

کتابچه آموزشی طراحی قسمت های مختلف سیستم های تهویه مطبوع

تهییه و تنظیم :

محمد رضا جهانگیری

تقدیم به :

علی رستمی

پاییز 1386

<http://www.mohandes-iran.com>

فهرست

صفحه	عنوان
3	تعریف کلی تهویه مطبوع
4	چیلر
7	روش انتخاب چیلر
9	تقسیم بندی فشار بخار
10	یونیت هیتر بویلر
	انتخاب بویلر (<i>Lps Boiler</i>)
11	سایزینگ لوله های آب داغ
12	سایزینگ لوله بخار مشعل
14	طراحی مشعل دی ارتیور
16	دی ارتیورهای بویلرهای <i>Lps</i> دی ارتیورهای بویلرهای <i>Hps</i> طرفیت تانک بالاسر دی ارتیور
17	<i>Blow Down</i> <i>Blow Down (Lps)</i> <i>Blow Down (Hps)</i> <i>Chilled water pump</i> <i>heating pump</i> <i>condense pump Lps</i> <i>condense pump Hps</i>
18	فلاش تانک
19	مخازن سوخت اصلی
	مصرف سوخت کل
	برج خنک کن
22	آب مصرفی برج ها

هد پمپ های سیر کوله‌ی آب برج ها



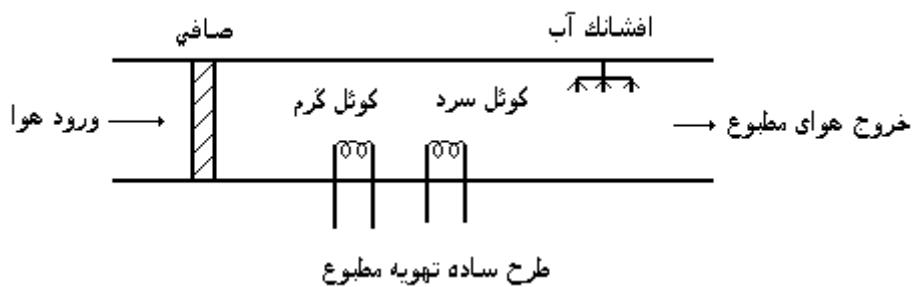
23	سیکل بخار موتورخانه
25	نمودار سایکرومتریک
28	فن کویل
30	$(T_{consensin g})$
31	سیکل ساده بخار
32	سیستم های لوله کشی
33	سایزینگ لوله های بخار
	سایزینگ لوله های گاز
	سایزینگ لوله های آب
35	سیکل DX
37	ثبت فشار در یک مکان
	هوای فشرده
38	ظرفیت سنجه
39	نحوه تولید هوای فشرده H.P
	لوله کشی هوای فشرده
	اصول سایزینگ
	لوله های هوای فشرده sizing
40	فرمول محاسبه قطر لوله
	گازهای طبی
41	لوله کشی اکسیژن
	کمپرسور ها
43	تعیین ظرفیت مخزن
46	فیلتراسیون
47	خشک کن ها Dryers
48	درایر تبریدی
49	درایر جذبی
	فرایند در ایرو واشر (air washer)
50	یک نمونه طراحی کمپرسور خانه
56	تبديل واحد



تعريف کلی تهویه مطبوع

سیستم تهویه مطبوع، عبارت است از سیستمی که بتواند درجه حرارت، رطوبت، درجه تمیزی و فشار مثبت یک مکان تمیز را تأمین می کند.

شکل زیر نمای ساده‌ی یک تهویه‌ی مطبوع را نشان می دهد.



طرح ساده تهویه مطبوع

سیستم‌های گرمایش

- گرمایش با آب گرم
- گرمایش با هوا گرم
- گرمایش با بخار آب
- گرمایش با الکتریسته
- گرمایش با تشعشع

سیستم‌های سرمایش

- سیستم تبخیری
- سیستم چیلر تراکمی
- سیستم چیلر جذبی
- سیستم انژکتوری

سیستم تبخیری: آب در برخورد با هوا گرمتر از خود، گرمای هوا را جذب کرده و بخار می شود. در این فرایند، دمای هوا مقداری پایین می آید و اساس کار سیستم تبخیری چنین است که

هنگام پاشیده شدن آب به زمین گرم فریند تبخیری رخ می دهد. سپس دما کاهش می یابد و هوای اطراف خنک می شود.

سیستم انژکتوری : این سیستم نیز یک ماشین مبرد است که کاربرد چندانی ندارد.

چیلر

چیلر یک مبدل حرارتی که آب سرد جریانی در کویل هواساز یا فن کویل را تهیه می کند. چیلرهای از نظر سیستم تبرید به دو دسته‌ی تراکمی تبخیری و جذبی تقسیم می شوند و از نظر ساخت می توان آنها به سه دسته‌ی زیر تقسیم کرد:

۱. کمپرسوری

۲. جذبی

۳. سانتریفیوژ

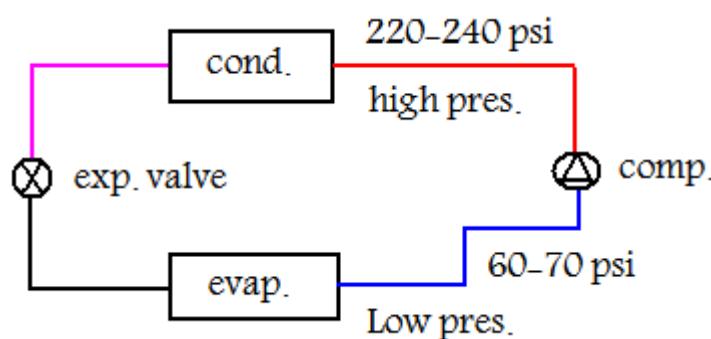
چیلر جذبی	<i>Single pressure → LPS</i>	*
	<i>Double pressure → 8–11 bar</i>	
	<i>Hot water</i>	
	<i>Warm water</i>	

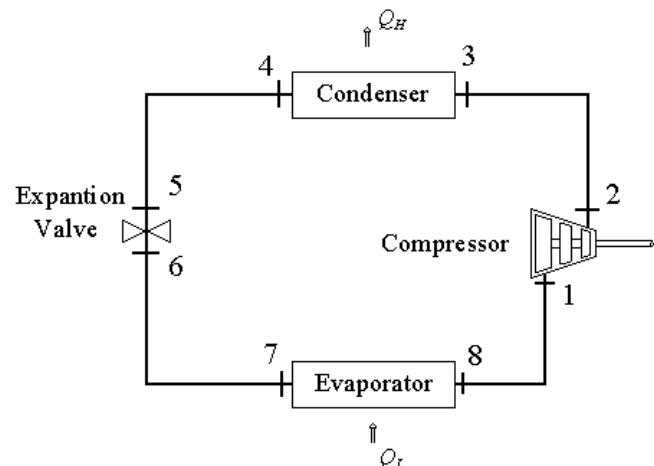
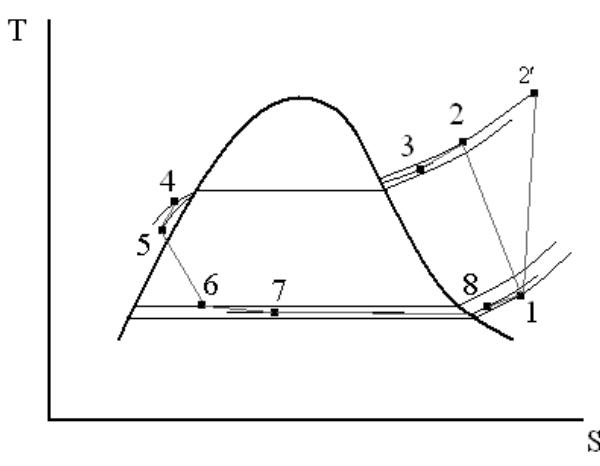
* بهترین نوع چیلرهای جذبی می باشند.

یا شعله مستقیم دارای ظرفیت های محدودی می باشند.

قسمت های اصلی یک چیلر تراکمی عبارتند از :

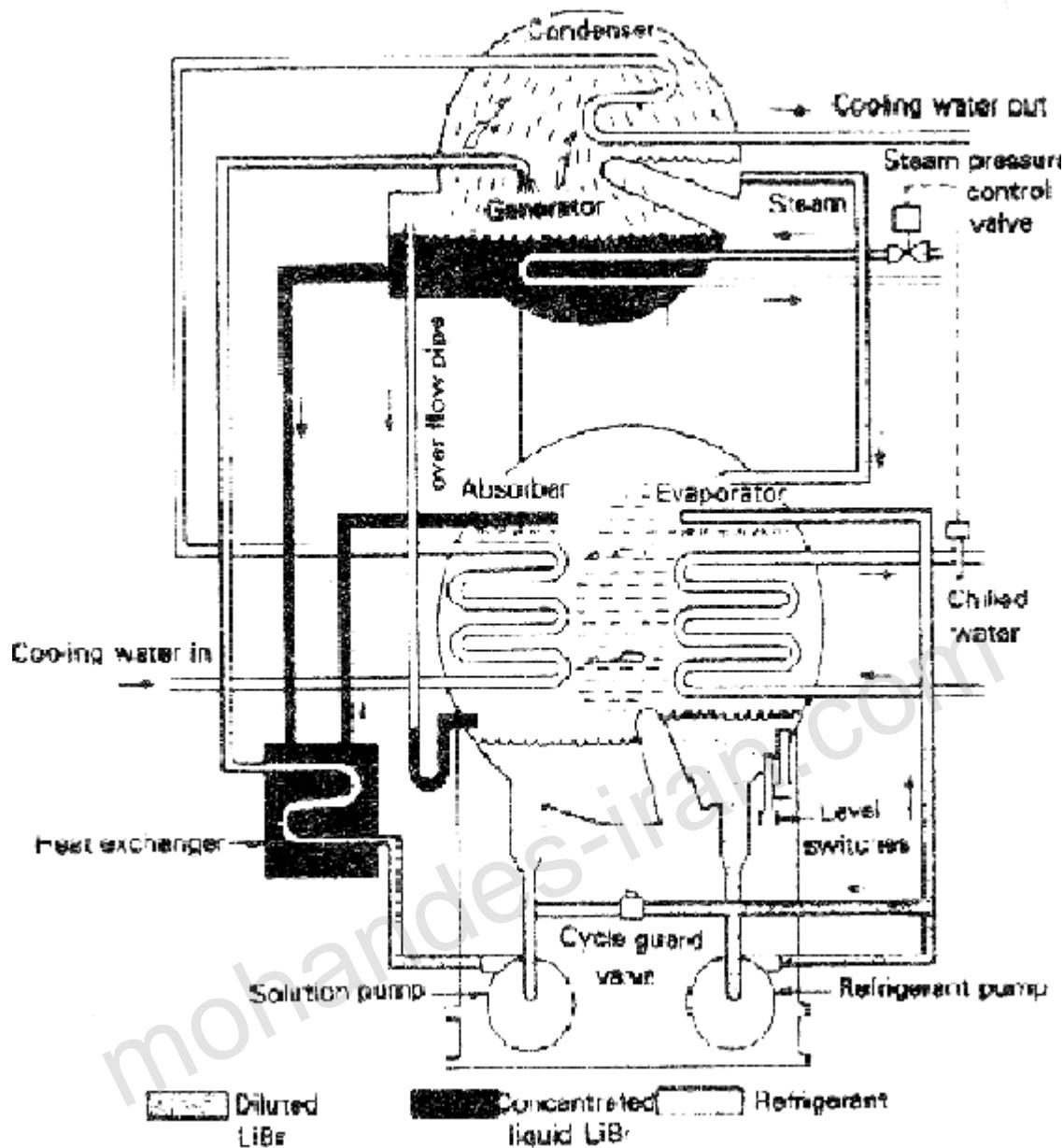
الف) کمپرسور ب) کندانسور ج) شیر انساط د) اوپراتور





چیلر جذبی از اجزای زیر تشکیل شده است :

اوپراتور - جذب کننده - ژنراتور کندانسور - مبدل حرارتی - پمپ و وسایل کمکی دیگر



تجهیزات اضافی که معمولاً روی چیلر نصب می شوند به شرح زیر است :

روی لوله مایع از کندانسور بترتیب شیر سرویس، شیر تغذیه گاز به سیستم، فیلتر خشک کن ، شیر سلونوئیدی، سایت گلاس و شیر انبساط نصب می شود.

در روی اوپراتور آنتی فریز و ترمومتر نصب می شود. روی کمپرسور در قسمت ورودی یا مکش و خروجی گاز دو عدد گیج فشار سنج نصب می شود، همچنین دو عدد گیج فشار سنج بر روی پمپ رونگ که یکی در فشار پایین و دیگری در فشار بالای پمپ وصل می شود که کار آنها نشان دادن میزان فشار است.

یک کنترل فشار بالا و پایین بنام های *High - Low pressure* به قسمت های بالا یعنی رانش و یا مکش نصب گردیده است. چنانچه فشار از حد تنظیم زیادتر یا کمتر گردد برق چیلر قطع می شود.

یک کنترل فشار روغن بنام *oil - pressure* که اختلاف فشار بالا و پایین روغن را در حد تنظیم نگه می دارد و چنانچه از این حد اضافه گردد چیلر خاموش می شود. دیگری هیتر روغن می باشد که قبل از روشن کردن چیلر روغن را گرم و آماده می کند و در زمان روشن بودن چیلر، هیتر را از مدار خارج می کند.

روی کندانسور نیز شیر اطمینانی قرار دارد که بالای فشار نرمال گاز را تخلیه می کند.

heat reject → سرمایی → *condenser*

رطوبت پایین heat reject → سرمایی → *cooling tower*

روش انتخاب چیلر :

جهت انتخاب چیلر باید در وله‌ی اول ظرفیت دستگاه یا تناژ تبرید را مشخص کرد. سپس نوع چیلر نسبت به تعداد نفرات کمپرسور و شکل قرار گرفتن موتور و کمپرسور از لحاظ بسته و نیمه بسته و باز بودن در شرایط مناسب انتخاب کرد. البته باید دانست که هر چه تعداد موتور برای یک ظرفیت مشخص بیشتر باشد مقدار استهلاک چیلر کمتر خواهد بود. در نتیجه عمر چیلر بالاتر می رود. در مشخصات کاتالوگ سازنده‌ی چیلر مقدار ظرفیت و تعداد و نوع کمپرسور و مشخصات هیدرولیکی و فیزیکی اوپراتور و کندانسور و میزان شارژ روغن و گاز و همچنین وزن چیلر داده شده است.

$$\text{Total coil load } \frac{\text{Btu}}{\text{hr}} =$$

$$TON_{(\text{actual})} = \frac{GTH (\text{Btu})}{12000} =$$

$$L = \text{چند دستگاه} / TON \times 1.1 \text{ برای چیلر جذبی}$$

10% بعنوان *safety factor* در نظر گرفته شده است.

$$GTH (\text{Btu} / \text{hr}) = \text{total coil load} / 12000 = TON \text{ (chilled water - actual)}$$

برای محاسبه‌ی TON (NOMINAL) از ضرایب EER, COP که بستگی به راندمان کمپرسور و اقلیم سایر شرایط کمپرسور دارد استفاده می‌شود. ما برای محاسبه به میزان $actual$ نیاز داریم .
 (جلد ۱ کتاب *refrig.* ASHRAE)

NOMINAL > ACTUAL

2/3 ظرفیت رزرو را قرار می‌دهیم $for heating \rightarrow$ برای چیلر تراکمی

رزرو را به شرط خواستن پیمانکار قرار می‌دهیم. $\rightarrow for cooling$.

ما بعنوان طراح حتماً باید بدانیم که کارفرما چیلر جذبی را از چه شرکتی تهیه کرده است. بدون دانستم آن نمی‌توان طراحی را انجام داد.

$YORK$ = کاتالوگ شرکت $steam consumption(1ton = 18.7 \frac{lb}{hr.ton})$

$$catalog \left\{ \begin{array}{l} steam consumption for generator = \downarrow \\ T_{absorber} = \downarrow \\ condenser(gpm) = \downarrow \\ chilled water (gpm) = \downarrow \end{array} \right.$$

این پارامترها برای شرکت‌های مختلف فرق می‌کند.

نکته : $C.O.P$ بیشتر برای چیلرهای تراکمی (دارای کمپرسور) مطرح است نه جذبی، در واقع همان اختلاف راندمان و دمای اقلیم باعث اختلاف واقعی با تن اسمی می‌شود.

