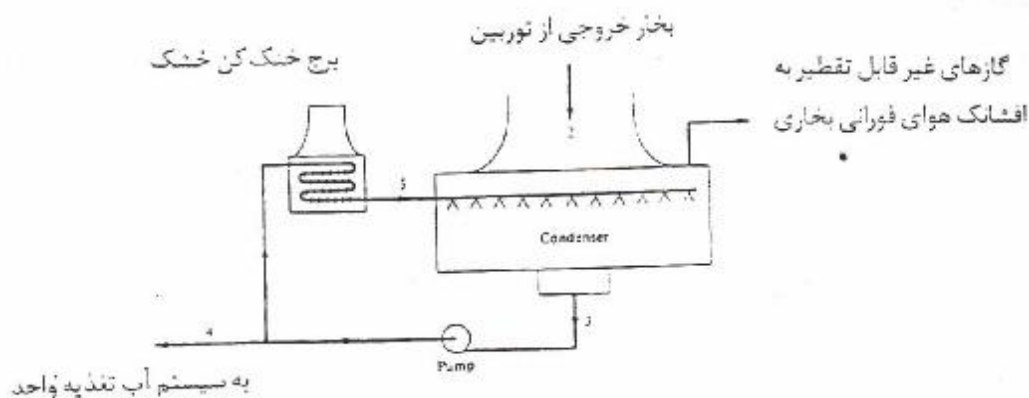
از آنجایی که آب چگالیده خالص بازیافت نمی شود آب تغذیه جبرانی بیشتری مورد نیاز است و خلاءهای ضعیفتری نسبت به چگالنده های سطحی بدست می آید [۲]. از طرفی ساخت و بهره برداری آنها نسبتاً ساده است و نگهداری کمی نیز نیاز دارند. معمولاً ساخت آنها تا ظرفیت کمتر از ۲۵۰۰۰۰ پاوند بخار بر ساعت (حدود ۱۱۵ تن بخار بر ساعت) محدود می باشد [۲]. لذا معمولاً در نیروگاههای بزرگ بکار نمی روند. لیکن اخیراً توجهی به کاربرد آنها به همراه برجهای خنک کن خشک مطرح شده است.

<sup>13</sup> - Finned

چگالنده‌های تماس مستقیم جدید از نوع پاششی<sup>۱۴</sup> هستند در حالی که چگالنده‌های اولیه در انواع بارومتريک یا فورانی<sup>۱۵</sup> طراحی می شدند. ذیلاً توضیحی در مورد عملکرد هر یک ارائه می گردد.

### ۱-۲-۲-۲-۱- چگالنده نوع پاششی

در این نوع از چگالنده‌های تماس مستقیم، همانطور که از عنوان آنها مشخص است، بخار از طریق اختلاط مستقیم بخار با آب خنک کن، تقطیر می شود. در چگالنده پاششی این امر با پاشش آب به داخل بخار انجام می شود. بدین ترتیب با توجه به شکلهای (۱-۲) و (۱-۳) بخار خروجی توربین در نقطه (۲) با آب خنک کن در نقطه (۵) مخلوط می گردد تا آب چگالیده تقریباً اشباعی را در نقطه (۳) تولید نماید. جریان به نقطه (۴) پمپاژ می گردد. بخشی از آب چگالیده که برابر دبی خروجی توربین است بعنوان آب تغذیه به سیستم برگشت داده می شود. مابقی معمولاً در یک برج خشک (بسته) تا نقطه (۵) خنک می شود. آب خنک در نقطه (۵) به داخل بخار خروجی از توربین پاشیده می شود، و فرآیند تکرار می گردد. لذا آب خنک کن مداوماً گردش می نماید. خلوص آن باید حفظ گردد زیرا با بخار مخلوط می گردد. کاربرد این نوع چگالنده‌ها همراه با برج خنک کن خشک نوع بسته است. حسن این نوع چگالنده بهره برداری آسان و بی دردسر آن است.

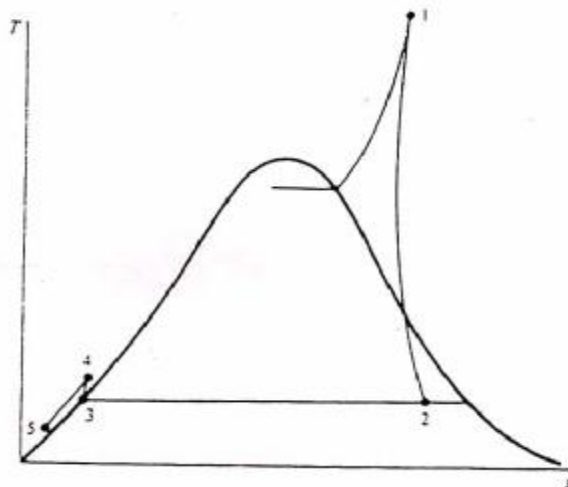


شکل (۱-۲) - نمودار جریان یک چگالنده تماس مستقیم از نوع پاششی

<sup>14</sup> - Spray type

<sup>15</sup> - Jet or diffuser





شکل (۳-۱) - نمودار درجه حرارت - آنتروپی آب چگالیده و آب خنک کن در یک سیستم چگالنده تماس مستقیم.

با توجه به شکل‌های (۲-۱) و (۳-۱) داریم:

$$m = m_r$$

$$m_r = m_g + m_o$$

و از تعادل انرژی، بدست می آید:

$$m_g h_g + m_o h_o = m_r h_r$$

لذا نسبت دبی آب خنک کن به دبی بخار برابر خواهد بود با

$$\frac{m_o}{m_r} = \frac{h_g - h_r}{h_r - h_o} \quad (۱-۱)$$

با توجه به این رابطه ملاحظه می گردد که دبی آب خنک کن خیلی بیشتر از دبی بخار است زیرا

$h_g - h_r$  بخش قابل ملاحظه ای از حرارت نهان زیاد تبخیر در فشار کاهش یافته را نشان می دهد. در

حالی که  $h_g - h_o$  حرارت محسوس بسیار کمتر مایع را نشان می دهد.

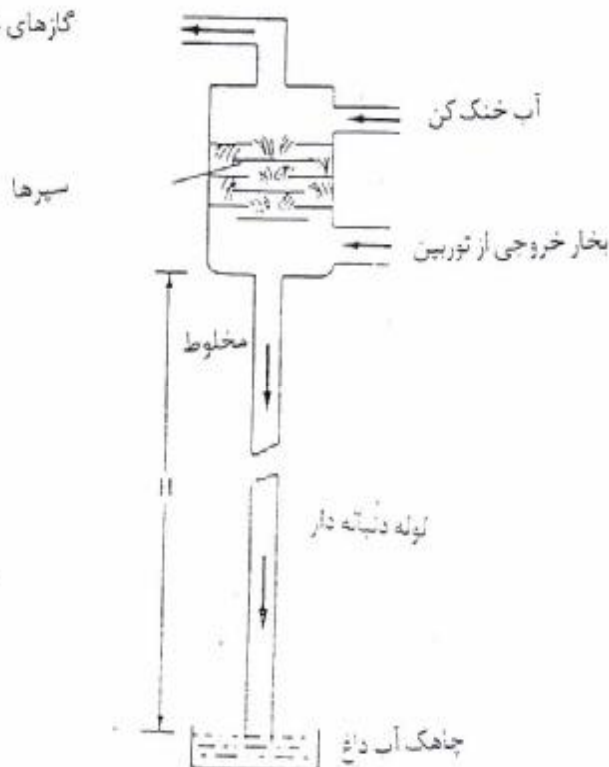
در شکل (۲-۱) ممکن است بجای پمپ منفرد نشان داده شده؛ دو پمپ، یکی در مسیر آب تغذیه و

دیگری در خط آب گردش بکار برود.

## ۲-۲-۲-۲-۱- چگالنده بارومتريک

از طرحهای اولیه چگالنده هاست که مشابه چگالنده پاششی بهره برداری می شود با این تفاوت که پمپی در سیستم آن بکار نمی رود. خلاء بواسطه ارتفاع<sup>۱۶</sup> استاتیک، مطابق شکل (۴-۱) حاصل می شود.

گازهای غیر قابل تقطیر به افشاشک هوای فورانی بخاری



شکل (۴-۱) - چگالنده بارومتريک

در این نوع چگالنده ها، آب خنک کن به سمت پائین از روی یک سری سپرها<sup>۱۷</sup> با نسبت سطح به حجم زیاد جریان می یابد. تا بطور کامل با بخار خروجی توربین که در جهت مخالف آن به سمت بالا حرکت می کند مخلوط گردد. بخار، تقطیر می شود و مخلوط به سمت پائین یک لوله دنباله دار به طرف

<sup>۱۶</sup> - Head

<sup>۱۷</sup> - Baffles

مخزن ذخیره (چاهک) آب داغ<sup>۱۸</sup> حرکت می کند. در ضمن گازهای غیرقابل تقطیر نیز بدینوسیله خنک می شوند. پمپ هوای بکار رفته در سیستم باید بخشی از هوا را که از آب خنک کن آزاد شده و نیز نشتی هوا را خارج نماید.

