

**6-1- مقدمه**

سیستم خنک کن یکی از اصلی ترین بخش های نیروگاه و در واقع چشمه سرد ترمودینامیکی آن می باشد. در طول زمان طرحهای مختلفی برای دفع حرارت به محیط ابداع شده و تکامل یافته اند که هر یک دارای مزایا و معایب خاص خود بوده و مستلزم هماهنگی با بقیه تجهیزات چرخه نیروگاه می باشند.

**6-2- کلیات****6-3- تشریح وظایف سیستم خنک کن**

سیستم خنک کن اصلی وظیفه دفع حرارت در چرخه حرارتی را عهده دار می باشد. طبق قانون دوم ترمودینامیک در یک ماشین حرارتی تولید کار بدون دفع حرارت به محیط غیرممکن می باشد. در نیروگاههای حرارتی این عمل بواسطه آب خنک کن (چگالنده) و برج خنک کن انجام می پذیرد. حرارت کسب شده از بخار خروجی سیلندر فشار ضعیف توربین موجب افزایش دمای آب خنک کن گردیده و این حرارت توسط آب خنک کن و برج خنک کن به محیط انتقال می یابد.

واضح است که هر چه دمای منبع سرد در ماشین حرارتی پایین تر باشد بازدهی آن بالاتر خواهد بود. بعبارت دیگر عملکرد مناسب سیستم خنک کن در عملکرد نیروگاه حرارتی تأثیر بسزایی دارد و ایجاد دمای پایین تر در چگالنده به معنای افزایش کار توربین، افزایش بازدهی و کاهش دفع حرارت به محیط می باشد. مقدار گرمای دفع شده به محیط توسط سیستم خنک کن در حدود  $1/5$  تا  $3$  برابر مفید خروجی از نیروگاه می باشد.

**6-4- معرفی اجمالی انواع سیستمهای خنک کن و محدوده کاربرد و اجزاء آنها**

به طور کلی می توان سیستمهای خنک کن نیروگاهی را به سه گروه اصلی زیر تقسیم بندی نمود:

- سیستم خنک کن یک بار گذر<sup>1</sup>

<sup>1</sup> - Once – through cooling system

- سیستم خنک کن تر<sup>2</sup>
- سیستم خنک کن خشک<sup>3</sup>

زیر گروه‌های اصلی این سه تقسیم بندی را می توان در شکل (6-1) مشاهده نمود.



شکل (6-1)- تقسیم بندی سیستمهای خنک کن نیروگاهی

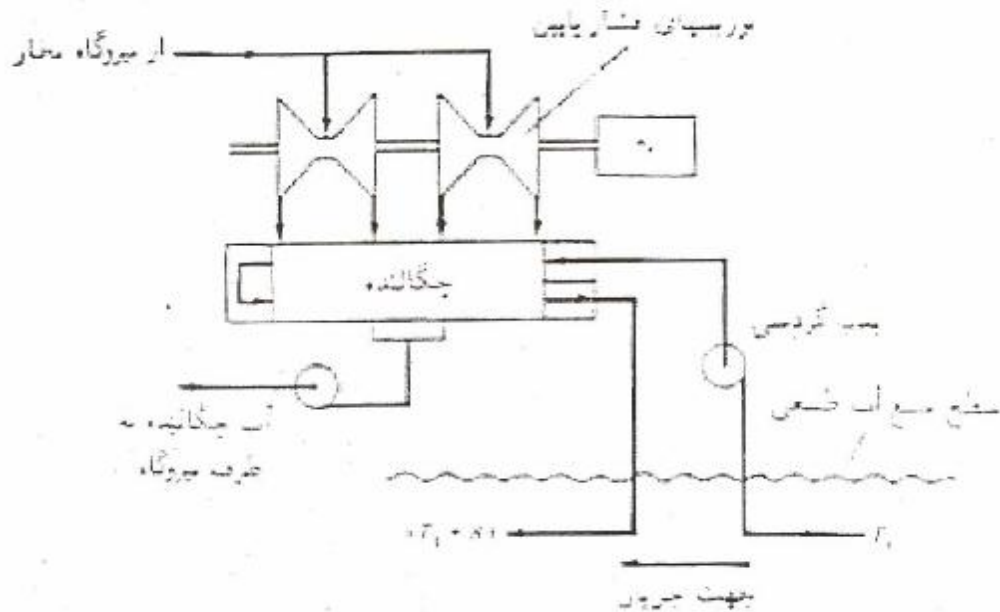
#### 6-4-1- سیستم خنک کن یکبارگذر

در سیستم خنک کن یکبارگذر آب از یک منبع طبیعی همانند رودخانه، دریاچه و یا دریا به درون چگالنده پمپ می شود و آنجا پس از مبادله حرارت و گرم شدن به منبع اولیه بازگردانده می شود. این نوع سیستمهای خنک کن از نظر دینامیکی بالاترین بازدهی را دارند. علت بالا بودن بازدهی، پایین بودن دمای منبع سرد یا چگالنده بوده که این امر باعث بیش بازدهی کل چرخه قدرت می گردد. در طراحی چنین

<sup>2</sup> - Wet cooling system

<sup>3</sup> - Dry cooling system

سیستم‌هایی بایستی به مقدار افزایش دمای منبع و دیگر اثرات بسمت محیطی توجه بسیار شود و از جمله محدودیتهای این سیستم این است که حتماً بایستی در نزدیکی یک منبع طبیعی آب همانند رودخانه، دریاچه و یا دریا واقع شود. در شکل (2-6) طراحی از یک سیستم یکبارگذر ارائه شده است.



شکل (2-6)- طراحی از یک سیستم خنک کن یکبارگذر

#### 2-4-6- سیستم خنک کن تر

در سیستم خنک کن تر گرما از دو طریق به محیط منتقل می شود:

1- انتقال گرمای محسوس به هوا و گرم کردن آن

2- منتقل کردن گرمای نهان به بخشی از خود آب در گردش و تبخیر آن

در یک برج خنک کن تر سیستمی بنام سیستم توزیع آب وجود دارد؛ بطوریکه آب گرم شده خروجی از چگالنده وارد شده و بوسیله این سیستم توزیع روی یک ساختار شبکه ای می ریزد. جنس این ساختار شبکه ای ممکن است از چوب یا نوعی پلاستیک باشد. پخش شدن آب روی این شبکه ها باعث تماس

بهتر آب و هوا شده و موجب می شود که انتقال گرما و جرم (تبخیر آب) بهتر صورت گیرد. به این ساختارهای شبکه ای پرکننده<sup>4</sup> گفته می شود.

از آنجایی که در برجهای خنک کن تر تبادل حرارت عمدتاً از طریق تبخیر آب صورت می گیرد. لذا بایستی یک منبع آب جهت جبران آب تبخیر شده در دسترس باشد تا میزان آب در گردش سیستم ثابت باقی بماند. بعنوان نمونه میزان آب مورد نیاز برای یک نیروگاه 1000 مگاواتی با راندمان 40 درصد که دبی آب در گردش آن در حدود  $35/8 \text{ m}^2/\text{s}$  است، تقریباً  $0/62 \text{ m}^2/\text{s}$  می باشد. این مقدار تقریباً  $1/3$  درصد آب در گردش سیستم خنک کن است.

#### 6-4-2-1- انواع برجهای خنک کن تر

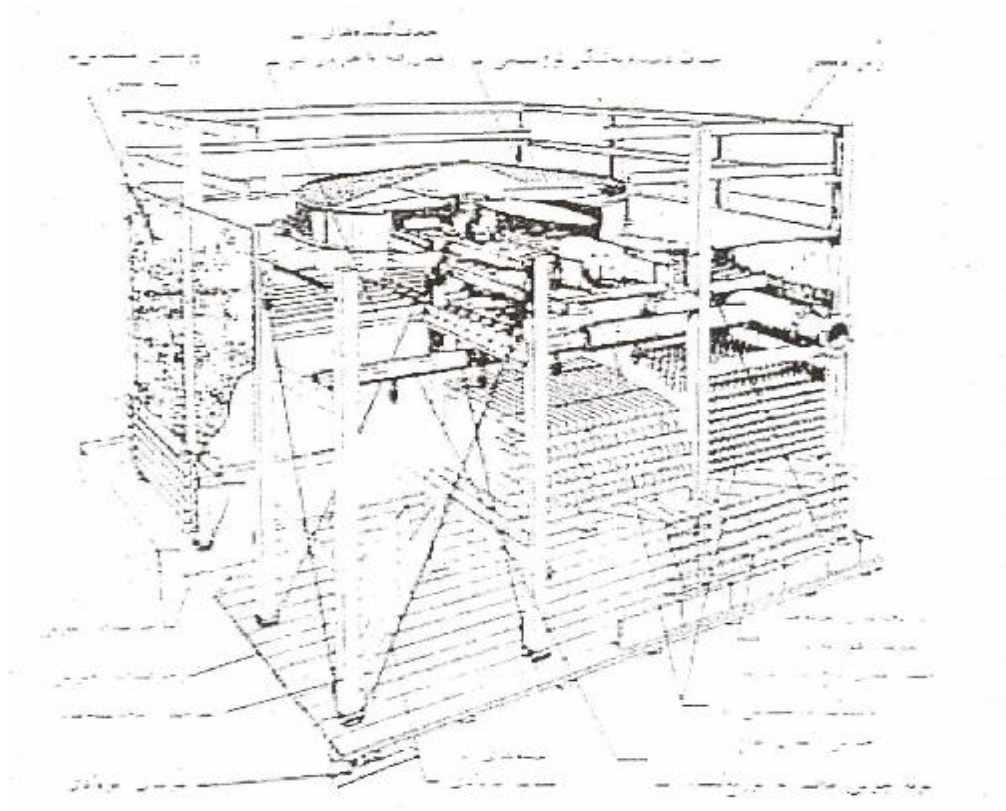
برجهای خنک کن تر به دو نوع با جریان اجباری هوا و با جریان طبیعی هوا تقسیم می شوند. در هر یک از این دو نوع ممکن است جریانهای آب و هوا به صورت متقاطع یا بصورت ناهمسو باشند.