(اقلیم) با ورودی T_{wb}

$\Rightarrow (catalog) LPS = 1.5$ مثلاً از کاتالوگ می‌خوانیم

برای هر چیلر TON

$$Steam Consumption = TON \times 18.7 \frac{lb}{hr.ton} = \downarrow$$

$$(Chilled water) gpm = \frac{GTH}{5000} \quad \frac{Btu}{hr} = \downarrow$$

$$gpm = \left\{ \begin{array}{l} \\ 2.5 \frac{ft}{100ft} \end{array} \right\} \rightarrow \text{قطر لوله ها} \rightarrow \text{chilled water} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} CHWR = \\ CHWS = \end{array} \right.$$

مقدار آب جریان یافته درون اوپراتور ها به ازای هر تن $2.4GPM$ است. عموماً دمای آب ورودی به اوپراتور $10F$ خنک تر می شود.

وقتی که در $SStandby$ ، $HVAC$ در نظر می گیریم مثلاً یک چیلر ذخیره داریم باید سیستم اتوماتیک داشته باشیم تا یک چیلر دائم کار نکند و چیلر ذخیره اصلاً کار نکند. معمولاً 45 روز چیلر اصلی کار می کند 15 روز چیلر ذخیره.

Steam to water heat exchanger

$$\text{total } Q_H =$$

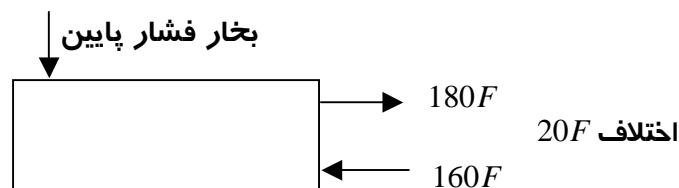
$$Q_H \times 1.1 =$$

$$\frac{Btu}{hr} = \text{تعداد در بویلر/} \quad \text{آید}$$

$$Lps \ 1.5bar \ or \ 15psig \rightarrow h_{fg} =$$

$$\text{Steam consumption} = \frac{Q_H \times 1.1}{h_{fg}} = \left(\frac{lb}{hr} \right)$$

$$\left. \begin{aligned} \left(\frac{lb}{hr} \right) &= \\ pressure \ drop &= \frac{0.5psi}{100ft} \end{aligned} \right\} \rightarrow \text{سایزینگ لوله های بخار}$$



تقسیم بندی فشار بخار:

اکثر تاسیسات روی LPS کار می کنند و که در آنها کندانس بصورت ثقلی به چال کندانس هدایت می شود. تنها دستگاهی که هم روی LPS و هم MPS کار می کند، چیلر جذبی است.

برای فشار های *LPS* و *MPS* بخار دارای فشار زیادی است و برای هدایت آنها به چال کندانس باید لوله کشی کرد.

اگر بخار *Lps* داریم باید از چیلر جذبی یک مرحله ای استفاده کنیم اما هنگامی که بخار *Hps* داریم میتوانیم از چیلر جذبی دو مرحله ای استفاده کنیم چون تا 8bar فشار بخار به آن وارد می کنیم.

HPS : High Pressure Steam $\leq 10\text{bar}$

MPS : Medium Pressure Steam 5bar

LPS : Low Pressure Steam $p \leq 1.5\text{bar}$

یونیت هیتر : *UN*

این دستگاه بیشتر برای کارگاه ها و فضای بزرگ مناسب است و تشکیل شده از لوله های پره داری که که بصورت مارپیچ در چند ردیف قرار گرفته اند و آب گرم، آب داغ یا بخار در آنها جریان می یابد، و یک بادبزن هوا را از روی لوله ها عبور می دهد. بنابراین انتقال حرارت توسط یونیت هیتر توسط جابجایی اجباری خواهد بود.

البته ممکن است برای گرمایش اتاق یا فضای ساختمان بجای استفاده از واحدهای مستقل (رادیاتور، فن کویل کنکتور و یونیت هیتر)، هوای گرم را در یک مرکز بنام دستگاه هوا ساز تهیه نموده و از طریق کanal به اتاق یا محل مورد نظر هدایت کرد.

PU(Pakage Unit) : هواسازی که کمپرسور دارد.

PU : Package unit

RAC : Room airconditioner

UH : Unit heat

فقط برای جابجایی هوا \rightarrow فن محوری

افت کمی رانیز می تواند تحمل کند \rightarrow فن شعاعی

RW \rightarrow سختی گیر *SW* \rightarrow سختی *PWC*

میکروب

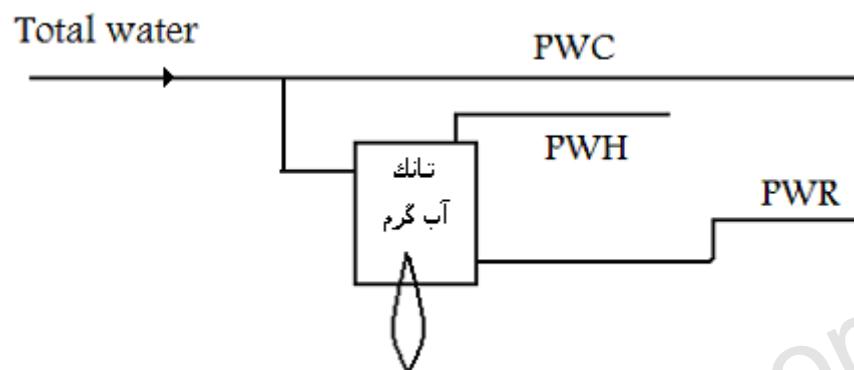
PWC : potable water cold

PWH : Potable water hot

PWR : Potable water Return

SW : softner water

RW : Row Water

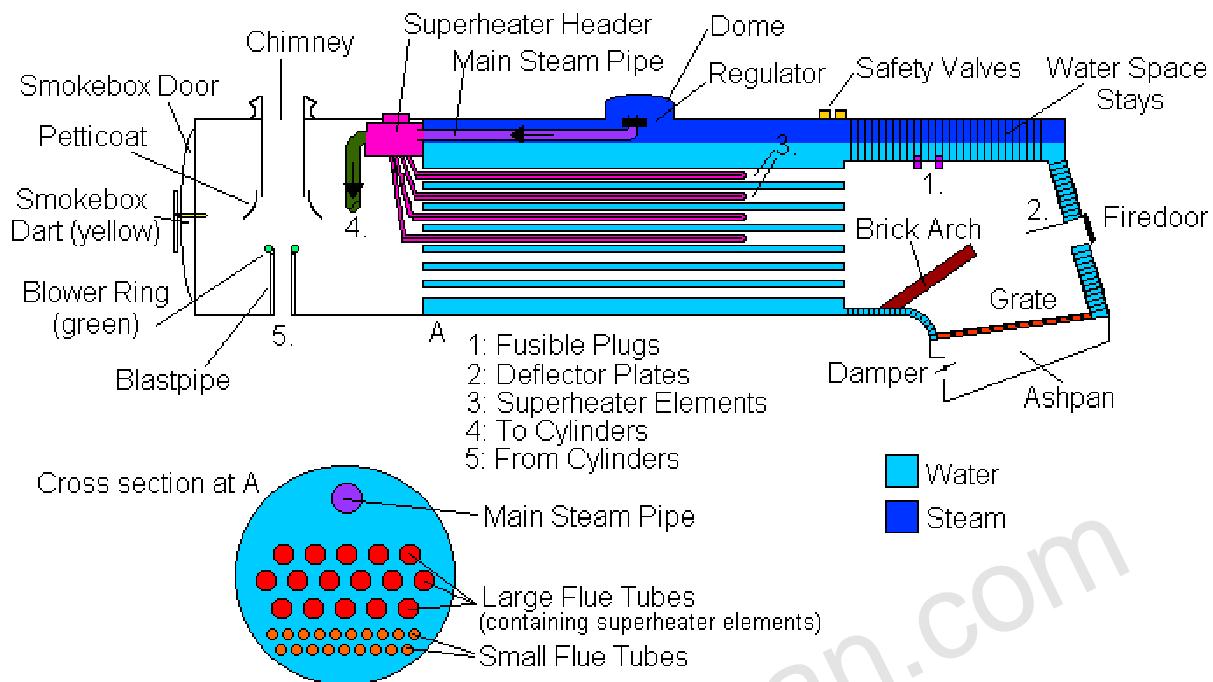


جهت ذخیره سازی و صرفه جویی در آب و انرژی می باشد.

آب اصلی ورودی را Total water گویند.

بویلر:

قسمت های اصلی یک بویلر در شکل زیر قابل مشاهده است.



انتخاب بویلر : (Lps Boiler)

جهت انتخاب دیگ که وظیفه‌ی سوار کردن ماده‌ی نقل گرما را بر عهده دارد باید باز حرارتی کل ساختمان را

Maximum steam consumption in summer

$$lb = \text{تعداد چیلر} \times \text{صرف بخار چیلر} = \text{صرفی بخار چیلرها در تابستان}$$

$D.H.W.G.$ بخار صرفی برای تولید آب گرم.

$D.eaerator$ دی ارتیور بخار صرفی در فرآیند که با آب در حال کندانس جبران می‌شود و در دی ارتیور گرم می‌شود تا دمای آن به 60°C برساند.

$$\Rightarrow \text{Total } \frac{lb}{hr}$$

Maximum steam consumption in winter

$$\left. \begin{array}{l} \text{یکی از آنها در مدار بخار برای چیلر} \\ \text{D.H.W.G. بخار مصرفی برای تولید آب گرم} \\ \text{Deaerator} \\ \text{مبدل ها و مصارف کویل و فن کویل} \end{array} \right\} \Rightarrow \text{Total} \left(\frac{\text{lb}}{\text{hr}} \right)$$

هر کدام که بزرگتر شد فصل زمستان یا تابستان ضربدر 1.2 می کنیم و تقسیم بر تعداد می کنیم و ظرفیت هر بویلر بدست می آید.

$$\text{ل}(m) \left(\frac{\text{lb}}{\text{hr}} \right) = \text{ظرفیت هر بویلر}$$

یا عبارت دیگر :

ماکریم مصرف در تابستان :

چیلر جذبی + مبدل آب بهداشتی +

ماکریم مصرف در زمستان :

مبدل فن کویل + مبدل آب بهداشتی + هواساز + یونیت هیتر +

مانند قبل هر کدام که بزرگتر شد فصل زمستان یا تابستان ضربدر 1.2 می کنیم و تقسیم بر تعداد می کنیم و ظرفیت هر بویلر بدست می آید.

ساizerینگ لوله های آب داغ :

$$\left. \begin{array}{l} (gpm) / 10000 = \text{ظرفیت هر بویلر} \\ \text{pressure drop } \frac{2.5ft}{100ft} \end{array} \right\} \rightarrow \text{ساizerینگ آب داغ}$$

سايزينگ لوله بخار :

صرف آب گرم (gph) (معلوم از جدول)

$$heating load = (gph) \times 8.33_{cp} (140F - 40F) = \left(\frac{Btu}{hr} \right)$$

$$1.5bar \rightarrow h_{fg} = 945.2 \frac{Btu}{lb}$$

$$(consumption steam Lps) = \frac{heating load}{h_{fg}} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{lb}{hr} \\ \text{قطر لوله اصلی بخار بدست می آید} \end{array} \right.$$

$$pressure drop = \frac{0.5psi}{100ft}$$

$$(steam consumption Lps \frac{lb}{hr}) = \left\{ \begin{array}{l} \frac{lb}{hr} \\ \frac{n}{n} \\ \text{قطر لوله های بخار هر دستگاه بدست می آید} \end{array} \right.$$

$$pressure drop = \frac{0.5psi}{100ft}$$

n تعداد دستگاه منبع است.

مخازن کندانس بویلر های Lps :

$$\text{حجم مخازن کندانس} \leftarrow \times \frac{2}{3} = \text{حجم بویلر}$$

$$\text{حجم مخازن کندانس / (lit)} = \text{تعداد دستگاه مخزن کندانس} \times \text{تعداد بویلر ها}$$

پس از مشخص شدن بویلر و مخازن کندانس آنها باید مشعل مناسب را برای آنها انتخاب کنیم.

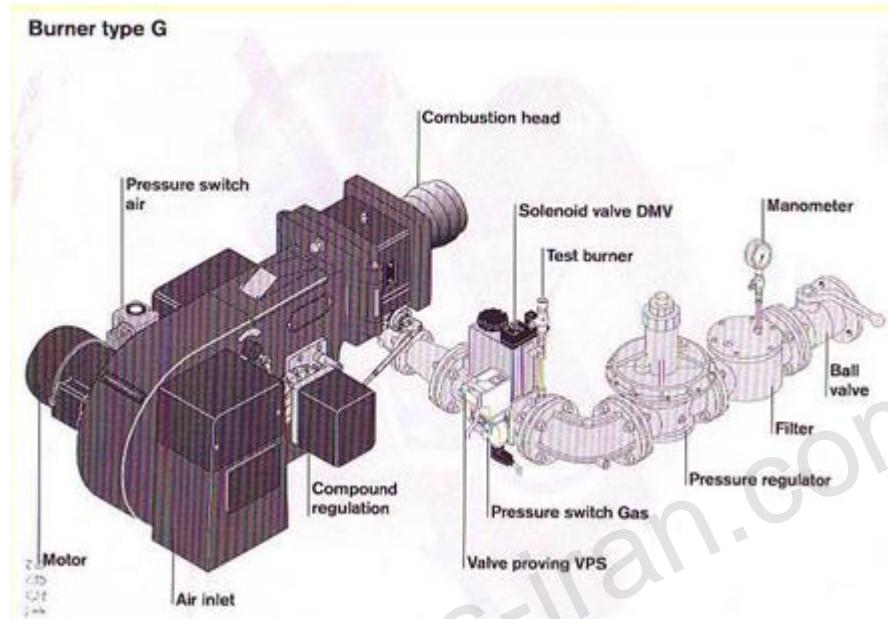
مشعل

مشعل به دستگاهی گفته می شود که سبب اختلاط سوخت و هوا به میزان مناسب شده و احتراق را بگونه ای که مورد نیاز دستگاه باشد فراهم می آورد.

مشعل ها را از نظر استفاده ای سوخت مو توان به دو دسته ای تک سوخت و دو سخت تقسیم کرد که استفاده از مشعل های دو سوخته بسیار رایج تر است.

قطعات اصلی تشکیل دهنده مشعل

الکتروموتور - پمپ سوخت - کلاچ برقی - فن مشعل - سرو موتور - دستگاه تنظیم کننده سوخت - شیرهای برقی گازوئیل - ترانس جرقه - شعله پخش کن - گلویی نازل - چشم - کلید فشار هوا - کلید گاز ماکزیمم و می نیم - شیر برقی گاز - کنترل مشعل -



نگهداری :

- ۱: فن مشعل هر ماه یک بار کنترل شده و در صورت نیاز توسط شیلنگ باد تمیز گردد .
- ۲: چشم مشعل هر هفته ی بار به خاطر وجود ذرات معلق رنگ در هوا تمیز شود .
- ۳: در صورت کار کرد بیش از اندازه مشعل با گازوئیل ماهی یک بار فیلتر گازوئیل و الکترود های جرقه تمیز گردیده و فشارهای قبل از پمپ سوخت بعد از آن نیز کنترل شود .
- ۴: هر شش ماه یک بار در هنگام تعمیرات کلی شعله پوش و شعله پخش کن مشعلها کنترل شده تا در صورت از بین رفتن تعویض گردد .
- ۵: هر شش ماه یک بار کنتاکتورهای تابلو کنترل شده تا در صورت شنیده شدن صدای ناموزون پلاتین های مربوطه تمیز یا تعویض گردد .
- ۶: فیلتر گاز هر سه ماه یک بار کنترل گشته و در صورت نیاز تمیز شود .
- ۷: بطور کلی بهتر است هر ماه یک بار جهت اطمینان از سلامت قطعات سوخت گازوئیل مشعل برای مدت کوتاهی با گازوئیل استارت شود .

