

انتقال جرم و عملیات واحد ۱ و ۲

مجموعه مهندسی شیمی

مهندس کامیار امیرانتظاری

مؤسسه آموزش عالی آزاد پارسه

پارسه

www.arshd87.blogfa.com

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

منابع آزمون کارشناسی ارشد و دکتری
09195367497
www.arshd87.blogfa.com

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۹	فصل اول مقدمه‌ای بر عملیات انتقال جرم
۱۵	تست‌های طبقه‌بندی شده
۱۶	پاسخ تست‌های طبقه‌بندی شده
۱۷	فصل دوم نفوذ مولکولی
۱۷	۱-۲ مقدمه
۱۹	۲-۲ تعاریف
۲۲	۳-۲ قانون اول فیک
۲۳	۴-۲ نکاتی در مورد ضریب نفوذ مولکولی
۲۷	۵-۲ نفوذ مولکولی یک بعدی پایا
۳۳	۶-۲ بررسی شار نفوذی در مختصات کارتزین، استوانه‌ای و کروی
۳۴	۷-۲ محاسبه شار انتقال جرم در شرایط که N_A ثابت نیست
۳۶	۸-۲ معادله اساسی انتقال جرم
۳۹	۹-۲ قانون دوم فیک
۴۰	۱۰-۲ محاسبه شار انتقال جرم در حالت ناپایا
۴۳	تست‌های طبقه‌بندی شده
۴۶	پاسخ تست‌های طبقه‌بندی شده
۴۸	فصل سوم ضرایب انتقال جرم
۴۸	۱-۳ مقدمه
۵۰	۲-۳ مروری بر مفاهیم پدیده‌های انتقال
۵۲	۳-۳ ضرایب انتقال جرم
۵۶	۴-۳ اعداد بدون بعد
۵۹	۵-۳ تعیین ضریب انتقال جرم F و K
۷۸	تست‌های طبقه‌بندی شده
۸۴	پاسخ تست‌های طبقه‌بندی شده

فصل چهارم انتقال جرم بین فازها ۸۸

۸۸	۱-۴	مقدمه
۸۸	۲-۴	تبادل
۸۹	۳-۴	انتقال جرم بین دو فاز
۹۱	۴-۴	ضرایب کلی
۹۷	۵-۴	واحدهای عملیاتی
۱۱۶		تست‌های طبقه‌بندی شده
۱۲۳		پاسخ تست‌های طبقه‌بندی شده

فصل پنجم دستگاه‌های مربوط به عملیات گاز - مایع ۱۲۷

۱۲۷	۱-۵	مقدمه
۱۲۷	۲-۵	مخازن مولد حباب
۱۳۱	۳-۵	مخازن هم‌زن دار
۱۳۵	۴-۵	برج‌های سینی دار
۱۴۷	۵-۵	برج‌های دیواره مرطوب
۱۴۷	۶-۵	برج‌های پاششی
۱۴۸	۷-۵	شستشودهنده و نتوری
۱۴۸	۸-۵	برج‌های پر شده
۱۵۹	۹-۵	مقایسه برج‌های سینی دار و پر شده
۱۶۰		تست‌های طبقه‌بندی شده
۱۶۴		پاسخ تست‌های طبقه‌بندی شده

فصل ششم جذب و دفع گاز ۱۶۶

۱۶۶	۱-۶	مقدمه
۱۶۷	۲-۶	انتخاب حلال مناسب
۱۶۸	۳-۶	دبی مناسب حلال
۱۶۹	۴-۶	قطر مناسب برج و آرایش جریان‌ها
۱۷۱	۵-۶	ارتفاع برج
۱۷۶		تست‌های طبقه‌بندی شده
۱۸۱		پاسخ تست‌های طبقه‌بندی شده

فصل هفتم تقطیر ۱۸۵

۱۸۵	۱-۷	مقدمه
۱۸۵	۲-۷	تبادل بخار مایع
۱۹۶	۳-۷	تبخیرکننده ناگهانی
۲۰۰	۴-۷	تقطیر دیفرانسیلی
۲۰۲	۵-۷	تقطیر پیوسته
۲۳۹	۶-۷	تقطیر هم‌جوش یا تقطیر آزنوتروپی
۲۳۹	۷-۷	تقطیر استخراجی
۲۴۰	۸-۷	تقطیر در فشار پایین
۲۴۰	۹-۷	تقطیر مولکولی
۲۴۱		تست‌های طبقه‌بندی شده
۲۴۹		پاسخ تست‌های طبقه‌بندی شده

فصل هشتم استخراج مایع - مایع ۲۵۶

۲۵۶	۱-۸	مقدمه
۲۵۶	۲-۸	موارد استفاده از استخراج مایع - مایع
۲۵۷	۳-۸	علائم و تعریف‌ها
۲۵۸	۴-۸	انواع استخراج و نمودارهای به‌کار رفته در عملیات استخراج مایع مایع

۲۶۴	.....	۵۸- اثرات دما و فشار
۲۶۵	.....	۶۸- انتخاب حلال
۲۶۶	.....	۷۸- واحدهای عملیاتی
۲۷۳	.....	۸۸- دستگاه‌های استخراج
۲۷۸	.....	تست‌های طبقه‌بندی شده
۲۸۴	.....	پاسخ تست‌های طبقه‌بندی شده

۲۸۷	.....	فصل نهم عملیات مرطوب‌سازی
۲۸۷	.....	۱-۹- مقدمه
۲۸۷	.....	۲-۹- تعاریف
۲۹۶	.....	۳-۹- مکانیسم‌ها
۳۰۰	.....	تست‌های طبقه‌بندی شده
۳۰۲	.....	پاسخ تست‌های طبقه‌بندی شده

۳۰۳	.....	فصل دهم خشک کردن drying
۳۰۳	.....	۱-۱۰- مقدمه
۳۰۳	.....	۲-۱۰- تعاریف
۳۰۶	.....	۳-۱۰- تقسیم‌بندی خشک‌کن‌ها
۳۰۸	.....	۴-۱۰- محاسبه شار خشک شدن
۳۱۰	.....	۵-۱۰- بررسی مکانیسم خشک شدن جامدات غیرمتخلخل و متخلخل
۳۱۴	.....	۶-۱۰- محاسبه زمان لازم برای خشک شدن جامد
۳۱۵	.....	۷-۱۰- بررسی دقیق‌تر نفوذ مولکولی
۳۱۶	.....	۸-۱۰- دستگاه‌های خشک‌کن
۳۱۸	.....	تست‌های طبقه‌بندی شده
۳۲۳	.....	پاسخ تست‌های طبقه‌بندی شده

۳۲۶	.....	فصل یازدهم تبخیر
۳۲۶	.....	۱-۱۱- مقدمه
۳۲۶	.....	۲-۱۱- تبخیرکننده
۳۲۷	.....	۳-۱۱- صعود نقطه جوش و قاعده دورینگ
۳۲۸	.....	۴-۱۱- تبخیرکننده‌های چند مرحله‌ای و روش‌های خوراک‌دهی
۳۳۳	.....	۵-۱۱- محاسبات تبخیرکننده تک مرحله‌ای
۳۳۴	.....	۶-۱۱- محاسبات تبخیرکننده چند مرحله‌ای
۳۳۷	.....	۷-۱۱- انواع تبخیرکننده‌ها
۳۳۹	.....	۸-۱۱- عوامل موثر بر ΔT
۳۴۱	.....	تست‌های طبقه‌بندی شده
۳۴۴	.....	پاسخ تست‌های طبقه‌بندی شده

۳۴۶	.....	فصل دوازدهم جذب سطحی Adsorption
۳۴۶	.....	۱-۱۲- مقدمه
۳۴۷	.....	۲-۱۲- نمودارهای جذب سطحی
۳۴۸	.....	۳-۱۲- معادله فرنلیچ
۳۴۹	.....	۴-۱۲- الگوهای جریان در جذب سطحی
۳۵۱	.....	۵-۱۲- جذب ظاهری
۳۵۲	.....	۶-۱۲- نمودار پس‌ماند جذب سطحی
۳۵۳	.....	تست‌های طبقه‌بندی شده
۳۵۵	.....	پاسخ تست‌های طبقه‌بندی شده

۳۵۶	.....	پارسیه ماهان سنجش	فصل سیزدهم استخراج از جامدات Leaching
۳۵۶	.....	www.arshd87.blogfa.com	۱-۱۳- مقدمه
۳۵۶	.....	09195367497	۲-۱۳- روش‌های استخراج
۳۵۷	.....		۳-۱۳- محاسبات استخراج
۳۶۰	.....		تست‌های طبقه‌بندی شده
۳۶۱	.....		پاسخ تست‌های طبقه‌بندی شده

۳۶۲	.....		فصل چهاردهم کریستالیزاسیون
۳۶۲	.....		۱-۱۴- مقدمه
۳۶۲	.....		۲-۱۴- تعاریف
۳۶۲	.....		۳-۱۴- منحنی حلالیت
۳۶۳	.....		۴-۱۴- مراحل تشکیل کریستال
۳۶۴	.....		۵-۱۴- روش‌های ایجاد فوق اشباعیت
۳۶۶	.....		تست‌های طبقه‌بندی شده
۳۶۶	.....		پاسخ تست‌های طبقه‌بندی شده

۳۶۷	.....		فصل پانزدهم فیلتراسیون
۳۶۷	.....		۱-۱۵- مقدمه
۳۶۷	.....		۲-۱۵- روش‌های فیلتراسیون
۳۶۸	.....		۳-۱۵- محاسبات فیلتراسیون
۳۶۸	.....		۴-۱۵- انواع کیک‌ها
۳۶۹	.....		تست‌های طبقه‌بندی شده
۳۶۹	.....		پاسخ تست‌های طبقه‌بندی شده

۳۷۰	.....	۱۳۸۸-۸۵ سال‌های شیمی	تست‌های انتقال جرم و عملیات واحد آزمون مهندسی
۳۷۰	.....		آزمون ۸۵
۳۷۶	.....		آزمون ۸۶
۳۸۲	.....		آزمون ۸۷
۳۸۵	.....		آزمون ۸۸

۳۸۹	.....	۱۳۸۸-۸۵ سال‌های شیمی	پاسخ تشریحی تست‌های انتقال جرم و عملیات واحد آزمون مهندسی
۳۸۹	.....		آزمون ۸۵
۳۹۵	.....		آزمون ۸۶
۴۰۰	.....		آزمون ۸۷
۴۰۳	.....		آزمون ۸۸

فصل اول

مقدمه‌ای بر عملیات انتقال جرم

به ندرت می‌توان یک فرایند شیمیایی را یافت که نیاز به خالص سازی اولیه مواد خام و یا جداسازی نهایی محصولات از محصولات جانبی حاصله از واکنش نداشته باشد و به همین علت عملیات انتقال جرم عموماً مورد استفاده قرار می‌گیرد. غالباً قسمت اعظم هزینه‌های مربوط به یک فرایند صرف انجام جداسازی‌های وابسته می‌گردد. مخارج مربوط به این جداسازی‌ها و یا خالص‌سازی‌ها بستگی مستقیم به نسبت غلظت نهایی به غلظت ابتدایی مواد جداساده خواهد داشت اگر این نسبت بزرگ باشد، قیمت تمام شده محصول بالاتر خواهد رفت. به عنوان مثال، اسیدسولفوریک یک محصول نسبتاً ارزان قیمت است، زیرا که گوگرد در طبیعت به صورت تقریباً خالص یافت می‌شود، در صورتی که اورانیوم خالص به جهت آن که عیار سنگ معدن آن در طبیعت کم است، ماده گرانبهایی می‌باشد.

عملیات انتقال جرم به وسیله انتقال یک ماده به داخل ماده دیگر در مقیاس مولکولی مشخص می‌شوند. پمپی که آب را از مکانی به مکان دیگر منتقل می‌کند در واقع جرمی از آب را انتقال می‌دهد ولی به این فرایند انتقال جرم نمی‌گویند انتقال جرم مباحثی را در برمی‌گیرد که انتقال ماده، در یک مخلوط یا محلول انجام می‌شود مثلاً وقتی آب از درون یک استخر به درون جریان هوایی که بر روی سطح آب در حال حرکت است، تبخیر می‌گردد، مولکول‌های آب به درون توده هوا نفوذ می‌کنند.

روش‌های جداسازی به طور کلی به دو دسته تقسیم می‌شوند:

الف) روش‌های مکانیکی (ب) روش‌های انتقال جرم

الف) روش‌های مکانیکی

۱- غربال کردن «Screening»: این روش براساس اختلاف اندازه ذرات است مانند استفاده از الک‌ها بامش مختلف برای جدا کردن

ذرات درشت و ریز یک مخلوط

۲- شناورسازی «flotation»: این روش براساس اختلاف دانسیته است. مانند جدا کردن یک ماده معدنی از کانی آن

۳- صاف کردن «filtration»: این روش براساس اختلاف فازها می‌باشد و بیشتر برای مخلوط‌های دو یا چند فازی به کار می‌رود

مانند جدا کردن جامد معلق در مایع

روش‌های دیگر همچون Compression، Aspriation نیز جزء این دسته می‌باشند.

ب) روش‌های انتقال جرم:

جداسازی به روش‌های انتقال جرم به چهار دسته کلی زیر تقسیم می‌شود

(۱) تماس مستقیم دوفاز نامحلول در یکدیگر

(۲) تماس مستقیم فازهای محلول

(۳) انتقال جرم یا جداسازی به کمک غشا

(۴) استفاده از کشش سطحی

تماس مستقیم دوفاز نامحلول در یکدیگر

این گروه از بقیه مهم‌تر بوده و غالب عملیات انتقال جرم در این تقسیم بندی قرار می‌گیرند وجود سه فاز مختلف یعنی گاز، مایع و جامد امکان مجاور شدن دو فاز را با یکدیگر به شش صورت فراهم می‌نماید.

۱- گاز - گاز

تمام گازها به طور کامل با یکدیگر مخلوط می‌شوند و دو فاز گاز نامحلول وجود ندارد. لذا در این گروه فرایندهای متداول در صنعت انجام پذیر نیست.

۲- گاز - مایع

حالت I: همه اجزا در هر دو فاز وجود دارند

gas	liquid
A آب	A آب
B الکل	B الکل

این عملیات جداسازی را تقطیر جزئی "Fractional Distillation" می‌نامند که اساس جداسازی اختلاف فراریت اجزا - اختلاف نقطه جوش - می‌باشد و جداسازی به کمک دادن و گرفتن حرارت انجام می‌شود.

حالت II: یک جزء مشترک در دو فاز وجود دارد.

gas	Liquid
A آمونیاک	A آمونیاک
B هوا	C آب

اگر A- آمونیاک - از فاز گاز به فاز مایع انتقال یابد فرایند را جذب یا absorption می‌نامند و اگر A- آمونیاک - از فاز مایع به فاز گاز انتقال یابد فرایند را دفع یا Stirring می‌گویند.

اگر فاز مایع خالص باشد

- جزء حالت دوم می‌باشد-

gas	Liquid
A آب	A آب
B هوا	

اگر A از فاز مایع به بخار برود فرایند را رطوبت زنی یا Humidification می‌نامند و اگر A از فاز بخار به فاز مایع انتقال یابد فرایند را رطوبت

گیری یا Dehumidification می‌گویند.

Evapovation یا تبخیر: که حالت خاصی از تقطیر می‌باشد که اختلاف فراریت - نقطه جوش - اجزاء بسیار زیاد است و به منظور تغلیظ فاز مایع انجام می‌شود.

gas	Liquid
A آب	A آب
	B نمک

۳- گاز - جامد

حالت I: همه اجزا در هر دو فاز وجود دارند.

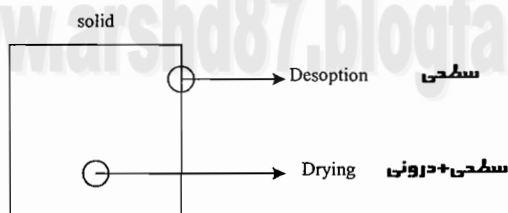
gas	Solid
A	A
B	B

این عملیات جداسازی را تصعید جزئی Fractional Sublimation می‌نامند که در آن یک مخلوط چند جزئی جامد بدون حاصل شدن فاز مایع تبخیر می‌شود. به علت شرایط دشوار موجود در این فرایند کاربرد صنعتی چندانی ندارد.

حالت II: یک جزء مشترک در دو فاز وجود دارد.

gas	Solid
A بخار آب	A آب
B هوا	C سیلیکاژل

اگر ماده A - آب - از فاز گاز به فاز جامد منتقل شود عملیات را جذب سطحی یا adsorption می‌نامند و اگر ماده A - آب - از فاز جامد به فاز گاز منتقل شود عملیات را خشک کردن drying یا دفع Desorption می‌نامند در شکل زیر تفاوت بین دو فرایند drying و Desorption نشان داده شده است.

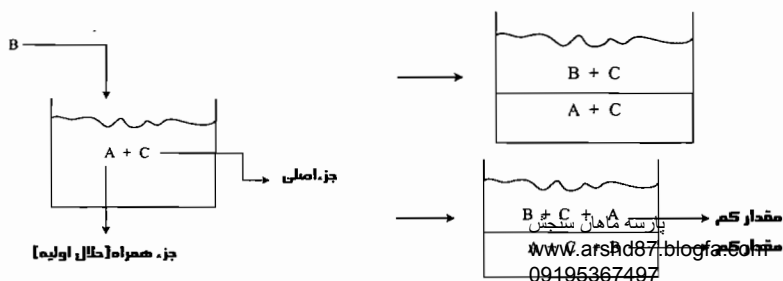


در فرایند خشک کردن Drying علاوه بر انتقال ماده از سطح جامد به فاز گاز، انتقال از بطن جسم جامد نیز صورت می‌گیرد.

۴- مایع - مایع

کلیه عملیات جداسازی که در آن‌ها دو فاز مایع نامحلول با یکدیگر تماس داده می‌شوند عملیات استخراج مایع liquid extraction نامیده می‌شوند مانند جدا کردن استن از آب که توسط اضافه کردن تتراکلرید کربن انجام می‌شود. حلال اضافه شده - تتراکلرید کربن - باید دارای ویژگی گزینش پذیری نسبت به جزء اصلی - استن - باشد.

استخراج باحلال غیرقابل امتزاج با جزء همراه



استخراج با امتزاج پذیری نسبی

به طور کلی در مواردی که نتوان از تقطیر استفاده کرد به عنوان مثال وقتی اختلاف نقاط جوش - فراریت - مواد کم باشد یا مواد حساس به دمای بالا باشند و یا دو جزء دارای نقطه آزوتروپ باشند از استخراج استفاده می‌شود

۵- مایع - جامد

حالت I - همه اجزا در هر دو فاز باشند

Liquid	Solid	} بلورهای شکر
A آب	A آب	
B شکر	B شکر	

این عمل را تبلور جزء به جزء Fractional Crystallization می‌نامند که همانند عمل تقطیر با دادن و گرفتن حرارت انجام می‌شود و انواع مختلفی دارد. الف) تصفیه منطقه‌ای Zone refining، به منظور بدست آوردن فلزات بسیار خالص یا نیمه هادی‌ها ب) تبلور همراه با مواد اضافی Adductive Crystallization حالت II - یک جزء مشترک در دو فاز وجود داشته باشد.

liquid	Solid
A رنگ	A رنگ
B شربت قند	C خاک رنگ بر

اگر جزء A از فاز مایع به فاز جامد منتقل شود عملیات را جذب سطحی یا adsorption می‌نامند و اگر جزء A از فاز جامد به فاز مایع انتقال یابد عملیات را Leaching یا استخراج از جامد با حلال می‌گویند مانند جداکردن شکر موجود در چغندر قند با آب به طور کلی انتقال ماده از فاز سیال به فاز جامد را جذب سطحی یا adsorption می‌نامند

۶- جامد - جامد

با توجه به این که شدت انتقال جرم در فازهای جامد بسیار کند است بنابراین در این گروه هیچ نوع عملیات صنعتی قرار نمی‌گیرد.

تماس مستقیم فازهای محلول

به علت مشکلاتی که در حفظ گرادیان غلظت در صورت مخلوط شدن سیالات وجود دارد این عملیات در شمار اعمالی که موارد استفاده صنعتی داشته باشند قرار نمی‌گیرند مگر در موارد بسیار نادر. شرح مختصری در مورد هر یک از این فرایندها را مشاهده می‌کنید.

۱- نفوذ حرارتی «Thermal diffusion»

در این عملیات گرادیان غلظت توسط اختلاف درجه حرارت ایجاد می‌شود و سپس به دلیل اختلاف در دانسیته جداسازی انجام می‌شود مثل جداسازی ایزوتوپ‌های هلیوم He_3, He_4

۲- نفوذ جارویی «Sweep diffusion»

در این روش یک بخار قابل میعان از درون یک مخلوط گازی عبور داده می‌شود. این بخار باید توانایی خارج ساختن یکی از اجزای مخلوط گازی را با خود داشته باشد.

۳- Atomolysis: اگر دو منطقه از فاز گاز با غلظت‌های متفاوت را با استفاده از غربالی با منافذ نسبتاً درشت جداکنیم فرایند را Atomolysis گویند.

۴- سانتریفوژ «centrifuge»: در این روش اجزاء یک مخلوط گازی تحت تاثیر نیروی گریز از مرکز شدید و براساس اختلاف جرم مولکولی

جداسازی فازها با استفاده از غشاء

غشاءهای مختلف بسته به نوع عمل جداسازی به طرق مختلف کار می‌کنند به طور کلی نقش مهم آن‌ها جلوگیری از مخلوط شدن دو فاز محلول در یکدیگر است وجود غشا باعث جداسازی مواد از یکدیگر در اثر کنترل راه عبور سازنده‌ها - گزینش پذیری Selectivity - از یک سو به سوی دیگر غشا می‌گردد مبنای گزینش پذیری غشا براساس دو پارامتر زیر می‌باشد.

الف) اختلاف در اندازه مولکول‌ها Effusion

ب) اختلاف در حلالیت «تراوش» Permeation

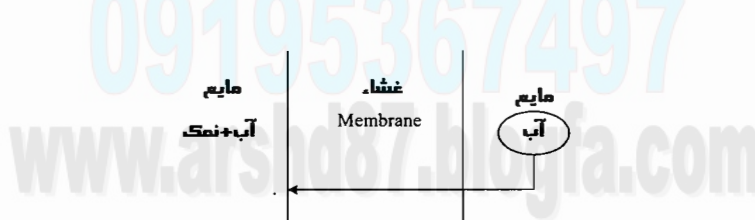
عملیات انتقال جرم در شش انسان و جذب مواد مغذی توسط خون از طریق فرایند غشا صورت می‌گیرد. سه حالت (گاز - گاز)، (گاز - مایع) و (مایع - مایع) را می‌توان برای جداسازی با غشاها در نظر گرفت.

برای حالت گاز - گاز می‌توان به جداسازی هلیوم از گاز طبیعی که غشاء براساس اختلاف حلالیت عمل می‌کند و همچنین جداسازی ایزوتوپ‌های اورانیوم که غشاء براساس اختلاف در اندازه مولکول‌ها عمل می‌کند اشاره کرد در حالت گاز - مایع از اختلاف در حلالیت اجزا استفاده می‌شود - تراوایی - مثل جداسازی آب و الکل با یک غشا مناسب غیرممتخلخل که الکل را در خود حل می‌کند و در سمت دیگر غشا، الکل تبخیر می‌شود با استفاده از این نوع جداسازی، تالووس‌های بالاتر از نقطه آزنوتروپ هم عملیات انتقال جرم انجام می‌شود چون مبنای جداسازی اختلاف نقاط جوش اجزا - فراریت - نیست.

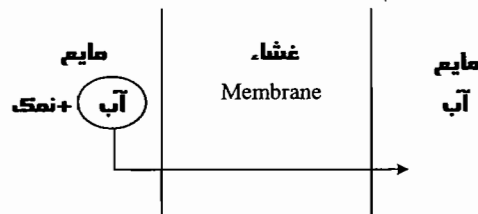
برای حالت مایع - مایع می‌توان موارد زیر را نام برد:

دیالیز: در این عملیات یک جسم بلوری از یک محلول کلوییدی و با استفاده از یک حلال مایع و غشایی که بتواند تنها بلورهای حل شده در حلال فوق را از خود عبور دهد جداسازی انجام می‌شود اگر ذرات باردار باشند با اعمال میدان مغناطیسی می‌توان انتقال جرم را تسریع کرد که به آن الکترودیالیز می‌گویند.

اسمز: در این حالت حلال با استفاده از غشایی که فقط توانایی عبور حلال را از خود دارد از محلولی که در آن است جداسازی می‌شود.



فرایند اسمز کاربرد صنعتی آن چنانی ندارد ولی عکس آن یعنی با اعمال فشاری بیش از فشار اسمزی می‌توان جریان حلال را معکوس کرد و حلال و حل شونده را از هم جدا کرد که به این فرایند اسمز معکوس می‌گویند مثل شیرین کردن آب دریا



استفاده از کشش سطحی

در این روش از موادی استفاده می‌شود که با حل شدن در یک مایع ایجاد محلولی با کشش سطحی کمتری می‌کند که باعث می‌شود مواد به سمت سطح مشترک کشیده می‌شوند جداسازی به وسیله کف Foam Separation.

عملیات مستقیم و غیرمستقیم

بسته به نوع مجاور نمودن دو فاز عملیات انتقال جرم را به دو نوع مستقیم و غیرمستقیم تقسیم می‌نمایند.

اعمال مستقیم: در این حالت در اثر افزایش یا کاهش حرارت دو فاز از یک فاز اولیه به دست می‌آیند مانند تقطیر جزئی - تبلور جزئی - (کریستالیزاسیون).

اعمال غیرمستقیم: در این عملیات یک جسم خارجی به سیستم افزوده می‌شود مانند (استخراج مایع - مایع) - (جذب) - (دفع) - (جذب سطحی) - (استخراج از جامد به وسیله حلال) به طور کلی دو استثناء وجود دارد

۱) تبلور با جزء اضافی Adductive Crystallization که جزء عملیات غیرمستقیم طبقه بندی می‌شود به عنوان مثال برای تهیه بلور NaCl در آب، KCl به محلول اضافه می‌کنیم از آن جایی که حلالیت KCl در آب بیشتر از NaCl می‌باشد باعث می‌شود NaCl به صورت بلور از آب جدا شود.

۲) استخراج فوق بحرانی که جزء عملیات مستقیم طبقه بندی می‌شود مانند استخراج توسط CO₂ مایع بحرانی.

ویژگی خاص عملیات مستقیم آن است که محصولات به طور مستقیم و عاری از مواد افزوده شده به دست می‌آیند اگر محصول خالص مورد نیاز باشد استفاده از عملیات غیرمستقیم توصیه نمی‌شود چون بازیابی جسم اضافه شده مستلزم صرف هزینه می‌باشد ضمناً در روش غیرمستقیم احتمال ایجاد خوردگی دستگاه در اثر اضافه نمودن جسم خارجی تشدید می‌شود به طور کلی می‌توان گفت عملیات غیرمستقیم زمانی بر عملیات مستقیم ترجیح داده می‌شود که جداسازی‌های مستقیم امکان پذیر نباشد و یا هزینه‌های جداسازی غیرمستقیم کمتر است. از یک منظر دیگر، عملیات انتقال جرم را می‌توان به دو دسته پایا و ناپایا تقسیم کرد.

۱- عملیات پایا: در این نوع عملیات در هر نقطه‌ای از دستگاه غلظت و دما و فشار و ... با گذشت زمان تغییر نمی‌کند لذا ضرورت داشتن شدت جریان‌های ورودی و خروجی مداوم و ثابت به درون و خارج سیستم وجود دارد.

۲- عملیات ناپایا: اگر در هر نقطه از دستگاه تغییرات غلظت، دما و فشار و ... با زمان وجود داشته باشد عملیات را ناپایا می‌نامند.

عملیات پیوسته Continuous جزء عملیات پایا و عملیات ناپایا Batch و نیمه پیوسته Semi batch جزء عملیات ناپایا محسوب می‌شوند.

انتخاب روش جداسازی

به دلیل دارا بودن خصوصیات فیزیکی مختلف مواد، می‌توان از بین روش‌های گوناگون جداسازی موجود یک یا چند روش مناسب را انتخاب نمود بدیهی است بدون وجود اطلاعات دقیق در مورد عملیات مختلف، تصمیم گیری نهایی امکان پذیر نخواهد بود می‌توان بین عمل انتقال جرم و یک عمل جداسازی مکانیکی یکی از آن دو و یا هر دو را انتخاب نمود مثلاً روغن‌های نباتی را از دانه آن‌ها می‌توان از طریق فشردن دانه و یا استخراج به کمک حلال بدست آورد، گاهی ممکن است به جای عمل انتقال جرم از واکنش‌های شیمیایی استفاده شود و یا ترکیبی از این دو به کار رود مثلاً آب موجود در مخلوط آب - اتانل در اثر ترکیب با آهک زنده می‌تواند از مخلوط جدا شود - البته می‌توان مخلوط آب - اتانل را تقطیر نموده و آب آن را جدا کرد.

بدیهی است که معیار اصلی انتخاب روش جداسازی، هزینه عملیات می‌باشد و عموماً روشی که هزینه کمتری داشته باشد مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

اصول طراحی

در طراحی مربوط به انتقال جرم چهار عامل اصلی باید تعیین گردد:

۱- تعداد مراحل ایده آل یا معادل آن

۲- زمان لازم برای تماس فازها: که در عملیات مرحله‌ای زمان تماس دو فاز به بازده هر مرحله ربط دارد و در عملیات تماس پیوسته، زمان تماس تعیین کننده سایر دستگاه می‌باشد.

۳- شدت جریان‌های مجاز: که در مورد اعمال پیوسته و نیمه پیوسته مطرح می‌شود و مشخص کننده سطح مقطع دستگاه می‌باشد.

www.arshd87.blogfa.com

۴- انرژی‌های مورد نیاز: که عبارتند از انرژی مکانیکی و انرژی حرارتی 09195367497

تست‌های طبقه بندی شده فصل اول

۱ - عملیات انتقال جرم در شش انسان به وسیله کدام فرایند صورت می‌گیرد؟

- (۱) جذب سطحی (۲) دفع (۳) غشا (۴) لایه مایع ریزان

۲ - اصول طراحی دستگاه‌های انتقال جرم، دستیابی به تعداد مراحل است؟

- (۱) ایده آل - ارتفاع - میزان طغیان
(۲) واقعی - انرژی حرارتی، مکانیکی و دبی جریانات
(۳) واقعی و زمان تماس لازم
(۴) ایده آل و راندمان کلی

۳ - تصفیه منطقه‌ای (Zone refining) چیست؟

- (۱) نوعی تقطیر است.
(۲) نوعی تصفیه بیولوژیکی است.
(۳) تصفیه‌ای است که با استفاده از یک حلال مناسب صورت می‌گیرد.
(۴) نوعی تبلور ناپیوسته است «batch fractional crystallization»

۴ - فرایند adsorption جزء فرایندهای است که دو فاز با هم تماس یافته و در مهم باشد.

- (۱) مستقیم، جامد و مایع، غلظت‌های زیاد
(۲) غیرمستقیم، جامد و مایع، غلظت‌های کم
(۳) غیرمستقیم، جامد و گاز، غلظت‌های زیاد
(۴) مستقیم، جامد و گاز، غلظت‌های کم

۵ - اساس کارفرایند جداسازی توسط غشا micro porose «effusion» کدام یک از موارد زیر است؟

- (۱) اختلاف در جرم مولکولی اجزا
(۲) اختلاف دانسیته اجزا
(۳) اختلاف در میزان نفوذپذیری اجزا
(۴) اختلاف در میزان حلالیت اجزا

۶ - کدام دسته از فرایندهای زیر جزء دسته فرایندهای غیرمستقیم می‌باشند؟

- (۱) تبخیر، تبلور، معیان، تصفیه، استخراج
(۲) جذب سطحی، دفع سطحی، رطوبت‌زنی و خشک کردن
(۳) جذب سطحی، دفع سطحی، تبلور و تصفیه
(۴) رطوبت‌زنی، جذب سطحی، استخراج و تقطیر

۷ - یک برج جذب در حال کار را در نظر بگیرید در چه شرایطی می‌گویند این برج در حالت پایدار می‌باشد؟

- (۱) تغییرات غلظت از بالا به پایین برج وجود نداشته باشد.
(۲) تغییرات غلظت از بالا به پایین برج وجود داشته باشد.
(۳) تغییرات غلظت کم باشد.
(۴) در هر مقطعی از برج تغییر غلظت نداشته باشیم.

۸ - کدام یک از موارد زیر جزء تماس مستقیم دو فاز است؟

- (۱) Distillation – Sweep diffusion – Adsorption
(۲) Leaching – Effusion – Atmolysis
(۳) Osmotic , Atmolysis – Sweep diffusion
(۴) Permeation – Thermal diffusion – Filtration

۹ - اساس کارفرایند Permeation عبارت است از

- (۱) اختلاف در جرم مولکولی اجزاء
(۲) اختلاف غلظت اجزاء
(۳) اختلاف هر بار الکتریکی اجزاء
(۴) اختلاف حلالیت اجزاء در غشاء

۱۰ - در صورتی که هدف از انتقال جرم به دست آوردن محصولی با حداکثر خلوص باشد کدام دسته از عملیات زیر مناسب‌تر است؟

- (۱) عملیات مستقیم (۲) عملیات غیرمستقیم (۳) تماس مستقیم دو فاز (۴) تماس غیرمستقیم دو فاز

۱۱ - هدف از به کار بردن دستگاه‌های انتقال جرم افزایش انتقال جرم می‌باشد.

- (۱) فلاکس (۲) سطح (۳) زمان تماس (۴) هر سه مورد

۱۲ - جداسازی توسط غشا براساس:

- (۱) اختلاف در اندازه مولکول‌ها صورت می‌گیرد
(۲) اختلاف در حلالیت اجزا در غشا صورت می‌گیرد
(۳) اختلاف در نقطه جوش اجزا صورت می‌گیرد
(۴) اختلاف در نقطه ذوب اجزا صورت می‌گیرد

پاسخ تست‌های طبقه‌بندی شده فصل اول مقدمه‌ای بر عملیات انتقال جرم

۱ - گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۲ - گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۳ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۴ - گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۵ - گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۶ - گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۷ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۸ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۹ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۱۰ - گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۱۱ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۱۲ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

منابع آزمون کارشناسی ارشد و دکتری
09195367497
www.arshd87.blogfa.com

فصل دوم

نفوذ مولکولی

۱-۲- مقدمه

انتقال جرم با دو مکانیسم امکان پذیر است: نفوذ مولکولی و جابجایی

هر مولکولی که دمای آن بالاتر از صفر درجه مطلق باشد دارای انرژی گرمایی است که موجب تحرک مولکول می شود تحرک مولکول باعث می شود که آن مولکول در میان مولکول های دیگر نفوذ کرده و مسافتی را طی کند. طبق نظریه جنبشی هر مولکول در مسیر مستقیم با سرعت معینی حرکت می کند ولی در اثر برخورد با مولکول های دیگر جهت و مقدار سرعت مولکول تغییر می کند مقدار متوسط فاصله ای که هر مولکول طی می کند تا به مولکول دیگر برخورد کند را پویش آزاد متوسط mean free path مولکول می نامند. به خاطر برخوردهای مکرر مولکول متحرک با مولکول های دیگر، مسیر نفوذ مولکول متحرک، مسیری غیرمستقیم بوده و در نتیجه فاصله خالصی که مولکول در یک جهت و در مدت زمان معینی طی می کند کسر کوچکی از کل مسافت پیموده شده است.

واضح است که هر چه فشار کمتر باشد - که باعث کاهش تعداد برخوردهای مولکول ها می شود- و نیز هر چه دما بیشتر باشد - که باعث افزایش سرعت مولکول ها می شود - فاصله خالص طی شده توسط مولکول متحرک، در زمان معین، بیشتر می شود. نفوذ مولکولی، ذاتا فرآیندی کند می باشد مثلا نفوذ مولکولی در گازها در هر دقیقه 100 میلیمتر درمابعات حدود 0.5 میلیمتر و در جامدات 0.0001 میلیمتر می باشد.

مکانیسم انتقال جرم در سیالات ساکن، نفوذ مولکولی می باشد ولی در مواردی که سیال دارای حرکت متلاطم می باشد عامل اصلی انتقال جرم مکانیزم جابجایی می باشد. انتقال جرم با مکانیسم نفوذ مولکولی شباهت زیادی به انتقال حرارت از نوع هدایت دارد.

برای مشخص کردن مکانیزم انتقال جرم باید به سؤال زیر پاسخ دهید:

آیا در محدوده انتقال جرم حرکت به مفهوم سیالاتی - یعنی با فلومتر قابل سنجش باشد - داریم؟

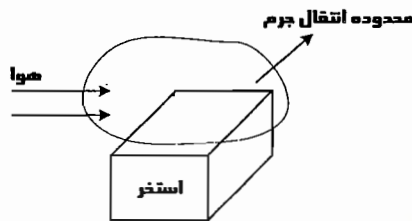
(الف) بله ← مکانیزم انتقال جرم جابجایی است

(ب) خیر ← مکانیزم انتقال جرم نفوذ مولکولی است.

نکته : در انتقال جرم با مکانیزم جابجایی، نفوذ مولکولی هم وجود دارد ولی در مقایسه با مکانیزم جابجایی سهم بسیار ناچیزی از انتقال جرم را دارد.

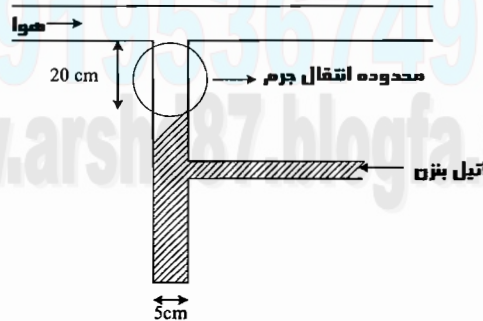
نکته : در انتقال جرم با مکانیزم نفوذ، حرکت و جابجایی داریم ولی حرکت در مکانیزم نفوذ مولکولی و مکانیزم جابجایی فرق دارد در مکانیزم نفوذ مولکولی نیروی سیالاتی به سیستم وارد نمی‌شود و منشأ حرکت، اختلاف غلظت است ولی در مکانیزم جابجایی منشأ حرکت، اختلاف فشار ایجاد شده می‌باشد.

مثال: باد با سرعت $2 \frac{\text{Km}}{\text{hr}}$ به روی یک استخر پر از آب جریان دارد. مکانیزم انتقال جرم مولکولی‌های آب به هوا چیست؟



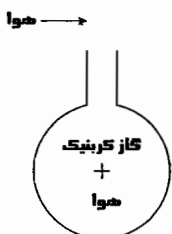
در محدوده انتقال جرم، حرکت به مفهوم سیالاتی داریم پس مکانیزم انتقال جرم، جابجایی می‌باشد.

مثال: در شکل زیر، دی مولی اتیل بنزن به اندازه ایست که سطح اتیل بنزن در استوانه ثابت بماند و هوا در قسمت بالای استوانه با سرعتی جریان دارد که این اطمینان را ایجاد می‌کند که فشار جزئی اتیل بنزن در این قسمت صفر است. مکانیزم انتقال جرم چیست؟



چون اختلاف غلظتی در جریان هوا در قسمت بالای استوانه وجود ندارد - فشار جزئی اتیل بنزن در این قسمت صفر است - پس محدوده انتقال جرم فقط طول 20 cm استوانه می‌باشد، و در محدوده انتقال جرم حرکت به مفهوم سیالاتی نداریم پس مکانیزم انتقال جرم، نفوذ مولکولی می‌باشد.