#### الف - برجهای خنک کن تر جریان اجباری هوا

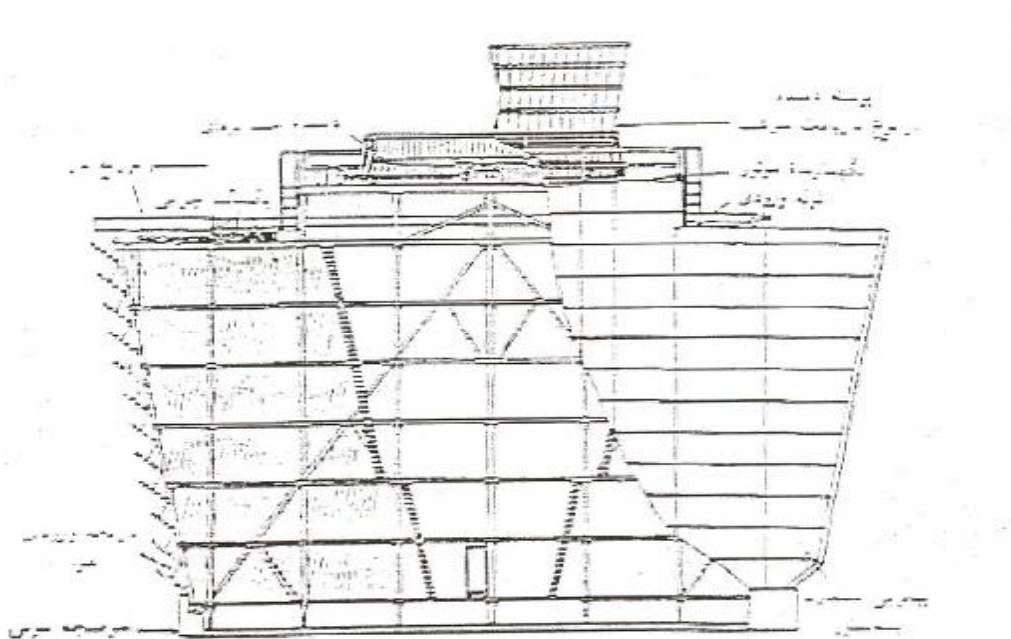
در این نوع برجهای از یک یا چند دمنده برای به جریان انداختن هوا استفاده می شود. معمولاً این فن ها در قسمت خروجی هوا در بالای برج نصب می شوند و هوای گرم و مرطوب را به جو هدایت می نمایند. اگر تعداد فن ها چندتا باشد ممکن است به صورت مستطیلی، چند ضلعی، دایره ای و غیره آرایش داده شوند. جنس پره های فن ها ممکن است از آلومینیوم، فولاد ضدزنگ، یا فایبرگلاس باشد.

اگر جریان هوا در پرکننده ها از پایین به بالا باشد برج را از نوع جریان ناهمسو و اگر جریان هوا به صورت افقی باشد برج با جریان متقاطع نامیده می شود. شکل (6-2) یک نمونه از برج یا جریان ناهمسو و شکل (6-4) یک نمونه از برج با جریان متقاطع را نمایش می دهد.

<sup>4</sup> - Packing



شکل (3-6) - برج تر با جریان اجباری هوا از نوع ناهمسو

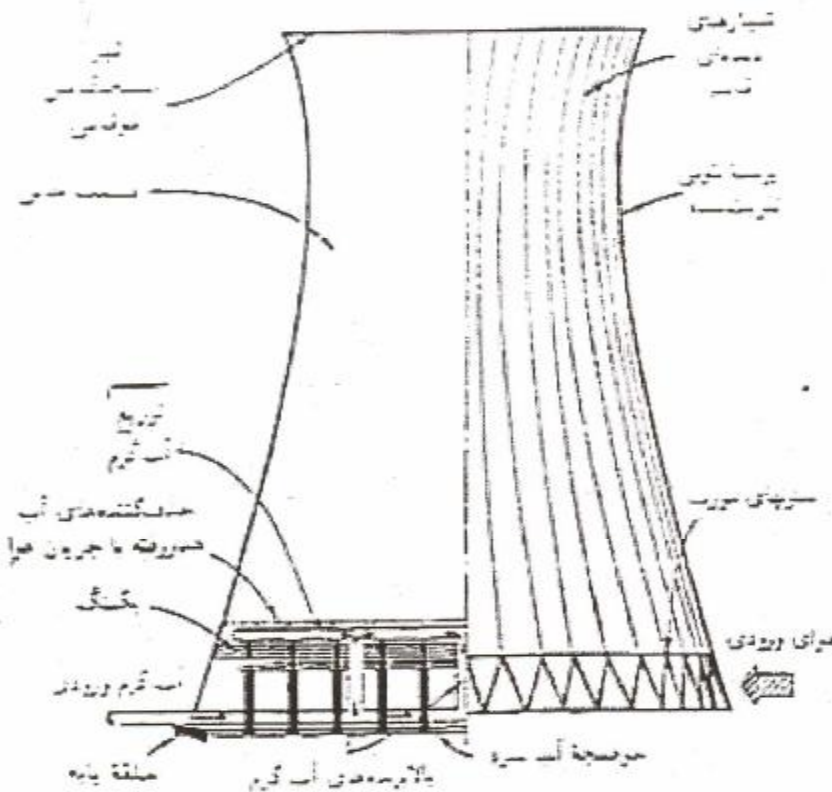


شکل (4-6) - برج تر با جریان اجباری هوا از نوع متقاطع

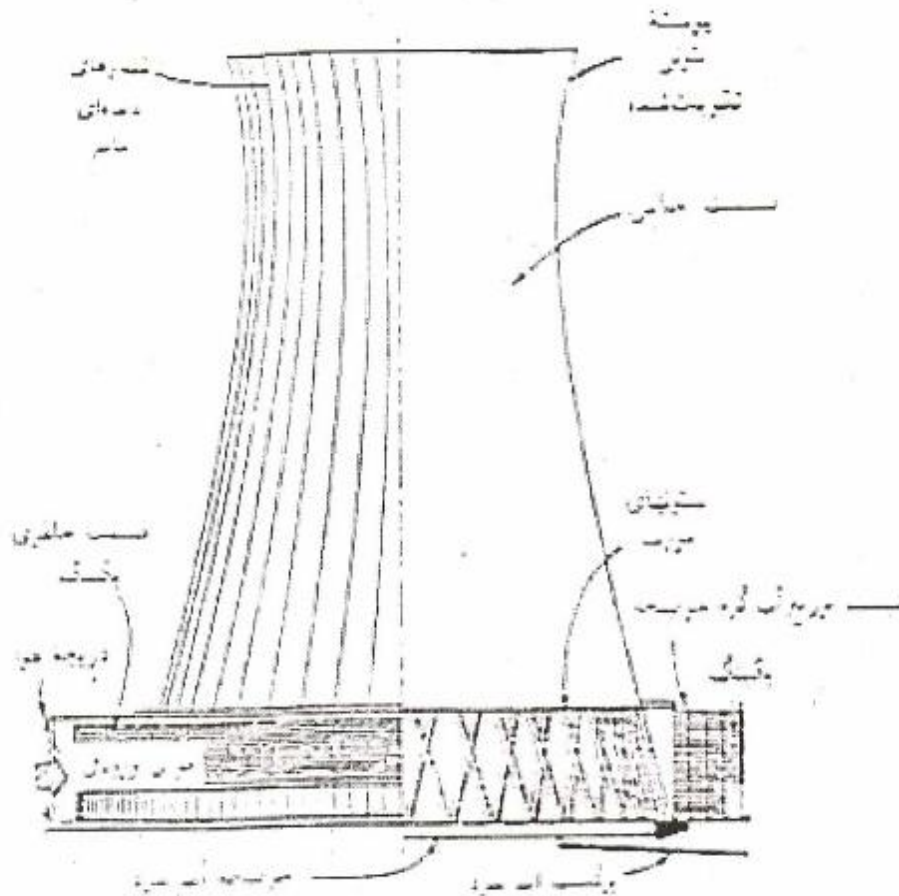
### ب - سیستم برجهای خنک کن تر با جریان طبیعی هوا

در برجهای خنک کن با جریان طبیعی نیازی به فن نیست و جریان هوا بوسیلهٔ اختلاف چگالی هوای سرد بیرون و هوای گرم و مرطوب درون برج ایجاد می شود. شکل این برجها به صورت هذلولی است و معمولاً آنها را از بتن تقویت شده می سازند. شکل این برجها را به این دلیل هذلولی می سازند که مقاومت این شکل در برابر نیروی باد در مقایسه با سایر اشکال بیشتر است.

برجهای جریان طبیعی هم شامل دو نوع جریان ناهمسو و جریان متقاطع می باشد. در نوع جریان ناهمسو قسمت پرکننده ها بصورت یک سطح گسترده تمام مقطع برج را پوشانده و هوا از زیر آن وارد شده و از بالا خارج می شود. در نوع جریان متقاطع پرکننده ها دور قسمت پایینی برج نصب و جریان هوا بصورت افقی از آنها می گذرد. این دو نوع برج در شکلهای (5-6) و (6-6) نشان داده شده اند.



شکل (5-6) - نمای کلی برج تر با جریان طبیعی از نوع جریان ناهمسو



شکل (6-6) - نمای کلی برج تر با جریان طبیعی از نوع جریان متقاطع

#### 6-4-2-2 - اجزاء برجهای خنک کن تر

#### 6-4-2-3 - سیستم توزیع آب

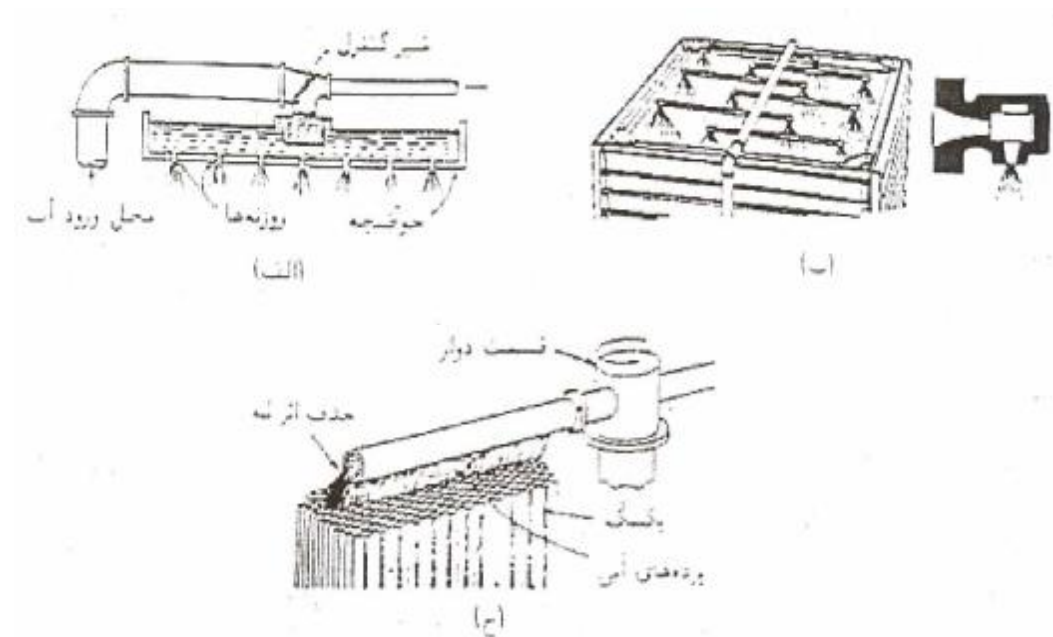
این سیستم در برج، آب ورودی را به طور یکنواخت روی پرکننده ها توزیع می کند. برخی از انواع این سیستم عبارتند از:

الف - سیستم توزیع ثقلی<sup>5</sup>: در این نوع، آب به داخل یک حوضچه پمپ می شود و از سوراخ هایی که در کف این حوضچه وجود دارد به وسیله نیروی جاذبه روی پرکننده ها می ریزد این سیستم معمولاً در برجهای جریان متقاطع به کار می رود. شکل (6-7-الف)

<sup>5</sup> - Gravlly distribution

ب - سیستم توزیع افشانه ای<sup>6</sup>: در این نوع سیستم توزیع، آب از طریق لوله های عرضی بوسیله نازلهایی رو به پایین می ریزد. این روش معمولاً در برجهای جریان ناهمسو کاربرد دارد. شکل (6-7-ب)

پ - سیستم توزیع دوار<sup>7</sup>: آب از طریق دو لوله افقی که حول یک محور عمودی می چرخند توزیع می گردد. آب از طریق شیار روی لوله به صورت مایل روی پرکننده ها پاشیده می شود. مایل بودن جهت پاشش آب باعث به وجود آمدن نیروی عکس العمل برای چرخش محور است. شکل (6-7-ج).