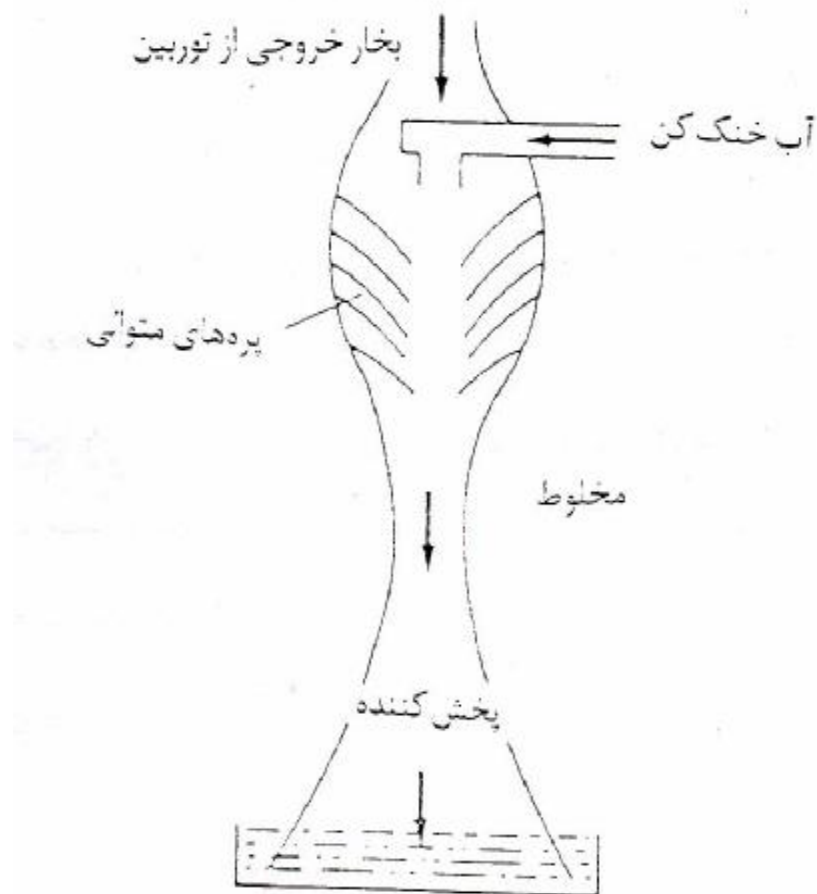
لوله دنباله دار بواسطه ارتفاع استاتیک مربوطه، مخلوط را تا حد فشار آتمسفریک (جو) در مخزن آب داغ تحت فشار قرار می دهد و بدین ترتیب جایگزین پمپ مورد کاربرد در چگالنده نوع پاششی می شود. اختلاف فشار ایجاد شده توسط لوله دنباله دار می بایست غلبه بر اختلاف فشار بین آتمسفریک  $P_{atm}$  و فشار چگالنده  $P_{con}$  به اضافه افت فشار اصطکاکی ناشی از جریان مخلوط در خود لوله دنباله دار  $\Delta p_t$  کند. لذا داریم [۱]:

$$\rho H \frac{g}{g_c} = P_{atm} - P_{con} + \Delta p_t \quad (۲-۱)$$

که در آن:  $\rho$  جرم مخصوص مخلوط و  $H$  ارتفاع لوله دنباله دار است،  $g$  شتاب ثقل،  $g_c$  ضریب تبدیل سیستم واحدها. می توان برآورد کرد که به ازاء مقادیر کم افت فشار اصطکاکی، ارتفاع لوله دنباله دار  $H$  در حدود ۹/۶ متر بوده و هر چه اصطکاک بیشتر باشد، مقدار آن بیشتر خواهد بود. معمولاً ارتفاع آب می بایست بیش از ۳۴ فوت (۱۰/۳ متر) باشد [۲]. با افزایش قطر لوله دنباله دار، افت فشار ناشی از اصطکاک، کاهش می یابد که منجر به سیستم بلندتر و سنگین تری خواهد شد. چگالنده بارومتریک معمولاً بیرون از محوطه سر پوشیده قرار می گیرد.

### ۱-۲-۲-۳- چگالنده نوع فورانی

در این چگالنده، خلاء با کاربرد یک شیپوره (دیفیوزر) مطابق شکل (۱-۵) حاصل می گردد:



شکل (۱-۵) - چگالنده نوع شیپوره ای یا فورانی

در این حالت ارتفاع لوله دنباله دار از طریق جایگزینی آن با شیپوره کاهش می یابد. طبق اصل شیپوره ها قسمت واگرا از یک افشانک<sup>۱۹</sup> مانند شیپوره "هم گرا - واگرا" عمل می کند و آب با سرعت زیاد جهت تقطیر بخار وارده صورت می گیرد و بدین ترتیب کمک می شود تا فشار در مسافت کوتاهتری نسبت به لوله دنباله دار افزایش یابد. مخلوط آب و بخار با سرعت از طریق یک دیفیوزر به بیرون (آتمسفر) عبور می نماید و خلاء حفظ می شود. این نوع چگالنده در زیر توربین قرار می گیرد. در ضمن از اثر مکنندگی فوران جهت هدایت و خروج گازهای غیرقابل تقطیر و نتیجتاً حذف یک پمپ جداگانه هوا نیز استفاده می شود.

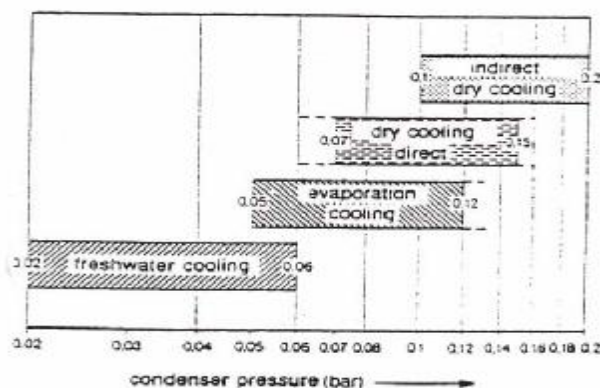
<sup>19</sup> - Nozzle

در نوعی دیگر از چگالنده های فورانی با ارتفاع کم سیال<sup>۲۰</sup>، که آن نیز در زیر توربین مستقر می گردد، بخش اختلاط مربوطه مشابه چگالنده بارومتريک بوده و ليکن پمپی جايگزين لوله دراز و ارتفاع آب می گردد که جهت تخلیه وزنی بکار گرفته می شود.

### ۱-۲-۲-۳- محدوده کاربرد انواع چگالنده

همانگونه که در بخش قبلی توضیح داده شد چگالنده های سطحی خنک شونده با آب یکی از معمولترین نوع چگالنده ها در نیروگاهها می باشند و برای هر دو نوع سیستم خنک کن خشک و تر قابل استفاده هستند که با توجه به نوع سیستم خنک کن بکار گرفته شده محدوده خاصی از فشار چگالنده را تأمین می نمایند. چگالنده های خنک شونده با هوا در مواردی که آب کافی در دسترس نباشد و نیز به جهت به حداقل رساندن قطعات و تجهیزات مورد نیاز به کار گرفته می شوند. هر چگالنده (سطحی یا تماس مستقیم) با توجه به نوع سیستم خنک کن اصلی محدوده ای خاص از فشار چگالنده را ارائه می نماید، این موضوع در شکل (۶-۱) نمایش داده شده است.

بنابراین با بکارگیری چگالنده تماس مستقیم (پاششی) رسیدن به محدوده صدم اتمسفر در چگالنده امکان پذیر نمی باشد.



شکل (۶-۱)- فشار قابل دسترسی چگالنده در سیستمهای مختلف خنک کن [۱۳]

### ۱-۳- شرح اجزاء چگالنده ها

چگالنده ها در واقع یک نوع از مبدل‌های حرارتی (آب - بخار) هستند و بنابراین قسمت‌های اصلی آنها همان اجزاء مبدل‌های حرارتی می باشند. چگالنده های سطحی دارای لوله، پوسته، جعبه های آب و صفحات لوله می باشند. چگالنده های پاششی ساده تر بوده و هدرها و نازل‌های پاشش آب قسمت های اصلی آنها را تشکیل می دهند. علاوه بر اجزاء ذکر شده هر دو نوع چگالنده ها دارای چاهک آب داغ و بخش خنک کن هوا نیز هستند.

در ادامه ضمن معرفی قسمت‌های فوق الذکر، ملاحظات ساخت و جنس قطعات اصلی آنها نیز تشریح می گردد.

#### ۱-۳-۱- اجزاء چگالنده های سطحی

##### ۱-۳-۱-۱- پوسته

پوسته مرز محفظه بخار را تشکیل می دهد، ساختمان آن شامل یک کف، دو دیواره پهلویی، و صفحات انتهایی همراه با در نظر گرفتن انبساط و موقعیت صفحات اتصال لوله ها می باشد. چگالنده های کوچک دارای پوسته های با مقطع دایره ای شکل و یا با مقطع مربعی شکل می باشند. لیکن واحدهای بزرگتر (از ۵۰۰۰۰ فوت مربع یا ۴۶۵۰ مترمربع سطح حرارتی) جهت استفاده بهتر از فضا دارای پوسته های مکعب مستطیل شکل یا تخم مرغی شکل<sup>۲۱</sup> می باشند.

پوسته چگالنده یک واحد مدرن از ساختمان بزرگی برخوردار است و حمل و نقل آن بعنوان یک تجهیز کامل از محل ساخت تا محل نصب امری مشکل است. لذا معمولاً ساخت چگالنده ها و نیز پوسته اصلی را که از فولاد نرم است، بخصوص در واحدهای بالاتر از ۱۲۰ مگاوات بصورت قطعات عدیده انجام می دهند تا نهایتاً در محل نصب مونتاژ گردد.

<sup>21</sup> - Oval

اتصال بین قطعات مختلف بوسیله جوشکاری لب به لب<sup>۲۲</sup> (جوشکاری آب بندی<sup>۲۳</sup>) یا پیچ برقرار می شود. صفحه اتصال لوله ها با پیچ معمولی یا پیچ دو سر دنده به پوسته و فلنج ها متصل می گردد. پوسته از نظر عدم نفوذ هوا به صورت هیدرولیک تست می گردد، یا اینکه اتصالات و ارتباطات بین آن و سایر تجهیزات مورد آزمایش قرار می گیرد.

در واحدهای جدید، پوسته ها از جنس فولاد ساخته شده می باشند در حالیکه در واحدهای قدیمی تر ریخته گری می شدند.

### ۱-۳-۲- جعبه های آب

جعبه های آب اغلب و به خصوص در چگالنده های مدرن، خود مستقل از تقسیم بندیها براساس تعداد گذرها تقسیم بندی می شوند. صفحات جداساز عمودی دو مسیر جریان موازی آب خنک کن را از طریق پوسته برقرار می کند. این امر امکان می دهد که نیمی از چگالنده در حال بهره برداری باشد در حالیکه نیمه دیگر در حال شستشو یا تعمیرات است و در نتیجه واحد با بار محدود به بهره برداری ادامه می دهد.

جعبه های آب اغلب از جنس چدن هستند اگرچه فولاد برنزدار یا فولاد ساخته شده<sup>۲۴</sup> به همراه پوشش لاستیکی نیز چنانکه قبلاً هم اشاره شد بکار برده می شود.