مثال: در شکل مقابل نفوذ گاز کربنیک در محیط آرام صورت می‌پذیرد. فشار کل و دمای سیستم یکنواخت است. هوا از بالای بالون در جریان است و غلظت گاز کربنیک در مخزن بالون یکنواخت می‌باشد کدام عبارت درست است؟ «فرآوری و انتقال گاز ۸۳»



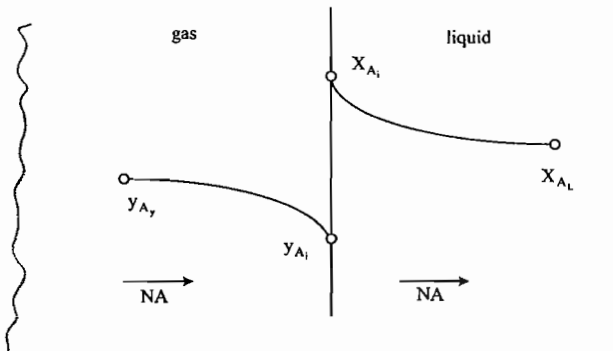
- ۱- علاوه بر نفوذ مولکولی، نفوذ چرخانه‌ای نیز مشاهده می‌شود.
- ۲- فقط فلاکس نفوذی «diffusional flux» وجود دارد.
- ۳- فقط فلاکس جابجایی «BULK FLUX» وجود دارد.
- ۴- هر دو فلاکس نفوذی و جابجایی وجود دارد.

مثال : نفوذ مولکولی به خاطر اختلاف در و حرکت توده‌ای به خاطر اختلاف در است.

- ۱- غلظت - پتانسیل شیمیایی ۲- فشار- غلظت ۳- فشار - درجه حرارت ۴- غلظت - فشار

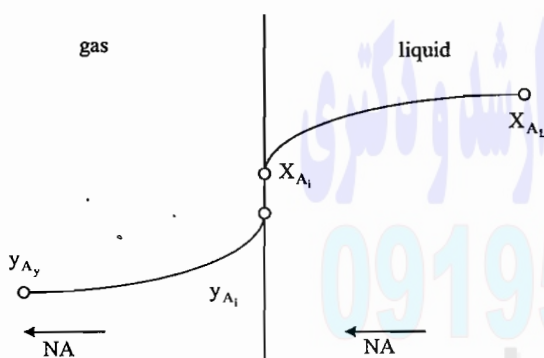
حل : با توجه به متن درس گزینه ۴ صحیح است.

علت انتقال جرم از فازی به فاز دیگر، اختلاف پتانسیل شیمیایی می‌باشد و شرط کافی برای انتقال جرم درون یک فاز اختلاف غلظت می‌باشد در سئوالات مطرح شده اگر ذکر نشود دو فاز داریم یا یک فاز بنا بر اختلاف پتانسیل شیمیایی است.



انتقال جرم از فاز گاز به فاز مایع می‌باشد.

$$y_{A_i} < X_{A_i}$$



انتقال جرم از فاز مایع به فاز گاز می‌باشد.

۲-۲ تعاریف

در انتقال جرم همیشه با یک مخلوط یا محلول سروکار داریم. محلولی را در نظر بگیرید که از n جزء تشکیل شده است دو واحد اصلی غلظت، غلظت جرمی و غلظت مولی می‌باشد که در ادامه به بررسی هر یک خواهیم پرداخت.

۱-۲-۲ تعاریف مفاهیم اولیه

ρ_i غلظت جرمی یا دانسیته جزء i برابر است با جرم i موجود در واحد حجم محلول که:

m_i : جرم جزء i

V : حجم محلول

$$\rho_i = \frac{m_i}{V}$$

دانسیته یا غلظت جرمی کل محلول برابر است با جرم واحد حجم مخلوط

$$\rho = \frac{m_t}{V} = \frac{\sum m_i}{V} = \sum \rho_i$$

C_i غلظت مولی جزء i برابر است با تعداد مول‌های i موجود در واحد حجم مخلوط

$$C_i = \frac{n_i}{V}$$

و به همین ترتیب غلظت مولی مخلوط برابر است با تعداد مول‌ها در واحد حجم مخلوط

$$C = \sum C_i = \frac{n_T}{V} = \frac{\sum n_i}{V}$$

کسر مولی جزء i به صورت زیر بیان می‌شود

$$x_i = \frac{n_i}{n_t} = \frac{C_i}{C}$$

و کسر جرمی جزء i به صورت زیر بیان می‌شود

$$w_i = \frac{m_i}{m_t} = \frac{\rho_i}{\rho}$$

$$\text{نکته : } \sum x_i = \sum w_i = 1$$

نکته : اگر M_i جرم مولکولی جزء i باشد، برای تبدیل کسر مولی به کسر جرمی جزء i از روابط زیر استفاده می‌کنیم.

$$w_i = \frac{x_i M_i}{\sum x_i M_i}$$

$$x_i = \frac{\frac{w_i}{M_i}}{\sum \frac{w_i}{M_i}}$$

\bar{M} جرم مولکولی متوسط مخلوط برابر است با دانسیته جرمی مخلوط به غلظت مولی مخلوط

$$\bar{M} = \frac{\rho}{c} = \sum x_i M_i = \frac{1}{\sum \frac{w_i}{M_i}}$$

نکته : در مورد گازها، غلظت‌ها اغلب بر حسب فشار جزئی بیان می‌شوند.

$$P_i V = n_i RT \Rightarrow C_A = \frac{n_i}{V} = \frac{P_i}{RT}$$

$$C = \sum C_i \Rightarrow C = \sum \frac{P_i}{RT} = \frac{P}{RT}$$

جزء مولی در گازها را با y نشان می‌دهند.

$$y_i = \frac{C_i}{C} = \frac{P_i}{P}$$

۲-۲-۲- سرعت متوسط مولی و سرعت متوسط جرمی مخلوط

در یک سیستم n جزئی سرعت جزء i نسبت به مختصات ثابت به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$V_i = \frac{\text{حجم جزء } i}{\text{سطح مقطع} \times \text{زمان}}$$

سرعت متوسط جرمی و مولی از روابط زیر تعیین می‌شوند.

$$v = \frac{\sum \rho_i V_i}{\rho} = \sum w_i V_i$$

$$V^* = \frac{\sum C_i V_i}{C} = \sum x_i V_i$$

از آن جایی که سرعت کمیت برداری بوده و دارای جهت می‌باشد در حل مسائل یک جهت را به اختیار خود مثبت در نظر گرفته و

نکته : اگر جرم مولکولی - M_i - کلیه اجزاء مخلوط با هم برابر باشند.

$$M_1 = M_2 = \dots = M_i = M \Rightarrow w_i = \frac{x_i M_i}{\sum x_i M_i} = \frac{x_i M}{M \sum x_i} = x_i$$

پس سرعت متوسط جرمی برابر با سرعت متوسط مولی می‌شود.

$$v = v^*$$

همچنین در محلول‌های رقیق سرعت مولی متوسط و سرعت جرمی متوسط برابر می‌شوند.

مثال : مخلوطی از دو گاز A و B با کسر جرمی $w_A = 0.75$ وجود دارد اگر سرعت اجزاء A و B به ترتیب برابر $3 \frac{m}{s}$ و $6 \frac{m}{s}$ باشد

سرعت متوسط جرمی مخلوط «برحسب $\frac{m}{s}$ » چیست؟ (مهندسی شیمی ۷۷)

3.5 (۴)

3.75 (۳)

4.25 (۲)

5 (۱)

حل : گزینه ۳ صحیح است.

$$V = \sum w_i v_i = 0.75 \times 3 + 0.25 \times 6 = 3.75 \frac{m}{s}$$

مثال : در چه صورت در یک محلول مایع اختلاف سرعت مولی متوسط و سرعت جرمی متوسط افزایش می‌یابد.

(۲) با غلیظ شدن محلول

(۱) با افزایش اختلاف جرم مولکولی اجزا

(۴) موارد ۱ و ۲

(۳) با افزایش فشار

حل : گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

اگر مخلوط گازی باشد هر سه مورد صحیح می‌باشند زیرا در مخلوط‌های گازی با افزایش فشار، غلظت محلول افزایش می‌یابد ولی در محلول‌های مایع، افزایش فشار تاثیر ناچیزی روی غلظت دارد.

(مهندسی پلیمر ۸۴)

مثال : با فرض برابر بودن وزن مولکولی اجزا در یک سیستم نفوذ دوتایی:

۱ - سرعت متوسط مولی V^* با سرعت متوسط جرمی V برابر است.

۲ - سرعت متوسط مولی V^* بزرگ‌تر از سرعت متوسط جرمی V است.

۳ - سرعت متوسط مولی V^* کوچک‌تر از سرعت متوسط جرمی V است.

۴ - هیچکدام

حل : گزینه ۱ صحیح است.

۲-۲-۳ شار یا فلاکس

منظور از شار جرمی، مقدار جرم انتقال یافته در واحد زمان از واحد سطح عمود بر جهت جریان انتقال جرم است.

$$N_A = C_A \times V_A$$

این معادله فقط ارزش تئوری دارد.

زیرا V_A ، ترم میکروسکوپی می‌باشد و قابل اندازه گیری نیست. $\frac{\text{mole A}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} = \frac{\text{mole A}}{\text{m}^3} \times \frac{\text{m}}{\text{s}}$ شار مولی

$$n_A = \rho_A \times V_A$$

شار جرمی

$$\frac{\text{kg}_A}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} = \frac{\text{kg}_A}{\text{m}^3} \times \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

پس می توان نوشت:

$$N_A = C_A \times V_A \xrightarrow{\pm C_A V^*} N_A = C_A (V_A - V^*) + C_A V^*$$

جمله اول یعنی $C_A (V_A - V^*)$ نشانگر شارنسبی نفوذ می باشد که آن را با J نشان می دهیم.و جمله دوم یعنی $C_A V^*$ نشانگر حرکت توده ای میکروسکوپی است که با حرکت توده ای سیال متفاوت می باشد.

پس داریم:

$$N_A = J_A + C_A V^*$$

$$N_A = J_A + C_A V^* \times \frac{C}{C} = J_A + \frac{C_A}{C} \times C V^* \Rightarrow N_A = J_A + x_A \sum_{i=1}^n N_i$$

(مهندسی بیوتکنولوژی ۸۵)

مثال: در یک سیستم چند جزئی، J_A و N_A چگونه به هم ربط داده می شوند؟

$$N_A = J_A + x_A \sum_{i=1}^n N_i \quad -۴$$

$$N_A = J_A - x_A \sum_{i=1}^n N_i \quad -۳$$

$$N_A = J_A - \sum_{i=1}^n N_i \quad -۲$$

$$N_A = J_A + \sum_{i=1}^n N_i \quad -۱$$

حل: گزینه ۴ صحیح است.

نکته: در یک مخلوط مجموع شارهای مولی اجزاء برابر صفر است.

$$\sum J_i = \sum C_i (V_i - V^*) = \sum C_i V_i - V^* \sum C_i = \sum C_i V_i - \frac{\sum C_i V_i}{\sum C_i} \times \sum C_i = 0$$

وقتی جرم مولکولی اجزا مخلوط با هم برابر باشند $M_1 = M_2 = M_i = M$ مجموع شارهای جرمی نیز برابر صفر است.

$$M_1 = M_2 = M_i = M \Rightarrow \sum j_i = 0$$

۳-۲ قانون اول فیک Fick's Law

قانون اول فیک - تجربی - بسیار شبیه به قانون فوریه در انتقال حرارت است این قانون شار انتقال جرم ناشی از نفوذ مولکولی را به گرادیان غلظت بدون بعد مربوط می کند.

برای نفوذ یک بعدی ماده A در یک مخلوط دو جزئی A و B طبق قانون فیک داریم:

$$J_A = -D_{AB} C \frac{\delta x_A}{\delta Z}$$

J_A: شار مولی A

C: غلظت کل مخلوط

 $\frac{\delta x_A}{\delta Z}$: گرادیان جزء مولی A در جهت ZD_{AB}: ضریب نفوذ جزء A در مخلوط A و B

قانون فیک را برای شار جرمی نیز می توان نوشت

$$j_A = -D_{AB} \rho \frac{\delta \omega_A}{\delta Z}$$

j_A: شار جرمی A

ρ: دانسیته محلول

 $\frac{\delta \omega_A}{\delta Z}$: گرادیان جزء جرمی A در جهت Z

وقتی غلظت کل مخلوط ثابت باشد، می توان قانون فیک را به صورت زیر نوشت.

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

نکته : غلظت کل C وقتی ثابت است که فشار و دمای سیستم ثابت باشد «ایزوبار و ایزوترم»

مثال : نفوذ مولکولی در سیالات توسط قانون فیک بیان می گردد $J_A = -D_{AB} \frac{\delta C_A}{\delta Z}$ این رابطه در کدام مورد صحیح است؟

(مهندسی شیمی ۷۹)

- ۱- در هر محلول
۲- تنها برای مایعات
۳- تنها در مورد محلول های با غلظت کل ثابت «ثابت = C»
۴- تنها برای محلول های دارای غلظت کل متغیر نسبت به زمان
- حل : گزینه ۳ صحیح است.

۴-۲ نکاتی در مورد ضریب نفوذ مولکولی D_{AB}

ضریب نفوذ مولکولی D_{AB} یکی از خواص سیستم بوده و در حالت کلی به فشار و درجه حرارت و طبیعت سازنده های سیستم وابسته است واحد آن در سیستم SI $\frac{m^2}{s}$ می باشد و دارای دیمانسیون $\frac{L^2}{T}$ می باشد.

در D_{AB} محیط نفوذ B می باشد و نفوذکننده جزء A است و در مورد نفوذ A در محیط های گاز، مایع و جامد - B داریم:

$$D_{AB \rightarrow \text{gas}} > D_{AB \rightarrow \text{Liquid}} > D_{AB \rightarrow \text{Solid}}$$

$$10^{-5} \frac{m^2}{s} > 10^{-9} \frac{m^2}{s} > 10^{-12} \frac{m^2}{s}$$

$$10^{-1} \frac{cm^2}{s} > 10^{-5} \frac{cm^2}{s} > 10^{-8} \frac{cm^2}{s}$$

نکته : ضریب نفوذ گاز در مایع به حالت مایع در مایع نزدیک تر است تا حالت گاز در گاز

مثال : ضریب نفوذ مولکولی گاز SO_2 در هوا در شرایط استاندارد در حدود 1.4×10^{-5} متر مربع بر ثانیه می باشد. به نظر شما کدام یک از ضرایب نفوذ زیر می تواند ضریب نفوذ مولکولی SO_2 در مایع اتانول باشد؟

(مهندسی شیمی ۸۳)

۱- $1.3 \times 10^{-9} \frac{m^2}{sec}$ ۲- $1.4 \times 10^{-5} \frac{m^2}{sec}$ ۳- $1.3 \times 10^{-5} \frac{m^2}{sec}$ ۴- $1.4 \frac{m^2}{sec}$

حل : گزینه ۱ صحیح است.

در حالت کلی می توان تابعیت ضریب نفوذ در گازها به پارامترهای مختلف را به صورت زیر نشان داد:

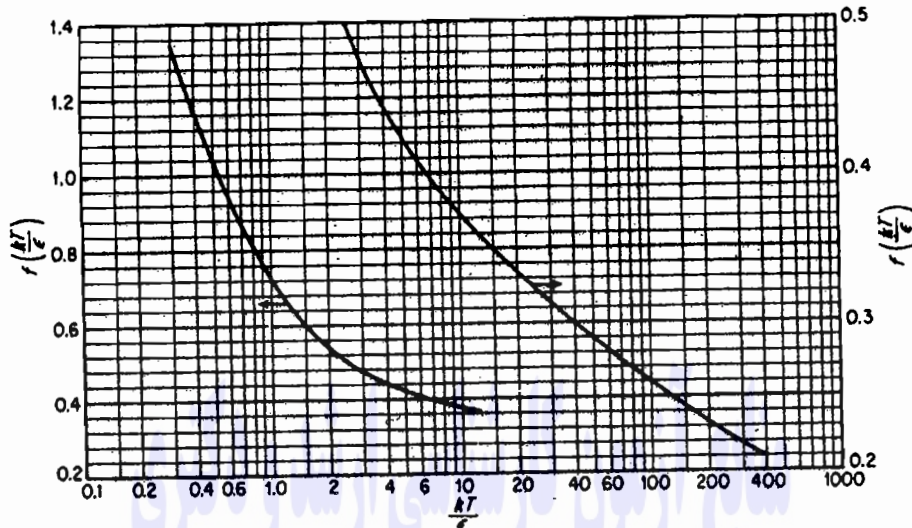
$$50^\circ C > |T_2 - T_1| \text{ اگر } \Rightarrow \frac{D_2}{D_1} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{3}{2}} \left(\frac{P_1}{P_2} \right) \text{ یا } \frac{D_{AB} \cdot P_1}{T^{\frac{3}{2}}} = cte$$

$$50^\circ C < |T_2 - T_1| \text{ اگر } \Rightarrow \frac{D_2}{D_1} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{3}{2}} \left(\frac{P_1}{P_2} \right) \left(\frac{f_1 \left(\frac{KT}{\epsilon_{AB}} \right)}{f_2 \left(\frac{KT}{\epsilon_{AB}} \right)} \right)$$

T: دمای مطلق K

f: تابع برخورد $\left(\frac{KT}{\epsilon_{AB}}\right)$

K: ثابت بولتزمن

 ϵ_{AB} : انرژی جاذبه مولکولی

تابع برخورد مولکولی در نفوذ گازها

نکته: با توجه به شکل کاملاً مشخص است که با افزایش دما، تابع برخورد کاهش می‌یابد.

تابعیت ضریب نفوذ در مایعات به پارامترهای مختلف به صورت زیر می‌باشد.

$$\frac{D_{AB2}}{D_{AB1}} = \frac{T_2}{T_1} \times \frac{\mu_1}{\mu_2} \times \left(\frac{M_{B2}}{M_{B1}}\right)^{0.5} \times \left(\frac{\gamma_{A1}}{\gamma_{A2}}\right)^{0.6}$$

 μ : ویسکوزیته محلول M_B : جرم مولکولی حلال - محیط نفوذ - γ_A : حجم مولکولی جزء حل شده در نقطه جوش طبیعی $\frac{m^3}{Kmol}$ **نکته:** ضریب نفوذ در گازها تابعیت فشار دارد ولی تابعیت غلظت ندارد.**نکته:** ضریب نفوذ در مایعات تابعیت غلظت دارد ولی تابع فشار نیست.**نکته:** رابطه کلی که جهت تعیین ضریب نفوذ در مخلوط گازهای غیرقطبی و یا یک گاز قطبی با یک گاز غیرقطبی توصیه می‌شود،

رابطه Wilke-Lee است.

$$D_{AB} = \frac{10^{-4} \left(1.084 - 0.249 \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}} \right) T^{\frac{3}{2}} \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}}}{P_t (I_{AB})^2 f \left(\frac{KT}{\epsilon_{AB}} \right)}$$

$$D_{AB} \text{ بر حسب } \frac{m^2}{s}$$

T: کلون

$$M_A, M_B: \text{جرم مولکولی B و A, } \frac{kg}{Kmol}$$

P_t : فشار مطلق، Pa

r_{AB} : فاصله بین دو مولکول A و B، nm

نکته: رابطه کلی که جهت تعیین ضریب نفوذ برای محلول‌های رقیق و غیرالکترولیت مایعات توصیه می‌شود، رابطه wilk-chang است.

$$D_{AB}^0 = \frac{(117.3 \times 10^{-18})(\phi M_B)^{0.5} T}{\mu \gamma_A^{0.6}}$$

که در آن D_{AB}^0 ضریب نفوذ A در یک محلول بسیار رقیق از آن در حلال B و ϕ ضریب تجمع مولکولی حلال - فاکتور همبستگی - می‌باشد.

مثال: ضریب نفوذ اکسیژن در هوا و فشار 1 atm و دمای 25°C برابر $0.5 \times 10^{-4} \frac{m^2}{s}$ می‌باشد. مقدار ضریب نفوذ اکسیژن در دمای 100°C و فشار 2 atm برابر است با:

$$0.8 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s} \text{ -۴} \quad 0.7 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s} \text{ -۳} \quad 0.13 \times 10^{-4} \frac{m^2}{s} \text{ -۲} \quad 0.45 \times 10^{-4} \frac{m^2}{s} \text{ -۱}$$

حل: گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

با استفاده از رابطه ضریب نفوذ گازها داریم.

$$\frac{D_2}{D_1} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{3}{2}} \left(\frac{P_1}{P_2} \right) \left(\frac{f_1}{f_2} \right) \Rightarrow \frac{D_2}{0.5 \times 10^{-4}} = \left(\frac{100+273}{25+273} \right)^{1.5} \times 0.5 \Rightarrow D_2 = 0.35 \times 10^{-4} \frac{m^2}{s}$$

از آنجائی که $\Delta T > 50^\circ C$ می‌باشد پس باید اثر $\frac{F_2}{F_1}$ اعمال گردد. در این حالت با توجه به افزایش دما، پس $\frac{f_1}{f_2} > 1$ می‌باشد پس مقدار

D_2 باید از 0.35×10^{-4} بزرگ‌تر باشد.

(مهندسی شیمی ۷۵)

مثال: ضریب نفوذ در

۲- گازها بستگی زیادی به غلظت دارد.

۱- گازها با فشار رابطه مستقیم دارد.

۴- مایعات به غلظت حل شونده بستگی دارد.

۳- مایعات با فشار رابطه معکوس دارد.

حل: گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

مثال: حساسیت ضریب نفوذ گازها نسبت به دما حساسیت ضریب نفوذ مایعات نسبت به دما می‌باشد.

۴- رابطه کلی وجود ندارد.

۳- برابر با

۲- کمتر از

۱- بیشتر از

حل: گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

با توجه به این که در گازها $D_{AB} \propto T^{\frac{3}{2}}$ و در مایعات $D_{AB} \propto T$ پس نسبت به دما حساسیت ضریب نفوذ مایعات کمتر از گازها است.

«فرآوری و انتقال گاز ۸۳»

مثال : در نفوذ مولکولی در مایعات:

- ۱- ضریب نفوذ بستگی به فاکتور همبستگی ندارد.
- ۲- ضریب نفوذ با افزایش فاکتور همبستگی کاهش می‌یابد.
- ۳- ضریب نفوذ با افزایش فاکتور همبستگی افزایش می‌یابد.
- ۴- در محلول‌های الکترولیت، ضریب نفوذ به فاکتور همبستگی ارتباط ندارد.

حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد

با توجه به رابطه کلی ذکر شده در متن درس

مثال : رابطه ضریب نفوذ مولکولی گازها با فاصله بین دو مولکول A و B « r_{AB} » در حالت برخورد کدامیک از گزینه‌های زیر است؟

$$r_{AB} - ۱ \qquad \frac{1}{r_{AB}} - ۲ \qquad r_{AB}^2 - ۳ \qquad \frac{1}{r_{AB}^2} - ۴$$

حل : گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

با توجه به رابطه کلی ذکر شده در متن درس

۲-۴-۲ ضریب نفوذ در مخلوط‌ها

برای بدست آوردن شار نفوذی جزء A در یک مخلوط n جزئی لازمست از ضریب نفوذ A در مخلوط D_{AM} به جای D_{AB} استفاده کنیم در حالت کلی برای تعیین ضریب نفوذ A در مخلوط از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$D_{A,m} = \frac{N_A - y_A \sum_{i=A}^n N_i}{\sum_{i=B}^n \frac{1}{D_{A_i}} (y_i - y_A N_i)}$$

که در رابطه بالا D_{A_i} ، ضریب نفوذ دو جزئی و $D_{A,m}$ ضریب نفوذ موثر - ضریب نفوذ مخلوط - می‌باشد از آن جایی که $D_{A,m}$ بستگی به اجزای مولی سازنده‌ها - y_i ها - دارد پس $D_{A,m}$ تابع مسیر می‌باشد رابطه بالا در حالتی که کلیه N_i ها به جز N_A صفر باشند ساده می‌شود.

$$N_B = N_C = N_D = \dots = N_n = 0, N_A \neq 0 \Rightarrow D_{A,m} = \frac{1 - y_A}{\sum_{i=B}^n \frac{y_i}{D_{A_i}}} = \frac{1}{\sum_{i=B}^n \frac{y'_i}{D_{A_i}}}$$

 $y'_i =$ کسر مولی جزء i بر مبنای عاری از A

$$\text{اگر } D_{AB} = D_{AC} = D_{AD} = \dots = D_{An} \Rightarrow D_{A,m} = D_{A,i}$$

نکته :

مثال : ضریب نفوذ اکسیژن در مخلوطی از متان و هیدروژن «که هر دو ساکن هستند» و با نسبت حجمی متان به هیدروژن دو بر یک چقدر است؟

«فرآوری و انتقال گاز ۸۴»

$$D_{O_2-CH_4} = 0.84 \frac{cm^2}{s}$$

$$D_{O_2-H_2} = 0.49 \frac{cm^2}{s}$$

$$0.756 \frac{cm^2}{s} - ۴$$

$$0.775 \frac{cm^2}{s}$$

پارسیه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

$$0.783 \frac{cm^2}{s} - ۲$$

$$0.797 \frac{cm^2}{s} - ۱$$

حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

نسبت حجمی برابر نسبت مولی می باشد و داریم:

$$\frac{n_{CH_4}}{n_{H_2}} = 2 \Rightarrow y'_{CH_4} = \frac{2}{3}, \quad y'_{H_2} = \frac{1}{3}$$

$$D_{o2-m} = \frac{1}{\frac{0.67}{0.84} + \frac{0.33}{0.49}} = 0.783 \frac{cm^2}{s}$$

مثال : در یک مخلوط دو جزئی D_{AB}, D_{BA} چه رابطه ای با هم دارند

$$D_{AB} = D_{BA} = 0 \quad ۲-$$

$$D_{AB} = D_{BA} \quad ۱-$$

۴- رابطه مشخصی با هم ندارند.

$$D_{AB} = \frac{1}{D_{BA}} \quad ۳-$$

حل : گزینه ۱ صحیح است.

می دانیم در هر مخلوطی $\sum J_i = 0$ پس در مخلوط A و B داریم:

$$J_A + J_B = 0 \Rightarrow J_A = -J_B \Rightarrow -D_{AB} C \frac{\delta x_A}{\delta z} = +D_{BA} C \frac{\delta x_B}{\delta z} \quad (۱)$$

$$x_A + x_B = 1 \quad \delta \Rightarrow \delta x_A + \delta x_B = 0 \Rightarrow \delta x_A = -\delta x_B \quad (۲)$$

$$(۱) \text{ و } (۲) \Rightarrow D_{AB} = D_{BA}$$

۵-۲ نفوذ مولکولی یک بعدی پایا

در بخش های قبلی بدست آوردیم که : $N_A = J_A + x_A \sum_{i=1}^n N_i$

که J_A توسط قانون اول فیک به دست می آید حال باید تکلیف $\sum_{i=1}^n N_i$ را در معادله مشخص کنیم برای این کار سه حالت کلی زیر را

در نظر می گیریم و در ادامه به توضیح هر یک از حالت می پردازیم

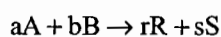
۱- نفوذ جزء A به داخل جزء B ساکن در حالت پایا مانند جذب آمونیاک موجود در هوا توسط آب

$$N_A \neq 0, N_B = 0 \Rightarrow \sum N_i = N_A$$

۲- نفوذ متقابل با مول های برابر در حالت پایا مانند انتقال جرم در برج های سینی دار بر مبنای روش مک کیب - تیلی

$$N_A = -N_B \Rightarrow \sum N_i = 0$$

۳- نفوذ توأم با واکنش هتروژن



$$\left. \begin{aligned} \text{اگر کلیه سازنده ها سیال باشند} \\ \Rightarrow \frac{N_A}{a} = \frac{N_B}{b} = -\frac{N_R}{r} = -\frac{N_S}{s} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \sum N_i = \frac{a+b-r-s}{a} N_A$$

۰ = شار سازنده جامد

نکته : واکنش هتروژن، واکنشی است که در نقاط خاصی از دستگاه انجام می شود مانند واکنش در جداره استوانه

نکته : واکنش هموزن، واکنشی است که در همه حجم دستگاه انجام می شود مانند واکنش در حجم استوانه

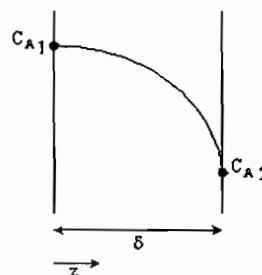
۲-۵-۱ نفوذ جزء A به داخل جزء ساکن B در حالت پایا

$$\sum N_i = N_A$$

$$N_A = J_A + x_A \sum N_i = -D_{AB} \frac{dC_A}{dz} + \frac{C_A}{C} N_A \Rightarrow N_A = \frac{-D_{AB} \frac{dC_A}{dz}}{1 - \frac{C_A}{C}}$$

اگر N_A ثابت باشد یعنی (۱) شرایط پایا Steady state باشد (۲) واکنش هموزن در سیستم رخ ندهد (۳) سطح مقطع ثابت باشد (ثابت = A) در این صورت با استفاده از انتگرال گیری داریم:

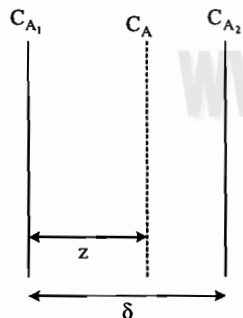
$$N_A = \frac{-D_{AB} \int_{C_{A1}}^{C_{A2}} \frac{dC_A}{1 - \frac{C_A}{C}}}{\int_0^\delta dz} \Rightarrow N_A = \frac{D_{AB} C}{\delta} \ln \frac{1 - \frac{C_{A2}}{C}}{1 - \frac{C_{A1}}{C}}$$



نکته: در رابطه بالا می‌توان به جای C، در مورد گازها $\frac{P_i}{RT}$ و در مورد مایعات $\left(\frac{\rho}{M}\right)_{ave}$ قرار دارد

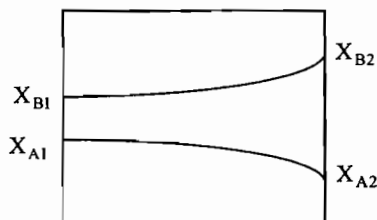
$$\left(\frac{\rho}{M}\right)_{ave} = \frac{1}{2} \left(\frac{\rho_1}{M_1} + \frac{\rho_2}{M_2} \right)$$

نکته: در رابطه بالا می‌توان به جای $\frac{C_{Ai}}{C}$ در مورد گازها $\frac{P_{Ai}}{P_t}$ یا y_{Ai} و در مورد مایعات x_{Ai} قرار دارد



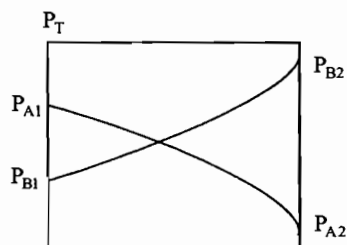
$$N_A = \frac{D_{AB} C}{\delta} \ln \frac{1 - \frac{C_{A2}}{C}}{1 - \frac{C_{A1}}{C}} = \frac{D_{AB} C}{Z} \ln \frac{1 - \frac{C_A}{C}}{1 - \frac{C_{A1}}{C}}$$

$$\Rightarrow \frac{1 - \frac{C_A}{C}}{1 - \frac{C_{A1}}{C}} = \left[\frac{1 - \frac{C_{A2}}{C}}{1 - \frac{C_{A1}}{C}} \right]^{\frac{z}{\delta}}$$



x_{A1} می‌تواند از x_{B1} بزرگ‌تر باشد و تنها محدودیت این است که

$$x_{A1} + x_{B1} = x_{A2} + x_{B2} = 1$$



$$P_{A1} + P_{B1} = P_{A2} + P_{B2} = P_t$$

نکته : جذب و دفع و مرطوب سازی و خشک کردن نمونه های از نفوذ بر جزء ساکن می باشند.

نکته : با تعریف میانگین لگاریتمی به شکل زیر داریم

$$C_{BM} = \frac{C_{B_2} - C_{B_1}}{\ln \frac{C_{B_2}}{C_{B_1}}}$$

$$y_{BM} = \frac{y_{B_2} - y_{B_1}}{\ln \frac{y_{B_2}}{y_{B_1}}}$$

$$P_{BM} = \frac{P_{B_2} - P_{B_1}}{\ln \frac{P_{B_2}}{P_{B_1}}}$$

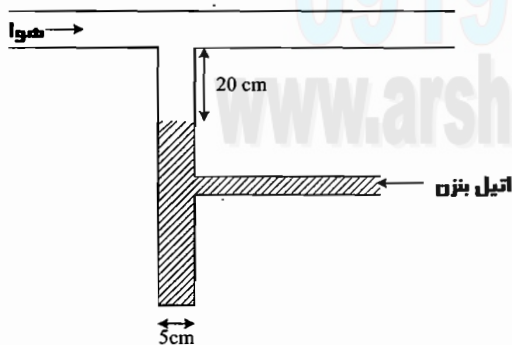
$$N_A = \frac{D_{AB} C}{\delta y_{BM}} (y_{A_1} - y_{A_2}) = \frac{D_{AB} P_t}{\delta R T P_{BM}} (P_{A_1} - P_{A_2})$$

مثال : ضریب نفوذ اتیل بنزن در هوا در 38.6°C 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 چه قدر 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.

(مهندسی شیمی ۷۹)

$$C = 0.04 \frac{\text{kmol}}{\text{m}^3}$$



$$N_A = \frac{N_A}{N_A + N_B} \frac{C D_{AB}}{Z} \ln \frac{\frac{N_A}{N_A + N_B} - y_{A_2}}{\frac{N_A}{N_A + N_B} - y_{A_1}}$$

$$5.69 \times 10^{-3} \frac{\text{kmol}}{\text{hr}} \quad \text{۴-}$$

$$1.58 \times 10^{-6} \frac{\text{kmol}}{\text{hr}} \quad \text{۳-}$$

$$0.98 \times 10^{-7} \frac{\text{kmol}}{\text{hr}} \quad \text{۲-}$$

$$3.1 \times 10^{-9} \frac{\text{kmol}}{\text{hr}} \quad \text{۱-}$$

حل : گزینه ۲ صحیح است.

$$N_B = 0 \Rightarrow \sum N_i = N_A$$

$$N_A = \frac{C D_{AB}}{Z} \ln \frac{1 - y_{A_2}}{1 - y_{A_1}} = \frac{0.04 \times 7.9 \times 10^{-6}}{0.2} \ln \frac{1 - 0}{1 - \frac{20}{760}} = 4.21 \times 10^{-8} \frac{\text{kmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

$$n_A = N_A \cdot A = 4.21 \times 10^{-8} \times \pi \times (0.025)^2 = 8.266 \times 10^{-11} \frac{\text{kmol}}{\text{s}}$$

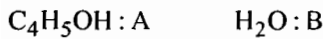
$$8.266 \times 10^{-11} \frac{\text{kmol}}{\text{s}} \times \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ hr}} = 2.98 \times 10^{-7} \frac{\text{kmol}}{\text{hr}}$$

مثال : در دو طرف یک لایه نازک از محلول فنل « C_4H_5OH » در داخل آب غلظت فنل 6 و 2 درصد وزنی می باشد. در این حالت مقدار x_{Bm} برابر است با:

- ۱- 0.992 ۲- 0.582 ۳- 0.385 ۴- 0.299

حل : گزینه ۱ صحیح می باشد.

روش اول



$$x_{Bm} = \frac{x_{B_2} - x_{B_1}}{\ln \frac{x_{B_2}}{x_{B_1}}}$$

$$x_B = \frac{\frac{W_B}{M_B}}{\frac{W_B}{M_B} + \frac{W_A}{M_A}} \Rightarrow x_{B_1} = \frac{\frac{98}{18}}{\frac{98}{18} + \frac{2}{94}} = 0.996$$

$$x_{B_2} = \frac{\frac{98}{18}}{\frac{98}{18} + \frac{6}{94}} = 0.988$$

$$\Rightarrow x_{Bm} = \frac{0.988 - 0.996}{\ln \frac{0.988}{0.996}} = 0.992$$

روش دوم: در محلول های رقیق x_{Bm} به سمت یک میل می کند و P_{Bm} به سمت P_i و نیز به سمت یک میل می کند.

محلول خیلی رقیق $\Rightarrow x_{Bm}, y_{Bm} \rightarrow 1$
 $P_{Bm} \rightarrow P_i$

در این مسئله نیز غلظت فنل بسیار کمتر از آب می باشد پس x_{Bm} باید به سمت یک میل کند.

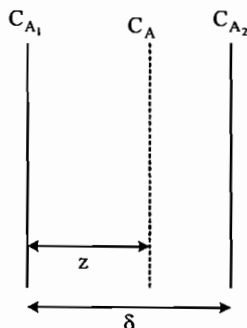
۲-۵ نفوذ متقابل با مول های برابر در حالت پایا

$$N_A = -N_B \Rightarrow \sum N_i = 0$$

$$N_A = -D_{AB} \frac{dC_A}{dz} + C_A \times 0 \Rightarrow N_A = -\frac{D_{AB} dC_A}{dz}$$

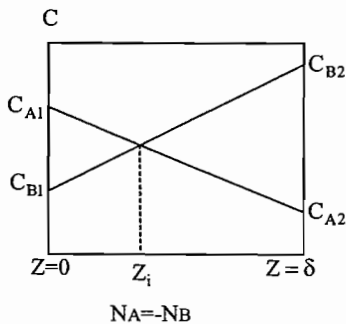
مثل حالت قبل، با فرض ثابت بودن N_A ، از انتگرال گیری استفاده می کنیم.

$$N_A = \frac{-D_{AB} \int_{C_{A_1}}^{C_{A_2}} dC_A}{\int_0^\delta dz} \Rightarrow N_A = \frac{D_{AB} (C_{A_1} - C_{A_2})}{\delta}$$



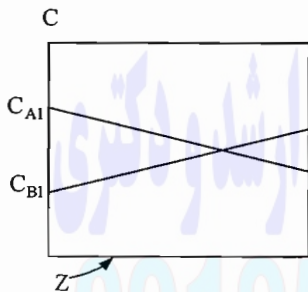
$$C_{A_1} - C_A = \frac{z}{\delta} (C_{A_1} - C_{A_2})$$

برای یافتن z_i - محل تلاقی -

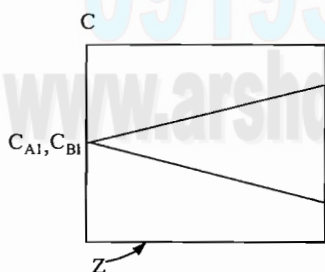


$$\left. \begin{aligned} N_A &= \frac{D_{AB}(C_{A1} - C_A)}{z} \\ N_B &= \frac{D_{BA}(C_{B1} - C_B)}{z} \\ D_{AB} &= D_{BA} \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

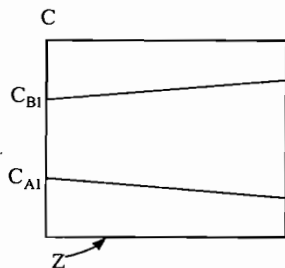
$$\Rightarrow \left. \begin{aligned} C_A &= C_{A1} - \frac{N_A}{D_{AB}} z \\ C_B &= C_{B1} - \frac{N_B}{D_{AB}} z \end{aligned} \right\} \begin{aligned} & \text{در نقطه تلاقی} \\ & C_{A1} - \frac{N_A}{D_{AB}} z_i = C_{B1} - \frac{N_B}{D_{AB}} z_i \\ & N_A = -N_B \end{aligned} \Rightarrow z_i = \frac{C_{A1} - C_{B1}}{\frac{2N_A}{D_{AB}}} = \frac{D_{AB}(C_{A1} - C_{B1})}{2N_A}$$



$$C_{A1} > C_{B1} \Rightarrow z_i > 0$$



$$C_{A1} = C_{B1} \Rightarrow z_i = 0$$



$$C_{A1} < C_{B1} \Rightarrow z_i < 0$$

مثال : مخلوطی از گاز هلیوم A و نیتروژن B در یک لوله به طول 0.2m در دمای 298k و فشار یک اتمسفر قرار دارد.

