دانشگاه پیام نور واحد اهواز
دانشکده مهندسی شیمی

عنوان درس :

آزمایشگاه عملیات واحد

امید ساقی
E_mail : omidsaghi@gmail.com
Telgram ID : omidsaghi1

هدف از آزمایشگاه عملیات واحد:

- ✓ آشنایی با عملیات و دستگاههایی که در واحدهای تولیدی مواد شیمیایی و صنعتی از انها استفاده می شود.

عملیات واحد علمی است که به بررسی فرآیندهای جداسازی مورد استفاده در صنعت شیمیایی میپردازد.آزمایشگاه عملیات واحدعرصه عینیت بخشی به مباحث نظری مهندسی شیمی می باشد. پدیده های انتقال و کاربرد آنها،اینک در آزمایشگاهی به کار گرفته می شوند. بنابراین لازمه درکی صحیح از آزمایش ها و عملکرد ی فعال و منتج در آزمایشگاه منوط به حضور ذهن اصول موضوع پدیده های انتقال می باشد.

آزمایش شماره یک

نام آزمایش : خشک کردن جامدات

هدف آزمایش : محاسبه سرعت خشک شدن یک ماده جامد

- ✓ **سرعت خشک کردن**
- ✓ **محاسبه زمان موثر خشک کردن**
- ✓ **بررسی تاثیر ضخامت جامد**

- **خشک کردن:**

به فرآیند خارج سازی رطوبت از یک ماده و کاهش رطوبت اولیه آن و رساندن به یک میزان مشخص و مدنظر را خشک کردن گویند .

عملیات خشک کردن معمولا در بخش های پایانی و قبل از بسته بندی قرار دارد .

تجهیزات مورد استفاده در فرآیند خشک کردن بسته به نوع ماده اولیه و نحوه انتقال گرما و شیوه جابه جایی مواد به چند بخش تقسیم میشوند :

- خشک کن های مستقیم
- خشک کن های غیر مستقیم

- رطوبت : رطوبت بصورت کیلوگرم رطوبت به کیلوگرم ماده خشک بیان میشود .
- رطوبت تعادلی : حداقل رطوبتی است که جسم میتواند داشته باشد .
- رطوبت آزاد : به اختلاف رطوبت اولیه جسم با رطوبت تعادلی گفته میشود .

دو گروه از خشک کن ها :

- **خشک کن ها**

خشک کن سینی دار :

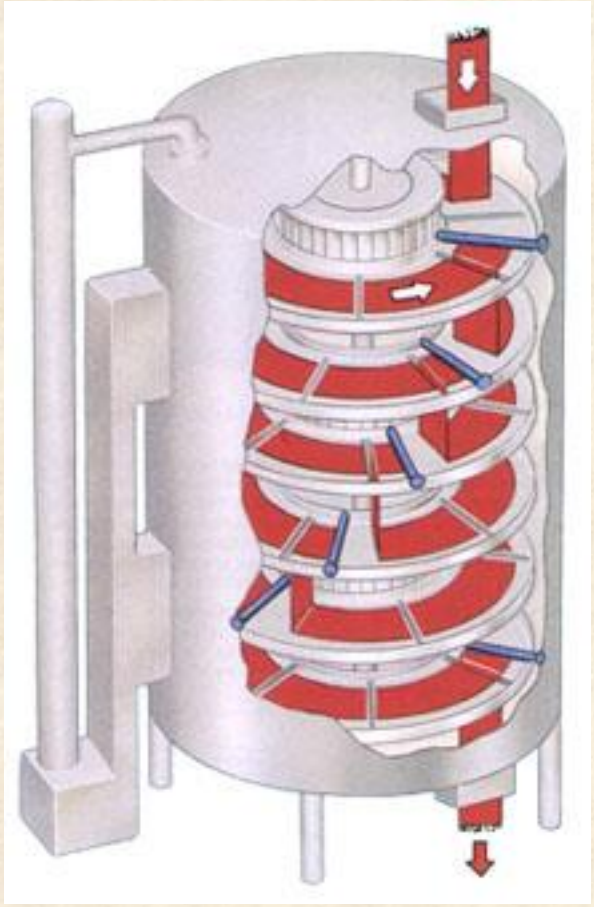
محفظه ای مستطیل شکل که در دو طرف آن دو سری قفسه دارای سینی های کم عمق وجود دارد . هوای تازه پس از گرم شدن و توزیع یکنواخت بروی سینی ها مواد را به نسبت معین خشک میکنند.این نوع خشک کن در خشک کردن مواد رنگی و مواد اولیه دارویی کاربرد دارد و بدلیل عبور کند هوای گرم در تولید پایین مناسب است .

- **خشک کردن**

خشک کن نوار نقاله ای:

مواد جامد بروی الک فلزی بصورت لایه ای با ضخامت کم قرار گرفته وبروی یک نقاله درحال حرکت وارد محفظه خشک میشود و در مجاورت هوای گرم قرار میگیرند .دما و رطوبت درون محفظه خشک کن در نقاط مختلف متفاوت است .

- **خشک کردن**



برج خشک کن (خشک کن توربو) :

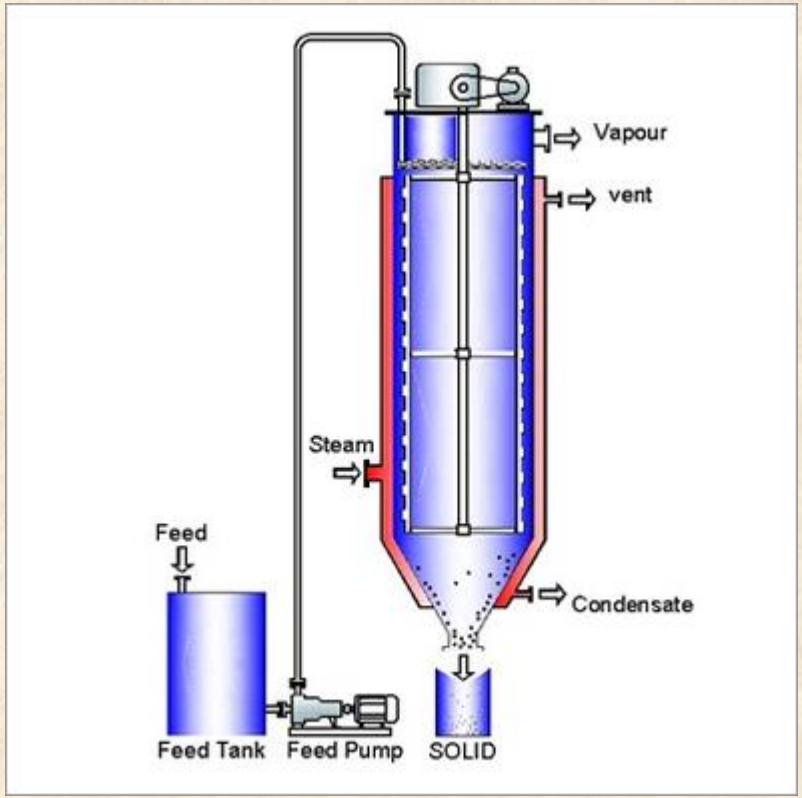
این خشک کن از تعدادی سینی گرد با چینش عمودی حول یک محور چرخشی تشکیل شده که هر سینی شامل یک شکاف و یک پارو برای پخش کردن مواد جامد است.خوراک جامد از بالای برج وارد اولین سینی شده و در تماس با هوای داغ بروی سینی قرارمیگیرد . با چرخش سینی مواد جامد توسط پارو به سمت شکاف سینی هدایت و از آنجا وارد سینی پایینی میشود واین عمل تا پایینترین سینی ادامه داشته و مواد خشک از پایین برج خارج میشوند.مواد جامد پودری،دانه ای،خمیری و لجنهای غلیظ توسط این دستگاه خشک میشوند.جریان هوای گرم و خوراک ناهمسو میباشند .

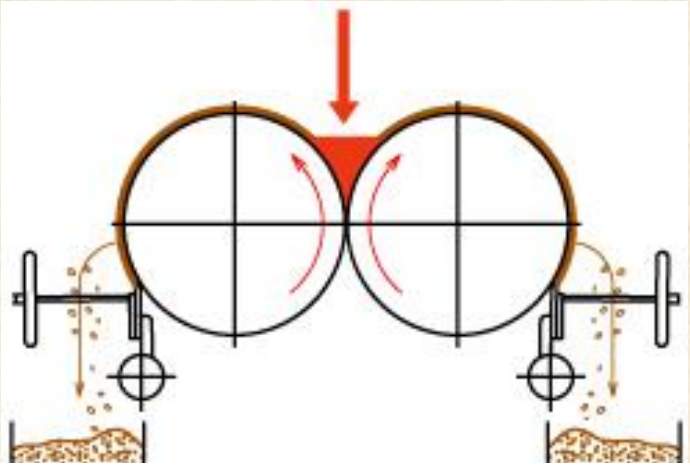
- **خشک کردن**

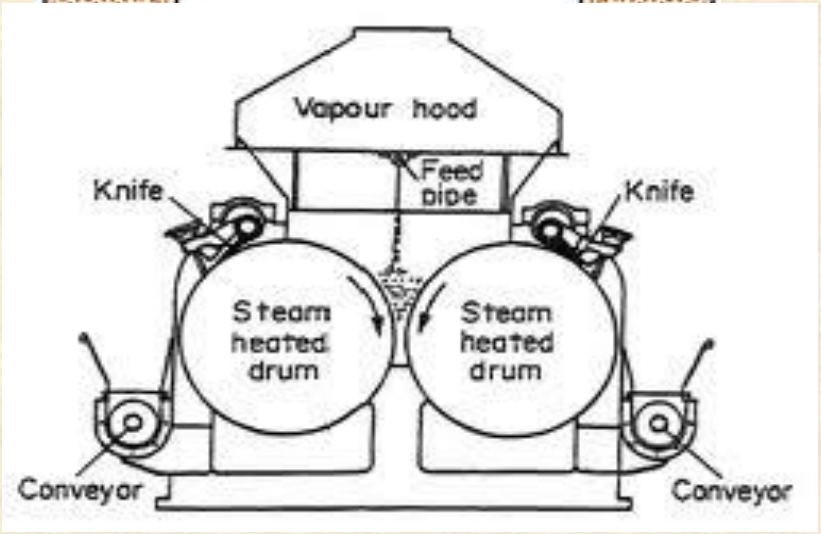
خشک کن با فیلم نازک:

از دو بخش تشکیل شده است ، یک تبخیر کن و خشک کن عمودی همزن دار است. خوراک با ورود به تبخیرکننده بخش اعظم رطوبت خود را از دست میدهد در اینجا بیشتر از مایع از خوراک حذف می شود، و قسمتی از جامد مرطوب به داخل بخش دوم تخلیه می شود، و در آنجا مقدار مایع باقی مانده در ماده بخش اول تا مقدار مطلوب کاهش می یابد.