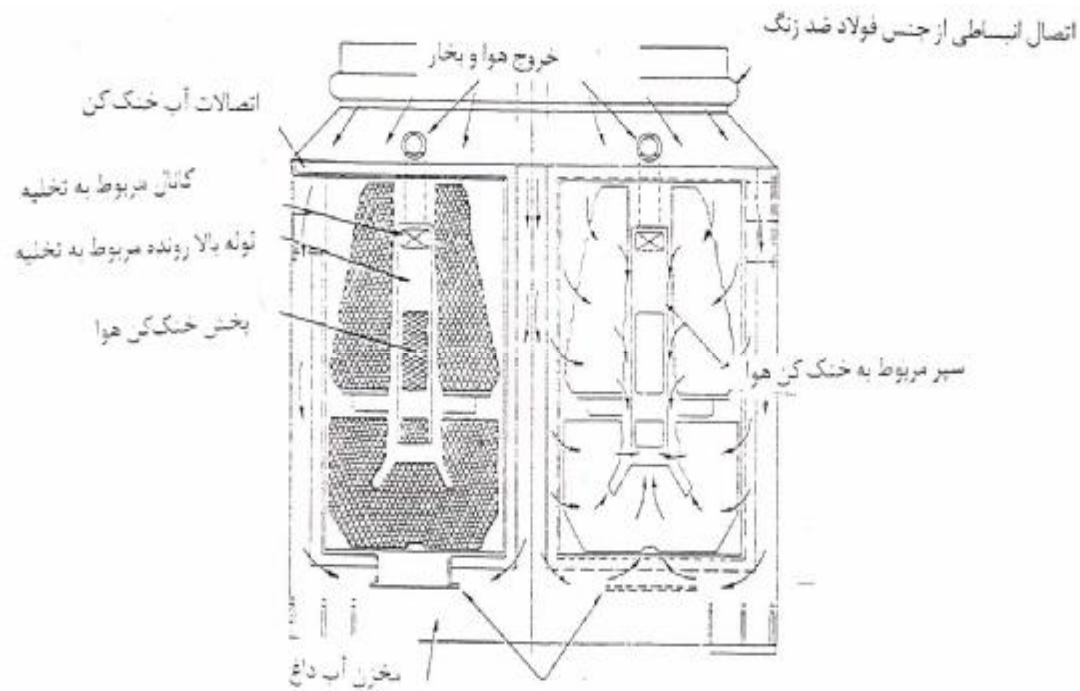
شکل (۷-۱) مقطعی از یک چگالنده بزرگ مدرن را نشان می دهد که دارای یک گذر و از نوع جریان شعاعی است. در آن بخار از بالا، اطراف و پائین وارد دسته لوله ها می گردد و به سمت ناحیه مرکزی جریان می یابد، و تا رسیدن به آن ناحیه قسمت عمده آن تقطیر شده، و فقط هوا و سایر گازهای غیرقابل تقطیر به جای میماند که قبل از دفع توسط سیستم هواگیری، خنک می شود.

شکل (۸-۱) چگالنده سطحی با جعبه آب تقسیم شده و با دوگذر را نشان می دهد.

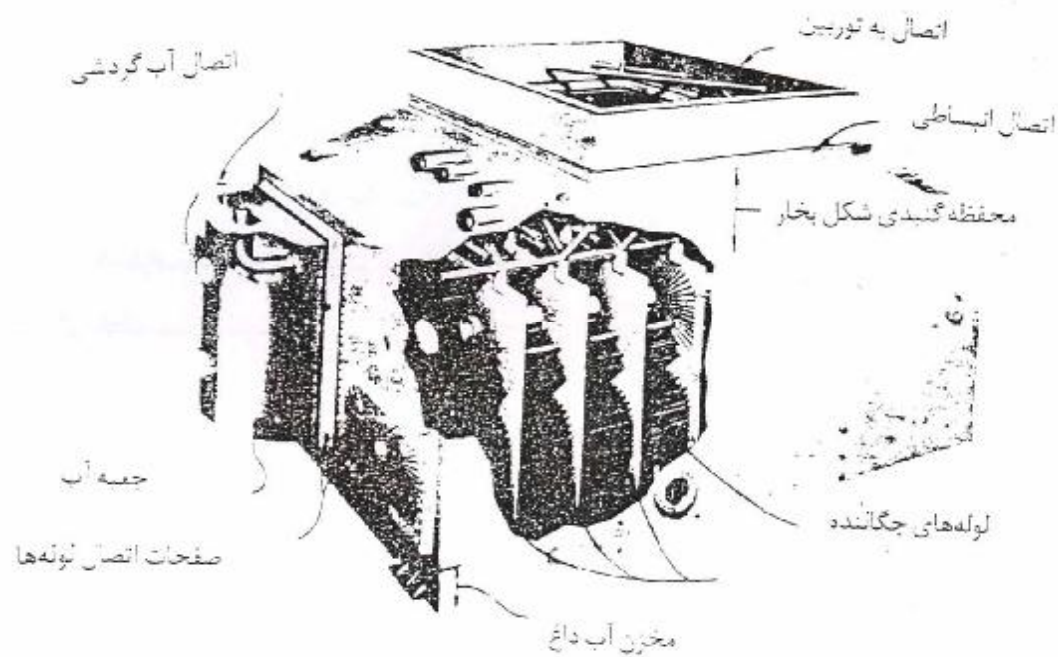
<sup>۲۲</sup> - Butt welding

<sup>۲۳</sup> - Seal welding

<sup>۲۴</sup> - Fabricated steel



شکل (۷-۱) - مقطع یک چگالنده سطحی با یک گذر و جعبه آب تقسیم شده



شکل (۸-۱) - چگالنده سطحی با دو گذر و جعبه آب تقسیم شده



## ۱-۳-۱-۳- لوله ها

مشخصات لوله های چگالنده (و گرمکنهای آب تغذیه) در جدول (۱-۱) فهرست شده است:

OD of Tubing Inches	SWG	Thickness Inches	Inside Diameter Inches	Surface External, 36 Ft Per Linear Foot	Length in Feet for 36 Ft Surface	Water-GPM at 1 Feet Per Sec Velocity
3/8	12	0.109	.407	.1636	6.112	.406
	13	0.095	.435	.1636	6.112	.453
	14	0.083	.459	.1636	6.112	.516
	15	0.072	.481	.1636	6.112	.566
	16	0.065	.495	.1636	6.112	.600
	17	0.058	.509	.1636	6.112	.634
	18	0.049	.527	.1636	6.112	.680
	19	0.042	.541	.1636	6.112	.715
	20	0.035	.555	.1636	6.112	.754
	21	0.032	.561	.1636	6.112	.770
	22	0.028	.569	.1636	6.112	.793
	23	0.025	.575	.1636	6.112	.809
1/4	24	0.022	.581	.1636	6.112	.826
	12	0.109	.532	.1963	5.094	.603
	13	0.095	.560	.1963	5.094	.768
	14	0.083	.584	.1963	5.094	.835
	15	0.072	.606	.1963	5.094	.899
	16	0.065	.620	.1963	5.094	.941
	17	0.058	.634	.1963	5.094	.984
	18	0.049	.652	.1963	5.094	1.041
	19	0.042	.666	.1963	5.094	1.086
	20	0.035	.680	.1963	5.094	1.132
	21	0.032	.686	.1963	5.094	1.152
	22	0.028	.694	.1963	5.094	1.179
7/8	23	0.025	.700	.1963	5.094	1.200
	24	0.022	.706	.1963	5.094	1.220
	12	0.109	.657	.2291	4.367	1.057
	13	0.095	.685	.2291	4.367	1.149
	14	0.083	.709	.2291	4.367	1.231
	15	0.072	.731	.2291	4.367	1.308
	16	0.065	.745	.2291	4.367	1.359
	17	0.058	.759	.2291	4.367	1.410
	18	0.049	.777	.2291	4.367	1.478
	19	0.042	.791	.2291	4.367	1.532
	20	0.035	.805	.2291	4.367	1.586
	21	0.032	.811	.2291	4.367	1.610
1	22	0.028	.819	.2291	4.367	1.642
	23	0.025	.825	.2291	4.367	1.666
	24	0.022	.831	.2291	4.367	1.690
	12	0.109	.782	.2618	3.817	1.497
	13	0.095	.810	.2618	3.817	1.606
	14	0.083	.834	.2618	3.817	1.703
	15	0.072	.856	.2618	3.817	1.794
	16	0.065	.870	.2618	3.817	1.853
	17	0.058	.884	.2618	3.817	1.913
	18	0.049	.902	.2618	3.817	1.992
	19	0.042	.916	.2618	3.817	2.054

جدول (۱-۱) - مشخصات لوله های چگالنده سطحی

ملاحظه می گردد که هر چه عدد BWG بالاتر باشد، لوله ها نازکتر و سبکترند. لوله های با قطر خارجی  $\frac{5}{8}$  اینچ به آسانی مسدود می شوند و لذا فقط برای کاربردهای محدود و خاص مطرح هستند. در چگالنده های مدرن معمولاً قطر  $\frac{7}{8}$  یا ۱ اینچ را از BWG برابر ۱۸ بکار می برند که در قبال فشارهای آب موجود در چگالنده ها مقاومت خوبی دارند.

نمونه هایی از جنس لوله های چگالنده ها به قرار زیر است

- آلیاژ، مس، نیکل ۳۰٪: شامل ۷۰٪ مس، ۳۰٪ نیکل، ۵٪ آهن

- آلیاژ، مس، نیکل: شامل ۹۰٪ مس و ۱۰٪ نیکل

- آلیاژ آلومینیم برنز ۵٪: شامل ۹۵٪ مس، ۵٪ آلومینیم

- آلیاژ برنج آلومینیم دار: شامل ۷۶٪ مس، ۲۲٪ روی، ۲٪ آلومینیم، ۵٪ نقره

- آلیاژ مس دریایی<sup>۲۵</sup>: شامل ۷۰ تا ۷۳٪ مس، ۹ تا ۱۲٪ قلع، حداکثر ۷٪ آهن، ۵٪ نقره و

بقیه روی

- مونتر<sup>۲۶</sup>: شامل ۶۰٪ مس، ۴۰٪ روی

- فولاد ضدزنگ نوع ۳۰۴

- آلیاژ آرسنیک، مس

- تیتانیوم

جنس لوله مورد کاربرد در حالت آب خنک کن تازه معمولاً آلیاژ مس دریایی با معیار (ضخامت) BWG<sup>۲۷</sup> برابر ۱۸ می باشد. این جنس مدتها یک انتخاب معمول بوده است. اگرچه هنوز هم مطرح است لیکن برای مواردیکه آب خنک کن خورنده باشد، از فولاد ۳۰۴ بجای آن استفاده می شود.

