

دانشگاه پیام نور

مرکز آباده

# آزمایشگاه شیمی صنعتی

## بنام خدا

### دستورالعمل استفاده از دستگاههای آزمایشگاه شیمی صنعتی

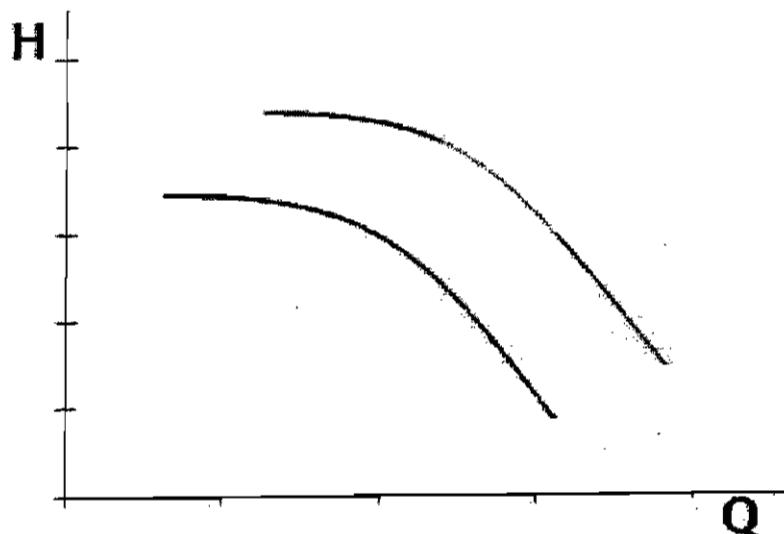
-این دستورالعمل جهت راهنمایی استفاده بهتر از دستگاهها میباشد و منع کاملی برای تهیه گزارش کار نمیباشد. لذا برای ارائه گزارش کار میباشد کتابهای مرجع مراجعه نموده و فرمولها و اطلاعات مورد نیاز را جمع آوری نمایید.

-برای درک بهتر آزمایشات ، هر آزمایش را چندین بار تکرار نموده و در هر بار تغییراتی را در دبی آب و.. اعمال نمایید.

## نام آزمایش: آزمایش پمپها

هدف: بهم بستن پمپها بصورت سری و موازی و بررسی نتایج برای انتقال سیالات غیرمتراکم از یک نقطه به نقطه دیگر (مثلًا از ارتفاع  $h_1$  به ارتفاع  $h_2$ ) از پمپ استفاده می‌شود.

هرچه یک پمپ حجم بیشتری را انتقال دهد در ارتفاع کمتری انتقال صورت می‌گیرد و برعکس. این واقعیت بوسیله منحنی مشخصه پمپ نمایش داده می‌شود و منحنی مشخصه پمپ همیشه به صورت زیر است:



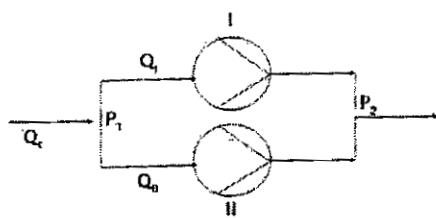
H: میزان افزایش فشاری که پمپ میتواند به سیال اعمال کند.

$$P_2 - P_1 = \Delta P = \rho g h$$



پمپهای موازی:

در پمپهای موازی دبی ها با هم جمع میشوند اما هدفها با هم برابرند.

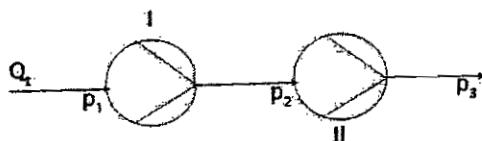


$$Q_T = Q_I + Q_{II}$$

$$H_I = P_2 - P_1 = H_{II}$$

پمپ های سری:

در پمپهای سری دبی ها با هم برابرند.



$$Q_T = Q_I = Q_{II}$$

$$H_I = P_2 - P_1 = \Delta P_1$$

$$H_{II} = P_3 - P_2 = \Delta P_2$$

$$H_T = P_3 - P_1$$

دستورالعمل آزمایش پمپها:

بعد از انجام هریک از مراحل زیر دبی و فشار را یادداشت نموده و پمپ ها را خاموش نمایید.

