

# آزمایشگاه عملیات واحد

نام استاد :

سرکار خانم دکتر حاجی محسن

تهیه کننده

امیر حسین استادهاشم

[Ostadhashem.persianblog.ir](http://Ostadhashem.persianblog.ir)

## نام آزمایش: جذب گاز

### هدف آزمایش:

بررسی هیدولیکی یک برج پر شده

### مقدمه:

جذب گاز فرآیندی است که در آن یک مخلوط گاز را در تماس با مایعی قرار می دهند تا یک یا تعداد بیشتری از سازنده های مخلوط گاز را در مایع حل شده و محلولی از آن سازنده ها در مایع حاصل شود. مثلاً گازی را به عنوان محصول جانبی از کوره های کک حاصل می شود ابتدا باید با آب شستشو می دهند تا آمونیاک آن جدا شود و سپس به منظور جداسازی بخارات بنزن و تولوئن، عمل شستشوی گاز را با روغن تکرار می دهند.

### تئوری آزمایش:

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، مایع نیز از بالای برج وارد می شود 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. در جذب گاز، یک بخار انحلال پذیر به کمک مایعی که گاز حل شونده در آن کم و بیش انحلال پذیر است، از مخلوط آن با یک گاز بی اثر جدا می شود. که به عنوان مثال می توان شستشوی آمونیاک را از مخلوط آمونیاک- هوا مثال زد. ماده حل شده را به روش تقطیر از مایع بازیابی می کنند و مایع جذب شده را می توان دور ریخت یا مجدداً استفاده کرد و متعاقباً گاهی این ماده حل شده را ضمن تماس مایع با گاز بی اثر از مایع جدا کرد که چنین عملیاتی را معکوس جذب یا واجذبی می نامند، اما به طور کلی این فرآیند بیشتر جهت بازیابی و یا جداسازی حل شونده ها استفاده می شود، اما تفکیک حل شونده ها از یکدیگر توسط فرآیند تقطیر صورت می گیرد. حال به سراغ دستگاه متداولی که بیشتر در جذب گاز و برخی عملیات دیگر کاربرد فراوان دارد می رویم. برج آکنده مشتمل به یک ستون استوانه ای یا برج است که خود این بخش در برگیرنده: ورودی گاز و فضای توزیع در پائین، ورودی مایع و توزیع

کننده در بالا، خروجی گاز و مایع به ترتیب در بالا و پائین، و توده ای از مواد جامد بی اثر موسوم به آکنه که وزن آنها را یک صفحه تحمل می کند، می باشد.

این برج ها معمولاً با یک جریان ناهمسوی سیال عمل می کنند. در موردی که فاز های مایع و بخار موجود باشند، مایع درون ستون به صورت لایه نازکی بر روی پرکن ها ( Packing ) پخش می شود و به پائین می آید و بخارات از درون فضای بین پرکنها صعود می کنند. بدین طریق سطح برخورد وسیعی برای مایع و بخار فراهم می شود و عملیات انتقال جرم به طور موثر صورت می گیرد.

## **\* انواع برج ها :**

### **– برج های پر شده :**

در برج های انباشته، به جای سینی از تکه ها یا حلقه های انباشتی استفاده میشود. در برج های انباشته حلقه ها یا تکه های انباشته باید به گونه ای انتخاب شوند که دو هدف زیر را عملی کنند:

۱- ایجاد بیشترین سطح تماس میان مایع و بخار ۲- ایجاد فضای مناسب برای گذاشتن سیال از بستر انباشته.

مواد انباشتی باید دارای تمایل ترکیب با سیال درون برج نباشند و نیز باید به اندازه کافی مستحکم باشند تا بر اثر استفاده شکسته نشود و تغییر شکل ندهند

این را هم بدانیم که مواد انباشتی را به ۲ روش درون برج قرار می دهند:

۱- پر کردن منظم : از مزایای این نوع پر کردن، کمتر بودن افت فشار است که در نتیجه حجم بیشتر مایع را از آن گذرانند.

۲- پر کردن نامنظم : از مزایای این نوع پر کردن، میتوان به کم هزینه بودن آن اشاره کرد ولی افت فشار بخار در گذر برج زیاد خواهد بود.

### **– برج های سینی دار :**

بطور کلی فرآیندهایی که در یک برج سینی دار اتفاق می افتد، عمل جداسازی مواد است. در فرآیند تقطیر منبع حرارتی (جوشاننده)، حرارت لازم راجهت انجام عمل تقطیر و تفکیک مواد سازنده یک محلول تأمین می کند. بخار بالا رونده از برج با مایعی که از بالای برج بسمت پایین حرکت می کند، بر روی سینی ها تماس مستقیم پیدا می کنند. این تماس باعث افزایش دمای مایع روی سینی می شود و در نهایت باعث نزدیک شدن دمای مایع به دمای حباب می شود. با رسیدن مایع به دمای حباب به تدریج اولین ذرات بخار حاصل می شود که این بخارات غنی از ماده فرار (ماده ای که از نقطه جوش

کمتر یا فشار بالاتری برخوردار است) می باشد. از طرف دیگر در فاز بخار مواردی که از نقطه جوش کمتری

برخوردار هستند تحت عمل میعان قرار گرفته و بصورت فاز مایع به سمت پایین برج حرکت می کند. مهمترین عملکرد یک برج ایجاد سطح تماس مناسب بین فازهای بخار و مایع است. هرچه سطح تماس افزایش یابد عمل تفکیک با راندمان بالاتری صورت می گیرد.

### **\* مقایسه برج های انباشته با برج های سینی دار:**

در برج های انباشته عموماً افت فشار نسبت به برج های سینی دار کمتر است ولی اگر در مایع ورود برج، ذرات معلق باشد، برج های سینی دار بهتر عمل می کنند. زیرا در برج های انباشته، مواد معلق ته نشین شده و سبب گرفتگی و برهم خوردن جریان مایع می گردد.

اگر برج بیش از حد متوسط باشد، برج سینی دار بهتر است زیرا اگر در برج های انباشته قطر برج زیاد باشد تقسیم مایع در هنگام حرکت از بستر انباشته شده یکنواخت نخواهد بود. در برج های سینی دار میتوان مقداری از محلول را به شکل فرآیندهای کناری از برج بیرون کشید، ولی در برجهای انباشته این کار شدنی نیست. کارهای تعمیراتی در درون برج های سینی دار آسانتر انجام می گیرد. تمیز کردن برج های انباشته، از آنجا که بیش از هر چیز آنها را خالی کرده و بعد آنها را تمیز نماییم، بسیار پرهزینه خواهد بود.

### **\* انواع پرکنها:**

تعداد انواع گونه های پرکنها بیشتر به منظور دستیابی به برخورد موثر بین دو فاز سیالات وجود دارند، این گونه ها معمولاً به دو نوع کلی منظم ( Stacked packing ) و غیر منظم ( Random packing ) طبقه بندی می شوند. منظم بودن یا غیر منظم بودن آنها تنها به داشتن شکل و ساختار هندسی آنها بستگی ندارد، آکنه های غیر منظم در عملیات صنعتی کاربرد فراوان دارند.

موادی که به طور تصادفی و بی قاعده درون برج ریخته می شوند، آنهایی که باید به صورت دستی چیده شود و آنهایی که ساختار یا ترتیب منظمی دارند. بعد اصلی آکنه های ریخته شده ( به صورت غیر منظم ) ۶ تا ۷۵ میلی متر ( ۱/۴ تا ۳/۸ اینچ ) است و از آکنه های کوچکتر عمدتاً در ستونهای آزمایشگاهی یا نیمه صنعتی استفاده می شود.

آکنه های نامنظم از مواد بی اثر ارزان مانند سفال، چینی یا انواع پلاستیکها ساخته می شوند. و گاه از حلقه های فلزی فولادی یا آلومینیومی با دیواره نازک استفاده می شود. با منظم یا تو خالی ساختن واحدهای آکنه می توان، فضای خالی

برای عبور گسترده ی سیالات را فراهم کرد. این آکنه ها پس از درگیر شدن با یکدیگر ساختارهای بازی با تخلخل یا کسر خالی ۶۰ تا ۹۰ درصد را ایجاد می کنند.

آکنه های منظم اولیه از توری های سیمی ساخته می شدند، اما بعدها انواع سوراخ دار موج دار ساخته شدند و صفحات مجاور طوری مرتب شده بودند که مایع به راحتی روی سطح آن پخش می شد، در حالی که بخار از میان مجراهای تشکیل شده توسط موج ها عبور می کرد. زاویه ی مجراها با افق ۴۵ درجه است، جهت این زاویه در صفحات متوالی به صورت یک در میان تغییر می کند. ضخامت هر لایه به چند اینچ می رسد. آکنه های اختصاصی گوناگون از نظر اندازه و آرایش موج ها و کار انجام شده بر روی سطح تفاوت دارند.

برای طراحی یک برج پر شده باید به عوامل مکانیکی نظیر افت فشار، ظرفیت جریان و بار گذاری توجه فراوان نمود، با این مختصر مقدمه ویژگیهای یک پرکن مناسب را بیان می کنیم.

### **\* ویژگی های یک پرکن مناسب :**

۱- ظرفیت بالا: پرکنها باید امکان شدت جریان زیاد بدون ایجاد افت فشار و تجمع مایع در برج را برای سیال فراهم کنند. به علت وجود پدیده ی طغیان با حمل مایع به خارج از برج که توسط بخار می تواند در سرعت های بالاتر از سرعت مجاز سیال صورت پذیرد در ظرفیت های بالا وجود سطح آزاد وسیع ضروری است.

۲- افت فشار کم: به دلیل اینکه افت فشار درون پرکنها تابع مستقیمی از سرعت سیالات است، باید فضای خالی مناسب بین پرکنها ایجاد شود تا فشار را در جهت حداقل افت عبور دهد.

۳- وزن و ماندگاری کم مایع: میزان بارگذاری و وزن ستون استوانه ای، در صورتیکه وزن پرکنها و مایع مانده در برج کم باشد، کم خواهد بود. البته ماندگاری مایع باید مقداری باشد که نیروی محرکه موثری برای انتقال جرم فراهم شود.

۴- بزرگ بودن سطح فعال به ازای واحد حجم: به منظور افزایش کارایی، پرکنها باید سطح برخورد وسیعی را بین دو فاز سیال فراهم کنند. این امر با استفاده از پرکنهایی با شکل های نامنظم، که توزیع گسترده مایع را روی سطحی که در تماس مستقیم با سیال دوم است انجام می دهند، تحقق می یابد.

۵- حجم آزاد و وسیع به ازای واحد حجم کل: این ویژگی زمانی اهمیت می یابد که برای انجام واکنش های شیمیایی در فاز گاز، به مدت زمان خاصی نیاز باشد، مانند اکسیداسیون اسید نیتریک توسط جذب دی اکسید نیتروژن در یک محلول آبی.

۶- سایر عوامل: هزینه پائین، مقاومت بالا در برابر سائیدگی، خوردگی و عمر طولانی و سازگار بودن پرکنها با سطح داخلی برج.



**عوامل اولیه که بر روی افت فشار در برج های پر شده موثر است:**

۱- شدت جریان سیالات. ۲- دانسیته و ویسکوزیته سیالات ۳- اندازه، شکل، جهت گیری و سطح ذرات پرکن.

**\* ماندگی مایع (Liquid Holdup):**

دو نوع ماندگی مایع در برج پر شده تعریف می شود، نوع ایستا (static) و نوع عملیاتی (operating) ماندگی مایع ایستا به حجم مایعی که در واحد حجم بستر پس از متوقف شدن جریان های گاز و مایع و خارج شدن مایع عملیاتی باقی می ماند، گفته می شود. مقدار ماندگی مایع به عواملی چون میزان سطح، زبری سطح و شکل و زوایای پرکن بستگی دارد. از طرفی تماس و اتصال پرکن ها در برج موجب نگه داشتن بخشی از مایع می گردد. ماندگی مایع ایستا معمولاً زیاد نمی شود و اهمیت زیادی ندارد. با این وجود هر چه ماندگی مایع ایستا در یک برج کمتر باشد مطلوب تر است. ماندگی مایع عملیاتی، حجمی از مایع است که در واحد حجم پرکن پس از توقف دبی های مایع و گاز از برج خارج می شود و یا به عبارت دیگر مقدار مایعی است که در حین عملیات در میان بستر نگه داشته می شود. ماندگی مایعی عملیاتی تابعی از شدت جریان مایع می باشد. در زیر ناحیه انباشتگی جریان گاز اثر کمی روی آن دارد. اثر کشش سطحی بطور عملی روی ماندگی مایع برای مایعات با کشش سطحی زیاد مانند آب (  $70 \text{ dyn/cm}$  ) کم می باشد برای مایعات آلی ( با کشش سطحی حدود  $27 \text{ dyn/cm}$  ) در شدت جریان های کم مایع، ماندگی مایع عملیاتی حدود ۱۲ درصد کمتر از آب خواهد بود. این ماندگی مایع برای یک سیستم با کشش سطحی کم ( حدود  $\text{Bdy/cm}$  ) در



شدت جریان های کم مایع، تا ۲۰ درصد نیز کاهش خواهد داشت در شار مایعی حدود  $7 \text{ gpm/ft}^2$  (  $4.75 \text{ lit/m}^2.\text{s}$  ) کشش سطحی روی ماندگی مایع اثری ندارد. البته این اندازه گیری در شرایط اتمسفری بوده و قابل تعمیم به شرایط فشار زیاد نمی باشد. هر چه میزان ماندگی مایع در یک برج کمتر باشد مطلوب تر است زیرا وزن برج کم تر خواهد بود (وزن یک برج ممکن است در اثر ماندگی مایع تا ۲۵ درصد افزایش یابد) تخلیه مایع از برج کمتر زمان می برد و مهم تر اینکه افزایش ماندگی مایع موجب افت شدت فشار می شود. برای مثال در یک برج با نوعی پرکن خاص افزایش ماندگی از ۰.۱ به ۰.۲ (حجم مایع به حجم ستون) می تواند موجب افزایش در افت فشار به میزان ۱۰۰ درصد گردد. تجمع مایع عبارت است از مقدار مایعی که به صورت لایه هایی پرکن را خیس کرده و نیز به صورت حوضچه هایی در لابلای پرکن ها درگیر شده است. تجمع مایع از دو قسمت تجمع مایع ثابت (static) و تجمع مایع متحرک بیان می شوند.

$$\phi_{Lt} = \phi_{Lo} + \phi_{Ls}$$

## \* انباشتگی و طغیان :

شرایط طغیان در ستون های پر شده به صورت نا منظم بستگی به روش پر کردن آنها ( مرطوب یا خشک ) و نیز بستگی به نشست پرکن ها دارد . منحنی ای وجود دارد در صفحه ی ۲۸۸ تریبال که برای اغلب پرکن های نامنظم صادق است . البته اطلاعات اختصاصی تر را از سازندگان این پرکن ها می توان کسب کرد . حدود منحنی انباشتگی را خیلی دقیق نمی توان تعیین کرد . مشخصه محدوده loading این است که اگر دبی مایع به مقداری برسد که بیشتر از hold up دینامیکی می شود که بهترین حالت برای فرآیند جذب می باشد . بالا ترین راندمان در محدوده loading می باشد و یکم پایین تر از آن که اگر دبی مایع را بیشتر کنیم برج به حالت طغیان می رسد .

## شرح دستگاه :

همان طور که در شکل زیر دیده می شود ، در این دستگاه ها مایع و گاز به صورت متقابل و یا همسو در تماس مداوم با یکدیگر قرار می گیرند . برای ایجاد سطح تماس زیاد بین دو فاز ، در این برج ها از قطعات پرکن استفاده می شود . در دستگاه مذکور ، فاز مایع از بالا وارد برج شده و در اثر عبور از روی پرکن ها سبب بوجود آوردن سطح تماس زیادی بین دو فاز می گردد .



