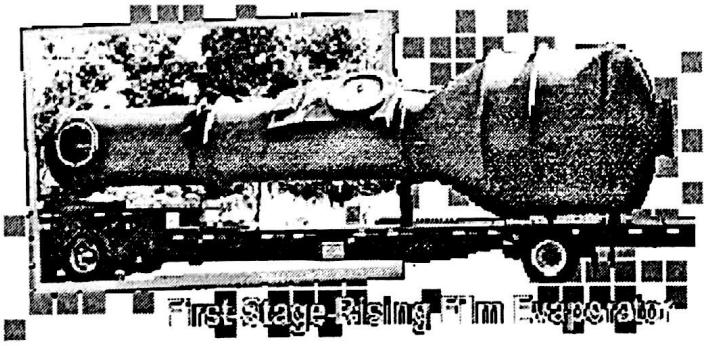
10-1- شرح وتوصیف

هدف از تبخیر بالا بردن غلظت یک محلول دارای یک حلال فرار و یک حل‌شونده غیر فرار است. در تبخیر، بخشی از حلال به بخار تبدیل می‌شود تا محلول غلیظی حاصل شود.

تبخیر با خشک کردن متفاوت است چون در تبخیر ماده باقی‌مانده مایع است که اغلب گرانروی بالایی دارد نه جامد. تبخیر با تقطیر نیز متفاوت است، چون در تبخیر سیستم‌ها اغلب یک‌جزئی هستند و اگر بخار تشکیل شده شامل دو جزء باشد، امکان جداسازی از راه تبخیر وجود ندارد. تبخیر با تبلور نیز متفاوت است چون در تبخیر غلظت محلول افزایش می‌یابد و تشکیل ساختمان کریستالی چندان اهمیتی ندارد. در حالتی خاص مثل تشکیل نمک محلول از آب، مرز بین تبلور و تبخیر چندان مشخص نیست.

به طور کلی در تبخیر یکی از دو جزء بخار یا محلول غلیظ تبخیر شده اهمیت زیادی دارند و طراحی بر اساس گرفتن این جزء صورت می‌گیرد. معمولاً محلول غلیظ با ارزش می‌باشد و بخار بعد از مایع شدن دور ریخته می‌شود. البته در مواردی مثل بازیابی حلال از پلیمرهای نامرغوب عکس این مطلب صادق است.



شکل 10-1- تبخیر کنندهٔ فیلمی

10-2- خصوصیات مایع

بیشتر مسائل عملی تبخیر به خصوصیات محلول غلیظ بر می‌گردد. خواص محلول بسیار متنوع است و نیاز به تجربه کافی در طراحی تبخیر کننده دارد به طوری که از انتقال گرمای ساده به یک تکنیک تبدیل شده است. بعضی از مهمترین خواص مایعات در حال تبخیر عبارتند از :

1- **غلظت:** در خلال فرایند تبخیر،غلظت محلول موجود در تبخیرکننده افزایش می‌یابد. این افزایش غلظت می‌تواند تا اشباع شدن محلول و نیز ایجاد بلور ادامه یابد. با افزایش غلظت محلول، ویسکوزیته و دانسیته به مقدار زیادی تغییر می‌کند. همچنین با افزایش مقدار جامد در محلول، نقطه جوش محلول به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد، در نتیجه دمای جوش یک محلول غلیظ بسیار بیشتر از محلول خالص در همان فشار است.

2- **کف کردن:** بعضی از مواد به هنگام تبخیر کف می‌کنند. کف باعث ایجاد ماندگی در گاز می‌شود (پدیده entrainment) در حالات بسیار شدید حتی ممکن است تمامی مایع بجوشد و به صورت تلفات خارج شود.

Scanned by CamScanner

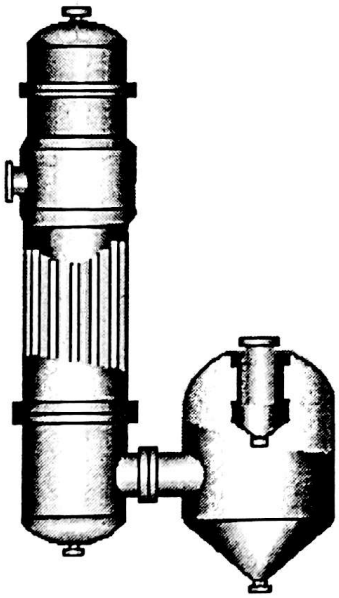
3- **حساسیت دمایی:** بسیاری از مواد شیمیایی حساس، محصولات دارویی و غذایی، وقتی در زمانی نسبتاً کوتاه تا درجه حرارت متوسطی گرم شوند، ضایع می‌شوند. در غلیظ کردن این مواد تکنیک‌های خاصی نیاز است تا هم دمای مایع و هم‌زمان گرم کردن را کاهش دهد.

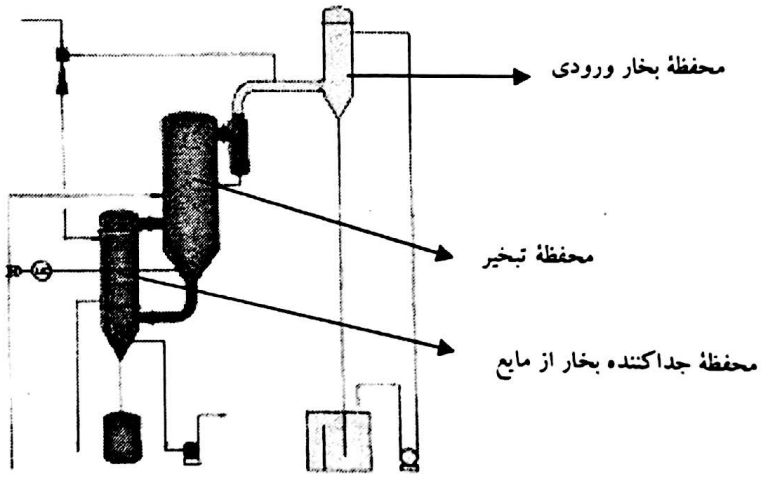
4- **جرم‌گرفتگی:** بعضی از محلول‌ها در عملیات تبخیر در دستگاه ایجاد جرم‌گرفتگی می‌کنند. این موضوع باعث کاهش میزان انتقال حرارت می‌شود که پدیده نامطلوبی است و در نتیجه باید طراحی طوری انجام گیرد که جرم‌گرفتگی حداقل باشد زیرا تمیز کردن مشکل و پرهزینه است.

5- **مصالح ساخت:** بیشتر از جنس فولاد استفاده می‌شود. اما اگر محلول در فولاد ایجاد خوردگی کند باید از آلیاژهای گران‌قیمت‌تر استفاده کرد. فولاد ضد زنگ معمولاً اولین انتخاب است.

10-3- تبخیرکننده‌های یک‌مرحله‌ای و چندمرحله‌ای

بسیاری از تبخیرکننده‌ها با حرارت ناشی از میعان بخار آب در لوله‌های فلزی، گرم می‌شوند. دراکثر مواقع ماده‌ای که گرم می‌شود در لوله قرار می‌گیرد. علت این موضوع سادگی شستشوی لوله‌ها می‌باشد زیرا مایع غلیظ رسوب بیشتری می‌دهد. فشار بخار آب اغلب پایین و زیر 3 atm و مایع معمولاً در خلأ و در فشار 0.05 atm می‌باشد.





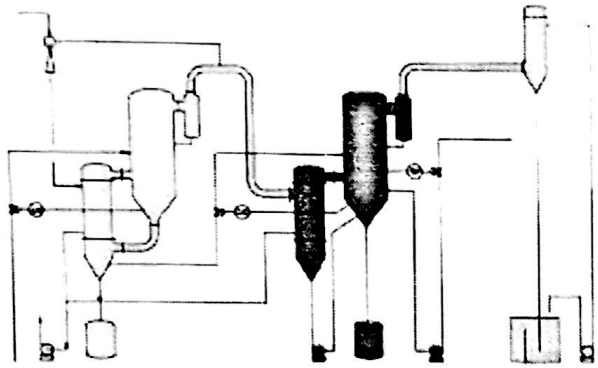
شکل 10-2- نمایی از تبخیرکنندهٔ فیلمی یک مرحله‌ای

وقتی از یک تبخیر کننده استفاده شود، بخار حاصل از مایع در حال جوش به مایع تبدیل می‌شود و دور ریخته می‌شود. به این روش، تبخیر یک‌مرحله‌ای گویند که روش ساده و با هزینه ساخت پایین می‌باشد.

اگر بخار خروجی از یک تبخیرکننده وارد محفظه بخار تبخیرکننده دیگری شود و بخار حاصل از این تبخیرکننده وارد مبرد گردد، در این عمل از دو دستگاه تبخیرکننده استفاده کرده‌ایم، اما بخار حاصل از مرحله اول به جای دور ریخته شدن وارد یک تبخیرکننده دیگر می‌شود و در آنجا صرف تبخیر محلول می‌شود. در این حالت اقتصاد بخار را بهبود داده‌ایم. یعنی با همان میزان بخار ورودی از utility تقریباً دو برابر مرتبه تبخیر قبل

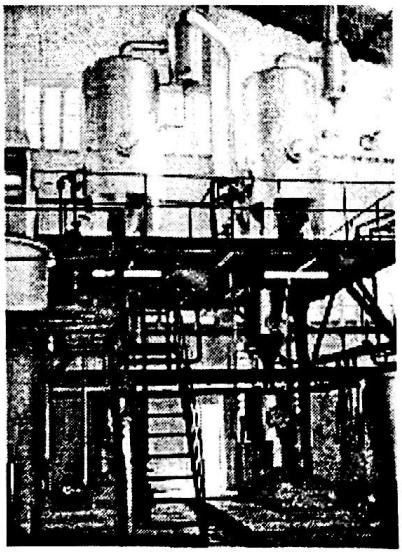
Scanned by CamScanner

انجام داده‌ایم. با این کار هزینه عملیاتی کاهش می‌یابد، یعنی انرژی کمتری نیاز است حال آنکه هزینه ساخت دستگاه افزایش یافته است.



شکل 10-3- نمایی از یک تبخیرکنندهٔ فیلمی دو مرحله‌ای. بخار حاصل از مایع تغلیظ شده به مرحلهٔ بعد می‌رود.

در این صورت احتیاج به یک بهینه‌سازی می‌باشد بین هزینه عملیاتی و هزینه ساخت اولیه دستگاه. تعداد واحدهای بهینه توصیه شده برای عملیات تبخیر بین 3 تا 5 مرحله می‌باشد.



شکل 10-4- یک تبخیرکنندهٔ فیلمی دو مرحله‌ای

10-4- انواع تبخیرکننده

الگوی جریان در تبخیرکننده‌ها به دو صورت می‌باشد:

1- تبخیرکننده با یک مسیر عبوری

2- تبخیرکننده با مسیر گردشی

در نوع اول خوراک مایع فقط یک بار از داخل لوله عبور می‌کند و با آزاد کردن بخار به صورت محلول

Scanned by CamScanner

غلیظ از تبخیرکننده خارج می‌شود. کاربرد این نوع الگوی جریان برای مواد حساس به گرما می‌باشد. زیرا مواد تنها یکبار از لوله‌های تبخیرکننده عبور می‌کند.