پمپ 1:

1- شیرهای 1، 4 و 5 را بندید.

2- شیرهای 2 و 3 را باز کنید.

3- پمپ 1 را روشن کنید.

پمپ 2

1-شیرهای 2 و 4 را بیندید.

2-شیرهای 3، 1 و 5 را باز کنید.

3-پمپ 2 را روشن کنید.

سری:

1-شیرهای 1 و 2 را بیندید.

2-شیرهای 4، 3 و 5 را باز کنید.

3-پمپ های 1 و 2 را روشن کنید.

موازی:

1-شیر 4 را بیندید.

2-شیرهای 3، 2 و 5 را باز کنید.

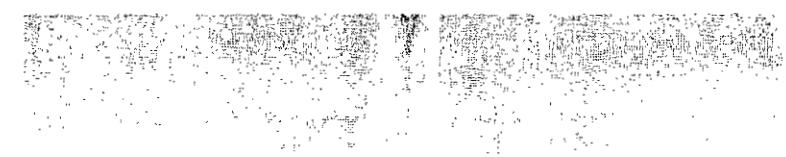
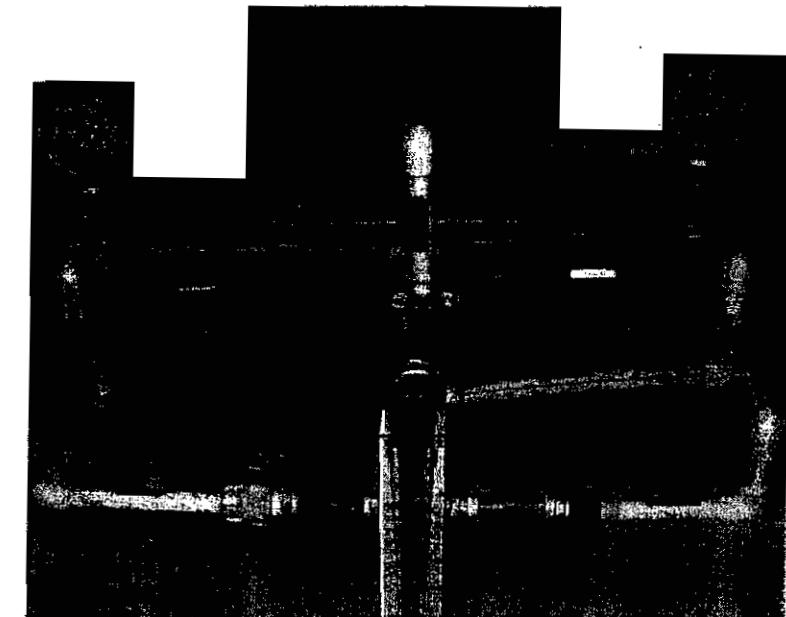
3-پمپ های 1 و 2 را روشن کنید.

\*\*\*

برای پمپ 1 منحنی مشخصه را رسم کنید.

برای پمپهای 1 و 2 موازی منحنی مشخصه رسم کنید.

در مورد نتایج سری و موازی بسته شدن پمپها بحث کنید.



.....

## نام آزمایش: آزمایش رینولدز

هدف: بررسی جریان آرام و آشفته

رژیم جریان:

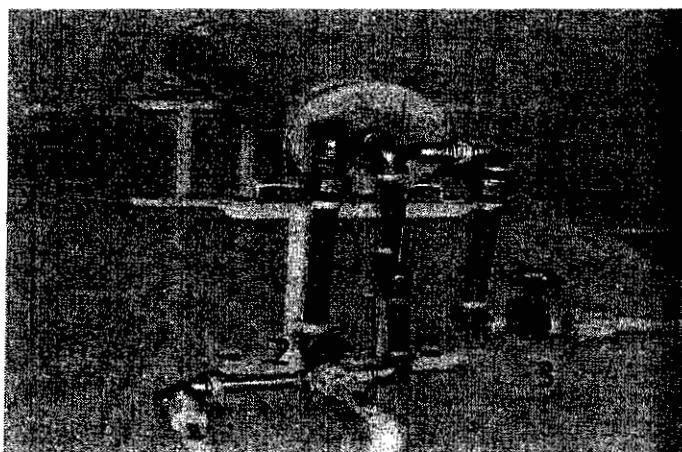
1- رژیم آرام (جریان لایه ای): که لایه‌آب روی هم می‌لغزد و در هم فرو نمی‌رود. ( $Re \leq 2400$ )

2- ناحیه انتقالی: ( $2400 < Re < 4000$ )

3- رژیم آشفته (جریان در هم): ( $Re \geq 4000$ )

- رینولدز بحرانی پایین ( $Re_{CL}$ ): عدد رینولدزی که نشانگر انتهای رژیم جریان آرام می‌باشد.