فشار جزئی هلیوم در دو طرف لوله به ترتیب 0.2 atm, 0.6 atm می باشد. شار مولی هلیوم کدام است؟ (مهندسی شیمی ۸)

$$1 \text{ atm} = 1.01325 \times 10^5 \text{ pa}$$

$$D_{AB} = 0.687 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$R = 8314 \frac{\text{m}^3 \cdot \text{Pa}}{\text{kgmol} \cdot \text{k}}$$

$$J = 5.63 \times 10^{-5} \frac{\text{kgmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \quad (۲)$$

$$J_A = 4.25 \times 10^{-5} \frac{\text{kgmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \quad (۱)$$

$$J = 5.63 \times 10^{-6} \frac{\text{kgmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \quad (۴)$$

$$J_A = 4.25 \times 10^{-6} \frac{\text{kgmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \quad (۳)$$

حل : گزینه ۴ صحیح است

$$N_A = -N_B \Rightarrow N_A = J_A + x_i \sum N_i \Rightarrow N_A = J_A = \frac{D_{AB}(C_{A1} - C_{A2})}{\delta}$$

$$= \frac{D_{AB}}{RT\delta} (P_{A1} - P_{A2}) = \frac{0.687 \times 10^{-4}}{8314 \times 298 \times 0.2} (0.6 - 0.2) \times 101325 = 5.63 \times 10^{-6} \frac{\text{kmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

مثال : کدامیک از عملیات زیر می تواند نمونه‌ای از حالت نفوذ متقابل برابر جرم باشد: (مهندسی بیوتکنولوژی آزاد ۸۵)

(۲) جذب سطحی Adsorption

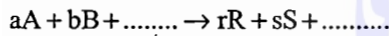
(۱) استخراج extraction

(۴) تقطیر Distillation

(۳) جذب Adsorption

حل : گزینه ۴ صحیح است.

۲-۳ نفوذ همراه با واکنش شیمیایی هتروژن



فرض می کنیم واکنش شیمیایی روبرو صورت گیرد

$$\Rightarrow \sum N_i = \beta N_A \quad \frac{N_A}{a} = \frac{N_B}{b} = \dots = \frac{-N_R}{r} = \frac{-N_S}{s}$$

که مقدار β بستگی به استکیومتری واکنش و فاز مواد دارد - شار فاز جامد را صفر در نظر می گیریم $-N_{\text{solid}} = 0$

$$N_A = -D_{AB} \frac{dC_A}{dz} + \frac{C_A}{C} \sum N_i$$

اگر N_A ثابت باشد یعنی { (۱) شرایط پایا Steady state باشد (۲) واکنش هموژن در سیستم رخ ندهد (۳) سطح مقطع ثابت باشد (ثابت = A) در این صورت $\sum N_i = \beta N_A$ نیز ثابت است و می توانیم از انتگرال گیری استفاده کنیم

$$\int_0^\delta dz = -D_{AB} \int_{C_{A1}}^{C_{A2}} \frac{dC_A}{N_A - \frac{C_A}{C} \sum N_i} \Rightarrow$$

\downarrow ثابت \leftarrow ثابت

$$\Rightarrow N_A = \frac{N_A}{\sum N_i} \frac{D_{AB} C}{\delta} \ln \frac{\sum N_i \frac{C_{A2}}{C}}{\sum N_i \frac{C_{A1}}{C}}$$

نکته : رابطه بالا ، یک رابطه کلی می باشد و در تمام حالات به جز نفوذ متقابل - $\sum N_i = 0$ صادق است و می تواند به کار رود. ✓

نکته : در رابطه بالا به جای C می توان در مورد گازها $\frac{P_t}{RT}$ و در مورد مایعات $\left(\frac{\rho}{M}\right)_{\text{ave}}$ قرار داد

نکته : در رابطه بالا به جای $\frac{C_{Ai}}{C}$ می توان در مورد گازها $\frac{P_i}{P_t}$ و در مورد مایعات x_{Ai} قرار داد.

مثال : واکنش سریع و کامل $2A(g) + 3B(g) + C(s) \rightarrow 2D(g)$ در حال انجام است اگر δ را عمق نفوذ در نظر بگیریم میزان N_D را محاسبه کنید.

$$N_D = \frac{2 C_t D_{AB}}{3 \delta} \ln \left(\frac{1}{1 - \frac{3}{2} y_{A_1}} \right) \quad (2)$$

$$N_D = \frac{3 C_t D_{AB}}{2 \delta} \ln \left(\frac{1}{1 - \frac{3}{2} y_{A_1}} \right) \quad (1)$$

$$N_D = \frac{3 C_t D_{AB}}{2 \delta} \ln \left(1 - \frac{3}{2} y_{A_1} \right) \quad (4)$$

$$N_D = \frac{2 C_t D_{AB}}{3 \delta} \ln \left(1 - \frac{3}{2} y_{A_1} \right) \quad (3)$$

حل :

$$\left. \begin{aligned} \frac{N_A}{2} = \frac{N_B}{3} = \frac{-N_D}{2} \\ N_C = 0 \end{aligned} \right\} N_D = -N_A, \quad N_B = \frac{3}{2} N_A$$

$$\frac{N_A}{\sum N_i} = \frac{N_A}{N_A + \frac{3}{2} N_A - N_A} = \frac{2}{3}$$

$$N_A = \frac{N_A C_t D_{AB}}{\sum N_i \delta} \ln \frac{\sum N_i^{-y_{A_2}}}{\sum N_i^{-y_{A_1}}}$$

واکنش سریع است پس $y_{A_2} = 0$

$$N_A = \frac{2 C_t D_{AB}}{3 \delta} \ln \frac{2}{\frac{2}{3} - y_{A_1}} \Rightarrow N_A = \frac{2 C_t D_{AB}}{3 \delta} \ln \frac{1}{1 - \frac{3}{2} y_{A_1}}$$

$$\Rightarrow N_D = -\frac{2 C_t D_{AB}}{3 \delta} \ln \frac{1}{1 - \frac{3}{2} y_{A_1}} = \frac{2 C_t D_{AB}}{3 \delta} \ln \left(1 - \frac{3}{2} y_{A_1} \right)$$

مثال : در یک راکتور غشایی جهت واکنش استری شدن دو فاز مایع، اسیداستیک «A» و نرمال بوتان «B» به سمت غشا رفته و در اثر وجود کاتالیست اسیدی بر روی سطح غشاء واکنش داده و تولید استر «C» و آب «D» می‌کند. در صورتی که تحت تاثیر

سیستم غشایی، آب به طرف دیگر غشا منتقل شود و استر به درون فاز مایع برگردد مطلوب است تعیین نسبت $\frac{N_C}{\sum N_i}$ با

توجه به واکنش استری شدن: $A + B \rightleftharpoons C + D$ جهت مثبت انتقال جرم از توده به سمت غشا می‌باشد. (مهندسی شیمی ۸۴)

(۴) $-\infty$

(۳) $+1$

(۲) 0

(۱) 1

حل : چون آب پس از تشکیل تحت تاثیر سیستم غشایی به سمت دیگر غشا می‌رود لذا در قسمتی که واکنش انجام می‌شود وجود

$$\frac{N_A}{1} = \frac{N_B}{1} = \frac{N_C}{-1} \Rightarrow \sum N_i = -N_C - N_C + N_C = -N_C \Rightarrow \frac{N_C}{\sum N_i} = -1$$

ندارد و داریم

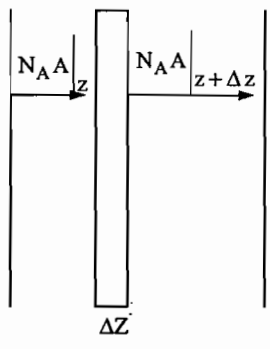
۲-۶ بررسی شار نفوذی در مختصات کارتیزین، استوانه‌ای، کروی

فرض کنید دیواره‌ای در مختصات کارتیزین داریم که در دو طرف آن اختلاف غلظت داریم سیستم در شرایط پایا Steady State می‌باشد و واکنش شیمیایی در آن انجام نمی‌شود.

در این صورت موازنه جرم به شکل زیر در می آید.

$$\text{in} - \text{out} + \text{generation} = \text{accumulation} \Rightarrow \text{input} = \text{out put}$$

شرایط $0 \leftarrow ss$ واکنش هموزن نداریم $0 \leftarrow$



$$N_A \cdot A \Big|_z - N_A \cdot A \Big|_{z+\Delta z} = 0 \quad \xrightarrow[\Delta z \rightarrow 0]{+\Delta z} \quad \frac{\delta}{\delta z} (N_A \cdot A) = 0$$

در مختصات کارتیزین

$$\left. \begin{aligned} A = cte \\ \Rightarrow \frac{\delta N_A}{\delta z} = 0 \Rightarrow N_A = cte \end{aligned} \right\}$$

نکته : در مختصات کارتیزین، N_A ثابت می باشد.

حال شرایط قبلی را در مورد یک دیواره ای استوانه ای برقرار می کنیم و داریم

$$\left. \begin{aligned} \frac{\delta}{\delta r} (N_A \cdot A) = 0 \\ A = 2\pi r L \end{aligned} \right\} \Rightarrow 2\pi L \frac{\delta}{\delta r} (N_A \cdot r) = 0 \Rightarrow N_A \cdot r = cte$$

نکته : در مختصات استوانه ای $N_A \cdot r$ ثابت می باشد.

سرعت انتقال جرم در مختصات استوانه ای برابر است با:

$$G_A = N_A \cdot A = N_A \times 2\pi r L = cte$$

در آخر در مورد مختصات کروی داریم.

$$\left. \begin{aligned} \frac{\delta}{\delta r} (N_A \cdot A) = 0 \\ A = 4\pi r^2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow 4\pi \frac{\delta}{\delta r} (N_A \cdot r^2) = 0 \Rightarrow N_A \cdot r^2 = cte$$

نکته : در مختصات کروی $N_A \cdot r^2$ ثابت می باشد.

$$G_A = N_A \cdot A = N_A \cdot 4\pi r^2 = cte \quad \text{سرعت انتقال در مختصات کروی}$$

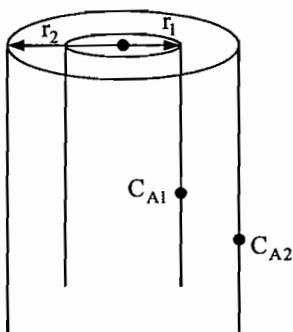
۲-۲ محاسبه شار انتقال جرم در شرایطی که N_A ثابت نیست

در بخش ۵-۲ در هنگام محاسبه شار انتقال جرم فرض کردیم که N_A ثابت است ولی می دانیم که در مختصات استوانه ای و کروی

N_A ثابت نیست حال در این بخش می خواهیم به محاسبه شار انتقال جرم در این دو مختصات بپردازیم

۱-۷-۲ محاسبه شار انتقال جرم در مختصات استوانه‌ای

استوانه‌ای به شعاع داخلی r_1 و شعاع خارجی r_2 در نظر بگیرید که غلظت سطح داخلی C_{A1} و غلظت سطح خارجی C_{A2} می‌باشد در این حالت به بررسی نفوذ در جزء ساکن می‌پردازیم.



$$N_A = -D_{AB} \frac{dC_A}{dr} + \frac{C_A}{C} \sum N_i \Rightarrow N_A = \frac{-D_{AB} \frac{dC_A}{dr}}{1 - \frac{C_A}{C}}$$

نفوذ در جزء ساکن $\Rightarrow \sum N_i = N_A$

در این حالت چون N_A ثابت نیست و در صورت استفاده از انتگرال گیری نمی‌تواند از انتگرال خارج شود پس طرفین معادله را در $2\pi rL$ ضرب می‌کنیم.

$$N_A \times 2\pi rL = \left(\frac{-D_{AB} \frac{dC_A}{dr}}{1 - \frac{C_A}{C}} \right) \times 2\pi rL \Rightarrow \frac{-2\pi L D_{AB} \frac{dC_A}{1 - \frac{C_A}{C}}}{\frac{dr}{r}}$$

G_A ثابت است و می‌توانیم انتگرال گیری کنیم

$$\int_0^{G_A} G_A = -2\pi L D_{AB} \frac{\int_{C_{A1}}^{C_{A2}} \frac{dC_A}{1 - \frac{C_A}{C}}}{\int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r}} = G = \frac{2\pi L D_{AB} C}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \ln \frac{1 - \frac{C_{A2}}{C}}{1 - \frac{C_{A1}}{C}}$$

$$\Rightarrow N_A = \frac{G}{2\pi rL} = \frac{D_{AB} C}{r \ln \frac{r_2}{r_1}} \ln \frac{1 - \frac{C_{A2}}{C}}{1 - \frac{C_{A1}}{C}}$$

۲-۷-۲ محاسبه شار انتقال جرم در مختصات کره‌ای

لایه کره‌ای به شعاع داخلی r_1 و شعاع خارجی r_2 در نظر بگیرید که غلظت سطح داخلی C_{A1} و غلظت سطح خارجی C_{A2} می‌باشد. در این حالت به بررسی نفوذ در جزء ساکن می‌پردازیم.

$$N_A = \frac{-D_{AB} \frac{dC_A}{dr}}{1 - \frac{C_A}{C}} \Rightarrow N_A \cdot 4\pi r^2 = \frac{-D_{AB} \frac{dC_A}{dr}}{1 - \frac{C_A}{C}} \times 4\pi r^2$$

$$G_A = \frac{-4\pi D_{AB} \frac{dC_A}{1 - \frac{C_A}{C}}}{\frac{dr}{r^2}} = \frac{4\pi D_{AB} C L \ln \frac{1 - \frac{C_{A2}}{C}}{1 - \frac{C_{A1}}{C}}}{\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}} \Rightarrow N_A = \frac{G_A}{4\pi r^2} = \frac{D_{AB} C L \ln \frac{1 - \frac{C_{A2}}{C}}{1 - \frac{C_{A1}}{C}}}{r^2 \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)}$$

مثال: اگر مکانیزم انتقال جرم ماده‌ای به درون یک کره جامد نفوذ مولکولی باشد، در حالت یکنواخت «Steady – state» کدام عبارت در خصوص N_{A_r} «فلاکس انتقال جرم در راستای شعاعی» صحیح است؟ (بیوتکنولوژی ۸۰)

$$(1) \text{ مقدار ثابت } r^2 N_{A_r} = \quad (2) \text{ مقدار ثابت } r N_{A_r} = \quad (3) \text{ مقدار ثابت } N_{A_r} = \quad (4) \text{ مقدار ثابت } \frac{N_{A_r}}{r^2} =$$

حل: گزینه ۱ صحیح است.

مثال: برای ماده A که از توده سیالی بر روی یک کاتالیست استوانه‌ای نفوذ می‌کند، به کمک موازنه جرم، کدام عبارت زیر برای معادله دیفرانسیلی شار بدست می‌آید؟ (فرآوری و انتقال گاز ۸۵)

$$(1) \frac{d}{dr}(N_A) = 0 \quad (2) \frac{d}{dr}(r N_A) = 0 \quad (3) \frac{d}{dr}(r^2 N_A) = 0 \quad (4) \frac{d}{dr}(N_A) = R_A$$

حل: گزینه ۲ صحیح است.

مثال: 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 می‌باشد؟

$$(1) \text{ عکس با شعاع} \quad (2) \text{ عکس با مجذور شعاع} \quad (3) \text{ مستقیم با شعاع} \quad (4) \text{ مستقیم با مجذور شعاع}$$

حل: گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$$N_A = -\frac{D_{AB} C \ln \frac{1 - \frac{C_{A_2}}{C}}{1 - \frac{C_{A_1}}{C}}}{r^2 \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)} \Rightarrow N_A \propto \frac{1}{r^2}$$

$$[N_A] = \frac{\text{mole}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \Rightarrow \frac{\text{mole}}{\text{L}^2 \cdot \text{t}} \Rightarrow t \propto r^2$$

۸-۲ معادله اساسی انتقال جرم

معادله اساسی انتقال جرم یا به عبارتی دیگر معادله پیوستگی برای ماده A به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\frac{\delta C_A}{\delta t} + \vec{u} \cdot \nabla C_A = D_{AB} \nabla^2 C_A + R_A$$

در این معادله فرض شده است که D_{AB} و ρ در طی نفوذ و انتقال جرم ثابت می‌باشد.

$$\vec{u} : \vec{u}_x, \vec{u}_y, \vec{u}_z$$

بیانگر تجمع موجود در سیستم است و در حالت پایا Steady state برابر صفر می‌شود $\frac{\delta C_A}{\delta t} \rightarrow$

$\vec{u} \cdot \nabla C_A \rightarrow$ بیانگر انتقال جرم در اثر جابجایی می‌باشد

$D_{AB} \nabla^2 C_A \rightarrow$ بیانگر انتقال جرم در اثر نفوذ مولکولی می‌باشد

$R_A \rightarrow$ انتقال جرم در اثر واکنش شیمیایی را نشان می‌دهد

واکنش‌های شیمیایی را به دو دسته می‌توان تقسیم کرد:

الف) واکنش شیمیایی هموزن: وقتی واکنش شیمیایی در توده سیال انجام شود به آن واکنش شیمیایی هموزن می‌گویند در چنین حالتی در اثر واکنش شیمیایی، محصول «یا محصولاتی» در توده سیال تولید و یا ماده «یا موادی» از توده سیال در اثر انجام واکنش از بین می‌رود از این رو واکنش شیمیایی هموزن، در معادله انتقال جرم ظاهر می‌شود.

ب) واکنش هتروژن: اگر واکنش شیمیایی فقط محدود به نقاط خاص مثل مرزهای سیستم و یا در فصل مشترک دو فاز انجام شود، به آن واکنش شیمیایی هتروژن می‌گویند پس در معادله کلی انتقال جرم ظاهر می‌شود و در مسائل انتقال جرم به صورت شرایط مرزی خود را نشان می‌دهد

$$\frac{\delta C_A}{\delta t} + \vec{u} \cdot \nabla C_A = D_{AB} \nabla^2 C_A + R_A$$

در مختصات کارتزین:

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

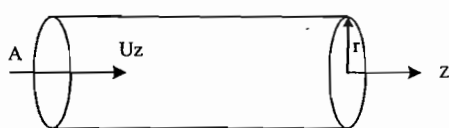
در مختصات استوانه‌ای:

$$\frac{\delta C_A}{\delta t} + u_r \frac{\delta C_A}{\delta r} + \frac{u_\theta}{r} \frac{\delta C_A}{\delta \theta} + u_z \frac{\delta C_A}{\delta z} = D_{AB} \left[\frac{1}{r} \frac{\delta}{\delta r} \left(r \frac{\delta C_A}{\delta r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\delta^2 C_A}{\delta \theta^2} + \frac{\delta^2 C_A}{\delta z^2} \right] + R_A$$

و در مختصات کروی:

$$\frac{\delta C_A}{\delta t} + u_r \frac{\delta C_A}{\delta r} + \frac{u_\theta}{r} \frac{\delta C_A}{\delta \theta} + \frac{u_\phi}{r \sin \theta} \frac{\delta C_A}{\delta \phi} = D_{AB} \left[\frac{1}{r} \frac{\delta}{\delta r} \left(r^2 \frac{\delta C_A}{\delta r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\delta}{\delta \theta} \left(\sin \theta \frac{\delta C_A}{\delta \theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\delta^2 C_A}{\delta \phi^2} \right] + R_A$$

مثال: ماده A در داخل لوله استوانه‌ای مطابق شکل جریان دارد سطح استوانه از کاتالیست پوشانده شده است که در آن ماده A به ماده B طبق معادله سرعت $r_A = K C_A$ تبدیل می‌شود معادله انتقال جرم در حالت پایا به چه صورت می‌باشد.



در سطح کاتالیست $A \rightarrow B$

$$\frac{\delta C_A}{\delta t} + \vec{u} \cdot \nabla C_A = D_{AB} \nabla^2 C_A + R_A$$

$$\frac{\delta C_A}{\delta t} = 0 \quad \Leftarrow \quad \text{شرایط پایا}$$

$$\vec{u} : u_r, u_\theta, u_z \quad \text{ماده A فقط در راستای Z سرعت دارد} \Rightarrow u_r, u_\theta = 0$$

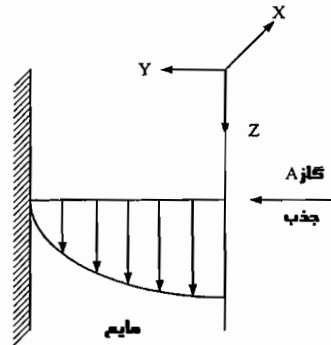
$$D_{AB} \nabla^2 C_A : D_{AB} \left(\frac{1}{r} \frac{\delta}{\delta r} \left(r \frac{\delta C_A}{\delta r} \right) \right) \quad \text{ماده A در جهت شعاعی به سمت دیواره نفوذ می‌کند}$$

چون واکنش هتروژن می‌باشد و فقط در سطح استوانه انجام می‌شود. $R_A : 0$

$$\Rightarrow u_z \frac{\delta C_A}{\delta z} = D_{AB} \left(\frac{1}{r} \frac{\delta}{\delta r} \left(r \frac{\delta C_A}{\delta r} \right) \right)$$

$$\text{شرایط مرزی} \quad -D_{AB} \frac{\delta C_A}{\delta r} \Big|_{r=R} = K C_A \Big|_{r=R}$$

مثال : لایه نازکی از یک مایع مطابق شکل با جریان آرام از روی یک سطح عمودی از بالا به پایین با سرعت u_z جریان دارد و در تماس با گازی قرار می‌گیرد که قابل انحلال در مایع می‌باشد معادله انتقال جرم را در حالت پایا Steady state بدست آورید.



$$\frac{\delta C_A}{\delta t} + \bar{u} \cdot \nabla C_A = D_{AB} \nabla^2 C_A + R_A$$

شرایط پایا $\Rightarrow \frac{\delta C_A}{\delta t} = 0$

مایع فقط در جهت Z حرکت می‌کند $\Rightarrow u : u_z \quad u_x = u_y = 0$

واکنش شیمیایی رخ نمی‌دهد $\Rightarrow R_A = 0$

$$u_z \frac{\delta C_A}{\delta z} = D_{AB} \left(\frac{\delta^2 C_A}{\delta y^2} + \frac{\delta^2 C_A}{\delta z^2} \right)$$

نکته : چون انتقال جرم در اثر جابجایی بسیار بزرگتر از نفوذ مولکولی می‌باشد معمولاً می‌توانیم از جمله $D_{AB} \frac{\delta^2 C_A}{\delta z^2}$ در برابر

$u_z \frac{\delta C_A}{\delta z}$ صرف نظر کنیم. - جابه‌جایی در جهت Z از نفوذ در همین جهت بزرگتر است -

تحت چه شرایطی می‌توان از نفوذ در راستای حرکت صرف‌نظر کرد؟

$$u_z \frac{\delta C_A}{\delta z} \gg D_{AB} \frac{\delta^2 C_A}{\delta z^2}$$

↓ به صورت ابعادی

$$u_\infty \frac{C_A}{L} \gg D_{AB} \frac{C_A}{L^2}$$

$$\frac{u_\infty L}{D_{AB}} \gg 1 \Rightarrow \frac{u_\infty L}{v} \times \frac{v}{D_{AB}} \gg 1$$

v : ویسکوزیته سینماتیکی

$$\Rightarrow Re \cdot Sc \gg 1 \Rightarrow Pe \gg 1$$

نکته : اگر عدد Pe بزرگتر از 100 باشد می‌توان از نفوذ مولکولی در راستای حرکت صرف‌نظر کرد.

نکته : اگر $Pe < 1$ باشد نمی‌توان از نفوذ در راستای حرکت صرف‌نظر کرد.

مثال : در فیلم ریزان مثال قبل در صورتی که $Pe > 100$ باشد چه تعداد از این معادله مرزی برای مشخص کردن معادله لازم است

1 (۴)

3 (۲)

4 (۱)

حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

باتوجه به نکته بالا می توان از نفوذ مولکولی در راستای حرکت صرف نظر کرد پس داریم:

$$u_z \frac{\delta C_A}{\delta z} = D_{AB} \frac{\delta^2 C_A}{\delta y^2}$$

2 شرط مرزی در راستای y و یک شرط مرزی در راستای z لازم داریم .

۹-۲ قانون دوم فیک

اگر معادله اساسی انتقال جرم را با فرضیات زیر بازنویسی کنیم به قانون دوم فیک می رسیم

الف) واکنش شیمیایی در سیستم اتفاق نیفتد - واکنش هموزن - $R_A = 0$

ب) حرکت توده ای وجود نداشته باشد یعنی فقط نفوذ مولکولی باعث انتقال جرم شود $\bar{u} = 0$

$$\frac{\delta C_A}{\delta t} + \bar{u} \cdot \nabla C_A = \nabla^2 C_A + R_A$$

$$\Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} R_A = 0 \\ \bar{u} = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{\delta C_A}{\delta t} = D_{AB} \nabla^2 C_A \quad \text{قانون دوم فیک}$$

همان طور که از معادله فوق مشخص است قانون دوم فیک برای حالت ناپایا - unsteady state - نوشته شده است

مثال : کدامیک از روابط زیر بیان کننده قانون دوم فیک می باشد؟

$$-\nabla J_A = \frac{DC_A}{Dt} \quad -۲$$

$$-\nabla J_A + KC_A^2 = \frac{DC_A}{Dt} \quad -۱$$

$$-\nabla J_A + KC_A^2 = \frac{\delta C_A}{\delta t} \quad -۴$$

$$-\nabla J_A = \frac{\delta C_A}{\delta t} \quad -۳$$

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$J_A = -D_{AB} \frac{\delta C_A}{\delta z} \Rightarrow -\nabla J_A = D_{AB} \nabla^2 C_A$$

مثال : برای این که قانون دوم فیک در محیط سیالی که در آن ماده A در حال نفوذ و حل شدن است صادق باشد لازم است که:

(فرآوری و انتقال گاز ۸۵)

(۱) سیال هم جریان داشته باشد و هم در آن واکنش شیمیایی صورت بگیرد.

(۲) حتما سیال جریان داشته باشد ولی در آن واکنش شیمیایی صورت نگیرد.

(۳) سیال ساکن باشد و تغییرات غلظت ماده A در واحد زمان فقط به خاطر انجام واکنش شیمیایی در سیال باشد.

(۴) سیال ساکن باشد و تغییرات غلظت ماده A در واحد زمان فقط به خاطر نفوذ مولکولی در سیال باشد.

و هیچ گونه تغییر شیمیایی جهت تولید یا مصرف A در سیال صورت نگیرد.

حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.

با توجه به متن درس.

۱۰ محاسبه شار انتقال جرم در حالت ناپایا

آدولف فیک با توجه به تشابه نفوذ مولکولی با انتقال حرارت هدایتی، قانون اول خود را برای انتقال جرم یک بعدی ناشی از نفوذ مولکولی بدست آورد.

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

قانون اول فیک

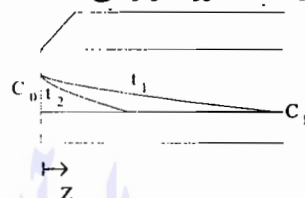
مسائل انتقال جرم نفوذ مولکولی در حالت ناپایا نیز به کمک تشابه با انتقال حرارت هدایتی حل می‌گردند به عنوان مثال برای محاسبه میزان انتقال جرم ناشی از نفوذ مولکولی در یک جسم نیمه بی‌نهایت^۱ که در جسم مورد نظر واکنش شیمیایی و حرکت توده‌ای وجود ندارد، رابطه اساسی انتقال جرم به صورت زیر درمی‌آید.

$$\frac{\delta C_A}{\delta t} = D_{AB} \frac{\delta^2 C_A}{\delta Z^2}$$

$$\text{شرایط مرزی} \begin{cases} C(x=0, t) = C_0 \\ C(x \rightarrow \infty, t) = C_1 \end{cases}$$

$$\text{شرایط اولیه } C(x, t=0) = C_1$$

و شرایط مرزی و اولیه به صورت زیر می‌باشد:



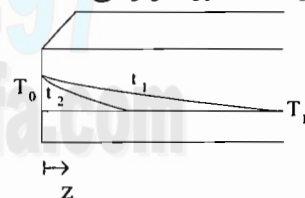
معادله انتقال حرارت هدایتی در جسم نیمه بی‌نهایت که در جسم مورد نظر تولید و مصرف گرما و حرکت توده‌ای وجود ندارد به صورت زیر می‌باشد:

$$\frac{\delta T}{\delta t} = \frac{1}{\alpha} \frac{\delta^2 T}{\delta Z^2}$$

$$\text{شرایط مرزی} \begin{cases} T(x=0, t) = T_0 \\ T(x \rightarrow \infty, t) = T_1 \end{cases}$$

$$\text{شرایط اولیه } T(x, t=0) = T_1$$

و شرایط مرزی و اولیه به صورت زیر می‌باشد:



به دلیل وجود یک شرط مرزی در بی‌نهایت این مسائل به روش ترکیب متغیرها combination حل می‌گردد که توضیح این روش از حوصله این کتاب خارج می‌باشد. توزیع غلظت و دما و شار انتقال جرم و حرارت به صورت زیر می‌باشند:^۲

$$\frac{C_A - C_{A0}}{C_{A1} - C_{A0}} = \text{erf} \left(\frac{Z}{2\sqrt{D_{AB}t}} \right) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{Z}{2\sqrt{D_{AB}t}}} e^{-\eta^2} d\eta$$

$$\frac{T - T_0}{T_1 - T_0} = \text{erf} \left(\frac{Z}{2\sqrt{\alpha t}} \right) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{Z}{2\sqrt{\alpha t}}} e^{-\eta^2} d\eta$$

^۱ جسم نیمه بی‌نهایت، جسمی است که فقط یکی از ابعاد آن نامحدود باشد.

^۲ توزیع غلظت و دما به کمک تابع خطا erf(x) بدست می‌آید که این تابع به صورت زیر تعریف می‌شود

$$\text{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-\eta^2} d\eta$$

$$\text{erf}(x=0) = 0$$

$$\text{erf}(x \rightarrow \infty) = 1$$

$$J_A = -D_{AB} \frac{\delta C_A}{\delta Z} \Big|_{z=0} = \sqrt{\frac{D_{AB}}{\pi t}} \left(e^{-Z^2/4D_{AB}t} \right) (CA_0 - CA_1) \Big|_{z=0}$$

$$J_A = \sqrt{\frac{D_{AB}}{\pi t}} (CA_0 - CA_1)$$

$$q = -KA \frac{\delta T}{\delta Z} \Big|_{z=0} \Rightarrow q = \frac{KA(T_0 - T_1)}{\sqrt{\pi \alpha t}}$$

برای بدست آوردن توزیع غلظت و شار انتقال جرم در حالت ناپایا بسته به شرایط مرزی از روش‌های جداسازی متغیرها یا ترکیب متغیرها یا تبدیل لاپلاس استفاده می‌کنیم روابط بدست آمده توزیع غلظت را بر حسب زمان و مکان مشخص می‌کند که اغلب روابط پیچیده‌ای می‌باشند.

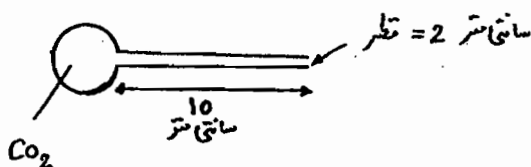
در بعضی موارد، می‌توان مسائل انتقال جرم ناپایا را به صورت شبه پایا در نظر گرفت که در این صورت می‌توان شار انتقال جرم با روابط ساده‌تری بیان نمود. اگر میزان انتقال جرم ناچیز و یا انتقال جرم به کندی صورت بگیرد می‌توان از مدل‌سازی شبه پایا استفاده کرد که در این صورت توزیع غلظت را فقط بر حسب یکی از متغیرهای زمان یا مکان در نظر می‌گیریم و معادله ریاضی درجه دوم به یک معادله درجه اول تبدیل می‌شود که با انتگرال‌گیری ساده، توزیع غلظت بدست می‌آید. برای تفهیم بهتر این روش به ذکر مثالی می‌پردازیم.

مثال- گاز CO₂ درون ظرفی به حجم 100 سانتیمتر مکعب و از طریق لوله موئینه در شرایط یکنواخت به محیط هوای خالص وارد می‌شود. ابعاد لوله موئینه داده شده است. چند ثانیه طول می‌کشد تا غلظت CO₂ درون ظرف به $\frac{2}{3}$ مقدار اولیه خود برسد؟

(مهندسی شیمی ۸۸)

سایر اطلاعات $D_{CO_2 - \text{هوا}} = 3.33 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

$M_{CO_2} = 40$ $\pi = 3.0$ $\text{Ln}1.5 = 0.4$



10 (۱)

1 (۲)

0.1 (۳)

100 (۴)

حل: گزینه یک صحیح است.

به دلیل یکسان بودن فشار درون ظرف و هوای بیرون، انتقال جرم به صورت نفوذ مولکولی متقابل می‌باشد و به میزان مولکول‌های CO₂ خروجی از ظرف، مولکول‌های هوا وارد ظرف می‌شوند.

$$\sum N_i = 0$$

$$N_A = J_A + x_A \sum N_i \Rightarrow N_A = J_A = -D_{AB} \frac{dCA}{dZ}$$

با مدل‌سازی شبه پایا، توزیع غلظت را فقط تابع زمان در نظر می‌گیریم و داریم.

$$\left. \begin{aligned} N_A &= -D_{AB} \frac{dC_A}{dz} \\ C_A &= \frac{n_A}{V} \end{aligned} \right\} \rightarrow N_A = \frac{+D_{AB} (n_A - 0)}{V \delta} \quad \text{معادله شماره (۱)}$$

از تعریف N_A داریم:

$$N_A = \frac{1}{MA} \frac{dn_A}{dt} \quad \text{معادله شماره (۲)}$$

$$(۱) \text{ و } (۲) \Rightarrow \frac{1}{MA} \frac{dn_A}{dt} = \frac{D_{AB} n_A}{V \delta} \Rightarrow$$

$$\frac{\delta V}{MA D_{AB} n_A} = dt \Rightarrow \frac{\delta V}{MA D_{AB}} \int_{\frac{2}{3}n_{A1}}^{n_{A1}} \frac{dn_A}{n_A} = \int_0^t dt$$

$$\Rightarrow \frac{\delta V}{MA D_{AB}} L \pi \frac{dn_A}{\frac{2}{3}n_A} = t \Rightarrow t = \frac{10 \times 10^{-2} \times 100 \times 10^{-6}}{40 \times 3 \times 1 \times 10^{-4} \times 3.33 \times 10^{-5}} \times 0.4 = 10s$$

منابع آزمون کارشناسی ارشد و دکتری
09195367497
www.arshd87.blogfa.com

تست‌های طبقه بندی شده فصل دوم

۱- در $T = 300\text{ k}$ ضریب نفوذ A در B در محلول رقیق از A و $D_{AB} = 2 \times 10^{-9} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$ است. اگر دمای محلول به 330 k افزایش یابد

ویسکوزیته مایع 45% کاهش می‌یابد در این دما ضریب نفوذ برحسب $\frac{\text{m}^2}{\text{s}}$ چقدر است؟ (مهندسی شیمی ۸۷)

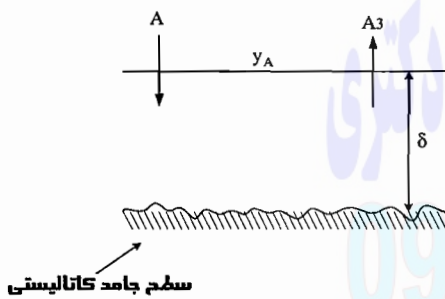
(۱) $2.2 \times 10^{-9} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$ (۲) $4 \times 10^{-9} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$ (۳) $2.3 \times 10^{-9} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$ (۴) $4.9 \times 10^{-9} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$

۲- کدام یک از روابط زیر برای شار مولی A صحیح است؟ (مهندسی شیمی ۸۷)

(۱) $(N_A + N_B)X_A - D_{AB}C_T \nabla X_A$
(۲) $(N_A + N_B)X_A - D_{AB}C_T \nabla X_B$
(۳) $(N_A + N_B)X_A - D_{AB}\rho \nabla X_A$
(۴) $(N_A + N_B)X_A + D_{AB}C_T \nabla X_A$

۳- فعل و انفعالات پلیمری شدن بسیار سریع فاز گاز $3A \rightarrow A_3$ در سطح کاتالیست مقابل شکل زیر اتفاق می‌افتد، کدام یک از روابط زیر میزان انتقال A به سطح جامد کاتالیستی بر واحد زمان در واحد سطح در حالت پایدار را بیان می‌کند؟ (فرض شود

100% تبدیل A صورت می‌پذیرد.) (مهندسی شیمی ۸۶)



(۱) $N_A = -\frac{3 D_{AB} P_t}{2 RT \delta} \ln \left[1 - \frac{3}{2} y_A \right]$

(۲) $N_A = -\frac{2 D_{AB} P_t}{3 RT \delta} \ln \left[1 - \frac{2}{3} y_A \right]$

(۳) $N_A = -\frac{3 D_{AB} P_t}{2 RT \delta} \ln \left[1 - \frac{2}{3} y_A \right]$

(۴) $N_A = \frac{3 D_{AB} P_t}{2 RT \delta} \ln \left[1 - \frac{2}{3} y_A \right]$

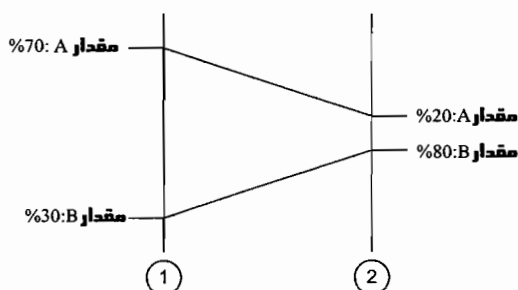
۴- سرعت متوسط مولی یک مخلوط هیدروژن و اکسیژن 0.6 متر بر ثانیه است. اگر سرعت مولکول‌های هیدروژن یک متر بر ثانیه و سرعت مولکول‌های اکسیژن 0.5 متر بر ثانیه باشد. جزء مولی هیدروژن در مخلوط برابر است با: (مهندسی شیمی ۸۶)

(۱) 0.1 (۲) 0.2 (۳) 0.4 (۴) 0.5

۵- در تبخیر از سطح یک استوانه به داخل فضای گاز اطراف آن به صورت یک جهته r در شرایط steady معادله پیوستگی جزء تبخیر شونده «A» در فاز گاز کدام است؟ N_{A_r} شار جزء A در جهت r است. (مهندسی شیمی ۸۶)

(۱) $\frac{d}{dr} N_{A_r} = 0$ (۲) $\frac{d}{dr} (N_{A_r} r^2) = 0$ (۳) $\nabla \cdot \vec{N}_{A_r} = 0$ (۴) $\frac{d}{dr} (N_{A_r} r) = 0$

۶- در کانال مخروطی شکل زیر که انتقال جرم صورت می‌گیرد، فرض می‌کنیم هیچ گونه کنوکسیون‌ی نداشته باشیم. اگر فقط کانال برعکس قرار داده شود. «جای مرز یک و دو تغییر یابد» مقدار دبی انتقال جرم A از یک به دو: (مهندسی شیمی ۸۵)



- (۱) کم می‌شود
(۲) تغییری نمی‌کند
(۳) زیاد می‌شود
(۴) ممکن است کم یا زیاد شود

۷- لایه‌ای به ضخامت Z از بنزین روی زمین ریخته است. اگر میزان تبخیر بنزین در شرایط محیط $N_A \frac{\text{moles}}{\text{s.m}^2}$ باشد میزان

تغییرات Z با کدام یک از روابط زیر نشان داده می‌شود؟ « M وزن مولکولی و ρ دانسیته بنزین می‌باشد» (مهندسی شیمی ۸۴)

$$\frac{\delta z}{\delta t} = N_A \cdot \rho \cdot M \quad (۱) \quad \frac{\delta z}{\delta t} = \frac{\rho \cdot M}{N_A} \quad (۲) \quad \frac{\delta z}{\delta t} = \frac{N_A \cdot M}{\rho} \quad (۳) \quad \frac{\delta z}{\delta t} = \frac{N_A - \rho}{M} \quad (۴)$$

۸- یک لایه روغن فرار به ضخامت Z روی زمین قرار دارد. اگر N_A میزان تبخیر بر حسب $\rho \frac{\text{moles}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$ دانسیته روغن و M جرم

مولکولی باشد. کدام یک از روابط زیر میزان تغییرات ضخامت روغن با زمان را نشان می‌دهد؟ (مهندسی شیمی ۸۳)

$$\frac{\delta z}{\delta t} = \frac{N_A \cdot M}{\rho} \quad (۱) \quad \frac{\delta z}{\delta t} = N_A \cdot M \cdot \rho \quad (۲) \quad \frac{\delta z}{\delta t} = \frac{N_A \cdot \rho}{M} \quad (۳) \quad \frac{\delta z}{\delta t} = \frac{N_A \cdot M_A}{2} \quad (۴)$$

۹- ضریب نفوذ گاز CO_2 ، در هلیوم و در فشار اتمسفر و دمای 3.2°C برابر با $5.3 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$ گزارش شده است ضریب نفوذ

CO_2 در هلیوم در دمای 225°C و فشار اتمسفر؟ (مهندسی شیمی ۸۳)

(۱) دقیقاً 14.14×10^{-5} خواهد شد.