طراحی مشعل :

$$\text{heating value of gasoil} = 37.55 \times 1.6 \left(\frac{Mj}{lit} \right)$$
$$\xrightarrow{\text{convert}} \frac{37.55 \times 1.6}{4184} \left(\frac{kcal}{lit} \right) / 0.835 \left(\frac{kj}{lit} \right) = 10718 \frac{Kcal}{kg}$$

$$\text{heating value of natural gas} = 39.48 \times 1.6 \left(\frac{MJ}{kg} \right) = 9434 \left(\frac{kcal}{m^3} \right)$$

$$\text{Boiler heating surface} = (HP_{boiler} \times 5)_{(\text{Standard for steam boiler})} = \leftarrow ft^2$$
$$\text{Boiler heating value} = \left(\frac{lb}{hr} \right) \times h_{fg} (945.2) \frac{Btu}{lb} / (?) Btu/hr$$

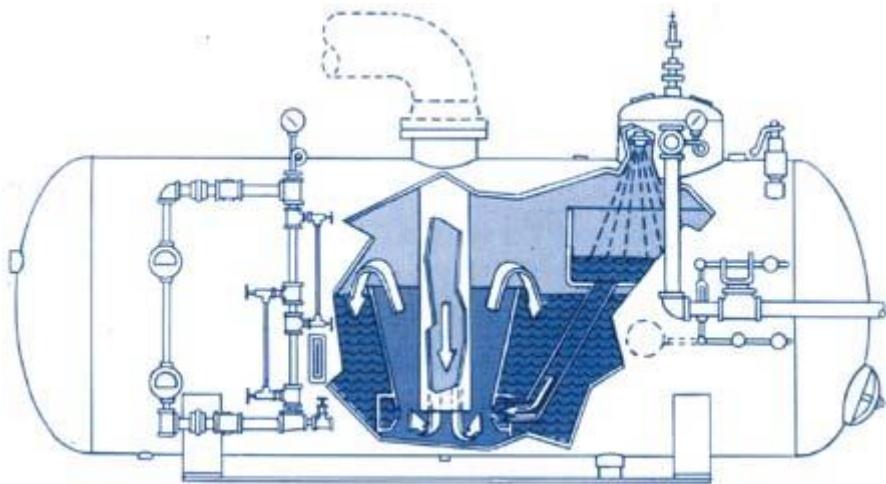
عدد بدست آمده را با سازنده چک می کنیم.

$$\frac{m^3}{hr} (NG) = \times \frac{h_{fg}}{645.2 \frac{Btu}{hr}} / 0.8 \times 9434 \frac{kcal}{m^3}$$

دی ارتیور : Deaerator

اصول کار کرد:

آب سرد ورودی ابتدا به محفظه‌ی شیر اسپری وارد شده، توسط شیرهای اسپری مخصوص به صورت صفحات مخروطی از داخل کندانسور ونت به محفظه‌ی بخار پیش گرمکن اسپری می شود. در نتیجه اثر گازهای خورنده قبل از برخورد آب با سطوح فولادی از آن جدا می شوند. این آب داغ که تا حدی هواگیری شده از قسمت اسکرابر عبور کرده، هواگیری کامل بر اثر اختلاط آب با مقدار زیاد بخار انجام می گیرد.



جريان بخار :

بخار بصورت یکنواخت از میان لوله توزیع کننده بخار به قسمت اسکرابر دی ارتیور وارد شده و با سرعت زیاد با آب داغی که تا حدی هوا گیری شده و از محفظه پیش گرمکن به قسمت اسکرابر وارد می شود برخورد می کند. این برخورد و اختلاط در شرایط بار بسیار کم صورت می گیرد . این مرحله به طور مکانیکی آخرین مقادیر باقی مانده گازهای غیر قابل تقطیر را از آب جدا می کند و بنابراین آب خارج شده از قسمت اسکرابر عاری از کلیه گازهای غیر قابل تقطیر می گردد. بخار جدا شده از آب خروجی اسکرابر به داخل پیش گرمکن وارد شده، سیکل ادامه می یابد. بیشتر این بخار به غیر از مقدار کمی که جهت خارج کردن گازهای غیر قابل تقطیر به هوا خارج تخلیه می شود، در کندانسور تقطیر می گردد.

کندانسور داخلی ونت از فولاد ضد زنگ ساخته می شود . زیر شیر اسپری، جایی که گازهای غیر قابل تقطیر از پیش گرمکن جدا شده و قبل از تخلیه شدن به هوا خارج متمرکز می گردند، قرار دارد.



دی ارتیورهای بویلرها : Lps

$$\text{ظرفیت هر } deaerator = \frac{lb}{hr} \times 80\% / \text{تعداد دستگاه } CAP.$$

نکته : ظرفیت هر بویلر است و دمای استاندارد برای دی ارتیور بویلرها $65^{\circ}C, Lps$ می باشد.

$$Deaerator(\frac{lb}{hr}) \xrightarrow{\text{convert}} gpm$$

$$heating load = gpm \times 60 \times 8.33(212^{\circ}F - 149^{\circ}F_{(STandard)}) = \left\lfloor \frac{Btu}{hr} \right\rfloor$$

212F دمای بخار آب ($100^{\circ}C, Lps$) و 149F دمای دلخواه (دی ارتیور بویلرها) است.

$$Consumption = \frac{heating load}{h_{fg}(\frac{Btu}{lb})} = \left\lfloor \frac{lb}{hr} \right\rfloor$$

این فرمول در واقع چک کردن محاسبات فوق است.

دی ارتیورهای بویلر های : Hps

تنها تفاوت دی ارتیورهای بویلر های HPS با دی ارتیورهای بویلر های LPS در میزان Cp می باشد.

$$Deaerator(\frac{lb}{hr}) \xrightarrow{\text{convert}} gpm$$

$$heating load = gpm \times 60 \times 9.33 \times (212^{\circ}F - 149^{\circ}F) = \left\lfloor \frac{Btu}{hr} \right\rfloor$$

$$Consumption = \left\lfloor \frac{lb}{hr} \right\rfloor$$

ظرفیت تانک بالاسر دی ارتیور :

$$gpm \times 10 \text{ min} = \left\lfloor (gal) \right\rfloor$$

به منظور رفع سختی آب بویلر استفاده می شود که در هر 24 ساعت یک ساعت آب بویلر را تخلیه می کند.

: Blow Down (Lps)

$$0.001 \frac{kg}{m^3} \times \frac{lb}{hr} \times 0.454 \xrightarrow{\text{convert } kg/hr} \left(\frac{m^3}{hr} \right)$$

را برای یک ساعت طراحی می کنیم.

$$\left(\frac{m^3}{hr} \right) (0.04 \xrightarrow{\text{convert to liter}}) \times (1 \text{ hour}) = \left(lit \right)$$

: Blow Down (Hps)

$$(\text{میزان بخار مصرفی} Hps) \times (.454) \times (.001) \times (0.04) \times 1hour = \left(\right)$$

gpm مربوط به هر چیلر

head = (برای چیلر جذبی از کاتالوگ 10m + برای هوا ساز 2m + لوله و اتصالات) → نوع پمپ انتخاب می شود.

: Chilled water pump

gpm
head = (مبدل حرارتی 3m + برای هوا ساز 2m + طول لوله و اتصالات) → پمپ انتخاب می شود.

: heating pump

$$gpm = \text{ضریب تبدیل } \left(\frac{kg}{hr} \right) \times 0.001 \frac{kg}{m^3} \times 4.403$$

head = (10m inlet Dea_{catalog}) + (5m inlet pressure Dea_{catalog}) + طول اتصالات و لوله کشی

: مانند روشن condense pump Lps : مانند روشن condense pump Hps آید.

فلاش تانک (Flash Tank)

فلاش تانک در مسیر بخار HPS, MPS قرار می گیرد. فلاش تانک جلوی فشار بالای بخار را می گیرد، اندکی بخار را Vent می کند و کار هواگیری را انجام می دهد.

نصب Flash Tank در مسیر و به چال کندانس به منظور کاهش فشار آن تا فشار تقریبی اتمسفر ضروری می باشد زیرا مخازن کندانس تحت فشار نیستند.

اگر بویلر به $1/3$ ظرفیت آب داغ آن بر سرده باشد یک سیستم آلام فعال شود و اعلام کند.

$$\text{Flash Tank (Medium pressure)} : p = 3\text{bar} \rightarrow h_{fg} = 262.2 \left(\frac{\text{Btu}}{\text{hr}} \right)$$

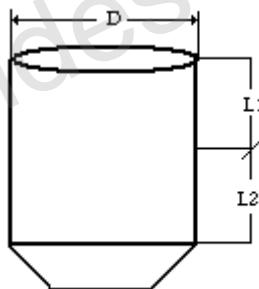
$$(\frac{lb}{hr}) \times h_{fg} (\frac{Btu}{hr}) = Mps (\frac{lb}{hr}) - S(180.17) + S(1150.5) \quad \text{صرف خط}$$

$$S = \frac{lb}{hr} \quad \text{مقدار آبی که از کندانس بخار بدست می آید}$$

$$\text{حجم بخار} = S \frac{ft^3}{s} \times 2 = \frac{ft^3}{s} \quad \text{حجم فضایی که بخار می گیرد}$$

$$\text{فرض قطر} D = 50\text{cm}$$

$$\frac{p}{4} D^2 \times 4 = \text{ارتفاع بخش بخار} \rightarrow L_1 = \text{حجم بخار}$$



مقدار آب برای ده دقیقه از رابطه زیر بدست می آید.

$$(\frac{lb}{hr})Mps - S = \frac{lb}{hr} \rightarrow \frac{lb}{hr} \times \frac{1hr}{60min} \times \frac{10min}{1} = \frac{lb}{1} \quad \text{میزان بخار اولیه}$$

$$\frac{\text{volum of water}}{v_f} = \frac{lb}{1} \times \text{مقدار آب بدست آمده در دقیقه} = v_{H2O}$$

$$v_{H2O} = 0.016719 \frac{ft^3}{lb}$$

D قبل ۵ فرض کرده بودیم.

$$\frac{\rho}{4} D^2 \times L_2 = \text{حجم آب بدست می آید} \rightarrow L_2 = \text{ل}^3$$

مخازن سوخت اصلی

ما بسته به نیاز خودمان برای ذخیره سوخت استفاده می کنیم مثلاً برای 6 ماه یا 2 ماه یا مخزن سوخت روزانه.

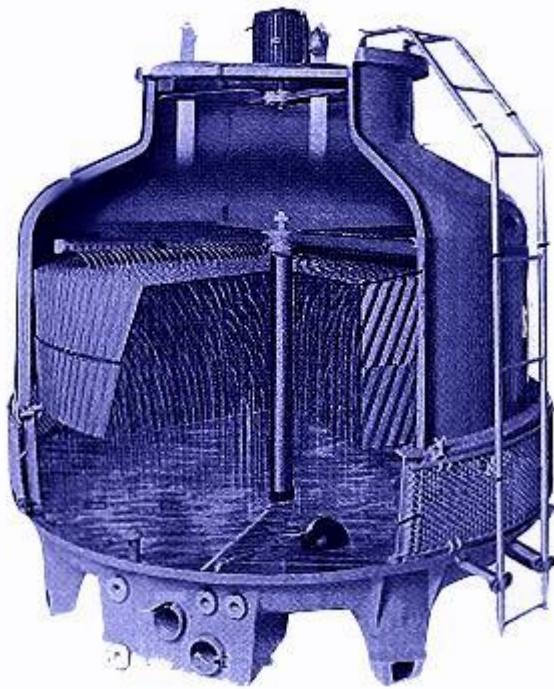
صرف کله سوخت : *Total gasoil consumption*

معمولًا مخازن گازوئیل را طوری طراحی می کنیم که مخزن سوخت روزانه با یک پمپ از طریق مخزن سوخت اصلی طی یکی دو ساعت پر شود.

$$(\text{حجم کلی گازوئیل مصرفی بدست آمده}) \text{ ل}^3 \times hr =$$

برج خنک کن

وظیفه یک برج خنک کن باز، جذب گرما از یک فرایند و دفع آن به فضای اتمسفر است که اساساً این دفع از راه تبخیر صورت می پذیرد. از آن جایی که آب شرکت کننده در فرایند خنک سازی در مدار برج خنک کن سیرکوله شود، به علت تبخیر تدریجی آب، غلظت مواد معدنی در آن افزایش می یابد. وقتی که غلظت مواد معدنی به اندازه دو برابر مقدار اولیه شد، گفته می شود که آب دارای دو سیکل غلظت می باشد. هنگامی که غلظت مواد معدنی در آب به سه برابر مقدار اولیه رسید، آنگاه دارای دو سیکل غلظت می باشد



کارایی این قسمت برای بهره برداری موثر و اقتصادی بسیار پر اهمیت می باشد. برای اطمینان از حداقل انتقال حرارت، سطوح انتقال حرارت باید در حد امکان تمیز نگه داشته شود. اگر غلظت مواد معدنی در برج خنک کن افزایش یابد، امکان تجمع رسوب و خوردگی افزایش می یابد، بنابراین تصفیه آب موجب بهره برداری موثرتر از واحد انتقال حرارت خواهد بود.

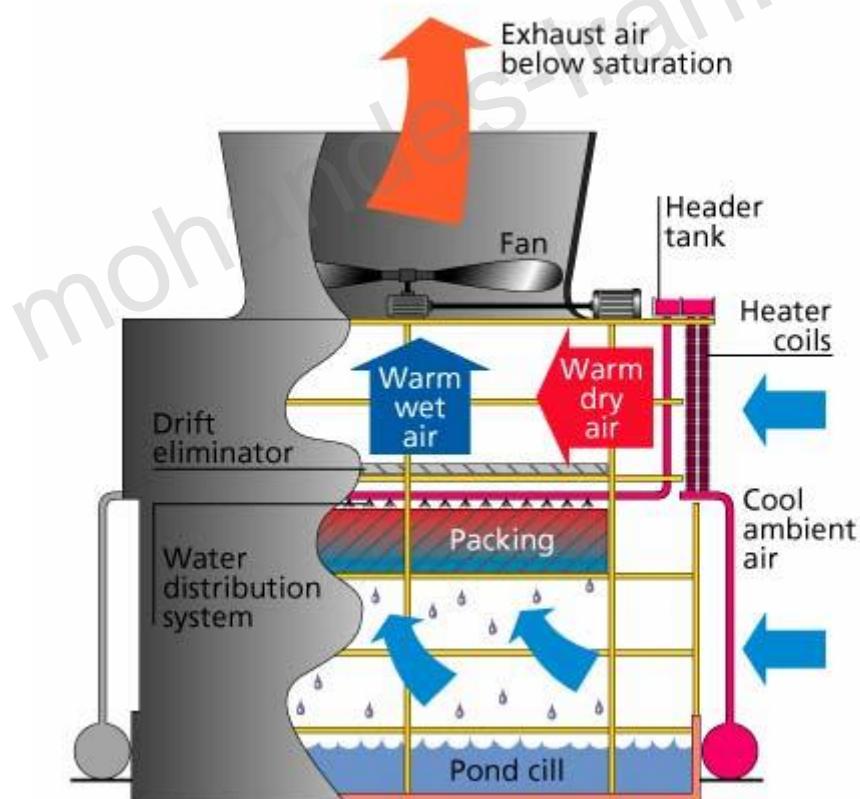
سطح انتقال حرارت، گرمترین نقطه ای است که آب خنک کننده به آن می رسد. حلالیت کربنات کلسیم در آب (CaCO_3) که در برج خنک کن وجود دارد، با دما رابطه معکوس دارد، در نتیجه در سطوح انتقال حرارت، امکان نشست رسوب کربنات کلسیم، به وجود می آید.

انباسته شدن لایه های رسوب کربنات کلسیم انتقال حرارت را کاهش می دهد و این مساله موجب خوردگی شده و نقاط داقی به وجود می آورد که خود موجب تنش حرارتی خواهند شد، همه این موارد روی بازدهی و عمر مبدل حرارتی تاثیر خواهند گذاشت.

یک روش ابتدایی برای جلوگیری از تشکیل رسوب ، تخلیه بخشی از آب گردش کننده در مدار و جایگزین کردن آن با مقداری آب تازه است که غلظت مواد معدنی در آن کمتر باشد. برای تعیین حداقل غلظت مواد معدنی که می تواند بدون ایجاد رسوب در آب موجود باشد باید آب جبرانی کاملاً مورد بررسی قرار گیرد. هدف از برنامه تصفیه ای آب این است که تعداد که تعداد سیکل های غلظت به حداقل ممکن رسانده و در این حال تشکیل رسوب، خوردگی و رشد

میکروبی را به حداقل برساند. مهمترین عاملی که باید کنترل شود تشکیل رسوب است که به طور معمول به دلیل اشباع ترکیبات کلسیم در آب خنک کن ایجاد می شود.