فولاد مذکور در مورد آبی که خاصیت اسیدی داشته باشد نیز کاربرد دارد. این فولاد امروزه براحتی و با هزینه معقول در دسترس است، دارای مقاومت عالی در قبال خوردگی مکانیکی و شیمیایی و مصونیت

<sup>25</sup> - Admiralty

<sup>26</sup> - Muntz

<sup>27</sup> - Birmingham Wire Gauge

نسبت به حمله آمونیاکی و سولفوری در سمت بخار لوله ها می باشد و همچنین خطر ورود یونهای مس به آب تغذیه دیگ بخار را منتفی می نماید که امکانی است بالقوه در مورد سایر مواد؛ معایب آن عبارتست از: قابلیت هدایت حرارت کم و مقاومت پائین آن نسبت به حمله کلروری.

در حالت آب دریا و آب شور معمولاً برنج آلومینیم دار با معیار (ضخامت) BWG برابر ۱۸ بکار می رود که جانشین گرانتتر آن آلیاژ مس - نیکل ۹۰-۱۰ است اعم از اینکه آب تمیز باشد یا آلوده. آلیاژ مس - نیکل ۳۰-۷۰ ترجیحاً در حالت آب تمیز که در ضمن، وجود آمونیاک در سمت پوسته چگالنده قابل ملاحظه باشد بکار می رود. آلیاژ مس - نیکل دارای مقاومت عالی در قبال خوردگی شیمیایی در حالت آب شور، و مصونیت خوب در قبال بروز ترک ناشی از خوردگی شیمیایی تحت تنش است.

لوله های آلومینیمی اغلب ملازم با سرمایه گذاری کمتری هستند، لیکن در کاربرد آنها باید از خوردگی مکانیکی متحمل سمت بخار اجتناب گردد.

به طور کلی در مقایسه با سایر جنسها فولاد ضدزنگ، آلیاژ مس - نیکل و تیتانیوم ترجیحاً بکار می روند.

تجربه نشان داده است که علت کاربرد فراوانتر آلیاژهای با پایه مس جهت ساخت لوله های چگالنده عبارتست از مقاومت آنها در قبال خوردگی که به هنگام بهره برداری از لوله های چگالنده و در اثر خوردگی آلیاژ مذکور، لایه محافظتی تشکیل می شود که لوله را در ادامه بهره برداری حفاظت می نماید. لیکن در شرایط جریان مغشوش<sup>۲۸</sup> آب خنک کن و در سرعتهای بالا، این لایه حفاظتی نیز می تواند مورد خوردگی شیمیایی/ مکانیکی قرار گیرد و از سطح جدا شده و سطح بدون حفاظ را در معرض خوردگیها قرار دهد و نتیجتاً حملات بعدی را تسریع نماید. چنین شرایط نامطلوب می تواند در چگالنده هایی که با سرعتهای بالای آب بهره برداری می شوند، رخ دهد. جدول (۱-۲) چند آلیاژ با پایه مس را که در ساخت چگالنده ها کاربرد دارند نشان می دهد.

---

<sup>28</sup> - Turbulent

جدول (۱-۲) - آلیاژهای با پایه مس برای لوله های چگالنده

آلیاژ	% Copper	% قلع	% Arsemnd	% روی	% Alum inium	% Nickel	% آهن	% Manganese	% نکروم	% Titanium
برنج 70/30	70		0.04	Rem						
Admiralty brass	70	1	0.04	Rem						
Aluminium brass	68		0.04	Rem	2					
مس نیکل 70/30	70					30				
آلیاژ مس نیکل اصلاح شده	66					30	2	2		
Moditied cupronidke	64					30	3	3		
Cupronickel IN8 38	Rem					18	0.8	0.5	0.4	
Cupronickel IN8 48	Rem					30		0.7	0.4	
Titanium										100

تیتانیوم در شرایط حاد و هنگامی که احتمال خوردگی مکانیکی یا شیمیایی در سمت بخار مطرح باشد می بایست مورد استفاده قرار گیرد. مزیت عمده آن عبارتست از ایجاد لایه اکسیدی بادوام که اگر این لایه تحت شرایط عادی بهره برداری از چگالنده، از بین برود، مجدداً خیلی سریع بوجود آمده و حفاظت را برقرار می کند. انجام آزمایشات برخورد بصورت فوران<sup>۲۹</sup> روی دو نوع لوله های تیتانیوم جوشکاری شده و نیز بدون درز در سرعتهای آب ۱۰ متر در ثانیه برای مدت ۶۰ روز نشان داده است که این ماده در قبال

حمله مصون است. تحت این شرایط، لوله های جنس برنج آلومینیم دار، و مس نیکل دار سریعاً با شکست مواجه شده اند.

لیکن کاربرد لوله های تیتانیوم در چگالنده هایی که برای جنس متعارف با پایه مس طراحی شده اند، مسئله عدم سازگاری بین جنس لوله/ و جنس صفحه اتصال لوله ها<sup>۳۰</sup> را مطرح می کند. در اینحال مشکل پتانسیل حمله آندی جنس صفحه اتصال لوله ها مطرح می شود که در طی عمر طولانی ۳۰ ساله جنس صفحه باعث رخنه در صفحه اتصال و تخریب آن می شود. لذا در مواردی که می بایست صفحات اتصال برنجی بکار رود نظیر حالت تجدید تمامی لوله های چگالنده، معمولاً صفحه اتصال لوله ها و نیز قسمتهای داخلی جعبه آب را با لاستیک نئوپرن<sup>۳۱</sup> یا کوروسیل<sup>۳۲</sup> چند لایه پوشش<sup>۳۳</sup> می دهند و لذا سیستم به طور مؤثر در قبال پدیده خوردگی گالوانیک مقاوم خواهد شد.

در طرحهای جدید، صفحات اتصال لوله ها از جنس آلومینیم برنز با مشخصه ASTM – B171 ALLOY D و ASTM – B171 ALLOY E انتخاب می شوند که درجه خوردگی شیمیایی آنها به قدر کافی پائین بوده و نیاز به پوشش حفاظتی ندارند لیکن جعبه های آب کماکان با پوششهای مناسب حفاظت می شوند. مسئله گرانی و اقتصادی نبودن کاربرد تیتانیوم را می توان با کاهشی در ضخامت مورد لزوم دیواره لوله به حداقل رساند. این امر به همراه صرفه جوئیهای ناشی از بهره برداری بدون نشتی در طول بهره برداری، کاربرد تیتانیوم را اقتصادی خواهد کرد. در هر حال هیچ جنسی بدون شستشوی متناوب لوله ها نمی تواند به طور کامل کارآیی داشته باشد.

بعلاوه جنس لوله های چگالنده سطحی مطابق استاندارد HEI<sup>۳۴</sup> در جدول (۱-۳) آمده است

<sup>۳۰</sup> - Tube sheet

<sup>۳۱</sup> - Neo prene

<sup>۳۲</sup> - Koroseal

<sup>۳۳</sup> - Rubbber lining

<sup>۳۴</sup> - HEI Standard For Steam Surface Condenser

جدول (۱-۳) - جنس لوله های چگالنده سطحی

Material Category	Material	Typical Speecation (Alloy Designation)	PHYSICAL PROPERTIES (See Note a. b. and e below)			
			Density lb3/ co. in.	Thermal condptirity F. B.T.U./hr.Et <sup>2</sup> .F.in.	Coefficient of Thermal Expansion in/in, F. See Note e	Modulus of Elasticity p.s.i.
COPPER BASE ALLOYS (a.1)	Admiralty	ASTM B 111 UNS C44300	0.308	F ° 768 at 68	<sup>-6</sup> 10× 11.2	<sup>6</sup> 10× 16
	Admiralty	ASTM B 111 UNS C44400	0.308	F ° 768 at 68	<sup>-6</sup> 10× 11.2	<sup>6</sup> 10× 16
	Admiralty	ASTM B 111 UNS C44500	0.308	F ° 768 at 68	<sup>-6</sup> 10× 11.2	<sup>6</sup> 10× 16
	Alum. Brass	ASTM B 111 UNS C68700	0.301	F ° 696 at 68	<sup>-6</sup> 10× 10.3	<sup>6</sup> 10× 16
	Alum. Bronze	ASTM B 111 UNS C60800	0.295	F ° 552 at 68	<sup>-6</sup> 10× 10.0	<sup>6</sup> 10× 17.5
	Copper Nickel 70-30	ASTM B 111 UNS C71500	0.323	F ° 204 at 68	<sup>-6</sup> 10× 9.0	<sup>6</sup> 10× 22
	Copper Nickel 90-10	ASTM B 111 UNS C70600	0.323	F ° 312 at 68	<sup>-6</sup> 10× 9.5	<sup>6</sup> 10× 18
	Arsenical Copper	ASTM B 111 UNS C14200	0.325	F ° 1344 at 68	<sup>-6</sup> 10× 9.8	<sup>6</sup> 10× 17
	Copper Iron 194	ASTM B 111 UNS C19400	0.317	F ° 1800 at 68	<sup>-6</sup> 10× 9.0	<sup>6</sup> 10× 17.5
STAINLESS STEELS (a.2)	Stainless Steel	ASTM A 249 Type 304	0.29	F ° 113 at 212	<sup>-6</sup> 10× 9.9	<sup>6</sup> 10× 28
	Stainless Steel	ASTM A 249 Type 316	0.29	F ° 113 at 212	<sup>-6</sup> 10× 9.0	<sup>6</sup> 10× 28
	Stainless Steel	ASTM A 249 Type 304	0.29	F ° 113 at 212	<sup>-6</sup> 10× 9.9	<sup>6</sup> 10× 28
	Stainless Steel	ASTM A 249 Type 316	0.29	F ° 113 at 212	<sup>-6</sup> 10× 9.0	<sup>6</sup> 10× 28
TITANIUM (a.3)	Titanium	ASTM B 333 Grade 1	0.163	Approximately F ° 114 at 68	<sup>-6</sup> 10× 5.1	<sup>6</sup> 10× 14.9
	Titanium	ASTM B 333 Grade 2	0.163	Approximately F ° 114 at 68	<sup>-6</sup> 10× 5.1	<sup>6</sup> 10× 14.8
CARBON X STEEL	Carbon Steel	ASTM A 179 ASTM A 214	0.283 (a.4)	F(a.4) ° 324 at 212	(a.5) <sup>-6</sup> 10× 6.44	<sup>6</sup> 10× 27.7