شکل (6-7) - انواع سیستمهای توزیع آب

(الف) سیستم ثقلی، (ب) سیستم افشانه ای، (ج) سیستم دوار

#### 4-2-4-6- پرکننده

قبلاً به طور خلاصه گفته شد که پرکننده ها با ایجاد تأخیر در جریان قطرات آب و همچنین با پخش کردن آب باعث ایجاد تماس بهتر آب و بخار شده و باعث می شوند که انتقال حرارت و جرم بهتر صورت گیرد. پرکننده ها را می توان در دو دسته کلی جای داد:

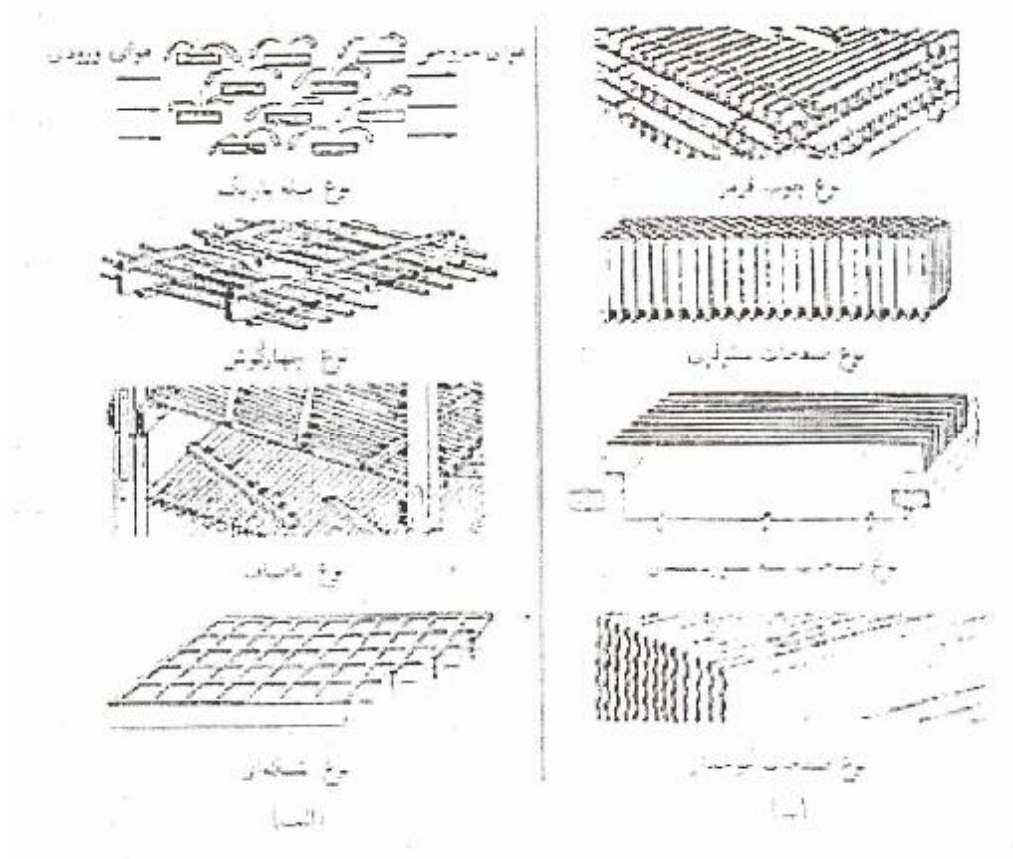
<sup>6</sup> - Spray distribution

<sup>7</sup> - Rotary Spray



الف - پرکننده های پاشنده<sup>8</sup>: این نوع پرکننده ها براساس تشکیل قطرات آب کار می کنند و معمولاً از میله های افقی چیده شده در سطوح مختلف تشکیل می شود. قطرات آب از روی میله ها یکی پس از دیگری جاری شده و هوا نیز از بین میله ها جریان داشته و با قطرات آب تماس پیدا می کند.

ب - پرکننده های غشایی<sup>9</sup>: این نوع پرکننده از صفحات عمودی تشکیل شده و براساس تشکیل لایه نازک آب روی این صفحات کار می کند این لایه نازک باعث می شود که تماس بین آب و هوا بیشتر شود اشکال مختلفی از این دو نوع پرکننده در شکل (6-8) نشان داده شده است.



شکل (6-8) - پرکننده ها با شکلهای مختلف

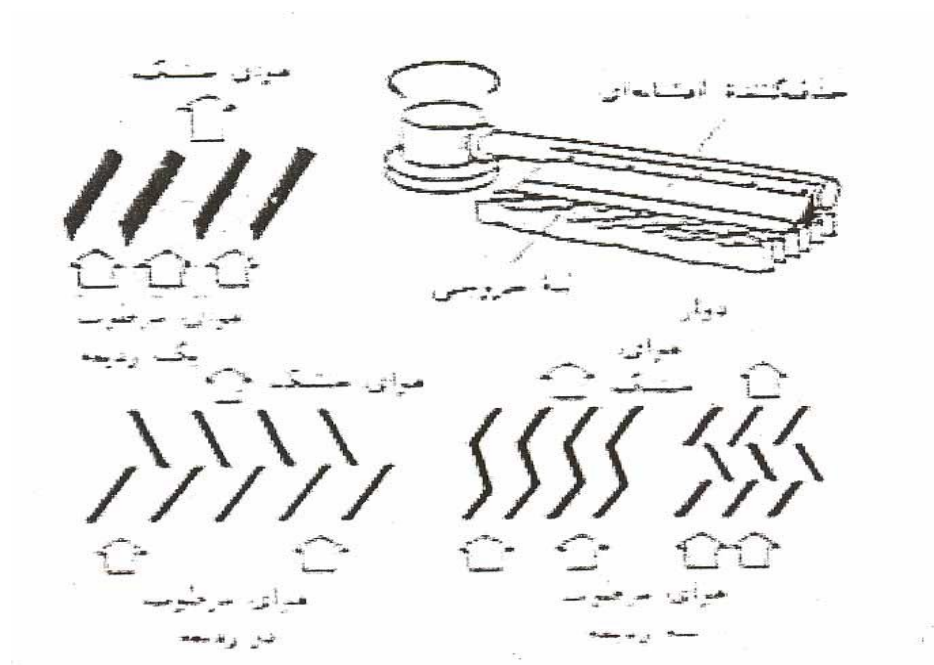
(الف) نوع پاشنده (ب) نوع غشایی

<sup>8</sup> - Splash

<sup>9</sup> - Film

6-2-4-6- حذف کننده<sup>10</sup>

جریان هوای خروجی از برج مقداری از قطرات آب را همراه خود خارج می کند. برای جلوگیری از هدر رفتن این مقدار آب و بازگرداندن آن به برج از تیغه هایی استفاده می شود که در چند ردیف قرار گرفته اند و با ایجاد تغییر سرعت در مسیر هوا قطرات آب را که دارای چگالی متفاوتی هستند به دام انداخته و از خروج آنها جلوگیری می کنند. این تیغه ها حذف کننده نامیده می شوند و چند نوع از آنها در شکل (6-6) (9) نمایش داده شده است.



شکل (6-6) - چند نوع حذف کننده

## 6-2-4-6- حوضچه برج

حوضچه آب سرد در زیر برج قرار دارد و آب خنک شده از برج به داخل آن می ریزد و از داخل آن به چگالنده پمپ می شود. خروج آب از حوضچه از طریق یک کانال شیبدار از کف آن صورت می گیرد و معمولاً توریهائی در سرراه آب نصب می شوند که مانع از ورود مواد و اجسام زائد به پمپها می گردد. ظرفیت حوضچه معمولاً به اندازه ای هست که برج تا چند ساعت بدون آب جبرانی بتواند به کار خود ادامه دهد. جنس این حوضچه ها عموماً از بتن است.

<sup>10</sup> - Eliminator

### 6-4-3- سیستم خنک کن خشک

در سیستمهای خنک کن خشک، وسایل استفاده شده جهت تبادل حرارت مابین آب یا بخار در گردش و محیط از نوع مبدلهای حرارتی فشرده است، بگونه ای که تبادل حرارت تنها در اثر اختلاف دمای آب یا بخار و هوای محیط صورت می گیرد. بنابراین در چنین سیستمی نیازی به در دسترس بودن یک منبع بزرگ آب نبوده یا بعبارت دیگر مصرف آب چنین سیستمی تقریباً صفر می باشد. اما این سیستم به دمای هوا و دیگر شرایط اقلیمی و محیطی وابستگی بیشتری نسبت به دو سیستم قبل دارد.