## منابع خطا :

- خطای موجود در خود دستگاه
- خطا در تنظیم دبی هوای ورودی
- خطا در تنظیم دبی آب ورودی
- خطای چشم در خواندن ارتفاع آب در لوله U شکل.

## جدول داده های آزمایش :

$$L=0$$

$G(\text{lit/hr})$		$\log G$	$\Delta P(\text{mmHg})$	$\Delta P(\text{Pa})$	$\frac{\Delta P}{Z}$	$\log \frac{\Delta P}{Z}$
$G_1$	۵۰۰	۲/۷۰	۱	۱۳۳/۳۲۲	۱۲۱/۲۰۲	۲/۰۸
$G_2$	۱۰۰۰	۳	۲	۲۶۶/۶۴۴	۲۴۲/۴۰۴	۲/۳۸
$G_3$	۱۵۰۰	۳/۱۸	۲	۲۶۶/۶۴۴	۲۴۲/۴۰۴	۲/۳۸
$G_4$	۲۰۰۰	۳/۳۰	۲	۲۶۶/۶۴۴	۲۴۲/۴۰۴	۲/۳۸
$G_5$	۲۷۰۰	۳/۴۳	۲	۲۶۶/۶۴۴	۲۴۲/۴۰۴	۲/۳۸

$$L=60$$

$G(\text{lit/hr})$		$\log G$	$\Delta P(\text{mmHg})$	$\Delta P(\text{Pa})$	$\frac{\Delta P}{Z}$	$\log \frac{\Delta P}{Z}$
$G_1$	۵۰۰	۲/۷۰	۱	۱۳۳/۳۲۲	۱۲۱/۲۰۲	۲/۰۸
$G_2$	۱۰۰۰	۳	۲	۲۶۶/۶۴۴	۲۴۲/۴۰۴	۲/۳۸
$G_3$	۱۵۰۰	۳/۱۸	۳	۳۹۹/۹۶۷	۳۶۳/۶۰۶	۲/۵۶
$G_4$	۲۰۰۰	۳/۳۰	۶	۷۹۹/۹۳۴	۷۲۷/۲۱۳	۲/۸۶
$G_5$	۲۷۰۰	۳/۴۳	۱۳	۱۷۳۳/۱۹۰	۱۵۷۵/۶۲۷	۳/۲۰



$$L=8.$$

$G(\text{lit/hr})$		$\log G$	$\Delta P(\text{mmHg})$	$\Delta P(\text{Pa})$	$\frac{\Delta P}{Z}$	$\log \frac{\Delta P}{Z}$
$G_1$	500	2/70	1	133/322	121/202	2/08
$G_2$	1000	3	5	666/611	606/01	2/78
$G_3$	1500	3/18	6	799/934	727/213	2/86
$G_4$	2000	3/30	8	1066/579	969/617	2/99
$G_5$	2700	3/43	11	1466/546	1333/224	3/12

$$L=12.$$

$G(\text{lit/hr})$		$\log G$	$\Delta P(\text{mmHg})$	$\Delta P(\text{Pa})$	$\frac{\Delta P}{Z}$	$\log \frac{\Delta P}{Z}$
$G_1$	500	2/70	2	266/644	242/404	2/38
$G_2$	1000	3	4	533/289	484/808	2/68
$G_3$	1500	3/18	8	1066/579	969/617	2/99
$G_4$	2000	3/30	12	1599/868	1454/422	3/16
$G_5$	2500	3/40	17	2266/480	2060/436	3/31

$$L=14.$$

$G(\text{lit/hr})$		$\log G$	$\Delta P(\text{mmHg})$	$\Delta P(\text{Pa})$	$\frac{\Delta P}{Z}$	$\log \frac{\Delta P}{Z}$
$G_1$	500	2/70	2	266/644	242/404	2/38
$G_2$	1000	3	8	1066/579	969/617	2/99
$G_3$	1500	3/18	10	1333/223	1212/021	3/08
$G_4$	2000	3/30	17	2266/480	2060/436	3/31
$G_5$	2500	3/40	19	2533/125	2302/841	3/36

( به علت سادگی محاسبات فقط نمونه ای از آن در این قسمت آورده شده است )

\* تبدیل واحد فشار از میلی متر جیوه به پاسکال :

$$\Delta P(mmHg): 1 mmHg \times \frac{133/322 Pa}{1 mmHg} = 133/322 Pa$$

$$\Delta P(mmHg): 19 mmHg \times \frac{133/322 Pa}{1 mmHg} = 2533/125 Pa$$

\* محاسبه باز های نمودار :

$$Z = 1/1 m$$

$$\frac{\Delta P}{Z} = \frac{133/322}{1/1} = 121/2.2 \frac{Pa}{m}$$

$$\frac{\Delta P}{Z} = \frac{2533/125}{1/1} = 23.2/841 \frac{Pa}{m}$$

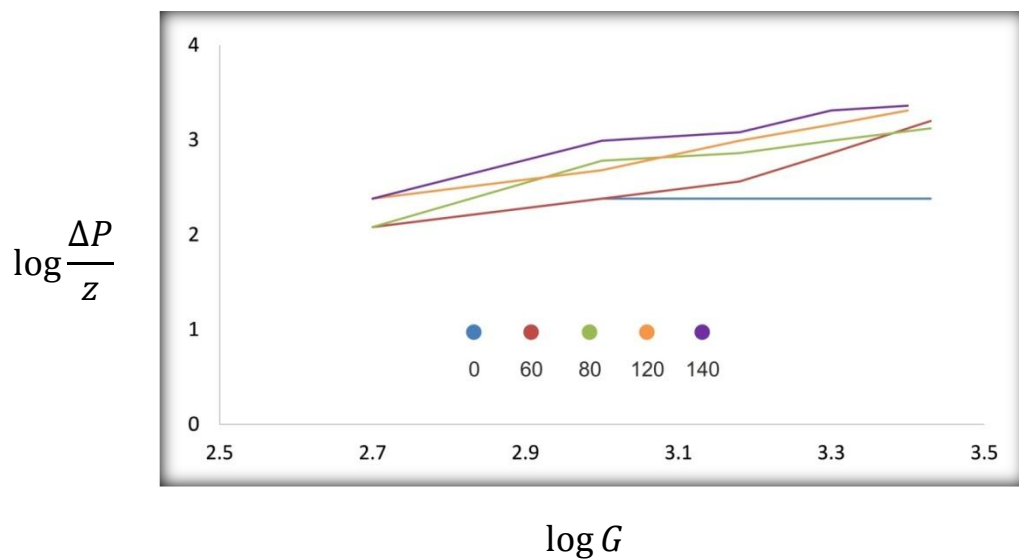
$$\log \frac{\Delta P}{Z} = \log 121/2.2 = 2/0.8$$

$$\log \frac{\Delta P}{Z} = \log 23.2/841 = 3/36$$

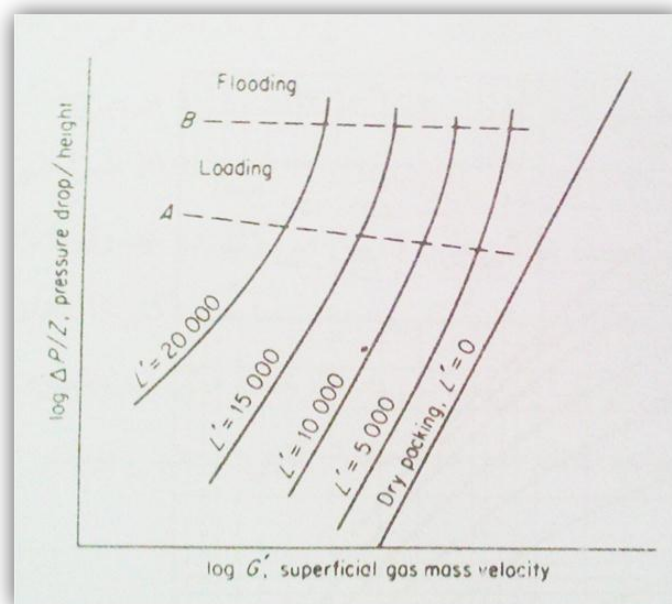
$$\log G = \log 500 = 2/70$$

$$\log G = \log 2500 = 3/40$$

## نمودار بدست آمده از جداول داده ها:



## تحلیل نمودار:



یک نمونه از نمودار افت فشار گاز در جریان متقابل گاز و مایع در ستون های پر شده به صورت نامنظم

برای اغلب پرکن های نامنظم ، افت فشار گاز در برج بستگی به شدت جریان مایع و گاز مطابق شکل بالا خواهد داشت . شیب خط مربوط به پرکن های خشک معمولاً بین ۱/۸ الی ۲ می باشد ، که نشان دهنده ی جریان متلاطم در غالب موارد عملی است . در یک سرعت معین گاز ، افت فشار گاز با افزایش شدت مایع ، بالا می رود زیرا که حضور مقدار بیشتری از مایع سطح مقطع لازم برای عبور گاز را کاهش می دهد . در قسمت زیر منطقه A در شکل بالا فاز مایع محبوس بین پرکن های ( liquid holdup ) یعنی مقدار مایعی که در بستر پر شده حضور دارد ، با تغییر سرعت گاز تقریباً ثابت می ماند ، در حالی که مقدار آن با افزایش شدت مایع زیاد می شود . در منطقه بین A و B مقدار مایع محبوس با افزایش شدت گاز به تندی افزایش پیدا می کند ، سطح آزاد حرکت گاز در این حالت کوچک می شود و افت فشار

به شدت بالا می رود این پدیده به نام انباشتگی ( loading ) شناخته شده است . اگر به ازای شدت معینی از فاز مایع ، شدت گاز افزایش یابد ( B ) چندین تغییر ممکن است پدید آید . (۱) در قسمت فوقانی ستون ، لایه ای از مایع که حباب های گاز از درون آن می گذرند ، ظاهر شود . (۲) مایع ممکن است از انتهای ستون و یا از هر مانع میانی دیگر نیز نگاهدارنده ی پرکن ها شروع و برج را پر کند بنحوی که وضعیت فاز ها تغییر کرده و از حالتی که گاز ، فاز مداوم و فاز مایع ، فاز پراکنده شده را تشکیل دهد ، برسد ( inversion ) و یا (۳) ممکن است لایه هایی از کف به سرعت از درون پرکن ها خارج و به سمت بالا صعود کند . در این حال ماندگی قطرات مایع در فاز گاز با سرعت بسیار زیادی افزایش یافته و برج به وضعیت طغیان می رسد . تغییرات شرایط مناطق A و B مربوط به شکل بالا تدریجی بوده و مراحل اولیه انباشتگی و طغیان بیشتر توسط تغییرات شیب منحنی های افت فشار تشخیص داده می شود در عمل نمی توان برج ها را در حالت طغیان بکار برد و معمولاً عملکرد صحیح برج زیر منحنی انباشتگی و یا در حوالی آن است .

### نتیجه :

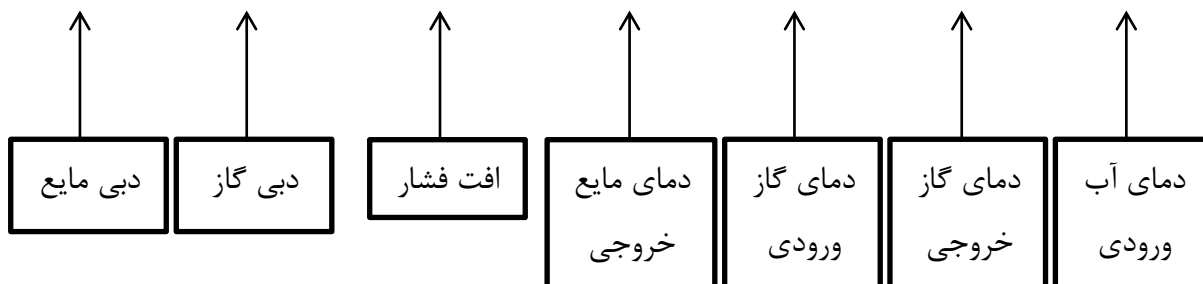
با افزایش جریان هوا در دبی معین آب ، افت فشار افزایش می یابد. همچنین در جریان هوای ثابت ، با افزایش دبی آب افت فشار افزایش می یابد .

### طراحی قطر برج های پرشده

در این قسمت فقط به محاسبه قطر برج می پردازیم و از توضیح درباره انواع برج و تجهیزات مرتبط به آن صرف نظر کرده و به مطالب گفته شده در قسمت قبل اکتفا می کنیم .

### داده های گرفته شده از دستگاه :

$P$ گاز ورودی	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_4$	$\frac{\Delta P}{z} (\frac{Pa}{m})$	$G (\frac{lit}{hr})$	$L (\frac{lit}{hr})$
۳ mmHg	۱۵.۷	۱۷.۵	۱۷.۱	۱۵.۹	۲ mmHg	۵۰۰	۶۰



### محاسبات :

خواص آب (مایع اشباع)

استفاده از جداول کتاب هولمن

$$@ T = 15.7^{\circ}C \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \rho_L = 998.6 \frac{kg}{m^3} \\ \mu_L = 1.12 \times 10^{-3} \frac{kg}{m.s} \end{array} \right\}$$

$$PV = nRT \rightarrow PV = \frac{m}{M} RT \rightarrow \rho_G = \frac{PM}{RT}$$

$$\rho_G = \frac{101724.967 (Pa) \times 29 (\frac{kg}{kmol})}{8314 (\frac{m^3 Pa}{kmol^{\circ}K}) \times 290.65 (^{\circ}K)} \rightarrow \rho_G = 1.22 \frac{kg}{m^3}$$



$$P = 3(mmHg) + 760(mmHg) = 763 mmHg = 101724.967 Pa$$

تبدیل دبی حجمی به دبی جرمی برای (L) :

$$60 \frac{lit}{hr} \times \frac{998.6 kg}{1 m^3} \times \frac{0.001 m^3}{1 lit} \times \frac{1 hr}{3600 s} = 1.66 \times 10^{-2} \frac{kg}{s}$$

تبدیل دبی حجمی به دبی جرمی برای (G) :

$$500 \frac{lit}{hr} \times \frac{480 kg}{1 m^3} \times \frac{0.001 m^3}{1 lit} \times \frac{1 hr}{3600 s} = 6.67 \times 10^{-4} \frac{kg}{s}$$

$$\frac{L'}{G'} \sqrt{\frac{\rho_G}{\rho_L - \rho_G}} = \frac{1.66 \times 10^{-2}}{6.67 \times 10^{-4}} \sqrt{\frac{1.22}{(998.6 - 1.22)}} = 0.87$$

استفاده از نمودار :

$$0.015 = \frac{G'^2 C_f \mu_L^{0.1}}{\rho_G (\rho_L - \rho_G)} \rightarrow G'^2 = \frac{0.015 \times 1216.80}{1000 (0.0012)^{0.1}} = 0.36$$

$$\rightarrow G' = 0.19$$

$$G' = \frac{G}{A} \rightarrow A = \frac{6.67 \times 10^{-4}}{0.19} = 0.0035$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \rightarrow \frac{\pi D^2}{4} = 0.0035 \rightarrow D = 6.7 cm$$

## آشنایی با فرآیند تقطیر

### هدف آزمایش :

آشنایی با دستگاه و فرآیند تقطیر

### مقدمه :

روشهای مختلفی برای جداسازی مواد اجزای سازنده یک محلول وجود دارد که یکی از این روشها فرایند تقطیر می باشد در روش تقطیر جدا کردن اجزاء یک مخلوط ، از روی اختلاف نقطه جوش آنها انجام می گیرد. تقطیر ، در واقع ، جداسازی فیزیکی برشهای نفتی است که اساس آن ، اختلاف در نقطه جوش هیدروکربنهای مختلف است. هر چه هیدروکربن سنگین تر باشد، نقطه جوش آن زیاد است و هر چه هیدروکربن سبکتر باشد، زودتر خارج می شود.