این نوع خشک کن در جداسازی و بازیابی حلال از جامد استفاده میشود







- **خشک کردن**

خشک کن استوانه ای :

از نوع خشک کن ها غیر مستقیم است. استوانه های خشک کن توسط بخار گرم میشوند و خوراک مایع در فضای بالای دو استوانه ریخته میشود .با گرم شدن مایع به روش هدایت ، مایع درون حوضچه غلیظ میشود و با چرخش استوانه ها لایه ای نازک از مایع غلیظ و گرانروی بالا بدور استوانه شده که در چرخش کامل این لایه نازک خشک میشود و از طرف دیگر توسط کاردکی لایه نازک خشک شده برداشته شده و به درون نقاله ریخته میشود

این خشک کن برای محلول های رقیق و غلیظ بسیار انحلال پذیر استفاده میشود

خشک کردن یعنی خارج کردن رطوبت از یک جسم جامد تا مقدار رطوبت باقیمانده به حد قابل قبولی برسد.

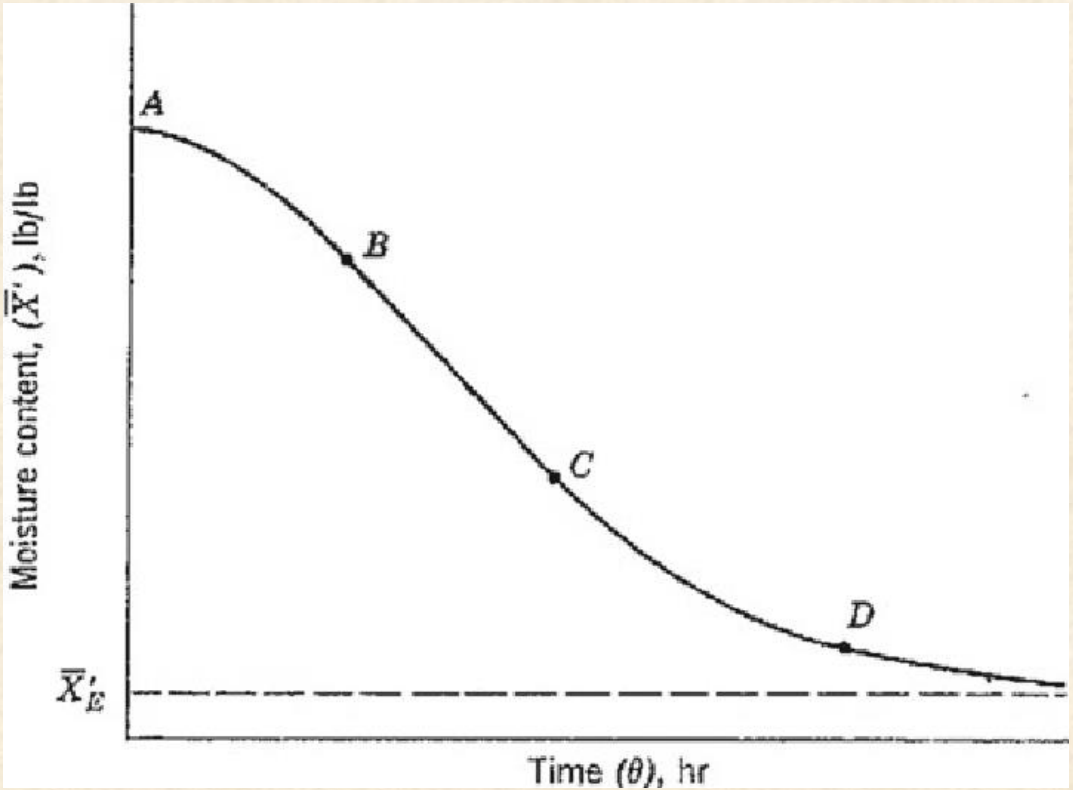
عمده کاربرد آن در صنایع مواد غذایی و دارویی و کاغذسازی است .

یکی از پارامترهای تاثیر گذار در طراحی یک واحد خشک کن ، سرعت خشک شدن میباشد که به صورت میزان جرم آب دفع شده از جامد در واحد زمان و واحد سطح تماس جامد با هوا تعریف میشود .

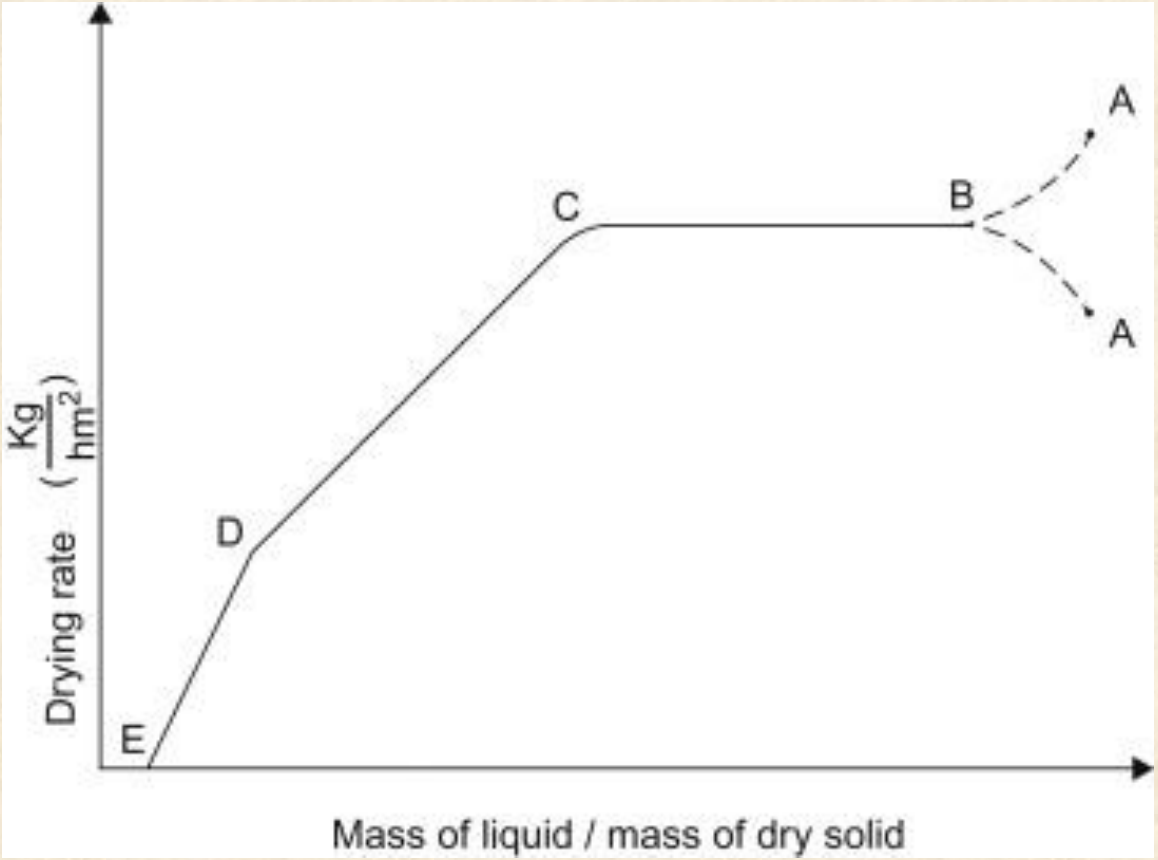
روش انجام آزمایش :

۱. یک قطعه سیب زمینی مکعب شکل با ابعاد مشخص انتخاب کرده و سطح آن را محاسبه میکنیم.
۲. دستگاه را روشن کرده و ترموستات آن را روی دمای ۸۰ درجه سانتیگراد تنظیم میکنیم.
۳. نمونه آزمایش را درون دستگاه گذاشته و وزن آن را توسط ترازویی که به توری متصل است در همان لحظه اول یادداشت مینماییم.
۴. دمای مرطوب و خشک را در همان زمان قرائت و ثبت میکنیم .
۵. در چندین مرحله این موارد را تکرار و جدول مربوطه را تکمیل میکنیم .
۶. مقدار سرعت خشک شدن و رطوبت همراه را از طریق روابط موجود بدست می آوریم .

آزمایش شماره یک : خشک کردن جامدات



آزمایش شماره یک : خشک کردن جامدات



آزمایش شماره یک : خشک کردن جامدات

شماره مرحله	زمان	وزن نمونه	دمای حباب خشک	دمای حباب مرطوب	سرعت خشک شدن
۱					
۲					
۳					
۴					

$$R = \frac{\Delta Q}{A.\Delta t} \qquad W = \frac{Q - Q^{\circ}}{Q^{\circ}}$$

R : سرعت خشک شدن

W : رطوبت ماده جامد

Q° وزن نهایی جسم پس از خشک شدن

آزمایش: خشک کردن جامدات

۱ اهداف آزمایش

الف. رسم نمودار تغییرات وزن برحسب زمان خشک شدن

. رسم نمودار تغییرات رطوبت آزاد در جسم برحسب زمان خشک شدن

پ. رسم نمودار مشخصه سرعت خشک شدن برحسب رطوبت آزاد در جسم جامد

ت. محاسبه مدت زمان مرحله خشک شدن با شدت ثابت ومحاسبه مقدار سرعت خشک شدن در این مرحله

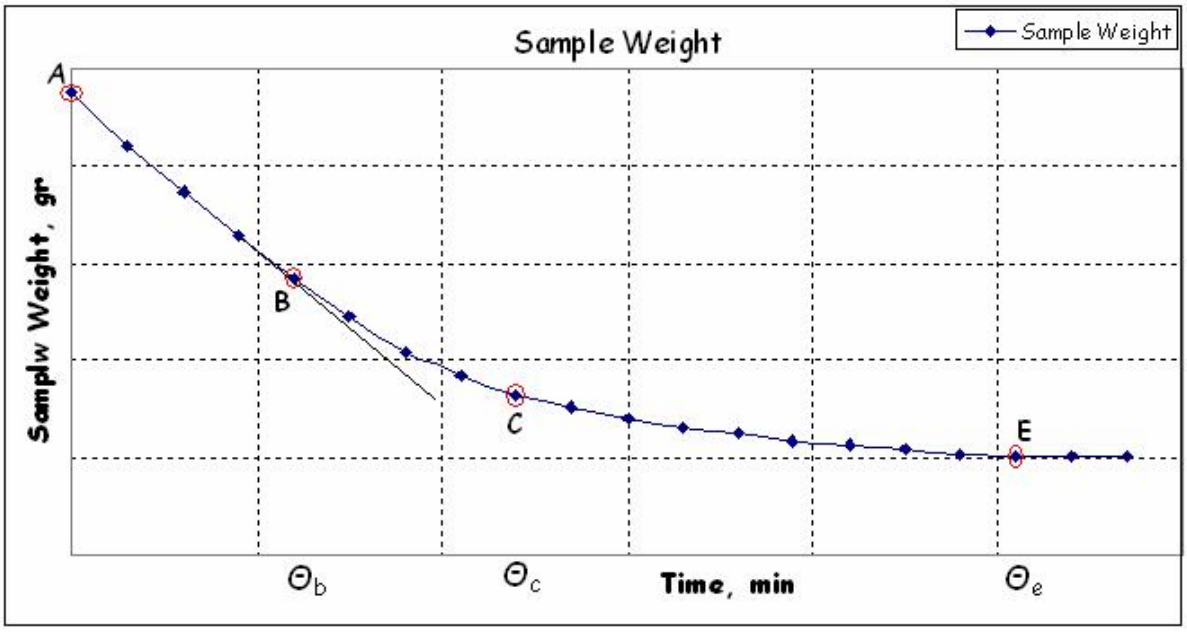
ث. محاسبه ضریب انتقال حرارت همرفتی برای بازه زمانی خشک شدن با شدت ثابت

ج. محاسبه ضریب خشک شدن

۲ تئوری آزمایش خشک شدن

بطور کلی می توان تئوری مربوط به خشک شدن جامدات را بطور خلاصه در پنج آیتم بیان نمود.