خدمات رفاهی شهری پالایشگاه نفت، صنایع شیمیایی و بیشتر صنایع دیگر در سیستم های تهویه مطبوع خود و یا برای خنک کردن یک سیال فرایندی در مبدل حرارتی به مقادیر زیادی آب خنک کن احتیاج دارند. در گذشته، خنک کنندگی با استفاده از آب های موجود در دریاچه ها، رودخانه ها و یا سیستم های آب شهری نزدیک، بر اساس یک روش ((یک بار گذر)) انجام می گرفت. مشکلاتی که در این روش به چشم می خورد، مسدود شدن مبدل حرارتی با جامدات معلق (گل و لای) و رشد بیولوژیکی در این تجهیزات بود. هزینه های ناشی از خرابی تجهیزات و محدودیت های فزاینده ای سازمان محیط زیست، موجب شد صنایع به تصفیه آب و استفاده مجدد از آن به کمک برج های خنک کن روی بیاورند. این امر موجب شد که نیاز صنایع به آب تازه کاهش چشمگیری داشته باشد و مقدار گنداب تشکیل شده ای آنها نیز کاهش یابد.



صرف آب برج ها :

2.5% ظرفیت برج ها = مقدار آب make up برج خنک کن ها

$$\left. \begin{array}{l} \text{دما} E.W.T = 103 \\ \text{دما} L.W.T = 85 \\ \text{دما} \text{Wet bulb} = 74^{\circ}\text{F} \end{array} \right\} \rightarrow e = \frac{EWT - LWT}{EWT - WB} = 0.62 \\ e = 0.62 \times 1.1_{(\text{saftey factor})} = 6.82$$

هد پمپ های سیر کوله‌ی آب برج ها :

head = ورودی برج طول لوله و اتصالات + PD (condenser chiller 10m) + 2m inlet + 8m

پمپ

8m اختلاف ارتفاع پمپ با برج خنک کن چون این سیکل یک سیکل باز است. در سیکل های بسته هد مربوط به اختلاف ارتفاع را در نظر نمی‌گیریم.

برای محاسبات پمپ سیر کولاتور آب داغ دو روش وجود دارد.

.۱

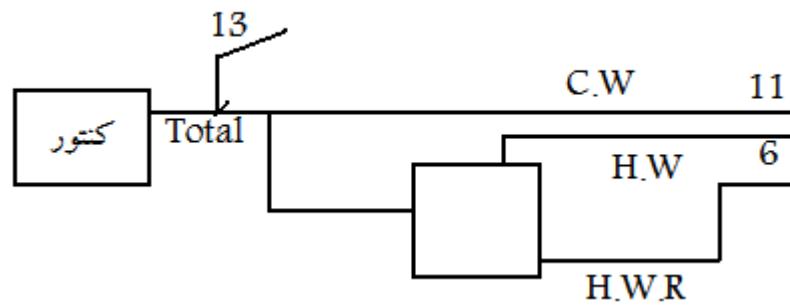
$$gpm = \frac{Q (\text{Btu / hr})}{10000}$$

system head

.۲. به ازای هر 1gpm ، 20 FU در نظر می‌گیریم.

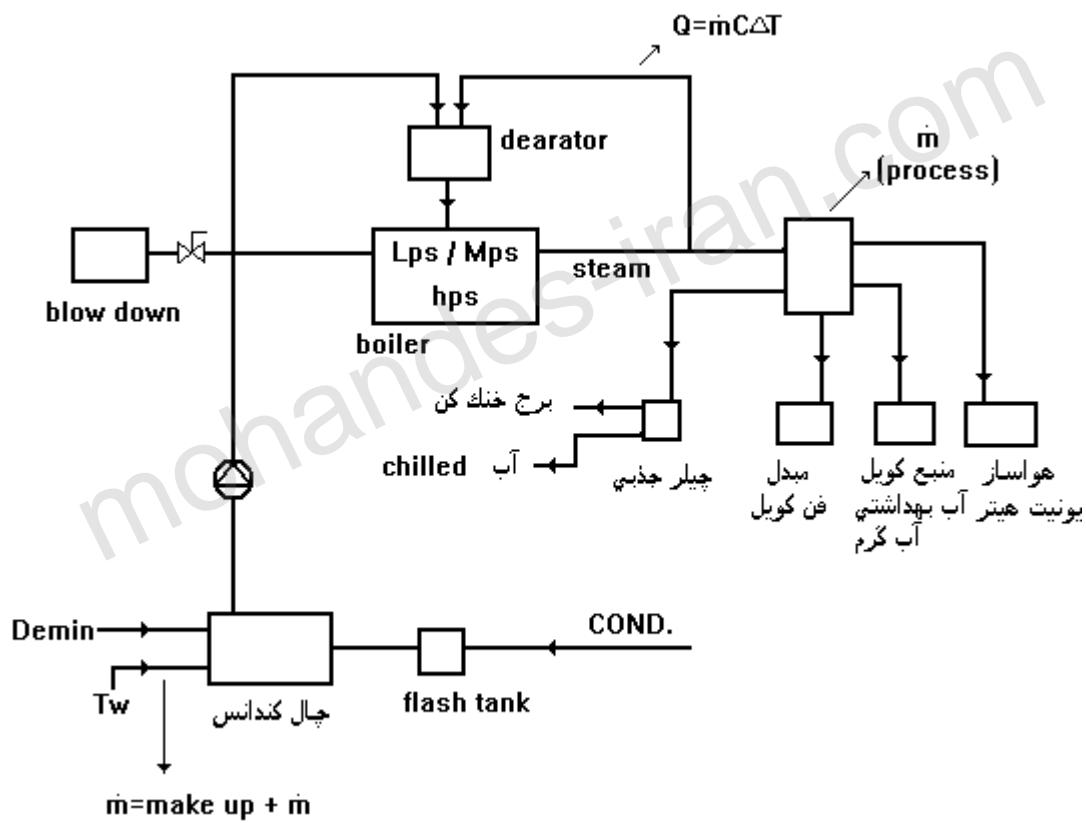
به عنوان مثال از جداول مربوطه داریم:

	C.W	H.W	Total
Flash tank	5	----	5
Lav.	1.5	1.5	2
Shower	3	3	4
mixing	1.5	1.5	2
جمع	11	6	13



تمامی پروژه ها را می توان بر اساس سیستم FU سایز زد ولی در بیمارستانها بدلیل تنوع یونیت ها بر اساس لیتر مصرف سایز می زند.

سیکل بخار موتور خانه



اغلب برای تهویه مطبوع و Lps , Mps برای سایر پروسه ها بکار می رود. بعد از هر مبدل $Air Realize Tank$ جهت هوا زدایی نیاز داریم و یا می توان روی کلکتور ها $Air Seperator$ نصب کرد.

موارد استفاده از بخار

- پروسس هایی مانند طبخ پوست گاو در چرم سازی

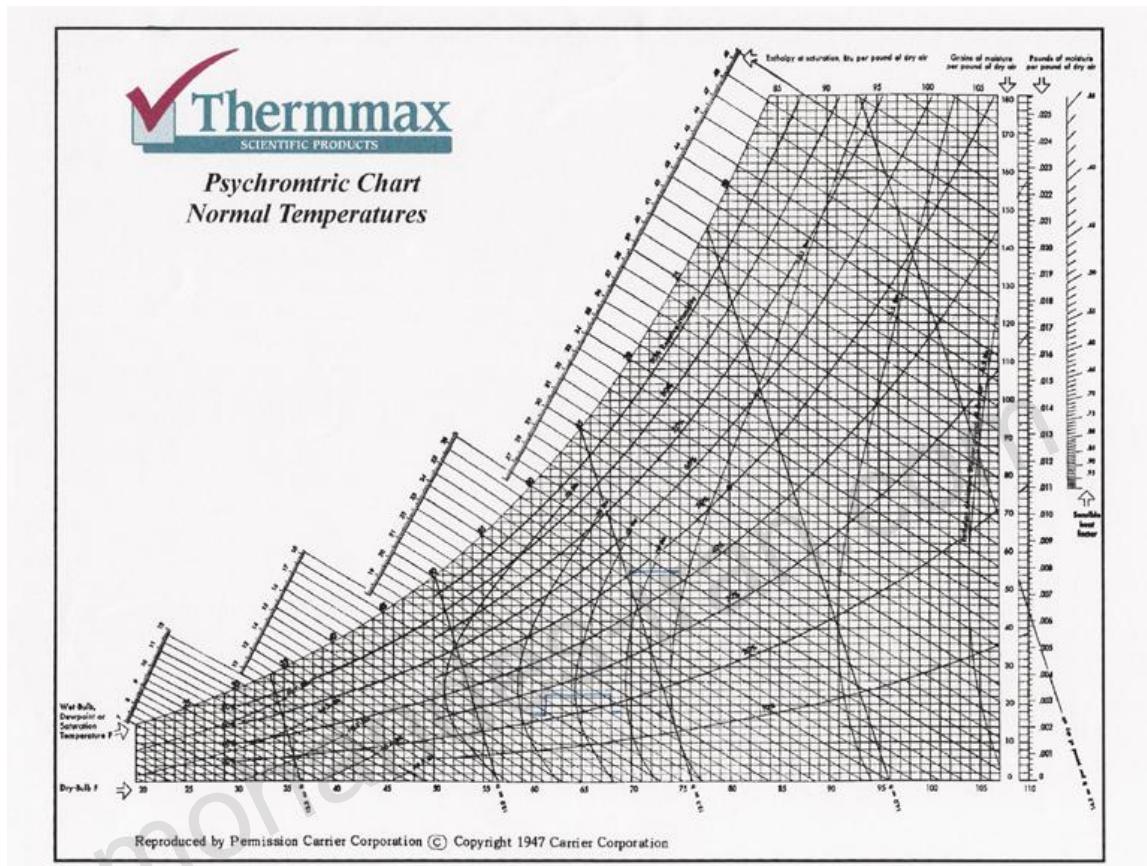
HVAC -

چند نکته :

- وقتی در موتور خانه بخار داریم حتماً چیلر جذبی است نه تراکمی .
- بعضی اقات به نفع ماست که بجای دستگاه تقلیل فشار از بویلهای با فشارهای متفاوت استفاده کنیم.
- خط بخار Lps پس از عبور از وسیله HVAC قدرت برگشت به موتور خانه را ندارد، مگر با شیوه‌ی ثقلی و شب مناسب.
- همان مقدار که در چال کندانس آب make-up وارد می کنیم به همان میزان بخار وارد دی ارتیور می کنیم تا آب را به دمای دی ارتیور برساند.
- بخار را نمی توان مستقیماً وارد فن کویل استفاده کرد.

نمودار سایکرومتریک

به منظور تسهیل و تسريع محاسبات مربوط به هوا، نموداری تهیه شده است که استفاده از آن می‌توان تغییرات مشخصات هوا را در اثر تغییر دما، رطوبت انالپی و غیره مستقیماً و بدون احتیاج به محاسبه بدست آورد. شکل زیر نمای کلی یک شبکه نمودار مشخصات هوا را نشان می‌دهد.



۱- حالت اشباع : میزان رطوبت هوا ممکن است آنقدر افزایش یابد که دیگر قابلیت جذب رطوبت بیشتری را نداشته باشد، این حالت را اشباع هوا از رطوبت گویند که پس از آن

قطرات آب یا در فضای سقوط می‌کنند یا بصورت مه معلق می‌مانند.

۲- دمای خشک : دمای هوا که با دماسنج معمولی اندازگیری می‌شود.

۳- دمای مرطوب : دمای هوا که بوسیلهٔ دما سنجی که حباب آن توسط یک فتیلهٔ مرطوب پوشیده شده و در معرض جریان سریع هوا قرار گرفته، اندازگیری می‌شود. رطوبت موجود در فتیلهٔ تا زمانیکه هوای اطراف آن به حد اشباع برسد، تبخیر گردیده گرمای نهان تبخیر خود را از محیط اطرافش می‌گیرد، بدین ترتیب دمایی که توسط این

دما سنج نشان داده می شود کمتر از دمای خشک خواهد بود. دمای مرطوب را دمای اشباع آدیاباتیک هوانیز می گویند.

۴- دمای نقطه‌ی شبنم: دمایی است که در آن تقطیر رطوبت هنگام سرد کردن هوا آغاز می شود.

۵- رطوبت نسبی: برای رطوبت نسبی سه تعریف وجود دارد:

الف: نسبت فشار جزیی بخار آب موجود در هوا به فشار اشباع بخار آب در همان دمای خشک

ب: نسبت جرم بخار آب موجود در هوا به جرم بخار آب موجود در هوا اشباع در همان دمای خشک

ج: نسبت جرم مخصوص بخار مخصوص بخار آب موجود در هوا به جرم مخصوص بخار آب موجود در هوا اشباع در همان دمای خشک

۶- وزن هوای خشک: اساس تمام محاسبات سایکرومتریک است.

۷- محتوای رطوبت یا نسبت رطوبت: نسبت وزن بخار آب موجود در هوا به وزن هوای خشک یا مقدار بخار آب موجود در یک پاند هوای خشک.

۸- حجم مخصوص هوای حجم هوای مرطوب بر جرم هوای خشک یا حجم واحد جرم هوای خشک

۹- انثالپی هوای مقدار حرارت موجود در هوا بر حسب بی تی یو بر پاند هوای خشک

۱۰- انثالپی انحراف: در یک تحول آدیاباتیک یعنی تحولی که در آن هیچ گونه گرمایی به هوای داده نشده و از آن گرفته نشده و فقط رطوبت هوا افزایش و یا کاهش می یابد. دمای هوای مرطوب ثابت بوده و انثالپی هوای مرطوب تقریباً ثابت می ماند و این در غالب نمودارهای هوای مشاهده می شود.

۱۱- گرمای محسوس: گرمایی که سبب تغییر دمای خشک هوای گردد.

۱۲- گرمای نهان: گرمایی که آب ضمن تبخیر و یا بخار ضمن تقطیر می گیرد یا پس می دهد. در طول این فرایند دما و فشار آب یا بخار ثابت می مانند.

۱۳- فاکتور گرمای محسوس: نسبت گرمای محسوس به گرمای کل هوای

۱۴- دایره مسیر : این دایره روی نمودار مشخصه‌ی هوا در نقطه‌ی ۸۰ فارنهایت و رطوبت نسبی ۵۰٪ واقع شده استو در ارتباط با SHF جهت ترسیم خطوط پروسه شرایط هوا بکار می‌روند.

اکنون که محورها و خطوط مختلف ترسیم شده روی مشخصه‌ی هوا را می‌شناسیم. با معلوم بودن تنها دو مشخصه از هوای مورد نظر نقطه‌ای بدست می‌آید که با توجه به موقعیت آن بر روی نمودار می‌توان سایر مختصات هوا را معین کرد.

وقتی می‌گوییم رطوبت نسبی $RH = 30\%$ است یعنی اینکه میزان رطوبت موجود در هوا ۰.۳ ماکزیم حالتی است که هوا می‌تواند رطوبت بگیرد. وقتی دمای هوا سردرتر می‌شود تمایلش به قبول رطوبت کم می‌شود. بنابراین اگر میزان رطوبتی که در هوا موجود است (w) دمای هوا را پایین بیاوریم رطوبت نسبی حالت دوم از اول بیشتر است. همواره T_{wb} بایستی کوچکتر از T_{db} باشد.

برای رسم نمودار سایکرومتریک ابتدا دمای *mixing* را محاسبه کرده و روی سایکرومتریک مشخص می‌کنیم، سپس از نقطه‌ی مبدأ به نقطه‌ی واقع در قسمت بالای نمودار سایکرومتریک مربوط به *GSHF* وصل می‌کنیم. دوباره به نقطه‌ی *mixing* بر می‌گردیم و از آن خطی موازی خط قبل رسم می‌کنیم تا منحنی اشباع را قطع کند.

نقطه‌ی طراحی اتاق (*Room*) را روی نمودار مشخص می‌کنیم سپس نقاط مبدأ و *RSHF* را بهم وصل نموده و از نقطه (*Room*) موازی آن رسم می‌کنیم تا محور اشباع را قطع کند.

نقاط مبدأ و *ESHF* را بهم وصل کرده و سپس از نقطه‌ی *Room* بموازات آن ادامه می‌دهیم تا محور اشباع را قطع کند که نقطه‌ی شبنم T_{adp} بدست آید.