(۲) چون هلیوم گاز بی‌اثر است لذا دقیقاً 14.14×10^{-5} خواهد شد.

(۳) از مقدار 14.14×10^{-5} بیشتر خواهد شد زیرا باید اثر دما روی تابع برخورد بررسی شود.

(۴) از مقدار 14.14×10^{-5} کمتر خواهد شد زیرا باید اثر دما روی تابع برخورد بررسی شود.

۱۰- ضریب نفوذ اتان در هیدروژن در دمای 10 درجه سانتی‌گراد و فشار یک اتمسفر برابر با $0.66 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}}$ است اگر دمای مطلق و

فشار سیستم هر دو نصف شوند ضریب نفوذ بر حسب $\frac{\text{cm}^2}{\text{s}}$ برابر است با؟ (مهندسی شیمی ۸۳)

$$0.330 \quad (۱) \quad 0.467 \quad (۲) \quad 0.852 \quad (۳) \quad 1.320 \quad (۴)$$

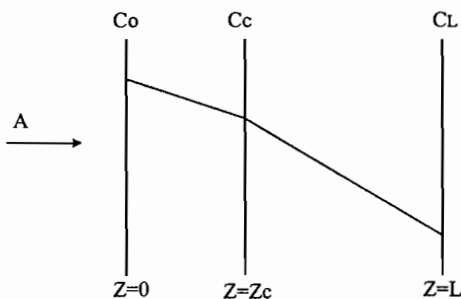
۱۱- ضریب نفوذ مولکولی گاز SO_2 در هوا در شرایط استاندارد در حدود 1.4×10^{-5} متر مربع بر ثانیه می‌باشد به نظر شما

کدام یک از ضرایب نفوذ زیر می‌تواند ضریب نفوذ مولکولی SO_2 در مایع اتانول باشد؟ (مهندسی شیمی ۸۳)

$$1.3 \times 10^{-9} \frac{\text{m}^2}{\text{sec}} \quad (۱) \quad 1.4 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{sec}} \quad (۲) \quad 1.3 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{sec}} \quad (۳) \quad 1.4 \frac{\text{m}^2}{\text{sec}} \quad (۴)$$

۱۲- در داخل غشایی که ماده A به صورت پایا نفوذ می‌کند توزیع غلظت به صورت شکل روبه‌رو می‌باشد غشا از دو لایه متفاوت

تشکیل یافته است شار مولی A کدام یک از عبارات زیر می‌باشد. (مهندسی شیمی ۸۲)



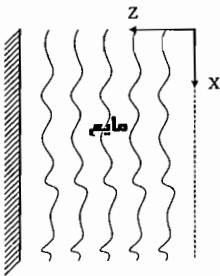
$$N_A = \frac{C_0 - C_L}{\left(\frac{D_1 + D_2}{2}\right)} \quad (۱)$$

$$N_A = \frac{C_0 - C_L}{\frac{D_1}{Z_c} + \frac{D_2}{L - Z_0}} \quad (۲)$$

$$N_A = D_1 \frac{(D_1 + D_2)(C_0 - C_L)}{L} \quad (۳)$$

$$N_A = D_1 \frac{(C_0 - C_c) + D_2 (C_c - C_L)}{L} \quad (۴)$$

۱۳- انتقال جرم از فاز گاز به فیلم مایع در حال ریزش اتفاق می افتد. رابطه زیر در این خصوص استفاده شده است.



$$u_x \frac{\delta C_A}{\delta x} = D_{AB} \left(\frac{\delta^2 C_A}{\delta z^2} + \frac{\delta^2 C_A}{\delta x^2} \right)$$

(مهندسی شیمی ۸۲)

در صورتی که رابطه فوق را صحیح بدانیم، در این صورت باید گفت که:

- ۱) از نفوذ گاز در جهت Z در مقابل حرکت توده‌ای در جهت Z صرف نظر شده است.
- ۲) از نفوذ گاز در جهت X در مقایسه حرکت توده‌ای در جهت X صرف نظر شده است.
- ۳) از حرکت توده‌ای در جهت X در مقابل با نفوذ در جهت Z صرف نظر شده است.
- ۴) از حرکت توده‌ای در جهت Z در مقایسه با نفوذ در جهت Z صرف نظر شده است.

۱۴- 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

(مهندسی شیمی ۸۱)

رابطه، تغییرات ضخامت مایع «Z» را با زمان نشان می دهد؟

$$\frac{\delta z}{\delta t} = \frac{N_A \cdot \rho}{M} \quad (۴) \quad \frac{\delta z}{\delta t} = \frac{N_A \cdot M \cdot \rho}{2} \quad (۳) \quad \frac{\delta z}{\delta t} = \frac{N_A \cdot M}{\rho} \quad (۲) \quad \frac{\delta z}{\delta t} = N_A \cdot M \cdot \rho \quad (۱)$$

۱۵- مخلوطی از گاز هلیوم «A» و نیتروژن «B» در یک لوله به طول 0.2m در دمای 298k و فشار یک اتمسفر قرار دارد. فشار جزئی هلیوم در دو طرف لوله به ترتیب 0.2 atm, 0.6 atm می باشد. محاسبه شارمولی هلیوم کدام است؟ (مهندسی شیمی ۸۱)

$$R = 8314 \frac{\text{m}^3 \cdot \text{Pa}}{\text{kgmol} \cdot \text{K}} \quad 1 \text{ atm} = 1.01325 \times 10^5 \text{ Pa} \quad D_{AB} = 0.687 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$J_A = 5.63 \times 10^{-5} \frac{\text{kmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \quad (۲)$$

$$J_A = 4.52 \times 10^{-5} \frac{\text{kmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \quad (۱)$$

$$J_A = 5.63 \times 10^{-6} \frac{\text{kmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \quad (۴)$$

$$J_A = 4.52 \times 10^{-6} \frac{\text{kmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \quad (۳)$$

پاسخ تست‌های طبقه‌بندی شده فصل دوم

۱- گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

با توجه به میزان $D_{AB} = 2 \times 10^{-9} \frac{m^2}{s}$ مشخص است که محیط نفوذ مایع می‌باشد پس داریم:

$$\frac{D_{AB_2}}{D_{AB_1}} = \frac{T_2}{T_1} \times \frac{\mu_1}{\mu_2} \Rightarrow \frac{D_2}{2 \times 10^{-9}} = \frac{330}{300} \times \frac{\mu_1}{\mu_1 - 0.45 \mu_1} \Rightarrow \frac{D_2}{2 \times 10^{-9}} = 2 \Rightarrow D_2 = 4 \times 10^{-9}$$

۲- گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۳- گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$3A \rightarrow A_3 \Rightarrow \frac{N_A}{3} = \frac{N_{A_3}}{-1} \Rightarrow N_A = -3N_{A_3}, \quad \sum N_i = \frac{2}{3}N_A$$

$$N_A = \frac{N_A}{\sum N_i} \cdot \frac{D_{AB} C}{\sigma} \ln \frac{\sum N_i - y_{A_2}}{\sum N_i - y_{A_1}}$$

چون واکنشی سریع است پس $y_{A_2} = 0$

$$N_A = \frac{3 D_{AB} P_t}{2 RT \sigma} \ln \frac{\frac{3}{2} - 0}{\frac{3}{2} - y_A} = -\frac{3 D_{AB} P_t}{2 RT \sigma} \ln \left(1 - \frac{2}{3} y_A \right)$$

۴- گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$V^* = \sum x_i V_i \Rightarrow 0.6 = (x_{H_2} \times 1) + (x_{O_2} \times 0.5) \left. \begin{array}{l} \\ x_{H_2} + x_{O_2} = 1 \end{array} \right\} \Rightarrow 0.6 = x_{H_2} + (1 - x_{H_2}) \times 0.5 \Rightarrow x_{H_2} = 0.2$$

۵- گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۶- گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

در مختصات کارتیزین مقدار N_A ثابت بوده پس گزینه ۲ صحیح است.

۷- گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$\left. \begin{array}{l} N_A = \frac{1}{A} \frac{dn_A}{dt} \\ n_A = \frac{m}{M} = \frac{\rho V}{M} \\ V = Az \end{array} \right\} \Rightarrow N_A = \frac{\rho}{M} \frac{dz}{dt} \Rightarrow \frac{dz}{dt} = \frac{M N_A}{\rho}$$

۸- گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

مشابه سؤال ۷ می‌باشد.

۹ - هیچ کدام از گزینه‌ها صحیح نیستند.

$$\frac{D_2}{D_1} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{3}{2}} \left(\frac{P_1}{P_2}\right) \left(\frac{f_1}{f_2}\right)$$

با توجه به این که $T_2 - T_1 > 50^\circ$

$$\frac{D_2}{5.31 \times 10^{-5}} = \left(\frac{225 + 273}{3.2 + 273}\right) \left(\frac{1}{1}\right) \times \frac{f_1}{f_2} \Rightarrow D_2 = 12.85 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

با توجه به این که $T_2 > T_1$ پس $f_2 < f_1$ و داریم $\frac{f_1}{f_2} > 1$ پس مقدار D_2 بزرگتر از 12.85×10^{-5} می‌باشد.

۱۰ - گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$\frac{D_2}{D_1} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{3}{2}} \times \frac{P_1}{P_2} \Rightarrow \frac{D_2}{0.66} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{3}{2}} \times 2 = 0.4666 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}}$$

۱۱ - گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

ضریب نفوذ مولکولی گازها در مایعات هم‌اندازه با ضریب نفوذ مایعات در مایعات می‌باشد.

۱۲ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

همانند حالت مقاومت‌های سری در انتقال حرارت که میزان حرارت منتقل شده در آن‌ها برابر می‌باشد در این جا نیز در حالت پایدار شار مولی در کلیه لایه‌ها برابر است پس داریم:

$$N_A = D_1 \frac{C_0 - C_C}{z_C} = D_2 \frac{C_C - C_L}{L - z_C} \Rightarrow$$

$$\left. \begin{aligned} N_A \times z_C &= D_1 (C_0 - C_C) \\ N_A \times (L - z_C) &= D_2 (C_C - C_L) \end{aligned} \right\} +$$

$$N_A \times L = D_1 (C_0 - C_C) + D_2 (C_C - C_L) \Rightarrow N_A = \frac{D_1 (C_0 - C_C) + D_2 (C_C - C_L)}{L}$$

۱۳ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۱۴ - گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

مشابه تست شماره ۷ می‌باشد.

۱۵ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$$N_A = -N_B \Rightarrow N_A = \frac{D_{AB}}{RTz} (P_{A_1} - P_{A_2}) = \frac{0.687 \times 10^{-4}}{8314 \times 298 \times 0.2} (0.6 - 0.2) \times 101325 = 5.62 \times 10^{-6} \frac{\text{Kmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

فصل سوم

ضرایب انتقال جرم

۳-۱- مقدمه

در فصل دوم انتقال جرم مکانیزم نفوذ مولکولی مورد بررسی قرار گرفت که فقط در مورد سیالات ساکن و یا سیالاتی که دارای حرکت آرام هستند کاربرد دارد و فرایند بسیار کندی می باشد در این فصل انتقال جرم در جریان درهم را مورد مطالعه قرار می دهیم توصیه می شود دانشجویان محترم قبل از مطالعه این فصل برای درک بهتر مطالب، فصل پنجم کتاب انتقال حرارت تالیف دکتر محمود میرزازاده موسسه آموزش عالی آزاد پارسه را مطالعه کنند.

در فصل دوم، انتقال جرم بین دو نقطه را در نظر گرفتیم که طول مسیر نفوذ ماده، δ معلوم بود در این فصل انتقال جرم بین فصل مشترک و یک فاز متحرک را در نظر می گیریم به این مفهوم که ماده یا از داخل یک فاز حرکت کرده و به فصل مشترک می رسد و یا از فصل مشترک حرکت کرده و وارد یک فاز دیگر می شود. دیدیم که شار انتقال جرم از یک فاز گاز که طول مسیر نفوذ δ و ضریب نفوذ D_{AB} است از روابط زیر بدست می آید.

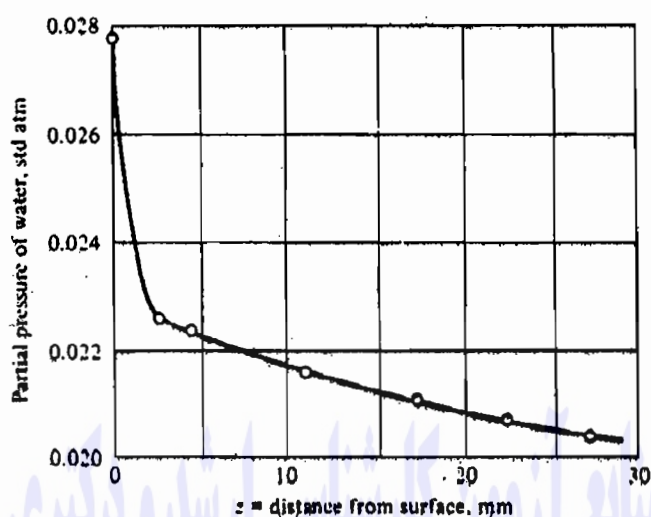
$$\text{نفوذ ماده A در محلول} \Rightarrow N_A = \frac{N_A}{\sum N_i} \frac{D_{AB}}{\sigma} \cdot \frac{P}{RT} \ln \frac{\sum N_i - y_{A_2}}{\sum N_i - y_{A_1}}$$

$$\text{نفوذ متقابل} \Rightarrow N_A = \frac{D_{AB}}{\sigma} \frac{P}{RT} (y_{A_1} - y_{A_2})$$

اما در بسیاری از مسائل مهندسی نه طول مسیر نفوذ معلوم است و نه انتقال جرم فقط ناشی از نفوذ مولکولی است بلکه ممکن است به خاطر تلاطم جریان سیال، گردابها (eddy) هم در انتقال جرم نقش داشته باشند و به همین خاطر، توزیع غلظت بستگی به شرایط مساله دارد.

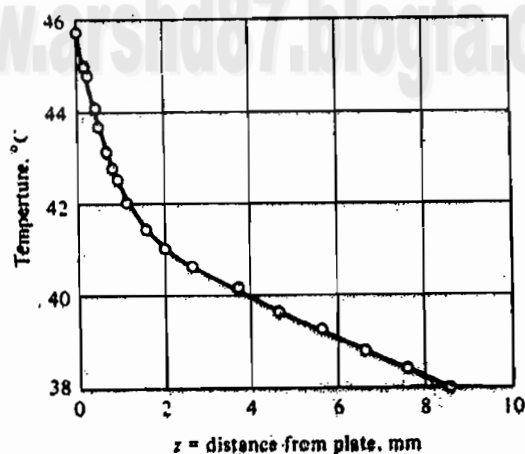
می دانیم وقتی سیالی به صورت درهم «Turbulent» از روی یک سطح جامد عبور می کند، در ناحیه ای که بلافاصله پس از سطح جامد قرار دارد جریان به صورت آرام درمی آید و با افزایش فاصله از سطح جامد، رفتار جریان به تدریج به وضعیت متلاطم نزدیک تر می شود و در نواحی دور از سطح، جریان به حالت کاملاً درهم مبدل می گردد. حل شده در سیال بستگی به چگونگی حرکت سیال

در نواحی مختلف دارد. در ناحیه متلاطم، اجزای سیال از قطعاتی به نام گردابه «eddy» تشکیل شده است که با سرعت زیاد از نقطه‌ای به نقطه دیگر تغییر مکان می‌دهند و حرکت آن‌ها به میزان قابل توجهی شدت انتقال را افزایش می‌دهد. به دلیل حرکت سریع گردابه‌ها گرادیان غلظت موجود در ناحیه متلاطم کوچک‌تر از ناحیه آرام می‌باشد. در شکل ۱-۳ چنین گرادیان غلظتی نشان داده شده است که در این آزمایش هوا با جریان متلاطم از روی سطح آب عبور داده می‌شود



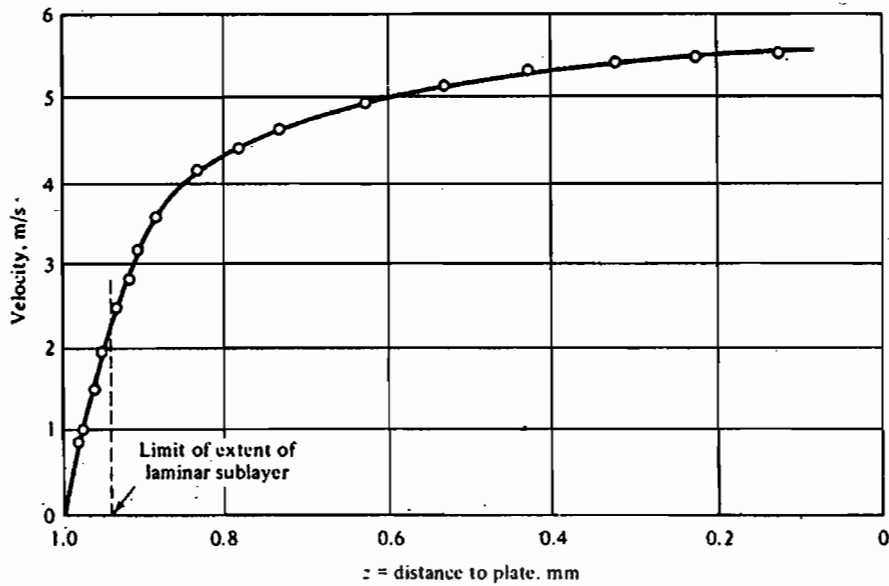
شکل ۱-۳ تبخیر آب به داخل هوا

در شکل ۲-۳ دمای نقاطی با فواصل مختلف از سطح یک صفحه داغ که هوا با جریان متلاطم از روی آن عبور می‌کند رسم شده است. وجود گرادیان بزرگ دما در فواصل نزدیک به سطح و گرادیان‌های کوچک‌تر در ناحیه متلاطم در این مورد نیز کاملاً مشخص است.



شکل ۲-۳ انتقال حرارت، جریان هوا از روی یک صفحه داغ

در شکل ۳-۳ پروفایل سرعت حرکت هوا از روی یک سطح صاف نشان داده شده است و وجود گرادیان‌های بزرگ سرعت در فواصل نزدیک به سطح و گرادیان‌های کوچک‌تر در ناحیه متلاطم در این مورد نیز کاملاً مشخص است.



شکل ۳-۳ پروفیل سرعت، حرکت هوا روی یک سطح صاف

۲-۳ مروری بر مفاهیم پدیده‌های انتقال

در جریان آرام برای مقایسه مونتوم و انتقال حرارت و انتقال جرم از روابط زیر استفاده می‌کنیم

$$\left. \begin{array}{l} \text{قانون نیوتن} \quad \tau_{zx} = -v \frac{d(\rho V_x)}{dz} \\ \text{قانون فوریه} \quad \frac{q_z}{A} = -a \frac{d(\rho C_p T)}{dz} \\ \text{قانون فیک} \quad J_A = -D_{AB} \frac{d(C_A)}{dz} \end{array} \right\} \begin{array}{l} v: \text{ویسکوزیته سینماتیکی} \\ a: \text{ضریب نفوذ حرارتی} \\ D_{AB}: \text{ضریب نفوذ مولکولی} \end{array}$$

و در حالت درهم داریم:

$$\left. \begin{array}{l} \text{قانون نیوتن} \quad \tau_{z,x} = -(v + E_v) \frac{d(\rho v_x)}{dz} \\ \text{قانون فوریه} \quad \frac{q_z}{A} = -(a + E_H) \frac{d(\rho C_p T)}{dz} \\ \text{قانون فیک} \quad J_A = -(D_{AB} + E_D) \frac{dC_A}{dz} \end{array} \right\} \begin{array}{l} E_v: \text{ضریب نفوذ مونتوم گردابه‌ای} \\ E_H: \text{ضریب نفوذ گرمایی گردابه‌ای} \\ E_D: \text{ضریب نفوذ جرمی گردابه‌ای} \end{array}$$

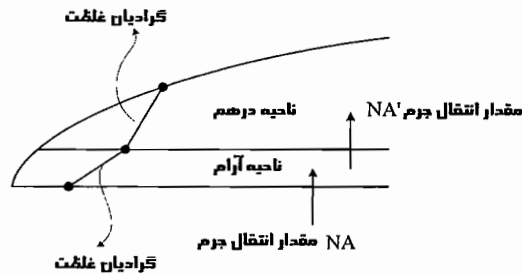
نکته: همگی ضرایب در سیستم SI دارای واحد $\frac{m^2}{s}$ می‌باشند.

$$[v] = [a] = [D_{AB}] = [E_v] = [E_H] = [E_D] = \frac{L^2}{T}$$

نکته: D_{AB}, a, v از خصوصیات فیزیکی ماده می‌باشند و در دما و فشار مشخص، مقدار مشخصی دارند در حالی که

E_D, E_H, E_v علاوه بر نوع ماده به محل نیز بستگی دارند به عبارت دیگر به شدت تلاطم موضعی نیز بستگی دارند

نکته : مقدار انتقال جرم در دو ناحیه آرام و درهم برابر است. در ناحیه درهم گرادیان غلظت «نیروی محرکه انتقال جرم» کمتر است ولی ضریب انتقال جرم در این حالت بیشتر است که سبب افزایش شدت انتقال جرم در حالت جریان درهم می‌شود.



مثال : مکانیزم انتقال جرم در جریان متلاطم نفوذ است؟

(۱) چرخانه‌ای

(۲) موثر

(۳) مولکولی

(مهندسی شیمی ۷۹)

(۴) مولکولی و نفوذ چرخانه‌ای

حل : گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

با توجه به رابطه روبه‌رو، داریم

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

↓ ↓

ضریب نفوذ گردانه‌ای ضریب نفوذ مولکولی

مثال : مقدار شار کل جزء A برای سیستم یک بعدی از رابطه $J_A = -(D_{AB} + E_D) \frac{dC_A}{dz}$ پیدا می‌شود. کدام یک از گزینه‌های زیر

(مهندسی بیوتکنولوژی ۸۴)

صحیح است؟

(۱) D_{AB}, E_D مقادیر ثابتی هستند که فقط به خصوصیات فیزیکی A بستگی دارند.

(۲) E_D, D_{AB} مقادیر ثابتی هستند که فقط به خصوصیات فیزیکی A و B بستگی دارند.

(۳) D_{AB} به خصوصیات فیزیکی A و B بستگی دارد و E_D مقدار ثابتی است که به عدد Pr وابسته است.

(۴) D_{AB} به خصوصیات فیزیکی A و B بستگی دارد و مقدار مشخص و ثابتی را داراست و E_D در نقاط مختلف سیال می‌تواند متغیر باشد.

حل : گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس

نکته : در نواحی نزدیک دیواره که جریان به صورت آرام می‌باشد D_{AB} دارای اهمیت است و در نواحی دورتر که جریان به شکل کاملاً درهم درمی‌آید E_D دارای اهمیت می‌باشد.

مثال : شار کلی جزء A در جهت Z به صورت زیر داده شده است: $J_A = -(D_{AB} + E_D) \frac{dC_A}{dy}$ کدام یک از عبارات زیر صحیح است؟

«مهندسی بیوتکنولوژی ۸۲»

(۱) E_D ضریب نفوذ گردابه‌ای می‌باشد و در ناحیه دیواره جریان حاکم است.

(۲) D_{AB} ضریب نفوذ مولکولی می‌باشد و در ناحیه مرکزی جریان در هم حاکم است.

(۳) E_D ضریب نفوذ گردابه‌ای می‌باشد و بستگی به شدت موضعی در هم بودن جریان دارد.

(۴) هر دو گزینه ۱ و ۲ صحیح است.

حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

۳-۳ ضرایب انتقال جرم

برای محاسبه انتقال جرم در جریان درهم به طور کلی از دو روش می‌توانیم استفاده کنیم روش اول استفاده از ضریب انتقال جرم F و روش دوم برقراری تشابه با سایر پدیده‌های انتقال مانند حرارت و مومنتوم و استفاده از ضرایب k می‌باشد که هر کدام از این روش‌ها مزایا و معایب خاص خودشان را دارند که در ادامه به بررسی هر کدام از این روش‌ها می‌پردازیم

۳-۳-۱- ضریب انتقال جرم F

مکانیسم جریان سیال در حالت متلاطم که شامل حرکات گردانه‌هاست تاکنون به درستی شناخته نشده است و همچنین در مورد انتقال جرم در جریان درهم تعیین مسیر نفوذ یا z کار بسیار دشواری می‌باشد به همین جهت در جریان درهم برای تعیین انتقال جرم از ضریب انتقال جرم F که به طور تجربی تعیین می‌شود استفاده می‌شود و در معادلات انتقال جرم در حالت درهم به جای $\frac{CD_{AB}}{z}$ از F استفاده می‌کنیم

$$F \equiv \frac{CD_{AB}}{z}$$

$$N_A = \frac{N_A}{\sum N_i} \frac{CD_{AB}}{z} \ln \frac{\frac{N_A}{\sum N_i} - \frac{C_{A_2}}{C}}{\frac{N_A}{\sum N_i} - \frac{C_{A_1}}{C}}$$

شار انتقال جرم در سیالات ساکن و یا دارای جریان آرام

$$N_A = \frac{N_A}{\sum N_i} F \ln \frac{\frac{N_A}{\sum N_i} - \frac{C_{A_2}}{C}}{\frac{N_A}{\sum N_i} - \frac{C_{A_1}}{C}}$$

شار انتقال جرم در سیالات دارای جریان درهم

نکته: واحد F با واحد N_A یکسان می‌باشد - $\frac{\text{kmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$ و به صورت تجربی تعیین می‌شود، F را گاهی ضریب انتقال جرم محلی هم می‌نامند.

نکته: در نفوذ متقابل، شار انتقال جرم در سیالات دارای جریان درهم با استفاده از ضریب F از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$N_A = F(y_{A_1} - y_{A_2})$$

مثال: واکنش $4A_{(g)} \rightarrow B_{(g)}$ در سطح یک کاتالیست و به صورت سریع رخ می‌دهد ماده A به سمت کاتالیست و ماده B از سطح

کاتالیست به توده فاز گاز نفوذ می‌کند. کدام یک از روابط زیر سرعت مصرف A را در واکنش معین می‌کند؟ « y_A جزء مولی A

در توده فاز گاز است»

$$N_A = \frac{4}{3} F \ln \frac{4}{4-3y_A} \quad (۴) \quad N_A = \frac{4}{3} F \ln \frac{4-3y_A}{4} \quad (۳) \quad N_A = \frac{3}{4} F \ln \frac{3}{3-4y_A} \quad (۲) \quad N_A = \frac{1}{3} F \ln \frac{1}{1-3y_A} \quad (۱)$$

حل: گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$$N_A = \frac{N_A}{\sum N_i} F \ln \frac{\frac{N_A}{\sum N_i} - y_{A_2}}{\frac{N_A}{\sum N_i} - y_{A_1}}$$

واکنش سریع $\Rightarrow y_{A_2} = 0$

$$4A_{(g)} \rightarrow B_{(g)} \Rightarrow \frac{N_A}{4} = \frac{N_B}{-1} \Rightarrow \sum N_i = N_A + N_B = N_A - \frac{1}{4}N_A = \frac{3}{4}N_A \Rightarrow \frac{N_A}{\sum N_i} = \frac{4}{3}$$

$$1,2 \Rightarrow N_A = \frac{4}{3}FLn \frac{\frac{4}{3} - 0}{\frac{4}{3} - y_A} = \frac{4}{3}FLn \frac{4}{4 - 3y_A}$$

مثال: در یک ستون جداره مرطوب در wetted-wall. شار مولی انتقال جرم N_A بر حسب $\frac{\text{kmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$ برابر است با 4.6×10^{-6} . در این

ستون NH_3 از هوا توسط محلول رقیق اسیدسولفوریک که در دیواره ستون به پایین می‌ریزد، جذب می‌شود. در صورتی که

میانگین جزء مولی NH_3 در توده هوا برابر 0.1 باشد ضریب انتقال جرم از نوع F چند $\frac{\text{kmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$ خواهد بود؟ (مهندسی شیمی ۷۲)

(۱) 2.30×10^{-5} (۲) 4.6×10^{-5} (۳) 4.36×10^{-5} (۴) 5.11×10^{-6}

حل: گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

(1) $\Rightarrow y_{A_2} = 0$ واکنش NH_3 و اسید سولفوریک سریع است

(2) $\Rightarrow \frac{N_A}{\sum N_i} = 1$ هوا جذب نمی‌شود $\Rightarrow N_B = 0$

$$\Rightarrow (1), (2) \Rightarrow N_A = FLn \frac{1-0}{1-0.1} \Rightarrow 4.6 \times 10^{-6} = FLn \frac{1}{0.9} \Rightarrow F = 4.36 \times 10^{-5}$$

۲-۳-۳ ضرایب انتقال جرم K

در کلیه پدیده‌های انتقال، می‌توان شار انتقال را برابر حاصل ضرب ضریب انتقال در نیروی محرکه تعریف کرد. در انتقال حرارت شار انتقال حرارت را حاصل ضرب ضریب انتقال حرارت (h) در نیروی محرکه (ΔT) تعریف می‌کنیم به همین ترتیب می‌توان شار انتقال جرم را حاصل ضرب ضریب انتقال جرم (K) در نیروی محرکه (Δy یا ΔC یا ΔP) تعریف کرد.

اگر بخواهیم که ضریب انتقال جرم را مشابه ضریب انتقال حرارت تعریف کنیم باید به نکته‌ای مهم توجه کنیم این که h معرف همه شار گرمایی است که در اثر اختلاف دما منتقل می‌شود اما در مورد انتقال جرم دیدیم که شار انتقال جرم از دو مولفه تشکیل شده

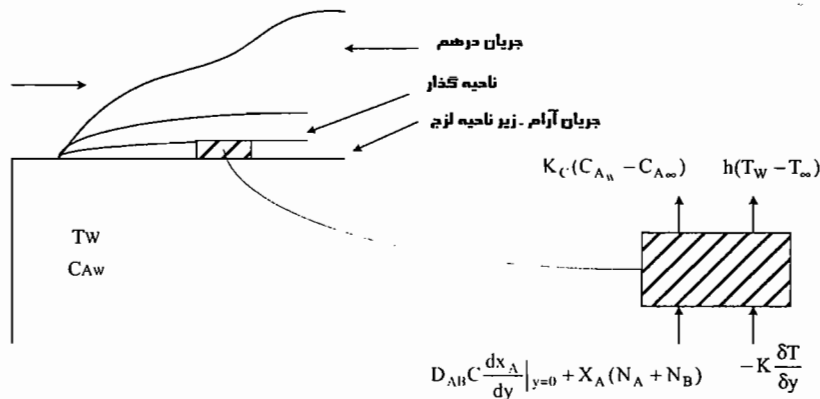
$$N_A = -D_{AB} C \frac{d_{x_A}}{dz} + x_A (N_A + N_B) \quad \text{است:}$$

جمله $x_A (N_A + N_B)$ مستقل از گرادیان غلظت است پس ضریب انتقال جرم را باید به صورت زیر تعریف کنیم تا مشابه انتقال حرارت شود.

$$N_A - x_{A_1} (N_A + N_B) = -D_{AB} C \frac{d_{x_A}}{dz} = k_x (x_{A_1} - x_{A_2})$$

بنابراین برای استفاده از ضرایب k در محاسبه شار انتقال جرم، لازم است که فرض کنیم $N_A + N_B \rightarrow 0$ یعنی شار انتقال جرم بسیار کم است

$$\Rightarrow N_A - x_{A_1} (N_A + N_B) = k_x (x_{A_1} - x_{A_2}) \Rightarrow N_A = k_x (x_{A_1} - x_{A_2})$$



انتقال حرارت و انتقال جرم در لایه چسبیده به سطح فقط با مکانیسم هدایت و نفوذ است و هر چه با هدایت و نفوذ منتقل می‌شود توسط مکانیسم جابجایی به درون توده سیال منتقل می‌شود.

به خاطر وجود جمله $x_A(N_A + N_B)$ در استفاده از ضرایب k محدودیت داریم پس وقتی که شدت نفوذ کم می‌باشد و یا محلول رقیق باشد می‌توانیم از این ضرایب استفاده کنیم البته باید توجه کنیم در نفوذ متقابل $\sum N_i = 0$ - در استفاده از ضرایب K' چنین محدودیتی را نداریم ولی به طور کلی در انتقال جرم زیاد از ضرایب F و در انتقال جرم کم از ضرایب k استفاده می‌کنیم.

مثال : در چه موقعیتی حتماً بایستی از ضریب انتقال جرم از نوع F و روابط مربوط به آن استفاده کنیم؟ (مهندسی شیمی ۷۲)

(۱) انتقال فقط یک جزء در یک محلول دما و فشار زیاد

(۲) میزان زیاد انتقال جرم

(۳) میزان کم انتقال جرم

حل: با توجه به توضیحات بالا گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

از آن جایی که نیروی محرکه انتقال جرم را به صورت‌های مختلفی می‌توان بیان کرد - اختلاف غلظت ΔC یا اختلاف جزء مولی Δx یا Δy یا اختلاف فشار ΔP - پس ضریب انتقال جرم را نیز می‌توان به شکل‌های مختلف بیان نمود و واحد این ضریب با توجه به واحد نیروی محرکه متغیر خواهد بود که در جدول زیر نشان داده شده است.

واحد k در سیستم SI	نفوذ در جز ساکن $N_B = 0$	نفوذ متقابل $N_A + N_B = 0$	
$\frac{m}{s}$	$N_A = K_C \Delta C_A$	$N_A = K'_C \Delta C_A$	گازها
$\frac{kmol}{m^2 \cdot s \cdot Pa}$	$N_A = K_G \Delta P_A$	$N_A = K'_G \Delta P_A$	
$\frac{kmol}{m^2 \cdot s}$	$N_A = K_y \Delta y_A$	$N_A = K'_y \Delta y_A$	
$\frac{m}{s}$	$N_A = K_L \Delta C_A$	$N_A = K'_L \Delta C_A$	مایعات
$\frac{kmol}{m^2 \cdot s}$	$N_A = K_x \Delta x_A$	$N_A = K'_x \Delta x_A$	

مثال : در حالت انتقال جرم به صورت نفوذ یکسان مولی متقابل یک گاز دوجزئی کدام عبارت صحیح است؟ (مهندسی شیمی ۷۷)

$$N_A = F \cdot C (C_{A1} - C_{A2}) \quad (۲)$$

$$N_A = K'_C (y_{A1} - y_{A2}) \quad (۱)$$

$$N_A = F (y_{A1} - y_{A2}) \quad (۴)$$

$$N_A = K'_y (C_{A1} - C_{A2}) \quad (۳)$$

حل : با توجه به جدول گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

(بیوتکنولوژی آزاد ۸۲)

مثال : ضریب انتقال جرم بین دوفاز مایع و بخار $K = 2 \times 10^{-2} \frac{\text{cm}}{\text{s}}$ بوده است

- (۱) این ضریب باید در تفاوت غلظت ضرب شود تا مقدار انتقال آن بدست آید.
- (۲) این ضریب باید در تفاوت جزءمولی ضرب شود تا مقدار انتقال آن بدست آید.
- (۳) این ضریب باید در تفاوت فشار جزئی ضرب شود تا مقدار انتقال آن بدست آید.
- (۴) این ضریب اشتباه بیان شده است.

حل : با توجه به جدول گزینه ۱ صحیح می باشد.

نکته : حسن استفاده از ضریب F این است که مستقیماً N_A را می دهد در حالی که در مورد K ، N_A باید به صورت زیر محاسبه گردد. که فقط در انتقال جرم کم و یا نفوذ متقابل مستقیماً مقدار N_A را مشخص می کند.

$$N_A = x_{A1} (N_A + N_B) + K_x (x_{A1} - x_{A2})$$

نکته : ضریب F این عیب مهم را دارد که نمی توان تشابه انتقال جرم و انتقال حرارت را برحسب آن برقرار کرد چون مشابه شرایطی که F صادق باشد در انتقال حرارت نداریم

نکته : برای برقراری ارتباط بین ضرایب F و k از تعاریف آن ها و مساوی قرار دادن معادلات مربوط به تعیین شار مربوط به هر کدام ضرایب استفاده می کنیم

مثال : رابطه کلی بین F و K_G را بدست آورید

$$N_A = K_G (P_{A1} - P_{A2}) \quad , \quad N_B = 0 \Rightarrow \frac{N_A}{\sum N_i} = 1$$

$$N_A = \frac{N_A}{\sum N_i} F \ln \frac{\frac{N_A}{\sum N_i} \frac{P_{A2}}{pt}}{\frac{N_A}{\sum N_i} \frac{P_{A1}}{pt}} \Rightarrow N_A = F \ln \frac{1 - \frac{P_{A2}}{pt}}{1 - \frac{P_{A1}}{pt}}$$

$$\Rightarrow F \ln \frac{1 - \frac{P_{A2}}{pt}}{1 - \frac{P_{A1}}{pt}} = K_G (P_{A1} - P_{A2}) \Rightarrow F = K_G \cdot P_{BM}$$

مثال : رابطه F با K'_L را بدست آورید

$$N_A = k'_L \Delta C_A \quad , \quad \sum N_i = 0 \Rightarrow N_A = F (\Delta x_A)$$

$$F \Delta x_A = k'_L \Delta C_A \Rightarrow F = k'_L C$$

مثال : جذب گاز A در بستر کاتالیستی و واکنش هتروژنی بسیار سریع $A \rightarrow 3B$ صورت می گیرد رابطه بین ضریب انتقال جرم فیلم

(مهندسی شیمی ۸۵)

گاز k_y با دیمنسیون $\frac{\text{kmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$ با ضریب کلی انتقال جرم F_G برابر است با:

$$K_y = \frac{F_G}{2 \ln(1+2y_A)} \quad (۴) \quad F_G = \frac{2k_y \cdot y_A}{\ln(1+2y_A)} \quad (۳) \quad F_G = \frac{k_y}{2} \ln(1+2y_A) \quad (۲) \quad F_G = K_y \cdot y_A \quad (۱)$$

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$A \rightarrow 3B \Rightarrow \frac{N_A}{1} = \frac{N_B}{-3} \Rightarrow \sum N_i = N_A - 3N_A = -2N_A \Rightarrow \frac{N_A}{\sum N_i} = -\frac{1}{2} \quad (1)$$

$$\text{واکنش سریع} \Rightarrow y_{A_2} = 0 \quad (2)$$

$$(1), (2) \Rightarrow N_A = -\frac{1}{2} F \text{Ln} \frac{-\frac{1}{2} - 0}{-\frac{1}{2} - y_A} = -\frac{1}{2} F \text{Ln} \frac{1}{1 + 2y_A}$$

$$\text{و از طرفی} \Rightarrow N_A = k_y (y_{A_1} - 0) = k_y \times y_A$$

$$k_y \times y_A = -\frac{1}{2} F \text{Ln} \frac{1}{1 + 2y_A} \Rightarrow F = \frac{2k_y \times y_A}{\text{Ln}(1 + 2y_A)}$$

نکته : رابطه کلی بین F و K های مختلف در زیر داده شده است

$$F = k'_C \cdot C = k'_L \cdot C = k'_G P = k'_y = k'_x = k_y \times y_{BM} = k_x \times x_{BM} = k_C y_{BM} C = k_L x_{BM} C$$

۳-۴- اعداد بدون بعد

عدد رینولدز

$$Re = \frac{\rho u_{\infty} L}{\mu} = \frac{u_{\infty} L}{\gamma}$$

عدد رینولدز به صورت مقابل تعریف می شود

و بیانگر نسبت نیروهای اینرسی به نیروهای ویسکوز می باشد و معرف رژیم جریان - معیار آرامی و درهم بودن جریان - می باشد.

