

انتقال جرم و عملیات واحد

انتقال جرم و عملیات واحد

فهرست مطالب

۱۰.....	فصل اول: نفوذ مولکولی در سیالات
10.....	قانون اول فیک برای شارمولی :.....
17.....	تشابه بین انتقال مقدار حرکت حرارت و جرم
18.....	ضرایب انتقال جرم
20.....	چگونگی ارتباط بین F,K.....
22.....	ضرایب انتقال جرم در جریان آرام
22.....	انتقال جرم از یک گاز به درون یک لایه مایع ریزان
24.....	شرایط مرزی مورد نیاز
26.....	تئوری لایه فیلم
27.....	تئوری سرخ (تداخل جرم).....
29.....	تئوری نوشندگی سطح (جایگزین سطح)
29.....	ادغام نظریه های لایه و نوشندگی سطح (جایگزین سطح)
30.....	« لایه مرزی »
34.....	تشابه کلبرن در انتقال حرارت :.....
34.....	تشابه چیلتون کلبرن در انتقال جرم :.....
35.....	نکات مهم فصل اول :
36.....	* رابطه جزء مولی با جزء جرمی :.....
37.....	* سطح مخصوص در یک بستر پر شده
39.....	مجموعه تست
۴۸.....	فصل دوم: انتقال جرم بین فازها.....
48.....	انتقال جرم محلی بین دو فاز
50.....	ضرایب کلی محل انتقال ماده
52.....	ضرایب محلی-حالت عمومی
53.....	کاربرد ضرایب کلی محلی
53.....	ضرایب کلی متوسط
54.....	فرآیندهای پایا با جریانهای همسو (Study-state cocurrent processes)
54.....	موازنه های مواد
57.....	فرآیندهای پایا با جریانهای متقابل
59.....	فرآیندهای مداوم با جریانهای همسو
60.....	فرآیندهای ناپیوسته
60.....	مجموعه واحدها
62.....	مجموعه با جریانهای متقابل

65	 دستگاه های مربوط به عملیات گاز-مایع
65	 مخازن با مولد حباب (ستونهای تولید حباب)
66	 قطر حبابهای گاز
66	 سرعت صعود (سرعت حد) حبابهای منفرد
67	 ماندگی
67	 انتقال جرم
67	 مخازن با همزن های مکانیکی
67	 همزدن مکانیکی مایعات تک فازی
67	 تولید گرداب (vortex) و نحوه پیشگیری از آن
68	 راههای جلوگیری از ایجاد گرداب:
68	 مکانیک سیالات
69	 هم زدن مکانیکی، تماس گاز-مایع
71	 فواصل سینی ها از یکدیگر:
71	 نگهداری و هزینه دستگاه
72	 سینی های کلاهی:
72	 سینی های مشبک:
72	 طراحی سینی های مشبک
75	 سینی های خاص
76	 بازده سینی ها
78	 ماندگی مایع در گاز
78	 شستشو دهنده های وانتوری
79	 برجهای دیواره مرطوب
79	 برجهای و محفظه های پاششی
79	 برجهای پر شده
82	 ضرایب انتقال جرم برای ستونهای پر شده
84	 مقایسه برجهای پر شده و سینی دار:
88	 تستهای مربوط به بخش دوم انتقال جرم و عملیات واحد
99	 پاسخ تست های مربوط به بخش دوم انتقال جرم و عملیات واحد
109	 آزمون مربوط به بخش دوم انتقال جرم و عملیات واحد
113	 پاسخ تستهای مربوط به آزمون بخش دوم انتقال جرم و
116	 مجموعه تست
117	 پاسخنامه
119	 مجموعه تست
121	 پاسخنامه
۱۲۲	 فصل سوم: انتقال جرم واحد
122	 عملیات مرطوب سازی
122	 هدف از عملیات مرطوب سازی
122	 منحنی فشار بخار

123	 درون یابی بین نتایج
124	 آنتالپی
124	 رطوبت مطلق (Absolute Humidity)
125	 مخلوط های گاز و بخار اشباع
125	 مخلوط های اشباع نشده گاز و بخار
128	 منحنی های اشباع آدیاباتیک
132	 عملیات تماس بین گاز و مایع
132	 عملیات آدیاباتیک
132	 سرد کردن آب با هوا
134	 جذب گاز
134	 حلالیت تعادلی گاز در مایعات
136	 محلولهای مایع کامل
136	 انتخاب حلال برای عمل جذب
137	 حالت دفع یا عاری سازی (از مایع به گاز)
141	 عملیات چند واحدی با جریانهای متقابل
142	 سینی های حقیقی و بازده سینی ها
143	 دستگاه های تماس مداوم
145	 نمودار فرآیند برج خنک کن
145	 مطالبی در مورد حلال
146	 در عملیات غیر همسو
147	 تعداد واحد انتقال در فاز گاز
148	 مجموعه تست
154	 پاسخ تست ها
۱۶۱	 فصل چهارم: تقطیر
161	 نمودار تعادلی در فشار ثابت
162	 محلول های ایده آل - قانون راولت
163	 مخلوط های آزنوتروپ با نقطه جوش مینیمم
164	 انحراف منفی از حالت ایده آل
165	 مخلوط آزنوتروپ با نقطه جوش ماکزیمم
165	 نمودارهای آنتالپی غلظت
169	 رابطه تعادل
170	 عملیات تک مرحله ای - تبخیر آبی و یا ناگهانی
172	 میعان جزئی
172	 سیستم های چند جزئی - محلول های ایده آل
173	 تقطیر جزئی یا تقطیر ساده
173	 میعان دیفرانسیلی
174	 پالایش مداوم - سیستم های دو جزئی
174	 عملیات تقطیر جزء به جزء

175	موازنه کلی آنتالپی
176	حرارت مورد نیاز در جوش آور
179	بخش بازیابی
183	تعداد سینی ها برای فراریت نسبی ثابت
183	افزایش نسبت جریان برگشتی
184	استفاده از بخار آب مستقیم
185	برجهای با چند خوراک
187	برجهای سینی دار چند مرحله ای - روش McCabe and Thiele
187	بخش غنی سازی ، مبرد کامل - جریان برگشتی در نقطه حباب
191	جریان برگشتی کامل یا نسبت جریان برگشتی بی نهایت
191	حداقل نسبت جریان برگشتی
193	نکات مهم
199	تست های فصل چهارم جزوه انتقال جرم و عملیات واحد
209	جواب تستهای فصل چهارم انتقال جرم و عملیات واحد
۲۲۲	فصل پنجم: استخراج از مایعات
222	موارد استفاده از عمل استخراج
222	تعادل مایع
223	مختصات مثلث متساوی الاضلاع
224	سیستمهای سه گانه مایع با حلالیت جزئی یک زوج
225	اثر درجه حرارت
226	اثر فشار
226	سیستم های سه گانه مایع - با حلالیت جزئی دو زوج
227	سیستم های دو گانه مایع با حلالیت جزئی و یک جامد
235	استخراج چند مرحله ای مداوم با جریان های ناهمسو
238	استخراج از جامدات
238	درجه حرارت استخراج جامد
238	چند نوع دیاگرام تعادلی
239	استخراج از جامدات در حالت تک مرحله ای
240	استخراج از جامد در حالت چند مرحله ای با جریان متقاطع
۲۴۳	فصل ششم: انتقال جرم و عملیات واحد
243	تبخیر
243	انواع تبخیر کننده ها
244	عملکرد تبخیر کننده های چند لوله ای
245	موازنه آنتالپی برای تبخیر کننده یک مرحله ای
247	تبخیر کننده چند مرحله ای
247	ظرفیت و فاکتور اقتصادی تبخیر کننده های چند مرحله ای
248	خشک کردن
248	تعادل

249	 جامدات نامحلول
249	 تعاریف
250	 شدت خشک کردن در سیستم ناپیوسته
251	 فرمولهای نواحی مختلف خشک کردن
252	 - اثر سرعت گاز بر خشک شدن
252	 اثر درجه حرارت گاز
252	 اثر رطوبت گاز
252	 اثر ضخامت جامد خشک شونده
252	 خشک شدن با جریان سراسری
253	 تست های فصل ششم انتقال جرم و عملیات واحد
260	 پاسخ تست های فصل ششم
264	 مجموعه تست
267	 پاسخنامه
268	 مجموعه تست
271	 پاسخنامه
273	 مجموعه تست
277	 پاسخنامه
280	 مجموعه تست
283	 پاسخنامه
285	 مجموعه تست
288	 پاسخنامه
290	 مجموعه تست
293	 پاسخنامه
295	 منابع و مأخذ:

فصل اول: نفوذ مولکولی در سیالات

نفوذ مولکولی در اثر انرژی حرارتی به وجود می آید .

عوامل انتقال جرم :

1. اختلاف غلظت

2. اختلاف فشار

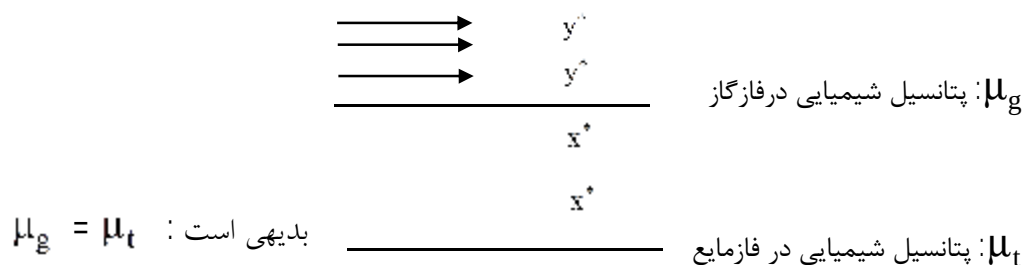
3. اختلاف دما

4. اختلاف نیروهای محرکه خارجی (مثل نیروهای الکتریکی ، مکانیکی ...) ، (اختلاف پتانسیل شیمیایی عامل اصلی انتقال جرم) هر کدام از موارد بالا به تنهایی یا همه آنها با هم می توانند باعث اختلاف پتانسیل شیمیایی شده و در نتیجه انتقال جرم صورت گیرد.

مهمترین دلیل کند بودن نفوذ ملکولی برخوردهای متوالی مولکولی است .

به علت تراکم بیشتر مولکولها در مایعات و کوتاه بودن مسیر آزاد متوسط مولکولها ضریب نفوذ شان کمتر از گازها می باشد.

اگر ماده ای مانند آمونیاک از گازی مثل هوا نفوذ کرده وارد آب شود پس از مدتی تعادل برقرار می شود در این حالت غلظت آمونیاک در آب متفاوت است که می توان توسط فرمول هنری $y^* = kx^*$ این مقادیر را پیدا کرد لیکن X^* و y^* در هوا و در آب به طور یکنواخت توزیع شده اند :



قانون اول فیک برای شارمولی :

$$J_A = -D_{AB} \frac{\partial C_A}{\partial Z}$$

علامت منفی در قانون فوق بیانگر آن است که نفوذ جزء A در جهتی انجام می شود که غلظت کم می شود.

D_{AB} یک خاصیت فیزیکی مولکولی بوده و معرف تحریر مولکولی جزء A در جزء B است.

درفرمول نوشته شده ضرب نفوذ مولکولی (D_{AB}) بستگی به عوامل ذیل دارد :

1. دما

2. فشار

3. غلظت

4. طبیعت سایر جزء

$$N_A = U_A C_A \Rightarrow [U_A]: \frac{L}{T}; [C_A]: \frac{\text{mol}}{L^3} \Rightarrow [N_A]: \frac{\text{mol}}{L^2.T}$$

$$U_m = \frac{U_A C_A + U_B C_B}{C}$$

$$U_m = \frac{N_A + N_B}{C}$$

U_m : سرعت متوسط مولی

u_A, u_B : سرعت جزء A, B

C_A و C_B : غلظت اجزاء A, B

$$N_A = U_m C_A + J_A$$

پس از جای گذاری مقادیر حاصل می شود :

$$N_A = \frac{N_A + N_B}{C} . C_A \left(-D_{AB} \frac{\partial C_A}{\partial z} \right)$$

سرعت متوسط جرمی و سرعت مولی متوسط نیز چنین تعریف می شود :

$$V = \sum w_i V_i \quad C_B = \rho_B, C_A = \rho_A, C = \rho$$

$$V^* = \sum x_i V_i$$

همواره داریم :

$$j_A = -j_B$$

که اگر ثابت $C_A + C_B =$ فرض گردد :

$$D_{AB} = D_{BA}$$

معادله پیوستگی بر حسب غلظت :

$$U_x \frac{\partial C_A}{\partial x} + U_y \frac{\partial C_A}{\partial y} + U_z \frac{\partial C_A}{\partial z} + \frac{\partial C_A}{\partial \theta} = D_{AB} \left(\frac{\partial^2 C_A}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C_A}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C_A}{\partial z^2} \right) + R_A$$

که خلاصه آن چنین می شود :

$$\bar{U} \cdot \nabla C_A + \frac{\partial C_A}{\partial \theta} = D_{AB} \nabla^2 C_A + R_A$$

در نظر داشته باشید که سرعت جرمی می باشد .

درحالتی که سرعتها صفر باشد ($u_x = u_y = u_z = 0$) و واکنش نداشته باشیم ($R_A = 0$)

به فرمول زیر میرسیم که قانون دوم فیک است :

$$\frac{\partial C_A}{\partial \theta} = D_{AB} \left(\frac{\partial^2 C_A}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C_A}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C_A}{\partial z^2} \right)$$

که قانون دوم فیک است .

مشابه معادله پیوستگی برای معادله انرژی داریم :

$$u_x \frac{\partial t}{\partial x} + u_y \frac{\partial t}{\partial y} + u_z \frac{\partial t}{\partial z} = \alpha \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) + \frac{Q}{\rho C_p}$$

که :

t : دمای ماده

$$\alpha: \frac{k}{\rho C_p} \text{ ضریب نفوذ حرارتی}$$

Q: گرمای تولید شده در داخل سیال

نفوذ مولکولی یک جهت در حالت پایا (Stady state) در سیال ساکن و یا حرکت آرام

$$N_A = \frac{N_A}{N_A + N_B} * \frac{D_{AB} \cdot C}{Z} \ln \left(\frac{\frac{N_A}{N_A + N_B} - \frac{C_{A2}}{C}}{\frac{N_A}{N_A + N_B} - \frac{C_{A1}}{C}} \right)$$

C: غلظت کل می باشد که برابر خواهد شد با $C = C_A + C_B$

D_{AB} : ضریب نفوذ جزء A در B که ثابت فرض می گردد .

Z: ضخامت نفوذ

$N_A \cdot N_B$: شار مولی جزء A و شار مولی جزء B

اگر $n = \frac{N_A}{N_A + N_B}$ فرض نمائیم برای گازها فرمول بالا بصورتیهای زیر تبدیل خواهد شد.

$$N_A = n \frac{D_{AB} C}{Z} \ln \left(\frac{n - y_{A2}}{n - y_{A1}} \right)$$

$$N_A = n \frac{D_{AB} P_t}{R.T.Z} \ln \left(\frac{n.P_t - P_{A2}}{n.P_t - P_{A1}} \right)$$

P_t : فشار کل (مطلق)

T: دمای مطلق

R: ثابت جهانی گازها

Z: ضخامت نفوذ

در مورد فرمول بالا دانستن نکات زیر ضروری است :

1. اگر یکی از اجزاء ساکن (نفوذ ناپذیر باشد) مثلاً وقتی ماده ای تبخیر می شود، در هوا نفوذ می کند اما هوا در آن ماده نفوذ نمی کند در این حالت $N_B = 0$ (هوا)

2. برای یافتن نسبت $\frac{N_A}{N_A + N_B}$ راههای متفاوتی وجود دارد مثلاً اگر واکنش شیمیایی $A + 2B \rightarrow C$ وجود

داشته باشد به ازای 2 مول B یک مول A نفوذ می کند و واکنش می دهد یعنی 2 B برابر A می شود $N_B = 2N_A$ یا اینکه وقتی می گویند گرمای نهان تبخیر $A(\lambda_A)$ 2 برابر گرمای نهان تبخیر $B(\lambda_B)$ می باشد (دمای جوش B پایین تر از A است) پس به ازای هر کالری گرمای یک مول B تبخیر شده اما 2 کالری گرمای 1 مول A را تبخیر می کند.

$$N_A = 2N_B$$

بنابراین برای یافتن نسبت $\frac{N_A}{N_A + N_B}$ برای واکنش $A + 2B \rightarrow C$ داریم :

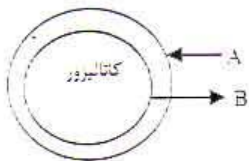
$$N_A = 1$$

$$N_D = 2 \Rightarrow \frac{N_A}{N_A + N_B + N_C} = \frac{1}{1+2-1} = \frac{1}{2}$$

$$N_C = -1$$

واکنش دهنده ها علامت مثبت و محصولات علامت منفی می گیرند.

3. حالت $N_A = -N_B$ مثلاً در واکنش گازی $A \rightarrow B$ در سطح کاتالیزور زیر :



در این حالت نمیتوان از فرمول فوق استفاده نمود که در همین مبحث به بررسی آن خواهیم پرداخت :

2 حالت زیر غالباً در عملیات انتقال جرم مشاهده می شود ،

1. نفوذ جزء A در حالت پایا درون جزء ساکن B ; $N_B = 0$:

$$N_A = \frac{D_{AB} P_t}{RT.Z} \ln \left(\frac{P_t - P_{A2}}{P_t - P_{A1}} \right) = \frac{D_{AB} P_t}{R.T.Z.P_{BM}} (P_{A1} - P_{A2})$$

که P_{BM} را فشار متوسط لگاریتمی تعریف می نماییم به عبارت دیگر :

$$P_{BM} = \frac{P_{B2} - P_{B1}}{\ln \left(\frac{P_{B2}}{P_{B1}} \right)}$$

توجه گردد که در این حالت $N_B = 0$ ولی $J_B \neq 0$ زیرا $J_B = -j_A$ که بستگی به $\frac{dp_B}{dz}$ دارد .

2. نفوذ متقابل با شدت مولی معادل در حالت پایا $N_B = -N_A$

$$N_A = J_A = -\frac{D_{AB}}{RT} \frac{dp_A}{dz} = \frac{D_{AB}}{RT.Z} (P_A - P_{A2}) = \frac{D_{AB}}{Z} (C_{A1} - C_{A2})$$

$$N_A = \frac{D_{AB}.C}{Z} (y_{A1} - y_{A2})$$

(نفوذ در حالت پایا در مخلوطهای چند جزئی)

$$\frac{1}{D_{Am}} = \frac{\sum_{i=A}^n \frac{1}{D_{Ai}} (y_i N_A - y_A N_i)}{N_A - y_A \sum_{i=A}^n N_i}$$

که :

D_{Ai} ضریب نفوذ دو جزئی جزء A در i

شایان ذکر است D_{Am} در مسیر نفوذ تغییر می نماید .

$$D_{Am} = \frac{1 - y_A}{\sum_{i=B}^n \frac{y_i}{D_{Ai}}} - \frac{1}{\sum_{i=B}^n \frac{y'_i}{D_{Ai}}}$$

حالتی که فقط جزء A در اجزاء دیگر نفوذ می کند :

$$(y'_B = \frac{y_B}{1 - y_A}) \text{ می باشد مثلاً: } y'_i$$

(تعیین ضریب نفوذ ملکولی در گازها)

$$D_{AB} \propto \frac{T^{3/2}}{P_t (r_{AB})^2}$$

T : دمای مطلق

P_t : فشار کل

r_{AB} : فاصله بین دو ملکولی A و B در حال برخورد می باشد .

« نفوذ مولکولی در مایعات »

$$N_A = n \frac{D_{AB}}{Z} \left(\frac{\rho}{M} \right)_m \text{Im} \left(\frac{n - x_{A2}}{n - x_{A2}} \right)$$

که :

ρ : دانستید کل ماده (A+B)

M : جرم ملکولی کل ماده (A+B)

$\left(\frac{\rho}{M} \right)_m$: متوسط غلظت کل از ابتداء تا انتهای فاصله Z

$$n = \frac{N_A}{(N_A + N_B)}$$

در مایعات نیز دو حالت برای انتقال جرم می توان در نظر گرفت

1. نفوذ یک جزء ، A به درون جزء ساکن B در حالت پایا یعنی $N_B = 0$, $N_A = \text{Cost}$

$$N_A = \frac{D_{AB}}{Z x_{Bm}} \left(\frac{\rho}{M} \right)_M (x_{A1} - x_{A2})$$

که :

$$x_{Bm} = \frac{x_{B2} - x_{B1}}{\ln(x_{B2}/x_{B1})}$$

2. نفوذ متقابل با شدت مولی معادل در حالت پایا : $N_A = -N_B = \text{Cost}$

$$N_A = \frac{D_{AB}}{Z} (C_{A1} - C_{A2}) = \frac{D_{AB}}{3} \left(\frac{\rho}{M} \right)_m (x_{A1} - x_{A2})$$

« ضریب نفوذ ملکولی در مایعات »

$$D_{AB} \propto \frac{T M_B^{1/2} Q^{1/2}}{\mu'}$$

T دمای مطلق

M_B جرم ملکولی ماده B

μ' گرانیوی محلول

Q ضریب تجمع مولکولی

نکته : به دلیل گرانیوی و نیز میزان ایده آل بودن محلول با تغییر غلظت اجزاء ضریب نفوذ مولکولی در مایعات تغییر می کند. یونها به خاطر کوچک بودن به مراتب سریعتر از مولکولها تفکیک نشده الکترولیت حرکت می نمایند شدت نفوذ یک ماده الکترولیتی برابر با شدت نفوذ یونهای آن الکترولیت است .

تشابه بین انتقال مقدار حرکت حرارت و جرم

نکته : انتقال جرم در مقایسه با انتقال مقدار حرکت پدیده ، بسیار کندی است .

D_{AB} : ضریب نفوذ مولکولی در جرم معادل با v ضریب نفوذ ملکولی مقدار حرکت معادل با $\alpha = K/(\rho C_p)$ ضریب نفوذ مولکولی حرارت است .

نکته : تشابه بین پدیده های انتقال در فشارهای معمول امکان پذیر است و در فشارهای بالا این تشابه از بین می رود یا هنگامی که انتقال مقدار حرکت و جرم توأم با یکدیگر صورت گیرد یا اینکه انتقال در جهت سه گانه صورت گیرد . این تشابه از بین می رود.

ضرایب انتقال جرم

در قسمتی از سیال که دارای حرکت درهم است گرادیان غلظت به مراتب کمتر از گرادیان غلظت در یک حرکت آرام است به دلیل مکانیزم انتقال در یک محیط آرام تنها شامل نفوذ مولکولی است در صورتیکه انتقال جرم در حرکت درهم مکانیزم متفاوتی (شامل نفوذ ملکولی به همراه نفوذ چرخانه ای) دارد انتقال جرم در حرکت در هم از فرمول زیر تبدیل خواهد شد :

$$N_A = nF \ln \frac{n - C_{A2}/c}{n - C_{A1}/c} \quad n = \frac{N_A}{N_A + N_B} \quad \text{که :}$$

ضریب انتقال جرم : F

C : غلظت کل C_A , C_B غلظت اجزاء A , B می باشد .

به دلیل آنکه سطحی که انتقال از میان آن صورت می گیرد ممکن است مسطح نباشد و مسیرهای نفوذ در سیال دارای سطح مقطعی متفاوتی باشند. N را به عنوان شار در سطح مشترک یا مرز فازی که از آن جسم نفوذ کننده وارد فاز شده و یا خارج می شود تعبیر می کنند و F ضریب انتقال جرم آن فاز است.

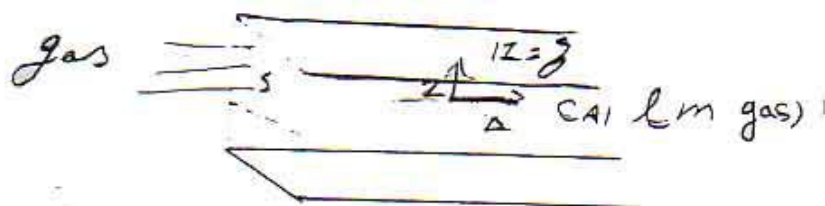
اگر غلظت C_A متغیر باشد در این حالت C_{A2} را در معادله برابر $\bar{C}_A$ در نظر می گیرند که چنین محاسبه می شود.

$\bar{u}_x$: سرعت متوسط توده (مقطع مجزا / شدت حجمی)

$$\bar{C}_A = \frac{1}{\bar{u}_x S} \int u_x C_A ds$$

S : سطح مقطع مجزا

$U_x(Z)$: توضیح سرعت گاز در اطراف مجزا $Z = \delta$



همانطور که در شکل دیده می شود با پیشروی گاز به جلو غلظت در نقطه $Z_1 = Z\delta$ متغیر است یعنی در نقطه $x = 0$ ، $Z = \delta$ ممکن است غلظت $C_{A2} = 0$ باشد اما در نقاط دیگر $x \neq 0$ ، $Z = \delta$ چسبیده به سقف در حال زیاد شدن است .

در فرمول $u_x(Z)$ = توزیع سرعت گاز در اطراف مجرا (متوسط زمانی u_x در جریان متلاطم کمیت F در معادله شار یک ضریب انتقال جرم محلی است که برای یک موضوع مشخص واقع بر سطح مرزی فازها بدست می آید معمولاً از یک مقدار متوسط f_{av} و مقادیر ثابتی جهت C_{A1} ، C_{A2} استفاده می شود.

ضرایب انتقال جرم را می توان به صورت زیر نوشت :

شار = (ضریب انتقال جرم) (تفاضل غلظتها)

در فرمول بالا به دلیل اینکه غلظت را با آمار متفاوتی می توان بیان کرد بنابراین ضرایب انتقال متفاوتی خواهیم داشت.

حالتهای مختلف ضریب انتقال جرم

$$N_A / (N_A + N_B) = 1 ; N_B = 0 \quad \text{A-1 نفوذ پذیر B ساکن}$$

$$N_A = \begin{cases} k_G(\bar{P}_{A1} - \bar{P}_{A2}) = K_y(y_{A1} - y_{A2}) = K_C(C_{A1} - C_{A2}) \\ K_x(x_{A1} - x_{A2}) = K_t(C_{A1} - C_{A2}) \end{cases}$$

برای بخاطر سپردن فرمولهای بالا در حالت گاز باید دقت کرد که (بجز فشار که اندیس G دارد)

اندیس K با آنچه که داخل پرانتز می باشند توافق داشته باشند مثلاً هنگا می که اختلاف غلظت بر حسب y_A باشد باید K_y را لحاظ کرد.

برای مایع نیز چنین حالتی وجود دارد و باید در نظر داشت که k بدون پریم برای حالتی است که A در جزء ساکن B

نفوذ و K پریم دار برای $(N_A = -N_B)$ است .

حالت 2- انتقال متقابل مولها $N_A = -N_B$

$$\text{For gases } N_A = k'_G(\bar{P}_{A1} - \bar{P}_{A2}) = K'_y(y_{A1} - y_{A2}) = K'_C(C_{A1} - C_{A2})$$

$$\text{For liquids } N_A = K'_x(x_{A1} - x_{A2}) = K'_t(C_{A1} - C_{A2})$$

دقت شود مثلاً k'_G به دلیل داشتن اندیس G برای حالت غلظت فشاری و به دلیل پریم برای حالت $N_A = -N_B$ به کار می رود.

در فرمولهای بالا K در انتقال جرم مشابه H در انتقال حرارت می باشد ضرایب معادلات بالا تنها در مواردی که شدت انتقال جرم کم باشد مفید است .

چگونگی ارتباط بین F,K

1- $N_B = 0$, $N_A \neq 0$ برای گازها از معادله های قبلی داشتیم که

$$N_A = \frac{D_{AB} \cdot P_t}{RTZ P_{BM}} (P_{A1} - P_{A2})$$

از طرفی در مورد گازها $F = \frac{D_{AB} C}{Z}$ و همانطور که می دانید $C = \frac{P_t}{RT}$ بنابراین حاصل می شود.

$$N_A = \frac{D_{AB}}{Z} \times \frac{P_t}{RT} \times \frac{1}{P_{Bm}} (P_{A1} - P_{A2})$$

$$N_A = \frac{F}{P_{BM}} (\bar{P}_{A1} - \bar{P}_{A2})$$

$$N_A = K_G (\bar{P}_{A1} - \bar{P}_{A2})$$

$$, N_A = K_G (\bar{P}_{A1} - \bar{P}_{A2})$$

$$\Rightarrow F = k_G \bar{P}_{B,m}$$

$$, K_G = \left(\frac{F}{P_{BM}} \right)$$

البتّه بعد از مقداری کارکردن با این فرمولها می توان خیلی سریع این فرمولها را به همدیگر تبدیل کرد .

2- $N_A = -N_B$ برای مایع

قبلاً داشتیم که :

$$N_A = \frac{D_{AB}(\rho/M)_m}{Z} (x_{A1} - x_{A2})$$

از طرفی برای مایع داریم :

$$F = \frac{D_{AB}(\rho/M)_m}{Z}$$

بنابراین :

$$N_A = F(x_{A1} - x_{A2})$$

از طرفی

$$N_A = K'_x(x_{A1} - x_{A2})$$

با مقایسه ، روابط بالا نتیجه می شود

$$F = K'_x C$$

برای مواقعی که با تست مواجه می شویم باید در نظر داشته باشیم که در حالت $N_B = 0$ و $N_A = 0$ مقدار

$$n = \frac{N_A}{N_A + N_B} = 1 \text{ شده و فرمول}$$

$$N_A = n \frac{DC}{Z} \ln \left(\frac{n - y_{A1}}{n - y_{A2}} \right)$$

به فرمول

$$N_A = \frac{DC}{Z} \ln \left(\frac{1 - y_{A1}}{1 - y_{A2}} \right)$$

تبدیل می شود همانطور که دیده می شود در فرمول $\ln, N_A$ وجود دارد و موقعی که $\ln$ در فرمول وجود داشته باشد

معمولاً باید $y_{B,m}$ یا $P_{B,m}$ یا $x_{B,m}$ در مخرج فرمول N_A ، ظاهر شود پس رابطه ، F با K دارای یکی از این

ضرایب ها خواهد بود ($y_{B,m}$ یا $P_{B,m}$ یا $x_{B,m}$) یعنی

$$F \propto y_{B,m} K_y \propto x_{B,m} K_x \propto \dots$$

$$n = \frac{N_A}{N_A + N_B} = \infty \quad \text{مقدار } N_A = -N_B \quad \text{صورتی که } N_A = n \frac{DC}{Z} \ln \left(\frac{n - y_{A1}}{n - y_{A2}} \right) \quad \text{ولی در}$$

خواهد شد که در این حالت نمی توان N_A را از رابطه ، بدست آورد پس رابطه N_A دارای $\ln$ نخواهد بود بالتبع نباید دارای کسر $X_{B,m}$ یا $y_{B,m}$ یا ... باشد.

و این نشان می دهد که $F \propto K_x \propto K_y \propto \dots$

و ضریب $y_{B,m}$ یا $X_{B,m}$... در این فرمولها ظاهر نمی شود.

نتیجه کلی فرمولی که $\ln$ داشته باشد باید $y_{B,m}$ یا $X_{B,m}$ یا ... داشته باشد اما فرمولی که $\ln$ ندارد این ضرایب را نخواهد داشت .

فاز	نفوذ یک جزء $N_B = 0, N_A / (N_A + N_B) = 1$	نفوذ متقابل $N_A = -N_B \quad N_A / (N_A + N_B) = \infty$
گاز	$F = K_G \bar{P}_{B,m} = K_y \frac{\bar{P}_{B,m}}{p_t} = K_C \frac{\bar{P}_{B,m}}{p_t} = \frac{K_y}{M_B}$	$F = K'_G p_t = K'_y = K'_C \cdot C = K'_C \frac{p_t}{RT}$
مایع	$F = K_x X_{B,m} = K_l X_{B,m} \cdot C$	$F = K'_l C = K'_1 \frac{\rho}{M} = K'_x$

که :

$$w_A = K_Y \Delta Y_A : \quad (\text{جرم منتقل شده})$$

$$(\text{جرم B} / \text{جرم A}) (\text{زمان}) (\text{سطح})$$

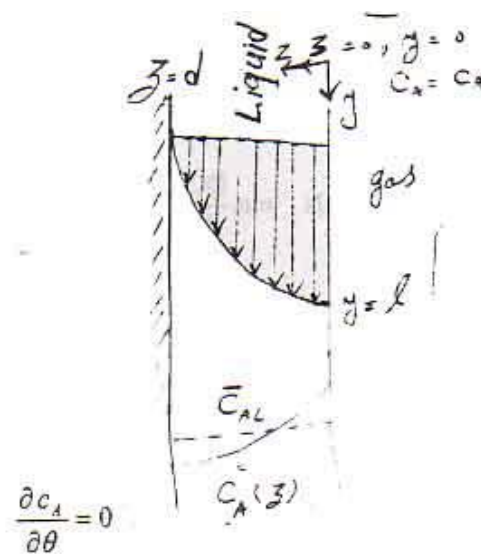
ضرایب انتقال جرم در جریان آرام

درجریان آرام نیاز به دانستن ضرایب انتقال جرم نیست زیرا در این حالت نفوذ مولکولی بر سایر مکانیسم ها برتری دارد و برای محاسبه شدت انتقال جرم از روابط ساده ای که قبلاً بیان شد استفاده می شود.

انتقال جرم از یک گاز به درون یک لایه مایع ریزان

برای بدست آوردن ضریب انتقال جرم K_L در این حالت که بتوان با استفاده از آن مقدار گاز حل شده را پس از سقوط مایع به مسافت L محاسبه کرد نیاز به حل همزمان معادله پیوستگی جزء A و معادله ای که حرکت مایع را بدست دهد (یعنی معادلات نویراستوکس) می باشد .

فرضیات به عمل آمده برای بدست آوردن K_L در مایع ریزان



1. واکنش شیمیایی نداریم .

2. شرایط در جهت X تغییر نمی کند (عمود بر صفحه کاغذ)

3. شرایط سیستم به حالت پایا می باشد Stady Stat

4. شدت جذب گاز ناچیز است $u_z = 0$

5. نفوذ A در جهت y در مقایسه با حرکت A در جریان توده فاز به سمت پایین ناچیز است .

یعنی :

$$D_{AB} \frac{\partial C_A}{\partial y} \ll N_{Ay} \rightarrow D_{AB} \frac{\partial C_A}{\partial y} \approx 0$$

6. خواص فیزیکی ($D_{AB}, \rho, \mu, \dots$) ثابت فرض می گردند .

$$u_x \frac{\partial C_A}{\partial x} + u_y \frac{\partial C_A}{\partial y} + u_z \frac{\partial C_A}{\partial z} + \frac{\partial C_A}{\partial \theta} = D_{AB} \left(\frac{\partial^2 C_A}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C_A}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C_A}{\partial z^2} \right) + R_A$$

پس از ساده سازی به فرمول زیر می رسیم :

$$U_y \frac{\partial C_A}{\partial y} = D_{AB} \frac{\partial^2 C_A}{\partial z^2}$$

شرایط مرزی مورد نیاز

1. در سطح مایع $Z = 0$ به ازای کلیه مقادیر $C_A = C_{Ai}$

2. در $Z = \delta$ (سطح جامد دیواره) به ازای کلیه مقادیر $\frac{\partial C_A}{\partial Z} = 0$ زیرا جزء A از داخل مایع درون دیواره

جامد نفوذ نمی کند.

3. در $y = 0$ به ازای کلیه مقادیر Z , $C_A = C_{Ao}$ می باشد.

در نهایت به فرمول زیر خواهیم رسید :

$$\frac{K_{L,av} \cdot \delta}{D_{AB}} = sh_{av} = 3.41 \quad \text{for} \quad Re = \frac{4\Gamma}{\mu} < 100$$

که :

Sh : عدد بدون بعد شروو می باشد .

δ : ضخامت لایه ممتموم می باشد.

K_{lav} : ضریب انتقال جرم متوسط برای حالت فوق

D_{AB} : ضریب نفوذ مولکولی

Γ : شدت انتقال جرم به ازای واحد عرض لایه (در جهت x) برای Re بزرگ :

$$R_{tav} = \left(\frac{6D_{AB}\Gamma}{\pi\rho\delta l} \right)^{1/2}$$

و یا به عبارت ساده تر :

$$sh_{av} = \left(\frac{3}{2} \frac{\delta}{\mu} Re Sc \right)^{1/2}$$

و یا به عبارت ساده تر :

حاصل ضرب $Re \cdot Sc$ عدد بدون بعدن پکلت نامیده می شود.

اگر هر دو سیال متحرک باشند K_f بستگی به شدت جریان هر دو سیال خواهد داشت

ضرایب انتقال جرم در جریان متلاطم

نظریه هایی که جهت تشریح خواص ضرایب انتقال جرم بکار می رود عبارت است از :

1. تئوری لایه فیلم

2. تئوری رسوخ

3. نوشندگی سطح یا تغییر سطح Surface renewal

4. ادغام نظریه های فیلم و نوشندگی سطح

5. تئوری اجسام انبساط حجم

باید توجه داشت که در ضرایب انتقال جرم اثرات هر دو پدیده نفوذ مولکولی و نفوذ ناشی از تلاطم ملحوظ شده باشد.

در تئوری پرانتل فرض می شود که گردانه ها در حین جابجایی هویت خود را حفظ می کنند ولی پس از رسیدن به

محل جدید با سیال آمیخته می شوند. شار کلی A که در نتیجه دو پدیده نفوذ ملکولی و نفوذ گردانه ای حاصل می شود

عبارتست :

$$J_A = -(D_{AB} + E_D) \frac{dc_A}{dz}$$

که :

E_D : ضریب نفوذ گردانه ای می باشد.

D : در موردی که محلول مشخص در دما و فشار معین ساکن باشد مقدار ثابتی است در حالیکه E_D بستگی به شدت

تلاطم موضعی دارد. D در حوالی دیواره ها (که جریان آرام است) و E_D در مرکز تلاطم دارای تسلط است . باید توجه

داشت که بعد E_D . $\left(\frac{L^2}{T} \right)$ است . وقتی اعداد پرانتل واشمیت $pr \approx sc \approx 1$ هر دو نزدیک واحد باشند ضرایب

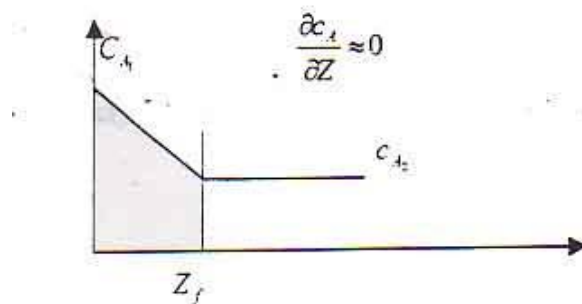
نفوذ گردانه ای حرارت و جرم با ضریب نفوذ گردانه ایی مقدار حرکت در تمام نواحی متلاطم برابر می گردند.

اما اگر $pr, sc > 1$ باشند در این حالت $\frac{E_D}{E_V}, \frac{E_H}{E_V}$ بر حسب فاصله از دیواره لوله تغییر کرده و در تلاطم عموماً

بین $\frac{1}{2}$ تا $\frac{1}{3}$ قرار می گیرند که در این حالت $E_H = E_D$ (بجز در مورد فلزات مایع)

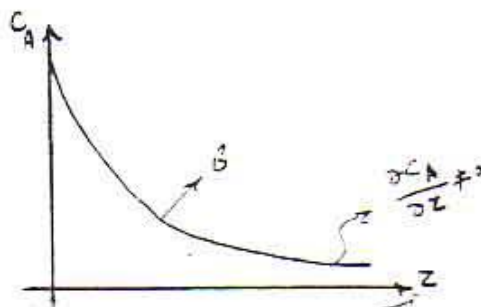
تئوری لایه فیلم

این تئوری فقط هنگامی کاربرد دارد که ضخامت لایه بسیار نازک فرض شود به عبارت دیگر گرادیان غلظت باید به سرعت برقرار شود که در این حالت تحول را می توان پایا فرض کرد .



Z_f : ضخامت لایه موثر

در نقطه A می توان گفت گرادیان غلظت از بین رفته است . در منحنی نشان داده شد. (B) نمی توان از لایه موثر استفاده کرد چرا که گرادیان غلظت در حال پیشروی می باشد.



همانطور که در شکل اول دیده می شود گرادیان غلظت به سرعت از C_{A1} به C_{A2} تبدیل شده و منحنی خیلی سریع افقی شده است در حالی که اگر منحنی فاصله زیادی را بپیماید تا به خط تبدیل شود نمی توان از لایه موثر استفاده کرد .

نتیجه تئوری لایه این است که F و یا K برای حل شونده های مختلف متناسب با ضریب نفوذ مولکولی (D_{AB}) حل شونده است. از آنجایی که در جریان متلاطم F و K متناسب با D^n که $0 < n < 0.9$ می باشد لذا تئوری لایه جریان متلاطم در تناقض است و بی ارزش می باشد.

بنابراین برای تئوری لایه فیلم مطالب زیر را به طور خلاصه می توان بیان کرد:

1. این تئوری بین جامد و سیال است.
2. در این تئوری فرض بر این است که کل مقاومت انتقال جرم در یک لایه خلاصه می شود.
3. مکانیسم انتقال جرم در این لایه فقط به صورت نفوذ ملکولی است.
4. کاربرد این تئوری زمانی است که ضخامت لایه (Z_f) بسیار نازک فرض شود.
5. مقدار ماده حل شده موجود در لایه در مقایسه با آنچه از لایه عبور می کند بسیار کم باشد. به عبارتی دیگر گرادیان غلظت به سرعت برقرار می شود.
6. زمان تماس دو فاز به اندازه ای زیاد در نظر گرفته می شود که پروفایل غلظت شبیه حالت پایدار می گردد.
7. در این تئوری می توان از قانون فیک استفاده کرد:

$$N_A = -D_{AB} \frac{\partial C_A}{\partial Z} = -D_{AB} \frac{C_{A2} - C_{A1}}{Z_f}$$

$$N_A = \frac{D_{AB}}{Z_f} (C_{A2} - C_{A1}) = K \Delta C$$

$$8. \text{ در تئوری فیلم } k = \frac{D_{AB}}{Z_f} \text{ یعنی } k \text{ متناسب با } D_{AB} \text{ است یعنی}$$

$$k \propto D_{AB}$$

تئوری سرخ (تداخل جرم)

در این تئوری زمان قرارگیری در معرض گاز برای کلیه گردانه ها یا قطعات مایع یکسان فرض می شود که برخلاف تئوری لایه نفوذ، رسوخ در حالت ناپایا انجام می شود. و معادله در این مورد چنین است.

$$\frac{\partial C_A}{\partial \theta} = D_{AB} \frac{\partial^2 C_A}{\partial Z^2}$$

$$Z = \infty \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{at } \theta = 0 \rightarrow C_A = C_{A0} \\ \text{at } Z = 0 \rightarrow C_A = C_{Ai} \\ \text{at } Z = \infty \rightarrow C_A = C_{A0} \end{array} \right. \quad \text{شرایط مرزی معادل}$$

$$C_A = C_{A0}$$

* این تئوری توسط هیگبی Higbi ارائه گردیده است .

پس از حل معادله نتیجه می شود :

$$K_{L.av} = 2 \sqrt{\frac{D_{AB}}{\pi \theta}}$$

مشاهده می شود :

$$K_{L.av} \propto D_{AB}^{1/2}$$

در این حالت فرض بر این است که دامنه رسوخ حل شونده در مقایسه با عمق محیط جاذب بسیار کم است یعنی فقط روی سطح رسوخ انجام می شود به دلیل اینکه چرخانه ها مدت زمان بسیار کوتاهی (θ) در معرض گاز قرار می گیرند.

و از طرفی C_{Ai} بدون تماس با چرخانه ها درون مایع نفوذ نمی کنند.

بنابراین درباره تئوری رسوخ موارد ذیل را می توان بیان کرد :

1. این تئوری بین تماس دو فاز سیال مانند مایع - گاز می باشد.
2. از این مدل وقتی استفاده می شود که سطح انتقال جرم آشفته است .
3. در این تئوری زمان واقع شدن در معرض انتقال جرم کوتاه است .
4. در این تئوری گرادیان غلظت به حالت پایدار نمی رسد یا به عبارت دیگر کاملاً توسعه نمی یابد .
5. در این تئوری زمان تماس فاز گاز برای اتمام ذرات مایع یکسان در نظر گرفته می شود.
6. در این تئوری از قانون دوم فیک استفاده می شود .
7. در این تئوری K متناسب با D_{AB}^{OS} است . ولی از لحاظ تجربی می توان D در حالت متلاطم بین نز دیک به صفر تا 0,8 یا 0,9 قرار دارد.

تئوری نوشندگی سطح (جایگزین سطح)

این تئوری را در واقع تئوری رسوخ اصلاح یافته می توان دانست چرا که در این تئوری فرض بر این است که گردانه ها مختلف با مدت زمانهای متفاوتی با سطح در تماس خواهند بود که ممکن است تعدادی از این گردانه ها نیز دارای زمانی برابر باشند سپس شدت متوسط نفوذ در واحد سطح را از جمع مقادیر وابسته به هر یک از گردانه ها محاسبه کرد.

که در این حالت ضریب انتقال جرم برابر است ؛

$$k_{L,av} = \sqrt{D_{AB} \cdot S}$$

که S سرعت جایگزین قطعات می باشد .

$$K_{L,av} = \alpha D_{AB}^{1/2}$$

* این نظریه توسط انکورتس ارائه گردیده است .

بنابراین این تئوری شبیه تئوری رسوخ است با این تفاوت که زمان تماس فاز گاز برای تمام ذرات مایع یکسان نیست

ادغام نظریه های لایه و نوشندگی سطح (جایگزین سطح)

$$Z = Z_b \Rightarrow C_A = C_{A0}$$

اگر یکی از شرایط مرزی را چنین در نظر بگیریم

که Z_b مقدار محدودی است (نظریه فیلم) معادله ضریب نفوذ نوشندگی سطح به صورت زیر در می آید .

$$\lambda_{L,av} = \sqrt{D_{AB} \cdot S} \cot gh \sqrt{\frac{s Z_b^2}{D_{AB}}}$$

در معادله فوق h_L متناسب با D_{AB}^2 می باشد که $0.5 < n < 1$ است و لذا با مشاهدات تجربی توافق بهتری دارد.

این نظریه توسط دوبنز ارائه گردیده است .

تئوری انبساط سطح

در این نظریه مفاهیم رسوخ و نوشندگی سطح به حالاتی داده شده که در آنها سطح مشترک که انتقال جرم از میان آنها صورت گیرد ، متناوباً تغییر می کند.

معادله ضریب انتقال جرم در این حالت با $D_{AB}^{1/2}$ متناسب است .

این نظریه توسط لایت فوت و همکاران وی ارائه نگردیده است .

« لایه مرزی »

در ناحیه ای که لایه مرزی در جریان آرام باشد از حل همزمان معادلات حرکت و انتقال جرم پروفیل غلظت بدست می آید و از محاسبه شیب منحنی در سطح مشترک، ضریب انتقال جرم تعیین می شود.

باید توجه داشت که اگر شار جرمی بر پروفیل سرعت اثر ناچیزی داشته باشد می توان نوشت

$$\frac{\delta_U}{\delta_c} = Sc^{1/2}$$

که :

$$Sc : \text{عدد اشمیت برابر } \frac{\rho}{\mu D}$$

$$\frac{\delta_U}{\delta_H} = Pr^{1/3} \quad \delta_c : \text{ضخامت لایه مرزی غلظت مشابه آن در انتقال حرارت بدین صورت است}$$

که :

$$\delta_H : \text{ضخامت غلظت دمایی است .}$$

$$Pr : \text{عدد بدون بعد پراتل می باشد } \frac{v}{\alpha} = \frac{C_p \mu}{K} \quad (\alpha : \text{ضریب نفوذ حرارتی } K/C_p \rho)$$

پروفیل های غلظت ، دما و سرعت در صورتی کاملاً بر هم منطبقند که $Sc = pr = 1$ باشد.

از شیب های اولیه پروفیل های غلظت ، دما و سرعت می توان ضرایب انتقال محل هر کدام را محاسبه کرد به فرم ذیل :

$$N_A = -D_{AB} \left(\frac{\partial C_A}{\partial Z} \right)_{Z=0} = K_L (C_A - C_{A0})$$

معمولاً با فرض $E_D = E_H$ (که فرض قابل قبولی است) اطلاعاتی راجع به انتقال حرارت حاصل می گردد که می

توان آن را در محاسبات انتقال جرم بکار برد و بالعکس باید توجه داشت که برای بدست آوردن ضرایب انتقال ، معمولاً

نتایج به صورت زیر خواهد بود :

$$\frac{sh}{R_e Sc} = \Psi_1 \left(\frac{f}{2}, Sc, \frac{E_v}{E_D} \right) = \Psi_2 \left(\frac{f}{2}, Sc, E_D / v \right)$$

$$\frac{Nu}{Re Pr} = \Psi_1\left(\frac{f}{2}, Pr, \frac{E_v}{E_D}\right) = \Psi_2\left(\frac{f}{2}, Rr, E_H/v\right)$$

که f ضریب اصطکاک خوانده می شود و به Re وابسته است پس sh ، Nu به عدد Re نیز وابسته اند آنچه می توان از تشابهات نتیجه گرفت بصورت زیر می باشد :

در شرایط مشابه پروفیل‌های بدون بعد دما و غلظت و گروه های بدون بعد ضرایب انتقال حرارت و جرم با توابع یکسانی داده می شود.

محدودیت های استفاده از این تشابه عبارتند از :

الف ، شرایط جریان سیال و شکل هندسی سیستم‌های باید یکسان باشد.

ب ، بیشتر اطلاعات موجود در تحولات انتقال حرارت مربوط به حالاتی است که شامل انتقال جرم نمی باشد بنابراین در این حالت ضریب انتقال جرم بدست آمده مربوط به تحولاتی خواهد شد که برآیند کلی شارها انتقال جرم صفر باشد (یعنی انتقال جرم خالص صورت نگرفته و فقط انتقال حرارتی انجام شده است)

عدد شروود را بر حسب هر نوع ضریب انتقال جرم می توان نوشت ولی اگر عدد sh جانشین عدد Nu شود و برآیند شارها مقداری مخالف صفر باشد ($N_A + N_B \neq 0$) ، باید آن را به صورت $Sh = fl/C.D_{AB}$ بنویسیم (که F

$$\text{همان ضریب معادله } N_A = nf \ln\left(\frac{n - y_{A2}}{n - y_{A1}}\right) \text{ می باشد (}$$

ج ، شرایط مرزی مورد استفاده در حل معادلات دیفرانسیل مربوط باید مشابه باشد.

د ، در جریان متلاطم در تمام نقاط $E_H = E_D$ است .

2. ضرایب اصطکاک و پروفیل های سرعت در جریان متلاطم هنگامی با کمیت‌های مربوط به انتقال جرم و حرارت وابستگی خواهند داشت که رابطه $E_v = E_H = E_D$ برقرار باشد و در زیر لایه ویسکوز هنگامی صادق است که

$$E_{y/y} = E_{H/\alpha} = E_{D/D_{AB}}$$

بعلاوه ضرایب اصطکاک در جریان‌های آرام و یا متلاطم فقط باید ، بین اصطکاک سطحی باشد باید توجه داشت که به طور کلی از تشابه اصطکاک با انتقال جرم و حرارت صرف‌نظر شود.

اعداد بدون بعد جرم	اعداد بدون بعد حرارت
1) $\frac{C_A - C_{A1}}{C_{A1} - C_{A2}}$	$\frac{t - t_1}{t_1 - t_2}$
2) $Re = l u \frac{\rho}{\mu}$	رینولدز $Re = l u \frac{\rho}{\mu}$
$Sc = \frac{\mu}{\rho D_{AB}} = \frac{\nu}{D_{AB}}$ 3)	پرانتل $Pr = C_p \frac{u}{k}$
$Gr_D = \frac{g l^3 \Delta p}{\rho} \left(\frac{\rho}{u} \right)^2$ 4)	گراشف $Gr_u = g l^3 \beta \Delta p \left(\frac{\rho}{u} \right)^2$
$sh = \frac{FL}{C \cdot D_{AB}} = \frac{K_G P_{bm} R T L}{P_t \cdot D_{AB}} = \frac{K'_C L}{D_{AB}}, \dots$ 5)	h : ضریب انتقال حرارت جابجایی Nu = $\frac{hl}{k}$ ناسلت K : ضریب انتقال حرارت هدایتی
$Pe_D = Re \cdot Sc = l u \frac{\rho}{D_{AB}}$ 6)	پکلت $Pe_H = Re \cdot Pr = \frac{C_p l u \rho}{k} = l u \frac{\rho}{\alpha}$
$St_D = \frac{sh}{Re \cdot Sc} = \frac{sh}{Pe_D} = \frac{F}{Cu} = \frac{F}{G} = \frac{K_G P_{B,m} M_{av}}{\rho u}$ 7)	$St_H = \frac{Nu}{Re \cdot pr} = \frac{Nu}{Pe_H} = \frac{h}{C_p u f}$ استانتون
$J_D = St_D = Dc^{\frac{2}{3}}$ 8)	$J_H = St_H \cdot pr^{\frac{2}{3}}$
9) $Le = \frac{Sc}{pr} = \alpha \frac{a}{D}$ لوئیز	

برای ربط اعداد شرود به k توجه داشته باشید که باید F را پیدا کرده و در معادله قرار دهیم.

مثلاً برای حالتی که $N_B = 0, N_A \neq 0$ عدد شرود را به K_x ربط دهید از آنجا که K پریم ندارد پس نفوذ یک

جزء در جزء ساکن می باشد بنابراین $n = \frac{N_A}{N_A + N_B} = 1$ پس جمله شار ln خواهد داشت بنابراین باید در

معادله X_{Bm} داشته باشیم .

$$N_A = \frac{D_{AB} \left(\frac{\rho}{M} \right)_m}{Z} \ln \left(\frac{1 - x_{A2}}{1 - x_{A1}} \right)$$

برای آنکه در معادله بالا $\ln$ را برداریم مقدار $\frac{x_{A1} - x_{A2}}{x_{Bm}}$ را بجای $\ln$ قرار می دهیم .

$$N_A = \frac{D_{AB} \left(\frac{\rho}{M} \right)}{Z} \cdot \left(\frac{x_{A1} - x_{A2}}{x_{Bm}} \right) \rho / M \quad \text{غلظت مایع :}$$

$$N_A = F \frac{x_{A1} - x_{A2}}{x_{Bm}} \quad \text{بنابراین :}$$

$$N_A = K_x (x_{A1} - x_{A2}) \quad \text{از طرفی داریم :}$$

$$\frac{F}{x_{Bm}} = K_x \rightarrow F = K_x x_{Bm} \quad \text{بنابراین :}$$

با قرار دادن این مقدار بجای F خواهیم داشت :

$$sh = \frac{Fl}{C \cdot D_{AB}} = \frac{K_x x_{BA} L}{C \cdot D_{AB}}$$

البته باید توجه داشت که پس از مدتی کار با این فرمول ها و دانستن اینکه C_x غلظت در مایع می باشد

$$F = \frac{D_{AB} \cdot C}{Z} \quad , \quad C = \left(\frac{\rho}{M} \right) \quad \text{و همچنین :}$$

$$PV = nRT \rightarrow p = \frac{n}{V} RT = CRT \Rightarrow C = \frac{P}{RT}$$

$$\text{و اینکه هر جا } \ln \text{ داشتیم برای حذف آن باید } \frac{x_{A1} - x_{A2}}{x_{Bm}} \text{ یا } \frac{P_{A1} - P_{A2}}{P_{Bm}} \text{ یا } \frac{y_{A1} - y_{A2}}{y_{Bm}} \text{ قرار}$$

دهیم .

هنگامی که می خواهیم F ضریب انتقال جرم را به یکی از K_1 یا K_C یا K_G در حالت نفوذ یک جزء ربط دهیم باید

دقت شود که اگر انتقال جرم کم باشد می توان X_{Bm} یا $\bar{P}_{BM}/pt$ را برابر 1 فرض کنیم .

مثلاً در حالتی که $\begin{cases} X_{A1} = 0.05 \\ X_{A2} = 0.03 \end{cases}$ می توان X_{Bm} را 1 فرض کرد در صورتی که مقدار واقعی آن را محاسبه کنیم

:

$$X_{B1} = 1 - 0.05 = 0.95$$

$$X_{B2} = 1 - 0.03 = 0.97$$

$$X_{BM} = \frac{X_{B2} - X_{B1}}{\ln(X_{B2} / X_{B1})} = \frac{0.97 - 0.95}{\ln\left(\frac{0.97}{0.95}\right)} = 0.96 \approx 1$$

تشابه بین انتقال جرم و حرارت معمولاً از تساوی j_H با J_D در یک Re معین حاصل می شود این روش در صورتی که

برون یابی Sc یا pr در محدوده وسیعی انجام نگیرد رضایت بخش خواهد بود.

برای مخلوط هوا - بخار $Sc = 0.6$ و $pr = 1$ می باشد.

برای جریان متلاطم داریم .

تشابه کلرن در انتقال حرارت :

$$j_H = St_{H.av} Pr^{2/3} = \frac{1}{2} f = \psi(Re)$$

تشابه چیلتون کلرن در انتقال جرم :

$$J_D = St_{D.av} . Sc^{2/3} = \frac{F_{av}}{Cu_x} Sc^{2/3} = \frac{1}{2} f = \psi(Re)$$

نکات مهم فصل اول :

*عامل اصلی انتقال جرم اختلاف پتانسیل شیمیایی است .

*شدت نفوذ به دما T و فشار P و اندازه مولکولها بستگی دارد.

*قانون اول فیک : به صورت برداری $j_A = -D_{AB} \nabla \cdot C_A$ یا $(j_A = -D_{AB} \frac{\partial C_A}{\partial t})$ که در مورد هر سیستمی

برقرار است ولی $j_A = -D_{AB} C \nabla \cdot X_A$ یا $(j_A = -D_{AB} \frac{\partial X_A}{\partial t})$ در مورد سیستمهایی با غلظت کلی ثابت

صادق است.

*قانون دوم فیک : از معادله پیوستگی بدست می آید و در حالت برداری بصورت

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\nabla \cdot j_A = D_{AB} \nabla^2 C_A \text{ می باشد}$$

*مجموع شارهای نفوذی اجزاء $\sum j_i$ برابر صفر است .

*در حالت انتقال جرم از روی یک استوانه با قطر ثابت در مورد شار انتقال جرم می توان نوشت .

$$\frac{\partial(N_A \cdot r)}{\partial r} = 0 \Rightarrow N_A \cdot r = \text{ثابت}$$

*در انتقال جرم از روی یک کره با شرایط فوق داریم :

$$\frac{\partial(4\pi r^2 \cdot N_A)}{\partial r} = 0 \quad \text{یا} \quad 4\pi r^2 \cdot N_A = \text{ثابت}$$

D_{Am} (چند جزئی) برخلاف D_A (دو جزئی) چون تابع y_i هاست در طول مسیر تغییر می کند. برای حالتی که فقط

A نفوذ کننده است

$$D_{Am} = \frac{1}{\sum_{i=B}^n \frac{y'_i}{N_{Ai}}}$$

* ضریب نفوذ D_{AB} برای گازها مستقل از غلظت و با $\frac{T^{3/2}}{P_t(r_{AB})^2}$ که r_{AB} فاصله مراکز مولکولها پس از برخورد می باشد (متناسب است .

* درماینات برخلاف گازها غلظت و D_{AB} در طول مسیر تغییر می کند و با $\frac{TM_B^{1/2}}{\mu}$ متناسب است رابطه شار جرمی با شار مولی چنین است :

$$m_A^0 = M_{wA} N_A$$

* در تشابه ، D و α مشابه هم بوده و واحد $\frac{m^2}{s}$ را خواهد داشت : $Le = \frac{\alpha}{D} = \frac{Sc}{Pr}$

* رابطه جزء مولی با جزء جرمی :

$$X_A = \frac{\omega_A / M_{wA}}{\frac{\omega_A}{M_{wA}} + \frac{\omega_B}{M_{wB}}}$$

* در قسمت متلاطم گرادین غلظت کوچک است و قانون اول فیک چنین خواهد بود

$$j_A = -(D_{AB} + E_D) \frac{\partial C_A}{\partial Z} \quad (E_D \text{ ضریب نفوذ چرخانه ای است})$$

* از ضریب F موقعی استفاده می شود که : 1. میزان انتقال جرم زیاد باشد ، 2. نفوذ متقابل با شار مولی نابرابر ، 3. نفوذ

جزء A درون جزء ساکن B در حالت غیرپایا

* از ضریب K موقعی استفاده می شود که : انتقال جرم کم باشد

* در تئوری لایه : 1. ضخامت لایه کم است ، 2. زمان تماس زیاد تا غلظت پایدار گردد ، 3. قانون اول فیک برقرار است و

$$K = \frac{D_{AB}}{Z}$$

* در تئوری رسوخ : 1. سطح انتقال جرم آشفته ، 2. زمان تماس برای تمام ذرات یکسان و کم ، 3. $K \propto D_{AB}^{1/2}$ تئوری نوشندگی سطح (تجدید سطح) : شبیح رسوخ ولی زمان تماس مساوی در نظر گرفته نمی شود
 $K \propto D_{AB}^{1/2}$ تئوری ادغام لایه و نوشندگی سطح : در این حالت

$K = \sqrt{D_{AB} \cdot Sc} \cdot \coth \left(\sqrt{\frac{SZ_b^2}{D_{AB}}} \right)$ و $K \propto D_{AB}^n$ که $0.5 < n < 1$ وقتی D زیاد و S و Z کم باشد ضریب انتقال جرم مانند تئوری لایه است .

* تئوری انبساط لایت فوت : همان رسوخ است که سطح تماس با گذشت زمان تغییر می کند و $K \propto D_{AB}^{1/2}$ است .
 * در تشابه انتقال جرم باید : 1. $E_D = E_H$ ، 2. شکل هندسی یکسان ، 3. شرایط حدی یکسان ، 4. معادله از اعداد بدون بعد پیروی کند.

* NU در حرارت مشابه sh در جرم و pr در حرارت مشابه Sc در جرم می باشد.

* ضریب انتقال جرم در برج جدار مربوط : $sh = \frac{k\delta}{D_{AB}} = 3.41$ ، $Re < 100$

* اگر سیال ساکن باشد در اطراف کرده داریم : $Nu = sh = 2$

*** سطح مخصوص در یک بستر پر شده**

$$a = \frac{\text{سطح تماس ذرات}}{\text{حجم کل بستر}} = \frac{6(1 - \varepsilon)}{d_p}$$

که ε ضریب تخلخل و d_p قطر ذرات درون بستر اگر سیالی از روی سطحی بگذرد در نواحی نزدیک به سطح سرعت صفر و در نواحی دورتر سرعت بالاست درحالی که غلظت و حرارت بر عکس این قضیه می باشد.

$$\frac{\delta u}{\delta_c} = Sc^{1/3}$$

$$\frac{\delta u}{\delta_H} = pr^{1/3}$$

*درهنگام تعویض sh با Nu باید $sh = \frac{FL}{CD_{AB}}$ را استفاده کرد .

*ضریب نفوذ نادسن D_{off} در مورد جامدات با $\left(\frac{T}{M_w}\right)^{1/2}$ متناسب است و مستقل از فشار است برای مخلوط بخار

و هوا $pr = 1$, $sc = 0.6$ است .

* سرعت مولی متوسط نمی تواند بزرگتر از 5 و کوچکتر از 4 باشد

* ضریب نفوذ ملکولی D ، ربطی به حلالیت افراد در یکدیگر ندارد و برای گازها در حدود $10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ و برای

مایعات در حدود $10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ و برای جامدات در حدود $11^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ می باشد.

* قانون دوم فیک برای انتقال جرم در جامدات کاربرد دارد.

مجموعه تست

۱- ضریب نفوذ در

1. گازها با فشار رابطه مستقیم دارد 2. گازها بستگی زیادی به غلظت دارد

3. مایعات با فشار رابطه معکوس دارد 4. مایعات به غلظت حل شونده بستگی دارد

۲- شکست $(A)NH_3$ در یک بستر کاتالیست، ما با واکنش سریع $2NH_3 \rightarrow N_2 + 3H_2$ منجر به

تولید $H_2(C)$, $N_2(B)$ می شود مقدار $NA/(N_A + N_B + N_C)$ مساوی است با :

$$1) \quad -\frac{1}{3} \quad (2) \quad -\frac{1}{3} \quad (3) \quad 1 \quad (4) \quad \frac{1}{3}$$

۳- دو گاز A , B در یکدیگر نفوذ متقابل بصورت $N_A = -N_B$ دارند مقدار نفوذ NA (نفوذ مولکولی

A) برابر کدام است ؟ (توضیحات : P_A = فشار جزئی A , P_T = فشار کل و C = دانسیته مولی)

$$\frac{D_{AB}C}{Z} \ln \frac{1 - C_{A2}/C}{1 - C_{A1}/C} \quad (2) \quad \frac{D_{AB}}{RTZ} \ln \frac{P_t - P_{A2}}{P_t - P_{A1}} \quad (1)$$

$$\frac{D_{AB}}{RTZP_{B,m}} (P_{A1} - P_{A2}) \quad (4) \quad \frac{D_{AB}}{RTZ} (P_{A1} - P_{A2}) \quad (3)$$

۴- گاز متان $(A)CH_4$ از توده گازی به سطح کاتالیزوری که آغشته به اکسید منگانیک است، نفوذ کرده

اکسید شده به صورت گاز CO_2 و بخار آب در می آید که هر دو به داخل توده گاز بر می گردند مقدار $\frac{NA}{\sum N}$

برابر است با :

$$1) \quad -1 \quad (2) \quad -\frac{1}{2} \quad (3) \quad -\frac{1}{3} \quad (4) \quad -\frac{1}{4}$$

۵- در یک مخلوط گازی دو جزئی با نفوذ متقابل $N_A = -N_B$, $D_{AB} = 0.185 \text{ cm}^2/\text{s}$,

$Z = 20 \text{ cm}$, $P_{A1} = 100$, $P_{A2} = 50$ میلیمتر جیوه است. مقدار NA چقدر است؟

$$1) \quad 2.73 \times 10^{-8} \text{ mol}/\text{cm}^2\text{s} \quad (2) \quad 4.5 \times 10^{-8} \text{ mol}/\text{cm}^2\text{s}$$

$$3) \quad 1.58 \times 10^{-8} \text{ mol}/\text{cm}^2\text{s} \quad (4) \quad 3.08 \times 10^{-8} \text{ mol}/\text{cm}^2\text{s}$$

۶- حلالیت کریستال سولفات مس $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ را در ظرف خالص آب در نظر بگیرید جهت حرکت به

سمت بالا و نفوذ A

(1) و B به سمت بالاست (2) و B به سمت پایین است

(3) همسو به BULK و غیر همسو با B است (4) غیر همسو با BULK و B است

۷- عدد اشمیت چنین تعریف می شود $Sc = \frac{v}{D}$ Sc , Sc همواره :

$$0.7 < Sc < 50000 \quad (1) \quad 10^{-3} < Sc < 50000 \quad (2)$$

$$10 < Sc < 50000 \quad (3) \quad 10^{-3} < Sc < 10 \quad (4)$$

۸- هوا با سرعت 10 Cm/s از داخل یک لوله ساخته شده از اسید بنزوئیک با قطر 10 Cm عبور می کند

ضریب انتقال جرم های استفاده از فرمول $sh = 0.027 R^{0.8} SC^{0.33}$ بر حسب متر بر ثانیه برابر است با :

$$0/034 \quad (1) \quad 0/7 \quad (2) \quad 1/7 \quad (3) \quad 2/1 \quad (4)$$

۹- انتقال جرم از فاز گازی به مایع در ستون دیواره مرطوب صورت می گیرد. رابطه تعادلی بین گاز - مایع X

$Y = 1/198$ است. ضرایب انتقال جرم فیلم مایع و گاز به ترتیب $2.1 \times 10^{-4} \frac{\text{Kmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{S}}$ و

$1.2 \times 10^{-3} \frac{\text{Kmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{S}}$ بدست آمده است اگر جزء انتقالی در موضع خاص در فاز گازی و مایع به ترتیب

۰/۴۵ و ۰/۱۲ باشد، غلظت جزء انتقالی در فصل مشترک و در فاز مایع برابر است با :

$$0/207 \quad (1) \quad 0/214 \quad (2) \quad 0/252 \quad (3) \quad 0/43 \quad (4)$$

۱۰- مکانیزم انتقال جرم در جریان متلاطم، نفوذ است.

(1) چرخانه ای (2) موثر (3) مولکولی (4) مولکولی و چرخانه ای

۱۱ - کدامیک از روابط زیر قانون دوم فیک را نشان می دهد ؟

$$\frac{\partial C_A}{\partial \theta} = D_{AB} \nabla^2 C_A \quad (1) \quad J_A = -D_{AB} \nabla^2 C_A \quad (2)$$

$$N_A = (N_A + N_B) - \nabla^2 C_A \quad (3) \quad J_{A2} = D_{AB} \frac{\partial C_A}{\partial Z} \quad (4)$$

۱۲ - ضریب نفوذ مولکولی گاز NO_2 در گاز ازن در شرایط معمولی حدوداً 1.75×10^{-5} مترمربع بر ثانیه

می باشد. با توجه به این کمیت ، مقدار ضریب نفوذ مولکولی NO_2 در آب چند متر مربع بر ثانیه است ؟

$$3.5 \times 10^{-2} \quad (1) \quad 3.5 \times 10^{-5} \quad (2) \quad 3.5 \times 10^{-9} \quad (3) \quad 3.5 \quad (4)$$

۱۳ - Diffusivity درمایعات ، تابع مستقیمی از :

$$T^{2/3} \quad (1) \quad \mu, T^{2/3} \quad (2) \quad \frac{1}{\mu}, T^{2/3} \quad (3) \quad \frac{1}{\mu}, T \quad (4)$$

۱۴ - درانتقال جرم در جریانهای آرام عدد.....مشابه است با عدد ناسلت درانتقال حرارت

$$\text{sherwood} \quad (1) \quad \text{stanton} \quad (2) \quad \text{schmidt} \quad (3) \quad \text{Grashof} \quad (4)$$

۱۵ - در یک فرماتور، O_2 از درون هوا جذب آب می شود. عدد Sc برای جذب O_2 در آب ۲۱۵ است در

صورتی که ویسکوزیته و دانسیته آب و هوا در شرایط مسأله برابر باشد با:

$$\left\{ \begin{array}{l} \mu_{\text{H}_2\text{O}} = 2.94 \times 10^{-4} \\ \rho_{\text{H}_2\text{O}} = 994 \text{ kg/m}^3 \end{array} \right\}, \left\{ \begin{array}{l} \mu = 100173 \text{ kg/m.s} \\ h = 1.13 \text{ kg/m}^3 \end{array} \right.$$

ضریب نفوذ O_2 در آب چند m^2/s است .

$$4.5 \times 10^{-10} \quad (1) \quad 3.25 \times 10^{-9} \quad (2) \quad 7.12 \times 10^{-6} \quad (3) \quad 3.25 \times 10^{-4} \quad (4)$$

۱۶ - در تئوری فیلمی یکی از فرضیات اصلی این است که کل مقاومت درانتقال جرم:

$$D_{AR}^{3/2} \text{ متناسب اس} \quad (1) \quad \text{د ریک فاز در یک فیلم نازک خلاصه شده} \quad (2)$$

$$\text{در دو فاز و مستقل از یکدیگر است} \quad (3) \quad \text{قابل صرف نظر است} \quad (4)$$

۱۷ - مقدار ضریب انتقال جرم بر اساس تئوری فیلم تابعی از :

$$D_{AB} \quad (1) \quad D_{AB} \cdot S \quad (2) \quad \frac{1}{D_{AB}} \quad (3) \quad \sqrt{D_{AB}} \quad (4)$$

۱۸ - ضریب نفوذ مولکولی گاز A در گاز B در دمای 70°C و فشار ۵/۰ اتمسفر برابر $2 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

است . در شرایط متعارفی این ضریب چه مقدار تغییر می یابد (بر حسب m^2/s)

$$2.84 \times 10^{-5} \quad (1) \quad 3.43 \times 10^{-5} \quad (2) \quad 3.27 \times 10^{-5} \quad (3) \quad 3.11 \times 10^{-5} \quad (4)$$

۱۹ - ضریب نفوذ مولکولی :

(1) در گازها از مایعات بیشتر و تابعی از درجه حرارت

(2) در مایعات بیشتر از گازها و تابعی است از غلظت

(3) در گازها کمتر از جامدات است

(4) در گازها از مایعات کمتر ولی بیشتر از جامدات است

۲۰ - نفوذ یک جزء در یک جزء نفوذ ناپذیر (در یک فیلم ساکن) در چه مسائلی دیده می شود ؟

(1) رطوبت زدایی (2) نفوذ پذیری در داخل مخلوط دو تایی

(2) واکنشهای کاتالیتی (4) واکنشهای کاتالیستی و رطوبت زدایی

۲۱ - در حرکت هوا از روی صفحات نفتالین ، مقداری از نفتالین تبخیر شده و به فاز هوا وارد می شود : اگر عدد

$$Sc = 0.7 \text{ باشد در اینصورت ضخامت لایه ، سرحدی غلظت :}$$

(1) به عدد SC هیچگونه ارتباطی ندارد

(2) بیشتر از ضخامت لایه ، سرحدی سرعت خواهد بود

(3) بیشتر از ضخامت لایه ، سرحدی حرارت خواهد بود

(4) کمتر از ضخامت لایه ، سرحدی سرعت خواهد بود

۲۲- یک مخلوط گازش شامل ۱۰ مول A و ۳۰ مول B است. اگر گاز A با سرعت 19 m/s به سمت چپ و گاز B با سرعت 5 m/s به سمت راست حرکت کند، سرعت متوسط مولی مخلوط چند m/s به سمت چپ خواهد بود؟

- (1) 1- (2) 0/35 (3) 1 (4) 14

۲۳- یک قطره تولوئن مایع توسط یک سیم نازک در هوا معلق است. رابطه بین زمان تبخیر شدن آن با شعاع اولیه قطره به چه صورت می باشد؟

- (1) عکس با شعاع (2) عکس با مجذور شعاع

- (3) مستقیم با شعاع (4) مستقیم با مجذور شعاع

۲۴- عملیات انتقال جرم در شش انسان بوسیله کدام فرآیند صورت می گیرد؟

- (1) جذب سطحی (2) دفع (3) غشاء (4) لایه مایع دیزان

۲۵- واکنش $A - 3B \rightarrow 2C$ در فاز گازی بر روی کاتالیز است انجام می شود. نسبت $\frac{NA}{\sum Ni}$ برابر است با:

- (1) $\frac{2}{3}$ (2) $\frac{1}{2}$ (3) $\frac{1}{3}$ (4) $\frac{1}{6}$

۲۶- مخلوطی از دو گاز A, B با کسر جرمی $W_A = 0.75$ وجود دارد. اگر سرعت اجزاء A, B به ترتیب

برابر 3 m/s و 6 m/s باشد، متوسط سرعت جرمی مخلوط + بر حسب m/s چیست؟

- (1) 5 (2) 4/25 (3) 3/75 (4) 3/5

۲۷- بر اساس تئوری رسوخ، ضریب انتقال جرم با کدام مورد تناسب دارد؟

- (1) با توان یک ضریب نفوذ مولکولی (2) با توان 0/5 ضریب نفوذ مولکولی

- (3) همواره ثابت است (4) با ضریب نفوذ مولکولی تناسب ندارد

۲۸- در حالت انتقال جرم بصورت نفوذ یکسان مولی متقابل یک گاز دو جزئی کدام عبارت صحیح است ؟

$$N_A = F_1 c(C_{A1} - C_{A2}) \quad (2) \quad N_A = K'_C (y_{A1} - y_{A2}) \quad (1)$$

$$N_A = F(y_{A1} - y_{A2}) \quad (4) \quad N_A = K'_C (C_{A1} - C_{A2}) \quad (3)$$

۲۹- قیاس جرم و حرارت در کدام از حالات صحیح تر خواهد بود ؟

(1) انتقال جرم یک جزء صورت می گیرد (2) میزان انتقال جرم زیاد

(2) میزان انتقال جرم کم (4) میزان انتقال جرم کم و زیاد صحیح است

۳۰- حلالیت کریستال سولفات مس را در داخل ظرف بزرگی از آب خالص در نظر بگیرید کدام مقدار برای

دستیابی به فلاکس $(H_2O)_B$ صحیح است ؟ (میزان حلالیتی سولفات در آب $X_A = 0.012$)

$$6.23 \times 10^{-2} \text{ F} \quad (2) \quad 8.22 \times 10^{-2} \text{ F} \quad (1)$$

$$1.24 \times 10^{-2} \text{ F} \quad (4) \quad 1.64 \times 10^{-2} \text{ F} \quad (3)$$

۳۱- در دو طرف یک لایه نازک از محلول فنل (C_6H_5OH) در داخل آب غلظت فنل ۶ و ۲ درصد وزنی

می باشد. در این حالت مقدار X_{BM} برابر است با :

$$0/299 \quad (4) \quad 0/385 \quad (3) \quad 0/583 \quad (2) \quad 0/992 \quad (1)$$

۳۲- عدد بدون بعد اشمیت نمایانگر ارتباط بین کدام پدیده های انتقال می باشد ؟

(1) اعداد بدون بعد ارتباط بین پدیده ها را نشان نمی دهد (2) جرم و ممتنم

(3) جرم و حرارت (4) حرارت و ممتنم

۳۳- مخلوطی گازی محتوی ۳۰ درصد ازت و ۷۰ درصد اکسیژن می باشد . اگر سرعت مطلق اکسیژن نسبت

به محوری ۵ متر بر ثانیه و سرعت مطلق ازت نسبت به همان محور ۴ متر بر ثانیه باشد. سرعت متوسط مولی

مخلوط نسبت به آن محور برابر است با متر بر ثانیه

$$4,7 \quad (4) \quad 4,5 \quad (3) \quad 3,7 \quad (2) \quad 1,3 \quad (1)$$

۳۴- نفوذ مولکولی بخاطر اختلاف در و حرکت توده ای به خاطر اختلاف در است .