تقطیر در عمل به دو روش زیر انجام می گیرد. روش اول شامل تولید بخار از طریق جوشاندن یک مخلوط مایع ، سپس میعان بخار ، بدون اینکه هیچ مایعی مجدداً به محفظه تقطیر بازگردد. در نتیجه هیچ مایع برگشتی وجود ندارد. در روش دوم قسمتی از بخار مایع شده به دستگاه تقطیر باز می گردد و به صورتی که این مایع برگشتی در مجاورت بخاری که به طرف مبرد می رود قرار می گیرد. هر کدام از این روشها می توانند پیوسته یا ناپیوسته باشند.

تقطیر، معمولترین روشی است که برای تخلیص مایعات به کار می رود. در این عمل مایع را به کمک حرارت تبخیر می کنند و بخار مربوطه را در ظرف جداگانه ای متراکم می کنند و محصول تقطیر را بدست می آورند. چنانچه ناخالصیهای موجود در مایع اولیه فرار نباشند، در باقی مانده تقطیر به جا می ماند و تقطیر ساده جسم را خالص می کند. در صورتی که ناخالصیها فرار باشند، تقطیر جزء به جزء مورد احتیاج خواهد بود.

### تئوری آزمایش :

#### \* پدیده های به وجود آمده در برج های سینی دار :

بروز پدیده هایی که در زیر آورده شده است سبب کاهش راندمان یک برج سینی دار خواهد شد:

#### (۱) ماندگی ( *Entrainment* ):

سرعت بالای گاز سبب می شود تا قطرات ریزی از مایع به طرف سینی بالا حرکت

کنند که در نتیجه این عمل کاهش اختلاف غلظت ( عامل اصلی انتقال جرم ) و در نهایت کاهش راندمان سینی خواهد بود

## ۲) پدیده طغیان ( Flooding ) :

در اثر افزایش شدت گاز افت فشار افزایش یافته و سطح مایع در محل ریزش باز هم بالاتر خواهد رفت ، تا همسطح مایع موجود در سینی بالایی گردد ، اگر باز هم شدت گاز افزایش یابد ، مایع از بالای برج خارج می شود.

## ۳) پدیده انسداد ( Priming ) :

در این حالت در اثر سرعت زیاد گاز کفی پایدار در فضای بین صفحات ایجاد شده و مقدار زیادی از مایع توسط گاز از یک سینی به سینی دیگر حمل می شود .

## ۴) Coning :

اگر شدت مایع بسیار کم باشد ، گازی که از درون منافذ صفحه به بالا می رود ، مایع را نیز با خود به سمت بالا خواهد کشید .

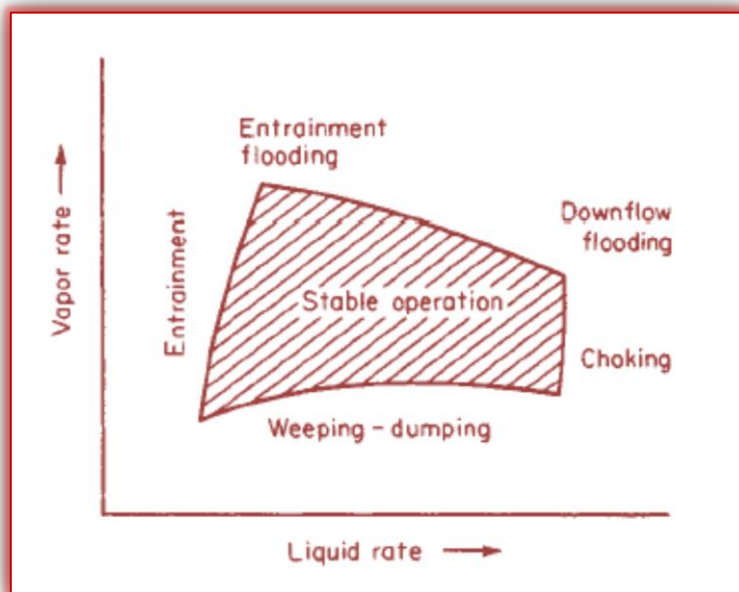
## ۵) Weeping :

در صورتی که شدت گاز خیلی کم باشد، قسمت اعظم مایع از منافذ به سمت پائین می بارد.

## ۶) Dumping :

در صورتیکه شدت گاز فوق العاده کم باشد، تمام مایع از منافذ به سمت پائین خواهد ریخت و اصولاً

مایعی به محل ریزش نمی رسد.



## \* آزنوتروپ :

یک آزنوتروپ مخلوطی از ۲ یا چند مایع با ترکیب درصد معینی است که تقطیر معمولی هیچ تاثیری روی این مخلوط ندارد. این بدان معنا است که وقتی یک آزنوتروپ را تبخیر میکنیم ترکیب درصد مواد تشکیل دهنده ی آن در فاز بخار و مایع هیچ فرقی با هم نمی کنند. مشاهده ی این امر این فکر را در ما ایجاد میکند که گویی ما یک مایع خالص را تبخیر کرده ایم اما اینگونه نیست. به دلیل اینکه ترکیب درصد آزنوتروپ ها با تقطیر هیچ تغییری نمیکند به آزنوتروپ ها (مخصوصاً در نوشته های قدیمی) مخلوط های ثابت با جوشاندن نیز می گویند. کلمه ی آزنوتروپ ریشه ی یونانی

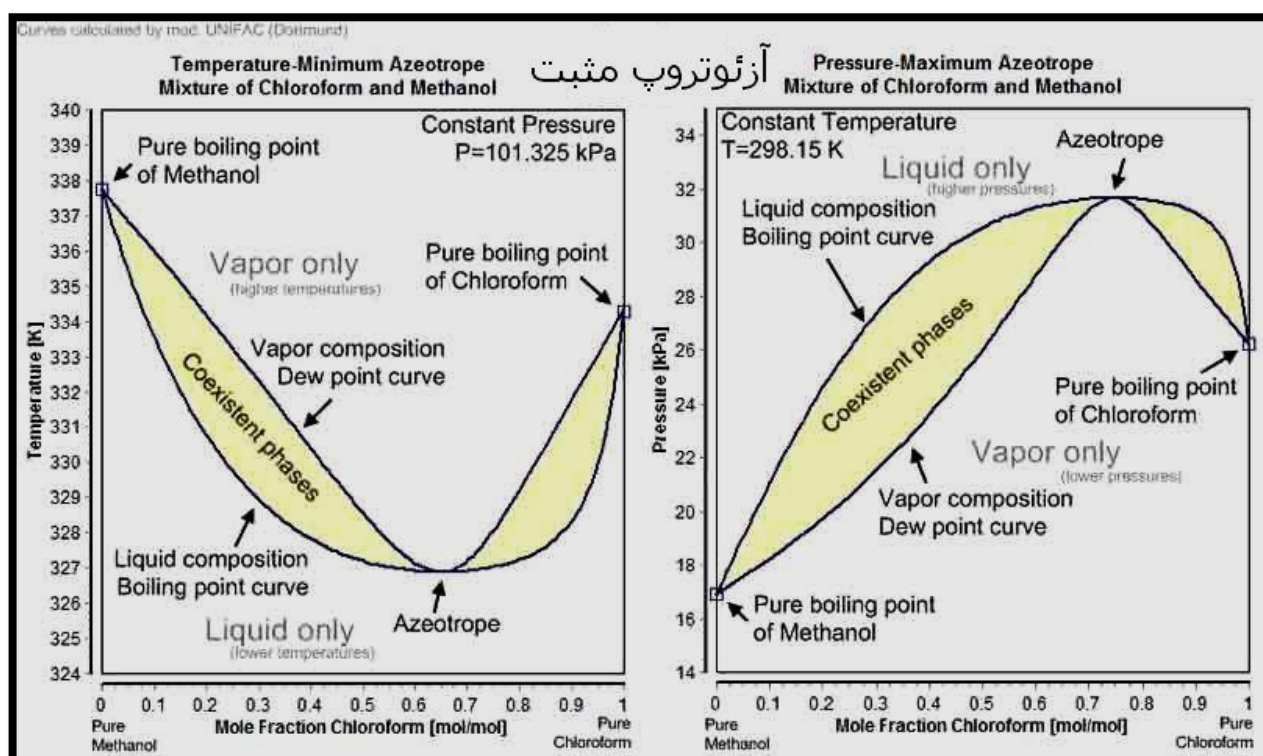
داشته و به معنای نامتغیر در حال جوشیدن می باشد. آزنوتروپ های شامل ۲ ترکیب طبقه بندی شده اند و آزنوتروپ های شامل ۳ ترکیب یا بیشتر نیز شناخته شده اند.

## انواع آزنوتروپ ها:

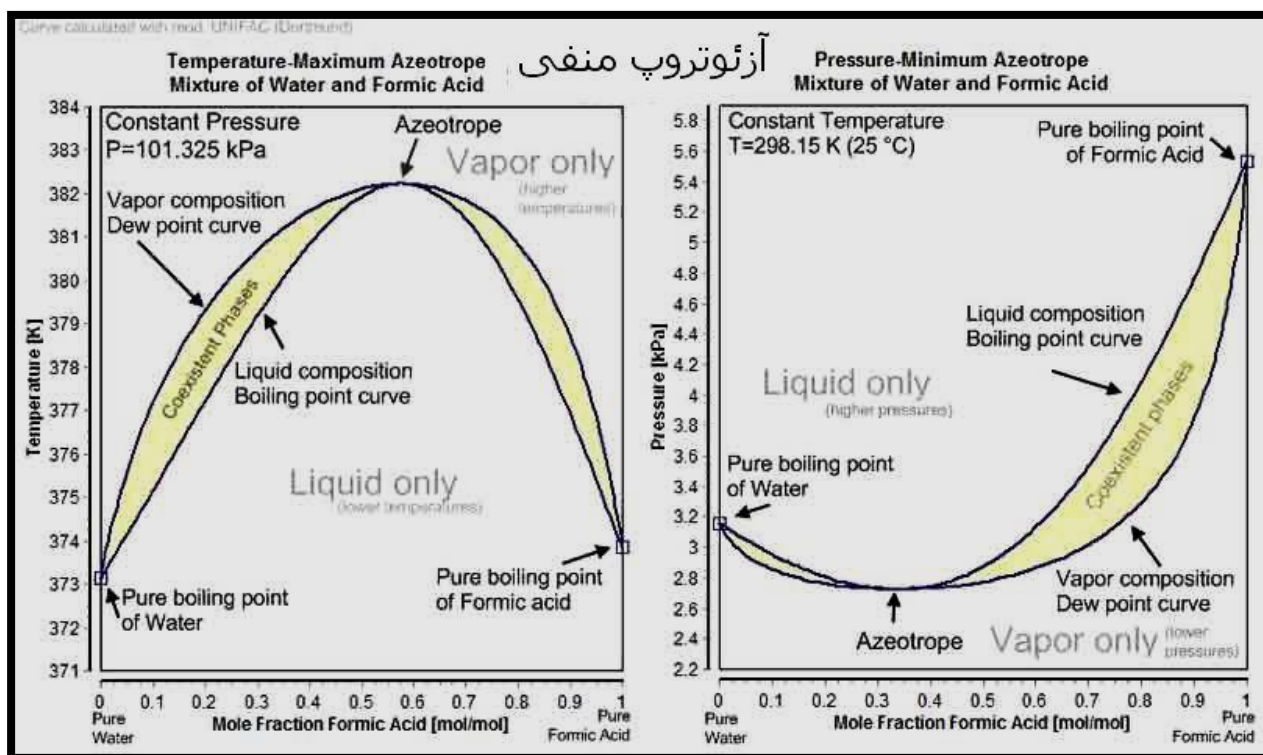
### آزنوتروپ مثبت و منفی:

هر آزنوتروپ یک نقطه ی جوش مختص به خود دارد. دمای نقطه ی جوش یک آزنوتروپ هم میتواند پایین تر از دمای نقطه ی جوش هر کدام از ترکیبات سازنده اش باشد (آزنوتروپ مثبت) و هم میتواند بالاتر از دمای نقطه ی جوش هر کدام از ترکیبات سازنده اش باشد (آزنوتروپ منفی).

یک مثال شناخته شده از آزنوتروپ های مثبت، مخلوط ۹۵.۶۳٪ اتانول و ۴.۳۷٪ آب (با معیار وزن) می باشد. اتانول در دمای ۷۸.۴ درجه ی سانتی گراد و آب در دمای ۱۰۰ درجه ی سانتی گراد به جوش می آید ولی آزنوتروپ حاصل از اختلاط این ۲ ترکیب در دمای ۷۸.۲ درجه ی سانتی گراد به جوش می آید که از دمای جوش هر دو ترکیب سازنده اش کمتر است. در اصل دمای ۷۸.۲ درجه ی سانتی گراد پایین ترین دمایی است که در آن هر محلولی از اتانول و آب در فشار ۱ اتمسفر به جوش می آید. در کل یک آزنوتروپ مثبت در دمایی پایین تر از دمای جوش مخلوط های هممنوع خودش با ترکیب درصد متفاوت به جوش می آید. به آزنوتروپ مثبت مخلوط با حداقل جوشش یا آزنوتروپ های با حداکثر فشار) منظور همان فشار بخار است) نیز می گویند.



یک مثال برای آزنوتروپ های منفی هیدروکلریک اسید با ترکیب درصد ۲۰.۲٪ به ۷۹.۸٪ آب (با معیار وزن) می باشد. هیدروژن کلرید در دمای ۸۴ درجه سانتی گراد و آب در دمای ۱۰۰ درجه ی سانتی گراد به جوش می آید ولی آزنوتروپ متشکل از این دو در دمای ۱۱۰ درجه ی سانتی گراد به جوش می آید که از دمای جوش هر دو ترکیب سازنده اش بالاتر است. در کل یک آزنوتروپ منفی در دمایی بالاتر از دمای جوش مخلوط های هممنوع خودش با ترکیب درصد متفاوت به جوش می آید. به آزنوتروپ های منفی مخلوط های با حداکثر جوشش یا آزنوتروپ های با حداقل فشار می گویند.



### آزنوتروپ همگن و ناهمگن:

اگر مواد سازنده ی یک مخلوط به طور کامل امتزاج پذیر نباشند یک مخلوط آزنوتروپ در مرز بین فازهای مواد ما وجود خواهد داشت که به این نوع آزنوتروپ، آزنوتروپ ناهمگن می گویند. اگر مواد سازنده ی مخلوط به طور کامل امتزاج پذیر باشند نوع آزنوتروپ، آزنوتروپ همگن نامیده می شود.

### تعداد ترکیبات سازنده:

آزنوتروپ های ساخته شده از ۲ ترکیب مانند ۲ مثال بالا، آزنوتروپ های دوتایی نامیده میشوند. آن هایی که از ۳ ترکیب ساخته شده اند آزنوتروپ های سه تایی نامیده می شوند. آزنوتروپ های ساخته شده از بیش از ۳ ترکیب نیز به همین شکل وجود دارند.



## زئوتروپی:

مجموع موادی که وقتی با هر نسبتی مخلوط شوند تشکیل آزنوتروپ نمی دهند را مواد دارای خصلت زئوتروپی می گوئیم.