عدد اشمیت

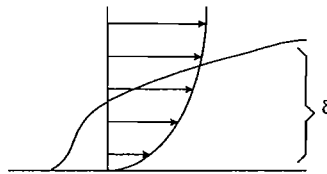
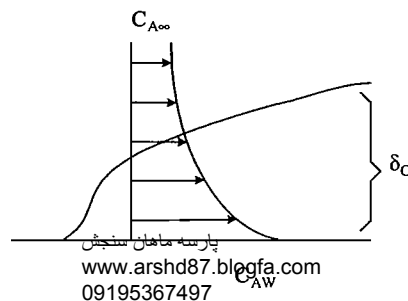
$$Sc = \frac{\mu}{\rho D_{AB}} = \frac{\gamma}{D_{AB}}$$

عدد اشمیت به صورت مقابل تعریف می شود

و بیانگر شدت نفوذ مومنتوم به نفوذ جرمی می باشد و معیاری برای مقایسه ضخامت لایه مرزی مومنتوم به لایه مرزی جرمی می باشد

$$\frac{\delta}{\delta_C} = \frac{1}{Sc^3}$$

δ: لایه مرزی مومنتوم: لایه ای که درون آن گرادیان سرعت داریم

δ_C: لایه مرزی جرمی: لایه ای که درون آن گرادیان غلظت داریم

$$\delta > \delta_c \Leftrightarrow Sc > 1 \Leftrightarrow \gamma > D_{AB} \text{ اگر}$$

$$\delta = \delta_c \Leftrightarrow Sc = 1 \Leftrightarrow \gamma = D_{AB} \text{ اگر}$$

$$\delta < \delta_c \Leftrightarrow Sc < 1 \Leftrightarrow \gamma < D_{AB} \text{ اگر}$$

نکته : عدد اشمیت برای گازها در حدود یک و برای مایعات در حدود 1000 می باشد.

$$Sc_{gas} = \frac{\mu}{\rho D_{AB}} = \frac{[0.01^{cp} \times 0.001] \frac{kg}{m.s}}{1 \frac{kg}{m^3} \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}} \approx 1$$

$$Sc_{Liq} = \frac{\mu}{\rho D_{AB}} \approx \frac{1^{cp} \times 0.001}{1000 \times 10^{-9}} = 1000$$

نکته : از آنجایی که تفاوت در چگالی مایعات خیلی زیاد نیست، ویسکوزیته مایعات عامل اصلی تغییرات اشمیت در مایعات است

عدد پرنادل

$$Pr = \frac{\gamma}{a}$$

عدد پرنادل به صورت مقابل تعریف می شود

و بیانگر شدت نفوذ مومنتوم به نفوذ حرارتی می باشد و معیاری برای مقایسه ضخامت لایه مرزی مومنتوم به لایه مرزی حرارتی

$$\frac{\delta}{\delta_t} = Pr^{\frac{1}{3}}$$

می باشد

نکته : فلزات مایع به خاطر داشتن ضریب نفوذ حرارتی بالا - k بالا - دارای عدد پرنادل بسیار کوچک 0.01 می باشد

عدد لوئیس

عدد لوئیس به صورت مقابل تعریف می شود

$$Le = \frac{a}{D_{AB}}$$

و بیانگر شدت نفوذ حرارتی به نفوذ جرمی می باشد و معیاری برای مقایسه ضخامت لایه مرزی حرارتی به لایه مرزی جرمی می باشد

$$\frac{\delta_t}{\delta_c} = Le^{\frac{1}{3}}$$

سیال	دما k	Pr	Sc	Le
هوا	300	7.12×10^{-1}		
آب	300	5.65		
اتیل الکل	293	1.7×10		
گازهای رقیق	293	1 ~ 1	~ 1	~ 1
محلول های رقیق	293	~ 10	~ 10^3	~ 10^2

نکته : اگر تعداد مولکول‌ها در واحد حجم کم باشد «گازهای ایده‌آل» برای انتقال مومنتوم، مولکول متحرک باید از موقعیت خود حرکت کرده تا با برخورد با مولکول دیگر مقداری از مومنتوم خود را به مولکول دوم منتقل کند. برای انتقال حرارت هم مولکول ناچار است که از محل خود حرکت کند تا پس از برخورد با مولکول دوم مقداری از انرژی خود را به مولکول دوم منتقل کند البته واضح است که برای انتقال جرم، حتما باید مولکول از محل خود به نقطه دیگر منتقل شود همان‌طور که در جدول دیده می‌شود. برای گازهای ایده‌آل مقدار هر یک از سه عدد بدون بعد حدود یک است که نمایانگر این نکته است که در گازهای ایده‌آل مکانیسم انتقال مومنتوم، انرژی و جرم یکسان است.

نکته : اگر تعداد مولکول آن قدر زیاد باشد که مولکول‌ها در کنار هم باشند - در مایعات و یا در جامدات - در این صورت برای انتقال مومنتوم از مولکولی به مولکولی دیگر مستلزم حرکت مولکول‌ها نیست بلکه می‌تواند مشابه روش زیر باشد:

ردیفی از توپ‌های در کنار هم را در نظر بگیرید. با زدن به یک توپ بسیاری از توپ‌های دیگر مومنتوم کسب می‌کنند. همین روش می‌تواند در انتقال حرارت هم اتفاق بیفتد ولی در انتقال جرم امکان‌پذیر نیست چون انتقال جرم، مستلزم تغییر مکان است. بنابراین در شرایطی که دانسیته مولکول‌ها در واحد حجم زیاد است، انتقال مومنتوم و انتقال حرارت تسهیل می‌گردد ولی انتقال جرم کندتر می‌شود و از جدول اخیر دیده می‌شود که Sc برای محلول‌ها می‌تواند عدد بزرگی چون هزار باشد یعنی سرعت انتقال مومنتوم در محلول‌ها می‌تواند هزار برابر بیشتر از سرعت انتقال جرم باشد و همچنین عدد لوئیس می‌تواند حدود صد باشد یعنی انتقال حرارت می‌تواند صد برابر سرعت انتقال جرم باشد.

نکته : محدوده عدد اشمیت برای گازها از 0.5 تا 2 و برای مایعات از 100 تا بالاتر از 1000 می‌باشد. بین 2 تا 100 یا گاز خیلی غلیظ است و یا مایع بسیار رقیق می‌باشد

عدد شرود

عدد شرود به صورت مقابل تعریف می‌شود

$$sh = \frac{FL}{CD_{AB}} = \frac{k'_c L}{D_{AB}} = \frac{k'_y R T L}{P_t D_{AB}} = \dots$$

و بیانگر نسبت شدت انتقال جرم ناشی از جابجایی به شدت انتقال جرم ناشی از نفوذ می‌باشد. Sh در انتقال جرم همان نقش Nu در انتقال حرارت را ایفاء می‌کند و همان‌طور که برای محاسبه Nu در جابجایی اجباری و آزاد روابطی داریم برای عدد sh نیز در انتقال جرم روابطی موجود می‌باشد.

$$sh = f(Re, Sc) \Leftrightarrow \text{جابجایی اجباری}$$

$$sh = f(Gr, Sc) \Leftrightarrow \text{جابجایی آزاد}$$

$$sh = f(Re, Gr, Sc) \Leftrightarrow \text{جابجایی اجباری و آزاد}$$

تعریف سایر اعداد بدون بعد در جدول آمده است.

مثال : کدام یک از اعداد بدون بعد زیر با بقیه متفاوت است

Sc (۴)

Re (۳)

Le (۲)

Pr (۱)

حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

اعداد بدون بعد پراندل، اشیت و لوئیس معرف خواص فیزیکی سیال هستند در حالی که عدد رینولدز معرف ویژگی حرکت سیال است

مثال : اگر عدد شروود به صورت زیر تعریف شده باشد، ضریب انتقال جرم k متناسب است با: $Sh = \alpha (ReSc)^{\frac{1}{3}}$ (بیوتکنولوژی ۷۷)

(۱) D^3 (۲) D (۳) $D^{\frac{2}{3}}$ (۴) $D^{\frac{1}{2}}$

حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$Sh = \frac{k'_C L}{D_{AB}} = a (Re \cdot Sc)^{\frac{1}{3}} = a \left(\frac{\rho_u L}{\mu} \times \frac{\gamma}{D_{AB}} \right)^{\frac{1}{3}} \propto D_{AB}^{-\frac{1}{3}} \Rightarrow k'_C \propto D_{AB}^{\frac{2}{3}}$$

مثال : حرکت سیال مایع از روی کره جامد منجر به دستیابی به ضرایب انتقال جرم در فاز مایع شده است. در سه آزمایش مختلف، مقادیر ضرایب انتقال جرم از رابطه ذیل قابل پیش بینی بوده است $Sh = 1.2 Re^{0.55} Sc^{0.34}$. شرایط عملیاتی طوری بوده است که:

- (۱) انتقال جرم در اثر نفوذ مولکولی و کنوکسیون در یک حد و در رابطه بالا دیده شده است.
- (۲) انتقال جرم در اثر نفوذ مولکولی بسیار کم اما در مقایسه با کنوکسیون اجباری قابل ملاحظه است.
- (۳) انتقال جرم در اثر کنوکسیون اجباری بسیار زیاد بوده و لذا از ترم نفوذ مولکولی صرف نظر شده است.
- (۴) انتقال جرم در اثر نفوذ مولکولی و کنوکسیون طبیعی در مقایسه با نفوذ مولکولی زیاد اما در رابطه فوق هر دو ترم دیده شده است.

حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۵-۳ تعیین ضریب انتقال جرم k و F

پنج روش معمول برای محاسبه ضریب انتقال جرم وجود دارد که عبارتند از

- (۱) آنالیز ابعادی
- (۲) آنالیز لایه مرزی
- (۳) تجزیه و تحلیل ریاضی
- (۴) استفاده از تشابه بین پدیده‌های انتقال
- (۵) استفاده از تئوری‌ها

بحث آنالیز ابعادی و لایه مرزی در درس مکانیک سیالات و انتقال حرارت بررسی شده است در این جا به بررسی سه روش دیگر می‌پردازیم

۱-۳ تجزیه و تحلیل ریاضی

روش کلی به دست آوردن ضریب انتقال جرم K با استفاده از تجزیه و تحلیل ریاضی به صورت زیر می‌باشد:

No.	Mass transfer	Heat transfer
1	$\frac{c_A - c_{A_1}}{c_{A_2} - c_{A_1}}$	$\frac{t - t_1}{t_2 - t_1}$
2	Reynolds number $Re = \frac{lu\rho}{\mu}$	Reynolds number $Re = \frac{lu\rho}{\mu}$
3	Schmidt number $Sc = \frac{\mu}{\rho D_{AB}} = \frac{\nu}{D_{AB}}$	Prandtl number $Pr = \frac{C_p \mu}{k} = \frac{\nu}{\alpha}$
4	Sherwood number $Sh = \frac{FL}{CD_{AB}}, \frac{k_G \bar{P}_{B,M} RTL}{P_t D_{AB}}$ $\frac{k_c \bar{P}_{B,M} L}{P_t D_{AB}}, \frac{k'_c L}{D_{AB}}, \frac{k'_y RTL}{P_t D_{AB}}, \text{ etc.}$	Nusselt number $Nu = \frac{hl}{k}$
5	Grashof number $Gr_D = \frac{gl^3 \Delta \rho}{\rho} \left(\frac{\rho}{\mu} \right)^2$	Grashof number $Gr_H = gl^3 \beta \Delta t \left(\frac{\rho}{\mu} \right)^2$
6	Peclet number $Pe_D = Re Sc = \frac{lu}{D_{AB}}$	Peclet number $Pe_H = Re Pr = \frac{C_p lu\rho}{k} = \frac{lu}{\alpha}$
7	Stanton number $St_D = \frac{Sh}{Re Sc} = \frac{Sh}{Pe_D} = \frac{F}{cu}, \frac{F}{G}, \frac{k_G \bar{P}_{B,M} M_{av}}{\rho u}, \text{ etc.}$	Stanton number $St_H = \frac{Nu}{Re Pr} = \frac{Nu}{Pe_H} = \frac{h}{C_p u\rho}$
8	$j_D = St_D Sc^{\frac{2}{3}}$	$j_H = St_H Pr^{\frac{2}{3}}$

ابتدا با حل هم زمان معادله مومنتوم و پیوستگی ، معادله دیفرانسیل برای غلظت بدست می آید و از حل معادله دیفرانسیل غلظت با

توجه به شرایط مرزی پروفایل غلظت را بدست می آوریم و سپس با توجه به معادله $N_A = K_C (C_{A_w} - C_{A_\infty}) = -D_{AB} \frac{dC_A}{dy} |_{y=0}$

می توان مقدار K_C را بدست آورد

$$K_C = \frac{-D_{AB} \frac{dC_A}{dy} |_{y=0}}{C_{A_w} - C_{A_\infty}}$$

برای درک بهتر این روش به ذکر مثالی می پردازیم

مثال : لایه نازکی از یک مایع مطابق شکل با جریان آرام از روی یک سطح عمودی فرو می ریزد و در حین ریزش در تماس با گاز A قرار می گیرد که قابل انحلال در مایع است مایع در قسمت فوقانی محتوی غلظت یکنواختی برابر C_{A_0} از ماده A می باشد

۱- البته رابطه فوق در شدت انتقال جرم کم قابل استفاده است و گرنه رابطه کلی به صورت زیر می باشد:

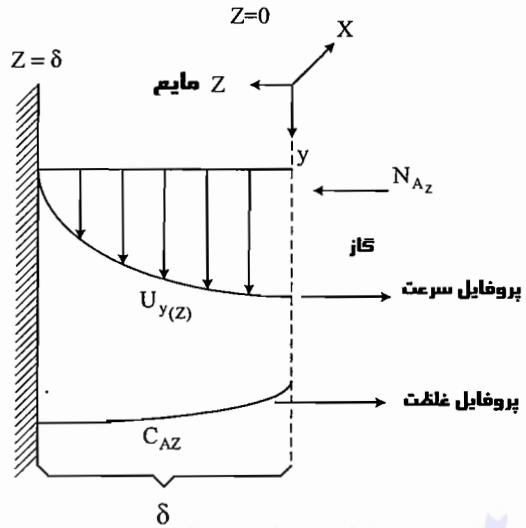
$$N_A = -D_{AB} \frac{dC_A}{dy} + x_A (N_A + N_B)$$

غلظت گاز حل شده در سطح مایع برابر C_{A_i} می باشد که $C_{A_i} > C_{A_0}$ و در نتیجه گاز در مایع حل می شود مطلوب است تعیین ضریب انتقال جرم K_L که بتوان با استفاده از آن مقدار گاز حل شده را پس از سقوط مایع به مسافت L محاسبه کرد.

کلا شش مدل (فیلد) می توان از نتایج حاصل شده در مورد انتقال جرم از گاز به فیلم مایع ریزان روی دیواره قایم برای انتقال جرم از گاز به فیلم مایع ریزان داخلی و خارجی لوله استفاده کرد این است که

$Gr_0 = \left(\frac{\rho g \delta^3}{2\sigma}\right)^{1/2} \approx 3$

عدد گروس عدد کسین سطحی



ابتدا معادله پیوستگی را می نویسیم

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

فرضیات

(۱) واکنش شیمیایی هموزن انجام نمی شود $R_A = 0$

(۲) شرایط در جهت عمود بر صفحه کاغذ (x) تغییر نمی کند $u_x \frac{\delta C_A}{\delta x}, \frac{\delta^2 C_A}{\delta x^2} = 0$

(۳) شرایط سیستم به حالت پایا - steady state - می باشد $\frac{\delta C_A}{\delta \theta} = 0$

(۴) شدت جذب گاز ناچیز است پس u_z که به علت نفوذ به وجود می آید در مقایسه با u_y قابل صرف نظر کردن است

$$u_z \frac{\delta C_A}{\delta z} = 0$$

P_{B_H} : نسبت انتقالی مستقل شماره حرارت در راستای حرکت به هرات در راستای حرکت

(۵) از نفوذ در راستای حرکت صرف نظر می کنیم عدد P_e بزرگتر از صد می باشد $D_{AB} \frac{\delta^2 C_A}{\delta y^2} = 0$

(۶) خواص فیزیکی μ, ρ, D_{AB} در طول فرایند ثابت می مانند

با اعمال فرضیات، معادله پیوستگی به شکل زیر در می آید

$$u_y \frac{\delta C_A}{\delta y} = D_{AB} \frac{\delta^2 C_A}{\delta z^2}$$

حال معادله مومنتوم - ناویراستوکس - را در جهت y می نویسیم تا u_y را بدست بیاوریم

$$\rho \left(\frac{\delta u_y}{\delta \theta} + u_x \frac{\delta u_y}{\delta x} + u_y \frac{\delta u_y}{\delta y} + u_z \frac{\delta u_y}{\delta z} \right) = \rho g_y - \frac{\delta p}{\delta y} + \mu \left[\frac{\delta^2 u_y}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 u_y}{\delta y^2} + \frac{\delta^2 u_y}{\delta z^2} \right]$$

تغییر فشار در جهت حرکت

فرضیات:

(۱) شرایط سیستم در حالت پایا - steady state - می باشد $\frac{\delta u_y}{\delta \theta} = 0$

(۲) شرایط در جهت عمود بر صفحه کاغذ (X) تغییر نمی کند $\frac{\delta^2 u_y}{\delta x^2}, \frac{\delta u_y}{\delta x} = 0$

(۳) شدت جذب گاز ناچیز است پس u_z که به علت نفوذ به وجود می آید در مقایسه با u_y قابل صرف نظر کردن است

$$u_z \frac{\delta u_y}{\delta z} = 0$$

(۴) فشار اتمسفر یک می باشد و در طول فرایند ثابت است $\frac{\delta p}{\delta y} = 0$

(۵) از نفوذ مومنتوم در راستای حرکت صرف نظر می کنیم $\frac{\delta^2 u_y}{\delta y^2} = 0$

(۶) خواص فیزیکی μ, ρ در طول فرایند ثابت است

(۷) جریان به صورت یکنواخت می باشد. $\frac{\delta u_y}{\delta y} = 0$

با اعمال فرضیات، معادله مومنتوم به شکل زیر در می آید:

$$\mu \frac{\delta^2 u_y}{\delta z^2} + \rho g = 0$$

حال با توجه به شرایط مرزی زیر به حل معادله فوق می پردازیم و u_y را بدست می آوریم

$$\left. \begin{aligned} Z=0 &\Rightarrow \frac{du_y}{dz} = 0 \\ z=\delta &\Rightarrow u_y = 0 \end{aligned} \right\} \Rightarrow u_y = \frac{\rho g \delta^2}{2\mu} \left(1 - \left(\frac{z}{\delta} \right)^2 \right) = \frac{3}{2} \bar{u}_y \left(1 - \left(\frac{z}{\delta} \right)^2 \right) \quad \bar{u}_y = \frac{\rho g \delta^2}{3\mu}$$

حال با داشتن u_y به حل معادله پیوستگی می پردازیم - با توجه به شرایط مرزی زیر -

$$u_y \frac{\delta C_A}{\delta y} = D_{AB} \frac{\delta^2 C_A}{\delta z^2}$$

$$\frac{\rho g \delta^2}{2\mu} \left(1 - \left(\frac{z}{\delta} \right)^2 \right) \frac{\delta C_A}{\delta y} = D_{AB} \frac{\delta^2 C_A}{\delta z^2}$$

$$\left\{ \begin{aligned} Z=0 &\rightarrow C_A = C_{A_i} \\ z=\delta &\rightarrow \frac{\delta C_A}{\delta z} = 0 \\ y=0 &\rightarrow C_A = C_{A_0} \end{aligned} \right.$$

چون نفوذ به دیواره جامد انجام نمی شود

حل این معادله سبب بدست آمدن یک سری نامحدود برای C_A بر حسب متغیرهای y و z می شود که با استفاده از معادله

$$K_C = \frac{-D_{AB} \frac{\delta C_A}{\delta y} |_{y=0}}{C_{A_w} - C_{A_\infty}}$$

K_L را در دو حالت بدست می آوریم

$Re < 100 \Rightarrow K_L = 3.41 \frac{D_{AB}}{\delta} \Rightarrow \frac{K_L \times \delta}{D_{AB}} = 3.41 \Rightarrow Sh = 3.41$

$Re > 100 \Rightarrow K_L = \left(\frac{3 D_{AB} \cdot Re \cdot \mu}{2 \pi \delta L \rho} \right)^{\frac{1}{2}} \Rightarrow Sh = \left(\frac{0.665 Re Sc}{2 L} \right)^{\frac{1}{2}}$

مثال : یک سطح قائم در تماس با جریان پیوسته‌ای از مایع ریزان قرار دارد. تبخیر اجزای فعال در فصل مشترک مایع - هوا رخ

می‌دهد. با توجه به این که می‌دانیم پروفایل سرعت سیال در جهت $V_x = \frac{\rho g \delta^2}{2\mu} \left[1 - \left(\frac{y}{\delta} \right)^2 \right]$ است معادله دیفرانسیل بیانگر

«مهندس پلیمر ۸۵»

این سیستم را بدست آورید.

$$\frac{\delta C_A}{\delta x} = D_{AB} \left(\frac{\delta^2 C_A}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 C_A}{\delta y^2} \right) \quad (۲)$$

$$\frac{\delta C_A}{\delta x} = D_{AB} \left(\frac{\delta^2 C_A}{\delta y^2} \right) + C_A \quad (۱)$$

$$\frac{\rho g \delta^2}{2\mu} \left[1 - \left(\frac{y}{\delta} \right)^2 \right] \frac{\delta C_A}{\delta x} = D_{AB} \left(\frac{\delta^2 C_A}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 C_A}{\delta y^2} \right) \quad (۴)$$

$$\frac{\rho g \delta^2}{2\mu} \left[1 - \left(\frac{y}{\delta} \right)^2 \right] = D_{AB} \left(\frac{\delta^2 C_A}{\delta x^2} \right) + C_A \quad (۳)$$

حل : گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$$V_x \frac{\delta C_A}{\delta x} = D_{AB} \left(\frac{\delta^2 C_A}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 C_A}{\delta y^2} \right) \Rightarrow \frac{\rho g \delta^2}{2\mu} \left[1 - \left(\frac{y}{\delta} \right)^2 \right] \frac{\delta C_A}{\delta x} = D_{AB} \left(\frac{\delta^2 C_A}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 C_A}{\delta y^2} \right)$$

مثال : در حرکت آرام یک لایه مایع ریزان از روی یک دیواره عدد sh و Re کدام است؟

$$Sh = 3.41, Re = \frac{4\Gamma}{\mu} \quad (۴)$$

$$Sh = 2, Re = \frac{4\Gamma}{\mu} \quad (۳)$$

$$Sh = 2, Re = \frac{4\Gamma}{\delta} \quad (۲)$$

$$Sh = 3.41, Re = \frac{4\Gamma}{\delta} \quad (۱)$$

حل : گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$$Re < 100 \Rightarrow Sh = 3.41$$

$$Re = \frac{\rho u L}{\mu}$$

شدت جریان جرمی برای واحد عرض لایه $\Gamma = \rho u \delta$

$$\rightarrow Re = \frac{4\Gamma}{\mu}$$

۳-۲- استفاده از تشابه بین پدیده‌های انتقال

با استفاده از تشابه بین پدیده‌های انتقال، می‌توانیم ضریب انتقال جرم را بدست آوریم این تشابه را به دو صورت کلی می‌توان بیان کرد

الف) تشابه و انطباق پروفایل‌های سرعت - دما - جرم (ماده)

ب) استفاده از آنالوژی‌ها

الف) تشابه و انطباق پروفایل‌های سرعت - دما و جرم

معادله کلی انتقال مومنتوم به صورت زیر بیان می‌شود

$$\frac{\delta \bar{u}}{\delta t} + \bar{u} \cdot \nabla \bar{u} = \gamma \nabla^2 \bar{u} + \bar{g} - \frac{1}{\rho} \nabla P$$

$$\frac{\delta \bar{u}}{\delta t} \leftarrow \text{ترم تجمع یا accumulation}$$

$$\bar{u} \cdot \nabla \bar{u} \leftarrow \text{ترم مربوط انتقال مومنتوم جابجایی}$$

$$\gamma \nabla^2 \bar{u} \leftarrow \text{ترم مربوط به انتقال مومنتوم نفوذ مولکولی}$$

$$\bar{g} \leftarrow \text{ترم تولید و یا مصرف}$$

$$\frac{1}{\rho} \nabla P \leftarrow \text{ترم مربوط به گرادیان فشار}$$

و معادله کلی انتقال حرارت به صورت زیر بیان می‌شود

$$\frac{\delta T}{\delta t} + \bar{u} \cdot \nabla T = a \nabla^2 T + \frac{\dot{q}}{\rho c_p} + \frac{\phi}{\rho g}$$

$$\frac{\delta T}{\delta t} \rightarrow \text{ترم تجمع یا accumulation}$$

$$\bar{u} \cdot \nabla T \rightarrow \text{ترم مربوط انتقال حرارت جابجایی}$$

$$a \nabla^2 T \rightarrow \text{ترم مربوط به انتقال حرارت هدایت}$$

$$\frac{\dot{q}}{\rho c_p} \rightarrow \text{ترم تولید یا مصرف انرژی}$$

$$\frac{\phi}{\rho g} \rightarrow \text{ترم مربوط به تلفات لزجیتی که ناشی از اصطکاک بین لایه‌های سیال است}$$

و معادله کلی انتقال جرم به صورت زیر می‌باشد

$$\frac{\delta C_A}{\delta t} + \bar{u} \cdot \nabla C_A = D_{AB} \nabla^2 C_A + R_A$$

$$\frac{\delta C_A}{\delta t} \rightarrow \text{ترم تجمع یا accumulation}$$

$$\bar{u} \cdot \nabla C_A \rightarrow \text{ترم انتقال جرم با مکانیزم جابجایی}$$

$$D_{AB} \nabla^2 C_A \rightarrow \text{ترم انتقال جرم با مکانیزم نفوذ مولکولی}$$

$$R_A \rightarrow \text{ترم واکنش هموزن بیانگر تولید یا مصرف}$$

شرایط انطباق پروفایل‌های سرعت و دما و جرم

$$(1) \quad (0 = R_A, \dot{q}, \bar{g}) \text{ یعنی ترم مربوط به تولید و مصرف در هر کدام از معادلات وجود نداشته باشد به عنوان مثال در فیلم ریزان تشابه}$$

بین انتقال مومنتوم با انتقال جرم یا حرارت را نمی‌توان برقرار کرد چون \bar{g} در راستای حرکت می‌باشد ولی در حرکت سیال در حالت افقی می‌توان این تشابه را بین هر سه پدیده برقرار نمود.

$$(2) \quad (\phi, \nabla P = 0) \text{ ترم گرادیان فشار و تلفات لزجیتی قابل صرف نظر کردن باشند}$$

در این صورت با بی بعد کردن معادلات داریم

$$\bar{u} = \frac{u - u_w}{u_\infty - u_w}, \quad \bar{T} = \frac{T - T_w}{T_\infty - T_w}, \quad \bar{C}_A = \frac{C_A - C_{A_w}}{C_{A_\infty} - C_{A_w}} \Rightarrow$$

$$\text{معادله مومنتوم به صورت بی بعد} \quad \frac{\delta \bar{u}}{\delta t} + \bar{u} \cdot \nabla \bar{u} = \frac{1}{Re} \nabla^2 \bar{u}$$

$$\text{معادله انتقال حرارت به صورت بی بعد} \quad \frac{\delta \bar{T}}{\delta t} + \bar{u} \cdot \nabla \bar{T} = \frac{1}{Re Pr} \nabla^2 \bar{T}$$

$$\text{معادله انتقال جرم به صورت بی بعد} \quad \frac{\delta \bar{C}_A}{\delta t} + \bar{u} \cdot \nabla \bar{C}_A = \frac{1}{Re Sc} \nabla^2 \bar{C}_A$$

(۳) رژیم جریان باید یکسان باشد منظور برابری Re ها در هر سه سیستم می‌باشد.

(۴) شکل هندسی سیستم‌ها باید یکسان باشند - جریان روی صفحه $www.arshd87.blogfa.com$ لوله، جریان از سطح خمیده ...
09195367497

(۵) برای یکسان بودن پروفایل سرعت با پروفایل دما باید $Pr = 1$ باشد یعنی $\gamma = a$.

برای یکسان بودن پروفایل سرعت با پروفایل غلظت باید $Sc = 1$ باشد یعنی $\gamma = D_{AB}$.

برای یکسان بودن پروفایل دما با پروفایل غلظت باید $Le = 1$ باشد یعنی $a = D_{AB}$.

برای یکسان بودن پروفایل‌های سرعت و دما و غلظت باید $Pr = Sc = Le = 1$ باشد یعنی $v = a = D_{AB}$.

این $Pr = Sc = 1$ نگاه
 $Le = \frac{D_{AB}}{a} = 1$

(۶) برای یکسان بودن پروفایل‌های سرعت و دما و غلظت در جریان درهم علاوه بر شرایط فوق بایستی $E_D = E_H = E_\gamma$ نیز برقرار باشد ولی عملاً $E_D = E_H \neq E_\gamma$ در جریان درهم بهتر است از تشابه با مومنتم صرف نظر شود.

(۷) شرایط مرزی بی بعد یکسان در هر سه سیستم وجود داشته باشد اگر بخواهیم با استفاده از تشابه با مومنتم ضریب انتقال حرارت و یا ضریب انتقال جرم را بدست آوریم این ضریب فقط برای شرط مرزی دمای دیواره ثابت و یا غلظت دیواره ثابت صادق است چون در انتقال مومنتم شرط مرزی همواره سرعت در دیواره برابر صفر می‌باشد که شرط مرزی نوع اول محسوب می‌شود و در نتیجه تشابه با انتقال حرارت و انتقال جرم هم فقط برای شروط مرزی نوع اول صادق است.

(۸) برای برقراری تشابه بین انتقال جرم با هر کدام از پدیده‌های انتقال باید تا حد امکان شدت انتقال جرم کم باشد

بی بعد پروفایل‌های سرعت و دما و غلظت بر هم منطبق است → برقراری شرایط ۸ شرط - →

انتقال جرم }
 انتقال حرارت }
 انتقال مومنتم }

نکته: انتظار داریم که تشابه انتقال جرم با انتقال حرارت بیشتر از انتقال مومنتم باشد چون هم غلظت و هم دما یک کمیت اسکالر هستند در حالی که سرعت یک بردار است بنابراین ماهیتاً انتقال جرم شباهت بیشتری به انتقال حرارت دارد تا انتقال مومنتم

نکته: انتقال جرم می‌تواند خود باعث انتقال حرارت شود چون مولکول‌های منتقل شده دارای انرژی هستند و به علاوه در اثر برخورد مولکول‌های ناشی از انتقال جرم، گرما می‌تواند تولید شود بنابراین منطقی است که انتظار داشته باشیم فقط وقتی شار انتقال جرم خیلی کم باشد که باعث افزایش محسوس انتقال حرارت نشود تشابه انتقال جرم و انتقال حرارت برقرار است.

نکته: در انتقال جرم مکانیسمی مشابه انتقال حرارت تشعشعی نداریم اگر در سیستم تشعشع وجود داشته باشد تشابه انتقال حرارت و انتقال جرم از بین می‌رود

نکته: انتقال جرم زیاد باعث تغییر شکل پروفایل سرعت می‌شود بنابراین در انتقال جرم زیاد نیز نمی‌توان از تشابه انتقال جرم و مومنتم استفاده کرد

مثال: کدام یک جزء شرایط تشابه انتقال جرم و انتقال حرارت نمی‌باشد؟

(۱) شکل هندسی و شرایط مرزی یکسان باشند.

(۲) سرعت انتقال جرم زیاد باشد.

(۳) در حالت متلاطم ضرایب نفوذ چرخانه‌ای با هم برابر باشند.

(۴) در ناحیه Viscos sub layer رابطه $\frac{E_D}{D} = \frac{E_T}{r} = \frac{E_H}{a}$ برقرار باشد.

حل: گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

مثال : اگر E_D, E_H, E_γ ضرایب نفوذ گردانه‌ای مربوط به انتقال جرم، حرارت و مومنتوم باشند آن‌گاه:

- (۱) $E_\gamma = E_D$ نزدیک و با E_H فاصله دارد.
 (۲) $E_H = E_D$ نزدیک و با E_γ فاصله دارد.
 (۳) $E_\gamma = E_H$ نزدیک و با E_D فاصله دارد.
 (۴) رابطه $E_D = E_\gamma = E_H$ همواره برقرار است.

حل : گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس

مثال ✓ : در تشابه بین پدیده‌های انتقال جرم و حرارت، چنانچه شرایط تشابه برقرار باشد کدام یک از عبارات زیر صحیح است؟

(مهندس شیمی ۸۵)

- (۱) اعداد Pr و Sc در دو فرایند بایستی برابر باشند.
 (۲) اعداد رینولدز در دو فرایند بایستی برابر باشند.
 (۳) اعداد رینولدز دو فرایند برابر و نیز Pr بایستی با Sc برابر باشد.
 (۴) اعداد بدون بعد یکی، جایگزین اعداد بدون بعد دیگری می‌شود.

حل : گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

گزینه‌های یک و دو و سه از شرایط تشابه می‌باشند که در سؤال گفته شده این شرایط برقرار است.

مثال ✓ : تشابه بین قوانین نیوتن، فوریه و فیک در مورد انتقال مومنتوم، حرارت و جرم موقعی صادق است که:

(بیوتکنولوژی ۸۲)

- (۱) فرایند انتقال هم دما باشد.
 (۲) غلظت کل ثابت باشد.
 (۳) آشفتگی (توربولانس) موجود نباشد.
 (۴) فرایند انتقال یک بعدی باشد.

حل : گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

از آن جایی که سرعت کمیت برداری است وقتی تشابه بین هر سه پدیده برقرار است که سرعت تک بعدی و فقط در یکی از جهات سه‌گانه باشد.

(ب) استفاده از آنالوژی‌ها

در انتقال جرم ما به دنبال بدست آوردن ضریب انتقال جرم (k) می‌باشیم نه انطباق پروفایل‌ها. چون برای انطباق پروفایل‌های سرعت و دما و غلظت، شرایط لازم بسیار زیاد می‌باشد، اما بدست آوردن ضریب انتقال جرم - k - و ضریب انتقال حرارت - h - و ضریب انتقال مومنتوم - C_f - به کمک یکدیگر بحث دیگریست که این کار با استفاده از آنالوژی‌ها انجام می‌شود.

آنالوژی یا تشابه رینولدز- کلبورن یکی از معروف‌ترین آنالوژی‌های مطرح شده می‌باشد و در حالت کلی به صورت زیر بیان می‌شود:

$$J_H = J_D = \frac{C_f}{2}$$

$$J_H = St_H \cdot Pr^{\frac{2}{3}} = \frac{Nu}{Re \cdot Pr} \times Pr^{\frac{2}{3}} = \frac{h}{\rho u_\infty c_p} \times Pr^{\frac{2}{3}}$$

$$J_D = St_D \cdot Sc^{\frac{2}{3}} = \frac{Sh}{Re \cdot Sc} \times Sc^{\frac{2}{3}} = \frac{F}{Cu_\infty} \times Sc^{\frac{2}{3}} = \frac{K_L}{u_\infty} Sc^{\frac{2}{3}}$$

$$C_f = \frac{\tau_w}{\frac{1}{2} \rho u_\infty^2}$$

شرایط برقراری آنالوژی رینولدز - کلبورن

(۱) زمانی تشابه برقرار است که ضریب اصطکاک C_f از نوع اصطکاک بدنه‌ای باشد - Skin friction - این رابطه در حضور اصطکاک

شکلی - Form Drag - برقرار نیست و به شکل $J_H = J_D < \frac{C_f}{2}$ در می‌آید.

(۲) رژیم جریان یکسان. یعنی در سیستم‌های مختلف هر دو جریان یا آرام باشد یا درهم. لزومی به برابری Re های سیستم‌ها نمی‌باشد.

$$\bar{g}, \bar{q}, R_A, \phi, \nabla P = 0 \quad (۳)$$

(۴) شرایط مرزی سیستم‌ها هم نوع باشند.

(۵) شکل هندسی سیستم‌ها یکسان باشد.

(۶) شدت انتقال جرم تا حد امکان کم باشد.

نکته: در استفاده از آنالوژی رینولدز - کلبورن لزومی به برابری Pr و Sc و Le نیست برخلاف انتقال حرارت و جرم.

نکته: آنالوژی رینولدز - کلبورن در جریان آرام داخل لوله قابل استفاده نیست و به شکل $J_D = J_H \neq \frac{C_f}{2}$ در می‌آید.

$$\nabla P \neq 0 \text{ زیر}$$

نکته: خواص فیزیکی از جمله Pr و Sc و ρ و μ و ... در تشابه رینولدز - کلبورن در شرایط فیلم محاسبه می‌شود.

$$T_f = \frac{T_w + T_\infty}{2}$$

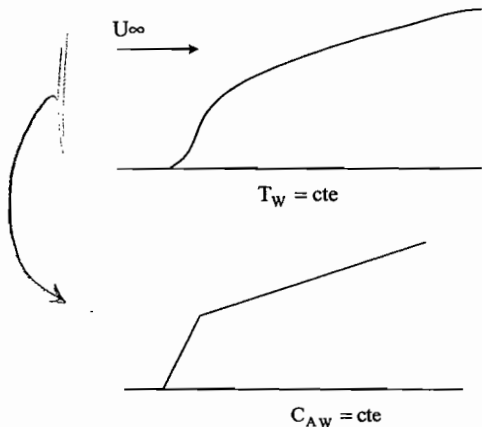
$$C_{A_f} = \frac{C_{A_w} + C_{A_\infty}}{2}$$

در صورت برقرار بودن شرایط تشابه، روابط مربوط به انتقال حرارت و انتقال جرم و انتقال مومنوم به آسانی به یکدیگر تبدیل می‌شود و برای این منظور، کافی است که در روابط مذکور، اعداد بدون بعد معادل از یک پدیده در پدیده دیگر جایگزین شود $Sh \leftrightarrow Nu$ و $Sc \leftrightarrow Pr$ و ...