- رینولدز بحرانی بالا ( $Re_{CH}$ ): عدد رینولدزی که نشانگر ابتدای رژیم جریان آشفته می‌باشد.



$$Q = \frac{\text{حجم آب خروجی}}{t}$$
$$\frac{Q}{A} = \text{سرعت}$$
$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

دستورالعمل آزمایش رینولدز:

1- شیرهای 1 و 2 را باز کنید.

2- سرمه‌دانی پمپ و شیر 3 را برای جریان مورد بررسی (آرام، انتقالی و متلاطم) تنظیم نمایید.

3- پمپ را روشن کنید.

4- جریان محلول رنگی را تنظیم کنید.

5- دبی خروجی را اندازه گیری نمایید:

6- بشر مدرجي را در خروجی رینولدز قرار داده و توسط کرنومتر زمان را اندازه گیری کنید. حجم

آب خروجی (لیتر) تقسیم بر زمان (دقیقه) دبی را نشان میدهد.

6- پمپ را خاموش کنید.

## نام آزمایش: مبدل حرارتی دولوله

هدف: بررسی جریان همسو و ناهمسو

$$Q_H = (m \cdot C_p \cdot \Delta T)_{Hot}$$

$$Q_C = (m \cdot C_p \cdot \Delta T)_{Cold}$$

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_{LM} \cdot F$$

$$\Delta T_{LM} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}}$$

$$A = L \cdot \pi \cdot D$$

دستورالعمل مبدل حرارتی:

1. درجه آبگرمکن را بین 30 تا 40 تنظیم نمایید.

2. دکمه controller را در وضعیت on قرار دهید تا آبگرمکن شروع به کار کند. (بمدت 20  
الی 30 دقیقه منتظر بمانید)

3. شیرهای 2، 4 و شیر آب سرد (متصل به آب شهر) را باز کنید.

4. الف) شیرهای قرمزرنگ را با هم باز کنید و شیرهای آبی رنگ را با هم بیندید. (جریان همسو)

ب) شیرهای آبی رنگ را با هم باز کنید و شیرهای قرمزرنگ را با هم بیندید. (جریان ناهمسو)  
5. پمپ را روشن کنید.

6. دماهای آب گرم و سرد ورودی و خروجی را اندازه گیری نموده و پمپ را خاموش کنید.

نکته:

- هنگام تغییر وضعیت از همسو به ناهمسو زمان کافی برای تعادل سیستم الزامی است.

- شیرهای 1 و 3 جهت تنظیم ورودی و خروجی پمپ هنگام استفاده سیستم دردیهای متفاوت تعیی  
شده است.

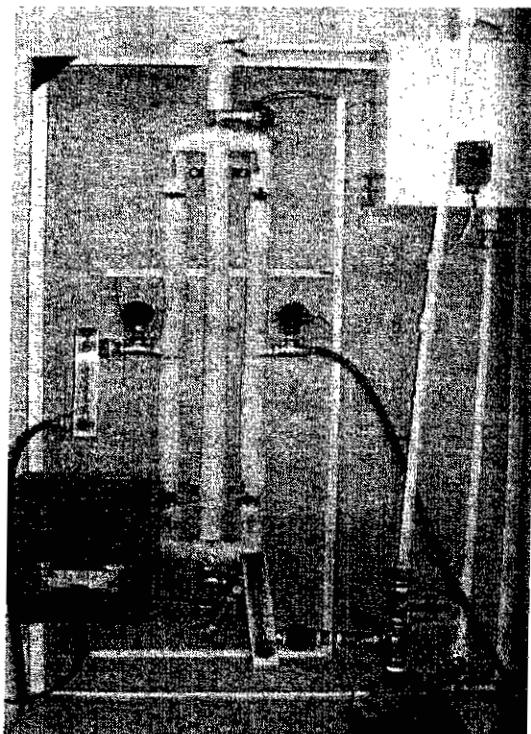
\*\*\*

خوبی کلی انتقال حرارت ( $U$ ) را محاسبه کنید.