### ۱-۳-۱-۳-۱-۱ اصلاح شکل سطح خارجی و داخلی لوله ها

از جمله موارد تحت بررسی در چگالنده های جدید، کاربرد لوله هایی با شکل سطح خارجی و داخلی پیشرفته تر (شکل طنابی<sup>۳۵</sup>) جهت تحقیق دو هدف زیر می باشد:

- به حداقل رساندن ابعاد چگالنده

- به حداکثر رساندن عملکرد حرارتی چگالنده

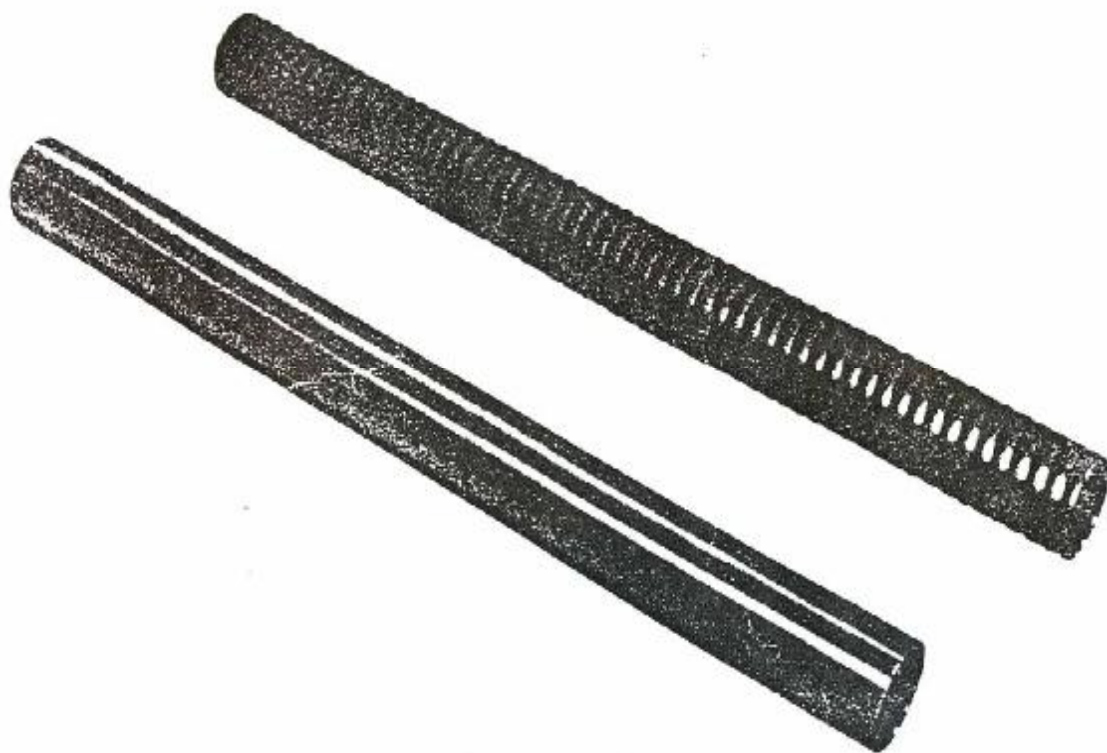
شکل (۱-۹) نمونه ای از لوله های با شکل طنابی را نشان می دهد. هر دو سمت بخار و آب لوله بصورت گرده ماهی مارپیچی نورد شده می باشد (سرتاسر شیارهای مارپیچی).

یکی از اثرات این طراحی پیشرفته این است که: وجود شیارها در سطح داخلی (سمت آب خنک کن) لوله موجب انحراف و تغییر جهت جریان آب در لوله شده و اجازه نمی دهد که لایه های مرزی در طول دیواره لوله تشکیل شود، زیرا لایه مرزی در شرایطی تشکیل می شود که به آب امکان داده شود که مسیر مستقیمی را طی نماید در حالیکه چنانچه مسیر و سرعت آن مرتباً توسط شیارها تغییر داده شود به لایه مرزی امکان تشکیل داده نمی شود. عدم تشکیل لایه مرزی موجب می شود که از انتقال حرارت ممانعت ننماید.

اثر دیگر اینکه وجود شیارها در سطح خارجی (سمت بخار) لوله در واقع معبرهایی را برای عبور آب چگالیده ایجاد می نماید و لذا کمک به تخلیه آن می کند و بدین لحاظ آب چگالیده بین بخار و لوله حائل نخواهد شد و لذا ضریب انتقال حرارت سمت بخار افزایش پیدا می کند.

میزان افزایش در ضریب انتقال حرارت کل ناشی از بکارگیری لوله های طنابی در حدود ۳۰٪ بالاتر از حالت لوله ها با سطح صاف تخمین زده می شود، لیکن در عوض افتهای اصطکاکی سمت آب افزایش می یابند.

طراحی فوق با حداکثر نمودن عملکرد لوله، امکان کاهش طول کلی لوله و ابعاد کلی صفحه اتصال و در نتیجه صرفه جویی قابل ملاحظه در هزینه های سرمایه گذاری را بدون مواجهه با صدماتی در بهره برداری، فراهم می آورد.



شکل (۹-۱) - تصویر لوله طنابی و لوله صاف



## ۱-۳-۱-۴- صفحات لوله

لوله های چگالنده در طول خود بر صفحاتی از فولاد نرم تکیه دارند. این صفحات از شکم دادن (خمش) لوله ها بین صفحات اتصال جلوگیری می کنند. ضمن اینکه به توزیع یکنواخت بخار در داخل پوسته نیز کمک می نمایند.

جانمایی این صفحات باید طوری باشد که تضمین دهد که هیچگونه ارتعاشی در لوله ها ناشی از تشدید با فرکانسهای دوران توربین یا از ضربه ناشی از خروج بخار از توربین، حادث نمی شود. این صفحات سهمی را در مقاومت پوسته چگالنده منجمله در قبال بارهای ناشی از خلاء بعهدہ دارند.

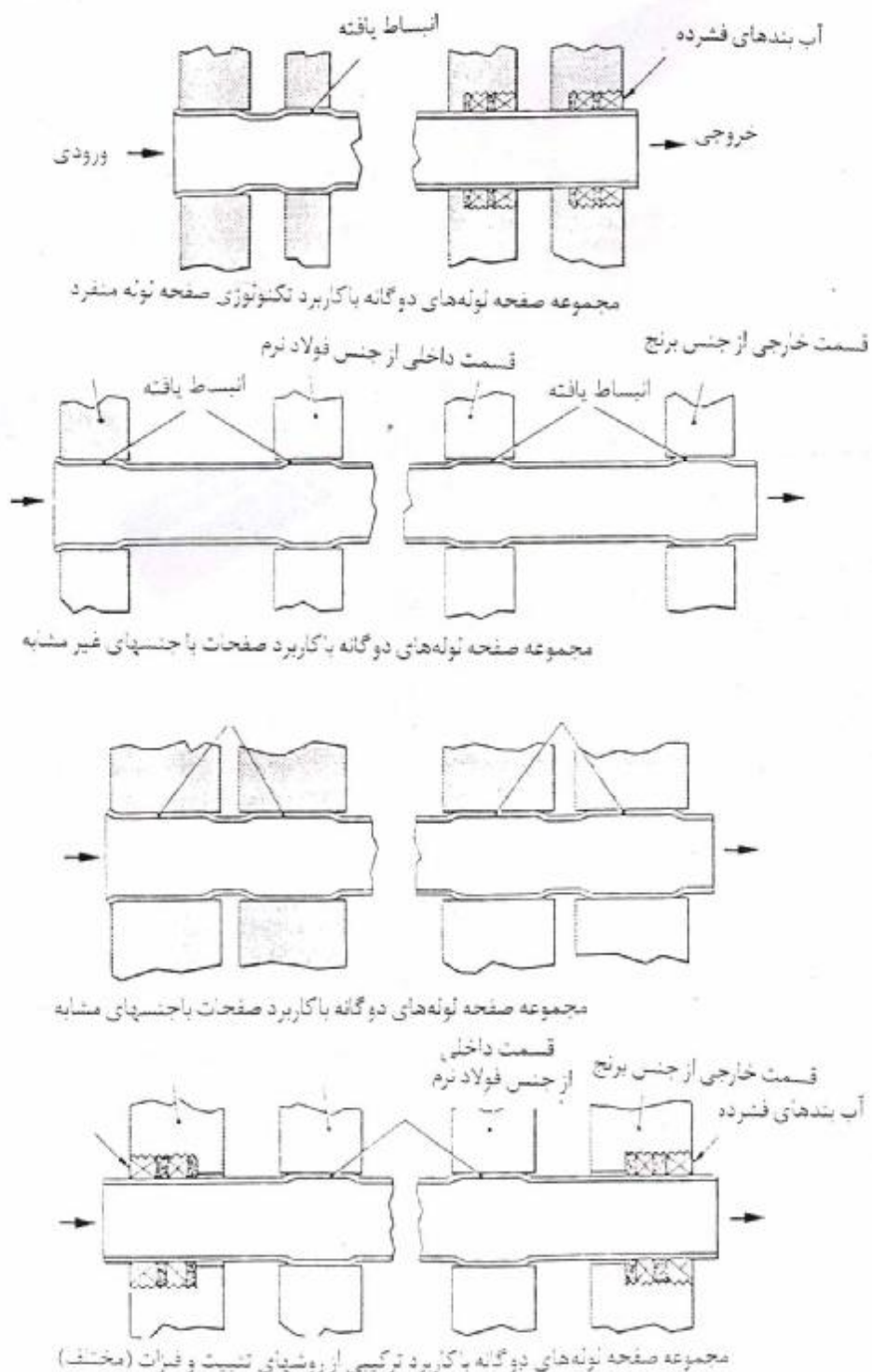
همچنین صفحات (سپرهای<sup>۳۶</sup>) در فضای بخار وجود دارند که جریان بخار را جهت توزیع یکنواخت هدایت کرده و بخار را از محلهای خروج هوا دور نگه می دارد.

در طرحهای قدیمی تر، لوله ها به داخل یکی از صفحات اتصال نورد می شدند و توسط آب بند (واشر) یا بست ضامن<sup>۳۷</sup> به داخل صفحه اتصال دیگر محکم می شدند تا امکان انبساط حرارتی را فراهم آورند. در بسیاری از طرحهای جدید، لوله ها به داخل هر دو صفحه اتصال نورد می گردند. بعلاوه جهت آب بندی و استحکام بهتر، لوله ها به داخل صفحه اتصال جوش می شوند در ضمن اینکه احتمال آلودگی آب چگالیده نیز به حداقل می رسد.