در تبخیرکننده‌های گردشی، حوضچه مایعی در دستگاه تعبیه شده است. خوراک ورودی با مایع داخل حوضچه مخلوط می‌شود و مخلوط حاصل از داخل لوله‌ها می‌گذرد. مایع تبخیر نشده از داخل لوله تخلیه شده، به حوضچه بر می‌گردد. پس فقط قسمتی از کل تبخیر در یک مسیر انجام می‌شود. همه تبخیرکننده‌های به روش گردش اجباری به این صورت کار می‌کنند. تبخیرکننده‌های با جریان رو به بالا نیز معمولاً از واحدهای گردشی تشکیل شده‌اند. تبخیرکننده‌های گردشی برای مایعات حساس به گرما مناسب نیستند. در به وجود آوردن گردش از پمپ یا اختلاف دانسیته استفاده می‌شود. در ساخت تبخیرکننده‌های چند مرحله‌ای معمولاً از الگوی جریان "یک مسیر عبوری" استفاده می‌شود. حال آنکه در ساخت تبخیرکننده‌های تک‌مرحله‌ای معمولاً از الگوی جریان "مسیر گردشی" استفاده می‌شود.

به علت کاربرد گسترده تبخیرکننده‌ها در صنعت، امروزه طراحی‌های متنوعی از این دستگاه وجود دارد. معرفی تمامی این تبخیرکننده‌ها از حوصله بحث خارج می‌باشد و در ادامه تنها به توضیح انواع تبخیرکننده‌های فیلمی می‌پردازیم.

10-4-1- تبخیرکننده فیلمی

دستگاه تبخیرکننده فیلمی یکی از پرکاربردترین انواع تبخیرکننده‌ها در صنایع شیمیایی می‌باشد. به طور کلی این تبخیرکننده برای موادی با ویسکوزیته بالا و حساس به گرما بکار می‌رود. اساس کار این تبخیرکننده‌ها بر مبنای تشکیل فیلم مایع در حال تبخیر در اطراف محیطی است که انتقال حرارت صورت می‌گیرد.

سه نوع تبخیرکننده فیلمی وجود دارد:

Falling Film (فیلم پایین رونده)

Rising Film (فیلم بالا رونده)

Thin Film(فیلم نازک)

حال به شرح کامل هر کدام از این تبخیرکننده‌ها می‌پردازیم.

10-4-1-1- تبخیرکننده با فیلم پایین رونده (Falling Film)

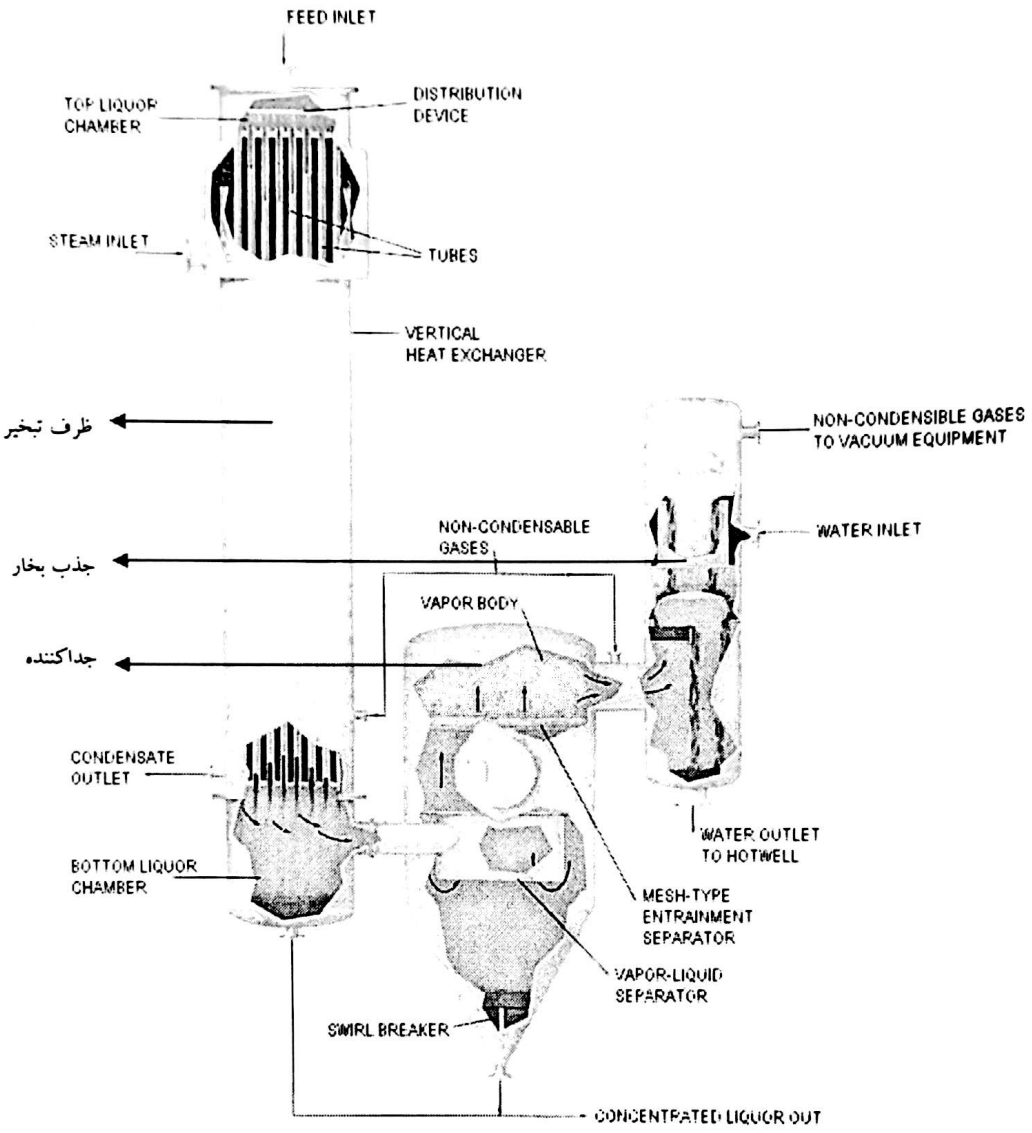
قسمت‌های اصلی این دستگاه عبارتند از:

1- مبدلی لوله‌ای که بخار در داخل پوسته و ماده‌ای که غلیظ می‌شود در لوله‌ها قرار می‌گیرد.

2- جداکننده مایع از بخار (Separator)

3- توزیع‌کننده مایع در قسمت‌های فوقانی

Scanned by CamScanner



شکل 10-5- نمایی از یک تبخیرکننده با فیلم پایین رونده

در مقایسه با دو نوع تبخیرکننده دیگر این تبخیرکننده‌ها برای مایعاتی با خواص جرم‌گرفتگی و رسوب کم و ویسکوزیته پایین‌تر و نیز مایعات به نسبت رقیق مناسب می‌باشد. این تبخیرکننده‌ها به میزان وسیعی در صنایع شیمیایی، غذایی و صنایع مشابه کاربرد دارند.

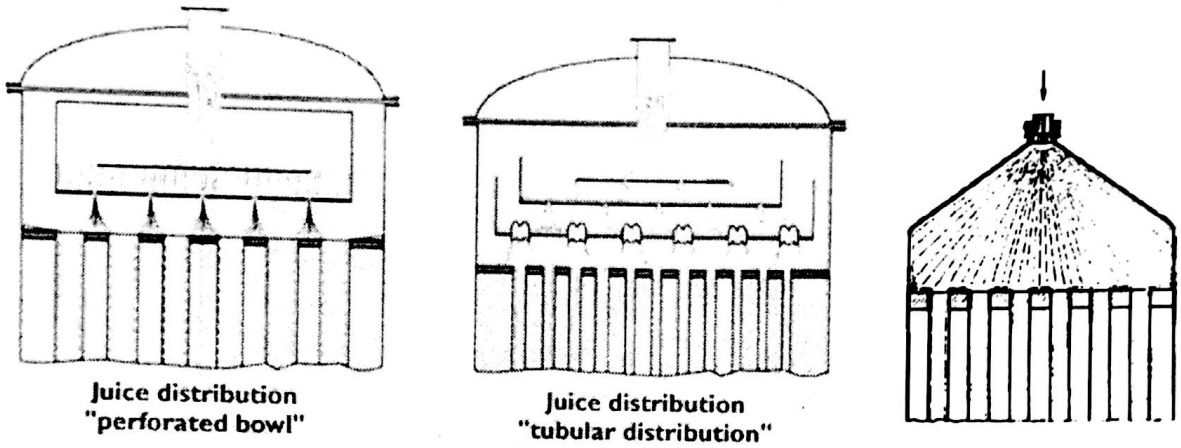
در حالت تک‌مسیره، مایع از قسمت فوقانی وارد می‌شود و در داخل لوله‌های داغ جریان می‌یابد (به صورت فیلم) و از انتهای ستون خارج می‌شود. لوله‌ها بزرگ هستند و قطر آنها 50 تا 250 میلی‌متر (2 تا 10 اینچ) می‌باشد.

بخار حاصل از مایع همراه مایع به طرف پایین لوله‌ها حرکت کرده، از قسمت انتهایی دستگاه خارج می‌شود.

مشکل اساسی این تبخیرکننده‌ها نحوه توزیع مایع به طور یکنواخت و به صورت فیلم در داخل لوله‌ها است. این کار با قرار دادن صفحه فلزی سوراخ‌دار (مشبک) در بالای صفحه لوله انجام می‌شود که باعث جریان مایع به

Scanned by CamScanner

طور یکنواخت در لوله می‌شود. روش دیگر استفاده از توزیع کننده‌های عنکبوتی با بازوهای شعاعی می‌باشد که خوراک تحت حالت پایا به داخل لوله‌ها پاشیده می‌شود. روش دیگر استفاده از یک پاشنده در داخل هر لوله است.



شکل 10-6- نمایی از چگونگی تشکیل فیلم مایع در لوله‌ها. در شکل سمت چپ از صفحهٔ مشبک استفاده شده ودر شکل سمت راست از پاشش در لوله‌ها استفاده شده

اگر امکان گردش مجدد مایع بدون اینکه ضایع شود وجود داشته باشد، توزیع ماده در لوله با برگرداندن مایع به قسمت فوقانی لوله آسان می‌شود. حجم جریان مایع در لوله‌ها در این حالت بسیار بیشتر از حالت تک‌مسیره است.

مزایای تبخیرکننده‌های با فیلم پایین رونده:

1- ساخت ساده

2- عملیات تمیز کردن راحت

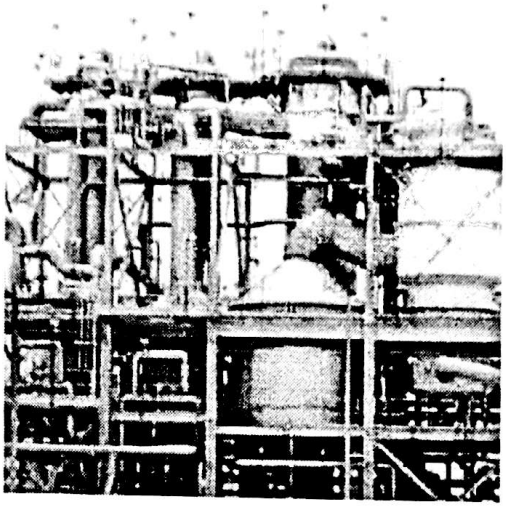
3- ضرایب انتقال حرارت بالا

4- امکان عملیات در اختلاف دمای پایین (در واحدهایی که از نظر مکانیکی و حرارتی محدودیت دارند)