۱. نمودار تغییرات وزن جسم جامد برحسب مدت زمان خشک شدن بصورت زیر خواهد بود:



A ~ B : Constant rate drying period

B ~ E : Falling rate drying period

B ~ C : First falling rate of drying

C ~ E : Second falling rate of drying

Θb : Time required on constant rate drying period

Θe : Time required on falling rate drying period

در مرحله A تا B از زمان صفر تا θb سرعت خشک شدن ثابت می باشد Rc. به این مرحله خشک شدن با شدت ثابت گفته می شود که برای آن می توان ضریب انتقال حرارت همرفتی h را نیز محاسبه نمود. به مرحله B تا E مرحله کاهش سرعت خشک شدن می گویند.

از نتایج این مرحله می توان موارد زیر را محاسبه نمود:

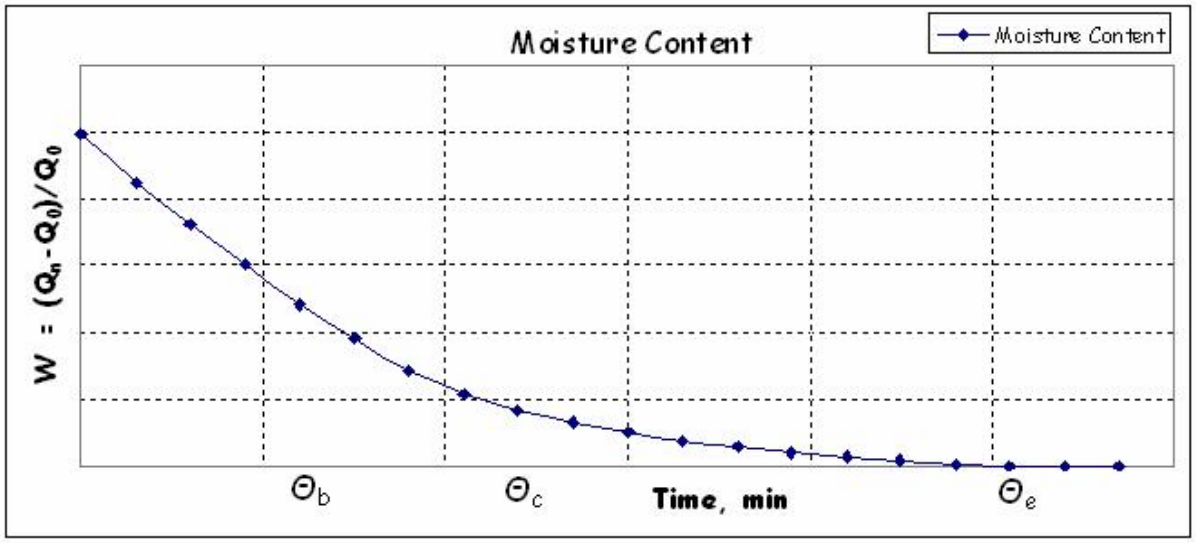
الف. سرعت خشک شدن با شدت ثابت RC

. ضریب انتقال حرارت همرفتی برای مرحله خشک شدن با شدت ثابت h

پ. ضریب خشک شدن K

ت. مدت زمان مرحله خشک شدن با شدت ثابت Θb

۲. نمودار تغییرات میزان رطوبت آزاد در جسم جامد برحسب مدت زمان خشک شدن نیز بصورت زیر خواهد بود:



که برای محاسبه میزان رطوبت آزاد در جسم جامد در هر زمان، لازم است وزن در آن لحظه را منهای وزن نهائی جسم خشک شونده نمود و حاصل را بر وزن نهائی جسم خشک شونده تقسیم نمود. که خواهیم داشت:

$$W = \frac{Q_i - Q_0}{Q_0}$$

where

Q_i = *Sample weight at any time, gr*

Q_0 = *Sample weight at end of test, gr*

۳. سرعت خشک شدن جسم جامد را در هر بازه زمانی و بر اساس شیب نمودار تغییرات وزن در آن بازه زمانی می توان بدست آورد. برای این منظور می توان نوشت سرعت خشک شدن عبارتست از نرخ تبخیر آ نمونه ای که بر واحد سطح $gr/cm^2.hr$ باید خشک شود. بنا به تعریف فوق برای هر بازه زمانی می توان نوشت:

$$R\left(\frac{gr}{cm^2.hr}\right)=\frac{Q_1-Q_2\ (gr)}{\Theta_2-\Theta_1\ (\min)}\times\frac{60\ (\min)}{1\ (hr)}\times\frac{1}{A\ (cm^2)}$$

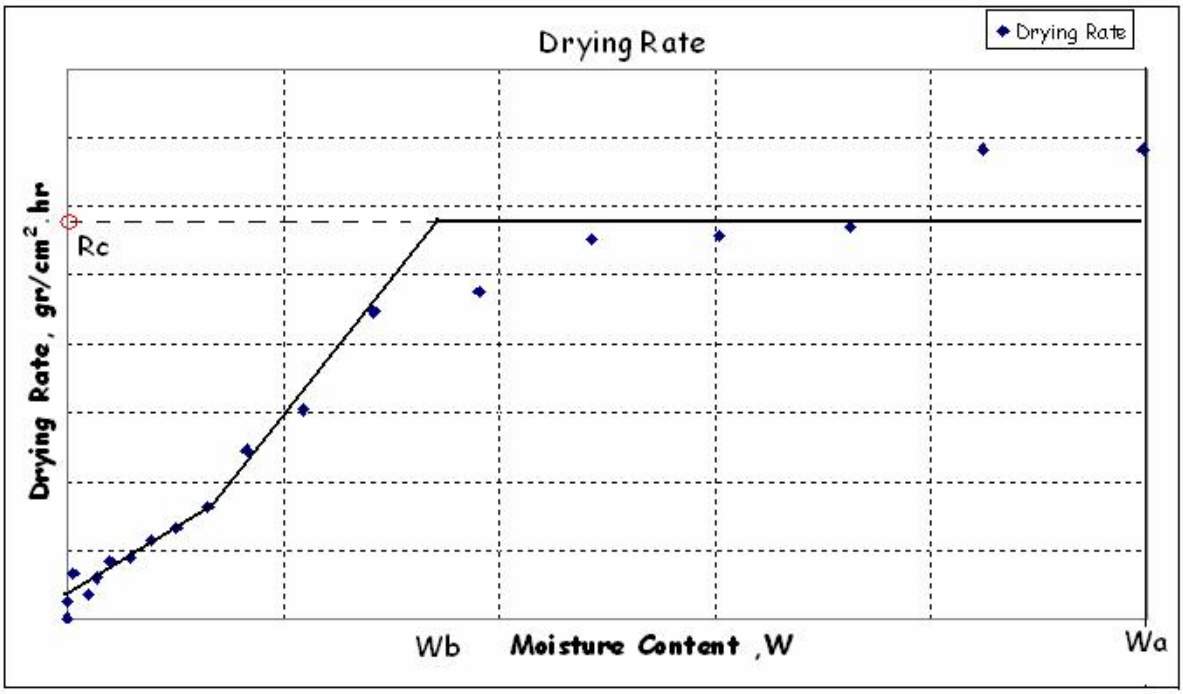
where

$R = Drying\ rate,\ gr/cm^2.hr$

$Q = Sample\ weight,\ gr$

$\Theta = Drying\ time,\ \min$

۴. منحنی مشخصه سرعت خشک شدن جسم جامد عبارتست از تغییرات سرعت خشک شدن برحسب تغییرات رطوبت آزاد در جسم در هر بازه زمانی مشخص که بصورت زیر خواهد بود:



با توجه به این نمودارمی توان گفت که در یک محدوده زمانی خاص، سرعت خشک شدن ثابت می باشد RC برای محاسبه مدت زمان . این بازه زمانی می توان نوشت:

$$R_C = \frac{(Q_a - Q_b)}{\Theta_b} \times \frac{1}{A} \quad \Rightarrow \quad \Theta_b = \frac{Q_0 \times (W_a - W_b)}{R_C \times A}$$

Where

R_C = gr/cm^2.hr

Θ_b = hr

Q_0 = gr

۵. ضریب خشک شدن برای بازه زمانی که در آن بازه سرعت خشک شدن ثابت است را می توان از رابطه زیر محاسبه نمود:

$$K = \frac{W_a - W_b}{\Theta_b \times W_b} \quad (\frac{1}{hr})$$

۶. ضریب انتقال حرارت همرفتی برای مرحله خشک شدن با شدت ثابت را می توان از رابطه زیر محاسبه نمود:

انتقال حرارت از محیط به سطح بیرونی جامد در حال خشک شدن

$$q = h \times A \times (T_d - T_W)$$

where

$A = Solid\ external\ surface\ area$

$T_d = Dry\ bulb\ temperature$

$T_W = Wet\ bulb\ temperature$

حرارت حاصل از گرمای نهان تبخیر آ در سطح جامد

$$q = M \times \lambda \times R_C$$

where

$M = Dried\ solid\ weight$

$\lambda = Water\ latent\ heat$

از تساوی دو رابطه فوق در نهایت خواهیم داشت:

$$h = \frac{M \times \lambda \times R_C}{A \times (T_d - T_W)}$$

۳ دستور کار آزمایش

۱. ابتدا یک نمونه از جسم جامد مورد نظر به شکل مکعب مستطیل و به وزن تقریبی کمتر از ۵ گرم تهیه کنید.

۲. ابعاد نمونه تهیه شده طول، عرض و ارتفاع را یادداشت کنید.

۳.دمای درون Dryer را بر روی ۸۰ درجه سانتیگراد تنظیم نموده و سپس دماهای Wet bulb temperature و Dry bulb temperature را یادداشت کنید.

۴.نمونه تهیه شده را بر روی سبد درون Dryer قرار دهید و وزن نمونه را یادداشت کنید.

۵. جدولی تهیه نمائید و در آن تغییرات وزن نمونه را بر حسب زمان خشک شدن یادداشت نمائید و نیز همزمان با آن مقادیر دماهای Dry bulb temperature و Wet bulb temperature را یادداشت کنید.