-نمودار ( $T-L$ ) مبدل را در جریانهای همسو و ناهمسو رسم کنید.

-در مورد مزیتها و نقصهای جریانهای همسو و ناهمسو بحث کنید.

-تعدادی از کاربردهای جریان همسو و ناهمسو را نام برد. (با ذکر دلایل و توضیحات)



### نام آزمایش: افت فشار در لوله ها و اتصالات

هدف: بررسی افت فشار در اثر جنس و قطر لوله

$$\Delta P = (\rho_{CCl_4} - \rho_{H_2O})gh$$

اختلاف ارتفاع سیال مانومتر:

افت فشار تجربی:

افت فشار تئوری:

$$\Delta p = f(L, D, V, F, \mu)$$

## بنام خدا

### برجهای آکنه

هدف:

بررسی عملکرد برج جذب آکنه در جداسازی  $\text{CO}_2$  از مخلوط  $\text{CO}_2$  و هوا به وسیله آب

تئوری:

در بسیاری از فرآیندهای مهندسی شیمی لازم می‌گردد که گاز ناخواسته‌ای را از یک مخلوط گازی حذف کنند. این کار معمولاً به دو روش انجام می‌شود:

- 1- استفاده از یک مایع (حلال) که بتواند به طور انتخابی گاز ناخواسته را در خود حل کند.  
به این فرآیند جذب<sup>۱</sup> می‌گویند.
- 2- استفاده از یک جامد متخلف که بتواند گاز ناخواسته را در سطح خود جذب کند. به این فرآیند جذب سطحی<sup>۲</sup> می‌گویند.

از آنجا که فرآیند جذب فرآیندی گرمایش معمولاً این فرآیند در دمای کم و فشار زیاد انجام می‌شود. فرآیند جذب معمولاً در دو نوع برج به نامهای برج سینی دار<sup>۳</sup> و برج آکنه<sup>۴</sup> انجام می‌شود استفاده از هر کدام از این انواع بستگی به فاز کنترل کننده فرآیند دارد. اگر فاز گاز فاز کنترل کننده انتقال جرم باشد از برج سینی دار استفاده می‌گردد که در آن فاز گاز به صورت پراکنده<sup>۵</sup> و فاز مایع<sup>۶</sup> به صورت پیوسته است اما در صورتی که فاز مایع کنترل کننده انتقال جرم باشد از برج آکنه استفاده می‌شود که در آن در آنها فاز مایع به صورت فاز پراکنده در می‌آید. در شکل (۱) یک برج جذب آکنه نشان داده شده است. برج آکنده در واقع یک ستون استوانه ای یا برج می‌باشد که به منظور افزایش سطح تماس انتقال جرم درون آن با استفاده از آکنه‌ها پر شده است. در یک برج آکنده، مایع و گاز با هم در تماس مداوم قرار می‌گیرند و انتقال جرم جزء نا مطلوب از فاز گاز به فاز مایع انجام می‌شود.