## تقطیر مخلوط ها:

اگر ۲ ماده بتوانند تشکیل یک آزنوتروپ مثبت دهند آنگاه تقطیر هر مخلوطی از آن ۲ ترکیب باعث می شود که فراورده تقطیر در درصد اجزای سازنده نسبت به مخلوط اولیه به آزنوتروپ نزدیک تر شود. به بیان ساده تر تقطیر یک مخلوط تا جایی پیش می رود که آن مخلوط تبدیل به یک آزنوتروپ شود و دیگر خالص سازی نمی شود و از آن به بعد فقط فرایند تبخیر آزنوتروپ انجام میشود. برای مثال اگر یک مخلوط با نسبت ۵۰/۵۰ از اتانول و آب یک بار تقطیر شود، فراورده تقطیر ۸۰٪ اتانول و ۲۰٪ آب خواهد بود که نسبت به مخلوط اولیه به مخلوط آزنوتروپیک نزدیک تر است. تقطیر مخلوطی با نسبت ۸۰/۲۰ تولید فراورده تقطیر با ۸۷٪ اتانول و ۱۳٪ آب می کند. تقطیرهای متوالی بیشتر تولید مخلوط هایی می کند که به سمت درصد آزنوتروپیک ۹۵.۵/۴.۵٪ پیش می روند. هر تعداد تقطیر که انجام شود هرگز باعث نمی شود که ترکیب در صد مخلوط از درصد آزنوتروپیک تجاوز کند. از طرف دیگر اگر ترکیب درصد اتانول در مخلوط اولیه بیشتر از درصد آزنوتروپیک باشد تقطیر به میزانی اتانول از مخلوط خارج می کند تا ترکیب درصد مخلوط به درصد آزنوتروپیک نزدیک شود ولی این بار درصد اتانول از بالا به درصد آزنوتروپیک نزدیک میشود.



اگر دو ماده بتوانند یک آزنوتروپ منفی ایجاد کنند، آنگاه تقطیر هر مخلوطی از آن ترکیبات باعث میشود تا باقی مانده مخلوط، در درصد ترکیبات نسبت به مخلوط اولیه به آزنوتروپ نزدیک تر شود. برای مثال اگر محلول هیدروکلریک اسید شامل کمتر از ۲۰.۲٪ هیدروژن کلرید باشد، جوشاندن مخلوط یک محلول باقی میگذارد که نسبت به محلول اولیه درصد هیدروژن کلرید بیشتری دارد. اگر محلول در ابتدا بیش از ۲۰.۲٪ هیدروژن کلرید داشته باشد، آنگاه جوشاندن آن یک محلول باقی میگذارد که نسبت به محلول اولیه درصد هیدروژن کلرید کمتری دارد. جوشاندن هر محلولی از هیدروکلریک اسید به اندازه ی کافی سبب می شود که محلولی باقی بماند که به درصد آزنوتروپیک نزدیک است.

## شرح دستگاه و پنل کنترل :

برج تقطیر یک برج شیشه ای است که درون آن ۱۰ سینی قرار دارد ک سینی ها از پایین به بالا شماره گذاری شده است. تمام بخش ها که قابل کنترل هستند برروی پنل می باشد با استفاده از پنل دبی ها و دما ها قابل کنترل و خواندن هستند.

خوراک اولیه که اب و آتانول است در داخل مخزنی می ریزیم . مخزن شامل شیر می است که ان را باز میکنیم . پمپ رفت و برگشتی وجود دارد که خوراک را از مخزن مکش می کند.

پمپ های رفت و برگشتی یک محفظه ای دارند که یک پیستون داخل سیلندر کشیده می شود و خلا ایجاد میکند و مایع را درون محفظه می کشد سپس پیستون به جای خود برمی گردد یعنی مایع را به بیرون هل می دهد آن را درون preheater یا پیش گرم کن ، می ریزد که در preheater یک المنت حرارتی درونش نصب شده که خوراک به داخل برج روی سینی ۵ ریخته می شود و خوراک جریان مایع را برقرار می کند.

پایین برج یک ریبویلر قرار دارد از طریق پنل روشن می شود . داخل ریبویلر حرارت دادن اتفاق می افتد و فاز بخار تشکیل می شود . بخار از پایین به سمت بالا حرکت می کند و در تماس با مایع انتقال جرم صورت می گیرد . در نهایت بخار وارد کندانسور بالای برج می شود و میعان محصول برج که به صورت بخار است اتفاق می افتد.

یک شیر برقی وجود دارد که از طریق پنل کنترل می شود و میزان جریان برگشتی به برج (reflux) را تعیین می کند. کندانسور با استفاده از آب خنک کاری انجام می دهد . یک روتامتر وجود دارد که شیر روتامتر را در هر دبی که بخواهیم تنظیم می کنیم . دو دماسنج وجود دارد که آب ورودی و خروجی از کندانسور بالا را اندازه گیری می کند و روی پنل نمایش می دهد . آب خروجی از کندانسور اول وارد کندانسور دیگری می شود .

محصول پایین برج که غنی از جزء غیر فرارتر است با استفاده از یک شیر برقی وارد کندانسور دوم می شود ، محصول پایین برج کمی خنک شده و داخل بالن ریخته می شود.

کندانسوری که نقش مهم را دارد، کندانسور بالای برج است که محصول بالا را میعان می کند و بقیه کندانسور ها نقش خنک کاری دارند. روی سینی های ۸،۶، ۱۰، ۵، ۳، ۱ شش سنسور دما وجود دارد ، یک سنسور دما روی خوراک داریم ، یک سنسور دما روی head، یک سنسور داخل reboiler که دمای residual اندازه گیری می کند و یک سنسور دما درون

preheater داریم که دمای خوراک پیش گرم شده را اندازه گیری می کند. دمای reboiler و preheater قابل کنترل کردن است.

۳ کلید ON روی جعبه ۱ داریم که برای المنت های حرارتی می باشد که متعلق به preheater و دو کلید دیگر برای المنت های reboiler هستند.

۴ شیر برقی وجود دارد که روی پنل، شماره شیر برقی مشخص شده است :

(EV۵) شیر برقی در سر راه کندانسور است که شیر آن را باز می کنیم تا جریان برقرار شود .

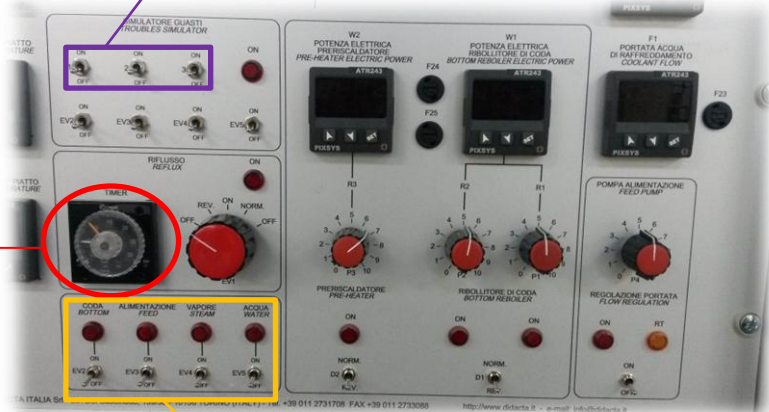
(EV۴) اگر reboiler نداشتیم سیستم open steam بود این شیر کاربرد داشت و مستقیم بخار وارد سیستم می شد .

(EV۳) شیر مربوط به پمپ خوراک است که خوراک را وارد برج می کند

(EV۲) خروجی محصول پایین برج است که اگر باز کنیم محتوای ریبویلر اول وارد کندانسور و خنک می شود و بعد از آن داخل بالن خالی می گردد و یک شیر برقی reflux را تنظیم می کند .

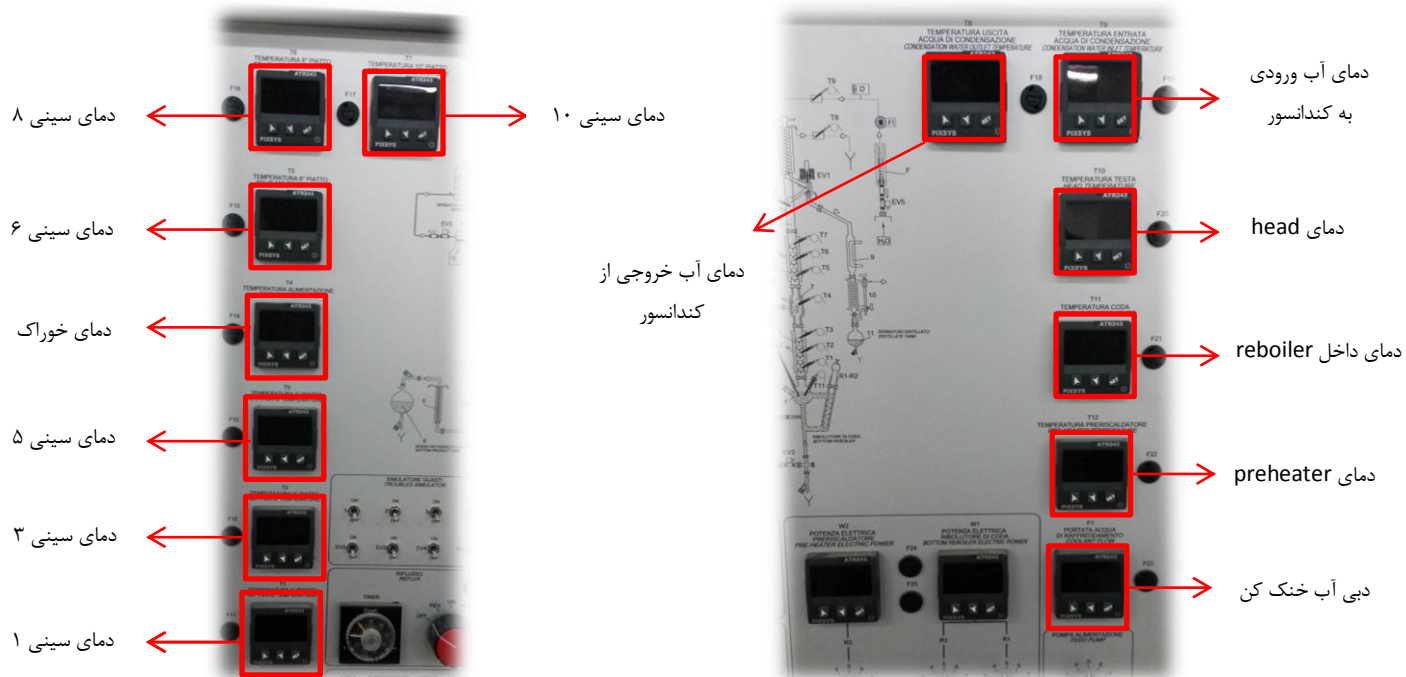
دو ولوم وجود دارد که تعیین می کند چه مقدار زمان reflux انجام شود و چه مقدار محصول خارج شود که بروی نرمال قرار می گیرد. اگر بروی on باشد همه محصول خارج می شود و اگر بروی off باشد به صورت total reflux عمل می کند .

المنت حرارتی



ولوم زمان  
Reflux

شیرهای برقی

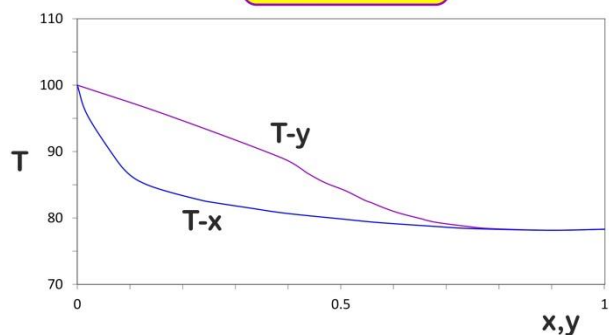


## نمودارهای تعادلی آب و اتانول :

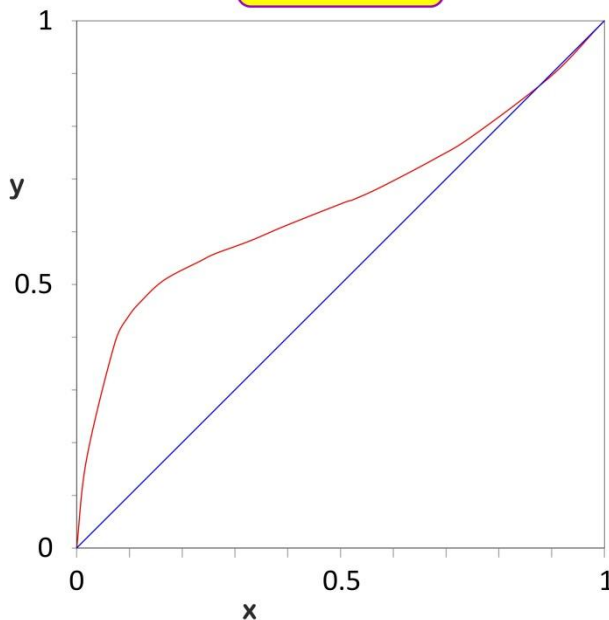
اطلاعات تعادلی آب و اتانل در فشار ۱ bar به صورت زیر می باشد .

$x_{Eth}$	$x_W$	$y_{Eth}$	$y_W$	$T (^{\circ}C)$
0	1.0	0	1.0	100
0.019	0.981	0.170	0.830	95.5
0.0721	0.9279	0.3891	0.6109	89.0
0.0966	0.9034	0.4375	0.5625	86.7
0.1238	0.8762	0.4704	0.5296	85.3
0.1661	0.8339	0.5089	0.4911	84.1
0.2337	0.7663	0.5445	0.4555	82.7
0.2608	0.7392	0.5580	0.4420	82.3
0.3273	0.6727	0.5826	0.4174	81.5
0.3965	0.6035	0.6122	0.3878	80.7
0.5198	0.4802	0.6599	0.3401	79.7
0.5732	0.4268	0.6841	0.3159	79.3
0.6763	0.3237	0.7385	0.2615	78.74
0.7472	0.2528	0.7815	0.2185	78.41
0.8943	0.1057	0.8943	0.1057	78.15
1.00	0	1.00	0	78.30

T-xy Diagram



VLE Diagram



**نام آزمایش ها :**

برج خنک کن

**هدف آزمایش :**

بررسی عملکرد برج خنک کن

**تئوری آزمایش :**

**\* عموماً برجهای خنک کننده (cooling tower) را به سه گروه تقسیم می کنند:**

۱- برجهای خنک کننده مرطوب

۲- برجهای خنک کننده مرطوب - خشک

۳- برجهای خنک کننده خشک

در برجهای خنک کننده مرطوب، آب نقش اصلی و اساسی را داشته و هدف نیز همان خنک کردن آب است. این نوع دستگاهها که خود به چند گروه و دسته تقسیم می شوند در صنعت دارای کاربرد فراوانی است.

از برجهای خنک کننده خشک بیشتر در مکانهای که آب کافی برای خنک کردن برج وجود ندارد استفاده می شود. عمل خنک کردن آب را نیز میتوان از برجهای سینی دار بصورت مرحله ای انجام داد. ولی عملاً بعلت وجود هزینه های زیاد ساخت، نگهداری و کنترل سیستم این روش، معمول نمی باشد.

برای انجام عملیات خنک سازی آب می توان از برجهای آکنده و سینی دار استفاده نمود. با وجود این در مواردی که فازهای مورد نظر آب و هوا با شند بعلت فراوانی و ارزان بودن فازهای فوق بدلایلی که در صفحه قبل ذکر شد از دستگاههای دیگری استفاده می گردد که ساختن و نگهداری آنها مستلزم هزینه های زیادی نمی باشد. از این جهت بیشتر دستگاههایی که در مقیاس صنعتی بکار می رود ساختمان و خصوصیات بسیار عمده ای را دارا است که اینک به انواع مختلف این دستگاهها اشاره می شود.

**\* برج خنک کننده COOLING TOWER :**

برج خنک کن دستگاهی است که با ایجاد سطح وسیعی در تماس آب با هوا، عمل تبخیر را آسان نموده و در نتیجه باعث خنک شدن سریع آب می گردد. عمل خنک شدن در اثر از دست دادن گرمای نهان تبخیر انجام می گیرد در حالی که مقدار کمی آب بخار می شود و سبب خنک شدن آب می گردد. باید توجه داشت که آب مقدار اندکی از گرمای خود را از طریق تشعشع (Radiation) و در حدود ۴/۱ آن را از راه هدایت (Conduction) و جابجائی (Convection) و بقیه را از راه تبخیر از دست می دهد.



اختلاف فشار بخار آب بین سطح آب و هوا باعث تبخیر می شود. این اختلاف بستگی به دمای آب و میزان اشباع هوا از آب دارد.