۶. زمان پایان آزمایش هنگامی است که دمای Wet bulb temperature ثابت بماند . در این هنگام مقادیر آخر را نیز یادداشت نموده و سپس دستگاه را خاموش کنید. در دستگاه را تا زمان حصول اطمینان از سرد شدن درون آن باز نکنید.

۴ حل یک مثال در مورد خشک کردن جامدات

در طی آزمایش Dryer یک جسم جامد به وزن و ابعاد زیر تهیه گردید:

Weight = 469.0 gr

Dimension = 6 cm × 5 cm × 6.5 cm

پس از قرار دادن نمونه تهیه شده در درون Dryer، مقادیر زیر برای تغییرات وزن بر حسب زمان و نیز دماهای Wet bulb temperature و Dry bulb temperature اندازه گیری گردیده است:

Measurements					Measurements				
Test #	Time, min	Weight, gr	T_d, DegC	T_w, DegC	Test #	Time, min	Weight, gr	T_d, DegC	T_w, DegC
1	0	469.00	82.70	40.20	11	600	385.00	79.50	58.90
2	60	455.10	78.90	46.10	12	660	382.70	79.70	59.10
3	120	443.50	78.70	48.00	13	720	380.90	79.80	59.20
4	180	432.20	78.70	48.40	14	780	379.20	79.70	59.30
5	240	421.00	79.20	50.20	15	840	378.00	79.80	59.20
6	300	411.30	78.90	50.30	16	900	377.30	79.70	59.20
7	360	402.20	79.10	57.40	17	960	376.00	79.80	59.20
8	420	396.00	79.00	58.00	18	1020	375.50	79.80	59.20
9	480	391.00	79.10	58.30	19	1080	375.50		
10	540	387.70	80.60	58.40	20	1140	375.50		

مطلوبست محاسبه:

۱. رسم نمودار تغییرات وزن بر حسب زمان خشک شدن

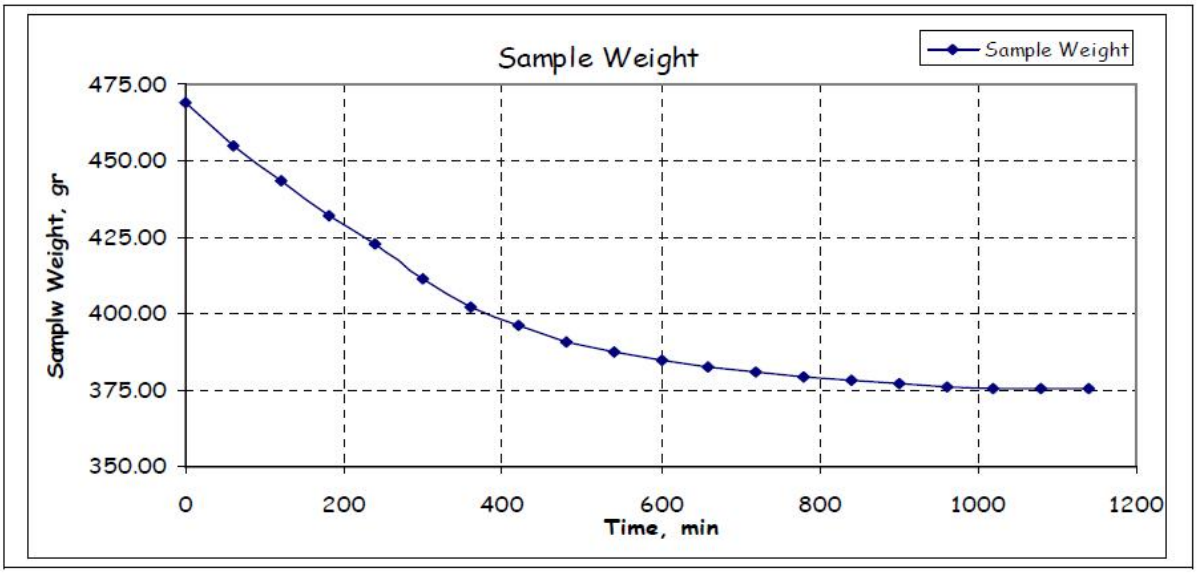
۲. رسم نمودار تغییرات رطوبت آزاد درون جسم برحسب زمان خشک شدن

۳. رسم منحنی مشخصه سرعت خشک شدن

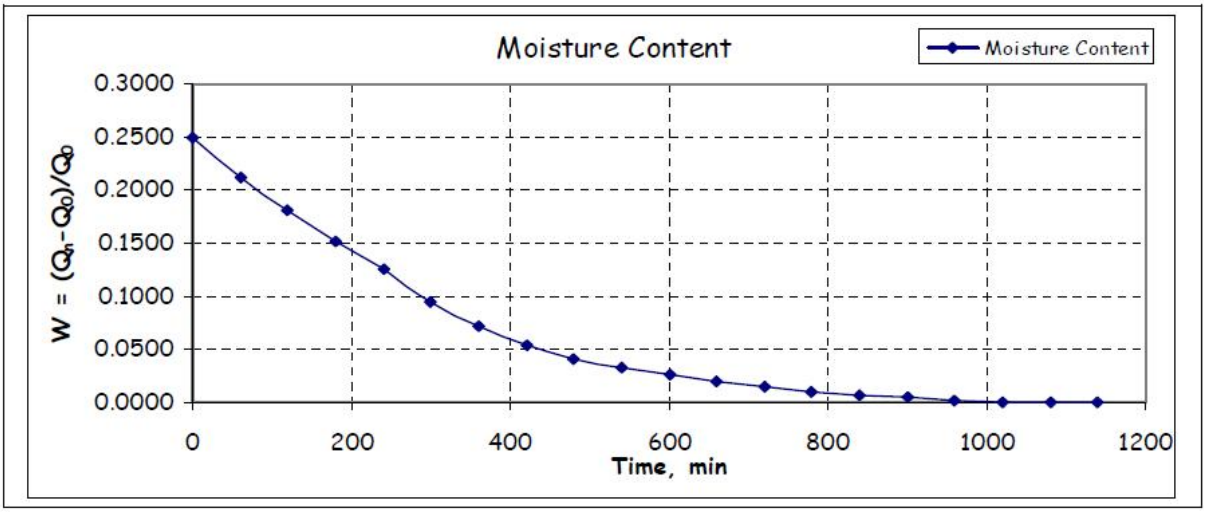
۴. محاسبه h و K و Θ_b و R_C.

پاسخ:

۱. رسم نمودار تغییرات وزن برحسب زمان خشک شدن



۲. رسم نمودار تغییرات رطوبت آزاد درون جسم برحسب زمان خشک شدن



بعنوان مثال برای تست زمان نخست می توان نوشت:

$$W = \frac{Q_i - Q_0}{Q_0}$$

where

$Q_i = Sample\ weight\ at\ any\ time,\ gr$

$Q_0 = Sample\ weight\ at\ end\ of\ test,\ gr$

$$W = \frac{Q_i - Q_0}{Q_0} = \frac{469 - 375.5}{375.5} = 0.2490$$

۳. رسم منحنی مشخصه سرعت خشک شدن برای این منظور باید مقادیرW و R برای هر تغییر وزن محاسبه شوند. خواهیم داشت:

$$R\left(\frac{gr}{cm^2.hr}\right) = \frac{Q_1 - Q_2\ (gr)}{\Theta_2 - \Theta_1\ (\min)} \times \frac{60\ (\min)}{1\ (hr)} \times \frac{1}{A\ (cm^2)}$$

where

$R = Drying\ rate,\ gr/cm^2.hr$

$Q = Sample\ weight,\ gr$

$\Theta = Drying\ time,\ \min$

بعنوان مثال برای بازه زمانی اول می توان نوشت:

$$W = \frac{Q_i - Q_0}{Q_0} = \frac{469 - 375.5}{375.5} = 0.2490$$

$$R\left(\frac{gr}{cm^2.hr}\right) = \frac{Q_1 - Q_2\ (gr)}{\Theta_2 - \Theta_1\ (\min)} \times \frac{60\ (\min)}{1\ (hr)} \times \frac{1}{A\ (cm^2)} = \frac{(469.0 - 455.1)\ gr}{(60 - 0)\ \min} \times \frac{60\ \min}{1hr} \times \frac{1}{203\ cm^2}$$

$$R = 0.06847\left(\frac{gr}{cm^2.hr}\right)$$

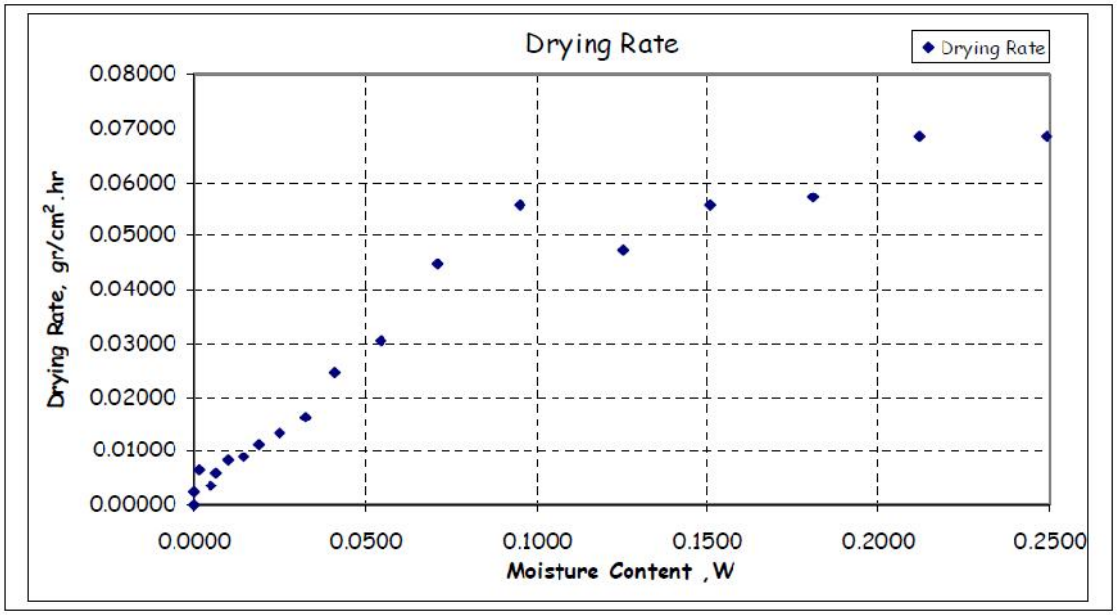
where

$$A = 2(6cm \times 5cm + 6cm \times 6.5cm + 5cm \times 6.5cm) = 203\ cm^2$$

در نهایت می توان جدول زیر را بدست آورد:

		Measurements			Calculations	
Test #	Time, min	Weight, gr	T_d, DegC	T_w, DegC	R, $g/cm^2.hr$	W, gr/gr
1	0	469.00	82.70	40.20		0.2490
2	60	455.10	78.90	46.10	0.06847	0.2120
3	120	443.50	78.70	48.00	0.05714	0.1811
4	180	432.20	78.70	48.40	0.05567	0.1510
5	**240**	**422.60**	**79.20**	**50.20**	**0.04729**	**0.1254**
6	300	411.30	78.90	50.30	0.05567	0.0953
7	360	402.20	79.10	57.40	0.04483	0.0711
8	420	396.00	79.00	58.00	0.03054	0.0546
9	480	391.00	79.10	58.30	0.02463	0.0413
10	540	387.70	80.60	58.40	0.01626	0.0325
11	600	385.00	79.50	58.90	0.01330	0.0253
12	660	382.70	79.70	59.10	0.01133	0.0192
13	720	380.90	79.80	59.20	0.00887	0.0144
14	780	379.20	79.70	59.30	0.00837	0.0099
15	840	378.00	79.80	59.20	0.00591	0.0067
16	900	377.30	79.70	59.20	0.00345	0.0048
17	960	376.00	79.80	59.20	0.00640	0.0013
18	1020	375.50	79.80	59.20	0.00246	0.0000
19	1080	375.50			0.00000	0.0000
20	1140	375.50			0.00000	0.0000

درنهایت می توان با استفاده از داده های بدست آمده نمودار منحنی مشخصه سرعت خشک شدن را رسم نمود. خواهیم داشت:



۴. محاسبه h و K و Θ_b و R_C.