<sup>1</sup>. Absorption

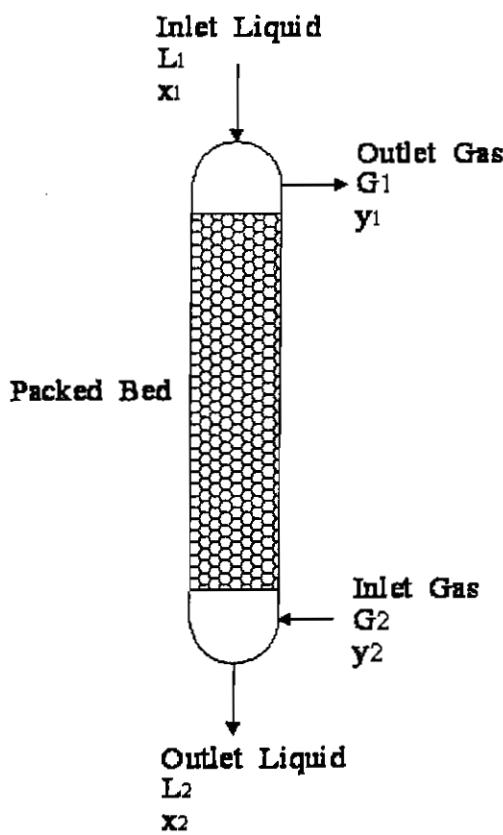
<sup>2</sup>. Adsorption

<sup>3</sup>. Tray column

<sup>4</sup>. Packed Tower

<sup>5</sup>. Continuous Phase

<sup>6</sup>. Dispersed Phase



شکل (1) برج آکنه و نمایش اجزای آن

همانطور که در شکل نشان داده شده ورودی گاز در بالای برج و بالعکس ورودی مایع در بالا و خروجی آن در پایین برج قرار دارند. در واقع این برج در گروه فرآیند ناهمسوی انتقال جرم قرار می‌گیرد. مایع از بالای برج وارد می‌شود و در اثر عبور از روی آکنه‌ها سبب ایجاد سطح تماس بیشتری بین دو فاز می‌شود. ساختار آکنه‌ها باید طوری باشد که نسبت سطح خارجی آن به حجمی که اشغال می‌کند بزرگ باشد تا در کمترین حجم، بیشترین سطح تماس را ایجاد کند. در عمل بسته به عوامل فرآیندی از قبیل جنس و نوع فازهای گاز و مایع، میزان افت فشار و توجیهات اقتصادی برجها، از انواع گوناگونی از آکنه‌ها استفاده می‌شود. اما به طور کلی در انتخاب آکنه خوب، ویژگیهایی را در نظر می‌گیرند که عبارتند از:

-1- داشتن سطح و تخلخل زیاد: باید توجه کرد که منظور از سطح، سطح حفره‌های میکرونی و میکروسکوپی نیست زیرا چنین حفره‌های بسیار ریزی عملأً باعث محبوس شدن مقداری مایع در داخل حفره‌ها و در نهایت عدم شرکت این حفره‌ها در تماس بیشتر فاز گاز و مایع است. همچنین

ذرات آکنه باید خلل و فرج کافی برای عبور گاز از بستر برج را فراهم کنند بدون آنکه باعث افزایش افت فشار شوند.

-2- ترشوندگی: آکنه‌ها باید توسط فاز مایع به خوبی تر شوند تا سطح تماس دو فاز بیشتر شود.

-3- پایداری شیمیایی و مکانیکی: آکنه‌ها باید در برابر فازهای در تماس با هم از نظر شیمیایی و مکانیکی استحکام کافی داشته باشند.

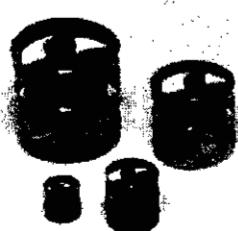
-4- افت فشار کم: به دلیل اینکه افت فشار درون آکنه‌ها تابع مستقیمی از سرعت سیالات است باید فضای خالی مناسب بین پرکنها ایجاد شود تا جریان را در با حداقل افت فشار عبور دهد.

-5- وزن و ماندگاری کم مایع: در صورتیکه وزن پرکنها و مایع مانده در برج کم باشد وزن برج نیز کم خواهد بود این امر در طراحی مکانیکی دستگاه بسیار مهم است.

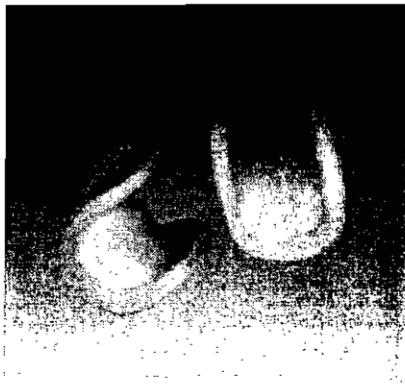
-6- هزینه پائین.