### \* عوامل مؤثر در طراحی برجهای خنک کننده

عوامل مؤثر در طراحی برجهای خنک کننده را بطور خلاصه می توان بصورت زیر بیان کرد:

- ۱- میزان افت درجه حرارت (اختلاف دمای ورودی و خروجی برج)
- ۲- اختلاف بین درجه حرارت آب سرد و درجه حرارت مرطوب هوا
- ۳- دمای مرطوب محیط : اصولاً خنک کردن آب زیر این دما غیر ممکن است
- ۴- شدت جریان آب
- ۵- شدت جریان هوا
- ۶- نوع آکنه های برج
- ۷- روش پخش آب

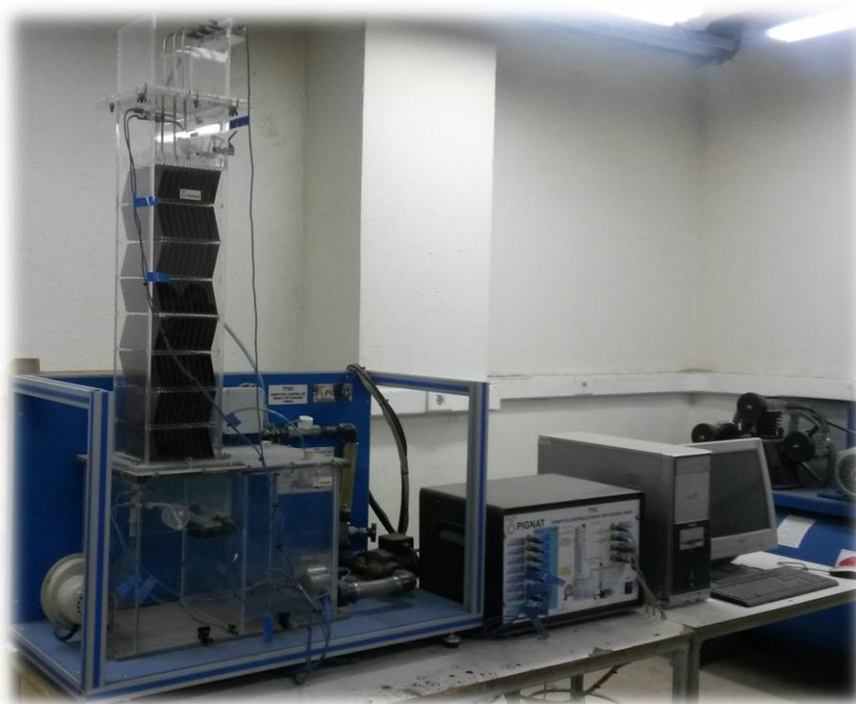
به تجربه ثابت شده است که برای هر ۱۰ درجه فارنهایت افت دما در برج خنک کننده میزان تبخیر در حدود یک درصد کل آب در حال گردش می باشد.

چون نمک های کثرور حلالیت زیادی دارند غلظت یون کلر در آب ورودی به برج وآب در حال گردش راهنمای بسیار خوبی برای تعیین غلظت بوده و بنابراین همیشه باید آنرا بازدید و بررسی نمود

افزایش غلظت مواد محلول و مواد معلق در آب در حال گردش در برج خنک کننده ایجاد اشکال می نماید که برای جلوگیری از افزایش غلظت مواد محلول و مواد معلق مقداری از آب در حال گردش را تخلیه می کنند که این آب در صنعت به زیر آب (Blow down) معروف است .

مقدار آب برج همچنین ممکن است تصادفی یا بوسیله باد تقلیل یابد . اصولاً در برجهای خنک کننده مقداری آب بصورت گرد درآمده و توسط باد یا کشش از برج خارج می شود .

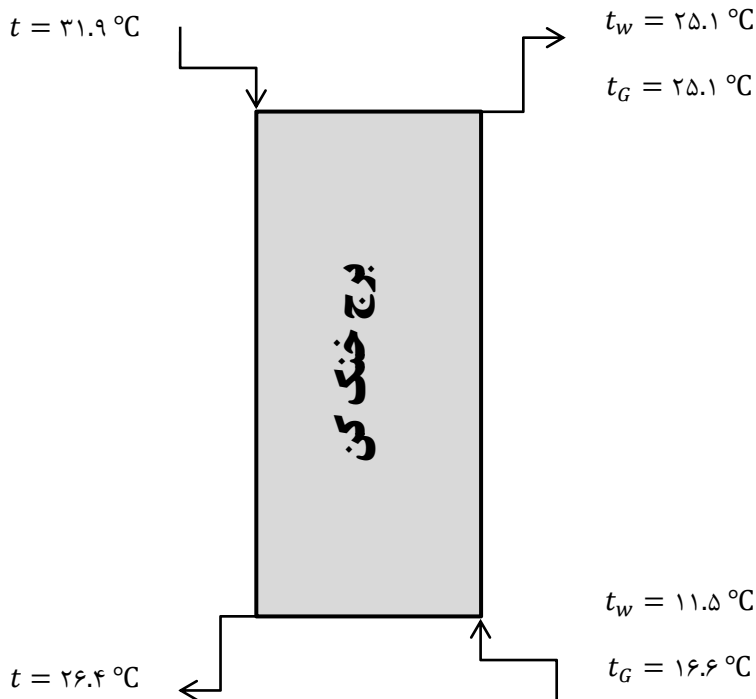
پرکن های برج به صورت منظم با روکش pvc و با تخلخل زیاد در برج قرار گرفته است تا افت فشار زیادی نداشته باشیم . یک مخزن آب که دارای المنت حرارتی در پایین آن قرار دارد، برج خنک کن شامل هفت سنسور دمایی است که یکی از سنسور ها داخل مخزن آب است. به سنسور دما set point داده می شود که زمانی که به آن دما برسد المنت خاموش می شود . آب داخل مخزن گرم شده و پمپ شده و از بالا به روی پر کن ها می ریزد . در نتیجه آب خنک می شود و مجدد به مخزن باز می گردد . توسط روتامتر دبی آب اندازه گیری می شود و شدت جریان آب را از طریق نرم افزار خوانده می شود. هوا از طریق فن پایین برج وارد برج خنک کن شده و به سمت بالا حرکت می کند که دور فن قابل تنظیم است . در سطح پر کن ها انتقال جرم و حرارت بین مایع و بخار برقرار می شود و هوا از بالا خارج می شود که جز برج هایی است که هوا به صورت مکانیکی با فن وارد برج می شود . یکی از سنسور ها در هوای ورودی و یکی در هوای خروجی قرار دارد. یک دماسنج معمولی که داخل مخزن آب قرار دارد که دائم خیس می شود که دمای حباب مرطوب هوا را نشان می دهد که شاخصی برای تعیین میزان رطوبت است. یک سنسور هم برای اندازه گیری دمای حباب خشک اندازه گیری می کند . یک صفحه داریم که از سوراخ پر شده و هوا به این صفحه می رسد و از این سوراخ ها وارد محیط می شود. یک دستگاه اندازه گیری فشار وجود دارد که فشار ها از طریق نرم افزار قابل اندازه گیری است . فشار ۴ نقطه اندازه گیری شده که به صورت ۲ اختلاف فشار نمایش داده می شود . یکی فشار پایین برج و یکی فشار بالای برج را بررسی می کند. این صفحه مانند اریفیس است که در مسیر جریان قرار می گیرد و سطح مقطع عبور جریان را تغییر می دهد . چون قانون پیوستگی برقرار است پس دبی ثابت است با کاهش سطح مقطع سرعت عبور از سطح بیشتر می شود.



## داده های گرفته شده از دستگاه :

$\frac{m^3 \text{ lit}}{s}$		$\frac{m^3 \text{ lit}}{\text{min}}$	آب مخزن	آب ورودی	آب خروجی	هوای ورودی		هوای خروجی		افت فشار ستون
دبی هوا		دبی آب	ST-۱	ST-۲	ST-۷	ST-۳	ST-۴	ST-۵	ST-۶	mmH <sub>2</sub> O
۱	۱۶	۱/۲	۳۲/۵	۳۱/۹	۲۶/۴	۱۱/۵	۱۶/۶	۲۵/۱	۲۵/۱	۰/۵
۲	۲۲	۱/۲	۳۳/۱	۳۲/۵	۲۶/۲	۱۱/۸	۱۷/۲	۲۵/۴	۲۵/۴	۰/۵
۳	۳۲	۱/۲	۳۲/۸	۳۱/۹	۲۵	۱۲/۶	۱۸/۲	۲۴/۶	۲۴/۶	۰/۶
۴	۲۰	۰/۶	۳۴/۷	۳۲/۸	۲۵/۱	۱۳/۱	۱۸/۹	۲۲/۶	۲۲/۶	۰/۴
۵	۲۰	۱/۲	۳۲/۸	۳۲	۲۶/۳	۱۲/۹	۱۸/۵	۲۶	۲۶	۰/۴
۶	۲۰	۲	۳۳/۹	۳۲/۲	۲۸/۶	۱۳/۱	۱۸/۴	۲۸/۲	۲۸/۲	۰/۴

محاسبات :

 محاسبات بر اساس ردیف اول حل شده است .


(۱) بدست آوردن مشخصات هوای ورودی و هوای خروجی :

هوای ورودی :

$$\left. \begin{array}{l} t_w = 11/5 \text{ } ^\circ\text{C} \\ t_G = 16/6 \text{ } ^\circ\text{C} \end{array} \right\} \begin{array}{l} y'_s = 0/012 \frac{kg}{kg \text{ air}} \\ y' = 0/008 \frac{kg}{kg \text{ dry air}} \end{array}$$

$t_{dew} = 9 \text{ } ^\circ\text{C}$

استفاده از نمودار رطوبت سنجی مربوط به سیستم آب و هوا : ( صفحه ۳۴۳ تریبال )

$$y_p = \frac{y'}{y_s'} \times 100 = \frac{0.008}{0.012} \times 100 \approx 60\%$$

$$y' = \frac{P_A}{P_t - P_A} \times \frac{M_A}{M_B} \rightarrow \frac{P_A}{101.3 - P_A} \times \frac{18}{29} = 0.008 \rightarrow P_A = 1/3 \text{ KPa}$$

$$y_s' = \frac{P_A^*}{P_t - P_A^*} \times \frac{M_A}{M_B} \rightarrow \frac{P_A^*}{101.3 - P_A^*} \times \frac{18}{29} = 0.012 \rightarrow P_A^* = 1/89 \text{ KPa}$$

$$\%RH = \frac{P_A}{P_A^*} \times 100 = \frac{1/3}{1/89} \times 100 = 69\%$$

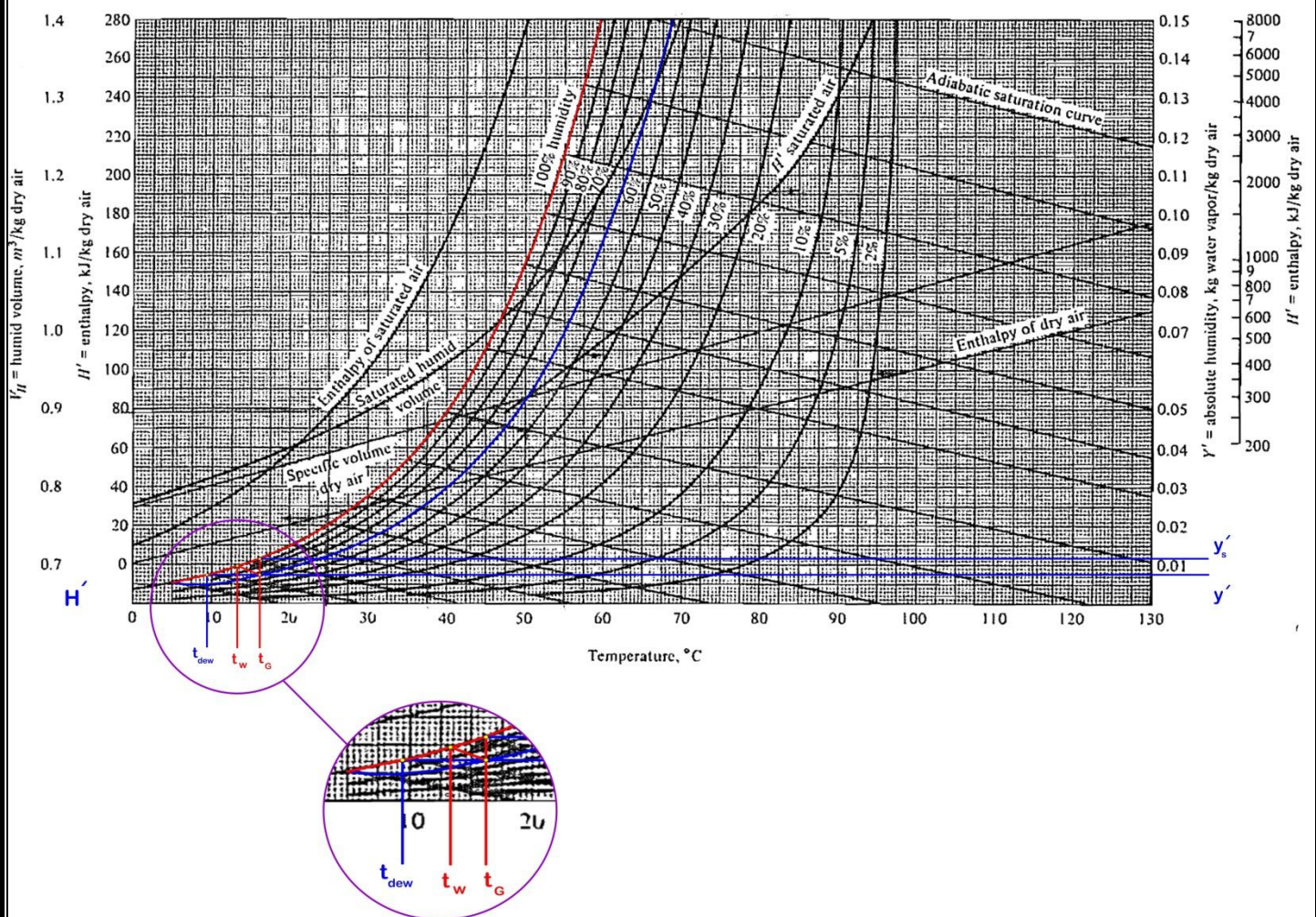
استفاده از جدول مربوط به سیستم آب و هوا : ( صفحه ۳۴۵ تریبال )

$$v_H = (0.00283 + 0.00456y') \times (t_G + 273) = 0.83 \frac{m^3}{kg \text{ air}}$$

$$H' = (1005 + 1884y') \times (t_G) + 2500y' = 36951/5952 \frac{j}{kg \text{ air}} = 36/95 \frac{Kj}{kg \text{ air}}$$

$$C_s = 1005 + 1884(0.008) = 1020/0.72 \frac{j}{kg \text{ air}}$$

نمودار رطوبت سنجی برای سیستم آب و هوا





چون در خروجی دمای  $t_w$  و  $t_G$  با هم برابرند یعنی رطوبت هوا روی منحنی ۱۰۰ درصد می افتد این دو دما برهم منطبقند .