### 6-4-3-1- انواع برجهای خنک کن خشک

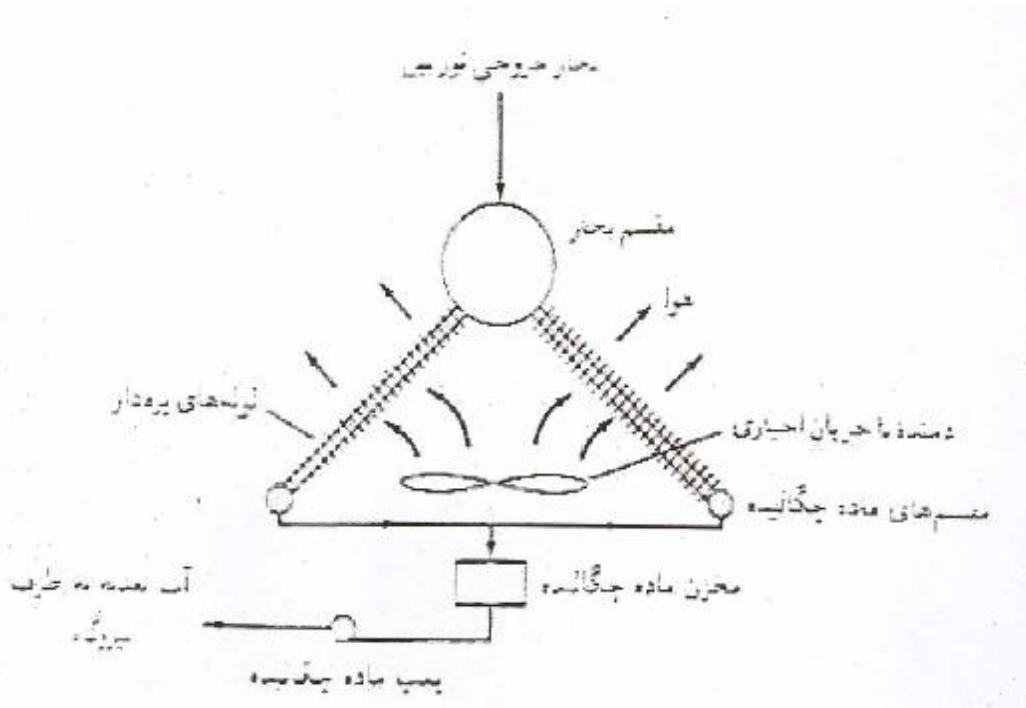
همانگونه که از شکل (6-1) مشخص است، سیستمهای خنک کن خشک عمدتاً به دو گروه اصلی سیستمهای خنک کن مستقیم و غیرمستقیم تقسیم می شوند. در سیستمهای مستقیم بخار خروجی از توربین مستقیماً با هوای محیط تبادل حرارت کرده و تقطیر می شود. اما در سیستمهای خنک کن غیرمستقیم، سیال واسطه ای وجود دارد که حرارت را از بخار خروجی از توربین در چگالنده گرفته و سپس این حرارت را با محیط در برج مبادله می کند. در شکل (6-2) زیر شاخه های اصلی سیستم خنک کن خشک نشان داده شده است.

### 6-4-3-2- برجهای خنک کن خشک مستقیم

در این نوع برج چگالنده با برج خنک کن در هم ادغام شده اند و به همین جهت این سیستم را چگالنده خشک شونده با هوا یا ACC<sup>11</sup> می نامند. در این سیستم بخار خروجی توربین از طریق لوله هایی وارد تعداد زیادی مبدلهایی که با هوا خنک می گردد شده و در آنها فرآیند میعان صورت گرفته و آب چگالنده خروجی به چرخه پمپ می شود.

<sup>11</sup> - Air Cooled Condenser (ACC)

مبدل‌های این سیستم عموماً به صورت دلتا ( $\Delta$ ) می باشند و جریان هوا در آنها یا از نوع اجباری است که به وسیله فن ایجاد می شود و یا ممکن است جریان طبیعی باشد. به دلیل پایین بودن فشار در لوله های بخار ورودی و در نتیجه بالا بودن حجم مخصوص بخار، این لوله ها معمولاً بسیار بزرگ و سنگین هستند و این یکی از معایب این نوع سیستم می باشد. در شکل (6-10) یک سیستم خنک کن خشک مستقیم با جریان اجباری هوا نشان داده شده است.



شکل (6-10)- برج خشک مستقیم با جریان هوای اجباری

#### 6-3-3-4-3- برجهای خنک کن خشک غیرمستقیم

دو نوع از برجهای خنک کن خشک غیرمستقیم متداول می باشد در نوع اول از چگالنده سطحی استفاده می شود و آب خروجی از چگالنده بوسیله برج از طریق عبور از لوله های پره دار خنک می شود. جریان هوا در این نوع برج ممکن است اجباری و به وسیله فن یا به صورت جریان طبیعی باشد. بدلیل استفاده از دو مبدل حرارتی (از بخار به آب در چگالنده و از آب به هوا در برج) استفاده از این سیستم

شکل (6-11)- سیستم خنک کن خشک غیرمستقیم با چگالنده سطحی و جریان هوای اجباری

در نوع دوم مدار آب واسطه بین محیط و چگالنده حذف می شود و قسمتی از آب چرخه برای خنک شدن به برج ارسال می گردد. در این نوع سیستم از چگالنده های پاششی استفاده می شود. این سیستم خنک کن خشک غیرمستقیم هلو نامیده می شود.

سیستم خنک کن خشک غیرمستقیم هلر اولین بار در سال 1956 توسط هلر<sup>12</sup> پروفیسور دانشگاه فنی بودایست مجارستان در کنفرانس جهانی نیرو در وین مطرح گردید. در این سیستم بخار خروجی از توربین توسط آب عبوری از برج که دبی جرمی آن حدوداً 40 تا 50 برابر دبی بخار خروجی از توربین است، تقطیر می شود. عمل میعان در درون یک چگالنده پاششی صورت می گیرد آب واسطه که حرارت بخار خروجی از توربین را گرفته و گرم شده است، به کمک تعدادی مبدل حرارتی فشرده، حرارت جذب شده را

12 - Heller

با محیط مبادله می کند. مبدل‌های حرارتی بکار رفته در این سیستم، نوع خاصی از مبدل‌های حرارتی فشرده با پره‌های صفحه ای مشهور به فورگو<sup>13</sup> می باشد این مبدل‌ها در اطراف یک برج بلند چیده می شوند. برج براساس مکش طبیعی کار کرده و باعث ایجاد جریان (عبور هوای محیط) از روی مبدل‌ها می شود. این سیستم بعّلت عدم نیاز به آب مصرفی و پائین بودن هزینه های تعمیر و نگهداری و با توجه به امکانات ساخت داخل برای کشور ما بسیار مناسب می باشد.

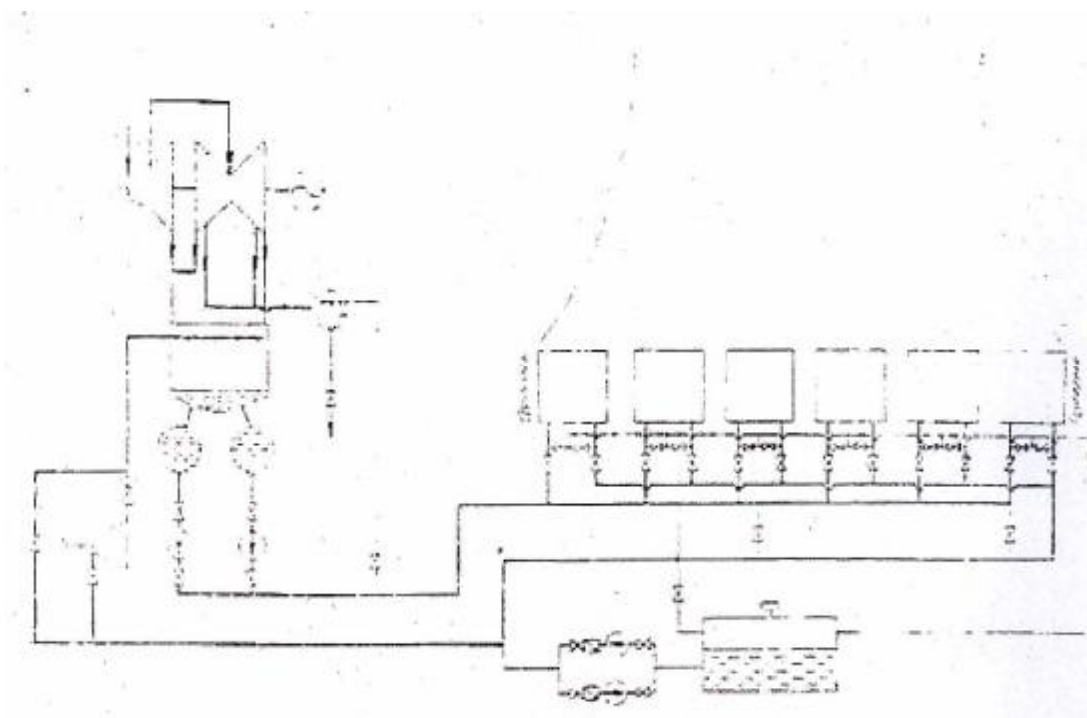
در توسعه طرح فوق مواردی از قبیل استفاده از چگالنده سطحی و یا برج با مکش مصنوعی و یا تغییر نوع مبدل‌های حرارتی مطرح گردیده است. از جمله ویژگیهای خاص این سیستم استفاده از چگالنده پاششی بوده که در مقایسه با چگالنده های سطحی، بسیار ساده تر، سبکتر و ارزانتر بوده، از طرفی چگالنده پاششی دارای بازدهی حرارتی بالاتری بوده و در نتیجه سیستم خنک کن کوچکتری مورد نیاز می باشد. همانگونه که مشخص است در چگالنده پاششی آب عبوری از برج با بخار خروجی از توربین مخلوط می شود. لذا بایستی آب استفاده شده بعنوان سیال واسطه دارای کیفیت قابل قبولی باشد.

این مسئله زمانیکه از چگالنده سطحی استفاده می شود، وجود ندارد و می توان سیال واسطه را از نوع دیگری (بجای آب) که دارای ضریب جذب حرارت بالاتری باشد، انتخاب نمود و بدین ترتیب بازدهی سیستم را افزایش داد. شایان ذکر است که طرح اخیر در مرحله بررسی و تحقیق جهت استفاده در نیروگاههایی با ظرفیت تولید بسیار بالا می باشد.