شکل (۱-۱۰) - جزئیات طرحهایی که معمولاً در چگالنده های بزرگ بکار می روند، نشان می دهد.

<sup>36</sup> - Baffles

<sup>37</sup> - Ferrule

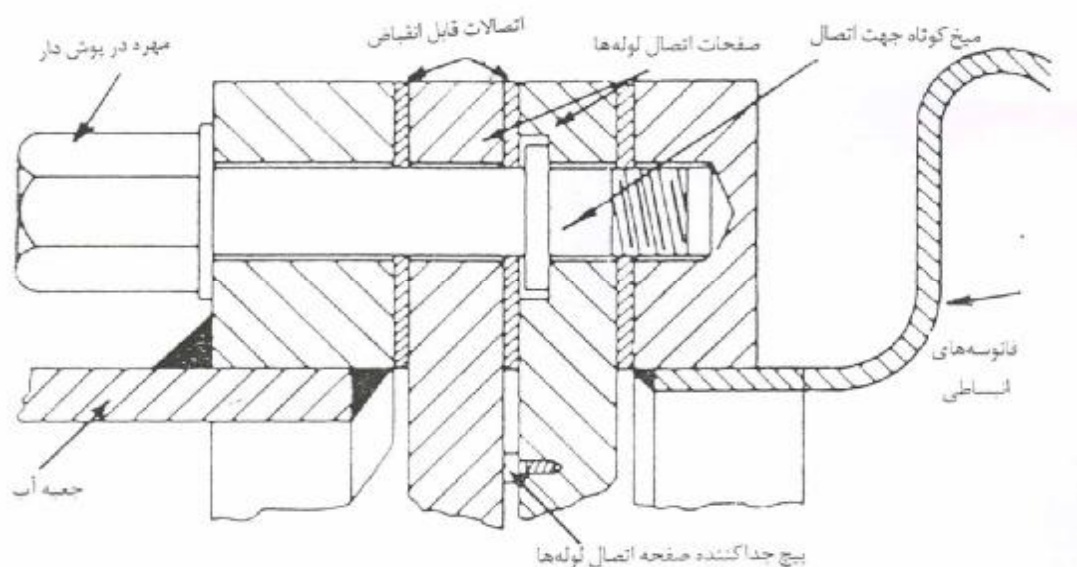


شکل (۱-۱۰) - روشهای ثابت کردن لوله به صفحه لوله برای چگالنده های بزرگ

فاصله صفحات اتصال از یکدیگر با توجه به ارتعاش لوله انتخاب می شوند، لیکن معمولاً حداکثر فاصله از ۶۰ برابر قطر لوله ها تجاوز نمی کند و در صورتیکه جنس لوله ها از تیتانیوم باشد این فاصله می تواند تا ۳۵ برابر قطر لوله ها تقلیل یابد.

ضخامت صفحات اتصال می تواند از ۱۶ میلی متر تا ۳۸ میلی متر تغییر نماید که بستگی دارد به شرایط طراحی.

نحوه اتصال پوسته، صفحه لوله و جعبه آب در چگالنده ها در شکل (۱۱-۱) نشان داده شده است.



شکل (۱۱-۱) - اتصالات پوسته / صفحه لوله / جعبه آب در چگالنده

صفحات اتصال لوله ها معمولاً از فلز مونتنز<sup>۳۸</sup> (آلیاژ مس - روی) ساخته می شود که مشابه برنج است. لیکن چنانچه قبلاً هم اشاره شد در طرحهای جدید از جنس آلومینیم - برنز در این رابطه استفاده می گردد. جدول (۴-۱) جنس های متداول در ساخت صفحات لوله را نشان می دهد.

جدول (۱-۴) - جنس صفحات اتصال لوله ها در چگالنده ها

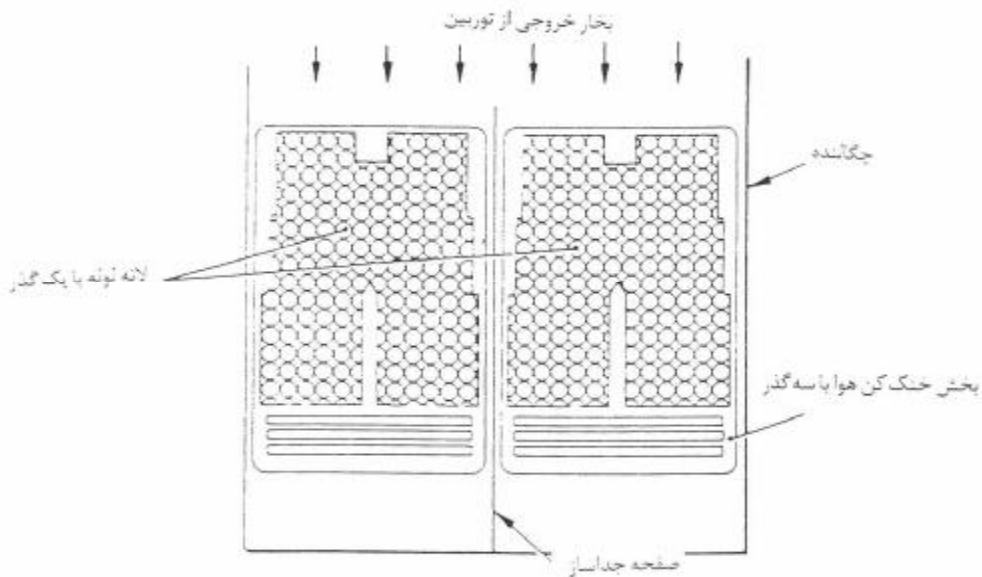
Alloy	% Copper	% Tin	% Zinc	% Manganese	% Lead	% Iron	% Aluminum	% Total impurities
BS2875.CZ112 برنج دریایی	61.0- 63.5	1.0-1.4	Rem					0.75
Aluminium bronze ASTM.B171 Alloy D	88-92.5		0.2max.	1.0max	0.01max.	1.5- 3.5	6.0-8.0	
Aluminium bronze ASTM.B171 Alloy E	Rem	0.2 max	0.3max.	1.5max		2.0- 4.0	9.0- 11.0	

### ۱-۳-۵- وضعیت استقرار بخش خنک کن هوا و محل تخلیه هوا

گازهای غیرقابل تقطیر نظیر هوا، دی اکسیدکربن و هیدروژن که با بخار خروجی یا از طریق خطوط تخلیه (درین) یا ونت یا نشتی در آب بندها یا کلاهکهای شیرها وارد فضای بخار چگالنده می شوند می بایست توسط سیستم و تجهیزات هواگیری بکلی زدوده و دفع گردند. یک یا دو محل خروج هوا در فضای بخار، هوای جمع شده را به پمپ خلاء هدایت می نمایند. محلهای خروج هوا مخلوطی از بخار غنی شده با هوا را به قسمتی هدایت می کنند که از روی سردترین لوله ها عبور کرده و لذا قسمت عمده بخار آن با تقطیر جدا می شود. این امر بار پمپ خلاء را کاهش می دهد.

در بسیاری از چگالنده ها بخش خنک کن هوا (خنک کاری هوای موجود در چگالنده توسط آب خنک کن) عبارت از مجموعه ای است از لوله ها که بین بخش تقطیر اصلی و نقطه یا نقاط خلاءسازی قرار می گیرد. با توجه به اینکه هوا و اکسیژن موجود در چگالنده معمولاً با مقداری بخار آب همراه است، هدف

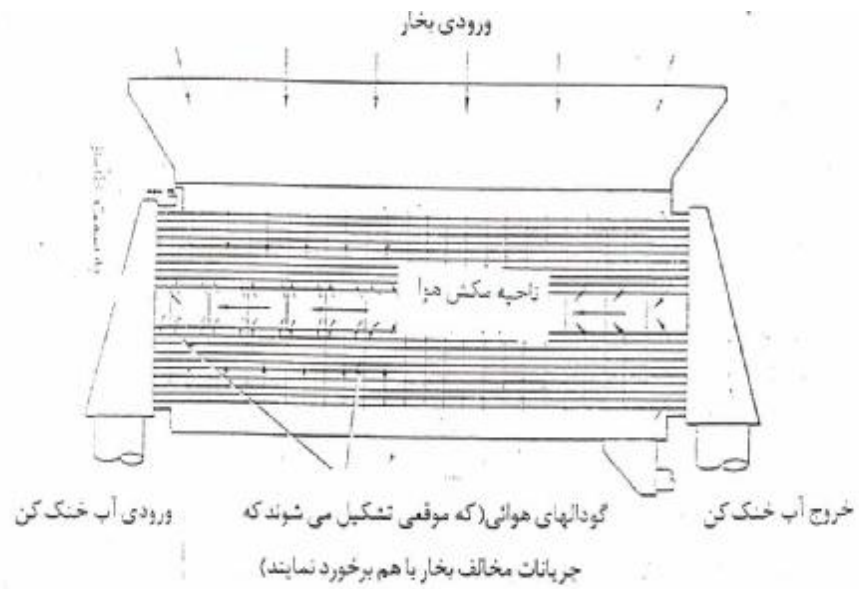
از در نظر گرفتن این بخش، تقطیر بخار آب همراه هوا و جدا سازی آن است تا از خروج آن به محیط و اتلاف آن جلوگیری بعمل آید. این بخش در برگیرنده حدود ۱۰٪ از کل تعداد لوله های چگالنده است  
 شکل (۱-۱۲).