شکل (2) بعضی از انواع آکنه‌های تجاری که برای پر کردن برج‌های آکنده استفاده می‌شوند را نشان می‌دهد. گاهی در برجهای آکنه از آکنه‌های با اشکال منظم استفاده می‌کنند. این آکنه‌ها را به صورت منظم در داخل برج می‌چینند. آکنه‌های منظم از نظر کمی افت فشار و نیز امکان استفاده در دبی‌های بیشتر جریان بر آکنه‌های نامنظم ترجیح دارند ولی هزینه چیدن این آکنه‌ها در مقایسه با آکنه‌های نامنظم قابل توجه است.

۱- حلقه پال<sup>۷</sup>



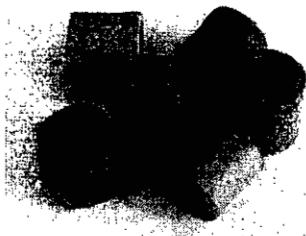
۲- زین بول<sup>۸</sup>



۳- حلقه دو دیوار<sup>۹</sup>



۴- حلقه راشینگ<sup>۱۰</sup>



شکل(۲) انواع آکنهای تجاری

### تعیین تعداد مراحل ایدهآل در برجهای آکنه

در برجهای سینی‌دار، انتقال جرم واقعی بین فاز گاز و فاز مایع فقط روی سینی‌ها انجام می‌شود و در فاصله بین دوسینی، از نظر تئوری، انتقال جرم انجام نمی‌شود. اما در برجهای آکنده در همه طول برج، فاز گاز و مایع در تماس مداوم بوده و انتقال جرم بین دو فاز انجام می‌شود. برای تعیین ارتفاع مورد نیاز برای رسیدن به یک جداسازی مطلوب در ستونهای پرشده، ابتدا ارتفاعی از ستون که بتواند جداسازی هم ارز با

<sup>7</sup>. Pall Ring

<sup>8</sup>. Berl Saddle

<sup>9</sup>. Partition Ring

<sup>10</sup>. Rasching Ring

یک سینی تئوری در برج سینی دار را ایجاد کند بدست می‌آورند، این ارتفاع (<sup>۱۱</sup> HETP) نامیده می‌شود، سپس با تعیین تعداد مراحل ایده آل ( $N_t$ )، از رابطه زیر ارتفاع برج (H) به دست می‌آید:

$$H = (N_t) \times (HETP) \quad (1)$$

برای تعیین تعداد سینی‌های مورد نیاز می‌توان از روش ترسیمی خط عملکرد برج و خط تعادل استفاده نمود. حال سؤال اینجاست که چه ارتفاعی از برج آکنده معرف یک سینی ایده‌آل است؟ در واقع مقدار HETP برای هر نوع آکنه مقداری متفاوت است و آنرا به صورت تجربی به دست می‌آورند. تجربه نشان داده که ارتفاع معادل با یک مرحله تعادلی علاوه بر نوع و اندازه آکنه به دبی جریانها و نیز غلظت ناخالصی بستگی دارد. روش‌های دقیقتری برای محاسبه ارتفاع برج آکنه وجود دارد که مستلزم بررسی دیفرانسیلی برج و به دست آوردن معادله عملکرد برج در یک المان دیفرانسیلی آن است حل این معادل دیفرانسیل به همراه معادله تعادل منجر به محاسبه ارتفاع برج خواهد شد.

### محاسبه خط عملکرد برج

خط عملکرد برج در واقع معادله است که غلظت مواد را در دو فاز در نقاط مختلف دستگاه به هم ارتباط می‌دهد. برای محاسبه خط عملکرد برج از موازنۀ جرم ماده‌ای که در انتقال جرم شرکت می‌کند استفاده می‌کنند. در واقع هر فاز از دو قسمت تشکیل شده است یک قسمت ماده A که در انتقال جرم شرکت می‌کند و قسمت دیگر موادی هستند که در انتقال جرم شرکت نمی‌کنند. با توجه به شکل (۱)، اگر لز جزء مولی ماده A در فاز گاز،  $G$  تعداد کل مولهای فاز گاز،  $x$  کسر مولی ماده A در فاز مایع و  $L$  تعداد کل مولهای فاز مایع باشد. موازنۀ تعداد مولهای ماده A حول برج به صورت زیر است.