نقطه‌ی شبنم دستگاه همان میانگین دمای سطح کویل است. شبیه مبدل‌های حرارتی که دمای سطح مبدل در تمام نقاط یکسان نمی‌باشد و *LMTD* را محاسبه می‌گردیم.

نکته : دمای T_{adp} نبایستی از ۵۰F یا در درجه‌ی آخر از ۴۸F کمتر باشد، چون باعث یخ زدگی کویل می‌شود.

در بار cooling چهار نقطه سایکرومتریک داریم.

out door .۱

room .۲

$T_{mix} - T_e$.۳

T_L .۴

در بار heating پنج نقطه سایکرومتریک داریم.

out door .۱

room .۲

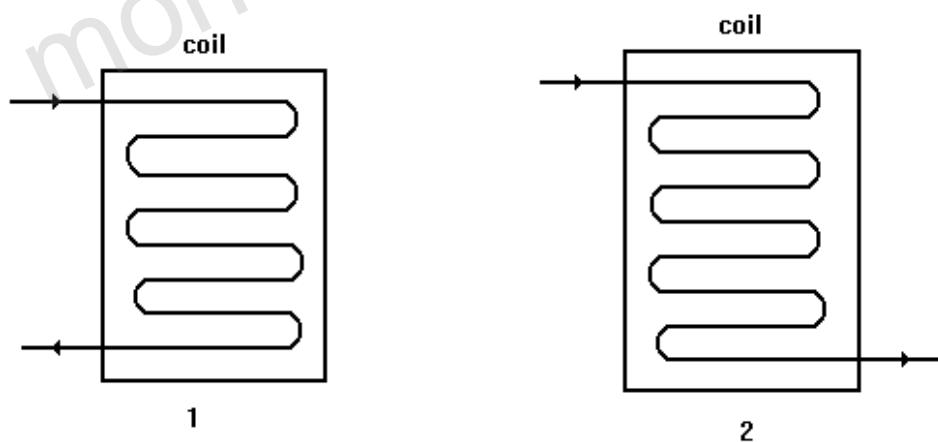
T_e .۳

T_L .۴

T_{humid} .۵

فن کوئل

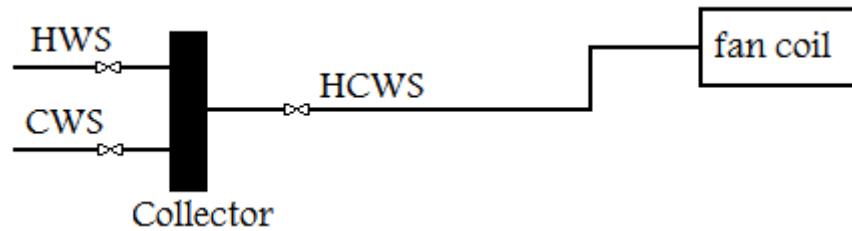
مورد مصرف فن کوئل بیشتر در تاسیساتی است که دارای سیستم گرمایش و سرماشی می باشد و بطوریکه از نامشان پیداست تشکیل شده اند از تعدادی لوله های مسی با پره های آلومینیومی که به اقتضای فصل ، آب گرم یا سرد در آنها جریان می یابد و یک باد زن که باشدت هو را از روی این لوله ها عبور می دهد. بدین ترتیب انتقال حرارت در فن کوئل بصورت جابجای اجبار صورت می گیرد.



در کوئل نوع اول ورودی و خروجی آب از یک طرف می باشد و تنها از یک سمت به فضای تعمیراتی نیاز دارد.

اما در کویل نوع دوم که دو طرفه است، در هر دو طرف دستگاه به فضای کافی برای تعمیرات نیاز دارد.

دماهای اتاق هایی را که دارای فن کویل می باشند می توان بطور اتوماتیک با فرمان یک ترمومتر استاتیقی کنترل نمود.



CWS : Chilled Water Supply

آب رفت برج خنک کن

CWR : Chilled Water Return

آب برگشت برج خنک کن

HCWS : Hot / Chilled Water Supply

HCWR : Hot / Chilled Water Return

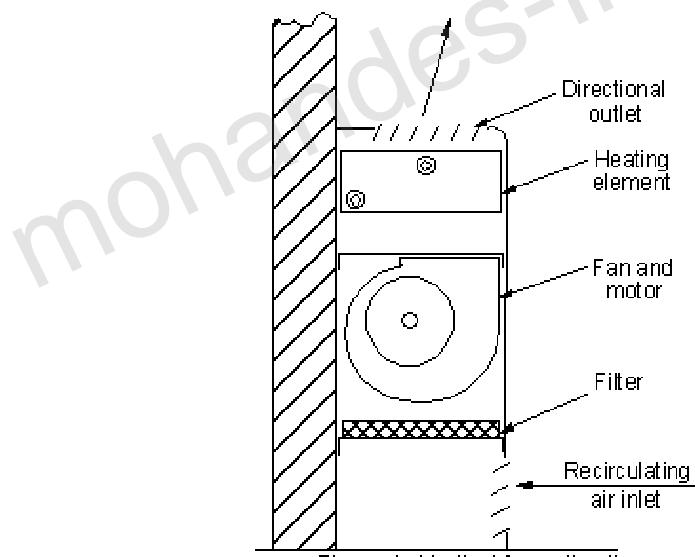
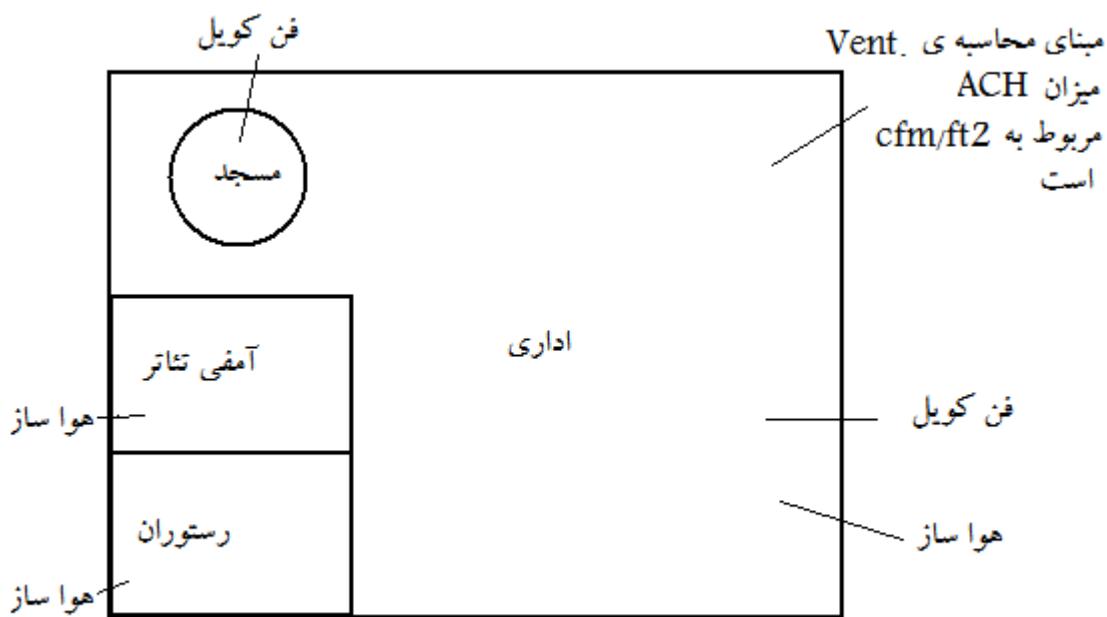


Figure 4. Vertical fan coil unit
(Bloomquist, 1987).

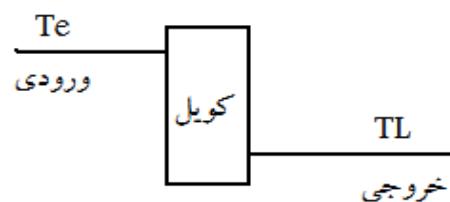
هوا سازها هوای تازه جهت فن کویلها را تامین می کند.

OATH (fresh air) $\begin{cases} \text{Infiltration} \\ \text{Ventilation} \end{cases}$



مبناي محاسبه اي ACH برای آمفی تئاتر تعداد نفرات و برای رستوران مربوط به فضای پخت و پز آشپزخانه است.

$$Q_c(\text{cooling}) = \begin{cases} GTH : \text{General total heat} = TSH + TLH \\ TSH : \text{Total sensible heat} = OA Sh + RSH \\ RSH : \text{Room sensible heat} \\ cfm_{sa} \\ cfm_{oA} \\ RH \% \\ T_{dp} \\ colic condition(T_e, T_l) \end{cases}$$



: Q_c, Q_H ميان تفاوت

$$Q_H(\text{heating}) = UA \Delta T$$

$$Q_c(\text{cooling}) = UA \Delta T_e, \Delta T_e \rightarrow (LCD, LTD)$$



دمايی که در آن ماده مبرد از حالت گازی به مایع تبدیل می شود ($T_{condensing}$)
دماي شرایط طراحی خارج (T_{DB})

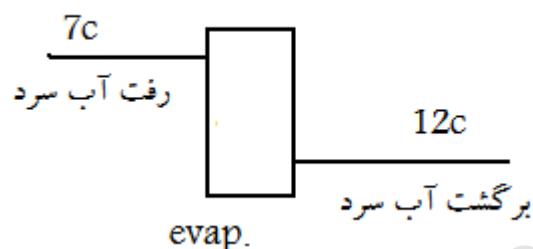
$$110F \leq T_{condensing} \leq 130F$$

$$T_{condensing} - T_{DB} = \Delta T_{min:15^{\circ}F}$$

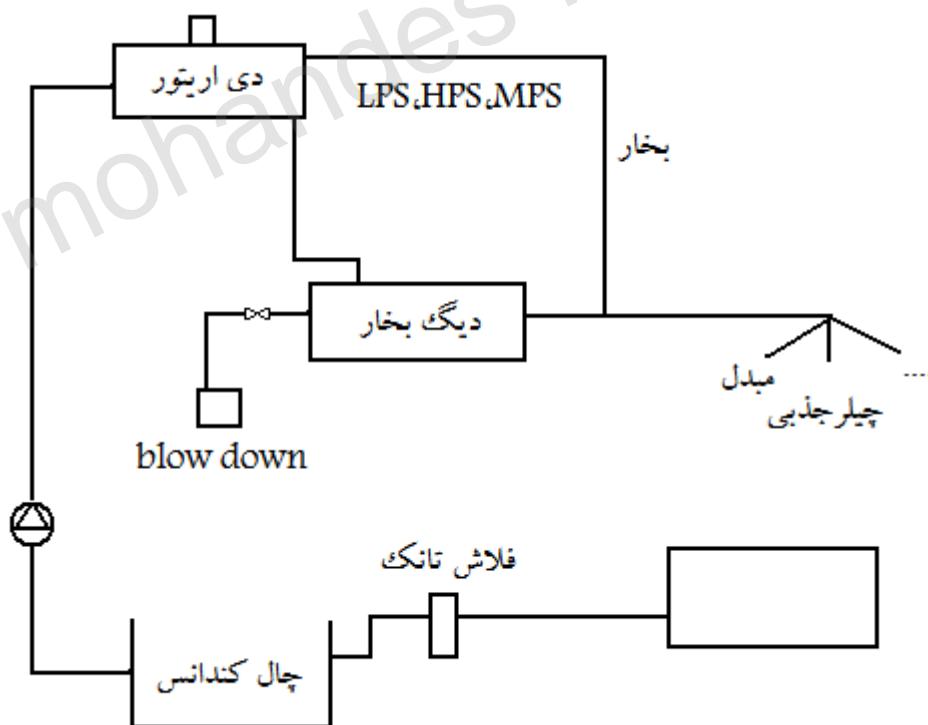
انتخاب $T_{condensing}$ بستگی به T_{DB} و اختلاف حداقل $15F$ دارد.

معمولآً ΔT آب رفت و برگشت $chilled$ معادل $10^{\circ}F$ $5^{\circ}C$ می باشد.

$$Exp : \begin{cases} 44F \rightarrow 54F \\ 45F \rightarrow 55F \end{cases}$$



سیکل ساده ی بخار :

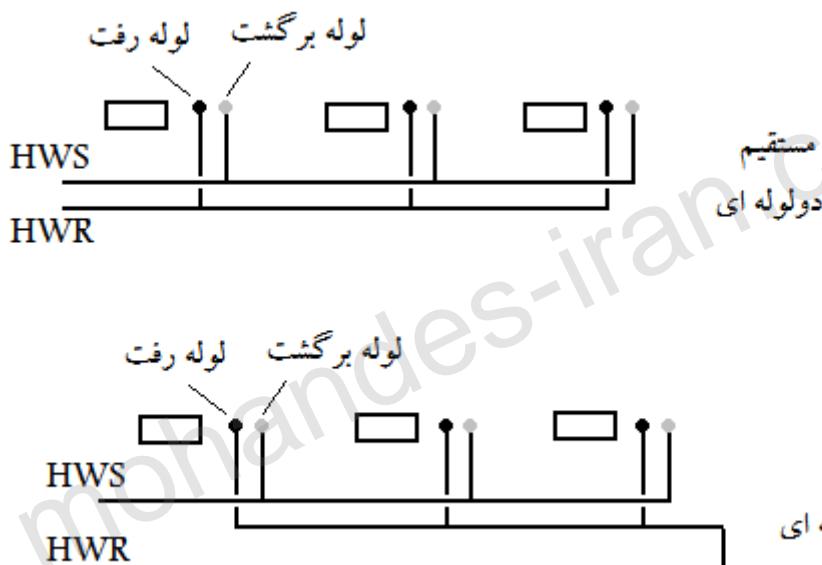


سیستم های لوله کشی

۱. مستقیم

۲. معکوس_ الف: دلو له ای Loop ب: سه لوله ای Branch

سیستم یک لوله ای معمولاً در ساختمانهای مسکونی و تجاری کوچک بکار می روند. لوله ای اصلی رفت بخار از دیگ تا یک نقطه ای مرتفع بالا می آید و بعد از این نقطه به طرف پایین شیب پیدا می کند. معمولاً قطر لوله ای اصلی در تمام طول مسیر تا آخرین شاخه ثابت می ماند، سپس کاهش یافته بطرف دیگ و تا پایین سطح آب دیگ امتداد می یابد. به این ترتیب لوله کشی را برگشت مرطوب گویند.

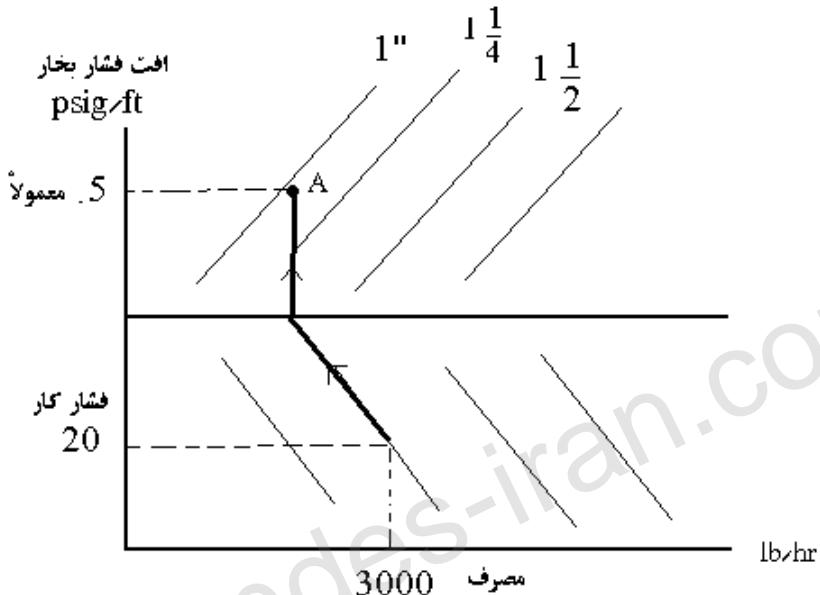


اگر سیستم مستقیم و معکوس را جهت کاهش هزینه فقط در رایزها اجرا کنیم، سیستم دو لوله ای خواهد بود.

سیستم های ذکر شده ای لوله کشی فقط برای سیکل های بسته قابل استفاده است. برای سیستم های لوله کشی مثل آتش نشانی و یا برج خنک کن چون سیستم باز و تحت فشار است، هیچ قانون خاصی ندارد.