۳-۵-۳ روابط شرودد برای تعدادی از مسائل انتقال جرم:

مثال: روابط Nu برای سیال عبوری از سطح با دمای ثابت در دو حالت جریان آرام و درهم داده شده است روابط شرودد برای انتقال

جرم از سطح دارای غلظت ثابت C_{A_w} برای سیال را بدست آورید؟ و نمودار تغییرات F را برحسب x رسم کنید



$$\rightarrow Re < 5 \times 10^5 \Rightarrow Nu_x = 0.332 Re_x^{0.5} \times Pr^{\frac{1}{3}}$$

$$\rightarrow Re > 5 \times 10^5 \Rightarrow Nu_x = 0.029 Re_x^{0.8} \times Pr^{\frac{1}{3}}$$

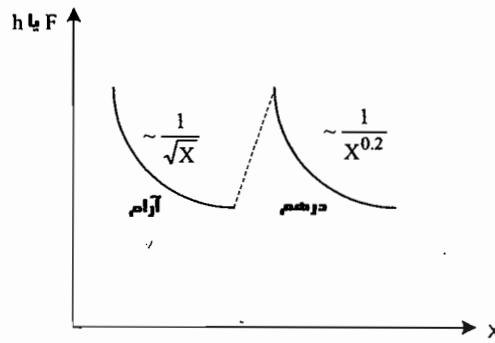
$$\rightarrow Re < 5 \times 10^5 \Rightarrow Sh_x = 0.332 Re_x^{0.5} Sc^{\frac{1}{3}}$$

$$Re > 5 \times 10^5 \Rightarrow Sh_x = 0.029 Re_x^{0.8} \times Sc^{\frac{1}{3}}$$

جریان آرام $\Rightarrow Sh_x = \frac{F_x}{CD_{AB}} = 0.332 \left(\frac{\rho u_\infty x}{\mu} \right)^{0.5} \cdot Pr^{\frac{1}{3}} \Rightarrow F \propto x^{-0.5}$

جریان درهم $\Rightarrow Sh_x = \frac{F_x}{CD_{AB}} = 0.029 \left(\frac{\rho u_\infty x}{\mu} \right)^{0.8} \cdot Pr^{\frac{1}{3}} \Rightarrow F \propto x^{-0.2}$

شکل
نشان بدهد
شکل در هم



$Sh \propto F \cdot x$

پس: $Sh \propto x^{0.5}$
 $Sh \propto x^{4/5}$

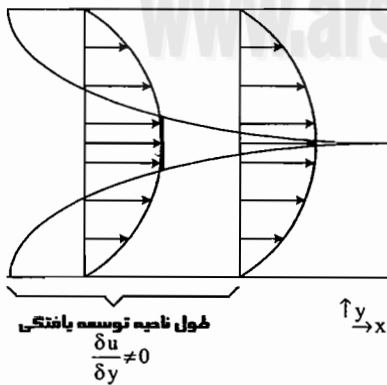
مثال: در جریان داخل لوله در حالت $Re > 2300$ رابطه زیر برای Nu پیشنهاد شده است رابطه شروود را در این حالت بدست آورید؟

$Re > 2300 \rightarrow Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^n$

حل: چون $Re > 2300$ می باشد پس جریان درهم می باشد و آنالوژی در این حالت صادق است پس

$Re > 2300 \Rightarrow Sh = 0.023 Re^{0.8} Sc^n$

حال به بررسی جریان آرام داخل لوله می پردازیم می دانیم که در این حالت آنالوژی به شکل $J_D = J_H \neq \frac{C_f}{2}$ درمی آید در جریان داخل لوله، سیال پس از طی مسافتی به صورت توسعه یافته درمی آید یعنی:



در ناحیه توسعه یافته از نظر سرعت $\frac{\delta u}{\delta x} = 0$

طول لازم برای توسعه یافتگی مومنوم $\frac{x_{fd}}{D} = 0.05 Re_D$

که D : قطر لوله

x_{fd} : طول ناحیه توسعه یافتگی مومنوم

$Re_D = \frac{\rho u D}{\mu}$

در ناحیه توسعه یافته حرارتی $\frac{\delta}{\delta x} \left(\frac{T_w - T}{T_w - T_m} \right) = 0$

در ناحیه توسعه یافته جرمی $\frac{\delta}{\delta x} \left(\frac{C_{Aw} - C_A}{C_{Aw} - C_{Am}} \right) = 0$

که

T_w : دمای دیواره

جرم کل در دیواره

$$T_m = \frac{\int_0^R urTdr}{\int_0^R urdr}$$

T_m : دمای متوسط بالک

C_{Aw} : غلظت در دیواره

$$C_{Am} = \frac{\int_0^R urC_A dr}{\int_0^R urdr}$$

C_{Am} : غلظت متوسط بالک

و به طور کلی داریم:

$$h = \frac{-k \frac{\delta T}{\delta r} \Big|_{r=R}}{T_w - T_m}, \quad K_c = \frac{-D_{AB} \frac{\delta C_A}{\delta r} \Big|_{r=R}}{C_{Aw} - C_{Am}}$$

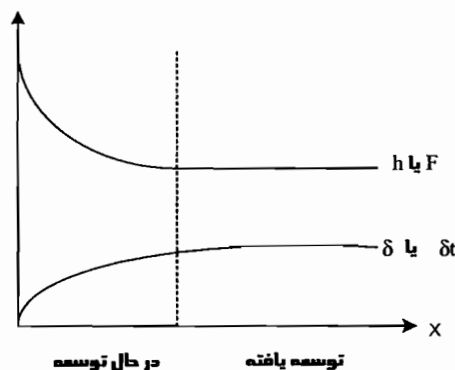
طول لازم برای توسعه یافتگی حرارت $\frac{x_{fd \text{ Heat}}}{D} = 0.05 \text{ Re} \cdot \text{Pr}$

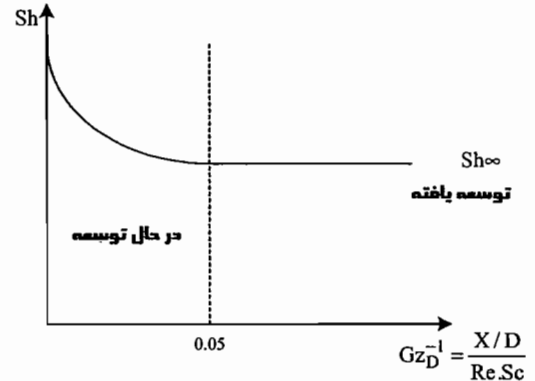
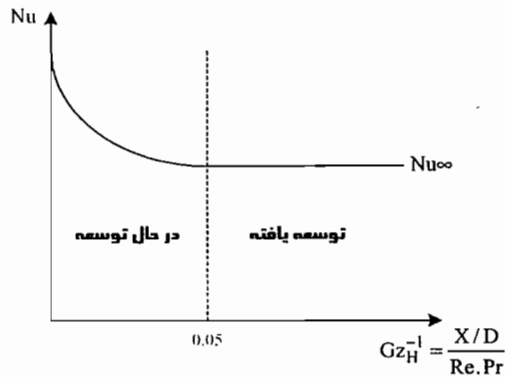
طول لازم برای توسعه یافتگی جرمی $\frac{x_{fd \text{ mass}}}{D} = 0.05 \text{ Re} \cdot \text{Sc}$

نکته : $\frac{x_{fd \text{ Heat}}}{x_{fd}} = \text{Pr}$, $\frac{x_{fd \text{ mass}}}{x_{fd}} = \text{Sc}$

نکته : در طول جریان با افزایش ضخامت لایه مرزی حرارتی و جرمی، ضریب انتقال حرارت و ضریب انتقال جرم روند نزولی

دارند - $F \propto \frac{1}{\delta_c}$, $h \propto \frac{1}{\delta_t}$ - و در ناحیه توسعه یافته با ثابت شدن ضخامت لایه مرزی مقدار این ضرایب نیز ثابت می شود





و بالاخره روابط زیر را برای Sh و Nu در جریان آرام داخل لوله داریم.

$$Re < 2300 \Rightarrow \begin{cases} T_w = cte \rightarrow Nu_{\infty} = 3.66 \\ \dot{q}_w = cte \rightarrow Nu_{\infty} = 4.36 \end{cases}$$

$$Re < 2300 \Rightarrow \begin{cases} C_{A_w} = cte \rightarrow Sh_{\infty} = 3.66 \\ \dot{n}_{A_w} = cte \rightarrow Sh_{\infty} = 4.36 \end{cases}$$

مثال: آب $\left(\gamma = 1 \frac{cm^2}{s} \right)$ با دبی $60 \frac{Lit}{s}$ از داخل یک بستر ثابت با قطر $0.5 m$ که از ذرات اسیدبنزوئیک $(d_p = 5mm, \epsilon = 0.335)$

(مهندس شیمی ۸۴)

پر شده است عبور می کند ضریب انتقال جرم k چند سانتی متر بر ثانیه می باشد؟

$$Sc = 129870, j_H = \frac{0.25}{\epsilon} Re^{-0.319}, j_D = \frac{k}{u} Sc^{\frac{2}{3}}$$

0.00764 (۴)
0.00682 (۳)
0.00382 (۲)
0.00191 (۱)

حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$u = \frac{Q}{A} = \frac{0.06 \frac{m^3}{s}}{\frac{\pi \times 0.5^2}{4}} = 0.3057 \frac{m}{s}$$

$$\Rightarrow Re = \frac{u d_p}{\gamma} = \frac{0.3057 \times 0.005}{10^{-4}} = 15.28$$

$$j_D = \frac{k}{u} Sc^{\frac{2}{3}} = \frac{0.25}{\epsilon} Re^{-0.319} \Rightarrow k = \frac{0.0357}{(129870)^{\frac{2}{3}}} \times \frac{0.25}{0.335} \times (15.28)^{-0.319} = 3.72 \times 10^{-5} \frac{m}{s} \Rightarrow k = 3.72 \times 10^{-3} \frac{cm}{s}$$

مثال : با توجه به تشابه رینولدز کلبورن کدام یک از عبارات زیر صحیح می باشد؟

(۴) هیچ کدام (۳) $\frac{k_2}{k_1} = \frac{\Delta p_1}{\Delta p_2}$ (۲) $\frac{k_2}{k_1} = \frac{\Delta p_2}{\Delta p_1}$ (۱) $\frac{k_2}{k_1} < \frac{\Delta p_2}{\Delta p_1}$

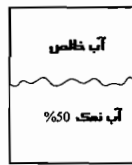
حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$j_D = j_H = \frac{C_f}{2}$$

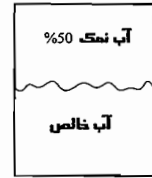
$$\left. \begin{array}{l} C_f \propto \Delta P \\ j_D \propto k \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{k_2}{k_1} = \frac{\Delta p_2}{\Delta p_1}$$

یعنی ضریب انتقال جرم k یا F همانند ضریب انتقال حرارت متناسب با افت فشار است.

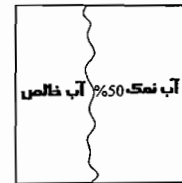
مثال : در کدام یک از حالات زیر زودتر به حالت تعادل می‌رسیم؟



(۲)



(۱)



(۳)

(۴) در هر سه حالت، هم زمان به حالت تعادل می‌رسیم

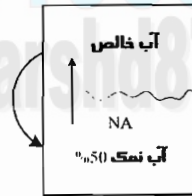
حل : گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

در گزینه اول به خاطر وجود اختلاف غلظت، اختلاف دانسیته به وجود می‌آید و لایه‌ها به خاطر وجود نیروهای بویانسی حرکت می‌کنند. جابجایی آزاد یا طبیعی - ولی در گزینه دوم عامل نفوذ مولکولی کنترل کننده می‌باشد که ذاتاً پدیده کندی می‌باشد.

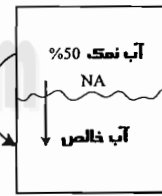
در جابجایی طبیعی عدد شروود تابعی از عدد گراشف و اشمیت می‌باشد

$$\rho = 1000 \text{ آب خالص}$$

$$\rho_{\%50} = 1500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ آب نمک 50\%}$$



نفوذ مولکولی



جابجایی طبیعی + نفوذ مولکولی

$$\text{جابجایی آزاد} \rightarrow Sh = f(Gr_D, Sc)$$

$$\text{جابجایی آزاد} \rightarrow Nu = f(Gr_H, Pr)$$

و عدد گراشف در جابجایی آزاد همان نقش عدد رینولدز را در جابجایی اجباری به عهده دارد و تعیین کننده رژیم جریان در جابجایی آزاد می‌باشد و بیانگر نسبت نیروهای بویانسی به نیروهای ویسکوز می‌باشد.

$$Gr_D = \frac{g \Delta \rho L^3}{\rho \gamma^2}$$

$$Gr_H = \frac{g \beta \Delta T L^3}{\gamma^2}$$

$$\beta = \frac{1}{V} \left(\frac{\delta V}{\delta T} \right)$$

نکته: منشأ اختلاف دانسیته در انتقال حرارت ΔT و در انتقال جرم ΔC می‌باشند

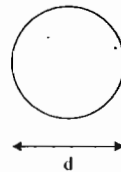
نکته: معیار مقایسه جابجایی آزاد نسبت به جابجایی اجباری:

$$\frac{Gr}{Re^2} \gg 1 \rightarrow \text{جابجایی آزاد تعیین کننده می‌باشد}$$

$$\frac{Gr}{Re^2} = 1 \rightarrow \text{هر دو مکانیسم جابجایی آزاد و اجباری تعیین کننده‌اند}$$

$$\frac{Gr}{Re^2} \ll 1 \rightarrow \text{جابجایی اجباری تعیین کننده می‌باشد}$$

تعیین ضریب انتقال جرم برای اجسام کروی



برای تعیین ضریب انتقال برای کره سه حالت زیر را در نظر می‌گیریم

سیال اطراف کره ساکن باشد

$$Nu = \frac{hd}{k} = 2$$

مکانیزم نفوذ مولکولی در «Diffusion» کنترل کننده می‌باشد

$$Sh = \frac{Fd}{CD_{AB}} = 2$$

سیال اطراف کره در حال حرکت باشد - به صورت اجباری -

$$Nu = 2 + \alpha (Re^m Pr^n)$$

$$Sh = \underbrace{2}_{\text{نفوذ مولکولی}} + \alpha \underbrace{(Re^m Sc^n)}_{\text{جابجایی اجباری}}$$

نفوذ مولکولی جابجایی اجباری

سیال اطراف کره به صورت خودبه خود در حال حرکت باشد

$$Nu = 2 + \beta (Gr_H^{m'} Pr^{n'})$$

$$Sh = \underbrace{2}_{\text{نفوذ مولکولی}} + \beta \underbrace{(Gr_D^{m'} Sc^{n'})}_{\text{جابجایی آزاد}}$$

نفوذ مولکولی جابجایی آزاد

مثال: اگر عدد شرود "SHERWOOD" در یک عملیات انتقال جرم در یک فاز معادل عدد 2 بوده است

(۱) این فاز حرکت توربولنت داشته است

(۲) این فاز حرکت آرام داشته باشد

(۳) درجه حرارت این فاز بسیار پایین بوده است

(۴) شکل ظاهری این سیستم نزدیک به استوانه بوده است

(بیوتکنولوژی ۸۵)

حل: گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

باتوجه به توضیحات بالا، در جریان آرام مکانیزم نفوذ مولکولی کنترل کننده است.

از آنجایی که در اکثر روابط بدست آمده ضریب انتقال جرم F یا k تابعی از مسافت طی شده یا x می باشد به همین جهت معمولاً از یک مقدار متوسط برای محاسبه شار انتقال جرم در کل مسیر استفاده می کنند که ضریب انتقال جرم متوسط \bar{F} به صورت زیر تعریف می شود - همانند ضریب انتقال حرارت متوسط \bar{h} -

$$\bar{F} = \frac{\int_0^L F dx}{\int_0^L dx}$$

$$\bar{h} = \frac{\int_0^L h dx}{\int_0^L dx}$$

L: طول صفحه

نکته : عدد شروود متوسط با استفاده از ضریب انتقال جرم متوسط تعریف می شود

$$\overline{Sh} = \frac{\bar{F}L}{CD_{AB}}$$

$$\overline{Sh} = \frac{\int_0^L Sh dx}{\int_0^L dx}$$

منابع آزمون کارشناسی ارشد و دکتری
09195367497
www.arshd87.blogfa.com

نکته : در حالت کلی اگر $Sh \sim x^n$ در این صورت داریم:

$$\bar{F} = \frac{1}{n} F_{x=L}, \quad \overline{Sh} = \frac{1}{n} Sh_{x=L}$$

مثال : کدامیک از عبارات زیر در حالت کلی نشانگر عدد شروود متوسط می باشد

$$\overline{Sh} = 2Sh_{x=L} \quad (۴) \quad \overline{Sh} = \frac{5}{4} Sh_{x=L} \quad (۳) \quad \overline{Sh} = \frac{\bar{F}L}{CD_{AB}} \quad (۲) \quad \overline{Sh} = \frac{\int_0^L sh_x dx}{\int_0^L dx} \quad (۱)$$

حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

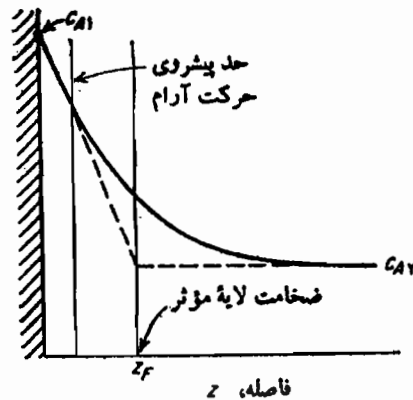
$$\overline{Sh} = 2Sh_{x=L}, \quad \bar{F} = 2F_{x=L}$$

نکته : در جریان آرام روی صفحه داریم

$$\overline{Sh} = \frac{5}{4} Sh_{x=L}, \quad \bar{F} = \frac{5}{4} F_{x=L}$$

و در جریان درهم روی صفحه داریم

۳-۵-۴-۱- تئوری فیلم Effective thickness



ویژگی‌های مدل فیلم

این مدل قدیمی‌ترین مدل انتقال جرم می‌باشد. سیالی را در نظر بگیرید که از روی سطح جامدی در حال حرکت است سطح جامد دارای ماده A می‌باشد که در سیال حل می‌شود. اگر حرکت سیال متلاطم باشد توزیع غلظت ماده A در سیال به صورت منحنی توپیر نشان داده شده در شکل می‌باشد اما در مدل فیلم فرض می‌شود توزیع غلظت ماده A در سیال به صورت خط شکسته نشان داده شده در شکل می‌باشد که این خط شکسته از رسم مماسی‌هایی بر ابتدا و انتهای منحنی توپیر به دست می‌آید که این دو خط مماس هم‌دیگر را در z_F قطع می‌کنند که به آن ضخامت موثر فیلم گویند که در این مدل فرض می‌شود انتقال جرم فقط در این ضخامت نازک - z_F - انجام می‌شود به طور خلاصه می‌توان گفت در این مدل سیال به دو قسمت تقسیم می‌شود. یک قسمت بسیار نازک به ضخامت z_F که در آن جریان سیال آرام است و انتقال جرم فقط با مکانیزم نفوذ مولکولی انجام می‌شود و قسمت دوم، بقیه سیال است که فرض می‌شود کاملاً متلاطم است و غلظت ماده حل شده در همه جا یکسان است.

نکته: z_F ، مقدار مشخصی ندارد و همه متغیرهای موثر در انتقال جرم مانند سرعت سیال، سطح تماس و میزان آشفتگی جریان بر مقدار آن اثر دارد

نکته: مقدار z_F بزرگ‌تر از ضخامت زیر لایه آرام Laminar sublayer است

نکته: در این مدل فرض می‌شود شرایط پایا برقرار است یعنی توزیع غلظت در لایه موثر، همانند شرایط توزیع غلظت در حالت پایا

$$\frac{\delta C_A}{\delta t} = 0$$

می‌باشد

نکته: در این مدل فرض می‌شود میزان ماده موجود در لایه موثر در مقایسه با میزان ماده عبوری از لایه موثر قابل صرف‌نظر کردن می‌باشد.

نکته: توزیع غلظت در لایه فیلم خطی می‌باشد و این مدل فقط برای انتقال جرم خیلی کم صادق است به طوری که می‌توان از جمله

$$x_A (N_A + N_B)$$

صرف‌نظر کرد

نکته: در مدل فیلم، فصل مشترک به صورت جامد - سیال می باشد تا در اثر انتقال جرم در فصل مشترک تلاطم به وجود نیاید در مدل فیلم ضریب انتقال جرم و ضریب نفوذ به صورت زیر با هم مربوط می شوند

$$N_A = -D_{AB} C \frac{dx_A}{dz} = \frac{D_{AB} C}{z_f} (x_{A_1} - x_{A_2}) = k_x (x_{A_1} - x_{A_2}) \Rightarrow k_x = \frac{D_{AB} C}{z_f} \quad \text{پس} \quad k \propto D_{AB}$$

و توزیع غلظت به صورت

$$\frac{\delta^2 C_A}{\delta z^2} = 0 \Rightarrow C_A = az + b$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{شرایط مرزی} \\ \left\{ \begin{array}{l} z=0 \\ z=z_f \end{array} \right. \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} C_A = C_{A_1} \\ C_A = C_{A_2} \end{array} \right. \Rightarrow C_A = C_{A_1} + \frac{C_{A_2} - C_{A_1}}{z_f} z$$

مثال: سیالی با غلظت C_{A_1} درون لوله ای به قطر 3.66 cm در جریان است به طوری که $Re < 2300$ می باشد اگر فرض کنیم تئوری فیلمی صادق باشد ضخامت z_f کدام یک می باشد

- 1cm (۱) 0.1cm (۲) 1.78 cm (۳) 3.66 cm (۴)

حل: گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$Re < 2300 \Rightarrow \text{جریان آرام} \Rightarrow Sh = 3.66 = \frac{K_c d}{D_{AB}} \Rightarrow k_c = \frac{3.66 D_{AB}}{d} \quad (۱)$$

$$k_x = \frac{D_{AB} C}{z_f} \Rightarrow k_c = \frac{D_{AB}}{z_f} \quad \text{در تئوری فیلمی داریم} \quad (۲)$$

$$(۱) \text{ و } (۲) \Rightarrow \frac{D_{AB}}{z_f} = \frac{3.66 D_{AB}}{d} \Rightarrow z_f = \frac{d}{3.66} = \frac{3.66 \text{ cm}}{3.66} = 1 \text{ cm}$$

نکته: اگر عدد شروود را به صورت $sh = \frac{K_c z_f}{D_{AB}}$ تعریف کنیم در این صورت در مدل فیلمی همواره خواهیم داشت $sh = 1$

$$\left. \begin{array}{l} sh = \frac{K_c z_f}{D_{AB}} \\ K_c = \frac{D_{AB}}{z_f} \end{array} \right\} \Rightarrow sh = 1$$

تئوری فیلمی

۲-۴-۵-۳ تئوری رسوخ یا تداخل Penetration theory یا Higbie theory

مدل رسوخ بیشتر در مواردی به کار می رود که دو فاز در حال تماس، هر دو سیال می باشند و فرض می شود قطعات سیال به فصل مشترک می آیند و به اندازه زمان θ - زمان توقف - در فصل مشترک باقی می مانند و سپس به درون سیال بازمی گردند چون زمان تماس برای انتقال جرم کوتاه است در نتیجه توزیع غلظت عملاً به حالت پایا در نمی آید بلکه تابعی از زمان تماس می شود - برعکس مدل فیلم - و توزیع غلظت تابع دو پارامتر زمان و مکان می باشد. در این تئوری فرض می شود زمان توقف برای کلیه قطعات سیال یکسان می باشد

$$D_{AB} \frac{\delta^2 C_A}{\delta z^2} = \frac{\delta C_A}{\delta t}, \quad C_A = f(t, z)$$

شرایط مرزی →

$$\left\{ \begin{array}{l} C_A(0, t) = C_{A_i} \rightarrow \text{غلظت ماده A در فصل مشترک همواره ثابت است} \\ C_A(\infty, t) = C_{A_0} \rightarrow \text{چون زمان تماس کوتاه می‌باشد و ماده A به نقاط دوردست نمی‌رسد} \\ \text{شرط اولیه} \quad C_A(z, 0) = C_{A_0} \rightarrow \text{غلظت ماده A در لحظه صفر در تمام نقاط برابر } C_{A_0} \text{ می‌باشد} \end{array} \right.$$

که از حل معادله دیفرانسیل فوق با شرایط مرزی و اولیه ذکر شده، توزیع غلظت ماده A به صورت زیر می‌باشد

$$\frac{C_{A_i} - C_A}{C_{A_i} - C_{A_0}} = \text{erf} \frac{z}{\sqrt{D_{AB}t}}$$

که مشابه توزیع دما در جسم نیمه بی‌نهایت در انتقال حرارت می‌باشد

$$N_A = -D_{AB} \frac{\delta C_A}{\delta z} \Big|_{z=0} = 2 \sqrt{\frac{D_{AB}}{\pi t}} (C_{A_0} - C_{A_i}) \Rightarrow K_L = 2 \sqrt{\frac{D_{AB}}{\pi t}}$$

نکته: در تئوری رسوخ داریم $k \propto D_{AB}^{\frac{1}{2}}$ ، $k \propto \frac{1}{\sqrt{t}}$ که زمان توقف

نکته: در مدل رسوخ همانند مدل فیلم از جمله $x_A (N_A + N_B)$ در شار انتقال جرم صرف نظر می‌کنیم و جریان را آرام فرض می‌کنیم
نکته: در مدل فیلم، مسیر نفوذ ماده A در داخل سیال، فقط به یک لایه نازک از سیال محدود می‌شود اما در تئوری رسوخ مسیر نفوذ ماده A در داخل سیال بسیار طولانی است - همانند نفوذ به داخل جسم نیمه بی‌نهایت -

مثال: کدام یک از جملات زیر در مورد نظریه penetration غلط می‌باشد؟

- (۱) زمان تماس دو فاز کوتاه است
- (۲) عمدتاً برای دو سیال به کار می‌رود
- (۳) گرادیان غلظت بین دو فاز وجود دارد
- (۴) فرایند پایدار در نظر گرفته می‌شود

حل: با توجه به توضیحات گزینه ۴ صحیح می‌باشد.
با توجه به توضیحات

۳-۴-۵-۳ تئوری نوشوندگی سطح یا جایگزینی سطح Dankwerts theory یا surface - renewal model

در مدل رسوخ زمان توقف برای تمام قطعات سیال یکسان فرض می‌شود اما در تئوری نوشوندگی سطح زمان توقف برای تمام قطعات سیال یکسان نیست و فصل مشترک پوشیده از المان‌هایی است که زمان توقف متفاوتی دارند که این زمان از صفر تا بی‌نهایت می‌تواند تغییر کند زمان تماس صفر برای المانی است که اصلاً به فصل مشترک نیامده و همیشه در عمق مایع باقی مانده است و زمان بی‌نهایت برای المانی است که همواره در فصل مشترک باقی می‌ماند

نکته: شار انتقال جرم و ضریب انتقال جرم براساس این تئوری به قرار زیر می‌باشد

$$\overline{N_A} = \sqrt{D_{AB}S} (C_{A_i} - C_{A_0})$$

$$\overline{K_L} = \sqrt{D_{AB}S}$$

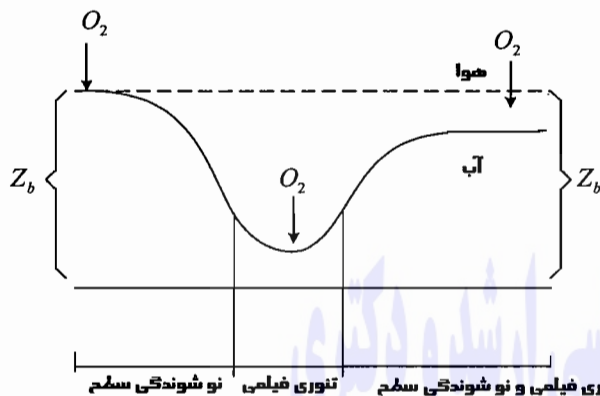
که S سرعت نوشوندگی سطح است و برابر عکس زمان توقف المان‌ها می‌باشد

$$\text{erf}(\eta) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^\eta e^{-\eta^2} d\eta$$

نکته: تمام فرضیات تئوری رسوخ در این تئوری نیز وجود دارد به جز این که در این تئوری فرض می شود زمان اقامت قطعات سیال در فصل مشترک یکسان نیست.

۳-۴-۴-۳ تئوری ترکیبی فیلم و نوشوندگی سطح یا تئوری اصلاح دابینز Dobbins theory

دابینز سرعت جذب اکسیژن را در آبهای جاری بررسی می کرد در این آب های جاری عمق آب نه آن قدر کم است که گرادیان غلظت سریعاً به حالت پایا برسد - تئوری فیلم - و نه آن قدر زیاد است که بتوان آن را نیمه بی نهایت دانست - تئوری نوشوندگی سطح - و واقعیت مسئله بین دو مدل قرار دارد و باید به جای شرط مرزی $C_A(\infty, t) = C_{A0}$ ، در تئوری نوشوندگی سطح، شرط مرزی $C_A(z_b, t) = C_{A0}$ قرار دهیم در این صورت



$$K_L = (D_{AB}S)^{1/2} \coth \sqrt{\frac{SZ_b^2}{S_{AB}}} \Rightarrow K_L \propto D_{AB}^n$$

که $0.5 \leq n \leq 1$

اگر $\left\{ \begin{array}{l} D_{AB} \text{ بزرگ} \Rightarrow n \rightarrow 1 \text{ غالب است تئوری فیلمی} \\ D_{AB} \text{ کوچک} \Rightarrow n \rightarrow 0.5 \text{ غالب است تئوری نوشوندگی سطحی} \end{array} \right.$

اگر $\left\{ \begin{array}{l} Z_f \text{ کوچک} \Rightarrow n \rightarrow 1 \\ Z_f \text{ بزرگ} \Rightarrow n \rightarrow 0.5 \end{array} \right.$

نکته: وقتی سرعت نوشوندگی سطح خیلی کم است و یا ضریب نفوذ مولکولی عدد بزرگی است، ضریب انتقال جرم به مدل فیلم میل می کند ولی وقتی که سرعت نوشوندگی سطح خیلی زیاد است و یا نفوذ مولکولی بسیار کند انجام می شود D_{AB} کوچک است - ضریب انتقال جرم به مدل نوشوندگی سطح میل می کند

نکته: با افزایش میزان آشفتگی جریان - افزایش Re - n کاهش می یابد.

نکته: براساس نتایج تجربی 0.8 یا $n = 0 - 0.7$ تغییر می کند.

تست‌های طبقه بندی شده فصل سوم ضرایب انتقال جرم

۱ - ضریب انتقال جرم بین اتمسفر و آب اقیانوس‌ها برای انتقال 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 1.46×10^{-9} و ضریب نفوذ آرگون در آب

5.84×10^{-9} مترمربع بر ثانیه است.) (مهندسی شیمی ۸۷)

$$1 \times 10^{-3} \quad (۱) \quad 4 \times 10^{-3} \quad (۲) \quad 5 \times 10^{-3} \quad (۳) \quad 8 \times 10^{-3} \quad (۴)$$

۲ - تشابه بین روابط مربوط به ضریب اصطکاک و ضریب انتقال جرم زمانی برقرار است که:

(۱) اصطکاک فقط شکلی باشد. (۲) اصطکاک فقط سطحی باشد.

(۳) اصطکاک می‌تواند سطحی یا شکلی باشد. (۴) هیچ کدام

۳ - کدام یک از گزینه‌های زیر مشخصه تئوری تجدید سطح می‌باشد؟ (مهندسی شیمی آزاد ۸۵)

(۱) مدت اقامت گردابه‌ها در فصل مشترک ثابت است.

(۲) ضریب انتقال جرم نسبتی با ضریب نفوذ مولکولی ندارد.

(۳) مدت اقامت گردابه‌ها در فصل مشترک تغییر می‌کند.

(۴) زمان جدایش گردابه‌ها از فصل مشترک تابع زمان رسیدن آن‌ها به این منطقه است.

۴ - ضریب انتقال حرارت یک جسم و هوا برابر $240 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$ است اگر طول مشخصه جسم دو برابر شود به نحوی که رینولدز ثابت

بماند. ضریب انتقال جرم $F \left(\frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right)$ برابر است با: (مهندسی شیمی ۸۵)

$$k = 0.0263 \frac{\text{W}}{\text{mk}}, \quad \text{Pr} = \text{Sc}, \quad D_{AB} = 1.12 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}, \quad P = 0.2 \text{ atm}, \quad T = 300 \text{ K}$$

$$1.2 \times 10^{-3} \quad (۴) \quad 2.4 \times 10^{-3} \quad (۳) \quad 2.5 \times 10^{-4} \quad (۲) \quad 4.14 \times 10^{-3} \quad (۱)$$

۵ - در تشابه بین پدیده‌های انتقال جرم و حرارت چنانچه شرایط تشابه برقرار باشد کدام یک از عبارات زیر صحیح است؟

(مهندسی شیمی ۸۵)

(۱) اعداد Pr و Sc در دو فرآیند بایستی برابر باشند.

(۲) اعداد رینولدز در دو فرآیند بایستی برابر باشند.

(۳) اعداد رینولدز دو فرآیند برابر و نیز Pr بایستی با Sc برابر باشد.

(۴) اعداد بدون بُعد یکی، جایگزین اعداد بدون بُعد دیگری می‌گردد.

۶ - کدام رابطه آنالوژی کالبورن (Colburn) است؟ (مهندسی شیمی آزاد ۸۵)

$$C_f = 2 \text{St} \cdot \text{Pr}^{\frac{2}{3}} \quad (۴) \quad \text{Nu} = 0.53 (\text{Pr} \cdot \text{Re})^{\frac{1}{2}} \quad (۳) \quad \text{Nu} = 0.35 \text{Pr}^{\frac{2}{3}} \cdot \text{Re}^{\frac{1}{2}} \quad (۲) \quad C_f = 2 \text{st}^{\frac{1}{3}} \cdot \text{Pr}^{\frac{2}{3}} \quad (۱)$$

۷ - جذب گاز A در بستر کاتالیستی و واکنش هتروژنی بسیار سریع $A \rightarrow 3B$ صورت می‌گیرد رابطه بین ضریب انتقال جرم فیلم

گاز k_y با دیمانسیون $\frac{\text{K mole}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$ با ضریب کلی انتقال جرم f_G برابر است با: (مهندسی شیمی ۸۵)

$$k_y = \frac{F_G}{2 \ln(1 + 2y_A)} \quad (۴) \quad F_G = \frac{2k_y \cdot y_A}{\ln(1 + 2y_A)} \quad (۲) \quad F_G = k_y \cdot y_A \quad (۱)$$

۸ - مایعی با غلظت اولیه C_{A_0} از ماده A به یک لوله با طول L و شعاع R وارد می شود چنانچه جداره لوله در مایع حل شود و غلظت ماده A به هنگام خروج از لوله C_{A_L} شده باشد فلاکس متوسط انتقال جرم در این فرآیند از کدام یک از روابط زیر محاسبه می شود؟ دبی حجمی مایع Q طول لوله ثابت در نظر گرفته می شود. (مهندسی شیمی ۸۵)

$$N_{A_{ave}} = D_{AB} \left[\frac{dC_A}{dr} \right]_{r=R} \quad (۲) \quad N_{A_{ave}} = \frac{Q(C_{A_L} - C_{A_0})}{2\pi RL} \quad (۱)$$

$$N_{A_{ave}} = \frac{1}{L} \int_0^L -D_{AB} \left[\frac{dC_A}{dr} \right]_{r=R} dz \quad (۴) \quad N_{A_{ave}} = Q(C_{A_L} - C_{A_0}) \quad (۳)$$

۹ - حرکت سیال مایع از روی کره جامد منجر به دستیابی به ضرایب انتقال جرم در فاز مایع شده است، در سه آزمایش مختلف مقادیر ضرایب انتقال جرم از رابطه ذیل قابل پیش بینی بوده است. $Sh = 1.2Re^{0.55} Sc^{0.34}$ شرایط عملیاتی طوری بوده است که: (مهندسی شیمی ۸۵)

- (۱) انتقال جرم در اثر نفوذ مولکولی و کنوکسیون در یک حد و در رابطه بالا دیده شده است.
- (۲) انتقال جرم در اثر نفوذ مولکولی بسیار کم اما در مقایسه با کنوکسیون اجباری قابل ملاحظه است.
- (۳) انتقال جرم در اثر نفوذ کنوکسیون اجباری بسیار زیاد بوده و لذا از ترم نفوذ مولکولی صرف نظر شده است.
- (۴) انتقال جرم در اثر نفوذ کنوکسیون طبیعی در مقایسه با نفوذ مولکولی زیاد اما در رابطه فوق هر دو ترم دیده شده است.

۱۰ - در تئوری تجدید سطح اگر میدان سرعت سیال ثابت باشد کدام عبارت صحیح است؟ (مهندسی شیمی آزاد ۸۴)

- (۱) k متناسب با D_{AB} است.
- (۲) k متناسب با $\sqrt{D_{AB}}$ است.
- (۳) k متناسب با D_{AB}^2 است.
- (۴) k متناسب با $\sqrt[3]{D_{AB}}$ است.

۱۱ - آب $\left(v = 1 \frac{cm^2}{s} \right)$ با دبی $60 \frac{lit}{s}$ از داخل یک بستر ثابت با قطر $0.5m$ که از ذرات اسید بنزوئیک ($dp = 5mm, \epsilon = 0.335$) پر شده است عبور می کند ضریب انتقال جرم k چند سانتی متر بر ثانیه می باشد؟

(مهندسی شیمی ۸۴)

$$\left(Sc = 129870, J_D = \frac{0.25}{\epsilon} Re^{-0.319}, J_D = \frac{k}{u} Sc^{\frac{2}{3}} \right)$$

(۱) 0.00191 (۲) 0.00382 (۳) 0.00682 (۴) 0.00764

۱۲ - در کدام حالت اثر جریان آشسته در سه پدیده انتقال جرم، حرارت و ممنتوم یکسان است؟ (مهندسی شیمی ۸۴)

- (۱) $Pr = Sc$
- (۲) $Pr = sc = 1$
- (۳) $E_D = E_H$ (ضرایب نفوذ چرخانه ای)
- (۴) هیچ کدام

۱۳ - اگر ضریب انتقال جرم با k و ضریب نفوذ مولکولی را با D نمایش دهیم. بر اساس تئوری رسوخ (Penetration)

(مهندسی شیمی ۸۳)

$$k \propto D^{0.5} \quad (۱) \quad k \propto D \quad (۲) \quad k \propto D^{\frac{1}{3}} \quad (۳) \quad k = D \quad (۴)$$

۱۴ - انتقال جرم در خارج یک کره جامد و در شرایط کاملاً ساکن و یکنواخت صورت می‌گیرد. عدد شروود در حالتی که انتقال جرم فقط در اثر نفوذ مولکولی صورت می‌گیرد برابر ۲ گزارش شده است اگر انتقال جرم در اثر نفوذ مولکولی و حرکت توده‌ای (کنوکسیون طبیعی) صورت یافته باشد در این صورت:

(مهندسی شیمی ۸۳)

(۱) عدد شروود تغییر می‌کند و کمی بیشتر از ۲ می‌شود.

(۲) عدد شروود تغییر نخواهد کرد و ضریب انتقال جرم k نیز ثابت خواهد بود.

(۳) عدد شروود تغییر نخواهد کرد ولیکن مقدار ضریب انتقال جرم $k \left(\frac{m}{s} \right)$ کمی بیشتر می‌شود.

(۴) عدد شروود تغییر نخواهد کرد ولیکن مقدار ضریب انتقال جرم $k \left(\frac{m}{s} \right)$ کمتر خواهد شد.

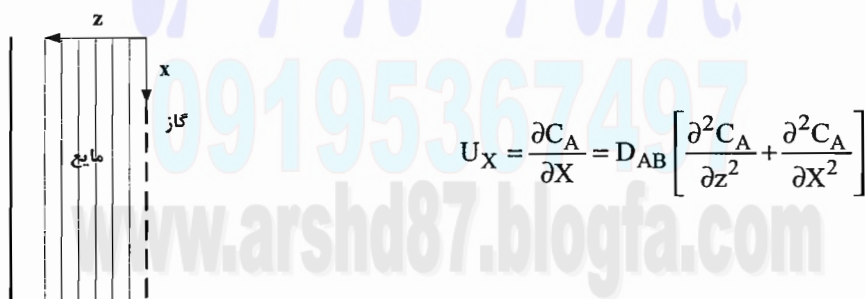
۱۵ - در یک ستون دیواره مرطوب شدت گاز ورودی $0.01 \frac{kmol}{s}$ و گاز خروجی از بالای ستون $0.015 \frac{kmol}{s}$ است در صورتی که شار

برابر $N_A = 0.005 \frac{kmol}{m^2 \cdot s}$ بوده و طول ستون یک متر باشد قطر این ستون چقدر است؟ (مهندسی شیمی ۸۳)

(۱) حدود ۳ متر (۲) حدود ۳۰ سانتی‌متر (۳) ۵۰ سانتی‌متر (۴) حدود ۹۰ سانتی‌متر

۱۶ - انتقال جرم از فاز گاز به فیلم مایع در حال ریزش اتفاق می‌افتد. رابطه زیر در این خصوص استفاده شده است.