(1) غلظت - پتانسیل شیمیایی (2) فشار - غلظت

(3) فشار - درجه حرارت (4) غلظت - فشار

۳۵ - اگر مسیر نفوذ ماده A در داخل سیال بسیار طولانی باشد ، برای توصیف انتقال ماده A به سیال کدامیک از مدل‌های زیر مناسب تر هستند :

(1) مدل رسوخ Peneration (2) مدل فیلم

(3) مدل نوشندگی سطح Surface renewat (4) مدل لایه مرزی

۳۶ - K_x چنین تعریف می شود $N = K_x (x_2 - x_1)$ اگر در فرآیند انتقال جرم مدل فیلم صادق باشد بطوریکه ضخامت لایه موثر Z باشد . مقدار K_x برابر کدامیک از مقادیر زیر است؟

(1) D^2C / Z (2) D / CZ (3) DC / Z (4) ZD

۳۷ - در انتقال جرم بین یک جسم کروی شناور در یک سیال

(1) حداقل مقدار عدد شروود بر اساس قطر کره برابر 100 می باشد

(2) حداقل مقدار عدد شروود بر اساس قطر کره برابر صفر است

(3) حداقل مقدار عدد شروود بر اساس قطر کره برابر 2 می باشد

(4) عدد شروود بر اساس قطر کره برابر 10 می باشد

۳۸ - هنگام طراحی یک دستگاه جذب سطحی با استفاده از افزایش مقیاس (scale – up)

(1) قطر و طول دو مقیاس نمیه صنعتی (pilot – plant) و صنعتی یکسان باشد

(2) دبی و طول در دو مقیاس یکسان باشد

(3) دبی و قطر در دو مقیاس یکسان باشد

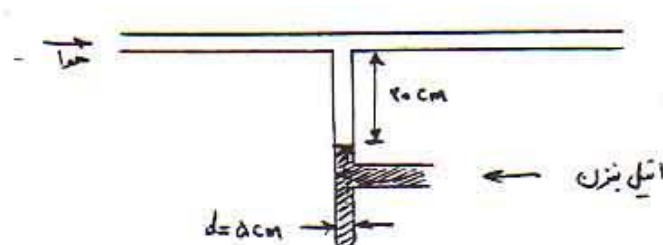
(4) شکل و اندازه ، جاذب و سرعت ظاهری باید یکسان باشد

۳۹- ضریب نفوذ اتیل بنزن در هوا در 38.6 C^0 و فشار اتمسفریک $7.9 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$ و فشار بخار اتیل

بنزن 20 mmHg است با توجه به ابعاد نشان داده شده در شکل، دبی مولی اتیل بنزن ورودی چقدر باشد تا سطح اتیل بنزن در استوانه ثابت بماند؟ جریان هوای بالای استوانه این اطمینان را ایجاد می کند که فشار

جزئی اتیل بنزن در قسمت بالای استوانه صفر است. $\left(c = 0.04 \frac{\text{kmol}}{\text{m}^3} \right)$

$$N_A = \frac{N_A}{N_A + N_B} \frac{CD_{AB}}{Z} \ln \frac{N_A / (N_A + N_B)}{N_A / (N_A + N_B) - y_{A1}}$$



$$2.98 \times 10^{-7} \frac{\text{kmol}}{\text{h}} \quad (2)$$

$$3.1 \times 10^{-9} \frac{\text{kmol}}{\text{h}} \quad (1)$$

$$5.69 \times 10^{-3} \frac{\text{kmol}}{\text{h}} \quad (4)$$

$$1.58 \times 10^{-6} \frac{\text{kmol}}{\text{h}} \quad (3)$$

۴۰- نفوذ مولکولی در سیالات توسط قانون فیک بیان می گردد. $J_A = -D_{AB} \frac{\partial C_A}{\partial Z}$ ، این رابطه در کدام

مورد صحیح است ؟

(1) تنها برای محلول های دارای غلظت کل متغیر نسبت به زمان (2) در هر محلول

(3) تنها برای محلول های با غلظت کل ثابت (ثابت = C) (4) تنها برای مایعات

۴۱- یک مخلوط گازی را در نظر بگیرید. در کدامیک از حالات زیر ضریب نفوذ جزء I در مخلوط گازی (m)

تقریباً با ضریب نفوذ جزء I در جزء J (جزء دلخواه) برابر خواهد بود ؟

$$(1) \text{ وقتی } N_A = -N_B$$

$$(2) \text{ وقتی } N_A \neq 0 \text{ و } \sum_{i=1}^n N_{ij} = 0 \text{ باشد.}$$

$$(3) \text{ تحت هر شرایطی، زیرا همواره } \sum_{i=1}^n N_{ij} = 0 \text{ است.}$$

(4) وقتی تمامی Dij ها تقریباً برابر باشند و n و ... و 2 و 1 = z می باشد.

۴۲- بر اساس تئوری تجدید سطح (surface Renewal)

(1) ضریب انتقال جرم نسبتی با ضریب نفوذ مولکولی ندارد

(2) گردانه ها مدت زمان ثابتی را در جوار فصل مشترک به سر می برند

(3) زمان جدایش گردانه ها از فصل مشترک تابع زمان رسیدن آنها به این منطقه است

(4) مدت زمان اقامت گردانه ها (Eddies) در جوار فصل مشترک متغیر است.

۴۳- در هوای آزاد و ساکن برای تصعید یک کره نفتالین به شعاع r_1 کدام کمیت ثابت است؟ (حالت پایا

برقرار است)

$$J_A \left(\frac{4}{3} \pi r_1^2 \right) \quad (4) \quad 4N_A \pi r_1^2 \quad (3) \quad J_A \quad (2) \quad N_A \quad (1)$$

۴۴- در یک برج جداره مرطوب به قطر داخلی ۵ سانتی متر، از هوای مرطوب رطوبت زدایی می شود. فشار

بخار در درجه حرارت سطح مایع ۵۰۰ پاسکال و فشار توسط در طول برج 10^5 پاسکال است. ضریب انتقال

جرم متوسط $K_{Gave} = 1.24 \times 10^{-8} \frac{\text{kmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{pa}}$ گزارش شده است. طول برج بر حسب متر، کدام است ؟

3/46(4)

3/12 (3)

3/08 (2)

2/78(1)

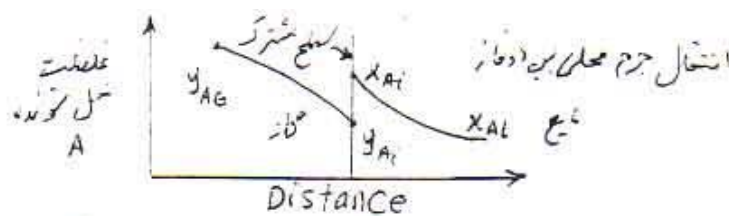
فصل دوم: انتقال جرم بین فازها

همانطور که در فصل قبل اشاره شد وجود گرادیانهای غلظت در یک سیستم دو فازه (منظور آن است که گرادیان غلظت در هر کدام از فازها صفر نباشد) $(\Delta X \neq 0, \Delta y \neq 0)$ مبین انحراف از حالت تعادل بین فازها است. در صورت برقراری حالت تعادل، گرادیانهای غلظت و در نتیجه شدت نفوذ به صفر خواهد رسید.

در حالت تعادل شدت ورود جزء A از گاز به مایع با شدت خروج آن از مایع به گاز برابر بوده و در اثر مکانیزم نفوذ غلظتها در سراسر هر فاز یکنواخت می شوند (یعنی در هر فاز $(\Delta X \neq 0, \Delta y \neq 0)$ خواهد بود گرادیان غلظت نداریم)

باید توجه داشت که در حالت تعادل غلظتها در دو فاز با هم برابر نیستند بلکه پتانسیل شیمیایی جزء A (m_A) در دو فاز یکسان است تعادل جزء A به مقادیر اولیه اجزاء دیگر ربطی نداشته و فقط تابع شرایط اعمال شده از قبیل دما و فشار است.

با توجه به بحث های بالا نتیجه می شود که انحراف از حالت تعادل، نیروی محرکه لازم را (driving fore) جهت نفوذ فراهم می سازد.



انتقال جرم محلی بین دو فاز

اگر یک نقطه از برج جداره مرطوب را در نظر بگیریم شکل نفوذ جزء A به صورت روبه رو خواهد بود. باید در نظر داشت که در هر صورت در هر نقطه از برج جداره مرطوب غلظت جزء A ثابت است (در حالت پایا) اما نسبت به ارتفاع برج در حالت تغییر است به طوری که در انتهای برج بالاترین غلظت را خواهیم داشت.

همانطوریکه گفته شد اگر $X_{AL} = X_{Ai}$ و $Y_{AG} = Y_{Ai}$ باشد آنگاه به حالت تعادل می رسیم و نفوذ انجام نخواهد شد (توقف انتقال جرم) بر طبق نظریه دو مقاومتی لوئیس و اتیمن فرض بر این است که مقاومت های نفوذی تنها در داخل

سیالها قرار دارند به این ترتیب فصل مشترک در مقابل نفوذ مقاومتی ندارند (این نظریه در صورتی صحت دارد که شدت نفوذ بسیار زیاد نباشد که در موارد عملی چنین است یعنی نظریه همواره صادق است).

توجه شود که افزایش غلظت در سطح مشترک از y_{Ai} به c_{Ai} (همانطوری که در شکل دیده می شود $c_{Ai} > y_{Ai}$ است) مانعی در برابر نفوذ سازنده از گاز به مایع محسوب نمی شود زیرا این مقادیر غلظتهای تعادلی در سطح مشترک بوده و وابسته به پتانسیل شیمیایی ماده A در دو فاز هستند، مثلاً می توان از قانون راولت آنها را به هم ربط داد:

$$y_{Ai} P_t = \chi_{Ai} P_A^S \Rightarrow y_{At} = \chi_{Ai} \frac{P_A^S}{P_t}$$

- اگر حالتی داشته باشیم که $P^S < P_t$ باشد آنگاه $\chi_{Ai} > y_{Ai}$ خواهد شد.

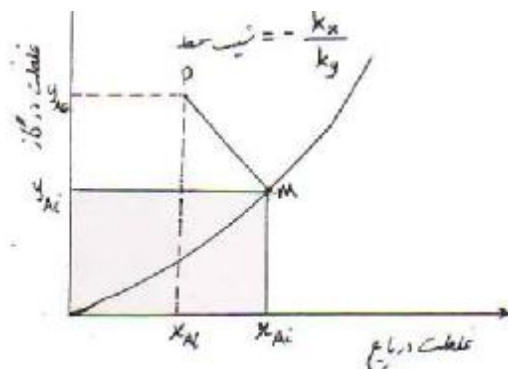
منحنی غلظت را میتوان به صورت روبه رو ترسیم کرد که X مربوط به غلظت در مایع و Y مربوط به غلظت در گاز است. روی منحنی نشان دهنده y_{Ai} و χ_{Ai} می باشد باید توجه داشت سرعت رسیدن جزء A از فاز گاز به سطح مشترک برابر با سرعت نفوذ آن به توده مایع خواهد بود. با توجه به مطالب گفته شده شار نفوذی A را می توان توسط اختلاف غلظت، هر فاز در ضریب انتقال جرم آن فاز نوشت یعنی:

$$N_A = K_y (y_{AG} - y_{Ai}) = K_x (\chi_{Ai} - \chi_{AL})$$

($y_{AG} - y_{Ai}$) Driving force نفوذ در گاز

($\chi_{AG} - \chi_{Ai}$) Driving force نفوذ در مایع

$$y_{AG} - y_{Ai} = -\frac{K_x}{K_y} (\chi_{AL} - \chi_{Ai})$$



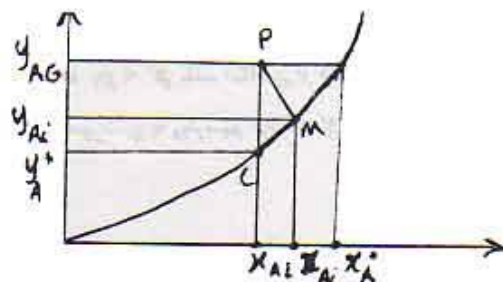
ضرایب کلی محل انتقال ماده

با توجه به شکل روبرو میتوان بجای استفاده از C_{AL} از y_A^* در تعادل با C_{AL} (در حالتی فرضی که در آن اگر مایع C_{AL} با گاز به تعادل می رسید غلظت گاز به y_A^* می رسید) استفاده کرد که در این صورت چون y_{AG} از یک جنس می باشند می توان مستقیماً از یک ضرایب کلی انتقال جرم K_y مقدار ضریب نفوذی را محاسبه کرد.

$$N_A = K_y (y_{AG} - y_A^*)$$

که رابطه بین K_x و K_y چنین خواهد بود:

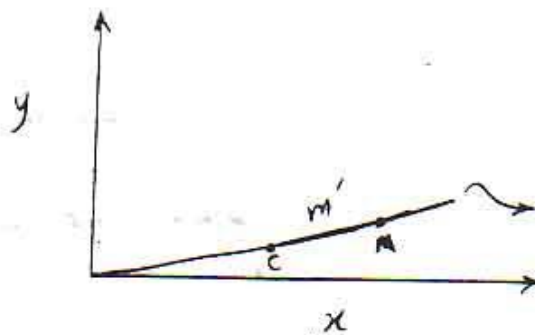
$$\frac{1}{K_y} = \frac{1}{k_y} + \frac{m'}{k_x}$$



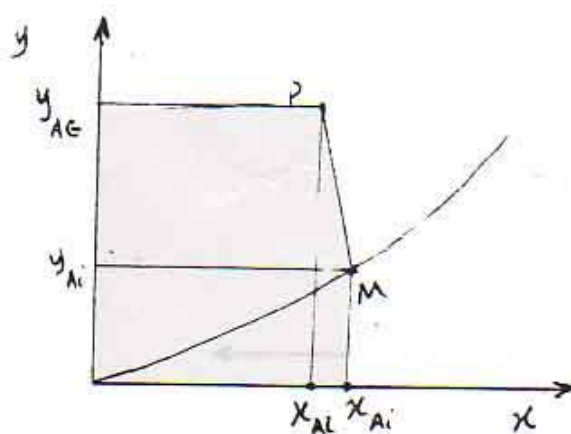
با فرض آنکه k_x تقریباً برابر k_y باشد در این صورت اگر $m' \ll 1$ باشد $\frac{m'}{K_x}$ را میتوان در مقابل $\frac{1}{k_y}$ حذف کرد (به

اصطلاح گفته می شود مقاومت در فاز گاز است. در این حالت می توان نشان داد که شکل پائین نیز صادق است.

$$K_y = k_y$$



یعنی منحنی تعادل به خط افقی نزدیک می شود چرا که در این حالت ضریب زاویه خط (m') به صفر نزدیک می شود (توجه داشته باشید در صورتیکه یک خط افقی داشته باشیم ضریب زاویه آن صفر است). البته از شکل زیر نیز می توان به این نتیجه رسید.



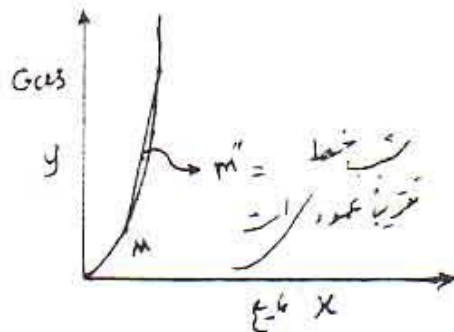
شیب خط $-\frac{k_x}{k_y}$ به عمود نزدیک شده است این نشان می دهد که $k_x \gg k_y$ است یعنی انتقال جرم در مایع راحت تر است همانطور که در شکل نشان می دهد به ازای مقدار y_{Ai} کوچک یک مقدار x_{Ai} بزرگی بدست می آید.

به همین ترتیب میتوان با نسبت دادن x_A^* به y_{AG} یک ضریب کل دیگر K_X بدست آورد.

$$N_A = K_X (x_A^* - x_{Al})$$

و رابطه بین مقاومتها به صورت زیر خواهد بود.

$$\frac{1}{K_X} = \frac{1}{m^* k_y} + \frac{1}{k_x}$$



با فرض اینکه K_X تقریباً برابر K_Y است اگر $m^* \gg \frac{1}{m^* k_y}$ در مقابل $\frac{1}{k_X}$ صرف نظر کرده

یعنی $K_X = K_Y$ و گفته می شود که مقاومت در فاز مایع است در این صورت شکل زیر برقرار است باید توجه شود که بحث

بالا برای حالتی است که K_X و K_Y تقریباً با هم برابر باشند. در صورت نابرابری $m' \cdot \frac{k_X}{k_Y}$ یا m'' تعیین کننده محل

مقاومت کنترل کننده خواهد بود.

و به طور کلی اگر منحنی تبادل از محوری خیلی دور باشد مقاومت در فاز همان محور است. مثلاً در صورتیکه منحنی تعادل از محور Y ها دور باشد مقاومت در فاز Y یا گاز است. باید توجه داشت که اثر دما بر ضرایب انتقال ماده فاز مایع به مراتب بیشتر از ضرایب مربوط به فاز گاز است یعنی در صورتیکه K_Y کنترل کننده باشد (مقاومت در فاز مایع باشد) با ازدیاد دما می توان این مقاومت را کاهش داد و ضریب انتقال جرم کلی را افزایش داد. یا اینکه در هنگام آزمایش اگر یک تغییر قابل توجه در ضرایب کل انتقال بر اثر دما بدست آید نشانه تقریباً واضحی است که مقاومت در فاز مایع است.

ضرایب محلی - حالت عمومی

وقتی با حالاتی برخورد شود که شامل نفوذ یک ماده و یا نفوذ متقابل مولهای مساوی از دو سازنده نبوده و یا شدت انتقال جرم زیاد باشد باید از ضرایب نوع F استفاده کرد F_G برای فاز گاز و F_L برای فاز مایع استفاده می شود.

$$1\text{- نفوذ یک سازنده} \quad \sum N = N_A \cdot \frac{N_A}{\sum N} = 0$$

$$e^{N_A F_{OG}} = e^{N_A F_G} - m' \frac{1 - X_{AL}}{1 - y_{AG}} (1 - e^{-N_A F_G})$$

$$e^{N_A F_{OG}} = \frac{1}{m^*} \frac{1 - y_{AG}}{1 - X_{AL}} (1 - e^{-N_A F_G}) + e^{-N_A F_G}$$

2- نفوذ متقابل با مولهای مساوی ($F_G = k'_y, F_L = k'_x$) $\sum N = 0$

$$\frac{1}{F_{OG}} = \frac{1}{F_G} + m' / F_L$$

$$\frac{1}{F_{OL}} = \frac{1}{m'' F_G} + \frac{1}{F_L}$$

کاربرد ضرایب کلی محلی

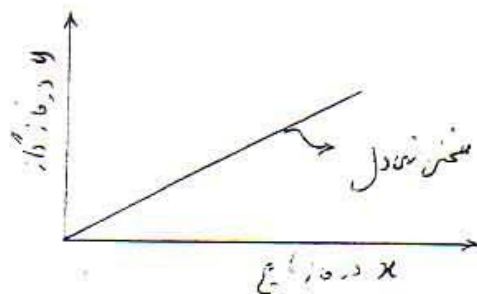
مفهوم ضرایب کلی انتقال ماده از بسیاری جهات شباهت با مفهوم ضرایب کلی انتقال حرارت در طراحی مبدل‌های حرارتی دارد $q = uA\Delta T_m$ که u ضریب کلی انتقال حرارت است و به h گاز مایع و k جامد بستگی دارد و شبیه به ضریب کلی انتقال ماده F است که هم به فاز گاز F_G و هم به فاز گاز مایع F_1 بستگی دارد.

ضرایب کلی متوسط

باید توجه کرد روابطی که قبلاً برای ضرایب کل محلی بدست آمد مربوط به یک نقطه از برج جدار مرطوب بود همان طور که می دانید غلظت از بالای برج (غلظت صفر) تا پایین برج (ماکزیمم غلظت) تغییر می کند و بنابراین ما در هر محل از ارتفاع برج یک ضریب کلی محلی خواهیم داشت برای آنکه بتوان یک ضریبی را در طول برج استفاده کرد باید یک ضریب کلی متوسط تعریف کرد که در طول برج صادق باشد چنین ضریب میانگینی را ممکن است از ضرایب مربوط به هر فاز و با استفاده از معادلاتی که جهت محاسبه ضرایب کلی محلی در دست است محاسبه کرد به شرط آنکه

$$m'', \frac{k_R}{k_E} \text{ یا } m', \frac{k_x}{k_y} \text{ (} K_E \text{ ضریب انتقال در فاز گاز و } K_R \text{ ضریب انتقال در فاز مایع است) در تمام نقاط ثابت بماند}$$

ضرایب کلی متوسط فقط هنگامی معنی خواهد داشت که ثابت $m'' = m' =$ یعنی منحنی تعادل به صورت یک خط راست در بیاید.



فرآیندهای پایا با جریانهای همسو (Study-state cocurrent processes)

دو فاز غیر محلول در یکدیگر را با حروف R و E در نظر بگیرید.

فرض فقط ماده A از فاز R به فاز E نفوذ می کند.

موازنه های مواد

$$E_1 = \text{زمان/کل مولکولهای ماده}$$

$$E_s = \text{زمان/کل مولکولها به جزء A}$$

$$Y_1 = \text{جزء مولی A نسبت به کل مولهای } E_1$$

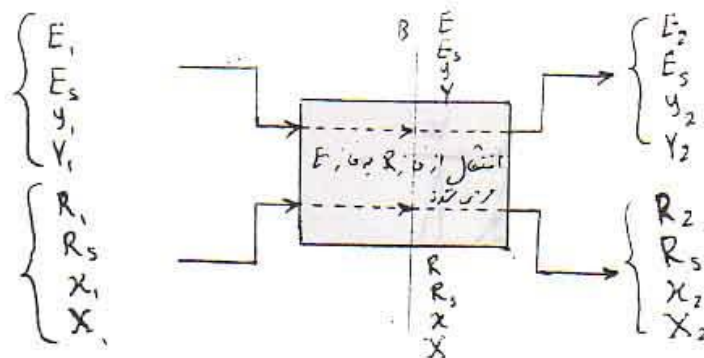
$$Y_1 = \text{جزء مولی A نسبت به کل مواد بدون } A (E_s)$$

$$R_1 = \text{زمان/کل مولهای ماده}$$

$$R_s = \text{زمان/کل مولهای بدون جزء A}$$

$$X_1 = \text{جزء مولی A نسبت به کل ماده } R_1$$

$$X_1 = \text{جزء مولی A نسبت به کل مواد بجزء ماده } A (R_s)$$



باید توجه داشت که $E.R$ تغییر می کنند اما R_s و E_s ثابت می مانند چرا که R_s و E_s بدون A می باشند در اینجا فقط A نفوذ می کند، و همچنین:

$$y_2 > y_1, Y_2 > Y_1$$

$$x_2 < x_1, X_2 > X_1$$

$$E_2 > E_1, R_2 < R_1$$

$$E_s, R_s : \text{Const}$$

$$R_1 x_1 = R_s X_1$$

مقدار A موجود در فاز R در ورودی

$$E_1 y_1 = E_s Y_1$$

و مقدار آن در فاز E ورودی:

و مقدار آن در فاز R خروجی:

$$R_2 x_2 = R_s X_2$$

و مقدار آن در فاز E خروجی:

$$E_1 y_1 = E_s Y_s$$

با استفاده از فرمول کلی موازنه ماده خواهیم داشت:

تجمع = مصرف - تولید + خروجی - ورودی

$$R_s(X_1 - X_2) = E_s(y_2 - y_1)$$

روابط بین (X, c) و (Y, y) به صورت زیر است:

$$X = \frac{x}{1-x}; Y = \frac{y}{1-y}$$

اگر رابطه را به صورت زیر تنظیم نماییم

$$Y_2 - Y_1 = \frac{-R_s}{E_s}(X_2 - X_1)$$

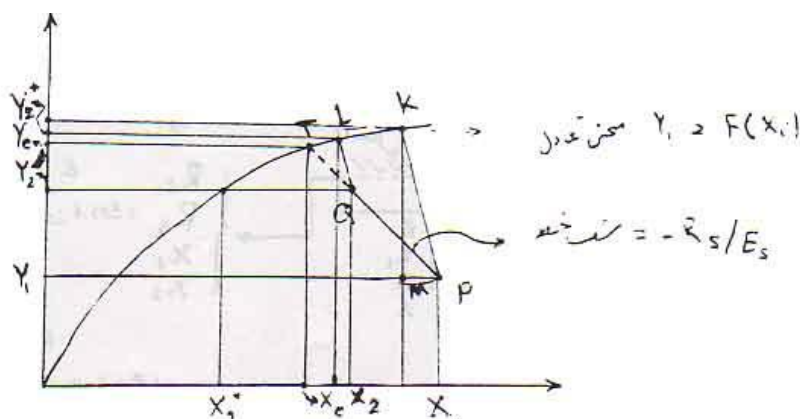
این رابطه نشان دهنده یک خط راست است با شیب $\frac{-R_s}{E_s}$ بوده و از دو نقطه که مختصات آنها به ترتیب

(X_1, Y_1) و (X_2, Y_2) است عبور می کند.

معادله بالا در هر نقطه از فرآیند صدق می کند بنابراین معادله عمومی خواهد شد:

$$Y - Y_1 = -\frac{R_s}{E_s}(X - X_1)$$

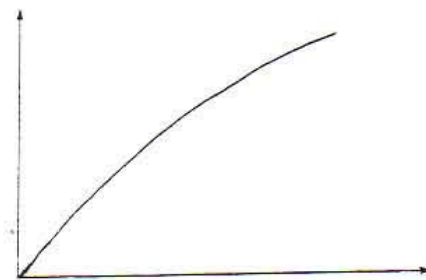
معادله این خط در شکل زیر نشان داده شده است. (خط QP)



خط QP را خط عامل نامند و نباید با خطوط مربوط به نیروی محرکه که قبلاً مورد بحث قرار گرفت اشتباه کرد. مثلاً در مدخل دستگاه اختلاف بین ضرایب انتقال جرم در دو فاز منجر به ایجاد نیروی محرکه ای می شود که با خط KP مشخص شده است. توجه شود که طبق مطالب گفته شده قبل اگر ما فقط یک نقطه را در نظر می گرفتیم (مثلاً نقطه P) آنگاه X, Y در حال تعادل با این نقطه می شد. Y_{ki}, X_{ki} حال اگر نقاط دیگر در طول فرآیند را در نظر بگیریم (که روی خط QP واقع خواهند شد) به همین ترتیب C_i ها و Y_i هایی بدست می آمدند که در نهایت برای نقطه Q, Y_{li}, X_{li} را بدست خواهیم آورد که نقطه L مبین ترکیب نسبی در سطح مشترک دو فاز در خروجی از دستگاه بوده و خط LQ مشخص کننده نیروهای محرکه است. اگر دستگاه را بسیار طولانی (بی نهایت) انتخاب می کردیم در این حالت تعادل بین دو فاز برقرار می شد آنگاه غلظت‌های تعادل X_e, Y_e خواهند بود.

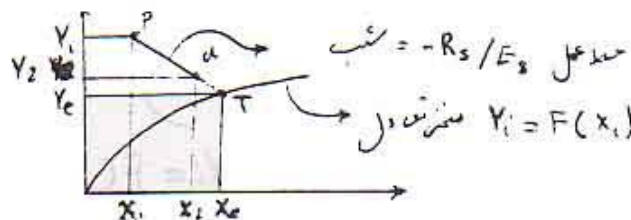
در این صورت در نقطه T که تعادل برقرار شده است نیروهای محرکه و در نتیجه شدت نفوذ در این نقطه به صفر می

رسید چرا که در این حالت X_e, Y_e برابر با X_{ti}, Y_{ti} می شوند.



جهت نفوذ از R به فاز E می باشد.

نقطه T را می توان به صورت شکل بالا نشان داد که در حالت تعادل $Y_e = Y_{ti}, X_e = X_{ti}$ می باشد و این نشان دهنده آن است که طبق ضرایب محلی $N_A = k_x(X_e - X_t) = k_y(Y_x - Y_e) = 0$ برابر صفر است دقت شود که در منحنی بالا جهت نفوذ از R به E می باشد در صورتیکه قبلا ما در ضرایب محلی جهت نفوذ را از E به R در نظر گرفته بودیم که منحنی QP در این حالت بالای منحنی تعادل خواهد بود یعنی به صورت جهت نفوذ از R به E می باشد.

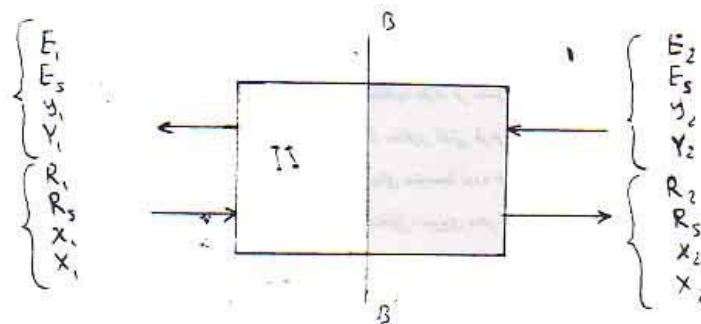


دقت شود که شکل هندسی خط عمل به صورت خط مستقیم و (یا منحنی) بستگی عمده ای به احاد کار برده شده برای غلظتهای مواد موجود در موازنه جرم دارد. مثلا اگر غلظت را بر اساس مولی در نظر بگیریم خط عامل به صورت خط مستقیم در می آید در صورتیکه جرم کلی هر فاز یعنی $R_0 E$ ثابت باشد ($E_2 = E = E.R_2 = R_1 = R$) ولی ترکیب نسبی فازها تغییر کند، رسم نمودار بر حسب اجزاء مولی منجر به حصول یک خط عامل مستقیم خواهد شد در غیر این صورت خط عامل به صورت منحنی در می آید.

نتیجه کل بحث این است که در فرآیندهای همسو، خط عامل، نمودار هندسی موازنه مواد است.

فرآیندهای پایا با جریانهای متقابل

با در نظر گرفتن شکل روبرو:



برای پوش I پس از موازنه مواد خواهیم داشت:

$$R_S(X_1 - X_2) = E_S(Y_1 - Y_2)$$

و برای پوش C به صورت کلی زیر در می آید.

$$R_S(X_1 - X_2) = E_S(Y_1 - Y_2)$$

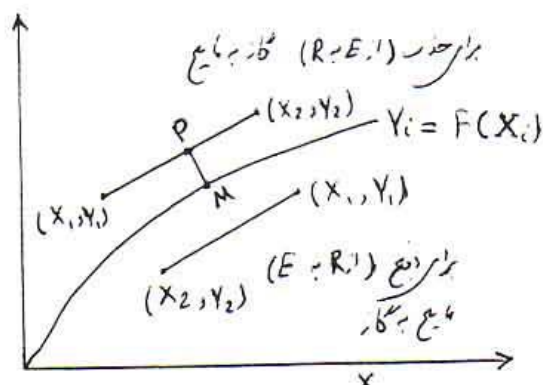
$$Y - Y_1 = -R_S / E_S (X - X_1)$$

رابطه بالا معادله یک خط مستقیم روی محورهای X, Y می باشد که مطابق شکل زیر شیب آن برابر $\frac{R_S}{E_S}$ است و از دو

نقطه (X_1, Y_1) و (X_2, Y_2) می گذرد.

اگر انتقال ماده از فاز E به فاز R صورت گیرد خط مذکور در بالای منحنی تعادلی و اگر نفوذ در جهت معکوس انجام شود زیر منحنی تعادلی واقع خواهد شد.

برای جذب (از E به R)



اگر ترکیب نسبی فازها به وسیله نقطه ای مانند P مشخص شود، نیروی محرکه با پاره خط PM داده خواهد شد که شیب

آن بستگی به میزان مقاومت های نفوذی در فازها دارد.

باید توجه داشت که شدت نیروی محرکه از یک سر دستگاه تا سر دیگر آن تغییر می کند. اگر خط عامل با منحنی تعادل برخورد کند شدت نیروی محرکه صفر شده و در نتیجه زمان لازم جهت انتقال مقدار معینی از ماده بی نهایت زیاد خواهد شد.

در اینجا نیز خطی شدن منحنی عامل، بستگی به نحوه بیان غلظتها دارد. در شکل بالا خطوط عامل به صورت مستقیم رسم شده اند زیرا نسبتهای مولی x, y بر اساس کمیت E_S, R_S قرار دارند که E_S, R_S مقادیر ثابتی فرض شدند (مباحث مربوط به جریانهای همسو در اینجا نیز صدق می کند) دقت شود که هر نقطه بر روی خط عامل مبین غلظتهای متوسط تودهها است که در هر مقطع از دستگاه از مقابل یکدیگر می گذرند.

مزیت روش متقابل به روش همسو در این است که در روش متقابل، نیروی محرکه متوسط در یک وضعیت مشخص بیشتر از روش دیگر است و لذا اگر شرایط جریانها معین باشد دستگاه کوچکتر و اگر دستگاه مشخص باشد شدتهای جریان کمتری مورد نیاز خواهد بود.

واحدها: واحد تعادلی کامل و یا تئوری واحدی است که در آن، زمان تماس ازها با یکدیگر برای آنکه پسابها (جریانهای خروجی) بحال تعادل با هم برسند کفایت می کند.

فرآیندهای مداوم با جریانهای همسو

تعریف بازدهی مورفری: عبارت از نزدیکی نسبی تغییر غلظت در یک جریان خروجی به تغییر غلظتی است که در صورت برقراری تعادل بین این فاز با فاز خروجی دیگر حاصل می شود. بازده مورفری چنین بیان می شود:

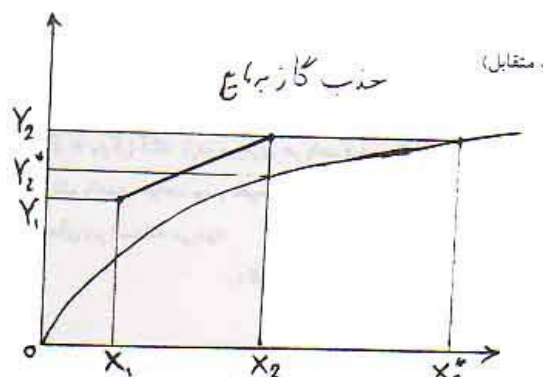
$$E_{mE} = \frac{Y_2 - Y_1}{Y_2^* - Y_1} \quad E_{mR} = \frac{X_1 - X_2}{X_1 - X_1^*}$$

که اگر تعادل بین فازهای خروجی برقرار می شد:

$$Y_2 = F(X_2^*)$$

$$Y_2^* = F(X_2)$$

و شکل آن به صورت زیر رسم می گردید (حالت متقابل)



نکته قابل توجه این است که بازده های مورفوری دو فاز مربوط به یک واحد مشخص معمولاً با یکدیگر برابر نیستند اگر منحنی تعادل به صورت یک خط راست باشد ($y = F(x) = ax + b$) آنگاه میتوان برای ارتباط بین این دو بازده یک رابطه بدست آورد در این صورت $A = R_S / mE_S$ را ضریب جذب و $S = mE_S / R_S$ را ضریب دفع نامند که m به صورت $m = (Y_1^* - Y_2) / (X_2 - X_2^*)$ بیان می شود و میتوان گفت m همان m' یا m'' می باشد (چون منحنی تعادل خط راست فرض شده است، $m = m' = m''$)

فرآیندهای ناپیوسته

در این حالات معادلات مربوط به فرآیندهای با جریانهای همسو و پایا را میتوان بکار برد و شکلهایی که برای فرآیندهای با جریان همسو بکار رفت برای فرآیندهای ناپیوسته نیز بکار برد.

مجموعه واحدها

هدف از این کار افزایش انتقال جرم به میزان بالاتر از آنست که از سیستم تک واحدی حاصل می شود بازده کلی واحدها در یک مجموعه به صورت تعداد واحدهای تعادلی معادل به مجموعه مورد نظر تقسیم بر تعداد واحدهای حقیقی تعریف می کنند.

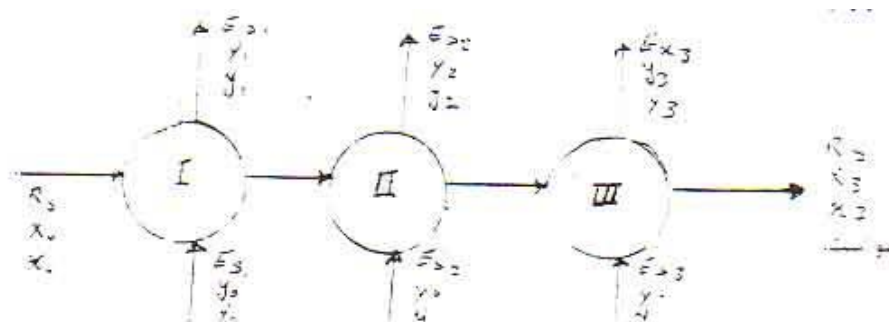
در یک یا چند واحد با جریان همسو بازده کلی واحد برتر از یک واحد تعادلی نمی شود و برای آنکه اثر یک مجموعه برتر از یک واحد تعادلی گردد.

لازمست جریانها بصورت متقاطع و یا متقابل باشند.

مجموعه با جریانهای متقاطع

شکل زیر را در نظر بگیرید.

دقت شود که در این حالت جریان در هر واحد همسو است.



نکات

1- در هر واحد جریان تازه ای از فاز E وارد می شود که دارای ترکیب درصد ثابتی است (Y) اما ممکن است مقدار آن

تغییر یابد ($E_{S3} \neq E_{S2} \neq E_{S1}$)

2- طبق شرط بالا که ($E_{S3} \neq E_{S2} \neq E_{S1}$) آنگاه بازده مورفری هر واحد فرق می کند.

3- موازنه سه ماده شبیه به حالت تک واحدی خواهد بود و نحوه رسم نمودار هم مشخص است.

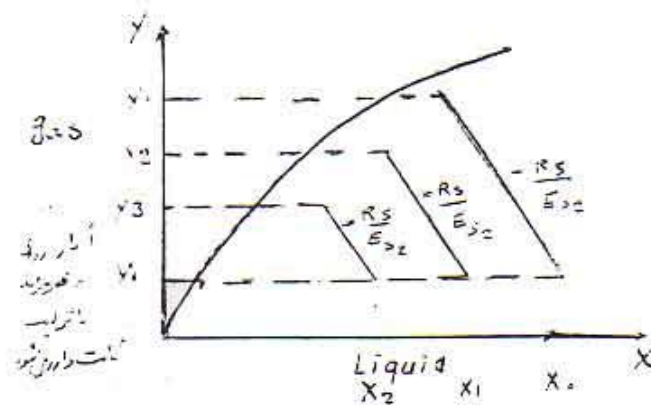
4- از جریانهای متقاطع در فرآیندهای زیر استفاده می شود:

الف) جذب سطحی

ب) استخراج از جامد

ج) خشک کردن

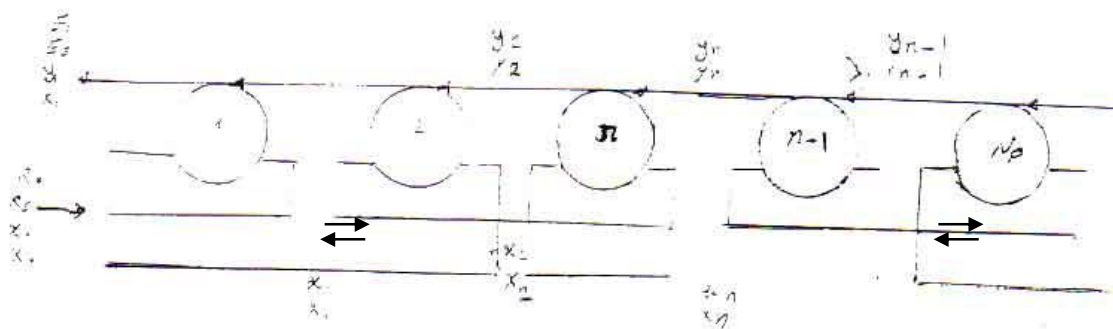
د) استخراج با حلال



مجموعه با جریانهای متقابل

این مجموعه دارای بالاترین کارایی است نسبت به فرآیندهای قبلی نیاز به حداقل تعداد واحدها دارد به این دلیل غالباً مورد استفاده قرار می گیرد.

در این حالت شکل فرآیند به صورت زیر است:



هر

واحد از نظر عملکرد کاملاً مشابه به واحدهای مربوط به فرآیند جریانهای همسو است اما کل مجموعه دارای رفتار فرآیندهای جریانهای متقابل است چرا که در هر واحد جهت همسو می باشد اما اگر به کل واحد نگاه کنیم جریانها متقابلند

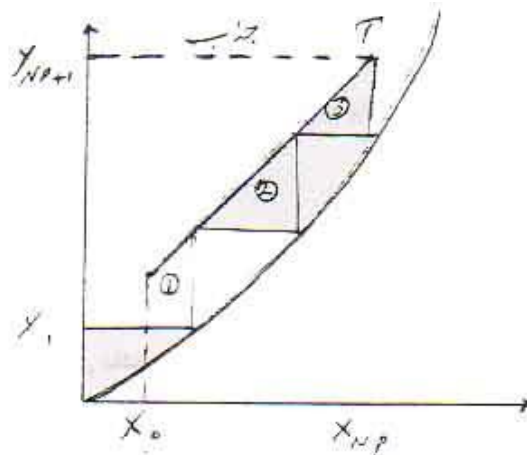
در این حالت واحدها را تعادلی فرض می کنیم یعنی پسابها در حال تعادل قرار دارند. (y_3 در تعادل با x_2 و...) می توان تعداد واحدهای تعادلی مورد لزوم در یک فرآیند جریانهای متقابل را با رسم نمودار پلکانی (TQBNCS... (مطابق شکل) بدست آورد.

رسم بدین گونه است که ابتدا نقطه T (که مختصات آن X_1, Y_1) مربوط به خروجی مرحله اول است) را رسم می کنیم سپس نقطه S (که مختصات آن X_{NP}, Y_{NP+1}) مربوط به ورودی آخرین مرحله است) را پیدا کرده و از T به S خطی رسم می کنیم توجه شود که این خط را خط عامل کل فرآیند می نامند و شیب آن برابر R_S / E_S می باشد بعد از رسم این خط میتوان از بالا (یا از پایین) با رسم یک خط افقی که از نقطه T می گذرد، نقطه Q روی منحنی تعادل را پیدا کرده سپس از این نقطه Q خطی عمود رسم کرده تا نقطه N روی منحنی تعادل بدست آید آنگاه از این نقطه خطی عمود رسم کرده تا نقطه C روی خط عامل بدست آید و این کار را ادامه می دهیم تا به نقطه S برسیم آنگاه مثلث TQB را مرحله اول و NBC را مرحله دوم و ... می گویند.

در این حالت نقطه Q خروجی از مرحله اول (X_1, Y_1) نقطه N خروجی از مرحله دوم (X_2, Y_2) را نشان می دهد برای بدست آمدن نقطه P باید خط افقی که از نقطه N می گذرد را رسم کرده ادامه دهیم تا خط عمودی که از نقطه T می گذرد را قطع کند در این صورت نقطه P بدست می آید که ورودی مرحله اول می باشد توجه شود که خطوط PQ و MN و ... را خطوط عامل هر مرحله نامند که شیب آنها با هم برابر است $(-R_S / E_S)$ یعنی موازیند (که از این نکته می توان در حل تست استفاده کرد)

در حالتی که از S بخواهیم تعداد واحدها را بدست آوریم باید از S عمودی بر منحنی تعادل رسم کنیم آنگاه از نقطه بدست آمده خطی افقی رسم کنیم تا خط عامل مجموعه را در نقطه ای قطع کند از این نقطه جدید خطی عمودی رسم کرده و این کار را ادامه می دهیم. سپس تعداد مثلثهای بدست آمده را محاسبه می کنیم. در صورتیکه تعداد واحدهای برابر عددی مثل $4/5$ یا $3/1$ یا ... شود باید این اعداد را گرد کنیم که با یک واحد به 4 یا 3 یا ... اضافه کنیم یعنی $4/5$ برابر 5 واحد خواهد بود.

نکته: در صورتی که منحنی تعادل و خط عامل مجموعه در نقطه ای با یکدیگر تلاقی کنند محاسبه نا معین شده و برای حصول اختلاف غلظت مورد نظر به تعداد نامحدودی واحد نیاز خواهد بود اگر انتقال حل شونده از فاز E به R باشد کل نمودارهای مربوطه در بالای منحنی تعادل قرار خواهد گرفت یعنی:



دقت شود که در این حالت رسم T و S بر عکس حالت دفع خواهد بود.

نکته: اگر نقطه شروع (X_1, Y_1) عملیات متقابل یک مشخصه از نقطه انتهایی (مثلاً مقدار X_{NP} و Y_{NP+1}) داده شود و

حداقل مقدار مایه مورد سوال باشد با توجه به اینکه شیب خط عامل کل برابر R_S / E_S می باشد باید مقدار E_S را

کمترین مقدار انتخاب کرده پس R_S / E_S باید بزرگترین مقدار ممکن را داشته باشد با داشتن مشخصه ای مثل

X_{NP} میتوان گفت که Y_{NP+1} باید جایی باشد که با مثل X_{NP} در حال تعادل باشد چرا که Y_{NP+1} بیشترین

مقداری که می تواند داشته باشد موقعی است که به حال تعادل با مثل X_{NP} قرار گرفته باشد و شیب خط R_S / E_S

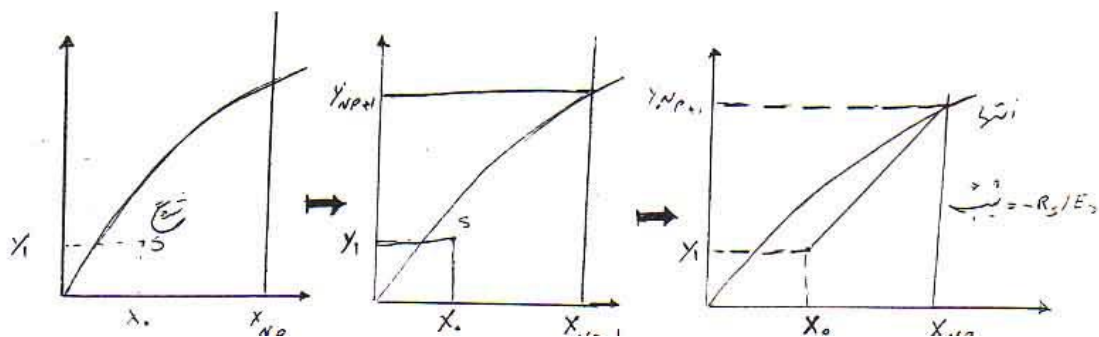
موقعی بیشترین مقدار خود را دارد که Y_{NP+1} بیشترین مقدار خود را داشته باشد پس میتوان نقاط (X_1, Y_1) و

X_{NP}, Y_{NP+1} را توسط خطی وصل کرد و شیب این خط را بدست آورد که به صورت زیر خواهد بود:

$$R_S / E_S = \frac{Y_{NP+1} - Y_1}{X_{NP} - X_1}$$

با داشتن مقدار E_S میتوان مقدار R_S را حساب کرد.

توضیحات بالا در شکلهای زیر آمده است:



دقت گردد که واحدهای R_S و E_S با x, y یکی باشد.

دستگاه های مربوط به عملیات گاز-مایع

شدت انتقال جرم مستقیماً به سطح تماس دو فاز بستگی دارد و نحوه و درجه پراکنده شدن یک سیال در دیگری از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

-دستگاه هایی که در آنها فاز گاز پراکنده می شود:

1-مخازنی که در آنها حباب گاز ایجاد می شود.

2-مخازن همزن دار

3-انواع برجهای سینی دار که مهمترین دستگاه های این گروه می باشند.

اگر استفاده از سیستم چند مرحله ای ضروری نباشد یا یک واکنش شیمیایی بین گاز و یکی از اجزاء سازنده فاز مایع مورد نظر باشد می توان از مخازن هم زن دار استفاده کرد (کربناسیون دوغاب آهک، کلرینه کردن خمیر

کاغذ، هیدروژناسیون روغن های نباتی، هوادهی مخمرها، تصفیه اسید سیتریک از چغندر قند، هوادهی لجن های فعال)

در جاهایی که جامد به صورت ذرات معلق در مایع حضور دارد با بکار گرفتن برج ها منافذ آنها به مرور مسدود می شود بنابراین بهتر است از مخازن همزن دار استفاده گردد.

مخازن با مولد حباب (ستونهای تولید حباب)

اگر قطر ظرف کوچک باشد محل ورود گاز به صورت لوله بازی که از درون آن گاز وارد می شود در انتهای ظرف قرار می گیرد و اگر قطر بزرگ باشد بهتر است برای ورود گاز از چند روزنه استفاده گردد. هدف از پراکنده کردن گاز در مایع در این دستگاه ایجاد تماس بین دو فاز می باشد به عبارت دیگر این دستگاه وسیله ای ساده برای هم زدن دو فاز است (مثال آن شستشوی نیتروگلیسرین با آب است) هم زدن بوسیله هوا در استخراج مایعات رادیو اکتیو استفاده می شود.

قطر حبابهای گاز

قطر حبابهای گاز بستگی به موارد زیر دارد:

1- شدت جریان گاز در روزنه ها

2- قطر روزنه

3- خواص فیزیکی گاز

4- تلاطم فاز مایع

در شدت جریان های متوسط گاز ($Re < 2100$) حبابهای یکنواخت ولی به شکل زنجیر بدست می آید که قطر آنها از حالتی که شدت جریان گاز کم باشد بیشتر است در شدت زیاد گاز ($Re = 10^4 - 5 \times 10^4$) حبابها از حالت شدت جریان متوسط، کوچکترند.

سرعت صعود (سرعت حد) حبابهای منفرد

اگر نیروی غوطه ور سازی با نیروی مقاوم وارد بر حباب ها برابر شود، سرعت صعود پایدار آغاز می شود.

منطقه 1: $d_p < 0.7 \text{ mm}$ حبابها کروی شکل بوده و نظیر کره های صلب عمل می کنند.

منطقه 2: $0.7 \text{ mm} < d_p < 1.4 \text{ mm}$ گاز درون حباب دارای چرخش است و سرعت سطحی مخالف صفر است.

منطقه 3: $1.4 \text{ mm} < d_p < 6 \text{ mm}$ حبابها کروی نبوده و هنگام صعود یک مسیر زیگزاگ یا هذلولی را طی می کنند.

منطقه 4: $d_p > 6 \text{ mm}$ حبابها به شکل کلاهک کروی شکل در می آیند.

مجموعه ای از حبابهای گاز

در این حالت سرعت صعود حبابها کمتر و قطر حبابها به جهت تلاطم مایع متفاوت است.

ماندگی

ماندگی گاز φ_G عبارتست از جزء حجمی مخلوط گاز-مایع موجود در مخزن که توسط گاز اشغال می شود. ماندگی با افزایش سرعت بالا رفته و از یک مقدار حداکثر (در ویسکوزیته (3.cp) $\mu = 0.003 \text{ kg/m.s}$) می گذرد و سپس کاهش می یابد.

انتقال جرم

در کلیه سیستم های عملی حباب گاز در مایع، مقاومت انتقال جرم در فاز مایع به شدت کنترل کننده است.

مخازن با همزن های مکانیکی

این همزن ها می توانند تلاطمی با شدت زیاد تولید کنند که نه فقط سبب حصول ضرایب انتقالی جرم بالا می شود بلکه برای پراکنده کردن موثر مایعات و گازها در یکدیگر نیز ضروری است.

همزدن مکانیکی مایعات تک فازی

پره متحرک از نوع دریایی (marine) که عموماً با سرعت بالا کار می کند و برای مایعات با ویسکوزیته پایین مناسب است در این نوع جریان محوری بوده و با چرخش همزن مایع از بالا به پایین می چرخد.

در توصیف پره های همزن منظور از piteh نسبت مسافت طی شده به اِزاء هر دور چرخش است. همزن ها بیشتر برای مخلوط کردن مایعات بکار می روند تا در عملیات انتقال جرم پره های با تیغه های خم دار برای معلق نمودن خمیرهای چوب و بلورها و نوع پره با تیغه برآمده برای اختلاط مایعات مورد استفاده قرار می گیرد بجز پره های تیغه ای برآمده معمولاً نسبت $\frac{1}{3}, \frac{di}{T}$ متداول است.

تولید گرداب (vortex) و نحوه پیشگیری از آن

در ابتدا که همزن با سرعت کم می چرخد انرژی زیادی لازم نیست با افزایش سرعت چرخش نیاز به انرژی بیشتری می باشد و در اطراف محور همزن گرداب تشکیل می شود در سرعت های بالاتر در نهایت گرداب به پره همزن می رسد و هوا به درون مایه کشیده شده قسمتی از پره درون هوا می گردد و انرژی مورد نیاز کاهش می یابد. کشیدن هوا به درون

مایع عمدتاً نامطلوب است و وجود گرداب سبب بروز مشکلاتی در تغییر مقیاس نیمه صنعتی می گردد (یک مورد استثنایی حل کردن گرد اسید بوریک در آب است که نیاز به گرداب می باشد).

راههای جلوگیری از ایجاد گرداب:

- 1- استفاده از مخازن با سطح گاز-مایع:
 - الف) در این حالت جریان باید آرام باشد.
 - ب) پره مخزن به صورت نامتقارن نسبت به محور همزن قرار داشته و همزن نسبت به محور مخزن تحت زاویه ای قرار گرفته باشد.
 - ج) نصب تیغه ها از چهار تیغه صاف عمودی تشکیل شده که به صورت شعاعی تحت زاویه 90 درجه در دیواره مخزن نصب می شود.
- وجود تیغه ها چرخش را کم کرده و جریانهای عمودی مایه درون مخزن را افزایش می دهد که در این حالت انرژی لازم برای به حرکت در آوردن پره نیز افزایش می یابد.
- 2- مخازن بسته پره بدون سطح گاز-مایع: در تماس گاز-مایع که نیاز به استفاده از تیغه خواهد بود این ترکیب عملی نیست.

مکانیک سیالات

وقتی با حرکت مایع سرو کار داریم سه نوع تشابه حائز اهمیت خواهد بود:

- 1) تشابه هندسی
 - 2) تشابه سینماتیکی: در این تشابه به؟؟ حرکت ها اشاره می شود.
 - 3) تشابه دینامیکی: این تشابه مربوط به نیروها می شود.
- برای مخازنی که از لحاظ هندسی مشابه هستند داریم:

$$f(Re, Fr, Po) = 0$$

Re: عدد بدون بعد رینولدز (نسبت نیروهای اینرسی به نیروهای ویسکوزیته)

Fr: عدد بدون فروود وقتی سطح مایع موج دار و یا دارای انحنا باشد (حالتی که گرداب وجود دارد) اهمیت پیدا می

کند (نسبت نیروهای اینرسی به نیروهای ثقلی)

Po: عدد بدون بعد توان (نسبت اختلاف فشار ناشی از حرکت بر نیروهای اینرسی) برای اختلاط سیستمهای دو فازه عدد وبر (We) نیز مورد نیاز خواهد بود (نسبت نیروهای اینرسی به نیروهای سطح) در حالت انتقال جرم اعداد شروود و اشمیت نیز حائز اهمیت است. در حالت تشابه دینامیکی در دو مخزن مختلف داریم:

$$Re_1 = Re_2$$

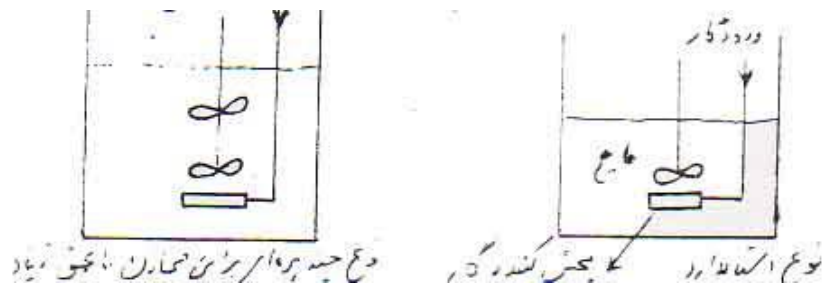
$$Fr_1 = Fr_2$$

در صورتی که گرداب ایجاد نشود عدد فرود اهمیت پیدا نمی کند، در این حالت: $f(Re, Po) = 0$ نکته: در اعداد رینولدز بالا توان همزن مستقل از ویسکوزیته مایع خواهد بود.

پره های کوچک با سرعت بالا خصوصا برای پخش کردن مایعات و گازها بسیار مناسب هستند در حالی که پره های بزرگ برای معلق کردن جامدات موثر واقع می شوند.

هم زدن مکانیکی، تماس گاز-مایع

گاز را بهتر است از زیر پره همزن و از درون نوعی پخش کننده حلقه ای شکل با قطری تقریبا مساوی یا کمی کوچکتر از پره همزن وارد سازنده اندازه منافذ و تعداد آنها بنحوی است که $Re \geq 10000$ است فاصله بین منافذ کمتر از d_p نیست.



برجهای سینی دار: مایع از بالای برج تحت نیروی ثقل به سمت پایین می رود و گاز از پایین به بالا از طریق روزنه های موجود در صفحات به صورت حباب در آمده و به درون مایع پراکنده شده و ایجاد کف می کند، نتیجه کلی یک تماس چند مرحله ای متقابل است با وجود آنکه در هر مرحله یک جریان متقاطع گاز مایع وجود خواهد داشت تعداد مراحل تئوری (سینی های تئوری) یک برج بستگی به سختی جداسازی مورد نظر داشته و با برقراری موازنه مواد و در نظر

گرفتن وضعیت تعادلی هر مرحله بدست می آید. بازده هر مرحله یا سینی و تعداد صفحات حقیقی یک برج بستگی به طراحی مکانیکی برج و شرایط عملیاتی سیستم خواهد داشت قطر برج به مقادیر گاز و مایعی که در درون برج در واحد زمان جاری است بستگی دارد. برای افزایش بازده هر سینی زمان تماس فازها و نیز سطح تماس بین آنها باید زیاد باشد. همچنین برای بدست آوردن ضرائب انتقال جرم بالا داشتن تلاطم زیاد ضروری است. برای داشتن تماس طولانی عمق مایع روی هر سینی باید زیاد باشد تا حبابهای گاز برای خروج از درون مایع زمان بیشتری را صرف کنند. اگر حبابهای گاز از منافذ سینی به آهستگی بگذرد حبابها درشت تر شده و سطح تماس به ازاء واحد حجم گاز کوچک خواهد گردید در این حالت مایع تقریباً ساکن بوده و قسمت اعظم آن ممکن است بدون تماس با گاز سینی را ترک کند از طرف دیگر اگر سرعت گاز نسبتاً زیاد باشد گاز بخوبی در مایع پخش شده و لایه کف را روی صفحه تولید می کند در این حالت سطح تماس زیاد خواهد بود بنابراین نتیجه می شود که برای بدست آوردن بازده بالا عمق مایع روی سینی بایستس زیاد و سرعت گاز نیز باید نسبتاً زیاد باشد.

یکی از مشکلات شرایط بالا ماندگی قطرات مایع در جریان گاز است که این به دلیل سرعت زیاد گاز می باشد مایع حمل شده موجب کاهش اختلاف غلظت برای انتقال جرم می شود و بازده سینی کم می شود بعلاوه عمق زیاد مایع و سرعت زیاد گاز موجب افت فشار زیاد می شود در صورت زیاد بودن افت فشار توان لازم برای ورود و خروج گاز زیاد شده و هزینه های عملیاتی دستگاه بالا خواهد رفت.

همچنین افت فشار زیاد ممکن است باعث طغیان گردد.

بدین شکل، مایعی که از صفحات بالایی بر صفحات پایینی ریخته می شود بدلیل کم بودن فشار در بالا بیشتر می باشد حال آنکه فشار زیرین صفحات پایین برج نمی گذارد که مایع به راحتی در زیر برج جمع شود و کم کم مایع فضای بین صفحات را پر کرده و برج مملو از مایع می شود که در این حالت عملیات بر عکس اتفاق افتاده و حالت طغیان پیش می آید.

اگر اختلاط گاز و مایع کف فراوان تولید نماید سرعت زیاد گاز وضعیت انسداد را ایجاد می کند در این حالت کفی پدیدار در فضای بین صفحات ایجاد شده و مقدار زیادی از مایع توسط گاز از یک سینی به سینی دیگر حمل می شود که یک نمونه بسیار حاد از ماندگی است و موجب افزایش شدت جریان مایع بین سینی ها می شود. همچنین افت فشار گاز افزایش یافته و دیده طغیان را بوجود می آورد.

خلاصه مطالب بالا

در نیمه اول قرن 20 اکثر برجها از صفحات کلاهی استفاده می شد ولی یدر حال حاضر عمدتا از سینی های مشبک استفاده می شود.

مشخصات عمومی

پوسته و سینی ها بر حسب شرایط عملیاتی و خوردگی می توان از شیشه فلزات با آستر شیشه ای کربن نفوذ ناپذیر پلاستیک و حتی چوب در ساخت برج استفاده کرد برای کاهش هزینه ساخت شکل برج استوانه ای است، سینی ها عموما از ورقهای فلزی و در صورت لزوم آلیاژهای بخصوص ساخته می شوند و ضخامتشان با توجه به میزان خوردگی مجاز تعیین می شود.

سینی ها به بدنه برج وصل شده و از میله های نگه دارنده در زیر آنها استفاده می شود سینی های بزرگ چند تکه ساخته می شوند تا در هنگام تعمیر و تمیز کردن بتوان به آسانی از یک سینی به سینی دیگر راه یافت، سینی ها به صورت کمی شیب دار قرار داده می شوند تا توزیع مایع روی سینی به درستی انجام شود.

فواصل سینی ها از یکدیگر:

فواصل سینی ها از یکدیگر عموما بر مبنای زیر انتخاب می شود.

شرایط ساخت

نگهداری و هزینه دستگاه

پس از طراحی سینیها باید پدیده های طغیان و ماندگی در گاز بررسی شود.

قطر برج در حالت طغیان سرعت ظاهری گاز V_f است و باید سرعت ظاهری گاز V کمتر از V_f باشد شدت جریانهای دو فاز عموما در طول یک برج متغیر است ولی تغییر قطر برج از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نیست و لذا با در نظر گرفتن حداکثر شدتهای جریان یک قطر واحد برای تمام برج در نظر گرفته می شود. در بعضی موارد که قطر بالا و پایین 20% با هم اختلاف داشته باشند از دو قطر استفاده می شود. قطر برج را می توان با افزودن فاصله صفحات کم کرد. مجاری ریزش مایع چون گاز در اثر پخش شدن با مایع در روی صفحه ایجاد توده کف ماندگی می کند، بایستی در مجرای ریزش مایع زمان کافی برای جدا شدن گاز از مایع وجود داشته و لذا فقط مایع شفاف وارد صفحه زیرین

گردد. انتهای مجرای ریزش مایع را بایستی به اندازه کافی به سینی زیر نزدیک کرد تا سطح زیرین مایع روی آن سینی قرار گیرد. در این صورت گاز قادر به صعود از این مجرا نخواهد بود.

بندها: عمق مایع لازم در روی هر سینی برای ایجاد تماس کافی بین حباب های گاز و فاز مایع توسط یک بند خروجی تنظیم می شود بندهای با لبه صاف بسیار متداول است ولی برخی اوقات از لبه های دندانه ای نیز استفاده می شود که در این صورت عمق مایع حاصله به تغییرات شدت مایع و در نتیجه به تراز نبودن سینی نیز کمتر حساس خواهد بود. نباید از بندهای ورودی که سبب بالا رفتن سطح مایع می گردد استفاده کرد.

حرکت مایع:

در برجهای نسبتاً کوچک از جریان معکوس مایع می توان استفاده کرد. ولی متداولترین شکل حالت جریان با یک محل ریزش مایع می باشد. در برجهای با قطر بزرگ از جریان انشعابی با شعاعی می توان استفاده کرد. البته به دلیل مسائل اقتصادی بهتر است از جریان با یک محل ریزش مایع استفاده شود در سینی های مجهز به کلاhek گرادیان مایع زیادی ایجاد می شود. در برجهای بسیار قطور که دارای سینی های کلاhekی هستند بهتر است از سینی های پله ای که هر یک دارای بند جداگانه ای می باشد استفاده شود.

سینی های کلاhekی:

در این سینی ها دودکش با مجراهایی گاز را وارد کلاhekها می نماید. در اطراف این کلاhekها یا منافذ شکافهایی دیده می شود که گاز پس از عبور از آنها به صورت حبابهایی در آمده و در فاز مایع پراکنده می شود.

سینی های مشبك:

هزینه ساخت این نوع بسیار کم بوده و مهمترین نوع سینی ها می باشند گازی که بدین طریق پخش می شود، لایه کف آلود و متلاطمی را در روی سینی ایجاد می کند. در نتیجه سطح انتقال جرم بسیار زیاد خواهد بود. افزایش ارتفاع مایع در مجرای ریزش و ماندگی زیاد مایع در گاز ممکن است منجر به پیدایش پدیده طغیان در این برجهها گردد.

طراحی سینی های مشبك

مواردی که باید در طراحی تعیین شوند:

1- قطر برج

2- اندازه منافذ و سطح فعال

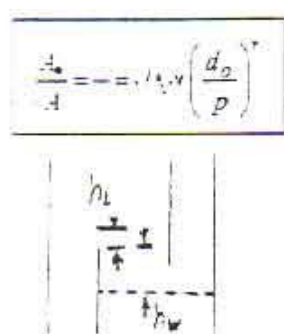
در ساخت سینی ها از صفحات مشبک از جنس فولاد ضد زنگ و یا آلیاژهای دیگر استفاده می شود. ضخامت صفحات اگر از جنس فولاد ضد زنگ باشد معمولاً نصف قطر منافذ است و اگر از فولاد معمولی یا آلیاژهای مس باشد ضخامت قدری کمتر است آرایش منافذ به شکل مثلث است.

$$\frac{A_*}{A} = - = 0.907 \left(\frac{d_o}{P} \right)^2$$

d_o قطر هر منفذ

P فاصله مراکز منافذ

3- عمق مایع: عمق مایع برابر مجموع بند h_W و قوس مایع روی بند h_L می باشد.



4- بندها

5- افت فشار گاز: افت فشار گاز، h_G مجموع اثرات حرکت گاز از درون صفحه خشک h_D و افت فشار ناشی از عمق مایع

در روی سینی h_L و افت فشار در اثر عوامل دیگر h_R می باشد.

$$h_G = h_D + h_L + h_R$$

الف) افت فشار در سینی خشک h_D : این افت فشار شامل اصطحاک حاصله در اثر ورود گاز به سینی و عبور گاز از منافذ سینی که به شکل لوله های کوتاهی هستند و نیز خروج گاز از منافذ می باشد.

ب) افت فشار ناشی از اثر ارتفاع مایع در روی سینی h_L : در منطقه مشبک صفحه مایع به صورت کف آلود است. عمق معادل مایع صاف h_L در صورتی در روی صفحه وجود خواهد داشت که کف شسته شود. این ارتفاع عموماً کمتر از ارتفاع بند خروج می باشد و با افزایش شدت گاز کاهش می یابد.

ج) افت فشار گاز مربوط به عوامل دیگر h_R : یکی از عوامل مهم موثر در افت فشار گاز کشش سطحی است.

$$\Delta P_R = \frac{6\delta}{d_p}$$

که ΔP_R فشار اضافی درون حباب به علت وجود کشش سطحی است.

$$h_R = \frac{\Delta P_{R.gc}}{\rho L \cdot g} = \frac{6 \cdot \delta \cdot g_c}{\rho L \cdot d_p \cdot g}$$

د) افت فشار در محل ورود مایع به سینی h_2 ، ورود مایع از محل ریزش به روی سینی سبب بروز افت فشاری خواهد گردید که می توان آن را معادل با سه برابر فشار ناشی از سرعت در نظر گرفت ارتفاع مایع در محل ریزش مایع بین دو سینی برابر مجموع افت فشارهای حاصل از جریان مایع و گاز خواهند بود.

$$h_3 = h_G + h_2$$



چون بخشی از توده داخل مجرا که از بالای بند به پایین می ریزد به صورت کف جدا نشده است که جرم حجمی آن در حدود نصف جرم حجمی مایع صاف می باشد. لذا در یک طراحی مطمئن، سطح معادل مایع صاف در مجرا نباید بیشتر از نصف فاصله دو صفحه باشد یعنی:

$$h_w + h_L + h_3 < \frac{t}{2}$$

برای حالتی که کف زیاد باشد یا ویسکوزیته مایع بالا و خروج گاز از مایع به سختی صورت پذیرد ارتفاع مایع صاف در فاصله دو صفحه باید از مقدار یاد شده نیز کمتر باشد.

6- ریزش مایع از منافذ: برای آنکه مایع تمام عرض صفحه را طی کند نباید صفحات دارای یک محل ریزش باشند.

7- ماندگی مایع: وقتی مایع به همراه گاز از یک سینی به سینی بالاتر حمل شود، این مقدار مایع به مایع سینی بالایی اضافه می گردد و تکرار چنین پدیده ای منجر به تجمع مایع در صفحات فوقانی برج خواهد گردید.

درجه ماندگی مایع در گاز را می توان به وسیله کسری از مایع ورودی به هر سینی که توسط فاز گاز به سینی بالایی حمل می شود نشان داد.

مول مایع مانده بر سطح بر زمان

$$E = \frac{\text{ماندگی جزئی}}{\text{مول مایع مانده بر سطح بر زمان}}$$

+ L مول مایع مانده بر سطح بر زمان

در حالتی که ارتفاع کف در حدود قطر برج باشد و سیستم از حالت ایجاد کف به حباب دهی تغییر وضعیت دهد باعث می شود که مایع با حرکات نامنظم از دیواره ای تا دیواره دیگر و یا از مرکز سینی تا دیواره ها و بالعکس رفت و برگشت کند.

سینی های خاص

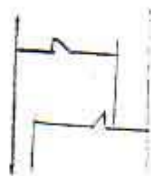
1- **سینی های لیند**: منافذی که در این حالت در طول صفحه پراکنده شده اند نه تنها در سینی های بزرگ سبب کاهش گرادیان مایع می شوند بلکه موجب تغییر جهت جریان نیز شده سطوح غیر فعال را حتی الامکان از بین برده و جریان قالبی مناسبی را در سرتا سر سینی ایجاد می کند. سطح شیب دار و قسمت ورودی سبب افزایش تولید حباب می گردد همچنین می تواند شدت ریزش مایع از منافذ را کاسته و نیز کف یکنواخت تری را در سراسر سینی ایجاد نماید. (شکل زیر یک نوع سینی لیند را نشان می دهد).

2- **سینی با جریان موازی (parallel flow)**: این سینی به نحوی طراحی می شود که مایع روی صفحات در نیمی از برج از راست به چپ و در نیم دیگر از چپ به راست جریان می یابد که نتیجه آن افزایش بازده مورفوری صفحات است.

3- **سینی های دریچه ای**: این سینی ها نوعی از سینی های مشبک با شکافهایی نسبتاً بزرگ و قابل تغییر برای جریان گاز می باشد شکافها دارای کلاhek متحرک بوده با افزایش سرعت گاز بالا رفته و با کاهش آن پایین می آیند که امکان ریزش مایع کمتر شود. افت فشار در این سینی از مشبک بیشتر است.

4- **سینی با جریانهای متقابل**: در این نوع محل ریزش عادی برای مایع وجود ندارد. مایع و بخار از شکافهایی در خلاف جهت یکدیگر حرکت می کنند. نوع Turb-Grids به صورت صفحات فلزی یا شکافهایی است که این شکافها در صفحات یک در میان تحت زاویه ای نسبت به یکدیگر قرار گرفته اند. سینی هایی از نوع Kittel سینی های دو گانه مشبک از جنس فلزات خاص به نحوی هستند که جابه جایی مایع در روی سینی در اثر عبور گاز تغییر می کند. سینی های از نوع موجدار Ripple سینی های مشبکی هستند که منافذ آنها بر روی یک سطح موجدار سینوسی قرار گرفته اند. سینی های

از نوع Lera اساساً به صورت برجهای دیواره مرطوب کوتاهی هستند که بین صفحاتی نزدیک به یکدیگر قرار دارند. در این نوع چون افت فشار بسیار کم است این نوع صفحات مناسب برای تقطیر تحت خلاء می باشند.



بازده سینی ها

- 1- بازده سینی: میزان نسبی نزدیکی رفتار یک سینی واقعی به یک سینی تعادلی را نشان می دهد.
- 2- بازده محلی: نسبت تغییرات غلظت واقعی به آنچه که در حالت تعادل می توانست وجود داشته باشد.

$$E_{OG} = \frac{y_{n,local} - y_{n+1,local}}{y_{Local}^* - y_{n+1,local}}$$

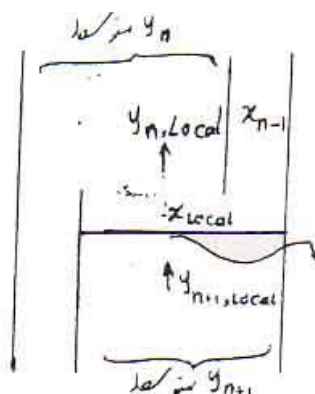
که در رابطه اخیر:

$y_{n+1,local}$: غلظت در گاز ورودی به صفحه شماره n در موقعیت مورد نظر

$y_{n,local}$: غلظت گاز خروجی از صفحه n در موقعیت مورد نظر

X_{10cal} : غلظت مایع در محل مورد نظر

y_{10cal}^* : غلظت در حالت تعادل با X_{10cal}



زیرنویس G مربوط به غلظت های فاز گاز است و زیر نویس O تاکید می کند E_{OG} معیاری از مقاومت کلی انتقال جرم است در صورتی که مقدار گاز ثابت بماند:

$$E_{OG} = 1 - e^{-N_{tog}}$$

N_{tog} ، تعداد واحدهای کلی فاز گاز است که چنین محاسبه می شود.

$$N_{tog} = k_y a \cdot h_L / G$$

که در آن k_y ، ضریب انتقال کلی بر اساس فاز گاز می باشد و a نسبت سطح به حجم کف و h_L ارتفاع برج و G شدت جریان گاز می باشد که ثابت است.

N_{tog} مانند k_y دربر گیرنده هر دو مقاومت مایع و گاز است. یعنی:

$$\frac{1}{N_{toG}} = \frac{1}{N_{tG}} + \frac{mG}{L} \times \frac{1}{N_{tL}}$$

که در آن m عبارت است از:

$$m = \frac{m'y_{n+1} + m'y_n}{2}$$

N_{tL} تعداد واحدهای انتقال فاز مایع و N_{tG} ، تعداد واحدهای انتقال فاز گاز می باشد.

اگر گازی را با یک مایع خالص در روی سینی به نحوی تماس دهیم که در غیاب مقاومت فاز مایع این فاز تبخیر شود بازده تبخیر N_{tG} را می دهد.

همچنین می توان N_{tG} را از طریق تعیین شدت جذب گازهای تقریباً نامحلول در مایعات اندازه گیری نمود. هر قدر حلالیت بخار کمتر باشد بازده سینی کمتر خواهد شد.

بازده مورفری:

اگر در معادله بازده محلی به جای غلظتهای محلی، غلظتهای متوسط توده را جایگزین کنیم بازده مورفری کل سینی بدست می آید.

$$E_{mG} = \frac{y_n - y_{n+1}}{y_n^* - y_{n+1}}$$

که y_n^* غلظت در حالت تعادل با مایع خروجی از سینی با غلظت X_T است.

اگر از E_{OG} انتگرال گرفته شود به E_{mG} خواهیم رسید.