با توجه به نمودار منحنی مشخصه سرعت خشک شدن خواهیم داشت:

$$R_C = 0.0591\ gr/cm^2.hr$$

$$\Theta_b = \frac{Q_0 \times (W_a - W_b)}{R_C \times A} = \frac{375.5 \times (0.2490 - 0.1254)}{0.0591 \times 203} = 3.9\ hr$$

$$K = \frac{W_a - W_b}{\Theta_b \times W_b} = \frac{0.2490 - 0.1254}{3.90 \times 0.1254} = 0.257\ (\frac{1}{hr})$$

برای محاسبه h می توان نوشت :

$$h = \frac{M \times \lambda \times R_C}{A \times (T_d - T_W)}$$

$M = 469 - 375.5 = 93.5gr$ $\lambda = 550\ cal/gr$ $T_d = 79.2^\circ C$ $T_W = 50.2^\circ C$

$R_C = 0.0591\ gr/cm^2.hr$ $A = 203\ cm^2$ $h = 0.489\ Cal/hr.cm^2.^\circ C$

برای محاسبه λ می توان از جدول زیر کمک گرفت:

t, DegC	λ, Cal/gr	t, DegC	λ, Cal/gr	t, DegC	λ, Cal/gr	t, DegC	λ, Cal/gr
0.00	597.20	50.00	569.00	100.00	538.90	150.00	504.60
10.00	591.60	60.00	563.30	110.00	532.40	160.00	497.00
20.00	586.00	70.00	557.40	120.00	525.70	170.00	489.20
30.00	580.40	80.00	551.30	130.00	518.90	180.00	481.00
40.00	574.70	90.00	545.10	140.00	511.90	190.00	472.50

یا می توان از رابطه زیر استفاده نمود:

$$\lambda\ (cal/gr) = -0.0008 \times T^2 - 0.4958 \times T + 596.32$$

سوالات :

۱. خطاهای ناشی از این آزمایش را نام ببرید .

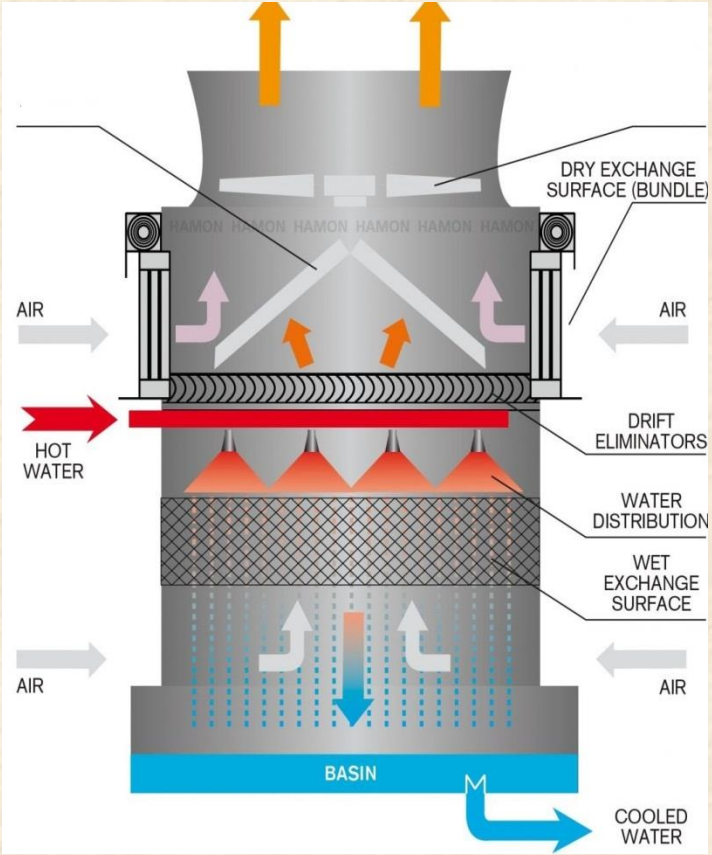
۲. در مورد عوامل موثر بر شدت خشک شدن بحث کنید.

- ✓ اثر ضخامت ماده جامد
- ✓ اثر سرعت هوا
- ✓ اثر رطوبت هوا
- ✓ اثر درجه حرارت دما

آزمایش شماره دو

نام آزمایش : برج خنک کننده (Cooling Water)

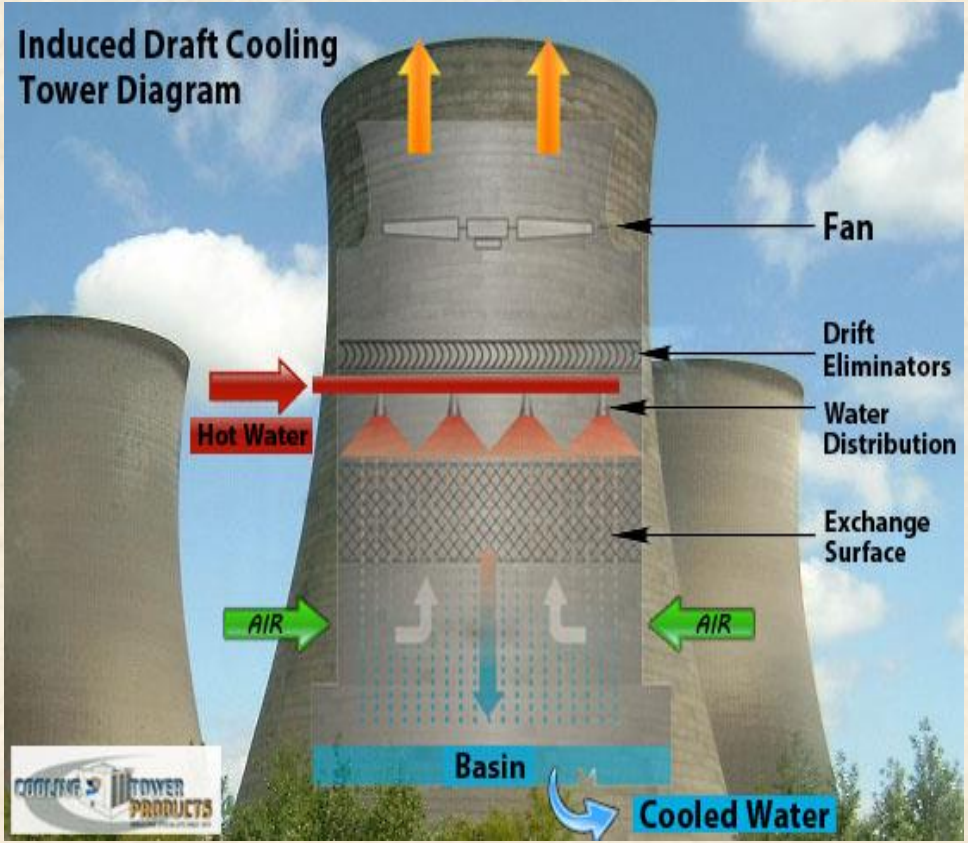
هدف آزمایش : آشنایی با اصول حاکم بر برج خنک کننده



❑ **در این آزمایش :**

- ✓ آب گرم را توسط هوا خنک میکنیم.
- ✓ میزان خنک شدگی مایع توسط هوا در دبی های مختلف بررسی میشود

در پایین برج یک دمنده وجود دارد که هوا را با دبی های مشخص وارد برج میکند.



➢ برج خنک کننده :

از این برج برای سرد کردن آب استفاده میشود تا با مصرف مجدد آن از اسراف و هزینه های مربوطه جلوگیری گردد .آب گرم از بالا وارد برج شده و با ریزش بروی طبقات چوبی مشبک باعث افزایش سطح تماس میان آب و هوای ورودی از پایین برج میشود.نتیجه، سرد شدن آب و استفاده مجدد از آن است.در این فرآیند انتقال جرم و انتقال حرارت به طور همزمان صورت میپذیرد.

- **برج خنک کننده**

انواع برج خنک کننده :

الف) برج خنک کننده ای که جریان باد باعث عبور دادن هوا از داخل برج و تماس آن با آب میگردد

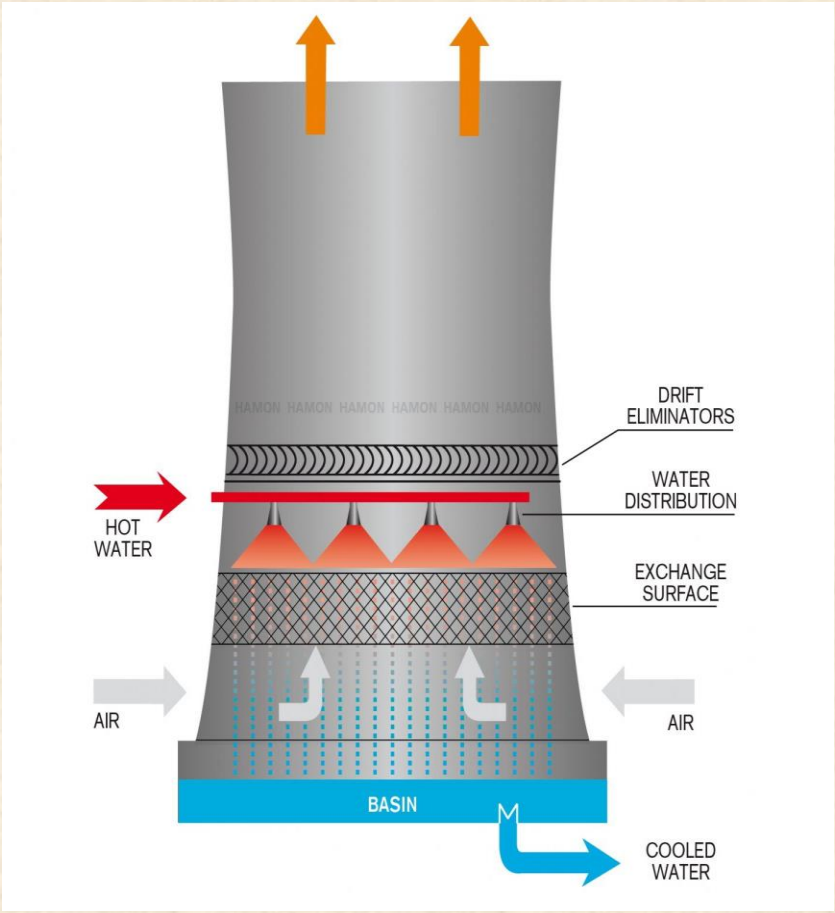
ب) برج خنک کننده ای که مکش طبیعی موجود در آن باعث تماس دو فاز آب و هوا میشود.ساختمان هذلولی شکل و بلند دارد

ج) برج خنک کننده ای که هوا با یک پنکه به درون آن جریان میابد .