(مهندسی شیمی ۸۲)



در صورتی که رابطه فوق را صحیح بدانیم در این صورت باید گفت که:

(۱) از نفوذ گاز در جهت Z در مقابل حرکت توده‌ای در جهت Z صرف‌نظر شده است.

(۲) از حرکت توده‌ای در جهت X در مقابل نفوذ در جهت Z صرف‌نظر شده است.

(۳) از نفوذ مولکولی در جهت X در مقایسه با حرکت توده‌ای در جهت X صرف‌نظر شده است.

(۴) از حرکت توده‌ای در جهت Z در مقایسه با نفوذ مولکولی در جهت Z صرف‌نظر شده است.

(مهندسی شیمی ۸۲)

۱۷ - عدد بدون بعد لوئیس را به چه صورتی می‌توان تعریف کرد؟

$$Le = \frac{Re}{Sc} \quad (۴) \quad Le = \frac{Pr}{Sc} \quad (۳) \quad Le = \frac{Pe_D}{Pe_H} \quad (۲) \quad Le = \frac{D}{a} \quad (۱)$$

۱۸ - گاز A وارد بستری از ذرات جامد B می‌شود و طی واکنش زیر گاز C در طول بستر و با سرعت بسیار زیاد تشکیل

(مهندسی شیمی ۸۲)

می‌شود معادله فلاکس جزء A در یک مقطع مشخص از بستر عبارت است از: $4A + B \rightarrow C$

$$N_A = \frac{4}{3} F \ln \frac{1}{4-3y_A} \quad (۲) \quad N_A = \frac{3}{4} F \ln \frac{1}{3-4y_A} \quad (۱)$$

$$N_A = \frac{3}{4} F \ln \frac{3}{3-4y_A} \quad (۳) \quad N_A = \frac{4}{3} F \ln \frac{4}{4-3y_A} \quad (۴)$$

۱۹ - محدوده عدد بدون بعد اشمیت «Sc» در گازها و مایعات به ترتیب کدام است

(مهندسی شیمی ۸۱)

- (۱) از 0.5 تا 2 و از 100 تا 10000
(۲) از 0 تا 2 و از 10 تا 100
(۳) از 0 تا 5 و از 100 تا 500
(۴) از 0.5 تا 5 و از 10 تا 500

۲۰ - دو فاز نامحلول در تماس مستقیم بوده و انتقال جرم بین دو فاز انجام می‌شود و در فاز اول عدد اشمیت 1000 و در فاز دوم

(مهندسی شیمی ۸۱)

عدد اشمیت 2200 است؟

- (۱) این پدیده می‌تواند در یک برج دفع انجام شده باشد.
(۲) این پدیده می‌تواند در یک برج جذب انجام شده باشد.
(۳) این پدیده می‌تواند در یک برج تقطیر انجام شده باشد.
(۴) این پدیده می‌تواند در یک برج استخراج مایع مایع انجام شده باشد.

۲۱ - هوا با غلظت بسیار کم از داخل یک برج جذب با سطح مقطع مستطیل (20×30 m) عبور می‌نماید اگر $Re = 10000$ و

$Sc = 1.6$ باشد ضریب انتقال جرم k_c (بر حسب متر بر ثانیه) کدام است؟ (در لوله‌ها از رابطه $sh = 0.023 Re^{0.8} Sc^{0.3}$ استفاده

(مهندسی شیمی ۸۰)

می‌شود و ضریب نفوذ سیستم $\frac{m^2}{s}$ 2.0×10^{-5} می‌باشد.)

- (۱) 0.15 (۲) 0.35 (۳) 1.5×10^{-3} (۴) 3.5×10^{-3}

(مهندسی شیمی ۷۹)

۲۲ - بر اساس تئوری تجدید سطح (Surface Renewal)

- (۱) ضریب انتقال جرم نسبتی با ضریب نفوذ مولکولی ندارد.
(۲) گردانه‌ها مدت زمان ثابتی را در جوار فصل مشترک به سر می‌برد.
(۳) زمان جدایش گردانه‌ها از فصل مشترک تابع زمان رسیدن آن‌ها به این منطقه است.
(۴) مدت زمان اقامت گردانه‌ها (Eddies) در جوار فصل مشترک متغیر است.

(مهندسی شیمی ۷۷)

۲۳ - بر اساس تئوری تجدید سطح

- (۱) زمان جدایش گردانه‌ها از فصل مشترک تابع زمان رسیدن آن‌ها به این منطقه است.
(۲) ضریب انتقال جرم نسبتی با ضریب نفوذ مولکولی ندارد.
(۳) گردانه‌ها مدت ثابتی را در جوار فصل مشترک به سر می‌برند.
(۴) مدت اقامت گردانه‌ها در جوار فصل مشترک متغیر است.

۲۴ - در حرکت هوا از روی صفحات نفتالین مقداری از نفتالین تبخیر شده و به فاز هوا وارد می‌شود. اگر عدد $Sc = 0.7$ باشد در

(مهندسی شیمی ۷۷)

این صورت ضخامت لایه سرحدی غلظت:

- (۱) به عدد Sc هیچ‌گونه ارتباطی ندارد.
(۲) بیشتر از ضخامت لایه سرحدی سرعت خواهد بود.
(۳) بیشتر از ضخامت لایه سرحدی حرارت خواهد بود.
(۴) کمتر از ضخامت لایه سرحدی سرعت خواهد بود.

(مهندسی شیمی ۷۶)

۲۵ - مقدار ضریب انتقال جرم بر اساس Film theory تابعی است از:

- (۱) D_{AB} (۲) $D_{AB}^{0.6}$ (۳) $\frac{1}{D_{AB}}$ (۴) $\sqrt{D_{AB}}$

۲۶ - قیاس جرم و حرارت در کدام یک از حالات صحیح تر خواهد بود؟ (مهندسی شیمی ۷۶)

- (۱) انتقال جرم یک جزء صورت می گیرد.
(۲) میزان انتقال جرم زیاد
(۳) میزان انتقال جرم کم
(۴) میزان انتقال جرم کم و زیاد صحیح است.

۲۷ - در حالت انتقال جرم به صورت نفوذ یکسان مولی متقابل یک گاز دو جزئی کدام عبارت صحیح است؟ (مهندسی شیمی ۷۶)

$$N_A = F \cdot C (C_{A_1} - C_{A_2}) \quad (۲)$$

$$N_A = k_e^1 (y_{A_1} - y_{A_2}) \quad (۱)$$

$$N_A = F (y_{A_1} - y_{A_2}) k \quad (۴)$$

$$N_A = k_y^1 (C_{A_1} - C_{A_2}) \quad (۳)$$

۲۸ - عدد بدون بعد اشمیت نمایانگر ارتباط بین کدام پدیده‌ای انتقال می باشد؟ (مهندسی شیمی ۷۶)

- (۱) اعداد بدون بعد ارتباط بین پدیده‌ها را نشان نمی دهد.
(۲) جرم و مومنتوم
(۳) جرم و حرارت
(۴) حرارت و مومنتوم

۲۹ - در یک فرماتور O_2 از درون هوا جذب آب می شود. عدد Sc برای جذب O_2 در آب 215 است در صورتی که ویسکوزیته و

دانسیتته آب و هوا در شرایط مسأله برابر باشد با: (مهندسی شیمی ۷۶)

$$\begin{cases} M_{H_2O} = 6.94 \times 10^{-4} \\ P_{H_2O} = 994 \frac{kg}{m^3} \end{cases}, \begin{cases} M_{air} = 0.00173 \frac{kg}{ms} \\ P_{air} = 1.13 \frac{kg}{m^3} \end{cases}$$

ضریب نفوذ O_2 در آب چند $\frac{m^2}{s}$ است؟

- (۱) 4.5×10^{-10} (۲) 3.25×10^{-9} (۳) 7.12×10^{-6} (۴) 3.25×10^{-4}

۳۰ - در انتقال جرم در جریان‌های آرام عدد مشابه است با عدد Nusselt در انتقال حرارت: (مهندسی شیمی ۷۶)

- (۱) Sherwood (۲) Schmidt (۳) Stanton (۴) Graschof

۳۱ - هوا با سرعت $10 \frac{cm}{s}$ از داخل یک لوله ساخته شده از اسید بنزوئیک با قطر 10 cm عبور می کند ضریب انتقال جرم با استفاده

از فرمول $sh = 0.027 Re^{0.8} Sc^{0.33}$ بر حسب متر بر ثانیه برابر است با: (مهندسی شیمی ۷۵)

- (۱) 0.034 (۲) 0.7 (۳) 1.7 (۴) 2.1

۳۲ - عدد اشمیت چنین تعریف می شود $Sc = \frac{\nu}{D}$ (مهندسی شیمی ۷۵)

- (۱) $0.7 < Sc < 50000$ (۲) $10^{-3} < Sc < 50000$ (۳) $10 < Sc < 50000$ (۴) $10^{-3} < Sc < 10$

۳۳ - مکانیزم انتقال جرم در جریان متلاطم نفوذ است. (مهندسی شیمی ۷۵)

- (۱) چرخانه‌ای (۲) مؤثر (۳) مولکولی (۴) مولکولی و نفوذ چرخانه‌ای

۳۴ - در تئوری‌های مختلف انتقال جرم (تئوری فیلمی - جایگزینی و غیره) برای ضریب انتقال جرم k پیشنهاد شده کدام یک از

گزینه‌های زیر درست است؟ (مهندسی شیمی ۷۴)

$$k \propto D^{1/n} \quad (۱)$$

(۲) $n, k \propto D^n$ در تئوری فیلمی بیشتر از تئوری‌های دیگر است.

$$0 < n < 2, k \propto D^n \quad (۳)$$

$$0.5 < n < 5, k \propto D^n \quad (۴)$$

۳۵ - یک گلوله جامد اسید بنزوئیک به شعاع اولیه R_0 با دانسیته مولی C را در داخل یک ظرف حاوی آب قرار داده‌ایم که توسط یک همزن به هم زده می‌شود. اگر ضریب انتقال جرم برابر با k باشد و غلظت اشباع اسید درون آب C_A^* باشد چقدر طول می‌کشد تا تمامی اسید درون آب حل شود؟ (مهندسی شیمی ۷۴)

$$\frac{R_0}{k} \quad (۴) \quad \frac{KC_A^*}{CR_0} \quad (۳) \quad \frac{C_A^* R_0}{Ck} \quad (۲) \quad \frac{CR_0}{kC_A^*} \quad (۱)$$

۳۶ - تعریف عدد شروود sh کدام است؟ (مهندسی شیمی ۷۴)

$F =$ ضریب انتقال جرم ، $C =$ دانسیته مولی ، $L =$ طول مشخصه ، $D_{AB} =$ ضریب نفوذ

$$sh = \frac{F \cdot L}{C \cdot D_{AB}} \quad (۱) \quad sh = \frac{F \cdot C}{L \cdot D_{AB}} \quad (۲) \quad sh = \frac{F \cdot D_{AB}}{C \cdot L} \quad (۳) \quad sh = \frac{F_1 C}{L} \quad (۴)$$

۳۷ - رابطه ضریب انتقال جرم k با ضریب نفوذ D_{AB} در تئوری‌های نفوذ عمقی و تئوری فیلمی به شرح زیر است: (مهندسی شیمی ۷۳)

تئوری نفوذ عمقی	تئوری فیلمی
$K \propto D^{0.5}$ (۱)	$K \propto D$
$K \propto D^{0.7}$ (۲)	$K \propto D$
$K \propto D$ (۳)	$K \propto D^{0.5}$
$K \propto D$ (۴)	$K \propto D^{0.7}$

۳۸ - در انتقال جرم در جریان مغشوش سیالات (Turbulent flow) نسبت کل ضریب نفوذ به ضریب نفوذ مولکولی $\frac{D+E_D}{D}$ به کدام صورت صحیح است (E_D ضریب نفوذ D , eddy ضریب نفوذ مولکولی است؟) (مهندسی شیمی ۷۳)

$$\frac{D+E_D}{D} = 1 + Sh \cdot \frac{E_D}{K} \quad (۲) \quad \frac{D+E_D}{D} = 1 + Sc_0 \frac{E_D}{V} \quad (۱)$$

$$\frac{D+E_D}{D} = 1 + \frac{E_2}{V} \quad (۴) \quad \frac{D+E_D}{D} = 1 \quad (۳)$$

۳۹ - در یک ستون جداره مرطوب (wetted wall) شار مولی انتقال جرم N_A برحسب $\frac{\text{k mole}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$ برابر است با 4.6×10^{-6} در این ستون NH_3 از هوا توسط محلول رقیق اسید سولفوریک که در دیواره ستون به پایین می‌ریزد جذب می‌شود. در صورتی که میانگین جزء مولی NH_3 در توده هوا برابر 0.1 باشد ضریب انتقال جرم از نوع F چند $\frac{\text{kmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$ خواهد بود؟ (مهندسی شیمی ۷۲)

$$5.11 \times 10^{-6} \quad (۴) \quad 4.36 \times 10^{-5} \quad (۳) \quad 4.6 \times 10^{-5} \quad (۲) \quad 2.30 \times 10^{-5} \quad (۱)$$

۴۰ - در چه موقعیت حتماً بایستی از ضریب انتقال جرم از نوع F و روابط مربوط به آن استفاده کرد؟ (مهندسی شیمی ۷۲)

- (۱) انتقال فقط یک جزء در یک محلول
(۲) دما و فشار زیاد
(۳) میزان زیاد انتقال جرم
(۴) میزان کم انتقال جرم

پاسخ تست‌های طبقه‌بندی شده فصل سوم ضرایب انتقال جرم

۱ - گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

نفوذ گاز CO₂ و آرگون در آب اقیانوس مانند نفوذ حرارت در جسم نیمه بی‌نهایت (اقیانوس) می‌باشد و نیز در این عملیات انتقال جرم با دو سیال (گاز آرگون یا CO₂ و آب اقیانوس) سر کار داریم نه سطح یک جامد و سیال. پس برای برقراری رابطه بین ضرایب انتقال جرم و ضریب نفوذ باید از تئوری رسوخ استفاده کنیم پس داریم:

$$\frac{K_1}{K_2} = \sqrt{\frac{D_1}{D_2}} \Rightarrow \frac{K_1}{2 \times 10^{-3}} = \sqrt{\frac{5.84 \times 10^{-9}}{1.46 \times 10^{-9}}} = 2 \Rightarrow K_1 = 4 \times 10^{-3}$$

۲ - گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۳ - گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۴ - گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$Nu \propto Re^n Pr^m$$

با تغییر بعد مشخصه مقدار رینولدز ثابت می‌ماند - صورت سؤال - پس داریم:

$$Nu = \frac{hL}{k} = cte \Rightarrow h \propto \frac{1}{L} \Rightarrow \frac{h_1}{h_2} = \frac{L_2}{L_1} \Rightarrow h_2 = 120 \frac{w}{m^2 \cdot k}$$

و از طرف دیگر:

$$Sc = Pr \Rightarrow Nu = Sh \Rightarrow \frac{hL}{K} = \frac{FL}{CD_{AB}}, C = \frac{P}{RT}$$

$$\Rightarrow F = \frac{PD_{AB}h}{RTK} = \frac{(0.2 \times 10^5) \times (1.12 \times 10^{-4}) \times 120}{8.314 \times 300 \times 0.0263} = 4.1 \frac{\text{mol}}{m^2 \cdot s} = 4.1 \times 10^{-3} \frac{\text{kmol}}{m^2 \cdot s}$$

۵ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۶ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۷ - گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$N_A = \frac{N_A}{\sum N_i} F \ln \frac{\sum N_i - y_{A_2} N_A}{\sum N_i - y_{A_1} N_A}$$

$$A \rightarrow 3B \Rightarrow \frac{N_A}{1} = \frac{N_B}{-3} \Rightarrow \frac{N_A}{\sum N_i} = -\frac{1}{2}$$

$$\text{واکنش سریع} \Rightarrow y_{A_2} = 0$$

$$\Rightarrow N_A = -\frac{1}{2} F \ln \frac{-\frac{1}{2} - 0}{-\frac{1}{2} - y_A} = \frac{1}{2} F \ln(1 + 2y_A)$$

و از طرفی داریم:

$$N_A = k_y (y_{A1} - y_{A2}) = k_y y_{A1} \Rightarrow F = \frac{2k_y y_A}{\ln(1 + 2y_A)}$$

۸ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$N_A = \frac{\text{mole } A}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} = \frac{Q(\Delta C_A)}{A} = \frac{Q(C_{AL} - C_{A0})}{2\pi RL}$$

۹ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

با توجه به متن درس.

۱۰ - گزینه ۲ صحیح می باشد.

با توجه به متن درس.

۱۱ - گزینه ۲ صحیح می باشد.

در متن درس این سؤال حل شده است.

۱۲ - گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$1 = Pr = Sc = Le$$

در حالت جریان درهم برای یکسان بودن هر سه پدیده باید $E_V = E_H = E_D$ که نتیجه می دهد:

۱۳ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

با توجه به متن درس.

۱۴ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

با توجه به متن درس.

۱۵ - گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$G_A = N_A \cdot A \Rightarrow 0.015 - 0.01 = 0.005 \times \pi \times D \times l \Rightarrow D = 0.318 \text{ m}$$

۱۶ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

به متن درس مراجعه کنید.

۱۷ - گزینه ۲ صحیح می باشد.

به متن درس مراجعه کنید.

۱۸ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$N_A = \frac{\sum N_A}{\sum N_A} F \ln \frac{\frac{\sum N_A}{\sum N_A} - y_{A2}}{\frac{\sum N_A}{\sum N_A} - y_{A1}}$$



$$\text{جامد B} \Rightarrow N_B = 0, \quad \frac{N_A}{4} = \frac{N_C}{-1} \Rightarrow \sum N_A = N_A - \frac{1}{4}N_A = \frac{3}{4}N_A \Rightarrow \frac{N_A}{\sum N_A} = \frac{4}{3}$$

$$\text{واکنش سریع} \Rightarrow y_{A_2} = 0$$

$$\Rightarrow N_A = \frac{4}{3} F \ln \frac{\frac{4}{3} - 0}{\frac{4}{3} - y_A} = \frac{4}{3} F \ln \frac{4}{4 - 3y_A}$$

۱۹- گزینه ۱ صحیح می باشد.

با توجه به متن درس.

۲۰- گزینه ۴ صحیح می باشد.

با توجه به مقادیر عدد اشمیت در فازها، مشخص است که هر دو فاز شرکت کننده در انتقال جرم مایع می باشد - به نظر می رسد در متن سؤال منظور طراح محترم از امکان جرم، انتقال جرم می باشد. -

۲۱- گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$Sh = 0.023 Re^{0.8} Sc^{0.3} = 0.023 \times 1000^{0.8} \times 1.6^{0.3} = 42$$

$$Sh = \frac{K_C d}{D_{AB}} \Rightarrow K_C = \frac{Sh \cdot D_{AB}}{d} \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \rightarrow K_C = \frac{42 \times 2 \times 10^{-5}}{0.24} = 3.5 \times 10^{-3} \frac{m}{s}$$

$$\text{بعد مشخصه } d = \frac{4A}{P} = \frac{4 \times (20 \times 30)}{2(20 + 30)} = 24 \text{ cm} = 0.24$$

۲۲- گزینه ۴ صحیح می باشد.

با توجه به متن درس.

۲۳- گزینه ۴ صحیح می باشد.

با توجه به متن درس.

۲۴- گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$\frac{\sigma}{\sigma_c} = sh^3$$

۲۵- گزینه ۱ صحیح می باشد.

با توجه به متن درس.

۲۶- گزینه ۳ صحیح می باشد.

با توجه به متن درس.

۲۷- گزینه ۴ صحیح می باشد.

با توجه به متن درس.

۲۸- گزینه ۲ صحیح می باشد.

با توجه به متن درس.

۲۹- گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$Sc = \frac{\nu}{D_{AB}} = \frac{\mu}{\rho D_{AB}} \Rightarrow D_{AB} = \frac{\mu}{Sc \cdot \rho} = \frac{6.94 \times 10^{-4}}{215 \times 994} = 3.2 \times 10^{-7} \frac{m^2}{s}$$

۳۰- گزینه ۱ صحیح می باشد.

با توجه به متن درس.

۳۱- برای به دست آوردن ضریب انتقال جرم با استفاده از sh نیاز به دانستن عدد Sc داریم و همچنین چگالی و ویسکوزیته هوا را نیز نداریم اطلاعات مسئله ناقص است.

۳۲- گزینه ۱ صحیح می باشد.

با توجه به متن درس.

۳۳- گزینه ۴ صحیح می باشد.

با توجه به متن درس.

۳۴- گزینه ۲ صحیح می باشد.

با توجه به متن درس.

۳۵- گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$N_A = \frac{\text{mole A}}{m^2 \cdot \text{sec}} = -\frac{1}{MA} \frac{dm}{dt} = k\Delta C_A$$

$$m = \rho V = \rho \frac{4}{3} \pi r^3 \Rightarrow dm = \rho \times 4\pi r^2 dr = \rho A \cdot dr$$

$$\Rightarrow N_A = -\frac{\rho}{M} \frac{dr}{dt} = k(C_A^* - 0) \left. \begin{array}{l} \Rightarrow -C_{avr} \frac{dr}{dt} = KC_A^* \Rightarrow dt = -\frac{C_{avr} dr}{KC_A^*} \Rightarrow \int_0^t dt = -\int_{R_0}^0 \frac{C_{avr}}{KC_A^*} dr \Rightarrow t = \frac{R_0 C_{avr}}{KC_A^*} \\ \frac{\rho}{M} = C_{avr} \end{array} \right\}$$

۳۶- گزینه ۱ صحیح می باشد.

با توجه به متن درس.

۳۷- گزینه ۱ صحیح می باشد.

با توجه به متن درس.

۳۸- گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$\frac{D+E_D}{D} = 1 + \frac{E_D}{D} \xrightarrow{\times \frac{v}{v}} 1 + \frac{v E_D}{D v} = 1 + Sc \frac{E_D}{v}$$

۳۹- گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$N_A = \frac{N_A}{\sum N_A} F \ln \frac{\sum N_A - y_{A_2}}{\sum N_A - y_{A_1}}$$

$$N_B = 0 \Rightarrow \sum N_A = N_A \left. \begin{array}{l} \Rightarrow y_{A_2} = 0 \\ \text{واکنش سریع} \end{array} \right\} \Rightarrow N_A = F \ln \frac{1}{1-0.1} \Rightarrow F \ln \frac{1}{0.9} = 4.6 \times 10^{-6} \Rightarrow F = 4.366 \times 10^{-5} \frac{\text{kmol}}{m^2 \cdot s}$$

۴۰- گزینه ۳ صحیح می باشد.

با توجه به متن درس. 0020

فصل چهارم

انتقال جرم بین فازها

۱-۴ مقدمه

همان طور که در فصل اول اشاره شد، در اغلب فرایندهای انتقال جرم، دو فاز غیرمحلول در یکدیگر را به منظور انتقال مواد موجود در بین آنها، در تماس با هم قرار می‌دهند. نیروی محرکه انتقال جرم در یک فاز اختلاف غلظت است اما نیروی محرکه انتقال جرم بین دو فاز دوری از شرایط تعادل است که معیار تعادل در انتقال جرم، اختلاف پتانسیل شیمیایی می‌باشد به همین جهت شناخت شرایط تعادل دو فاز در انتقال جرم از اهمیت زیادی برخوردار است.

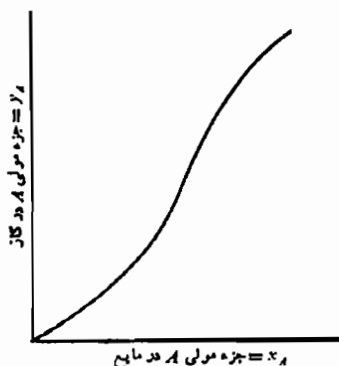
۲-۴ تعادل

تعادل انواع مختلفی دارد

تعادل دمایی: وقتی دما در دو طرف فصل مشترک دو فاز یکسان باشد تعادل دمایی بین دو فاز وجود دارد

تعادل فشاری: وقتی فشار در دو طرف فصل مشترک دو فاز یکسان باشد تعادل فشاری بین دو فاز وجود دارد

تعادل جرمی: وقتی پتانسیل شیمیایی در دو طرف فصل مشترک دو فاز یکسان باشد تعادل جرمی بین دو فاز وجود دارد در این حالت ممکن است انتقال جرم بین دو فاز وجود داشته باشد ولی نرخ انتقال جرم از فاز یک به فاز دو دقیقاً برابر با نرخ انتقال جرم از فاز 2 به فاز یک می‌باشد و به همین جهت گفته می‌شود تعادل از نوع پویا «دینامیکی» می‌باشد این بدان مفهوم است که در شرایط دما و فشار مشخص غلظت هر جزء در هر فاز مقدار معینی می‌باشد حال اگر غلظت یک جزء را در یک فاز افزایش دهیم تعادل به هم خورده و پس از گذشت زمان کافی تعادل جدیدی برقرار می‌شود که غلظت‌های جدید نسبت به غلظت‌های قبلی فرق می‌کند. بنابراین در حالت تعادل، به ازای هر غلظتی در یک فاز، غلظتی متناسب با آن در فاز دیگر داریم یعنی رابطه یک به یک بین غلظت‌ها در هر فاز برقرار است اگر یکی از فازها گاز و فاز دیگر مایع باشد و جزء نفوذکننده را با A نشان دهیم رابطه بین $-y_A$ جزء مولی A در فاز گاز - x_A جزء مولی A در مایع - می‌تواند به صورت شکل زیر باشد. البته لازم به ذکر است که با تغییر دما و فشار شکل جدیدی به وجود می‌آید.



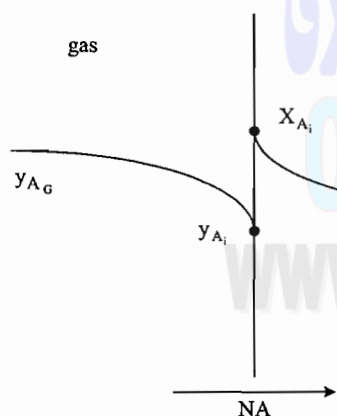
منحنی تعادل برای توزیع جزء A بین فاز گاز و فاز مایع در حال تماس در دما و فشار ثابت

نکته : غلظت‌های در حال تعادل به معنی یکسان بودن غلظت‌ها نیست بلکه غلظت‌های تعادلی معرف شرایطی هستند که پتانسیل شیمیایی جزء حل شونده در هر دو فاز یکسان می‌باشد.

$$\mu_i^\alpha = \mu_i^B$$

نکته : همیشه غلظت در فصل مشترک دو فاز را غلظت‌های تعادلی در نظر می‌گیریم هر چند که دو فاز در حال تعادل نباشند

۳-۴ انتقال جرم بین دو فاز



دو فاز گاز (سبک) و مایع (سنگین) را در نظر می‌گیریم که ماده A از فاز سبک به فاز سنگین منتقل می‌شود برای انتقال ماده A از فاز سبک به فاز سنگین، باید یک گرادیان غلظت در جهت انتقال جرم در درون هر یک از فازها وجود داشته باشد همان طور که مشاهده می‌کنید $y_{A,i} < y_{A,G}$ و $x_{A,L} < x_{A,i}$

شکل بالا براساس نظریه لوویس - واتیمن (نظریه اثر دو مقاومت) رسم شده است که در این نظریه فرض می‌شود که مقاومت‌های نفوذی فقط در داخل فازها واقع هستند و مقاومتی در سطح مشترک دو فاز در برابر انتقال جرم وجود ندارد در نتیجه $y_{A,i}$ و $x_{A,i}$ غلظت‌های تعادلی در دما و فشار سیستم می‌باشند بنابراین با فرض پایابودن انتقال جرم می‌توانیم برای هر فاز شار انتقال جرم را بدست آوریم

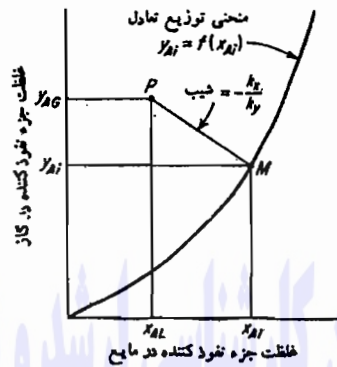
$$\left. \begin{aligned} N_A &= k_y (y_{A,G} - y_{A,i}) \\ N_A &= k_x (x_{A,i} - x_{A,L}) \end{aligned} \right\} \Rightarrow k_y (y_{A,G} - y_{A,i}) = k_x (x_{A,i} - x_{A,L})$$

که معادله اخیر را می‌توان به شکل زیر نوشت

$$\frac{y_{AG} - y_{Ai}}{x_{AL} - x_{Ai}} = -\frac{k_x}{k_y}$$

که معادله خطی است که از نقاط $P | y_{AG}^{x_{AL}}$ ، $M | y_{Ai}^{x_{Ai}}$ با شیب $-\frac{k_x}{k_y}$ عبور می‌کند

نقطه M روی منحنی تعادلی قرار دارد چون y_{Ai}, x_{Ai} غلظت‌های تعادلی می‌باشند به خط PM خط نیروی محرکه یا Driving force می‌گویند



نمایش نقطه‌ای چون P در مختصات غلظت‌ها

نکته : با توجه به دو معادله (۱) $\frac{y_{AG} - y_{Ai}}{x_{AL} - x_{Ai}} = -\frac{k_x}{k_y}$ و (۲) معادله منحنی تعادل $y_{Ai} = f(x_{Ai})$ می‌توانیم دو مجهول را بدست آوریم.

نکته : شیب خط PM بین صفر تا منهای بی‌نهایت تغییر می‌کند وقتی خط PM دارای شیب صفر است در این حالت y_{Ai} برابر y_{AG} می‌باشد یعنی در فاز گاز انتقال جرمی رخ نمی‌دهد و وقتی خط PM دارای شیب منهای بی‌نهایت باشد در این حالت x_{Ai} برابر x_{AL} می‌باشد یعنی در فاز مایع انتقال جرمی رخ نمی‌دهد

مثال : منحنی تعادل در فاز گاز به صورت $P_A = 40x_A$ (بر حسب bar است) داده شده است. در یک نقطه از برج فشار جزئی گاز A برابر است با $P_{Ab} = 0.3 \text{ bar}$ و کسر مولی در فاز مایع برابر است با $x_{Ab} = 0.007$ می‌باشد اگر $k_x = 1.200 \times 10^{-3} \frac{\text{kmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$ و

$k_G = 1.471 \times 10^{-3} \frac{\text{kmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{bar}}$ را داشته باشیم فشار تعادلی در فصل مشترک گاز و مایع چند بار خواهد بود؟ (مهندس شیمی ۷۲)

۰.۴۵۰ (۴)

۰.۳۹۳ (۳)

۰.۳۵۱ (۲)

۰.۳۰۰ (۱)

حل : گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$N_A = k_G (P_{AG} - P_{Ai}) = k_x (x_{Ai} - x_{AL}) \Rightarrow \frac{P_{AG} - P_{Ai}}{x_{AL} - x_{Ai}} = -\frac{k_x}{k_G}$$

$$\Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \frac{0.3 - P_{Ai}}{0.007 - x_{Ai}} = -\frac{1.200 \times 10^{-3}}{1.471 \times 10^{-3}} \\ P_{Ai} = 40 x_{Ai} \end{array} \right\} \Rightarrow P_{Ai} = 0.3$$

۴-۴ ضرایب کلی انتقال جرم

x_{AL} و y_{AG} غلظت در توده گاز و مایع می‌باشند که همواره معلوم و یا قابل اندازه‌گیری می‌باشند. k_y, k_x ضرایب انتقال جرم را نیز می‌توان از مباحث مطرح شده فصل قبل بدست آورد. ولی x_{Ai} و y_{Ai} غلظت‌های موجود در فصل مشترک می‌باشند و با استفاده از وسایل اندازه‌گیری موجود قادر به تعیین آن‌ها نمی‌باشیم.

چون فصل مشترک، صفحه‌ای به ضخامت صفر می‌باشد و گرادیان غلظت در اطراف فصل مشترک بیشتر از هر جا می‌باشد از این رو اندازه‌گیری دقیق غلظت‌ها در فصل مشترک عملاً غیرممکن است. این مشکل را در انتقال حرارت هم داشتیم که اندازه‌گیری دقیق دما در فصل مشترک دو فاز غیرممکن بود. در انتقال حرارت با تعریف ضریب کلی انتقال حرارت (u) مشکل را حل کردیم در انتقال جرم هم می‌توانیم با تعریف ضریب کلی انتقال جرم K مشکل اندازه‌گیری غلظت در فصل مشترک را حل کنیم که به صورت زیر تعریف می‌شوند

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

$$N_A = K_x (x_A^* - x_{AL})$$

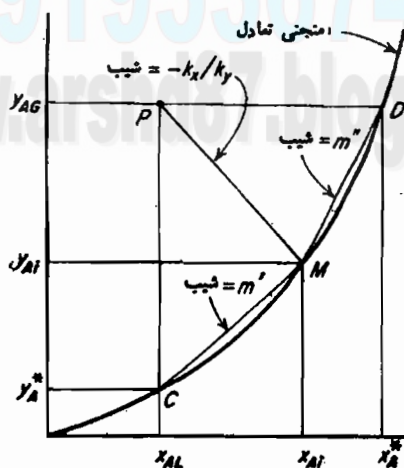
که:

y_A^* : آن غلظتی از جزء A در فاز گاز است که با غلظت جزء A در توده مایع یعنی x_{AL} در حال تعادل است

x_A^* : آن غلظتی از جزء A در فاز مایع است که با غلظت جزء A در توده گاز یعنی y_{AG} در حال تعادل است.

K_y : ضریب کلی انتقال جرم فاز گاز

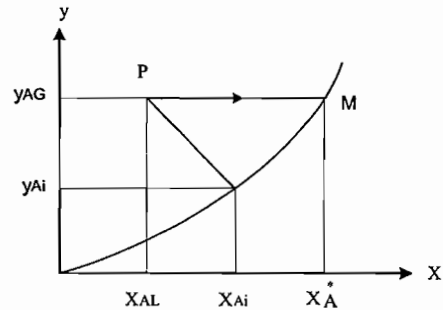
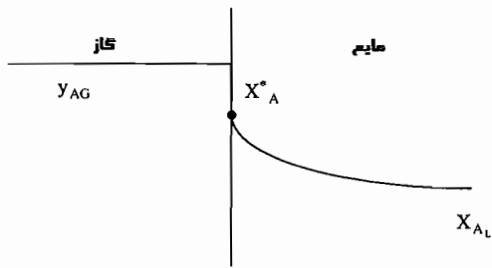
K_x : ضریب کلی انتقال جرم فاز مایع



مقدار x_A^* و y_A^* و ارتباط آن‌ها با غلظت‌های توده دوفاز

همان طور که در بخش قبلی ذکر شد شیب خط نیروی محرکه PM از صفر تا منهای بی‌نهایت می‌تواند تغییر کند حال دو حالت حدی زیر را در نظر می‌گیریم

حالت حدی یک: شیب خط نیروی محرکه برابر صفر باشد یعنی فرض کنیم تمام مقاومت در مقابل انتقال جرم در فاز مایع باشد و در فاز گاز، گرادیان غلظت وجود نداشته باشد.



$$\frac{k_x}{k_y} = 0 \Rightarrow \frac{1}{k_x} = \infty$$

$$N_A = K_x (x_A^* - x_{AL}) \left\{ \begin{array}{l} (x_A^* - x_{AL}) > (x_{Ai} - x_{AL}) \Rightarrow K_x < k_x \\ (x_A^* - x_{AL}) < (x_{Ai} - x_{AL}) \Rightarrow K_x > k_x \end{array} \right.$$

حالت حدی ۲: شیب خط نیروی محرکه برابر منهای بی‌نهایت باشد یعنی فرض کنیم تمام مقاومت در مقابل انتقال جرم در فاز گاز باشد و در فاز مایع گرادیان غلظت وجود نداشته باشد.



$$\frac{k_x}{k_y} = \infty \Rightarrow k_y \rightarrow 0, \frac{1}{k_y} = \infty$$

$$N_A = k_y (y_{AG} - y_A^*) \left\{ \begin{array}{l} (y_{AG} - y_A^*) > (y_{AG} - y_{Ai}) \Rightarrow K_y < k_y \\ (y_{AG} - y_A^*) < (y_{AG} - y_{Ai}) \Rightarrow K_y > k_y \end{array} \right.$$

نکته: حداکثر نیروی محرکه در فاز مایع $(x_A^* - x_{AL})$ و در فاز گاز $(y_{AG} - y_A^*)$ می‌باشد

نکته: اگر منحنی تعادل به صورت خطی با شیب m باشد (یعنی $y_{Ai} = mx_{Ai}$) در این صورت داریم

$$y_A^* = mx_{AL}, \quad x_A^* = \frac{y_{AG}}{m}$$

مثال: اگر تمام مقاومت در برابر انتقال جرم در فاز مایع باشد غلظت جزء A در مجاورت فصل مشترک برابر است با

$$x_{AL} \quad (۴) \qquad y_{AG} \quad (۳) \qquad y_{Ai} \quad (۲) \qquad y_A^* \quad (۱)$$

نکته: اگر منحنی تعادل به صورت خطی با شیب m باشد یعنی $y_{Ai} = mx_{Ai}$ در این صورت داریم

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

$$N_A = k_y (y_{AG} - y_{Ai})$$

$$N_A = k_x (x_{Ai} - x_{AL})$$

$$y_{AG} - y_A^* = y_{AG} - y_{Ai} + y_{Ai} - y_A^*$$

$$\frac{N_A}{K_y} = \frac{N_A}{k_y} + m(x_{Ai} - x_{AL})$$

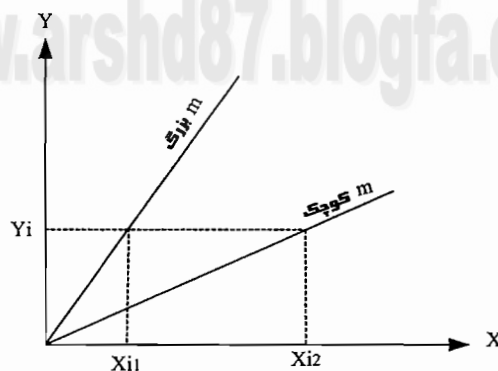
$$\frac{N_A}{K_y} = \frac{N_A}{k_y} + \frac{m \cdot N_A}{k_x} \Rightarrow \frac{1}{K_y} = \frac{1}{k_y} + \frac{m}{k_x}$$

و به همین ترتیب داریم:

$$\frac{1}{K_x} = \frac{1}{k_x} + \frac{1}{mk_y}$$

نکته: هر چند که K_x, K_y ضریب کلی انتقال جرم می‌باشند ولی لزومی ندارد که با هم مساوی باشند (K_y ضریب کلی انتقال جرم نسبت به فاز گاز و K_x ضریب کلی انتقال جرم نسبت به فاز مایع)

نکته: هر چه شیب خط تعادل m بزرگتر باشد حلالیت گاز در فاز مایع کمتر خواهد بود و هر چه m کوچک باشد حلالیت گاز در مایع بیشتر خواهد بود.