دو حالت حدی زیر ممکن است رویت شوند:

1- مایع کاملاً به عقب رانده شده و غلظت در تمام نقاط روی سینی یکنواخت و برابر X_n باشد در این حالت

$$E_{MG} = E_{OG}$$

2- مایع دارای جریان قالبی باشد در این صورت اختلاطی وجود ندارد و زمان اقامت برای کلیه ذرات مایع برابر است در

$$E_{MG} = \frac{1}{mG} (e^{E_o mGPL} - 1) \quad \text{این حالت}$$

$E_{MG} > E_{OG}$ است.

معمولاً همواره رفتاری بین دو حالت فوق خواهیم داشت یعنی: توجه شود که بازده نقطه ای نمی تواند بیش از یک باشد اما بازده مورفوری می تواند.

ماندگی مایع در گاز

ماندگی در واقع یک نوع اختلاط معکوس به حساب آمده و منجر به از بین بردن اختلاف غلظت حاصله در سینی ها می گردد و بازده را کم می کند بدین شکل:

$$E_{MGE} = \frac{E_{MG}}{1 - E_{MG}(E(1 - E))}$$

E ماندگی جزئی است.

بازده کلی سینی: روش دیگر نشان دادن عملکرد یک برج وبازده سینی است.

$$E_O = \text{تعداد سینی های ایده ال مورد نیاز}$$

دستگاه هایی که در آنها فاز مایع پراکنده می شود.

این گروه شامل دستگاه هایی می شود که در آن مایع به صورت یک فیلم نازک و یا به صورت قطره در آمده و در فاز گاز پراکنده می شود (برج های دیواره مرطوب، برج های؟؟؟ و پاشنده ها و نیز ستون های پر شده که مهم ترین نوع این گروهند).

شستشو دهنده های وانتوری

در این دستگاه ها، تماس بین گاز و مایع در اثر مکش که به خاطر عبور مایع جاذب از وانتوری حاصل می شود ایجاد می گردد. این دستگاه خصوصاً وقتی که مایع حاوی ذرات جامد معلق باشد یا افت فشار کم باشد مورد استفاده قرار می گیرد زیرا که چنین مایعی در برج های سینی دار و یا پوشده سبب انسداد مسیر گاز خواهد گردید.

(جذب دی اکسید گوگرد از گازها تهیه آهک و اکسید منیزیم، از دستگاه های بزرگ در واحدهای آب و بخار نیروگاه های برق استفاده می شود).

برج های دیواره مرطوب

از این برجها به دلیل سادگی و مشخص بودن سطح تماس دو فاز و امکان کنترل، در مطالعات نظری انتقال جرم استفاده می شود. برای جذب اسید افت فشار در این دستگاه نسبت به سایر دستگاهها کم می باشد.

برجها و محفظه های پاششی

مایع را می توان به کمک شیپورک به قطره ریزی تبدیل نموده و در جریان گاز پراکنده کرد. (تماس گاز و مایع هم به صورت متقابل و هم به صورت هم جهت است). از مزیت های دستگاه کم بودن افت فشار در فاز گاز و از معایب آن هزینه های زیاد پمپ کردن مایع است. همچنین ماندگی قطرات مایع در این دستگاه زیاد است که احتیاج به مدگیر می باشد. جز مواردی که نسبت قطر به طول برج کوچک است، اختلاط نسبتا کاملی ایجاد شده و مزیت استفاده از جریان متقابل کاهش می یابد. اگر قطر به طول از حد معینی بیشتر باشد، قطرات مایع پس از پراکنده شدن به دیواره برج رسیده و پاشش موثر واقع نمی شود.

برج های پر شده

برای ایجاد سطح تماس زیاد بین دو فاز از قطعات پرکن استفاده می شود.

پرکن ها (آکنه ها): پرکن ها باید دارای خصوصیات زیر باشد:

- 1- سطح تماس زیادی بین مایع و گاز ایجاد نماید. (سطح آکنه به ازای واحد حجم ستون a_p بزرگ باشد)
- 2- ضریب تخلخل برج (ϵ) در ستون پر شده مقدار بزرگی باشد که باعث از بین رفتن پدیده های انباشتگی طغیان و افت فشار زیاد می شود.
- 3- از لحاظ شیمیایی در مقابل سیالاتی که به کار می رود بی اثر باشد.
- 4- دارای استحکام باشد تا استفاده از آن به آسانی امکان پذیر باشد.
- 5- ارزان قیمت باشد.

پرکن های نامنظم: در این طریقه پرکن ها را به طور عادی به درون ستون می ریزند و پرکن ها پس از فرود به طور نامنظم انباشته می شوند. (سنگ های خرد شده، شن، زغال در گذشته استفاده می شده) حلقه های راشینگ استوانه های تو

خالی می باشند که در این برجها به کار می روند. حلقه های لسبنگ کمتر مورد استفاده قرار می گیرند. پرکن های زینی شکل به نام برل و اینتالوکس که از سفال و پلاستیک ساخته می شوند نیز در برجهای پر شده به کار می روند. موارد دیگر از قبیل حلقه های پال از جنس فلز و یا پلاستیک و tellerettes (از جنس پلاستیک) در این برجها استفاده می شود. در پرکن ستونها به صورت نا منظم سطح ویژه بزرگتری (افت فشار گاز زیاد) با پرکن های کوچکتر حاصل می شود ولی در صورت استفاده از پرکن های بزرگتر، هزینه ها به ازای واحد حجم برج کاهش می یابد، هنگام پرکردن برجها برای جلوگیری از شکستن انواع سرامیک و یا زغال، ابتدا برج از آب پر می کنند تا سرعت سقوط پرکن ها کم می شود، سپس برج را از آکنه ها پر می کنند.

پر کردن منظم: این نوع پرکن ها بسیار متنوع می باشند. سینی های جریان متقابل حالتی از پر کردن منظم به حساب می آیند. در صورت استفاده از این حالت، فشار فاز گاز کاهش یافته و امکان استفاده از شدت جریان های زیاد فاز گاز فراهم می شود. از این پرکن ها در جدا سازی گازهای حاصل از کوره های تولید زغال کک که حاوی قطران هستند و نیز تصفیه مایعات حاصل مواد جامد معلق استفاده می شود. (صفحات توری بافته شده).

سطح تماس بسیار زیادی بین فازهای گاز و مایع ایجاد نموده افت فشار گاز در آنها بسیار کم است و استفاده از آنها در تقطیرهای خلاء مناسب می باشد. البته هزینه این نوع پر کردن برج بیشتر از نامنظم می باشد. ولی حلقه های راشینگ منظم در اندازه های بزرگ اقتصادی می باشد. اگر فضای خالی زیادی مورد نیاز باشد، از قطعات چوبی استفاده می شود. از این نوع در جدا سازی گازهای حاصل از کوره های تولید کک که حاوی قطران هستند و نیز تصفیه مایعات حامل مواد جامد معلق استفاده می شود. از مخلوط کننده های ثابت برای مخلوط کردن وسایل در جریانهای همسو استفاده می شود این وسایل در جریانهای متقابل گاز-مایع نیز مفید تشخیص داده شده اند. افت فشار گاز در آنها کوچک بوده و خصوصیات انتقال جرم مطلوبی را دارا هستند.

پوسته برج: پوسته برج عموماً از چوب، فلز، سرامیک، آجرهای ضد اسید، شیشه، پلاستیک و فلزاتی که با لایه های شیشه ای یا مواد دیگر بر حسب شرایط خوردگی تقویت شده اند ساخته می شود. به منظور سهولت ساخت و دارا بودن مقاومت کافی، سطح مقطع برج ها معمولاً به شکل دایره ساخته می شود.

نگهدارنده پرکن ها در قسمت پایین برج وجود یک فضای خالی ضروری است تا بتوان گاز را به درون قسمت پر شده ستون به خوبی انتقال داد برای جلوگیری از ریختن پرکن ها بایستی از یک صفحه نگهدارنده که استحکام کافی داشته باشد استفاده نمود. این صفحات را می توان از مواد مختلف مانند فلزات، سرامیک و پلاستیک تهیه کرد.

توزیع مایع: پرکن ها اگر خشک باقی بمانند از لحاظ انتقال جرم کاملاً بی فایده خواهند بود و لذا از وسایل مختلفی برای توزیع صحیح مایع بر روی پرکن ها استفاده می شود. استفاده از لوله های حلقوی با منافذ بسیار در برج های کوچک مناسب است. در برج های بزرگ معمولاً نقاط ورود مایع به برج کمتر از برج های کوچک می باشد.

رابطه توزیع مایع در ستون پر شده با اندازه پرکن ها در پر کردن نامنظم ستون، جرم حجمی یا تعداد پرکن ها در واحد حجم عموماً در حوالی دیواره های برج کمتر است و همین مساله سبب می شود که مایع به سمت دیواره ها کشیده شده

و در نتیجه گاز از نواحی مرکزی ستون عبور کند. عموماً نسبت قطر پرکن به قطر برج در حدود $\frac{dp}{T} = \frac{1}{15}$ توصیه

می شود.

محدود کننده های پرکن ها این وسیله به عنوان محافظی در برابر بلند شدن پرکن ها از محل اصلی خود وقتی سرعت گاز به صورت ناگهانی افزایش یابد به کار می رود. برای این منظور از صفحات یا میله های سنگین می توان سود جست.

حذف کننده قطرات مایع مانده در فاز گاز : معمولاً در بالای ورودی مایع از حذف کننده ها جهت گرفتن قطرات استفاده می شود (مثلاً یک غربال . این لایه می تواند تقریباً کلیه ذرات مایع مانده در گاز را جدا کند. مثالهای دیگر عبارتند از : سیکلونها ، دستگاه هایی به شکل کرکره پنجره یا به کاربردن یک متر پرکن خشک)

جریانهای متقابل گاز و مایع در برج های پر شده : هر چه مقدار مایع بیشتر باشد، افت فشار گاز بالا می رود اگر به ازاء شدت معینی از فاز مایع شدت فاز گاز افزایش یابد ، چندین تغییر ممکن است پدید آید :

1. در قسمت فوقانی ستون ، لایه ای از مایع که حبابهای گاز از درون آن می گذرند ظاهر شود.
2. مایع ممکن است از انتهای ستون و یا از هر مانع میانی دیگر نظیر نگهدارنده پرکن ها شروع و برج را پر کننده نحوی که وضعیت فازها تغییر کرده و از حالتی که گاز ، فاز مداوم و مایع ، فاز پراکنده شده را تشکیل می داد به حالتی که مایع فاز مداوم و گاز فاز پراکنده شده را تشکیل دهد ، برسد .
3. ممکن است لایه هایی از کف به سرعت از درون پرکن ها خارج و به سمت بالا صعود کند که ماندگی با سرعت بسیار زیادی افزایش یافته و برج به وضعیت طغیان می رسد .

طغیان و انباشتگی : شرایط طغیان در ستونهای پر شده به صورت نامنظم به روش پر کردن آنها و به نشست پر کن ها بستگی دارد. سرعت طغیان برای پر کن های نامنظم عموماً به مقدار قابل توجهی بیشتر از پر کن های منظم است .

افت فشار برای جریان تک فازی : برای یک نوع و اندازه مشخصی از پر کن های ساخته شده داریم :

$$\frac{\Delta p}{Z} = C_D \frac{G'^2}{\rho_G}$$

C_D : مقدار ثابت که درجداول موجود است .

G' : شدت جریان جرمی گاز به ازای واحد سطح برج

ρ_G : دانستیه گاز

Z : ارتفاع برج

افت فشار برای جریانهای دوفازی : در حرکت همزمان گاز و مایع نتایج بدست آمده توسط محققین با هم اختلاف دارد که به دلایل زیر می باشد.

1. جرم حجمی پرکن ها

2. اختلاف در ضخامت دیواره ها

ضرایب انتقال جرم برای ستونهای پر شده

ضرایب انتقال جرم مربوط به هر یک از فازها ($K_X.a, K_Y.a, K_G.a, F_{OG}.a, F_{OL}.a$) تنها در طراحی برجهایی قابل استفاده هستند که با همان نوع پر کن آکنده نمود و همان سیستم شیمیایی با همان غلظتها و شدتهای موجود به هنگام اندازه گیری در آنها برقرار می شود.

برای بدست آوردن ضرایب انتقال جرم هر یک از فازها ، شرایط عملیاتی به نحوی اختیار می شود که مقاومت در فاز گاز نسبت به مایع ناچیز باشد. این حالت مثلاً در جذب یا دفع گازهای بسیار نامحلول مانند اکسیژن یا هیدروژن در آب پیش می آید . در این قبیل سیستم ها ، مقادیر ($K_L.a, F_L.a, K_X.a$) بدست می آیند که می توان ارتباط آنها را با متغیر های سیستم بدست آورد. بدیهی است که هیچ نوع سیستم جذب یا دفعی را نمی توان یافت که در آن حل شونده به حدی در حلال محلول باشد که مقاومت فاز مایع قابل صرفنظر کردن شود. البته با کم کردن مقاومت فاز مایع از مقاومت کلی می توان ضرایب انتقال جرم فاز گاز

(F_G, a, K_G, a, K_y, a) را یافته و بستگی آنها را با متغیرهای سیستم تعیین نمود. راه دیگر انجام آزمایشهایی در مورد تبخیر یک مایع خالص به درون گاز است. البته در این حالت ضریب با حالت قبل توافق ندارد و علت آن این است که سطوح تماس موثر با هم متفاوت است.

تجمع مایع: تجمع مایع عبارت از مقدار مایعی است که به صورت لایه هایی پرکن ها را خیس کرده و نیز به صورت حوضچه هایی در لابه لای پرکن ها درگیر شده است. تجمع مایع از دو قسمت تشکیل شده است.

$$\phi_{Lt} = \phi_{LO} + \phi_{LS}$$

ϕ_{LS} : تجمع مایع ثابت

ϕ_{LO} : تجمع مایع متحرک یا درحین کار

و هر یک از این دو ϕ_{LO} و ϕ_{LS} بر حسب حجم مایع در واحد حجم ستون پر شده بیان می شوند. تجمع متحرک عبارت است از مقدار مایعی که در بین پرکن ها به طور مداوم جای خود را به مایع جدید می دهد. اگر جریان های گاز و مایع به درون برج متوقف شود این مایع از لابه لای پرکن ها چکه می کند درحالی که جزء ثابت در بین پرکن ها درگیر شده و به صورت ساکن درآمده است و جابجایی آن با مایع جدید به انجام می گیرد. همچنین در اثر توقف جریانهای گاز و مایع چکه نخواهد کرد. در عمل جذب یا دفع مایع ساکن به سرعت با گاز مجاور خود به تعادل می رسد و لذا سطح تماس آن به کندی جایگزین شده و کمک چندانی به عمل انتقال جرم نمی کند. به این ترتیب سطح کوچک تری که مایع متحرک به وجود می آورد تأثیر بیشتری برانتقال جرم دارد.

انتقال جرم: برای حلقه های راشینگ وزین اسبی نوع برل، طبیعت ضرایب انتقال جرم (بدون ضریب سطح) K_G را با گذراندن گازها از درون پرکن های ساخته شده از نفتالین که به درون گاز تصعید می شوند بدست آورده اند. خواص فیزیکی سیال بایستی در شرایط متوسط بین فصل مشترک و توده گاز تعیین گردد اگر در اثر حرکت مایع به طرف پایین برج غلظت تغییر کرده کشش سطحی افزایش یابد فیلم روی پرکن ها پایدار شده و نسبت انتقال جرم ممکن است افزایش یابد. اگر کشش سطحی کاهش یابد فیلم ممکن است به باریکه هایی شکسته شده و شدت انتقال کاهش یابد.

جریانهای همسوی گاز و مایع

از جریانهای همسوی گاز و مایع (عموماً به طرف پایین) در ستونهای پر شده برای انجام واکنشهای شیمیایی کاتالیزوری بین سیالات استفاده می شود. دستگاه هایی از این نوع رآکتورهای قطره ای پر شده می نامند. جریانهای همسو نمی تواند بیش از یک مرحله تعادلی ایجاد کند. از محاسن این روش آن است که پدیده طغیان به هیچ وجه رخ نخواهد داد. وقتی واکنش شیمیایی به همراه جداسازی نفوذی می باشد (جذب هیدروژن توسط یک قلیای قوی مانند محلول هیدروکسید سدیم) می توان از این طریقه برای تماس فازها استفاده نمود.

اثرات انتهایی و اختلاط محوری : علاوه بر قسمت اصلی ستون پر شده انتقال جرم ممکن است در مناطق دیگری نیز رخ دهد مثلاً در محل بخش مایع در بالای برج و نیز هنگام خروج از محافظ پرکن ها . بنابراین نتایج تجربی را بایستی تصحیح کرد. بدین منظور آزمایشها را با ستونهای پر شده با ارتفاع های مختلف انجام داده و نتایج را برای حالتی که ارتفاع ستون به سمت صفر میل کند ، برون یابی می نمایند. یکنواخت نبودن پرکن ها در ستون و توزیع غیریکنواخت مایع در بستر موجب انشعاب و نیز به وجود آمدن مناطقی می شود که در آنها شدت مایع فوق العاده زیاد است پراکندگی محوری عبارت است از پراکنده شدن زمان توقف سیال به واسطه دور شدن سیستم از جریان قالبی یعنی اجزای سیال با سرعتهای مختلف در ستون حرکت می کنند. انتقال جزء حل شونده از طریق این مکانیسم را معمولاً برحسب یک نوع ضریب گردانه ای بیان می کنند. وجود اختلاط محوری سبب می شود که اختلاف غلظتهای جزء حل شونده در فصل مشترک کمتر شود. این اثرات در ستونهای پاششی زیاد است ، درحالی که در ستونها پرشده چندان زیاد نیست .

مقایسه برجهای پرشده و سینی دار :

برجهای سینی دار	ستونهای پر شده	
	معمولاً کمتر از سینی دار	افت فشار فاز گاز
	به مراتب کمتر از سینی دار (مناسب برای مایعی که دردمای بالا تخریب می شود)	ماندگی مایع
اگر نسبت کم باشد برجهای سینی دار بهتر است	اگر نسبت زیاد باشد ستونهای پرشده بهتر است	نسبت مایع به گاز
به سادگی امکان پذیر است	مشکل است	سرد کردن
در اینجا بیشتر استفاده می شود	در اینجا کمتر استفاده می شود	جریانهای جانبی
مناسب نیستند	این دستگاه ها مناسب ترند	سیستمهای کف کننده
برای خوردگی زیاد هزینه این برجها بیشتر است	برای خوردگی زیاد هزینه این برجها کمتر است	خوردگی
در صورت وجود ذرات جامد مناسب نیستند	در صورت وجود ذرات جامد مناسب نیستند	وجود ذرات جامد
آسان تر است	مشکل تر است	تمیز کردن
مناسب ند	در صورت استفاده از اکنه های فلزی مناسبند	نوسانات زیاد حرارتی
انباشگی برج باید با احتساب پرشدن اتفاقی برج از مایع طراحی شود	بستگی به جرم اکنه ها دارد	انباشگی برج

نکات کلیدی مربوط به بخش دوم انتقال جرم و عملیات واحد

۱. تئوری دو مقاومتی: مقاومت در داخل فازهاست و در سطح مشترک وجود ندارد.

روابط بین ضرایب انتقال جرم محلی و ضرایب انتقال جرم کل:

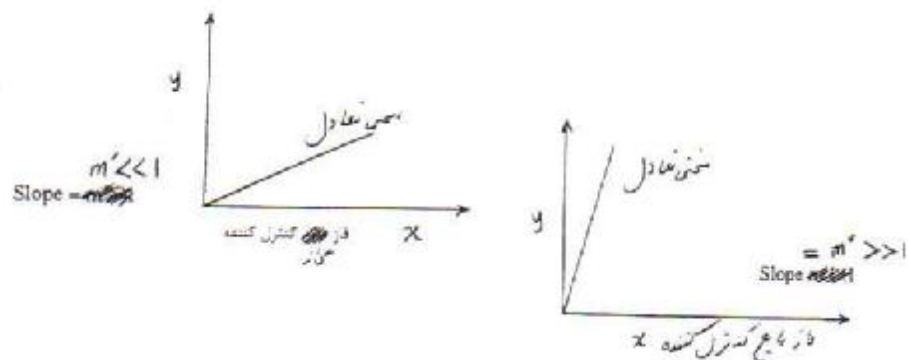
$$\frac{1}{K_y} = \frac{1}{k_y} + \frac{m'}{k_x}, \frac{1}{K_x} = \frac{1}{k_x} + \frac{1}{m'k_y}$$

نسبت مقاومتها چنین است:

$$\frac{\text{مقاومت در فاز مایع}}{\text{مقاومت کل}} = \frac{k_x}{k_x} = \frac{\text{مقاومت در فاز گاز}}{\text{مقاومت کل}} = \frac{k_y}{k_y}$$

اگر m' کوچک باشد جزء A در فاز مایع بسیار محلول و فاز گاز کنترل کننده است.

اگر m' بزرگ باشد جزء A در فاز مایع نامحلول و فاز مایع کنترل کننده است.



۲- اثر دما بر ضرایب انتقال ماده در فاز مایع از فاز گاز بیشتر است اگر تغییر قابل توجهی در انتقال ماده بر اثر دما بدست

آید مقاومت در فاز مایع است.

۳- رابطه زیر برای حالتی است که $\sum N_i = 0$ (نفوذ متقابل)

$$\frac{1}{F_{OG}} = \frac{1}{F_{OG}} + \frac{m'}{F_L} \text{ و } \frac{1}{F_{OL}} = \frac{1}{m'F_G} + \frac{1}{F_L}$$

۴- نیروی محرکه فاز گاز برابر است با $Y_{AG} - Y_{Ai}$

۵- نیروی محرکه فاز مایع برابر است با $X_{Ai} - X_{AI}$

۶- شیب خط تبادل برای جریان همسو و متقاطع $-\frac{R_S}{E_S} = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}$

7- مزیت غیرهمسو برهمسو : نیروی محرکه ناهمسو بزرگتر پس برای یک دستگاه معین شدت جریان کمتر و برای یک شدت معین دستگاه کوچکتری مورد نیاز است .

$$8- \text{ شیب خط تبادل برای جریان غیرهمسو } \frac{R_S}{E_S} = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}$$

9- بازده مورفوری به صورت زیر تعریف می شود :

$$E_{MR} = \frac{X_2 - X_{11}}{X_2^* - X_1} \quad \text{و} \quad E_{ME} = \frac{Y_2 - Y_1}{Y_2^* - Y_1}$$

$$10- \text{ ضریب جذب } A = \frac{R_S}{E_S} \times \frac{1}{m}$$

$$\text{ضریب دفع } S = \frac{E_S}{R_S} \times \frac{1}{m}$$

11- هنگامی که منحنی تعادل خطی باشد $(y_i = mx_i)$

$$E_{mE} = \frac{E_{MR}}{E_{MR}(1-S) + S}$$

12- درجریان همسو با وجود افزایش بازده نمی توان به بیش از یک واحد تعادلی دست یافت در صورتی که نمودار تعادلی و عملیاتی به صورت خط راست باشد از معادلات کرمسر استفاده می کنیم .

13- سرعت رسیدن جزء A از فاز گاز به سطح مشترک برابر با سرعت نفوذ آن به توده مایع است .

14- از $(K_X)K_Y$ برای نیروی محرکه که بر اساس $(X^*)Y^*$ بیان می شود استفاده می کنیم و از $(K_X)K_Y$ برای نیروی محرکه ای که بر اساس $(X_i)Y_i$ بیان می شود استفاده می کنیم .

15- فرآیند ناپیوسته از نظر خط کارمانند فرآیند هم جهت و متقاطع است و سیستم متقاطع ، هر واحد آن ، به صورت هم جهت کار می کند .

16- درموردی که واکنش شیمیایی داریم و ذرات معلق در مایع داریم از مخازن همزن دار استفاده می کنیم ، در این موارد قطر حبابهای گاز به شدت جریان گاز از درون روزنه ها ، قطر روزنه ها و خواص فیزیکی گاز و تلاطم مایع بستگی دارد.

17- سرعت صعود یک مجموعه حباب کمتر از یک حباب است .

ماندگی با افزایش سرعت مایع بالا رفته و سپس کاهش می یابد .

ماندگی به صورت زیر تعریف می شود :

$$\text{ماندگی} = \frac{\text{مول مایع مانده بر سطح بر زمان}}{\text{L + مول مایع مانده بر سطح بر زمان}}$$

18- برای افزایش بازده ، عمق مایع روی سینی و سرعت گاز را زیاد می کنند.

19- سرعت گاز را معمولاً در حدود $V = 0.8V_F$ در نظر می گیرند که V_F سرعت طغیان است و از رابطه زیر محاسبه می شود .

$$V_f = C_f \left(\frac{\rho_L - \rho_G}{\rho_G} \right)^{1/2}$$

20- در برجهای سینی دار ، معمولاً عرض بند را در حدود 60 تا 80 درصد قطر ، برج و اندازه گام را 2/5 تا 5 برابر قطر منافذ در نظر می گیرند .

21- افت فشار در حالت انباشتگی به صورت زیر محاسبه می شود.

$$\frac{\Delta P}{Z} = C_D \frac{G'^2}{\rho_G}$$

22- جریان همسوی گاز و مایع (عموماً به طرف پایین) برای انجام واکنش کاتالیزوری بین سیالات استفاده می شود.

در این حالت طغیان روی نمی دهد و با هر شدت جریانی می توانیم این عملیات را انجام دهیم .

23- در مقایسه برج پر شده و سینی دار نکات زیر قابل توجه است :

الف . افت فشار گاز در برج پر شده کمتر است .

ب . ماندگاری فشار گاز در برج پر شده کمتر است .

ج . نسبت مایع به گاز اگر کم باشد بهتر است از برج سینی دار استفاده شود ولی اگر نسبت مایه به گاز زیاد باشد بهتر است از برج پر شده استفاده شود.

تستهای مربوط به بخش دوم انتقال جرم و عملیات واحد

۱- نسبت مقاومت فاز گاز به مقاومت فاز مایع در مقطعی از ستون جذب که در آن غلظت های توده و فصل مشترک بقرار زیرند چقدر خواهد بود ؟ (ضریب تعادلی برابر واحد است)

$$\begin{cases} y_{AG} = 0/2 \\ x_{AL} = 0/04 \end{cases} \quad \begin{cases} y_{Ai} = 0.1 \\ x_{Ai} = 0.08 \end{cases}$$

0/4 (4) 4 (3) 25 (2) 0(1)

۲- در یک دستگاه انتقال جرم با جریان هم جهت به چند واحد تعادلی می توان دست یافت و به کدام شرط ؟

(1) متعدد زیاد بودن حجم (2) متعدد زیاد بودن حجم $\frac{R}{E}$

(3) بی نهایت ، میل حجم E به سوی بینهایت (4) یک نه بیشتر

۳- ۵ کیلوگرم صابون محتوی ۲۰٪ وزنی آب به توسط ۱۰ کیلوگرم هوای خشک رطوبت زدایی می شود شیب خط عملیات (Operating Line) چقدر است ؟

0/4 (1) 0/2 (2) 1/5 (3) 2 (4)

۴- در تعریف ضریب انتقال جرم به صورت $N_A = K_y(Y_{AG} - Y_A^*)$ نیروی رانش مقدار نیروی راننده برابر است با :

(1) بزرگترین در فاز گاز (2) بزرگترین در سیستم بر مبنای گاز

(3) خود نیرو در فاز گاز (4) کمترین در فاز گاز

۵- در عمل انتقال جرم بین دو فاز گاز - مایع (از گاز به مایع) اگر Y_{AG} ، Y_{Ai} ، Y_A^* اجزای مولی جزء نفوذ کننده در توده گاز ، فصل مشترک ، در حالت تعادل با توده مایع بوده و K_y ضرایب محلی و کلی انتقال

جرم مربوط به فاز گاز باشد مقدار $\frac{K_y}{K_y}$ برابر است با :

$$\frac{Y_{AG} - Y_{Ai}}{Y_{AG} - Y_A^*} (2) \quad \frac{Y_{AG} - Y_A^*}{Y_{AG} - Y_{Ai}} (1)$$

$$\frac{Y_{AG} - Y_A^*}{Y_{Ai} - Y_{AG}} (4) \quad \frac{Y_{AG} - Y_{Ai}}{Y_A^* - Y_{Ai}} (3)$$

۶- در صورتی که مول جزئی بخار ، مایع دو جزئی ورودی به یک سینی برج تقطیر به ترتیب ۰/۸ و ۰/۸۵ و مول جزئی بخار و مایع خروجی از این نسبتی به ترتیب ۰/۹ و ۰/۸ و ضریب فرار $\alpha = 4$ باشد راندمان سینی E_{MG} چقدر است ؟

- 0/5 (1 0/6 (2 0/62 (3 0/71 (4

۷- چنانچه در سیستمهای گاز - مایع فاز مایع را گرم و در میزان انتقال جرم تغییر حاصل نشود کدام فاز کنترل کننده انتقال جرم است ؟

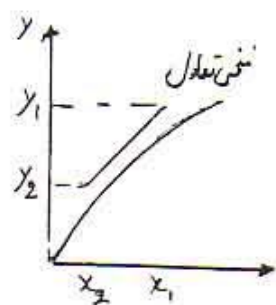
(1) در سیستم گاز - مایع همواره فاز گاز کنترل کننده است

(2) در سیستم گاز - مایع همواره فاز مایع کنترل کننده است

(3) در این حالت فاز مایع

(4) در این حالت فاز گاز

۸- در شکل بالا انتقال جرم از فاز و فاز کنترل کننده انتقال جرم فاز است (X_A نسبت مولی در فاز R و Y_A نسبت مولی در فاز E است)



- R,R به E (1 E , R به E (2 R,E به R (3 R ,E به R (4

۹- اگر تعداد سینی های واقعی یک برج جذب ۵۰ و تعداد سینی های ایده آل ۳۰ باشد راندمان کلی برج جذب چند درصد است ؟

- 30(1 50 (2 60 (3 80 (4

۱۰- در یک برج آکنده تعداد واحد های انتقال فاز گاز به کدام پارامتر بستگی دارد ؟

- (1) دبی گاز (2) سطح ویژه آکنه ها (3) ضریب انتقال جرم (4) فشار جزئی

۱۱- اصول طراحی دستگاه های انتقال جرم ، دستیابی به تعداد مراحلاست .

(1 ایده آل ، ارتفاع ، میزان طغیان (2 واقعی انرژیهای حرارتی مکانیکی و دبی جریانات

(3 واقعی و زمان تماس لازم (4 ایده آل و راندمان کلی

۱۲- در یک برج آکنده (Packed Tower) معرف تعداد مولهای انتقال یافته A به ازاء واحد زمان در حجم

برج کدام است ؟

$$N_A \cdot a \quad (1) \quad \frac{j}{a} \quad (2) \quad j \quad (3) \quad N_A \quad (4)$$

۱۳- در تقطیر (Vacum Distillation) حتی الامکان از برجهای نوع استفاده میشود؟

(1 Bubble Cap (2 Seive (3 Packed (4 Valve trav

۱۴- مخلوط گازی تحت شرایط معین در یک ستون جذب با جریانهای معکوس با حلال خالص تماس حاصل

می کند. اگر غلظت جذب شونده در گاز ورودی و خروجی و نیز تعداد سینی های برج معلوم باشد در این

صورت نسبت حلال ورودی به گاز خالص ورودی و را بدست آورد ؟

(1 حداقل شدت حلال مصرفی (2 فقط این نسبت

(3 غلظت جذب شونده در مایع خروجی از پایین ستون (4 میزان جذب شونده

۱۵- در عمل جذب

(1 حلالیت جزء نفوذ کننده گاز در حلال زیاد باشد تا موجب افزایش شدت جذب و کاهش حلال مصرفی شود

(2 حلالیت جزء نفوذ کننده گاز در حلال باید محدود باشد

(3 حلالیت جزء نفوذ کننده گاز در حلال باید کم باشد تا موجب کاهش میزان مصرفی حلال شود

(4 شدت جذب ارتباطی با حلالیت جزء نفوذ کننده گاز در حلال ندارد

۱۶- در طراحی برجهای سینی دار در تماس گاز - مایع ، از محل ریزش مایع از نوع چندگذر (Multi -

Pass) وقتی استفاده می شود که شدت مایع و قطر برج باشد.

(1 زیاد - بزرگ (2 زیاد - کوچک (3 کم - بزرگ (4 و گاز زیاد کوچک

۱۷- اگر E_s , R_s به ترتیب مقادیر مایع و گاز بدون حل شونده و x_1 , y_1 نسبت مولی این فازها در ورود به

این برج باشند $R_s(X_1 - X)$ مساوی است با E_s ضربدر برای یک فرآیند

(1) $(Y_1 - Y)$ ، همسو (2) $(Y - Y_1)$ ، غیرهمسو

(3) $(Y_1 - Y)$ غیرهمسو (3) $(Y - Y_1)$ ، همسو

۱۸- در یک برج جذب برای شیرین کردن گاز ترش سطح مشترک ویژه a ، برای حبابهایی که جزء حجمی آنها

برابر و قطر متوسط آنها $d_p = 4/47$ میلی متر است . چند $\frac{m^2}{m^3}$ است؟

(1) 14/72 (2) 73/60 (3) 147/20 (4) 294/40

۱۹- در رابطه با ضریب انتقال جرم کلی $\frac{1}{k_y} = \frac{1}{k_y} + \frac{m'}{k_x}$ هر گاه m' ضریب زاویه منحنی تعادل بین

غلظتهای دو فاز گاز و مایع خیلی کوچک باشد ، کدام عبارت درست است؟

(1) شدت جریان توسط مقاومت هر دو فاز به طور یکسان کنترل می شود

(2) شدت انتقال جرم توسط مقاومت در فاز مایع کنترل می شود

(3) غلظت A در مایع مستقل از غلظت آن در گاز می باشد

(4) قابلیت انحلال ماده A در مایع زیاد است .

۲۰- در چه مواردی برج آکنده به برج سینی دار برتری دارد ؟

(1) عملیات درخلاء (2) مواد خورنده (3) مواد کف کننده (4) هر سه مورد

۲۱- در برجهای سینی دار مشبک جهت افزایش راندمان سینی چه می توان کرد ؟

(1) افزایش ارتفاع مایع روی سینی و تعداد سوراخهای روی سینی

(2) افزایش جریان مایع و سطح ناودان

(3) افزایش قطر برج و کاهش تعداد سوراخهای سینی

(4) افزایش جریان مایع و استفاده از سینی نوع شعاعی (Radical)

۲۲- دربرجهای پر شده (packed) ضریب انتقال جرم در فاز گاز افزایش می یابد اگر سرعت گاز و فضای بین پرکنها یابد.

(1) افزایش ، کاهش (2) افزایش ، افزایش (3) کاهش ،افزایش (4) کاهش،کاهش

۲۳- در طراحی برج پر شده با حلقه های راشیگ یک اینچی ، در صورت ثابت ماندن شت گاز ورودی با

کاهش پارامتر جریان در $\frac{\Delta p}{Z}$ (افت فشار به ازای واحد طول برج) ثابت ، قطر برج چه می شود ؟

(1) ثابت می ماند (2) بزرگ (3) خیلی بزرگتر (4) کوچک

۲۴- می خواهیم در یک برج دفع ، نسبت مولی جزء A را در مایع از ۰/۵ به ۰/۱ برسانیم. رابطه تعادلی به

صورت $Y = \frac{X}{2}$ مفروض است . اگر نتیجه شود که نسبت مولی A در گاز از ۰/۱۲ به ۰/۳۵ افزایش می یابد .

(1) به حدود یک واحد تعادلی نیاز داریم (2) به حدود سه واحد تعادلی نیاز داریم

(2) به حدود 5 واحد تعادلی نیاز داریم (4) عملیات امکان پذیر نیست

۲۵. در یک برج آکنده $G' = 1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$ و ضریب دراگ $C_D = 79/5$ می باشد. اگر دانستیه گاز

$\rho_G = 1/5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ باشد افت فشار در واحد ارتفاع برج برحسب $\frac{\text{pa}}{\text{m}}$ چیست ؟

(1) 35/3 (2) 53 (3) 119/25 (4) 179

۲۶- منحنی تعادل به صورت $y = mx$ موجود است . رابطه $\frac{1}{F_{Ol}} = \frac{1}{F_l} + \frac{1}{mF_G}$ موقعی صحیح است که

(1) $N_B = 0$ باشد (2) $\sum N_i = 0$

(3) همواره صحیح است (4) فقط یک جزء انتقال یابد گرچه سیستم چند جزئی باشد

۲۷- ماده A بین دو فاز R, E مبادله می شود. با افزایش در هم بودن فاز R میزان انتقال جرم کلی افزایش

یافت. اما افزایش در هم بودن در فاز E تأثیر مهمی بر میزان انتقال جرم نداشت. کدام عبارت درست است ؟

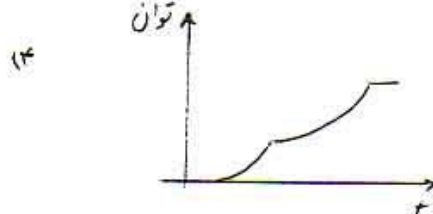
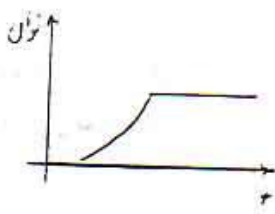
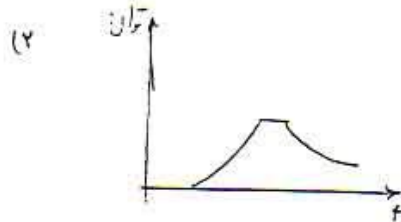
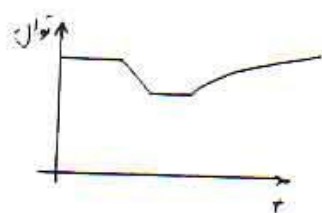
(1) ضریب انتقال جرم در دو فاز یکسان است

(2) فاز R کنترل کننده انتقال جرم است

(3) فاز E مقاومت اصلی در برابر انتقال جرم می باشد

(3) هر دو فاز کنترل کننده انتقال جرم است

۲۸- گاز در کدام حلالیت بیشتری در مایع دارد ؟



D (4

C (3

B (2

A (1

۲۹- در یک برج جذب غیر همسو فشار کل ۱/۲ اتمسفر ($1 \text{ atm} = 10^5 \text{ pa}$) و

می باشد. اگر مقاومت کل برای انتقال جرم بطور مساوی در فازهای $K_G = 8 \times 10^{-10} \left(\frac{\text{kmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{S} \cdot \text{Pa}} \right)$

گاز و مایع پخش شده باشد، مقدار K_y بر حسب $\frac{\text{kmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{S}}$ چقدر است؟

$19/2 \times 10^5$ (2

16×10^{-5} (1

$36/4 \times 10^5$ (4

$27/2 \times 10^5$ (3

۳۰- در یک بستر ثابت از ذرات کروی با قطر $d_p = 2\text{mm}$ و جزء خالی $\varepsilon = 0.35$ برابر است با : (بر

$$\left(\frac{m^2}{m^3} \right) \text{ حسب}$$

$$1/95 \times 10^3 \quad (1) \quad 0/51 \times 10^3 \quad (2)$$

$$3/08 \times 10^3 \quad (3) \quad 5/71 \times 10^3 \quad (3)$$

۳۱- در یک سیستم مشخص گاز - مایع ، در شرایط یکسانس ، افت فشار در کدام برج کمترین مقدار خود را خواهد داشت ؟

(1) سینی دار مشبک (2) پرشده نامنظم (3) سینی دار کلاهکی (4) پرشده منظم

۳۲- چرا افت فشار در بستر آکنده با افزایش سرعت جرمی مایع افزایش می یابد ؟

(1) با افزایش مایع فشار استاتیک کاهش می باید

(2) با افزایش مایع فشار استاتیک افزایش می یابد.

(3) برج به نقطه سیلابی (flooding) رسیده است .

(4) مایع موجود در برج فضای لازم برای عبور گاز را اشغال می کند.

۳۳- در برج جذب نشان داده شده منحنی بصورت $Y = X$ می باشد اگر دبی هوای خالص جاری در برج $1/5$

کیلومول بر دقیقه باشد ، حداقل دبی آب ورودی مورد نیاز چند مول بر دقیقه خواهد بود ؟

$$0/8 \quad (1) \quad 1/2 \quad (2) \quad 1/83 \quad (3) \quad 2/4 \quad (4)$$

۳۴- در سیستم تماس دهنده گاز - مایع وقتی اکسیژن دهی فاز مایع مورد نظر بوده وفاز مایع حاوی ذرات

جامد معلق باشد استفاده از کدام یک از دستگاه های زیررا توصیه می کنید؟

(1) دستگاه های تماس دهنده سینی دار (2) برج های از نوع پر شده

(3) مخازن هم زن دار (4) برجهای پاشنده

۳۵- ضریب انتقال جرم فیلم مایع $1/5 \times 10^{-4} \frac{\text{kmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$ و ضریب انتقال جرم فیلم گاز

$404 \times 10^{-2} \frac{\text{kmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$ داده شده است. برای چنین سیستمی رابطه تعادلی $y = 0.01X$ داده شده

است.

(1) مقاومت فاز مایع تقریباً برابر مقاومت فاز گاز است.

(2) مقاومت فاز مایع تقریباً 3 برابر مقاومت فاز گاز است

(3) کل مقاومت در فاز مایع است چون $m=0/01$ است.

(4) کل مقاومت در فاز گاز است چون $m = 0.01$ است.

۳۶- در یک دستگاه انتقال جرم با جریان هم جهت کدامیک از عبارات زیر صحیح است؟

(1) اگر نسبت حجم های ورودی مواد زیاد باشد می توان بی نهایت واحد تعادلی دست یافت.

(2) بر اساس نسبت حجم های ورودی بین یک تا بی نهایت واحد تعادلی خواهیم داشت

(3) هیچگاه نمی توان در این دستگاه به بیش از یک واحد تعادلی دست یافت.

(4) بر اساس دما و ضریب نفوذ مولکولی بین یک تا بینهایت واحد تعادلی خواهیم داشت

۳۷- در یک برج پر شده شدت جرمی عبور گاز $G' = 1 \text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ و ضریب دراگ $C_D = 70$ باشد.

اگر دانستیه گاز $1.2 \text{kg}/\text{m}^2$ باشد مقدار افت فشار گاز در واحد ارتفاع ستون پر شده برابر است با:

$$84 \text{pa}/\text{m} \quad (4) \quad 0/017 \frac{\text{Pa}}{\text{m}} \quad (3) \quad 58/33 \frac{\text{Pa}}{\text{m}} \quad (2) \quad 20/27 \frac{\text{Pa}}{\text{m}} \quad (1)$$

۳۸- می خواهیم در یک برج دفع نسبت مولی جزء A را در مایع از ۵/۰ به ۳/۰ برسانیم. رابطه تعادلی به

صورت $Y = \frac{X}{2}$ مفروض است. اگر بخواهیم نسبت مولی A در گاز را صفر به ۳/۰ افزایش یابد.

(1) به حدود 6 واحد تعادلی نیاز داریم (2) عملیات امکان پذیر نیست

(3) به حدود 2 واحد تعادلی نیاز داریم (4) به یک واحد تعادلی نیاز داریم

۳۹- در یک سیستم انتقال جرم بین دو فاز گاز و مایع معادله منحنی تعادل به صورت

$$K_x = K_y, y = S/x \text{ می باشد در این صورت :}$$

(1) بیشتر مقاومت در مقابل انتقال جرم در فاز مایع قرار دارد

(2) مقاومت در فاز مایع 51 برابر مقاومت در فاز گاز می باشد

(3) بیشتر مقاومت در مقابل انتقال جرم در فاز گازی قرار دارد

(4) مقاومت در مقابل انتقال جرم در هر دو فاز قرار دارد

۴۰- در برج های انتقال جرم آکنده هر چقدر آکنه کوچکتر انتخاب شود

(1) راندمان برج بالا می رود (2) راندمان برج پایین می رود

(3) سطح تماس برای انتقال جرم کمتر می شود

(4) دو عامل مثبت و منفی را در مورد راندمان تغییر می دهد

۴۱- رابطه تعادلی توزیع A بین دو فاز دو مایع بصورت $P_A = H C_A$ داده شده است که P_A فشار جزئی A

در فاز بخار C_A غلظت A در فاز مایع است . کدام یک از روابط زیر برای ضریب انتقال جزء جمعی فاز بخار

صحیح است ؟

$$KG = \frac{1}{KG - \frac{H}{K_L}} \quad (2)$$

$$KG = \frac{1}{\frac{H}{K_G} + \frac{1}{K_L}} \quad (1)$$

$$KG = \frac{1}{\frac{1}{K_G} + \frac{H}{K_y}} \quad (4)$$

$$KG = \frac{1}{\frac{1}{K_G} - \frac{H}{K_x}} \quad (3)$$

۴۲- در سیستمهای انتقال جرم بین دو فاز گاز و مایع اگر مسئله افت فشار گاز مهم باشد مناسب ترین

وسیله مجاوز سازی دو فاز کدام است ؟

(1) برجهای پر شده (2) برجهای کلاهی

(3) برجهای سینی دار غربالی (4) برجهای سینی دار درپچه ای

۴۳- اگر برای یک سیستم انتقال جرم گاز - مایع کل مقاومت در برابر انتقال جرم در فاز مایع باشد ایجاد تلاطم در سبب افزایش میزان انتقال جرم می شود.

(1) فاز گاز (2) فاز مایع (3) هر دو فاز مایع و گاز (4) فصل مشترک مایع و گاز

۴۴- در یک سیستم انتقال گاز - مایع منحنی تعادل $y = 50x$ می باشد کدام گزینه در مورد مقاومت انتقال جرم صحیح است ؟

(1) مقاومت در هر دو فاز ناچیز است (2) بیشترین مقدار در فاز مایع است

(3) بیشترین مقدار در فاز گاز است (4) مقاومت بطور مساوی بین دو فاز توزیع شده است

۴۵- یک بستر پر شده از حلقه های سرامیکی راشینگ برای تقطیر در خلاء به کار می رود. برج بصورت جریان متقابل و آرایش آکنه ها تصادفی است. این برج دارای مشکل عملیاتی است و مرتب پدیده طغیان در آن مشاهده می شود. اگر بخواهیم خلوص محصول بدست آمده در جریان بالای برج کاهش نباید کدام روش می تواند مشکل طغیان را کاهش دهد؟ (ارتفاع و قطر بستر پر شده قابل تغییر نیست)

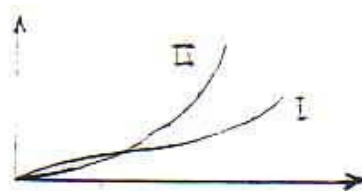
(1) تغییر آرایش آکنه ها از تصادفی به منظم

(2) استفاده از برج سینی دار بجای برج پر شده

(3) تغییر آرایش جریان از متقابل به همسو

(4) جایگزین آکنه ها با آکنه های بزرگتر از همان نوع

۴۶- در یک فرآیند انتقال جرم در ظرف هم زده غشاء ظرف را از مایع پر نموده سپس همزن بکار افتاده و پس از رسیدن همزن به دور ماکزیمم دبی گاز به آهستگی افزوده می شود که به مقدار مورد نظر برسد کدام نمودار برای تغییرات توان داده شده به محتویات داخل ظرف همزده صحیح است ؟



(1) (2)

(3) (4)

۴۷- در یک برج جذب ، غیرهمسوقرار است ۸۰ درصد از آمونیاک موجود در هوای ورودی (با غلظت ورودی ۱۰ درصدی حجمی) بوسیله آب خالص جذب گردد. اگر منحنی تعادل سیستم بصورت $Y = X$ بیان گردد حداقل نسبت دبی مایع به گاز کدام است؟

- 1) 0/75 2) 0/82 3) 1/23 4) 1/33

۴۸- در یک سیستم جداسازی گاز - مایع رابطه زیر بازده مورفری در دو فاز موجود است؟

$$E_{ME} = \frac{E_{MR}}{E_{MR} \left(1 - \frac{1}{A} \right) + \frac{1}{A}}$$

چنانچه شیب منحنی تعادل در این سیستم برابر ۵ بوده و $\begin{cases} E_{ME} = 0/88 \\ E_{MR} = 0/8 \end{cases}$ باشند شیب خط عملیاتی

چقدر خواهد بود .

- 1) 0/11 2) 0/37 3) 2/73 4) 9/15

۴۹- برای روش جذب سطحی و جدا سازی بخار A (منتقل شونده) از گاز B (گاز منتقل نشونده) دو نوع جاذب که خط تعادلی آنها در شکل داده شده پیشنهاد گردیده است . در این صورت کدام عبارت صحیح است ؟

- 1) با توجه به شکل جاذب II را نمی توان بکاربرد
- 2) برای مقادیر جذب کم جاذب I بهتر از II است
- 3) برای مقادیر جذب کم جاذب II بهتر از I می باشد
- 4) برای مقادیر جذب زیاد جاذب II بهتر از I می باشد.

پاسخ تست های مربوط به بخش دوم انتقال جرم و عملیات واحد

$$\frac{K_y}{K_x} = \frac{x_{Ai} - x_{AL}}{Y_{AG} - Y_{Ai}} = \frac{0/08 - 0/04}{0/2 - 0/1} = 0/4 \quad \text{1- گزینه (2)}$$

$$\frac{1}{\frac{K_y}{K_x}} = \frac{K_x}{K_y} = 2/5$$

2- گزینه (4)

$$\text{Slope} = \frac{R_S}{E_S} = \frac{R(1-x)}{E_S} = \frac{5(1-0/2)}{10} = 0/4 \quad \text{3- گزینه (1) فرآیند متقاطع}$$

4- گزینه (2) چرا که K_y بزرگ یا ضریب انتقال کل را انتخاب کرده ایم و Y_A که در تعادل با X_{AL} می باشد و کمترین مقدار خود را دارد یعنی Δy بیشترین مقدار می شود.

$$\begin{cases} N_A = K_y (y_{AG} - y_{Ai}) \\ N_A = K_y (y_{AG} - y_A^*) \end{cases} \Rightarrow \frac{K_y}{K_y} = \frac{y_{AG} - y_A^*}{y_{AG} - y_{Ai}} \quad \text{5- گزینه (1)}$$

6- گزینه (4) با توجه به اینکه

$$y_{n+1} = 0/8, y_n = 0/9, x_{n+1} = 0/85, x_n = 0/8$$

$$\begin{cases} E_{MG} = \frac{y_n - y_{n+1}}{y_n - y_{n+1}} = \frac{0/9 - 0/8}{0/941 - 0/8} \approx 0/71 \\ y_n = \frac{\alpha \text{ un}}{1 + (\alpha - 1)x_n} = 0/941 \end{cases}$$

7- گزینه (4) می دانیم که اثر دما بر ضریب انتقال جرم فاز مایع بیشتر از فاز گاز می باشد. در صورتی که گرم کردن مایع تغییری در انتقال جرم حاصل نکند فاز گاز کنترل کننده خواهد بود.

8- گزینه (2) از آنجا که خط عمل بالای منحنی تعادل قرار گرفته لذا جرم از E گاز به R مایع عملیات جذب می باشد و چون منحنی تعادلی در جهت افقی گسترش یافته لذا فاز کنترل کننده E می باشد (البته با فرض $K_x = K_y$ منحنی تعادل از محور y دور است پس فاز E کنترل کننده است .

9 - گزینه (3)

$$\text{راندمان کل} = \frac{\text{تعداد سینی های ایده آل}}{\text{تعداد سینی های واقعی}} \times 100 = \frac{30}{50} \times 100 = 60\%$$

10 - گزینه (4) طبق رابطه زیر مشخص می شود که تعداد واحد های انتقال فاز گاز به دبی سطح ویژه آکنه و ضریب انتقال جرم بستگی دارد لذا هیچ کدام از جوابها صحیح نمی باشد و در صورتیکه فعل (بستگی دارد) به (بستگی ندارد) تغییر کند گزینه 4 صحیح خواهد بود .

$$\begin{cases} Z = N_{rG} \cdot H_{rG} \\ H_{tG} = \frac{G}{F_G \cdot a} \end{cases} \Rightarrow N_{rG} = \frac{F_G \cdot a}{G} \cdot Z$$

11- گزینه (2)

12) گزینه (1) دانستن واحد و دیمانسیون کمیت هایی نظیر $N, J, D, a, \dots$ کمک خوبی در حل تستهای انتقال جرم و عملیات می باشد .

$$[j] = [N_A] = \frac{\text{mol}}{l^2 \cdot t}, [a] = \frac{l^2}{l^3} \cdot D = \frac{l^2}{t}$$

که t, L به ترتیب معرف طول و زمان می باشد در ضمن مشخص است که در تست فوق تنها کمیت $N_A \cdot a$ معرف تعداد مولهای انتقال یافته A به ازاء واحد زمان به حجم برج می باشد.

13- گزینه (3) افت فشار گاز در ستونهای پر شده معمولاً کمتر از برجهای سینی دار است و این مسئله در عملیات تقطیر در خلاء بسیار مهم است .

14 - گزینه (3) با توجه به شکل اگر نقطه (O, Y_1) و نقطه دیگر که فقط Y_2 آن معلوم است و با حدس و خطا زدن (با توجه به اینکه تعداد سینی ها را می دانیم) و تعیین کردن نقطه 2 می توان با وصل کردن نقطه 1 به 2 مقدار

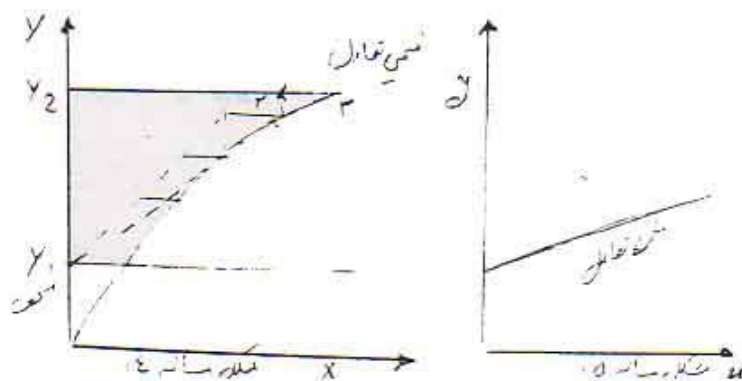
$\frac{R_s}{E_s}$ را بدست آورد اما نمی توان حداقل مقدار حلال مصرفی R_{Smin} را بدست آورد لکن می توان با وصل کردن نقطه

1 به 3 و تعیین شیب خط مقدار $\left(\frac{R_s}{E_s}\right)_{min}$ را بدست آورد اما E_s را نداریم تا R_{Sman} را بدست آوریم و اگر R_s را

داشته باشیم می توانستیم $R_s(X_2 - 0)$ مقدار جذب شده را بدست آوریم .

15) گزینه (1) معمولاً حلالی که از نظر طبیعت شیمیایی مشابه با ماده حل شونده باشد امکانات زیادی را جهت انحلال

حل شونده فراهم می کند با توجه به شکل زیر



دیده می شود که هر چه منحنی تعادل به محور افقی نزدیکتر می شود مقدار $\frac{R_s}{E_s}$ کم

می شود یعنی حلال مصرفی کم می شود از طرفی این نشان می دهد که مقاومت در فاز E است و ماده A در فاز R به راحتی حل می شود.

16- گزینه (1)

17- گزینه (3 و 4) چرا که

$$R_s(X - X_1) = E_s(Y_1 - Y) \Leftarrow -\frac{R_s}{E_s} = \frac{(Y - Y_1)}{X - X_1}$$

$$R_s(X - X_1) = E_s(Y - Y_1) \Leftarrow -\frac{R_s}{E_s} = \frac{(Y - Y_1)}{X - X_1}$$

18 - گزینه (3) در صورتی که a سطح مشترک ویژه (سطح مشخصه) باشد سطح واحد حجم ذرات برابر $\frac{a}{1-\epsilon}$ می

گردد که ϵ جزء فضای تهی در ستون پر شده خشک یا حجم قسمت خالی به حجم بستر می باشد. با توجه به

مشخصات هندسی کره $a = \frac{6(1-\epsilon)}{d_p}$ می باشد در مورد حبابها این رابطه بصورت $a = \frac{6\phi_G}{d_p}$ می باشد و ϕ_G

موجودی گاز یا جزء حجمی گاز نامیده می شود.

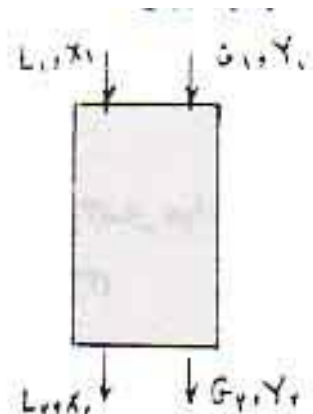
$$a = \frac{6\phi_G}{d_p} = \frac{6 \times 0.1097}{4.47 \text{ mm}} \times \frac{1000 \text{ mm}}{\text{m}} = 147.2 \frac{\text{m}^2}{\text{m}^3}$$

19 - گزینه (4) با توجه به شکل مقاومت در فاز گاز بوده و ماده A در فاز مایع به راحتی حل می شود. البته از

نیز می توان به این مطلب رسید چرا که اگر $m' \approx 0$ آنگاه $K_y = K_x$ مقاومت در

$$\frac{1}{K_y} = \frac{1}{K_x} + \frac{m'}{K_x}$$

فاز گاز .



20 - گزینه (4) افت فشار در ستونهای پر شده معمولاً کمتر است و این مسأله در عملیات تقطیر تحت خلا بسیار مهم است

و در شرایط حاد خوردگی هزینه برجهای پر شده احتمالاً کمتر بوده و در ستونهای پر شده حبابهای کمتری از گاز وارد

مایع می شود.

21 - گزینه (1)

22 - گزینه (2)

23- گزینه 4 صحیح است . با کاهش پارامتر جریان ، G' (دبی حجمی گاز در واحد سطح) افزایش پیدا می کند و در صورت ثابت ماندن شدت گاز ورودی نسبت دبی گاز به گاز در واحد سطح کاهش پیدا می کند ، بنابراین قطر برج کاهش پیدا می کند.

24- گزینه 4 صحیح است چون خط تبادل ، منحنی تعادل را قطع می کند، لذا عملیات امکان پذیر نیست .

25- گزینه 4 صحیح است . چرا که قطر برج به شدت های جریان بستگی دارد.

26 - گزینه (4) در صورتی که عملیات دفع با جریان متقابل مدنظر باشد داریم :

$$\left. \begin{array}{l} X = \frac{x}{1-x} \\ Y = \frac{y}{1-y} \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} x_1 = 0/11 \\ y_1 = 0/14 \\ x_2 = 1 \\ y_2 = 0/54 \end{array} \right.$$

ملاحظه می شود که خط تبادل عملیات دفع در اینجا بالای خط تعادل ($Y = \frac{X}{2}$) قرار می گیرد که ممکن نیست و

در صورتی که عملیات دفع با جریان همسو مدنظر باشد داریم:

$$\left\{ \begin{array}{l} x_1 = 0/5 \\ y_1 = 0/12 \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} X_1 = 1 \\ Y_1 = 0/14 \end{array} \right. \\ \left\{ \begin{array}{l} x_2 = 0/1 \\ y_2 = 0/35 \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} X_2 = 0/11 \\ Y_2 = 0/54 \end{array} \right. \Rightarrow Y_2 > X_3$$

ملاحظه می شود که نقطه دوم در بالای ($Y = \frac{X}{2}$) قرار می گیرد و حتی با بی نهایت مرحله تعادلی هم نمی توان

به نتیجه رسید .

27 - گزینه (2) برای یک نوع و اندازه مشخص از پرکن های ساخته شده معادله Ergum را می توان با عبارت تجربی زیر جانشین کرد .

$$\frac{\Delta p}{Z} = C_D \frac{G'^2}{\rho_G} \Rightarrow \frac{\Delta p}{Z} = 7/95 = 53 \frac{\text{pa}}{\text{m}}$$

28 - گزینه (2)

29 - گزینه (2) با توجه به افزایش انتقال جرم در اثر افزایش درهم بودن فاز R این فاز کنترل کننده انتقال جرم است .

30 - گزینه (4) درحالتی که m شیب خط تعادلی کم باشد بعبارت دیگر هنگامی که خط تعادلی در راستای افقی گسترش یافته باشد حلالیت گاز در مایع زیاد است .

31 - گزینه (2) می دانیم که در مورد مقاومت کل در هر دو فاز مقاومت در فاز گاز رابطه روبرو برقرار است .

$$\frac{1}{K_y} = \frac{1}{K_y} + \frac{m'}{K_x}$$

حال در صورتی که مقاومت انتقال جرم بطور مساوی در دوفاز گاز و مایع پخش شده باشد داریم :

$$K_y = 2K_y$$

$$K_y = K_G.P_t \Rightarrow k_y K_G P_t = 2 \times 8 \times 10^{-10} 2 \left(\frac{\text{kmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{S.Pa}} \right) \times 1/2 \text{atm} \times \frac{10^5 \text{pa}}{1 \text{atm}} = 19/2 \times 10^{-5}$$

(32) گزینه (1)

$$a = \frac{6(1-\varepsilon)}{dp} = \frac{6(-0/35)}{2\text{mm}} \times \frac{10^3 \text{mm}}{1\text{m}} = 1/95 \times 10^3$$

(33) گزینه (4)

34) گزینه (4) 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.

35 - گزینه (2) فرمول کلی برای جریان متقابل چنین است .

$$\frac{R_S}{E_S} = \left(\frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} \right) \Rightarrow \begin{cases} X_2 = Y_2 = 0/01 \\ X_1 = X_i , Y_i = Y_1 = 0/05 \end{cases} \Rightarrow X_i = Y_i \Rightarrow X_1 = 0/05$$

$$\left(\frac{R_S}{E_S} \right)_{\min} = \frac{Y_2 - Y_i}{X_2 - X_i} \Rightarrow \frac{0/01 - 0/05}{0 - 0/05} = 0/08 \Rightarrow R_{S\min} = 1.2$$

36 - گزینه (3) مثل هوا دهی فاضلابها در تصفیه خانه های شهری یا صنعتی که از مخازن همزن دار استفاده می شود.

37 - گزینه (3)

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{K_x} = \frac{1}{K_x} + \frac{1}{mK_x} \\ \frac{1}{K_y} = \frac{1}{K_y} + \frac{m}{K_x} \\ K_x = 1/5 \times 10^{-4} \\ K_y = 4/4 \times 10^{-2} \\ m = 0/01 \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{K_x} \approx 8940 \\ \frac{1}{K_y} \approx 89/14 \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \frac{1/K_x}{1/K_x} = 0/75 \\ \frac{1/K_y}{1/K_y} = 0/25 \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{0/75}{0/25} = 3$$

38- گزینه (3)

39- گزینه (2)

$$\frac{\Delta p}{Z} = C_D \frac{G'^2}{\rho G} \Rightarrow 70 \times \frac{1^2}{1/2} = 58/33 \frac{\text{pa}}{\text{m}}$$

40 - گزینه (1)

$$\left\{ \begin{array}{l} X = \frac{x}{1-x} \\ Y = \frac{y}{1-y} \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} X_1 = 0/031 \\ Y_1 = 0 \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x_1 = 0/5 \\ y_1 = 0 \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} X_1 = 1 \\ Y_1 = 0 \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x_2 = 0/03 \\ y_2 = 0/3 \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} X_2 = 0/031 \\ Y_2 = 0/43 \end{array} \right\} \Rightarrow Y_2 > X_3$$

ملاحظه می شود که خط تعادل عملیات دفع رابطه تعادلی را قطع می کند لذا دفع غیرممکن است.

اینجا هم نقطه دوم در بالای خط $Y = \frac{X}{3}$ قرار می گیرد لذا عملیات امکان پذیر نیست.

41 - گزینه (1)

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{K_x} = \frac{1}{K_x} + \frac{1}{mK_x} \\ K_u \approx k_y \\ y = 51x \Rightarrow m = 51 \end{array} \right\} \frac{1}{K_x} \gg \frac{1}{mK_y} \Rightarrow \frac{1}{K_x} = \frac{1}{K_x}$$

42 - گزینه (4) با کوچکتر شدن آکنه ها سطح تماس بیشتر می شود و راندمان بالا می رود اما افت فشار نیز زیاد می شود و عبور گاز به مشکل مواجه می شود.

43- گزینه (2) با توجه به اینکه $\frac{1}{K_x} = \frac{1}{K_y} + \frac{1}{K_x}$ برای حالتی که $\Delta x, \Delta y$ داشته باشیم برقرار است حال

$$[H] = \frac{\text{فشار}}{\text{غلظت}} \Leftrightarrow P_A = H C_A \quad \text{با توجه به اینکه}$$

بنابراین

$$\frac{1}{K_G} = \frac{1}{K_G} - \frac{H}{K_L}$$

44 - گزینه (1)

45 - گزینه (2)

46- گزینه (2) (با فرض $K_2 = K_y$)

$$\frac{1}{K_x} = \frac{1}{mK_y} + \frac{1}{K_x} \Rightarrow \frac{1}{K_x} = \frac{1}{50 K_y} + \frac{1}{K_x} \Rightarrow k_x \approx K_y$$

47- گزینه (1) چرا که در برجهای منظم سرعت طغیان (V_f) از برجهای نامنظم بیشتر بوده و لذا با شدت جریانهای بالای گاز می توان کارکرد یعنی پدیده طغیان بسرعت اتفاق نمی افتد چرا که باید به (V_f) برسیم .

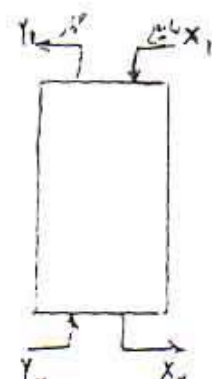
در گزینه (2) خلوص محصول پایین می آید زیرا که یک مرحله عملیاتی خواهیم داشت

در گزینه (3) معمولاً برای تقطیر درخلاً از برجهای سینی دار استفاده نمی شود

در گزینه (4) خلوص محصول پایین می آید زیرا سطح تماس ویژه کاهش می یابد فقط گزینه (1) است که خلوص محصول نه تنها پایین نمی آید بلکه ممکن است بالا برود.

48- گزینه (1) در هنگام شروع به کار همزن توان کم بوده سپس به مقدار ماکزیمم خود می رسد پس از ورود گاز به دلیل اینکه در ابتدا دبی کم بوده و بنابراین دانسیته کلی موجود در فرآیند تا حدودی ثابت است و خط توان به صورت افقی می ماند پس از چند لحظه که مقدار گاز ورودی به حدی می رسد که شروع به کاهش قابل قبولی می کند مقدار توان لازم کم شده و پس از آنکه مقدار گاز ثابت ماند توان نیز بصورت خط افقی در می آید.

49- گزینه (2) درحالی که $\left(\frac{R_S}{E_S}\right)_m$ را بخواهیم باید $\begin{cases} X_2 = X_i \\ Y_2 = Y_i \end{cases}$ باشد.



$$\begin{cases} X_1 = 0 \\ Y_1 = 0/2 Y_2 = 0.2 \left(\frac{Y}{1-Y} \right) = 0/2 \frac{0.1}{0.9} = 0.0222 \end{cases}$$

$$\left(\frac{R_S}{E_S}\right)_{\min} \begin{cases} X_2 = x_i \\ Y_2 = \frac{0.1}{1-0.1} = 0.111 \end{cases}$$

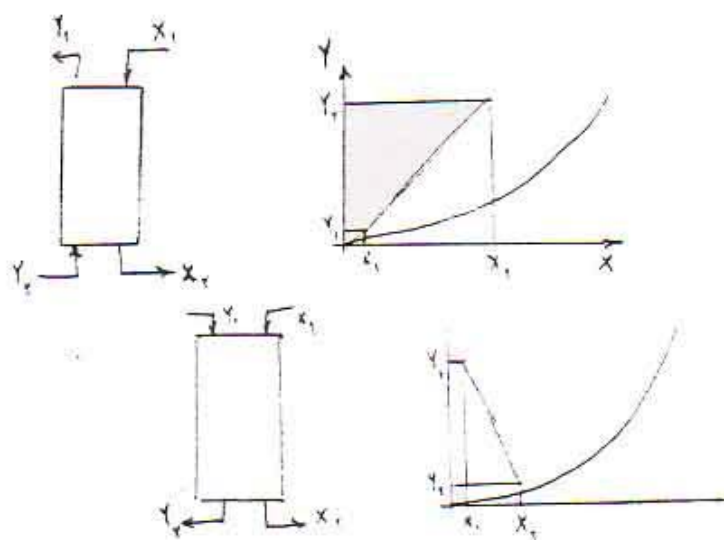
$$\left(\frac{R_S}{E_S}\right)_{\min} = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = 0/8$$

-50

$$0/88 = \frac{0/8}{0/8 \left(1 - \frac{1}{A}\right) + \frac{1}{A}} = \frac{0/8}{0/8 + \frac{0/2}{A}} \Rightarrow 0/8 + \frac{0/2}{A} = \frac{0/8}{0/88} \Rightarrow A = 0/545$$

$$A = \frac{1}{m} \left(\frac{R_S}{E_S} \right)_m = 5$$

51- گزینه (4) برای جریانهای متقابل داریم (برای حالت جذب زیاد $Y_1 \approx 0$)



آزمون مربوط به بخش دوم انتقال جرم و عملیات واحد

۱- کدام گزینه برای N_A صحیح است ؟

($P_A^S, P_{AG}, y_A^*, y_{Ai}, y_{AG}$ به ترتیب جزء A در فاز گاز جزء تعادل A در فصل مشترک، y_A^* جزء A

که در تعادل با X_{AL} می باشد، P_{AG} فشار A در گاز و P_A^S فشار اشباع A روی سطح مشترک می باشد)

$$K_G (P_{AG} - P_A) \quad (2) \quad K_G (y_{AG} - y_{Ai}) \quad (1)$$

$$K_y (y_{AG} - y_{Ai}) \quad (4) \quad K_y (y_{AG} - y_A^*) \quad (3)$$

۲- در فرآیند جذبی که منحنی تعادل آن بصورت $y = 3x$ می باشد مقادیر ضرایب انتقال جرم برابر است

است با باشد مقدار شار؟

$$1/63 \times 10^{-6} \quad (2) \quad 1/05 \times 10^{-4} \quad (3) \quad 7/00 \times 10^{-6} \quad (4) \quad 2/28 \times 10^{-6}$$

۳- برای فرایندی که منحنی تعادل آن $y = 4x$ باشد مقادیر ضرایب انتقال جرم برابر است با

$$K_x = 4 \times 10^{-5}, \quad k_y = 2 \times 10^{-4} \quad \text{چند درصد از مقاومت در فاز گاز می باشد؟}$$

$$83\% \quad (1) \quad 16/16\% \quad (2) \quad 10\% \quad (3) \quad 4/8\% \quad (4)$$

۴- در یک فرآیند پایا با جریان همسو شدت جریان گاز $10 \frac{\text{mol}}{\text{s}}$ و جزء مولی A برابر ۰/۴ می باشد و شدت

مایع برابر $15 \frac{\text{mol}}{\text{s}}$ و جزء مولی A در ورودی ۲۰٪ می باشد شیب خط تعادل کدام است ؟

$$2/45 \quad (1) \quad -2/45 \quad (2) \quad 0/5 \quad (3) \quad -1/5 \quad (4)$$

۵- در یک فرآیند پایا جریا همسو برای آنکه به تعادلی برسیم :

(1) باید یک دستگاه با طولی بی نهایت داشته باشیم

(2) باید یک دستگاه با بی نهایت مرحله داشته باشیم

(3) همواره می توان به غلظتهای تعادلی رسید

(4) در این حالت تحت هیچ شرایطی نمی توان به غلظتهای تعادلی رسید

۶- در یک فرآیند پایا با جریان $100 \frac{\text{mol}}{\text{s}}$ گاز ورودی با جزء مولی ۰/۷ و مایع ورودی $70 \frac{\text{mol}}{\text{s}}$ با جزء

مولی ۰/۱ می باشد مقدار شیب خط تبادل چقدر است و فرآیند جذب است یا دفع ؟

(1) 0/7 ، دفع (2) 2/31 ، دفع (3) 0/7 ، جذب (4) 2/31 ، جذب

۷- در کدام حالت خط تبادل در فرآیند جریان متقابل به شکل منحنی در می آید ؟

(1) خط تعادل منحنی باشد (2) جرم کل هر فاز ثابت بماند

(3) جرم کل هر فاز متغیر باشد (4) همواره به شکل خط مستقیم است

۸- در کدام حالت می توان بازده کلی را افزایش داد ؟

(1) استفاده از چندین واحد همسو (2) استفاده از یک واحد ناپیوسته

(3) استفاده از یک واحد متقاطع (4) استفاده از یک واحد ناپیوسته و یک واحد متقاطع

۹- طبق تعریف ماندگی گاز عبارت است از (ϕ_G)

(1) مقدار قطرات مایعی که همراه گاز به بالا می روند

(2) جزء حجمی مخلوط گاز - مایع موجود در مخزن که توسط گاز اشغال می شود

(3) جزء حجمی مایع موجود در مخزن که توسط مایع اشغال می شود

(4) جزء حجمی مایع موجود در مخزن که توسط گاز اشغال می شود

۱۰- عدد بی بعد F_r (فرود) در کجا اهمیت پیدا می کند ؟

(1) در جریان متلاطم (2) جریان آرام (3) جریان گردابی (4) جریان بدون گرداب

۱۱- دربرجهای سینی دار کوچک معمولاً از کدام جریان استفاده می کند ؟

(1) حالت جریان با یک محل ریزش مایع (2) جریان معکوس مایع

(3) جریان شعاعی یا انشعابی (4) جریان هم جهت مایع

۱۲- در یک برج جذب شدت جریان مایع $100 \frac{\text{mol}}{\text{m}^2 \cdot \text{S}}$ و در جریان گاز $5 \frac{\text{mol}}{\text{m}^2 \cdot \text{S}}$ مایع وجود دارد که

در حال گردش است مقدار ماندگی برابر است با

- (1) 0/05 (2) 0/048 (3) 0/952 (4) 0/95

۱۳- بازده مورفری یک سینی را در فرآیند جذب که غلظت‌های مایع ورودی ۰/۴ و گاز ورودی ۰/۱ و مایع

خروجی ۰/۳۵ و گاز خروجی ۰/۲ است را پیدا کنید. (معادله تعادل $y = \frac{2}{3}x$ است)

- (1) 0/75 (2) 2 (3) 0/5 (4) 33/1

۱۴- در صورتی $E_{mG} = E_{oG}$ است که ؟

(1) ماندگی نداشته باشیم

(2) مایع دارای جریان قالبی باشد

(3) غلظت در تمام نقاط روی سینی یکنواخت باشد

(4) در نزدیکی پدیده طغیان چنین است

۱۵- در یک برج جذب تعداد سینیهای ایده آل برابر ۸ و تعداد سینیهای حقیقی برابر ۱۰ سینی محاسبه

شده است بازده کلی سینی چقدر است ؟

- (1) 16% (2) 25% (3) 44% (4) 80%

۱۶- در صورتی که نیاز به جذب کم داشته باشیم و افت فشار خیلی مهم باشد و گرمای زیادی در اثر واکنش

تولید شود کدام دستگاه مناسب می باشد ؟

(1) برجهای سینی دار (2) برج دار مرطوب

(3) برجهای پر شده (4) مخازن همزن دار

۱۷- برای آنک‌ها با توجه به خصوصیت ضروری است .

(1) سطح تماس زیادی را بین گاز و مایع ایجاد نماید (2) دارای استحکام

(3) ارزان قیمت باشد (4) هر سه مورد

۱۸- در یک برج پر شده اگر ضریب تخلخل 0.3 باشد و سطح مشخصه $30 \frac{m^2}{m}$ باشد آنگاه قطر معادل ذرات

آکنه برابر است با :

1) $9/2 \text{ cm}$ 2) 14 cm 3) 6 cm 4) 4 cm

۱۹- کدام گزینه صحیح است :

- 1) افت فشار در ستونهای پر شده معمولاً از برجهای سینی دار بیشتر است
- 2) در شرایط حاد خوردگی استفاده از برجهای سینی دار بهتر است تا استفاده از برجهای پر شده
- 3) اگر ذرات جامد در مایع وجود داشته باشد برجهای سینی دار مناسب ترند
- 4) در سیستم های کف کننده استفاده از ستونهای پر شده مناسب تر است

پاسخ تستهای مربوط به آزمون بخش دوم انتقال جرم و ...

1- گزینه (3) چرا که K_G ضریب انتقالی کلی برای فشار می باشد که بصورت $K_G = (P_{AG} - P_A^S)$ می باشد

ولی K_y ضریب انتقالی کلی برای جزء A بوده و به صورت $K_G(y_{AG} - y_A^*)$ می باشد.

