



دانشگاه صنعتی شریف

طرح سیستم های تهویه مطبوع سیستم های سرمایشی و اجزاء آنها

دکتر محمد حسن سعیدی

نیمسال دوم 92-93

سرمايش تبخيري

مزایا:

- § هزینه نصب و نگهداری کمتر
- § تعمیر ساده تر
- § حجم تهویه بالا
- § افزایش رطوبت هوا (در مناطق خشک)
- § جذب ذرات هوا

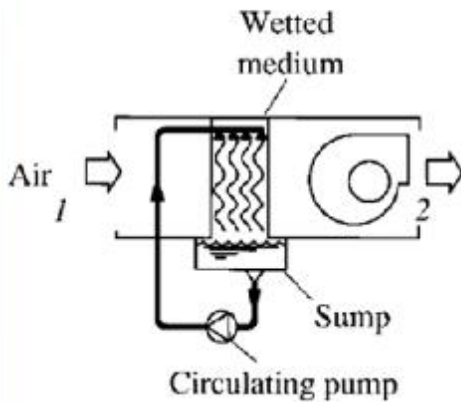
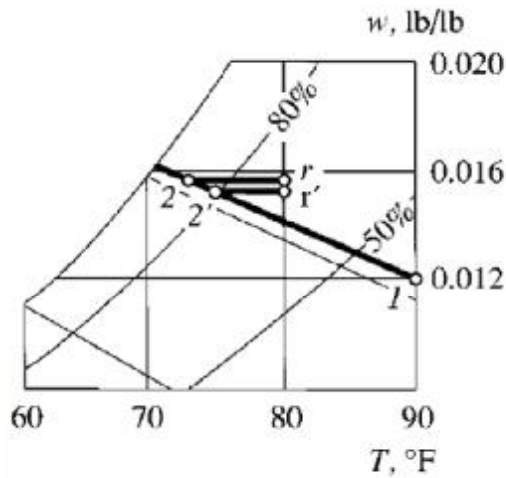
معایب:

- § عدم امکان کنترل دما و رطوبت فضا
- § راندمان پایین در مناطق مرطوب (استفاده از این سیستم‌ها برای مناطقی با دمای حباب خشک بیش از 90°F و دمای حباب تر کمتر از 70°F مناسب است).
- § افزایش رطوبت هوا، رشد قارچ‌ها و ایجاد مشکلات خوردگی و پوسیدگی

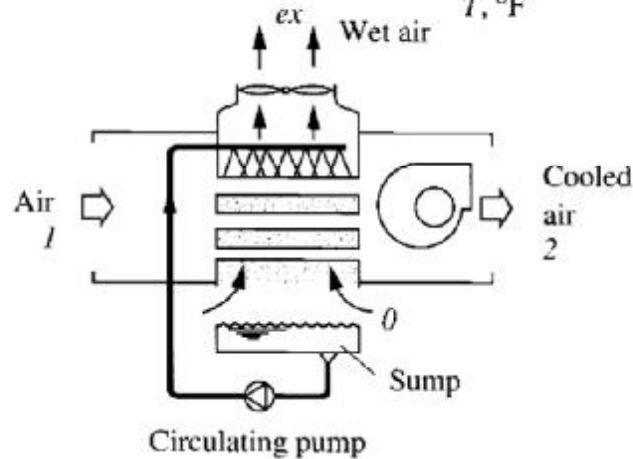
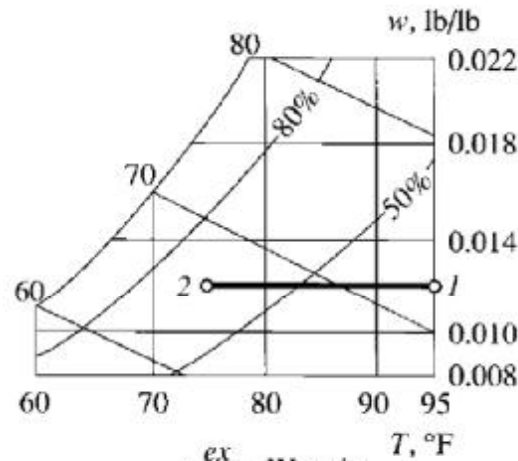
انواع سیستم‌های تبخیری:

- § سیستم‌های تبخیری مستقیم
- § سیستم‌های تبخیری غیر مستقیم
- § سیستم‌های تبخیری دو مرحله‌ای

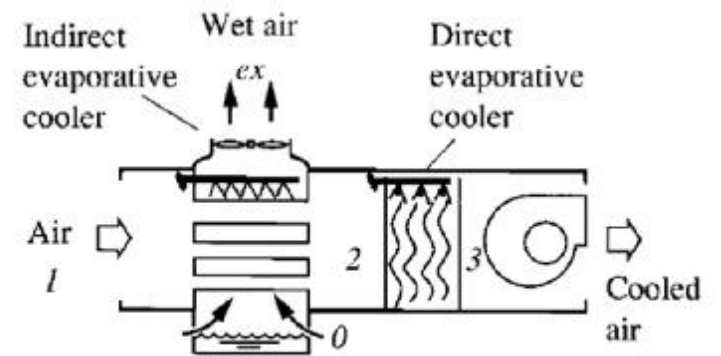
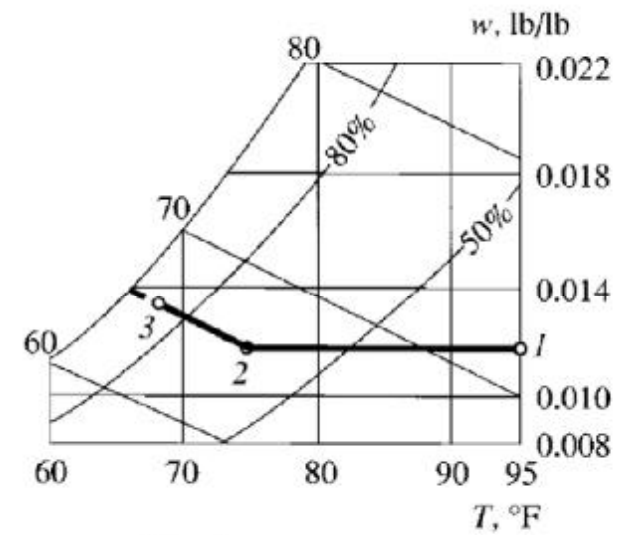
سرمایش تبخیری



DIRECT

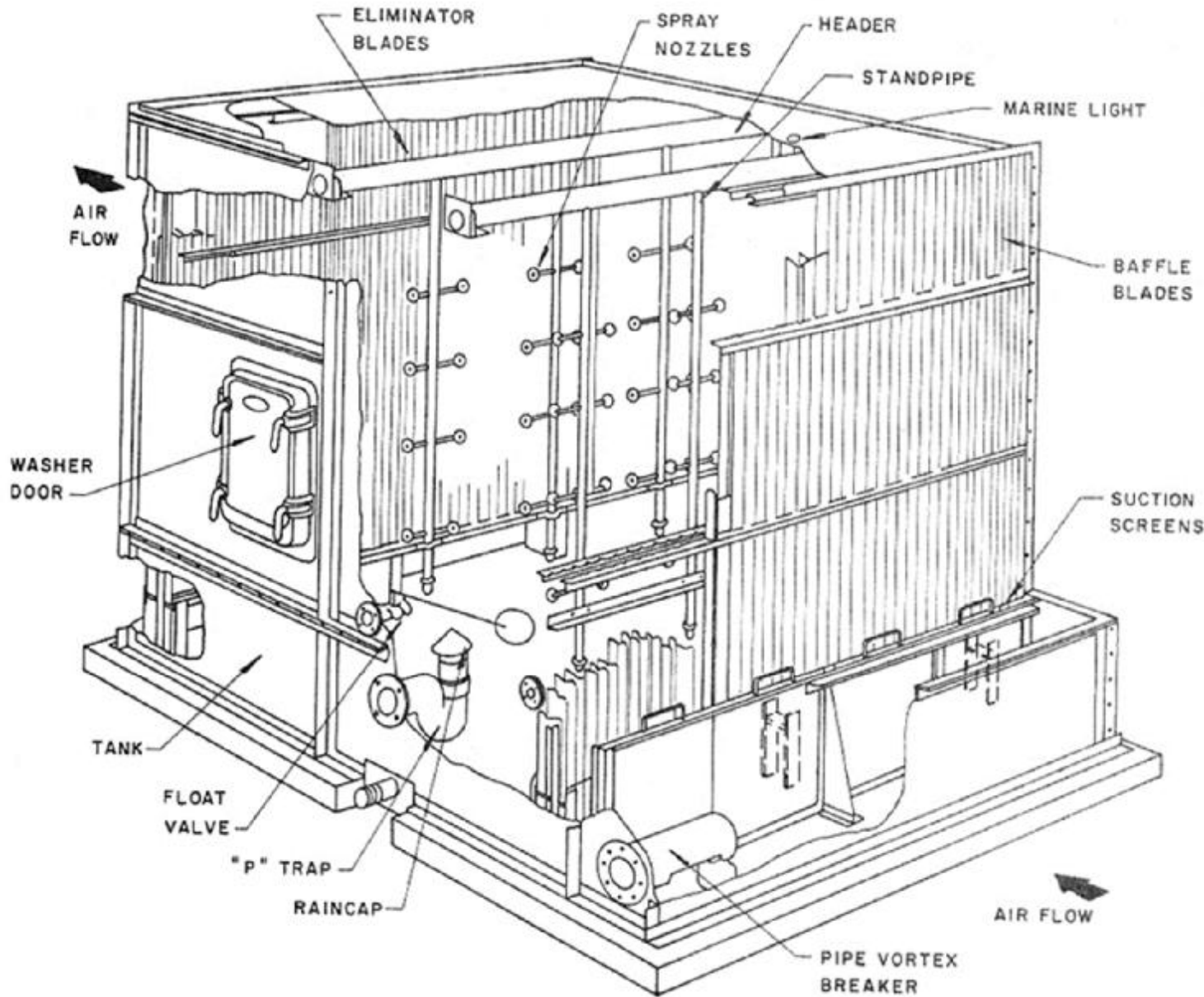


INDIRECT



TWO-STAGES

هواشوی (Air Washer)



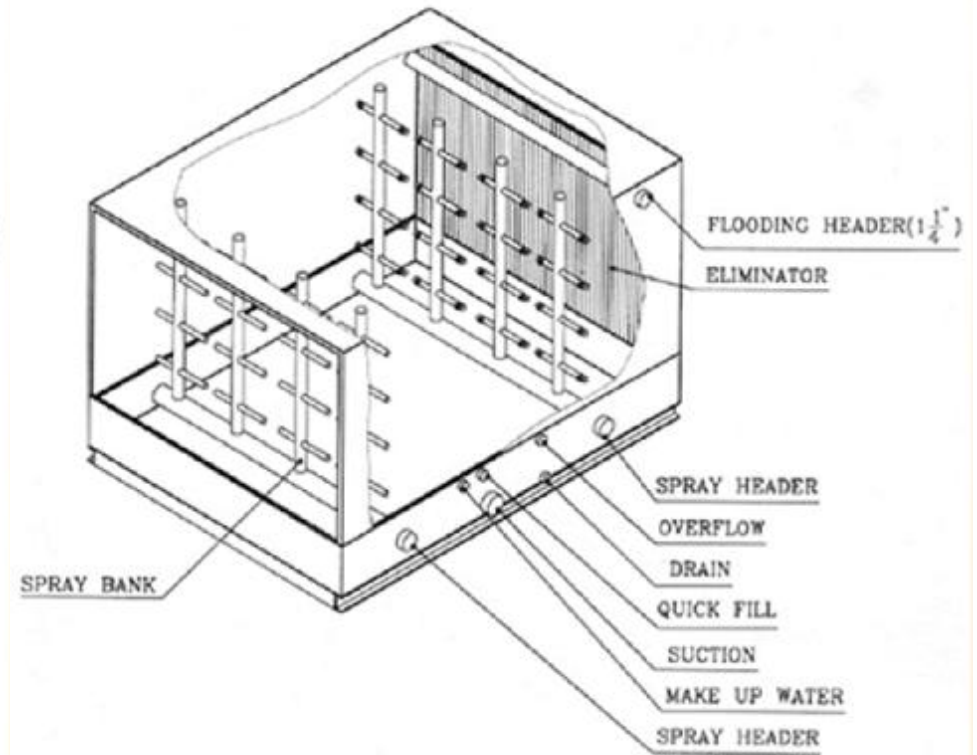
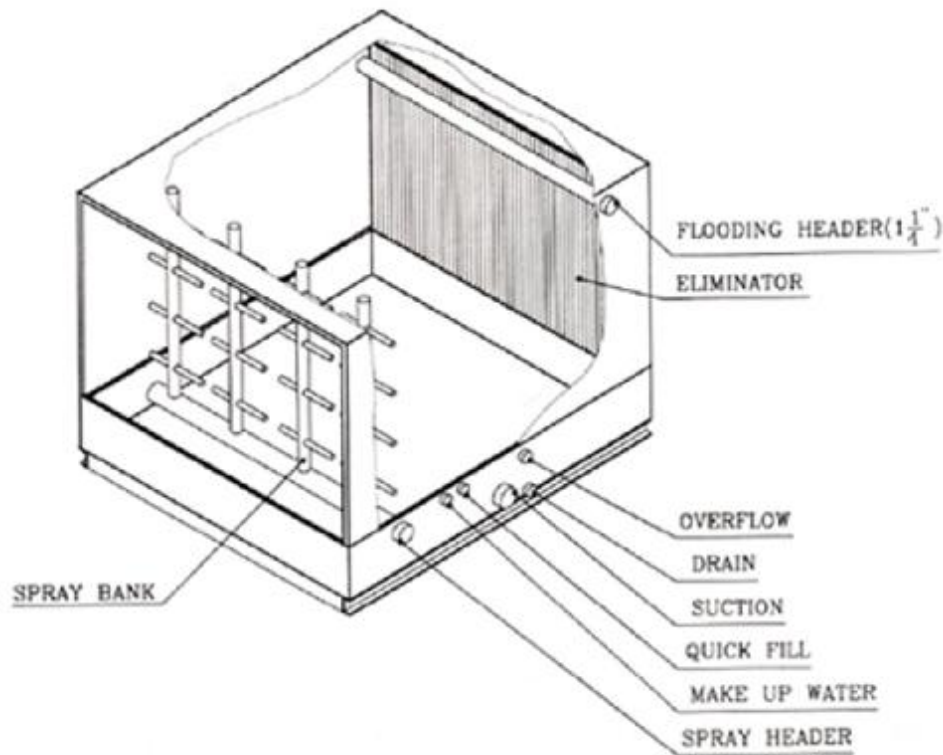
§ راندمان اشباع:

$$\eta = \frac{T_{db} - T_{sa}}{T_{db} - T_{wb}}$$

هواشوی (Air Washer)

AIR WASHER CLASS 4

AIR WASHER CLASS 8



$\eta = 60 \%$

$\eta = 90 \%$

هواشوی (Air Washer)

$$Q = \frac{q_s}{1.08(T_{rm} - T_{sa})}$$

تعیین گذر حجمی هوا:



تعیین سطح مقطع هواشوی: سرعت مجاز هوا بین 500-750 fpm است.