$$x_1 L_1 + y_2 G_2 = x_2 L_2 + y_1 G_1 \quad (2)$$

از آنجا که فرض شده هر کدام از فازها از دو قسمت تشکیل شده است. داریم:

$$L = L_s + xL \quad (3)$$

$$G = G_s + yG \quad (4)$$

---

<sup>۱۱</sup>. Height Equal to a Theoretical Plate

در این معادلات  $L_s$  و  $G_s$  به ترتیب قسمتی فاز مایع و فاز گاز هستند که در انتقال جرم شرکت نمی‌کنند. با جایگذاری معادلات (3) و (4) در معادله (2)، معادله زیر به دست می‌آید.

$$\frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = \frac{L_s}{G_s} \quad (5)$$

معادله (5)، معادله خط عملکرد برج در فرآیند پایا می‌باشد. می‌توان این معادله را برای هر نقطه دلخواه داخل برج به کار برد. این معادله از نقطه  $(X_1, Y_1)$  با شیب  $(L_s/G_s)$  عبور می‌کند.

#### شرح دستگاه:

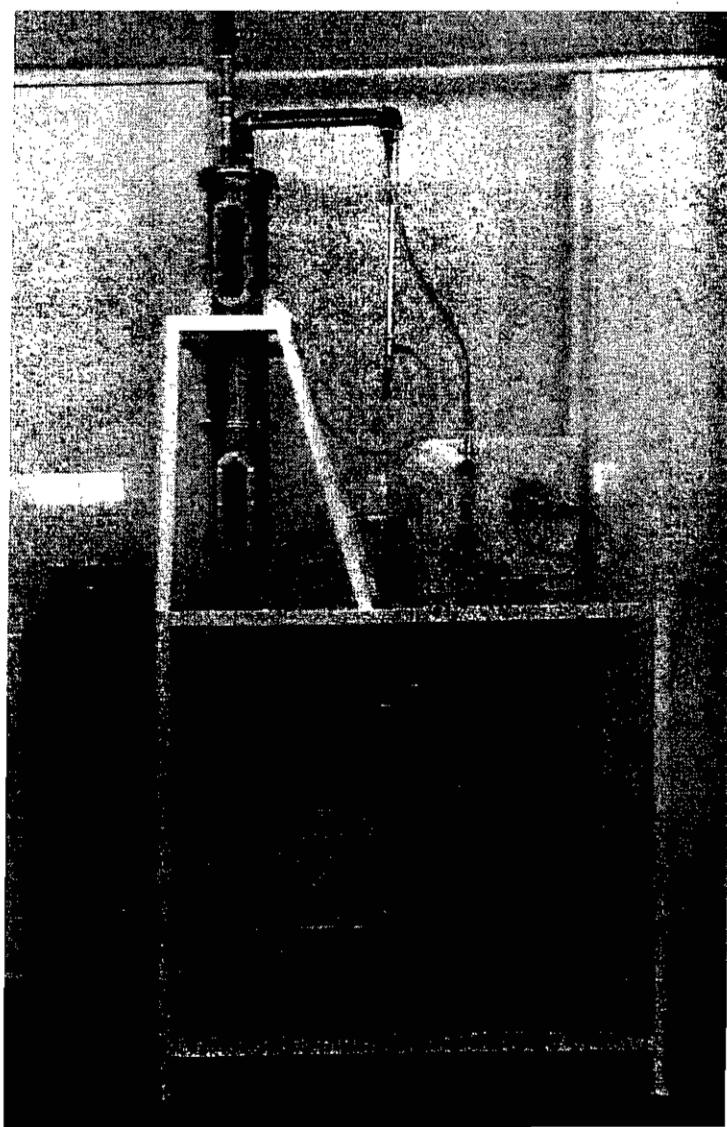
دستگاه همچنان که در شکل (2) نشان داده شده، از بخش‌های زیر تشکیل شده است:

- 1 پایه
- 2 کپسول  $\text{CO}_2$
- 3 شیر تنظیم کننده دبی  $\text{CO}_2$  (رگلاتور)
- 4 دبی سنج  $\text{CO}_2$
- 5 کمپرسور هوا
- 6 دبی سنج هوا
- 7 شیر تنظیم کننده دبی هوا
- 8 دبی سنج آب
- 9 شیر تنظیم دبی آب
- 10- برج آکنه شامل بستر آکنه، توزیع کننده جریان آب در بالای بستر، ترپ<sup>12</sup> به منظور ایجاد فشار مورد نیاز جهت حرکت گاز در بستر به سمت بالا.
- 11- گاز شور
- 12- شیر اطمینان
- 13- ترپ