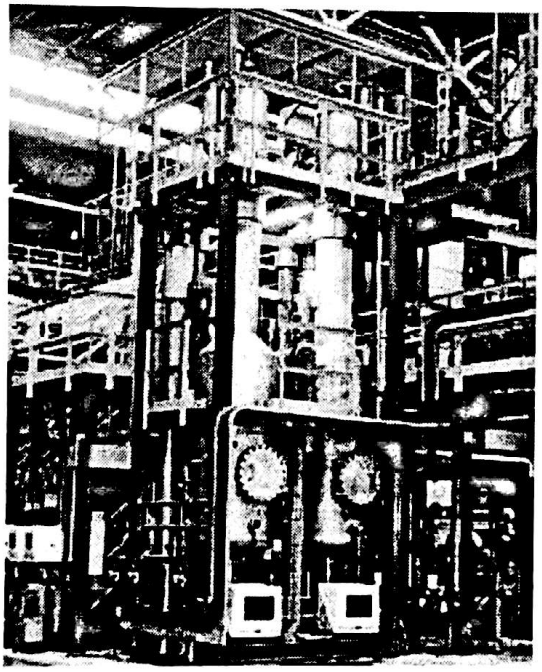
5- زمان اقامت کوتاه (برای محصولات با حساسیت دمایی)

6- انعطاف‌پذیری عملیاتی خوب

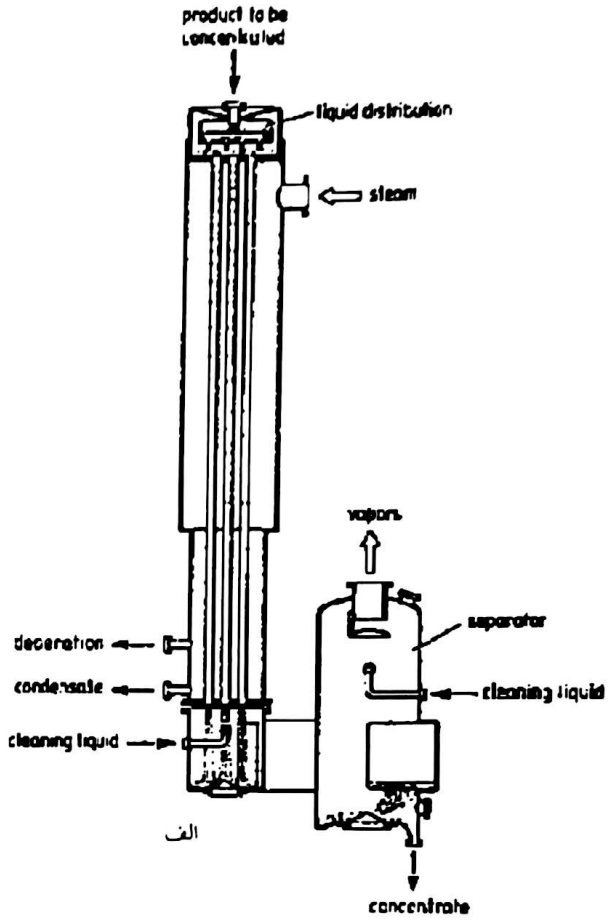
Scanned by CamScanner



ب



ج



الف

شکل 10-7- الف. نمایی از نحوهٔ عملکرد تبخیر کننده با فیلم پایین رونده، ب. تبخیر کننده سه مرحله‌ای با فیلم پایین رونده، ج. تبخیر کننده دو مرحله‌ای با فیلم پایین رونده

10-4-1-2- تبخیرکننده‌های با فیلم بالارونده (Rising Film)

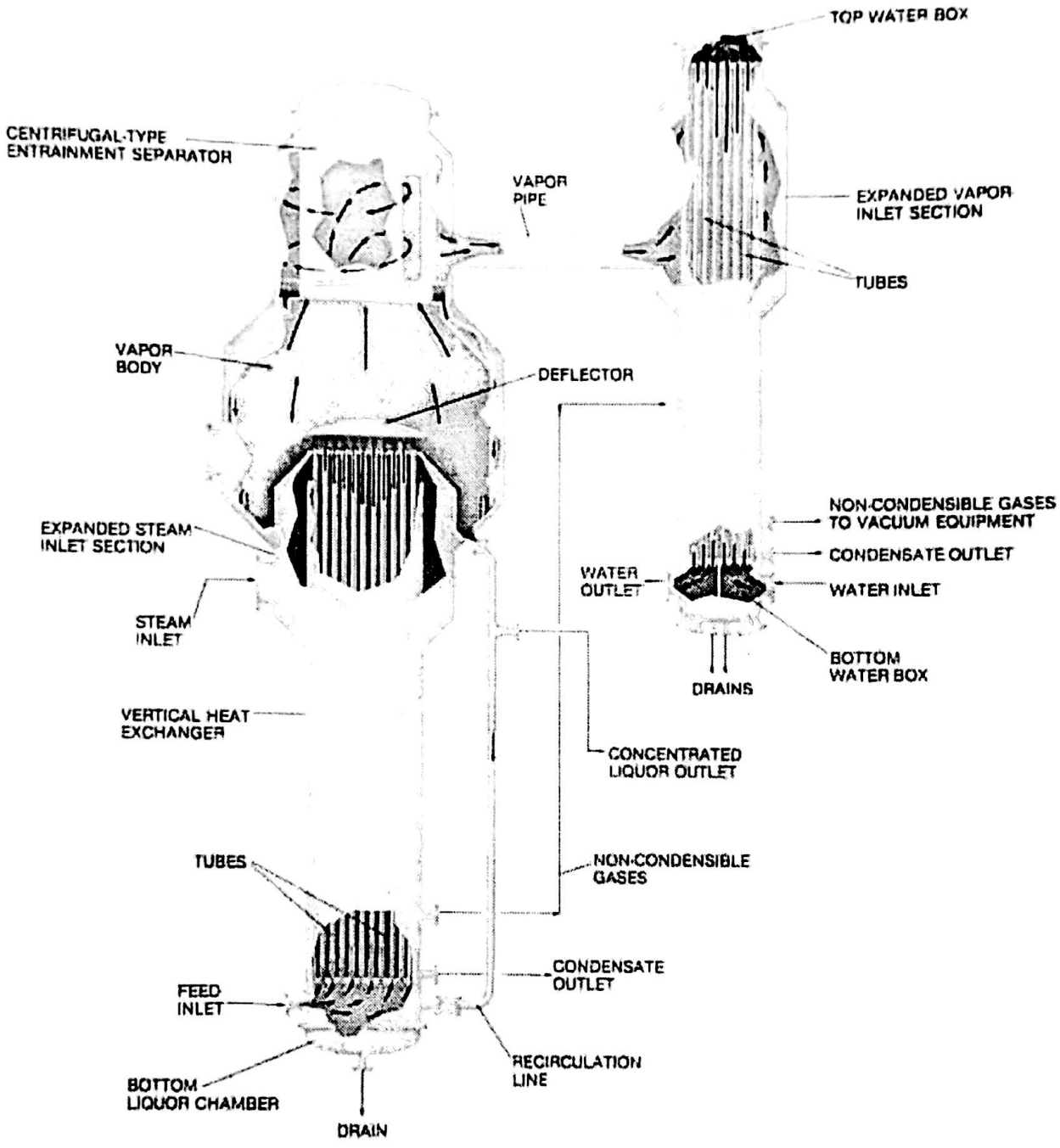
شکل کلی این دستگاه مثل دستگاه تبخیرکننده با فیلم پایین‌رونده می‌باشد با این تفاوت که مایع از پایین وارد می‌شود. قسمت‌های اصلی دستگاه عبارتند از:

1- مبدلی لوله‌ای که بخار در داخل پوسته و مایعی که غلیظ می‌شود در لوله‌ها قرار می‌گیرد.

2- جداکننده مایع از بخار (Separator)

3- وقتی سیستم به صورت برگشتی کار کند، شاخه‌ای که مایع را از جداکننده به انتهای مبدل برمی‌گرداند.در این تبخیرکننده قطر لوله‌ها از تبخیرکننده‌های با فیلم پایین‌رونده کمتر می‌باشد و حدود 25 تا 50 میلیمتر (1 تا 2 اینچ) می‌باشد و طول آنها 3 تا 10 متر است.

Scanned by CamScanner

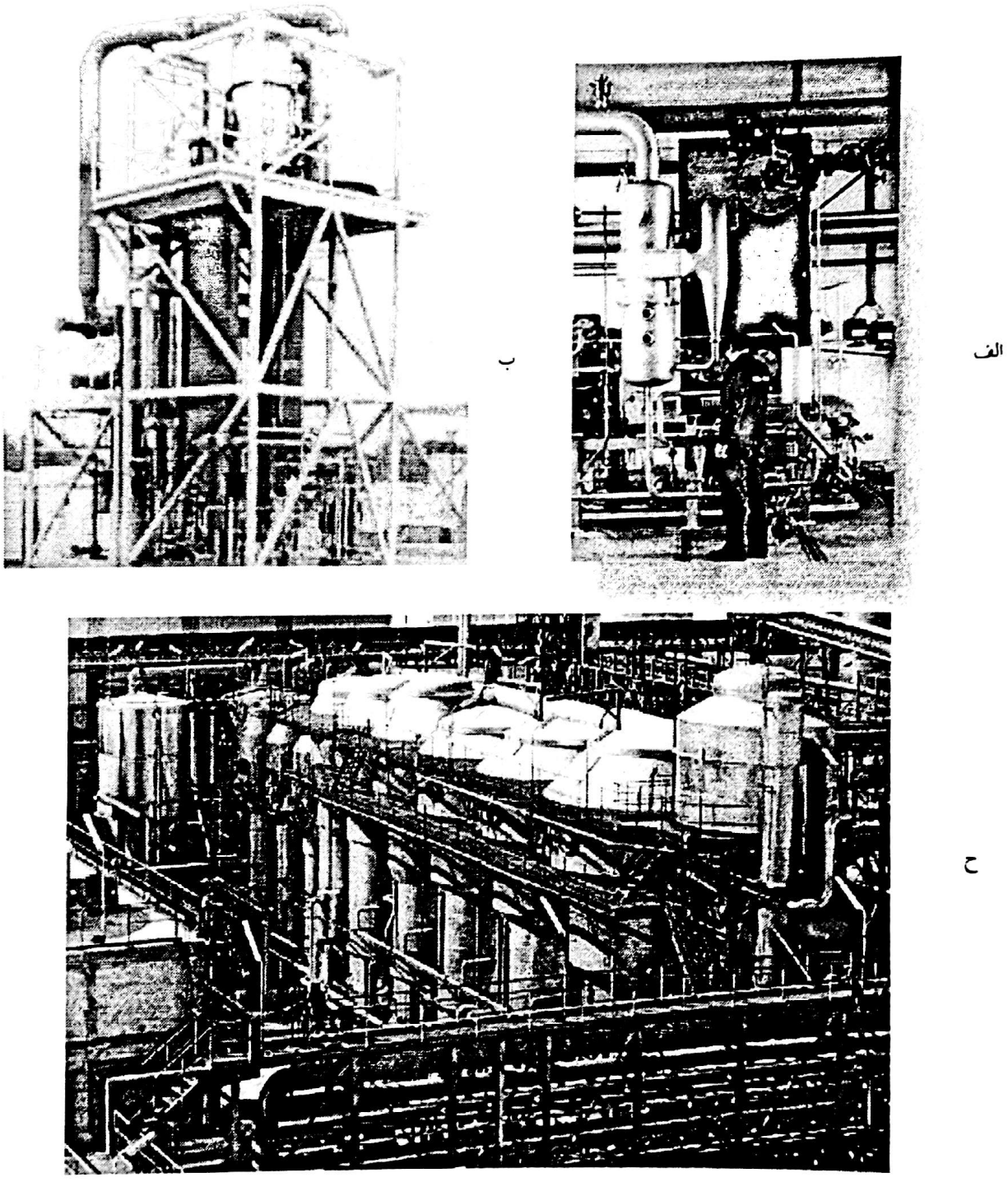


شکل 10-8- نمایی از یک تبخیرکننده با فیلم بالا رونده

خوراک رقیق به همراه مایعی که از جداکننده بر می‌گردد مخلوط شده سپس وارد دستگاه می‌شود. محلول غلیظ شده از انتهای گرم‌کن خارج می‌شود. مایع غلیظ باقی‌مانده وقتی از داخل لوله عبور می‌کند به طور جزئی تبخیر می‌شود. مخلوط مایع و بخار از قسمت فوقانی لوله‌ها وارد جداکننده می‌شود. در این تبخیرکننده نیازی به پخش مایع روی دیواره‌های لوله نیست. هنگامیکه تبخیر شروع می‌شود، بخار تولید شده در لوله‌ها، مایع غلیظ شده را به سمت بالا می‌برد. به علت رژیم جریان آشفته ضریب انتقال حرارت بهبود می‌یابد.