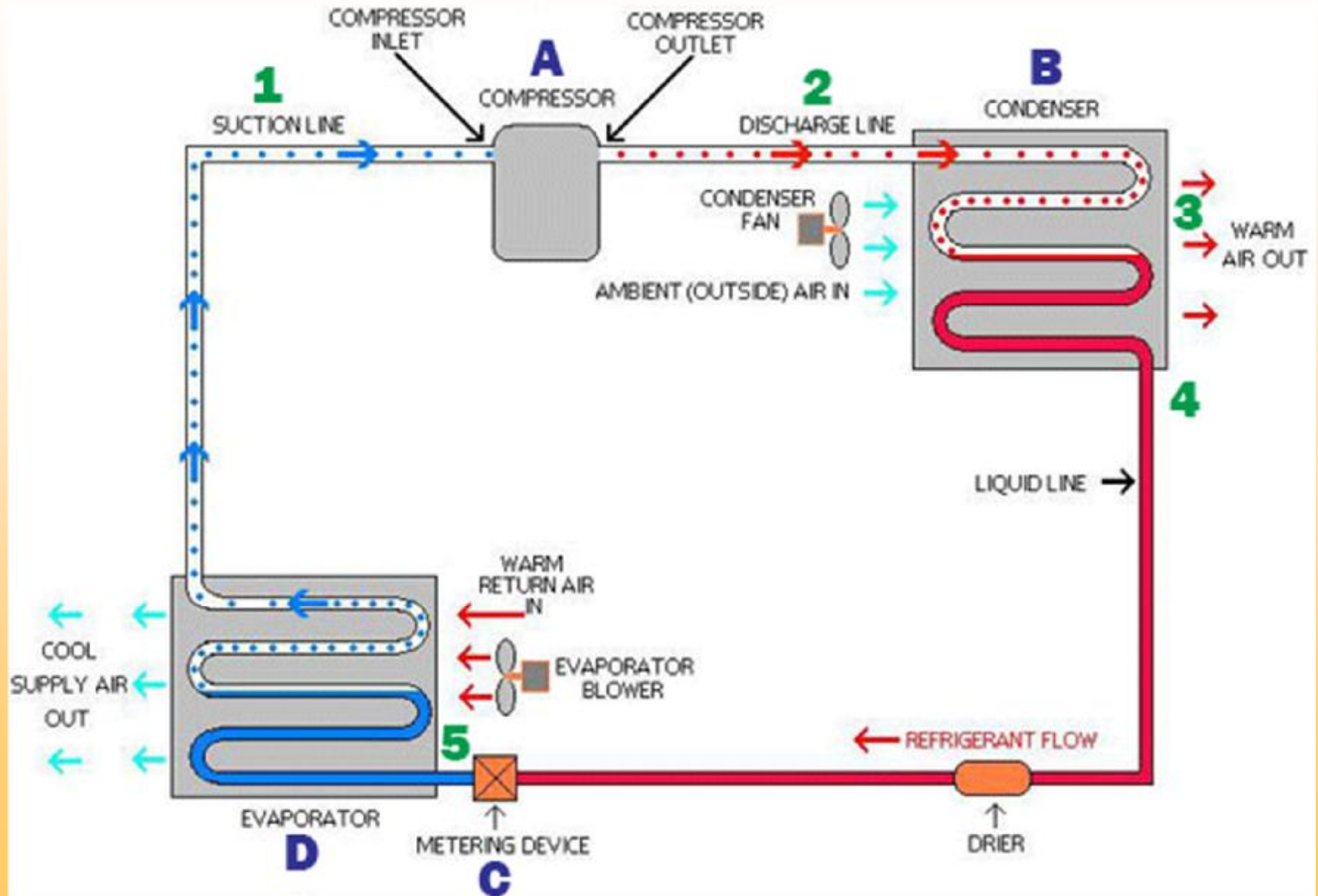
تعیین گذر حجمی آب: برای هر بانک در حدود 4 gpm به ازای هر 1000 cfm هوادهی



تعیین فشار آب: فشار مجاز آب در پشت نازلها در حدود 2-5/1 بار است.



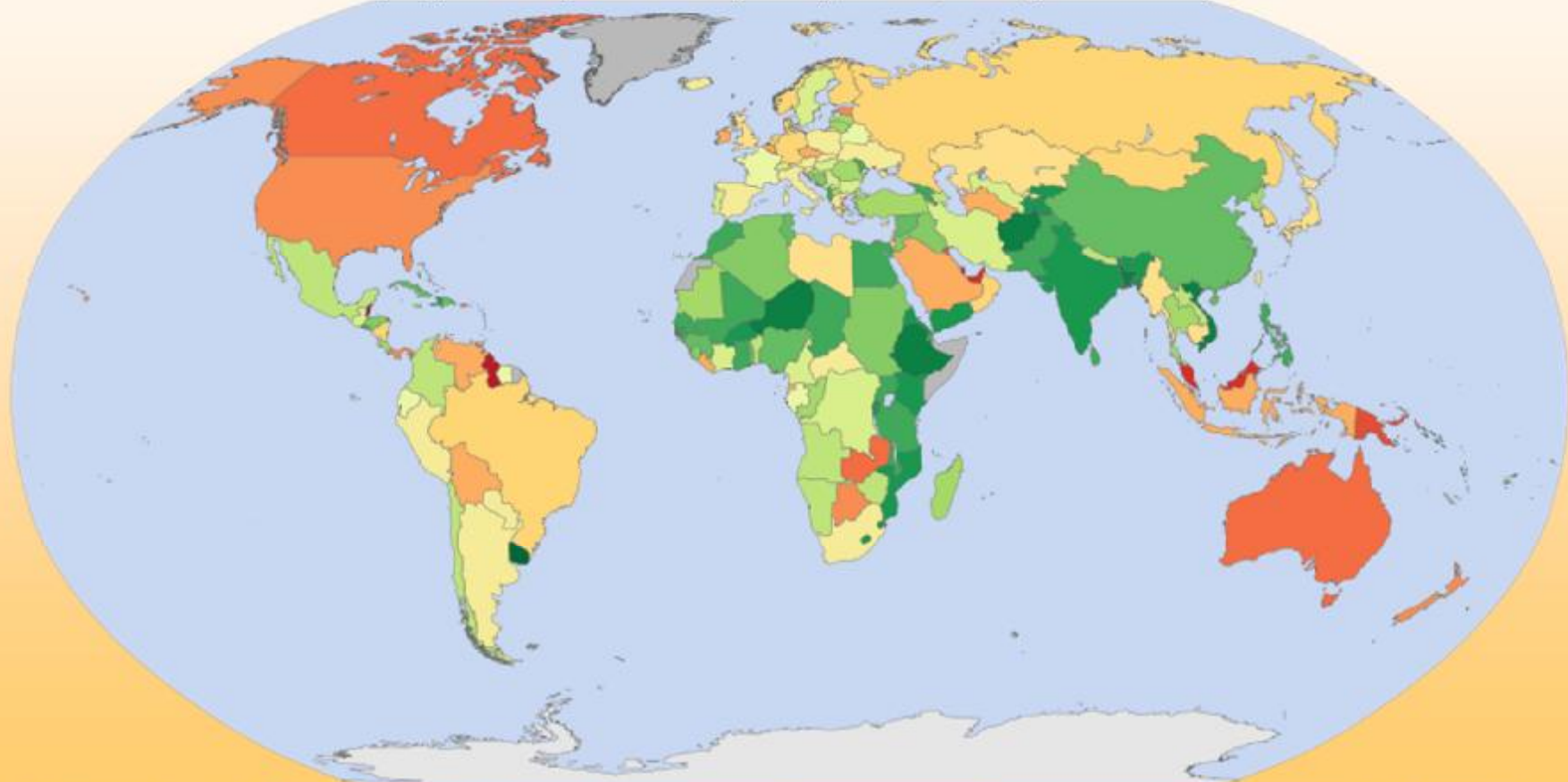
سرمایش تراکمی



مبردها

سرانه تولید گازهای گلخانه‌ای در کشورهای جهان به ازای هر نفر:

Per capita greenhouse gas emissions by country in 2000 (including land-use change)



Data: World Resources Institute CMI
Map: map: Conalago & others

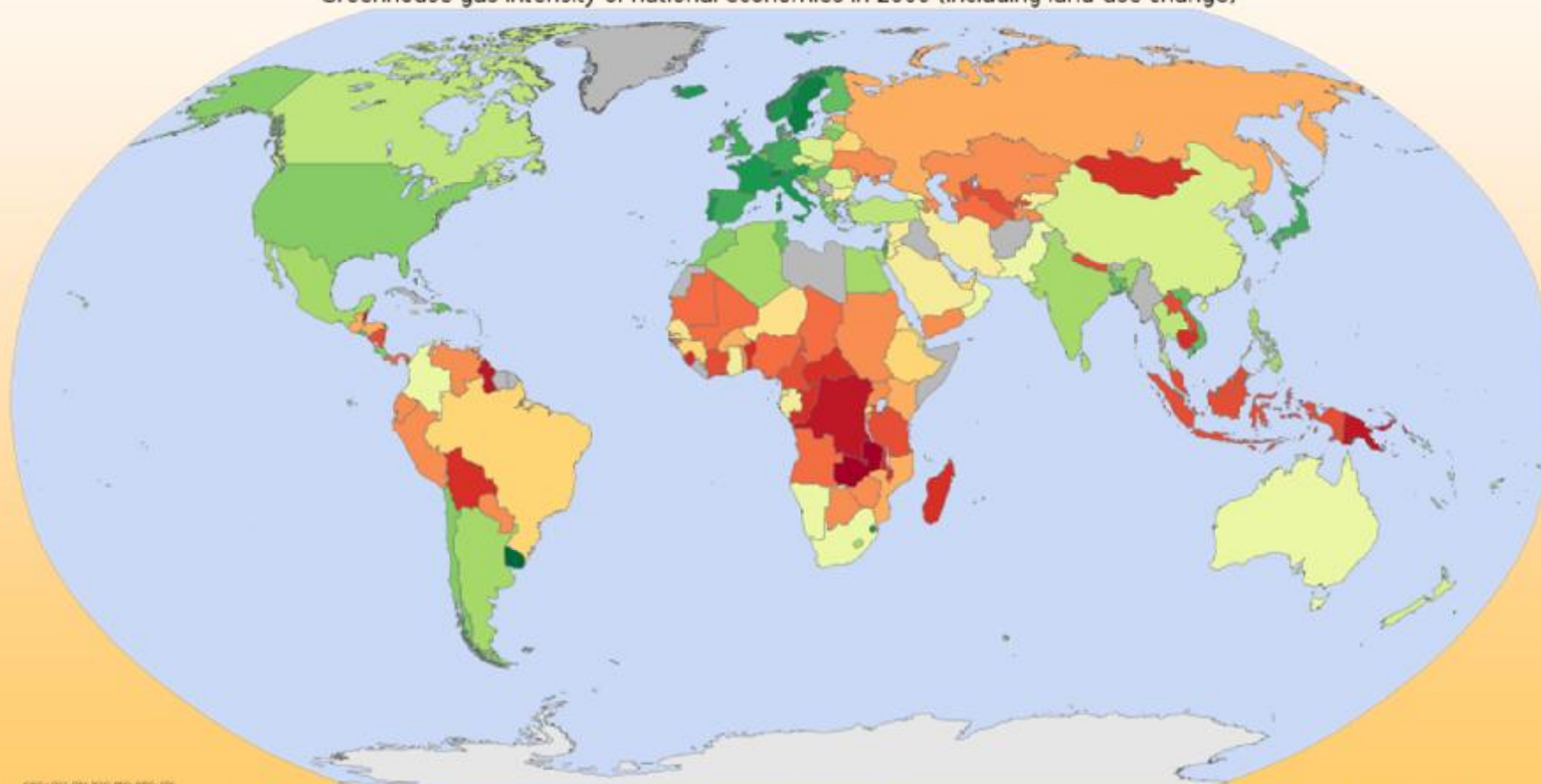
no data 0

93.9 tonnes CO₂e per capita

مبردها

سرانه تولید گازهای گلخانه‌ای در کشورهای جهان به ازای تولید ناخالص ملی:

Greenhouse gas intensity of national economies in 2000 (including land-use change)



000001_000001_000001_000001
Data: World Resources Institute ODI
Map: map: Conalloy & others

no data 0

32 tCO₂e/Int/\$1000 GDP

مبردها

ایمینی	توان (hp/ton)	دبی مبرد (cfm/ton)	اثر تبرید (Btu/lb)	نسبت تراکم	فشار کندانسور	فشار اوپراتور	HGWP	ODP	جایگزین	نوع	مبرد
AI	0/679	2/99	63/72	2/79	139/0	49/8	0/28	0	22 و 12	HFC	134a
AI	0/721	1/32	69/08	2/50	331/6	132/9	0/48	0	22	HFC	410a
AI	0/699	1/89	68/60	2/67	225/0	84/2	0/38	0	22	HFC	407c
AI	0/696	1/91	68/71	2/53	210/7	83/3	0/34	0/05	12	HCFC	22
BI	0/635	18/85	62/82	3/59	20/8	5/8	0/02	0/02	11	HCFC	123
AI	0/636	15/86	68/50	3/33	23/1	6/9	1/00	1/00	-	CFC	11
AI	0/689	3/08	5/50	2/53	129/2	51/0	3/10	1/00	-	CFC	12
BII	0/653	1/70	480/33	2/89	212/0	73/3	0	0	-	آلی	717 (آمونیاک)

فشار اوپراتور و کندانسور بر حسب psi و بر مبنای دمای اوپراتور 40 °F و دمای کندانسور 100 °F است.

کمپرسورها

انواع کمپرسور مورد استفاده در صنایع تهویه مطبوع:

- § کمپرسورهای رفت و برگشتی
- § کمپرسورهای اسکرو
- § کمپرسورهای اسکرو
- § کمپرسورهای سانترفیوژ

انتخاب نوع کمپرسور بیش از هر چیز به ظرفیت آن بستگی دارد:

- § از 5 تا 60 تن: کمپرسور رفت و برگشتی (تا 4 کمپرسور قابل موازی کردن است)
- § از 5 تا 15 تن: کمپرسور اسکرو (تا 4 کمپرسور قابل موازی کردن است)
- § بالاتر از 100 تن: کمپرسور اسکرو

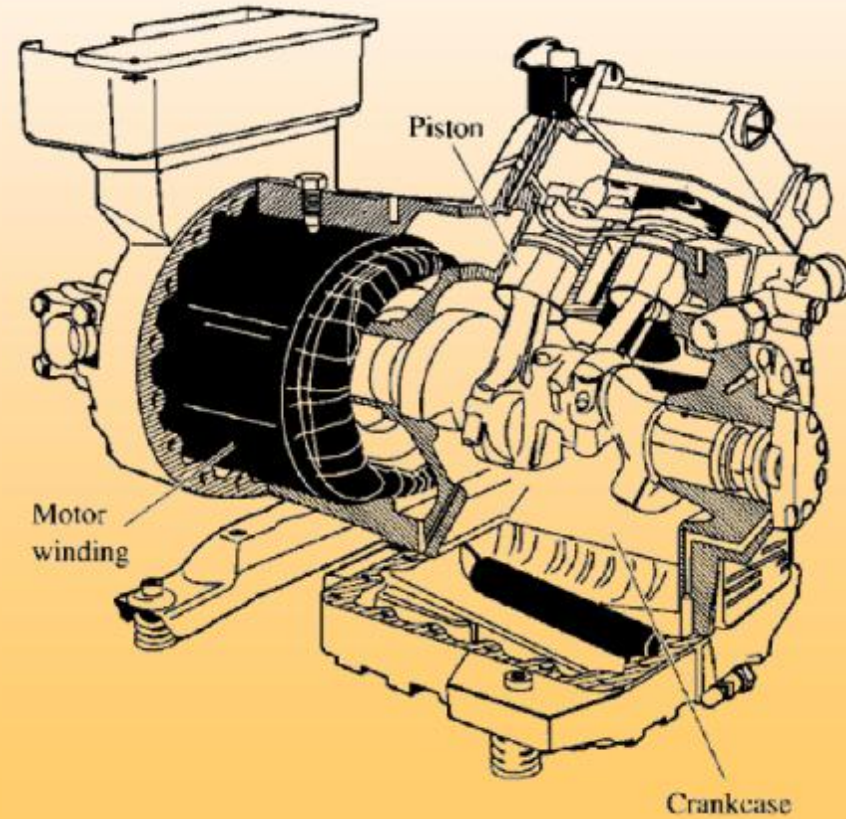
کمپرسورهای رفت و برگشتی

انواع کمپرسور رفت و برگشتی:

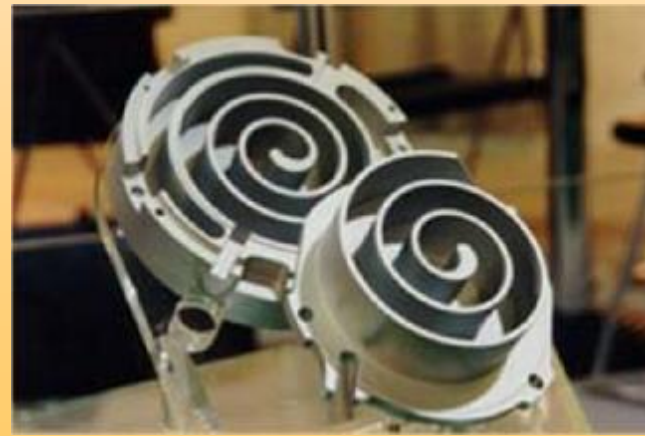
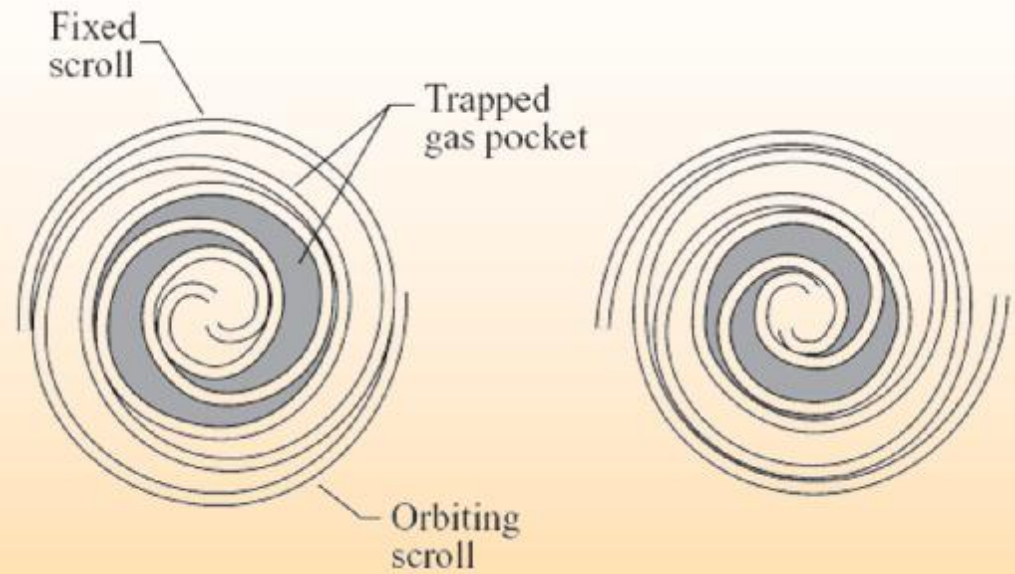
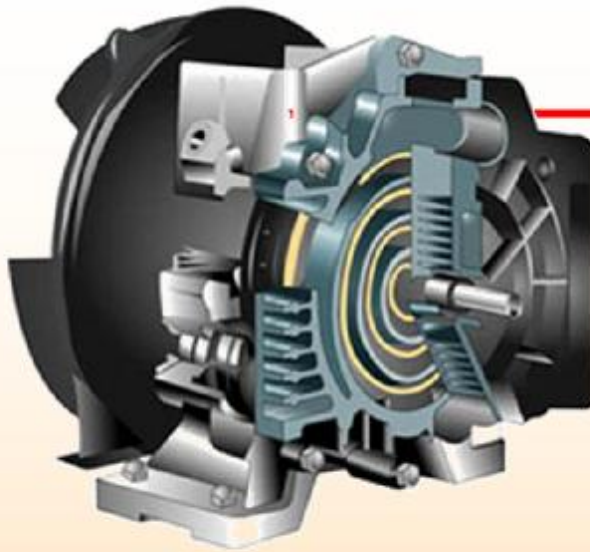
§ بسته (Hermetic)

§ نیمه بسته (Semi-Hermetic)

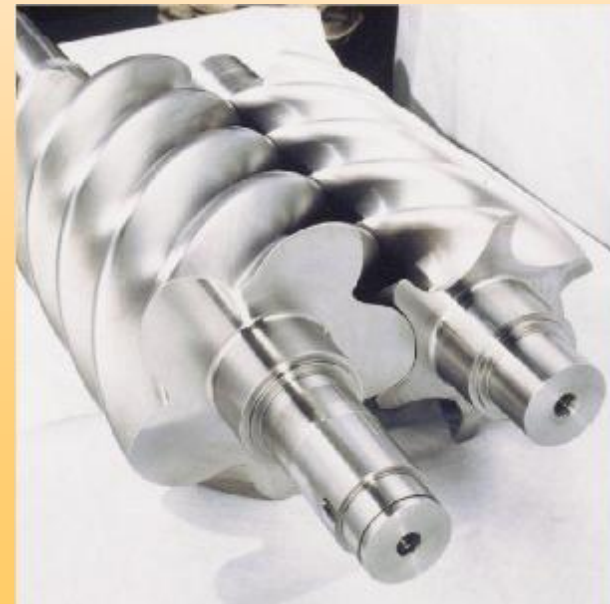
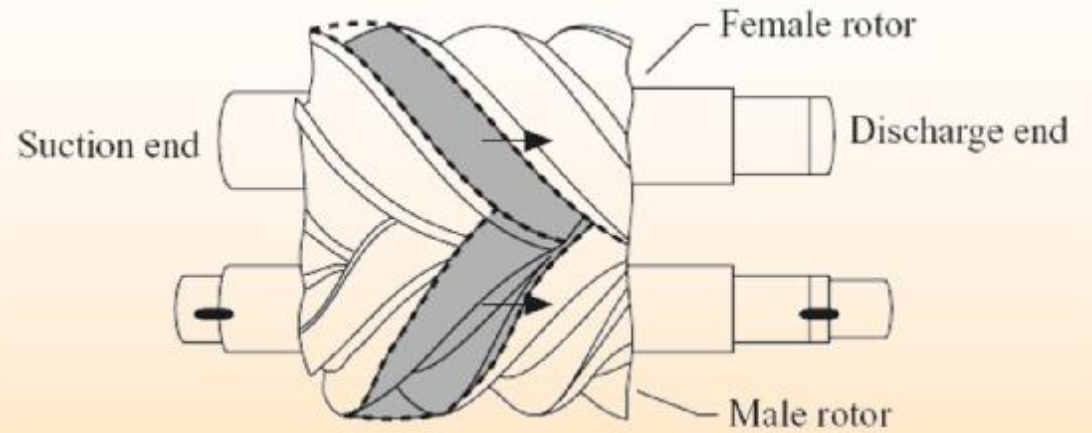
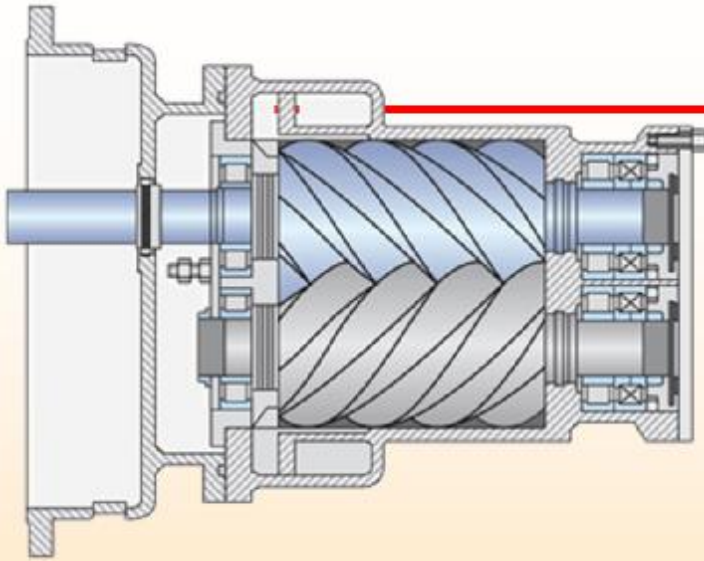
§ باز (Open)



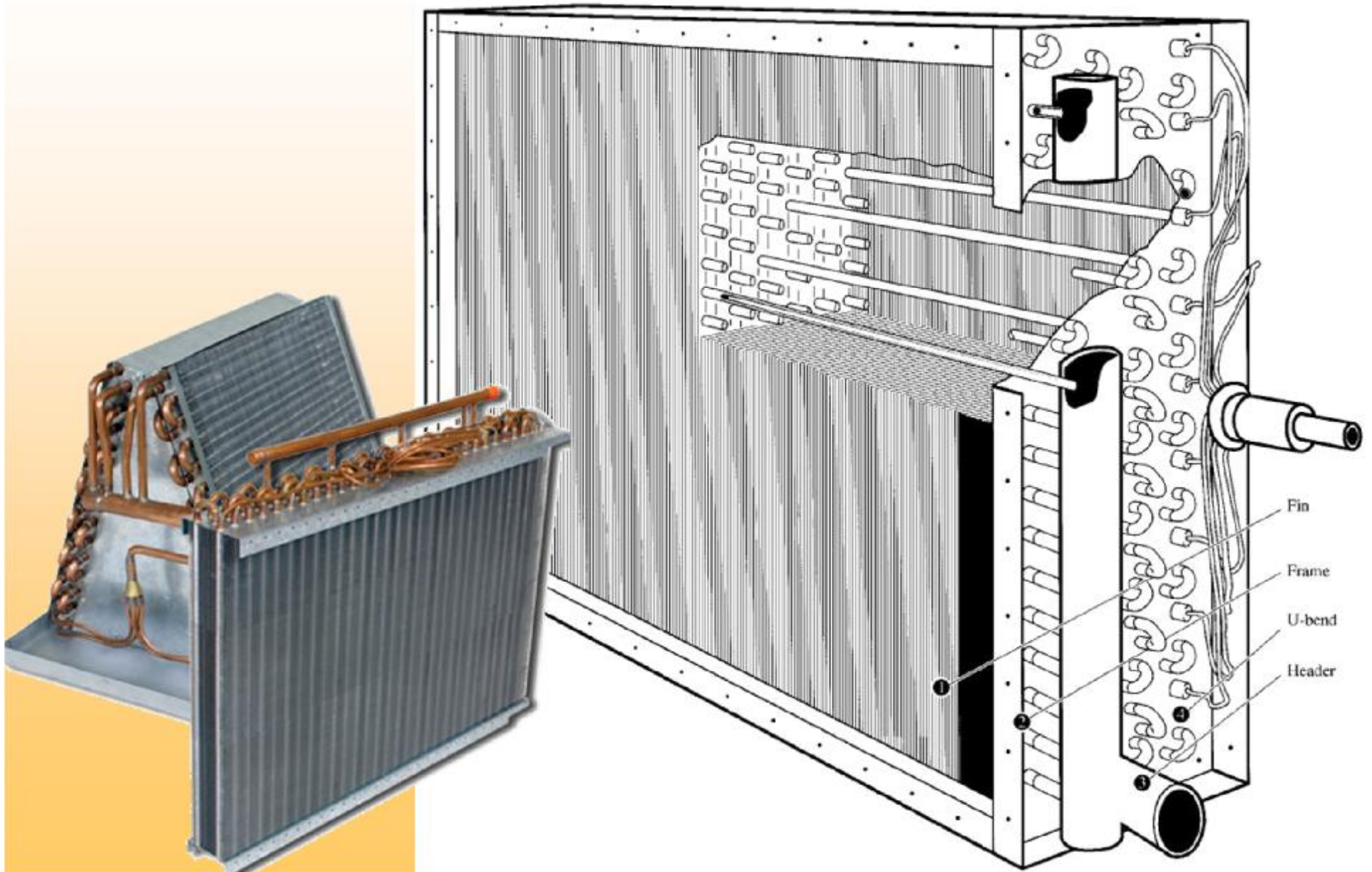
کمپرسورهای اسکرال (Scroll)



کمپرسور اسکرو (Screw)



اوپراتورهای هوایی (انبساط مستقیم)



اوپراتورهای هوایی (انبساط مستقیم)

مشخصات اوپراتورهای انبساط مستقیم:

§ سیال سرد شونده عموماً هوا است

§ جنس لوله‌ها مسی است

§ قطر لوله‌ها معمولاً سه هشتم یا پنج هشتم اینچ است

§ سطح خارجی لوله‌ها دارای پره (مسی یا آلومینیومی) است

§ پره‌های خارجی به صورت صفحه‌ای یا مارپیچ است

§ تعداد پره‌ها معمولاً 8 یا 12 در هر اینچ است

§ سطح داخلی لوله‌ها می‌تواند دارای میکروپره باشد

انواع پره مورد استفاده در اوپراتورهای انبساط مستقیم:



Spined Fin



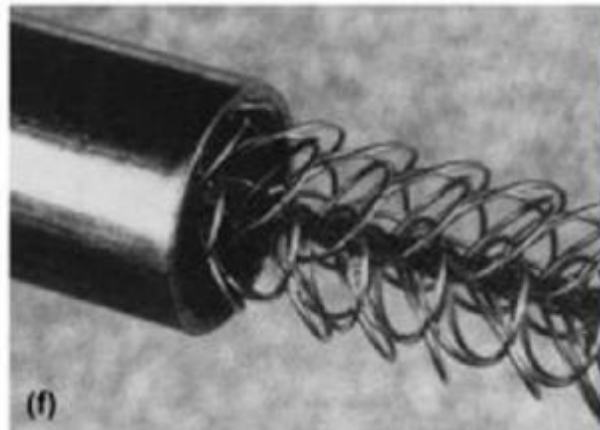
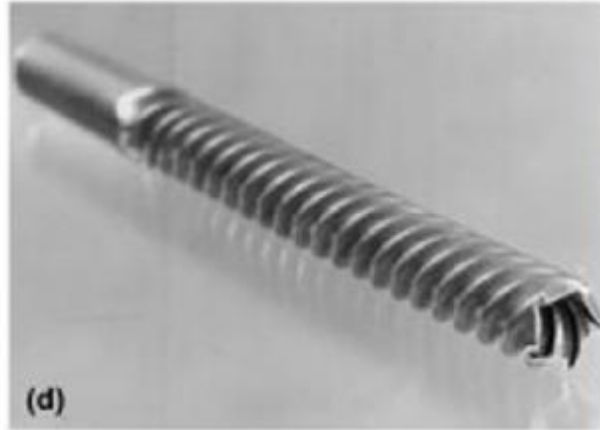
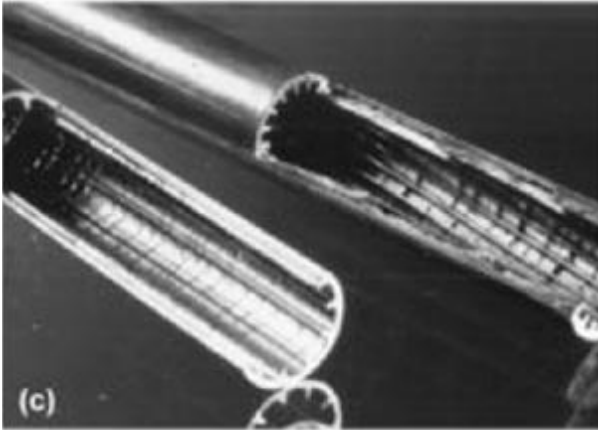
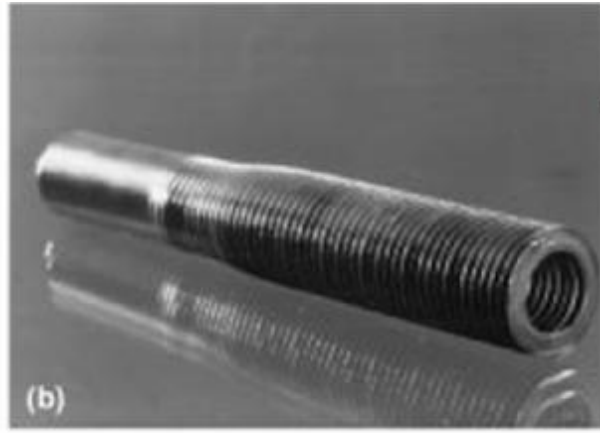
Spiral Fin