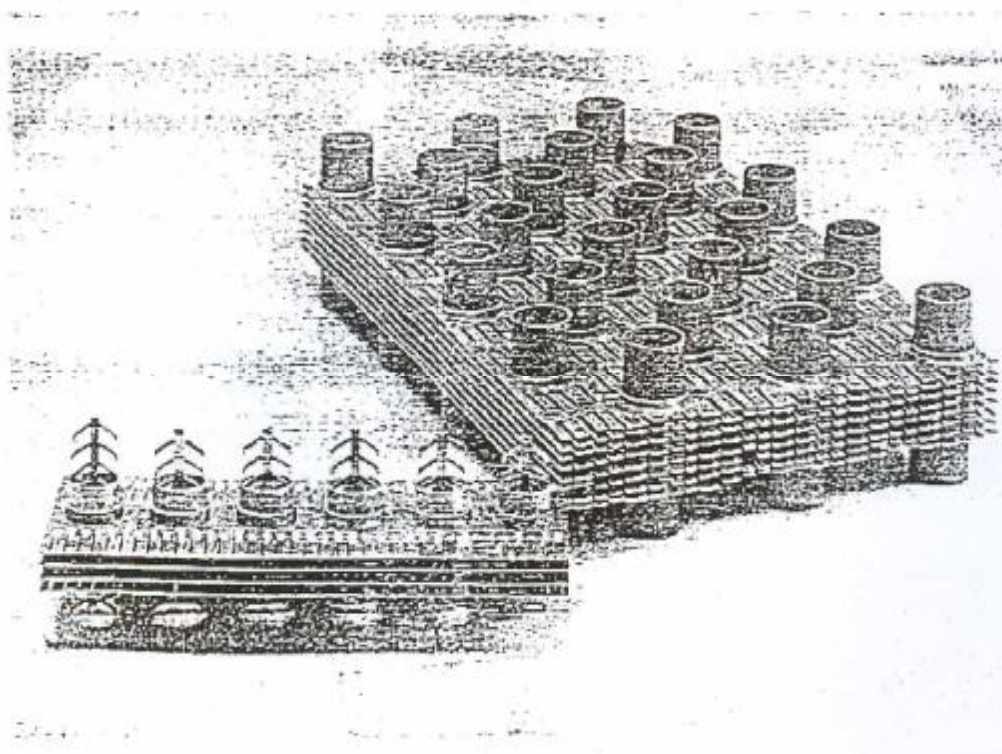
شکل (6-12) طرح شماتیکی از سیستم خنک کن هلر و شکل (6-13) نمونه ای از مبدل‌های حرارتی نوع فورگو را نشان می دهند.

در فصل‌های بعد نگاهی دقیقتر به خصوصیات این سیستم داشته و سعی می شود تا روند طراحی مفهومی سیستم خنک کن خشک هلر با در نظر گرفتن کلیه مسائل عملی و اجرایی بیان گردد.

<sup>13</sup> - Forgo dyne



شکل (12-6) - طرح شماتیکی از سیستم خنک کن خشک غیرمستقیم



شکل (13-6) - نمونه ای از مبدلهای حرارتی نوع فورگو

#### 6-4-3-4- معرفی اجمالی انواع چگالنده های قابل استفاده در سیستم خنک کن هلر

بطور کلی سیستم خنک کن خشک غیرمستقیم هلر قابلیت انطباق و کارکرد مطلوب با هر دو نوع چگالنده سطحی<sup>14</sup> و چگالنده پاششی<sup>15</sup> را دارد اما بدلائل زیر در برج خنک کن هلر عمدتاً چگالنده پاششی مورد توجه قرار گرفته است:

الف: در چگالنده پاششی اختلاف درجه حرارت نهایی بین بخار خروجی از توربین و آب چگالیده در چگالنده ناچیز و عبارت دیگر یکسان می باشد. نتیجه آن کوچک شدن برج خنک کن خشک و کاهش هزینه سرمایه گذاری اولیه برج مورد نیاز با چگالنده پاششی در مقایسه با چگالنده سطحی می باشد.

ب: در چگالنده پاششی به دلایل نبودن لوله واسط انتقال حرارت و امتزاج مستقیم آب و بخار اندازه چگالنده کوچکتر خواهد شد در نتیجه به همان نسبت هزینه چگالنده پاششی کمتر خواهد شد.

ج: میزان صرفه جویی انرژی در چگالنده پاششی بیشتر از چگالنده سطحی است.

با توجه به مطالب بالا میزان سرمایه گذاری نهایی با چگالنده پاششی در مقایسه با چگالنده سطحی در حدود 10 الی 15 درصد کمتر می باشد در نتیجه توصیه می گردد در صورت امکان از چگالنده های پاششی استفاده گردد، که این امر باعث کاهش هزینه طرح و کارایی بیشتر سیستم می شود.

البته در موارد خاصی از جمله نیروگاههای هسته ای که امکان نشت مواد رادیواکتیو از طریق آب سیستم خنک کن وجود دارد ناچاراً بایستی از چگالنده سطحی استفاده نمود که در این مورد نیز سیستم خنک کن خشک هلر دارای تجربه کاری نسبتاً خوبی بوده که از جمله تجارب آن در شوروی سابق از سال 1972 به این طرف می باشد.

از موارد مهم دیگری که در انتخاب نوع چگالنده سیستم خنک کن خشک هلر می بایست مورد توجه قرار گیرد شرایط شیمیایی چرخه و آب در گردش برج خنک کن می باشد.

با توجه به اینکه در چگالنده سطحی، آب در گردش در برج خنک کن بصورت چرخه بسته مجزایی عمل می کند و عملاً هیچگونه تماسی با آب و بخار چرخه نیرو ندارد، لذا امکان ایجاد دو نوع رژیم مناسب

<sup>14</sup> - Surface condenser

<sup>15</sup> - Jet condenser



برج و چرخه مقدور بوده و براساس نیاز در هر کدام می توان رژیم مناسب با شرایط مورد نیاز را ایجاد نمود. اما در چگالنده پاششی بدلیل امتزاج آب در گردش برج با آب چرخه می بایست رژیم شیمیایی مناسبی را تدارک دید که هم در مبدل‌های حرارتی برج خنک کن و هم در تجهیزات چرخه ایجاد خوردگی و خسارت ننماید.

البته در حال حاضر با توجه به تجربیاتی که از بهره برداری برج خنک کن خشک هلر در جهان و بخصوص در کشور خودمان در اصفهان (1) و شهیدرجایی کسب شده است، رژیم شیمیایی قابل قبولی که هم در برج و هم در چرخه ایجاد مسئله ننماید مشخص گردیده که بایستی از این تجربیات نیز در طراحی‌های آینده برای حصول به رژیم شیمیایی مناسب و مطمئن استفاده گردد.

#### 6-4-3-5- اجزاء سیستم خنک کن خشک غیرمستقیم

در سیستم خنک کن هلر جریان آب سرد شده در برج خنک از طریق دو عدد توربین آبی که بصورت موازی با هم قرار گرفته اند وارد چگالنده می گردد. در صورت عدم لزوم استفاده از توربین آبی جهت بازیابی انرژی، آب برگشتی از برج از طریق شیر فلکه های فشار شکن آب به چگالنده وارد خواهد شد. بخار خروجی از توربین بخار ضمن تبادل حرارت در چگالنده به آب تبدیل گشته و به همراه آب برگشتی از برج در چاهک آب داغ<sup>16</sup> انباشته می گردد. بخشی از آب فوق توسط پمپهای آب چگالیده چرخه به طرف دیگ بخار هدایت گشته و بخش دیگر آن (که نسبتاً زیاد است) توسط دو عدد پمپ آب گردشی جهت سرد شدن مجدد به طرف برج خنک کن پمپاژ می شود. آب گردشی پمپ شده از چگالنده عملاً در دلتاهای برج خنک کن که در 6 سکتور موازی آرایش شده اند با هوای محیط تبادل حرارت می کنند. بعلاوه بوسیله دو سکتور خنک کن اضطراری<sup>17</sup> که بصورت موازی با سکتورهای اصلی نصب شده اند، امکان کمک رسانی به تبادل حرارت دلتاها فراهم شده است. نقش اصلی خنک کنهای اضطراری فقط در شرایط پاشش آب قابل ملاحظه می باشد و در شرایط بهره برداری خشک نقش پیک کولرها از کل مقدار

<sup>16</sup> - Hot well

<sup>17</sup> - Peak cooler

حرارت دفع شده ناچیز می باشد. هوای گرم شده پس از عبور از دلتاها بصورت مکش طبیعی از طریق کوره برج به بیرون هدایت می گردد. در شرایط دمای بالای محیط عمدتاً در تابستان جهت جبران کاهش کارایی برج استفاده از خنک کنهای اضطراری با پاشش آب الزامی می باشد. در ضمن در زمان راه اندازی واحد در دمای پائین (زمستان) استفاده از مدوله‌های خنک کن اضطراری جهت گرمایش اولیه دلتاها و جلوگیری از یخ زدگی آنها الزامی می باشد. در زیر به بخش های اصلی سیستم خنک کن و اصول کلی بهره برداری پرداخته شده است.

#### 6-4-3-5-1- چگالنده پاششی

آب ورودی به چگالنده از طریق دو جمع کننده<sup>18</sup> بیرونی از دو طرف وارد توزیع کننده های آب (هدرها) در داخل چگالنده می گردد که از طریق نازل‌های روی هدر به محفظه تبادل حرارت پاشیده می شود تا ضمن ایجاد فیلم آب، سطح مورد نیاز جهت تبادل حرارت با بخار ورودی از توربین را ایجاد نماید. جهت خنک سازی مخلوط هوا و بخار پس از گذشتن از خنک کننده های ثانوی از طریق خلاءسازها<sup>19</sup> هوا از چگالنده خارج گشته و آب گرم در بخش تحتانی چگالنده جمع آوری می گردد. آب جمع آوری شده در مخزن ذخیره آب داغ بوسیله پمپهای آب گردش (سیرکولاسیون) بطرف برج پمپ می گردد.

#### 6-4-3-5-2- گروه هیدروماشین (پمپهای آب گردش)

دو گروه هیدروماشین به ظرفیت 50% هر کدام مستقیماً به چگالنده وصل بوده و بصورت موازی در مسیر آب گردش قرار گرفته اند هر گروه هیدروماشین شامل پمپ آب گردش، توربین آبی و موتور الکتریکی می باشد این سه ماشین فوق بصورت یک مجموعه بوسیله یک محور بهم‌دیگر متصل می باشند در نتیجه نیروی بازیافتی از طریق توربین آبی بوسیله محور مشترک به پمپ آب گردش منتقل می گردد در شرایط عادی هر دو گروه ماشین هیدرولیکی بطور موازی با همدیگر کار می کنند. اما در زمان تعمیرات

<sup>18</sup> - Header

<sup>19</sup> - Ejector

و یا کارکرد نیروگاه با بار پائین می توان بوسیله شیر فلکه هایی که در دو طرف ماشین هیدرولیکی نصب شده یک گروه را از مدار خارج و با یک گروه ماشین هیدرولیکی، واحد را مورد بهره برداری قرار داد که در این شرایط با افزایش دبی پمپ در مدار قرار گرفته به میزان طراحی (55%) میتوان در شرایط طراحی تا حدود 80% بار حرارتی برج را از آن گرفت.