استفاده از نمودار رطوبت سنجی مربوط به سیستم آب و هوا : ( صفحه ۳۴۳ تریبال )

$$t_w = t_G = ۲۵/۱ \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$y_p = ۱۰۰ \% \quad y' = y_s' = ۰/۰۲ \frac{\text{kg}}{\text{kg air}}$$

$$y_s' = \frac{P_A^*}{P_t - P_A^*} \times \frac{M_A}{M_B} \rightarrow \frac{P_A^*}{۱۰۱.۳ - P_A^*} \times \frac{۱۸}{۲۹} = ۰/۰۲ \rightarrow P_A^* = P_A = ۱/۲۴ \text{ KPa}$$

$$\%RH = \frac{P_A}{P_A^*} \times ۱۰۰ = \frac{۱/۸۹}{۱/۸۹} \times ۱۰۰ = ۱۰۰ \%$$

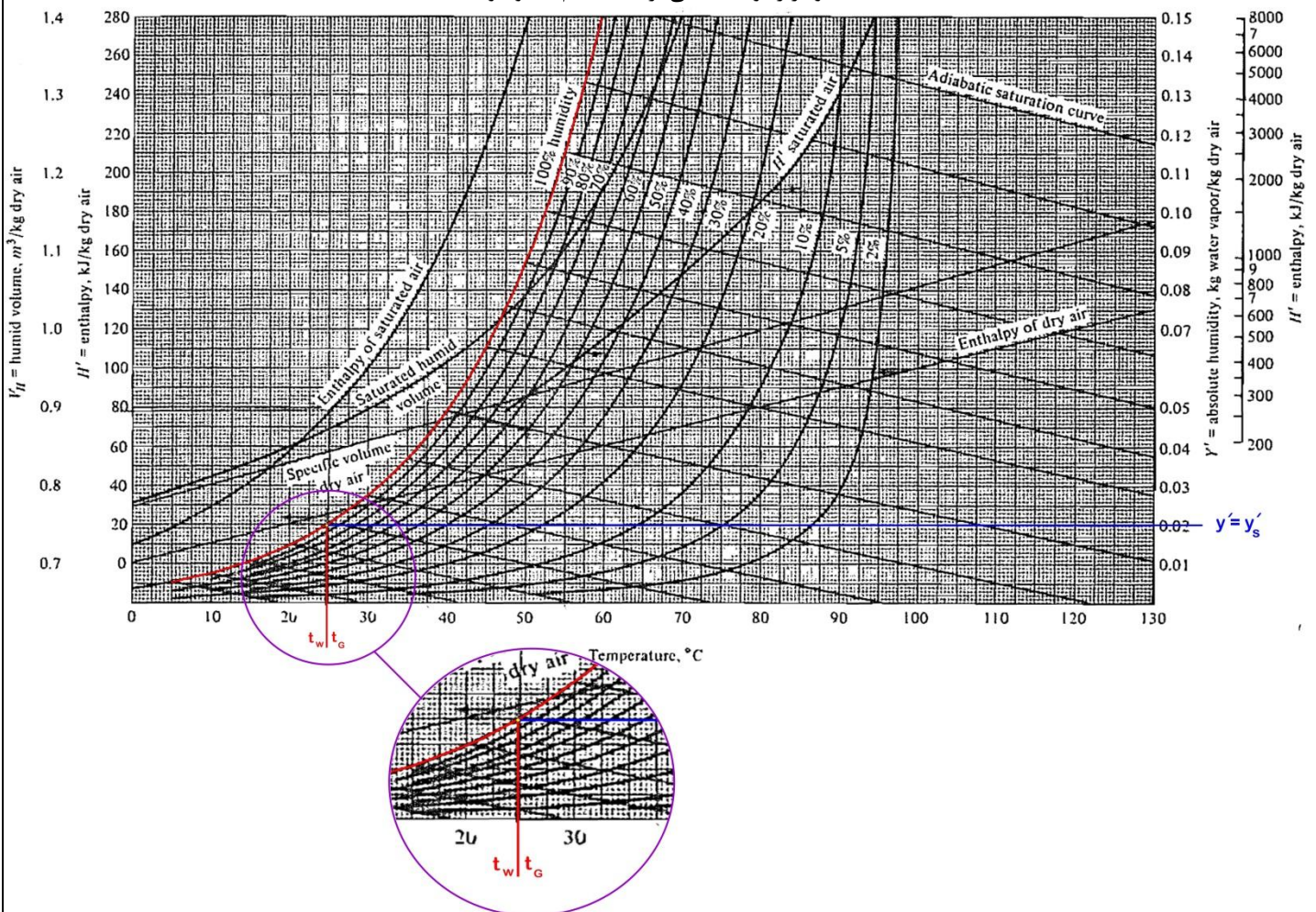
استفاده از جدول مربوط به سیستم آب و هوا : ( صفحه ۳۴۵ تریبال )

$$v_H = (۰/۰۰۲۸۳ + ۰/۰۰۴۵۶y') \times (t_G + ۲۷۳) = ۰/۸۷ \frac{\text{m}^3}{\text{kg air}}$$

$$H' = (۱۰۰۵ + ۱۸۸۴y') \times (t_G) + ۲۵۰۲۳۰۰y' = ۷۶۲۱۷/۲۶۸ \frac{\text{J}}{\text{kg air}} = ۷۶/۲ \frac{\text{Kj}}{\text{kg air}}$$

$$C_s = ۱۰۰۵ + ۱۸۸۴(۰/۰۲) = ۱۰۴۲/۶۸۸ \frac{\text{J}}{\text{kg air}}$$

نمودار رطوبت سنجی برای سیستم آب و هوا





## ۲) نوشتن بیلان انرژی و اتلافات:

$$Q = m_{\text{water}}^{\circ} C \Delta\theta - m_{\text{air}}^{\circ} \Delta H'$$

$$Q = 1/2 \times \frac{1}{6} \times 1884 \times (31/9 - 26/4) - 16(76/2 - 36/95) = -420/76$$

## ۳) میزان آب تبخیر شده:

$$@ t_G = 25.1^{\circ}\text{C} \rightarrow y_r' = 0.022$$

میزان تبخیر آب = دبی هوا  $(y_r' - y_1')$

تبدیل دبی حجمی به دبی جرمی

دانشپته را از انتهای کتاب هولمن خواندیم .

$$\text{دبی هوا} = 16 \frac{\text{lit}}{\text{s}} \times 1/23 \frac{\text{Kg}}{\text{lit}} = 19/68 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

$$\text{میزان تبخیر آب} = (0.022 - 0.005) \times 19/68 = 0/33 \text{ Kg}$$

## ۴) تعداد واحد های انتقال:

$t_L$	$H'$	$H'^*$	$H'^* - H'$		
26/4	-5	28	33	34/77	60/6
28	-0/63	36	36/63	26/84	
31/9	20	39	19		

$$N_{toG} = \frac{20 - (-5)}{30/6} = 0/81$$

## ۵) محاسبه $\Delta T_{Range}$ و $\Delta T_{Appro}$ :

آب خنک شده خروجی - آب گرم ورودی =  $\Delta T_{Range}$

$$\Delta T_{Range} = 31/9 - 26/4 = 5/5^{\circ}\text{C}$$

دمای هوای حباب مرطوب ورودی - آب خنک خروجی =  $\Delta T_{Appro}$

$$\Delta T_{Appro} = 26/4 - 11/5 = 14.9^{\circ}\text{C}$$

## ۶) تحلیل داده ها:

با توجه به داده های ارائه شده و مشاهده تغییرات دمایی آب می توان تحلیل را اینگونه بیان کرده که با افزایش دبی هوا در دبی آب ثابت ، مقدار آب ورودی در نهایت خنک خواهد شد و همچنین در دبی هوای ثابت و افزایش دبی آب تغییرات دمای خروجی آب سیری نزولی خواهد داشت در نتیجه مقدار آب این قسمت از آزمایش نسبت به آزمایش قبل کمتر خنک شده است .

فیلتراسیون یک فرآیند مکانیکی یا فیزیکی است که طی آن مواد معلق جامد از سیال (مایع یا گاز) جداسازی می‌شوند و این جداسازی انتقال جرم به همراه ندارد.

**تئوری آزمایش :**

صاف کردن یا فیلتراسیون یعنی حذف ذرات جامد از یک سیال با عبور سیال از محیط صاف کن یا درپوش غشایی که ذرات جامد روی آن می‌مانند. صاف کردن‌های صنعتی از عبور ساده از صافی تا جداسازی‌های بسیار پیچیده را شامل می‌شود سیال ممکن است مایع یا گاز باشد جریان باارزش حاصل از صافی می‌تواند سیال، جامد یا هردو باشد. گاهی ممکن است هیچ کدام باارزش نباشد، مانند وقتی که ضایعات جامد را باید قبل از دور ریختن از ضایعات مایع جدا کرد. در صاف کردن صنعتی، جامدات موجود در خوراک از مقدار بسیار کم تا درصد بسیار بالایی است.

اغلب برای افزایش آهنگ صاف کردن، خوراک به طریقی با پیش‌فراوری اصلاح می‌شود، مثلاً به آن گرما می‌دهند، دوباره آن را متبلور می‌کنند، یا یک کمک‌صافی مانند سلولز یا ترکیبات دیاتومه دار به آن می‌افزایند. سیال بر اثر اختلاف فشار در محیط صاف کن در آن جریان می‌یابد. بنابراین صافی‌ها به دو نوع تقسیم می‌شوند: صافی‌هایی که با فشار بیش از فشار اتمسفر در وجه فرادست محیط صاف کن کار می‌کنند و صافی‌هایی که با فشار اتمسفر در وجه فرادست و با خلأ در فشار فرودست کار می‌کنند. فشارهای بالاتر از فشار اتمسفر را با نیروی گرانش مؤثر بر ستون مایع، با پمپ یا نیروی سانتریفوژ می‌توان ایجاد کرد.

**\* صافی‌ها به سه گروه اصلی تقسیم می‌شوند:**

\* صافی‌های کیکی

\* صافی‌های زلال‌ساز

\* صافی با جریان عرضی

صافی‌های کیکی مقادیر نسبتاً زیادی از جامدات را به‌صورت کیکی از بلور یا دوغاب جدا می‌کند. اغلب آن‌ها تجهیزاتی برای شستشوی کیک و برای حذف مقداری مایع از جامدات قبل از تخلیه دارند.

صافی‌های زلال‌ساز مقادیر کمی از جامدات را حذف می‌کند تا گازی پاک یا مایعات پاک و شفافی مانند نوشابه‌ها تولید شود. ذرات جامد در داخل محیط صاف کن گیر می‌افتند، یا در سطوح خارجی آن قرار می‌گیرند. تفاوت صافی‌های زلال‌ساز با غربال‌ها این است که قطر منفذهای محیط صاف کن خیلی بزرگ‌تر از قطر ذراتی است که باید حذف شوند. در صافی با جریان عرضی، سوسپانسیون خوراک با سرعت نسبتاً زیاد تحت فشار در محیط صاف کن جریان می‌یابد.

لایه‌نازکی از جامدات ممکن است روی سطح این محیط تشکیل شود، اما مایع پرسرعت مانع افزایش ضخامت این لایه می‌شود. محیط صاف کن یک غشای سرامیکی، فلزی یا پلیمری با منفذهایی کوچکی است که بیش‌تر ذرات معلق را حذف می‌کند. مقداری مایع به‌صورت صاف‌شده زلال از محیط می‌گذرد، و سوسپانسیون غلیظ‌تر برجای برجای می‌ماند.

### \* انواع نیروها که باعث جداسازی می‌شوند:

۱- نیروی **gravitational**: اولین نیرویی که باعث عبور دوغاب از فیلتر شود نیروی جاذبه است یعنی شتاب گرانش زمین باعث جداسازی می‌شود.

۲- نیروی **centrifugal**: مخزن دایره‌ای شکل که روی دیواره مخزن کاغذ یا پارچه فیلتر می‌گذاریم و داخل آن دوغاب است. حول محور با شتاب  $\omega^2 r$  می‌چرخد و جداسازی انجام می‌شود.

۳- نیروی **vacuum filter**: با قرار دادن پمپ خلأ و ایجاد مکش فشار از  $P_1$  به  $P_2$  می‌رسد و دوغاب از فیلتر می‌گذرد.

$$P_1 > P_2$$

۴- نیروی **pressure filter**: در این روش یک پمپ فشارقوی می‌گذاریم که با فشار زیاد دوغاب را به فیلتر می‌رساند.

$$P_1 > 1 \text{ atm} \quad P_2 = 1 \text{ atm}$$

### \* یکی از انواع صافی‌ها صافی کیک است:

در آغاز صاف کردن در صافی کیک، بعضی از ذرات جامد وارد منفذهای محیط صاف کن می‌شود و بی‌حرکت می‌ماند، اما فوراً سایر ذرات روی سطح این محیط جمع می‌شود.

پس این دوره کوتاه اولیه، کیک جامدات عمل صاف کردن را انجام می‌دهد، نه محیط صاف کن؛ یک کیک مرئی با ضخامت قابل توجهی روی سطح تشکیل می‌شود و باید به‌طور دوره‌ای حذف شود.

تقریباً تمام صافی‌های کیک برای جداسازی مایع از جامد هستند، به‌جز نوع کیسه‌ای که برای پاک کردن گاز بکار می‌رود.

مانند سایر صافی‌ها، آن‌ها ممکن است با فشار بیشتر از فشار اتمسفر در فرادست محیط صاف کن یا با خلأ در فرودست کار کند. هر یک از انواع آن‌ها می‌تواند پیوسته یا ناپیوسته باشد، اما به علت مشکلات مربوط به تخلیه جامدات تحت فشار مثبت، اغلب صافی‌های فشاری از نوع ناپیوسته‌اند.

### **\* صافی‌های فشاری ناپیوسته:**

صافی‌های فشاری می‌توانند اختلاف فشار زیادی در محیط صاف کن اعمال کنند، و لذا صاف کردن مایعات ویسکوز یا جامدات ریز با آن‌ها سریع و اقتصادی است. رایج‌ترین انواع صافی‌های فشاری عبارت‌اند از فیلتر پرس و صافی‌های پوسته - لایه.

### **\* کمک‌صافی‌ها:**

جامدات لزج یا خیلی ریزی که کیک چگال نفوذپذیری را تشکیل می‌دهند فوراً هر محیط صاف کن ریز را مسدود می‌کنند. برای صاف کردن این مواد باید تخلخل کیک افزایش یابد تا امکان عبور لیکور با آهنگ معقول فراهم آید. این کار با افزودن یک کمک‌صافی، مانند سیلیکات دیاتومه دار یا سایر جامدات متخلخل بی‌اثر، به دوغاب قبل از تصفیه انجام می‌شود. این کمک‌صافی را بعداً می‌توان با حل کردن جامدات یا با تخریب کمک‌صافی از کیک صافی جدا کرد. اگر جامدات ارزشی نداشته باشند، آن‌ها را با کمک‌صافی می‌توان دور انداخت.

راه دیگر استفاده از کمک‌صافی، پیش‌آغشته کردن است، یعنی رسوب دادن لایه‌ای از کمک‌صافی روی محیط صاف کن قبل از صاف کردن. در صافی‌های ناپیوسته، لایه پیش‌آغشته معمولاً نازک است، در صافی پیش‌آغشته پیوسته همان‌طور که قبلاً گفته شد لایه پیش‌آغشته ضخیم است، و بالای لایه دائماً توسط چاقویی تراشیده می‌شود تا در معرض سطح تازه صاف کننده قرار گیرد. پیش‌آغشته‌ها از مسدود شدن محیط صاف کن توسط جامدات ژلاتینی جلوگیری می‌کنند و صاف‌شده تمیزتری می‌دهند. پیش‌آغشته در واقع قسمتی از محیط صاف کن است نه قسمتی از کیک.