Plate Fin

اوپراتورهای هوایی

انواع روشهای افزایش انتقال حرارت:

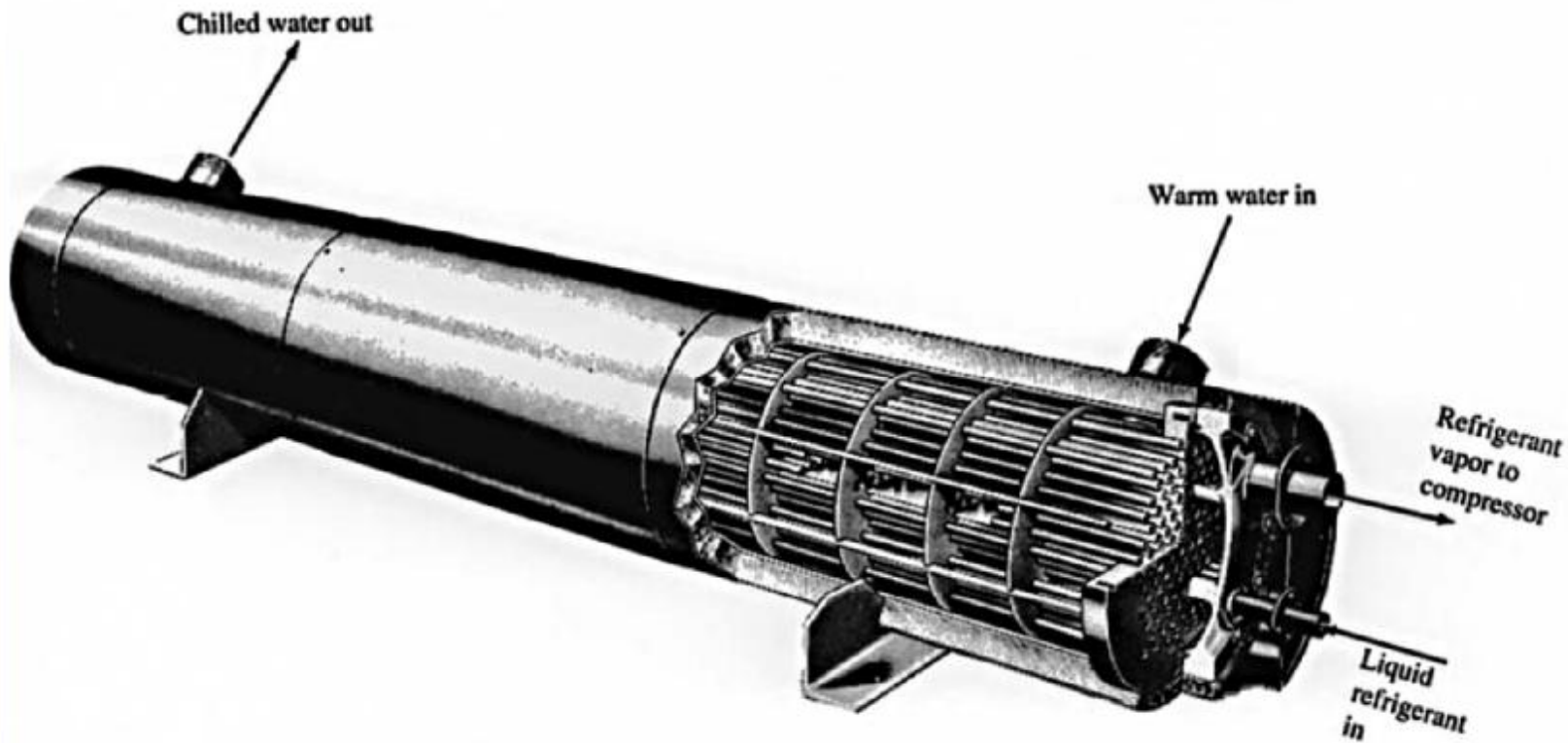


اوپراتورهای هوایی (انبساط مستقیم)

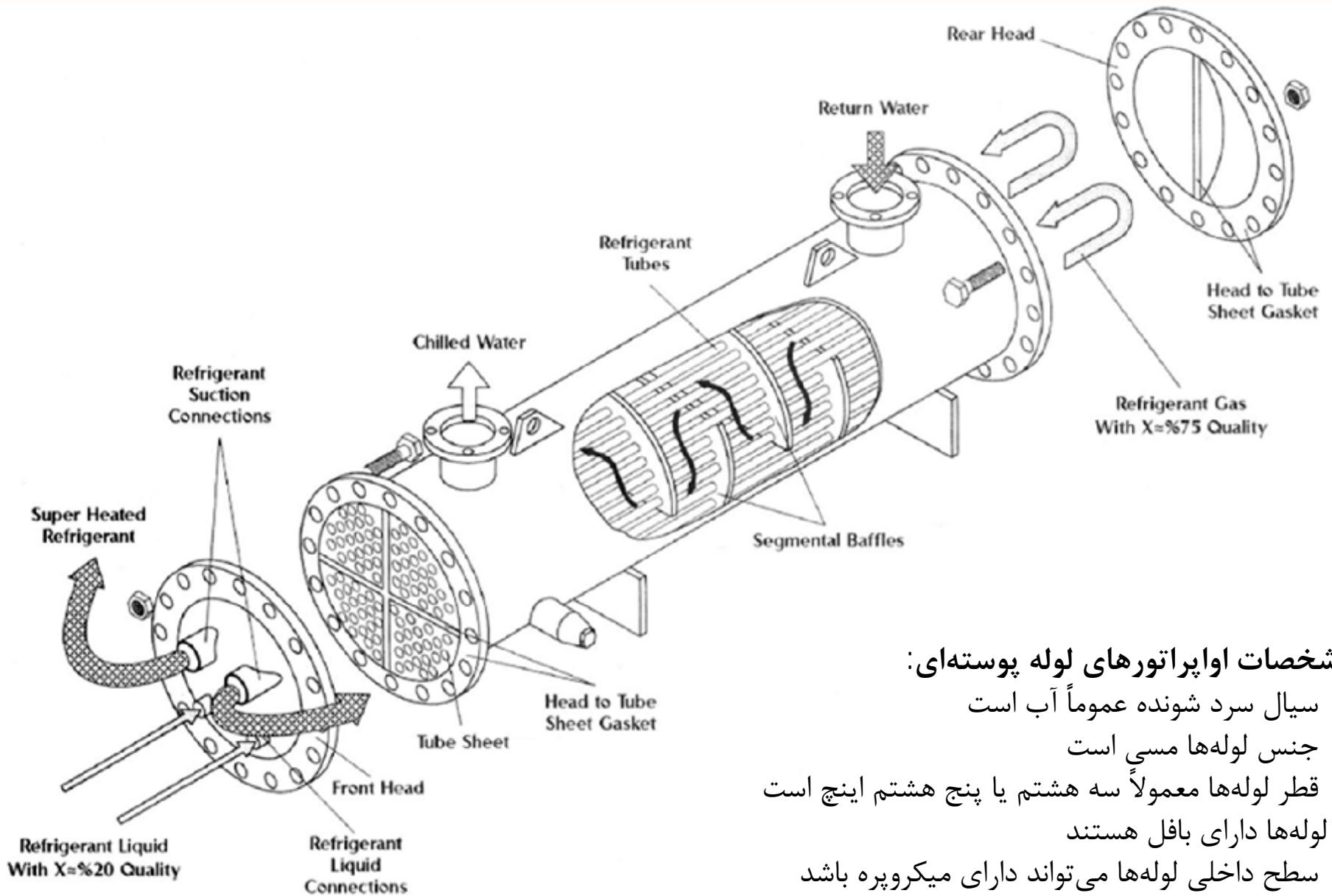
گاز پخش کن (Distributor):



اوپراتورهای آبی (لوله پوسته‌ای)



اوپراتورهای آبی (لوله پوسته‌ای)



مشخصات اوپراتورهای لوله پوسته‌ای:

سیال سرد شونده عموماً آب است

جنس لوله‌ها مسی است

قطر لوله‌ها معمولاً سه هشتم یا پنج هشتم اینچ است

لوله‌ها دارای بافل هستند

سطح داخلی لوله‌ها می‌تواند دارای میکروپره باشد

اوپراتورهای آبی (صفحه‌ای)



کندانسورهای هوایی

انواع متداول کندانسورهای مورد استفاده در صنایع تهویه:

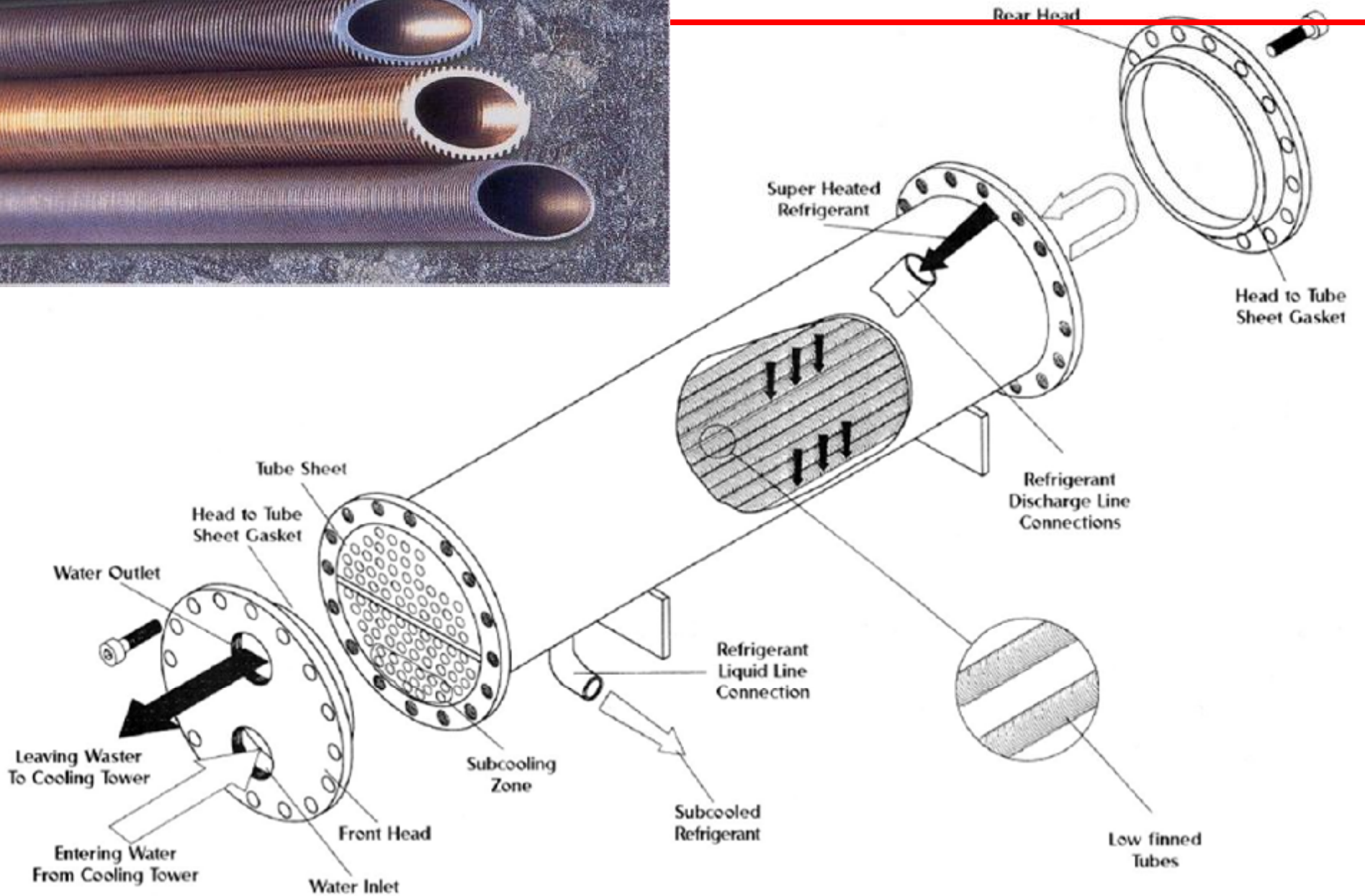
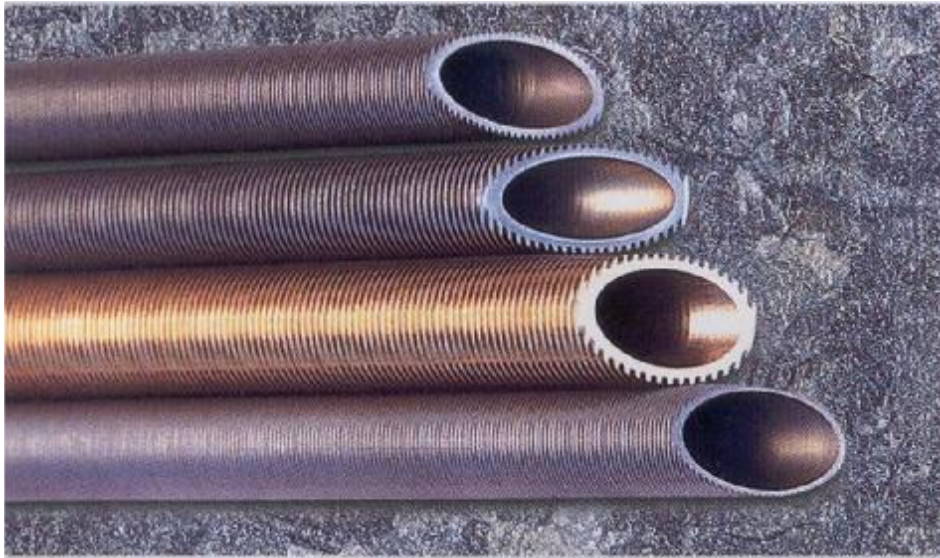
§ کندانسورهای هوایی

§ کندانسورهای آبی (لوله پوسته‌ای)

§ کندانسورهای آبی (صفحه‌ای)



کندانسورهای آبی (لوله پوسته‌ای)



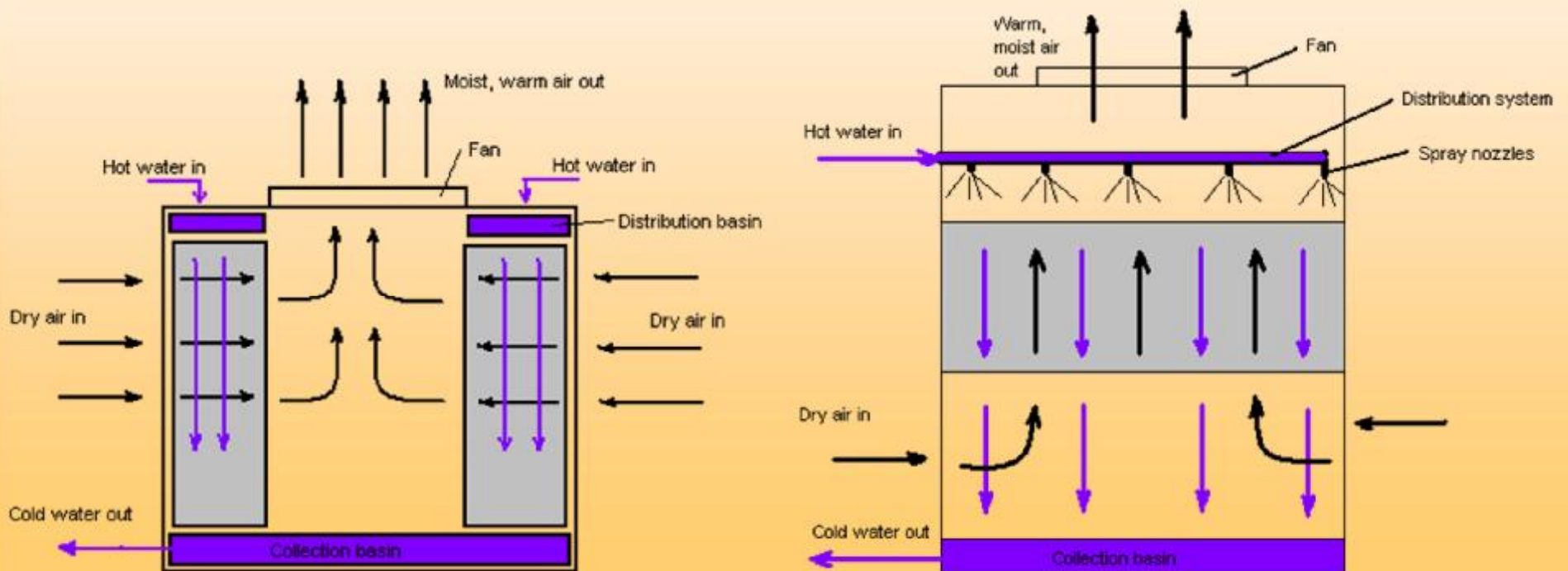
کندانسورهای آبی (صفحه‌ای)