در این آزمایش از آب به عنوان حلول و جاذب برای جذب  $\text{CO}_2$  موجود در هوا استفاده می‌شود. برای این منظور ابتدا در دستگاه مخلوطی از هوا و  $\text{CO}_2$  با غلظت مشخص تولید شده و سپس با عبور این

<sup>12</sup>. Trap

مخلوط گازی از دستگاه برج جذب،  $\text{CO}_2$  آن کاهش داده می‌شود. آب از قسمت بالای برج وارد شده و با عبور از پخش کن، روی آکنه‌ها پاشیده می‌شود سپس با عبور از ترپ در قسمت پایین دستگاه از دستگاه خارج می‌شود. در مقابل مخلوط گازی  $\text{CO}_2$  و هوا از پایین برج وارد شده و با حرکت در جهت عکس آب از بالای دستگاه خارج می‌شود و فرآیند انتقال جرم و جذب  $\text{CO}_2$  روی سطح آکنه‌ها انجام می‌شود.



شکل(2). دستگاه برج جذب

## روش انجام آزمایش

شیر تخلیه انتهای ترپ را بیندید و شیر آب دستگاه را باز کنید حال با استفاده از شیر تنظیم دبی، دبی آب را روی  $100 \text{ lit/hr}$  تنظیم کنید و مطمئن شوید که آب لوله ترپ را پر کرده است. کمپرسور را روشن کرده و بعد از مدتی که فشار داخل مخزن آن به حد مطلوب رسید شیر تنظیم کننده دبی هوا را آنقدر باز کنید تا دبی هوا برابر گردد. شیر کپسول  $\text{CO}_2$  را باز کنید و با استفاده از رگلاتور کپسول  $\text{CO}_2$  دبی آنرا روی تنظیم نمایید. مدتی صبر کنید تا سیستم به شرایط پایدار<sup>۱۳</sup> برسد. حال گازشور را با محلول  $0/1 \text{ M NaOH}$  پر کنید شیر متصل به گازشور را به مدت ۲ دقیقه باز کنید تا گاز خروجی از برج به مدت ۲ دقیقه از گازشور عبور کند. سپس مایع درون گازشور را خالی کرده و آنرا تیتر نمایید و نرمالیته آنرا به دست آورید. اگر نرمالیته محلول  $\text{NaOH}$  به صفر رسیده بود مدت زمان عبور گاز از گازشور را کاهش دهید. همین آزمایش را با دبی های متفاوت آب (۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰) تکرار کنید. پس از اتمام آزمایش شیر تخلیه انتهای ترپ را باز کنید تا آب موجود در دستگاه خارج شود. در هر مرحله دبی جریانها، مدت زمان و تغییرات نرمالیته محلول گازشور را ثبت کنید.

## محاسبات

- ۱- با توجه به دبی سنجهای  $\text{CO}_2$ ، هوا و آب مقادیر  $L$  و  $G$  را در ورودی های برج تعیین کنید.

$$G = \frac{m_{\text{air}}}{M_{\text{air}}} + \frac{m_{\text{CO}_2}}{M_{\text{CO}_2}} \quad (6)$$

$$L = \frac{m_w}{M_w} \quad (7)$$

(در این معادله  $m_{\text{air}}$ ،  $M_{\text{air}}$ ،  $m_w$ ،  $M_w$  و  $m_{\text{CO}_2}$ ،  $M_{\text{CO}_2}$  به ترتیب دبی جرمی هوا، دبی جرمی  $\text{CO}_2$ ، دبی جرمی آب، وزن مولکولی هوا، وزن مولکولی  $\text{CO}_2$  و وزن مولکولی آب می باشند.)

- ۲- با توجه به این که از آب شهر به عنوان ماده جاذب استفاده می شود می توان کسر مولی  $\text{CO}_2$  را در این جریان ( $x_1$ ) برابر صفر در نظر گرفت.
- ۳- کسر مولی  $\text{CO}_2$  را در جریان گاز ورودی از رابطه (۸) به دست آورید.

<sup>13</sup>. Steady State