Scanned by CamScanner

در بالای تبخیرکننده برای حذف قطرات موجود در بخار، قبل از ورود به جداکننده (Separator) از یک دسته صفحات پره‌دار و یا mesh استفاده می‌شود. تبخیرکننده‌های با فیلم بالارونده برای مایعاتی که ایجاد کف می‌کنند بسیار موثر هستند. وقتی مخلوط مایع و بخار با سرعت بالا از میان صفحات پره‌دار عبور می‌کند، کف از بین می‌رود.



شکل 10-9- تصاویری از چند تبخیرکننده با فیلم بالا رونده
الف. یک مرحله‌ای ب.وج. چند مرحله‌ای

Scanned by CamScanner

مزایای این تبخیرکننده‌ها:

1- هیچ وسیله‌ای برای پخش مایع جهت ساخت فیلم لازم نیست

2- پمپ‌های Circulating حذف شده‌اند و نیازی به آنها نیست

3- ابزار دقیق کمتری مورد نیاز است

4- ساختار ساده‌ای دارد

5- برای مایعات با ویسکوزیته بالا و تمایل جرم‌گرفتگی مناسب می‌باشد.

محدودیت‌ها:

1- شرایط عملیاتی، انعطاف‌پذیری دارد.

2- ضریب انتقال حرارت پایین‌تر می‌باشد، زیرا بخار تولید شده نیز به همراه مایع در مجاورت انتقال حرارت قرار می‌گیرد.

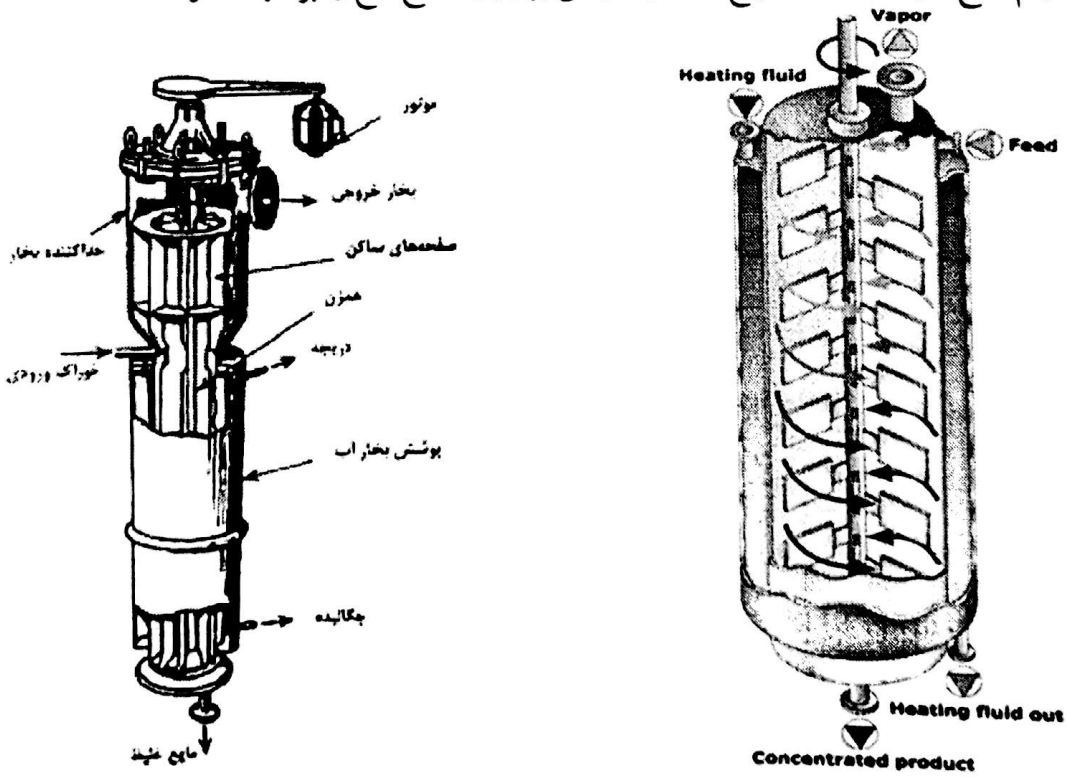
10-4-1-3- تبخیرکننده‌های با فیلم نازک (Thin Film)

یک تبخیرکننده با فیلم نازک از بخش‌های اصلی زیر تشکیل شده است:

1- یک بخش استوانه‌ای شکل ژاکت‌دار

2- یک بخش جداکننده بخار با صفحات ساکن در بالای ظرف استوانه‌ای

3- یک روتور چرخنده که در انتهای آن یکسری تیغه (blade) و یا جاروکننده (wipe) نصب می‌باشد که وظیفه تشکیل فیلم مایع غلیظ و انتقال سریع محصول فیلمی بر روی سطح داغ را بر عهده دارند.



شکل 10-10- نماهایی از تبخیرکننده با فیلم

Scanned by CamScanner

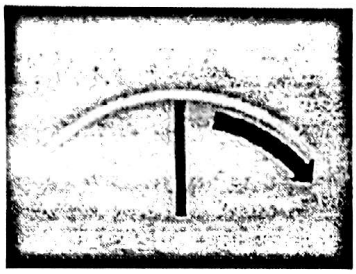
مزیت اصلی تبخیرکننده Thin Film در انتقال حرارت سریع به مایعات با ویسکوزیته بالا می‌باشد. در دمای تبخیر محصول ممکن است ویسکوزیته بالای P1000 داشته باشد. در تبخیرکننده‌های دیگر با افزایش ویسکوزیته ضریب انتقال حرارت کاهش می‌یابد، اما در این تبخیرکننده کاهش ضریب کمتر است. از اینرو برای موادی با ویسکوزیته بالا و حساس به درجه حرارت مثل ژلاتین، مواد خام پلیمری، آنتی‌بیوتیک‌ها و آب‌میوه‌ها بسیار کاربرد دارد.

در این تبخیرکننده معمولاً فشار بسیار پایین می‌باشد و می‌توان تا فشار 1 mmHg خلا ایجاد کرد. حتی برخی از انواع جدید وجود دارند که در فشارهای پایین‌تر نیز کار می‌کنند.

سه روش جهت ایجاد فیلم نازک در این تبخیرکننده‌ها وجود دارد:

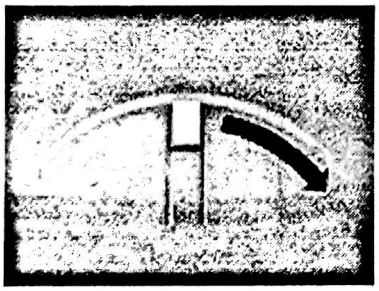
1- روتور با تیغه ثابت (Rigid Blade Rotor):

در این روش بین تیغه و سطح انتقال حرارت یک فاصله ثابت وجود دارد.



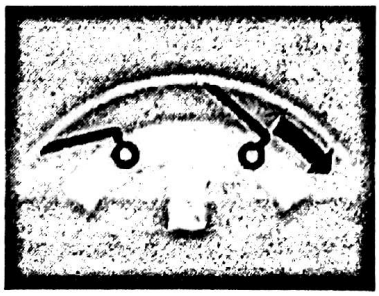
2- روتور جارویی (wiper) با حرکت شعاعی (Rotor with Radial Moving wiper) :

در این روش روی روتور جاروهایی نصب می‌شود که وظیفه توزیع مایع را بر عهده دارند. جنس این جاروها معمولاً گرافیت می‌باشد.



3- روتور با تیغه جارویی لغزنده (Rotor with Hinged Free-Swinging wiper Blade):

در این روش روی روتور مثل قبل جاروهایی وصل می‌شوند که روی روتور لولا شده‌اند و انعطاف‌پذیرتر از حالت قبل می‌باشد.



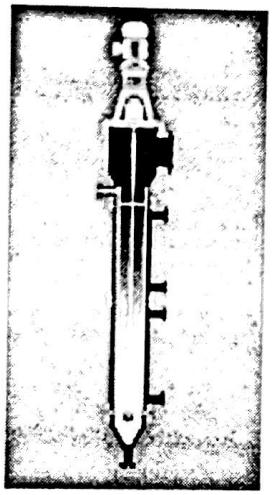
Scanned by CamScanner

محدودیت‌های تبخیرکننده با فیلم نازک:

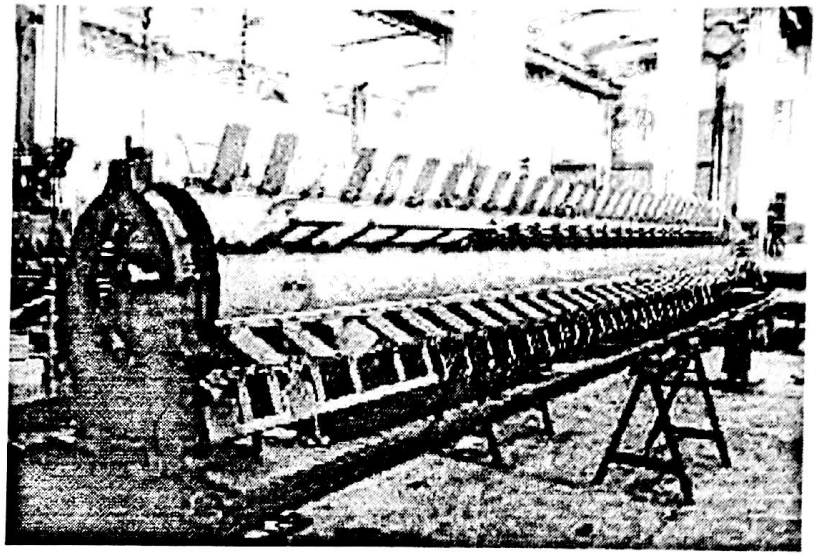
1- هزینه ساخت بالا

2- قسمت‌های متحرک میانی که باید نگهداری و تعمیر شوند و نیز هزینه عملیاتی بیشتری لازم دارند.

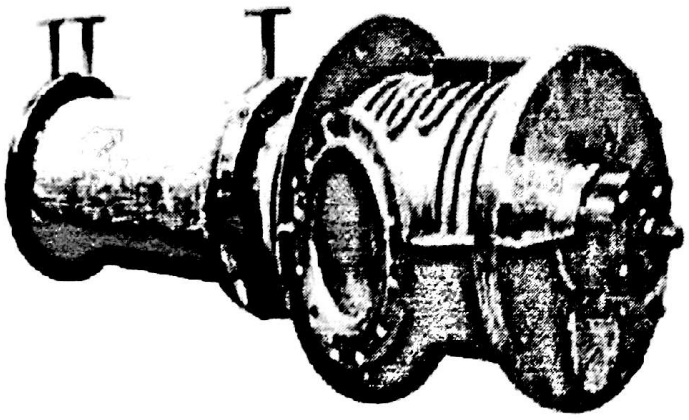
3- ظرفیت پایین این تبخیرکننده در مقایسه با تبخیرکننده‌های لوله‌ای



ب



الف



ج

شکل 10-11- تصاویری از تبخیرکننده با فیلم نازک
الف. تصویری از یک روتور
ب. نمایی از تبخیرکننده با فیلم نازک
ج. جدارهٔ یک تبخیرکننده با فیلم نازک

Scanned by CamScanner

فصل یازدهم

برج های خنک کننده
Cooling Towers

Scanned by CamScanner

11-1- شرح وتوصیف

از برج‌های خنک کننده به طور گسترده برای خنک کردن مقادیر زیادی آب در نیروگاههای حرارتی، پالایشگاه‌ها، نیروگاه‌های اتمی ، کارخانه‌های فولادسازی، سیستم تهویه مطبوع و سایر مراکز صنعتی استفاده می‌شود. برای کاهش دمای قسمتهای مختلف در صنایع یاد شده لازم است تا گرمای حاصل از عملکرد ماشین‌ها و موتورها به نحو مناسبی از سیستم گرفته، به محیط خارج منتقل شود.