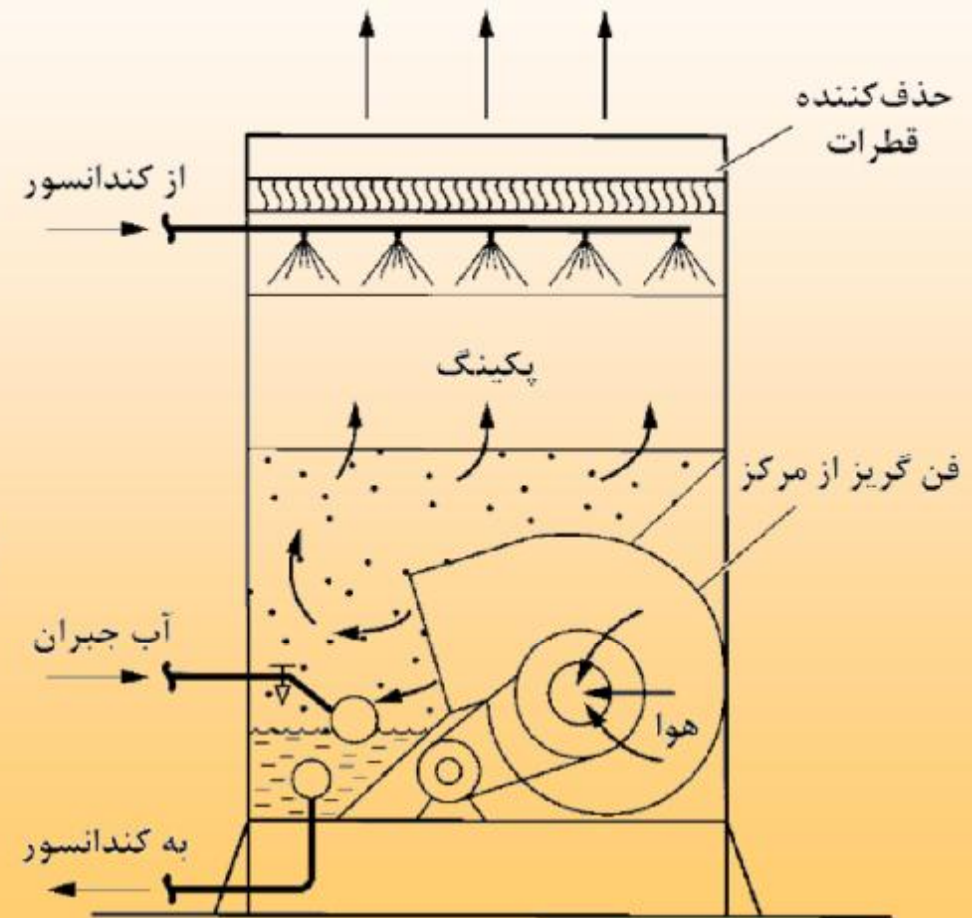
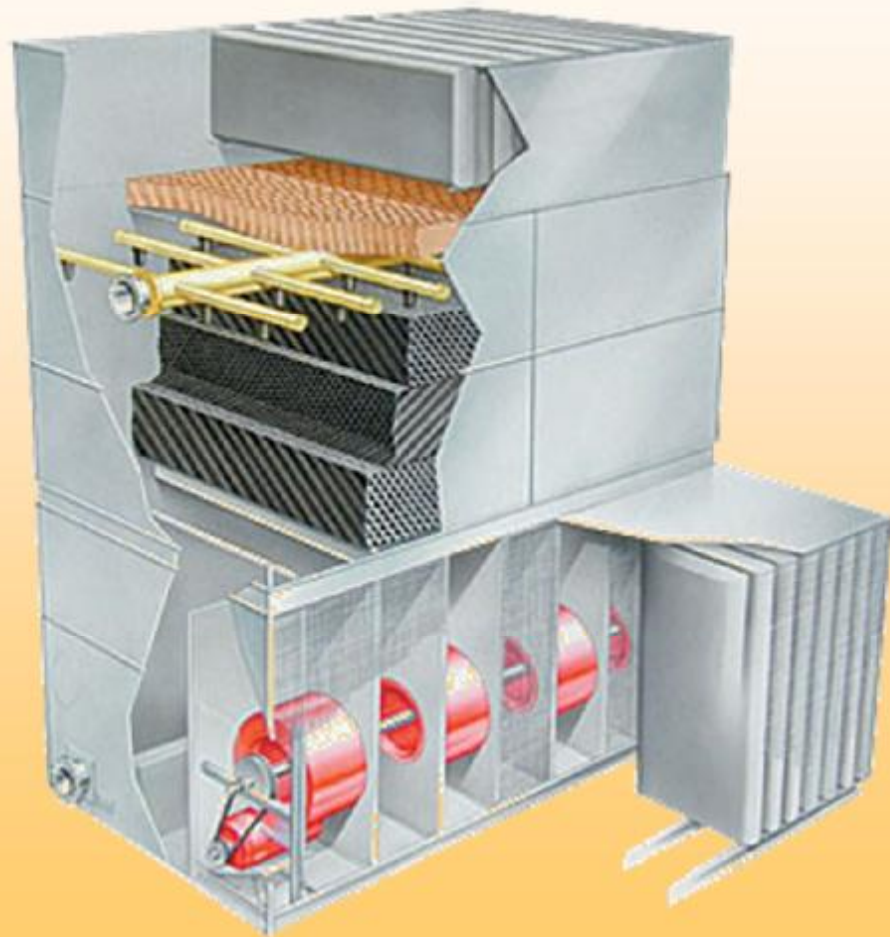
برج‌های خنک‌کن

انواع برج‌های خنک‌کن مورد استفاده در صنایع تهویه مطبوع:

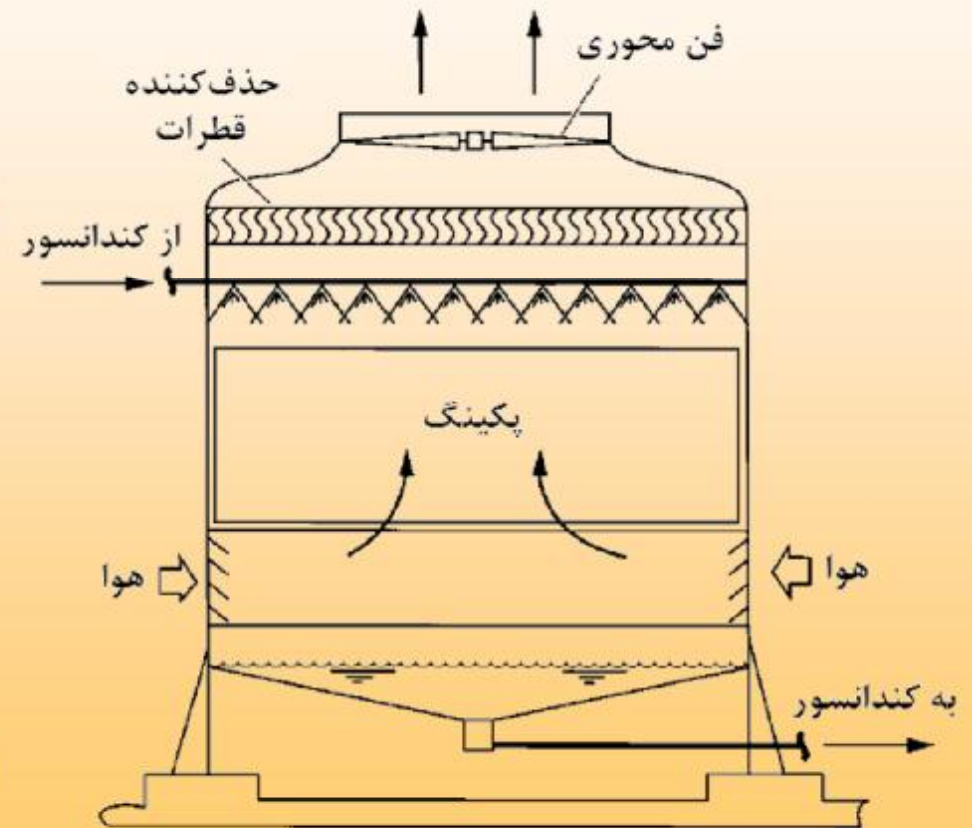
§ برج‌های جریان متقابل (Counter Flow) و برج‌های جریان متقاطع (Cross Flow)
§ برج‌های جریان مکشی (Induced Flow) و برج‌های جریان دهشی (Forced Flow)



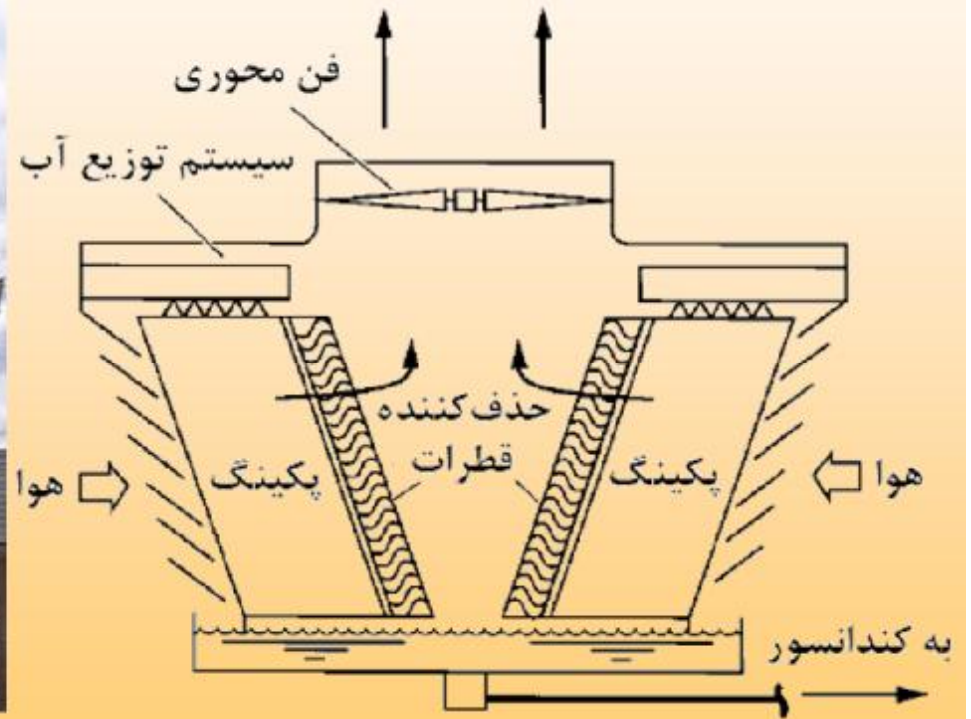
برج‌های خنک‌کن جریان متقابل (Counter Flow)



برج‌های خنک‌کن جریان متقابل (Counter Flow)



برج‌های خنک‌کن جریان متقاطع (Cross Flow)



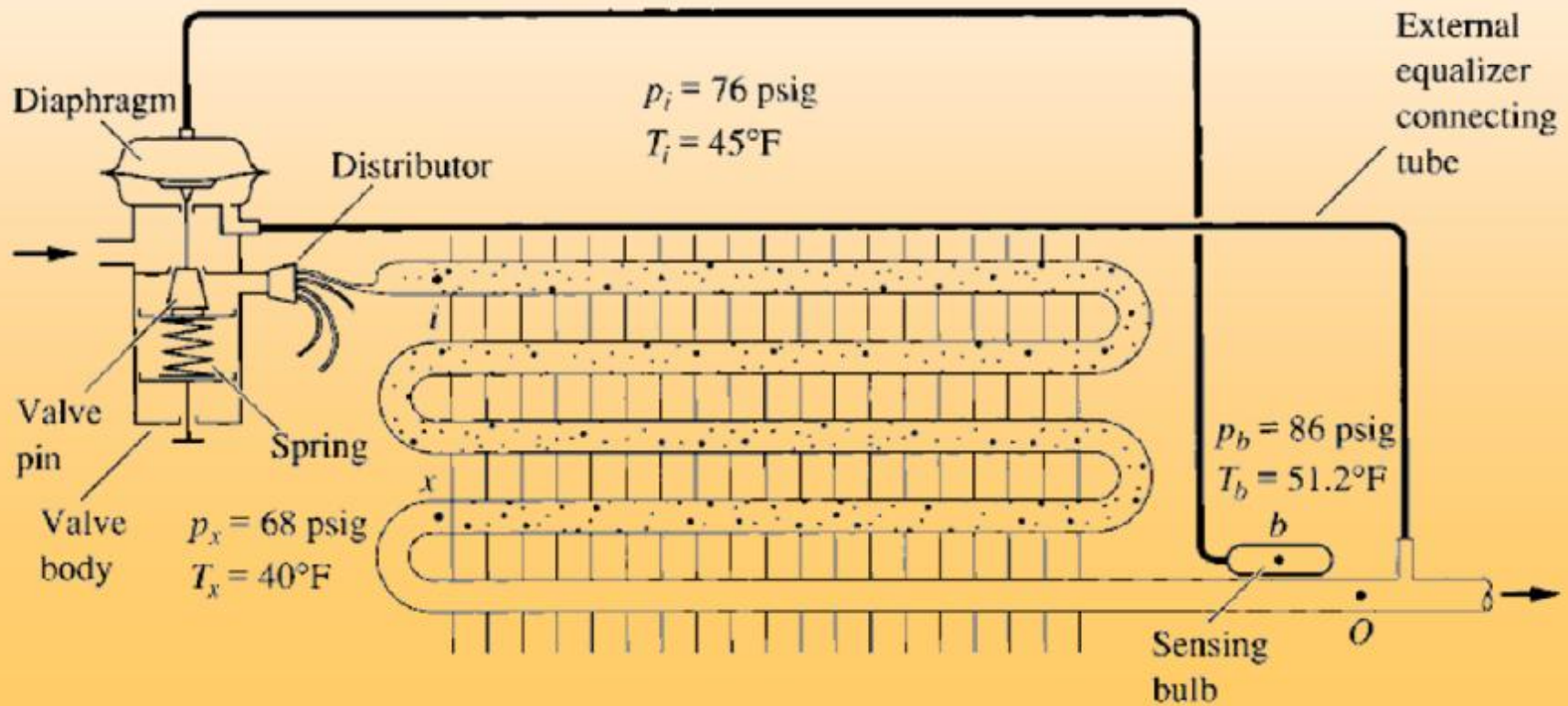
کنترل جریان

وسایل متداول جهت کنترل گذر حجمی مبرد:

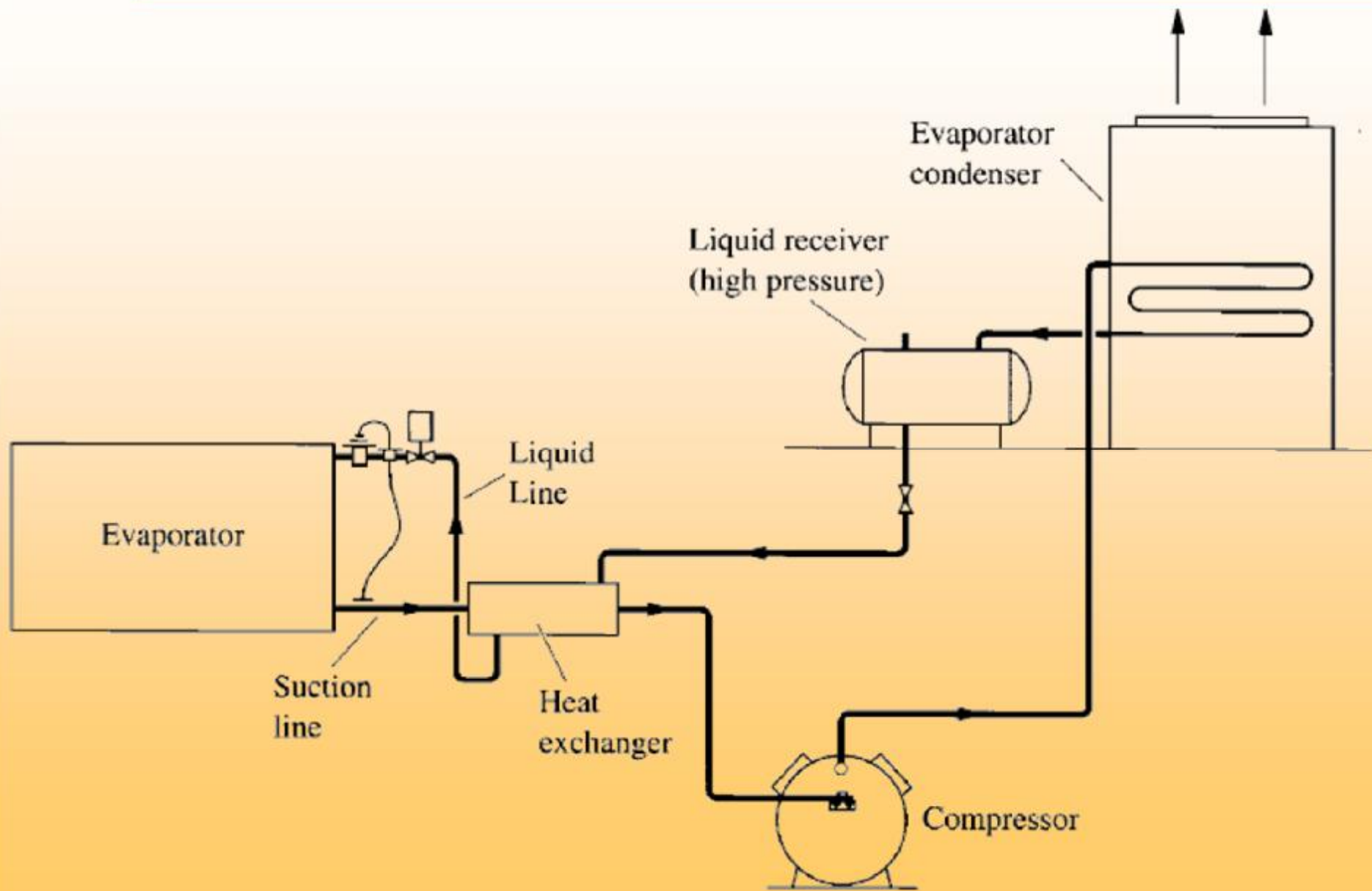
§ لوله موئین (Capillary Tube)

§ شیر فشارشکن (Expansion Valve)

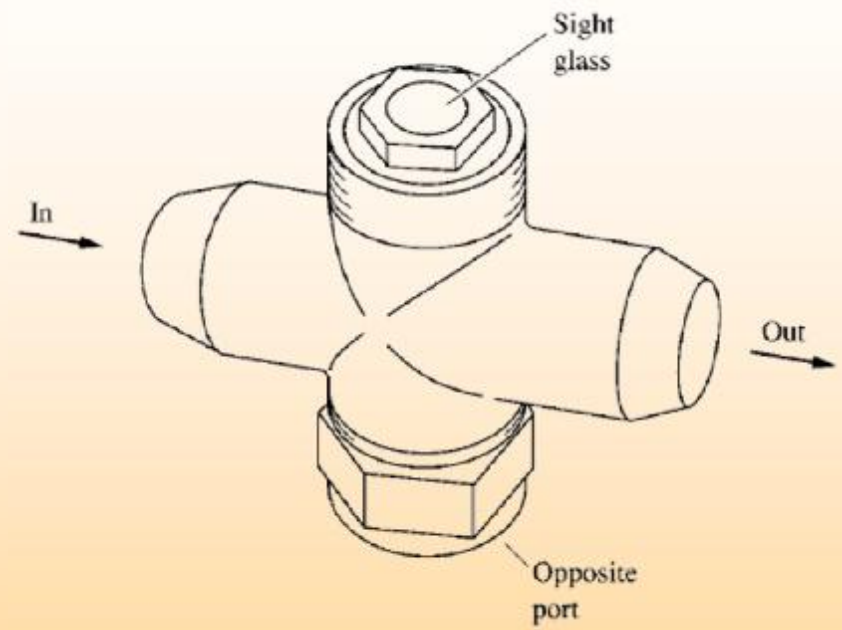
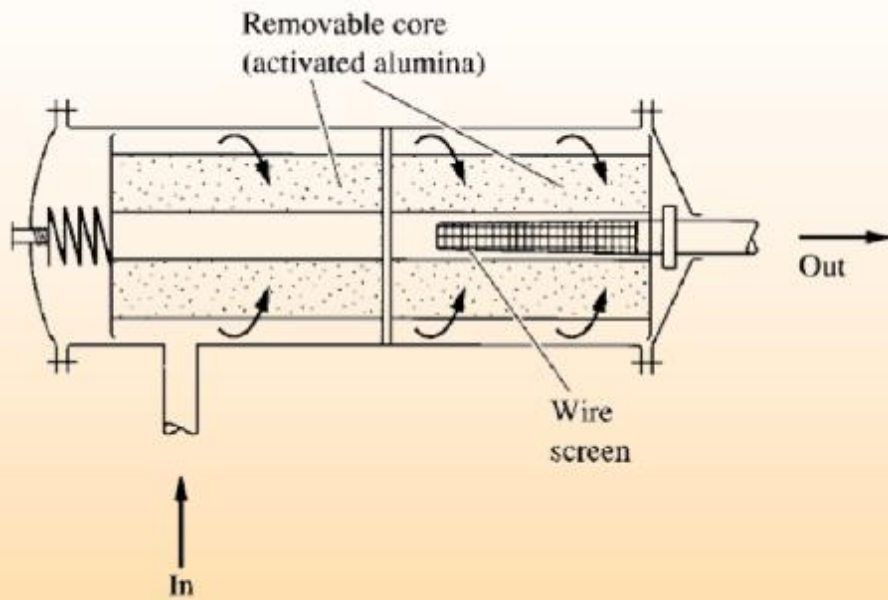
عملکرد حباب حساس و خط بالانس فشار:



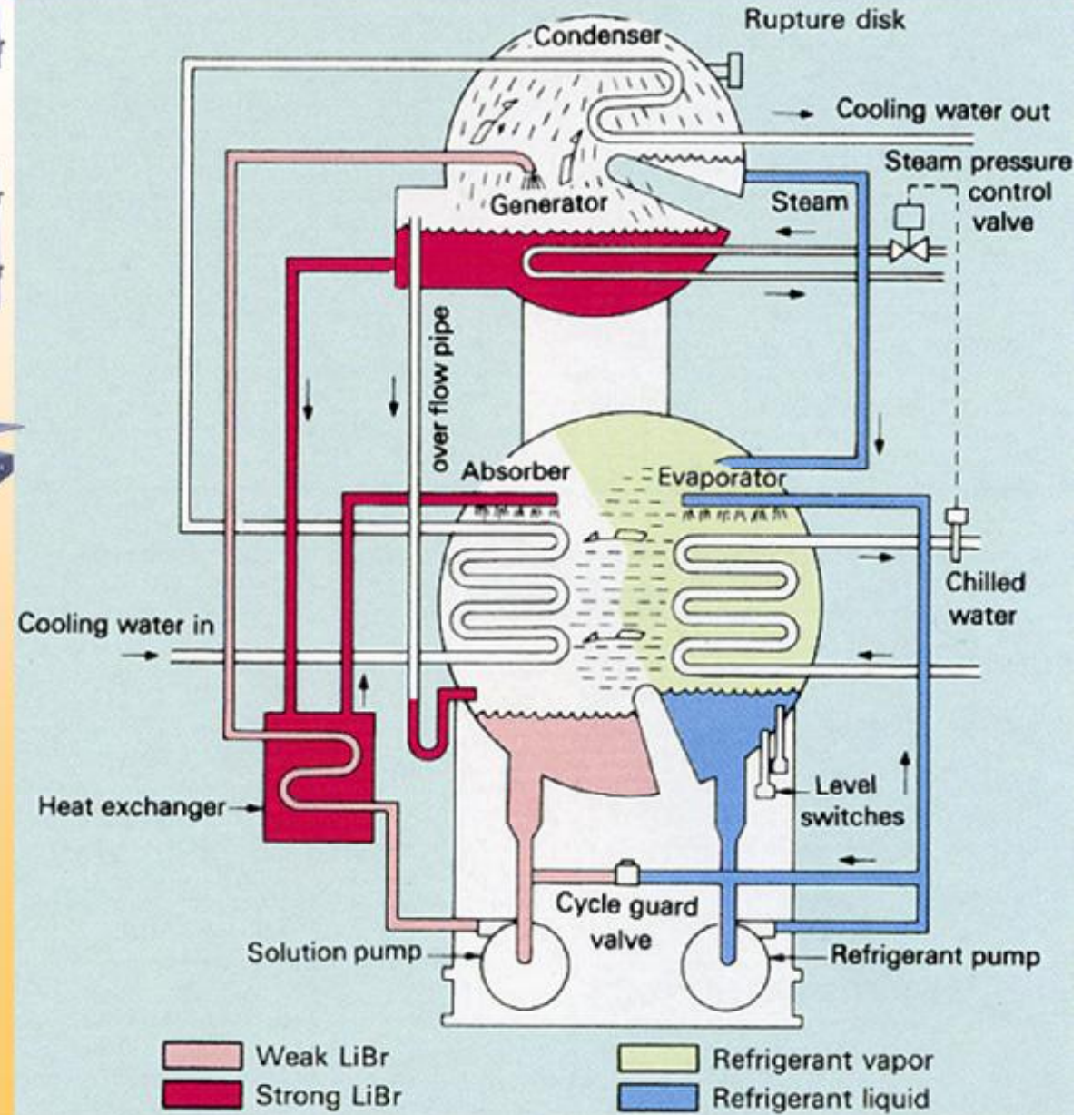
سایر تجهیزات

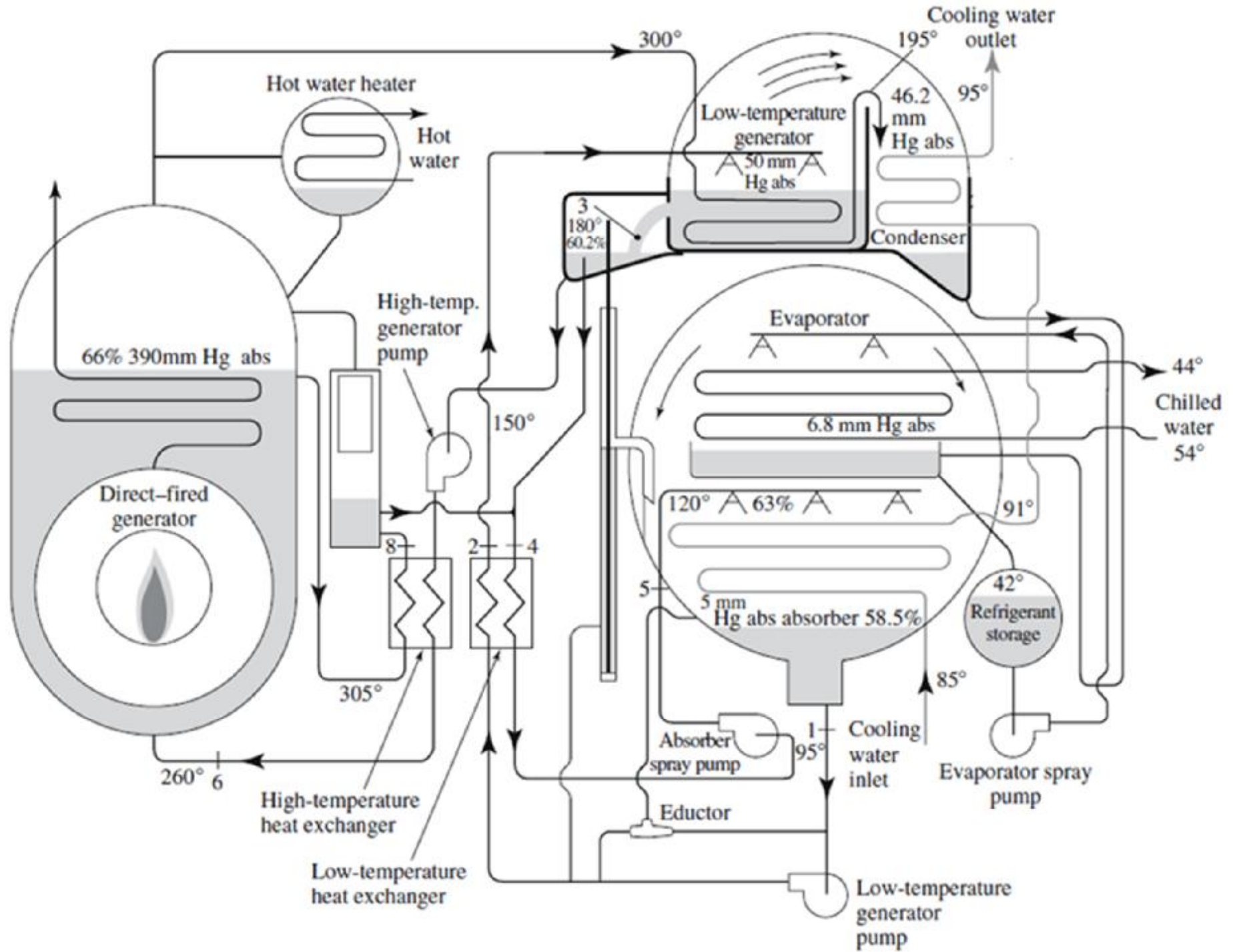


سایر تجهیزات



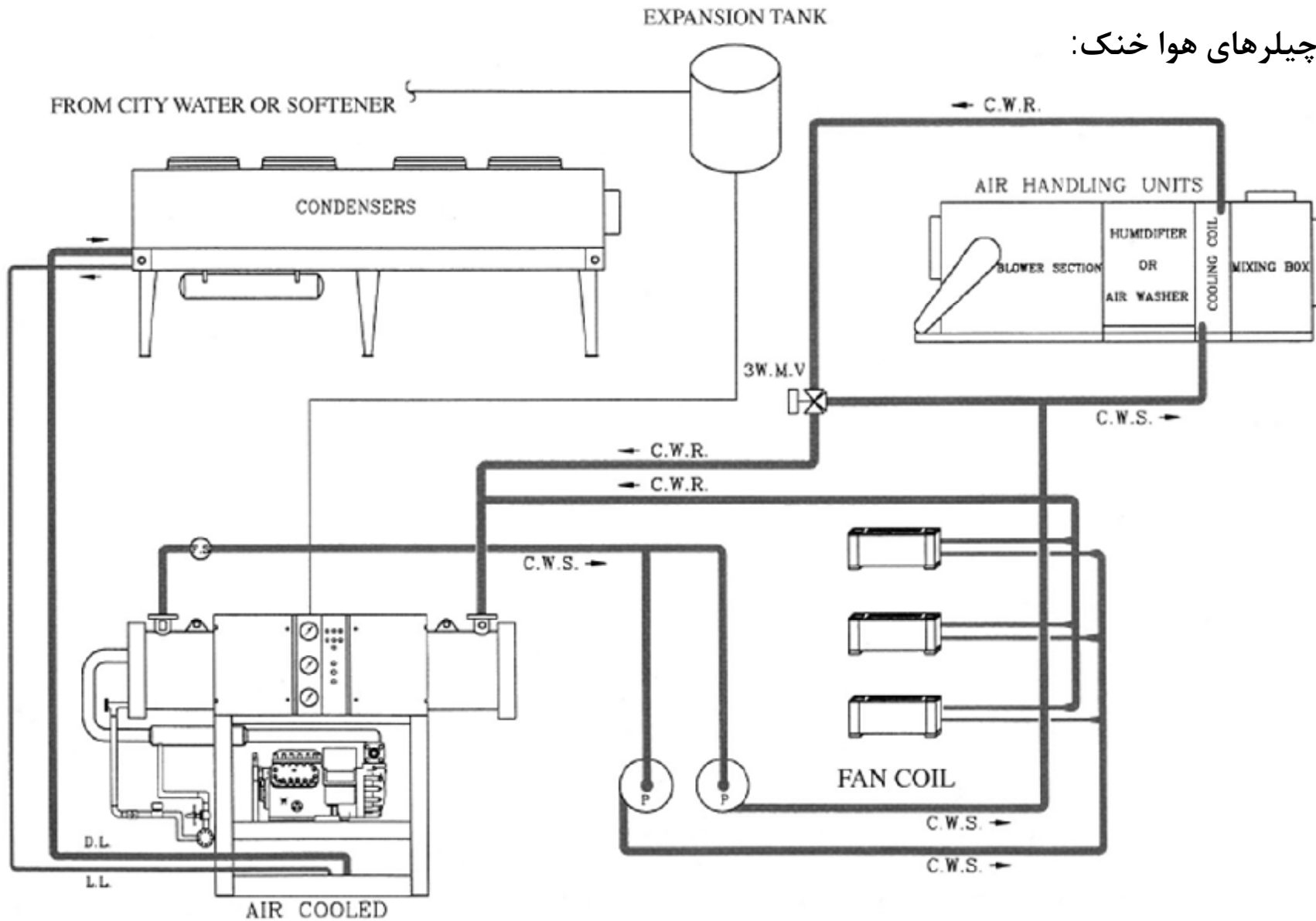
سرمایش جذبی





چیلرهای هوا خنک

دیاگرام چیلرهای هوا خنک:



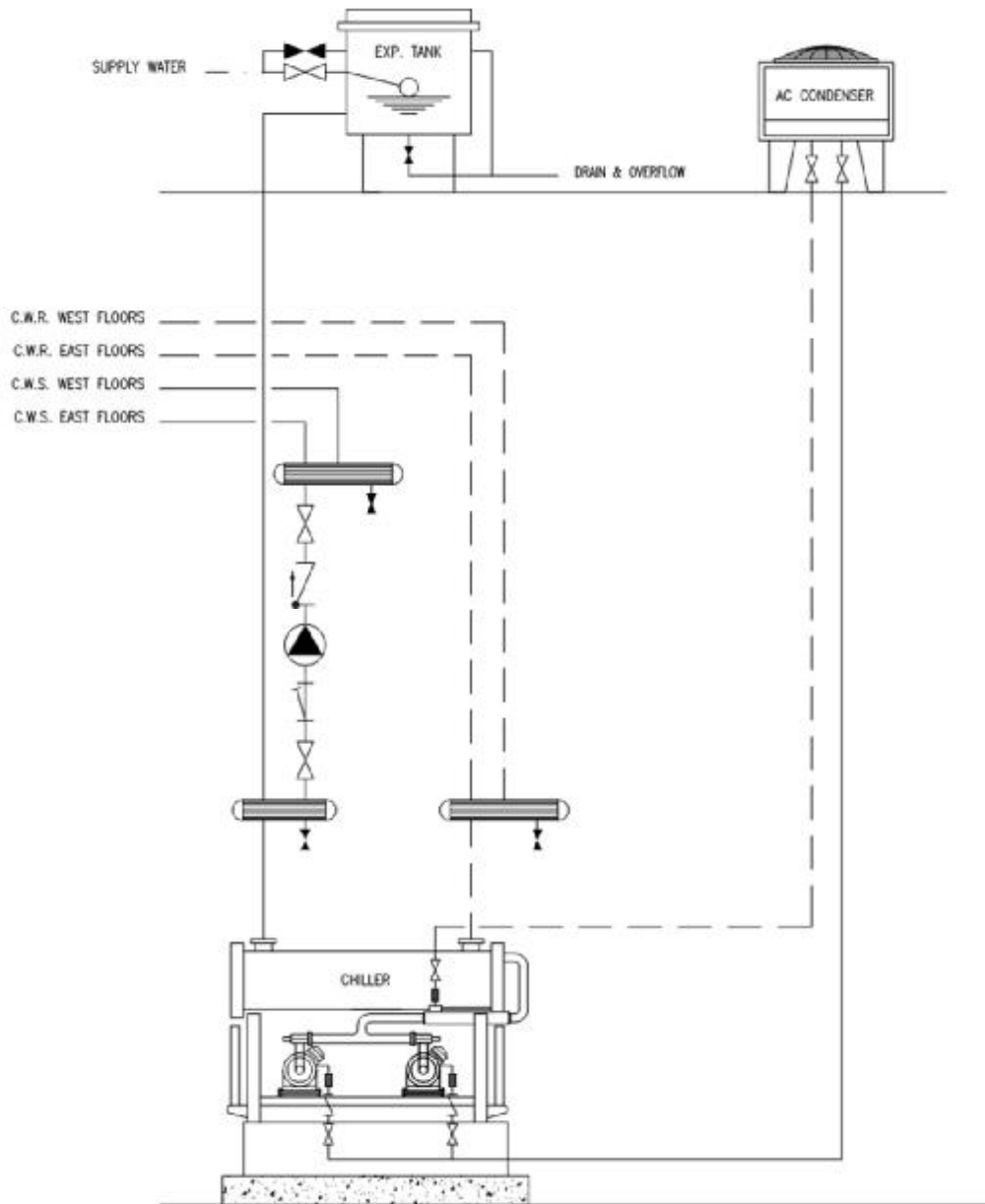
چیلرهای هواخنک پشت بامی (Roof Top)



چیلرهای هواخنک عمودی (Vertical)



چیلرهای هوا خنک



فلودیاگرام موتورخانه چیلرهای هوا خنک:

انتخاب چیلرهای هوا خنک

ظرفیت برودتی: با احتساب حدود 10% ضریب اطمینان از بار برودتی کل محاسبه می شود.



مشخصات اوپراتور: گذر حجمی و دمای آب خروجی، اختلاف دمای آب



مشخصات کندانسور هوایی: دمای کندانس



انتخاب چیلرهای هوا خنک

$$T_{w, out} = 45^{\circ}F$$

MODELS	CONDENSING TEMPERATURE (°F)																			
	115					120					125					135				
	QE	WC	QC	EVAP. W.F.D		QE	WC	QC	EVAP. W.F.D		QE	WC	QC	EVAP. W.F.D		QE	WC	QC	EVAP. W.F.D	
				[ΔT=10 °F]					[ΔT=10 °F]					[ΔT=10 °F]					[ΔT=10 °F]	
	TONS	KW	MBH	GPM	PD	TONS	KW	MBH	GPM	PD	TONS	KW	MBH	GPM	PD	TONS	KW	MBH	GPM	PD
1 SRLC 5	4.5	4.9	63.4	10.7	1.4	4.4	5.1	61.0	10.5	1.3	4.3	5.3	60.0	10.2	1.3	3.8	5.7	55.8	9.1	1.2
1 SRLC 10	8.9	9.3	135.2	21.3	2.4	8.5	9.4	131.9	20.4	2.2	8.2	9.6	128.8	19.6	2.1	7.5	10.2	122.6	18.0	1.8
1 SRLC 15	12.0	12.0	182.3	28.7	2.4	11.6	12.5	178.7	27.8	2.2	11.2	12.9	134.1	26.8	2.0	10.3	13.7	167.8	24.7	1.6
1 SRLC 20	14.7	13.7	219.6	35.2	2.7	14.2	14.3	215.5	34.0	2.5	13.7	14.8	211.3	32.8	2.3	12.7	15.8	203.0	30.4	2.0
1 SRLC 25	18.3	17.6	275.9	43.8	3.5	17.7	18.3	270.7	42.4	3.2	17.1	19.0	265.4	41.0	2.9	15.9	20.2	254.6	38.1	2.4
1 SRLC 30	22.0	21.4	331.2	52.7	5.0	21.2	22.1	324.5	50.8	4.7	20.4	22.9	317.6	48.8	4.4	18.9	24.3	303.7	45.3	3.9
1 SRLC 35	27.1	27.5	412.7	64.7	7.7	26.2	28.5	404.8	62.7	7.2	25.2	29.6	396.8	60.3	6.7	23.4	31.5	380.9	56.0	6.0
1 SRLC 40	31.0	32.1	474.7	74.2	5.1	29.9	33.3	465.4	71.6	4.8	29.0	34.3	457.6	69.4	4.5	26.7	36.7	437.0	63.9	4.0
1 SRLC 50	40.2	32.7	682.2	96.3	9.2	38.7	39.2	589.2	92.7	8.9	37.2	40.6	576.1	89.1	8.6	34.4	43.1	549.8	82.4	8.0
1 SRLC 60	46.4	46.4	704.8	111.1	7.1	44.7	48.2	689.8	107.0	6.7	42.6	49.7	673.1	102.7	6.3	39.0	52.3	634.6	93.4	5.5

انتخاب کندانسورهای هوایی

ظرفیت برودتی: برابر مجموع ظرفیت چیلر و میزان دفع حرارت کمپرسور است.



دمای کندانس



$$TD = T_{\text{cond.}} - T_{\text{edb}}$$

دمای محیط



§ استقرار کندانسور باید به نحوی صورت گیرد که جریان هوا روی کویل کندانسور محدود نشده و فضای کافی در اطراف واحد جهت جلوگیری از سیرکولاسیون هوا وجود داشته باشد.

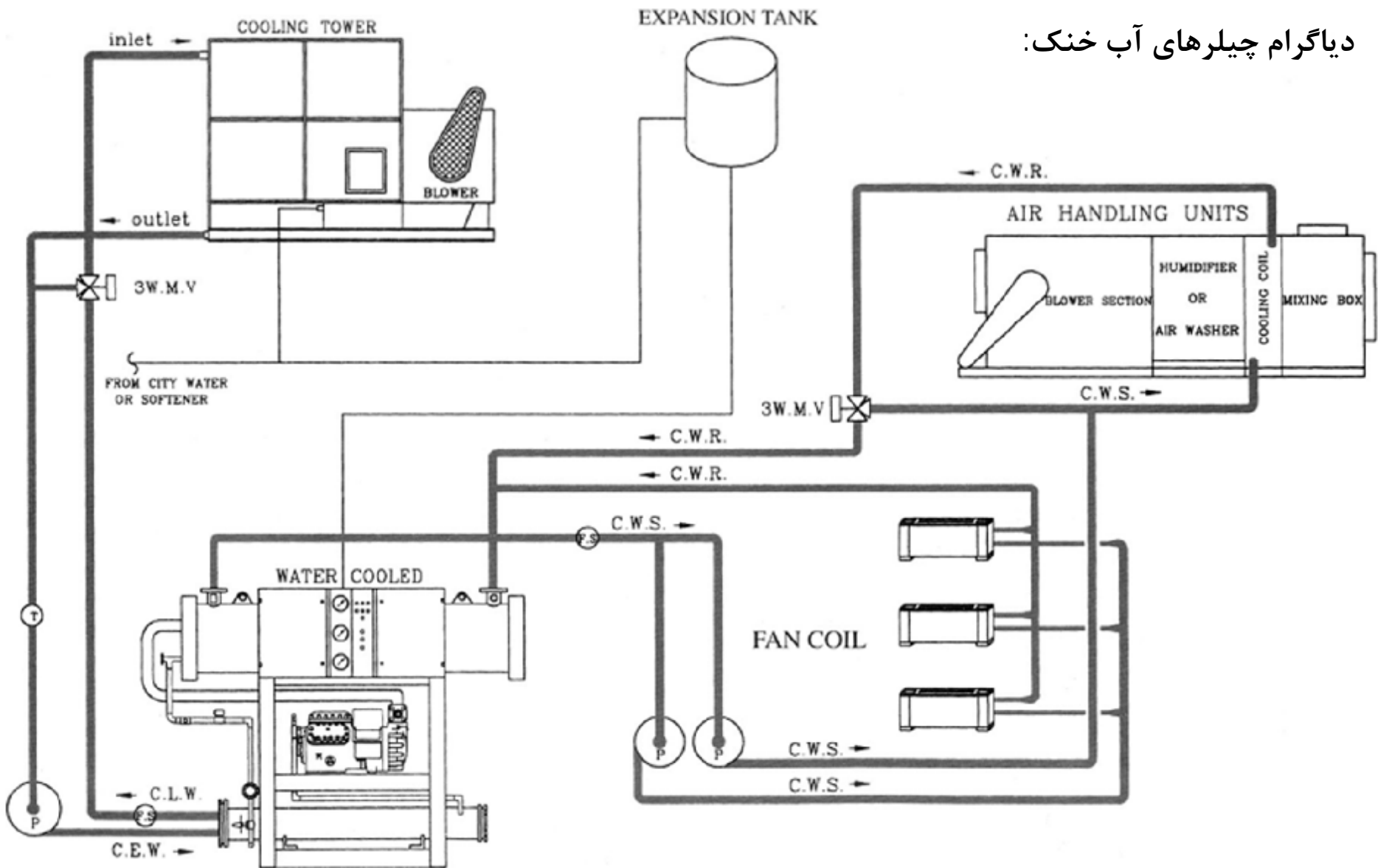
انتخاب کندانسورهای هوایی

ALTITUDE FT.	ADJUSTMENT FACTOR
0	1.00
1000	1.03
2000	1.05
3000	1.07
4000	1.10
5000	1.12
6000	1.15

MODEL	TD [°F]						
	10	15	20	25	30	35	40
SRAC - 040	21	32	43	54	65	75	86
SRAC - 075	37	56	75	94	113	132	151
SRAC - 110	55	83	111	139	167	194	222
SRAC - 150	75	113	150	188	225	263	300
SRAC - 225	113	170	226	283	340	396	453
SRAC - 300	152	228	304	380	456	532	608
SRAC - 375	183	275	367	458	550	642	733
SRAC - 450	228	342	456	571	685	799	913
SRAC - 600	300	450	600	750	900	1050	1200
SRAC - 750	378	567	757	946	1135	1324	1513
SRAC - 900	456	685	913	1141	1369	1598	1826
SRAC - 1150	567	851	1135	1419	1703	1986	2270