سایزینگ لوله های بخار

برای تعیین سایزینگ لوله ها از نموداری که شبیه شکل زیر است استفاده می شود. با مشخص بودن مصرف و فشار کار (3000 lb/hr , 20 psig) و در نظر گرفتن این نکته که افت فشار بخار را معمولاً در هر 100 ft معادل 0.5 psig دارد. با امتداد دادن نقاط مشخص شده نقطه ای مانند A بدست می آید که میان دو سایز مختلف قرار گرفته است، که سایز بزرگتر را در نظر می گیریم. (در اینجا $1\frac{1}{4}''$)



سایزینگ لوله های گاز

مصارف دستگاههای گاز سوز در جداول مربوطه بر حسب m^3/hr داده شده است. لوله کشی گاز را بر اساس طولانی ترین مسیر سایز می زیم. عنوان مثال:

$$20m, 3\text{m}^3/\text{hr} \xrightarrow{\text{chart}} \frac{3}{4}''$$

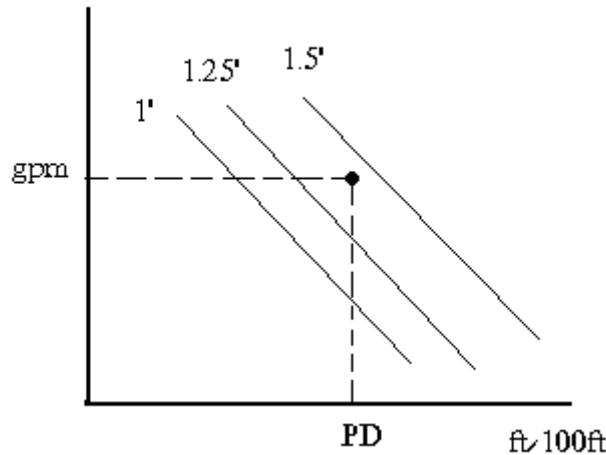
سایزینگ لوله ها آب

سایز لوله های آب در سیستم های بسته مانند رادیاتور، هیتر یونیت و فن کویل طبق روابط و نموداری شبیه نمودار زیر صورت می گیرد.

$$\text{Pressure Drop : } PD = \frac{2.5(\text{often})}{100\text{ft}} \xrightarrow{\text{or}} \begin{cases} \text{small size} \frac{4.00\text{ft}}{100\text{ft}} \\ \text{large size} \frac{1.00\text{ft}}{100\text{ft}} \end{cases}$$

$$Q_H = \frac{GTH}{10000} = gpm \text{ heating}$$

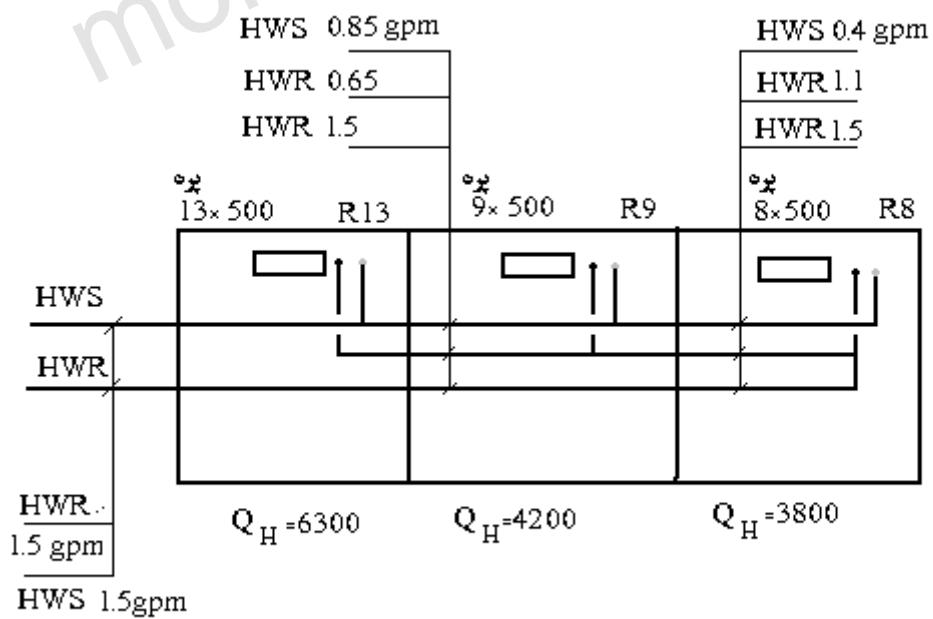
$$Q_H = \frac{GTH}{5000} = gpm \text{ cooling}$$



باید توجه داشت که بعد از انتخاب قطر لوله باید سرعت نیز چک شود تا بین $3-6 ft/s$ باشد و اگر خارج از رنج بود با تغییر پارامترهای قابل تغییر سرعت باید اصلاح شود.

در سیستم های لوله کشی که دو فصلی هستند معیار طراحی $cooling gpm$ است، چون بزرگتر است.

لوله کشی آب سیکل های باز در کتاب های آبرسانی موجود است.
مثال: رادیاتور مورد استفاده ایران رادیاتور آلومینیمی با ظرفیت $500btu/hr$ می باشد.



$$\frac{14300}{10000} = 1.5 \text{ gpm}$$

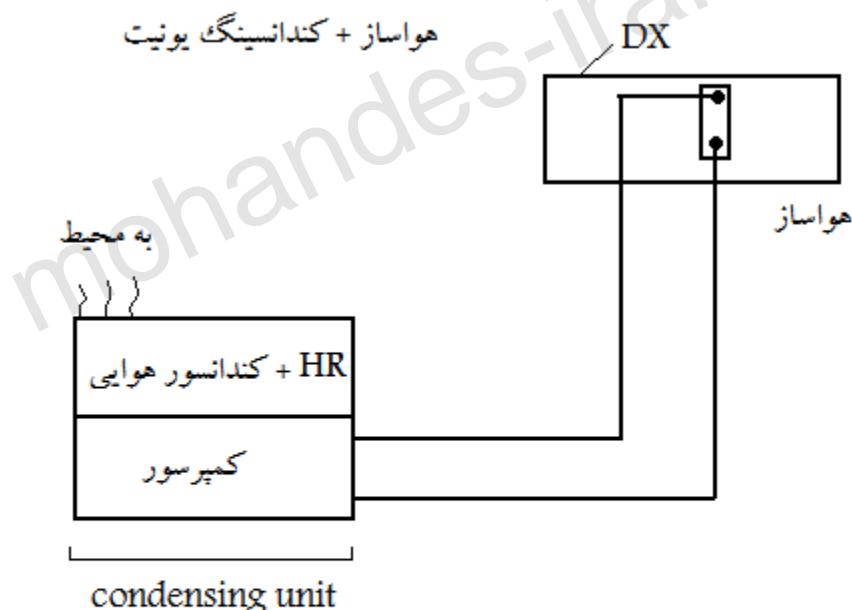
محاسبه‌ی gpm لوله رفت آب داغ بعد از اولین رادیاتور
13 تعداد پره و 500 ظرفیت هر پره است.

$$1.5 \text{ gpm} - \frac{13 \times 500}{10000} = 0.85 \text{ gpm}$$

عدد‌ها خیلی کوچک است و قطر همه لوله‌ها $\frac{2.5}{100 \text{ ft}}$ با افت $\frac{1}{2}$ " در می‌آید.

:DX سیکل

- هواساز + کندانسینگ یونیت
- پکیج + کندانسور هوایی (پکیج = هواساز + کمپرسور)
- بالانسینگ هوایی



HR = heat reject

HR = GTH + (Kw input comp.)

Kw ورودی به کمپرسور برای انتخاب برج خنک کن لازم است.

در سیستم های آبی بجای کندانسور هوایی، برج خنک کن داریم و بجای کمپرسور، چیلر آبی.

$$cfm_{sa} - cfm_{oA} = cfm_{Re}$$

معمولًاً میزان $exhaust$ $\text{f}_{ventilation}$ می باشد اما اگر $exhaust = ventilation$ باشد فشار منفی

ایجاد می شود که مورد استفاده آن در آزمایشگاه است، اگر $exhaust \text{ p}_{ventilation}$

فشار مثبت ایجاد می شود مانند قسمت پذیرش هتل ها.

$$cooling : \Delta T = T_{in} - T_{sa} \text{ p } 20^{\circ}F$$

$$heating : \Delta T = T_{in} - T_{sa} \text{ f } 30^{\circ}F$$

($T_{adp} - T_{sa}$) $\leftarrow DX$ در سیستم

($T_{adp} - 40 - 50^{\circ}F$) و ($T_{adp} \neq T_{sa}$) $\leftarrow chilled water cooled$ در سیستم

ثبت فشار در یک مکان

برای اینکه فشار یک محل را روی فشار مشخصی ثابت کنیم باید اختلاف دبی هوای ورودی به خروجی را بدست آوریم. مثلاً اگر بخواهیم فشار اتاق $pa + 100$ باشد داریم :



ضخامت نفوذ (m) $\times (2mm - 4mm)$ محیط

$$p = \frac{1}{2} rv^2 \Rightarrow v (m/s)$$

$$p = 100 pa$$

$$r = 1.25$$

$$\Rightarrow m^2 \times \frac{m}{s} = \frac{m^3}{s} \xrightarrow{\times 3600} \frac{m^3}{h} \xrightarrow{\times 1.7} cfm = 250$$

اختلاف دبی هوای ورودی به هوای خروجی $250 cfm$

هوای فشرده

استفاده از هوای فشرده به دلایل سهولت تولید و توزیع آن، اینمنی و کارایی وسیع بسیار رایج است
بعنوان مثال ابزارهای بادی مثل دریل - آچار - جرثقیل - جک و ...

$$\left. \begin{array}{l} m^3/min \\ m^3/hr \\ lit/s \\ cfm \end{array} \right\} conventional unit$$



استفاده از هوای فشرده در صنایع بدلیل تولید ارزان آن نسبت به برقی و بی خطر بودن همچنین کاربرد وسیع و متنوع و داشتن تجهیزات ساده در شبکه لوله کشی و ایجاد فشار برای انجام کار و عدم آلودگی محیط زیست و سهولت دسترسی آن توسط شبکه لوله کشی بسیار مقرون به صرفه است.

هوای استاندارد : هوا با دجه حرارت 20°C و رطوبت نسبی 65% در فشار یک اتمسفر (1.013bar) را هوای استاندارد می گویند.

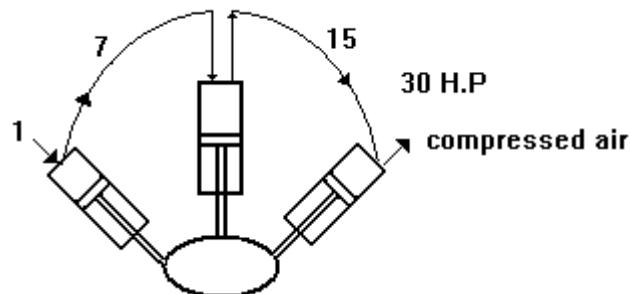
(Free air Delivering) F.A.D : هوا در فشار اتمسفر را هوای Free گویند و معمولاً مقدار مصرف هر مصرف کننده به F.A.D داده می شود.

ظرفیت سنجی

برای تعیین ظرفیت و طراحی سیستم تولید و توزیع هوا فشرده ابتدا باید تعداد و مصارف هر دستگاه را از روی کاتالوگ آن دستگاه تعیین کرد تا میزان مصرف هوا فشرده بصورت F.A.D مشخص شود. در پروسه هایی که از چند دستگاهه استفاده می شود باید توجه داشت ضریب هم زمانی را نیز در نظر بگیریم.

ضریب همزمانی (*use factor*) استفاده از ظرفیت های مختلف در جداول آن وسیله موجود می باشد. حداکثر ضریب همزمانی 0.45 می باشد.

نحوه‌ی تولید هوای فشرده H.P



در شبکه لوله 0.5% شیب کشی لازم است.

لوله کشی هوای فشرده

لوله کشی (*piping*) هوای فشرده به سه روش زیر صورت می گیرد.

- الف - خطی
- ب - رینگ
- ج - شبکه

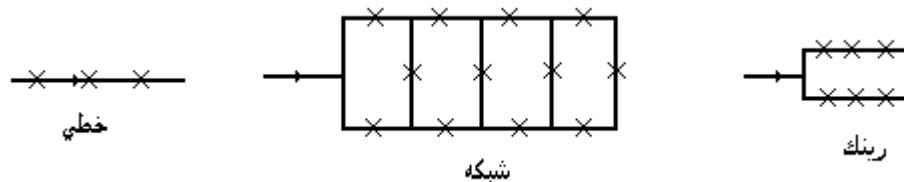
اصول سایزینگ *sizing* لوله‌های هوای فشرده

برای بدست آوردن قطر لوله‌های هوای فشرده از کمپرسور خانه تا مصرف کننده از نمودار و یا از روابط می توان استفاده نمود.

رعایت موارد زیر در تعیین قطر لوله موثر است.

۱. بدست آوردن حداکثر طول و یا فاصله‌ی آخرین مصرف کننده از کمپرسور خانه
۲. حداکثر افت مجاز $0.1-0.2\text{ bar}$ می باشد.
۳. حداکثر سرعت در لوله کشی هوای فشرده 6 m/s می باشد.
۴. برای مسافت‌های کوتاه استفاده از جدول مربوط توصیه می شود.

۵. برای مصرف کنندگانی که در یک سالن پراکنده اند لوله کشی بصورت رینگ توصیه می شود.



فرمول محاسبه‌ی قطر لوله

$$D^5 = \frac{L \times 450 \times Qc}{\Delta P \times P}$$

ΔP : افت فشار کار سیستم می باشد که معمولاً بین $0.1 - 0.2 \text{ bar}$ می باشد.

P : فشار کار سیستم می باشد معمولاً 7 bar

L : ماقزیم طول معادل

یا

$$d = \left[\frac{L \times 450 \times Q^{1.85}}{P \times \Delta p} \right]^{1/5}$$

که در آن:

(mm) d : قطر لوله

(m) L : فاصله مصرف کننده تا کمپرسور

(lit / s) Q : دبی

(bar) Δp : افت فشار

50% طول بزرگترین مسیر را بعنوان طول معادل اتصالات در نظر می گیریم.

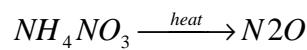
در حالت رینگ مصرف هر طرف رینگ را با ماقزیم طول معادل داخل فرمول ذکر شده می گذاریم و سایز لوله را بدست می آوریم و دو سر لوله های دو طرف را بهم وصل می کنیم، و اگر در طرفین مقدار مصرف یکسان نبود، مصرف بزرگتر را بعنوان مبنا اختیار می کنیم.

در سیستم شبکه ای برای انشعابات فرعی مقدار مصرف آن انشعابات فرعی را با ماکریم طول معادل سیستم در فرمول قرار داده و سایز را بدست می آوریم.

گازهای طبی

۱. اکسیژن O_2 بخش های بستری - اتاقهای عمل - اتاق زایمان و ... جهت تنفس هوا را بصورت مایع در کپسول نگهداری می کنند و بعد با تبخیر آن از آن استفاده می کنند.

۲. گاز بیهوشی N_2O



از واکنش فوق O_2 آزاد می شود که بدلیل اشتعال زا بودن آن بایستی اینمی رعایت شود. لوله ها دارای غلاف باشندو نزدیک شعله نباشند.

۳. هوای فشرده $5psi$ هم برای تنفس و هم برای وسایل نیوماتیک (استفاده از فیلتر های ضد باکتری). گاهی اقات گاز بیهوشی بایستی با گاز هوای فشرده ترکیب شده و مصرف شود چون برای بدن مضر است.

۴. گاز خلا که دارای منابع ذخیره می باشد.