پمپهای آب گردشی گروه هیدروماشین آب را مستقیماً از چگالنده گرفته و با افزایش فشار آن در تمامی شرایط کارکرد واحد آنرا به بالاترین نقطه دلتاهای برج که به اتمسفر وصل است می رساند. آب در گردش پس از رسیدن به دلتاها و تبادل حرارت با هوای محیط بصورت ثقلی از طریق لوله ها آب برگشتی به طرف چگالنده سرازیر می گردد.

در خط برگشتی توربین آبی ضمن بازیافت انرژی، فشار آب پائین دست توربین را در ورود به چگالنده کنترل می نماید. البته در صورت عدم نصب توربین آبی نصب شیر فلکه فشار شکن جهت کنترل فشار آب ورودی به چگالنده با تیغه راهنمای<sup>20</sup> توربین آبی ضروری می باشد.

### 3-5-3-4-6 دلتاها

برای تبادل حرارت آب برگشتی از چگالنده تعدادی دلتا در قسمت پائین برج بصورت عمودی نصب گردیده اند. دلتاها در 6 سکتور مجزا بصورت موازی با هم چیده شده اند و در هر سکتور 24 دلتا قرار دارد که جمعاً 144 دلتا در یک برج وجود دارد. هر دلتا نیز از 4 بخش تشکیل شده است. (در ضمن 12 عدد پیک کولر؛ هر یک بصورت W شکل که از 4 بخش ساخته شده و دارای فن نیز می باشند، در داخل برج تعبیه شده است).

دلتاها بر روی تکیه گاه که روی زمین قرار گرفته نصب می گردند. زاویه بین دو ستون دلتا 49 درجه می باشد نوع دلتاها از تیپ فورگو از آلومینیم می باشد که دارای خاصیت هدایت خوب و مقاوم در مقابل خوردگی اتمسفریک می باشد.

<sup>20</sup> - Guide vane

#### 6-4-3-5-4- خنک کننده اضطراری و بیش گرمایش

خنک کننده اضطراری بصورت موازی با دلتاها به جریان آب برگشتی متصل و به دو سکتور مجزا تقسیم شده اند. در هر سکتور 6 عدد المان خنک کن اضطراری قرار گرفته اند که هر دو المان یک سکتور از دلتاهای برج را پوشش می دهند.

خنک کننده ها در شرایط عادی بخشی از سطوح حرارتی سیستم را تشکیل داده و با جریان مکش طبیعی برج کار می کنند اما در شرایط هوای گرم تابستان و با راه اندازی در زمستان امکان کارکرد المان ها با فن مربوطه پیش بینی شده است البته در شرایط کارکرد هوای گرم علاوه بر راه اندازی فن ها لازم است، آب (پاششی) بروی سطوح حرارتی المانها نیز پاشیده شود.

#### 6-4-3-5-5- مخازن زیرزمینی

دو نوع مخزن آب زیرزمینی در برج تعبیه شده است که بقرار زیر می باشند:

- مخازن ذخیره آب زیرزمینی سیستم تخلیه اضطراری برج
  - مخازن ذخیره آب پاششی خنک کننده های اضطراری
- مخازن آب ذخیره زمینی سیستم تخلیه اضطراری برج جهت نگهداری آب سکتورها به هنگام تخلیه اضطراری برج یا در مواقع عدم کارکرد سکتور بکار می روند. همچنین نقش دیگر این مخازن تنظیم نوسانات آب در گردش سیستم بهنگام گرم شدن و یا سرد شدن سیستم می باشد. تعداد و ظرفیت مخازن براساس میزان گنجایش (ظرفیت) سیستم محاسبه و طراحی می گردد.

بطور کلی وظایف اصلی مخزن آب در گردش عبارتند از:

- ذخیره آب دلتاهای خنک کن یک سکتور، زمانی که آن سکتور در حال کار نمی باشد.
- ذخیره آب مبدلهای حرارتی اضطراری یک سکتور، زمانی که پیک کولرها در حال کار نمی باشند.
- ذخیره آب خنک کن سیستم، زمانی که نیاز به تخلیه اضطراری<sup>21</sup> سیستم خنک کن باشد.

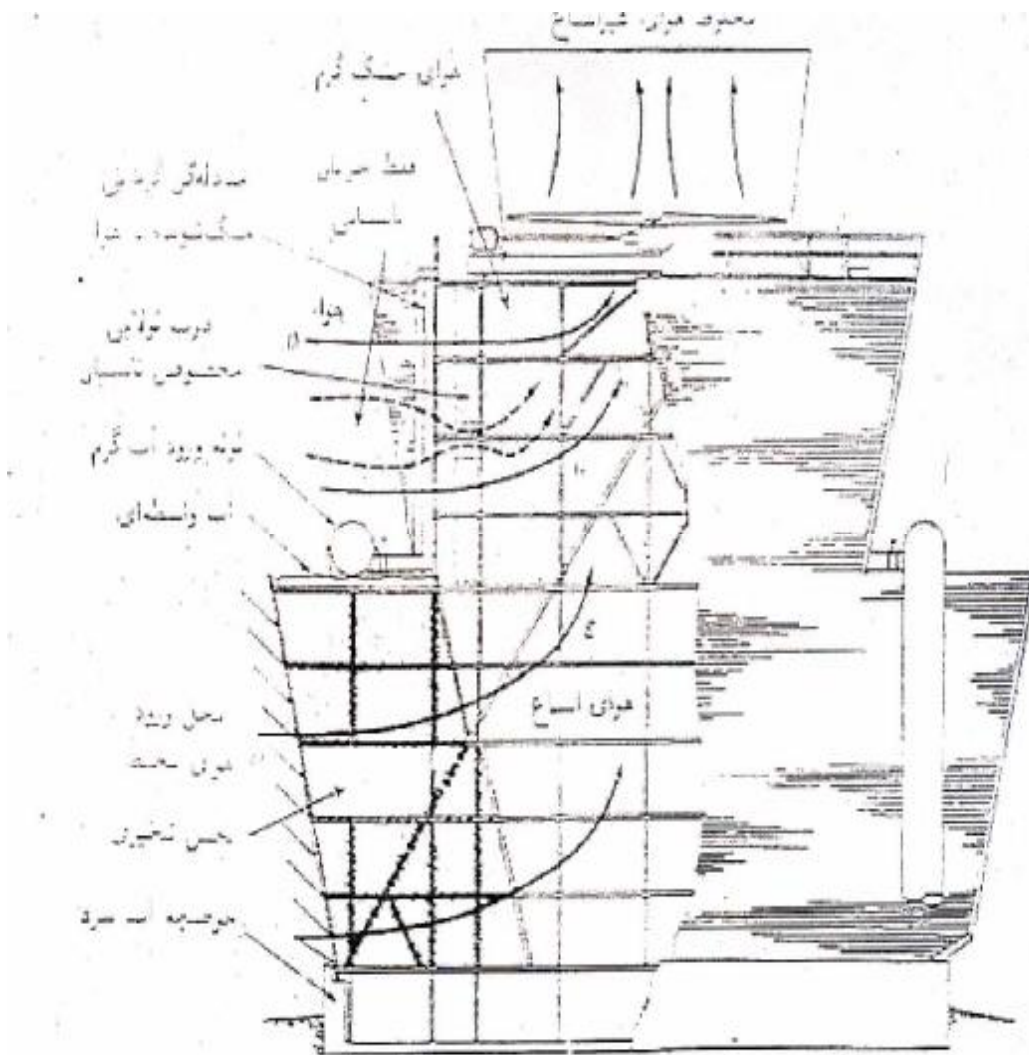
<sup>21</sup> - Emergency drain

- جبران کاهش و یا افزایش حجم آب در گردش در اثر تغییر دمای کارکرد (انبساط حرارتی)
- تأمین حداقل فشار متوسط مورد نیاز برای مکش پمپ تغذیه و جلوگیری از پدیده کاویتاسیون<sup>22</sup>
- پمپ تغذیه تعداد و ظرفیت مخازن براساس میزان گنجایش سیستم محاسبه و طراحی می گردد.
- مخازن ذخیره آب پاششی جهت ذخیره آب مورد نیاز برای پاشش بهنگام کارکرد تر سیستم خنک کننده‌های اضطراری طراحی گردیده است.
- بهمین ترتیب وظایف اصلی مخزن ذخیره آب پاششی خنک کننده های اضطراری عبارتند از:
- ذخیره آب پاششی برای زمانهایی که اختلافی بین مصرف آب پاششی و جبران آن توسط خط تغذیه وجود دارد.
- تأمین حجم آب مورد نیاز برای پر کردن شبکه توزیع آب پاششی
- ذخیره مقدار آب برگشتی (منظور مقدار آب پاششی است که تبخیر نشده و از زیر مبدل‌های حرارتی جمع آوری می شود)
- تأمین حداقل فشار مورد نیاز برای مکش پمپ آب پاششی و جلوگیری از پدیده کاویتاسیون پمپ.
- این مخازن ذخیره آب زیرزمینی معمولاً به شکل استوانه ساخته شده و در کف برج خنک کن نصب می شوند. در کف این مخازن محلهایی برای نصب پمپ جاسازی شده و در بالای آنها محلهایی برای بازدید درون مخزن و یا تعویض و تعمیر پمپ در نظر گرفته می شود. جنس این مخازن معمولاً از فولاد می باشد و برای جلوگیری از خوردگی درون آنها توسط لایه ای از جنس اپوکسی پوشش داده می شود. سطح بیرونی مخازن زیرزمینی نیز همانند لوله های زیرزمینی بکار رفته در سیستم خنک کن خشک غیرمستقیم هدر توسط لایه هایی از قیر پوشش داده می شود. طبیعی است که ابعاد مخازن زیرزمینی و عمق آنها (بمعنی فاصله کف مخزن تا سطح زمین) بستگی به خصوصیات سیستم خنک کن خشک غیرمستقیم هدر مورد بررسی (از نظر شرایط محیطی و طراحی) داشته و از نیروگاهی به نیروگاهی دیگر تفاوت دارد.

<sup>22</sup> - Cavitation

#### 6-4-4- سیستم خنک کن خشک و تر

به طوری که از عنوان برج خنک کن خشک و تر استنباط می شود این برج براساس ترکیبی از سیستمهای خنک کن خشک و تر طراحی شده است. این برج از دو قسمت تشکیل شده است؛ آب ابتدا از لوله های پره در قسمت بالای برج عبور می کند و سپس در قسمت پایین بر روی پرکننده ها می ریزد بنابراین در واقع قسمت خشک برج در بالا و قسمت تر در پایین قرار دارد. جریان هوا در این نوع برج معمولاً به صورت اجباری است در شکل (6-14) مسیر جریان هوا از قسمت خشک و تر برج و همچنین دو قسمت برج دیده می شود.