2- گزینه (1)

$$y = 3x \Rightarrow m = 3, \quad y_{AG} = 0/4, \quad K_y = 4 \times 10^{-4}$$

$$x_{AL} = 0/05 \quad K_x = 2 \times 10^{-5}$$

$$\frac{1}{K_y} = \frac{1}{K_y} - \frac{m}{K_x} \Rightarrow K_y = 6/52 \times 10^{-6}$$

$$N_A = K_y(y_{AG} - y_A) \Rightarrow$$

$$y_A^* = 3 \times 0/05$$

$$y_A^* = 0/15$$

$$N_A = 6/52 \times 10^{-6} (0/4 - 0/05) = 1/63 \times 10^{-6}$$

(3) گزینه (4)

$$y = 4x \Rightarrow m = 4$$

$$\frac{1}{K_y} = \frac{1}{K_y} + \frac{m}{K_x} \Rightarrow \frac{1}{2 \times 10^{-4}} + \frac{4}{4 \times 10^{-5}} \Rightarrow \frac{1}{K_y} = 105000$$

$$\frac{1/K_y \times 100}{1/K_y} = \frac{5000}{105000} \times 100 \approx 4/8\%$$

4 - گزینه (2)

$$\begin{cases} R = 150 & x_1 = 0/02 \\ E = 10 & y_1 = 0/4 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} R_S = R(1 - x_1) \\ E_S = E(1 - y_1) \end{cases}$$

$$R_S = R(1 - x_1)$$

$$\text{شیب خط جریان همسو} = -\frac{R_S}{E_S} = -2/45$$

5- گزینه (1) جریان همسو فقط یک مرحله دارد

6- گزینه (4)

$$\left\{ \begin{array}{l} E = 100 \frac{\text{mol}}{\text{s}}, y_2 = 0/7 \\ R = 100 \frac{\text{mol}}{\text{s}}, x_2 = 0/01 \end{array} \right\} \Rightarrow E_s = 100(1 - 0/7) = 30$$

$$R_s = 70(1 - 0/01) = 69/3$$

$$= \frac{69/3}{30} = 2/31 \text{ شیب خط تبادل جریان متقابل}$$

به دلیل اینکه X_1 کم بوده و غلظت در فاز گاز خیلی بیشتر از فاز مایع است پس انتقال جرم از فاز گاز به مایع می باشد

7- گزینه (3)

8- گزینه 1

9- گزینه 2

10- گزینه 3

11- گزینه 2

12- گزینه 2

$$E = \frac{5}{5 + 100} = \frac{\text{مول مایع مانده بر سطح بر زمان}}{\text{L + مول مایع مانده بر سطح بر زمان}} \approx \%48$$

13- گزینه 1

$$y_n = 0/2$$

$$x_n = 0/35$$

$$y_{n+1} = 0/1$$

$$E_{MG} = \frac{y_n - y_{n+1}}{y_n^* - y_{n+1}} \Rightarrow y_n^* = \frac{2}{3} \times x_n = \frac{2}{3} \times 0/35$$

$$E_{MG} = \frac{0/20 - 0/1}{\frac{2}{3} \times 0/35 - 0/1} = 0/75$$

14- گزینه (3) - E_{OG} به موقعیت بستگی دارد و E_{MG} از روی غلظت متوسط بدست می آید در صورتیکه غلظت در

صورتی که غلظت متوسط با غلظت محلی برابر باشد $E_{mG} = E_{oG}$ است .

15- گزینه 4

16- گزینه 2 ، وقتی نیاز به جذب کم همراه با واکنش گرمایی در کمترین افت فشار باشد بهتر است از برج جدا مرطوب

استفاده شود.

17- گزینه 4

18- گزینه 2

$$d_p = \frac{6(1-\varepsilon)}{a_p} = \frac{6(1-0/3)}{30} = 0/14m = 14cm$$

19- گزینه 4

مجموعه تست

۱- یک لایه از مایع فراری بر روی زمین قرار دارد. اگر میزان تبخیر $N_A \frac{\text{moles}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$ با دانسیته ρ و جرم

مولکولی M باشد، کدام رابطه، تغییرات ضخامت مایع (Z) را با زمان نشان می دهد؟

$$\frac{dz}{dt} = \frac{N_A \cdot M}{\rho} \quad (2) \quad \frac{dz}{dt} = N_A \cdot M \cdot \rho \quad (1)$$

$$\frac{dz}{dt} = \frac{N_A \rho}{M} \quad (4) \quad \frac{dz}{dt} = \frac{N_A \cdot M \cdot \rho}{2} \quad (3)$$

۲- مخلوطی از گاز هلیوم (A) و نیتروژن (B) در یک لوله به طول $M/2$ در دمای 289K و فشار یک اتمسفر قرار دارد. فشار جزئی هلیوم در دو طرف لوله به ترتیب $0/6\text{ATM}$ و $0/2\text{ATM}$ می باشد.

محاسبه شارم مولی هلیوم کدام است؟

$$1\text{atm} = 1/01325 \times 10^5 \text{pa}, D_{AB} = 0/687 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}, R = 8314 \frac{\text{m}^3 \cdot \text{Pa}}{\text{kgmol} \cdot \text{K}}$$

$$J_A = 5/63 \times 10^{-5} \frac{\text{kgmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \quad (2) \quad J_A = 4/52 \times 10^{-5} \frac{\text{kgmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \quad (1)$$

$$J_A = 5/63 \times 10^{-6} \frac{\text{kgmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \quad (4) \quad J_A = 4/52 \times 10^{-6} \frac{\text{kgmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \quad (3)$$

۳- محدوده عدد بدون بعد اشمیت (SC) در گازها و مایعات بترتیب کدامست؟

$$(1) \text{ از } 0/5 \text{ تا } 2 \text{ و از } 100 \text{ تا } 10000 \quad (2) \text{ از } 0 \text{ تا } 2 \text{ و از } 10 \text{ تا } 100$$

$$(3) \text{ از } 0 \text{ تا } 5 \text{ و از } 100 \text{ تا } 500 \quad (4) \text{ از } 0/5 \text{ تا } 5 \text{ و از } 10 \text{ تا } 500$$

۴- مفهوم فیزیکی عدد بدون بعد اشمیت (SC) نسبت ضریب نفوذ ... است.

$$(1) \text{ حرارتی به ضریب نفوذ مولکولی} \quad (2) \text{ مولکولی به ضریب نفوذ مومنوم}$$

$$(3) \text{ مومنوم به ضریب نفوذ ملکولی} \quad (4) \text{ مولکولی به ضریب نفوذ حرارتی}$$

پاسخنامه

1- گزینه 2

روش اول : دو طرف معادله را از لحاظ ابعادی با هم مقایسه می کنیم

$$[N_A.M.P] = \frac{\text{mol}}{\text{m}^2.s} \cdot \frac{\text{kg}}{\text{mol}} \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = \frac{\text{kg}^2}{\text{m}^2.s}$$

برای گزینه 1 داریم

$$\left[\frac{N_A.M}{\rho} \right] = \left(\frac{\text{mol}}{\text{m}^2.s} \cdot \frac{\text{kg}}{\text{mol}} \right) \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

برای گزینه 2 داریم

$$\left[\frac{N_A.M.\rho}{2} \right] = \frac{\text{kg}^2}{\text{m}^2.s}$$

برای گزینه 3 داریم

$$\left[\frac{N_A.\rho}{M} \right] = \left(\frac{\text{mol}}{\text{m}^2.s} \cdot \frac{\text{kg}}{\text{mol}} \right) \left(\frac{\text{mol}}{\text{kg}} \right) = \frac{\text{mol}^2}{\text{m}^2.s}$$

برای گزینه 4 داریم

بنابراین تنها گزینه 2 قابل قبول است .

روش دوم :

$$\frac{dm}{dt} = N_A.M_w.S = \rho \cdot \frac{dv}{dt} = \frac{\rho d(s.z)}{dt} = \rho s \frac{dz}{dt}$$

S: سطح در حال تبخیر می باشد که ثابت می ماند

$$N_A.M_w.S \neq \rho.S \cdot \frac{dz}{dt} \Rightarrow \frac{dz}{dt} = \frac{N_A.M_w}{\rho}$$

2 - گزینه 4

$$J_A = -D_{AB} \frac{dc_A}{dz} \Rightarrow C_A = \frac{P_A}{RT}$$

$$J_{A2} = -D_{AB} \frac{d\left(\frac{P_A}{RT}\right)}{dz} \Rightarrow = \frac{-D_{AB}}{RT} \frac{dP_A}{dz}$$

با فرض اینکه غلظت بصورت خطی تغییر می کند خواهیم داشت .

$$J_A = -\frac{D_{AB}}{RT} \frac{\Delta P_A}{\Delta z} = \frac{0/687 \times 10^{-4}}{8314 \times 298} \times \left(\frac{0/2 - 0/6}{0/2} \right) \times 101325$$

$$J_A = 5/619 \times 10^{-6} \frac{\text{kgmol}}{\text{m}^2 \text{s}}$$

3- گزینه

$$SC = \frac{v}{D}$$

4- گزینه 3

مجموعه تست

۱- وقوع پدیده ماندگی در اثر سرعت زیاد جریان گاز برج سینی دار ، نتیجه اش کدام اثر است ؟

- (1) کاهش مایع روی سینی زیرین و کاهش افت فشار گاز
- (2) افزایش حجم مایع روی سینی بالایی و برهم زدن تعادل بر روی آن سینی
- (3) حل شدن بخشی از گاز در قطرات مایع حمل شده و پیوستن این مایع به مایع سینی بالایی و کاهش خلوص مایع
- (4) اختلاط مایع سینی زیرین با مایع سینی بالایی و کاهش نیروی محرکه انتقال جرم در سینی بالایی

۲- معمولاً در استفاده از برجهای آکنده یک بستر آکنده نامنظم خشک در قسمت فوقانی برج در بالاتر از

محل ورود و توزیع مایع تعبیه می گردد. هدف چیست ؟

- (1) بازیابی قطرات مایع مانده در فاز گاز
 - (2) جلوگیری از وقوع احتمالی پدیده طغیان
 - (3) جلوگیری از حرکت درآمدن بسترآکنده اصلی
 - (4) یکنواخت کردن جریان و غلظت فاز گاز خروجی از برج
- ۳- دفع یک حل شونده از یک مایع با تغییرات فشار و دما ، افزایش می یابد ، اگر :

- (1) دما و فشار کاهش یابد
 - (2) دما کاهش و فشار افزایش یابد
 - (3) دما افزایش و فشار نیز افزایش یابد
 - (4) دما افزایش و فشار کاهش یابد
- ۴- در مقطعی از ستون جذب جزء مولی A در توده گاز $F_L / F_G = 1, Y_{AG} = 0.1$ می باشد.

جز مولی A در فصل مشترک $Y_{Ai} = 0.01$

جز مولی A در توده مایع $Y_{Ai} \approx 0$

در فصل مشترک مایع (X_{Ai}) چه مقدار است ؟

- (1) 0/09 (2) 0/01 (3) 0/001 (4) حدود صفر

۵- در شکل زیر انتقال جرم از فاز مایع به گاز در یک مرحله انجام می گیرد (۱ به ۲) . درصد جداسازی در

این مرحله چقدر است ؟

$$Y = \frac{y}{1-y} \quad 20 \quad (1)$$

$$50 \quad (2)$$

$$X = \frac{x}{1-x} \quad 100 \quad (3)$$

(4) قابل محاسبه نیست .

۶- در یک برج دفع غیرهمسو ، SH_2 موجود در یک محلول آمین توسط جریان هوا از آن جدا می گردد.

هوای خالص از پایین برج وارد و با ۲۰ درصد حجمی SH_2 از آن خارج می گردد. اگر حداکثر غلظت SH_2 در

محلول آمین خروجی $X_{20/1}$ باشد ، حداکثر نسبت $\frac{L}{G}$ در این حالت چیست ؟ (منحنی تعادل برای این

سیستم $Y=X$)

$$1/67(4$$

$$0/81 \quad (3$$

$$0/75 \quad (2$$

$$0/6 \quad (1$$

پاسخنامه

1- گزینه 4

2- گزینه 1

3- گزینه 4

4- گزینه 1

$$\frac{N_A}{\sum N} \text{ در حالت جذب}$$

$$\frac{N_A / \sum N - y_{Ai}}{N_A / \sum N - y_{AC}} = \left(\frac{N_A / \sum N - y_{AL}}{N_A / \sum N - y_{Ai}} \right)^{F_L / F_G}$$

$$\frac{1 - 0/01}{1 - 0/1} = \left(\frac{1 - 0}{1 - X_{Ai}} \right)^{\frac{1}{10}} \Rightarrow X_{Ai} = \frac{0/09}{0/99} = 0/091$$

5- گزینه 2

$$\text{درصد جداسازی} = \frac{X_1 - X_2}{X_1} \times 100 = \frac{0/4 - 0/2}{0/4} \times 100 = 50\%$$

6- گزینه 1 ، در صورت مسئله مقدار X_1 داده شده چرا که این مقدار مربوط به خروجی مایع می باشد .

$$\text{نقطه اول} \quad \begin{cases} x_1 = 0/1 & X_1 = 0/1 \\ y_1 = 0 & Y_1 = 0 \end{cases} \Rightarrow$$

$$\text{نقطه دوم} \quad \begin{cases} x_2 = ? & X_2 = ? \\ y_1 = 0/2 & Y_1 = 0/25 \end{cases} \Rightarrow$$

درحالتی که بخواهیم حداکثر مقدار L/G را بدست آوریم نقطه دوم روی منحنی تعادل خواهد بود یعنی $Y_2 = X_2$ و

$$\text{بنابراین } X_2 = 0/25$$

$$L/D = \frac{0/25 - 0/111}{0/25 - 0} = 0/56$$

فصل سوم: انتقال جرم واحد

عملیات مرطوب سازی

فرآیندهایی که در اینجا بررسی می شوند درباره انتقال جرم و انرژی بین فازها است که در نتیجه تماس یک گاز با یک مایع خالص که گاز در آن نامحلول است روی می دهد.

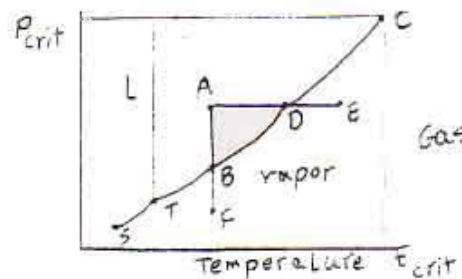
هدف از عملیات مرطوب سازی

1. مرطوب کردن گازها
 2. رطوبت زدایی و سرد کردن گازها
 3. اندازه گیری بخار موجود در گازها و سرد کردن مایعات
- ماده ای که در این موارد بین فازها انتقال می یابد، ماده تشکیل دهنده فاز مایع است که در طی تحول تبخیر و با میعان می یابد.

تعادل بخار مایع و آنتالپی یک جسم خالص

منحنی فشار بخار

اگر فشارهای بخار یک مایع را برحسب دماهای مربوطه رسم کنیم یک منحنی نظیر TBCD حاصل خواهد شد. منحنی فشار بخار هر جسم منحصر به فرد است ولی مشخصات کلی این منحنی ها مطابق شکل می باشد.



این منحنی شکل را به دو ناحیه تقسیم می کند که به ترتیب نواحی مربوط به شرایط حالت مایع و شرایط حالت بخار است و شرایط مربوط به نقاط واقع بر منحنی TBDC، مخلوطی از مایع و بخار با نسبتهای متفاوت می باشد که به مایع و بخار اشباع موسومند. بخار یا گازی که در دمای بالاتر از اشباع قرار داشته باشد، بخار داغ نامیده می شود.

همانطور که میدانید نقطه T را نقطه سه گانه می گویند و منحنی های Ts ، TL را منحنی های جامد - بخار و جامد - مایع گویند.

هرگاه سیر تحولی یک سیال ، منحنی فشار بخار را قطع کند مثل تحول فشار ثابت ADE و یا تحول همدمای ABF ، تغییر فاز صورت خواهد گرفت . این تغییر فاز با آزاد شدن (در عمل میعان) و یا جذب (در عمل تبخیر) گرمای نهان تبخیر در دمای ثابت همراه است. مانند نقاط B , D در تحولاتی که قبلاً ذکر شد ، حرارتی که به جسم داده شده یا از آن گرفته شود و سبب تغییر دما گردد به حرارت ملموس موسوم می باشد.

درون یابی بین نتایج

هنگامی که داده های موجود در مورد یک ماده کافی نباشد باید درون یابی بین نتایج انجام شود که معمولاً روشهای ارائه شده در این مورد از معادله کلوزیوس - کلاپیرون اقتباس گردیده است .

$$\ln p = -\frac{\lambda'}{RT} + C$$

$\lambda' =$ گرمای تبخیر مولی که در محدوده کوچکی از دما ثابت در نظر گرفته می شود.

R = ثابت جهانی گازها

T = دما بر حسب کلوین

P = فشار بخار ماده در دمای T

C = ثابتی که در نتیجه انتگرال گیری از معادله کلوزیوس بوجود آمده و با شرایط اولیه بدست می آید اگر نسبت به یک ماده مرجع درون یابی کنیم نتایج بهتری بدست خواهد آمد.

$$\ln p = -\frac{m\lambda}{M_r\lambda_r^*} \ln p_r + C'$$

M = جرم مولکولی ماده مورد نظر (مثلاً الکل ، بنزن و ...)

$M_r =$ جرم مولکولی ماده مرجع (مثلاً آب)

P = فشار بخار ماده مورد نظر

$p_r =$ فشار بخار ماده مرجع

$\lambda =$ گرمای نهان تبخیر ماده مورد نظر

$$\lambda_r = \text{گرمای نهان تبخیر ماده مرجع}$$

$$C' = \text{ثابت}$$

آنتالپی

در یک تحول ناپیوسته (Batch) وقتی کار در نتیجه انبساط در مقابل فشار ثابتی حاصل می شود، حرارت جذب شده توسط سیستم معادل با افزایش آنتالپی سیستم است .

$$Q = \Delta H = \Delta(U + Pv)$$

در یک فرآیند مداوم و پایا ، کل انرژی انتقال یافته به سیستم برابر با مجموع تغییرات آنتالپی و انرژیهای پتانسیل و جنبشی آن سیستم می باشد . در بسیاری از موارد ، تغییر در انرژیهای جنبشی و پتانسیل در مقایسه با تغییرات آنتالپی ناچیز بوده و کارمکانیکی نیز وجود ندارد. در عملیات آدیاباتیک که تبادل گرما بین سیستم و محیط آن انجام نمی شود ، موازنه گرما به تساوی آنتالپی های سیستم در شروع و پایان تحول منجر خواهد گردید .

آنتالپی ماده به حالت بخار و در فشارهای پایین عملاً تابعی از دماست . به استثنای دمای نزدیک به بحرانی ، آنتالپی مایع نیز (بجز در فشار های بسیار بالا) مستقل از فشار می باشد.

مخلوطهای گاز و بخار

رطوبت مطلق (Absolute Humidity)

نسبت جرم بخار به جرم گاز را رطوبت مطلق می نامند و با Y' نمایش می دهند. اگر کمیاب برحسب مول باشند ، نسبت مذکور را رطوبت مطلق مولی می گویند و با Y نشان میدهند.
تحت شرایط قانون گاز کامل داریم :

$$Y = \frac{y_A}{y_B} = \frac{\bar{P}_A}{\bar{P}_B} = \frac{\bar{P}_A}{P_t - \bar{P}_A} \frac{\text{moles A}}{\text{moles B}}$$

$$Y' = Y \frac{M_A}{M_B} = \frac{\bar{P}_A}{P_t - \bar{P}_A} \frac{M_A}{M_B} \frac{\text{mass A}}{\text{mass B}}$$

$$Y = \text{رطوبت مطلق مولی}$$

$$Y' = \text{رطوبت مطلق یا رطوبت گراونر}$$

$$\bar{P}_A, \bar{P}_B, P_t = \text{فشار کل، فشار جزئی B، فشار جزئی A}$$

$$M_A, M_B = \text{جرم مولکولی B، جرم مولکولی A}$$

مخلوط های گاز و بخار اشباع

تا زمانی که بتوان گاز را غیرمحلول درمایع بحساب آورد، فشار جزئی بخار در مخلوط اشباع مستقل از جنس گاز و فشار کل مخلوط خواهد بود (مگر در فشارهای بالا) و تنها به دما و نوع مایع بستگی خواهد داشت. ولی رطوبت مطلق مولی

$$Y'_S = Y_S M_A / M_B \quad Y_S = P_A^* / (P_t - P_A^*)$$

علاوه بر متغیرهای فوق به جنس گاز هم وابسته است. هر دو کمیت رطوبت اشباع، در نقطه جوش مایع در تحت فشار کل مخلوط برابر با بینهایت خواهد شد چرا که با توجه به فرمول در هنگام تبخیر در نقطه جوش $y_B = 0$ خواهد بود

$$y = y_A / y_B \quad \text{و بنابراین}$$

$$Y = \frac{P_A^S}{P_t - P_A^S} = \infty \quad \text{و در نتیجه} \quad P^* = P_A^* = P_A^S \quad \text{بنابراین جوشیدن است}$$

$$Y' = Y \cdot \frac{M_A}{M_B} = \infty \quad \text{خواهد بود.}$$

مخلوط های اشباع نشده گاز و بخار

اگر به هر دلیلی فشار جزئی بخار در یک مخلوط گاز و بخار کمتر از فشار بخار تعالی مایع در دمای مخلوط باشد، مخلوط اشباع نشده است.

دمای حباب خشک: عبارت از دمای مخلوط بخار و گاز است که معمولاً با قرار دادن دماسنج در مخلوط تعیین می شود.

اشباع نسبی: اشباع نسبی که به رطوبت نسبی نیز موسوم است، بصورت درصد رطوبت و مطلق رابطه

$$Y_r = \bar{P}_A / P_A^* \quad \text{بیان می شود که} \quad P_A^* \quad \text{فشار بخار در دمای حباب خشک مخلوط است این رابطه به ما نشان می}$$

دهد که در یک دمای مشخص مخلوط چند درصد به فشار بخار در همان دما رسیده توجه داشته باشید که اگر ما به فشار بخار برسیم در این صورت اولین قطره شبنم تشکیل خواهد شد.

درصد اشباع : درصد اشباع یا درصد رطوبت مطلق را بصورت $Y_p = 100 \frac{Y'}{Y'_S} = 100 \frac{Y}{Y_S}$ تعریف می کنند

که مقادیر مربوط به حالت اشباع (Y'_S, Y_S) ، در دمای حباب خشک مخلوط محاسبه می شود. توجه داشته باشید

که در این صورت Y'_S, Y_S برای زمانی است که در دمای خشک مخلوط جزء A دارای شار بخار P_A^* می باشد که

در واقع گاز از بخار A اشباع شده و در این دما دیگر جزء A وارد فاز گاز نمی شود.

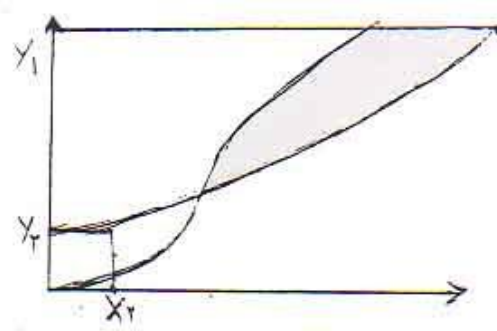
$$Y_p = 100 \frac{P_t - P_A^*}{P_t - \bar{P}_A} \times Y_r$$

اگر $y_A=0$

$$Y_r > Y_p \text{ همواره داریم}$$

$$P_A^* = \bar{P}_A \quad Y_p^* = Y_r = 100 \text{ در حالتی که گاز از بخار اشباع شده باشد}$$

خطی به طول دمای نقطه جوش مایع در تحت فشار ثابت مخلوط بر کلیه منحنی های درصد اشباع مجانب می شود.



به دلیل این منحنی ها مجانب می شود که در دمای t_{bp} مقدار فشار بخار برابر $\bar{P}_A = P_A^S = P_t$ که در این صورت

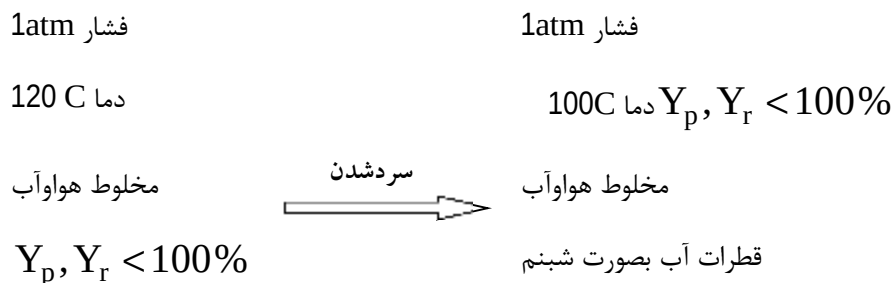
$$Y_B = 0 \text{ و یا } Y = \frac{y_A}{y_B} \frac{\bar{P}_A}{P_t - P_A} = \infty \text{ و از آنجا خواهیم داشت } Y_p = 100 \frac{Y}{Y_S} = \infty \text{ و دقت شود}$$

که Y_S رطوبت اشباع در دمای حباب خشک می باشد .

نقطه شبنم : دمایی که در آن مخلوطی از گاز و بخار در صورت سرد شدن در فشار کل ثابت و بدون تماس با مایع به

حالت اشباع می رسد ، نقطه شبنم نامیده می شود.

مثال :



از این تحول بعنوان روشی در تعیین رطوبت استفاده می شود. به این ترتیب که یک صفحه فلزی براق را که در تماس با مخلوط گاز و بخار است سرد می کنند. ظهور مه که صفحه آئینه گون فلز را بخار آلود می سازد نشانه رسیدن به دمای نقطه شبنم است .

حجم مرطوب : حجم مرطوب ، V_H یک مخلوط گاز و بخار عبارت از حجم واحد جرم گاز خشک و بخار همراه آن در دما و فشار کل مخلوط است .

$$v_H = \left(\frac{1}{M_B} + \frac{Y'}{M_A} \right) 22.41 \frac{t_G + 273}{273} \frac{1013 \times 10^5}{P_t} =$$

$$8315 = \left(\frac{1}{M_B} + \frac{Y'}{M_A} \right) \frac{t_G + 273}{P_t} \left(\frac{m^3}{kg \text{ dry air}}, \text{mix} \right)$$

$$v_H = \text{برحسب } \frac{m^3}{kg}$$

$$t_G = \text{دمای گاز برحسب سلسیوس}$$

$$P_t = \text{نیوتن برمتر مربع یا پاسکال}$$

$$M_A, M_B = \text{کیلوگرم بر کیلو مول}$$

از حاصلضرب جرم گاز خشک در حجم مرطوب ، حجم مخلوط تعیین می شود.

گرمای مرطوب : گرمای مرطوب ، C_S عبارت از مقدارحرارتی است که جهت بالا بردن دمای واحد جرم گاز و بخار همراه آن بمیزان یک درجه در فشار ثابت مورد نیاز می باشد .

$$C_s = C_B + Y' C_A \left(\frac{\text{Btu}}{\text{kg dry air}} \right)$$

$$\frac{\text{Btu}}{\text{kg dry air}} = C_B$$

$$\frac{\text{Btu}}{\text{kg dry air}} = Y' C_A$$

آنتالپی: آنتالپی (نسبی) یک مخلوط گاز و بخار برابر مجموع آنتالپی های (نسبی) گاز و بخار موجود در آن مخلوط است. آنتالپی کل مخلوط به ازای واحد جرم گاز خشک برابر است با:

$$H' = C_B(t_G - t_0) + Y'[C_A(t_G - t_{DP}) + C_{A,l}(t_{DP} - t_0)]$$

T_0 = دمای مبنا (هر دمایی را می توان به عنوان دمای مبنا در نظر گرفت)

درفشارهای پایین که معمولاً در عملیات رطوبت سازی با آن برخورد می شود داریم:

$$H' = C_s(t - t_0) + Y\lambda_0$$

C_s = ظرفین گرمایی مخلوط

λ_0 = گرمای نهان تبخیر در دمای مرجع

برای سیستم آب و هوا شرایط مرجع برای محاسبه آنتالپی ها عبارت از هوا بصورت گاز و آب بشکل مایع در دمای صفر درجه سلسیوس (32 درجه فارنهایت) است.

منحنی های اشباع آدیاباتیک

معادله اشباع آدیاباتیک بصورت زیر می باشد:

$$t_{G1} - t_{as} = (Y'_{as} - Y'_1) \frac{\lambda_{as}}{C_{S1}}$$

t_{G1} = دمای اولیه گاز یا دمای حباب خشک می باشد

t_{as} = دمای گاز در حالت اشباع می باشد.

λ'_{as} = رطوبت مطلق اشباع

$$Y'_1 = \text{رطوبت مطلق اولیه}$$

$$C_{S1} = \text{حرارت مرطوب اولیه}$$

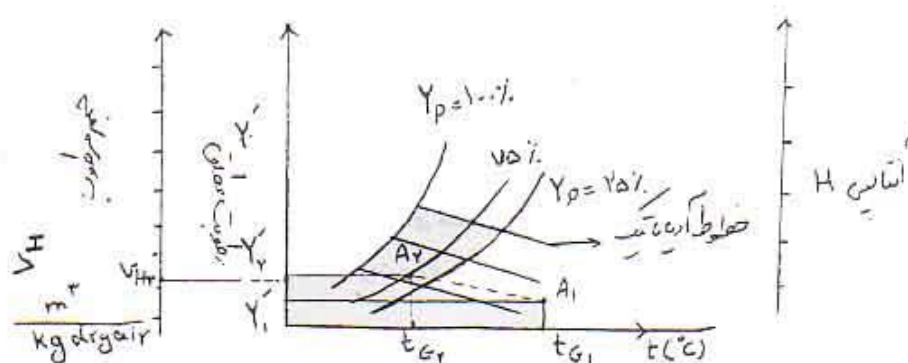
$$\lambda_{as} = \text{گرمای نهان تبخیر در دمای } t_{as}$$

$$C_{S1} = 1005 + 188Y'_1 \text{ به } Y'_1 \text{ وابسته است}$$

بنابراین معادله بالا بصورت منحنی خواهد بود که از نقاط (t_{G1}, Y'_1) و (t_{as}, Y'_{as}) می گذرد.

برای هر مخلوط گاز و مایع، یک دمای اشباع آدیباتیک برابر با t_{as} وجود دارد که اگر گاز با مایع در آن دما مجاور شود مرطوب و سرد خواهد شد. اگر زمان تماس به حد لازم طولانی باشد گاز اشباع شده و به مختصات (t_{as}, Y'_{as}) خواهد رسید در غیر این صورت گاز به شکل اشباع نشده و با مشخصات (t_{G2}, Y'_2) که نقطه ای بر روی منحنی اشباع آدیباتیک مخلوط اولیه است خارج خواهد شد.

در این قسمت مسائل ممکن است به این صورت مطرح شوند که هوایی با رطوبت مشخص با آب در دمای اشباع آدیباتیک مجاور شده و هوایی با رطوبت دیگر حاصل می شود که در این صورت یا باید دمای حالت دوم و یا رطوبت آن را تعیین کنیم برای این کار با توجه به شکل زیرچنین عمل می کنیم.



معمولاً t_{G1} و Y'_1 یا Y_{p1} را می دهند که در این صورت نقطه اولیه را پیدا می کنیم $A_1(t_{G1}, Y'_1)$ در نقطه دوم ممکن است t_{G2} یا Y'_2 یا Y_{p2} داده شده باشد اگر $Y_{p2} = 75\%$ آنگاه روی خط اشباع آدیباتیک تا $Y_{p2} = 75\%$ می رسمیم آنگاه تقاطع خط اشباع آدیباتیک که از نقطه t_{G1} می گذرد با منحنی Y_{p2} نقطه ای مانند A_2 را به ما می دهد که از آنجا می توان مقادیر موردنظر را بدست آورد مثلاً t_{G2} و Y'_2 و v_{H2} و ...

دمای حباب مرطوب : دمای حباب مرطوب عبارت از دمای پایائی است که در نتیجه تبخیر مقدار اندکی مایع در حجم زیادی از یک مخلوط بخار و گاز اشباع نشده حاصل می شود.

در تحت شرایط مناسب ، از این کمیت جهت اندازه گیری رطوبت مخلوط استفاده می گردد برای این منظور دماسنجی را که حباب آن توسط یک کیسه دنباله دار پارچه ای پوشانده شده و بوسیله مایع مرطوب گردیده است در جریان سریعی از مخلوط گازی که می خواهند رطوبت آن را اندازه بگیرند قرار می دهند ، اگر مخلوط گاز اشباع نشده باشد ، دمائی که توسط دماسنج فوق تعیین می شود پایین تر از دمای حباب خشک مخلوط خواهد بود. با مشخص شدن این دما ، رطوبت مخلوط محاسبه می شود.

مکانیسم تحول حباب مرطوب ، در اساس با مکانیسم فرآیند اشباع آدیاباتیک یکسان است بجز آنکه در تحول حباب مرطوب ، رطوبت مخلوط گاز در حین تحول تغییر نمی کند.

در این حالت معادله بصورت زیر می باشد :

$$T_G - t_w = \frac{\lambda_w (Y'_w - Y')}{h_G k_g}$$

T_G = دمای هوا با دمای حباب خشک

t_w = دمای حباب مرطوب

λ_w = حرارت تبخیر واحد جرم مایع در دمای حباب مرطوب است $\frac{\text{Btu}}{\text{Lb liquid}}$

Y' = رطوبت مطلق هوای اطراف

Y'_w = رطوبت مطلق در دمای t_w با رطوبت مطلق در دمای حباب مرطوب

h_G = ضریب حرارت جابجایی هوا $\frac{\text{Btu}}{\text{ft}^2 \cdot \text{R}}$

$k_y = Y_y = M_B \bar{P}_B m k_G$ ضریب انتقال جرم $\frac{\text{lb}}{\text{ft}^2 \cdot \text{S}}$

کمیت $T_G - t_w$ به افت حباب مرطوب (Wet – bulb depression) موسوم است ، $\frac{K_G}{K_y}$ به نسبت رطوبت

سنجی (psychrometric ratio) معروف است .

برای جریان گاز از روی استوانه هایی نظیر میزان الحرارة حباب مرطوب و یا اجسام کروی شکل منفرد برای گاز و بخار داریم :

$$\frac{h_G}{K_y.C_s} = \left(\frac{Sc}{Pr}\right)^{0/567} = Le^{0/567}$$

معادله بالا در جریانهای متلاطم مستقل از عدد Re صادق می باشد.

برای سیستم هوا و بخار با فرض $pr = 0/707$ و در مخلوط های رقیق در آحاد SI خواهیم داشت :

$$\frac{h_G}{K_y} = 1223 \text{ Se}^{0/567}$$

در اکثر موارد برای مخلوط هوا و بخار داریم :

$$\frac{h_G}{K_y} = 590 \frac{N.m}{kg.K}$$

برای سیستم هوا و بخار آب در صورتی که بجای C_{S1} در معادله اشباع آدیاباتیک نسبت $\frac{h_G}{K_y}$ جانشین شود این دو

معادله یعنی معادله حباب مرطوب و اشباع آدیاباتیک کاملاً مشابه می شوند که این دو کمیت یعنی C_{S1} و $\frac{h_G}{K_y}$

درمخلوط های هوا و بخار آب و در رطوبت نه چندان بالا تقریباً با یکدیگر برابر می باشند بطوری که در بسیاری از موارد عملی منحنی های اشباع آدیاباتیک موجود را می توان بجای معادله حباب مرطوب مورد استفاده قرار داد.

همانطور که گفته شد در سیستم های هوا و بخار آب نسبت $\frac{h_G}{K_y}$ تقریباً با C_S برابر است و یا $C_S = 1$ این $\frac{h_G}{K_y}$

معادله به رابطه لوئیس معروف است در صورتی رابطه لوئیس برقرار خواهد بود که ضرائب نفوذ حرارتی و مولکولی یکسان

باشند و یا $prC_s = Le = 1$.

عملیات تماس بین گاز و مایع

۱- عملیات آدیاباتیک

الف) سرد کردن یک مایع - عمل سرد کردن در اثر انتقال گرمای ملموس و نیز تبخیر صورت می گیرد. فرآیند مهم در این مورد سرد کردن آب در اثر تماس با هوای اتمسفر است (سرد کردن آب) .

ب) سرد کردن یک گاز داغ - تماس مستقیم سبب جلوگیری از ایجاد جرم در مبدل‌های حرارتی می شود ولی شرط استفاده از این روش قابل قبول بودن وجود مقداری از بخار مایع در دستگاه می باشد.

ج) مرطوب کردن یک گاز - از این عمل مثلاً جهت کنترل رطوبت موجود در هوای مصرفی در خشک کن ها استفاده می شود.

د) رطوبت زدایی از یک گاز - تماس مستقیم یک مخلوط گاز و بخار داغ با یک مایع سرد سبب میعان بخار در مخلوط می شود. از این تحول در تهویه هوا ، بازیابی بخار حلال از گازهای مصرفی در خشک کن ها و نظائر آنها استفاده بعمل می آید .

۲- عملیات غیر آدیاباتیک

الف) سرد کردن تبخیری - مایع یا گاز جاری در یک لوله را بوسیله آب که بصورت یک لایه نازک (فیلم) در سطح خارجی لوله جریان می یابد و در اثر تماس مستقیم با هوا سرد می شود ، خنک می کنند.

ب) رطوبت زدایی از یک گاز - مخلوط گاز و بخار را در تماس مستقیم با لوله های سرد شده قرار می دهند که در نتیجه بخار روی لوله ها میعان می یابد.

عملیات آدیاباتیک

این عملیات معمولاً در انواع خاصی از برجهای پر شده که در آنها جریان های گاز و مایع اغلب متقابل هستند صورت می گیرد.

سرد کردن آب با هوا

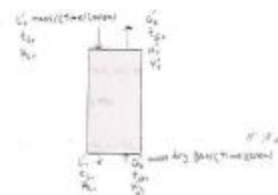
با توجه به اینکه شدت انتقال جرم معمولاً کم است ، دما نسبتاً پایین بوده و رابطه لوئیس در مورد سیستم های آب و هوا به نحو رضایت بخشی صادق می باشد.

طبق موازنه آنتالپی با فرض ثابت بودن L' (یعنی انتقال جرم خیلی کم باشد)

خط عمل :

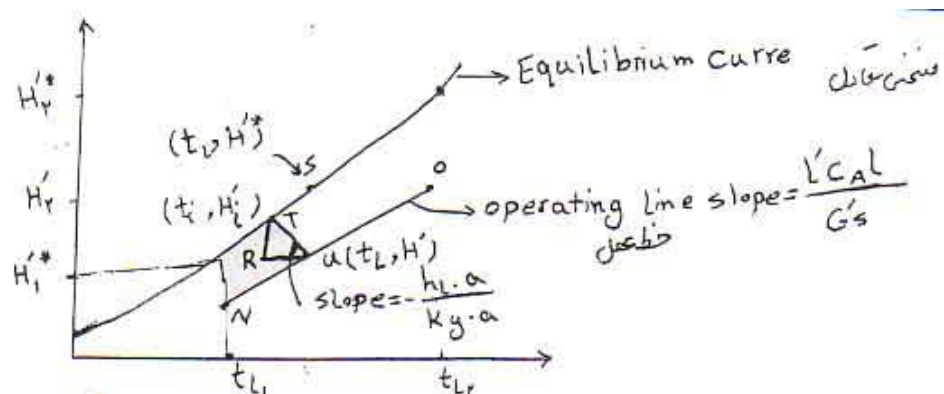
$$L'C_{A,1}(t_{L_2} - t_{L_1}) = G'_S(H'_4 - H'_1)$$

$$(H'_2 - H'_1) = \frac{L'C_{AL}}{G'_S}$$



را شیب عمل گویند. $\frac{L'C_{AL}}{G'_S}$

موازنه آنتالپی فوق را بصورت یک منحنی ، با رسم آنتالپی گاز H' بر حسب t_1 مطابق شکل زیر می توان ارائه داد.



منحنی ON در شکل بالا مبین معادله خط عمل است و از نقاط مشخص کننده شرایط ابتدایی و نهایی دو سیال می گذرد . در محلی از دستگاه که شرایط آن با مختصات نقطه u واقع بر خط عامل منطبق باشد ، نقطه T مبین شرایط سطح مشترک و فاصله TR مبین نیروی محرکه آنتالپی $H'_i - H'_1$ در فاز گاز خواهد بود. با رسم مثلثهای متعددی نظیر Rtu که یکی از رئوس آنها بر خط عامل قرار گیرد ، H'_i و H' بدست خواهد آمد.

با فرض ثابت بودن $ky.a$ خواهیم داشت :

$$\frac{H'_2 - H'_1}{(H'_i - H')} = N_t G = \frac{K_y.a}{G'_S}$$

دقت شود که $(H'_i - H')_{av}$ که در واقع متوسط RT هایی است که از نقطه O تا نقطه N حاصل می شود

$N_t G$ به تعداد واحد انتقال گاز آنتالپی موسوم است ، بنابراین ارتفاع برج برابر خواهد با :

$$z = H_{tG} \cdot N_{tG}$$

که $H_{tG} = G'_s / K_{y.a}$ ارتفاع واحد انتقال گاز - آنتالپی می باشد.

همانطور که در فصل 2 اشاره شد می توان از یک نیروی محرکه کلی که نمایشگر تغییر آنتالپی در فاز گاز بوده و بر حسب H' بیان می شود (نظیر فاصله قائم su در شکل قبل) استفاده کرد این امر مستلزم آن است که از یک ضریب کلی انتقال که منجر به محاسبه تعداد و یا ارتفاع کلی واحد های انتقال بشود سود جست .

$$N_{ToG} = \int_{H'_1}^{H'_2} \frac{dH'}{H'^* - H'} = \frac{K_y \cdot a \cdot Z}{G'_s} = \frac{Z}{H_{toG}}$$

دمای حباب مرطوب هوای ورودی بایستی کمتر از t_{L1} باشد ولی این شرط در مورد دمای حباب خشک الزامی نیست . به این دلیل ، امکان دارد که آب را تا دمای t_{L1} که پایین تر از دمای حباب خشک هوا یعنی t_{G1} می باشد سرد کرد. تفاضل بین دمای مایع خروجی و دمای حباب مرطوب هوای ورودی را $t_{L1} - t_{\omega 1}$ نزدیکی به دمای حباب مرطوب می نامند که معیاری از نیروی محرکه موجود جهت نفوذ در انتهای تحتانی دستگاه است . در طراحی برجهای خنک کن ، کمیت اخیر را معمولاً بین 2/5 تا 50 درجه سلسیوس و تغییرات $t_{\omega 1}$ را 5 درصد حباب مرطوب در نظر می گیرند (یعنی دمای حباب مرطوبی که فقط 5 % از مقدار متوسط آن در ماههای تابستان می تواند تجاوز کند)

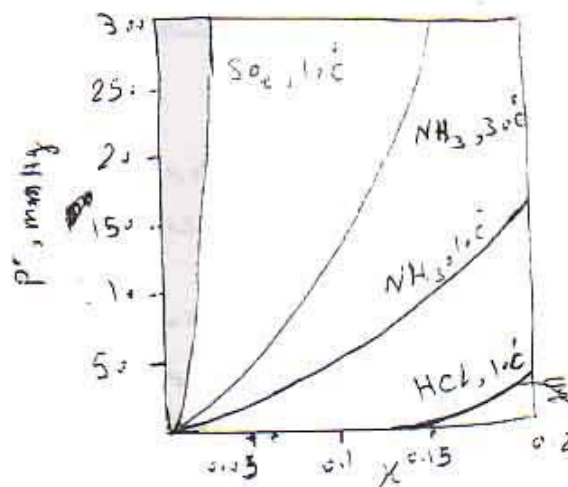
جذب گاز

جذب گاز فرآیندی است که در آن یک مخلوط گاز را در تماس با مایعی قرار می دهند تا یک یا تعداد بیشتری سازنده های مخلوط گاز در مایع حل شده و محلولی از آن سازنده ها در مایع حاصل شود. اگر انتقال جرم در جهت معکوس . یعنی به گاز صورت گیرد ، فرآیند را دفع یا عاری سازی می نامند معمولاً از عملیات جذب و دفع فقط جهت بازیابی و جداسازی حل شونده استفاده می کنند. اما تفکیک حل شونده از یکدیگر توسط فرآیند تقطیر صورت می گیرد.

حلالیت تعادلی گاز در مایعات

اگر یک گاز خالص و یک مایع غیر فرار را به روشی که قبلاً گفته شد (فصل 2) به حالت تعادل به یکدیگر در آورند ، غلظت گاز حل شده در مایع را حلالیت گاز در فشار و دمای موجود می نامیند . در دمای ثابت حلالیت گاز با ازدیاد فشار افزایش می یابد.

اگر فشار تعادلی یک گاز در یک غلظت معین در مایع زیاد باشد ، گاز در مایع تقریباً نامحلول است در حالیکه اگر فشار تعادلی کم باشد ، حلالیت گاز در مایع زیاد است.



حلالیت در یک غلظت بخصوص به صورت زیر است : $HCL > NH_3 > SO_2$
چرا که با توجه به شکل مثلاً فشار تعادلی در غلظت 0/05 بدین ترتیب خواهد بود:

$$P_{HCL}^* < P_{NH_3}^* < P_{SO_2}^*$$

اغلب ، ولی نه در تمام موارد ، انحلال گاز منجر به آزاد شدن حرارت می شود و در نتیجه در بیشتر موارد ، حلالیت گاز با افزایش دما کاهش می یابد، که شکل بالا این مطلب را نشان می دهد.

اگر یک مخلوط گاز در تماس با یک مایع قرار گیرد ، در تحت شرایط خاصی ، حلالیت تعادلی هر سازنده مستقل از حلالیت سازنده های دیگر خواهد شد بشرط آنکه تعادل برحسب فشارهای جزئی سازندگان مخلوط بیان شود. اگر کلیه سازندگان مخلوط به استثنای یک سازنده دارای حلالیت ناچیز در مایع باشد ، (مثل آمونیاک در هوا حلالیت بسیار کمی در آب دارد) غلظت آنها در مایع به اندازه ای کم خواهد بود که نمی توانند اثری برحلالیت مولفه بیشتر محلول بیشتر داشته باشد. همچنین اگر سازندگان مخلوط دارای حلالیت قابل ملاحظه ای باشند و اثری بر مایع نداشته باشند یعنی محلول حاصل کامل باشد دراین صورت هر کدام از اجزاء بطور مستقل حل شده و مطلب فوق باز هم صدق می کند.

محلولهای مایع کامل

محلولهای کامل دارای چهار مشخصه هستند که به یکدیگر وابسته اند :

1. میانگین نیروهای جاذبه ودافعه بین مولکولی در این محلولها در اثر آمیختن و یا جدا شدن سازنده ها تغییر نمی کند.
 2. حجم محلول با ترکیب نسبی سازنده ها دارای یک رابطه خطی است .
 3. در اثر آمیختن سازنده ها با یکدیگر گرمایی تولید و یا جذب نمی شود .
 4. فشار بخار کل محلول با ترکیب نسبی سازنده ها که برحسب اجزاء مولی بیان می شوند دارای یک رابطه خطی است .
- قانون رانولت برای محلول های کامل

$$\bar{P}_A^* = P_A^S x_A$$

$\bar{P}^*$: فشار جزئی در گاز

P_A^S : فشار بخار جزء A

x_A : درصد جزء A

از قانون بالا نتیجه می شود که حلالیت که یک گاز مشخص در تمام محلولهای کامل یکسان است در تحت فشارهایی که قانون گاز کامل صادق نباشد . از قانون رانولوت به شرط جایگزینی فوگاسیته با فشار بالا می توان استفاده کرد.

محلول های مایع غیر کامل

قانون هنری برای محلول های مایع غیر کامل بصورت زیر می باشد .

$$y^* = mx$$

که در فواصل محدودی از غلظت فاز مایع صادق می باشد .

انتخاب حلال برای عمل جذب

البته آب ارزان ترین و فراوان ترین حلال محسوب می شود ولی در انتخاب حلال خواص مهم زیر را باید در نظر گرفت .

1. حلالیت گاز - حلالیت گاز در حلال باید بالا باشد تا شدت جریان جذب گاز زیاد و مقدار حلال مورد نیاز کم باشد
2. فراریت - فشار بخار حلال باید کم باشد زیرا گاز خروجی از یک فرآیند جذب معمولاً از بخار حلال اشباع است و لذا اتلاف حلالیت صورت بالا بودن فشار بخار زیاد خواهد بود.

3. خوردگی

4. بهاء

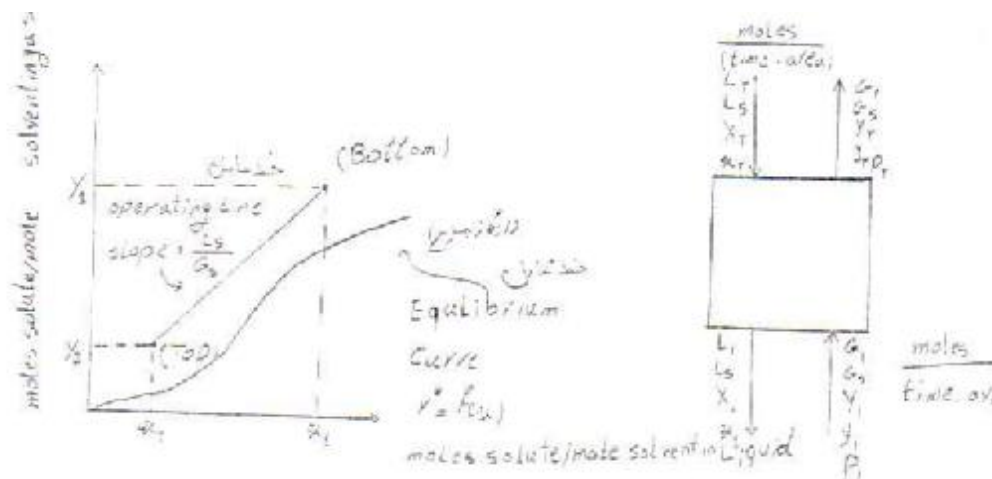
5. ویسکوزیته

6. خواص متفرقه - حلال نباید سمی و آتشگیر باشد، باید از نظر شیمیایی پایدار بوده و نقطه انجماد آن نیز پایین باشد.

انتقال یک سازنده ، موازنه های مواد

موازنه مواد را در فصل 2 ارائه دادیم که بصورت زیر می باشد :

$$G_S(Y_1 - Y) = L_S(X_1 - X)$$



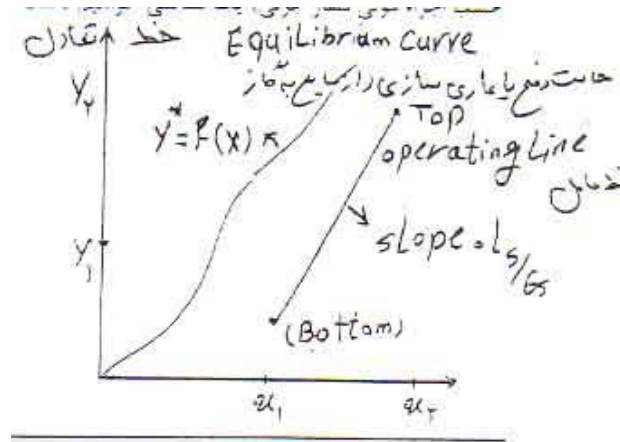
حالت دفع یا عاری سازی (از مایع به گاز)

رابطه فوق معادله یک خط مستقیم با شیب L_S / G_S بر روی محورهای مختلف Y, X است (خط عامل) که از نقطه

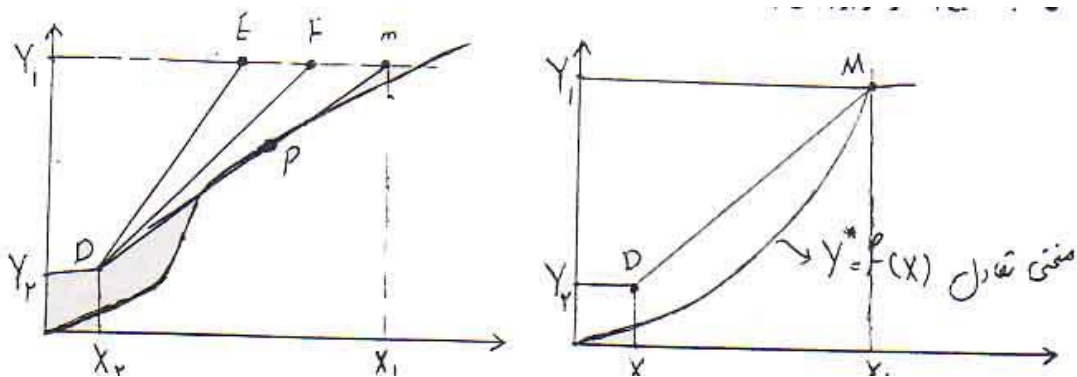
ای به مختصات (X_1, Y_1) می گذرد و به نقطه (X_2, Y_2) ختم می شود.

اگر خط عامل بر حسب نسبتهای مولی رسم شود همانطور که در شکل بالا دیده می شود که خطر راست حاصل می شود در غیر این صورت (بر حسب اجزاء مولی فشار جزئی) یک منحنی خواهیم داشت که فرمولهای آن بصورت زیر خواهد بود.

$$G_s \left(\frac{y_1}{1-y_1} - \frac{y}{1-y} \right) = G_s \left(\frac{\bar{P}_1}{P_t - \bar{P}_1} - \frac{\bar{P}}{P_t - \bar{P}} \right) = L_s \left(\frac{x_1}{1-x_1} - \frac{x}{1-x} \right)$$



حداقل نسبت مایع به گاز در برجهای جذب



$$Y^* = f(x) \text{ منحنی تعادل}$$

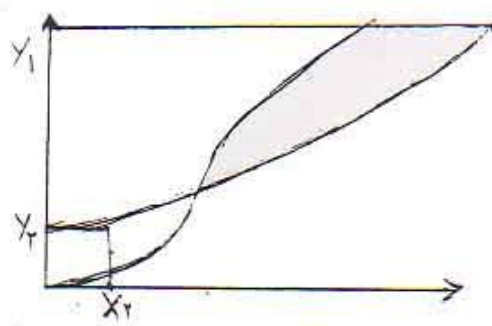
در طراحی برج های جذب معمولاً $X_2.Y_2.Y_1.G_S$ یعنی شدت جریان گاز خالص و جزء های جرمی گاز ورودی و گاز خروجی مشخص می باشد و باید مقدار مایع مورد مصرف را بدست آورد.

در حالتی که بخواهیم کمترین مقدار مایع را بدست آوریم با توجه به اینکه شیب خط عامل L/G_S می باشد باید مقدار L/G_S کم شود تا L_S کم گردد چرا که G_S مقداری ثابت است که قبلاً به ما پیشنهاد شده است همان طور که می دانید خط عامل بالای منحنی تعادل واقع شده است (در حال جذب) و از آنجا که یک خط راست موقعی کمترین شیب مثبت را خواهد داشت که خط افقی باشد یعنی $L/G_S = 0$ اما در اینجالت باید $Y_2 = Y_1$ گردد چرا

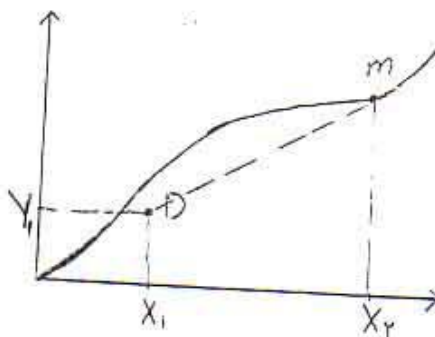
که :

$$I_s / G_s = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}$$

و این مورد امکان پذیر نیست چرا که قبلاً مقادیر $Y_2 \neq Y_1$ به ما داده شده است پس باید خطی از نقطه Y_1 به صورت افقی بکشیم و نقطه ای را روی خط بیابیم که I_s / G_s کمترین مقدار خود باشد از طرفی می دانیم که خط عامل نمی تواند خط تعادل را قطع کرده و به طرف دیگر خط تعادل امتداد یابد یعنی حالت زیر هرگز وجود ندارد:

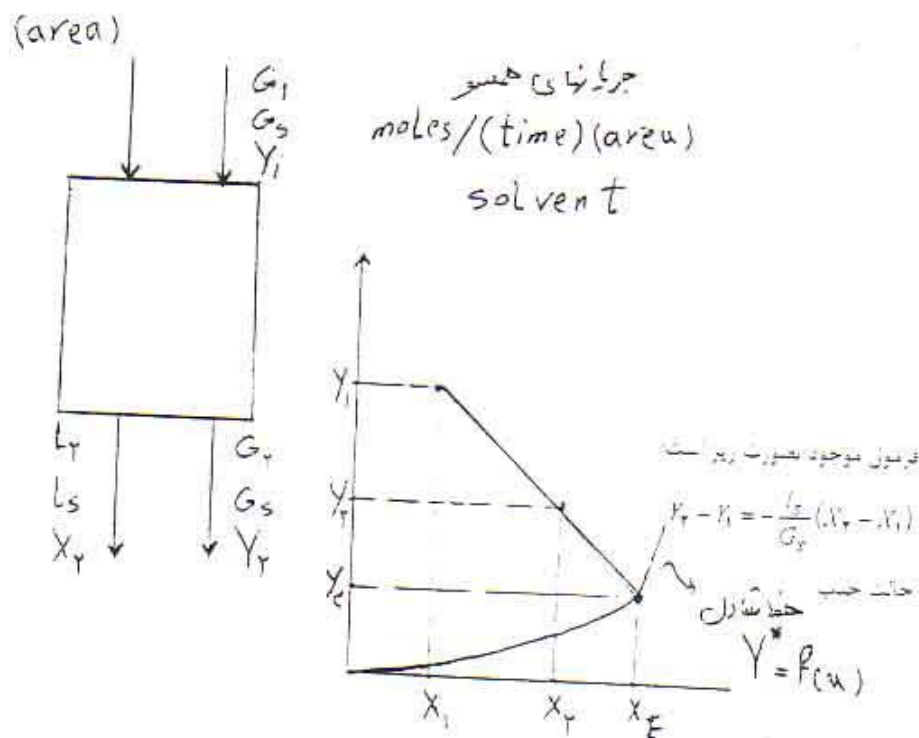


پس ما باید نقطه ای را بیابیم که اولین تقاطع را بین خط عامل و منحنی تعادل را منجر می شود در شکلهای قبل این نقطه m خواهد بود و خط عاملی که منجر به کمترین مقدار I_s / G_s می شود خط D_m می باشد حال که این خط پیدا شد با محاسبه شیب آن و مساوی قرار دادن این شیب با مقدار I_s / G_s ، مقدار I_s را بدست می آوریم . در صورتی که برج دفع داشته باشیم آنگاه مقادیر Y_1, L_s, X_1, X_2 معلوم می باشد و باید مقدار Y_2, G_s را پیدا کنیم که مانند قبل عمل می کنیم با این تفاوت که در این حالت خط تبادل در زیر خط تعادل خواهد بود همانند شکل زیر:



در این حالت خط عمود از نقطه X_2 می گذرانیم و برای پیدا کردن مقدار G_s باید شیب خط I_s / G_s بیشترین مقدار خود را داشته باشد با توجه به اینکه I_s مشخص و ثابت است پس G_s باید کم شود چرا که در خارج قسمت

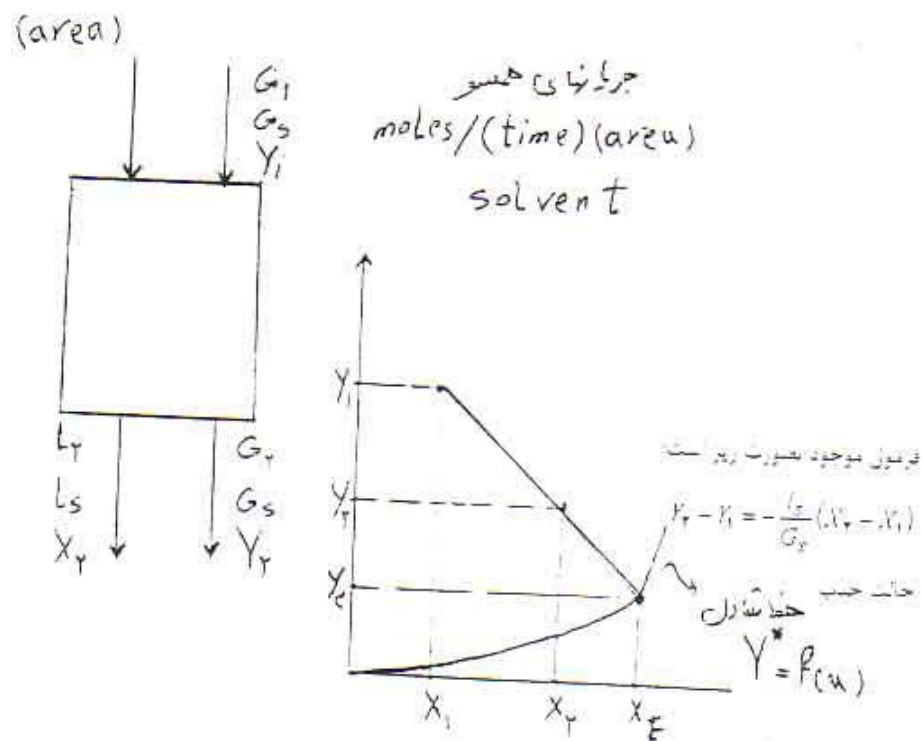
واقع شده بنابراین همانند آنچه که در قبل ذکر کردیم باید نقطه ای را روی خط عمود بر X_2 انتخاب می کنیم که منحنی تعادل نیز باشد چرا که از منحنی تعادل نمی توان گذشت مثلاً نقطه m در شکل البته توجه شود که ممکن است منحنی تعادل شکل دیگری داشته باشد و همانند آنچه در عملیات جذب نشان داده شد قبل از آنکه بتوان به نقطه m رسید خط Dm که خط عامل می باشد درجایی بر منحنی تعادل مماس گردد در این صورت مقدار G_S کمترین مقدار خواهد بود و با محاسبه شیب خط و برابر قرار دادن آن با l_S / G_S می توان G_S را بدست آورد .



فرمول موجود بصورت زیر است :

$$Y_2 Y_1 = \frac{l_s}{G_s} (X_2 - X_1)$$

حالت جذب



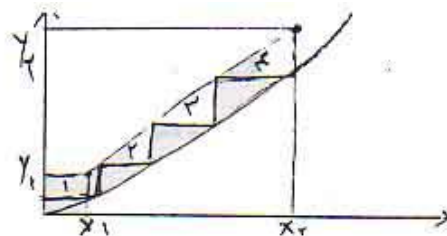
در این حالت شیب خط تبادل منفی خواهد بود، نسبت مایع به گاز در این حالت محدودیتی ندارد ولی اگر طول برج بی نهایت بلند باشد مایع و گاز خروجی از برج با یکدیگر در حال تعادل و دارای مختصات Y_E, X_E خواهند بود. از جریان های همسو وقتی استفاده می شود که یک برج بلند از دو قسمت تشکیل شده باشد، که جریان در بخش دوم همسو در نظر گرفته می شود.

همچنین برای حالتی که مایع محلول در گاز، یک ماده خالص باشد و حالتی که یک واکنش شیمیایی تند و برگشت ناپذیر بین مایع و حل شونده انجام شود.

عملیات چند واحدی با جریانهای متقابل

انتقال یک سازنده

در حالتی که از برجهای سینی دار استفاده می شود تعداد سینی ها را همانطور که در فصل قبل گفتیم با رسم مثلثهایی که بین خط تبادل و تعادل بوجود می آیند می توان حساب کرد همانند شکل زیر:



همانطور که در شکل دیده می شود ما باید از 4 سینی استفاده کنیم توجه شود در حالتی که مخلوطهای رقیق گاز و مایع داشته باشیم می توان از معادلات کرمسر استفاده کرد (چرا که مقدار مایع ورودی و خروجی تقریباً ثابت خواهد بود) و تعداد سینی ها را بدست آورد.

برج جذب :

$$N_p = \frac{\log \left[\frac{y_{Np+1} - mx_0}{y_1 - mx_0} \left(1 - \frac{1}{A} \right) + \frac{1}{A} \right]}{\log A}$$

برج دفع :

$$N_p = \frac{\log \left[\frac{X_0 - y^{Np+1}/m}{X_{NP} - y^{Np+1}/m} \left(1 - \frac{1}{S} \right) + \frac{1}{S} \right]}{\log S}$$

که $A = \frac{1}{mG}$ ضریب جذب

$S = mG_1$ ضریب دفع

سینی های حقیقی و بازده سینی ها

در صورتی که بازده مورفری برای تمام سینی ها یکسان بوده و تمام شرایط به نحوی باشد که منحنی های عامل و تعادل هر دوبصورت خط مستقیم درآیند (پیروی از قانون هنری ، فرایند همدم ، محلول های رقیق) ، بازده کلی هر سینی قابل محاسبه بوده و تعیین تعداد سینی های حقیقی به روش تحلیلی بصورت زیر می باشد :

$$E_0 = \frac{\text{سینیهای تعادلی}}{\text{سینیهای حقیقی}} = \frac{\log[1 + E_{MGE}(Y_A - 1)]}{\log(Y_A)}$$

دستگاه های تماس مداوم

در این دستگاه ها باید ارتفاع معادل یک واحد تعا دلی H_0 و همچنین تعداد واحد های انتقال N را بدست آورد سپس می توان ارتفاع برج پر شده را توسط فرمولهای زیر بدست آورد :

$$Z = H_{tl} \cdot N_{tl} = H_{tG} \cdot N_{tG} = H_{toG} \cdot N_{toG} = H_{toL} \cdot N_{toL}$$

که اندیس tG , tl مربوط به فاز گاز و فاز مایع می باشد و toG , tol مربوط به ضرائب کلی برحسب فاز مایع و برحسب فاز گاز می باشد که قبلاً فرمولهای آنها یاد شده است :

$$H_{tl} = \frac{l}{F_l \cdot a}, H_{tG} = \frac{G}{F_G \cdot a}$$

$$H_{tol} = \frac{l}{F_{ol} \cdot a}, H_{toG} = \frac{G}{F_{oG} \cdot a}$$

برای محلول های رقیق در فاز گاز داریم :

$$N_{toG} = \frac{y_1 - y_2}{(y - y^*)_m} = \frac{y_1 - y_2}{\frac{(y - y^*)_1 - (y - y^*)_2}{\ln \left(\frac{(y - y^*)_1}{(y - y^*)_2} \right)}}$$

و در صورت استفاده از قانون هنری ($y^* = mx$)

$$N_{toG} = \frac{\ln \left[\frac{y_1 - mx_2 \left(1 - \frac{1}{A} \right) + \frac{1}{A}}{y_2 - mx_2 \left(1 - \frac{1}{A} \right) + \frac{1}{A}} \right]}{1 - \frac{1}{A}}$$

$$N_{toG} = \frac{\ln \left[\frac{x_2 - y_1 / m (1 - A) + A}{x_1 - y_1 / m} \right]}{1 - A}$$

که $A = \frac{1}{mG}$ ضریب جذب می باشد.

نکات مهم درس

گرمای نهان تبخیر با افزایش دما کاهش می یابد: $\lambda \downarrow \Leftarrow T \uparrow$

$$Y = \frac{y_A}{y_B} = \frac{\bar{P}_A}{\bar{P}_B} = \frac{\bar{P}_A}{\bar{P}_A - \bar{P}_B} = \frac{\text{mol A}}{\text{mol B}}$$

رطوبت مطلق مولی

$$Y' = Y \frac{M_A}{M_B} = \frac{\bar{P}_A}{\bar{P}_A - \bar{P}_B} * \frac{M_A}{M_B} = \frac{\text{mass A}}{\text{mass B}}$$

رطوبت مطلق یا رطوبت مطلق جرمی

$\bar{P}_i$ تابع T و نوع مایع (A)، Y تابع T و نوع مایع و P_t, Y' و جنس گاز (B) می باشد.

$$\bar{P}_A < P_A^*$$

مخلوط اشباع نشده

$$y_r = 100 \times \frac{\bar{P}_A}{P_A^*}$$

اشباع نسبی یا رطوبت نسبی

$$y_p = 100 \frac{Y'}{Y'_S} = 100 \frac{Y}{Y'_S}$$

درصد اشباع

$$y_p = 100 \frac{P_t - P_A^*}{P_t - \bar{P}_A} \times y_r \left\{ \begin{array}{l} [A] = 0 \Rightarrow y_p = y_r = 0 \\ \bar{P}_A = P_A^* \Rightarrow y_p = y_r = 100\% \end{array} \right.$$

$$t_{G1} - t_{as} = (Y'_{as} - Y'_1) \frac{\lambda_{as}}{C_{S1}}$$

فرمول اشباع آدیاباتیک

$$t_{G1} - t_w = \frac{\lambda_w (Y'_w - Y')}{\frac{hG}{Ky}}$$

فرمول حباب مرطوب

$$t_G - t_w$$

افت حباب مرطوب

$$\frac{hG}{Ky} = \frac{\text{حرارت}}{\text{جرم}}$$

نسبت رطوبت سنجی

مکانیسم تحول حباب مرطوب، در اساس با مکانیزم فرآیند اشباع آدیاباتیک یکسان است بجز آنکه در تحول حساب

مرطوب، رطوبت مخلوط گاز در حین تحول تغییر نمیکند. (بسیار مهم)

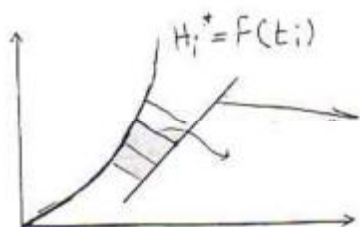
$$\frac{hG}{KyC_s} = 1, p_r = S_C \Rightarrow le = \frac{P_r}{S_C} = 1$$

رابطه لوئیس برای بخار آب - هوا

$$Le > 1$$

غیر از بخار آب و هوا رابطه لوئیس

نمودار فرآیند برج خنک کن



$$\text{شیب خط تبادل} = \frac{L'C_{AL}}{G'_S}$$

$$\text{شیب} = \frac{-h_{La}}{k_y \cdot a} \text{ برای یک نقطه در برج}$$

باید توجه داشت که a_h (سطح مخصوص انتقال حرارت) $< a_m$ (سطح مخصوص انتقال جرم)

$$H_{tG} = \frac{G'}{K_y \cdot a}, Z = N_{tG} \cdot H_{tG} \text{ (در گاز)}$$

تفاضل بین دمای مایع خروجی و دمای حباب مرطوب گاز ورودی را نزدیکی به دمای حباب مرطوب می نامند که مقدار

$$2/5^\circ\text{C} < t_{L1} - t_{w1} < 5^\circ\text{C} \text{ یعنی } 2/5 \text{ تا } 5 \text{ درجه سانتیگراد است}$$

جذب گاز ، ورود جزء A از گاز به مایع را جذب گاز گویند.

حلالیت گاز با ازدیاد فشار و کاهش دما افزایش می یابد ($T \downarrow, p \uparrow$ حلالیت ازدیاد می یابد)

$$\text{حلال} \propto \frac{P}{T}$$

مطالبی در مورد حلال

حلالیت گاز در حلال باید بالا باشد تا مقدار کمتری حلال مورد استفاده قرار گیرد، در محلول های کامل حلالیت بر حسب

جزء مولی در نماد محلولها یکسان اما بر اساس جزء وزنی حلالیت در محلول های با وزن مولکولی پایین تر بیشتر و

حلال کمتری مورد استفاده قرار می گیرد.

فراریت حلال باید کم باشد (فشار بخار حلال) تا تلف حل کم باشد.

حلال خورنده نباشد.

قلیت حلال مناسب باشد ، ویسکوزیته حلال بالا نباشد .

درمورد مسائل جذب و دفع با موارد زیر روبرو می شویم :

در برج جذب دنبال حداقل نسبت مایع به گاز و حداکثر غلظت خروجی مایع می باشیم.

در برج دفع حداکثر نسبت مایع به گاز (کمترین مقدار گاز) و حداکثر غلظت گاز خروجی

درحالت‌های زیر از جریان‌های هسمو استفاده می کنیم.

1- مایع بسیار خالص باشد.

2- یک واکنش شیمیایی تند و برگشت ناپذیر اتفاق افتد که فقط به یک واحد تعادلی نیاز باشد.

3. ضریب جذب $(A = \frac{L}{mG})$ باید بین 2-1/25 باشد اگر کوچکتر باشد خطوط عامل و تعادل در انتهای برج به

یکدیگر نزدیک می شوند و بینهایت سینی مورد نیاز می باشد.

در عملیات غیرهمسو:

تحول جذب گرمازاست و دفع گرماگیر می باشد.

درجذب دما بالا رفته و حلالیت کم و ظرفیت برج کم و L/G افزایش و تعدا سینی ها نیز افزایش می یابد.

در دفع دما پایین آمده و حلالیت زیاد و L/G کم و تعداد سینی ها کاهش می یابد.

باید توجه داشت که عملیات جذب گرمازاست هرچند که ما می خواهیم دمای پایین کار کنیم اما به دلیل گرمازا بودن

دما بالا می رود و در مورد عملیات دفع نیز هر چند که ما می خواهیم با دمای بالا کار کنیم اما عملیات گرماگیر بوده و

دما را پایین می آورد.

انتقال معادل با یک واحد تئوری (HETP) تابع نوع و ابعاد برج است و با شدت جریان سیالات و همچنین با غلظت

شدت تغییر می کند.

$$H_t G = \frac{G}{F_{tG} \cdot a} \quad H_{tG} = \frac{L}{F_{tL} \cdot a}$$

تعداد واحد انتقال در فاز گاز

$$N_A = F.G \ln \frac{1-y^*}{1-y}$$

*y در فصل مشترک می باشد.

y درون گاز می باشد.

در صورتی که $y < 0.05$ آنگاه بجای F از K استفاده می کنیم.

مجموعه تست

۱- مقدار حلال مورد استفاده در برج جذب عملاً چند برابر L_{min} است ؟ (L_{min} حداقل حلال است) .

الف (1 ب (1/4 ج (4 د (10

۲- معمولاً در واحدهای جذب ، هم برج جذب و هم برج دفع داریم . دما و فشار برج جذب در مقایسه با برج

دفع چگونه است ؟

الف (دما بیشتر ب (دمای یکسان ج (فشار بیشتر د (فشار و دمای یکسان

۳- در یک ستون پر شده به ارتفاع ده متر با دبی مولی گاز $G = 0.609 \frac{\text{kmole}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$ و

$F_G \cdot a = 0.0719 \frac{\text{kmole}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$ تعداد واحدهای انتقال فاز گاز در حدود چند است ؟

الف (8/47 ب (9/1 ج (10 د (12

۴- اگر $F_G \cdot a$ ضریب حجمی انتقال جرم و G دبی گاز در یک برج جذب باشد کدام پارامتر تقریباً ثابت می ماند؟

الف ($F_G \cdot a$ ب (F_G ج ($\frac{F_G \cdot a}{G}$ د ($F_G \cdot a \cdot l$

۵- از دو ستون جذب با جریانهای معکوس که به شکل مقابل به یکدیگر مربوط شده اند برای جذب ماده A

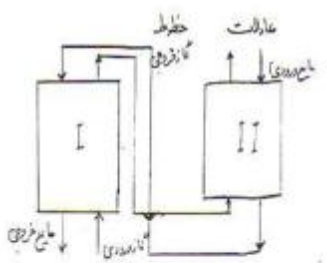
از هوا توسط آب استفاده می شود. معادلات خطوط عملیاتی دو برج به کدام صورت قرار می گیرند ؟

الف (دو خط در یک امتداد

ب (متعامد

ج (هر دو در یک طرف منحنی تبادل با شیب های مختلف

د (هر کدام در یکی از دو طرف منحنی



۶- اگر تعداد سینی های واقعی یک برج جذب ۵۰ و تعداد سینی های ایده آل ۳۰ باشد راندمان کلی برج

جذب چند درصد است ؟

الف (30 ب (50 ج (60 د (80

۷- در یک برج آکنده ، تعداد واحد های انتقال فاز گاز به کدام پارامتر بستگی دارد ؟

(الف) دیبی گاز (ب) سطح ویژه آکنه ها

ج (ضریب انتقال جرم

۸- مخلوط گازی تحت شرایط معین در یک ستون جذب با جریانهای (Counter – current) با حلال

خالص تماس حاصل می کند. اگر غلظت جذب شوونده در گاز ورودی و خروجی و نیز تعداد سینی های برج

معلوم باشد ، در این صورت نسبت حلال ورودی به گاز خالص ورودی و ... را بدست آورد.

الف) حداقل شدت حلال مصرفی

ج) غلظت جذب شونده در مایع خروجی از پایین ستون (د) میزان جذب شونده

۹- در عمل جذب :

الف. حلالیت جزء نفوذ کننده گاز در حلال زیاد باشد تا موجب افزایش شدت جذب و کاهش حلال مصرفی شود.

ب. حلالیت جزء نفوذ کننده از در حلال باید محدود باشد.

ج. حلالیت جزء نفوذ کننده در حلال باید کم باشد تا موجب کاهش میزان مصرفی حلال شود.