از آنجایی که میزان تبخیر آب در این صنایع بسیار بالا و آب مصرفی آنها دارای خلوص بالا و طبیعتاً قیمت گران می‌باشد، لازم است این بخارها مجدداً به آب تبدیل شده، مورداستفاده قرار گیرند. تبدیل بخار به آب از طریق گرفتن گرمای آن امکان‌پذیر است. لذا چنانچه این بخار گرم با آب سرد درمجاورت هم واقع شوند گرمای بخار آب گرفته شده، به آب تبدیل می گردد. برای ادامه روند فوق نیاز به آب سرد می‌باشد. یک شیوه ابتدایی در این مورد برگشت آب گرم به محیط و استفاده از آب تازه است. این عمل به علت بالا بودن دمای آب و حجم بالای آن از نظر زیست‌محیطی قابل قبول نمی‌باشد و همچنین تامین این مقادیر عظیم آب برای این صنایع همیشه میسر نیست. آنچه در اکثر صنایع برای دست‌یابی به‌منظور فوق رواج یافته، استفاده از برج‌های خنک کننده(Cooling tower) می‌باشد.

برج خنک کن عبارت است از یک ساختمان بتنی، فلزی و یا چوبی، با شکل و ترکیب خاص که برای سرمایش آب گرم به صورت طبیعی یا مکانیکی طراحی و ساخته می‌شود. طبعاً ابعاد و شکل این سازه، تابعی از میزان تبادل گرمایی موردنیاز و مکانیزم سرمایش می‌باشد.

در این سیستم آب گرم به طور مستقیم و یا غیرمستقیم در تماس با جریان هوای طبیعی یا مکانیکی قرار گرفته و گرمای آن به هوا منتقل می‌شود و برای مصرف بعدی مورداستفاده قرار می گیرد.

در ادامه مختصری راجع به انواع برجهای خنک کننده توضیح داده شده و تصاویری از چند Cooling tower رایج در صنایع آورده شده است.

11-2- تقسیم‌بندی انواع برج‌های خنک کننده

تقسیم‌بندی‌های متفاوتی برای برج‌های خنک کن آمده است؛ از جمله براساس نوع جریان و یا براساس عامل تبادل گرما (طبیعی یا مکانیکی) و یا بر حسب نحوهٔ تبادل (مستقیم یا غیرمستقیم).

11-2-1- برج‌های خنک کن طبیعی

این نوع برج‌ها، ساختمان‌هایی هستند، قائم (با ارتفاع نسبتاً زیاد) به صورت استوانه‌ای، مخروط ناقص که از پوسته‌های فلزی یا بتنی و با سطح جانبی مسدود تشکیل شده‌اند، که بر روی تعدادی ستون قائم یا مورب با بلندی نسبتاً زیاد (تا حدود 20 متر) قراردارند. اساس کار این برج‌ها عبارت است از استفاده از قانون فیزیکی حاکم در دودکش‌ها، یعنی جریان یافتن هوا از ناحیه پرفشار به ناحیه کم‌فشار.

Scanned by CamScanner

استفاده از برج‌های خنک‌کن طبیعی نسبت به نوع مکانیکی، دارای مزایای زیر می‌باشد:

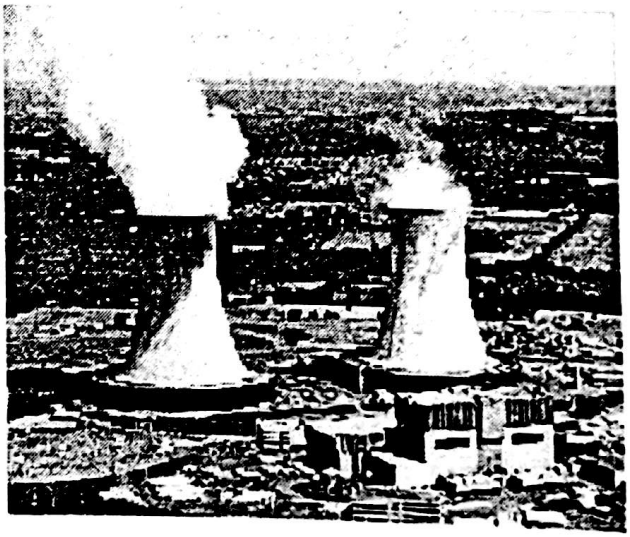
1-هزینه کم بهره‌برداری؛ زیرا نیاز به انرژی خاص نداشته و برای بهره‌برداری از آن نیازی به نصب، تعمیر و نگهداری خاصی نیست.

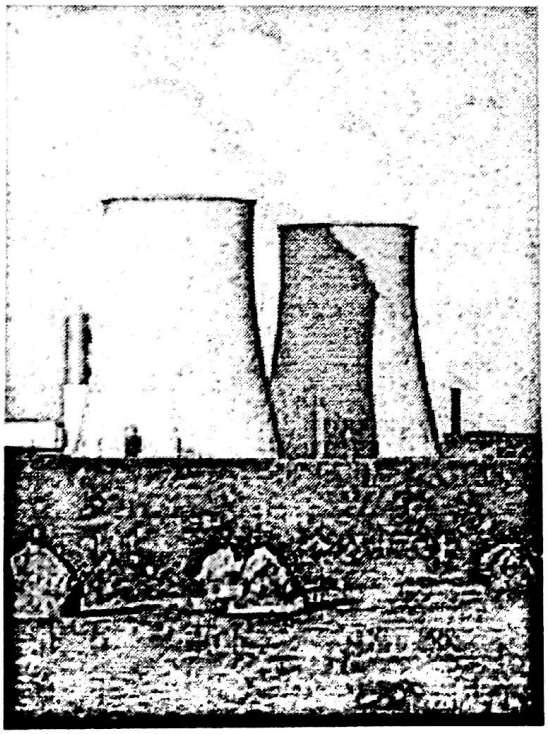
2-همیشه آماده بهره‌برداری است و احتیاج به متوقف کردن و تعمیرات دوره‌ای ندارد.

3-برای ظرفیت‌های بسیار زیاد سرمایش، مناسب است.

در این قسمت مکانیزم کار این نوع به طور مختصر شرح داده می‌شود:

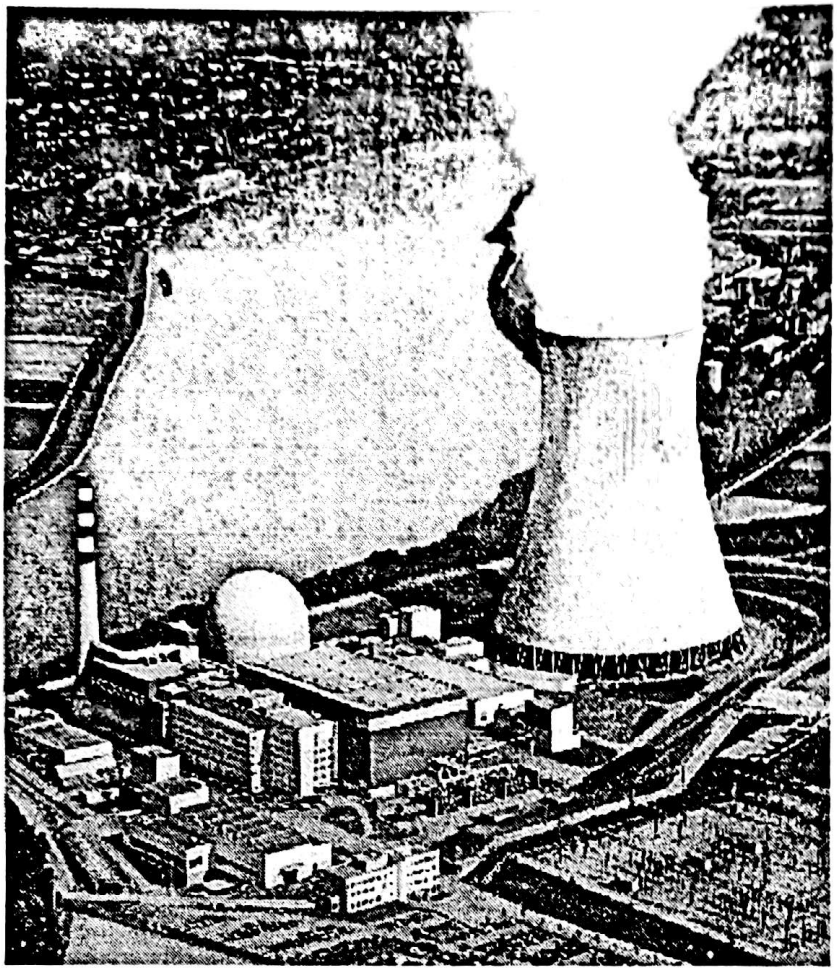
آب گرم از قسمتهای پایین این برج‌ها، به جریان درآمده و مقداری از گرمای آن به هوای مجاور منتقل شده، باعث گرم شدن و درنتیجه سبک شدن هوا می‌گردد. هوای گرم شده در اثر سبکی وزن به ارتفاعات بالاتر در داخل برج منتقل می‌شود و به این ترتیب هوای سبک در ارتفاعات بالا و هوای سنگین در ارتفاعات پایین قرار می‌گیرد که عامل جریان یافتن هوا از پایین به بالاست. برای آنکه هوای سردی که در ارتفاعات پایین و در سطح زمین، در اطراف برج وجود دارد، بتواند در این جریان هوایی شرکت نماید، قسمتهای پایین ساختمان برج در سطح جانبی باز است و دراین قسمت فقط ستونهای برج قرار دارند. در زیر تصاویری از این نوع برجها آورده شده است.