چیلرهای آب خنک

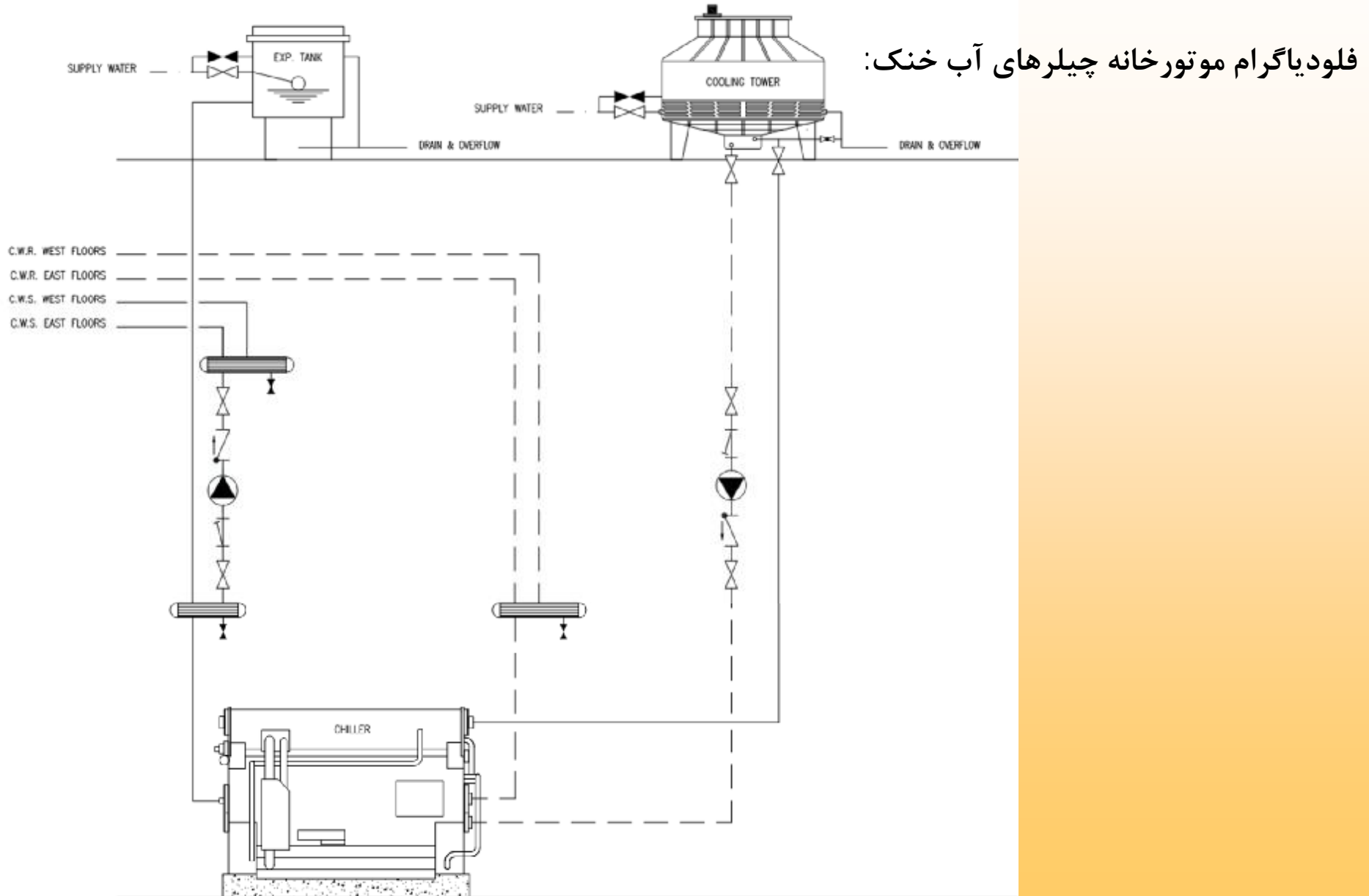
دیاگرام چیلرهای آب خنک:



چیلرهای آب خنک



چیلرهای آب خنک



انتخاب چیلرهای آب خنک

ظرفیت برودتی: با احتساب حدود 10% ضریب اطمینان از بار برودتی کل محاسبه می شود.



مشخصات اوپراتور: گذر حجمی و دمای آب خروجی، اختلاف دمای آب



مشخصات کندانسور آبی: گذر حجمی و دمای آب خروجی، اختلاف دمای آب ورودی و خروجی



انتخاب چیلر آب خنک

$$T_{w, out} = 45^{\circ}F$$

MODELS	CONDENSER LEAVING WATER TEMPERATURE (°F)																	
	85						95						105					
	QE	WC	EVAP. W.F.D		COND. W.F.D		QE	WC	EVAP. W.F.D		COND. W.F.D		QE	WC	EVAP. W.F.D		COND. W.F.D	
			[ΔT=10 °F]		[ΔT=10 °F]				[ΔT=10 °F]		[ΔT=10 °F]				[ΔT=10 °F]		[ΔT=10 °F]	
	TONS	KW	GPM	PD	GPM	PD	TONS	KW	GPM	PD	GPM	PD	TONS	KW	GPM	PD	GPM	PD
1 SRLC 5	5.4	4.1	12.9	2.0	15.8	2.8	5.0	4.6	12.0	1.8	15.3	2.8	4.7	5.0	11.2	1.6	14.9	2.7
1 SRLC 10	10.1	7.3	24.2	3.0	28.9	6.3	9.5	7.9	22.6	2.7	27.8	5.9	8.9	8.5	21.2	2.4	26.9	5.5
1 SRLC 15	13.5	9.5	32.3	3.8	38.5	5.4	12.7	10.4	30.4	3.3	37.2	5.1	11.9	11.3	28.5	2.4	36.0	4.7
1 SRLC 20	16.3	11.0	39.1	3.6	46.2	6.3	15.4	12.0	36.9	3.1	44.8	5.9	14.5	12.9	34.8	2.6	43.3	5.5
1 SRLC 25	20.5	13.9	49.1	4.3	58.0	9.9	19.3	15.2	46.3	3.9	56.2	9.3	18.2	16.6	43.5	3.4	54.9	8.7
1 SRLC 30	24.6	17.2	58.9	6.0	70.1	7.7	23.2	18.7	55.6	5.4	67.8	7.2	21.8	20.1	52.2	4.8	65.4	6.8
1 SRLC 35	30.4	21.5	72.9	10.0	87.0	5.5	28.9	23.5	69.2	8.8	84.9	5.4	27.0	25.8	64.7	7.6	82.0	5.1
1 SRLC 40	35.0	25.9	83.8	6.3	100.5	5.4	32.9	27.9	78.7	5.6	96.9	5.0	30.9	30.3	73.9	5.0	93.8	4.7
1 SRLC 50	44.3	29.7	106.0	10.5	127.0	7.8	42.4	32.8	101.5	10.0	124.2	6.8	39.5	35.9	94.6	9.5	113.6	6.0
1 SRLC 60	53.1	36.2	127.1	9.5	152.6	9.6	50.2	40.0	120.2	8.8	142.5	9.2	46.2	43.7	110.6	7.0	141.3	8.1

انتخاب برج‌های خنک‌کن

ظرفیت برودتی: برابر مجموع ظرفیت چیلر و میزان دفع حرارت کمپرسور است.



گذر حجمی و دمای آب ورودی، اختلاف دمای آب ورودی و خروجی



دمای حباب تر محیط



§ برج‌های خنک‌کن بهتر است در فضای آزاد، روی زمین و حداقل امکان در نزدیکی موتورخانه نصب گردد. با این وجود امروزه در بسیاری از موارد به دلیل محدودیت فضا، برج‌ها روی بام ساختمان نصب می‌شوند که در این صورت وزن آن به هنگام محاسبات سازه باید مورد توجه قرار گیرد.

انتخاب برج‌های خنک‌کن

§ ظرفیت برج خنک‌کن:

$$q_{CT} = q_{evap} + q_{comp}$$

$$COP \approx 4 \Rightarrow q_{CT} \approx 1.25 \times q_{evap}$$

§ گذر حجمی آب برج خنک‌کن:

$$Q = \frac{q_{CT}}{5000}$$

$$COP \approx 4 \Rightarrow Q \approx \frac{1.25 \times q_{evap}}{5000} = 3 \times \frac{q_{evap}}{12000}$$

$$\text{Approach} = T_{lw} - T_{ewb}$$

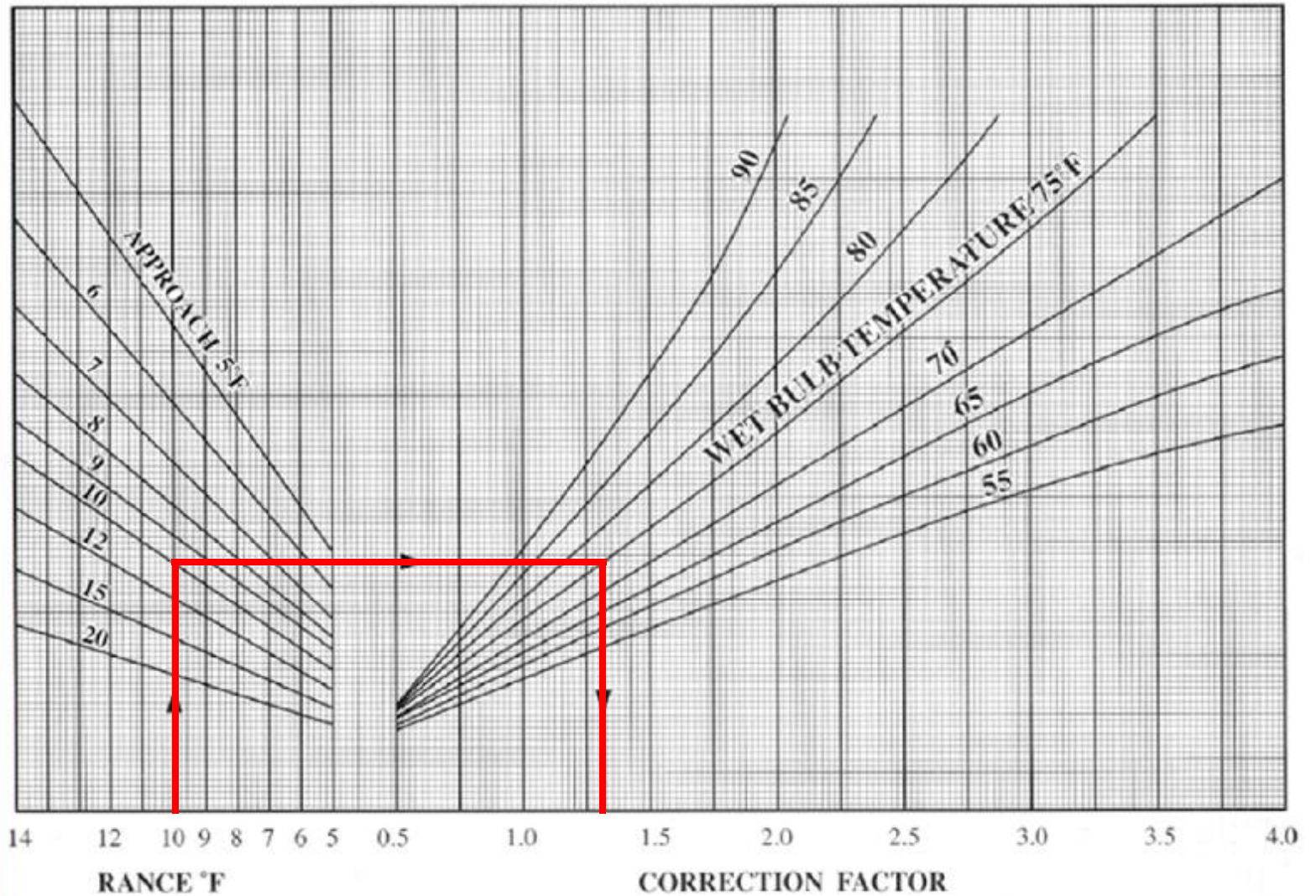
§ رسش (Approach):

$$\text{Range} = T_{ew} - T_{lw}$$

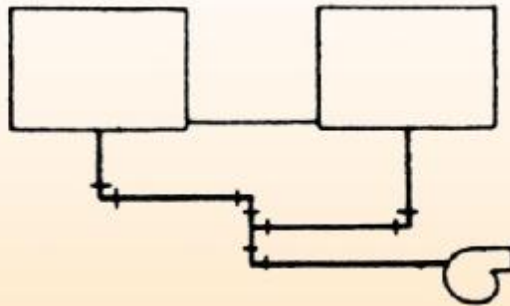
§ گستره (Range):

انتخاب برج‌های خنک‌کن

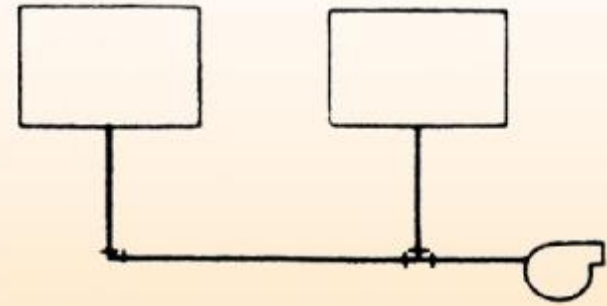
MODEL	CAP.	WATER FLOW RATE
	TONS	GPM
1 SRCT 10	10	30
1 SRCT 15	15	45
1 SRCT 20	20	60
1 SRCT 25	25	75
1 SRCT 30	30	90
1 SRCT 35	35	105
1 SRCT 40	40	120
1 SRCT 50	50	150
1 SRCT 60	60	180
1 SRCT 75	75	225
1 SRCT 90	90	270
1 SRCT 105	105	315
1 SRCT 120	120	360
1 SRCT 140	140	420
1 SRCT 160	160	480
1 SRCT 180	180	540
1 SRCT 220	220	660
1 SRCT 260	260	780
1 SRCT 300	300	900



لوله کشی برج های خنک کن

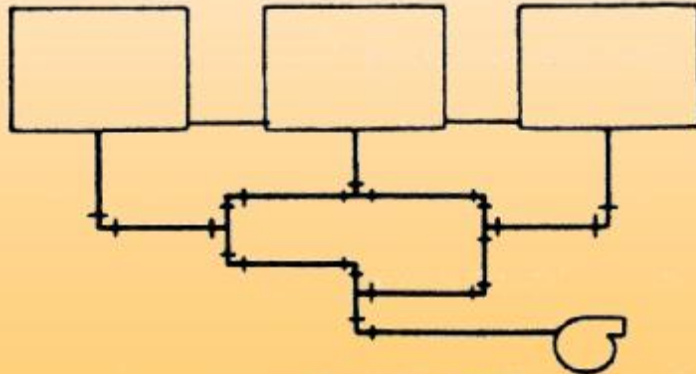


RECOMMENDED

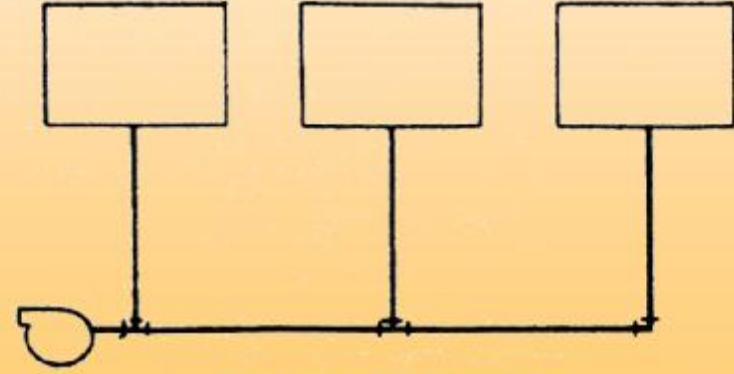


NOT RECOMMENDED

TWO COOLING TOWERS



RECOMMENDED



NOT RECOMMENDED

THREE COOLING TOWERS

آب جبران در برج‌های خنک‌کن

آب برج خنک‌کن به دلایل زیر به تدریج کاهش یافته و لازم است از طریق آب جبران جایگزین گردد:

تبخیر آب

فرار قطرات (Drift loss)

تخیله آب (Blow down)

§
§
§

$$Q_m = W_e + W_d + W_b$$

$$r_e = \frac{q_c}{h_{fg}} \Rightarrow W_e = 0.01 Q_{c.t.}$$

تبخیر آب:

فرار قطرات:

میزان فرار قطرات به نوع برج خنک‌کن بستگی داشته و برای برج‌های خنک‌کن بدون حذف‌کننده قطرات بین 0/1 تا 0/3% گذر حجمی جریان در برج خنک‌کن است. امروزه با استفاده از حذف‌کننده قطرات، میزان فرار تا 0/05% کاهش یافته است.

آب جبران در برج‌های خنک‌کن

تخلیه آب:

$$C = \frac{W_e + W_d + W_b}{W_d + W_b} \Rightarrow W_b = \frac{W_e + W_d(1-C)}{C-1}$$

§ که در آن C **چرخه غلظت** بوده و از نسبت سختی مجاز آب در برج خنک‌کن به سختی آب جبران تعیین می‌گردد.

§ هر چند مقدار C به سختی آب جبران مورد استفاده بستگی دارد، در صورت عدم دسترسی به اطلاعات مربوطه و استفاده از آب شهر، می‌توان C را تقریباً برابر 3 در نظر گرفت.

§ در این حالت گذر حجمی آب جبران تقریباً $1/5\%$ گذر حجمی آب برج خواهد بود.