د. شدت جذب ارتباطی با حلالیت جزء نفوذ کننده گاز در حلال ندارد.

۱۰- در یک برخ خنک کننده آب دمای نزدیکی یعنی تفاوت دمای :

الف. آب خنک شده خروجی و دمای مرطوب گاز خنک ورودی

ب. آب گرم ورودی و دمای آب سرد خروجی

ج. هوای خنک ورودی و دمای هوای گرم خروجی

د. هوای گرم شده خروجی و دمای آب گرم ورودی

۱۱- در برج های جذب تماس پیوسته موازنه دیفرانسیلی برای ماده منتقل شونده در طول dz توسط کدام

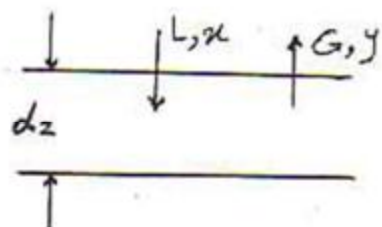
رابطه تعیین می شود ؟

الف . $N_A = \frac{d(Gy)}{a \, dz}$

ب . $-N_A = \frac{d(Gy)}{a \, dz}$

ج . $N_A = \frac{y \, dG}{a \, dz}$

د . $N_A = y \frac{G \, dy}{a \, dz}$



۱۲- مخلوطی از گاز نیتروژن (B) و بنزن (A) ($M_A = 78$) در 50°C سانتیگراد و فشار یک اتمسفر به

حالت اشباع درآمده است . اگر فشار بخار تعادلی بنزن در این دما برابر 275mmHg باشد . رطوبت مطلق

مخلوط کدام است ؟ (بر حسب

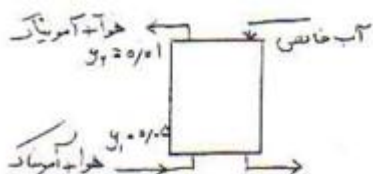
بنزن $\frac{\text{Kg}}{\text{Kg}}$ نیتروژن)
 الف . 0/204 ب . 0/567 ج . 1/58 د . 3/16

۱۳- در برج جذب نشان داده شده ، منحنی تبادل بصورت $Y = X$ می باشد. اگر دبی هوای خالص در برج

$1/5$ کیلو مول بر دقیقه باشد ، حداقل دبی آب ورودی مورد نیاز چند مول بر دقیقه خواهد بود ؟

الف . 0/8 ب . 1/2

ج . 1/83 د . 2/4



۱۴- از روابط kremser – brown – souder برای تعیین تعداد مراحل تثوری در یک سیستم گاز – مایع

استفاده شده است . این سیستم از نوع ...

الف (چند مرحله ای با جریانهای متقاطع با منحنی تعادل و خط عملیاتی با شیب ثابت است .

ب (چند مرحله ای با جریانهای متقابل با منحنی تعادل و خط عملیاتی با شیب ثابت می باشد.

ج، چند مرحله ای متقابل با خط عملیاتی با شیب ثابت است .

د، چند مرحله ای از نوع متقاطع بوده و سیستم رقیق است .

۱۵- در یک کولر آبی خانگی ، درجه حرارت آب دورانی ۱۶ °C و درجه حرارت هوای خارج کولر ۲۸ °C

کولر است . درجه حرارت مرطوب

الف ، هوا ۱۲ °C است .

ب، هوا ۱۶ °C است .

ج، هوا ۲۲ °C است .

د (با درجه حرارت خشک ، ، °C با یکدیگر تفاوت داشته اند.

۱۶- اختلاف بین دمای دما سنج مرطوب (Wet bulb temperature) و دماسنج خشک نشانی از میزان

رطوبت موجود در هواست . این اختلاف به کدامیک از عوامل زیر وابسته است ؟

الف ، نسبت ضریب انتقال جرم در اطراف دماسنج مرطوب به ضریب انتقال حرارت $(\frac{k_y}{h_y})$

ب . سرعت عبور هوا از کنار دماسنج مرطوب

ج ، ویسکوزیته هوا

د، کشش سطحی آب

۱۷- رطوبت نسبی یک گاز (Relative humidity) در عملیات مرطوب سازی و خشک کردن از اهمیت ویژه

ای برخوردار است . کدامیک از مفاهیم زیر این عبارت را تعریف می کنند ؟

الف . نسبت فشار جزئی بخار مایع در گاز به فشار کل گاز

ب. نسبت فشار جزئی بخار مایع در گاز به فشار بخار آن مایع در دمای گاز

ج. نسبت حجم مرطوب موجود در گاز به حجم مرطوب آن گاز در حال اشباع

د.نسبت وزن رطوبت موجود در گاز به وزن رطوبت موجود در گاز در حال اشباع

۱۸- در یک برج کننده ، میزان تغییر در آنتالپی $\frac{\text{But}}{\text{lb dry air}}$ ۳۶ است . در صورتیکه نیروی محرکه در

بالای برج معادل $\frac{\text{But}}{\text{lb dry air}}$ ۱۶ و در پایین برج دارای مقدار $\frac{\text{But}}{\text{lb dry air}}$ ۱۲ بوده و ارتفاع یک واحد

انتقال فاز گاز نیز برای این موج مساوی ۱۰ ft باشد ، ارتفاع برج بر حسب ft چقدر است ؟

الف (30 ب (25/7 ج (22/5 د (12/8

۱۹- در یک برج جذب غیر همسو قرار است ۸۰٪ از آمونیاک موجود در هوای ورودی (با غلظت ورودی ۱۰

درصد حجمی) بوسیله آب خالص جذب گردد ، اگر منحنی تعادل سیستم بصورت $Y = X$ بیان گردد

حداقل نسبت دبی مایع به گاز کدام است ؟

الف . 0/75 ب . 0/82 ج. 1/23 د. 1/33

۲۰- دو نوع هوا موجود است ، هوای A با درجه حرارت خشک 26°C و درجه حرارت مرطوب 20°C و

هوای B با درجه حرارت 30°C و درجه حرارت مرطوب 20°C کدام اظهار نظر در مورد مقایسه دو هوای

موجود صحیح است ؟

الف . آنتالپی هوای B ، $1/5$ برابر آنتالپی هوای A می باشد.

ب . آنتالپی هوای B ، $\frac{6}{5}$ برابر آنتالپی هوای A می باشد.

ج. آنتالپی هوای B بیشتر از آنتالپی هوای A می باشد.

د. آنتالپی هوای A و هوای B با تقریب خوب با یکدیگر مساویند.

۲۱- حجم مرطوب (Humid volume) برای هوایی که در فشار یک اتمسفر و دمای 27°C بوده و رطوبت

آن $y' = 0.01 \text{ KgH}_2\text{O} / \text{kg dry air}$ باشد بر حسب $\text{m}^3 / \text{kg dry air}$ کدام است ؟

الف (0/862 ب ($2/83 \times 10^{-3}$ ج ($4/56 \times 10^{-3}$ د ($2/8756 \times 10^{-3}$)

پاسخ تست ها

1- گزینه 2

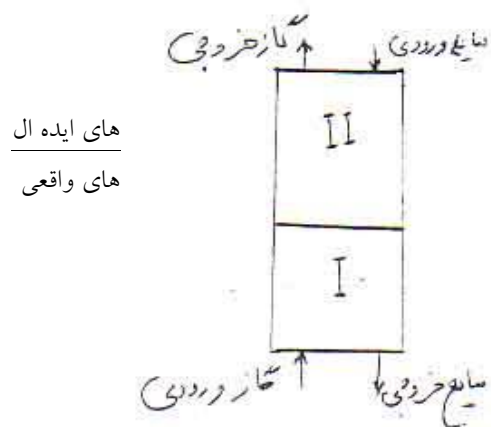
2- گزینه 3 برج جذب در دمای پایین و فشار بالا و برج دفع برعکس در دمای بالا و فشار پایین کار می کند.

3- گزینه 4

$$\begin{cases} Z = N_{tG} \cdot H_{tG} \\ H_{tG} = \frac{G}{G_G \cdot a} \end{cases} \Rightarrow N_{tG} = \frac{Z \cdot F_G \cdot a}{G} = \frac{10 \times 0.0719}{0.0609} \cong 12$$

4- گزینه 3 چرا که $\frac{G}{F_G} \cdot a$ برابر H_{tG} می باشد و از آنجا که $Z = H_{tG} \cdot N_{tG}$ اگر قرار باشد H_{tG} متغیر باشد دراین صورت Z ارتفاع برج نیز متغیر خواهد بود.

5- گزینه 1 چرا که چنین می توان در نظر گرفت .



$$6- \text{گزینه 3, } 60\% = \frac{30}{50} \times 100 = \frac{\text{تعداد سینی های ایده ال}}{\text{تعداد سینی های واقعی}} \times 100 = \text{راندمان کل}$$

7- گزینه 4 ، طبق رابطه زیر مشخص می شود که تعداد واحدهای انتقال فاز گاز به دبی ، سطح ویژه اکنه و ضریب

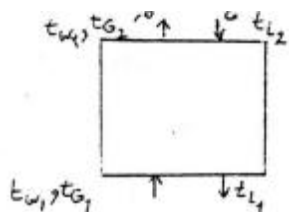
انتقال جرم بستگی دارد لذا هیچکدام از جوابها صحیح نمی باشند و در صورتیکه فعل « بستگی دارد» به « بستگی

ندارد» تغییر کند گزینه 4 صحیح خواهد بود.

$$\begin{cases} Z = N_{tG} \cdot H_{tG} \\ H_{tG} = \frac{G}{G_G \cdot a} \Rightarrow N_{tG} = \frac{F_G \cdot a}{G} = Z \end{cases}$$

8- گزینه 3

9- گزینه 1 ، معمولاً حلالی که از نظر طبیعت شیمیایی مشابه با ماده حل شونده باشد امکانات زیادی را فراهم می کند



10- گزینه 1 ، $t_{L1} = t_{w1}$

11- گزینه 1 ، سطح مشترک موثر در انتقال جرم که در نتیجه ایجاد یک لایه نازک مایع بر روی پرکننده حاصل می شود به ازاء واحد سطح مقطع برج برابر S فرض می شود این کمیت برابر با حاصلضرب سطح ویژه مشترک (سطح به ازاء حجم پر شده) در حجم پر شده (z) می باشد ($dz = adz$) از طرف دیگر شدت جریان مولی حل شونده A در فاز گاز از یک حجم دیفرانسیلی برج مورد نظر عبور می کند برابر $G \cdot y$ می باشد و لذا شدت انتقال جرم برابر $d(Gy)$ می باشد لذا داریم :

$$N_A = \frac{\text{مول A جذب شده}}{\text{زمان} \times \text{سطح مشترک}} = \frac{d(Gy)}{adz}$$

12- گزینه 3 ، نسبت جرم بخار به جرم گاز را رطوبت مطلق نامند و با Y' نشان می دهند در صورتیکه قانون گاز

ایده آل برقرار باشد داریم : ($Y = \frac{y_A}{y_B}$ رطوبت مطلق مولی است)

$$Y' = Y \frac{M_A}{M_B} = \frac{\bar{P}_A}{P_t - \bar{P}_A} \cdot \frac{M_A}{M_B} = \frac{A}{B} \Rightarrow Y' = \frac{275}{760 - 275} \cdot \frac{78}{28} = 1/58$$

13- گزینه (2) ، موازنه جرم جزئی حول حل برج بصورت زیر است :

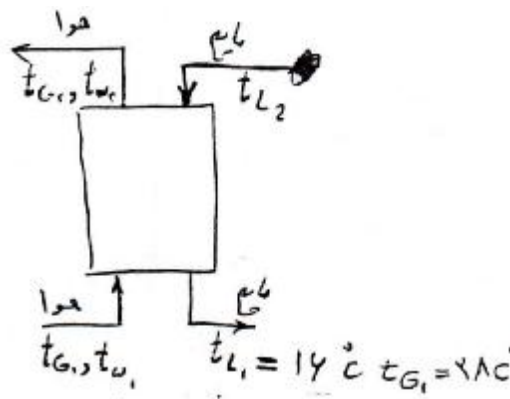
شکل ص 25

$$\Rightarrow R_s \times 0 + E_s Y_1 = R_s X_1 + E_s Y_2 \Rightarrow R_s / \text{miv} = \frac{E_s (Y_1 - Y_2)}{X_1}$$

$$= \frac{1/5(0/05 - 0/01)}{0/05} = 1/2 \frac{\text{Kmol}}{\text{min}}$$

140- گزینه 2

15- گزینه 1 ، همانطور که می دانید $t_{L1} - t_{w1} \leq 0^\circ \text{C}$ و همچنین $t_{w1} < t_{G1}$ می باشد با توجه به جوابها نتیجه می شود که گزینه (3) و (4) دارای یک مفهوم می باشند چرا که $28-6=22$ و از بین گزینه های 1 و 2 به دلیل اینکه $16-16 = 0$ می باشد پس گزینه (2) صحیح نیست چرا که در این صورت برای رسیدن به حالت تعادل نیاز به برجی با طول بینهایت می باشد بنابراین گزینه (1) صحیح می باشد و $t_{L1} - t_{w1} = 16 - 12 = 4$



16- گزینه 1 ، با توجه به فرمول :

$$t_G - t_w = \frac{\lambda_w (Y'_w - Y')}{hG / ky}$$

رابطه بالا نشان می دهد که سرعت عبور هوا یا ویسکوزیته هوا یا کشش سطحی آب تأثیری بر $t_G - t_w$ ندارد بلکه

$t_G - t_w$ فقط کسر $\frac{hG}{ky}$ می تواند بر $t_G - t_w$ تأثیر بگذارد .

$$Y_R = \frac{\bar{P}_A}{P_A^*} \times 100 \quad \text{17- گزینه 2}$$

18- گزینه 2 ، با فرض ثابت بودن $k_y \cdot a$ می توان از فرمول ساده زیر استفاده کرد :

$$H'_i = f(t_i) \text{ منحنی تعادل}$$

$$N_{tG} = \frac{H'_2 - H'_1}{(H'_i - H')_{av}}$$

طبق مسئله میزان تغییر در آنتالپی هوا یعنی $H'_2 - H'$ برابر 36 می باشد و نیروی محرکه بالای برج $(H'_i - H')_2 = 16$ و نیروی محرکه پایین برج $(H'_i - H')_1 = 12$ می باشد بنابراین

$$(H'_i - H')_{av} = \frac{(H'_i - H')_1 + (H'_i - H')_2}{2} = \frac{16 + 12}{2} = 14$$

سپس با استفاده از فرمول

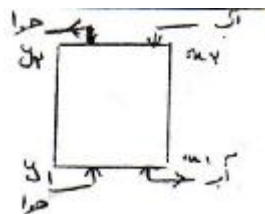
N_{tG} تعداد واحد های انتقال در فاز گاز را بدست می آوریم :

$$N_{tG} = \frac{36}{14} = 2.571$$

$$Z = N_{tG} \cdot H_{tG} = 2.571 \times 10 = 25.71 \approx 25.7 \text{ ft}$$

19- گزینه 2

$$Y_1 = \frac{y_1}{1 - y_1} = \frac{0.1}{1 - 0.1} = 0.111 \quad \frac{\text{مول آمونیاک}}{\text{مول هوای خشک}}$$



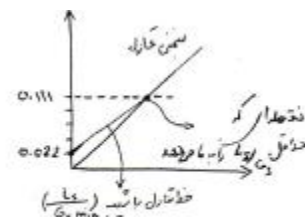
چون 80 درصد جذب می شود پس 20 درصد در فاز گاز باقی می ماند.

$$Y_2 = 0.2 \times Y_1 = 0.4 \times 0.111 = 0.022 \quad \frac{\text{مول آمونیاک}}{\text{مول هوای خشک}}$$

$$X_2 = 0 \text{ آب خالص می باشد}$$

با توجه به شکل و با استفاده از معادله تعادل $Y = X$

$$X_1 = Y_1 \Rightarrow X_1 = 0.111$$



$$\left(\frac{L_s}{G_s} \right)_{\min} = \frac{0/111 - 0/022}{0/111 - 0} = 0/8018$$

20- گزینه 3 ، همانطور که می دانید در تحول حباب مرطوب ، رطوبت مخلوط گاز در حین تحول تغییر نمی کند.

بنابراین به دلیل آنکه حرارت مرطوب هر دو گاز برابر 20°C می باشد پس Y' یا رطوبت مطلق دو گاز با هم برابر

است با توجه به فرمول $C_S = C_B + Y'CA$ بنابراین C_S برای هر دو سیال یکسان می باشد.

$$\Delta H_A = (26 - t_0) \times C_S$$

$$\Delta H_B = (30 - t_0) \times C_S$$

با فرض اینکه دمای مبنا برابر 5°C باشد خواهیم داشت

$$\begin{cases} \Delta H_A = 26 C_S \\ \Delta H_B = 30 C_S \end{cases} \Rightarrow \frac{\Delta H_A}{\Delta H_B} = \frac{26}{30} = \frac{13}{15}$$

بنابراین گزینه های (1) و (2) حذف می شوند و گزینه (4) نیز جمله صحیحی نخواهد بود پس جواب مسئله گزینه (3)

می باشد.

21- گزینه 1

$$v_H = \left(\frac{1}{M_B} + \frac{y'}{M_A} \right) \frac{RT}{P}, \begin{cases} R = 8/314 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol.k}} \\ T = 300\text{k} \\ P = 101/324\text{pa} \end{cases}$$

$$v_H = \left(\frac{1}{28/84} + \frac{0/01}{18} \right) \times \frac{8/314 \times 300}{101/324} = 0/8672$$

البته به این صورت نیز می توان به این تست جواب داد :

دانسیته هوا در حالت معمولی برابر $102 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ می باشد. با معکوس کردن جوابها دانسیته ها بترتیب برابر $1/153$ ،

$353/4$ ، $219/3$ و $347/75$ که تنها $1/153$ به مقدار $1/2$ نزدیک می باشد و بقیه جوابها فاصله بسیار زیادی با این مقدار

دارند.

(22) دفع یک حل شونده از یک مایع با تغییرات فشار و دما ، افزایش می یابد اگر :

- 1- دما و فشار کاهش یابد
2- دما کاهش و فشار افزایش یابد
3- دما افزایش و فشار نیز افزایش یابد
4- دما افزایش و فشار کاهش یابد
- 23) کدام گزینه در مورد عبور هوا از روی لوله های حاوی بخار داغ در یک گرمکن صادق است ؟

- 1- درصد اشباع کاهش می یابد اما رطوبت مطلق ثابت می ماند
- 2- رطوبت مطلق و دمای خشک افزایش یافته اما دمای حباب خیس ثابت می ماند
- 3- دمای حباب خیس افزایش می یابد اما درصد اشباع و رطوبت مطلق ثابت می ماند
- 4- دمای خشک افزایش می یابد اما رطوبت مطلق و دمای حباب خیس ثابت می ماند

(24) در یک فرآیند مرطوب سازی ، رطوبت ویژه هوا $\frac{0.01 \text{ kgH}_2\text{O}}{\text{kg dry Air}}$ می باشد اگر حجم ویژه هوای مرطوب

0/974 $\frac{\text{m}^3}{\text{kg dry Air}}$ باشد و سرعت هوا 0/1 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ گزارش شود سرعت جرمی چیست ؟

$$12050 \frac{\text{kg}}{\text{hr.m}^2} \cdot 2 \qquad 213/890 \frac{\text{kg}}{\text{hr.m}^2} \cdot 1$$

$$22770 \frac{\text{kg}}{\text{hr.m}^2} \cdot 4 \qquad 21589/04 \frac{\text{kg}}{\text{hr.m}^2} \cdot 3$$

- 26- گزینه 1 صحیح است .

با زیاد شدن دمای خشک ، دمای حباب خیس افزایش می یابد اما چون بخاری به سیستم اضافه نشده است بنابراین رطوبت مطلق ثابت می ماند در صورتی که درصد اشباع کم می شود باید توجه کرد با زیاد شدن دما به هیچ وجه درصد اشباع و رطوبت مطلق هر دو با هم نمی توانند ثابت بمانند .

- 27- گزینه صحیح است .

$$\frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kg dry Air}} = 0.01 \Rightarrow \frac{\text{kgH}_2\text{O} + \text{kg dry Air}}{\text{kg dry Air}} = 1.01$$

$$\text{سرعت جرمی} = 0.01 \left(\frac{\text{kg Air}}{\text{kg dry Air}} \right) \times \frac{1}{0.974 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{kg dry Air}} \right)} \times 0.1 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{سرعت جرمی} = 0.1037 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \right) * \frac{3600\text{s}}{\text{hr}} = 373.3 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{hr}} \right)$$

هیچ کدام از گزینه ها جواب صحیح نمی باشد.

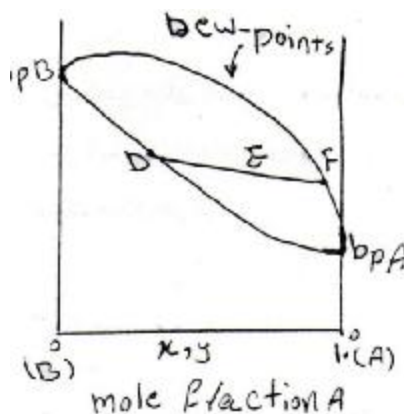
فصل چهارم: تقطیر

تقطیر روشی است برای جداسازی اجزاء یک محلول براساس قابلیت توزیع مواد بین فازهای گاز و مایع ، وقتی که تمام اجزاء در هر دو فاز موجود باشند. تقطیر مربوطه به جداسازی محلولهایی است که تمام اجزاء آنها دارای فراریت نسبی باشند.

تعادل مایع بخار

نمودار تعادلی در فشار ثابت :

با توجه به شکل روبرو نقطه ای مانند E یک مخلوط دوفازی از مایعی با غلظت نقطه D و بخاری با غلظت نقطه ای F می باشد و نسبت آنها به گونه ای است که غلظت متوسط کل مخلوط مطابق نقطه E است . مقدار نسبی هر یک از فازها به فواصل روی خط رابط بستگی دارد بطوریکه :



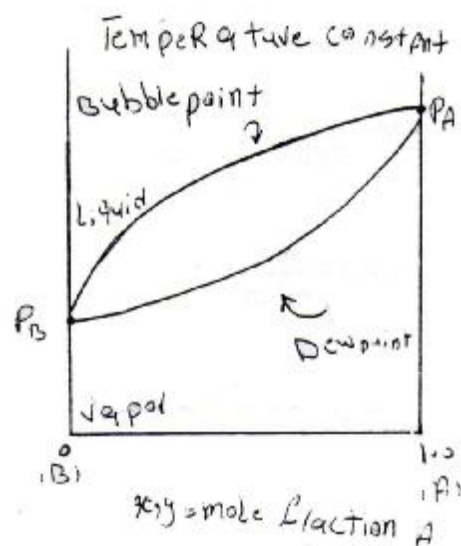
=

فراریت : عبارت است از خارج قسمت نسبت غلظت A به B در یک فاز به همان نسبت در فاز دیگر ، که معیاری است برای قابلیت تفکیک به عبارتی :

$$\alpha = \frac{y/(1-y)}{x/(1-x)} = \frac{y(1-x)}{x(1-y)}$$

هر چه مقدار α از یک بزرگتر باشد قابلیت تفکیک بیشتر می شود. باید توجه داشت که در فشار های بالا ، فراریت های نسبی و در نتیجه قابلیت های تفکیک کاهش می یابند.

منحنی تعادل در درجه حرارت ثابت :



محلول های ایده ال - قانون رانولت

$$\bar{p}_A = P_A^S \cdot x_A \quad \bar{p}_B = P_B^S \cdot (1 - x_A)$$

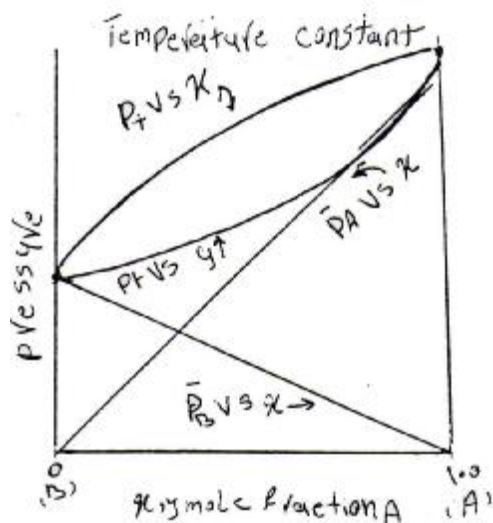
$$p_t = \bar{p}_A + \bar{p}_B = P_A^S \cdot x_A + P_B^S (1 - x_A)$$

$\bar{p}_A$ و $\bar{p}_B$: فشار های جزئی A و B در بخار

P_A^S و P_B^S : فشار های اشباع A , B

P_t : فشار کال

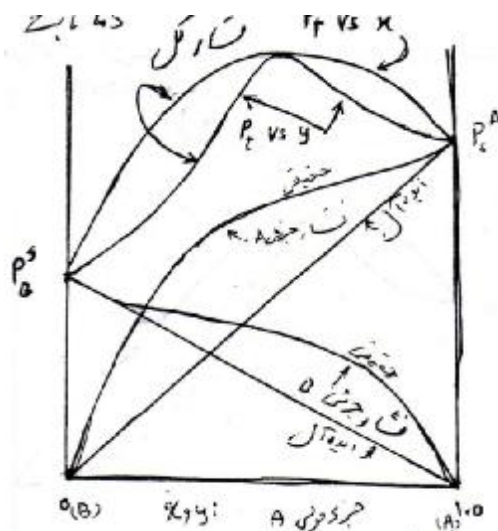
$$y_A = \frac{\bar{p}_A}{P_t} = \frac{P_A^S \cdot x_A}{P_t}$$



$$\alpha = \frac{P_A^S}{P_B^S}$$

انحراف مثبت از حالت ایده آل

به مخلوطی که فشار کل آن بزرگتر از فشار محاسبه شده برای حالت ایده آل باشد، گفته می شود که دارای انحراف مثبت از قانون راولت است .

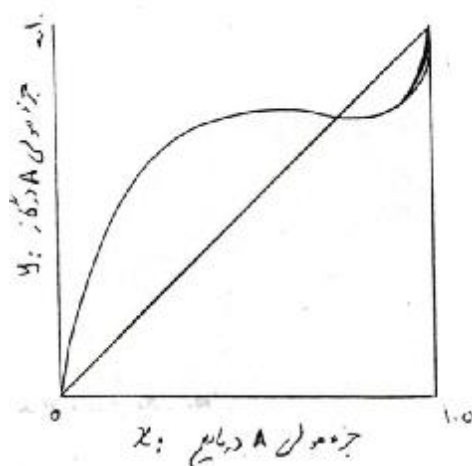


مخلوط های آزنوتروپ با نقطه جوش مینیمم

وقتی که انحراف مثبت از حالت ایده آل به حد کافی زیاد بوده وفشار بخار دوجزء یا یکدیگر تفاوت زیادی نداشته باشند. منحنی های فشار کل در درجه حرارت ثابت از یک ماکزیمم عبور می کند که در شکل بالا دیده می شود. گفته می شود که چنین مخلوطی تشکیل آزنوتروپ و یا مخلوط با نقطه جوش ثابت داده است .

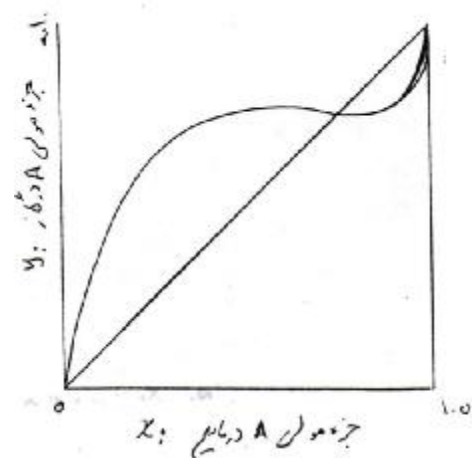
اگر منحنی بالا را به صورت فشار ثابت رسم کنیم به شکل روبرو می رسمیم محلولهای از این نوع را نمی توان با روشهای تقطیر معمولی در آن فشار ، به سادگی تفکیک کرد. زیرا در غلظت آزتوتروپ $y = x$ و $\alpha = 1/0$ می باشد غلظت آزتوتروپ هم مانند نقطه جوش آن با فشار تغییر می کند بعضی وقتها تغییر فشار نقطه آزتوتروپ را از سیستم حذف می کند.

برای ترکیب بالا با رسم y نسبت به x به نمودار زیر می رسمیم .



انحراف منفی از حالت ایده آل

وقتی که فشار کل سیستم در حالت تعادل ، کمتر از مقدار آن در حالت ایده ال باشد گفته می شود که سیستم دارای انحراف منفی از قانون راولت است . که شکلهای آن بصورت زیر می باشد.



مخلوط آزنوتروپ با نقطه جوش ماکزیمم

وقتی که فشارهای بخار اجزاء یک مخلوط اختلاف زیادی نداشته باشند و علاوه بر آن انحراف منحنی از حالت ایده آل زیاد می باشد ، منحنی فشار کل این سیستم برحسب غلظت از یک مینیمم عبور می کند آنچه در شکل بالا در قسمت دما ثابت نشان داده شده در چنین شرایطی سیستم دارای یک نقطه جوش ماکزیمم است . آزنوتروپهای با نقطه جوش ماکزیمم ، کمتر از آزنوتروپهای با نقطه جوش مینیمم یافت می شوند.

نمودارهای آنتالپی غلظت

آنتالپی محلول مایع :

$$H_L = C_L(t_L - t_0)M_{av} + \Delta H_s \quad \begin{matrix} \text{انرژی} \\ \text{(مول) (درجه)} \end{matrix}$$

C_L : ظرفیت گرمایی مایع

T_L : دمای نقطه جوش

t_0 : دمای مرجع

M_{av} : جرم مولکولی متوسط

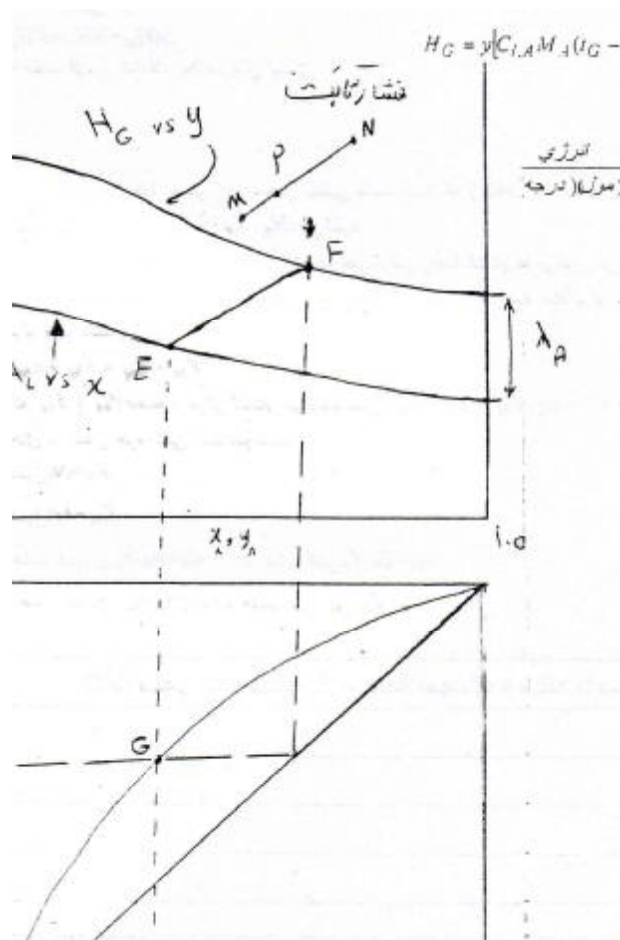
ΔH_s : گرمای اختلاط $\frac{\text{انرژی}}{\text{مول}}$ (اگر حرارت آزاد شود ΔH_s منفی و اگر محلول ایده ال باشد ΔH_s برابر صفر خواهد بود)

آنتالپی مخلوط گاز :

$$H_G = y[C_{l,A}M_A(t_G - t_0) + \lambda_A M_A] + (x_1 - y)[C_{l,B}M_B(t_G - t_0) + \lambda_B M_B]$$

λ_A, λ_B : گرمای نهان تبخیر برای مواد A و B $\frac{\text{انرژی}}{\text{مول}}$

$C_{l,A}, C_{l,B}$: ظرفیتهای حرارتی مایعات خالص برحسب $\frac{\text{انرژی}}{\text{(مول) (درجه)}}$



برطبق شکلهای بالا مایعات و بخارهای در حال تعادل توسط خطوط رابط مانند EF به یکدیگر متصل می شوند رابطه بین نمودار تعادلی xy ، H_{xy} در بالا نشان داده شده است . در اینجا نقطه G نشان دهنده خط رابط EF است که در نمودار پایینی مشخص شده است.

ویژگیهای نمودارهای xy ، H_{xy}

فرض می کنیم

نقطه M با مشخصات :

M مول

آنتالپی H_m

غلظت Z_m

نقطه N با مشخصات

N مول

آنتالپی H_N

غلظت Z_n

از اختلاط آدیاباتیک M و P,N مول مخلوطی با آنتالپی H_P و غلظت Z_P به دست می آید.

موازنه کل ماده

موازنه برای جزء A

$$MZ_m + NZ_n = PZ_p$$

موازنه آنتالپی

$$MH_m + NH_n = PH_p$$

با حذف P بین معادلات بالا می توان نوشت

$$\frac{M}{N} = \frac{Z_n - Z_p}{Z_p - Z_m} = \frac{H_n - H_p}{H_p - H_m}$$

این رابطه معادله خط راستی روی نمودار آنتالپی غلظت است که از نقاط

(H_m, Z_m) و (H_n, Z_n) و (H_p, Z_p) می گذرد .

و بطور کلی برای بدست آوردن روابط بالا با در نظر گرفتن رابطه بالا گشتاورها می توان این رابطه را به سادگی بدست آورد

باید توجه داشت که در رابطه گشتاورها نیرو وجود دارد که معادل مقدار مول در رابطه بالا می باشد. مثلاً برای شکل زیر

باید نقطه ای را پیدا کنیم که گشتاور حول آن نقطه برابر صفر باشد یا اینکه

$$F_N + d_N = F_M \times d_M$$

که d_M, d_n فاصله از مرکز گشتاور می باشد یعنی $d_M = x_O - x_M, d_N = x_N - x_O$

حال در انتقال جرم کافی است بنویسیم

$F_N = N$ (مول)

$F_M = M$ (مول)

حالت عمودی $d_N = h_N - h_P$ یا حالت افقی $d_N = Z_N - Z_P$

حالت عمودی $d_M = h_p - h_M$ با حالت افقی $d_M = Z_p - Z_M$

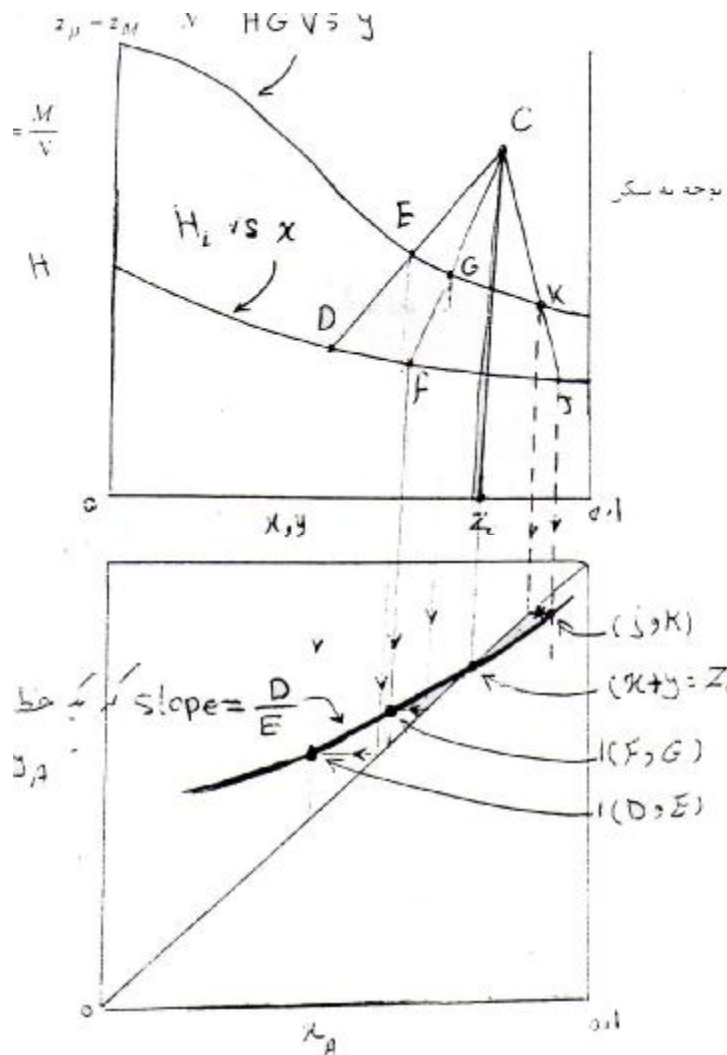
دقت شود که مقدار X_M باید مثبت باشد به این دلیل برای d_M نوشت شده $(Z_p - Z_M)$ با جایگذاری این مقادیر در رابطه

گشتاور داریم

$$F_N d_N = F_M d_M = N(Z_N - Z_P) = M(Z_P - Z_M) = \frac{Z_N - Z_P}{Z_P - Z_M} = \frac{M}{N}$$

یا اینکه

$$N(H_N - H_P) = M(H_P - H_M) = \frac{H_N - H_P}{H_P - H_M} = \frac{M}{V}$$



با توجه به شکل بالا اگر مخلوط $C(h_C.Z_C)$ که مخلوط C را می توان نتیجه استخراج آدیاباتیک مایع - اشباع D از بخار اشباع E (DE) یک خط رابط نیست (دانست و Y_E, X_1 را می توان مطابق شکل روی نمودار پایینی مشخص کرد.

با توجه به روابط هندسی موجود برای این نمودار می توان این مطالب را نتیجه گرفت.

اگر منحنی H_{LX}, H_{GY} خطوط موازی مستقیم باشد (که اگر گرمای نهان A, B مساوی باشد و ظرفیتهای حرارتی در محدوده درجه حرارت مربوطه ثابت باشند و اگر حرارت انحلال وجود نداشته باشد چنین حالتی پیش می آید) چون نسبت فواصل روی خطوط یکسان می شود (با توجه به تحت سیستم های هندسی) ، در نتیجه

$$\frac{D}{E} = \frac{F}{G} = \frac{J}{K}$$

برقرار شده و منحنی نشان دهنده C روی نمودار xy خطی مستقیم می شود.

اگر نقطه C به طرف بالا حرکت کند شیب منحنی مربوط به C روی نمودار xy بیشتر شده و نهایتاً وقتی C دارای آنتالپی بینهایت باشد این منحنی بر خط 45 درجه سانتیگراد منطبق می گردد.

اگر نقطه C روی منحنی H_{GY} باشد ، منحنی آن روی نمودار xy یک خط مستقیم افقی می شود و اگر C روی منحنی H_{LX} باشد منحنی مربوطه روی xy یک خط مستقیم عمودی می شود.

سیستم های چند جزئی

رابطه تعادل

$$m_i = \frac{y_i^*}{x_i}$$

در سیستم های چند جزئی برای بیان روابط تعادلی از ضریب توزیع m استفاده می شود که معمولاً m_i به درجه حرارت ،

فشار و غلظت مخلوط وابسته است ، فراریت نسبی α_{ij} جزء I نسبت به j برابر است با :

$$\alpha_{ij} = \frac{y_i^*/x_i}{y_j^*/x_j} = \frac{m_i}{m_j} = \frac{P_i}{P_j}$$

برای محلول های ایده آل در فشار های متوسط m_j مستقل از غلظت بوده و فقط به درجه حرارت و فشار کل بستگی

دارد.

غلظت بخار تعادلی در نقطه حباب

$$y_i = \frac{\alpha_{ij} x_i}{\sum \alpha_{i,j} x_i}$$

غلظت مایع در نقطه شبنم

$$x_i = \frac{y_i / \alpha_{i,j}}{\sum (y_i / \alpha_{i,j})}$$

عملیات تک مرحله ای - تبخیر آبی و یا ناگهانی

تبخیر ناگهانی که گاهی به آن تقطیر تعادلی گفته می شود ، یک عملیات تک مرحله ای است که در آن مخلوط مایع بطور جزئی تبخیر شده و بخار حاصل با مایع باقیمانده به تعادل می رسد سپس فازهای بخار و مایع بدست آمده جدا شده و از سیستم خارج می شوند. این عمل می تواند بصورت ناپیوسته و یا مداوم باشد.

در این عملیات ابتدا خوراک را گرم می کنند سپس با وارد کردن آن درون یک محفظه جدا کنند فشار پایین ، ماده فرار از خوراک بصورت بخار جدا می شود که در نهایت پس از خروج از بالای محفظه آن را سرد می کنند و به مایع تبدیل می کنند.

رابطه موجود برای عملیات این چنین است :

$$-\frac{W}{D} = \frac{y_D - Z_f}{x_W - z_f} = \frac{H_D - (h_f + Q/f)}{H_W - (H_f + Q/f)}, w.z_f = D.y_d + w.x_w$$

D : بخار یا محصول زمان / مول

Y_D : جزء ماده فرار در بخار

W : مایع باقی مانده زمان / مول

D : بخار یا محصول زمان / مول

X_W : جزء ماده فرار در مایع باقیمانده

Z_f : جزء ماده فرار در خوراک

h_D : آنتالپی بخار $\frac{\text{kJ}}{\text{kmol}}$ یا $\frac{\text{Btu}}{\text{lbmol}}$

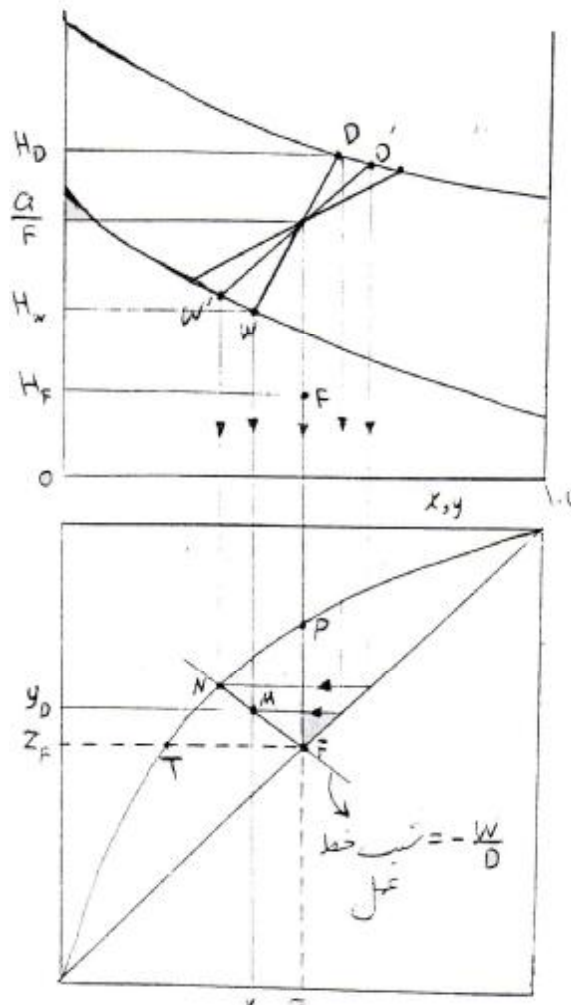
$$h_w: \text{آنتالپی مایع باقیمانده} \frac{\text{but}}{\text{lbmol}} \text{ یا } \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kmol}} \right)$$

Q: مقدار گرمای داده شده But یا kJ

رابطه اخیر نشان دهنده خط راستی روی نمودار H_{xy} است که از نقاط D با مختصات (h_D, y_D) و $W(h_D, y_D)$ با مختصات (h_w, y_w)

$$(x_w, h_w) \text{ و مخلوط خوراک بعد از خروج از مبدل حرارتی } (z_f, h_f + \frac{Q}{F}) \text{ می گذرد.}$$

نمودار توزیع با شیب منفی و مشابه تمام سیستم های تک مرحله ای (با جریان هم جهت) در شکل نشان داده شده است. همان طور که دیده می شود خط D_w شامل هر سه نقطه ای که در بالا به آنها اشاره می باشد اگر جریانهای خروجی با یکدیگر در تعادل باشند سیستم یک مرحله ای تعادلی خواهد بود و محصولات موجود w', D' بوده که روی خط رابط واقع خواهند شد. غنی ترین بخار که مقدار آن خیلی کم است مربوط به نقطه p (خط عمودی)



و در دمای حباب خوراک می باشد و مایع با کمترین غلظت که مقدار آن نیز خیلی کم است مربوط به نقطه T و در دمای شبنم خوراک می باشد (خط افقی)

میعان جزئی

تمام معادلات فوق برای این حالت با در نظر گرفتن تغییرات ذیل صادق می باشد، خوراک بصورت بخار بوده و Q یا حرارتی که در مبدل حرارتی برای ایجاد میعان ناقص ، خارج شده مقداری منفی می باشد (یعنی از بخار داغ گرما می گیریم تا به حالتی برسیم که بین منحنی H_x, H_y واقع شویم چرا که در این حالت H_f بالاتر از منحنی H_y می باشد یعنی نقطه f بالای منحنی H_y واقع است .

سیستم های چند جزئی - محلول های ایده آل

برای جزء z از مخلوط ایده آل رابطه تعادلی چنین است .

برای عملیات تبخیر ناگهانی و میعان جزئی در این حالت فرمول ذیل را خواهیم داشت:

$$-\frac{w}{D} = \frac{m_j x_{j,w} - z_{j,f}}{x_{j,w} - z_{j,f}} = \frac{y_{j,d}^* - z_{j,f}}{y_{j,d}^* - m_j - z_{j,f}}$$

یا اینکه برای تبخیر ناگهانی داریم

$$y_{j,d}^* = \frac{z_{j,f}(w/D + 1)}{1 + w/(D m_j)}$$

$$\sum y^* D = 1$$

و برای میعان داریم

$$x_{j,w} = \frac{z_{j,f}(w/D + 1)}{m_j + w/D}$$

$$\sum X_w = 1$$

برای محاسبه نقطه حباب $w/D = \infty$ را قرار می دهیم .

برای محاسبه نقطه شبنم $w/D = 0$ را قرار می دهیم .

تقطیر جزئی یا تقطیر ساده

اگر در عملیات تبخیرناگهانی متوالی با تعداد بیشماری مراحل که روی مایعی صورت می گیرد، در هر مرحله فقط بخش کمی از مایع تبخیر شود ، عملیات در نهایت معادل تقطیر دیفرانسیلی یا تقطیر ساده می شود.

مخلوط های دو جزئی

در یک عمل تقطیر دیفرانسیل واقعی بخار بدست آمده در هر لحظه با مایعی که از آن خارج می شود در تعادل است ولی غلظت آن بطور مداوم تغییر می کند.

رابطه های مورد استفاده در این قسمت بصورت زیر می باشند.

$$\ln \frac{F}{W} = \int_{X_w}^{X_f} F \frac{dx}{y^* X} \quad \text{و} \quad F X_f = D y_{D,av} - W_{xw}$$

F : تعداد مولهای خوراک به غلظت X_f

W : تعداد مولهای مایع باقیمانده غلظت X_w

D : مقدار محصول یا بخار بدست آمده ، غلظت متوسط $y_{D,av}$

Y^* : غلظت بخار در هر لحظه که با X در تعادل می باشد.

میعان دیفرانسیلی

این عملیات هم مشابه تقطیر دیفرانسیلی است که در آن خوراک به صورت بخار است و تحت شرایطی تعادلی و به

آهستگی مایع می شود و بخش مایع شده به سرعت خارج می شود

در این حالت روابط ذیل را خواهیم داشت :

$$\ln \frac{F}{D} = \int_{X_w}^{X_f} F \frac{dx}{y - x^*} \quad \text{و} \quad F X_f = D y_{D,av} - W_{xw}$$

F : تعداد مولهای خوراک به صورت بخار و با غلظت y_f

D : باقیمانده بخار با غلظت y_D

W : مقدار محصول با مایع بدست آمده با غلظت متوسط $y_{w,av}$

X : غلظت مایع در هر لحظه که با y در تعادل می باشد .

فرار نسبی ثابت

اگر مقدار متوسطی برای α در نظر بگیریم که ثابت باشد رابطه تقطیر جزئی بصورت ذیل خواهد بود

$$\log \frac{F.x_f}{wX_w} = \alpha \log \frac{F(1-x_f)}{w(1-x_w)}$$

و برای سیستم چند جزئی داریم

$$\log \frac{F.x_{j,f}}{wX_{j,w}} = \alpha_{j,B} \log \frac{FX_{B,F}}{wX_{B,w}}$$

که $X_{j,f}$ جزء مولی / در خوراک و $X_{j,w}$ جز مولی / در مایع باقیمانده است .

$\alpha_{j,B}$ فراریت جزء / نسبت به جزء B

$X_{B,F}$: جزء مولی B در خوراک

$X_{B,w}$: جزء مولی B در مایع باقیمانده

و رابطه میعان دیفرانسیلی بصورت ذیل خواهد بود

$$\alpha \log \frac{Fy_f}{D_{yD}} = \log \frac{D(1-y_D)}{F(1-y_F)}$$

و برای سیستم های چند جزئی داریم :

$$\alpha_i.X_B \log \frac{F.y_{j,f}}{wy_{j,w}} = \log \frac{Fy_{B,F}}{wy_{B,w}}$$

پالایش مداوم - سیستم های دو جزئی

پالایش مداوم یا جزء به جزء یک عملیات تقطیر چند مرحله ای با جریان معکوس می باشد.

عملیات تقطیر جزء به جزء

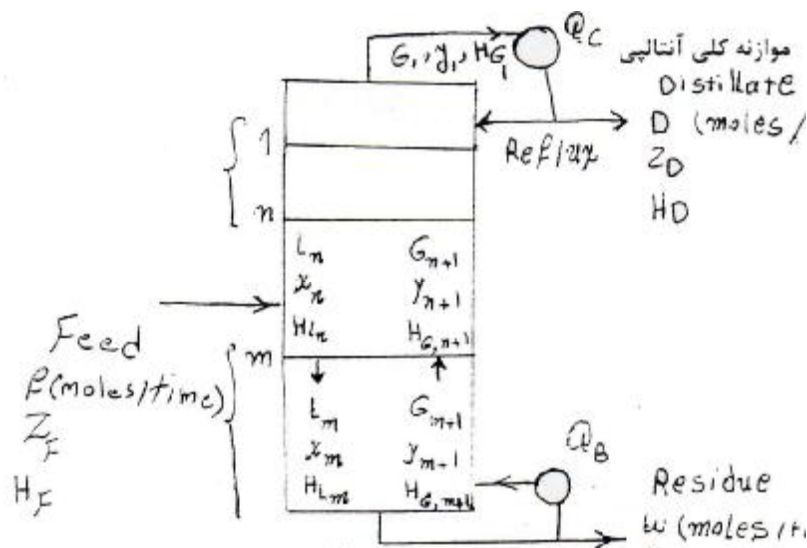
در اینجا خوراک تقریباً به وسط یک برج عمودی چند مرحله ای وارد می شود. بخاری که در بخش بالای خوراک از برج به طرف بالا می رود (به این قسمت ، بخش جذب ، غنی سازی یا پالایش گفته می شود) توسط مایع شسته شده و جزء با فراریت کمتر در این بخش جذب مایع می شود. مایع شستشو دهنده از میعان بخار خروجی از بالای برج ، که

غنی از جزء فرار است ، تأمین می شود. این مایع که به بالای برج برگردانده می شود جریان برگشتی و ماده ای که به طور مداوم بعنوان محصول گرفته می شود محصول مقطر نام دارد. دربخش پایین خوراک T (بخش دفع یا بازیابی) بخاری که در پایین برج ، از تبخیر جزئی مایع در جوش آور ، ایجاد می شود ، جزء فرار موجود در مایع را می گیرد . مایعی که به این ترتیب خارج می شود ، غنی از جزء یا فراریت کمتر است و باقیمانده یا ته مانده نام دارد . مایعات و بخارهای داخل برج همیشه به ترتیب در نقاط حباب و شبنم خود هستند و بنابراین بالاترین درجه حرارت در پایین برج و پایین ترین آن در بالای برج می باشد درجه خلوص دو محصول به نسبت های به کار رفته و تعداد مراحل ایده آل در دو بخش بستگی دارد. سطح مقطع برج به مقدار موادی که در برج جریان دارند بستگی دارد.

موازنه کلی آنتالپی

$$R = \frac{L_o}{D} \quad \text{جریان برگشتی خارجی}$$

$$R = \frac{L_n}{G_n + 1} \quad \text{جریان برگشتی داخلی}$$



پس از انجام موازنه ها رابطه های زیر به دست خواهد آمد

مقدار گرمای گرفته شده در مبرد

$$Q_C = D[(R + 1)H_{G1} - R h_{L0} - H_D]$$

حرارت مورد نیاز در جوش آور

$$Q_B = DH_D + WH_W + Q_2 + Q_L - FH_F$$

که Q_L مجموع حرارتهای اتلافی است

برجهای چند مرحله ای (سینی دار) - روش Ponchon and savarit

بخش غنی سازی

برای این قسمت رابطه زیر را خواهیم داشت :

$$\left(\frac{L_n}{G_{n+1}} \right) \text{ (این رابطه خط راستی است با شیب)}$$

$$\frac{L_n}{G_{n+1}} = \frac{Z_D - y_{n+1}}{Z_D - x_n} = \frac{Q' - H_{Gn+1}}{Q' - H_{Ln}}$$

که

$$Q' = \frac{Q_C}{D} + H_D$$

معادله فوق نشان دهنده خط راستی در نمودار H_{xy} است که از نقاط G_{n+1} به مختصات $(L_n, (H_{Gn+1}, y_{n+1}))$

به مختصات (h_{Ln}, x_n) و ΔD به مختصات (Q', Z_D) می گذرد نقطه آخر را نقطه تفاضل می نامند زیرا مختصات آن نشان دهنده شدت جریان هاست.

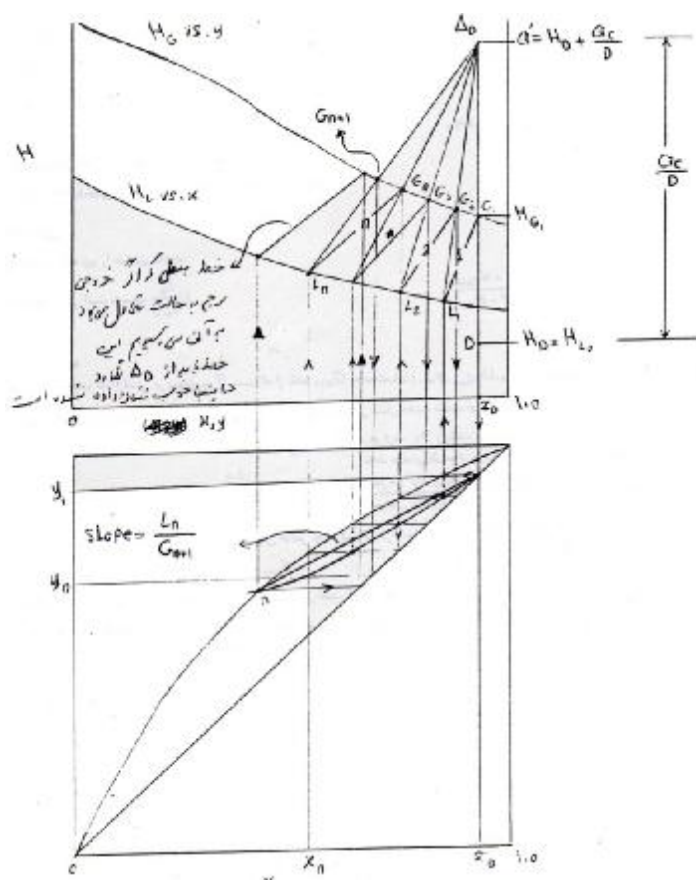
$$\left. \begin{aligned} \frac{\text{حرارت خالص خروجی}}{\text{مولهای خالص خروجی}} &= \frac{\text{تفاضل حرارت بالا رونده}}{\text{تعداد مولهای کل مواد خروجی}} = Q \\ \frac{\text{حرارت خالص A خروجی}}{\text{مولهای خالص خروجی}} &= \frac{\text{تفاضل جریان جزء A بالا رونده}}{\text{تعداد مولهای کل مواد خروجی}} = Z_D \end{aligned} \right\} \Delta D$$

بنابراین ΔD یک جریان فرضی است که مقدار آن برابر جریان خالص به طرف بالا (در اینجا D) و بامشخصات (Q ,

Z_D) می باشد به طوری که :

$$G_{n+1} - L_n = \Delta D$$

در صفحه بعد شکل این فرآیند رسم شده است این شکل برای حالتی است که یک مبرد کامل داشته باشیم ، در این صورت محصول مقطر D و جریان برگشتی L دارای مختصات یکسانی بوده و با نقطه D_S مشخص شده اند. محلی که در شکل دیده می شود ، نشان می دهند که این دو زیر نقطه حباب هستند. اگر D, L در نقطه حباب باشند ، در این صورت D روی منحنی مایع اشباع قرار می گیرد.



برای رسم این منحنی قدم اول تعیین نقاط D و ΔD می باشد ، سپس D را به ΔD وصل کرده و به طرف پایین امتداد می دهیم تا خط xy 45° را قطع کند این نقطه ، نقطه شروع می باشد ، همان طور که می دانید G_1 و D دارای غلظت برابر می باشند چرا که مبرد کامل بوده و تمام G_1 خود در تعال با L_1 می باشد باید خط بست $G_1 L_1$ را بیابیم که بدین شکل عمل می کنیم ، از نقطه G_1 به طرف پایین خطی می کشیم (که در واقع همان خط $D\Delta D$ می باشد) تا خط xy 45° (شکل پایین) را قطع کند از این نقطه خطی افقی می کشیم (که در واقع این خط غلظت

y_1 را به ما می دهد) تا منحنی تعادل را در نقطه ای قطع کند از این نقطه بدست آمده خطی قائم رسم می کنیم تا منحنی $H_L X$ را در شکل بالا قطع کند این نقطه همان L_1 می باشد حال با توجه به این نکته که نقطه G_2 در واقع از اختلاط نقاط $\Delta D, L_1$ دست می آید خطی از نقطه L_1 به نقطه ΔD رسم می کنیم تا منحنی $h_G y$ را در نقطه ای قطع کند نقطه بدست آمده همان G_2 مطلوب می باشد همان طور که می دانید خود G_2 با L_2 در تعادل می باشد پس باید خط بست آن را پیدا کنیم برای این کار همانند خط بست $L_1 G_1$ عمل می کنیم و این کار را ادامه می دهیم . حال برای پیدا کردن خط عمل همان طور که در شکل دیده می شود.

از نقطه L_2 خطی قائم می کنیم تا منحنی تعادل شکل پایین را در نقطه ای قطع کند از این نقطه خطی افقی می کشیم تا خط قائمی که از نقطه L_1 می گذرد را قطع کند نقطه بدست آمده یکی از نقاطی است که بر منحنی عمل قرار دارد بین نقاط $l_3, l_2, l_4, l_3, \dots$ این عمل را تکرار می کنیم و نقاط بدست آمده را بهم وصل می کنیم تا خط عمل بدست آید.

نسبت $\frac{L_n}{G_{n+1}}$ برای هر سینی دلخواه n را می توان از نسبت فواصل $\frac{\Delta D G_{n+1}}{\Delta_D L_n}$ در نمودار بالایی یا توسط شیب نشان داده شده برای هر سینی دلخواه در نمودار پایینی بدست آورد. با حذف G_{n+1} در معادلات خواهیم داشت .

$$\frac{L_n}{D} = \frac{Q' - H_{G_{n+1}}}{H_{G_{n+1}} + H_{L_n}} = \frac{Z_D - y_{n+1}}{y_{n+1} - x_n}$$

اگر این رابطه را برای سینی بالایی به کاربریم ، نسبت برگشتی خارجی ، که معمولاً یکی از کمیت هایی است که باید محاسبه شود ، بدست می آید .

$$R = \frac{L_0}{D} = \frac{Q' - H_{G_1}}{H_{G_1} + H_{L_0}} = \frac{\text{line } \Delta_D G_1}{\text{line } G_1 D}$$

فرمول بالا مهم می باشد چرا که اگر نسبت جریان برگشتی را داشته باشیم با این فرمول می توان موقعیت نقطه Δ_D را مشخص کرد که در این صورت به راحتی می توان مقدار Q' را بدست آورد و از بخار بار حرارتی مبرد محاسبه می شود.

توجه داشته باشید که در صورت استفاده از مبرد جزئی (در این حالت محصول مقطر بصورت بخار اشباع گرفته می شود و بخش مایع شده بعنوان جریان برگشتی عمل میکند)

D یا L_0 در حال تعادل خواهد بود و در این حالت نقطه D و L_0 با هم متفاوت خواهند بود و بر یک نقطه منطبق نخواهد شد بلکه نقطه D بر منحنی H_y و نقطه L_0 بر منحنی H_x خواهد بود فرمول جریان برگشتی در این حالت بصورت زیر خواهد بود.

$$R = L_0 / D = \frac{\text{line } \Delta_D G_1}{\text{line } G_1 L_0}$$

بخش بازیابی

روابط مورد استفاده در این قسمت به شرح زیر می باشد :

$$\frac{\bar{L}_m}{G_{m+1}} = \frac{y_{m+1} - x_w}{x_m - x_w} = \frac{H_{Gm+1} - Q''}{H_{Lm} - Q''}$$

$$Q'' = h_w = -\frac{Q_B}{W}$$

که

Q_B : بارحرارتی دیگ بخار

H_W : آنتالپی محصول خروجی از پایین برج

W : جریان محصول خروجی از پایین برج

x_w : جزء ماده فرار موجود در محصول پایین

y_{m-1} : جزء ماده فرار موجود در گاز ورودی به سینی m ام

x_m : جزء ماده فرار موجود در مایع خروجی از سینی m ام

معادله بالا نشان دهنده خط راستی در نمودار H_{xy} است که از نقاط $\bar{G}_{m+1}$ به مختصات

(H_{Gm+1}, y_{m+1}) و L_m به مختصات (h_1, x_m) و Δ_w به مختصات (Q'', x_w) می گذارد.

Δ_w یک نقطه تفاضل ها مختصات زیر است .

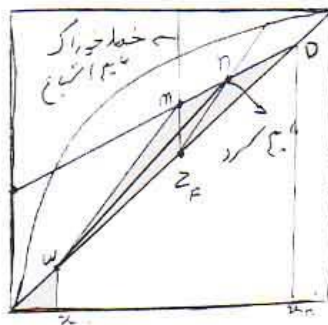
$$\left. \begin{aligned}
 & \frac{\text{تفاضل جریان، حرارتی پایین رونده - بالا رونده}}{\text{تعداد کل مولهای خروجی از پایین}} = \frac{\text{حرارت خالص خروجی از پایین}}{\text{کل مولهای خروجی از پایین}} = Q'' \\
 & \frac{\text{تفاضل جریان جزء ی پایین رونده - بالا رونده}}{\text{تعداد کل مولهای خروجی از پایین}} = \frac{\text{مولهای A خروجی از پایین}}{\text{کل مولهای خروجی از پایین}} = X_w
 \end{aligned} \right\} \Delta w$$

$$\bar{L}_m - \bar{G}_{m+1} = \Delta w$$

معادله اولی نشان دهنده خط راستی با شیب $\frac{\bar{L}_m}{\bar{G}_{m+1}}$ در نمودار xy است که از نقاط (y_{m-1}, x_m) و

می گذرد. $y = x = x_w$

نمودار این قسمت در شکل دیده می شود در این شکل باید توجه داشته باشید که w در حالت اشباع از دیگ بخار خارج می شود پس با داشتن x_w می توان نقطه w را روی منحنی H_x تعیین کرد همان طور که می دانید بخار خروجی از دیگ با مایع موجود در آن در حال تعادل است پس با یافتن خط بستی که از w می گذرد می توان نقطه $\bar{G}_{Np+1}$ را تعیین کرد آنگاه با داشتن مقدار Q'' و با توجه به اینکه مختصات Δ_w بصورت (x_w, Q'') است می توان موقعیت Δ_w را مشخص کرد سپس خطی که از Δ_w به $\bar{G}_{Np+1}$ رسم می شود منحنی H_x را در نقطه $\bar{L}_{NP}$ قطع می کند آنگاه برای نقطه بعدی (یعنی برای سینی شماره N_p) خط بسطی را پیدا می کنیم که از $\bar{L}_{NP}$ می گذرد و این کار را ادامه می دهیم تا به سینی m برسیم سپس خط عمل را در نمودار xy همانند بحث مربوط به غنی سازی دست می آوریم .



معادله را می توان به شکل زیر نیز نوشت :

$$\frac{\bar{L}_m}{w} = \frac{H_{Gm+1} - Q''}{H_{Gm+1} - H_{Lm}} = \frac{y_{m+1} - x_w}{x_{m+1} - x_m}$$

نمودارهای نشان داده شده برای جوش آوری است که در آن بخار خروجی از جوش آور با مایع باقیمانده در حال تعادل است

و بنابراین جوش آور به منزله یک مرحله تعادلی در بخش بازیابی می باشد (خط رابط B در شکل نشان داده شده)

برای دست آوردن منحنی تبادل خطوط دلخواهی از Δ_w را کشیده و محل تقاطع این خطوط با منحنی های

$h_L x, h_G y$ را روی نمودار xy تصویر کنیم و سپس تعادل مراحل از روش پله ای (که در شکل نشان داده شده)

بدست آید .

کل برج تقطیر

در این حال روابط موجود چنین خواهد بود.

$$\frac{D}{w} = \frac{Z_F - x_w}{Z_D - Z_F} = \frac{H_F - Q''}{Q' - H_F}$$

این معادله ، معادله خطی راستی در نمودار Hxy است که از نقاط Δ_D به مختصات (H_F, Z_F) و Δ_w به

مختصات (Q'', x_w) می گذرد در نظر داشته باشید که محصول های بوجود آمده از خوراک F مانند این است که

نقاط Δ_D, Δ_w را با هم مخلوط کرده ایم تا مخلوطی همانند F بدست آید و از آنجایی قبلاً در این مورد بحث کردیم

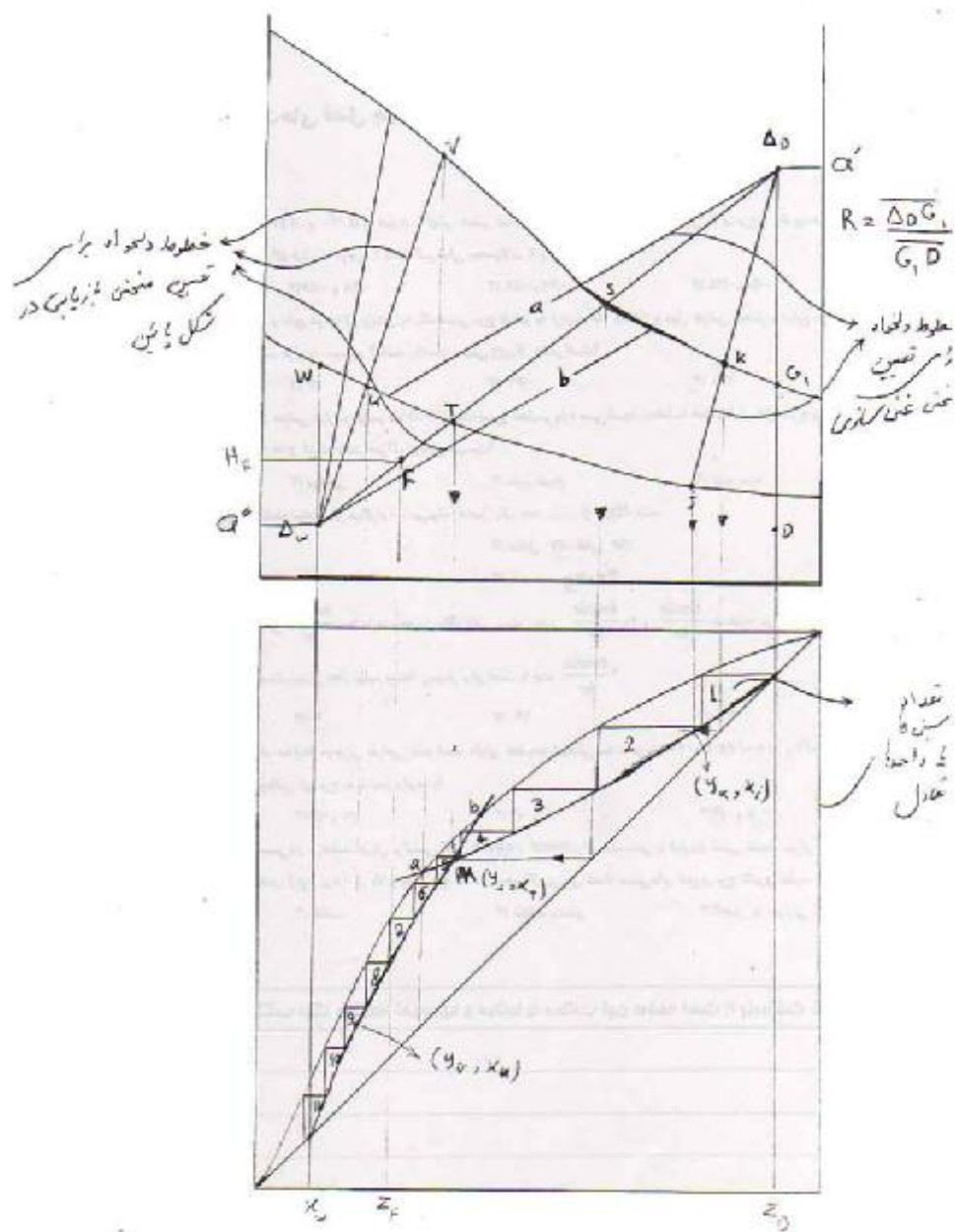
و ثابت شد که این روش همانند بحث مربوط به گشتاور ها می باشد پس در این قسمت می توان ز بحث گشتاورها برای

تعیین نقطه مجهول (F یا Δ_w یا Δ_D) استفاده کرد.

همان طور که در شکل نشان داده شده خوراک به محلی وارد می شود که منحنی تبادل غنی سازی به منحنی تبادل

بازیابی می رسد (یعنی نقطه m) دقت شود که وقتی خوراک کاملاً مایع باشد از بالای سینی خوراک وارد می شود

برعکس اگر خوراک تماماً بخار باشد ، از زیر این سینی وارد می شود ممکن است خوراک بصورت مخلوط بخار و مایع باشد که در این حالت روش منطقی این است که خوراک خارج از برج جدا شده و مایع آن بالا و بخار آن از پایین سینی مربوطه وارد شوند.



تعداد سینی ها برای فراریت نسبی ثابت

رابطه موجود به صورت زیر می باشد

$$N_m + 1 = \frac{\log \frac{X_D(1-x_w)}{(1-x_D)x_w}}{\log \alpha_{av}}$$

این رابطه را معادله fenske گویند. در این حالت مینیمم تعداد کل مراحل تثوری یک برج که غلظت محصولات آن X_D, X_w است . $N_m + 1$ ، (با احتساب جوش آور) می باشد.

اگر تغییرات α کم باشد ، α_{av} را از متوسط هندسی مقادیر α (فراریت نسبی) در بالا و پایین برج می توان بدست آورد یعنی $\alpha_{av} = \sqrt{a_1 \cdot a_w}$ این رابطه فقط برای مخلوط های ایده آل که α تقریباً ثابت است ، به کار می رود. حداقل نسبت جریان برگشتی

حداقل نسبت جریان برگشتی R_m عبارت است از ماکزیمم نسبتی که در آن تعداد مراحل جداسازی بینهایت می شود که همراه با حداقل بار حرارتی جوش آور و حداقل بارحرارتی مبرد می باشد. درچنین حالتی خط رابط مربوط از F یعنی خوراک می گذرد و بنابراین خط ربط گذرنده از خوراک Δ_{Dm} و Δ_{wm} را نیز شامل می شود (در این حالت تعداد مراحل بینهایت میشود چرا که نقطه خوراک روی منحنی تعادل xy قرار می گیرد) و همیشه وقتی این حالت پیش می آید که منحنی توزیع تعادلی xy دارای تقعر به سمت پایین باشد.

افزایش نسبت جریان برگشتی

با افزایش نسبت جریان برگشتی $R = \frac{L_0}{D} = \frac{\Delta_D G_1}{G_1 D}$ نقطه تقاضل Δ_D در شکل (با توجه به اینکه $G_1 D$

مقداری ثابت می باشد) بالاتر قرار گرفته و Q' بیشتر میشود چون Δ_D و F و Δ_w همیشه روی یک خط قرار می گیرند ، بنابراین افزایش R باعث پایین تر قرار گرفتن Δ_w می شود این مسئله سبب افزایش L_n / G_{n+1} و کاهش

می شود و منحنی های تبادل در نمودار xy به خط 45 نزدیکتر می شود. در نتیجه تعداد سینی های L_m / G_{m+1}

لازم کمتر شده ولی $\bar{L}, L, \bar{G}, G, Q_e, Q_w$ بیشتر می شوند و بنابراین سطوح حرارتی مبرد و جوش آور و سطح مقطع برج نیز با افزایش یابند تا بتوانند بارحرارتی بیشتری را تحمل کنند.

در نهایت وقتی $R = \infty$ باشد $\bar{L}_m / G_{m+1} = L_n / G_{n+1}$ هر دو منحنی تبادل بر خط 45 درجه نمودار xy

منطبق شده ، نقاط تفاضل A نمودار Hxy در بینهایت واقع شده و تعداد سینی های لازم حداقل می شوند (N_m) برای ایجاد چنین وضعیتی باید تمام محصول مقطر به برج برگردانده شده و تمام محصول باقیمانده هم وارد جوش آور شود. در عین حال جریان خوراک نیز قطع گردد.

در مخلوط هایی که انحراف مثبت از حالت ایده آل دارند و تشکیل آزنوتروپ می دهند و همچنین تمام سیستم هایی که نزدیک شرایط بحرانی جزء فرارتر هستند خط رابط در بخش غنی سازی وجود دارد (از f نمی گذرد) که کمترین مقدار جریان برگشتی را می دهد. در مخلوط هایی که انحراف منفی از حالت ایده آل وجود دارد خط رابط در بخش بازیابی خواهد بود (که از F نمی گذرد) ولی هر حالتی که داشته باشیم باید سه نقطه Δ_{wm} و Δ_{Dm} و F روی یک مستقیم قرار بگیرند.

نسبت جریان برگشتی بهینه معمولاً به این صورت می باشد $1/2R_m \leq R \leq 1/5R_m$

استفاده از بخار آب مستقیم

وقتی یک محلول آبی که جزء فرارتر آن آب نباشد تقطیر شود ، آب به عنوان محصول باقیمانده خارج می شود و بنابراین برای حرارت در پایین برج می توان مستقیماً از بخار آب استفاده کرد ، در این حالت دیگر احتیاجی به جوش آور نیست ، در چنین مواردی برای یک مقدار مشخص از نسبت جریان برگشتی و غلظت محصول سینی های بیشتری در برج لازم است ولی از جوش آور ارزان تر بوده و هزینه تمیز کردن نیز ندارد.