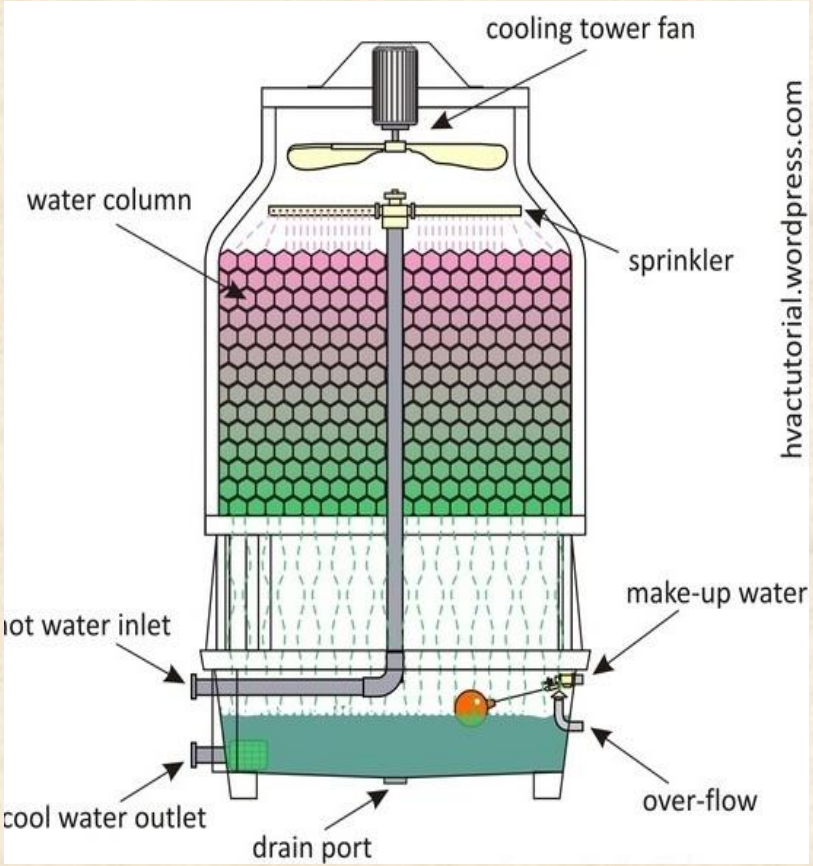
د) برج خنک کننده ای که جریان هوای درون آن بدلیل مکش حاصله از نصب یک پره مکانیکی در خروجی آن است

➢ **برج خنک کننده**

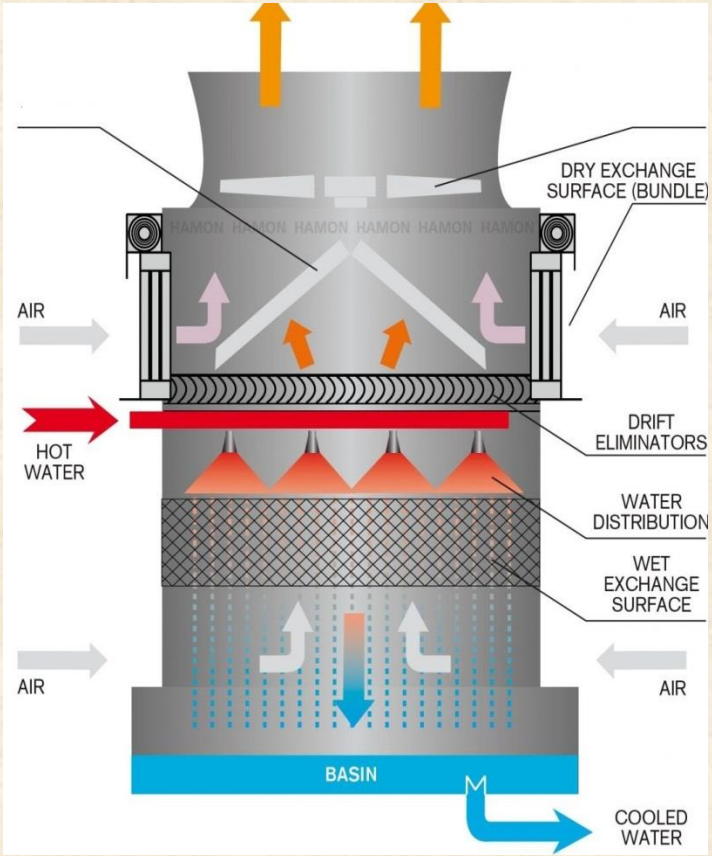
برج خنک کن با جریان جابه جایی اجباری (الف)



برج خنک کن با جریان آزاد طبیعی(ب)



برج خنک کن با ایجاد مکش بوسیله پره در خروجی(د)



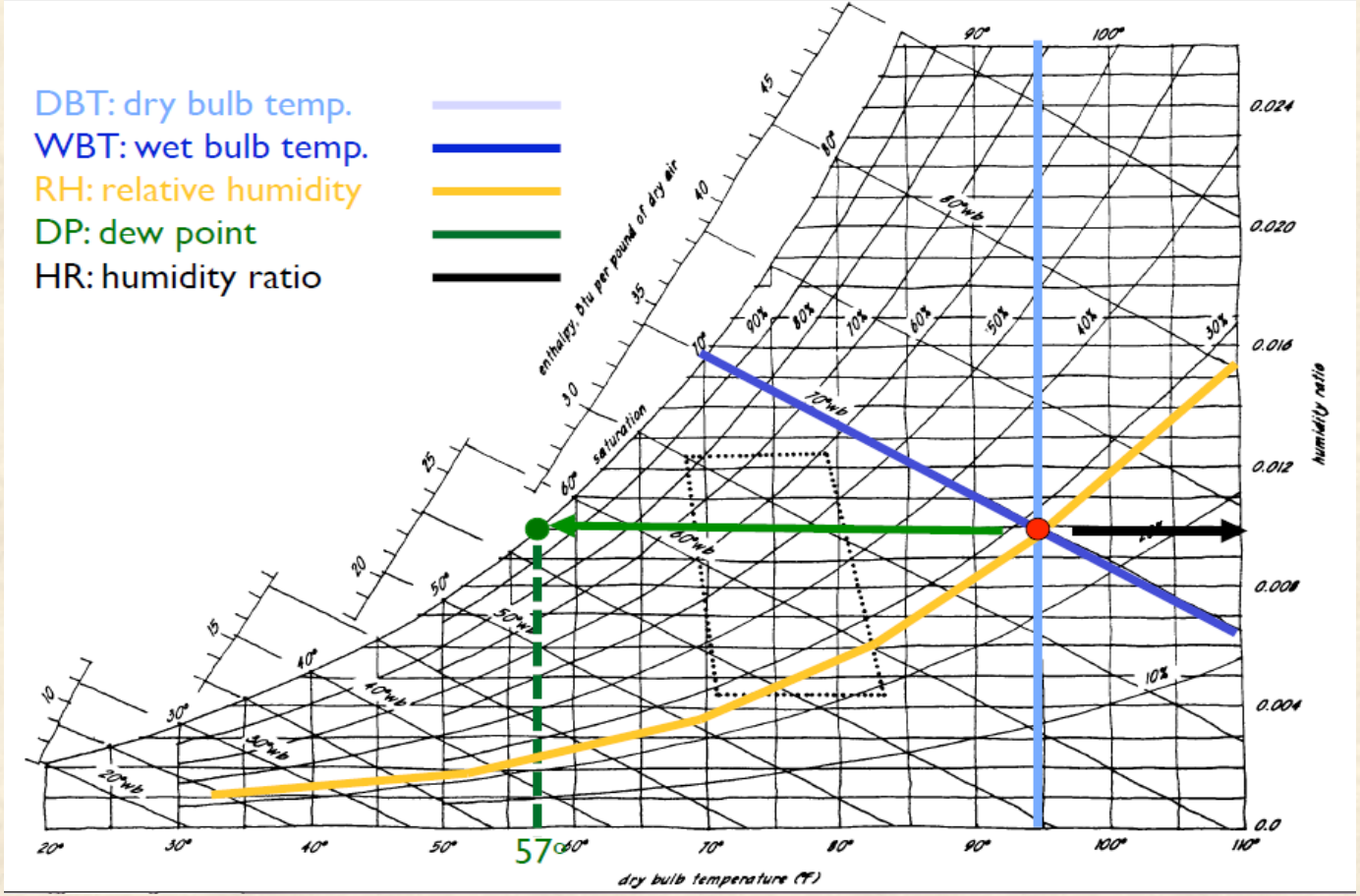
برج خنک کن که هوا با یک پنکه به درون آن جریان می یابد (ج)