لوله کشی اکسیژن

۱. روش اول مطابق شکل زیر است:



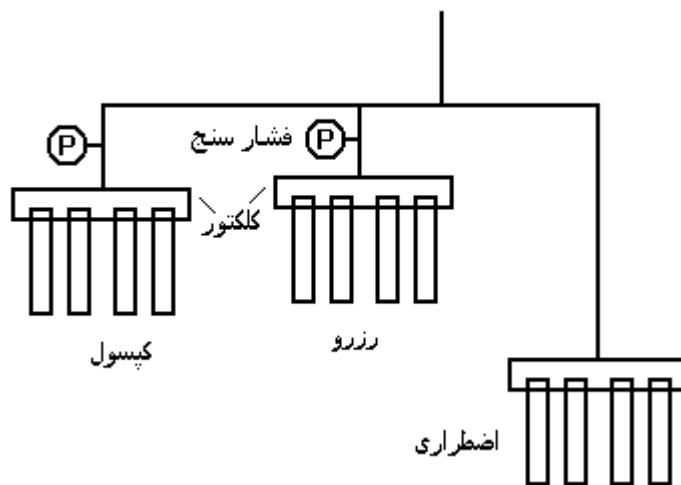
۲. قرار دادن رینگ در طبقه‌ی همکف و گرفتن رایزر برای طبقات بالاتر

۵۵psig فشار اکسیژن در مرکز

$$\leftarrow = 5psig \text{ حداکثر افت فشار معجاز}$$

50 psig دورترین مصرف کننده

ایستگاه های گاز اکسیژن و گاز بیهوده مشابه هم و در یک اتاق هستند. هوای فشرده و خلا هم با هو در اتاق دیگری قرار می گیرند.



در صورت پایین آمدن فشار بصورت اتوماتیک از کلکتور در حال مصرف به کلکتور رزو و شیفت پیدا می کند و اخطار می دهد. اگر هردوی آنها فشارش کم باشد به کلکتور اضطراری شیفت می یابد. سیستم کپسول های اضطراری فقط برای اکسیژن نصب می شود چون حیاتی است ولی گاز بیهوده فقط رزو دارد.

میزان اکسیژن مصرفی رابرای پنج روز در نظر می گیرند و سه برابر ظرفیت آن پنج را ذخیره می کنند.

نمونه محاسبات :

$$150(\text{bed NO}) \times 5(\text{Standard for each bed}) \frac{\text{lit}}{\text{hr}} \times 24(\text{hr}) = 18000^{\circ} \text{lit / day} = 18\text{m}^3 / \text{day}$$

$$18 \times 5(\text{day}) = 90\text{m}^3$$

27 سیلندر که ظرفیت هر کدام 10m^3 است جهت ذخیره سازی مورد نیاز است.

$$\frac{90}{10(\text{cyclender Capacity})} = 9$$

$$9 \times 3\text{day} = 27\text{m}^3$$

کمپرسور ها

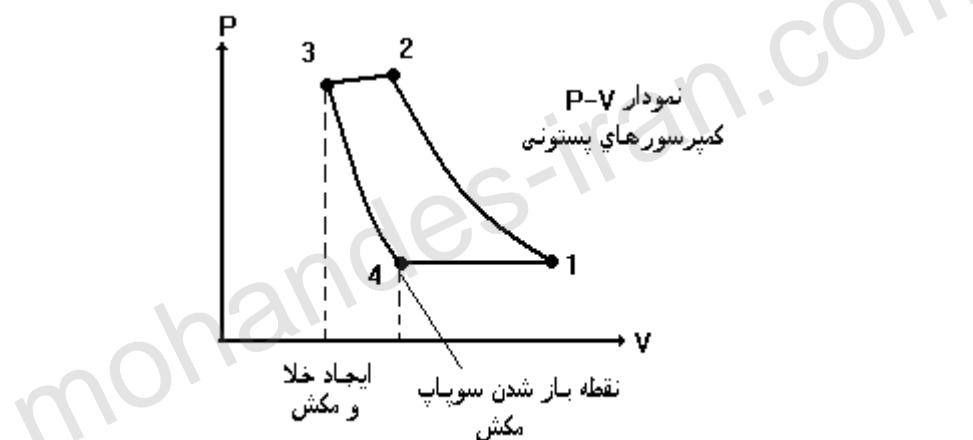
انواع کمپرسور از لحاظ ساختمان

- پیستونی
- اسکرو (Screw)
- سانتریفیوژ

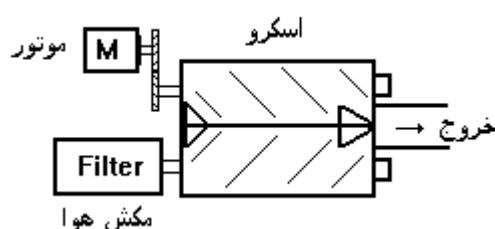
کمپرسورها به چندین روش هوای فشرده تولید می کنند که اساس کار کرد کمپرسورهای پیستونی و اسکرو بر اساس جابجایی و سانتریفیوژ براساس کار دینامیکی می باشد.

در روش جابجایی کمپرسورهای پیستونی با بالا و پایین بردن پیستون حجم هوای ورودی را کاهش داده ایجاد فشار می کنند و در قسمت رانش هوای متراکم را برای مصرف ارسال می کنند.

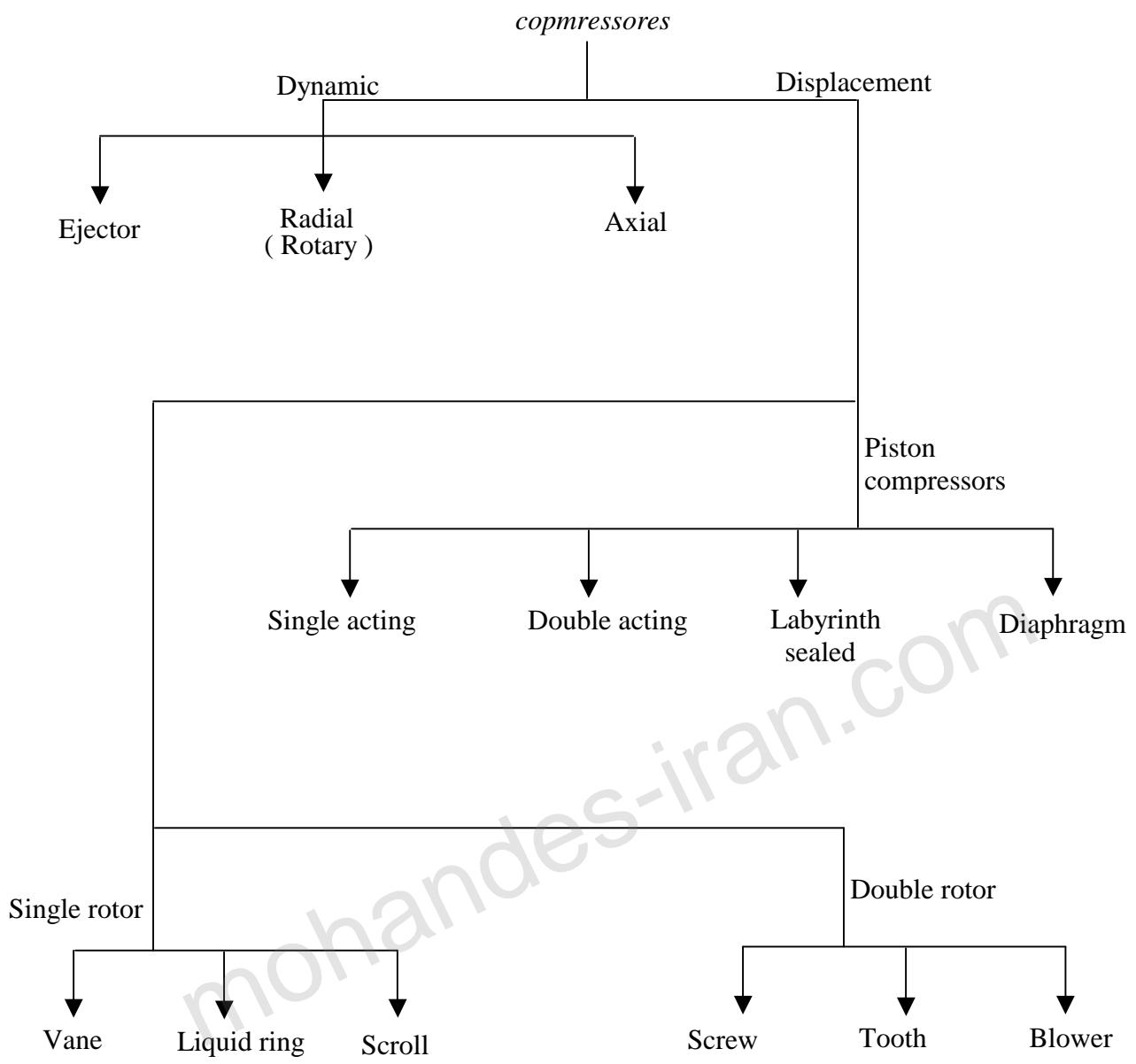
در روش دینامیکی کمپرسور بصورت چرخش Screwtype و impeller به روش تغییر حجم در کمپرسور centrifuge ایجاد فشار می کنند.



در سیستم اسکرو یا جابجایی هوا فاصله‌ی بین دندنه‌ها حدود ۵m است لذا هوا باید فیلتر شود.



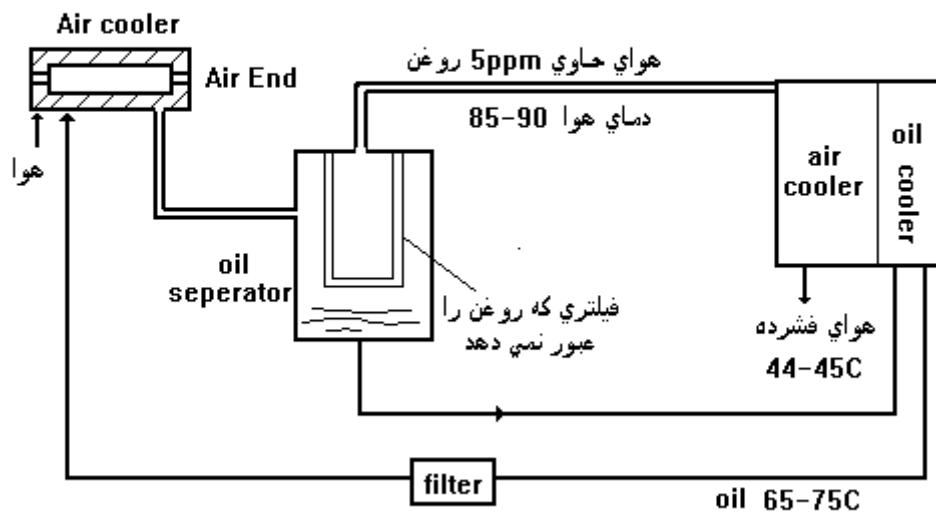
این کمپرسور ها با چرخاندن دو حلزون که بصورت نر و ماده در کنار هم چرخش می کنند با کاهش حجم هوای ورودی ایجاد فشار می نمایند. این کمپرسورها بصورت oil injected یا oil free موجود می باشند.



اگر از کمپرسور *oil free* استفاده کنیم به هیچ وجه نمی توانیم در یک مرحله به فشار مورد نظر بررسیم در حالیکه که در *oil injected* در یک مرحله به هر فشاری می رسیم. دلیل این مسئله تحمل دمایی bearing است که ماکزیمم آن 190°C است.

مقدار روغن موجود در هوا را با $\frac{mg}{m^3}$ یا ppm بیان می کنند.

در سیستم های *oil inject* بعد از خروج مخلوط هوا و روغن وارد جداکننده روغن در سیستم *oil separator* می شود.



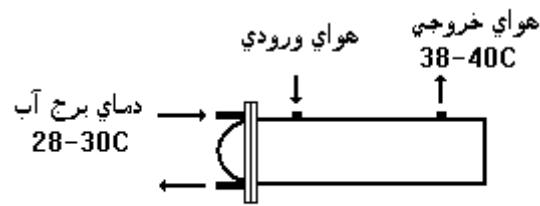
محل استفاده کمپرسور دارد.

در آب خنک، آب داخل *Tube* و هوا از *Shell* عبور می کند.

در آب خنک، روغن داخل *Tube* و آب از *Shell* عبور می کند.

اگر *After cooler* هوا خنک باشد، مبنای طراح آن اینست که دمای هوا فشرده ای خروجی از آن 10°C از روی هواي *ambient* (بهترین شرایط) گرمتر باشد.

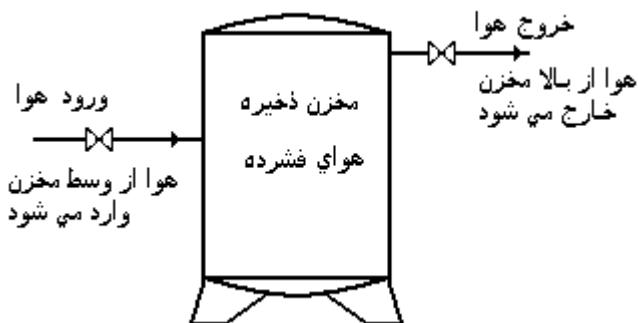
اگر *After cooler* آب خنک باشد، مبنای طراح آن اینست که دمای هوا فشرده ای خروجی از آن 10°C از آب خنک کننده (در بدترین شرایط) گرمتر باشد.



دلایل استفاده از مخزن :

۱. ذخیره سازی هواي فشرده

۲. عدم افت فشار در اثر مصرف هوای فشرده (گرفتن نوسانات فشار)



معمولًاً بعد از کمپرس کردن هوای مقدار رطوبت آن کاهش می یابد چون در فشار بالا مقداری بخار آب هوای کندانس می شود. همچنین کمپرس کردن هوای همراه با افزایش دما و فشار است. به همین دلیل کمپرسور مدام باید خنک کاری (Cooling) و روغن کاری (Lubricate) شود. خنک کاری توسط یکی از سه سیال آب، هوای یا روغن انجام می شود.

مزایای استفاده از سیال روغن:

- انجام عملیات روانسازی
- ایجاد یک سیستم سلینینگ بین دنده ها که هوای را پس نزند
- خنک کاری خوب

می توانیم بجای روغن از آب استفاده کنیم که باستی سیستم *stainless steel* باشد.

تعیین ظرفیت مخزن

در یک مجموعه کمپرسورخانه به منظور ذخیره سازی مناسب هوای فشرده و کاهش تعداد خاموش و روشن شدن کمپرسورها از مخزن هوای فشرده استفاده می گردد. برای بدست آوردن حجم مخزن ذخیره از فرمول

$$V = \frac{0.25 \times Q_c \times P_1 \times T_v}{f_{\max} \times (p_u - p_l) \times T_1}$$

که در آن:

V = حجم مخزن ذخیره به *lit*

$FA =$ ظرفیت بر حسب Q_c

$p_1 =$ فشار ورودی از کمپرسور بر حسب bar

$T_1 =$ دمای ورودی هوا از کمپرسور (k)

$T_v =$ دمای هوای فشرده در مخزن (k)

$(p_u - p_l) =$ اختلاف فشار بین روشن شدن و خاموش شدن کمپرسور بر حسب bar

$f_{\max} =$ حداقل تعداد دفعات روشن و خاموش شدن در دقیقه (معمولًاً دو بار)

$\left(\frac{1}{s}\right)$ فرمول فوق در شرایط نرمال 1atm و دمای محیط 20c و تعداد سیکل های 30s بشكل

زیر خلاصه می گردد.

$$v = \frac{Q}{8\Delta p}$$

m^3 = حجم مخزن

m^3 / min = ظرفیت کمپرسورها

Δp = اختلاف فشار بین روشن و خاموش شدن کمپرسورها

فیلتراسیون

فیلترهای Grand G یعنی لوله باید بصورت دنده شده به آن متصل شود.

فیلترهای Grand F یعنی لوله باید بصورت فلنچ به آن متصل شود.

فیلترهای هوای فشرده سه کار انجام می دهند:

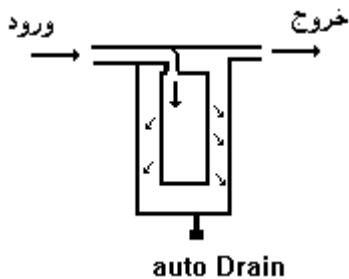
۱. گرفتن روغن

۲. گرفتن آب

۳. گرفتن غبار

جنس المتن فیلتر می تواند پشم شیشه (که دارای سیلیکات است)، پلی اتیلن یا پروپیلن باشد.

زمانی که بخواهیم روغن داخل هوا را بگیریم فیلتر را به این ترتیب می بندیم.



عمل فیلتراسیون باید مرحله به مرحله انجام شود مثلاً ابتدا $1m$ بعد $0.1m$ و بعد $0.01m$ بگذاریم.