در این حالت Δ_D تغییر نمی کند و از همان مباحث قبلی مشخص می شود اما Δ_w بصورت زیر خواهد بود.

$$\left. \begin{aligned} \frac{WX_w}{W - G_{NP+1}} &= \frac{\text{مولهای A خروجی از پایین برج}}{\text{کل مولهای خروجی از پایین}} = X_{\Delta w} \\ \frac{WH_w - \bar{G}_{NP+1}H_{GNP+1}}{W - G_{NP+1}} &= \frac{\text{حرارت خروجی از پایین برج}}{\text{کل مولهای خروجی از پایین}} = Q'' \end{aligned} \right\} \Delta m$$

و از طرفی

$$\frac{L_m}{G_{m+1}} = \frac{y_{m+1} - x_{\Delta w}}{x_m - x_{\Delta m}} = \frac{H_{Gm+1} - Q''}{H_{Lm} - Q''}$$

برجهای با چند خوراک

روش ترسیمی در نمودار Hxy برای بخشهای بالای F_1 و پایین F_2 در برج مانند برج یک خوراک بوده و Δ_w و Δ_D نیز مشابه همان حالت مشخص می شوند. برای محدوده بین دو خوراک نقطه تفاضل جدید Δ_m با استفاده از موازنه آنتالپی و مواد حول این محدوده با بالای برج و یا با پایین برج به دست می آید که نتیجه هر دو فیزیکی است در نظر بگیرید که Δ_m عبارت از یک جریان فرضی است که مقدار آن برابر با منتج جریان به طرف بالا و بیرون از برج می باشد.

$$G'_{r+1} - L' = D - F_1 = \Delta_m$$

مختصات این نقطه عبارت است از :

$$\left. \begin{aligned} \frac{DZ_D - F_1 Z_{F1}}{D - F_1} &= \frac{\text{مولها A خروجی از بالا}}{\text{کل مولهای خروجی از بالا}} = Q'' \\ \frac{Q_C + DII_D - F_1 II_{F1}}{D - F_1} &= \frac{\text{تفاضل جریان جزء ی پایین رونده - بالا رونده}}{\text{تعداد کل مولهای خروجی از پایین}} = X_w \end{aligned} \right\} \Delta w$$

Δ_m می تواند یک کمیت منفی یا مثبت باشد و از طرفی برای محدوده بین F_1 , F_2 داریم

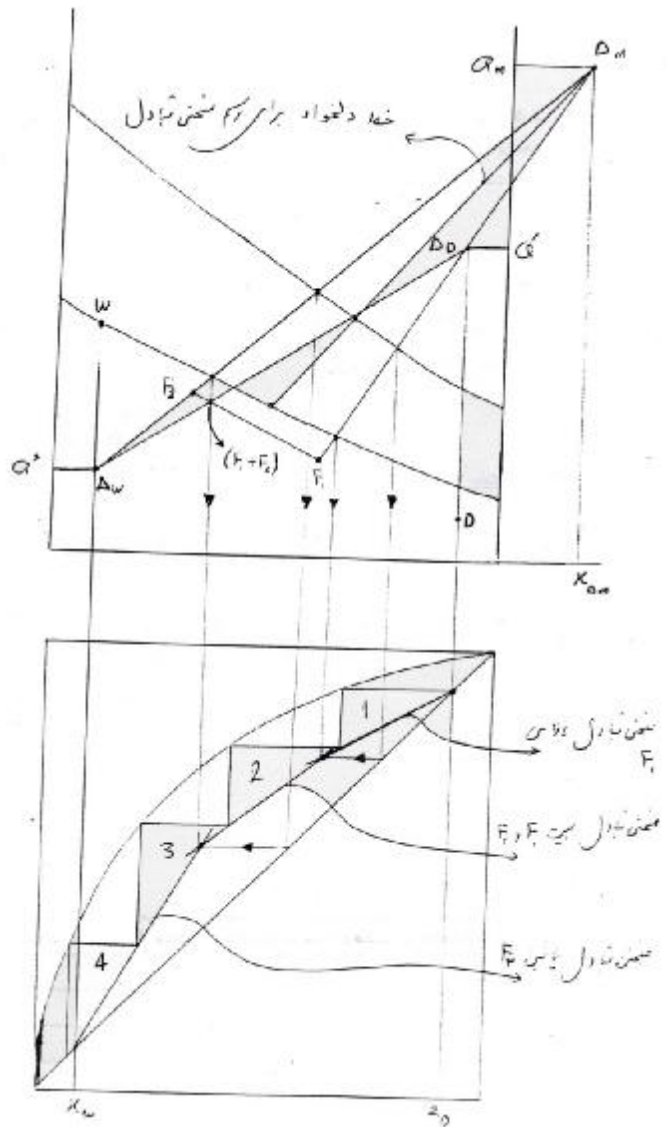
$$\frac{L'_r}{G'_{r+1}} = \frac{y_{r+1} - x_{\Delta w}}{x_r - x_{\Delta m}} = \frac{H_{Gr+1} - Q_m}{H_{Lr} - Q_m}$$

$$\Delta_m = F_2 - W \text{ و همچنین}$$

محلولی فرضی که از اختلاط دو خوراک بدست می آید دارای مختصات زیر است :

$$h_{F,ay} = \frac{F_1 h_{F1} + F_2 h_{F2}}{F_1 + F_2} \quad z_{F,Oy} = \frac{F_1 z_{F1} + F_2 z_{F2}}{F_1 + F_2}$$

که باید روی خط Δ_D و Δ_W قرار داشته باشد. Δ_m همچنین می تواند پایین تر و سمت چپ نقطه Δ_W نیز قرار بگیرد.



برجهای سینی دار چند مرحله ای - روش McCabe and Thiele

در این روش نیازی به اطلاعات دقیق آنتالپی ندارد. بویژه در مواردی که اتلاف حرارتی یا حرارتهای انحلال زیاد باشند ، روش McCabe Thiele مناسب تر است . تقریبی بودن این روش به این دلیل است که فرض شود خطوط تبادل بخش های مختلف برج بین نقاط خروجی با ورودی جریانها در نمودار xy همگی خط راست می باشند (یعنی نفوذ در مایع و دفع از مایع به گاز با مولهای برابر می باشد اما نوع مولها فرق می کند مثلاً در این رفت و برگشت ممکن است چند مول A وارد مایع شود و به همان اندازه چند مول از B وارد گاز شود که در نتیجه انتقال مول خالص صفر می شود) که همان اصل برابری مولی تبخیر و سرریزی می باشد شدت جریان مولی مایع از هر سینی در یک بخش مول مقدار ثابتی است ولی چون وزن مولکولی متوسط با شماره سینی تغییر می کند ، شدتهای جریان وزنی با هم متفاوت می باشند. توجه شود که جز در موارد استثنایی نسبت L/D در بخش غنی سازی برج تقطیر مقدار ثابتی است .

بخش غنی سازی ، مبرد کامل - جریان برگشتی در نقطه حباب

معادله خط تبادل غنی سازی در این حالت بصورت زیر خواهد بود

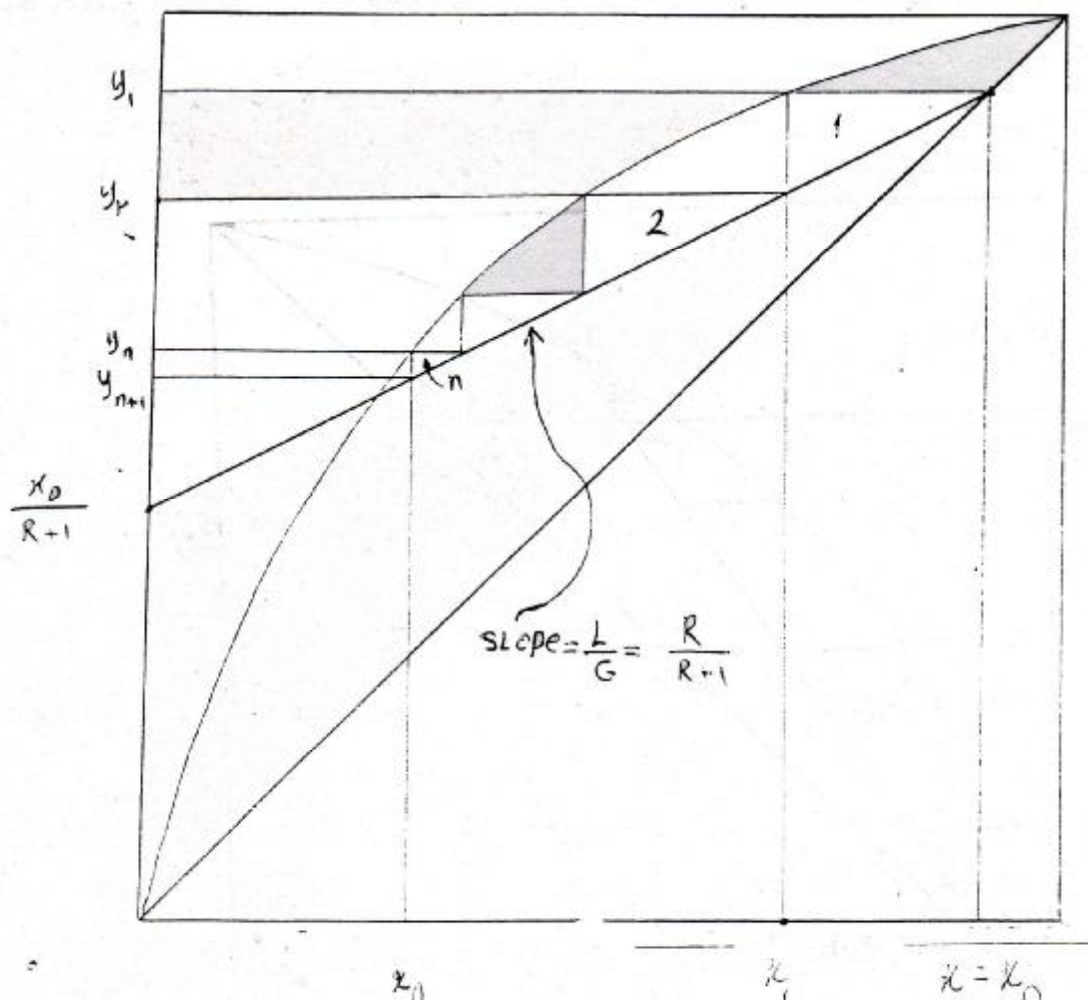
$$y_{n+1} = \frac{L}{D} x_n + \frac{D}{G} \times x_D$$

با توجه به اینکه

$$G = D(R + 1)$$

$$L = DR$$

$$y_{n+1} = \frac{R}{R + 1} x_n + \frac{x_D}{R + 1}$$



معادله اخیر معادله خط راستی با شیب $\frac{L}{G} = \frac{R}{R+1}$ در مختصات x, y می باشد که محور y ها را در

$\frac{x_D}{R+1}$ قطع می کند با قرار دادن $x_n = x_D$ دیده می شود که $y_n + 1 = x_D$ و این بدان معناست

که خط تبادیل از نقطه $y = x = x_D$ روی خط 45 درجه عبور می کند با استفاده از این نقطه و مختصات نقطه تقاطع خط با محور y ها به راحتی می توان آنرا رسم نمود. غلظت مایع و بخار هر سینی به کمک اصول فصل دو مشخص شده و تعداد سینیها نیز از روش پله ای بین منحنی تعادل و خط تبادیل بدست می آید.

بخش بازیابی ، بخار برگشتی از جوش آور در تعادل با مایع باقی مانده شدتهای جریان $\bar{G}, \bar{L}$ برای هر سینی از این بخش ثابت بوده ولی با شدت جریانهای بخش غنی سازی مساوی نیستند.

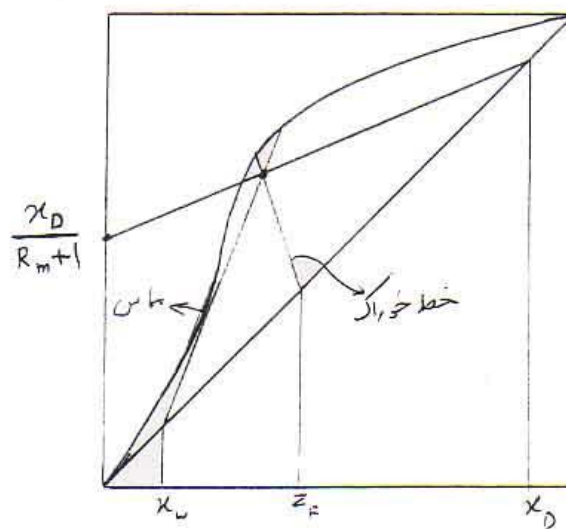
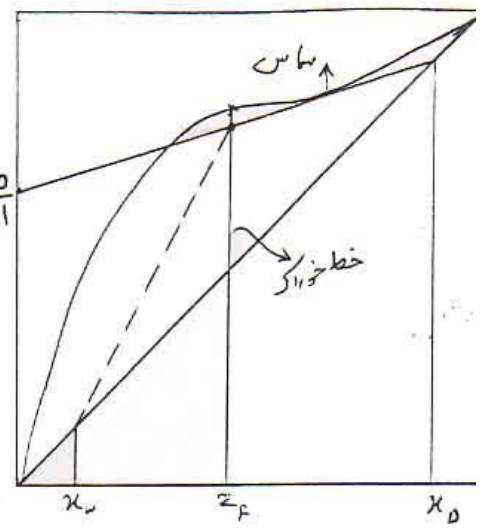
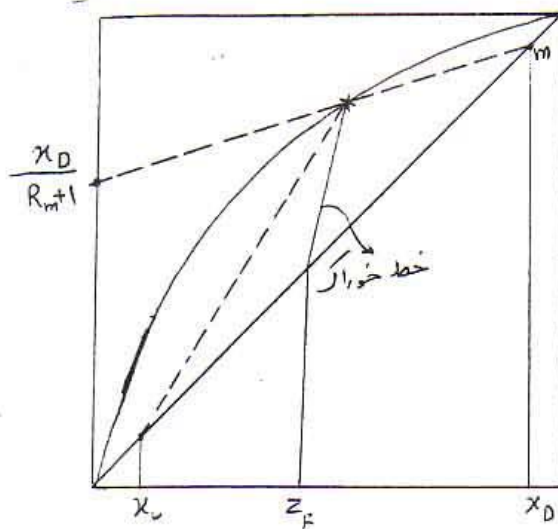
معادله خط تبادیل بخش بازیابی به صورت زیر می باشد .

$$Y_{m+1} = \frac{\bar{L}}{G} X_m - \frac{W}{G} X_W$$

یا اینکه با توجه به اینکه

$$\bar{G} = \bar{L} - W$$

$$Y_{m+1} = \frac{\bar{L}}{\bar{L} - W} X_m - \frac{W}{\bar{L} - W} X_W$$



معادله اخیر ، معادله خط راستی است به شیب $\frac{\bar{L}}{G} = \frac{\bar{L}}{(\bar{L} - w)}$ است و چون وقتی $X_m = X_w$ در

نتیجه $y_{m+1} = X_w$ بنابراین خط 45 درجه را در $x = y = X_w$ قطع می کند. اگر بخار برگشتی از جوش آور

که غلظت آن y_w است با مایع باقی مانده به غلظت X_w در تعادل باشد بنابراین اولین پله در روش پله ای برای تعیین

تعداد سینیهای مربوط به جوش آور است .

نحوه وارد کردن خوراک

در این مورد دو رابطه زیر را خواهیم داشت

$$\frac{\bar{L} - L}{F} = \frac{H_G - H_F}{H_G - H_L} = q$$

$$y = \frac{q}{q-1} x - \frac{Z_F}{q-1}$$

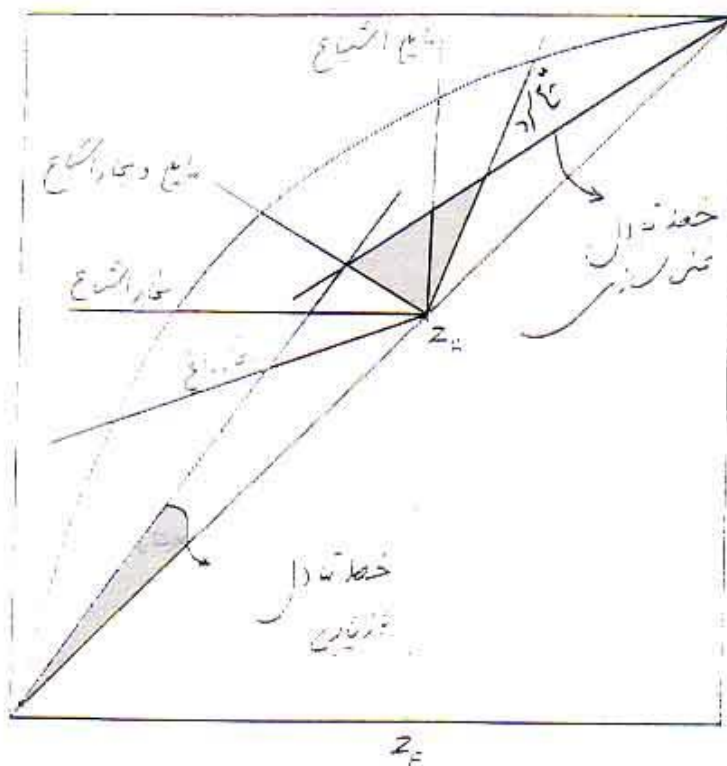
کمیت q برابر است با حرارت لازم برای تبدیل 1 مول خوراک از حالت اولیه آن با آنتالپی H_F به بخار اشباع ، تقسیم بر

حرارت نهان مولی یعنی $H_G - H_L$ ، خوراک می تواند در هر شرایطی باشد رابطه اخیر که مکان هندسی محل

تقاطع خطوط تبادیل (خط q) می باشد ، عبارت است از خط راستی به شیب $\frac{q}{(q-1)}$ و چون وقتی $X = Z_F$

در نتیجه $y = Z_F$ روی خط 45 درجه عبور می کند خط q در حقیقت خط تبادیل برای تبخیر ناگهانی خوراک است

نوع خوراک	G_F	L_F	H_{GF}	H_{LF}	H_F	$q = \frac{H_G - H_F}{H_G - H_L}$	$\frac{q}{q-1}$
مایع سرد	0	F		H_F	$H_F < H_L$	$> 1/0$	$> 1/0$
مایع اشباع	0	F		H_F	H_L	1	∞
دو فازی	$F = G_F + L_F$	L_F	H_G	H_L	$H_G > H_F > H_L$	$L_F F$ $1 > q > 0$	$\frac{L_{F-F}}{L_F}$
بخار اشباع	F	0	H_F		H_G	0	0
بخار داغ	F	0	H_F		$H_F > H_G$	< 0	$1 > \frac{q}{q-1} > 0$



جریان برگشتی کامل یا نسبت جریان برگشتی بی نهایت

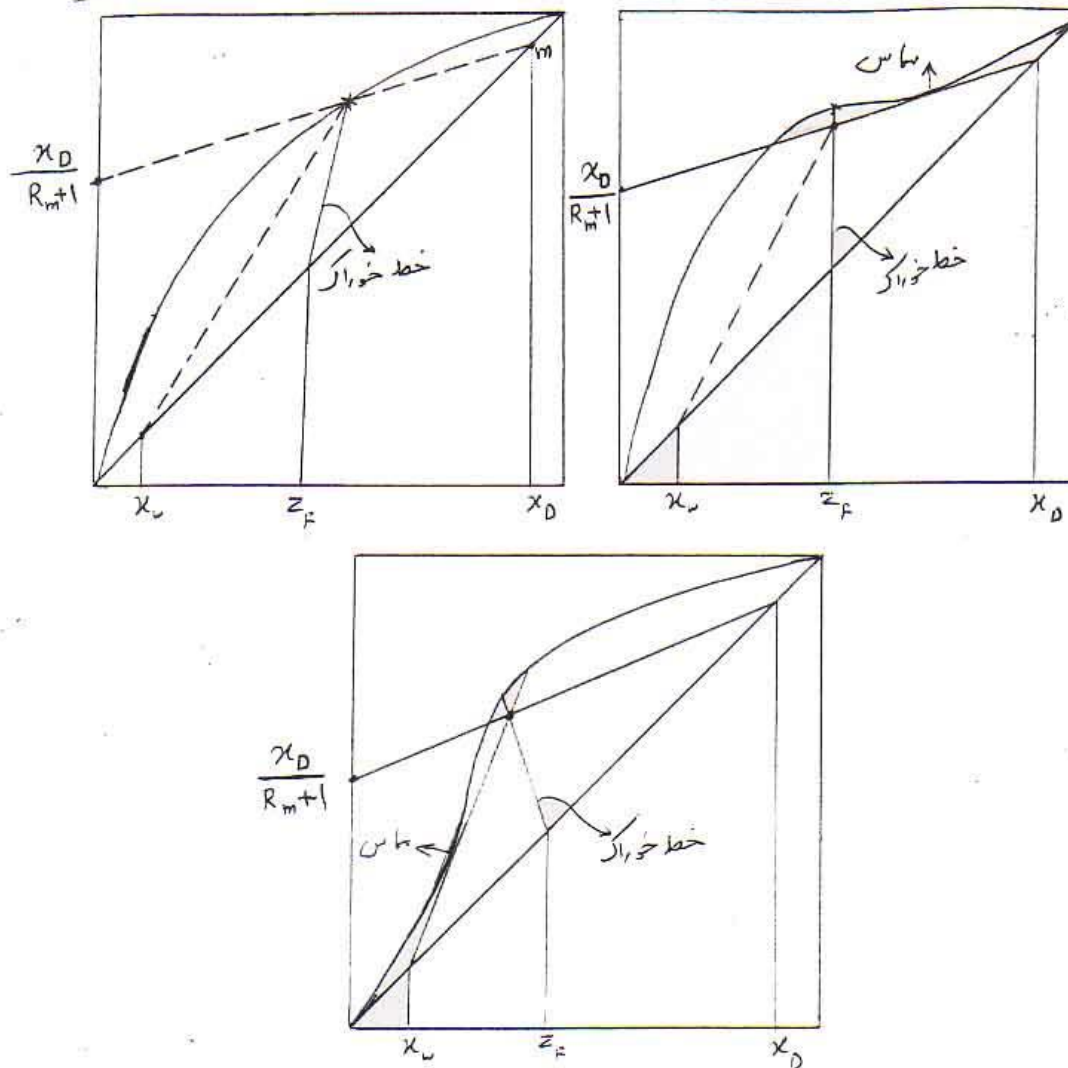
با افزایش جریان برگشتی $R = L/D$, $R = L/D$ نیز افزایش می یابد تا اینکه نهایتاً $R = \infty$ و $L/D = 1$ شده و خطوط تبادل هر دو بخش برج، روی خط 45 درجه منطبق می شوند در عمل برای رسیدن به چنین حالتی باید تمام محصول بالایی برج به صورت جریان برگشتی به برج بازگردانده شود (جریان برگشتی کامل) و تمام محصول باقیمانده نیز جوشانده شود و پس از تبخیر به برج بازگردانده شود که در نتیجه جریان خوراک به درون برج قطع می شود و یا در حالت دیگر می تواند ظرفیت حرارتی جوش آور و مبرد برای شدت ویژه ای از خوراک بی نهایت باشد که باز هم این نتیجه به دست می آید، در حالت برگشتی کامل کمترین تعداد سینی را خواهیم داشت.

حداقل نسبت جریان برگشتی

حداقل نسبت جریان برگشتی R_m عبارت است از حداکثر نسبتی که به ازای آن تعداد سینی های لازم برای یک عمل جداسازی بی نهایت شود و در این حالت ظرفیت حرارتی جوش آور و مبرد به حداقل می رسد.

در زیر روش بدست آوردن R_m در صورتی که خط خوراک معلوم باشد یا در حالت انحراف مثبت از حالت تعادل و یا انحراف منفی در شکلها دیده می شود.

دقت شود که شود که نسبت جریان برگشتی بهینه همانند روش ponchon-savrit می باشد.



نکات مهم

هرچه فاصله بین منحنی تعادل و خط 45 درجه بیشتر باشد (در منحنی xy) اختلاف غلظت های مایع و بخار بیشتر و جداسازی با تقطیر راحت تر می شود.

در فشارهای بالا فراریت های نسبی و در نتیجه قابلیت های تفکیک کاهش می یابند. معادله تعادل به صورت های ذیل می باشد.

$$y = \frac{\alpha x}{1 + (\alpha - 1)x}$$

$$x = \frac{y}{y + \alpha(1 - y)}$$

انحراف مثبت از حالت ایده آل در مخلوط های آزنوتروپ با نقطه جوش مینیمم همراه است انحراف منفی از حالت ایده آل در مخلوط های آزنوتروپ با نقطه جوش ماکزیم همراه است برای یک مخلوط چند جزئی غلظت بخار تعادلی در نقطه حباب برابر است با :

$$y_i = \frac{\alpha_{i,j} x_i}{\sum (y_i \alpha_{i,j}) \sum \alpha_{i,j} x_i}$$

و غلظت مایع از نقطه شبنم برابر است با :

$$x_i = \frac{y_i \alpha_{i,j}}{\sum (y_i \alpha_{i,j})}$$

برای تبخیر آبی و ناگهانی فرمول مربوطه به صورت زیر است :

$$-w/D = \frac{y_D - Z_F}{x_w - Z_F} = \frac{H_D - (H_F + Q_F)}{h_w - (H_F + F)}$$

$-w/D$ شیب خط تبادل می باشد و باید توجه داشت که خوراک باید حالت دوفازی داشته باشد یعنی

$$T_{ab} < T_F < T_{dp}$$

$$\sum k_i x_i > 1, \sum \frac{k_i}{x_i} > 1$$

میعان جزئی همانند تبخیر آبی می باشد که در این صورت فقط خوراک به صورت بخار خواهد بود و Q مقداری منحنی خواهد بود.

برای مخلوطهای چند جزئی :

$$y_{j,D} = \frac{Z_{j,f} (W/D + 1)}{1 + W/D m_j} \cdot \sum y_D = 1$$

تبخیر ناگهانی

$$W/D = \infty$$

برای نقطه حباب

$$x_{j,w} = \frac{Z_{j,f} (W/D + 1)}{m_j + W/D} \cdot \sum x_w = 1$$

میعان جزئی

$$W/D = 0$$

بر نقطه شبنم

$$\log \frac{F \cdot x_f}{w x_w} = \alpha \log \frac{F(1 - x_f)}{w(1 - x_w)}$$

مخلوط دو جزئی

$$\log \frac{F \cdot x_{j,f}}{w x_{j,w}} = \alpha_{j,B} \log \frac{F x_{B,F}}{w x_{B,w}}, \sum x_w = 1$$

مخلوط چند جزئی

در یک برج تقطیر بالاترین درجه حرارت در پایین و کمترین آن در بالای برج می باشد.

$$R = \frac{L}{D}$$

نسبت جریان برگشتی چنین تعریف می شود.

در روش پانچون ساواریت معمولاً در طول برج تعداد مولهای موجود در فاز بخار درمایع تبخیر می باشد نقطه Δ_D را نقطه تفاضل در بخش غنی سازی می نامند و بصورت زیر تعیین می شود.

$$\left. \begin{aligned} Q &= \frac{\text{تفاضل حرارت بالا رونده - پایین رونده}}{\text{تعداد مولهای کل مواد خروجی}} = \frac{\text{حرارت خالص خروجی}}{\text{مولهای خالص خروجی}} \\ Z_D &= \frac{\text{تفاضل جریان جزء A بالا رونده - پایین رونده}}{\text{تعداد مولهای کل مواد خروجی}} = \frac{\text{حرارت خالص A خروجی}}{\text{مولهای خالص خروجی}} \end{aligned} \right\} \Delta D$$

رابطه مورد استفاده در بخش غنی سازی (پانچون ساواریت)

$$\frac{L_n}{G_{n+1}} = \frac{Z_D - Y_{n+1}}{Z_D - X_n} = \frac{Q' - H_{Gn+1}}{Q' - H_{Ln}}$$

نقطه ΔW را نقطه تفاضل در بخش بازیابی می نامند و بصورت زیر تعریف می شود

$$\left. \begin{aligned} Q'' &= \frac{\text{تفاضل جریان، حرارتی پایین رونده - بالا رونده}}{\text{تعداد کل مولهای خروجی از پایین}} = \frac{\text{حرارت خالص خروجی از پایین}}{\text{کل مولهای خروجی از پایین}} \\ X_w &= \frac{\text{تفاضل جریان جزء ی پایین رونده - بالا رونده}}{\text{تعداد کل مولهای خروجی از پایین}} = \frac{\text{مولهای A خروجی از پایین}}{\text{کل مولهای خروجی از پایین}} \end{aligned} \right\} \Delta w$$

رابطه مورد استفاده در بخش بازیابی (پانچون - ساواریت)

$$\frac{\bar{L}_m}{G_{m+1}} = \frac{y_{m+1} - x_w}{x_m - x_w} = \frac{H_{Gm+1} - Q''}{H_{Lm} - Q''}$$

در صورتی که کندانسور و جوش آ و ر هر کدام به صورت ناقص عمل کنند (یعنی کندانسور جزئی و جوش آور جزئی) در این صورت به ازای هر کدام یک سینی در نظر گرفته می شود یعنی اگر قرار باشد برجی دارای n سینی باشد در نظر گرفتن کندانسور و جوش آور ناقص برای این برج تعداد سینی های آن به n-2 سینی تبدیل می شود.

رابطه موجود برای کل برج تقطیر به صورت زیر می باشد (پانچون ساواریت)

$$D/w = \frac{Z_F - x_w}{Z_D - Z_F} = \frac{H_F - Q''}{Q' - H_F}$$

اگر خوراک تماماً مایع باشد از بالای سینی خوراک وارد می شود و اگر بخار باشد از زیر سینی وارد می شود.

با افزایش جریان برگشتی اتفاقات زیر رخ می دهد.

(1) Q' بیشتر می شود

(2) Δ_w پایین تر قرار می گیرد .

(3) L_n/G_{n+1} افزایش می یابد .

(4) L_m/G_{m+1} کاهش می یابد .

(5) منحنی تبادل به خط 45 درجه نزدیک می شود.

(6) تعداد سینی های لازم کمتر می شود.

(7) مقادیر $\bar{L}, L, \bar{G}, G, Q_e, Q_w$ بیشتر می شود.

(8) سطوح حرارتی مبرد و جوش آور و سطح متوسط برج نیز افزایش می یابد.

در صورت ایجاد جریان برگشتی کامل هر دو منحنی تبادل با خط 45 درجه قرار می گیرند ، تعداد سینی های لازم

حداقل می شوند ، N_m معادله Fonska برای تعیین تعداد سینی های با احتساب اینکه جوش آور جزئی عمل میکند (

فرایت ثابت)

$$N_m + 1 = \frac{\log \frac{X_D(1-x_w)}{(1-x_D)x_w}}{\log \alpha_{av}}$$

مقدار 1 در معادله بالا مربوط به جوش آور است .

حداقل نسبت جریان برگشتی که در آن تعداد مراحل جداسازی بی نهایت می شود با حداقل بار حرارتی مبرد همراه

است .

نسبت جریان برگشتی بهینه $1/2R_m < R < 1/5R_m$

در صورت استفاده از بخار آب مستقیم Δ_w به صورت زیر خواهد بود :

$$\left. \begin{aligned} \frac{WX_w}{W - G_{NP+1}} &= \frac{\text{مولهای A خروجی از پایین برج}}{\text{کل مولهای خروجی از پایین}} = X_{\Delta w} \\ \frac{WH_w - \bar{G}_{NP+1}H_{GNP+1}}{W - G_{NP+1}} &= \frac{\text{حرارت خروجی از پایین برج}}{\text{کل مولهای خروجی از پایین}} = Q'' \end{aligned} \right\} \Delta w$$

در این حالت معادله زیر برقرار است :

$$\frac{L_m}{G_{m+1}} = \frac{y_{m+1} - x_{\Delta w}}{x_m - x_{\Delta m}} = \frac{H_{Gm+1} - Q''}{H_{Lm} - Q''}$$

در برجهای با چند خوراک ΔX نقطه تفاضل بین دو خوراک به صورت زیر می باشد:

$$\left. \begin{aligned} \frac{DZ_D - F_1 Z_{F1}}{D - F_1} &= \frac{\text{مولها A خروجی از بالا}}{\text{کل مولهای خروجی از بالا}} - Q'' \\ \frac{Q_C + DII_D - F_1 II_{F1}}{D - F_1} &= \frac{\text{تفاضل جریان جزء ی پایین رونده - بالا رونده}}{\text{تعداد کل مولهای خروجی از پایین}} = X_w \end{aligned} \right\} \Delta w$$

اگر اتلاف حرارتی حذف شود ،

به ازای بار حرارتی ثابتی برای جوش آور و یا مصرف حرارتی تعداد سینی های لازم کمتر می باشند.

درروش مک کیب ، اصل برابری مولی تبخیر و سر ریز برقرار می باشد.

در α بخش نحنی سازی رابطه زیر برقرار است (مک کیب) :

$$y_{n+1} = \frac{R}{R+1} x_n + \frac{x_D}{R+1}$$

درقسمت بازیابی رابطه زیر برقرار است (مک کیب) :

$$Y_{m+1} = \frac{\bar{L}}{G} X_m - \frac{W}{G} X_w$$

خط خوراک به صورت رابطه زیر بیان می شود :

$$y = \frac{q}{q-1}x - \frac{Z_F}{q-1}$$

که در رابطه اخیر :

$$\frac{\bar{L} - L}{F} = \frac{H_G - H_F}{H_G - H_L}$$

تست های فصل چهارم جزوه انتقال جرم و عملیات واحد

۱- ۱۰۰ lbmole خوراکی شامل ۶۰ A٪ و ۴۰ B٪ به صورت ناگهانی تقطیر شده ۵۰ پوند مول در ساعت محصول بالای برج و ۵۰ پوند مول بر ساعت محصول پایین برج است. هرگاه فراریت دوجزء ۲ باشد کسر مولی محصولات y,x برابر است با :

(1 0/95 و 0/92 (2 0/56 و 0/48 (3 0/52 و 0/62 (4 0/65 و 0/55

۲- در صورتی که مول جزئی بخار و مایع ورودی به یک سینی برج تقطیر به ترتیب ۰/۸ و ۰/۸۵ مول جزئی بخار و مایع خروجی از سینی به ترتیب ۰/۹ و ۰/۸ و ضریب فراریت سیستم ۴ باشد . راندمان سینی E_{MG} چقدر است ؟

(1 0/5 (2 0/6 (3 0/62 (4 مایع سرد

۴- در یک سیستم دو جزئی هر نقطه تعادلی در دیاگرام ... می تواند حاصل یک خط از H_{xy} باشد .

(1 تعادل xy ، عمودی tie (2 تعادل xy ، افقی tie

(3 تعادل xy ، tie (4 tic , xy

۵- در یک برج تقطیر خوراک بادی $\frac{100 \text{ kmole}}{\text{hr}}$ وارد ، محصول بالا و پایین ستون بادی $\frac{20 \text{ kmole}}{\text{hr}}$ و

$\frac{80 \text{ kmole}}{\text{hr}}$ خارج می شود . خوراک بخار اشباع و نسبت مایع برگشتی ۵ است . میزان بخار تولید توسط

ریبویلر برابر است با چند $\frac{\text{kmole}}{\text{hr}}$ ؟

(1 20 (2 40 (3 120 (4 140

۶- برجی از جهت جداسازی یک مخلوط دوجزئی طراحی شده است . دارای خطوط تبادلی به صورت ۰/۳۲ +

$y = 0/6 X$ و $y = 2x - 0/1$ است . مول جزئی محصولات بالا و پایین این برج به ترتیب برابرند با :

(1 0/05 و 0/8 (2 0/8 و 0/1 (3 0/9 و 0/1 (4 0/9 و 0/05

۷- در عمل تقطیر در برجهای سینی دار در حالت جریان برگشتی کامل (total reflux) برای سیستمی با فراریت نسبی ثابت، برای رسیدن به محصولاتی با درجه خلوص مشخص (x_W , x_D) در بالا و پایین برج خوراک بر روی تعداد سینی های تئوری برج تأثیری ندارد.

(1) دما (2) غلظت (3) غلظت و دما (4) کاهش بارحرارتی کندانسور

۸- در یک ستون تقطیر مداوم دو خوراک با مشخصات جدول زیر وارد می شود $\alpha = 2/5$ و ثابت فرض شود. به نظر شما مواضع ورودی خوراک به برج چگونه باشد، بهتر است؟

جزء مولی فراتر	وضع	
0/6	بخار اشباع	خوراک I
0/45	بخار اشباع	خوراک II

(1) هر دو را بعد از تبدیل به بخار اشباع و به صورت مخلوط

(2) خوراک I بالاتر از خوراک II

(3) دو خوراک را به صورت مخلوط

(4) خوراک II بالاتر از خوراک I

۹- یک برج تقطیر سینی دار مجهز به یک کندانسور کامل بوده و یا جریان برگشتی $R=2$ کار می کند.

در صورتی که حرارت نهان تبخیر مولی مخلوط ثابت و برابر $40000 \frac{\text{kJ}}{\text{kmole}}$ و $50000 \frac{\text{kJ}}{\text{kmole}}$ باشد H_{LO} باشد

، بار حرارتی کندانسور به ازای واحد مول محصول مقطر برابر است با چند $\frac{\text{kJ}}{\text{kmole}}$ ؟

(1) 80000 (2) 85000 (3) 120000 (4) 125000

۱۰- در تقطیر مخلوط بنزن - تولوئن به صورت دیفرانسیلی، جزء مولی بنزن در خوراک $X_F=0/5$ و برای این

سیستم $\alpha = 2/5$ است. اگر جزء مولی در باقیمانده ظرف تقطیر پس از مدتی برابر $0/3$ شود، متوسط جزء

مولی بنزن در بخارات جمع آوری شده حاصل شده از تقطیر چگونه خواهد بود؟

(1) برابر 0/517 (2) بزرگتر از 0/517 (3) برابر 0/75 (4) کوچکتر از 0/517

۱۱- در یک برج تقطیر در تصویر xy روش McCabe با چهار خط تبادل (Operating line) به ترتیب از

بالای برج به پایین ، به شکل زیر است ؟

$$y=0/99x + 0/1 \quad (1) \quad y=0/61x + 0/15 \quad (2)$$

$$y=x + 0/25 \quad (3) \quad y=1/7x - 0/03 \quad (4)$$

این برج دارای چند خوراک ورودی (عدد سمت راست) و چند محصول جانبی (عدد سمت چپ) است ؟

$$1 \text{ و } 3 \quad (1) \quad 2 \text{ و } 1 \quad (2) \quad 1 \text{ و } 2 \quad (3) \quad 1 \text{ و } 1 \quad (4)$$

۱۲- خوراک ورودی به یک تبخیر کننده ناگهانی حاوی ۱۵ درصد مولی از جزء فراتر و خروجی از آن به

صورت ۲۵ درصد بخار است . معادله تعادلی به صورت $y = 1/74x$ است . جزء مولی فراتر در بخار خروجی

عبارت است از :

$$0/065 \quad (1) \quad 0/22 \quad (2) \quad 0/26 \quad (3) \quad 0/37 \quad (4)$$

۱۳- در یک ستون تقطیر دو جزئی محصول بالایی ستون با شدت ۴ kmole/s و نسبت مایع برگشتی ۲/۱ =

R است : اگر محصول جانبی با شدت ۳ kmole / s بین محصول بالایی و نقطه ورودی خوراک شود

شیب خط عملیاتی بین محصول جانبی و نقطه ورودی خوراک در ستون برابر است با :

$$0/43 \quad (1) \quad 1/57 \quad (2) \quad 0/68 \quad (3) \quad 0/70 \quad (4)$$

۱۴- تقطیر ۱۰۰۰ مول از خوراکی مایع با غلظت ۰/۸ به صورت batch مورد نظر است . اگر معادله منحنی

تعادلی $y=7x$ و غلظت مایع باقی مانده ۰/۲ باشد. میزان مایع باقی مانده کدام است ؟

$$167 \quad (1) \quad 200 \quad (2) \quad 430 \quad (3) \quad 793 \quad (4)$$

۱۵- در یک برج تقطیر مطابق شکل روبرو ، یک کندانسور جزئی مورد استفاده قرار می گیرد. محصول بالا به

صورت بخار از واحد خارج می شود. مقدار آن برابر است با $D = \text{komole} / \text{hr}$ سیال سرد کننده آب

$$C_p = 4/2 \text{ kJ/kgoc} \quad \text{گرمای نهان تبخیر بخار،} \quad \lambda = 8/4 \times 10^3 \text{ kJ/kgoc} \quad \text{و نسبت مایع برگشتی} = 4 =$$

R است . میزان آب سرد مورد نی از چند kg/hr است ؟ (اختلاف دمای آب ورودی و خروجی از

کندانسور 5°C است.)

$$8 \times 10^3 \quad (1) \quad 8/4 \times 10^3 \quad (2) \quad 10 \times 10^3 \quad (3) \quad 144 \times 10^5 \quad (4)$$

۱۶- در دیاگرام مک کیب - تیلی ، مفهوم فیزیکی خط کار ، عبارت است از مکان هندسی نقاطی که در آنها

.....

(1) اختلاف بین جریان جرمی مایع و بخار ثابت است .

(2) اختلاف بین جریان مولی مایع و بخار ثابت است

(3) غلظت بخار و مایع عبوری با هم برابر است

(4) غلظت بخار و مایع عبوری باهم در تعادلند

۱۷- در یک برج تقطیر سینی دار ، خوراک به صورت فوق اشباع (Super heated vapor) وارد برج می

گردد ، شیب خط خوراک (q line) چگونه است ؟

(1) بی نهایت (2) بزرگتر از یک (3) بین صفر و یک (4) منفی

۱۸- در عمل تقطیر در برجهای سینی دار مداوم ، شیب خط عملیاتی بخش زیر خوراک برابر با $\frac{y_{m+1}}{x_m + x_w}$

گزارش شده است .

m شماره یک سینی غیر مشخص در این بخش و xw جزء مولی ماده فراتر در محصول پایین برج تقطیر است

. به نظر شما نحوه حرارت دهی برج با استفاده از کدام وسیله بوده است ؟

(1) بخار مستقیم (Open Steam) در پایین برج

(2) خوراک قبل از ورود به برج تقطیر با مایع خروجی از پایین برج تبادل حرارتی کرده است .

(3) یک جوش آور غیر تعادلی

(4) یک جوش آور تعادلی

۱۹- برج تقطیری که یبرای جدا سازی یک مخلوط دو جزئی به کار می رود ، در مختصات Hxy ، ۴ قطب (

نقطه تفاضل) دارد . این برج دارای چند خوراک و چند محصول جانبی است ؟

(1) 2و2 (2) 1و2 (3) 3و4 (4) 4و3

۲۰- معادله خط خوراک یک مخلوط دو جزئی به صورت $y = -1/5 X + 1$ می باشد، این مخلوط هنگام ورودی

به برج به صورت

(1) مایع سرد

(2) بخار داغ شامل 60% مولی A

(3) دوفازی 60% مایع و شامل 40% مولی جزء فراتر

(4) دوفازی 40% مایع و شامل 40% مولی جزء فراتر

۲۱- در صورت استفاده از مایع برگشتی سرد در یک ستون تقطیر رابطه نسبت مایع برگشتی ظاهری R' و

نسبت مایع برگشتی واقعی R کدام است ؟

(1) $R' > R$ (2) $R' = R$ (3) $R' < R$ (4) $R' > 1/2 R$

۲۲- از یک خوراک دو جزئی با ۵۰% مولی جزء فراتر که به صورت بخاراشباع وارد برج تقطیر می شود ،

محصولاتی با ۹% و ۵% مولی جزئی فراتر در بالا و پایین برج مورد نظر می باشد. در صورتیکه ضریب سیستم

ثابت و برابر با ۳ باشد ، مقدار حداقل نسبت مایع برگشتی برابر است با :

(1) 0/6 (2) 1 (3) 1/6 (4) 2/5

۲۳- با کاهش نسبت جریان برگشتی در برج شیب خط مماس بخش غنی سازی :

(1) بزرگتر شده و تعداد سینی های لازم کاهش می یابد .

(2) بزرگتر شده و تعداد سینی های لازم افزایش می یابد .

(3) کوچکتر شده و تعداد سینی های لازم افزایش می یابد .

(4) کوچکتر شده و تعداد سینی های لازم کاهش می یابد .

۲۴- در یک برج تقطیر ، خوراک ورودی به برج صورت مایع تک فاز اشباع ومخلوطی از دو ماده A , B به

غلظت Z_{AF} می باشد. برای تفکیک A از B به صورت صد در صد کامل ، ضریب ریفلاکش می نیمم را از

کدامیک از فرمولهای زیر می توان محاسبه نمود(α ضریب فرار است)

(1) $R_{min} = 1/[Z_{AF}(\alpha - 1)]$ (2) $R_{min} = \alpha/[Z_{AF}(\alpha - 1)]$

(3) $R_{min} = (\alpha - 1)/Z_{AF}$ (4) هیچکدام

۲۵- 100 kmole از محلولی شامل اجزاء A (جزء فرارتر) و B را که جزء مولی اولیه A در آن $X_F = 0.6$ است در یک دستگاه ناپیوسته (Batch) تقطیر می کنیم تا در نهایت 40 kmole مواد در ظرف تبخیر بماند. اگر جزئی مولی A در این محلول نهایی 0.1 باشد. فراریت نسبی این ماده برابر است با :

$$(1) \text{ حدود } 26 \quad (2) \text{ حدود } 50 \quad (3) \text{ حدود } 11 \quad (4) \frac{4}{3}$$

۲۶- در یک ستون تقطیر ، دربخش تصفیه (بالاتر از نقطه خوراک و پایین تر از سینی ۱) یک محصول جانبی به صورت مایع اشباع بادی 5 kmole/s وجود دارد. محصول بالا بادی $D = 20 \text{ kmole/s}$ و مایع برگشتی $R = 2$ است. در این صورت شیب خط عمل (Operating line) منطقه ۲ (پایین تر از محصول جانبی و بالاتر از خوراک) برابر است با :

$$(1) \frac{1}{2} \quad (2) \frac{1}{4} \quad (3) 2 \quad (4) \frac{7}{12}$$

۲۷- در تقطیر یک مخلوط دو جزئی ، معادله خط خوراک به صورت $y = 0.75x + 1/5$ می باشد. حالت خوراک ورودی به برج کدام یک از وضعیت های زیر است ؟

$$(1) \text{ مایع سرد} \quad (2) \text{ بخار سوپر هیت (داغ)} \quad (3) \text{ مایع اشباع} \quad (4) \text{ دوفازی}$$

۲۸- در یک سیستم تقطیر دو جزئی با بخار آب مستقیم (Open steam) که به منظور تفکیک خوراکی به صورت اشباع با جزء مولی فراتر برابر 0.6 به کار می رود ، معادله خط تبادل بالای برج ، $0.75 X + 0.225 = y$ و جزء مولی فراتر در محصول برج 0.1 می باشد. معادله خط تبادل پایین برج به چه صورتی است ؟

$$y = 1/25x - 0/025 \quad (1) \quad y = 1/5x - 0/15 \quad (2)$$

$$y = 1/35x - 0/135 \quad (3) \quad y = 1/15x - 0/015 \quad (4)$$

۲۹- در جداسازی یک مخلوط دو جزئی حداقل تعداد سینی های تئوری یک برج تقطیر ۴ بوده و این برج ، مجهز به یک کندانسور پاره ای تعادلی و یک جوش آور تعادلی می باشد. چنانچه خلوص محصولات بالا و پایین برج به ترتیب $X_D = 0.9$ و $x_W = 0.1$ باشد ، ضریب فراریت سیستمی که در این برج تقطیر می شود چقدر است ؟

$$(1) \text{ حدود } 2 \quad (2) \text{ حدود } 3 \quad (3) \text{ حدود } 2/5 \quad (4) \text{ حدود } 3/5$$

۳۰- در تقطیر دو جزئی با استفاده از روش McCabe، یک جریان جانبی S بین D و F به صورت مایع اشباع و با شدت $S=D$ گرفته می شود، اگر محل تلاقی خط عملیاتی بین S, F با خط $y = x$ برابر 0.7 بوده و جزء مولی جسم فراتر در محصول مقطر $X_D = 0.9$ باشد، جزء مولی جسم فراتر در جریان جانبی چقدر خواهد بود؟

$$X_s < X_f \quad (4) \quad 0.5 \quad (3) \quad 0.7 \quad (2) \quad 0.8 \quad (1)$$

۳۱- در تقطیر دو جزئی با استفاده از روش McCabe، معادله خط خوراک به صورت $y = 0.5x + 0.25$ می باشد. جزء مولی سازنده سبک تر در خوراک چقدر است؟

$$0.5 \quad (4) \quad 0.2 \quad (3) \quad 0.75 \quad (2) \quad 0.25 \quad (1)$$

۳۲- در یک ستون تقطیر، اگر مقایسه ای بین دو حالت ورودی خوراک به صورت مایع سرد و مایع جوش صورت گیرد، (بقیه پارامترهای عملیاتی ثابت) می توان گفت که در حالت مایع سرد تعداد مراحل افزایش می یابد.

(1) کمتر، لیکن قطر ستون در قسمت دفع (2) بیشتر، لیکن قطر ستون در قسمت دفع

(3) بیشتر، لیکن قطر ستون در قسمت جذب (4) کمتر، لیکن قطر ستون در قسمت جذب

۳۳- در یک ستون تقطیر مداوم مخلوطی از آب و استن تقطیر می شود. به جای جوش آور در پایین برج تقطیر از بخارمستقیم (Open steam) استفاده می شود. مولهای استن خروجی از پایین برج 4 mole / hr جزئی مولی استن در جریان خروجی از پایین برج $X_w = 0.4$ و مختصات نقطه تفاضل پایین برج $0.5 = X_{\Delta w}$ می باشد. شدت بخار S چند mole / hr است؟

$$80 \quad (4) \quad 50 \quad (3) \quad 40 \quad (2) \quad 20 \quad (1)$$

۳۴- تقطیر 500 kmole از محلولی شامل A (جزء فراتر) و B که جزء مولی A در این محلول $X_f = 0.6$ است. در یک دستگاه Batch تا باقی ماندن 10 kmole در ظرف تبخیر ادامه می یابد، در این صورت درصد مولی A در محلول باقیمانده برابر کدام مورد است؟

$$50\% \quad (4) \quad 1/68 \quad (3) \quad 20\% \quad (2) \quad 11\% \quad (1)$$

۳۵- ۱۰۰ مول مخلوطی از A , B شامل ۴۰٪ مولی جزء سبک تر A با فراریت نسبی ۲/۵ (ثابت) به صورت دیفرانسیلی تقطیر می شود. تقطیر تا زمانی که ۵۰٪ ماده A تبخیر شود ادامه دارد. در این صورت مولی A در محلول باقی مانده برابر کدام مورد است ؟

- (1) 10% (2) 20% (3) 30% (4) 50%

۳۶- خوارکی به صورت مایع جوش وارد یک ستون می شود. محصول بالا حاوی ۹۵٪ جزء فراتر است. خط عمل بالا (Operating line) خط خوراک را در نقطه ای قطع می کند که مختصات عرض آن $y = 0.5$ است. نسبت مایع حداقل برگشتی برابر است با ۰/۴۵، نسبت مایع برگشتی واقعی چند برابر نسبت مایع برگشتی حداقل است ؟

- (1) 1/11 (2) 2 (3) 2/22 (4) 4

۳۷- در یک برج تقطیر $\frac{100 \text{ lbmole}}{\text{hr}}$ خوراک به صورت مایع اشباع شامل ۵۰ mole % از A و ۵۰ mole % از B به دو محصول یکی شامل ۹۰ mole % A و دیگری شامل ۱۰ mole % A جدا می شود. اگر

حداقل بخار خروجی از ریبولر $70 \frac{\text{lbmole}}{\text{hr}}$ باشد، حداقل نسبت مایع برگشتی این برج چقدر است ؟

- (1) 0/8 (2) 0/6 (3) 0/4 (4) 0/2

۳۸- در یک عملیات تبخیر ساده (Simple vaporization) درجه حرارت دیگ تبخیر ثابت باقی مانده و عمل تبخیر نیز ادامه داشته است. در این حالت ... است.

- (1) این شرایط میسر نیست و در آزمایش خطا وجود داشته یافته.
- (2) مایع داخل دیگ خالص بوده و فشار کل مراتب افزایش یافته
- (3) مایع داخل دیگ در نقطه آزنوتروپ بوده و فشار سیستم نیز ثابت بوده
- (4) مایع داخل دیگ در نقطه آزنوتروپ بوده و فشار سیستم نیز مرتب افزایش یافته

۳۹- در یک برج تقطیر سینی دار که یک مخلوط دو جزئی ایده آل با ضریب جداسازی (فراریت) $2/5$ را به وسیله بخار آب تفکیک می کند، معادله خط کار (Operating line) مربوط به غنی سازی برج $36/0$ و $60/0$ و مربوط به عریان سازی برج $1 - y = 2x$ می باشد. حداقل تعداد سینی های این برج کدام است؟

4/5 (1) 5/5 (2) 7/3 (3) 8/8 (4)

۴۰- برای یک مخلوط دوتایی، دو معادله تعادل به شکل زیر داده شده است؟

$$\text{II: } \frac{2/7x}{1/7x+1} \quad \text{I: } y = \frac{2x}{2x+1}$$

در این صورت کدام اظهار نظر صحیح می باشد؟

- (1) برای یک مخلوط دو تایی نمی توان بیشتر از یک معادله تعادل انتظار داشت.
- (2) این دو معادله برای دو فشار متفاوت داده شده و فشار I بیشتر از فشار II بوده است.
- (3) این دو معادله برای دو فشار متفاوت داده شده و فشار II بیشتر از فشار I بوده است.
- (4) این دو معادله در دو غلظت متفاوت می باشد. معادله I برای جزء مولی های نزدیک به یک و معادله II برای جزء مولی های نزدیک به صفر کاربرد دارند.

۴۱- در شکل مقابل - شیب خط عملیاتی در منطقه ۲ کدام است؟ ($R = 2$)

0/25 (1) 1/75 (2) 1/25 (3) 1/75 (4)

۴۲- داده های تعادلی سیستم شیمیایی دو جزئی به شرح زیر در شرایط عملیاتی خاص داده شده است.

X	0	0/1	0/2	0/3	0/4	0/5	0/6	0/7	0/8	0/9	1/0
Y	0	0/17	0/24	0/4	0/47	0/58	0/65	0/73	0/78	0/8	1/0

در این صورت می توان گفت:

- (1) سیستم ایده آل است و آزنوتروپ ندارد.
- (2) سیستم دارای نقطه آزنوتروپ با مینیمم جوش است.
- (3) اطلاعات برای تشخیص آزنوتروپ کافی نیست.
- (4) سیستم دارای نقطه آزنوتروپ با ماکزیمم جوش است.

۴۳- جریانهای جانبی که از برج تقطیر می توانند بدست آیند با چه حالت ترمودینامیکی هستند ؟

1) مایع غیراشباع 2) بخار اشباع 3) مخلوط مایع و بخار 4) مایع اشباع

۴۴- در روش Mc Cabe برای حل مسائل تقطیر ، وقتی شیب خط خوراک (q line) مثبت باشد می توان

گفت :

1) خوراک مایع سرد است .

2) خوراک بخار فوق اشباع است .

3) خوراک مخلوطی از مایع و بخار است .

4) خوراک ممکن است مایع سرد (Subcool) و یا بخار فوق اشباع (Subper heated) باشد.

۴۵- مخلوط ۵۰٪ A و ۵۰٪ B تبخیر ساده می شود و معادله تعادلی این مخلوط به صورت $y = \frac{2x}{x+1}$ می

باشد ترکیب محصول تبخیر (مایع جمع آوری شده) می تواند چند درصد A داشته باشد ؟

1) 66% 2) 68% 3) 69% 4) 71%

جواب تستهای فصل چهارم انتقال جرم و عملیات واحد

(1) گزینه 3 صحیح است .

$$-\frac{W}{D} = \frac{y_D - z_F}{x_w - z_F} \Rightarrow \begin{cases} w = 0/5 \times F \\ D = 0/5 \times F \end{cases} \Rightarrow 1 - \frac{y_D - 0/6}{x_w - 0/6} \Rightarrow y_D = 1/2 - x_w$$

از طرفی در حالت تعادل داریم

$$y = \frac{\alpha x}{1 + (\alpha - 1)} \cdot 1/2 \Rightarrow y_D = \frac{2x_w}{1 + x_w}$$

مشاهده می شود که تنها گزینه سوم است که در رابطه اولی صدق می کند ولی جواب با قرار دادن رابطه دوم در رابطه اول و حل معادله درجه دوم بدست می آید.

$$\frac{2x_w}{1 + x_w} = 1/2 - x_w \Rightarrow x_w^2 + 1/8x_w - 1/2 = 0 \Rightarrow \begin{cases} x_w = 0/52 \\ y_D = 0/68 \end{cases}$$

(2) گزینه 4 صحیح است . با استفاده از مطالب فصل 2 در مورد راندمان سینی ها نتایج زیر حاصل می شود .

$$y_{n+1} = 0/8 , y_n = 0/8 , x_{n+1} = 0/85 , x_n = 0/8$$

$$\begin{cases} E_{mr} = \frac{y_n - y_{n+1}}{y_n^* - y_{n+1}} = \frac{0/9 - 0/8}{0/94 - 0/8} \cong 0/71 \\ y_m^* = \frac{\alpha x_n}{1 + (\alpha - 1)x_n} = \frac{4x_n}{1 + 3x_n} = \frac{4 \times 0/8}{1 + 3 \times 0/8} = 0/94 \end{cases}$$

(3) گزینه 1 صحیح است . می دانیم که خط خوراک و خطوط تبادل در یک نقطه همدیگر را قطع می کنند بنابراین با قطع دادن دو خط تبادل یکی از نقاط خط خوراک بدست می آید و از طرفی چون z_f معلوم است (این نقطه روی خط 45 می باشد) بنابراین نقطه دیگری نیز موجود می باشد همانطور که می دانید از دو نقطه فقط یک خط عبور می کند که در اینجا خط خوراک می باشد .

$$\begin{cases} y = 0/6x + 0/32 \\ y = 2x - 0/1 \end{cases} \Rightarrow x = 0/3 , y = 0/5$$

نقطه تقاطع سه خط

از طرفی $z_f = 0/5$ بنابراین (0/5 , 0/5) نقطه دیگر خط خوراک می باشد.

با توجه به فرمول خط خوراک

$$y = \frac{q}{q-1}(0/3) - \frac{x}{q-1}$$

مقدار ضریب زوایه خط خوراک برابر $\frac{q}{q-1}$ می باشد بنابراین

$$\frac{q}{q-1} = \frac{y-z_f}{x-z_f} = \frac{0/5-0/5}{0/3-0/5} = 0 \Rightarrow q = 0$$

و این نشان می دهد که خوراک بصورت بخار اشباع وارد برج شده است.

4- گزینه 4 ، در جزوه نشان داده شده است .

(5) گزینه 1 صحیح است .

خوراک بخار اشباع

$$F = 100 \text{ , } D = 20 \text{ , } w = 80 \frac{\text{kmol}}{\text{hr}} \text{ , } R = \frac{L_0}{D} = 5$$

$$G_{m+1} = L_m - w = 5D - w = 5 \times 20 - 80 = 20$$

راه اول

$$\text{خوراک بخار اشباع} \Rightarrow L = \bar{L}$$

$$\begin{cases} G_{n+1} = G_{m+1} + F \\ G_{n+1} = L + D = 6D \end{cases} \Rightarrow G_{m+1} = 6D - F = 6 \times 20 - 100 = 20$$

راه دوم

(6) گزینه 2 صحیح است . با توجه به اینکه نقطه D (نقطه شروع خط تبادل غنی سازی) در نمودار xy بر خط 45 واقع

است اما نقطه w پایین نقطه D است یعنی $X_D > X_w$ بنابراین خطوط داده شده را با خط $y = x$ تقاطع می

دهیم تا X_D و X_w بدست آید.

$$\begin{cases} y = 0/6x + 0/32 \\ y = x \end{cases} \Rightarrow x_D = 0/8$$

$$\begin{cases} y = 2x - 0/1 \\ y = x \end{cases} \Rightarrow x_w = 0/1$$

(7) گزینه 3 صحیح است . چرا که در رفلاکس کامل اصلاً خوراکی وارد برج نمی شود.

(8) گزینه 4 صحیح است . با مقایسه غلظت دو خوراک می توان پی برد که کدامیک بالاتر وارد می شود . جزء مولی ماده فرار در مایع تصویری در حال تعادل با خوراک (مایع موجود روی سینی خوراک ورودی) در حال تعادل با خوراک I (بخار اشباع) به کمک رابطه تعادل قابل محاسبه است .

$$y = \frac{\alpha x}{1 + (\alpha - 1)x} \Rightarrow y = 6 = \frac{2/5x}{1 + 1/5x} \Rightarrow x = 0/38 < x_H$$

از طرفی هر چه به سمت پایین برج پیش می رویم جء مولی قرار در فاز مایع کمتر می شود پس خوراک II بالاتر از خوراک I وارد برج می شود.

(9) گزینه 3 صحیح است . مبناء را kmol از محصول D در نظر می گیریم در این صورت $L = 2 \times 1 = 2 \text{ kmol}$

$\frac{L}{D} = R$ چون کندانسور کامل می باشد بنابراین تمام G_1 که به $L + D$ تبدیل شده مایع شده است بنابراین :

$$Q_C = \lambda \times G_1 = \lambda \times (L_1 + D) = 40000 \times 3 = 120000 \text{ ki/kmol}$$

(10) گزینه 3 صحیح است می دانیم که غلظت متوسط y_{av} بین مقدار y اولیه یعنی y در تعادل با خوراک و مقدار y نهایی یعنی y در تعادل با X_w می باشد.

$$x_f = 0/5 \Rightarrow y_1 = \frac{\alpha x}{1 + (\alpha - 1)x} = \frac{2/5 \times 0/5}{1 + 1/5 \times 0/5} = 0/714$$

$$x_w = 0/3 \Rightarrow y_2 = \frac{2/5 \times 0/3}{1 + 1/5 \times 0/3} = 0/517$$

$$y_2 < y_{av} < y_1$$

با توجه به جوابها تنها گزینه (1) می تواند درست باشد.

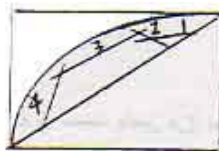
11- (گزینه 3) از مقایسه شیب این چهار خط تبادل مشاهده می شود که : شیب خط تبادل دوم نسبت به اول کم

شده است و از آنجا که شیب خط تبادل در حالت کلی به صورت $\frac{L_S}{G_{S+1}}$ می باشد لذا L_S از بالا تا محل تلاقی خط

تبادل دوم و سوم کم شده است. این استدلال به این معنی است که جریانی از برج خارج شده است

$(L_S = G_{S+1} - S - D)$ از طرف دیگر از بعد از محل تلاقی خط تبادل دوم و سوم شیب خطوط تبادل افزایش از طرف دیگر از بعد از محل تلاقی خط تبادل دوم و سوم شیب خط تبادل افزایش یافته است که است که به معنی افزایش جریان مایع برگشتی داخل برج در اثر ورود یک جریان اضافی مثل خوراک می باشد. این مورد در خط تبادل آخری هم مشاهده می شود پس یک خوراک دیگر هم وارد شده است لذا در مجموع این برج دارای دو خوراک و یک محصول جانبی می باشد.

روش دیگر استدلال به این صورت است که خط تبادل دوم از خط 45 فاصله گرفته پس تعداد مراحل در این بخش زیاد تر شده و این بدین معنی است که جریان برگشتی در برج کاهش یافته پس محصول از برج خارج شده است ولی شیب دو خط تبادل بعدی افزایش یافته و از منحنی تبدالی فاصله گرفته پس تعداد مراحل در این دو بخش کمتر شده و این به معنی است که جریان برگشتی افزایش یافته پس جریانی در هر دو بخش به برج وارد شده است.



12- گزینه 2 ، موازنه جرم جزء A به صورت زیر خواهد بود

$$FZ_f = D y_D + W X_x, D = 0/25F \Rightarrow W = 0/75 F$$

$$Z_f = 0/15, y_D = 1/75 X_W$$

با جایگذاری در معادله اول خواهیم داشت

$$F \times 0/15 = 0/25F \cdot y_D + 0/75F \cdot \frac{y_D}{1/75} \Rightarrow \frac{1/74 \times 0/15}{1/74 \times 0/25 + 0/75}$$

13- گزینه 1 ، همانطور که می دانید برای محصول جانبی فرمول زیر برقرار است .

$$Y_{S+1} = \frac{L_S}{G_{S+1}} X_S + \frac{DX_D + S'XS'}{G_{S+1}}, G_{S+1} = L_{S=} + S' + D, L_n = L_S + S'$$

بنابراین شیب خط عملیاتی بین محصول جانبی و نقطه ورودی خوراک چنین محاسبه می شود.

پس مقدار q منفی خواهد بود ($q < 0$ برای فوق اشباع) از طرفی ضریب زاویه خط تبادل $\frac{q}{q-1}$ می باشد و اگر q

منفی باشد مقدار این رابطه مثبت خواهد بود.

18- گزینه 1 ، برای قسمت پایین برج همواره رابطه زیر صادق است .

$$\frac{\bar{L}_m}{\bar{G}_{m+1}} = \frac{y_{m+1} X_w}{X_m - X_w} \Rightarrow \bar{L}_m X_w - \bar{L}_m X_w = \bar{G}_{m+1} Y_{m+1} - \bar{G}_{m+1} X_w$$

ورودی گاز - خروجی گاز = خروجی مایع - ورودی مایع

اما آنچه که در سوال مورد نظر است به صورت زیر می باشد .

$$\frac{\bar{L}_m}{\bar{G}_{m+1}} = \frac{Y_{m+1}}{X_m - X_w} \Rightarrow \bar{L}_m X_w - \bar{L}_m X_w = \bar{G}_{m+1} Y_{m+1}$$

با مقایسه این دو رابطه نتیجه می شود که بخار ورودی به حجم کنترل دارای غلظت صفر بوده و غلظت X_w که همان غلظت دیگر بخار می باشد را ندارد یعنی این بخار از دیگر بخار وارد سیستم نشده بلکه از بیرون برج ، بخاری با غلظت صفر وارد کرده اند.

19- گزینه 2 ، همان طور که می دانید برای یک خوراک ورودی دو قطب لازم می باشد. بنابراین همواره برای n قطب تعداد خوراک ورودی و محصول جانی برابر $n-1$ می باشد حال به توجه به اینکه 4 قطب داریم پس تعداد پس خوراکی و محصولات جانبی برابر 3 می شود. که از بین گزینه ها فقط گزینه 2 مجموع خوراک و محصولاتش 3 می باشد.

20- گزینه 3 ، خط خوراک بصورت زیر می باشد.

$$y = \frac{9}{9-1} x - \frac{Z_f}{9-1}$$

معادله شده $y = 1 - 1/5x + 1$ دارای $-1/5$ و عرض از مبدأ 1 می باشد . از این مفهوم استفاده می کنیم .

$$\frac{9}{9-1} = -1/5 \Rightarrow 9 = -1/59 + 1/5 \Rightarrow 2/59 = 1/5 \Rightarrow$$

$$q = 0/6$$

$$\frac{-Z_f}{9-1} = 1 \Rightarrow \frac{-Z_f}{9-1} = 1Z_f = 0/4$$

یعنی خوراک با جزء مولی 40 % جزئی فراتر و بصورت 60% و 40% بخار وارد برج شده است.

21 - گزینه 1 ، باید توجه داشت که در صورت استفاده از جریان برگشتی سرد ، برای اینکه مایع سرد به مایع اشباع درون بجر تبدیل شود مقداری از بخار موجود در بالای برج رامیعان کرده به همراه خود به پایین می برد که در این

صورت مقدار جریان برگشتی داخلی یا مایعی که از سینی بالا به پایین جریان می یابد بیش از ما یا جریان برگشتی خارجی خواهد بود.

فرمول آن بصورت زیر می باشد :

$$R' = R \left(1 + \frac{C_{Lo} M_{av} (t_{bp.R} - t_R)}{(\lambda m)_{av}} \right)$$

که t_R دمای جریان برگشتی خارجی یا جریان برگشتی سرد می باشد.

$$t_{bp.R} - t_R > 0 \quad \text{دمای جوش مایع برگشتی می باشد و همواره}$$

پس برای جریان برگشتی سرد $R' > R$ می باشد.

22- گزینه 3 ، همان طور که می دانید در حالت حداقل مایع برگشتی ، خطوط تبادل بالا ، پایین خوراک و منحنی تعادل در نقطه ای مانند P همدیگر را قطع کند لذا خط تبادل بالا با معلوم بودن نقطه (X_D, X_D) و نقطه P (نقطه گره) مشخص شود.

(0/9 و 0/9) نقطه بالای خط تبادل

$$p = \begin{cases} y = \frac{ax}{1 + (\alpha - 1)x} = \frac{3x}{1 + 2x} \Rightarrow x = \frac{y}{y + (1 - y)a} \Rightarrow x_p = 0/45 \\ \Rightarrow q = 0 \Rightarrow y_p = z_f = 0/5 \end{cases} \quad \text{نقطه دوم}$$

خط خوراک افقی می باشد یعنی در هر نقطه ای از خط خوراک $y = z_F = 0/5$

$$\text{شیب خط تعادل بالا} = \frac{y_D - y_P}{x_D - x_P} = \frac{0/9 - 0/5}{0/9 - 0/25} = \frac{0/4}{0/65}$$

از طرفی می دانیم که شیب خط تبادل بالا در این حالت $\frac{R_{min}}{R_{min+1}}$ است لذا داریم

$$\frac{R_{min}}{R_{min+1}} = \frac{0/4}{0/65} \Rightarrow Q_{min} = \frac{0/4}{0/25} = 1/6$$

23- گزینه 3 ، با توجه به اینکه شیب خط مماس بخش غنی سازی به صورت $\frac{R}{R+1}$ می باشد ، پس با کاهش R

مقدار شیب کم می شود و خط تبادل از خط 45 xy فاصله بگیریم تعداد سینی ها بیشتر می شود.

24- گزینه 1 ، مانند سؤال 22 عمل می کنیم . قبل از حل توجه داریم که تفکیک 100% A از B ، $X_D=1$ و $X_W=0$ می باشد .

$$y_P = \frac{\alpha Z_F}{1 + (\alpha - 1)Z_f}$$

خط خوراک عمود می باشد و در هر نقطه از خط خوراک $X = Z_F$ می باشد.

$$\text{شیب خط تبادل بالا} = \frac{1 - \frac{\alpha Z_F}{1 + (\alpha - 1)Z_f}}{1 - Z_f} = \frac{1}{1 + (\alpha - 1)Z_f}$$

از طرفی می دانیم که شیب خط تبادل بالا در این حالت $\frac{R_{\min}}{R_{\min+1}}$ می باشد لذا داریم :

$$\frac{R_{\min}}{R_{\min+1}} = \frac{1}{1 + (\alpha - 1)Z_f} \Rightarrow R_{\min} = \frac{1}{(\alpha - 1)Z_f}$$

24- گزینه 1

$$\log \frac{FX_F}{WX_W} = \alpha \log \frac{F(1 - X_F)}{W(1 - X_W)}$$

25 – گزینه 1

$$\log \frac{100 \times 0.6}{40 \times 0.1} = \alpha \log \frac{100 \times 0.4}{40 \times 0.9} \Rightarrow \alpha = 25/7$$

26- گزینه 4 ، می دانیم که شیب خط عمل بصورت زیر می باشند.

$$\text{شیب} = \frac{L_{S'}}{G_{S'+1}}, \quad L_{S'} = L_n - S', \quad \begin{cases} G_{S'+1} = L_{S'} + S' + D \\ G_{S'+1} = D(R + 1) \end{cases}$$

$$\text{شیب} = \frac{L_n - S'}{D(R+1)} = \frac{RD - S'}{D(R+1)} = \frac{2 \times 20 - 5}{20 \times 3} = \frac{35}{60} = \frac{7}{13}$$

27- گزینه 2

$$\begin{cases} y = 0/75X + 1/5 \\ y = \frac{q}{q+1}X - \frac{Z_F}{q-1} \Rightarrow \frac{q}{q+1} = 0/75 \Rightarrow q = -3 < 0 \end{cases}$$

$$q = \frac{H_G - H_F}{H_G - H_L} \quad \text{می دانیم که فقط در حالت بخار داغ } q < 0 \text{ می باشد چرا که}$$

که فقط در حالت بخار داغ $H_F > H_G$ می باشد و مقدار q را منفی می کند.

در ضمن اگر عرض از مبدأ خط خوراک $5/$ باشد ، $Z_F = 6$ شده که غلط واضحی است.

28- گزینه 1 ، چون بخار اشباع می باشد پس $q = 0$ و خط خوراک بصورت زیر می باشد.

$$y = Z_F = 0/6$$

از طرفی می دانیم که خط تبادل بالا و خط پایین و خط خوراک همدیگر را در نقطه ای مانند P معلوم باشد می توانیم

خط تبادل پایین را با داشتن نقطه (X_W, X_W) و نقطه P بدست آوریم .

چنین عمل می کنیم .

$$\text{خط تبادل بالا } y = 0/75 X + 0/225$$

$$\text{خط خوراک } Y = 0/6$$

از تقاطع دو خط بالا نقطه P بدست می آید که به صورت زیر می باشد.

$$0/6 = 0/75X_P + 0/225 \Rightarrow \begin{cases} X_P = 0/5 \\ y_P = 0/6 \end{cases}$$

حال برای جواب دادن به سؤال کافی است که فقط شیب خط تبادل پایین را بدست آوریم.

$$\text{شیب خط} = \frac{y_P - y_W}{X_P - X_W} = \frac{0/6 - 0/1}{0/5 - 0/1} = \frac{0/5}{0/4} = 1/25$$

29- گزینه 1 ، $N_M = 4$ بوده و چون یک کندانسور جزئی و یک جوش آور تعادلی هم موجود است بنابراین 2 مرحله

تعادلی دیگر هم اضافه می شود لذا رابطه Feneske بصورت زیر تصحیح می شود.

$$N_M + 2 = \frac{\log \frac{X_D}{1-X_D} \frac{1-X_w}{X_w}}{\log \alpha_{av}} \Rightarrow 4 + 2 \frac{\log \frac{0/9}{0/1} \times \frac{0/9}{0/1}}{\log \alpha_{av}} \Rightarrow \alpha_{av} \cong 2$$

30- گزینه 3 ، چون محلی تلاقی خط تبادل بالا و خط میانی که همان X_s است در بالای خط $y=x$ قرار دارد . لذا

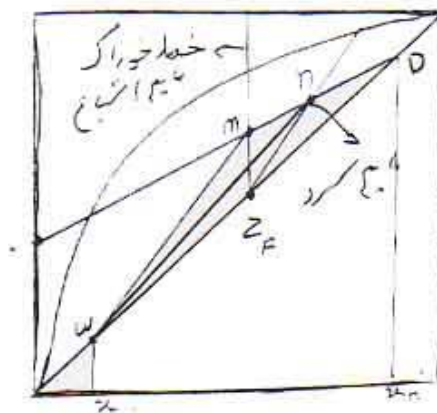
گزینه های 1 و 2 غلط هستند. از طرف دیگر هر چه به طرف بالای برج رویم جزء مولی جسم قرار در جریانها افزایش می

یابد $(X_F < X_s < X_D)$ پس گزینه 4 هم غلط است .

31- گزینه 4

$$\begin{cases} y = 0/5x + 0/25 \\ y = \frac{q}{q-1}X - \frac{Z_F}{q-1} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \frac{q}{q-1} = 0/5 \\ -\frac{Z_F}{q-1} = 0/25 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} q = 1 \\ Z_F = 0/5 \end{cases}$$

32- گزینه 1 ، با توجه به شکل زیر



همان طور که در شکل دیده می شود نقطه n به خط 45 نزدیکتر شده است و این نشان میدهد که تعداد مراحل برای

این نقطه کمتر می باشد از طرفی مایع سرد باعث می شود که مایع زیر سینی خوراک افزایش یافتن مایع در قسمت

پایین برج باید قطر برج را بیشتر کنیم.

33- گزینه 1 ، با توجه به فرمول زیر

$$\frac{WX_w}{W - G_{NP+1}} = X_{\Delta W}$$

با توجه به اینکه

$$X_W = 0/04, W \times X_W = 4 \text{ mol/hr} \text{ و } X_{\Delta W} = 0/05$$

$$W = \frac{4}{0/04} = 100$$

بنابراین

$$\frac{4}{100 - \bar{G}_{NP+1}} = 0/05 \Rightarrow \bar{G}_{NP+1} = 20 \text{ mol/hr}$$

34- گزینه 3

$$F = 500 \text{ kmol}, X_F = 0/6, W = 10 \text{ kmol}, X_W = 0/15$$

$$\log \frac{FX_F}{WX_W} = \alpha \log \frac{F(1-X_F)}{W(1-X_W)} \Rightarrow \log \frac{500 \times 0/6}{10 \times 0/15} = \alpha \log \frac{500 \times 0/4}{10 \times 0/85} \Rightarrow 1/68$$

35- گزینه 3، همانند سوال قبل عمل می کنیم .

$$F = 100 \text{ mol}, X_f = 0/6, \alpha = 2/5, W.X_W = 0/5 \times FX_F$$

$$\log \frac{FX_F}{WX_W} = \alpha \log \left(\frac{F(1-X_F)}{W(1-X_W)} \right) \Rightarrow \log 2 = 2/5 \log \left(\frac{100 \times 0/6}{10 \times 0/85} \right)$$

$$\begin{cases} W(1-X_W) = 45/47 \\ WX_W = 0/5 \times 100 \times 0/4 \end{cases} \Rightarrow W = 65/47, X_W = 0/305$$

36- گزینه 2

$$X_O = 0/95, q = \infty \text{ و مایع جوش } y = 0/5, R_m = 0/45$$

سوال اشتباه مطرح شده منظور از نقطه تقاطع n بوده است اما

شکل ص 17

$$y_n = \frac{X_D}{R+1} \Rightarrow 0.5 = \frac{0/95}{R+1} \Rightarrow R = 0/9$$

$$\frac{R}{R_{\min}} = \frac{0/9}{0/45} = 2$$

37- گزینه 3

$$F = 100 \frac{\text{lbmol}}{\text{hr}}, Z_F = 0/5, X_D = 0/9, X_W = 0/1 \quad \bar{G}_{m+1} = 70 \frac{\text{lbmol}}{\text{hr}}$$

ابتدا با نوشتن موازنه کل برج مقادیر D , W را بدست می آوریم .

$$\begin{cases} 100 \times 0/5 = 0/9D + 0/1W \\ 100 = D + W \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} D = 50 \\ W = 50 \end{cases}$$

با نوشتن موازنه برای قسمت پایین برج خواهیم داشت

$$\bar{L}_m = \bar{G}_{m+1} + W \Rightarrow \bar{L}_m = 120$$

توجه شود که در این روش حل فرض بر این بوده که تعداد مولها در مایع و بخار در طول برج تغییر نمی کند (برابری

مولی)

38- گزینه 3

39- گزینه 1

$$\alpha = 2/5$$

$$y = 0/6X + 0/36 \quad \text{بخش غنی سازی}$$

$$y = 2X - 0/1$$

می دانیم که خط غنی سازی خط 45 درجه را در $Y = X = X_D$ قطع می کند و خط بازیابی خط 45 درجه را در

$Y = X = X_W$ قطع خواهد کرد و با توجه به فرمول

$$N_{M+1} = \frac{\log \frac{X_D}{1-X_D} \frac{1-X_W}{X_W}}{\log \alpha_{av}}$$

N_m تعداد سینی ها و 1- برای حالتی که دیگ بخار را داشته باشیم می توان تعداد حداقل سینی ها را بدست آورد.

$$X_D = 0/6X_D + 0/36 \Rightarrow X_D = 0/9$$

$$X_W = 2X_W + 1 \Rightarrow X_W = 0/1$$

دیگ بخار نداریم

$$N_M = \frac{\log \frac{0/9}{0/1} \times \frac{0/9}{0/1}}{\log 2/5} = 4/76$$

40- گزینه 4 با توجه به فرمول زیر

$$\alpha = \frac{y^*/(1-y^*)}{x/(1-x)} = \frac{y^*/(1-x)}{x(1-y^*)}$$

در صورتی که $x \rightarrow 1$ آنگاه $\alpha \rightarrow 1$ و با دقت کردن به دو معادله داده شده برای معادله اول $\alpha = 3$ و برای معادله دوم $\alpha = 2/7$ پس معادله دوم برای غلظت‌های بالا داده شده چون به مقدار 1 نزدیک می شود.