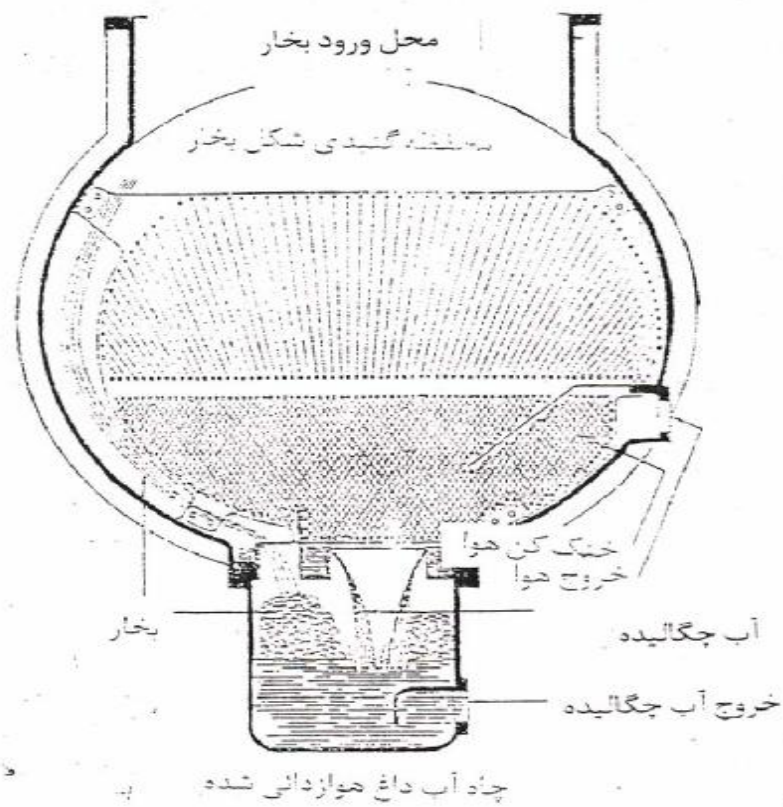
شکل (۱-۱۲) - مقطع یک چگالنده (لانه لوله) که در زیر توربین به طور محوری آویزان است

لیکن در برخی از چگالنده ها بخش خنک کن هوا در مجاورت صفحه اتصال لوله ها در ورودی آب خنک کن استقرار می یابد و شامل لوله های مجزا نیست، بلکه شامل انتهای سرد تمامی لوله های می گردد.

در شکل (۱-۱۳) نمونه ای از یک چگالنده سطحی نشان داده شده که در آن مسیرهای بخار و ناحیه مکش هوا مشخص گردیده است. در دفع هوا، همیشه مقداری بخار نیز همراه است و لذا مخلوط باید متراکم شده و سپس به اتمسفر تخلیه شود از محل های خروج هوا (هواگیرها)، مخلوط هوا - بخار از فضای بخار و از روی بخش سرد لوله های چگالنده مطابق شکل (۱-۱۴) یا از طریق یک خنک کن هوا خارج می شود. این عمل موجب می گردد که بخشی از رطوبت موجود تقطیر شده و نسبت هوا به بخار افزایش یابد.



شکل (۱-۱۳) - نمونه ای از یک چگالنده (در آن مسیر بخار و ناحیه مکش هوا نشان داده شده است)



شکل (۱-۱۴) - مقطع چگالنده، نشاندهنده بخش هوازدایی در عرض لوله های خنک کن هوا

### ۱-۳-۲- کلیات اجزاء چگالنده پاششی و عملکرد آن

در چگالنده های پاششی، آب خنک کن بطور مستقیم با بخار در تماس می باشد و انتقال حرارت بین آب خنک کن و بخار باعث تقطیر بخار خروجی از توربین می گردد. مکانیزم چگالنده پاششی به گونه ای است که آب خنک کن توسط نازلهایی در محیط محفظه های بخار پاشیده می شود بطوری که بر روی تیغه های هدایت کننده فیلم آب تشکیل می گردد. در واقع انتقال حرارت بین آب و بخار توسط همین فیلم های آب انجام می شود. در شکل (۱-۱۵) نمای ساده ای از یک قسمت از چگالنده پاششی نمایش داده شده است. این نازلها بر روی دلتاها واقع شده اند.

جریان آب خروجی از یک نازل به دو شاخه تقسیم می گردد که در خروجی از نازلها هر یک از جریانهای آب با تیغه های هدایت کننده در دو طرف برخورد نموده به صورت فیلم های آب (بشکل مثلث) تبدیل می گردد. زاویه بوجود آمده (زاویه رأس مثلث) در طراحی های مختلف مقادیر گوناگونی را اختیار می نماید که تقریباً در حدود  $30^\circ$  می باشد.

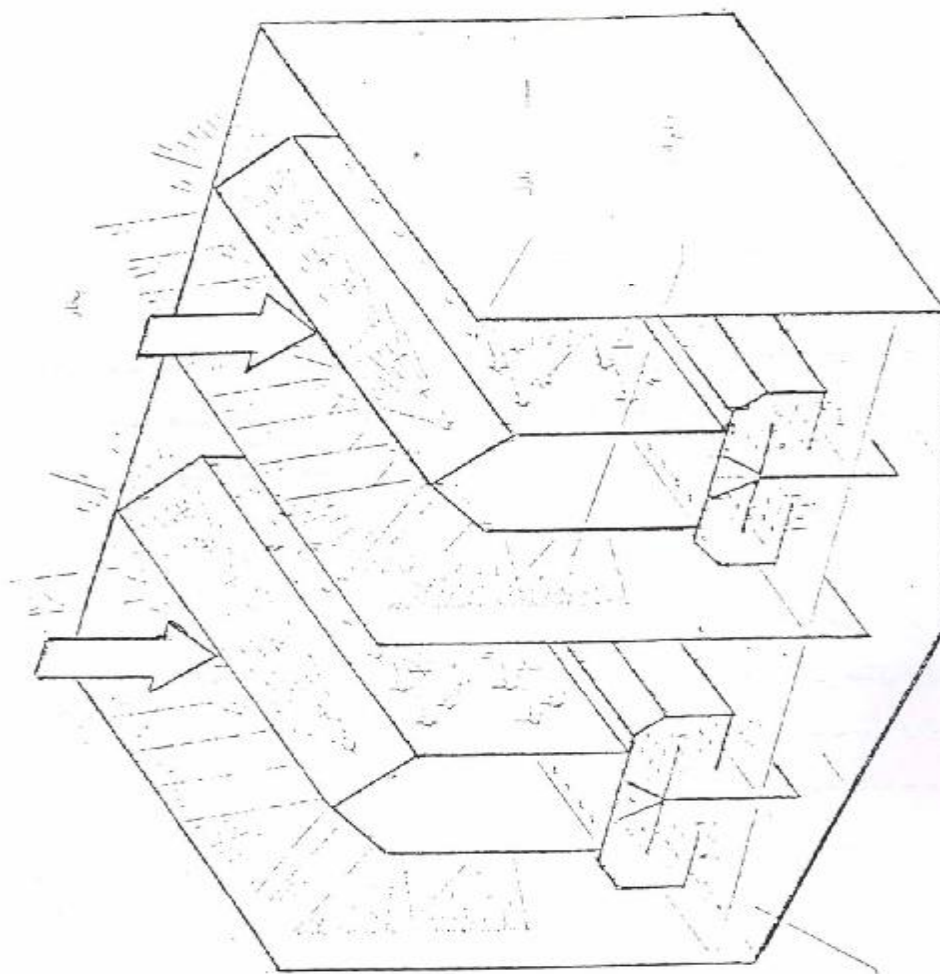
نازلهای موجود بر روی دلتاها در یک ردیف و کنار یکدیگر قرار گرفته اند؛ بنابراین بخار از بین فیلم های آب نازک که به فاصله کمی (مثلاً  $30\text{ mm}$ ) از یکدیگر قرار گرفته اند عبور می نماید. بر مبنای اندازه گیری های انجام شده فیلم آب پس از عبور مسافتی در حدود  $0.45\text{ m}$  تا  $0.5\text{ m}$  به دمای بخار می رسد. از آن فاصله به بعد فیلم آب با بخار تبادل حرارت نمی کند.

بدیهی است که میزان انتقال حرارت به تفاوت دما، سطح انتقال حرارت و ضریب انتقال حرارت وابسته می باشد. در محاسبات، ضریب انتقال حرارت نقش اساسی را ایفا می نماید و عملکرد چگالنده وابسته به تغییرات آن از مقطع ورود بخار تا مقطع خروجی (به چاهک آب داغ<sup>۳۹</sup>) می باشد. ضمناً نفوذ هوا به چگالنده باعث تغییر ضریب انتقال حرارت می گردد.<sup>۴۰</sup> بنابراین در محاسبات ابتدا باید میزان دبی هوای نفوذ کرده به چگالنده مشخص گردد سپس می توان براساس دبی هوا و دبی بخار ضریب انتقال حرارت را مشخص نمود. باید توجه داشت که برای مشخص نمودن ضریب انتقال حرارت از نمودارهایی که توسط

<sup>39</sup> - Hot Well

<sup>۲</sup>- مطابق استانداردهای بین المللی در طی بهره برداری در بار  $100\%$  با خاموش کردن پمپ خلا کاهش خلا نباید از  $2 \frac{\text{mmHg}}{\text{min}}$  تجاوز نماید [۷]

سازندگان بصورت تجربی بدست آمده استفاده می شود. همانگونه که بیان شد چگالنده تنها بخار را دریافت نمی کند بلکه مخلوط هوا و بخار در چگالنده باید در نظر گرفته شود.



شکل (۱-۱۵) - نمای ساده ای از یک قسمت چگالنده پاششی



مطابق قانون دالتون<sup>۴۱</sup> فشار کل  $P_c$  برابر است با مجموع فشار جزئی هوای نشتی به چگالنده  $P_a$  و فشار جزئی بخار  $P_s$ ، یعنی:

$$P_c = P_s + P_a \quad (۳-۱)$$

با عنایت به اینکه در طول مسیر بخار در چگالنده مقداری از بخار تقطیر می گردد، فشار جزئی بخار کاهش می یابد و در نتیجه دمای اشباع بخار نیز کاهش می یابد. بنابراین دمای اشباع آب چگالیده خروجی از چگالنده برابر با دمای اشباع بخار در مقطع خروجی توربین نمی باشد. این اختلاف دمای اشباع برای چگالنده هایی که در آنها مستقیماً به چاهک آب داغ دسترسی دارد (مثل چگالنده پاشش) برابر  $0^\circ\text{C}$  تا  $1^\circ\text{C}$  و برای انواع دیگر چگالنده  $3^\circ\text{C}$  تا  $5^\circ\text{C}$  می باشد<sup>۴۲</sup>. بنابراین در چگالنده پاششی با حرکت در طول مسیر بخار دمای اشباع کاهش می یابد و بنابراین میزان گرم شدن فیلم آب نیز کاهش می یابد. البته همچنانکه در ادامه نشان داده می شود کاهش اختلاف دما در ارتفاع دلتاها چندان محسوس نمی باشد اما در قسمت خنک کن ثانوی<sup>۴۳</sup> محسوس تر است، چرا که در این قسمت اثر میزان هوا در مقابل ضریب انتقال حرارت قابل توجه می باشد.