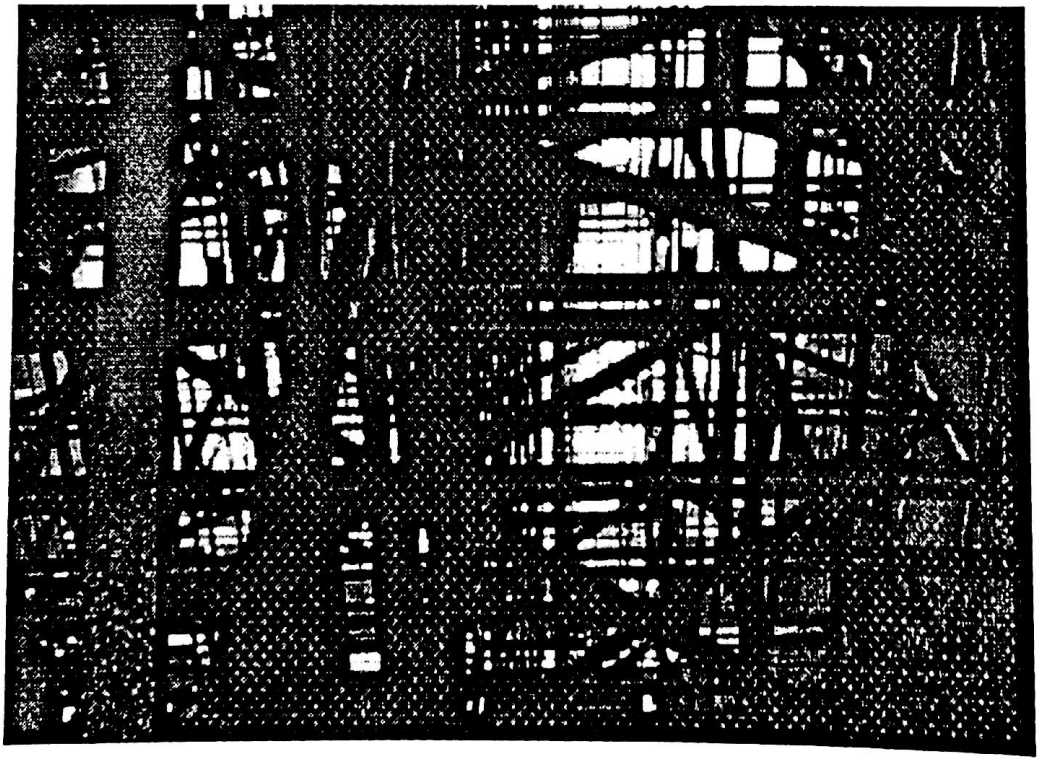




شکل 11-1- تصویری از Cooling towerهای طبیعی مورد استفاده در صنعت

Scanned by CamScanner





شکل 11-3- تصویر بالا داخل یک Cooling tower طبیعی را نشان می‌دهد.

میزان جریان هوای برقرار شده در سیستم فوق از یک طرف به اختلاف فشار در بالا و پایین برج و از طرف دیگر به سطح مقطع ورودی برج بستگی دارد و برای ایجاد اختلاف فشار در بالا و پایین برج بایستی ارتفاع آن را

Scanned by CamScanner

به نسبت تغییر داد و برای ازدیاد سطح مقطع برج بایستی قطر پایه را اضافه نمود. به این ترتیب با تغییر دادن دو پارامتر فوق می‌توان ظرفیت سرمایشی برج را متناسب با نیاز کارخانه افزاش یا کاهش داد.

بطورکلی با افزایش ارتفاع و قطر پایه برج خنک‌کن طبیعی کارایی آن بالا می‌رود و ظرفیت سرمایشی آن افزایش می‌یابد.

نسبت افزایش قیمت ساخت برج به مراتب کمتر از افزایش راندمان برج است و به همین جهت امروزه ساخت برج‌های عظیم بسیار اقتصادی‌تر از نوع کوچک آن می‌باشد.

11-2-1-1- برج‌های خنک‌کن طبیعی مدار بسته (خشک)

چنانچه آب گرم در سیستم بسته‌ای مانند رادیاتور، در معرض برخورد با هوای جاری در برج قرار گیرد، پس از طی طول سیستم مبدل حرارتی از گرمای آن کاسته شده و می‌توان از آن برای سرمایش ماشینهای کارخانه استفاده نمود. از آنجا که در این نوع، آب در سیستم بسته قرار دارد و تماس مستقیم بین آب‌گرم و هوا وجود ندارد، امکان تبخیرشدن و خروج از سیستم را نداشته و نیاز به جایگزینی آب اضافی (Make up) نخواهد بود. این نوع برج به نوع خشک یا بسته موسوم است. از مزایای دیگر این نوع آن است که غلظت آب موجود در مدار بسته سیستم نیز ثابت خواهد بود.

محاسن و معایب برج خنک‌کن طبیعی‌خشک نسبت به نوع تر (مدار باز) را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود:

الف) محاسن:

- آزادی عمل در انتخاب محل کارخانه بدون توجه به منابع آب منطقه
- به‌علت خشک بودن نسبی هوای داخل و خارج برج، می‌توان بدون بیم از مسأله خوردگی از اسکلت فلزی برای برج استفاده نمود.
- نیاز به آب اضافی برای جایگزینی تبخیر یا پایین آوردن غلظت مواد محلول در آب ندارد که خود نوعی صرفه‌جویی در هزینه است.
- ستون بخار بر بالای آن تشکیل نمی‌شود.

ب) معایب

- نیاز به مبدل‌های حرارتی دارد.
- در ابعاد مساوی با نوع تر، دارای قدرت سرمایشی کمتری است.

11-2-1-2- برج‌های خنک‌کن طبیعی مدار باز (تر)

در این برج‌ها، آب گرم توسط یک شبکه توزیع و پخش، در یک مدار باز، در تماس مستقیم با هوای جریان یافته در برج قرار می‌گیرد تاگرمای آن به هوا منتقل گردد. در این سیستم، انتقال گرما از آب به هوا از طریق جابجایی و تبخیر صورت می‌گیرد.

Scanned by CamScanner

در سیستم فوق، به‌علت تماس مستقیم آب گرم با هوا، معمولاً 0/3 تا 1 درصد آب در گردش به صورت بخار از آب جدا شده و با هوا مخلوط می‌گردد که غالباً باعث اشباع شدن هوای خروجی از برج می‌گردد. این پدیده در روزهای سرد به صورت ابر سفیدی که از دهانه برج خارج می‌گردد نمایان است.

11-2-1-3- برج‌های خنک‌کننده طبیعی مختلط

این نوع برج، اختلاطی از دو نوع سیستم‌تر و خشک (مدار باز و بسته) است. با امتزاج این دو سیستم در ابتدا هوای جریان یافته مقداری از گرمای آب را گرفته و گرم می‌شود، به این ترتیب از اشباع شدن هوا توسط بخار آب و مشکلات ناشی از آن پیشگیری می‌شود و این هوای نسبتاً گرم به صورت مستقیم با آب تماس یافته، آن را خنک می‌کند.

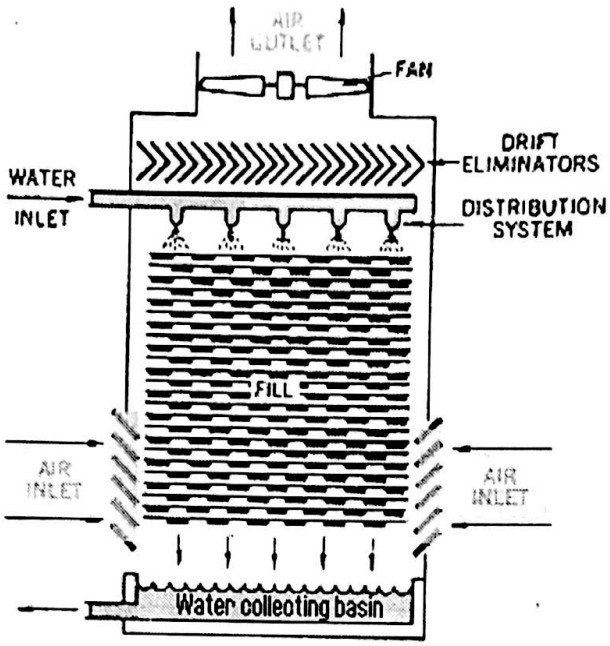
11-2-2- برج‌های خنک‌کن مکانیکی

برج‌های خنک‌کن طبیعی برای به جریان انداختن هوا، نیاز به ساختمان بلندی دارند. حال چنانچه در اثر محدودیت‌های خاص ساخت ساختمان بلند مقدور نباشد و یا آنکه برای ظرفیت موردنیاز ساخت برج طبیعی بیش از نیاز باشد، استفاده از برج‌های خنک‌کن مکانیکی اجتناب ناپذیرخواهد بود. در این برج‌ها، کمبود ارتفاع را بایستی به نحوی جبران نمود و آن عبارت است از راندن هوا به داخل برج و یا خارج کردن هوا از آن. در زیر به برج‌هایی با مکانیزم‌های گفته شده، اشاره می‌شود.

11-2-2-1- برج‌های خنک‌کن مکنده

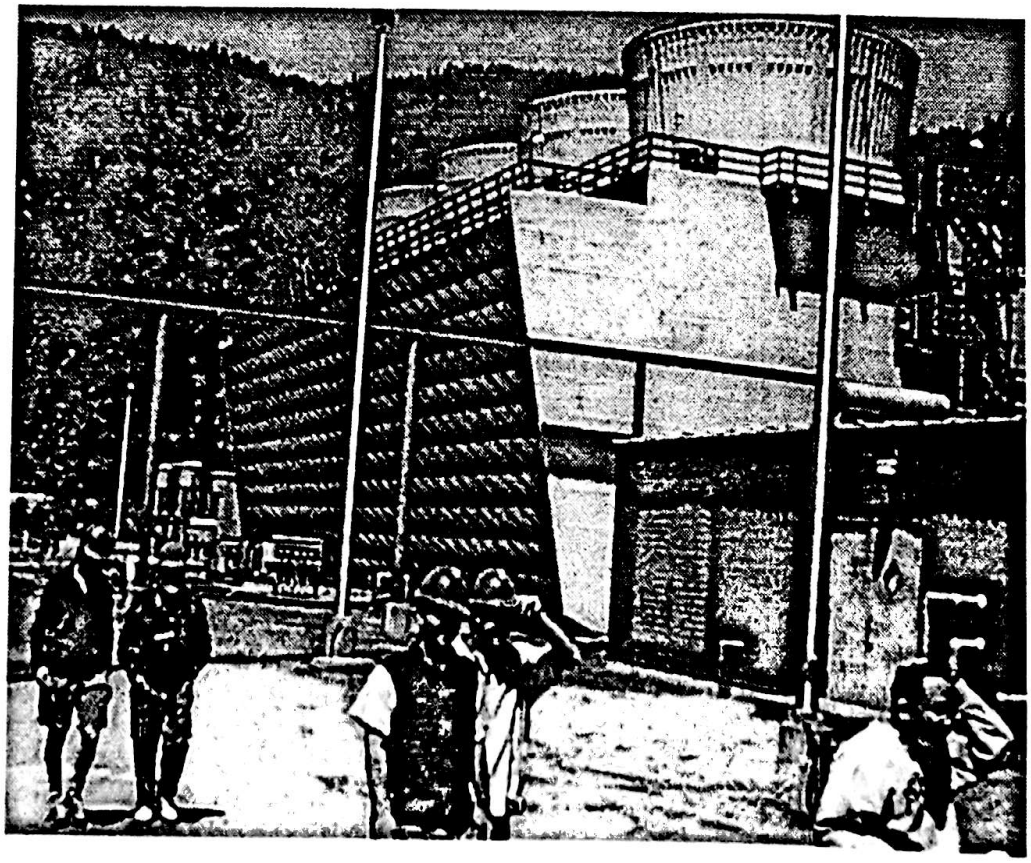
در قسمت بالای آن یک مکنده وجود دارد که با ایجاد نیروی مکش، هوا را از طریق بادگیرها وارد برج می‌کند، هوای وارد شده پس ازتبادل حرارت با آب گرم برگشتی، از خروجی مکنده خارج می‌شود. برحسب اینکه هوای ورودی عمود بر جریان آب یا اینکه موازی و در خلاف جهت جریان باشد دو نوع برج خنک‌کن مکنده‌ای ساخته شده است.