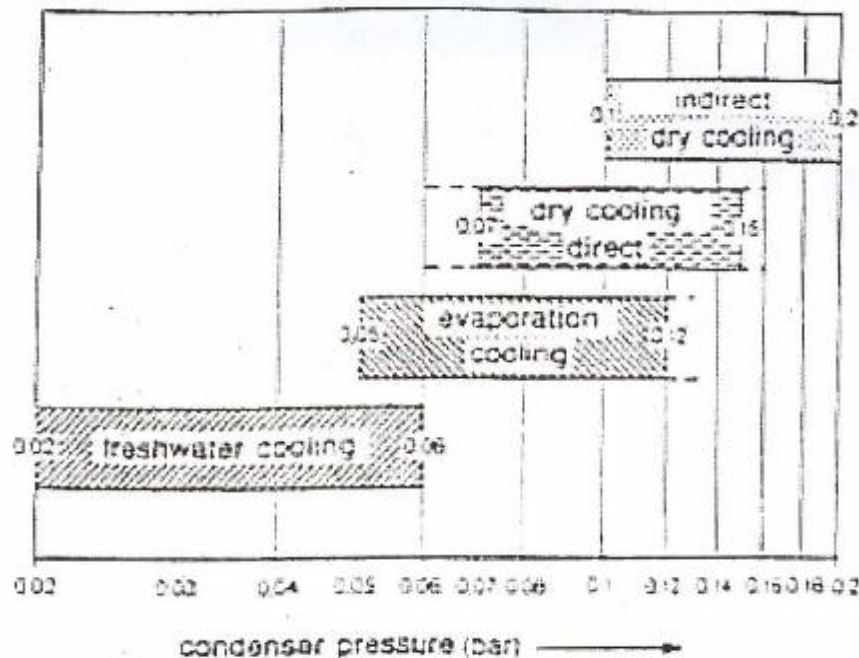


شکل (6-14)- برج خنک کن خشک و تر

### 6-5- ارتباط فشار چگالنده با نوع سیستم خنک کن انتخابی

یکی از ویژگیهای بسیار مهم سیستم خنک کن اصلی تطبیق و هماهنگی این سیستم با محدوده فشار خروجی توربین می باشد هر نوع سیستم خنک کن محدوده فشار خاص در چگالنده را تولید نموده و بنابراین بر سطح مقطع خروجی توربین تأثیر گذار می باشد.

سیستم خنک کن یکبارگذر بهترین محدوده فشار چگالنده از لحاظ ترمودینامیکی (پایین ترین دمای چگالنده) را تأمین می نماید و سیستم خشک غیرمستقیم بالاترین فشار چگالنده را بوجود می آورد در انتخاب نوع سیستم خنک کن تنها محدوده بهینه ترمودینامیکی فشار چگالنده مورد نظر نیست بلکه بررسی جنبه های اقتصادی آن نیز باید مورد توجه قرار گیرد. در شکل (6-15) محدوده کاربرد انواع سیستم خنک کن نمایش داده شده است.



شکل (6-15)- مقادیر پیشنهادی فشار بخار خروجی از توربین برای انواع سیستمهای خنک کن [11]

## 6-6- نیازهای کلی سیستم خنک کن اصلی

### 6-6-1- نیازهای بهره برداری

### 6-6-2- روش جلوگیری از یخ زدگی آب در مبدلها

جلوگیری از یخ زدگی مبدلهای حرارتی سیستم خنک کن هدر در دو مرحله زیر امکان پذیر می باشد:

- استفاده از کرکره<sup>23</sup>

- تخلیه اضطراری سیستم

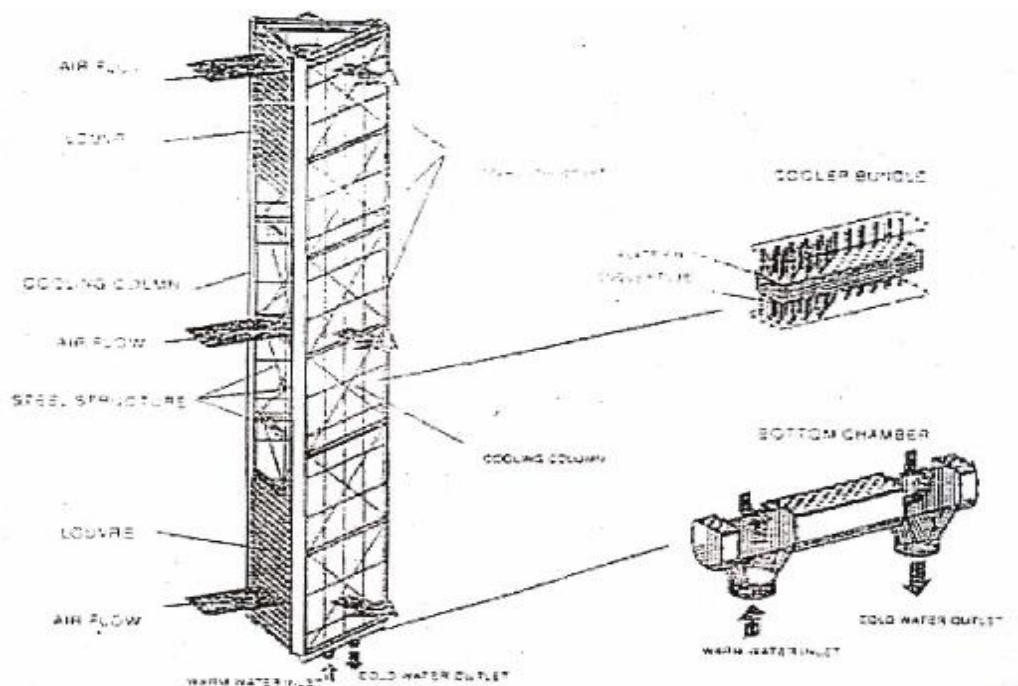
با تعبیه کرکره در قسمت جلویی مبدلهای حرارتی میزان هوای ورودی به دلتاها قابل تنظیم می باشد که با

کنترل این هوا دمای آب سرد خروجی برای بهره برداری مطمئن تنظیم خواهد شد؛ شکل (6-16)

با توجه به بار توربین (بار حرارتی سیستم خنک کن) و درجه حرارت هوای محیط می توان از طریق

سیستم کنترل مرکزی زاویه قرار گرفتن تیغه های کرکره را طوری تنظیم نمود که درجه حرارت آب سرد

خروجی بیشتر از نقطه انجماد آب گردد.



شکل (6-16)- طرح شماتیکی از موقعیت کرکره ها بر روی دلتا [1]



بطور کلی استفاده از کرکره در درجه حرارت پائین محیط این امکان را ایجاد می نماید که با توجه به درجه حرارت محیط و تنظیم هوای ورودی به دلتاها بتوان فشار پشت توربین و چگالنده را طوری بهینه سازی نمود که حداکثر قدرت خروجی از توربین را ایجاد نماید.

در درجه حرارتهای پائین محیط با بسته شدن تدریجی کرکره ها میزان هوای ورودی به دلتاها کاهش یافته و در نتیجه میزان حرارت دفع شده از سیستم خنک کن عملاً کاهش خواهد یافت. این کاهش باعث بالا رفتن درجه حرارت آب سرد خروجی از سیستم خواهد شد.

ذکر این نکته حائز اهمیت می باشد که قدرت خروجی توربین در دماهای پائین محیط از طریق گرفتگی گلوگاه<sup>24</sup> یا خفکان توربین بعثت پائین بودن فشار چگالنده محدود می گردد. لذا با در نظر گرفتن محدودیت فوق و تعریف فشار، درجه حرارت بهینه چگالنده  $(P_c, T_c)$  و همچنین درجه حرارت بهینه آب سرد خروجی از سیستم خنک کن  $(T_{opt})$ ، در درجه حرارتهای پائین محیط، سیستم کنترل در صورت پائین بودن درجه حرارت آب خروجی از درجه حرارت بهینه  $(T_{opt})$ ، شروع به بستن مرحله ای کرکره ها خواهد نمود. بعد از حدود 10 دقیقه تأثیر بسته شدن کرکره ها از طریق سیستم کنترل یا اپراتور مورد ارزیابی مجدد قرار گرفته و در صورت مطلوب نبودن درجه حرارت شروع به تنظیم مجدد کرکره ها خواهد نمود. تنظیم مرحله ای کرکره ها تا انطباق درجه حرارت واقعی با درجه حرارت بهینه ادامه خواهد یافت.

با توجه به نقشی که هوای ورودی در یخ زدگی مبدلها دارد، در صورت وجود هرگونه خطر یخ زدگی در هر کدام از سکتورهای سیستم خنک کن باید تمهیدات مناسب جهت بسته شدن اتوماتیک و سریع کرکره ها پیش بینی گردد. بطور کلی امکان یخ زدگی در مبدلها در دمای پائین تر از 2 درجه سانتی گراد محیط وجود دارد بنابراین اگر درجه حرارت آب خروجی از سکتور پائین تر از حد درجه حرارت بهینه  $(T_{opt})$  باشد لازم است اقدامات احتیاطی با توجه به درجه حرارت محیط جهت جلوگیری از یخ زدگی انجام گیرد.

البته باید توجه داشت که کرکره ها علاوه بر جلوگیری از امکان یخ زدگی بنوعی عمل بهینه سازی سیستم در راستای بار حداکثر توربین را نیز انجام می دهد بهر حال در صورت پائین رفتن درجه حرارت

<sup>24</sup> - Chinking paint

آب خروجی از سکتورها از میزان  $11^{\circ}\text{C}$  آلام اعلام خطر یخ زدگی به سیستم کنترل ارسال خواهد شد. درجه حرارت فوق در سمت راست و چپ رینگ برگشتی داخل برج اندازه گیری می گردد.

در دمای محیط پائین تر از  $2^{\circ}\text{C}$  در صورتیکه درجه حرارت آب برگشتی از چگالنده کمتر از  $10^{\circ}\text{C}$  گردد کرکره های سکتور مربوطه بایستی بطور اتوماتیک و سریع بسته شوند به هنگام بسته شدن کرکره های فوق که در حدود 90 ثانیه طول خواهد کشید در صورتیکه دمای آب برگشتی باز هم پایین بیاید، باید سکتور مربوطه تخلیه گردد؛ تخلیه سکتور باید با بسته شدن شیر آب ورودی به سکتور همراه گردد.

- تخلیه اضطراری سیستم:

تخلیه اضطراری سیستم در زمانی لازم است که با توجه به تمهیدات بالا، امکان بالا بردن درجه حرارت آب خروجی موجود نبوده و درجه حرارت آب خروجی از مقدار  $+8$  درجه سانتی گراد نیز پائین تر رود در این صورت لازم است سیستم تخلیه اضطراری عمل نموده و با توقف جریان آب و خاموش شدن پمپهای گردشی اصلی، شیرهای تخلیه اضطراری باز و آب داخل دلتاها و همچنین لوله های بالای سطح زمین به مخزن زیرزمینی که به همین منظور پیش بینی شده تخلیه گردد.