41- گزینه 1، در حالتی که محصول جانبی S' با غلظت $X_{S'}$ خارج می شود از فرمول زیر می توان خط تبادل از سینی خوارک تا سینی محصول جانبی را بدست آورد.

$$Y_{S+1} = \frac{L_S}{G_{S+1}} x_S + \frac{Dx_D + S'x_{S'}}{G_{S+1}}, G_{S+1} = L_S + S' + D = L_n + D = D(R + 1)$$

$$L = L_n - S' = DR - S'$$

$$D = 20, X_D = 0/9, S' = 25, X_{S'} = 0/3, R = 0/425$$

با جایگذاری در فرمول بالا خواهیم داشت

$$y_{S+1} = \frac{40-25}{60} x_S + \frac{18+7/5}{60} \Rightarrow y_{S+1} = 0/25 x_S + 0/425$$

و بنابراین شیب خط تبادل 0/25 می باشد.

42- گزینه 2، با توجه به دو نقطه

$$x = 0/7 \quad x = 0/8$$

$$y = 0/73 \quad y = 0/78$$

در نقطه اول مقدار y بزرگتر از x بزرگتر از y می باشد پس برای رسیدن از نقطه اول به دوم نقطه ورود داشته که در $y=x$ بوده است و چون این نقطه در غلظت‌های بالا اتفاق افتاده پس آزنوتروپ با مینیمم نقطه جوش خواهد بود.

43- گزینه 4

44- گزینه 4

45- گزینه 1 ، می دانیم که در تبخیر ساده ار در ابتدا $X_D = 0/5$ باشد y_D (جزء A موجود در بخار اولیه) ماکزیمم

مقدار را دارد و پس از گذشت زمان و رسیدن به X_w مقدار y_w کمتر از y_D می باشد پس y_{aV} باید بین y_w و y_D باشد.

حال برای محاسبه y_D چنین عمل می کنیم .

$$y_D = \frac{2 \times 0/5}{0/5 + 1} = 0/666 \cong 0/67$$

از طرفی $y_D < y_{aV}$ بنابراین بین جوابهای موجود (فقط $y = 0/66$ می تواند جواب مسئله باشد.)

فصل پنجم: استخراج از مایعات

استخراج مایع که به آن استخراج با حلال هم گفته می شود، فرآیندی است که در آن اجزای یک محلول مایع بوسیله تماس با یک مایع نامحلول دیگر جدا می شود.

در تمامی این اعمال محلولی که استخراج از آن انجام می شود، « خوراک » و مایعی که خوراک با آن مجاور می شود، « حلال » نامیده می شود. محصولی که از حلال غنی است، « استخراج شده » و مایع باقیمانده که حل شونده از آن جدا شده است، « پس مانده » نامیده می شود.

موارد استفاده از عمل استخراج

- 1- در رقابت با دیگر عملیات انتقال جرم، در مورد محلول های رقیق وقتی آب باید در عمل تقطیر جدا شود، عمل استخراج اقتصادی است.
- 2- جایگزینی برای روشهای شیمیایی: در استخراج مایع واکنشی صورت نمی گیرد، محصول جانبی نیز بدست نمی آید و در نتیجه هزینه آن کمتر است.
- 3- در جداسازی هایی که توسط روشهای دیگر ممکن نیست.

تعادل مایع

علامتها

- 1- A و B مایعهای خالص و غیر محلولی هستند و C حل شونده ای است که در آن دو پخش می شود. B حلال و A و C خوراک استخراج می باشند.
- 2- مقادیر خوراک و محصول و حلال برای اعمال ناپیوسته به صورت جرم و برای اعمال مداوم به صورت جرم بر زمان اندازه گیری می شوند.

E: جرم بر زمان محلول E (استخراج شده)

R: جرم بر زمان محلول R (پس ماند)

B: جرم بر زمان حلال B

کمیت های عاری از حلال (عاری از B) با حروفی که دارای علامت پریم هستند، نشان داده می شوند.

E' : جرم محلول عاری از B بر زمان

$$E = E'(1 + N_E)$$

-3

x: جزء جرمی C در مایع با حلال کم (غنی از A) یا پسماند.

y: جزء جرمی C در مایع حلال (غنی از B) یا استخراج شده

$$X' = X / (1 - X) \quad \text{جزو C بر جرم عاری از C در مایع پسماند .}$$

$$Y' = Y / (1 - Y) \quad \text{جرم C بر جرم عاری از C در مایع استخراج شده .}$$

X: جزء جرمی C در مایع استخراج شده بر اساس عاری از B، جرم C بر (جرم A + جرم C)

$$N = \text{جزء جرمی B براساس عاری از B جرم B بر (جرم A + جرم C)}$$

4- در بحث تعادل موازنه جرم ، و محاسبات مرحله ای ممکن است جزء مولی ، کسر مولی و کیلو مول به جای جزء جرمی ، کسر جرمی و کیلوگرم به کار روند.

مختصات مثلث متساوی الاضلاع

در مثلث متساوی الاضلاع جمع فواصل از هر نقطه داخل مثلث تا سه ضلع برابر با ارتفاع مثلث است.

z AB نشان دهنده درصد C در مخلوط K (40%) است و فاصله نقطه K تا ضلع AC درصد B و فاصله تا ضلع CB درصد A را نشان می دهد. که غلظت B ، 20% و غلظت A برابر 40% است . حال اگر غلظت C (40%) را با غلظت B (20%) و غلظت A (40%) جمع کنیم ، باید مقدار 100% را به ما بدهد و طبق آنچه گفته شد (x جزء جرمی C در مایع غنی از A) $X_K = 0/4$ می باشد. هر نقطه که روی اضلاع مثلث قرار داشته باشد ، نشان دهنده یک مخلوط دو تایی است .

نقطه D به طور مثال یک مخلوط دوتایی شامل 80% A و 20% B است . (چرا که فاصله نقطه D که روی خط AB قرار گرفته ، تا خود خط AB برابر صفر است . پس غلظت C مقدار صفر را خواهد گرفت) تمام نقاط روی خط DC

نشان دهنده مخلوط هایی با نسبت مشابه A به B است . (یعنی $4 = \frac{0/8}{0/2} - \frac{\text{غلظت A}}{\text{غلظت B}}$ در طول خط DC ثابت

می باشد، ولی غلظت A معمولاً کمتر از 80% و غلظت B کمتر از 20% می شود. چرا که یک ماده اضافی مثل C وارد مخلوط می شود. (

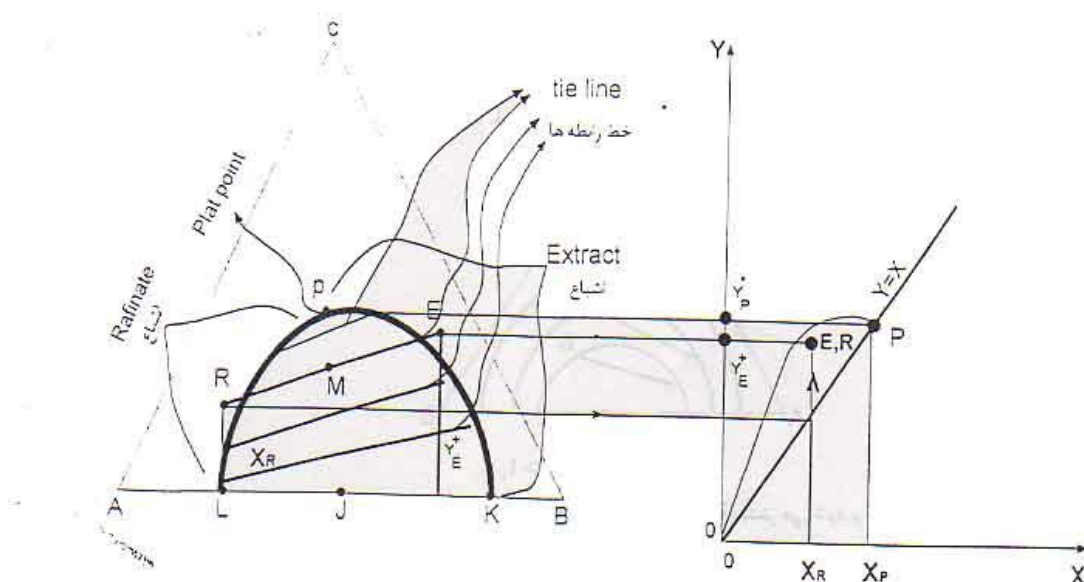
و می توان فرض کرد که مخلوط ابتدا در D بوده و C به آن اضافه شده است اگر مقدار R کیلوگرم از یک مخلوط در نقطه R به E کیلوگرم از مخلوط در نقطه E اضافه شود، مخلوط جدید (طبق قانون گشتاورها) روی خط RE در نقطه M حاصل می شود، به صورتی که:

$$\frac{R}{E} = \frac{\text{Line ME}}{\text{Line RM}} = \frac{X_E - X_m}{X_m - X_R}$$

به طور مشابه اگر از مخلوط M مخلوطی با ترکیب درصد E جدا شود، مخلوط جدید در روی خط EM و در جهت مخالف F است و R با نمایش داده می شود. به طوری که در معادله بالا صدق می کند.

سیستمهای سه گانه مایع با حلالیت جزئی یک زوج

این نوع سیستم یکی از اصلی ترین حالات سیستم های استخراج است.

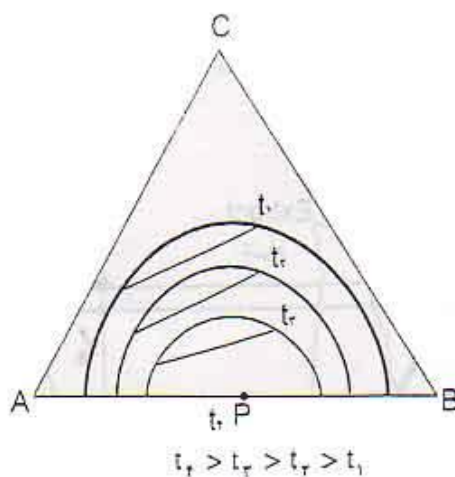


با مراجعه به شکل مشاهده می شود که مایع C به طور کامل در A و B حل می شود. ولی A و B به مقادیر محدودی در هم حل می شوند. که در نهایت به نقاط محلول اشباع در نقطه L (غنی از B) می رسند. هر چقدر A و B در هم نامحلولتر باشند، نقاط L و K به رئوس مثلث نزدیک تر می شوند.

رابط در شکل سمت چپ در جهت دیگری تغییر کند (یعنی مقادیر E کمتر از مقادیر R باشد و نقطه P به سمت راست متمایل شود) به طوری که AC را ترجیح دهد. (یعنی حل شدن C در A بیشتر باشد) منحنی توزیع در زیر $y = x$ قرار می گیرد . برای رسم منحنی سمت چپ با کمک خط بسط ها این کار به راحتی انجام می شود. که برای یک نمونه خط RE را رسم کرده ایم .

اثر درجه حرارت

شکل زیر اثر درجه حرارت بر استخراج مایع مایع را نشان می دهد.



همانطور که در شکل نشان داده شده هرچه دما بالاتر می شود ، حلالیت دوتایی A و B بیشتر می شود و در دمای بالاتر t_4 (دمای بحرانی محلول) کاملاً در هم حل می شوند. یعنی در این صورت فقط یک فاز خواهیم داشت و نمی توان استخراج را انجام داد. پس هر چه دما کمتر باشد ، استخراج بهتر انجام می شود. یک مخلوط دو جزئی مثل J که بین نقاط L و K قرار دارد به دو فاز مایع نامحلول با ترکیب درصد L و K تقسیم می شود. که مقدار نسبی آنها را مطابق معادله (گشتاورها) به موضع J بستگی دارد.

منحنی LRPEK یک منحنی حلالیت دو گره ای است که نشان دهنده تغییرات در حلالیت فازهای غنی از A و غنی از B بر اثر افزایش C است . هر مخلوطی که در خارج این منحنی قرار داشته باشد ، محلول یکنواختی است که یک فاز را تشکیل می دهد. هر مخلوط سه تایی ، مثل M که زیر منحنی قرار داشته باشد ، به دو فاز مایع نامحلول اشباع با ترکیب درصد تعادلی R (غنی از A) و E (غنی از B) تبدیل می شود. خط اتصال بین این ترکیب درصدهای تعادلی خط

رابط Tie Line نامیده می شود، که بایستی از نقطه M که کل مخلوط را نشان می دهد ، عبور کند. تعدادی از خط رابط در شکل رسم شده اند. نقطه P که نقطه پلایت نامیده می شود ، آخرین خط رابط و نقطه ایست که منحنی های حلالیت فازهای R (غنی از A) و E (غنی از B) به هم می رسند. این نقطه در منحنی حلالیت به ندرت با ماکزیمم مقدار C انطباق می یابد.

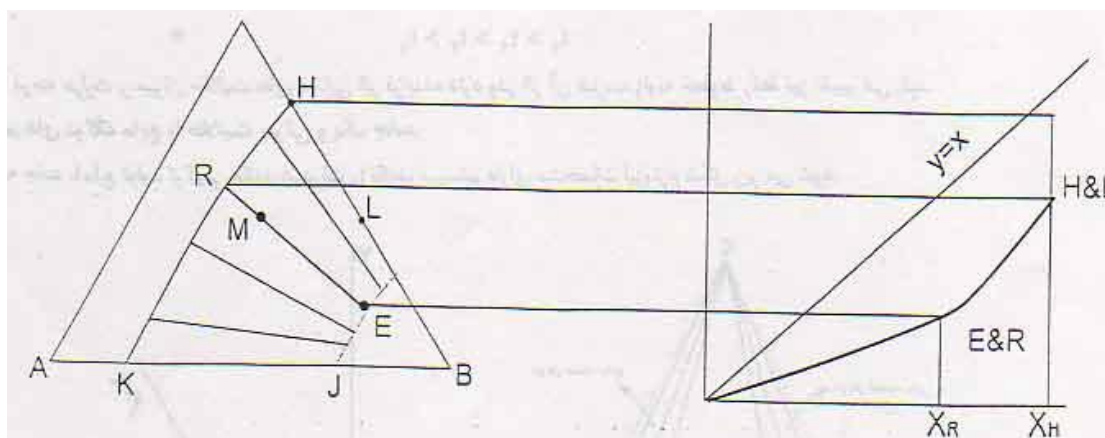
درصد C در محلول E بیشتر از مقدار آن در R است و گفته می شود که پخش شدن C در فاز غنی از B بهتر انجام می شود. این حالت در شکل سمت راست نشان داده شده است که در آن (E و R) بالای خط $y = x$ قرار دارند. کسر y^* / x ضریب توزیع نامیده می شود که در این حالت بیش از یک است .

اثر فشار

به استثنای فشارهای خیلی زیاد اثر فشار روی تعادل مایع آنقدر کم است که عموماً از آن صرفنظر می شود. بنابراین تمام نمودارها باید در فشار های بالا رسم شوند. به طوری که سیستم به طور کامل کندانس باقی بماند. به طور مثال در فشاری بیشتر از فشار بخار محلول به هر ترتیب اگر فشار کمتر از فشار بخار محلول شود ، فاز بخار ظاهر می شود و تعادل مایع به هم می خورد .

سیستم های سه گانه مایع - با حلالیت جزئی دو زوج

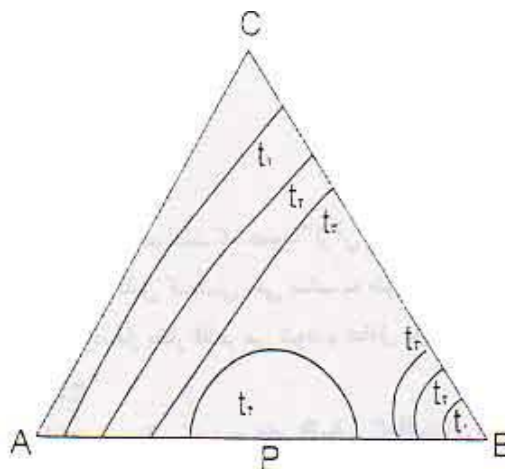
در این نوع سیستم ها A و C به طور کامل درهم محلولند. در حالی که زوج های A-B و B-C دارای حلالیت محدود هستند. شکل پایین نشان دهنده یک ایزومتر است .



در دمای مشخص شده ، نقاط K , J نشان دهنده حلالیت دوتایی A و B و نقاط H و L برای حلالیت B, C هستند. منحنی KPH (غنی از A) و JEL (غنی از B) منحنی های حلالیت سه جزئی هستند و مخلوطهای خارج از باند مشخص شده توسط این دو منحنی محلولهای یک فاز متجانس را تشکیل می دهند. مخلوطهایی مانند داخل ناحیه نامتجانس ، دوفاز مایع در حال تعادی R,E را پدید می آورند. که با خط رابط به هم متصل شده اند. منحنی توزیع در شکل سمت راست رسم شده است .

اثر درجه حرارت

در شکل زیر اثر درجه حرارت به این سیستم نشان داده شده است.

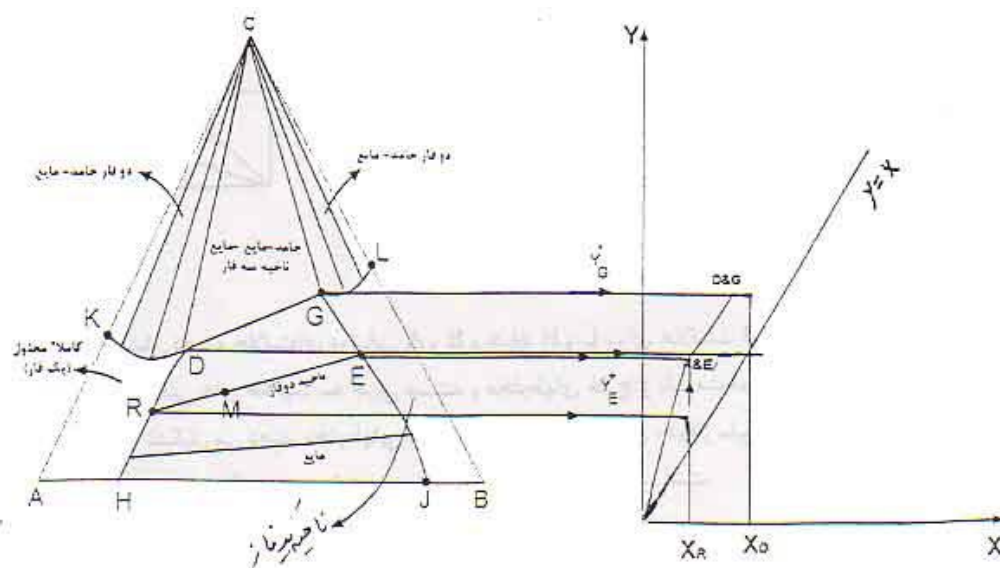


$$t_4 > t_3 > t_2 > t_1$$

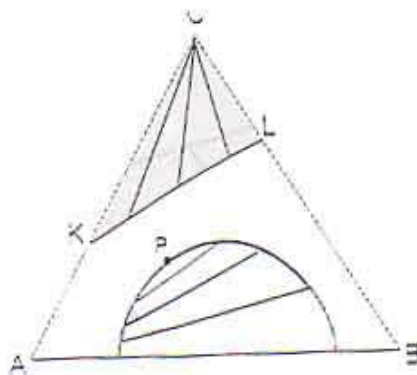
افزایش درجه حرارت برمیزان حلالیت های دو تایی اثر فزاینده دارد و در اثر آن ضریب زاویه خطوط رابط نیز تغییر می کند.

سیستم های دو گانه مایع با حلالیت جزئی و یک جامد

وقتی که جامد با مایع تولید ترکیبی مانند هیدرات را نکند ، سیستم دارای مشخصات ایزوترم شکل زیر می شود.

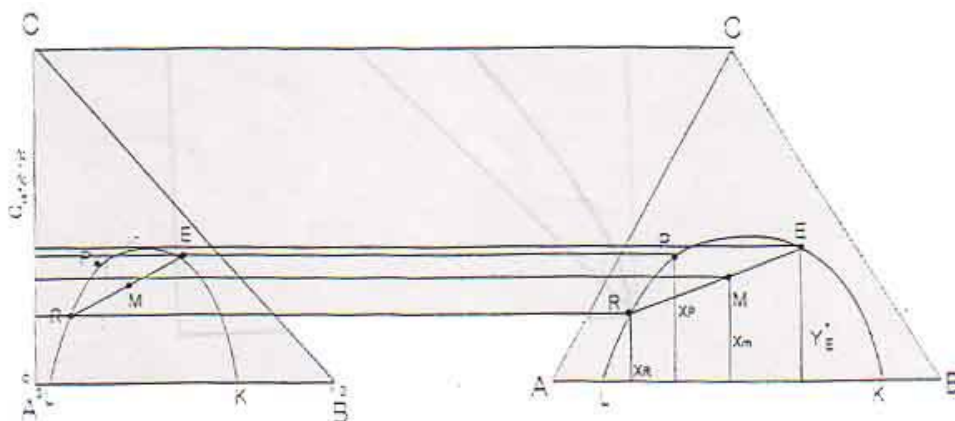


جامد C در مایع A حل می شود تا محلول اشباع در نقطه K را ایجاد می کند و همین طور در مایع B تا سرانجام به نقطه اشباع L می رسد. A و B تنها تا مقادیر نشان داده شده در H و J در هم حل می شوند. مخلوطهایی که در مناطق AKDH و BLGJ قرار دارند، محلول های مایع هستند. منحنی های KD و GL افزایش A و B را روی حالیت C نشان می دهند. در ناحیه HDGJ دو فاز مایع تشکیل می شود. اگر C را به دو مایع نامحلول H و J اضافه کنیم تا مخلوط M به دست آید، فازهای مایع در حال تعادل R و E خواهند بود. که توسط خط رابط به هم مرتبط شده اند. تمام مخلوط های موجود در ناحیه CDG شامل سه فاز هستند. جامد C و محلول های مایع اشباع در D و G. عملیات استخراج مایع معمولاً در ناحیه دوفازی مایع انجام می شود که منحنی توزیع متناظر آن رسم شده است. افزایش دما سبب تغییر سیستم به حالتی که در شکل زیر نشان داده شده، خواهد شد.

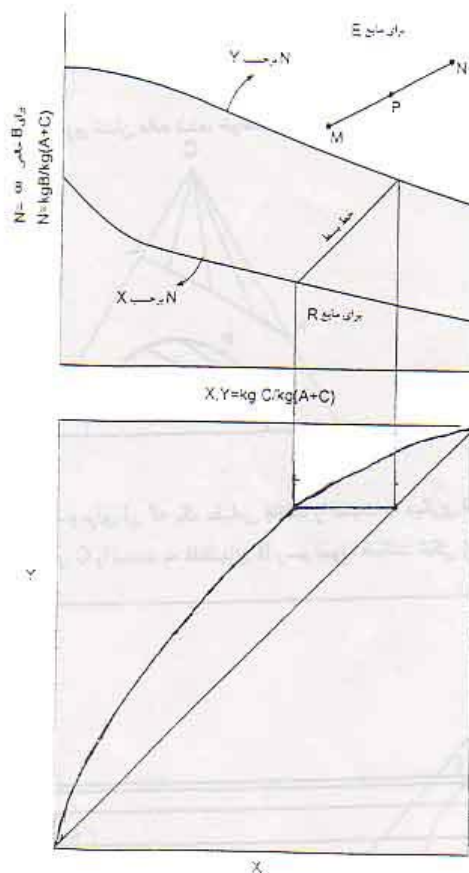


مختصاتهای دیگر

مقیاس مثلث متساوی الاضلاع لزوماً متشابه هستند و برای آن یک مقیاس غلظت را نسبت به دیگری افزایش دهیم ، از مختصات قائم استفاده می کنیم . ب رای این که می توان غلظتهای C را نسبت به B رسم نمود. همانند شکل زیر :



یک سیستم قائم دیگر شامل ترسیم N ، غلظت B نسبت به غلظت C بر اساس عاری از B , X , Y در فازهای غنی از A , B است که در شکل زیر مشاهده می شود.



این نمودار برای سیستمهایی که دارای دو زوج با حلالیت جزئی هستند ، رسم می شود. معمولاً بیشتر در عملیات لیچینگ (استخراج جامد - مایع) کاربرد دارند.

این نمودارها ها کاملاً مشابه نمودارهای آنتالپی - غلظت می باشند و تمام مباحث مربوط به آنتالپی غلظت در اینجا نیز کاربرد دارد.

در استخراج بر اثر افزایش حلال دو فاز حاصل می شود و در تقطیر این دو فاز بر اثر حرارت حاصل می شود. پس می توان عمل حلال را مشابه با حرارت فرض نمود.

قانون اختلاط برای این سیستم با توجه به شکل به صورت زیر می باشد.

$$\frac{M'}{N'} = \frac{Y_N - Y_P}{Y_P - Y_M} = \frac{\text{Line NP}}{\text{Line PM}}$$

که در آن M' و N' وزنه های عاری از B در این مخلوطهاست .

انتخاب حلال

معمولاً حلالهای فراوانی برای عملیات استخراج قابل استفاده هستند اما مشخصات زیر برای انتخاب یک حلال باید مورد توجه قرار گیرد .

1- انتخابی بودن ، موثر بودن حلال B برای جدا سازی محلول C و A با مقایسه کسر C به A در فاز غنی از B نسبت به C به A در حالت تعادل انجام می شود. این نسبت ها ضریب جدا سازی ، یا انتخابی بودن ، β با فراریت نسبی در تقطیر خیلی متشابه است . اگر E و R فازهای تعادلی باشند.

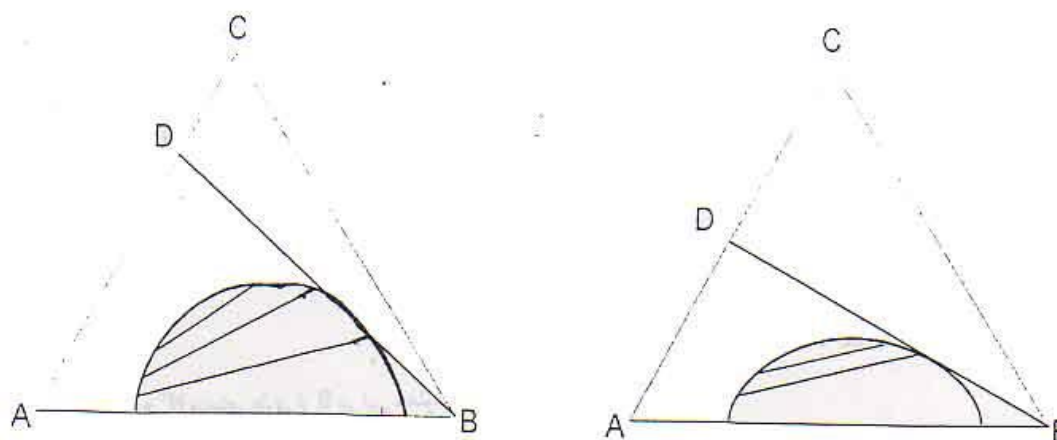
برای آن عمل استخراج موثر باشد ، ضریب جداسازی باید بیش از یک باشد و هر قدر بیشتر از یک باشد ، بهتر است . در حالت سیستمهای سه گانه مایع با حلالیت جزئی یک زوج در نقطه پلایت ضریب جداسازی برابر یک است . در بعضی سیستم ها ضریب جداسازی از مقادیر بزرگ تا مقادیر کسری تغییر می کند و می توان این سیستم ها را با حالت آزنوتروپ در تقطیر مشابه دانست.

2- ضریب توزیع این کمیت کسر Y^*/X در نقطه تعادلی است . با این که لازم نیست این کمیت بیش از یک باشد ،

اما در عین حال مقادیر بزرگتر از آن به علت کم شدن حلال مصرفی بهتر است . $K = Y^*/X$ (مانند کیولیو است

(

3- نامحلول بودن حلال با مراجعه به شکل های زیر مشاهده می شود که برای هر دو سیستم نشان داده شده آن مخلوطهایی از A-C توسط B یا B' قابل جدا سازی هستند که بین A, D قرار دارند. پس مخلوطهایی که غنی تر از C هستند، بر اثر افزایش حلال دو لایه نمی شوند.



برای سیستم های سه گانه مایع - با حلالیت جزئی دو زوج اگر حلالیت C در B کم باشد، (نقطه L نزدیک رأس B باشد) ظرفیت حلال B برای استخراج C کم است و مقدار زیادی حلال برای جدا سازی لازم است.

4- قابلیت بازیابی معمولاً بازیابی حلال مصرف شده برای استفاده مجدد لازم است. حلال باید فراریت بالایی داشته باشد تا به آسانی جدا شود.

5- دانسیته: تفاوت دانسیته بین فازهای مایع اشباع هم در سیستم مرحله ای هم در سیستم مداوم، برای جداسازی شرط مهمی است و هر چه این تفاوت بیشتر باشد، بهتر است.

6- کشش بین سطوح: هر چقدر کشش بین دو سطح بیشتر باشد، پیوستگی ذرات امولسیون بیشتر می شود، در حالیکه پراکندگی یک مایع در دیگری مشکل تر می شود.

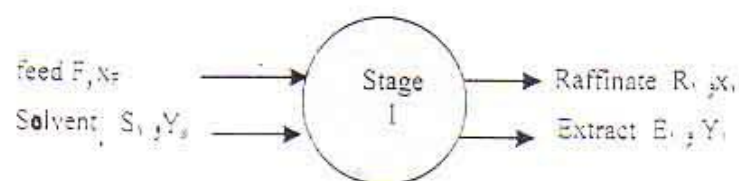
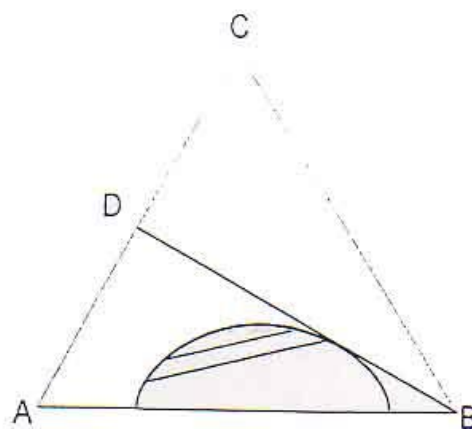
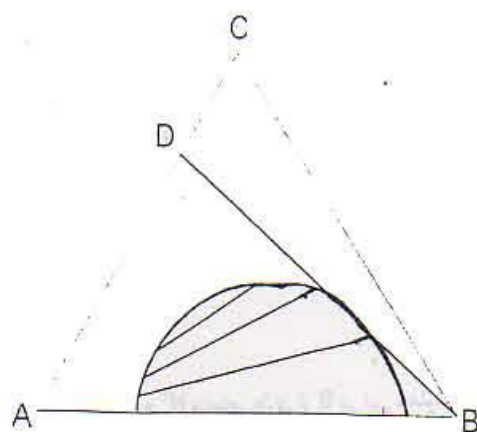
7- فعالیت های شیمیایی: حلال باید از نظر شیمیایی پایدار باشد و نسبت به دیگر اجزاء سیستم و مواد سازنده دستگاه ها خنثی باشد.

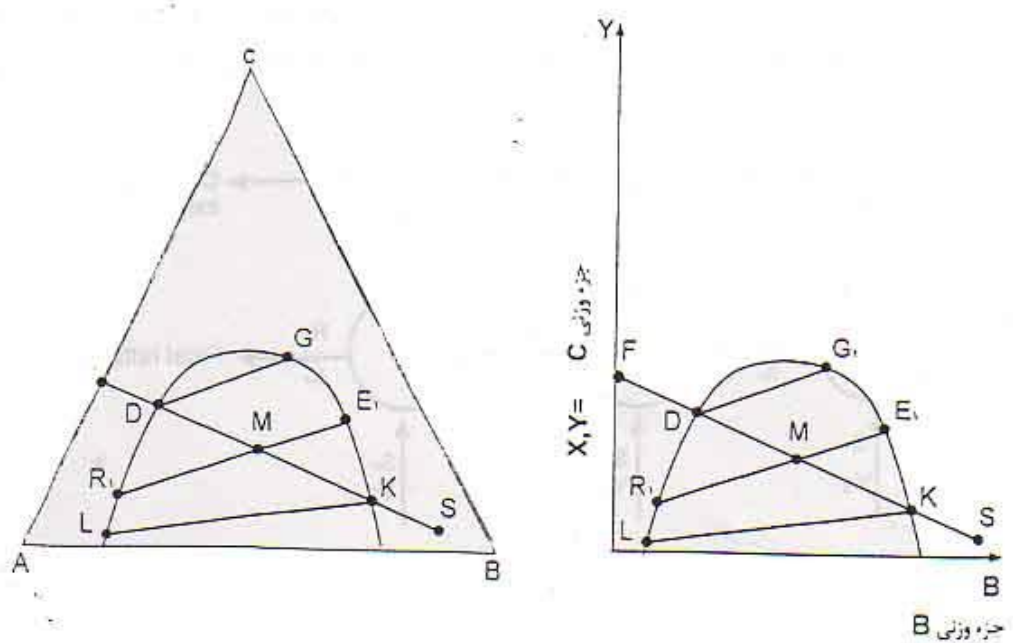
8- ویسکوزیته، فشار بخار و نقطه انجماد این کمیتها برای راحتی حمل و نقل انبار کردن باید کم باشد.

9- حلال نباید سمی و قابل اشتعال باشد.

استخراج تک مرحله ای

با توجه به شکل‌های پایین





معادله مورد نیاز برای این حالت چنین است :

$$\frac{S_1}{F} = \frac{X_F - X_{m1}}{X_{M1} - Y_S}$$

با اضافه کردن S به F مخلوطی به نام m_1 به دست می آید که بعد از ته نشین شدن فازهای تعادلی E_1 و R_1 ایجاد می شوند، که توسط خط ربطی که از نقطه M میگذرد ، به هم متصل شده اند. معادله بالا مقدار این حلال را نشان می دهد.

$$E_1 = \frac{M_1(X_{m1} - X_1)}{Y_1 - X_1}, \quad M_1 = F + S_1 = E_1 + R_1$$

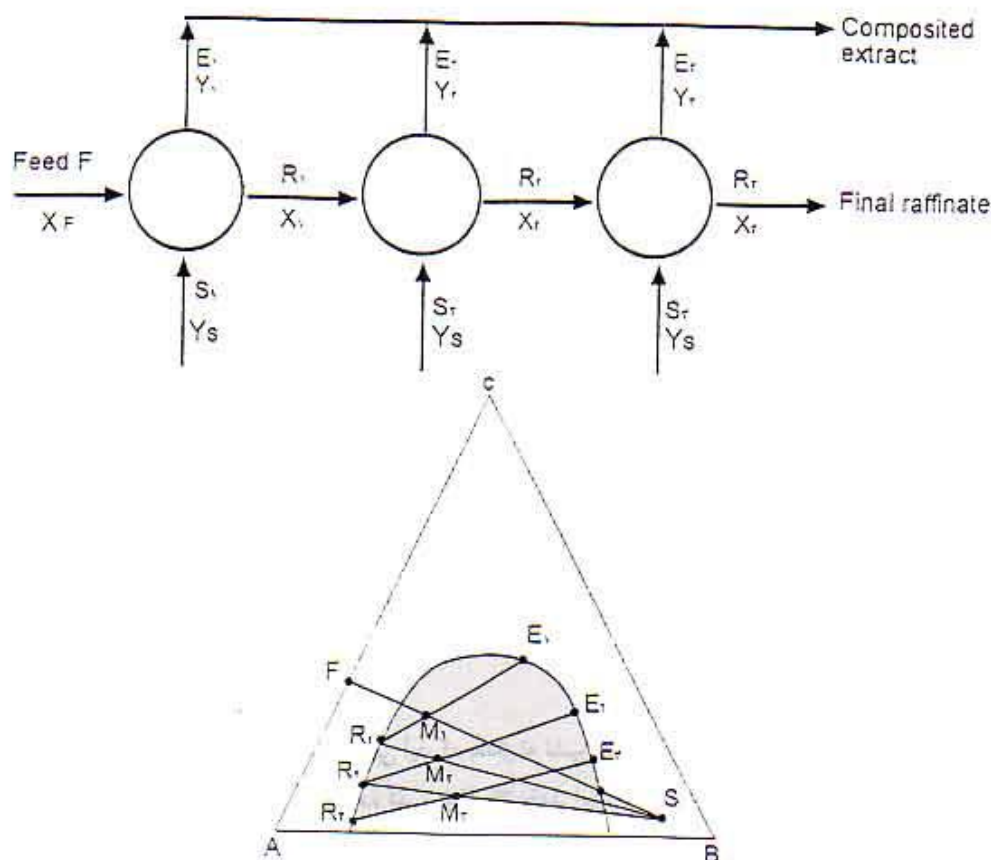
$$R_1 = M_1 - E_1 = M_1 \frac{(Y_1 - X_{m1})}{Y_1 - X_1}$$

چون در عملیات استخراج باید دو فاز نامحلول به دست آید ، نقطه M_1 بایستی در ناحیه نامتجانس نمودار قرار گیرد . پس مقدار مینیمم حلال با قرار دادن نقطه M_1 در نقطه D به دست می آید . که مقدار بی نهایت کوچکی از استخراج در G را می دهد و مقدار ماکزیمم حلال با قرار دادن نقطه M_1 در K به دست می آید که مقدار بی نهایت کوچکی از

پس ماند در L را می دهد. نقطه L نمایانگر پس ماند با کمترین غلظت C است و اگر غلظت کمتری مورد نیاز باشد، حلال بازیابی شده S باید دارای غلظت کمتری از C باشد.

استخراج چند مرحله ای با جریان متقاطع

این روش تعمیمی از استخراج چند مرحله ای است که در آن پس ماند با حلال تازه مجاور می شود که این عمل می تواند مداوم یا غیر مداوم باشد.



برای رسم شکل ابتدا نقاط F و S را داده می شوند، تعیین می کنیم. سپس با داشتن X_n (مرحله آخر) و Y_n (مرحله آخر) که در واقع از خط ربط آخری به دست می آید. چرا که ما می دانیم جزء E_n باید چقدر باشد. با داشتن این جزء Y_n مقدار X_n که از خط بسط بدست می آید، را مشخص می کنیم. سپس با داشتن مقادیر E_n و R_n و X_n و Y_n مقدار m_n را بدست می آوریم. آنگاه خطی که از S و M_n میگذرد، خط ربطی بعدی را در نقطه R_{n-1} قطع می کند. سپس با داشتن نقطه X_{n-1} و Y_{n-1} مقدار m_{n-1} را بدست می آوریم و از این نقطه خطی رسم می کنیم

که از نقطه S نیز بگذرد ، این خط ، خط ربط بعدی را در R_{n-1} قطع می کند و این عمل را آنقدر تکرار می کنیم تا به R_1 و E_1 برسیم ، یعنی اولین مرحله .

معادلات موجود در این قسمت به صورت زیر می باشد :

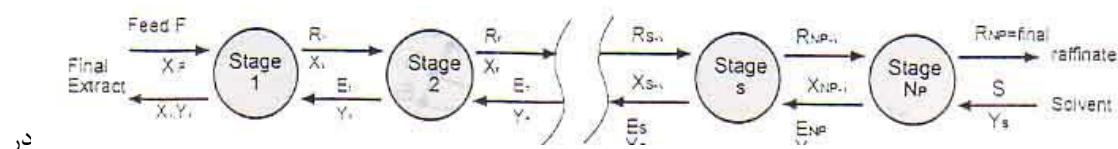
$$\frac{S_n}{R_{n-1}} = \frac{X_{R_{n-1}} - X_{mn}}{X_{Mn} - Y_S}, \quad n=1 \Rightarrow \frac{S_1}{F} = \frac{X_F - X_{m1}}{X_{m1} - X_n}$$

$$E_n = \frac{M_n(X_{m1} - X_n)}{Y_n - X_n}, \quad R_n = \frac{M_n(Y_n - X_{mn})}{Y_n - X_n}$$

در یک غلظت مشخص از جریان پسماند ، هرچه تعداد مراحل بیشتر باشد ، کل حلال مصرفی کمتر خواهد شد.

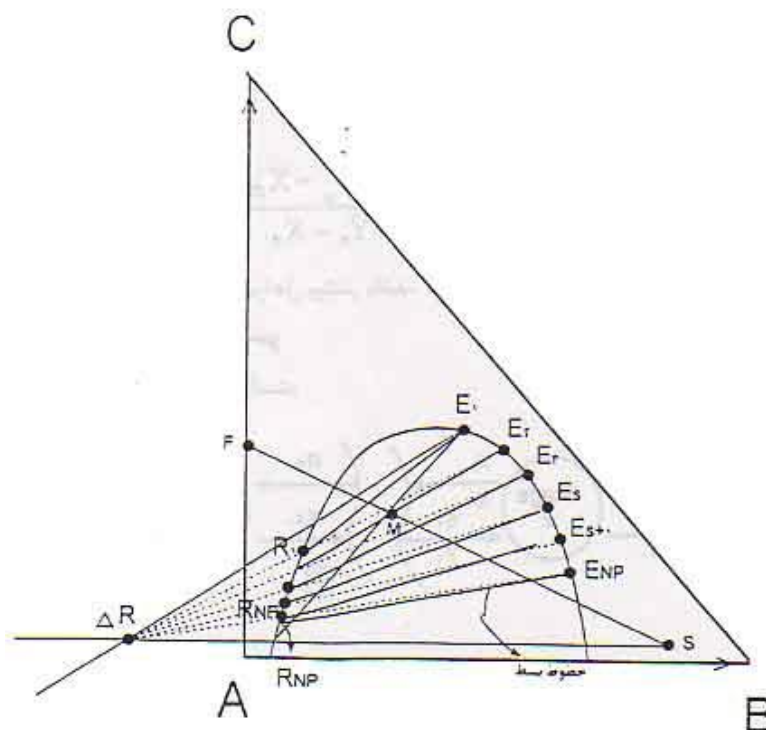
استخراج چند مرحله ای مداوم با جریان های ناهمسو

شکل عملیات برای این نوع استخراج در زیر رسم شده است :



صورتی که مقدار جداسازی ثابت باشد ، این روش با حلال مساوی تعداد مراحل کمتری دارد ، و در صورت ثابت بودن مراحل مقدار حلال کمتری مصرف می شود.

محاسبات ترسیمی در روی مثلث قائم الزاویه شکل صفحه بعد نشان داده شده است:



معادلات مورد نیاز و روش رسم شکل

نقطه M در روی خط FS قرار دارد و مختصات آن چنین بدست می آید :

$$X_m = \frac{F_{XF} + S Y_S}{F + S}$$

همچنین باید توجه داشت که M (بین مرحله اول E_1 و مرحله آخر R_{NP}) باید روی خط $E_1 R_{NP}$ قرار داشته باشد .

از طرفی با توجه به این که معادله زیر را همواره داریم :

$$R_{NP} - S = F - E_1 = \Delta R$$

که در آن ΔR نقطه تفاضلی است که نشان دهنده جریان خالص خروجی در آخرین مرحله است . (البته برای هر دو مرحله این جریان مقدار ثابتی است . چرا که در یک مرحله جریان زیاد شود ، باید به مراحل دیگر اضافه شود و این باعث ایجاد تغییرات با زمان برای هر مرحله از جمله مرحله آخر می باشد.)

همان طور که در شکل دیده می شود ، مطابق معادله بالا ادامه خطوط $E_1 F$ و $S R_{NP}$ باید در ΔR به هم برسند.

گاهی اوقات ممکن است ΔR در سمت راست نمودار قرار گیرد ، با نوشتن موازنه جرم از مرحله S تا NP داریم :

$$R_{NP} - S = R_S - 1 - E_S = \Delta R$$

بنابراین تفاضل جریان ها در مکانی بین هر دو مرحله ثابت و برابر R ؟ است . بنابراین همان طور که در شکل نشان داده

شده است ، خط $E_S R_{S-1}$ باید از نقطه ΔR عبور کند.

برای رسم شکل معمولاً مقدار D و S و Y_S و X_{NP} یا Y_1 را به ما می دهند. سپس با داشتن این مقادیر ابتدا خط

FS را رسم می کنیم . آنگاه مقدار Y_1 را به ما می دهند. سپس با داشتن این مقادیر ابتدا خط FS را رسم می کنیم .

آنگاه مقدار X_m را از معادله بدست می آوریم . و می دانیم که نقطه M روی FS قرار می گیرد . آن را بدست می آوریم .

سپس با داشتن X_{NP} نقطه R_{NP} را بدست آورده ، از این نقطه به نقطه M وصل کرده ادامه می دهیم تا منحنی تعادل

را در نقطه E_1 قطع کند. حال خطی از نقاط S و R_{NP} و خطی دیگر از نقاط E_1 و F عبور می دهیم تا همدیگر را در

نقطه ΔR قطع کنند. سپس با داشتن نقطه E_1 خط بست آن را می کشیم ، تا R_1 بدست آید . خطی از نقطه ΔR

و R_1 عبور می دهیم تا منحنی تعادل را در نقطه E_2 قطع کند. با داشتن نقطه E_2 می توان نقطه R_2 که در تعادل با آن

می باشد ، را بدست آورد. و این عمل را آنقدر تکرار می کنیم تا به نقطه E_{NP} برسیم . (آخرین مرحله)

کمترین مقدار ممکن برای X_{NP} همان مقداری است که از انتهای غنی از A یک خط رابط که از S می گذرد ، به دست

می آید .

با افزایش مقدار حلال ، نقطه M که نشان دهنده موازنه کلی واحد است ، به سمت S حرکت می کند و نقطه ΔR از

سمت چپ فاصله می گیرد . با افزایش مقدار حلال برخلاف آنچه که در شکل نشان داده شده است ، نقطه ΔR در

سمت راست منحنی قرار می گیرد و با افزایش مقدار حلال به نقطه B نزدیکتر می شود. در صورتی که یکی از خطوط

عبوری از ΔR بر یک خط رابط منطبق شود ، تعداد مراحل مورد نیاز برای رسیدن به این حالت بی نهایت می شود.

ماکزیمم مقدار حلال که باعث این حالت می شود ، با مینیموم مقدار نسبت حلال - خوراک که برای بدست آوردن

محصول شخصی مورد استفاده قرار میگیرد ، متناظر است . محل ΔR باید از S دورتر (اگر در سمت چپ است) یا به

S نزدیکتر ، (اگر در سمت راست است) باشد تا تعداد مراحل محدود گردد. هر چه مقدار حلال بیشتر باشد ، تعداد

مراحل کاهش می یابد . معمولاً خط رابطی که در اثر امتداد از F می گذرد ، موقعیت ΔR_m را برای مینیموم حلال

مشخص می کند.

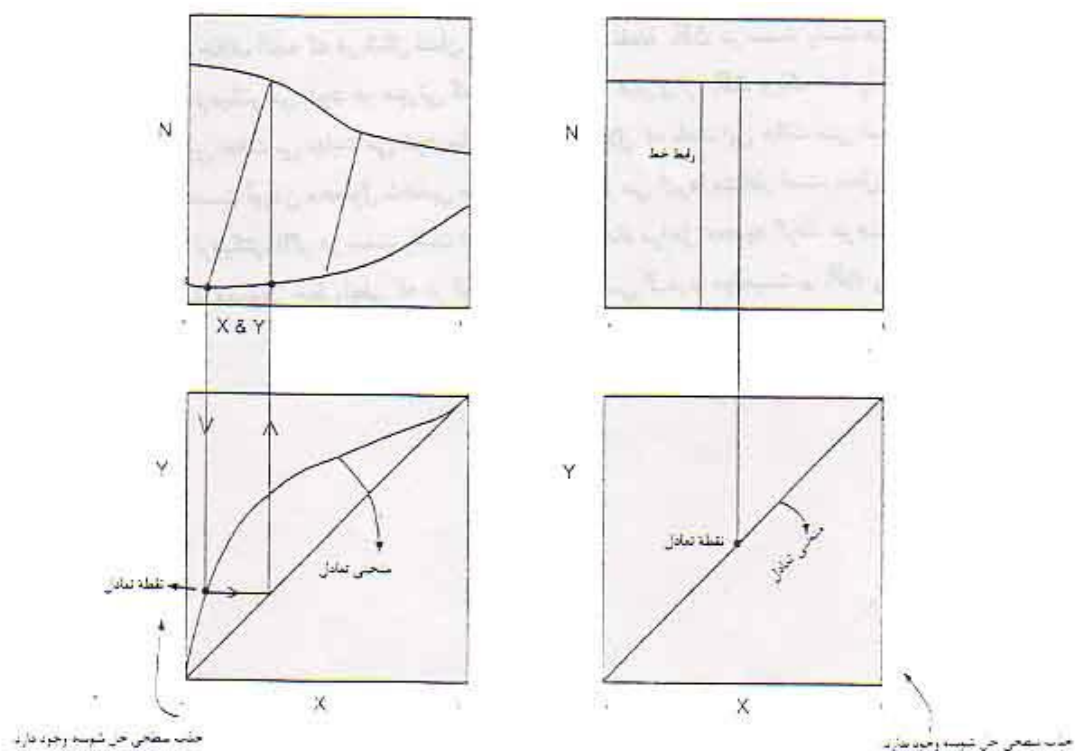
استخراج از جامدات

عمل استخراج از جامد عبارت است از حل شدن انتخابی یک یا چند جزء از یک مخلوط جامد که در تماس با یک محلول مایع قرار گرفته . 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.

درجه حرارت استخراج جامد

معمولاً بهتر است عمل استخراج در درجه حرارت هر چه بالاتر انجام بگیرد. چرا که 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 سبب سرعت می شوند. عملیات استخراج از جامد تحت شرایط ناپیوسته و نیمه پیوسته و همچنین تحت شرایط کاملاً مداوم می تواند انجام گیرد.

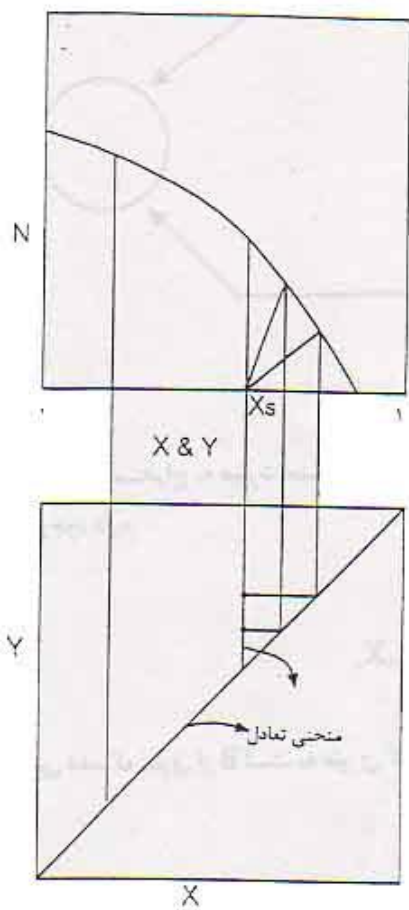
چند نوع دیاگرام تعادلی



حل شونده C دارای حلالیت X_S در حلال A است . محلول صاف شده با غلظتی بیشتر از X_S بوجود نمی آید .

استخراج از جامدات در حالت تک مرحله ای

یک مرحله واقعی استخراج یا شستشو را مطابق شکل زیر در نظر بگیرید :



از آنجایی که در بیشتر موارد جرم B در حلال حل نمی شود ، و محلول استخراج به صورت مایع شفاف بدست می آید ، B موجود در جامد استخراج شده همان است که در جامد استخراج شونده وجود دارد.

$$B = N_F \cdot F = E_1 N_1$$

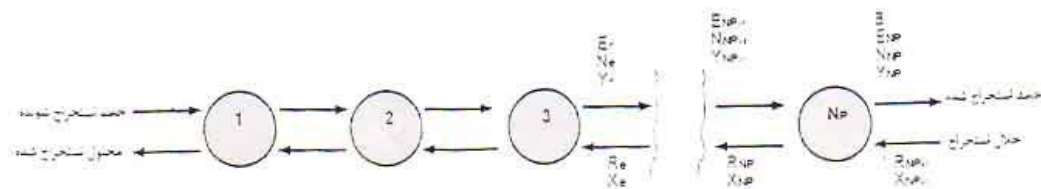
$$F y_F + R_0 X_0 = E_1 Y_1 + R_1 X_1$$

$$F + R = E_1 + R_1 = M_1$$

اختلاط جامد استخراج شونده و حلال مخلوطی با جرم M_1 را می دهد که عاری از B است. به طوری که :

$$N_{em_1} = \frac{B}{F + R_0} = \frac{B}{M_1}$$

$$Y_{m1} = \frac{Y_F F + R \cdot X}{F + R}$$



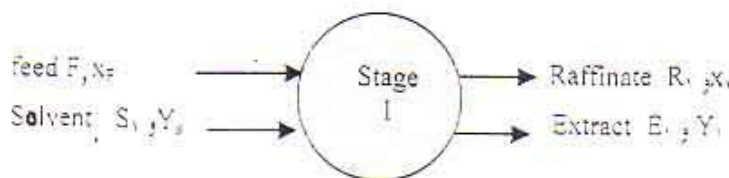
نقطه F نشان دهنده جامد استخراج شونده و R نشان دهنده حلال است. نقطه M_1 مخلوط کلی را نشان می دهد که باید روی خط واصل بین R و F باشد. نقاط E_1 و R_1 نشان دهنده جریانهای خروجی هستند که در دو انتهای خط عبوری از M_1 می باشند و غلظت آنها را می توان از روی نمودار به دست آورد.

استخراج از جامد در حالت چند مرحله ای با جریان متقاطع

با در تماس قرار دادن جامد استخراج شده با حلال تازه حل شونده بیشتری حل می شود و یا از مواد نامحلول شسته می شود. محاسبات برای مراحل بیشتر فقط تکرار روش تک مرحله ای هستند که در آن جامد استخراج شده از هر مرحله خوراک مرحله دیگر است.

استخراج از جامدات به صورت چند مرحله با جریان معکوس

با در نظر گرفتن شکل زیر :



محلول استخراج شده :

$$R_1 = (A+C) \text{ جرم} / (\text{زمان})$$

$$X_1 = C \text{ جرم} / (A+C)$$

جامد استخراج شونده :

$$B = \text{جرم بر زمان (نامحلول)}$$

$$F = \text{جرم} / (A+C)$$

$$Y_F = C \text{ جرم} / (A+C)$$

معادله های مورد نیاز به صورت زیر می باشند :

$$F + R_{NP+1} = R_1 + E_{NP} = M$$

$$Y_{YF} + R_{NP+1} = R_1 X_1 + E_{NP} \quad Y_{NP} = M Y_m$$

$$N_m = \frac{B}{F + R_{NP+1}}, \quad Y_m = \frac{F y_f + R_{NP+1} X_{N+1}}{F + R_{NP+1}}$$

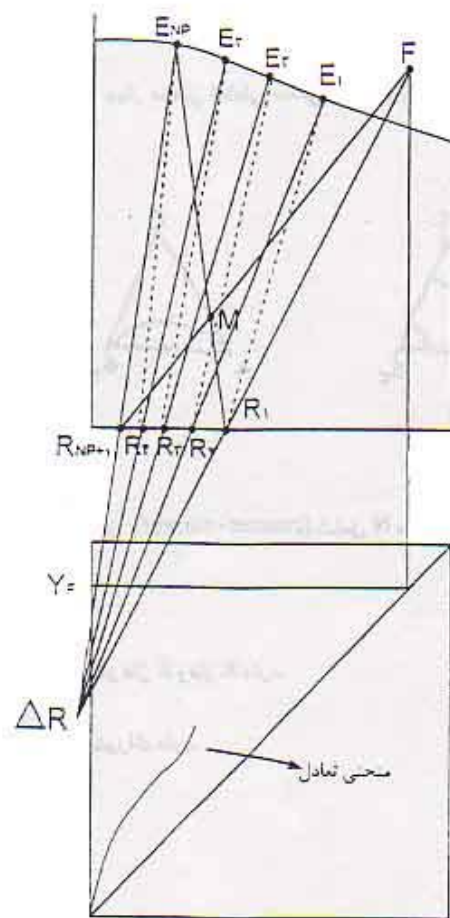
M نشان دهنده مخلوطی فرضی عاری از B است که از اختلاط جامدات استخراج شده و حلال بدست آمده است .

نقاط R_1 و E_{NP} نشان دهنده خروجیهای سیستم هستند و باید روی خط عبوری از M قرار گیرند . و E_{NP} نیز باید روی منحنی تعادل « واقعی » باشد .

می توان موازنه محلول را حول هر تعداد مرحله به صورت زیر نوشت :

$$F - R_1 = E_n - R_{NP+1} = \Delta R$$

ΔR نشان می دهد که اختلاف جریان های E-R بین هر مرحله (معمولاً یک کمیت منفی) مقدار ثابتی است . در شکل زیر این نقطه محل تقاطع امتداد خطوط FR_1 و $R_{NP+1}E_{NP}$ است . چون جریان های خروجی از هر مرحله با خط رابط واقعی بر شرایط مربوط به هم متصل می شوند. E_1 در انتهای خط رابط گذرنده از R_1 است . خط E_1 به ΔR ، R_2 را مشخص می کند و به همین ترتیب .



فصل ششم: انتقال جرم و عملیات واحد

تبخیر

هدف از تبخیر بالا بردن غلظت یک محلول دارای یک حلال فرار و یک حل شونده غیر فرار است. تبخیر با خشک کردن متفاوت است. چون در تبخیر ماده باقی مانده مایع است که اغلب گرانشی بالایی دارند نه جامد، تبخیر با تقطیر نیز متفاوت است، چون در تبخیر، سیستم ها اغلب یک جزئی هستند و اگر بخار تشکیل شده شامل دو جزء باشد، امکان جداسازی از راه تبخیر وجود ندارد.

انواع تبخیر کننده ها

1- تبخیر کننده های عمودی با لوله بلند

الف) جریان رو به بالا

ب) جریان رو به پایین

2- تبخیر کننده های همزن دار

تبخیر کننده با یک مسیر عبوری برای مواد حساس به گرما بسیار مفید است مثل تبخیر کننده با جریان رو به پایین تبخیر کننده های گردشی قادر به کار در محدوده وسیعی از غلظت بین خوراک و محلول غلیظ حاصل هستند و با تبخیر کننده یک مرحله ای سازگاری دارند.

تبخیر کننده های عمودی با لوله بلند در افزایش غلظت مایعاتی که ایجاد کف می کنند، بسیار موثر است. مقدار تغلیظ قابل انجام در دستگاه تک مسیر محدود است. در تبخیر کننده های با جریان رو به پایین، اگر هیچ گردش مجددی وجود نداشته باشد و زمان اقامت مایع کوتاه باشد، در تغلیظ مواد حساس به حرارت که به روش های دیگر قابل تغلیظ نیست به کار می رود. این دستگاه همچنین برای افزایش مایعات با گرانشی بالا به کار می رود.

از تبخیر کننده های با گردش اجباری می توان برای تغلیظ مواد با گرانشی بالا، محلول های دارای نمک، مایعاتی که حساسیت متوسطی به حرارت دارند و محلول هایی که میل به تشکیل کف دارند استفاده کرد.

مزیت اصلی تبخیر کننده همزن دار، توانایی آن در انتقال گرمای سریع مایعات با گرانشی بالا است. در تبخیر کننده های دیگر با افزایش گرانشی ضریب انتقال گرما کاهش می یابد، اما در تبخیر کننده همزن دار کاهش ضریب کمتر

است ، تبخیرکننده همزن دار برای موادی با گران روی بالا و حساس به درجه حرارت ، مثل ژلاتین ، ماده خام لاستیک ،

آنتی بیوتیک ها و آب میوه ها بسیار کاربرد دارد. معایب این دستگاه عبارتند از :

1- هزینه ساخت بالا و قسمت‌های متحرک میانی که باید نگه داشته شوند.

2- ظرفیت پایین دستگاه های تک واحدی نسبت به تبخیر کننده های چند لوله ای

عملکرد تبخیر کننده های چند لوله ای

معیارهای اصلی عملکرد تبخیر کننده لوله ای که با بخار آب گرم می شود ، ظرفیت دستگاه و فاکتورهای اقتصادی است

ظرفیت طبق تعریف برابر تعداد کیلوگرم آبی است که در هر ساعت تبخیر می شود. منظور از فاکتور اقتصادی ، تعداد

کیلوگرم های بخار ایجاد شده به ازای هر کیلوگرم بخار آب است .

$$\left\{ \begin{array}{l} 1 < \text{برای دستگاه تک مرحله ای} \\ 2 < \text{برای دستگاه چند مرحله ای} \end{array} \right. \text{فاکتور اقتصادی}$$

ظرفیت تبخیر کننده

سرعت انتقال گرما ، q در سطح گرم کننده یک تبخیر کننده ، که طبق تعریف ظرفیت کل انتقال گرما است ، به سه

عامل بستگی دارد .

1- مساحت سطح انتقال گرما ، A

2- ضریب انتقال گرمای کل ، U

3- افت دمایی کل ، ΔT

$$q = AU\Delta T$$

برای یک مقدار گرمای معین در تبخیر کننده ($q = \text{const}$) سه حالت زیر ممکن است وجود داشته باشد.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{ظرفیت برابر } q \text{ می باشد} \Rightarrow \text{اگر خوراک در دمای جوش مطابق با فشار مطلق بخار داخل تبخیر کننده باشد} \\ \text{ظرفیت کمتر از } q \text{ می باشد} \Rightarrow \text{اگر خوراک سرد باشد} \\ \text{ظرفیت بیشتر از } q \text{ می باشد} \Rightarrow \text{اگر خوراک دمایی بالاتر از دمای نقطه جوش خود داشته باشد} \end{array} \right.$$

مقدار واقعی افت دما در سطح گرم کننده به موارد زیر بستگی دارد :

1- نوع محلولی که تبخیر می شود

2- اختلاف دما در فشار بین بخار آب و بخار بالای مایع در حال جوش

3- عمق مایع در سطح گرم کننده

افزایش نقطه جوش آب در محلول را صعود نقطه جوش BPE گوئیم .

قاعده دورینگ بدین صورت است که نقطه جوش آب خالص در همان فشار است .

اگر عمق مایع در تبخیر کننده ای زیاد باشد ، نقطه جوش آن در فشار بالای مایع برابر نقطه جوش لایه سطحی مایع است . فشار وارد بر نقطه ای در فاصله Z متر از سطح مایع شامل فشار فضای بخار به علاوه فشار ناشی از اختلاف ارتفاع Z می باشد. در نتیجه این نقطه ، نقطه جوش بالاتر از نقطه جوش سطح است به علاوه وقتی سرعت بالا باشد ، تلفات اصطکاک در لوله ها فشار متوسط مایع را زیاد می کند. در نتیجه در تبخیر کننده های واقعی ، میانگین نقطه جوش مایع در لوله ها بالاتر از نقطه جوش سطح مایع می باشد.

فاکتور اقتصادی تبخیر کننده ها به موارد زیر بستگی دارد.

1- عامل اصلی موثر بر فاکتورهای اقتصادی ، تعداد دستگاه های تبخیر (مراحل) است.

2- دمای خوراک

موازنه آنتالپی برای تبخیر کننده یک مرحله ای

با فرض اینکه هیچ ناشتی یا ماندگی نداشته باشیم ، همچنین جریان گازهای غیر قابل میعان ناچیز باشد همچنین تلفات گرمایی در تبخیر کننده ناچیز باشد .

با این فرض ها به معادلات زیر می رسیم :

$$q_s = m_s^0 (H_v - H_c) = m_s^0 \lambda_s$$

q_s : سرعت انتقال گرما از بخار آب به سطح گرم کننده

H_v : آنتالپی ویژه بخار آب

H_c : آنتالپی ویژه بخش حاصل از میعان

λ_s : گرمای نهان میعان بخار آب

m_s^0 : شدت جریان بخار آب

موازنه آنتالپی برای بخش محلول چنین است :

$$q = (m_F^0 - m^0)H_v - m_F^0H_F + m^0H$$

q : سرعت انتقال گرما از سطح گرم کننده به مایع

H_v : آنتالپی ویژه بخار

H_F : آنتالپی ویژه محلول رقیق

H : آنتالپی ویژه محلول غلیظ

در صورت عدم تلفات گرمایی ، گرمای انتقال از بخار آب به لوله ها برابر گرمای انتقالی از لوله ها به محلول است و

$$q_x = q$$

$$q = m_s^0 \lambda_s = (m_F^0 - m^0)H_v - m_F^0H_F + m^0H$$

موازنه آنتالپی حول تبخیر کننده یک مرحله ای با فرض ناچیز بودن گرمای رقیق شدن به دست می آید :

$$q = m_s^0 C_{pf} (T - T_f) + (m_F^0 - m^0) \lambda_v$$

C_{pf} : گرمای ویژه محلول رقیق

λ_v : گرمای نهان تبخیر محلول غلیظ که در اثر موارد در صورتی که BPE کم باشد با λ آب خالص برابر است .

T : دمای محلول در حال جوش

T_f : دمای خوراک

m_F^0 : شدت جریان خوراک

m^0 : شدت جریان محلول غلیظ

اگر دمای محلول رقیق T_f بزرگتر از T باشد ، عبارت $m_s^0 C_{pf} (T - T_f)$ منفی می شود یعنی مایع رقیق کل

آنتالپی را به تبخیر کننده انتقال می دهد ، به این حالت تبخیرناگهانی گویند. اگر دمای محلول رقیق ورودی به تبخیر

کننده T_f کمتر از T باشد عبارت $m_s^0 C_{pf} (T - T_f)$ مثبت می شود و برای یک تبخیر معین ، بخار آب بیشتری

برای جریان این آنتالپی نیاز است ، پس عبارت $m_s^0 C_{pf} (T - T_f)$ بار گرمایی است .

از معادله بالا نتیجه می شود که : گرمای حاصل از میعان بخار آب برای

1- تبخیر آب از محلول 2- گرم کردن خوراک تا نقطه جوش استفاده می شود

تبخیر کننده چند مرحله ای

اگر فرض شود که بخار تولید شده در مرحله اول مقدار گرمایی برابر بخار آب ورودی داشته باشد و بخار تولید شده در مراحل بعدی نیز افت گرمایی نداشته باشد در این صورت به فرمول زیر می رسیم :

$$q = A_1 U_1 \Delta T_1 = A_2 U_2 \Delta T_2 = A_3 U_3 \Delta T_3 = \dots$$

با فرض آنکه سطح انتقال حرارت در همه مبدلها برابر است خواهیم داشت :

$$\frac{q}{A} = U_1 \Delta T_1 = U_2 \Delta T_2 = \dots$$

از این معادله نتیجه می شود که افت دما در تبخیر کننده چند مرحله ای با ضریب انتقال گرما تقریباً نسبت عکس دارد. برای یک تبخیر کننده n مرحله داریم :

$$\Delta T_i = \frac{\frac{1}{U_i}}{\frac{1}{U_1} + \frac{1}{U_2} + \dots + \frac{1}{U_n}} \times \frac{q}{A}$$

ظرفیت و فاکتور اقتصادی تبخیر کننده های چند مرحله ای

افزایش فاکتور اقتصادی تبخیر کننده های چند مرحله ای به قیمت کاهش ظرفیت به دست می آید. چنین به نظر می رسد که اگر سطوح گرم کننده را چند برابر کنیم، ظرفیت تبخیر کننده افزایش می یابد، اما این چنین نیست. ظرفیت کل تبخیر کننده چند مرحله ای معمولاً بزرگتر از ظرفیت تبخیر کننده یک مرحله ای نیست، درحالی که سطح گرم کننده در نوع یک مرحله ای برابر سطح یکی از مراحل تبخیر کننده چند مرحله ای است و شرایط نهایی برای هر دویکسان است، حتی اگر صعود نقطه جوش زیاد باشد، نوع چند مرحله ای ظرفیت کمتری دارد. وقتی صعود نقطه جوش ناچیز باشد، مقدار ΔT کل مراحل برابر مجموع ΔT هر یک از مراحل می باشد و مقدار بخار آب تبخیر شده

به ازای واحد سطح تبخیر کننده N مرحله ای تقریباً برابر $\frac{1}{N}$ ام تبخیر کننده یک مرحله ای است.

با صرف نظر از بار گرمایی و گرمای رقیق شدن معادله زیر را خواهیم داشت.

$$q_T = q_1 + q_2 + q_3 = A_1 U_1 \Delta T_1 = A_2 U_2 \Delta T_2 = A_3 U_3 \Delta T_3$$

با فرض اینکه مساحت سطح در هر مرحله A متر مربع و ظرفیت کل U در هر یکسان باشد:

$$q_T = UA(\Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3) = UA\Delta T$$

که ΔT کل افت دمای بین بخار آب در مرحله اول و بخار مرحله آخر است .

حالا فرض کنید که تبخیر کننده یک مرحله ای با سطح A با همان افت دمای کل کار می کند. اگر ضریب کل این تبخیر کننده مشابه ضریب هر یک از مراحل تبخیر کننده سه مرحله ای باشد سرعت انتقال گرما به تبخیر کننده یک مرحله ای برابر است با :

$$q_T = UA\Delta T$$

این نتیجه دقیقاً مشابه تبخیر کننده چند مرحله ای است .

در حالت صعود نقطه جوش ظرفیت تبخیر کننده چند مرحله ای کمتر از ظرفیت نوع یک مرحله ای است که با تغییر در ضریب کل تبخیر کننده چند مرحله ای جبران می شود.

در مراحل اولیه یک تبخیر کننده چند مرحله ای چون غلظت خیلی کم می باشد بنابراین ضریب U بزرگ می باشد اما در مرحله آخر به دلیل اینکه غلظت بالا رفته برابر ضریب یک واحد تک مرحله ای است در نتیجه ضریب میانگین یک تبخیر کننده چند مرحله ای بزرگتر از نوع یک مرحله ای است در بعضی از موارد ضریب انتقال حرارت اثر صعود نقطه جوش را تحت الشعاع قرار می دهد. در واقع ظرفیت یک واحد چند مرحله ای بزرگتر از نوع یک مرحله ای است .

فاکتور اقتصادی تبخیر کننده چند مرحله ای به موازنه گرمایی بستگی دارد نه به سرعت انتقال گرما.

خشک کردن

عبارت خشک کردن معمولاً به خارج کردن رطوبت از یک جسم اطلاق می شود.

تعادل

رطوبت موجود در یک محلول مایع یا جامد مرطوب ، فشار بخاری اعمال می کند که به طبیعت رطوبت ، طبیعت جسم جامد و درجه حرارت بستگی دارد. جسم جامد تا جایی رطوبت خود را با تبخیر از دست می دهد و با رطوبت از گاز می گیرد که فشار بخار رطوبت جسم به $\bar{P}$ برسد . بعد از آن گاز و جامد در حال تعادل خواهند بود و به مقدار رطوبت جسم در آن حالت رطوبت تعادلی در شرایط حاکم گفته می شود.

جامدات نامحلول

رطوبت مربوط به ساختمان داخلی جسم ، رطوبتس آزاد شده در اثر ترکیب شیمیایی با مواد سلولزی رطوبت به صورت محلول مایعی از اجزاء حل شدنی جامد و یا محلول جامد ، رطوبت باقی مانده در حفره ها و مجراهای کوچک در جسم و یا هر رطوبتی غیر از آنچه جذب سطحی شده باشد. به چنین رطوبتی آب پیوندی گفته می شود. رطوبت تعادلی یک قطعه جامد ، اگر به صورت فیزیکی جذب شده باشد به اندازه ذره یا سطح ویژه آن بستگی دارد معمولاً جامدات معدنی مانند اکسید روی که در مایع حل نمی شوند و دارای خواص مربوط به عمل جذب نمی باشند ، دارای رطوبت تعادلی کمی می باشند.

تعاریف

رطوبت بر مبنای مرطوب : رطوبت یک جامد یا یک محلول را معمولاً بر حسب درصد وزنی رطوبت بیان می کنند و آن را بر مرطوب می نامند ، که عبارت است از :

$$\frac{\text{کیلوگرم رطوبت}}{\text{کیلوگرم جامد خشک} + \text{کیلوگرم رطوبت}} \times 100 = 100 \times \frac{\text{کیلوگرم رطوبت}}{\text{کیلوگرم جامد رطوبت}}$$

رطوبت بر مبنای خشک این عبارت به صورت :

$$X = \frac{(\text{کیلوگرم جامد خشک})}{(\text{کیلوگرم رطوبت})}$$

$$100 X = \text{درصد رطوبت بر مبنای خشک}$$

رطوبت تعادلی X^* که مقدار یک ماده وقتی که با فشار جزئی بخار در شرایط مربوطه در حال تعادل است .

رطوبت پیوندی : رطوبت موجود در جسم است وقتی که فشار جزئی بخار تعادلی کمتر از مایع خالص در همان درجه حرارت باشد .

$$\overline{P} < P^*$$

رطوبت غیر پیوندی : رطوبت موجود در جسم است وقتی که فشار بخار تعادلی آن برابر با فشار بخار مایع خالص در همان درجه حرارت باشد.

$$\overline{P} = P^*$$

رطوبت آزاد : مقدار رطوبت مازاد بر رطوبت تعادلی در یک جسم است :

$$X - X^*$$

فقط رطوبت آزاد می تواند تبخیر شود. مقدار رطوبت آزاد یک جامد به غلظت بخار در گاز بستگی دارد .
مقدار رطوبت باید در محلول مدت خشک کردن در حد نرمال نگه داشته شود. این مسئله د مورد جامداتی که در اثر سریع خشک شدن دارای پیچ و تاب یا چین و چروک می شود و یا سطح آنها شکاف دار یا سخت می شود خیلی اهمیت دارد.

شدت خشک کردن در سیستم ناپیوسته

قرار دادن نمونه در هوایی با درجه حرارت ، رطوبت و سرعت ثابت شرایط خشک کردن ثابت را ایجاد می کند.
شدت خشک شدن از رابطه زیر به دست می آید :

$$N = -S_x \frac{\Delta x}{A \Delta \theta}$$

جرم

= N

(سطح) (زمان)

Δx : تغییرات کوچک در مقدار رطوبت

$\Delta \theta$: مدت زمان انجام عملیات

S_x : جرم جامد خشک

A : سطح مرطوبی که گاز روی آن جریان دارد

اگر جامد در ابتدا خیلی مرطوب باشد ، سطح آن از فیلم نازکی که از مایع پوشیده می شود که به آن رطوبت غیر پیوندی گفته میش ود اگر این جامد در معرض جریان نسبتاً خشکی از هوا قرار بگیرد ، تبخیر از روی سطح آن صورت می گیرد. شدت تبخیر را می توان برحسب ضریب انتقال جرم گاز K_y و اختلاف رطوبت گاز در سطح مایع Y_s و در جریان اصلی Y بیان نمود. بنابراین برای خشک کردن به صورت متقاطع داریم :

$$N_C = K_y (Y_s - Y)$$

Y_s : رطوبت اشباع در سطح مایع و در درجه حرارت t_s می باشد .