Scanned by CamScanner



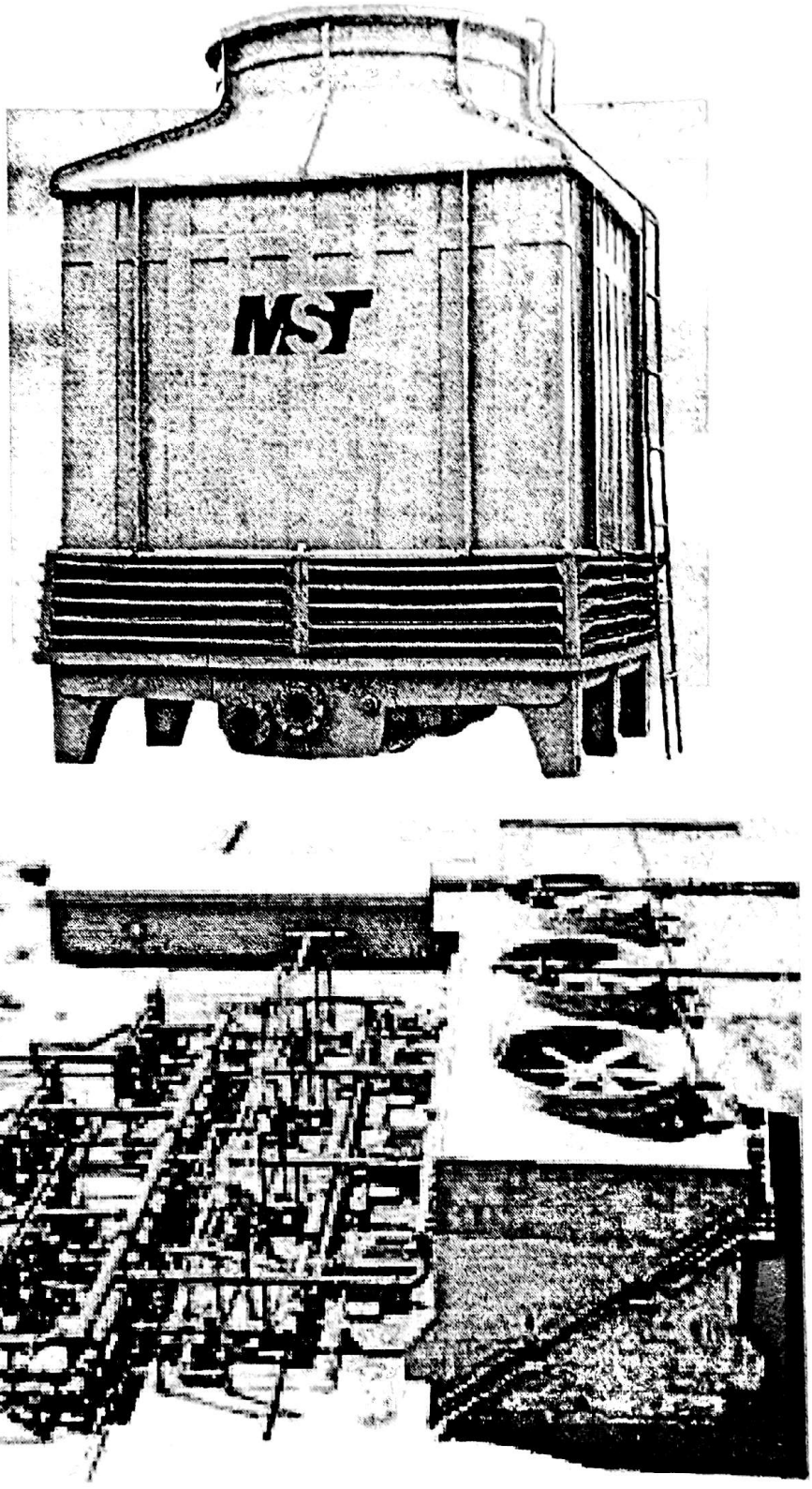
شکل 11-4- طرز کار برجهای خنک کن دمنده

در شکل 11-4 WATER INLET، آب گرم ورودی به برج خنک کننده است که به وسیله آب‌پاشها بر روی بستر خاصی ریخته می‌شود و AIR INLET هم که در قسمت پایین تصویر نشان داده شده است ورودی هوای برج را نشان می‌دهد.



شکل 11-5- تصویری از Cooling towerهای دمنده را نشان می‌دهد

Scanned by CamScanner



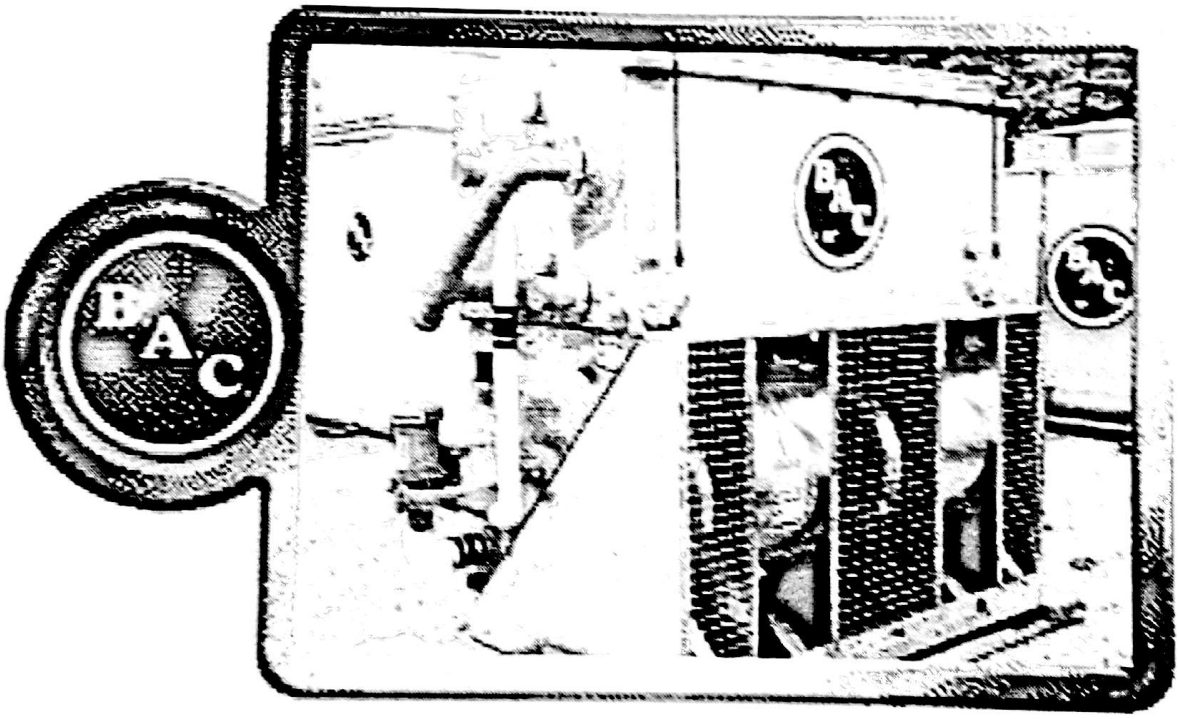
شکل 11-6- تصاویری از Cooling towerهای دمنده را نشان می‌دهد

11-2-2-2- برج‌های خنک‌کن دمنده

برج خنک‌کننده دمنده تقریباً شبیه برج خنک کن مکنده است. البته بین این‌دو برج تفاوت‌هایی نیز وجود دار دکه در زیر آمده است.

- اطراف برج خنک‌کن دمنده، بسته ولی اطراف برج خنک کننده مکنده باز است.

- در برج خنک کن دمنده تخته‌های بازیابی آب در بالای توزیع کننده قرار دارد ولی در برج خنک کن مکنده به ازای هر ردیف از تخته‌های پخش کننده، یک ردیف تخته بازیابی وجود دارد.
- دمنده در پایین برج قرار دارد ولی مکنده در بالای برج قرار دارد.
- در برج مکنده هوا از تمام جهات و بطور یکنواخت با آب تماس حاصل می‌کند ولی در برج دمنده، این‌طور نیست.



شکل 11-7- تصویری از Cooling tower نوع مکنده

11-3- خصوصیات برج‌های خنک کن

در این بخش خصوصیات انواع مختلف برج خنک کننده مورد بررسی قرار می گیرد.

11-3-1- خصوصیات برج‌های خنک کن مدار باز

1-ظرفیت دستگاه: مقدار آبی است که در حوضچه پایین برج، دستگاه‌های تبادل حرارت و مسیر رفت و برگشت آب وجود دارد. معمولاً 20 درصد آب در مدار و دستگاه‌های تبادل حرارت جریان دارد و بقیه در حوضچه برج خنک کن.

Scanned by CamScanner

2-زمان یک گردش: زمان لازم برای اینکه جریان آب از مکش پمپ برج خنک‌کن خارج شود و دوباره به همان نقطه برگردد.

3-از دست دادن آب به وسیله تبخیر: حدوداً برای هر 10 درجه فارنهایت افت حرارت آب، حدود 1٪ مقدار آب در گردش را درنظر می‌گیرند.

4-کم شدن به‌وسیله باد: در برج‌های خنک‌کن مقداری از آب برج به همراه جریان هوا، از سیستم خارج و وارد جو می‌شود، این مقدار آب به طور متوسط در حدود 0/2 درصد مقدار آبی است که در مدت یک ساعت در مدار گردش می‌کند.

5-درجه تغلیظ: تبخیر قسمتی از آب برج، غلظت نمکهای محلول در آب را افزایش می‌دهد. در نتیجه هرچه تبخیر بیشتر صورت گیرد، غلظت مواد در آب باقیمانده بیشتر خواهد شد و به عبارت دیگر درجه تغلیظ افزایش خواهد یافت. از این‌رو درجه تغلیظ عبارت است از نسبت مواد محلول موجود در آب درگردش به مقدار مواد موجود در آب تأمینی (جبرانی) . البته این نسبت موقعی درست است که مواد دیگری به آب اضافه نشده باشد. درجه تغلیظ را می‌توان از نسبت کلر آب در گردش به کلر آب جبرانی حساب کرد.

11-3-1-1- کنترل پارامترها

برای اینکه برج خنک‌کن خوب کار کند و در برابر عوامل خارجی پایدار باشد، باید نکات زیر موردتوجه قرار گیرد:

1-درجه تغلیظ: معمولاً بین 2 تا 5 باشد.

2-بکار بردن مواد شیمیایی: این مواد عبارتند از؛ کلر، اسید و مواد ثابت‌کننده (ضدخوردگی و ضدرسوب). این مواد باید به نحوی در مکانهایی استفاده شود که با آب سیستم کاملاً مخلوط گردد.

3-اضافه‌کردن گاز کلر: به‌منظور کنترل رشد موجودات زنده، غلظت آن نباید از حد معینی کمتر شود.

4-اضافه‌کردن ضد لجن: برای جلوگیری از تشکیل رسوب.

11-3-2- خصوصیات سیستم خنک‌کن مدار بسته

سیستم خنک‌کن مدار بسته سیستمی است که آب در آن در یک مسیر بسته درگردش می‌باشد و به علت عدم مجاورت با هوا تبخیر در آن صورت نمی‌گیرد. بنابراین در ترکیب آن تغییر چندانی به‌وجود نمی‌آید. سیستم مدار بسته، مشابه هر شبکه آبی احتیاج به بهسازی شیمیایی دارد ولی چون هدررفتن آن کم است هزینه بهسازی در شرایط خوب سیستم، زیاد نمی‌باشد.

برای اینکه سیستم به خوبی کارکند، آب اولیه وآب تأمینی بایستی از کیفیت خوبی برخوردار باشند. سیستم مداربسته کارخانجات معمولاً در مراکز حساس مثل مدلهای ریخته‌گری در کارخانجات ذوب فلز به‌کارگرفته می‌شوند. مصرف وکاربرد سیستم سردکننده مدار بسته از این لحاظ است که اشکالات ناشی از رسوب در

Scanned by CamScanner

مبدل‌های حرارتی حساس را از بین ببرند. سرعت آب در مدار بسته بطور کلی کم و بین 0/9 تا 1/5 متر بر ثانیه می‌باشد و اختلاف دمای ایجاد شده در این سیستم برابر 10 تا 15 درجه فارنهایت (6 تا 9 درجهٔ سانتی‌گراد) می‌باشد.