### **\* اصول صاف کردن کیک:**

صاف کردن مورد خاصی است از جریان در محیط‌های متخلخل، که در فصل مک کیب ۷ برای حالت‌هایی که مقاومت در جریان ثابت بود بررسی شد. در صاف کردن مقاومت‌ها در برابر جریان به‌مرور زمان که محیط صاف کن گیر می‌کند یا کیک صافی رشد می‌کند افزایش می‌یابند، و برای استفاده از معادله‌های داده‌شده در فصل ۷ باید آن‌ها را تصحیح کرد

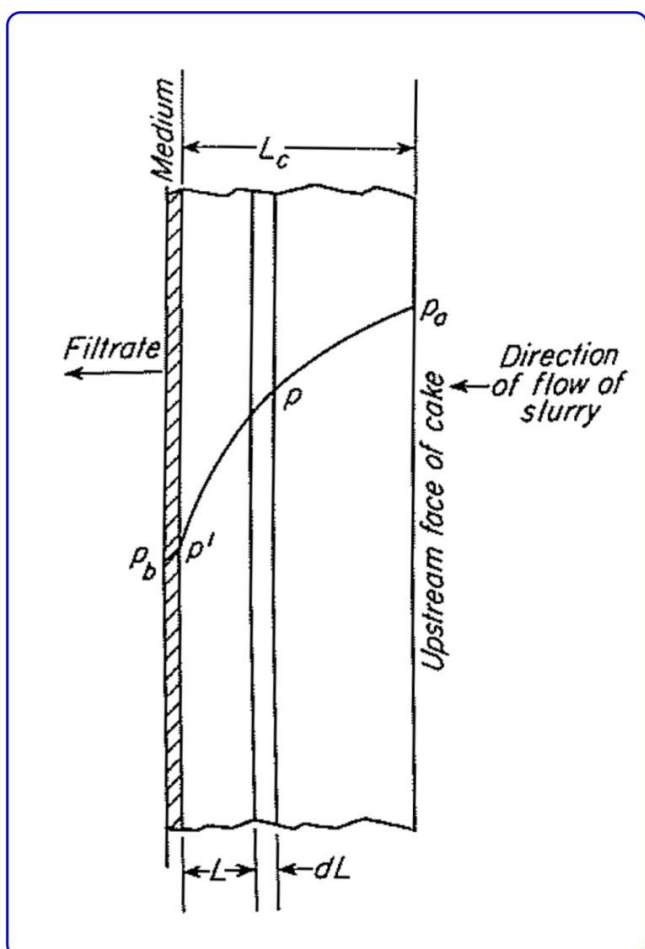
کمیت‌های اصلی در این حالت عبارت‌اند از آهنگ جریان در صافی و افت فشار در دستگاه . باگذشت زمان در ضمن صاف کردن ، آهنگ جریان کاهش می‌یابد یا افت فشار زیاد می‌شود . در صاف کردن با فشار ثابت، افت فشار ثابت است و آهنگ جریان برحسب زمان کاهش می‌یابد؛ آنچه کمتر رایج است، افت فشار به‌طور فزاینده افزایش می‌یابد و صاف کردن با آهنگ ثابت است .

در صاف کردن کیک ، مایع از دو مقاومت سری می‌گذرد: یکی مقاومت کیک و دیگری مقاومت محیط صاف کن . مقاومت محیط صاف کن ، که تنها مقاومت موجود برای صافی‌های زلال‌ساز است ، معمولاً فقط در ضمن مراحل اولیه صاف کردن کیکی اهمیت دارد . مقاومت کیک در ابتدا صفر است و به‌مرور زمان و با پیشرفت صاف کردن افزایش می‌یابد . اگر کیک پس از صاف شدن شسته شود، هر دو مقاومت در دوره شستشو ثابت‌اند و مقاومت محیط صاف کن معمولاً ناچیز است .

افت فشار کلی در هر لحظه عبارت است از مجموع افت‌های فشار در محیط صاف کن و کیک . اگر  $p_a$  فشار ورودی ،  $p_b$  فشار خروجی و  $p'$  فشار در مرز بین کیک و محیط صاف کن باشد ، در این صورت:

$$\Delta p = p_a - p_b$$

### \* افت فشار در کیک صافی:



در شکل زیر مقطعی از کیک صافی و محیط صاف کن را در زمان معین  $t$  از شروع جریان صاف‌شده به‌طور ترسیمی نشان می‌دهد. در این لحظه ، ضخامت کیک ، که از محیط صاف کن اندازه‌گیری می‌شود ،  $L_c$  است . مساحت صافی که به‌طور عمود بر امتداد جریان اندازه‌گیری می‌شود ،  $A$  است . لایه نازکی از کیک به ضخامت  $DL$  را در فاصله  $L$  از محیط صاف کن ، و فشار در آنجا را  $p$  بگیرید. این لایه از بستر نازک ذرات جامد که صاف‌شده در آن جریان دارد تشکیل شده است .

سرعت در بستر صافی به اندازه کافی کم و جریان لایه‌ای است. لذا برای شروع بررسی افت فشار در کیک با توجه به اینکه

$$\frac{dp}{dL} = \frac{\Delta p}{L}$$

از معادله زیر می‌توان استفاده کرد:

$$\frac{dP}{dL} = \frac{150 \times \mu \times u \times (1 - \varepsilon)^2}{(\phi_s \times D_p)^2 \times \varepsilon^3}$$

افت فشار، اغلب، به صورت تابعی از نسبت سطح-حجم (نه اندازه ذره) بیان می‌شود.

$$\frac{dP}{dL} = \frac{k_1 \times (1 - \varepsilon)^2 \times \left(\frac{S_p}{v_p}\right)^2 \times \mu \times u}{\varepsilon^3}$$

$\frac{dP}{dL}$ : شیب فشار در ضخامت L       $\mu$ : ویسکوزیته سیال

$u$ : سرعت عبور سیال از داخل کیک       $S_p$ : سطح ذره تنها

$v_p$ : حجم ذره تنها       $\varepsilon$ : ضریب تخلخل کیک

\* این رابطه به رابطه ارگان معروف است، که از این طریق می‌توان افت فشار را محاسبه کرد.

جرم جامدات در لایه عبارت است از :

$$dm = \rho_p (1 - \varepsilon) A dL$$

سپس از این رابطه  $dL$  را حذف می‌کنیم و در رابطه ارگان قرار می‌دهیم و از طرفین انتگرال می‌گیریم. رابطه آن به صورت زیر خواهد بود.

$$\int_{p'}^{p_a} dp = \frac{k_1 \times \mu \times u \times (1 - \varepsilon) \times \left(\frac{S_p}{v_p}\right)^2}{\rho_p \times g_c \times A \times \varepsilon^3} \int_0^{m_c} dm$$

$$p_a - p' = \frac{k_1 \times \mu \times u \times (1 - \varepsilon) \times \left(\frac{S_p}{v_p}\right)^2}{\rho_p \times g_c \times A \times \varepsilon^3} \times m_c = \Delta p_c$$

$\Delta p_c$  همان تغییرات فشار کیک است.



\* مقاومت کیک از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\alpha = \frac{k_1 \times (1 - \varepsilon) \times \left(\frac{S_p}{v_p}\right)^2}{\rho_p \times \varepsilon^3} = \frac{(-\Delta p)_{cake} \times g_c \times A}{\mu \times u \times m_c}$$

$m_c$ : جرم کیک

\* مقاومت محیط کیک صاف کن:

مقاومت محیط صاف کن،  $R_m$ ، را به طور مشابه مقاومت کیک می‌توان تعریف کرد. چون این فرایند معمولاً در اختلاف فشار ثابت انجام می‌شود رابطه آن به صورت زیر بدست می‌آید.

$$(-\Delta p)_{medium} = \frac{\mu \times u}{g_c} \times R_m$$

$R_m$ : مقاومت فیلتر

$$(-\Delta p)_T = \frac{\mu \times u}{g_c} \times \left( \frac{\alpha \times m_c}{A} + R_m \right)$$

\* جرم کیک که نشسته روی فیلتر:

C: جرم جامدی که به ازای حجم فیلتریت جمع‌آوری می‌شود از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$m_c = c \times v$$

جرم جامد را در رابطه فوق جایگذاری می‌کنیم.

$$(-\Delta p)_T = \frac{\mu \times \frac{dv}{dt}}{g_c \times A_c} \times \left( \frac{\alpha \times c \times v}{A} + R_m \right)$$

از رابطه فوق  $\frac{dt}{dv}$  را بدست می‌آوریم.

$$\frac{dt}{dv} = \frac{\mu}{A \times g_c \times (-\Delta p)_T} \left( \frac{\alpha \times c \times v}{A} + R_m \right)$$

$$\frac{dt}{dv} = k_c \times v + \beta$$

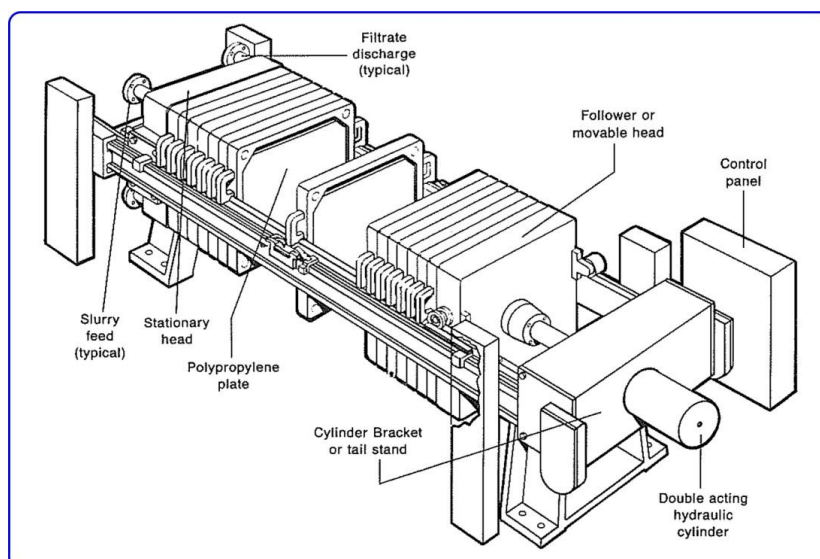
$$k_c = \frac{\mu \times \alpha \times c}{A^2 \times g_c \times (-\Delta p)_T} \quad \& \quad \beta = \frac{\mu \times R_m}{A \times g_c \times (-\Delta p)_T}$$

پس از انتگرال گیری رابطه به صورت زیر خواهد بود:

$$\frac{t}{v} = \frac{k_c \times v}{2} + \beta$$

### شرح دستگاه :

فیلتر پرس دارای مجموعه ای از پلیت ها است. این پلیت ها محفظه ای ایجاد می کنند که جامدات در آنها جمع شوند. پلیت ها با یک محیط صاف کن مانند پارچه کتان پوشیده می شوند. دوغاب تحت فشار وارد هر یک از این محفظه ها می شود از پارچه کتان عبور کرده و از لوله تخلیه خارج می شود و کیک خیس از جامدات در پشت باقی می ماند. پس از نصب پرس، دوغاب از طریق پمپ یا مخزن فشاری معمولاً تحت فشار ۳ تا ۱۰ اتمسفر وارد آن می شود. صادف کردن آنقدر ادامه دارد تا لیکور از محل تخلیه خارج نشود یا فشار صاف کردن به طور ناگهانی افزایش یابد



## داده های گرفته شده از دستگاه :

t(s)	v(lit)
۱۴	۱
۳۷	۲
۶۹	۳
۱۱۰	۴

\* مساحت پلیت ها :  $30\text{ cm} \times 30\text{ cm}$

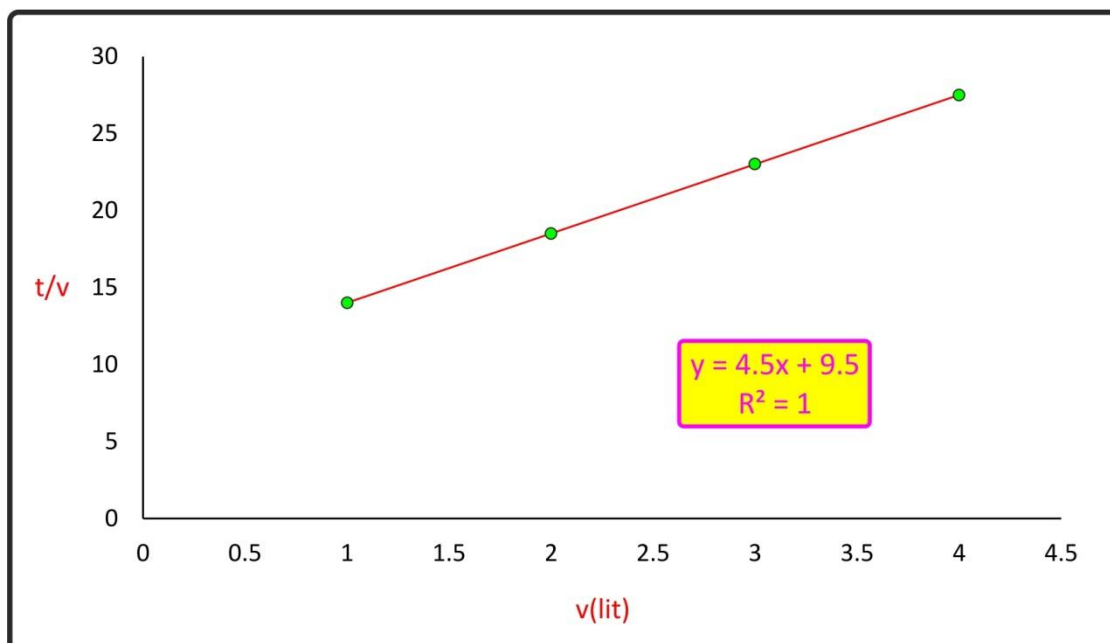
\* ویسکوزیته آب :  $0.85\text{ cp}$

\* افت فشار سیال :  $195\text{ kpa}$

\* جرم جامدی که به ازای واحد حجم فیلتریت جمع آوری شده رو فیلتر می نشیند :  $20 \frac{\text{gr}}{\text{lit}}$

## نمودار :

t(s)	v(lit)	t/v
۱۴	۱	۱۴
۳۷	۲	۱۸.۵
۶۹	۳	۲۳
۱۱۰	۴	۲۷.۵



با توجه به نمودار بالا و عرض از مبدا و شیب بدست آمده داریم :

استفاده از شیب :

$$\frac{K_c}{\tau} = 9.5 = \frac{1}{\tau} \left( \frac{\mu \times \alpha \times c}{A^2 \times g_c \times (-\Delta P)_{total}} \right)$$

تبدیل واحدهای لازم:

$$A = 3 \text{ cm} \times 3 \text{ cm} = 9 \text{ cm}^2 \times \frac{0.001076 \text{ ft}^2}{1 \text{ cm}^2} = 0.97 \text{ ft}^2$$

$$\mu = 0.8 \text{ cp} \times (6.72 \times 10^{-4}) = 5.376 \times 10^{-4} \frac{\text{lb}}{\text{ft.s}}$$

$$(-\Delta P)_{total} = 195 \text{ kpa} = 4098.55 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2}$$

$$c = 20 \frac{\text{gr}}{\text{lit}} \times \frac{1 \text{ lit}}{0.0353 \text{ ft}^3} \times \frac{0.0022 \text{ lb}}{1 \text{ gr}} = 1.25 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$$

حال به محاسبات اصلی می پردازیم :

در معادله زیر تنها مجهول ما  $\alpha$  یا مقاومت کیک می باشد در نتیجه داریم :

$$9 = \left( \frac{\mu \times \alpha \times c}{A^2 \times g_c \times (-\Delta P)_{total}} \right) \rightarrow \alpha = 1.71 \times 10^9 \frac{\text{ft}}{\text{lb}}$$

استفاده از عرض از مبدا :

$$\beta = 9.5 = \left( \frac{\mu \times R_m}{A \times g_c \times (-\Delta P)_{total}} \right)$$

در معادله بالا تنها مجهول ما  $\beta$  یا مقاومت فیلتر می باشد در نتیجه داریم :

$$9.5 = \left( \frac{(5.376 \times 10^{-4}) \times R_m}{0.98 \times 32.17 \times 4098.55} \right) \rightarrow R_m = 2.28 \times 10^9 \frac{1}{\text{ft}}$$

## نام آزمایش :

استخراج جامد - مایع

## هدف آزمایش :

جداسازی روغن دانه های کنجد

## تئوری آزمایش :

عمل استخراج از جامد حل شدن انتخابی یک یا چند جز از یک مخلوط جامد است که با یک محلول مایع تماس یافته است. فرایند یکی از قدیمی ترین عملیات واحد در صنایع شیمیایی است که با توجه به روش کار اسامی مختلفی به آن اطلاق می شود. مفهوم استخراج از جامد از نفوذ مایع به درون بستر ثابتی از جامدات ریشه می گیرد اما امروز معانی مختلفی برای بیان این عملیات به کار می رود. آب شویی اگرچه مفهوم شستن قلیا از خاکستر چوب را شامل می شود، کمتر به عنوان مترادفی برای استخراج از جامد به کار می رود. عبارت استخراج هم، با اینکه برای بسیاری از عملیات جداسازی دیگر که از طریق انتقال جرم یا واکنش هایی شیمیایی صورت می گیرند به کار می روند، در اینجا بسیاری مواقع استفاده می شود. جوشاندن فقط به استفاده از حلال در نقطه جوش خود اطلاق می شود. وقتی که حل شونده ای به نسبت زیاد روی سطح جامد نامحلول باشد و فقط با حلال شسته شود، به آن خالص سازی با شستشو یا شستن گفته می شود.