فرمولهای نواحی مختلف خشک کردن

1- محدوده شدت ثابت: اگر خشک کردن کاملاً در محدوده شدت ثابت باشد، به طوری که

$$N = N_C, X_2 > X_C$$

از معادله

$$\theta = \frac{S_s}{A} \int_{X_C}^{X_1} \frac{dx}{N}$$

خواهیم داشت

$$\theta = \frac{S_s(X_1 - X_2)}{N_C \cdot A}$$

X_C : رطوبت تعادلی

$$K_y(Y_s - Y) = N_C$$

شدت خشک شدن آب روی سطح جامد

2- محدوده شدت نزولی، اگر X_1, X_2 هر دو کمتر از X_C باشند، بنابراین خشک کردن تحت شرایط N متغیر انجام می شود. دو حالت وجود دارد.

(a) اگر منحنی $\frac{1}{N}$ بر حسب X موجود باشد به صورت انتگرال دوزنقه ای عمل می کنیم.

(b) حالت ویژه N بر حسب X یک خط مستقیم باشد $N = mx + b$

معادله به صورت زیر به دست می آید:

$$\theta = \frac{S_s(X_1 - X_2)}{A(N_1 - N_2)} \ln \frac{N_1}{N_2} = \frac{S_s(X_1 - X_2)}{AN_m}$$

$$\theta = \frac{S_s(X_c - X^*)}{N_C A} \ln \left(\frac{X_1 - X^*}{X_2 - X^*} \right)$$

X^* : حالتی که در آن $N = 0$ باشد یعنی کمترین مقدار رطوبت موجود در جامد

به هر حال در تمام فرمولهای بالا نکات زیر را می توان به دست آورد.

1- هر چه S_s مقدار جامد بیشتر می شود زمان بیشتر می شود.

2- هر چه سطح در تماس با هوا بیشتر می شود زمان کمتر می شود.

3- هر چه شدت انتقال جرم N_C بیشتر شود مقدار زمان کمتر می شود .

- اثر سرعت گاز بر خشک شدن

اگر تشعشع و هدایت در جامد قابل صرفنظر کردن باشند ، N_C متناسب با $G^{0/71}$ برای جریان گاز موازی و $G^{0/27}$ برای جریان عمودی است . اگر تشعشع و هدایت در نظر گرفته شوند اثر سرعت گاز کم اهمیت تر است .

اثر درجه حرارت گاز

در غیاب اثرات تشعشع اگر تغییرات λ در دامنه متوسطی از درجه حرارت ناچیز باشد ، N_C مستقیماً با $T_C - T_S$ می شود.

اثر رطوبت گاز

N_C مستقیماً با تغییر $Y_S - Y$ تغییر می کند و در نتیجه افزایش رطوبت شدن خشک شدن کاهش می یابد .

اثر ضخامت جامد خشک شونده

اگر هدایت حرارتی از طریق جامد صورت گیرد N_C با افزایش ضخامت جامد کاهش می یابد. اگر سطوحی که خشک نمی شوند عایق بندی شوند ، یا اگر خشک شدن از تمام سطوح جامد باشد ، N_C مستقل از ضخامت است . بنابراین زمان خشک شدن بین دو مقدار ثابت رطوبت در محدوده شدت ثابت (N_C) مستقیماً متناسب با ضخامت خواهد بود.

خشک شدن با جریان سراسری

ماکزیمم خشک شدن N_{min} وقتی اتفاق می افتد که گاز خروجی از سیستم در حالت اشباع با درجه حرارت آدیاباتیک اشباع و رطوبت Y_{as} باشد.

$$N_{max} = G_S(Y_{as} - Y_1)$$

و شدت خشک شدن به صورت زیر بیان می شود.

$$\frac{N}{N_{max}} = \frac{Y_2 - Y_1}{Y_{as} - Y_1} = 1 - \frac{Y_{as} - Y_2}{Y_{as} - Y_1} = 1 - e^{-N+G} = 1 - e^{-N+G} = 1 - e^{-K_v \cdot a = N C_v}$$

تست های فصل ششم انتقال جرم و عملیات واحد

۱- درعمل فیلتراسیون تحت فشار ثابت $(\Delta p = cte)$ یا مقاومت ویژه کیک (specific cake

resistavce) را از کدام طریق می توان به دست آورد ؟

(1) به کمک R_m (مقاومت صافی)

(2) تعیین سطح فیلتر

(3) رسم $\frac{dt}{dv}$ (عکس تغییرات حجم مایع صاف شده بر زمان) در مقابل متوسط حجم مایع صاف شده و تعیین شیب

خط

(4) رسم t (زمان) در مقابل حجم مایع صاف شده (v)

۲- در خشک کردن جامدات و در منطقه شدت نزولی (falling rate) در صورتی که تئوری نفوذی را صادق

فرض کنیم و s نصف ضخامت جامد باشد ، شدت خشک شدن متناسب است با :

$$S(1) \quad \frac{1}{S^2} (2)$$

$$S^2 (3) \quad \frac{1}{S} (4)$$

۳- نوع تغذیه (Fceding) تبخیر کننده ها ، اهمیت کدام عامل بیشتر است ؟

(1) تمایل به ایجاد رسوب در بدنه تبخیر کننده (2) حساسیت به دما

(3) دانسیته محلول (4) ویسکوزیته

۴- درفرآیند خشک کردن به وسیله حرارت ، جهت انتقال جرم وانتقال حرارات

(1) همسو است (2) غیر همسو است

(3) میزان منتج انتقال جرم صفر است (4) میزان منتج انتقال حرارت صفر است

۵- در یک تبخیر کننده دو مرحله ΔT خالص ۸۵ F درجه است. U_1 و U_2 به ترتیب ۳۵۰ $\frac{\text{But}}{\text{h.ft}^2.^{\circ}\text{F}}$.

۵۸۰ می باشد ΔT_1 سمت راست و ΔT_2 سمت چپ برابر با چند $^{\circ}\text{F}$ است؟

(1) 55 ، 30 (2) 45 ، 40

(3) 42 ، 42 (4) 32.53

۶- در تغلیظ محلول های خیلی غلیظ، کدام روش در خوراک دهی یک تبخیر کننده چند مرحله ای دارای

ظرفیت بالاتری است ؟

(1) Back ward Feed (2) Forward Feed

(3) Mixed Feed (4) Parallel Feed

۷- بهینه یابی تبخیر کننده توأم با تراکم مجدد بخار (rapor recomperssion) بر اساس کدام عامل انجام

می گیرد ؟

(1) شدت محصول غلیظ خروجی از تبخیر کننده (2) شدت بخار جبرانی

(3) فشار بخار خروجی از کمپرسور (4) فشار بخار ورودی به کمپرسور

۸- یک تبخیر کننده سه مرحله ای مایعی را بدون افزایش نقطه جوش (B.P.E) تغلیظ می کند. دمای بخار

ورودی به مبدل حرارتی مرحله اول 105°C و نقطه جوش در مرحله آخر 50°C است. ضریب انتقال

حرارت کلی (U) در مرحله اول ۳۰۰۰ و در مرحله دوم ۲۰۰۰ و در مرحله سوم $1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}}$ است. نقطه

جوش محلول در مرحله اول تقریباً چند درجه سانتی گراد است ؟

(1) 100 (2) 95

(3) 90 (4) 85

۹- در کدام نوع خشک کن ، زمان توقف ماده در خشک کن کوتاهتر است ؟

(1) دوار (2) پاششی

(3) درون عبوری (Through Circulation) (4) سینی دار

۱۰- در عملیات خشک کردن اجسام جامد متخلخل، آیا ضخامت جسم در زمان خشک شدن آن تأثیر دارد؟ چگونه؟

(1) بله - رابطه معکوس

(2) خیر - نیروی اسمزی موثر است

(3) بله - رابطه مستقیم

(4) خیر - بستگی به وزش موازی هوا از روی جسم یا از زیر آن بصورت عمده دارد.

۱۱- د ریک تبخیر کننده تک مرحله ای باید محلول ۲۰٪ هیدروکسید سدیم ب ادی $\frac{Lb}{hr}$ ۱۰۰۰۰ تا غلظت

۵۰٪ غلیظ گردد. اگر مقدار بخار مصرف شده $\frac{Lb}{hr}$ ۷۷۰۰ باشد، اقتصاد تبخیر کننده کدام است؟

(1) 0/39 (2) 0/78

(3) 1 (4) 1/28

۱۲- در عملیات تغلیظ مواد در تبخیر کننده های از نوع **Falling Film** مشکل اساسی :

(1) تشکیل شدن لایه های رسوب در داخل لوله ها می باشد، زیرا مرتباً از مقدار مایع کم می شود.

(2) کم بودن عدد ؟؟ و مقدار حرارت می باشد. زیرا برای تغلیظ لازم است که مقدار مایع ورودی به هر لوله کم باشد و

این سبب می شود که مقداری بخار مصرفی (به خاطر کم بودن مقدار انتقال حرارت) زیاد شود.

(3) کف کردن مایع است زیرا، کف از جاری شدن مایع به سمت 1 پایین لوله ها جلوگیری می کند.

(4) تقسیم خوراک بین لوله ها به صورت فیلم نازک، یکنواخت در جدار داخلی آنها می باشد.

۱۳- در دخل یک خشک کن دوار که بطور پیوسته (Continuous) کار می کند وسایل گرم از ظرف مقابل

جسم مرطوب وارد می شود (به صورت Counter Current) دمای جسم مرطوب در داخل خشک کن

همچنانکه به سمت آخر خشک کن حرکت می کند به صورت زیر می نماید.

(1) به طور غیر خطی افزایش می یابد.

(2) به طور خطی افزایش می یابد.

(3) در قسمت عمده خشک کن ثابت است.

(4) در نیمه اول خشک کن ثابت می ماند ولی در نیمه بعد به طور خطی بالا می رود.

۱۴- کدام یک از عبارات زیر در مورد افت دما ، $Temperaturred.p$ در لوله های تبخیر کننده صحیح است ؟

- (1) افزایش غلظت و هد مایع و کاهش سرعت باعث کاهش افت دما می شود.
- (2) کاهش غلظت و سرعت و هد مایع باعث کاهش افت دما می شود.
- (3) افزایش غلظت و کاهش هد مایع و کاهش سرعت باعث کاهش افت دما می شود.
- (4) کاهش غلظت و کاهش سرعت و افزایش هد مایع باعث کاهش افت دما می شود.

۱۵- در یک مجموعه تبخیرکننده چند مرحله ای تعداد مراحل معمولاً محدود بین ۳ الی ۵ است زیرا

- (1) استفاده از چند مرحله اقتصادی نیست .
- (2) دستگاه های تبخیر حجم و جاگیر هستند.
- (3) کنترل تعداد زیاد مرحله در یک مجموعه تبخیرکننده مشکل است.
- (4) وجود BPE زیاد مانع از امکان استفاده موثر از بخار در مراحل مختلف می گردد.

۱۶- هر قدر تغییرات حلالیت یک ماده با دما شدیدتر باشد ، جهت استحصال آن با روش کریستالیزاسیون ،

- (1) کریستالیزاسیون واکنشی مناسب تر است .
- (2) کریستالیزاسیون تبخیری موجه تر خواهد بود.
- (3) کریستالیزاسیون سرمایشی موجه تر خواهد بود.
- (4) با تبخیر کامل حلال ، محصول کمتری از کریستالیزاسیون سرمایشی حاصل می شود.

۱۷- رطوبت آزاد در داخل یک جسم که بصورت ورق (Slab) می باشد در داخل یک خشک کن کاسته می شود و از رطوبت اولیه X_1 به رطوبت X_2 می رسد. چنانچه شرایط خشک کردن بدون تغییر باقی بماند و ضخامت ورق فوق دو برابر شود زمان لازم برای رسیدن به رطوبت X_2 مطابق کدام یک از حالات زیر تغییر می کند. $(X_1 < X_2)$

- (1) 4 برابر می شود
- (2) $\sqrt{2}$ برابر است
- (3) 2 برابر می شود
- (4) تغییر چندانی ندارد.

۱۸- در خشک کردن Slab که از دو جسم خشک می شود در منطقه شدت ثابت (Constant rate) و خشک کردن و جابجایی (Convective) کدام گزینه صحیح است؟ (A : سطح ، h_y : ضریب انتقال حرارت جابجایی ، T دمای توده گاز و λ_1 حرارت نهان تبخیر در دمای T_1 (سطح) می باشد.

$$\frac{-dm}{dt} = \frac{\lambda_i(T - T_i)}{2A\lambda_i} \quad (2) \quad \frac{-dm}{dt} = \frac{\lambda_i(T - T_i)}{2h_y - A} \quad (1)$$

$$\frac{-dm}{dt} = \frac{2Ah_y(T - T_i)}{\lambda_i} \quad (4) \quad \frac{-dm}{dt} = \frac{A}{2} h_y \frac{\lambda_i}{(T - T_i)} \quad (3)$$

۱۹- اختلاف میزان رطوبت یک جسم با رطوبت تعادلی در شرایطی که محیط کاملاً اشباع باشد رطوبت می نامند ؟

(1) آزاد (2) چسبنده (3) بحرانی (4) اشباع

۲۰- یک نمونه جامد مرطوب تحت آزمایش خشک کردن قرار گرفته و مشاهده می شود که در ابتدا کاهش رطوبت در آن ثابت و برابر $0/1 \text{ Kg/m}^2 \cdot \text{h}$ است . در صورتی که جرم کاملاً خشک مربوط به این نمونه

$$-\frac{dx}{d\theta} = 0/2,0/8 \text{ Kg}$$

باشد سطح خشک شونده چقدر است ؟

$$0/4 \text{ m}^2 \quad (5) \quad 4 \text{ m}^2 \quad (3) \quad 0/16 \text{ m}^2 \quad (2) \quad 1/6 \text{ m}^2 \quad (1)$$

۲۱- در خشک کردن جابجایی (convective) شدت ثابت خشک کردن N_C را از کدام رابطه می توان بدست آورد. (h, λ_i به ترتیب حرارت نهان تبخیر آب در سطح و ضریب انتقال حرارت جابجایی است .)

$$N_C = \frac{h\lambda_i}{t_G - t_i} \quad (2) \quad N_C = h\lambda_i \quad (1)$$

$$N_C = \frac{h(t_G - t_i)}{\lambda_i} \quad (4) \quad N_C = h(t_G - t_i) \quad (3)$$

۲۲- کدام روش برای پیشگیری از سخت شدن پوسته حین خشک کردن مناسب است؟

- (1) استفاده از هوای گرمتر
- (2) کاهش سرعت خشک کردن
- (3) افزایش سرعت خشک کردن
- (4) استفاده از هوای دارای رطوبت کمتر

۲۳- در عملیات جذب سطحی چند مرحله ای چرا معمولاً مراحل محدود به ۲ می باشد و افزایش نمی یابد ؟

زیرا

- (1) کنترل عملیات بسیار مشکل می گردد.
- (2) طراحی سیستم و ساخت آن را بسیار مشکل می سازد.
- (3) میزان جداسازی تغییر محسوس نمی کند
- (4) از لحاظ هزینه سرمایه گذاری و عملیات مقرون به صرفه نیست .

۲۴- اگر در حالت ایزو ترم جذب سطحی خطی ، میزان جاذب کل برای عملیات جذب سطحی دو مرحله ای

جریان متقاطع حداقل باشد چه نتیجه ای برای میزان جاذب در دو مرحله می توان گرفت ؟

- (1) یکسان است .
- (2) به شیب ایزو ترم جذب سطحی بستگی دارد
- (3) در مرحله دوم بزرگتر از میزان جاذب در مرحله اول است .
- (4) در مرحله اول بزرگتر از میزان جاذب در مرحله دوم است

۲۵- با افزایش درجه حرارت ، میزان جذب سطحی :

- (1) در هر دو فرآیند فیزیکی و شیمیایی کاهش می یابد
- (2) در هر دو فرآیند فیزیکی و شیمیایی افزایش می یابد
- (3) در فرآیند جذب سطحی فیزیکی کاهش و در فرآیند جذب سطحی شیمیایی افزایش می یابد
- (4) در فرآیند جذب سطحی فیزیکی افزایش و در فرآیند جذب سطحی شیمیایی کاهش می یابد.

۲۶- کدام مورد برای عملیات استخراج مایع - جامد در هر حالتی صحیح نیست ؟

- 1) خطوط بست معمولاً عمودی هستند.
 - 2) خط تعادل معمولاً برخط $y=x$ منطبق است .
 - 3- میزان جامد در فاز محلول خروجی معمولاً نزدیک صفر است .
 - 4- حلال در این عملیات ماده حل شده را به هر میزان در خود حل می نماید.
- ۲۷- اگر جامدی به صورت بستر غیر قابل نفوذ درآید در فرآیند استخراج از این جامد کدام حالت مناسب تر است ؟

- 1) بستر ثابت به کار می رود
 - 2) جامد در مایع پخش شود
 - 3) بستر متحرک اعمال شود
 - 4) مایع بر جامد ریخته شود
- ۲۸- دلیل عمودی نبودن خطوط بست در عملیات استخراج مایع - جامد این است که :

- 1) هر دو مورد دوم و سوم
- 2) زمان تماس خیلی زیاد بوده است .
- 3) مقداری از ماده حل شونده در حلال حل نمی شود.
- 4) مقداری از جامد حل نشدنی در حلال حل می شود.

پاسخ تست های فصل ششم

1- گزینه (3) ، در فشار ثابت با افزایش حجم یک مایع جمع شده تغییر پیدا می کند. بنابراین مقاومت ویژه از رسم

$$\frac{dt}{dv} \text{ حاصل خواهد شد.}$$

2- گزینه (4) ، شدت خشک شدن با ضخامت ارتباط عکس دارد. بنابراین با $\frac{1}{s}$ متناسب است .

3- گزینه (3) اکثر خواص یک سیال مثل ویسکوزیته و دانسیته محلول بستگی به دما دارد. پس انتخاب تغییر کننده به

حساسیت محلول به دما بستگی دارد.

4- گزینه (2) ، انتقال حرارت از محیط به سمت جسم و انتقال از جسم به سمت محیط است .

$$N_A = K_Y (Y_{AW} - Y_{AG})$$

$$q = h(T_G - T_W)$$

5- گزینه (4)

$$\Delta T_1 = \frac{\frac{1}{u_1}}{\frac{1}{u_1} + \frac{1}{u_2}} \times \Delta T = 53$$

$$\Delta T_2 = \frac{\frac{1}{u_1}}{\frac{1}{u_1} + \frac{1}{u_2}} \times \Delta T = 32$$

6- گزینه 1 ، در محلول های خیلی غلیظ از تبخیر کننده های backward استفاده می شود. چون وقتی محلول غلیظ

تر می شود دما افزایش پیدا خواهد کرد .

7- گزینه 3 ، هر چه فشار بخار افزایش یابد دمای اشباع آن افزایش خواهد یافت پس می توان درجه حرارت دهی بالایی

در سیستم بوجود خواهد آمد.

8- گزینه 2

$$\Delta T_1 = \frac{1/u_1}{\sum 1/u_i} (105 - 50) = 10$$

$$\Delta T_1 = 10 = T_s - T_i \Rightarrow T_1 = T_s - 10 = 105 - 10 = 95^\circ\text{C}$$

9- گزینه 2 ، در خشک کن های پاشش کمترین زمان مانده موجود است .

11- گزینه 2

$$FZ_F = m_L \times L \Rightarrow m_L = 4000 \text{ Lb/hr}$$

$$FZ_F = m_L + m_v \Rightarrow m_v = 6000 \text{ Lb/hr}$$

$$\Rightarrow E = \frac{6000}{7700} = 0.78$$

12- گزینه 4 ، در تبخیر کننده های Folling Film مشکل اساسی تقسیم خوراک بین لوله ها به صورت فیلم است .

13- گزینه 4 ، تا زمانی که اوین لکه خشک ظاهر گردد ، ثابت و بعد از آن به صورت خط افزایش می یابد.

14- گزینه 3 ، افت دما (BPR) در اثر افزایش غلظت بوجود می آید که افزایش غلظت نیز باعث کاهش دهد و کاهش سرعت خواهد شد.

15- گزینه 4 ، اگر در سیستم تبخیر کننده ها کریستال ظاهر شود از تبخیر کننده ها موازی استفاده می شود.

16- گزینه 3 ، اولین مرحله ضروری در کریستالیزاسیون ایجاد محلول فوق اشباع می باشد. بسته به روند منحنی حلالیت حل شونده از سه روش برای ایجاد این محلول فوق اشباع استفاده می شود :

الف) برای حل شونده هایی مثل نیترات پتاسیم و سولفیت سدیم که حلالیت آنها در دمای پایین کمتر از دمای بالا است (یا تغییر حلالیت یک ماده با دما شدید است) محلول فوق اشباع به سادگی با سرمایش ایجاد می شود.

ب) وقتی حلالیت تغییراتش از دما مستقل باشد مثل نمک معمولی ، محلول فوق اشباع بوسیله تغییر ایجاد می شود.

ج) در حالت حد وسط دو مورد فوق ، ترکیبی از سرمایش و تبخیر موثر است .

17- گزینه 3 ، نرخ خشک کردن به صورت زیر تعریف می شود که در این رابطه n ، نرخ خشک شدن و X وزن رطوبت به ازاء وزن جامد خشک است .

$$N = \frac{-S_C dx}{A d\theta} \Rightarrow \frac{S_C}{A} \int_{x_2}^{x_1} \frac{dx}{N} \Rightarrow \theta \alpha \frac{S_C}{A}$$

$$S_C = PAZ_S \Rightarrow \theta \alpha \rho z_s$$

د- این رابطه S_C جرم جامد خشک و Z_S ضخامت جامد است . پس با دو برابر شدن ضخامت ورقه ، زمان لازم برای رسیدن به رطوبت X_2 ، دو برابر شود.

18- گزینه 4 ، رابطه نرخ خشک شدن در منطقه با شدت ثابت و برای مکانیسم خشک شدن به صورت جابجایی به شکل زیر است :

$$N_C = \frac{h_y \cdot (T - T_i)}{\lambda_{t1}}$$

که با در نظر گرفتن روند خشک شدن از دو سطح ، سرعت خشک شدن برابر است با :

$$-\frac{dm}{dt} = \frac{2A h_y (T - T_i)}{\lambda_{t1}}$$

19- گزینه 1

20- گزینه 1

$$N_C = S_s A \left(-\frac{dx}{d\theta} \right) \Rightarrow$$

$$A = \frac{S_s}{N_s} \left(-\frac{dx}{d\theta} \right) = \frac{0/8}{0/1} \times 0/2 = 1/6 m^2$$

21- گزینه 4

راه حل اول :

انتقال حرارت در اثر انتقال جرم مایع به بخار = انتقال حرارت جابجایی

$$h = (t_G - t_i) = N_C \lambda_i$$

$$N_C = \frac{h(t_G - t_i)}{\lambda_i}$$

راه حل دوم :

با استفاده از ابعاد و آحاد می توان به راحتی فرمول صحیح را یافت :

برای گزینه 1 داریم :

$$[h\lambda_i] = \left[\frac{j}{s.m^2.k} \right] \left[\frac{j}{kg} \right] = \frac{j}{k.sm^2.kg}$$

برای گزینه 2 داریم :

$$\left[\frac{h\lambda_i}{(t_G - t_i)} \right] = \left[\frac{j}{s.m^2.k} \right] \left[\frac{j}{kg} \right] \left[\frac{1}{k} \right] = \frac{j^2}{sm^2.kg.k^2}$$

برای گزینه 3 داریم :

$$h(t_G - t_i) = \left[\frac{j}{s.m^2.k} \right] [k] = \frac{j^2}{sm^2}$$

برای گزینه 4 داریم :

$$\left[\frac{h(t_G - t_i)}{\lambda_i} \right] = \left[\frac{\frac{j}{s.m^2.k} [k]}{\left[\frac{j}{k} \right]} \right] = \frac{kg}{m^2.s}$$

فقط گزینه 4 دارای واحد $\left(\frac{kg}{m^2.s} \right)$ می باشد که این واحد همان واحد N_c می باشد.

22- گزینه 2

23- گزینه 4

24- گزینه 1

25- گزینه 3

26- گزینه 3

سؤال غلط می باشد باید گفته شود که کدام گزینه در هر حالتی صحیح است.

27- گزینه 2

28- گزینه 3

مجموعه تست

۱- زمان نقطه شکست در منحنی عبور (Breakthrough Curve) در یک بستر ثابت پر شده از جاذب با

کاهش کدام یک از عامل زیر کاهش می یابد:

(1) اندازه ذرات جاذب (2) دبی خوراک

(3) طول بستر (4) غلظت جاذب شونده در خوراک

۲- اگر بخار خروجی از دیگ جوش (Reboiler) یک برج تقطیر سینی دار به حالت بخار داغ وارد برج

شود (heat Super).

(1) در اولین سینی از پایین برج، به حالت نرمال نقطه شبنم باز می گردد.

(2) درجه حرارت تعدادی از سینی های پایین برج یکسان می شود.

(3) در چند سینی اول پایین برج، حالت طغیان (Flooding) ایجاد می نماید.

(4) سینی های زیر محل خوراک، حالت نرمال خود را از دست می دهند.

۳- در یک عمل رطوبت (Humidification)، میزان آب در هوا کاهش چشم گیری داشته بدون آنکه درجه

حرارت تغییری قابل توجه داشته باشد.

(1) این کار با میعان هوا در آنتالپی ثابت انجام شده است.

(2) این کار با عمل آنتالپی ثابت صورت گرفته است.

(3) این کار با میعان هوا با درجه حرارت ثابت انجام شده است.

(4) این کار عبور هوا از یک بستر جاذب بوده است.

۴- برای محلول هایی که نسبت به درجه حرارت حساس بوده و از لحاظ ساختار مولکولی تخریب می شوند

مناسب ترین تبخیر کننده جهت حرارت دهی و تغلیظ آنها کدام است.

(1) جبهز به هم زن (2) افقی (3) فیلم ریزان (4) عمودی لوله کوتاه

۵- کدام یک از عبارت زیر بیان کننده فرایند خشک شدن با مکانیسم مویینگی (Capillary) نمی باشد.

(1) در ناحیه ریت نزولی اتفاق می افتد

(2) عموماً در اجسام و نمونه های مرطوب متخلخل مشاهده می شود.

(3) میزان یا شدت تبخیر نسبت به حالت نفوذ بیشتر است.

(4) ریت خشک شدن در این حالت مستقل از سرعت هوای عبوری از سطح نمونه می باشد.

۶- سرعت خطی قطرات مایع در برج های استخراج از نوع سینی دار حدوداً کدام یک از اعداد زیر است.

$$34 \frac{\text{cm}}{\text{s}} (4)$$

$$24 \frac{\text{cm}}{\text{s}} (3)$$

$$44 \frac{\text{cm}}{\text{s}} (2)$$

$$10 \frac{\text{cm}}{\text{s}} \text{ از } (1)$$

۷- میزان انتقال جرم روی سینی های تقطیر کدام یک از جداسازی های زیر در شرایط یکسان و بطور

متوسط کمتر است.

(2) آب و اسیداستیک

(1) آب و متانول

(4) آب و دی تربوم (D_2O)

(3) بنزن و تولوئن

۸- مطابق فرضیات روش مک کیب (McCabe) در محاسبات برج تقطیر :

(1) دبی جرمی مایع و بخار سینی به سینی تغییر است.

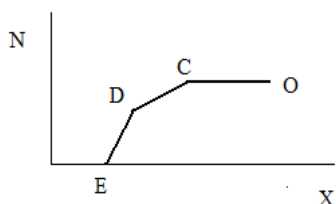
(2) دبی جرمی مایع و بخار در بالا و پایین محل ورود خوراک هر کدام جدا و مقدار ثابتی است.

(3) به شرطی که خوراک به شکل مایع و بخار وارد شود، بالای برج، دبی جرمی مایع و بخار سینی به سینی ثابت است.

(4) به شرطی که خوراک در نقطه جوش وارد شود پایین برج دبی جرمی مایع و بخار سینی به سینی ثابت است.

۹- منحنی خشک کردن یک جامد به روش ناپیوسته (Batch) ترسیم شده است. در کدام بخش، درجه

حرارت جامد در حین خشک شدن افزایش می یابد.



(1) بین دو نقطه E و O

(2) بین دو نقطه C و O

(3) بین دو نقطه E و D

(4) بین دو نقطه D و O

۱۰- برای یک عمل استخراج مایع - مایع (Extraction Liquid) به طور تئوری به حدود ۸۰ مرحله نیاز بوده است.

1) برای این کار می توان از برج استخراج سینی دار استفاده کرد.

2) برای این کار نمی توان از برج استخراج سینی دار استفاده کرد.

3) بر حسب این که کدام فاز پیوسته و کدام فاز پخش شونده باشد می توان از برج سینی دار استفاده نمود.

4) فقط هنگامی که فاز با دانسیته بیشتر بعنوان فاز پخش شونده انتخاب شود می توان از برج سینی دار استفاده کرد.

پاسخنامه

۱- گزینه (۳) صحیح است.

۲- گزینه (۱) صحیح است.

در برج تقطیر مواد ورودی، مایع سرد یا مایع اشباع به برج به محض ورود به مایع اشباع تبدیل می شود و اگر بخار اشباع یا بخار داغ باشد به بخار اشباع تبدیل می شود و در صورتی که مواد ورودی دو فازی باشد در برج همچنان دو فازی باقی می ماند.

۳- گزینه (۳) صحیح است.

با توجه به اینکه آب موجود در هوا به میزان چشم گیری کاهش یافته می توان با میعان هوا در دمای ثابت انجام شود.

۴- گزینه (۳) صحیح است.

۵- گزینه (۴) صحیح است.

۶- گزینه (۱) صحیح است.

۷- گزینه (۴) صحیح است.

در برج های سینی دار جداسازی بین دو ماده که شباهت بیشتری دارند دارای بازده کمتری است.

۸- گزینه (۲) صحیح است.

۹- گزینه (۳) صحیح است.

بین دو نقطه O و C خشک شدن سطحی است و بین دو نقطه C و E خشک شدن عمقی انجام می گیرد.

۱۰- گزینه (۲) صحیح است.

تعداد سینی های تئوری 80 می باشد در نتیجه تعداد سینی های واقعی حدود 100 می باشد که این به معنی بسیار سخت بودن عمل جداسازی با این روش می باشد. لذا برای این کار نمی توان از برج سینی دار استفاده کرد.

مجموعه تست

۱- تقطیر استخراجی وقتی استفاده می شود که تقطیر معمولی برای سیستم دو جزئی مورد نظر به دلیل α (ضریب فراریت) پایین نیاز به برجی باشد.

(1) قطور (2) قطور و بلند

(3) بلند ولی با قطر کم (4) بلند با تعداد سینی خیلی زیاد

۲- در بحث خشک کردن جامدات، تعادل نشانگر کدام مورد است؟

(1) کسر مولی رطوبت در هوا برابر با کسر مولی رطوبت در جامد است.

(2) مقدار رطوبت هوا برابر با مقدار رطوبت در جامد است.

(3) اگر رطوبت هوا بیشتر از مقدار تعادلی رطوبت هوا در حال تعادل با جامد معینی باشد، آن گاه جامد می تواند رطوبت هوا را به خود جذب کرده خیس تر شود.

(4) موارد 1 و 2 صحیح می باشد

۳- در عملیات رطوبت زنی، هنگام نوشتن روابط موازنه انتالپی و استفاده از منحنی رطوبت سنجی رسم بر

این است که مبنا را هوای خشک قرار می دهیم در حالی که هوای اولیه خود دارای رطوبت است، کدام مورد

صحیح می باشد؟

(1) استفاده از این روش حل مسائل را اسان تر می کند چون مبنا ثابت است.

(2) چنین روشی کاملاً دقیق است و هیچ فرضیاتی در نوشتن روابط اولیه موازنه انتالپی اعمال نمی شود.

(3) این روش رطوبت هوای اولیه را در نظر نمی گیرد ولی چون مقدار رطوبت کم است خطای قابل توجه ای در

محاسبات ایجاد نمی گردد.

(4) موارد 1 و 2 صحیح نمی باشد.

۴- لباس خیس در کدام شرایط زودتر خشک می شود؟

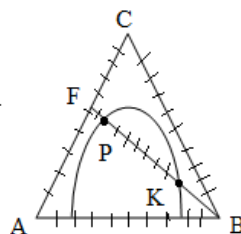
(1) دمای خشک $70^{\circ}\text{F}(\text{Dry} - \text{bulb})$ و دمای حباب خیس $50^{\circ}\text{F}(\text{Dry} - \text{buble})$

(2) دمای خشک $60^{\circ}\text{F}(\text{Dry} - \text{bulb})$ و دمای حباب خیس $50^{\circ}\text{F}(\text{Dry} - \text{buble})$

(3) دمای خشک $70^{\circ}\text{F}(\text{Dry} - \text{bulb})$ و دمای حباب خیس $40^{\circ}\text{F}(\text{Dry} - \text{bulb})$

(4) دمای خشک $60^{\circ}\text{F}(\text{Dry} - \text{bulb})$ و دمای حباب خیس $40^{\circ}\text{F}(\text{Dry} - \text{bulb})$

۵- خوراکی حاوی ۵۰ درصد جز c در یک میکسر ستلر (Mixer-settler) در تماس با حلال خالص قرار می گیرد (یک مرحله ای). نسبت حداکثر حلال به حداقل حلال مصرفی در این واحد برابر کدام مقدار است؟



25(4)

15(3)

10(2)

5(1)

۶- در به دست آوردن معادله فنسک (Fenske equation) در عملیات تقطیر، کدام فرض مورد استفاده قرار گرفته است؟

1) یک ضریب فراریت متوسط برای تمام سینی های مورد استفاده قرار گرفته است.

2) فرض شده است که درجه حرارت سینی ها با یکدیگر مساوی است

3) فرض شده است که نسبت دبی ملی مایع به بخار کوچکتر از یک باشد.

4) فرض شده است که نسبت دبی ملی مایع به بخار بزرگتر از یک باشد.

۷- تعریف نسبت برگشت R_{min} در یک برج تقطیر دو جزیی (Binary) چه می باشد؟

1) کوچکترین نسبت برگشت که بر اساس آن قطر سینی حساب می شود.

2) کوچکترین نسبت برگشت که می توان با آن تعداد سینی ها را محاسبه نمود.

3) کوچکترین نسبت برگشت که توزیع درجه حرارت را در طول برج از بین می برد.

4) بزرگترین نسبت برگشت بین تمام نسبت برگشت هایی که تعداد سینی ها را بی نهایت می کنند.

۸- در محاسبات تعداد سینی های برج تقطیر از کدام روش استفاده می شود؟

1) روش معادلات بستگی به ساختار درونی برج دارد. (یعنی نحوه برقراری تماس بین دو فاز)

2) همیشه از روش های پله ای بر مبنای موازنه جرم، موازنه آنتالپی و روابط تعادلی استفاده می شود.

3) همیشه از روش های پله ای بر مبنای موازنه جرم، موازنه آنتالپی و رابطه نرخ انتقال جرم استفاده می شود.

4) همیشه از روش های پله ای بر مبنای موازنه جرم، رابطه نرخ انتقال جرم و رابطه نرخ انتقال حرارت استفاده می شود.

۹- در چه حالتی مقدار حداقل جریان برگشتی R_{min} تقطیر دو جزیی، برای درصد خاص جداسازی x_D

و ترکیب خاص خوراک (Z_F) در ستون تقطیر پیوسته بیشتر خواهد بود؟

(1) خوراک ورودی به ستون مایع سرد باشد.

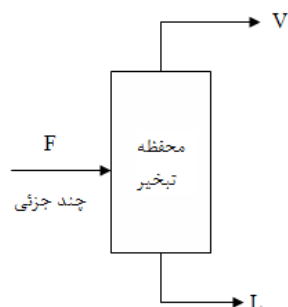
(2) خوراک ورودی به صورت مایع اشباع باشد.

(3) خوراک ورودی به ستون بخار داغ باشد

(4) خوراک ورودی به صورت مخلوط مایع - بخار باشد.

۱۰- بهترین پیشنهاد برای حدس دمای محفظه تبخیر کننده، در یک واحد عملیاتی تبخیر کننده ناگهانی

(Flash) ، تحت فشار محفظه تبخیر، مطابق شکل مقابل کدام است؟



(1) دمایی بین دمای جوش فرارترین و دمای جوش غیر فرارترین در خوراک ورودی است.

(2) دمایی بین دمای جوش فرارترین و دمای شبنم غیر فرارترین در خوراک ورودی است.

(3) دمایی بین دمای جوش خوراک و دمای شبنم خوراک ورودی است

(4) دمایی بین دمای جوش خوراک و دمای جوش غیر فرارترین در خوراک ورودی است.

۱۱- اگر در یک ستون تقطیر مداوم، نسبت مایع برگشتی از ۴ به ۸ تغییر یابد، ان گاه بار حرارتی کندانسور به

ازای واحد مول محصول بالا چقدر تغییر می کند؟ (فرض می شود که مایع خروجی از کندانسور در نقطه جوش است)

(1) $1/5$ برابر مقدار اولیه

(2) $1/8$ برابر مقدار اولیه

(3) $2/2$ برابر مقدار اولیه

(4) اصلا بار حرارتی کندانسور در بالا نسبت مایع برگشتی ربط ندارد و تغییر نمی کند.

پاسخنامه

۱- گزینه (۴) صحیح است.

عملیات تقطیر معمولی برای سیستم هایی که α پایین دارند به کار نمی رود زیرا در این حالت عملیات جداسازی بسیار سخت بوده و نیاز به تعداد زیادی سینی می باشد که سبب می شود ارتفاع برج بسایر بلند شود.

۲- گزینه (۳) صحیح است.

۳- گزینه (۴) صحیح است.

۴- گزینه (۳) صحیح است.

$$Y' = Y'_w = -\frac{h_G}{k_y \lambda} (t_G - t_w)$$

t_G : دمای خشک (dry- bulb)

t_w : دمای حباب خیس (wet-bulb)

با توجه به معادله بالا، هر چه اختلاف t_G و t_w بیشتر باشد لباس زودتر خشک می شود.

۵- گزینه (۴) صحیح است.

حداکثر حلال مصرفی را در نقطه M داریم:

$$\frac{F}{B_{\max}} = \frac{\overline{BM}}{\overline{FM}} = \frac{2}{10}$$

حداقل حلال مصرفی را در نقطه P داریم:

$$\frac{F}{B_{\min}} = \frac{\overline{BP}}{\overline{FP}} = \frac{10}{2}$$

$$\frac{\frac{F}{B_{\min}}}{\frac{F}{B_{\max}}} = \frac{\frac{10}{2}}{\frac{2}{10}} \Rightarrow \frac{B_{\max}}{B_{\min}} = \frac{100}{4} = 25$$

۶- گزینه (۱) صحیح است.

معادله فنسک که برای تعیین تعداد سینی های حداقل به کار می رود، با در نظر گرفتن یک ضریب فراریت نسبی برای تمام سینی ها به کار می رود.

$$N_{\min} + 1 = \log \frac{\left(\frac{x_D(1-x_W)}{x_W(1-x_D)} \right)}{\log \alpha_{av}}$$

۷- گزینه (۴) صحیح است.

تعداد سینی ها بر اساس نسبت برگشت اپتیمم محاسبه می شود. نسبت برگشت با تعداد سینی ها رابطه معکوس دارد و در حالت نسبت برگشت مینیمم $R_{\min}$ تعداد سینی ها بی نهایت خواهد بود

۸- گزینه (۱) صحیح است.

۹- گزینه (۳) صحیح است.

$$\frac{x_D}{R_{\min} + 1} \Big|_{\text{subcooled}} > \frac{x_D}{R_{\min} + 1} \Big|_{\text{sup erheat}} \Rightarrow R_{\min} \Big|_{\text{subcooled}} < R_{\min} \Big|_{\text{sup erheat}}$$

۱۰- گزینه (۳) صحیح است.

در این حالت بهترین پیشنهاد دمای بین دمای جوش خوراک و دمای شبنم خوراک می باشد. و عملیات تبخیر ناگهانی همواره بین نقطه جوش و شبنم می باشد.

۱۱- گزینه (۲) صحیح است.

مایع خروجی از کندانسور به حالت مایع اشباع می باشد (نقطه جوش) لکن در این حالت کل بخار ورودی به کندانسور به مایع تبدیل شده است (کندانسور کامل)

$$\begin{cases} Q_{C1} = D(R_1 + 1)(H_{G1} - H_{L0}) \\ Q_{C2} = D(R_2 + 1)(H_{G1} - H_{L0}) \end{cases}$$

با قرار دادن $R_1 = 4$ و $R_2 = 8$ داریم:

$$\begin{cases} Q_{C1} = 5D(H_{G1} - H_{L0}) \\ Q_{C2} = 9D(H_{G1} - H_{L0}) \end{cases}$$

و این به معنای این است که $Q_{C2} = 1/8 Q_{C1}$

مجموعه تست

۱- کدام یک از موارد زیر به کاهش مصرف جاذب در فرایند جذب سطحی (گاز-جامد) کمک می کند؟

- (1) افزایش دما (2) افزایش فشار (3) استفاده از جریان همسو (4) هیچکدام

۲- چگونه می توان از کارکرد صحیح هیدرودینامیکی یک برج تقطیر مطمئن شد؟

(1) خواندن درجه حرارت سینی ها

(2) میزان انرژی ورودی به دیگ جوش

(3) کارکرد صحیح دیگ جوش

(4) بررسی افت فشار در سینی ها

۳- در خصوص نمودار تعادلی سیستم های ایده ال که از قانون رانولت پیروی می کنند، کدام مورد صحیح

است؟ (P فشار کل و P_A^* فشار بخار خالص)

(1) Ty خط مستقیم ولی Tx به صورت منحنی می باشد

(2) $P_{Ay} = P_x$ خط مستقیم و $P_{Ax} = P_y$ خط مستقیم ولی Ty به صورت منحنی می باشد

(3) Tx خط مستقیم ولی Ty به صورت منحنی می باشد

(4) $P_x = P_{Ax}$ خط مستقیم و $P_y = P_{Ay}$ خط مستقیم ولی Ty به صورت منحنی می باشد

۴- از یک برج تقطیر علاوه بر محصول بالای برج، یک محصول جانبی S از قسمت بالای خوراک نیز به دست

می آید. در مختصات H-xy مختصات نقطه تفاضل بین خوراک و محصول جانبی به چه صورت خواهد بود؟

$$(1) \frac{Hx_D + Sx_S}{D+S}, \frac{Q_C + DH_D + SH_S}{D+S}$$

$$(2) x_D, \frac{Q_C + DH_D}{D+S}$$

$$(3) \frac{Dx_D - Sx_S}{D-S}, \frac{Q_C + DH_D - SH_S}{D-S}$$

$$(4) x_D, Q_C \frac{H_D}{D}$$

۵- در عمل استخراج مایع-مایع در صورتی که انتخاب پذیری حلال β (selectivity) و ضریب توزیع جرم حل

شونده k در نظر گرفته شود، حلال مناسب حلالی است که β و k آن چگونه باشد؟

$$(1) \beta < 1, k < 1 \quad (2) \beta > 1, k < 1 \quad (3) \beta < 1, k > 1 \quad (4) \beta > 1, k > 1$$

۶- اگر در یک مخلوط مایع A و B با ویسکوزیته زیاد داشته باشیم. کدام یک از روش های زیر ، برای

جداسازی A و B مناسب تر و آسان تر می باشد؟

(1) جذب سطحی (2) تقطیر (3) استخراج مایع-مایع (4) تبخیر

۷- جداسازی فازها از یکدیگر در عملیات استخراج مایع-مایع در شرایط یکسان در کدام یک از روش های

زیر مشکل تر است؟

(1) برج های RDC

(2) برج های اکنده

(3) سیستم های مخلوط کننده - ته نشین کننده (Mixer-Settler)

(4) برج های سینی دار

۸- اگر در یک برج تقطیر، دیگ جوش (Reboiler) نتواند در حد انتظار بخار تولید نماید، چه کمکی می توان

برای رفع این مشکل انجام داد؟

(1) بردن شرایط خوراک ورودی به سطوح بالاتر انرژی

(2) افزایش نسبت برگشت برج

(3) سرد کردن مایع برگشتی از کندانسور و برج

(4) کم کردن بار حرارتی کندانسور

۹- در برج تقطیر مقدار steam ($\dot{m}_s$) دیگ جوش و آب مصرفی ($\dot{m}_w$) کندانسور به چه صورت قابل محاسبه است؟

(T_2, T_1) دمای آب ورودی و خروجی به کندانسور، λ_s گرمای نهان بخار و λ گرمای نهان تبخیر مخلوط روی سینی آخر می باشد. C_p (گرمای ویژه) به شرط آن که مایع برگشتی و بخار ورودی به برج اشباع باشند)

$$m_s = \frac{C_p \lambda}{\lambda_s}, m_w = \frac{(T_2 - T_1) C_p}{v \lambda} \quad (1)$$

$$m_s = \frac{\bar{v} \lambda}{\lambda_s}, m_w = \frac{v \lambda}{(T_2 - T_1) C_p} \quad (2)$$

$$m_s = \frac{\lambda_s}{\bar{v} \lambda}, m_w = \frac{(T_2 - T_1) C_p}{v \lambda} \quad (3)$$

$$m_s = \frac{m_f \lambda}{\lambda_s}, m_w = \frac{v \lambda}{(T_2 - T_1) C_p} \quad (4)$$

۱۰- کدام یک از معادلات زیر برای خط کار (operating line) در فرایند تبخیرانی (Flash Vap.) در

سیستم های دو جزیی صحیح است؟

$$-\frac{W}{D} = \frac{y_D}{x_W} - x_F \quad (2) \quad \frac{W}{D} = -\frac{y_D - x_F}{x_W - x_F} \quad (1)$$

$$-\frac{W}{D} = \frac{y_D}{x_W} \quad (4) \quad \frac{W}{D} = -\frac{y_D - x_F}{x_F - x_W} \quad (3)$$

۱۱- چگونه می توان یک هوای مرطوب غیر اشباع را در فشار ثابت سرد نمود بدون آن که رطوبت نسبی آن تغییر کند؟

۱) خنک کردن را باید ناگهانی انجام داد

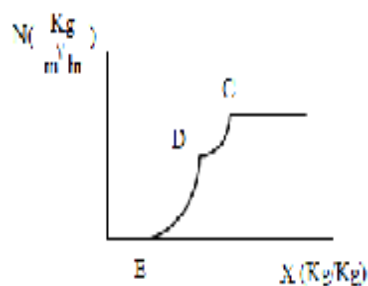
۲) سرد کردن را در چند مرحله انجام دهیم

۳) این کار در یک محیط بسته با فشار ثابت میسر می باشد

۴) این کار میسر نمی باشد

۱۲- منحنی خشک کردن یک ماده جامد با هوا با درجه حرارت t و رطوبت y' به شکل زیر است. اگر درجه

حرارت هوا را با y' ثابت افزایش دهیم. کدام گزینه صحیح است؟



1) خط DC به خط مستقیم تبدیل خواهد شد.

2) N_c بزرگتر و x_E کوچکتر خواهد شد.

3) هر دو خط DC و DE خط مستقیم خواهند شد.

4) N_c کوچکتر و x_E بزرگتر خواهد شد.

پاسخنامه

۱- گزینه (۳) صحیح است.

۲- گزینه (۴) صحیح است.

۳- گزینه (۴) صحیح است.

طبق قانون راولت داریم:

$$\begin{cases} y_A P_t = x_A P_A^{\text{sat}} & (1) \\ y_A P_t = P_A & (2) \end{cases} \Rightarrow P_A = x_A P_A^{\text{sat}}$$

هم چنین برای یک مخلوط دو جزئی داریم:

$$\begin{cases} P_t = P_A + P_B = x_A P_A^{\text{sat}} + x_B P_B^{\text{sat}} & (3) \\ x_B = 1 - x_A & (4) \end{cases} \Rightarrow P_t = (P_A^{\text{sat}} - P_B^{\text{sat}}) x_A + P_B^{\text{sat}}$$

لذا نمودار P_t بر حسب x_A به صورت خطی مستقیم با شیب $(P_A^{\text{sat}} - P_B^{\text{sat}})$ و عرض از مبدا (P_B^{sat}) خواهد بود.

۴- گزینه () صحیح است.

$$\text{موازنه جرم کلی} \begin{cases} V - L = S + D \\ yV - xL = Dx_D + Sx_s \\ VH_v - LH_L = DH_D + SH_s + Q_c \end{cases}$$

موازنه جرم جزیی: $yV - xL = Dx_D + Sx_s$

موازنه انرژی: $VH_v - LH_L = DH_D + SH_s + Q_c$

$$\Delta M \begin{cases} x_{\Delta M} = \frac{Dx_D + Sx_s}{D + S} \\ H_{\Delta M} = \frac{DH_D + SH_s + Q_c}{D + S} \end{cases}$$

هیچ کدام از گزینه ها صحیح نمی باشد.

۵- گزینه (۴) صحیح است.

$$\beta = \frac{\left(\frac{C}{D}\right)_E}{\left(\frac{C}{A}\right)_R}$$

ضریب انتخاب پذیری بایستی بیشتر از یک باشد و هر چه بیشتر از یک باشد جداسازی ساده تر است.

$$(\beta > 1)$$

$$\beta = \frac{(C_{\text{جزء جرم}})_E}{(C_{\text{جزء جرم}})_R}$$

با این که لازم نیست این کمیت بیشتر از یک باشد، اما مقادیر بزرگتر آن به دلیل کم شدن حلال مصرفی بهتر است.

۶- گزینه (۳) صحیح است.

۷- گزینه (۳) صحیح است.

مشکل بودن عملیات استخراج مایع- مایع (در شرایط یکسان):

Mixer – Settler > Spray Tower > Packing Tray > RDC

۸- گزینه (۱) صحیح است.

اگر دیگ جوش نتواند در حد انتظار بخار تولید کند می بایست برای جبران آن خوراک ورودی به برج با انرژی بیشتری وارد برج شود تا بتوان به همان مقادیر و غلظت ها در محصولات خروجی از برج رسید. اگر سطح انرژی خوراک ورودی به برج افزایش یابد میزان بخار در برج بیشتر شده و می تواند جبران کننده بخار کم تولیدی توسط دیگ جوش شود.

۹- گزینه (۲) صحیح است.

$$\begin{cases} Q_R = m_w C_{pw} (T_2 - T_1) \\ Q_R = V \lambda \end{cases} \Rightarrow V \lambda = m_w C_{pw} (T_2 - T_1) \Rightarrow m_w = \frac{V \lambda}{C_{pw} (T_2 - T_1)}$$

مقدار حرارتی که آب از دست داده است مایع برگشتی به برج گرفته تا از حالت مایع اشباع به بخار اشباع برسد بنابراین:

$$Q_R = \lambda V = m_s \lambda_s \Rightarrow m_s = \frac{\lambda V}{\lambda_s}$$

۱۰- گزینه (۱) صحیح است.

$$\begin{cases} F = D + W \\ F x_F = D y_D + W x_W \end{cases} \Rightarrow (D + W) x_F = D y_D + W x_W \Rightarrow \frac{W}{D} = - \frac{y_D - x_F}{x_W - x_F}$$

۱۱- گزینه (۴) صحیح است.

اگر هوا اشباع نباشد، در حین سرد شدن رطوبت نسبی افزایش می یابد.

طبق اطلاعات صورت مساله هوا مرطوب و غیر اشباع بوده و می خواهد در فشار ثابت بدون آن که رطوبت نسبی تغییر کند، دما کاهش یابد، دما کاهش یابد، که این کار امکان پذیر نمی باشد.

۱۲- گزینه (۲) صحیح است.

اگر درجه حرارت افزایش یابد و رطوبت (y') ثابت باقی بماند، شدت خشک شدن N_c افزایش می یابد. منحنی های DC و DE در حقیقت مربوط به رطوبت درونی جسم است و افزایش یا کاهش درجه حرارت نمی تواند باعث تبدیل این منحنی ها به خط شود.

x_E در حقیقت پایین ترین رطوبتی است که می توان به آن رسید. هر چه هوا خشک تر و درجه حرارت آن بالاتر باشد این مقدار x_E کمتر خواهد شد.

مجموعه تست

۱- در $T=300\text{K}$ ضریب نفوذ A و B در محلول رقیق از A و $D_{AB} = 2 \times 10^{-9} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$ است. اگر دمای محلول

به 330K افزایش یابد ویسکوزیته ی مایع ۴۵٪ کاهش می یابد در این دما ضریب نفوذ بر حسب $\frac{\text{m}^2}{\text{s}}$ چقدر

است:

$$(1) \quad 2/2 \times 10^{-9} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad (2) \quad 4 \times 10^{-9} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$(3) \quad 2/3 \times 10^{-9} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad (4) \quad 4/9 \times 10^{-9} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

۲- ضریب انتقال جرم بین اتسفر و آب اقیانوس برای CO_2 ، $k_L = 2 \times 10^{-3} \frac{\text{m}}{\text{s}}$ است.

ضریب انتقال جرم در همان شرایط برای انتقال آرگون از اتمسفر به آب اقیانوس چند $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ است :

ضریب نفوذ CO_2 در آب $1/46 \times 10^{-9}$ و ضریب نفوذ آرگون در آب $5/84 \times 10^{-9}$ متر مربع بر ثانیه است.

$$(1) \quad 1 \times 10^{-3} \quad (2) \quad 4 \times 10^{-3} \quad (3) \quad 5 \times 10^{-3} \quad (4) \quad 8 \times 10^{-3}$$

۳-هرگاه برج جداره مرطوبی به طول ۶/۵ft با شار متوسط مولی انتقال جرم بین دو فاز

$100 \text{bmole} / \text{ft}^2 \cdot \text{min}$ و مقدار جذب $10 \text{lbmol} / \text{min}$ عمل کند چند اینچ محاسبه می شود.

$$(1) \quad 0/5 \quad (2) \quad 1/5 \quad (3) \quad 3 \quad (4) \quad 6$$

۴- کدامیک از روابط زیر برای شار مولی A صحیح است:

$$(1) \quad (N_A + N_B)X_A - D_{AB}C_T \nabla X_A$$

$$(2) \quad (N_A + N_B)X_A - D_{AB}C_T \nabla X_B$$

$$(3) \quad (N_A + N_B)X_A - D_{AB}\rho \nabla X_A$$

$$(4) \quad (N_A + N_B)X_A + D_{AB}C_T \nabla X_A$$

۵- یک ستون جذب از پرکن های کروی با $a_p = 30 \text{ ft}^2 / \text{ft}^3$ و $\varepsilon = 0.5$ پر شده است قطر پرکن ها چند فوت است:

- 10(1) 1/0(2) 0/1(3) 0/01(4)

۶- کدام عبارت در مورد مقایسه ی برج سینی دار با برج آکنده صحیح است:

- 1) موجودی مایع در برج های آکنده بیشتر از برج های سینی دار و فاز گاز فاز پیوسته است.
- 2) موجودی مایع در برج های آکنده کمتر از برج های سینی دار و فاز گاز فاز پراکنده است.
- 3) موجودی مایع در برج های آکنده کمتر از برج های سینی دار و فاز گاز فاز پیوسته است.
- 4) موجودی مایع در برج های آکنده بیشتر از برج های سینی دار و فاز گاز فاز پراکنده است.

۷- برای آکنه ی خاصی $HETP = 0.25 \text{ m}$ است. اگر بخواهیم یک برج سینی دار دارای ۵۰ سینی و راندمان

کلی $E_o = 0.2$ را با برج آکنده جایگزینی کنیم، ارتفاع قسمت آکنده برج چقدر خواهد بود:

- 5/0m(1) 7/5m(2) 10m(3) 2/5m(4)

۸- در روی سینی های تقطیر از نوع غربالی (Sieve Traye)، میزان ماندگی (Hold up) فاز بخار حدودا

چقدر است:

- 1) حدود 2%
- 2) 15%-5%
- 3) حدود 60%
- 4) ماندگی گاز تابع مستقیم دبی فاز مایع است.

۹- فرایند Elution عبارت است از:

1) فرایند Absorption به صورت شیمیایی

2) فرایند Desorption به کمک حلال

3) فرایند Stripping به صورت شیمیایی

4) فرایند Absorption در حضور حلال در یک محلول آبی

۱۰- در یک برج استخراج مایع - مایع از نوع سینی دار ، بین دو سینی پروفایل درجه حرارت وجود داشته است:

- 1) یک فاز سعت بالاتری از فاز دوم داشته است.
- 2) در این برج انتقال جرم با آزاد شدن و گرفتن انرژی همراه است.
- 3) فاز پخش شده disperse به اندازه های بسیار کوچک بوده است.
- 4) فاز پخش شده disperse به اندازه های بسیار بزرگ بوده است.

پاسخنامه

۱- گزینه (۲) صحیح است.

با توجه به رابطه Wilk – Change

$$\frac{D_{AB2}}{D_{AB1}} = \frac{T_2 \mu_1}{T_1 \mu_2}$$

$$\frac{D_{AB2}}{2 \times 10^{-9}} = \frac{330}{300} \times \frac{\mu_1}{0.55 \times \mu_1} \rightarrow D_{AB2} = 4 \times 10^{-9} \frac{m^2}{s}$$

۲- گزینه (۲) صحیح است.

با توجه به نظریه رسوخ در حالت آشفته

$$k_L \propto D_{AB}^{0.5}$$

$$\frac{k_{L2}}{k_{L1}} = \left(\frac{D_{AB2}}{D_{AB1}} \right)^{0.5}$$

$$k_{L2} = 4 \times 10^{-3} \frac{m^2}{s}$$

۳- گزینه (۴) صحیح است.

$$N_A \cdot A = ct$$

$$\left. \begin{array}{l} 10 \times \pi \cdot D \cdot L = 100 \\ L = 6/5 \end{array} \right\} \Rightarrow D = 0.5 \text{ ft} = 6 \text{ in}$$

۴- گزینه (۱) صحیح است.

به متن توجه فرمائید.

۵- گزینه (۳) صحیح است.

$$a_p = \frac{6(1-\epsilon)}{d_p} \rightarrow d_p = 0.1 \text{ ft}$$

۶- گزینه (۳) صحیح است.

به متن توجه فرمائید.

۷- گزینه (۴) صحیح است.

$$\text{ارتفاع برج} = 0 / 25 \times 50 = 12 / 5$$

$$\text{ارتفاع آکنده} = 12 / 5 \times E_0 = 2 / 5$$

۸- گزینه (۲) صحیح است.

به متن توجه فرمائید.

۹- گزینه (۲) صحیح است.

به متن توجه فرمائید.

۱۰- گزینه (۲) صحیح است.

به متن توجه فرمائید.

مجموعه تست

۱- در انتقال جرم پایای یک گاز از درون گاز ساکن دیگر کدام رابطه برای ضریب انتقال k_c بر اساس تئوری

فیلم صحیح است:

$$\frac{D_{AB}}{\delta} \quad (4) \quad \frac{PD_{AB}}{RT\delta} \quad (3) \quad \frac{PD_{AB}}{P_{BM}\delta} \quad (2) \quad \frac{CD_{AB}}{\delta} \quad (1)$$

۲- نفتالین به شکل یک استوانه بلند به طول L و شعاع R در هوای ساکن و در دمای نسبتاً پایین تصعید می

شود. سرعت انتقال جرم $\dot{m}_A$ برابر است با: جرم مولکولی A : M_A و غلظت روی سطح استوانه (حد

اشباع) : C_A^*

$$\dot{m}_A = \frac{2\pi L M_A D_{AB} (C_A^* - C_A)}{\ln \frac{r}{R}} \quad (1)$$

$$\dot{m}_A = \frac{2\pi L M_A D_{AB} (C_A^* - C_A)}{(1 - x_A)(r - R)} \quad (2)$$

$$\dot{m}_A = \frac{2\pi L M_A D_{AB} (C_A^* - C_A)}{(r - R)} \quad (3)$$

$$\dot{m}_A = \frac{2\pi L M_A D_{AB} (C_A^* - C_A)}{(1 - x_A) \ln \frac{r}{R}} \quad (4)$$

۳- کدام عبارت در مورد ستون های سینی دار و پر شده درست نیست:

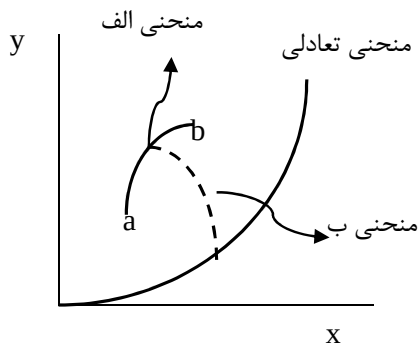
۱) ستون های پر شده برای سیستم کف زا مناسب تر است.

۲) ایجاد جریان های جانبی در ستون های سینی دالر آسان تر است.

۳) ستون های پر شده برای دبی مایع خیلی کم مناسب نمی باشند.

۴) هلد آپ فاز مایع در ستون های پر شده نسبتاً زیاد می باشد.

۴- کدام عبارت در خصوص منحنی های شکل مقابل مناسب تر است:



1) منحنی الف ستون دفع ، b بالای ستون است.

2) منحنی الف جذب ، b پایین ستون و منحنی ب دفع موضعی است.

3) منحنی الف ستون جذب ، منحنی ب جذب همراه واکنش شیمیایی است.

4) منحنی الف ستون جذب ، منحنی ب عملیاتی در موضع خاص ، a بالای ستون است.

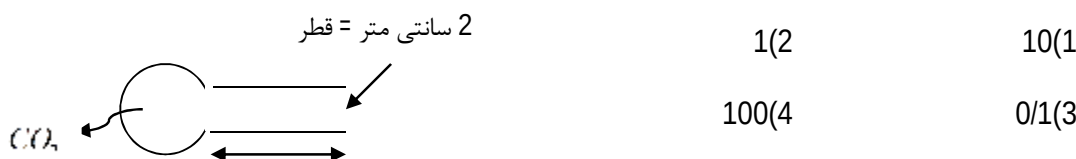
۵- گاز CO_2 درون ظرفی به حجم ۱۰۰ سانتی متر مکعب و از طریق لوله موئینه در شرایطی یکنواخت به

محیط هوای خالص وارد می شود . ابعاد لوله موئینه داده شده است. چند ثانیه طول می کشد تا غلظت

CO_2 درون ظرف به $\frac{2}{3}$ مقدار اولیه خود برسد:

$$D_{CO_2-Air} = 3/33 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s} , M_{CO_2} = 40 , \pi = 3 , \ln \frac{1}{5} = 0/4$$

سایر اطلاعات:



۶- هوای عاری از نفتالین با سرعت ظاهری V_0 از بستر سیالی حاوی ۱۰ سانتی متر ، به ارتفاع L عبور می

کند. اگر سطح ویژه a و ضریب انتقال جرم k_c باشد غلظت نفتالین در هوای خروجی تقریباً چقدر

است (فشار بخار نفتالین P^* دمای مطلق T و R ثابت عمومی گاز هاست.)

$$C_{Aout} = \frac{2P^*}{RT(1 + \frac{2V_0}{aLk_c})} \quad (2)$$

$$C_{Aout} = \frac{P^*}{RT(1 + \frac{2V_0}{aLk_c})} \quad (1)$$

$$C_{Aout} = \frac{2P^*}{RT(1 + \frac{V_0}{aLk_c})} \quad (4)$$

$$C_{Aout} = \frac{P^*}{RT(1 + \frac{V_0}{aLk_c})} \quad (3)$$

۷- انتقال جرم A از فاز گاز به مایع صورت می گیرد. به نحوی که انتقال جرم B نیز وجود ندارد ($N_B = 0$)

غلظت A در توده ی گاز و مایع به ترتیب $y_{AG} = 0/8$, $x_{AL} = 0/2$ داده شده است. اگر برای این سیستم

$F_L = F_G$ باشد. غلظت ها در فصل مشترک عبارتند از (رابطه ی تعادلی $x_{Ai} = y_{Ai}$)

$$x_{Ai} = y_{Ai} = 0/5 \quad (2)$$

$$x_{Ai} = y_{Ai} = 0/4 \quad (1)$$

$$x_{Ai} = y_{Ai} = 0/7 \quad (4)$$

$$x_{Ai} = y_{Ai} = 0/6 \quad (3)$$

۸- در یک برج استخراج مایع -مایع از نوع سینیدار ماندگی (hold up) فاز پخش شده در بین سینی ها

حدودا چقدر است:

$$20-40\% \quad (2)$$

$$20\% \text{ کمتر از} \quad (1)$$

$$70\% \text{ بیشتر از} \quad (4)$$

$$40-60\% \quad (3)$$

۹- با توجه به فاز پخش شده (پراکنده) و فاز پیوسته یا مداوم در برج های استخراج آکنده (packed) کدام

عبارت صحیح است:

(1) فاز پخش شده باید سطح آکنه را تر نماید.

(2) فاز پیوسته باید سطح آکنه را تر نماید.

(3) فاز پخش شده باید سطح آکنه را تر نموده و در حین حرکت قطرات بزرگتر شوند.

(4) فاز پیوسته باید سطح آکنه را تر نموده و باعث افزایش سرعت فاز پخش شده شود.

پاسخنامه

۱- گزینه (۲) صحیح است.

برای حالت نفوذ در فیلم ساکن داریم

$$\left. \begin{aligned} N_A &= \frac{D_{AB} \cdot C}{\delta} \ln \frac{1 - P_{A_2} / P_t}{1 - P_{A_1} / P_t} = \frac{D_{AB} \cdot C}{\delta} \ln \frac{P_{B_2}}{P_{B_1}} = \frac{D_{AB} \cdot P_t}{\delta P_{BM}} (C_{B_2} - C_{B_1}) \\ P_{BM} &= \frac{P_{B_2} - P_{B_1}}{\ln \frac{P_{B_2}}{P_{B_1}}} \\ N_A &= k_C (C_{A_2} - C_{A_1}) = k_C (C_{B_2} - C_{B_1}) \\ k_C &= \frac{D_{AB} \cdot P_t}{P_{BM} \cdot \delta} \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

۲- گزینه (۱) صحیح است.

$$\left. \begin{aligned} N_{Ar} \cdot A &= \text{cte} \\ N_{Ar} &= J_{Ar} \end{aligned} \right\} \Rightarrow J_{Ar} \cdot A = \text{cte}$$

$$\dot{n}_A = N_{Ar} \cdot S_r \cdot M_A \big|_{r \geq R} = (-D_{AB} \cdot \frac{\partial C_A}{\partial r})(2\pi r L)(M_A)$$

$$\dot{n}_A = \frac{2\pi r L M_A D_{AB} (C_A^* - C_A)}{\ln \frac{r}{R}}$$

۳- گزینه (۴) صحیح است.

به متن توجه فرمائید

۴- گزینه (۴) صحیح است.

به متن توجه فرمائید

۵- گزینه (۱) صحیح است.

۶- گزینه (۲) صحیح است.

۷- گزینه (۳) صحیح است.

$$\left. \begin{array}{l} \left(\frac{1-y_{Ai}}{1-y_{AG}} \right) = \left(\frac{1-x_{AL}}{1-x_{Ai}} \right)^{F_L/F_G} \\ F_L = F_G \\ y_{Ai} = x_{Ai} \end{array} \right\} \rightarrow \left(\frac{1-y_{Ai}}{1-0/8} \right) = \left(\frac{1-0/2}{1-y_{Ai}} \right)$$

$$y_{Ai} = x_{Ai} = 0/6$$

۹- گزینه (۱) صحیح است.

به متن توجه فرمائید

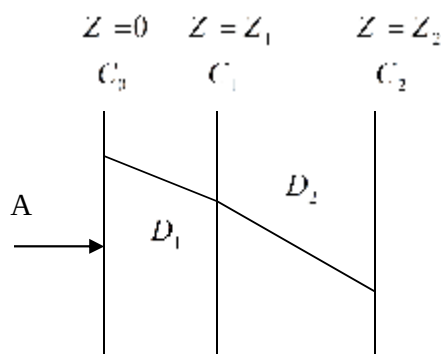
۱۰- گزینه (۱) صحیح است.

به متن توجه فرمائید

مجموعه تست

۱- توزیع غلظت ماده نفوذ کننده در دو غشاء مجاور هم در حالت پایا به صورت متقابل می باشد. اگر هم زمان

ضرائب نفوذ در غشاء و همچنین ضخامت آنها دو برابر شوند شار مولی A چگونه تغییر می کند:



1) 0/5 برابر می شود.

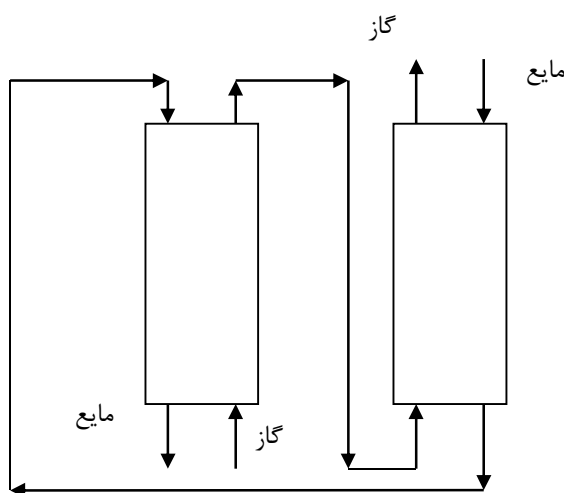
2) 4 برابر می شود.

3) تغییر نمی کند.

4) 2 برابر می شود.

۲- از دو ستون جذب با جریان های معکوس که به شکل مقابل به یکدیگر مربوط شده اند برای جذب ماده A

از هوا توسط آب استفاده می شود. معادلات خطوط عملیاتی در برج به کدام صورت قرار می گیرد:



1) دو خط در یک امتداد قرار دارند

2) هر دو خط در یک طرف منحنی تعادلی ولی

با شیب های متفاوت قرار می گیرند

3) با اطلاعات موجود اظهار نظر نمی توان نمود

3) هر خط در یکی از دو طرف منحنی تعادل قرار می گیرند.

۳- عدد اشمیت در مایعات با افزایش دما می یابد . چون ضریب نفوذ و

ویسکوزیته می یابد.

(1) افزایش - افزایش - کاهش

(2) کاهش - کاهش - افزایش

(3) کاهش - کاهش - کاهش

(3) افزایش - کاهش - افزایش

۴- یک جسم کروی از جنس نفتالین در یک محیط ساکن از هوا تصعید گردید . اگر سرعت تصعید به اندازه

کم که از تغییر قطر صرف نظر شود میزان تصعید W بر حسب شعاع کره R_0 و ضریب نفوذ D_{AB} و فشار

کل P_T دما T و جزء مولی نفتالین در هوای اشباع x_{AS} کدام یک از روابط زیر است:

$$W = \frac{4\pi R_0 P_T}{RT D_{AB}} \ln \frac{1}{1 - x_{AS}} \quad (1)$$

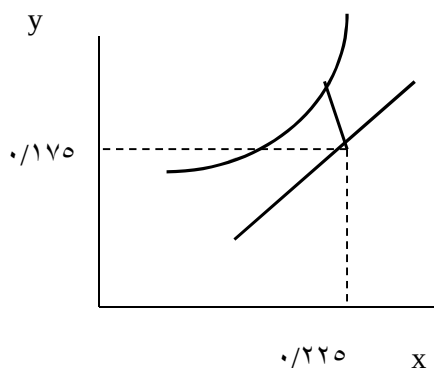
$$W = \frac{4\pi R_0 P_T D_{AB}}{RT} \ln \frac{1}{1 - x_{AS}} \quad (2)$$

$$W = \frac{4\pi R_0 P_T}{RT D_{AB}} \ln \frac{x_{AS}}{1 - x_{AS}} \quad (3)$$

$$W = \frac{4\pi R_0}{RT D_{AB} P_T} \ln \frac{1}{1 - x_{AS}} \quad (4)$$

۵- شکل مقابل خط تعادلی و منحنی عملیاتی را برای یک سیستم نشان می دهد. اگر نقطه ای $A(0.225, 0.175)$

$(0.175, 0)$ نقطه ای از سیستم را نشان دهد . نسبت ضرائب انتقال جرم k_x به k_y چقدر است:



0/2(1

1(2

2(3

0/5(4

۶- در یک فرایند جذب داده های زیر وجود دارد :

کسر مولی جزء منتقل شونده در فصل مشترک گاز و مایع $y_{Ai} = 0/01$

کسر مولی جزء منتقل شونده در فصل مشترک گاز و مایع $x_{Ai} = 0/08$

کسر مولی جزء منتقل شونده در توده مایع $x_{Ai} = 0/1$

کسر مولی جزء منتقل شونده در توده گاز $y_{AG} = 0/2$

مقدار $\frac{k_x}{k_y}$ چقدر است:

2/5(4

4/5(4

3/5(2

1/5(1

۷- در یک برج جذب در کدام حالت افت فشار در حداقل خواهد بود (با توجه به اینکه بقیه شرایط یکسان

است):

(2) پر شدن به صورت نامنظم

(1) پر شدن از نوع منظم

(4) سینی دار از نوع کلاهی

(3) سینی دار از نوع مشبک

۸- در یک برج دفع غیر همسو SH_2 وجود در یک محلول آمین توسط جریان هوا از آن خارج می گردد . اگر

حداکثر غلظت SH_2 در محلول آمین خروجی $x_2 = 0/1$. باشد حداکثر نسبت $\frac{L}{G}$ در این حالت چقدر

است:(منحنی تعادل برای این سیستم $Y=X$ است.)

$\frac{3}{4}$ (4

$\frac{4}{5}$ (3

$\frac{5}{3}$ (2

$\frac{3}{5}$ (1

پاسخنامه

۱- گزینه (۳) صحیح است.

$$N_A = -D \frac{dC_A}{dz}$$

$$N_A = \frac{D_1}{Z_1 - 0} (C_1 - C_0) = \frac{D_2}{Z_2 - Z_1} (C_2 - C_1)$$

با توجه به اینکه به طور هم زمان ضرایب نفوذ و ضخامت افزایش می یابد در نتیجه از مولی A مقداری ثابت است .

۲- گزینه (۱) صحیح است.

با توجه به اینکه نقاط ابتدای و انتهایی به یکدیگر متصل است و از طرفی در هر دو ستون به صورت متقابل عمل می کند می توان گفت گزینه صحیح یک می باشد.

۳- گزینه () صحیح است.

با توجه به رابطه زیر داریم

$$Sc = \frac{\mu}{\rho D_{AB}} \Rightarrow D_{AB} \propto T, \quad T \propto \frac{1}{\mu} \propto \frac{1}{Sc}$$

که با افزایش دما ویسکوزیته و عدد اشمیت کاهش و ضریب نفوذ افزایش می یابد.

۴- گزینه (۲) صحیح است .

$$\left. \begin{aligned} W &= N_{Ar} \cdot A = cte \\ A &= 4\pi r^2 \\ N_{Br} &= 0, \quad N_{Ar} = J_{Ar} + x_A (N_{Ar} + N_{Br}) \\ N_{Ar} &= \frac{-D_{AB} C}{dr} \frac{dx_A}{(1-x_A)}, \quad C = \frac{P_T}{RT} \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$W = \frac{-4\pi r^2 D_{AB} P_T}{RT dr} \frac{dx_A}{(1-x_A)}$$

$$W \int_{r=R_0}^{r=\infty} \frac{dr}{r^2} = \frac{-4\pi r^2 D_{AB} P_T}{RT} \left(\int_{x_A=x_{AS}}^{x_A=0} \frac{dx}{1-x_A} \right)$$

$$W = \frac{4\pi r^2 D_{AB} P_T}{RT} \ln \left(\frac{1}{1-x_A} \right)$$

۵- گزینه (۲) صحیح است.

$$x_{Ai} = y_{AG} = 0/225 \quad , \quad y_{Ai} = x_{AL} = 0/175$$

$$-\frac{k_x}{k_y} = \frac{y_{AG} - y_{Ai}}{x_{AL} - x_{Ai}}$$

$$\frac{k_x}{k_y} = -\frac{0/225 - 0/175}{0/175 - 0/225} = 1$$

۶- گزینه () صحیح است.

با توجه به اطلاعات مسئله داریم

$$x_{Ai} = 0/08 \quad , \quad x_{AL} = 0/1$$

$$y_{Ai} = 0/01 \quad , \quad y_{AG} = 0/2$$

$$\frac{k_x}{k_y} = -\frac{y_{AG} - y_{Ai}}{x_{AL} - x_{Ai}} = -9/5$$

۷- گزینه (۱) صحیح است.

به متن توجه فرمائید.

۸- گزینه (۲) صحیح است.

$$Y_1 = \frac{0/2}{1 - 0/2} = 0/225 \quad , \quad X_2 = \frac{0/1}{1 - 0/1} = 0/111$$

برای حالت حداکثر جداسازی :

$$X_1 = Y_1 = 0/25$$

$$\frac{L}{G} = \frac{Y_1 - Y_2}{X_1 - X_2} = \frac{0/25 - 0}{0/25 - 0/111} = 1/8 = \frac{5}{3}$$

منابع و مأخذ :

- 1- عملیات انتقال جرم ، تربال
- 2- عملیات واحد ، مک کیپ
- 3- عملیات انتقال جرم دکتر امیری چالکش