سیستم مدار بسته چنانچه نشتی درپمپ‌ها و مراکز مصرف نداشته باشد، به آب جبرانی بسیار کم نیاز دارد. این سیستم مجهز به مخزن انبساط و دریچه خروجی تبخیر جزئی می‌باشد. هرچند آب جبرانی، آب‌کندانس‌شده می‌باشد و احتمال رسوب و خوردگی بی‌اندازه کم است، لذا احتیاج است بعضی اوقات آب آزمایش شده، و مقدار مواد محلول آن در صورتی‌که آب نرم(آب عاری از ناخالصی) مصرف می‌شود با مخزن آب تغذیه مقایسه گردد. چون غالباً این سیستم در مدار دارای آلیاژها و فلزات مختلف می‌باشد در معرض خطر احتمالی خوردگی گالوانیکی قرار دارد. چون آب جبرانی دارای غلظت‌کم اکسیژن است، لذا خوردگی به وسیله اکسیژن کم است. اما چنانچه مصرف آب جبرانی زیاد باشد و به دفعات آب وارد سیستم شود، احتمال وجود اکسیژن و خوردگی اکسیژن وجود دارد.

از نظر تئوری چون تغلیظ در مدار صورت نمی‌گیرد، خطر تولید رسوب هم در آن کم است و چون رسوب وجود ندارد کاهش در تبادل حرارت نیز وجود ندارد و خوردگی نیز نباید در سیستم باشد. ولی چنانچه به‌علت نشت، لازم باشد مکراً به سیستم آب اضافه شود، هرچند آب جبرانی، آب کندانس باشد، ممکن است همراه آب، مواد معلق، اکسیژن و حتی میکروارگانیسمها نیز به سیستم اضافه شود ودرحالیکه سرعت آب کم می‌باشد، پتانسیل ایجادرسوب افزایش می‌یابد و شرایط خوردگی و بوجود آمدن رسوبات سخت در مبدل‌ها فراهم می شود. از اینرو در سیستم‌های مداربسته که نیاز مکرر به آب جبرانی باشد، لازم است تدابیری برای جلوگیری از ایجاد رسوب اتخاذ کرد.

11-4- مشکلات عملیاتی برج‌های خنک کننده

عمده‌ترین مشکلات سیستم‌های سردکننده عبارتند از:

1-خوردگی

2-رسوب گذاری که از مهمترین آنها می‌توان رسوبات میکروبیولوژی را نام برد.

3- کف کردن

11-4-1- خوردگی

خوردگی در سیستم‌های سردکننده و انتقال آب مهمترین و عمده‌ترین مشکل می‌باشد. عوامل اصلی در خورده شدن فلزات مخصوصاً فلزات سری آهن در سیستم سردکننده عبارتند از:

-کیفیت آب: بالا رفتن غلظتهای نمک محلول در آب، خوردگی را شدت می‌بخشد، زیرا زیاد بودن غلظت مواد در آب غلظت یونی را افزایش می‌دهد که نتیجه آن بالا رفتن فعل و انفعالات یونی و احتمالاً تشکیل

Scanned by CamScanner

نمکهای خورنده از طریق جابجایی نمکهای محلول می‌باشد. از نمک‌های محلول در آب، کلرورها بیشترین سهم را در افزایش میزان خورندگی دارند.

- اثر حرارت: با افزایش درجه حرارت، خوردگی افزایش می‌یابد.

- اکسیژن محلول در آب: به فلز آهن حمله‌ور شده، سبب خوردگی و سوراخ شدن آن می‌شود. منبع اصلی آن، اکسیژن محلول در آب در تماس با هواست.

-میکروارگانیسم‌ها: باکتریهای احیاءکننده سولفات با تولید هیدروژن‌سولفوره و اسیدسولفوریک خوردگی را در سیستم سبب خواهند شد.

11-4-1-1- جلوگیری از خوردگی

به طور کلی در سیستمی که با آب سر و کار دارد، محافظت فلزات و آلیاژها به‌طورکامل در برابر خوردگی غیرممکن است. هدف از کنترل خوردگی، رسیدن به حد قابل قبول از طریق طراحی درست، انتخاب فلزات و آلیاژهای مناسب و همچنین بهسازی آب و ترکیبات شیمیایی متناسب با شرایط سیستم و کیفیت آب است.

عده‌ای معتقدند برای رسانیدن خوردگی به حداقل بایستی طراحی خوب انجام شود و فلزات و آلیاژهای مناسب انتخاب گردد، اما با توجه به مسائل اقتصادی و امکانات، اکثریت کارشناسان و مهندسین آب و خوردگی معتقد می‌باشند تنها راه رسانیدن خوردگی به حد قابل‌قبول استفاده از مواد شیمیایی می‌باشد.

11-4-2- رسوب

11-4-2-1- منابع ایجاد رسوب

1- منابع‌داخلی: یکی از اساسی‌ترین منابع تولید رسوب کیفیت خود آب است که علاوه بر مواد محلول در آب ممکن است دارای مواد معلقی همچون ترکیبات سیلیسی، آهن محلول یا رسوب، منگنز یا موادی که در نتیجه صاف‌کردن آب به آن اضافه شده است باشد.

2- منابع خارجی: مهمترین عامل خارجی ایجاد رسوب در یک سیستم سردکننده، مخصوصاً سردکننده مدارباز، هوا می‌باشد. برج خنک‌کن مانند یک مکنده بزرگ هواست و آب وسیله مناسبی برای جذب گرد و خاک، میکروارگانیسم‌ها و سایر ذرات است که در حجم بسیار بزرگ در مجاورت آب قرار دارند و چون مواد معلق در هوا بر حسب شرایط جوی و فصول مختلف تغییر می‌کند، مواد معلق در برج نیز همیشه در حال تغییر است.

11-4-2-2- انواع رسوب

برای جلوگیری از ایجاد رسوب در سیستم باید نخست آنها را شناخت تا بتوان به نحو موثر با آنها مبارزه کرد.

Scanned by CamScanner

رسوب‌ها، مخلوطی از گردوخاک، آلودگی‌های آب، روغن، میکروارگانیسم‌ها و محصولات خوردگی می‌باشند. عوامل مؤثر تشکیل‌دهندهٔ آنها عبارتند از :

- آلودگی‌های آب تأمینی
- مواد جامد معلق در آب
- آهن، منیزیم و آلومینای موجود در آب
- آلودگی‌های فرایند
- سرعت جریان، درجه حرارت و pH آب

بطورکلی با توجه به کیفیت و منابع تأمین آب و درنظر گرفتن مسائل اقتصادی، تشکیل رسوب را با اتخاذ یک یا دو روش توأم زیر به حداقل می‌رسانند:

1- حذف مواد مولد رسوب از آب

2- اصلاح آب به‌منظور جلوگیری از نشست یا چسبیدن مواد به سطوح فلزی

11-4-3- میکروارگانیسمها

تقریباً می‌توان گفت تمام صنایعی که با آب سروکار دارند، میکروارگانیسم‌ها در آن صنایع اثر می‌گذارند، زیرا تعداد زیادی از فعل و انفعالات شیمیایی بوسیله میکروارگانیسم‌ها انجام می‌شود.

در پاره‌ای از صنایع مثل صنایع غذایی، دستگاه‌های سردکنندهٔ کارخانجات صنایع شیمیایی، میکروارگانیسم‌ها، ضررهای زیادی را ایجاد می‌کنند و حتی ممکن است مسیر تولید را تغییر دهند. تابش مستقیم نور خورشید به برج‌های خنک‌کننده، وجود حرارت مناسب وغذا که ممکن است در نتیجه نشت از مسیر تولیدات کارخانه به برج وارد شود، فراوانی اکسیژن در نتیجه ریزش و تلاطم آب در سیستم مداری باز محیط خوبی برای رشد و تکثیر میکروارگانیسم‌ها می‌باشد.

11-4-3-1- کنترل میکروارگانیسم‌ها در برج‌های خنک‌کننده

از نظر عملی در بیشتر سیستم‌های آب صنعتی در استفاده از طرق فیزیکی برای نابودی و کنترل فعالیت میکروارگانیسم‌ها محدودیت زیادی وجود دارد. مثلاً حرارت دادن آب تا 70 درجه ممکن است بسیاری از میکروارگانیسم‌ها را از بین ببرد اما منظور اصلی استفاده از برج، خنک‌کردن آب و استفاده از آن در مبدل‌ها و یا مراکز دیگر کارخانه می‌باشد. تشعشع، مثل اشعه گاما یا اشعه ایکس و یا حتی فرکانسهای خاصی از صوت می‌تواند از فعالیت میکروارگانیسم‌ها جلوگیری کرده، آنها را بکشد. اما این نوع کنترل متضمن هزینه بسیار و تجربیات عملی زیاد می‌باشد. از روش‌های شیمیایی نیز که می‌توانند کنترلی در برابر موجودات زنده موجود در آب برج باشد pH است که اکثریت میکروارگانیسمها قادر به ادامه زندگی، رشد و تکثیر در محدوده‌های خاصی از pH نمی‌باشند اما این pH های اسیدی یا قلیایی نیز مسائل عمده‌ای را در برج بوجود خواهد آورد.

Scanned by CamScanner

بنابراین تنها راه مبارزه و کنترل میکروارگانیسم استفاده از ترکیبات و میکروب‌کش‌های شیمیایی می‌باشد.

معمولی‌ترین ترکیباتی که برای کنترل میکروارگانیسم برج‌های خنک‌کن مصرف می‌شوند، عبارتند از؛ کلر، برم، فنل کلروینه و نمکهای مس.

کلر یکی از مؤثرترین مواد برای کنترل میکروارگانیسم‌ها در سیستم سردکننده مدار باز می‌باشد. تصمیم در مورد اینکه در یک برج، کلر یا مواد دیگر مصرف شود بستگی به بررسی اقتصادی، مقدار کلر موردنیاز، هزینه محل، کارگر و نصب تجهیزات دارد. در حال حاضر هیچ ماده میکروب‌کشی وجود ندارد که بتواند طیف وسیعی از میکروارگانیسم‌های موجود در برج‌های خنک‌کن را از بین ببرد. از اینرو با تجربه و دقت بایستی بر مبنای شرایط عملکرد هر برج، ماده میکروب‌کش انتخاب گردد. تنها، توجه به ارزان بودن یک ماده شیمیایی و انتخاب آن، نه تنها اقتصادی نیست بلکه ممکن است متضمن ضررهایی نیز باشد. مواد شیمیایی باید به‌نحوی انتخاب شوند که در صورت مخلوط شدن و وارد شدن در مسیر فرایند خساراتی متوجه آن نسازد.

11-4-4-کف کردن

در پاره‌ای از برج‌های خنک‌کننده، تولید کف می‌تواند موجب مشکلاتی شود. ریزش آب از بالای برج و جذب هوا توسط آن، سبب تولید جباب‌هایی در آب خواهد شد که همراه مقداری روغن و ترکیباتی آلی مشابه می‌باشد که در کل برج پخش خواهد شد. در اغلب موارد ایجاد کف، علاوه بر کاهش ظرفیت حوضچه برج از طریق انسداد لوله‌های انتقال آب خساراتی را متوجه پمپ‌ها خواهد نمود. یکی از عواملی که سبب ایجاد کف در برج خواهد شد، مواد تثبیت‌کننده‌ای می‌باشد که به چوب برج‌ها برای محافظت آنها تزریق می‌گردند. این پدیده غالباً بعد از چند هفته کار برج مرتفع خواهد گردید. یادآوری می‌کنیم که یکی از مهمترین اجسامی که برای ایجاد سطح تماس بین آب و هوا در برجهای خنک‌کننده از آن استفاده می‌شود الوارهای چوبی است.

برای بهبود شرایط سیستم باید از ضدکف‌های مناسبی استفاده نمود.

Scanned by CamScanner