## 6-7- تجهیزات سیستم هیدرولیک

مشخصات تجهیزات سیستم هیدرولیک در دو بخش به قرار زیر ارائه می گردد:

### 6-7-1- شیرآلات

شیرآلات سیستم هیدرولیک برج خنک کن از قسمتهای مهم این بخش می باشد که در کارکرد بهینه سیستم و همچنین قابلیت در دسترس بودن سیستم تأثیر بسزایی دارد. موارد مهمی که در انتخاب شیرآلات در نظر گرفته شده است عبارتند از:

- آب بندی مناسب و نداشتن امکان نفوذ هوا به سیستم بخصوص در شیر فلکه های در ارتباط با

چگالنده (شیر فلکه های ورودی به پمپ و خروجی از توربین)

- افت فشار کم در شیر فلکه
  - سرعت مناسب در باز و بسته شدن شیر و عملکرد مناسب در دبی های زیاد
  - سادگی ساخت، تعمیرات و نگهداری
  - اشغال فضای کم
  - قیمت پایین و مناسب در حد نیاز پروژه
- با توجه به مطالب بالا و محدودیت در فضای پمپ خانه محل استقرار پمپهای گردشی و همچنین دبی زیاد آب در گردش سیستم هدر شیرهای پروانه ای دارای عملکرد بهتری در سیستم هدر بوده و ضمن اشغال فضای کمتر دارای افت فشار پایین تری نسبت به سایر انواع شیرهای دیگر بوده و همچنین در مقایسه با شیرهای دیگر از قیمت مناسب تری برخوردار می باشد و بهمین دلیل در طرح سیستم هدر عمدتاً از شیرهای نوع پروانه ای استفاده می گردد.
- از سایر شیرآلات مهم سیستم می توان از شیرهای هواگیری سیستم نام برد که برای هواگیری سیستم و همچنین جایگزینی هوا در هنگام تخلیه اضطراری جهت جلوگیری از ضربه قوچ الزامی می باشد.
- شیرهای هواگیری در دو نوع اتوماتیک و دستی در سیستم باید پیش بینی گردند که شیرهای هواگیری دستی برای راه اندازی سیستم و شیرهای هواگیری اتوماتیک جهت هواگیری و همچنین ورود هوا در شرایط تخلیه اضطراری لازم است.
- از موارد مهم در انتخاب شیرهای سیستم، توجه به زمان باز و بسته شدن شیرها می باشد که جهت جلوگیری از ضربه قوچ در سیستم لازم است؛ زمان باز و بسته شدن شیرها در حد 30 تا 60 ثانیه باشد.

## 6-7-2- پمپها

پمپهای سیستم هدر به دو بخش قابل تقسیم می باشند که عبارتند از:

- پمپهای گردشی
- پمپهای انتقال و پاشش آب خنک کننده های اضطراری

### الف - پمپهای گردش

پمپهای گردش وظیفه انتقال آب از چگالنده به بالای دلتاهای برج خنک کن هالر را بعهدده داشته و جزو قسمتهای اصلی سیستم هیدرولیک سیستم خنک کن می باشد. ظرفیت این پمپها 50% آب در گردش سیستم و تعداد آنها 2 عدد انتخاب می گردد که در کارکرد عادی سیستم، دو پمپ بصورت موازی در مدار خواهند بود و در شرایط اضطراری می بایست هر پمپ قابلیت کارکرد تکی را داشته باشد. پمپها می توانند از نوع سانتریفوژ با مکش دو طرفه بصورت عمودی یا افقی در نظر گرفته شود.

با توجه به اینکه پمپها در اندازه بزرگ می باشند جهت بالا بردن ضریب اطمینان در هنگام خرابی در پمپها حداقل دو عدد پمپ باید انتخاب گردد تا در صورت خراب شدن و از مدار خارج شدن یک پمپ، پمپ دیگر بتواند نیروگاه را در بار پایین تری در مدار قرار دهد. از طرف دیگر در بارهای پایین تر امکان مانور بیشتر بصورت خارج کردن یکی از پمپها از مدار در اختیار بهره بردار قرار می دهد.

در صورتیکه استفاده از توربین آبی در سیستم امکان پذیر باشد ظرفیت و تعداد آنها مشابه پمپهای گردش خواهد بود ضمن آنکه ارتفاع (هد) توربین های آبی براساس فشار خفکان تعیین خواهد شد.

### ب - پمپهای انتقال و پاشش آب خنک کننده های اضطراری

پمپهای انتقال بر روی مخازن تخلیه زیرزمینی نصب می گردند و وظیفه انتقال آب از مخازن فوق به رینگ برگشتی آب گردش برج را بعهدده دارند. تعداد این پمپها برای حاشیه ایمنی و داشتن رزرو مناسب دو عدد انتخاب می گردد و ظرفیت آنها 50% آب مورد نیاز می باشد.

با توجه به اینکه مخازن زیرزمینی نوعاً از فولاد و مدفون می باشد لذا پمپهای تر عمودی قابل نصب در داخل مخازن از نظر اقتصادی مقرون به صرفه می باشد. پمپهای پاششی آب خنک کننده های اضطراری وظیفه انتقال آب از مخازن زیرزمینی ذخیره آب پاششی به مبدلهای خنک کننده های اضطراری را بعهدده داشته و بصورت مشترک یا تکی برای خنک کننده های اضطراری قابل پیش بینی می باشد با توجه به تعداد نسبتاً زیاد خنک کننده های اضطراری از نظر سرمایه گذاری و نگهداری؛ در نظر گرفتن پمپهای مشترک مناسب می باشد. نوع، تعداد و ظرفیت پمپهای فوق مشابه پمپهای انتقال می باشد.

### 6-7-3- مشخصات فنی مبدل‌های حرارتی

مبدل‌های حرارتی بکار رفته در سیستم خنک کن خشک غیرمستقیم ه‌لر از نوع مبدل‌های حرارتی

فورگو (لوله و فین آلومینیومی) بوده که بصورت زیر استاندارد شده اند: [1]

فاصله فین ها از یکدیگر 2/86 mm

ضخامت فین ها 0/33 mm

قطر خارجی لوله ها، قبل از انبساط 17/75 mm

قطر خارجی لوله ها، بعد از انبساط 18/6 mm

ضخامت لوله ها 0/75 mm

نسبت سطح خارجی به داخلی 15/3

پره ها از نوع فین های صفحه ای شیاردار بوده و آرایش لوله ها بصورت مثلثی (زیگزاگ<sup>25</sup>) می باشد.

خصوصیات آرایش لوله ها بصورت زیر می باشد:

تعداد لوله ها 240 عدد

تعداد ردیف لوله ها 6 عدد (سه ردیف رفت و سه ردیف برگشت)

تعداد لوله ها در هر ردیف 40 عدد

طول مبدل‌های حرارتی 2400 mm

عرض مبدل‌های حرارتی (در جهت جریان هوا) 150 mm

ارتفاع مبدل‌های حرارتی می تواند 5، 10، 15، 20 و یا 25 متر باشد که از رویهم قرار گرفتن تعدادی

مبدل پنج متری بوجود می آید مبدل‌ها 5 و 10 متری بیشتر در سیستم‌های خنک کن کمکی و یا صنعتی

بکار می روند و عموماً از نوع مکش طبیعی و بصورت مکش اجباری کار میکنند. نوع دیگری از مبدل‌های

حرارتی که شامل لوله و فین فولادی می باشد نیز در سیستم خنک کن خشک مستقیم بکار می رود.

این مبدل‌های حرارتی تاکنون در سیستم خشک غیرمستقیم هلو بکار نرفته اند و هیچگونه تجربه ای در این مورد وجود ندارد.

هر دو مبدل حرارتی توسط یک قالب فلزی با زاویه خاصی در کنار یکدیگر قرار می گیرند و تشکیل یک دلتا می دهند، هر دلتا دارای یک کرکره قابل تنظیم است که بصورت مکانیکی، جریان هوای عبوری از مبدل‌های حرارتی را کنترل می کند.

مبدل‌های حرارتی از دو سر به هدرهایی متصل شده اند و آب پس از ورود به نیمه هدر پائینی از طریق 120 لوله بازگشت وارد نیمه هدر دیگر پائینی می شود و از مبدل خارج می گردد. بعبارت دیگر مبدل حرارتی از نوع دوبارگذر می باشد. آب از طریق سه ردیف لوله های طرف داخل بالا رفته و از طریق سه ردیف لوله های طرف بیرون برج خنک کن برمی گردد.

در یک جمع بندی می توان بیان کرد که اجزای اصلی تشکیل دهنده یک دلتا عبارتند از:

- مبدل‌های حرارتی استاندارد پنج متری
- هدرها
- صفحات و چارچوب فلزی نگهدارنده
- اتصالات قابل انعطاف
- کرکره ها

بعنوان مثال جنس و وزن قطعات بکار رفته در یک دلتای 15 متری استاندارد در زیر ارائه شده است:

جنس	وزن به kg	
آلومینیم و آلیاژ آلومینیم و فولاد	4372	مبدل حرارتی
آلومینیم خالص 99/5%	753	لوله ها
آلومینیم خالص 99/5%	2775	فین ها
آلیاژ آلومینیم، منیزیم و سیلیسیم	188	صفحات نگهدارنده

نگهدارنده لوله ها	406	آلیاژ آلومینیم و منیزیم
قطعات اتصال	32	آهن کربن دار
هدرها	147	آلیاژ آلومینیم و منیزیم
O-Ring	3	لاستیک
پیچهای اتصال هدرها	68	فولاد
تکیه گاههای فولادی و صفحات محافظ	1767	فولاد
کرکره ها	743	فولاد
دیگر قطعات	135	فولاد آلیاژی و لاستیک
جمع کل	7043	

این نوع از مبدل‌های حرارتی در دامنه وسیعی از تغییرات دما و فشار کارایی دارند. بطور کلی محدوده قابل استفاده این نوع مبدل‌های حرارتی عبارتند از:

○ محدوده دمایی از 60 تا 100+ درجه سانتیگراد

○ محدوده فشار زیر 100 bar

این نوع از مبدل‌های حرارتی مقاومت خوبی در برابر خوردگی و تاثیرات شرایط محیطی دارند، بگونه ای که نیاز به هیچگونه عملیات محافظتی نمی باشد. اما برای جلوگیری از رسوب گرد و غبار از سمت جریان هوا بهتر است در فواصل زمانی مشخص با کمک فشار هوا و یا جریان آب گرد و غبار نشسته بر روی مبدل‌ها را پاک نمود.