خشک کن ها Dryers

هوای فشرده که توسط کمپرسور تولید می شود حامل بخار آب موجود در هوای ورودی به دستگاه می باشد. از این رو در صورت عدم استفاده مستقیم این هوا موجب فرسایش و اخلال عملکرد ابزارها و تجهیزاتی که مستقیماً با هوای فشرده عمل می کنند می گردد از طرفی ورود روغن در پروسه های حساس باعث کاهش شدید کیفیت محصول می گردد. (مانند پروسه رنگ و...) از این رو می بایستی رطوبت موجود در هوا گرفته شود. این عمل به دو صورت تبریدی و یا به روش جذبی امکان پذیر است.

دسته بندی کلی درایر ها

۱. شیمیایی
۲. مکانیکی

درایر تبریدی :

این نوع درایرها با کاهش دمای هوای فشرده تا نقطه‌ی شبنم هوای ورودی بخار آب را در قسمت جداکننده از هوا جدا می کنند و هوا علاوه بر صورت خشک در آورده می شود.

رطوبت نسب هوای خروجی حدود $RH = 20 - 25\%$ و نقطه‌ی شبنم هوای $3 - 5C$ می باشد. این درایر نوعی درایر مکانیکی می باشد.

دراير جذبي :

اين نوع درايرها با روش جذب رطوبت توسط مواد جاذب رطوبت کار می کنند. مواد جاذبی که در اين درايرها بکار می رود عبارتند از سيليكاژل (بدليل سرطان زا بودن مصرف نمی شود)، آلومينيا اكتيو₃ Al_2O_3 و يا *molecular sieve*. خاصیت مشترک اين مواد توان جذب رطوبت در فشار بالا و از دست دادن رطوبت در فشار پایین می باشد.

دراير های جذبی در دو مخزن کنار هم ساخته می شوند که يکی در حال خشک کردن هوا (اشباع) و دیگری در حال خشک کردن مواد جاذب (احیا) می باشد. برای عمل احیا فشار مخزن را تا فشاری در حدود اتمسفر پایین می آورند و جريانی از هوای فشرده را جهت تخلیه رطوبت به داخل آن هدایت می کنند.

عمل اشباع حدود ۲-۳ ساعت زمان می برد ولی عمل احیا حدود ۱ الی ۱،۵ ساعت انجام می شود. اشباع شدن رزین ها بر مبنای نقطه ی شبنم هوا سنجیده می شود. و در يك نقطه ی شبنم خاصی شيرهای برقی جابجا می شوند.

نقطه ی ضعف درايرهای جذبی ورود روغن به داخل آن است که سبب خرابی و کاهش راندمان آن می شود. اين نوع خشک کن برای سیستم های *oil free* کاملاً مناسب است.

بعد از خشک کن جذبی حتماً باید *dust filter* نصب شود ولی در خشک کن های تبریدی نصب *dust filter* بی معنی است.

برای انتخاب يك خشک کن باید چهار پaramتر زیر را در اختیار قرار داشته باشیم.

working pressure: k1

Dew Point: k2

max temp.: k3

k4: دمای هوای ورودی به دستگاه خشک کن

$$k1 \times k2 \times k3 \times k4 = C.F(\text{correctin factor})$$

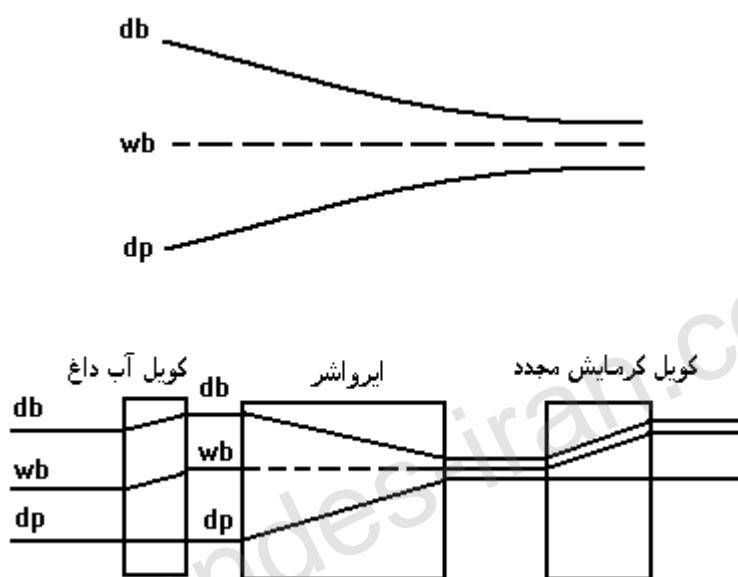
اگر ظرفیت مصرف دستگاه مثلاً $50m^3 / \text{min}$ باشد:

$$Q_A = \frac{50}{C.F} : \text{ظرفیت واقعی دستگاه دراير}$$

فرایند در ایرواشر (air washer)

در این دستگاه عمل رطوبت‌گیری، رطوبت زدن، گرم کردن، سرد کردن هوا و همچنین پاک ساختن هوا از آلودگی‌ها از قبیل گرد و غبار و پرز با استفاده از پودر کردن آب در هوا صورت می‌گیرد.

دماهی آب در ایرواشر (در زمستان) بعد از مدتی از شروع کار دستگاه به T_{wb} هوای ورودی می‌رسد. T_{wb} در طی عبور از ایرواشر هیچ تغییری نمی‌کند ولی T_{db} و T_{dp} افزایش می‌یابد.



: دمای حباب خشک (دمای دما سنج) T_{db} (Dry bulb Temp.)

: دمای حباب تر T_{wb} (Wet bulb Temp.)

: دمای نقطه‌ی شبنم (دمایی که کندانش شروع می‌شود) T_{dp} (Dew point Temp.)

در شرایطی که راندمان ایرواشر ۱۰۰% می‌باشد داریم $T_{db} = T_{wb} = T_{dp}$ اما معمولاً ایرواشر یک دستگاه مهندسی بحساب نمی‌آید زیرا کنترلی روی آن نیست.

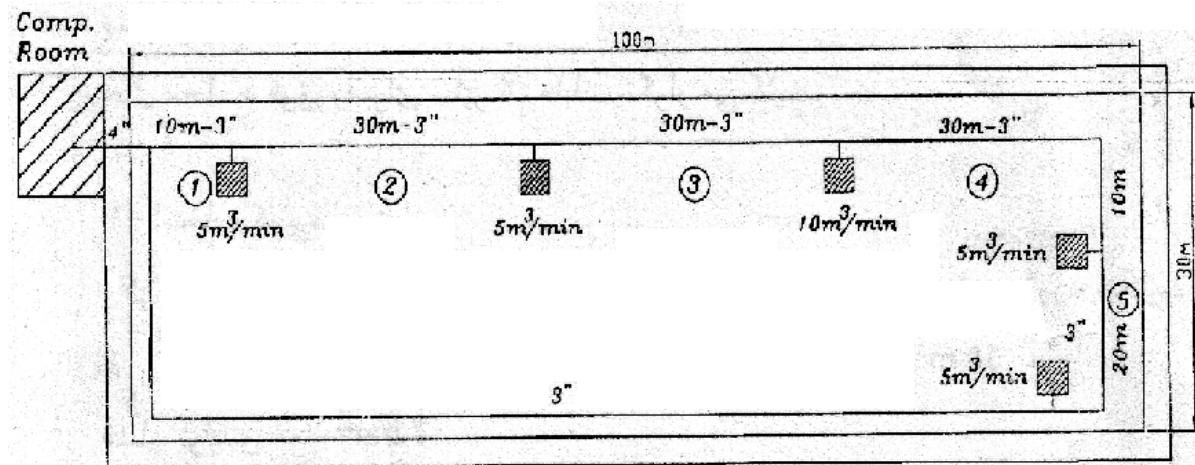
(۸۵-۸۰)٪ افت تئوری درجه حرارت خشک / افت واقعی درجه حرارت خشک = راندمان ایرواشر٪

یک نمونه طراحی کمپرسور خانه :

مطلوبیست طراحی شبکه لوله کشی و کپرسور خانه برای سیستم زیر :

$$Q = 30m^{3/min} \text{ (oil injected)}$$

$$P = 6 \text{ bar}$$



پس فشار تولیدی کمپرسور $p_a = 7 \text{ bar}$ در نظر گرفته می شود. شرایط طراحی بگونه ای انتخاب می شود تا حداکثر ۱،۰ افت فشار حادث شود.

- طراحی شبکه لوله کشی داخل سالن :

مطابق جدول زیر محاسبات و اطلاعات جمع بندی می گردد.

شماره	دبی m³/min	دبی l/s	طول معادل	سایز لوله اینج	سرعت m/s	افت فشار bar واقعی
۱	500	83	150	4	7.7	.09
۲	416	69	150	4	6.4	.06
۳	333	56	150	3	8.7	.17
۴	167	28	150	2.5	6.8	.12
۵	83	14	150	1.5	4.8	0.1

حال با توجه به فرمول زیر :

$$L = \frac{\Delta P \times D^5 \times P}{450 \times Q_c^{1.85}}$$

برای تعیین قطر خواهیم داشت :

$$D^5 = \frac{150 \times 450 \times 500}{.2 \times 7} = 86 \text{ mm}$$

پس قطر انتخابی برای لوله ۴ اینچ می باشد.
محاسبات فوق را برای سایر انشعابات تکرار می کنیم.

• انتخاب کمپرسور

برای انتخاب کمپرسور ابتدا ظرفیت مورد نیاز را به همراه ضریب اطمینان برآورد می کنیم.

$$30m^3 / min \times 1.2 = 36m^3 / min$$

فشار تولیدی 7bar

سیستم خنک کاری هوا :

الف: انتخاب اول : یک دستگاه کمپرسور از شرکت (SSRML 200(ingersolrand)

$$Q = 35.7 \quad MP = 200kw \quad P = 7bar$$

ب : انتخاب دوم : دو دستگاه کمپرسور از شرکت (SSRML 200(ingersolrand)

$$Q = 16.7 \quad MP = 90kw \quad P = 7bar$$

ج: انتخاب سوم : دو دستگاه کمپرسور از هوا ابزار تهران HA 150A

$$Q = 20 \quad MP = 110kw \quad P = 7bar$$

• انتخاب after cooler

افتر کولر در دو نوع آب خنک و هوا خنک می تواند باشد که برای سیستم فوق سیستم هوا خنک انتخاب می گردد که ظرفیت خنک کاری آن با توجه به ظرفیت اطمینان حدود $40m^3 / min$ هوای فشرده باشد که دمای هوای خروجی از آن 10° درجه بالاتر از دمای محیط می باشد.

پس مدل انتخابی (AF 400(A)

• انتخاب مخزن :

با توجه به فرمول انتخاب مخزن خواهیم داشت :

$$V = \frac{0.25 \times Qc \times T_0}{F_{\max} \times (P_u - P_L) \times T_1} = \frac{0.25 \times 500 \times 318}{1/3 \times 0.5 \times 308} = 7743lit$$

که اولین ظرفیت استاندارد نزدیک به آن ۸۰۰۰ لیتر می باشد. پس مدل مخزن AT 8000 می باشد.

• انتخاب درایر تبریدی :

انتخاب درایر تبریدی :

در صورت نیاز به انتخاب درایر تبریدی ابتدا می بایست شرایط ورودی به درایر و ضرایب تصحیح از کاتالوگ شرکت سازنده استخراج گردیده و مدل انتخاب شود پس :

$$Q = 36 \quad T_i = 45C \quad DP = 3C$$

ضریب تصحیح فشار : $K_1 = 1$

ضریب تصحیح نقطه ی شبم : $K_2 = 1$

ضریب تصحیح دمای هوای محیط : $K_3 = 0.89$

ضریب تصحیح دمای هوای ورودی : $K_4 = 0.69$

$$Q_n = Q_a \times 0.69 \times 0.89 \Rightarrow Q_a = 36 / 0.614 = 59 m^3 / min$$

پس مدل انتخابی $TMS 780$

$$\Delta P = 0.23 bar$$

انتخاب درایر جذبی :

همانند انتخاب درایر تبریدی برای تعیین مشخصات فنی درایر جذبی می بایست شرایط ورودی و ضرایب تصحیح را برای آن مشخص و نوع درایر از نظر سیکل احیا را تعیین نمود تا بتوان مدل درایر را مشخص کرد.

$$Q = 36 \quad T_i = 45C \quad Pi = 7bar$$

ضریب تصحیح برای دمای فوق $82^\circ C$ می باشد.

$$\frac{36}{0.83} = 44 m^3 / min$$

ضریب ذخیره درایر :

$$50 \times 0.82 = 41 \Rightarrow 41 - 36 = 5 m^3 / min$$

پس مدل انتخابی با توجه به تعیین درایر هیتردار (هوابزار) $RDE 500$



نقطه شبنم برای دراییرهای فوق $DP = -40C$ و افت فشار حدود $0.4bar$ می باشد.

- انتخاب فیلترها:

ابتدا ضریب تصحیح فشار را تعیین می کنیم.

$$Q = 36m^3 / \text{min} \quad k = 1 \quad 0 = 7bar$$

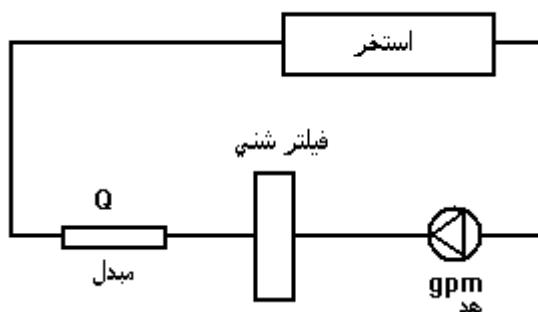
pre filter 0620(OA) G 3(1mm, 0.5mg / m³)

micro filter 0620(AA) G 3(0.01mm, 0.5mg / m³)

dust filter 0620(AAR) G 3(1mm)

activate carbon filter 0620(ACS) G 3(< 0.003mg / m³)

آشنایی با تاسیسات استخر و جکوزی



تغذیه و تخلیه (گردش آب) در داخل استخر به دو صورت انجام می شود:

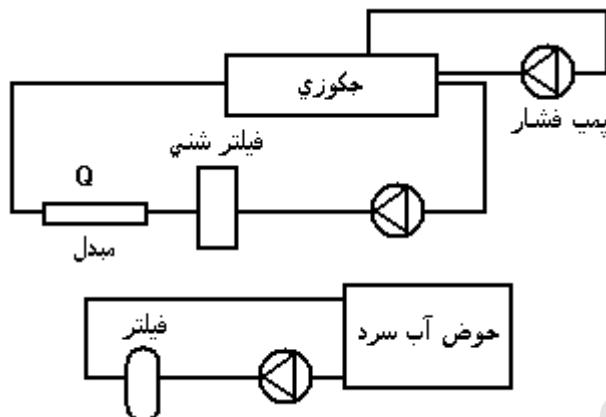
الف) آب گرم از کف به داخل استخر زده می شود و از طریق سر ریز به سیکل بر می گرد. اما

یک مخزن ذخیره اضافی نیز در نظر گرفته شده است.

ب) آب از دیوارهای عرضی یک سمت وارد شده و از کف سمت دیگر خارج می‌شود.

جکوزی استخری است که:

۱. دمای آب آن $10F^{\circ}$ گرماست.
۲. پمپ فشار دارد.



سونای خشک دارای مشعل گازی و یا المنت می‌باشد.

حوضچه‌ی آب سرد: استخری که مبدل گرمایش ندارد و دمای آن بین $10^{\circ}C - 15^{\circ}C$ است.

$$Q = GTH_1 + GTH_2 + GTH_3 + GTH_4 \leftarrow GTH_4$$

\leftarrow مربوط به GTH_1

\leftarrow مربوط به منبع دو جداره GTH_2

\leftarrow مربوط به استخر GTH_3

\leftarrow مربوط به جکوزی GTH_4

تبديل واحد

$$1\text{psi} = 6.8948\text{kPa}$$

$$1\text{bar} = 14.5\text{Psi}$$

$$^{\circ}\text{F} = (^{\circ}\text{C} \times 1.8) + 32$$

$$1\text{USgal} = 0.003785\text{m}^3$$

$$1\frac{\text{BTU}}{\text{hr}} = 0.293\text{W} = 0.252\frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

$$1\text{W} = 3.4118\frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

$$1\text{kcal/hr} = 1.163\text{W}$$

$$1\frac{\text{USgal}}{\text{min}} = 6.309 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$CMF = 1\frac{\text{ft}^3}{\text{min}} = 0.000472\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

mohandes-iran.com

پایان

پاییز 1386