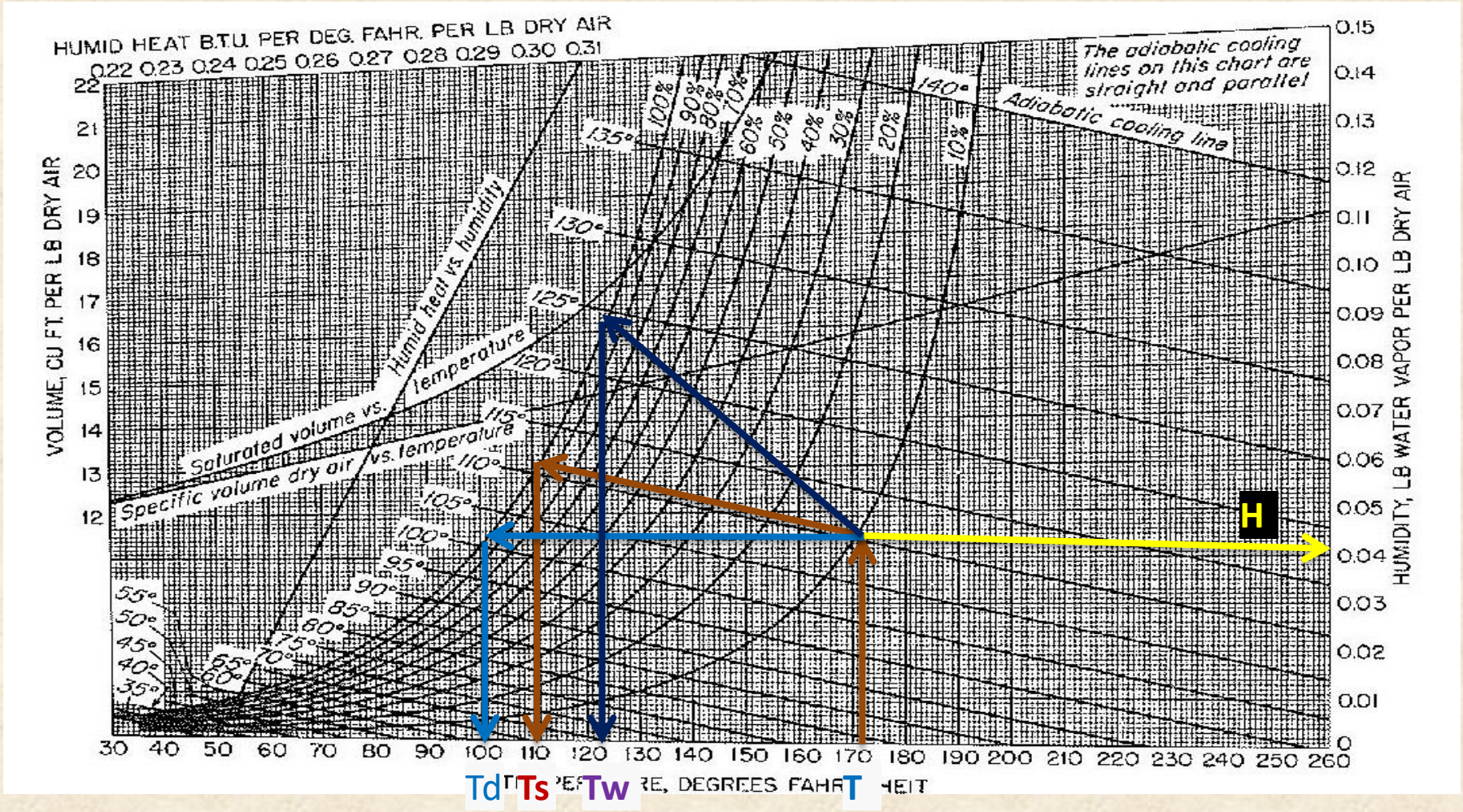
- وقتی مایع گرمی باگازاشباع نشده ای تماس می یابد،قسمتی از مایع تبخیر می شود و دمای مایع افت می کند.مهمترین کاربرد این اصل در سیستمهای خنک کن است که بر مبنای آن دمای آب مصرفی در چگالنده ها و مبدل های گرمایی کاهش می یابد.

- از جمله مصارف این دستگاه ها در صنایع شیمیایی،نیروگاهها و وسایل تهویه مطبوع می باشد.

- گرمای نهان تبخیر آب به قدری زیاد است که تبخیر جرم اندکی از آن سرمای زیادی ایجاد میکند .

آزمایش شماره دو: برج خنک کننده




HUMID HEAT B.T.U. PER DEG. FAHR. PER LB DRY AIR
0.22 0.23 0.24 0.25 0.26 0.27 0.28 0.29 0.30 0.31
VOLUME, CU FT. PER LB DRY AIR
HUMIDITY, LB WATER VAPOR PER LB DRY AIR
The adiabatic cooling lines on this chart are straight and parallel
Adiabatic cooling line
Humid heat vs. humidity
Saturated volume vs. temperature
Specific volume dry air vs. temperature
100%
90%
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
140°
135°
130°
125°
120°
115°
110°
105°
100°
95°
90°
85°
80°
75°
70°
65°
60°
55°
50°
45°
40°
35°
H
30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200 210 220 230 240 250 260
RE, DEGREES FAHRENHEIT
Td
Ts
Tw
T

آزمایش شماره دو: برج خنک کننده

- شکل و مشخصات دستگاه :
  - دارای ترمومتر
  - رطوبت سنج و نمایش دهنده دیجیتالی
  - ستون پلکسی گلاس شفاف برای مشاهده فرآیند هیتر و پمپ آب
  - اوریفیس برای اندازه گیری دبی هوا
  - روتامتر مخزن ذخیره آب
  - مانومتر
  - دمنده هوا

- شرح آزمایش :

از این دستگاه می توان برای سرد کردن هوا توسط آب و سرد کردن آب توسط هوا استفاده کرد. دستگاه دارای مخزنی است برای تامین آب مورد نیاز دستگاه و نیز دارای پمپی است که جریان آب پس از عبور از روتامتر و اندازه گیری دمایش وارد بستر توزیع شده و با طی مسیر برج وارد مخزن می گردد. تنظیم دبی آب به کمک شیر جریان برگشتی و روتامتر امکان پذیر است. همچنین توسط یک دمنده که در پایین دستگاه قرار دارد می توان دبی های مختلف هوا را وارد برج کرد. هوا با عبور از روی المان حرارتی و اندازه گیری دمای مرطوب و خشک آن از پایین وارد برج می شود و در تماس با آب قرار می گیرد و پس از اندازه گیری دمای خشک و حباب مرطوب آن در خروجی از برج خارج می شود. اریفیس به یک مانومتر وصل شده تا اختلاف فشار حاصل از دبی های متفاوت هوا را بتوان یادداشت کرد.

- محاسبات:

با استفاده از اطلاعات دستگاه و داده های بدست آمده و نوشتن موازنه جرم و انرژی حول برج خنک کننده،میتوان اتلاف انرژی در برج ، میزان آب تبخیرشده را محاسبه و خط عملیاتی دستگاه را در نمودار رطوبت سنجی هوا-بخار آب ترسیم کرد و در نهایت تعداد مراحل انتقال و ضرایب انتقال جرم را بدست آورد.

سوالات :

۱. خطاهای ناشی از این آزمایش را نام ببرید .

۲. موازنه انرژی وموازنه جرم حول برج خنک کننده را بنویسید.

۳. دمای حباب مرطوب و دمای حباب خشک را تعریف کنید.

آزمایش شماره سه

نام آزمایش : برج جذب آکنده

هدف آزمایش : آشنایی با کاربری و کارایی برج های جذب و تاثیر آکنه ها در افزایش انتقال جرم

❑ **در این آزمایش :**

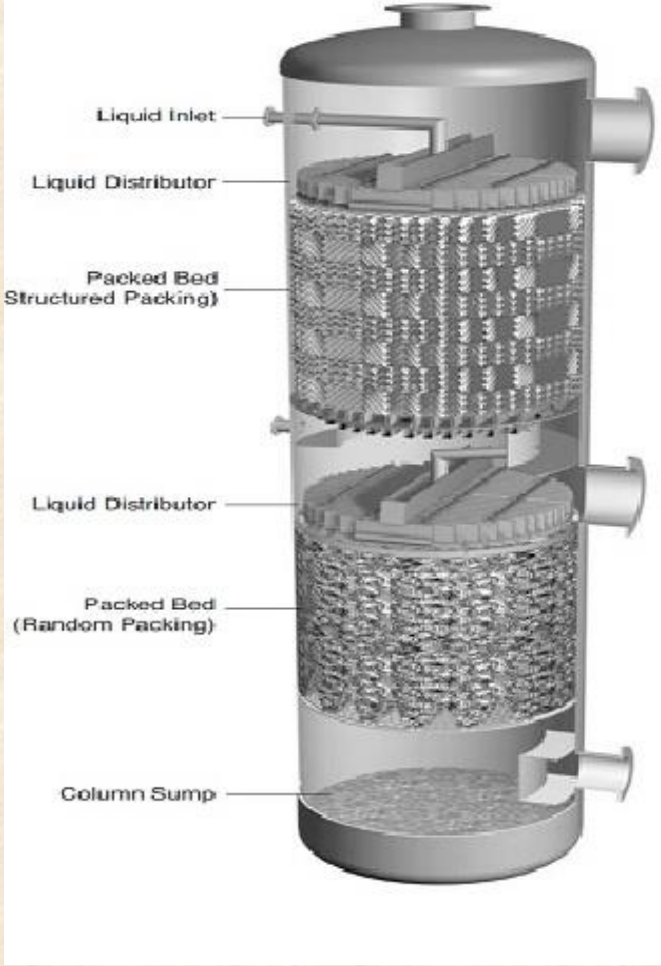
✓ میزان جذب دی اکسید کربن در آب را اندازه گیری میکنیم

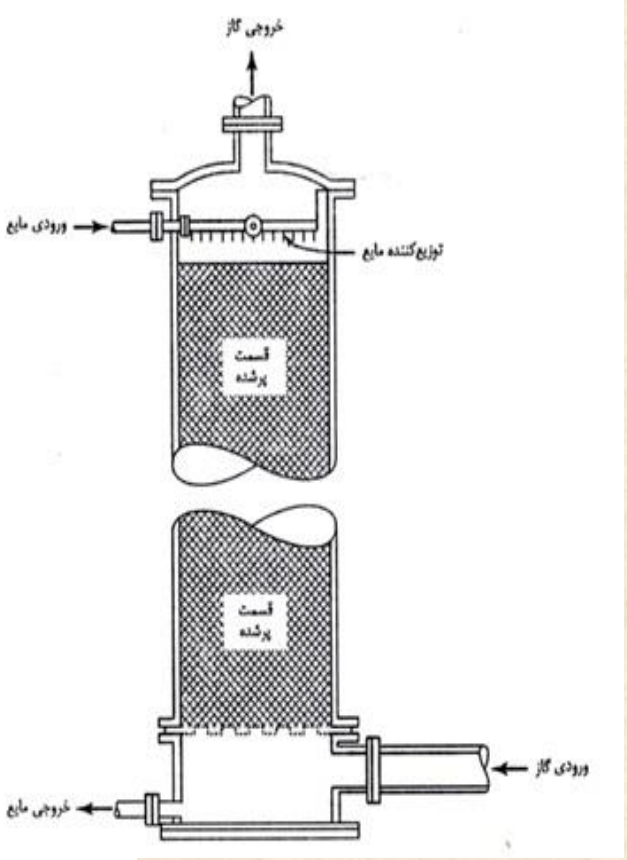
- **فرآیند جذب**

در دستگاههای برج آکنده، مایع و گاز با هم در تماس مداوم هستند. برای ایجاد سطح تماس بیشتر، داخل برج را از پرکنها پر می کنند، آکنه ها به صورت منظم و نامنظم مورد استفاده قرار میگیرند ، آکنه های منظم به کمک دست در برج چیده میشوند و امکان برقراری شدت جریان بیشتر از سیال و افت فشار کمتر از مزیت های آن است ، مایع نیز از بالای برج وارد میشود و در اثر عبور از روی پرکنها سبب ایجاد سطح تماس زیری بین دو فاز می شود .ساختار پرکنها باید طوری باشد که نسبت سطح خارجی آن به حجمی که اشغال می کند بزرگ باشد تا در کمترین حجم، بیشترین سطح تماس را ایجاد کند. به این ترتیب ، مایعی که از بالا وارد می شود با بخاری که به سمت بالا در حرکت است تماس پیدا می کند.