با توجه به مطالب فوق الذکر تقطیر بخار در چگالنده را باید به دو ناحیه مجزا تقسیم نمود. ابتدا ناحیه ای که در آن هوا اثر قابل توجهی بر روی دمای اشباع بخار ندارد و ناحیه دوم که وجود هوا باعث کاهش دمای اشباع بخار و تغییرات ضریب انتقال حرارت بین مخلوط هوا - بخار و آب خنک کن می گردد. مرزی دقیق بین این دو ناحیه پایدار وجود ندارد و موقعیت آن وابسته به شرایط بهره برداری و شرایط چگالنده می باشد.

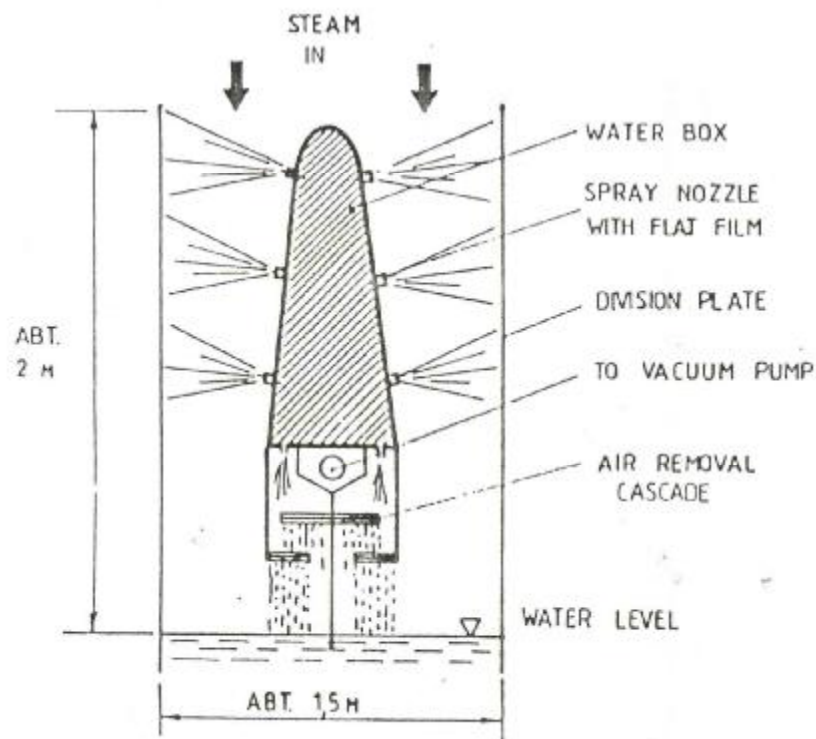
<sup>۴۱</sup> - Dalton's Law

۲- در چگالنده های پاششی که خوب طراحی شده باشند کاهش دمای اشباع بخار به  $2^\circ\text{C}$  / ۰/۰۲ می رسد بعنوان مثال شرکت EGI کاهش دما را بین  $0^\circ\text{C}$  تا  $5^\circ\text{C}$  / ۰/۵ ضمانت می کند

<sup>۴۳</sup> - After Cooler

### ۱-۲-۳-۱- بخش خنک کن هوا و محل تخلیه هوا

در چگالنده های تماس مستقیم (پاششی) نیز همانند چگالنده های سطحی تخلیه هوا از بخش خنک کن هوا انجام می گیرد. در شکل (۱-۱۶) نمایی از چگالنده پاششی به همراه بخش خنک کن هوا مشخص گردیده است. لوله ای که در زیر هدر قرار گرفته است دقیقاً در ناحیه ای قرار گرفته که دمای هوا حداقل بوده و رطوبت و مقدار بخار رسیده شده به این ناحیه نیز حداقل می باشد. لوله فوق الذکر در زیر هدر در طول چگالنده ادامه داشته و این لوله دارای سوراخهای متعددی جهت مکش هوا بداخل آن می باشد.



شکل (۱-۱۶) - نمایی از یک چگالنده پاششی

## ۴-۱- معرفی کلی نیازهای چگالنده

## ۴-۱-۱- نیازهای کنترل چگالنده

در هر دو سمت بخار و آب خنک کن به تعداد کافی محل‌های اندازه‌گیری فشار و درجه حرارت در نظر گرفته می‌شود. همچنین سیگنالی از سطح آب در چاهک آب داغ یا مخزن ذخیره آب داغ جهت نشان دادن سطح به اطاق فرمان ارسال می‌گردد.

دمای چگالنده که می‌تواند دمای بخار یا آب گرم شده باشد. برای چرخه بخار بسیار مهم است و به وسیلهٔ توربین بخار محدود می‌شود. (مقادیر خیلی بالا یا خیلی پایین مجاز نیستند. دمای کار یا بهره‌برداری در حدود ۳۰ تا ۶۵ °C است) چون خروجی توربین مجهز به دماسنج و خلأسنج مانومتریک جیوه‌ای است نیازی به اندازه‌گیری‌های اضافی وجود ندارد. در برخی حالتها، دمای آب خنک کن در ورودی و خروجی چگالنده در اتاق کنترل خوانده می‌شوند. این مقادیر همان مقادیر اندازه‌گیری شده در برج خنک کن هستند (بنابراین از افت حرارت در لوله‌ها می‌توان صرف‌نظر کرد).

پارامتر مهم دیگر، سطح آب در چگالنده است. اگر سطح آب بالا بیاید، ممکن است قسمت هوازدایی چگالنده غرق در آب شود. برای جلوگیری از این امر آب از طریق لوله‌های آب خنک کن تخلیه می‌شود. اگر سطح آب پایین بیاید، آب جبرانی وارد می‌شود و یا پمپ‌ها آب را در جهت عکس پمپ می‌کنند. دو حد نهایی برای آب وجود دارد:

- در حد بالایی توربین توقف اضطراری می‌کند تا از ورود آب به آن جلوگیری شود.

- در حد پایینی سطح آب، پمپ‌ها متوقف می‌شوند تا بصورت خشک کار نکنند.

چگالنده نیاز به سطح سنج دارد. برای این منظور یک لولهٔ عمودی از بیرون به چگالنده متصل می‌شود و سنسورها بر روی آن نصب می‌گردند.

این سطح توسط شیر کنترل که در خط آب چگالنده اصلی بعد از چگالنده بخار آب بندی<sup>۴۴</sup> تعبیه می‌گردد، کنترل می‌شود. شیر مذکور توسط یک کنترل کننده  $P + I$  به حرکت درمی‌آید. لذا به ازاء

<sup>44</sup> - Gland steam

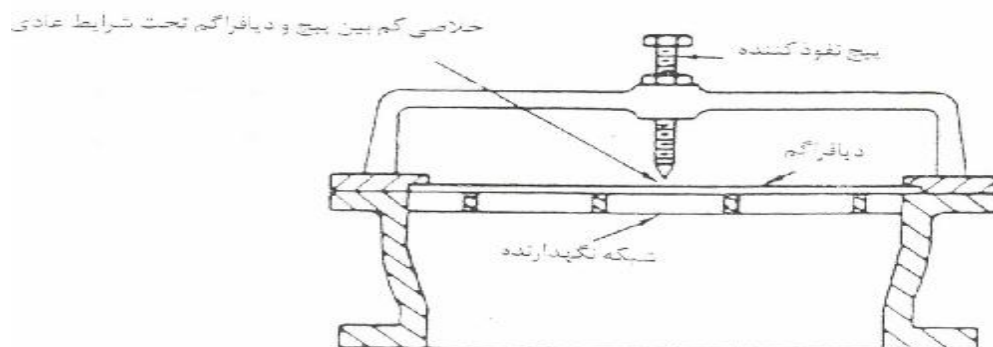
سطح پایدار آب در چاهک آب داغ یا مخزن ذخیره آب داغ، دبی ورودی به چگالنده با دبی خروجی پمپ کمکی (بوستر پمپ) آب چگالیده مطابقت دارد.

هنگامی که فی المثل به لحاظ بروز اشکال در سیستم کنترل سطح آب موجود در مخزن ذخیره آب داغ، سطح آن از حد معینی پایین تر رود، پمپهای چگالیده متوقف<sup>۴۵</sup> می گردند تا در قبال خشک چرخیدن محافظت شوند.

با کاربرد یک کلید انتخاب اتوماتیک/ دستی واقع در اطاق فرمان می توان حالت دستی را انتخاب و کنترل سطح آب موجود در هاتول را با باز و بسته کردن شیر کنترل (فرستادن فرمانهای باز و بسته کردن به موتور مربوط) در مواقع لزوم به طور دستی انجام داد.

#### ۱-۴-۲- نیازهای حفاظت چگالنده

جهت حفاظت سیستم در قبال افزایش فشار، نوعی سیستم فشار شکن در پوسته چگالنده در نظر گرفته می شود. این سیستم می تواند شکل یک دیافراگم قابل ترکیدن، دیسک بلند شونده، یا شیر خروجی تحت فشار آتمسفریک را داشته باشد. این مکانیزمها طوری طراحی می شوند تا در فشار نسبی<sup>۴۶</sup> ۵ psi (۰/۳۴ کیلوگرم بر سانتی متر مربع) در صورت افت خلاء به هر علت عمل کنند. شکل (۱-۱۷) نمونه ای از مکانیزم فوق را نشان می دهد:



شکل (۱-۱۷) - دیافراگم انفجاری (قابل ترکیدن)

<sup>45</sup> - Trip

<sup>46</sup> - Gauge

#### ۱-۴-۲-۱- اندازه گیری میزان نشتی هوا

روشهای عدیده ای در این رابطه وجود دارند که معین می نمایند که کاهش کیفی در عملکرد چگالنده به لحاظ کثیفی چگالنده است یا نشتی هوا که در نتیجه تجهیزات هوازدایی (خلاءسازی) را تحت بار اضافی قرار می دهد. عملیاتی که اجرا می شوند و فقط نیاز به اندازه گیری پس فشار چگالنده دارند به قرار زیر می باشند:

- جدا نمودن وسیله هوازدایی از چگالنده در حالت زیر بار و متعاقباً کنترل میزان افت خلاء

- تغییر تعداد پمپهای خلاء در حال کار و ارزیابی تأثیر آن بر خلاء

به طور نمونه میزان نزول غیرقابل قبول خلاء عبارتست از: ۴ میلی بار در دقیقه و بالاتر در مقایسه با میزان مورد انتظار تقریبی ۱ میلی بار در دقیقه.