## \* آماده سازی جامد :

چگونگی عمل استخراج از جامد و روش به کار رفته تا حد زیادی به عملی که قبلاً روی جامد انجام شده بستگی دارد. در بعضی مواقع، ذرات کوچک ماده حل شونده کاملاً با یک جسم نامحلول احاطه شده اند. بنابراین حلال باید در جسم مربوطه و محلول حاصل نیز باید بعد از جداسازی به بیرون نفوذ کند. این وضعیتی است که صنایع فلزی در بسیاری از مواد با آن روبه رو هستند. خرد کردن و آسیاب کردن چنین جامداتی عمل استخراج را به میزان قابل توجهی تسریع می کند.

اندام های گیاهان و جانوران ساختمانی سلولی دارند و مواد طبیعی که باید استخراج شوند داخل این سلول ها هستند. اگر دیواره های سلول در اثر تماس با حلال صدمه نبینند، عمل استخراج با استفاده از عبور اسمزی حل شونده از دیواره ها انجام می گیرد. این عمل آهسته انجام می شود ولی آسیاب کردن مواد به حدی که محتویات تک تک سلول ها آزاد شوند غیر عملی و گاهی نا مناسب است.

## **\* درجه حرارت استخراج از جامد:**

معمولاً بهتر است عمل استخراج در بالاترین درجه حرارت ها انجام بگیرد زیرا درجه حرارت بالاتر باعث حلالیت بیشتر حل شونده در حلال می شود و در نتیجه غلظت نهایی در محلول مادر بیشتر می شود. در دمای بالاتر ، ویسکوزیته مایع کمتر و نفوذ پذیری آن بیشتر است که هر دو سبب افزایش سرعت استخراج می شوند ولی برای بعضی مواد مانند چغندر قند درجه حرارت های خیلی بالا سبب استخراج حل شونده های نامطلوب یا تخریب شیمیایی جامد می شود.

## **\* روش های عمل و دستگاه استفاده شده :**

عملیات استخراج از جامد تحت شرایط ناپیوسته و نیمه پیوسته ( ناپایدار ) و همچنین تحت شرایط کاملاً مداوم (ایدار) می تواند انجام بگیرد در هر دسته دستگاه هایی از نوع مرحله ای و مداوم وجود دارند .  
دو روش اصلی تماس وجود دارد : پاشیدن یا چکیدن مایع روی جامد و فرو بردن جامد به طور کامل در مایع . انتخاب نوع دستگاه در هر صورت بستگی به حالت فیزیکی جامد و مشکلات و هزینه حمل و نقل آن دارد .

## **\* سیستم های ناپایدار :**

سیستم های ناپایدار آنهایی هستند که در آنها جامدات و مایعات به صورت ناپیوسته و منقطع در تماس هستند و یا مقداری جامد با جریان مداومی از مایع ( روش نیمه پیوسته ) در تماس است . ذرات درشت جامدات معمولاً در بستر های ثابت با روش های نفوذ مورد عمل قرار می گیرند ولی ذرات ریز که به راحتی می توانند حالت تعلیق داشته باشند ، به کمک سیستم های هم زننده ، در مایع پخش می شود .

## **\* استخراج از جامدات به صورت توده ای :**

سنگ معدن هایی که درصد ماده معدنی مطلوب در آنها کم است و ارزش خرد و آسیاب کردن را ندارند را روی سطح زمینی نفوذ ناپذیر به صورت توده ای از کلوخ ها جمع می کنند . مایع استخراج کننده را روی سنگ معدن می ریزند و بعد از اینکه از توده خارج شد جمع آوری می کنند

## **\* مخازن نفوذ :**

جامدات با اندازه متوسط را می توان با روش های نفوذ در مخازن روباز استخراج کرد ساختمان این مخازن با یکدیگر تفاوت دارد و به طبیعت جامد و مایع و هم چنین مقیاس عملکرد بستگی دارد ولی نسبتاً پرهزینه هستند .



## **\* روش تماس چند مرحله ای با جریان معکوس:**

استخراج و شستن جز استخراج شونده از مخازن نفوذی ،با روش های جریان متقاطع مسلما محلول های رقیقی از حل شونده را به دست می دهد.اگر جریان معکوس به کار رود ، محلول های غلیظ تری به دست می آید که در آن محلول نهایی خروجی در تماس با تازه ترین جامد و حلال تازه در تماس با جامدی که قسمت اعظم حل شونده آن استخراج شده قرار می گیرد.

## **\* نفوذ در ظروف بسته:**

وقتی افت فشار جریان مایع برای جریان داشتن در اثر نیروی جاذبه خیلی زیاد باشد ، باید از ظروف بسته استفاده کرد و مایع به بستر جامدات پمپ می شود.به چنین ظروفی گاهی پخش کننده گفته می شود.وقتی حلال خیلی فرار است یا درجه حرارت بالای نقطه جوش نرمال حلال است،مخازن بسته برای جلوگیری از اتلافات ناشی از تبخیر لازم هستند.

## **\* استخراج از جامد به صورت صافی فشاری**

جامدات بسیار ریز را ،تا حدی که مخازن نفوذ نسبتا عمیق برای آن ها مناسبند ،می توان در صافی فشاری صاف و استخراج کرد. این کار با پمپ کردن حلال به کیک تحت فشار انجام می گیرد.البته این عمل برای شستشو محلول مادر موجود در رسوباتی که صاف شده اند ،نیز معمول است.

## **\* عملیات پایدار:**

دستگاه های عملیات پایدار مداوم به دو دسته اساسی دو مرحله ای و مداوم تقسیم می شوند.دستگاه های مرحله ای گاهی به صورت چند واحد برای ایجاد خاصیت چند مرحله ای اند ولی دستگاه های تماس مداوم تعداد زیادی مرحله را در یک وسیله واحد ایجاد می کنند.

## **\* استخراج از جامد در حال آسیاب کردن:**

همان طور که اخیرا اشاره شد، بسیاری جامدات برای ایجاد بخش های قابل حل در حلال،به آسیاب شدن احتیاج دارند و اگر آسیاب کردن به طور مرطوب و مداوم انجام شود،در حین عمل مقداری استخراج نیز صورت می گیرد.برای مثال حدود ۵۰ تا ۷۵ درصد طلای حل نشدنی با آسیاب کردن سنگ معدن در حضور محلول سیانید حل می شود.همین طور دانه های کرچک را برای به دست آوردن روغن کرچک با حلال در آسیاب سایشی آسیاب می کنند.مایع و جامد را

به صورت جریان موازی از آسیاب می گذرانند در نتیجه این دو می خواهند به غلظت تعادلی برسند. بنابراین چنین عملیاتی استخراج تک مرحله ای خواهد بود و معمولاً با هم زدن بیشتر یا عملیات شستشو تکمیل می شود.

### **\* ظروف به هم زن:**

جامدات آسیاب شده ریز، که به راحتی با هم زدن در مایعات معلق می شوند، می توانند در یکی از انواع زیاد مخازن یا ظروف هم زن دار به طور مداوم استخراج می شوند. این سیستم ها برای جریان مداوم مایع و جامد در مخزن ترتیب داده می شوند و باید طوری طراحی شوند که تجمع جامد وجود نداشته باشد. این مخازن معمولاً با اختلاط کامل همراه و تک مرحله ای اند مایع و جامد در آن ها به تعادل می رسند.

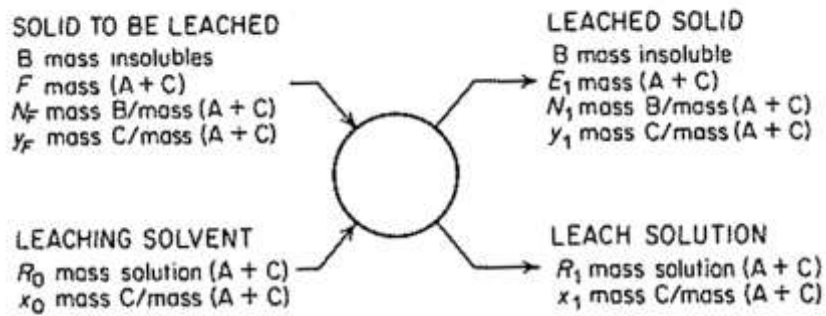
### **\* تغلیظ کننده ها:**

دستگاه های مکانیکی مداومی هستند که برای افزایش نسبت جامد به مایع در یک سوسپانسیون رقیق از ذرات ریز با ته نشینی و سرریز کردن طراحی شده اند، در نتیجه دو محصول جداگانه به صورت مایع صاف و رسوب تغلیظ شده به دست می آید. تغلیظ کننده ها برای کاهش هزینه صاف کردن ممکن است قبل از هر صافی معمولاً به کار روند، ولی از آنجایی که هر دو محصول خروجی قابل پمپ شدن هستند و به راحتی حل می شوند، تغلیظ کننده ها برای شستن جامدات استخراج شده و رسوبات شیمیایی از محلول همراه با آن ها در یک سیستم چند مرحله ای مداوم با جریان معکوس به کار می روند و به خاطر همین کاربردها است که اهمیت زیادی دارند.

### **روش های محاسبه:**

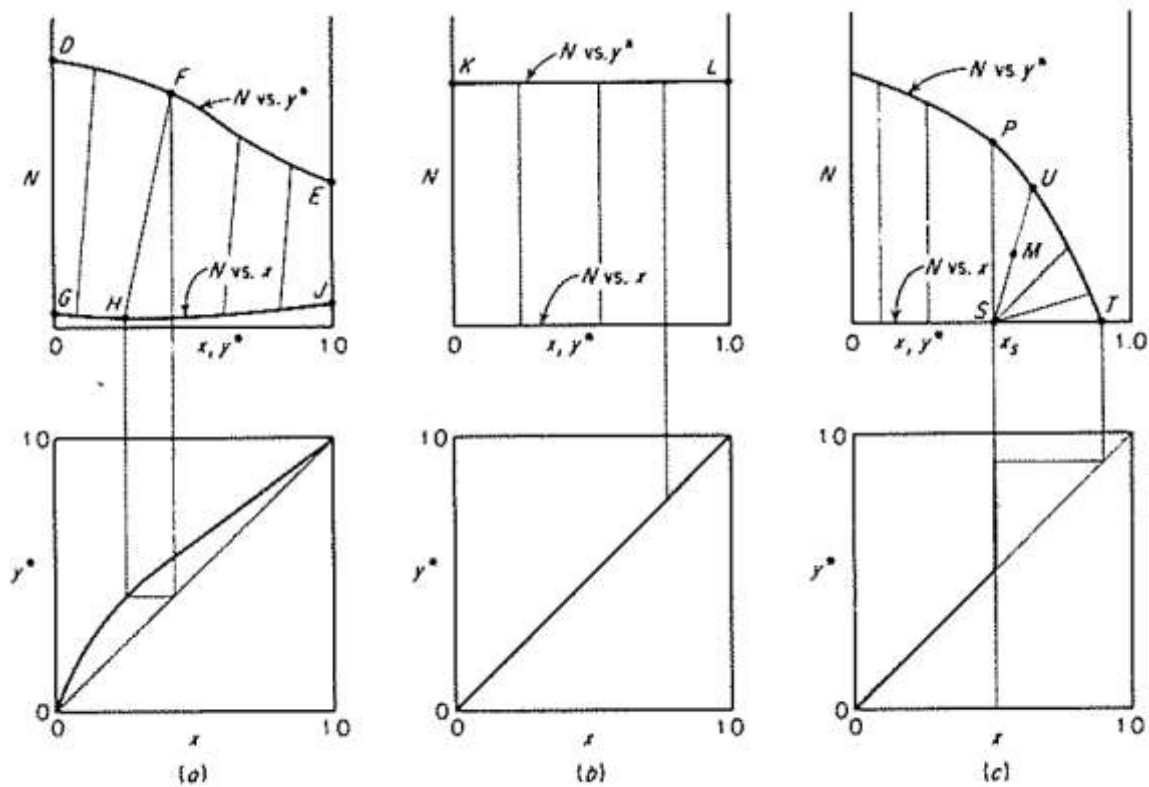
محاسبه میزان استخراجی که می توان با یک روش انجام داد اهمیت دارد، به عبارتی آنچه مورد نظر است محاسبه ی مقدار جز حل شونده ی استخراج شده از جامدی با غلظت اولیه مشخص از آن جز، تعداد و میزان شستشو با حلال، غلظت حل شونده در حلال استخراج کننده (حتی اگر صفر باشد) همچنین روش کار، که به صورت نا پیوسته یا مداوم با جریان معکوس است می باشد. در حالتی دیگر تعیین تعداد شستشو یا تعداد مراحل لازم برای کاهش مقدار حل شونده، تا غلظتی مشخص یا دانستن مقدار غلظت حل شونده در حلال اهمیت دارند و روش های محاسبه شباهت زیادی به استخراج مایع دارند.

\* استخراج جامد - مایع (تک مرحله ای) :



Single-stage leaching or washing.

\* نمودار های تعادلی N-XY و X-Y برای استخراج تک مرحله ای :



Typical equilibrium diagrams.

## شرح آزمایش و دستگاه :

در صنعت برای روغن گیری ابتدا دانه های روغنی را پرس کرده که هم مقداری روغن از آن گرفته می شود و هم دانه های جامد خرد می شود سپس عمل Leaching انجام می شود . یک مخزن داریم که داخل آن هگزان که حلال مناسب برای روغن کنجد است قرار دارد . اگر شیر مخزن را باز کنیم هگزان وارد یک بالن که ژاکت حرارتی دارد، می شود. داخل این بالن دو المنت حرارتی برای گرم کردن و دو کلید برای روشن کردن المنت و دادن توان به آن وجود دارد همچنین یک set point که وقتی به دمای مشخصی برسد المنت خاموش شود . هگزان گرم و تبخیر شده و داخل کندانسور می شود سپس از داخل کندانسور قطره قطره روی کنجد ها ریخته می شود تا وقتی که سطح هگزان به سطح لوله U شکل برسد که لوله های U شکل لوله های مرتبطه هستند سپس هگزان که درون خود روغن کشیده خارج شده و به داخل بالن میریزد . این مراحل تکرار می شود تا روغن گیری به طور کامل انجام شود . در این دستگاه پمپ خلا وجود دارد که به دو قسمت از دستگاه می رود . یکی بالای کندانسور و یکی بالای مخزن تا خلا ایجاد شده و فشار کم شود تا دمای جوش هگزان پایین بیاید.

## کاربردهای این نوع استخراج :

۱- استخراج فلزات از معادن

۲- روغن گیری از دانه های روغن ( کنجد ، آفتابگردان و ... )

## نتایج و نکات :

\* حالت ایده آلی برای عمل leaching به دو قسمت تقسیم می شود :

۱- جزئی از جامد در قسمت overflow نباشد . (  $N_R = 0$  )

۲- تمام حل شونده در حلال ، حل شود ( غلظت حل شونده در جامد صفر شود ) . (  $X=Y$  )

\* در این آزمایش حلال ما هگزان می باشد .