آزمایش شماره سه : برج جذب آکنده

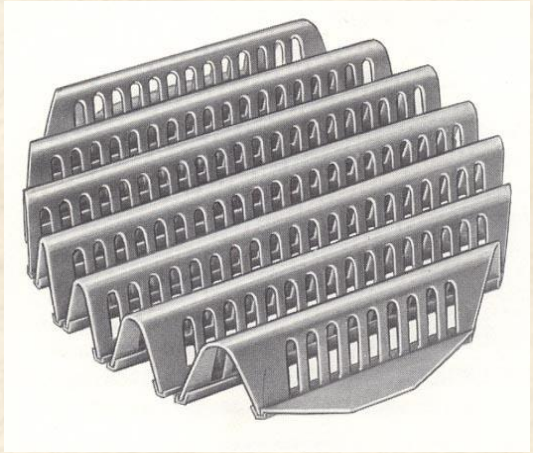
- **جذب**



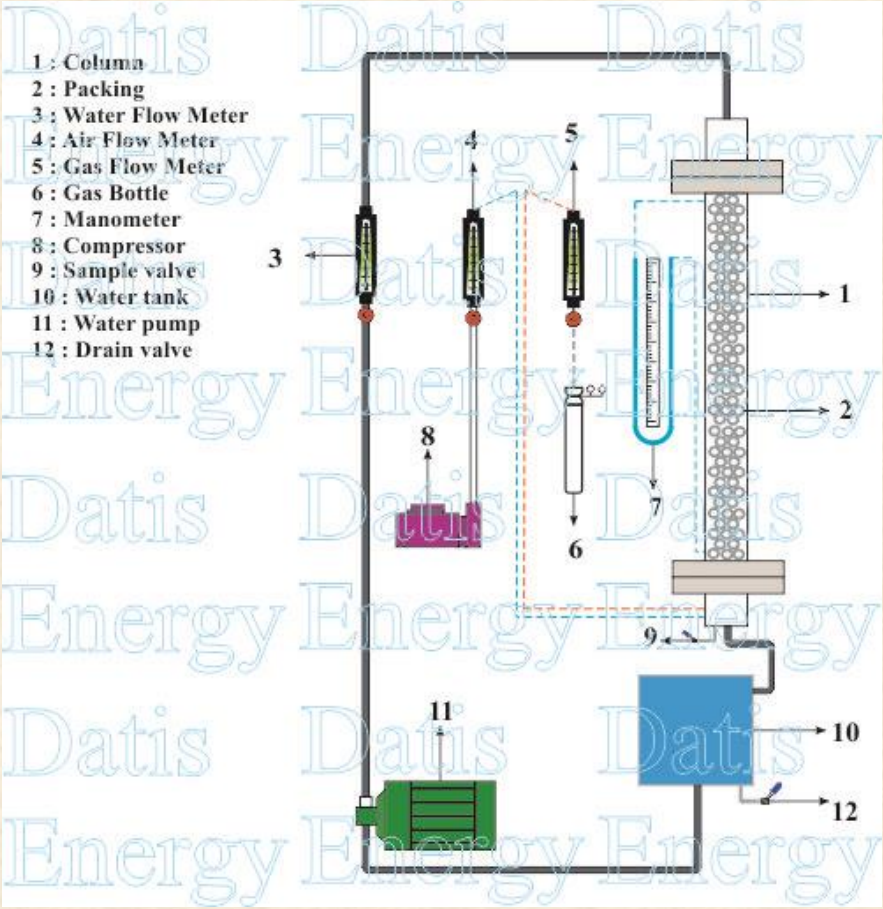


آزمایش شماره سه : برج جذب آکنده

انواع مختلف آکنه (پرکن)



- **آزمایش**



۱- پمپ آب را روشن کنید،و شیر روتامتر آب را به آرامی باز نمایید. شناور روتامتر را به ازای ۱ لیتر آب در ساعت تنظیم کنید.

۲- شیر کمپرسور را باز کرده و سپس شیر روتامتر هوای فشرده را به آرامی باز کنیدو شناور آن را به ازای ۳۰ لیتر بر دقیقه تنظیم نمایید.

- **آزمایش :**

۳- شیرسیلندر گاز دی اکسیدکربن را بازنمایید وبه آرامی طوری تنظیم نمایید نصف جریان هوا باشد.

۴- حدود ۳ الی ۵ دقیقه صبر کنید تا سیستم به حالت پایدار برسد سپس از جریان گاز در مقاطع مختلف برج نمونه برداری کنید.

۵- نمونه برداری وآنالیز جریان گاز ومایع را در چند دبی متفاوت از مایع وگاز انجام دهید و نتایج را در جدولی یادداشت نمایید.

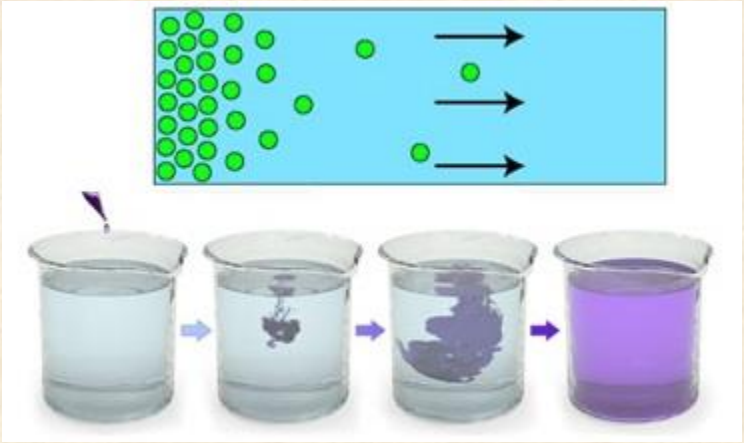
سوالات :

۱. پارامترهای مهم و تاثیرگذار در طراحی یک برج جذب آکنده را نام ببرید.با ذکردلیل
۲. ویژگیهای مناسب یک آکنه (پرکن) را بیان کنید.
۳. پیرامون نقش آکنه ها توضیح دهید .
۴. دلیل افت فشار در برج جذب آکنه چیست . توضیح دهید .

آزمایش شماره چهار

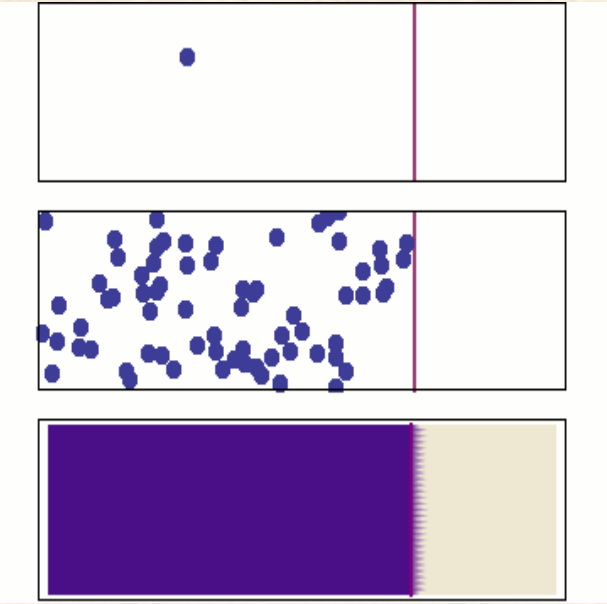
نام آزمایش : سنجش نفوذ مولکولی

هدف آزمایش : اندازه گیری ضریب نفوذ مولکولی استون در هوا



❑ **در این آزمایش :**

✓ ضریب نفود مولکولی استن در هوا D_{AB} را محاسبه میکنیم



قانون اول فیک جریان نفوذ را تحت شرایط ثابت به غلظت مرتبط می‌سازد. فرض بر این است که جریان از یک ناحیه با غلظت بیشتر همراه با یک شیب غلظت متناسب (مشتقات فضایی) به یک ناحیه با غلظت کمتر حرکت می‌کند یا به عبارت ساده‌تر یک حلال در میان شیب غلظت از یک ناحیه با غلظت زیاد به طرف یک ناحیه با غلظت کم حرکت می‌کند. در یک بعد (فضایی) قانون به صورت زیر می‌باشد:

$$J = -D\frac{\partial \phi}{\partial x}$$

شرح آزمایش: در صورتی که ماده A در یک لوله ریخته شود به نحوی که در زمان صفر فاصله سطح مایع از دهانه لوله برابر Z_0 باشد. اگر گاز B به آرامی از دهانه لوله دمیده شود. به علت تبخیر مایع A در گاز B پس از گذشت زمان t فاصله سطح مایع درون لوله تا دهانه لوله به Z_t خواهد رسید.

نهایتاً ضریب نفوذ B,A از رابطه زیر محاسبه میشود:

$$D_{AB} = \frac{RTX_{BM}\rho_M\left(Z_t^2 - Z_0^2\right)}{2P_t\left(X_{A_1} - X_{A_2}\right)^2 t}$$

در لوله آزمایشی که در اختیار داریم تا نزدیکی های لبه آن استون و یا آب و یا الکل و محلولهایی با نسبت حجمی برابر میریزیم به نحوی که زمانی که آن را در جایگاه مخصوص خودش در دستگاه آزمایش قرار دادیم بتوان سطح مایع را مشاهده کرد. در همان لحظه ی اول ارتفاع مایع را تا دهانه لوله اندازه گیری می نماییم و آن را ثبت می کنیم. به محض قرار دادن لوله در جایگاه مخصوص آن دمنده هوا را روشن کرده و آن را در وضعیت ماکزیمم قرار میدهیم و این زمان را زمان صفر در نظر میگیریم.

صبر میکنیم تا سطح مایع استون درون لوله در اثر تبخیر پائین آمده و پس از گذشت مدت زمانی معین مجددا ارتفاع سطح مایع تا دهانه لوله را اندازه گیری کرده و آن را ثبت می کنیم. نهایتاً با استفاده از روابط موجود ضریب نفوذ استون و یا آب و یا الکل و محلولها در هوا محاسبه میشود.

- **نتیجه گیری:**
- ضریب نفوذ مولکولی به دما،چگالی،جرم مولکولی و همچنین فشار بخار مواد بستگی دارد.
- با توجه به فرمول ضریب نفوذ با چگالی و دما نسبت مستقیم،وبا فشار محیط نسبت عکس دارد.
- و نیز هرچه ماده فرارتر باشد،فشار بخار اشباع ان بالاتر بوده و زودتر در محیط نفوذ میکند این روند در
- استون محسوس تر است.

سوالات :

۱. تفاوت ضریب نفوذ در گازها ، مایعات و جامدات را بیان کنید.

۲. دما و فشار چه تاثیری بر نفوذ مولکولی مواد دارند.

۳. در مورد تفاوت نفوذ مولکولی استن در هوا و آب در هوا بحث نمایید .