۱-۴-۴ مقاومت

در انتقال حرارت با مفهوم مقاومت آشنا شدیم که به صورت زیر تعریف می‌شود

$$q = \frac{\Delta T}{\frac{1}{k}} \quad \text{یا} \quad q = \frac{\Delta T}{\frac{1}{h}}$$

$$\leftarrow \frac{1}{k} \quad \text{یا} \quad \frac{1}{h} \quad \leftarrow \text{مقاومت}$$

در انتقال جرم نیز مقاومت به صورت زیر تعریف می‌شود

$$N_A = k \Delta x \Rightarrow N_A = \frac{\Delta x}{\frac{1}{k}}$$

$$\leftarrow \frac{1}{k} \quad \leftarrow \text{مقاومت انتقال جرم}$$

$$\text{مقاومت در فاز گاز} : \frac{1}{k_y}$$

$$\text{مقاومت در فاز مایع} : \frac{1}{k_x}$$

$$\text{مقاومت کل بر مبنای فاز گاز} : \frac{1}{K_y}$$

$$\text{مقاومت کل بر مبنای فاز مایع} : \frac{1}{K_x}$$

نکته : مقاومت فاز گاز کنترل کننده می باشد $\frac{1}{K_y} \approx \frac{1}{k_y} \Rightarrow \frac{1}{k_y} \gg \frac{m}{k_x}$ اگر

مقاومت فاز مایع کنترل کننده می باشد $\frac{1}{K_x} \approx \frac{1}{k_x} \Rightarrow \frac{1}{k_x} \gg \frac{1}{mk_y}$ اگر

نکته : اگر k_y, k_x تقریباً با هم برابر باشند:

حالت ۱: ← اگر m کوچک باشد یعنی حلالیت گاز در مایع زیاد باشد در این صورت مقاومت فاز گاز کنترل کننده می باشد

$$\frac{1}{K_y} \approx \frac{1}{k_y}$$

حالت ۲: ← اگر m بزرگ باشد یعنی حلالیت گاز در مایع کم باشد در این صورت مقاومت فاز مایع کنترل کننده می باشد

$$\frac{1}{K_x} \approx \frac{1}{k_x}$$

نکته : اگر m مقدار متوسطی داشته باشد $1 \leq m \leq 8$ در این صورت:

$$\text{حالت ۱} : \text{اگر } k_x \gg k_y \Rightarrow \frac{1}{K_y} \approx \frac{1}{k_y}$$

$$\text{حالت ۲} : \text{اگر } k_x \ll k_y \Rightarrow \frac{1}{K_x} \approx \frac{1}{k_x}$$

نکته : برای مقایسه کمی نسبت مقاومت هر فاز از روابط زیر استفاده می کنیم، همان طور که مشاهده می کنید برای مقایسه کمی، به

پارامترهای $\left(\frac{k_x}{k_y}, m \right)$ نیاز داریم. اگر فقط $\frac{k_x}{k_y}$ یا فقط m را داشته باشیم مقایسه نسبت مقاومت هر فاز به صورت کیفی

می باشد.

$$\text{درصد مقاومت فاز گاز} = \frac{\frac{1}{k_y}}{\frac{1}{K_y}} \times 100$$

$$\text{درصد مقاومت فاز مایع} = \frac{\frac{1}{k_x}}{\frac{1}{K_x}} \times 100$$

$$\text{نسبت مقاومت فاز مایع به فاز گاز} = \frac{mk_y}{k_x}$$

مثال : در یک سیستم انتقال جرم گاز - مایع، منحنی تعادل به صورت $y = 50x$ می‌باشد و $(k_x = k_y)$ است کدام گزینه در مورد

مقاومت انتقال جرم صحیح است؟

(۱) بیشتر مقاومت در فاز مایع است

(۳) بیشتر مقاومت در فاز گاز است.

(۲) مقاومت فاز مایع ۵۰ برابر مقاومت فاز گاز است

(۴) مقاومت‌های هر دو فاز با هم برابرند

حل : گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

با توجه به این که هر دو پارامتر m و $\frac{k_x}{k_y}$ را داریم باید مقایسه کمی انجام دهیم

$$\text{درصد مقاومت فاز مایع به فاز گاز} = \frac{mk_y}{k_x} = 50$$

مثال : در یک سیستم انتقال جرم گاز - مایع، منحنی تعادل به صورت $y = 50x$ می‌باشد، کدام گزینه در مورد مقاومت انتقال جرم

(مهندس شیمی ۸۰)

صحیح است؟

(۱) بیشتر مقاومت در فاز مایع است

(۳) بیشتر مقاومت در فاز گاز است.

(۲) مقاومت فاز مایع ۵۰ برابر مقاومت فاز گاز است

(۴) مقاومت‌های هر دو فاز با هم برابرند

حل : گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

چون فقط پارامتر m معلوم است و با توجه به بزرگ بودن این پارامتر، مشخص است که اکثر مقاومت در فاز مایع است

مثال : اطلاعات زیر در مورد یک برج جذب به دست آمده است، نسبت مقاومت فاز مایع به فاز گاز چه قدر است؟

$$y = 10x, x_{Ai} = 0.05, x_{AL} = 0.02, y_{AG} = 0.8$$

(۴) 0.1

(۳) 10

(۲) 2.5

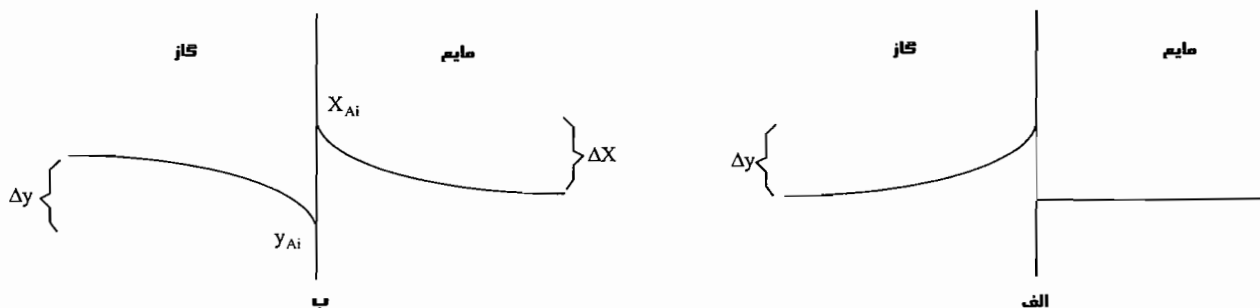
(۱) 1

حل : گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$\left. \begin{aligned} \frac{y_{AG} - y_{Ai}}{x_{AL} - x_{Ai}} &= -\frac{k_x}{k_y} \\ y_{Ai} &= 10x_{Ai} \Rightarrow y_{Ai} = 0.5 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{0.8 - 0.5}{0.02 - 0.05} = -10 = -\frac{k_x}{k_y}$$

$$\text{نسبت مقاومت فاز مایع به فاز گاز} = \frac{mk_y}{k_x} = 10 \times \frac{1}{10} = 1$$

مثال : در شکل‌های زیر به ترتیب بیشتر مقاومت در برابر انتقال جرم در کدام فاز می‌باشد



(۴) گاز - مایع

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

(۲) مایع - مایع

(۱) گاز - گاز

حل : گزینه ۱ صحیح می باشد.

در شکل الف با توجه به این که در فاز مایع گردایان غلظت وجود ندارد ($\Delta x = 0 \Rightarrow k_x \rightarrow \infty$) پس بیشتر مقاومت در فاز گاز می باشد در شکل ب تغییر غلظت هر دو فاز با هم برابر می باشد پس $k_x = k_y$ در نتیجه مقدار m تعیین کننده مقاومت کنترل کننده می باشد.

با توجه به شکل $y_{Ai} < x_{Ai}$ پس $m < 1$ می باشد در نتیجه مقاومت فاز گاز بیشتر از فاز مایع است

نکته : اگر منحنی تعادل به صورت خطی و با شیب m باشد داریم:

الف) رابطه $K_x = mK_y$ همواره برقرار است.

ب) اگر مقاومت دو فاز با هم برابر باشد رابطه $k_x = mk_y$ نیز برقرار است

مثال : در صورتی که شدت انتقال جرم توسط فاز مایع در مجاورت با فاز گاز کنترل شود و خط تعادل دارای شیب دو برابر واحد باشد، کدامیک از روابط زیر صحیح است؟

$$2K_x = K_y = k_x \quad (۴) \quad K_x = 2K_y = k_x \quad (۳) \quad K_x = K_y = 2k_x \quad (۲) \quad K_y = k_x + k_y \quad (۱)$$

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

با توجه به نکته بالا: $K_x = 2K_y$

و با توجه به این که مقاومت فاز مایع کننده می باشد: $K_x = k_x$

نکته : اگر در یک فرایند گاز و مایع، تغییر دما موجب ایجاد تغییر قابل ملاحظه ای در میزان انتقال جرم بشود در این صورت بیشتر مقاومت در برابر انتقال جرم در فاز مایع می باشد چون تاثیر دما بر ضریب انتقال جرم فاز مایع بیشتر از ضریب مربوط به فاز گاز است

نکته : اگر یکی از فازهای موجود در انتقال جرم، جامد باشد، عموماً بیشتر مقاومت در مقابل انتقال جرم در این فاز است و موثرترین راه برای افزایش میزان انتقال جرم، ریزکردن ذرات جامد می باشد.

۴-۲-۴ ضرایب انتقال جرم محلی F

در فصل قبل دیدیم که در مواردی باید از ضرایب F استفاده کنیم روابط زیر را در مورد ضرایب F داریم

(۱) ضرایب انتقال جرم محلی

$$N_A = \frac{N_A}{\sum N_i} F_G \ln \frac{\frac{N_A}{\sum N_i} - y_{Ai} \rightarrow \text{خاتمه}}{\frac{N_A}{\sum N_i} - y_{AG} \rightarrow \text{شروع}}$$

$$N_A = \frac{N_A}{\sum N_i} F_L \ln \frac{\frac{N_A}{\sum N_i} - x_{AL} \rightarrow \text{خاتمه}}{\frac{N_A}{\sum N_i} - x_{Ai} \rightarrow \text{شروع}}$$

$$\left[\frac{\frac{N_A}{\sum N_i} - y_{Ai}}{\frac{N_A}{\sum N_i} - y_{AG}} = \frac{\frac{N_A}{\sum N_i} - x_{AL}}{\frac{N_A}{\sum N_i} - x_{Ai}} \right] \frac{F_L}{F_G}$$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

$$N_A = \frac{N_A}{\sum N_i} F_{OG} \ln \frac{\frac{N_A}{\sum N_i} - y_A^*}{\frac{N_A}{\sum N_i} - y_{AG}}$$

$$N_A = \frac{N_A}{\sum N_i} F_{OL} \ln \frac{\frac{N_A}{\sum N_i} - x_{AL}}{\frac{N_A}{\sum N_i} - x_A^*}$$

$$\left[\frac{\frac{N_A}{\sum N_i} - y_A^*}{\frac{N_A}{\sum N_i} - y_{AG}} = \frac{\frac{N_A}{\sum N_i} - x_{AL}}{\frac{N_A}{\sum N_i} - x_A^*} \right]^{\frac{F_{OL}}{F_{OG}}}$$

در حالت نفوذ متقابل با مولهای برابر ($\sum N_i = 0$) و یا در محلولهای بسیار رقیق $x_A \rightarrow 0$ داریم:

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

m: شیب خط تعادل

$$\frac{1}{F_{OL}} = \frac{1}{F_L} + \frac{1}{mF_G}$$

(بیوتکنولوژی ۸۲)

مثال: رابطه $\frac{1}{F_{OG}} = \frac{1}{F_G} + \frac{m'}{F_L}$

(۱) براساس تئوری دو فیلمی همواره برقرار است.

(۲) براساس تئوری دو فیلمی وقتی که $\sum N = 0$ است برقرار است

(۳) براساس تئوری دو فیلمی وقتی که $\sum N = N_A$ است برقرار است

(۴) این رابطه در هیچ شرایطی برقرار نبوده بلکه فقط رابطه $\frac{1}{K_y} = \frac{1}{k_y} + \frac{m'}{k_x}$ براساس تئوری دو فیلمی همواره برقرار است.

حل: گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

منظور از تئوری دو فیلمی همان تئوری لوویس - وایتمن یا تئوری دو مقاومتی می‌باشد.

۵-۴ واحدهای عملیاتی

در انتقال حرارت، مبدل‌های حرارتی باعث انتقال حرارت بین دو فازی - دو سیال - می‌شوند که درجه حرارت آن‌ها متفاوت می‌باشد در واحدهای عملیاتی نیز انتقال جرم بین دو فازی - دو سیال - که غلظت «پتانسیل شیمیایی» یک یا چند جزء در آن‌ها متفاوت است انجام می‌گیرد.

در دستگاه انتقال جرم برعکس مبدل حرارتی دوفاز حتما باید در تماس مستقیم با هم قرار بگیرند تا انتقال جرم ممکن شود و یا آن‌که دیواره حد فاصل دو فاز نیمه تراوا باشد.

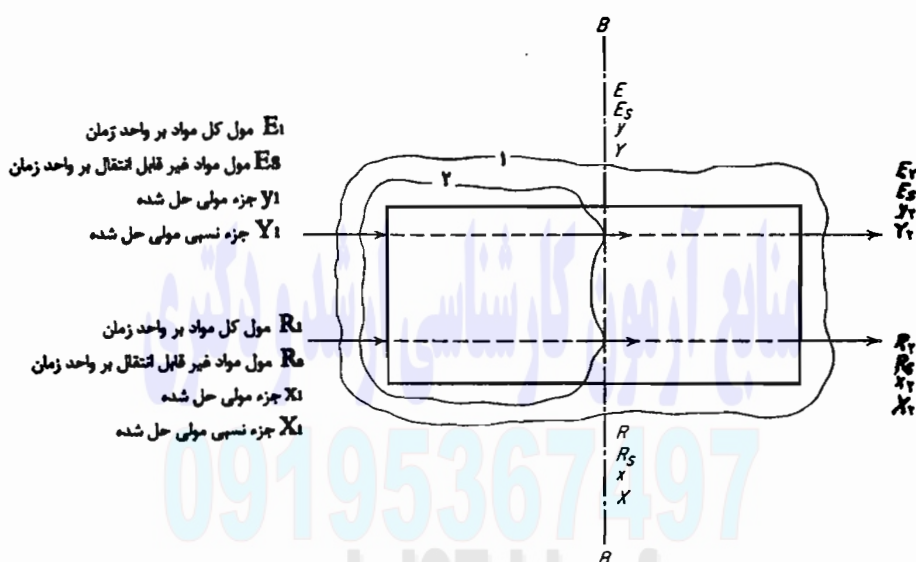
در یک دستگاه انتقال جرم، در مقاطع مختلف غلظت جزء A در هر یک از دو فاز متفاوت است لازم به ذکر است که زمان تماس دو فاز در هر مقطعی از دستگاه نامحدود نیست حال این سؤال مطرح می‌شود که غلظت جزء A در مقاطع مختلف دستگاه چگونه تغییر می‌کند؟ و اگر زمان تماس دو فاز در داخل دستگاه کم یا زیاد باشد - که البته از یک دید به معنی کوتاه یا طولانی بودن دستگاه است - غلظت جزء A در خروجی از دستگاه چه قدر است؟ و نحوه تماس دو فاز چه تاثیری بر میزان انتقال جرم دارد؟ و اصولا کدامیک از

روش‌های تماس - counter current یا cross current یا co-current - بیشتر دارد؟

برای دانستن غلظت جزء A در فازها در هر سطح مقطع دستگاه باید معادله خط تبادل یا خط کار یا operation line را پیدا کرد. خط تبادل یک دستگاه جرم، مکان هندسی غلظت جزء A در هر یک از فازها و در هر سطح مقطع از برج است و همیشه از موازنه جرم ماده حول دستگاه به دست می‌آید

۱-۴ فرایند پایا انتقال جرم با جریان‌های هم سو co-current

فرض کنید مستطیل شکل زیر یک دستگاه انتقال جرم باشد دو فاز مخلوط نشدنی E و R به صورت هم جهت وارد این دستگاه می‌شوند و در اثر این تماس جزء A از فاز R به فاز E منتقل می‌گردد. فاز سبک - معمولاً گاز - را با E و فاز سنگین - معمولاً مایع - را با R نشان می‌دهند



دستگاه انتقال جرم با جریان‌های ورودی هم جهت

حال موازنه جرم برای جزء A را حول دستگاه می‌نویسیم

انباشت + مصرف - تولید + خروجی = ورودی
فرایند پایا

$$E_1 y_1 + R_1 x_1 = E_2 y_2 + R_2 x_2$$

هر فاز از دو قسمت تشکیل شده است: یک قسمت ماده A و قسمت دیگر موادی هستند که در انتقال جرم شرکت نمی‌کنند و ما آن‌ها را مواد غیرقابل انتقال می‌نامیم - R_s, E_s -

$$E_s = E_1(1 - y_1) = E_2(1 - y_2) = E(1 - y) \Rightarrow \begin{cases} E_1 = \frac{E_s}{1 - y_1} \\ E_2 = \frac{E_s}{1 - y_2} \end{cases}$$

$$R_s = R_1(1 - x_1) = R_2(1 - x_2) = R(1 - x) \Rightarrow \begin{cases} R_1 = \frac{R_s}{1 - x_1} \\ R_2 = \frac{R_s}{1 - x_2} \end{cases}$$

و معادله موازنه جرم جزء A به صورت زیر درمی آید

$$\frac{E_s}{1-y_1} \times y_1 + \frac{R_s}{1-x_1} \times x_1 = \frac{E_s}{1-y_2} y_2 + \frac{R_s}{1-x_2} x_2$$

و داریم

$$A \text{ مول} : \frac{\text{جزء نسبی } A \text{ یا نسبت مولی } A}{\text{مول کل بدون } A}$$

$$X: \frac{x}{1-x}, \quad Y = \frac{y}{1-y}$$

$$E_s \times Y_1 + R_s \times X_1 = E_s \times Y_2 + R_s \times X_2 \Rightarrow \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = -\frac{R_s}{E_s}$$

معادله فوق، معادله خط عملیاتی یا خط کار می باشد که از دو نقطه $\left(\frac{X_1}{Y_1} \right)$ (ورودی) و $\left(\frac{X_2}{Y_2} \right)$ (خروجی) با شیب $-\frac{R_s}{E_s}$ می گذرد

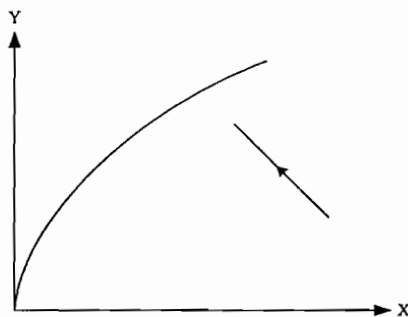


برای هر مقطع از دستگاه می توان نوشت

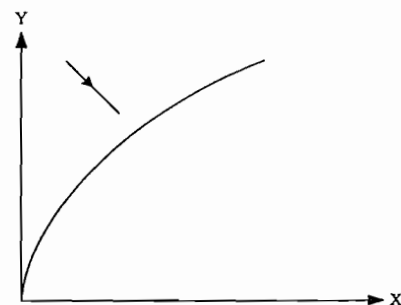
$$\frac{Y_1 - Y}{X_1 - X} = -\frac{R_s}{E_s}$$

نکته: اگر ماده A از فاز سنگین -R- به فاز سبک -E- منتقل گردد عملیات را دفع می نامیم و در این صورت خط تبادل یا خط کار زیر منحنی تعادل قرار می گیرد

نکته: اگر ماده A از فاز سبک -E- به فاز سنگین -R- منتقل گردد عملیات را جذب می نامیم و در این صورت خط تبادل یا خط کار بالای منحنی تعادل قرار می گیرد

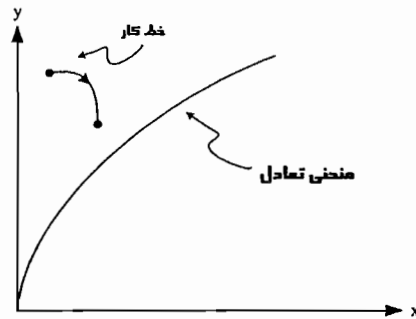


دفع



جذب

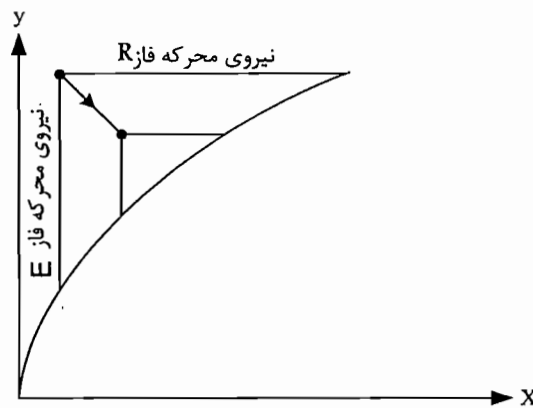
نکته : در مختصات $x-y$ خط عملیاتی به منحنی تبدیل می‌شود



نکته : هر گاه دو فاز به میزان کافی در تماس با یکدیگر قرار گیرند، خروجی‌ها می‌توانند به تعادل برسند و یک فرایند هم سو حداکثر یک مرحله تعادلی می‌باشد



نکته : مهمترین ایراد دستگاه‌های هم سو یا co-current این است که در طول دستگاه نیروی محرکه انتقال جرم در هر دو فاز R و E کاهش می‌یابد

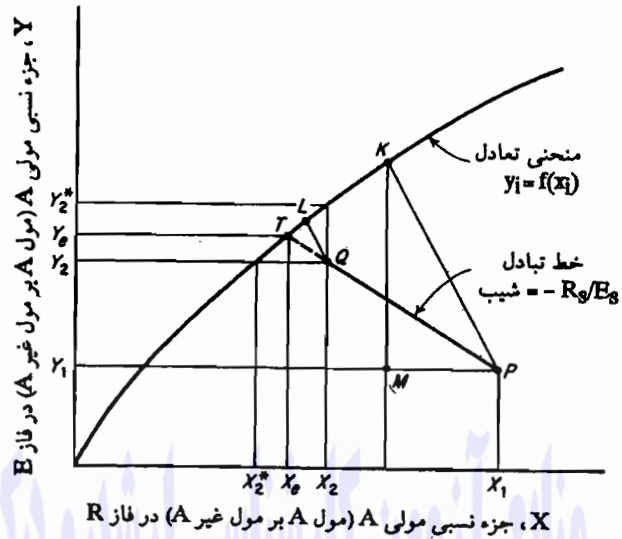


نکته : خط تبادل یا خط کار، معرف غلظت‌ها در توده هر فاز می‌باشد و ربطی به سرعت انتقال جرم ندارد یعنی اگر ما سرعت انتقال جرم را با هم زدن و یا ایجاد تلاطم بیشتر کنیم تغییری در خط تبادل ما ایجاد نمی‌شود

نکته : ایجاد تلاطم و یا افزایش دما، سرعت انتقال جرم را افزایش می‌دهد و در واقع با افزایش ضریب انتقال جرم شیب خط نیروی

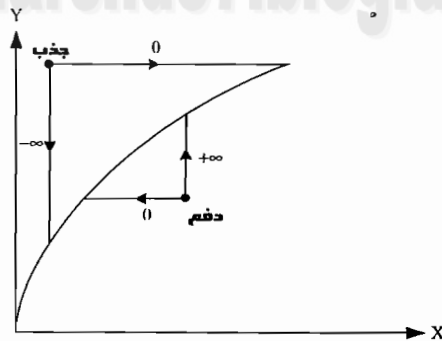
محركه - $\frac{k_x}{k_y}$ مانند KP و QL تغییر می‌کند لازم به ذکر است که نقطه K نشانگر غلظت جزء A در فصل مشترک دو فاز در

شروع فرایند می‌باشد و نقطه L نشانگر غلظت جزء A در فصل مشترک دو فاز در پایان فرایند می‌باشند

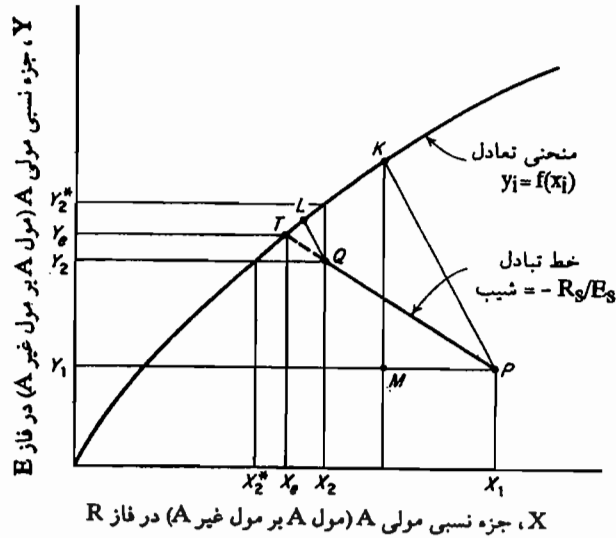


موقعیت خط تبادل و منحنی تعادل در مختصات X و Y در یک فرآیند هم‌جهت و پایا که انتقال جرم از فاز R به فاز E انجام می‌شود.

نکته : شیب خط تبادل را با تغییر مقدار R_g یا E_g می‌توان تغییر داد و در مورد فرایند جذب این شیب از صفر تا منهای بی‌نهایت و در دفع از صفر تا مثبت بی‌نهایت قابل تغییر است



نکته : دو نوع راندمان برای دستگاه‌های انتقال جرم تعریف می‌کنند



موقعیت خط تبادل و منحنی تعادل در مختصات X و Y در یک فرآیند هم‌جهت و پایا که انتقال جرم از فاز R به فاز E انجام می‌شود.

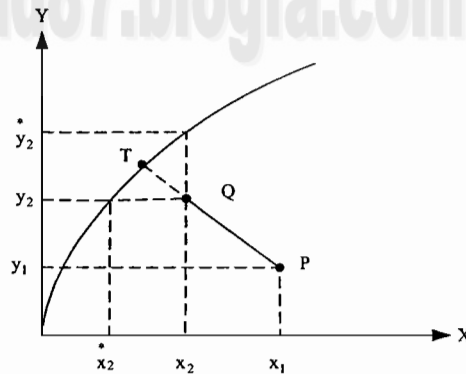
الف) نسبت مقدار واقعی انتقال جرم به مقدار ایده‌آل

$$E = \frac{\overline{PQ}}{\overline{PT}}$$

ب) راندمان مورفوری: که برابر است با نسبت تغییر غلظت بدست آمده در یک فاز هنگام خروج به تغییر غلظتی که در حال تعادل با فاز خروجی دیگر می‌توانست بدست آید

$$E_{ME} = \frac{Y_2 - Y_1}{Y_2^* - Y_1}$$

$$E_{MR} = \frac{X_1 - X_2}{X_1 - X_2^*}$$



E_{MR} و E_{ME} با یکدیگر برابر نیستند و فقط در حالتی که منحنی تعادل به صورت خطی - در مختصات X, Y - باشد با هم رابطه دارند

$$E_{ME} = \frac{E_{MR}}{E_{MR}(1-S) + S} = \frac{E_{MR}}{E_{MR}\left(1 - \frac{1}{A}\right) + \frac{1}{A}}$$

به صورت نسبت شیب خط تبادل به شیب منحنی تعادل: $A = \frac{R_s}{E_s} = \frac{R_s}{m E_s}$: به صورت نسبت شیب خط تبادل به شیب منحنی تعادل می‌شود و ضریب جذب نام دارد

به صورت نسبت شیب خط تعادل به شیب خط تبادل تعریف می شود و ضریب دفع نام دارد.
$$S = \frac{m}{R_s} = \frac{mE_s}{R_s}$$

$$A = \frac{1}{s}$$

نکته: روابط زیر در تبدیل دو مختصات «x,y» و «X,Y» مفید می باشد

$$\text{اگر } y = mx = \frac{Y}{1+Y} = m \frac{X}{1+X} \Rightarrow Y = \frac{mX}{1+(1-m)X}$$

$$\text{اگر } Y = mX = \frac{y}{1-y} = m \frac{x}{1-x} \Rightarrow y = \frac{mx}{1+(m-1)x}$$

نکته: اگر مقدار A موجود در فازها آن قدر کم باشد و یا به خاطر نفوذ متقابل اجزاء مختلف نسبت $\frac{R}{E}$ تقریباً ثابت بماند - در این صورت حتی در مختصات (y,x) هم معادله خط تبادل، خطی خواهد بود
 $E = E_s, R = R_s$

درصد جداسازی: بر مبنای فاز دهنده مشخص می شود و به صورت زیر تعریف می شود

در جذب:

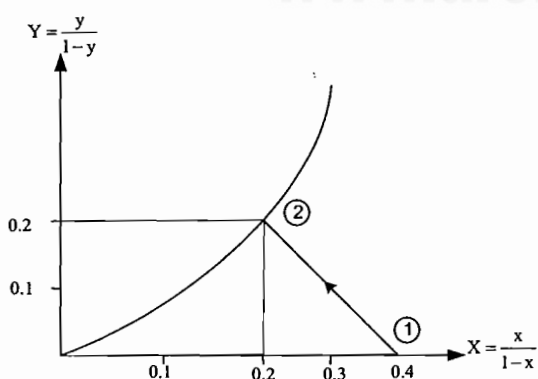
$$\text{درصد جداسازی} = \frac{E_1 y_1 - E_2 y_2}{E_1 y_1} \times 100 = \frac{\frac{E_s}{1-y_1} \times y_1 - \frac{E_s}{1-y_2} \times y_2}{\frac{E_s y_1}{1-y_1}} \times 100 = \frac{Y_1 - Y_2}{Y_1} \times 100$$

و در دفع:

$$\text{درصد جداسازی} = \frac{X_1 - X_2}{X_1} \times 100$$

مثال: در شکل زیر انتقال جرم از فاز مایع به گاز در یک مرحله انجام می گیرد «1 به 2» درصد جداسازی در این مرحله چقدر است

(مهندس شیمی (۸)



50(۲)

20(۱)

۴) قابل محاسبه نیست.

100(۳)

حل: گزینه ۲ صحیح می باشد.

با توجه به متن سؤال و این که خط تبادل زیر منحنی تعادل است: فرایند دفع می باشد و داریم

$$\text{درصد جداسازی} = \frac{X_1 - X_2}{X_1} \times 100 = \frac{0.4 - 0.2}{0.4} \times 100 = 50$$

نکته: فرایندهای ناپیوسته یا Batch نوعی فرایند هم سو یا co-current به حساب می آیند که در آنها X_1, Y_1 غلظت جزء A در

مثال : 20 گرم زغال صاف در یک ظرف 10 لیتری محتوی هوا و آمونیاک با دمای 30°C و فشار یک اتمسفر قرار گرفته و قرار است آمونیاک موجود در هوا جذب زغال فعال شود ، ضریب زاویه خط عملیاتی operating line برای این مورد برابر است با : (فشار جزئی آمونیاک در ظرف در شروع عملیات 60mmHg است)

(مهندس شیمی ۸۴)

$$+1.86 \text{ (۴)} \quad +0.537 \text{ (۳)} \quad -1.86 \text{ (۲)} \quad -0.537 \text{ (۱)}$$

حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

همان طور که گفته شد، فرایند Batch نوعی فرایند co-current محسوب می شود پس داریم

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

$$\Rightarrow R_s = 20 \text{ gr} \quad \text{در ابتدا دارای آمونیاک نمی باشد} \rightarrow \text{زغال فعال} \rightarrow \text{جزء سنگین}$$

هوا \rightarrow جزء سبک

$$PV = nRT \Rightarrow PV = \frac{m}{M} RT \Rightarrow m = \frac{PVM}{RT}$$

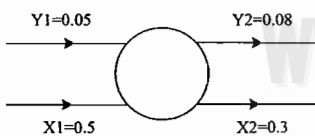
$$P = 760 - 60 = 700 \text{ mmHg} \quad \text{فشار هوای خالص موجود}$$

$$\parallel \\ 1 \text{ atm}$$

$$P = \rho gh = 13600 \times 10 \times 0.7 = 93.33 \times 10^3 \text{ Pa}$$

$$\Rightarrow m = \frac{PVM}{RT} = \frac{93.33 \times 10^3 \times 0.01 \times 29}{8.314 \times 303} = 10.74 \text{ gr} = E_s \Rightarrow -\frac{R_s}{E_s} = -\frac{20}{10.74} = -1.86$$

مثال : برای مرحله نشان داده شده در شکل بازده مورفری در فاز گاز $E_{(ME)}$ با (منحنی تعادل $Y, X, Y = 0.5X$ غلظت بر مبنای عاری از جزء نفوذکننده)



$$30\% \text{ (۲)} \quad 60\% \text{ (۱)}$$

$$50\% \text{ (۴)} \quad 15\% \text{ (۳)}$$

حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$E_{ME} = \frac{Y_2 - Y_1}{Y_2^* - Y_1} = \frac{0.08 - 0.05}{0.15 - 0.05} = 0.3$$

$$Y_2^* = mX_2 = 0.5 \times 0.3 = 0.15$$

مثال : در یک سیستم ، رابطه خط کار و منحنی تعادل به صورت $Y = 3X + 1$ ، $Y = \frac{1}{2}X$ می باشند رابطه بین بازده مورفری بر

مبنای فاز گاز « E_{ME} » و بازده مورفری بر مبنای فاز مایع « E_{MR} » کدام است

$$E_{MR} = \frac{E_{ME}}{6 - 5E_{ME}} \text{ (۴)}$$

$$E_{MR} = \frac{E_{ME}}{6 - 6E_{ME}} \text{ (۳)}$$

$$E_{ME} = \frac{E_{MR}}{\frac{5}{6}E_{MR} + 1} \text{ (۲)}$$

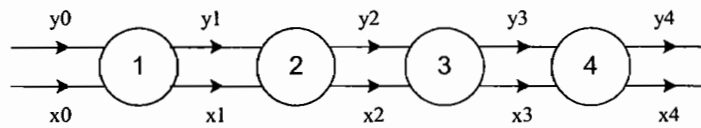
$$E_{ME} = \frac{E_{MR}}{6 - 5E_{MR}} \text{ (۱)}$$

حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$\left. \begin{aligned} E_{ME} &= \frac{E_{MR}}{E_{MR}(1-S) + S} \\ S &= \frac{mE_s}{R_s} = \frac{1}{2} \times \frac{1}{3} = \frac{1}{6} \end{aligned} \right\} \Rightarrow E_{ME} = \frac{E_{MR}}{E_{MR} \left(1 - \frac{1}{6} \right) + \frac{1}{6}} = \frac{E_{MR}}{\frac{5}{6}E_{MR} + \frac{1}{6}} \Rightarrow \frac{5}{6}E_{MR} \times E_{ME} + \frac{1}{6}E_{MR} = E_{MR}$$

$$\Rightarrow E_{MR} = \frac{E_{ME}}{6 - 5E_{ME}}$$

نکته: در مجموعه‌ای از واحدهای پشت سرهم با جریان هم‌سو، رفتار کلی مجموعه نمی‌تواند بالاتر از یک واحد تعادلی گردد



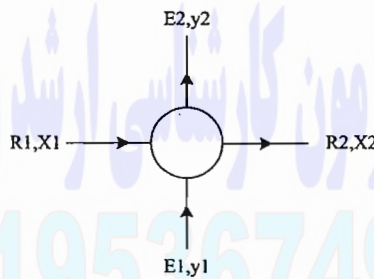
مثال: در یک دستگاه انتقال جرم با جریان هم‌سو به چند واحد تعادلی می‌توان دست یافت؟ (مهندس شیمی ۷۵ و بیوتکنولوژی ۸۵)

- (۱) یک واحد و نه بیشتر
- (۲) بی‌نهایت به شرط کم بودن حجم
- (۳) متعدد به شرط زیادبودن حجم
- (۴) بی‌نهایت به شرط زیادبودن حجم

حل: گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

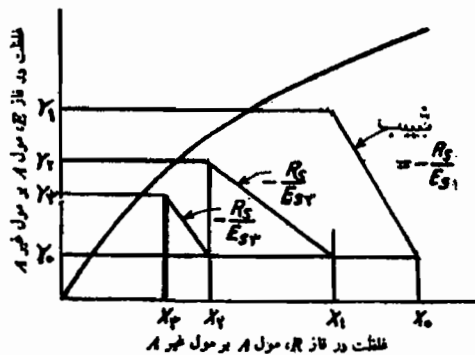
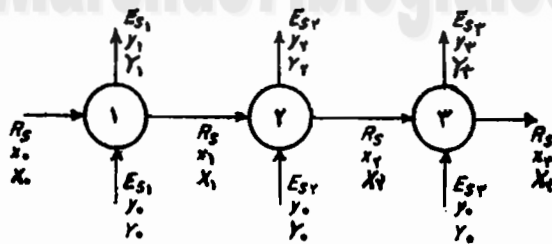
۲-۵-۴ فرایند پایا انتقال جرم با جریان متقاطع cross - current

در شکل زیر یک فرایند با جریان متقاطع یک مرحله‌ای نشان داده شده است که همانند جریان هم‌سو با نوشتن موازنه جرم برای جزء A به معادله زیر می‌رسیم:



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

لازم به ذکر است که از این نحوه تماس فازها در واحدهای پشت سرهم استفاده می‌شود



همان طور که اشاره شد در جریان‌های هم‌سو در طول دستگاه، نیروی محرکه برای انتقال جرم کاهش می‌یافت که با افزایش تعداد واحدهای هم‌سو نیز نمی‌توانستیم این ایراد را از بین ببریم مجموعه‌ای از واحدهای متقاطع مشکل کاهش نیروی محرکه در طول دستگاه در جریان هم‌سو را به نوعی حل می‌کند فاز R از واحدی به واحد دیگر جاری می‌شود و در هر واحد با جریان تازه‌ای از فاز E تماس می‌یابد البته ممکن است شدت جریان فاز E در واحدهای مختلف متفاوت باشد.

نکته: از مجموعه با جریان‌های متقاطع، در فرایندهای جذب سطحی، استخراج از جامد، خشک کردن و استخراج با حلال مایع استفاده می‌شود.

معادلات خطوط کار برای سه مرحله نشان داده شده در شکل به صورت زیر می‌باشند

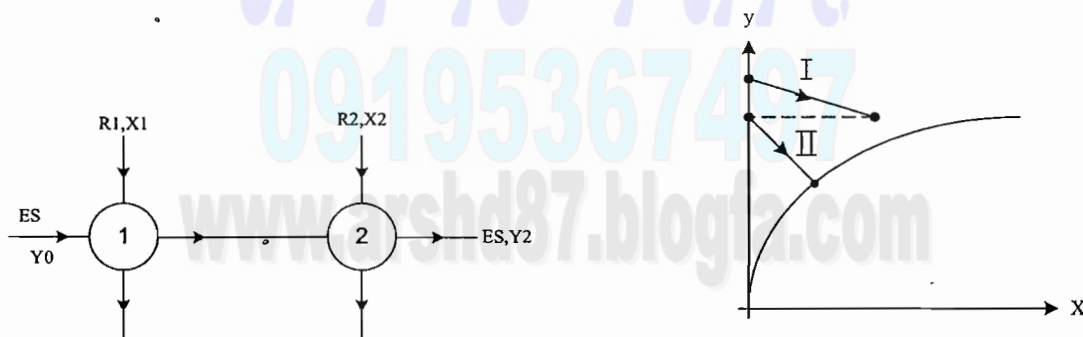
$$\text{مرحله اول: } \frac{Y_1 - Y_0}{X_1 - X_0} = -\frac{R_s}{E_{s1}}$$

$$\text{مرحله دوم: } \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = -\frac{R_s}{E_{s2}}$$

$$\text{مرحله سوم: } \frac{Y_3 - Y_2}{X_3 - X_2} = -\frac{R_s}{E_{s3}}$$

مثال: نمودار زیر در رابطه با فرایند رویه رو رسم شده است

کدامیک از گزینه‌های زیر کاملاً درست است؟



(۱) حلال یا جاذب خالص است

(۲) مرحله دوم، تعادلی است

(۳) میزان حلال مصرفی در مرحله دوم بیش از مرحله اول می‌باشد

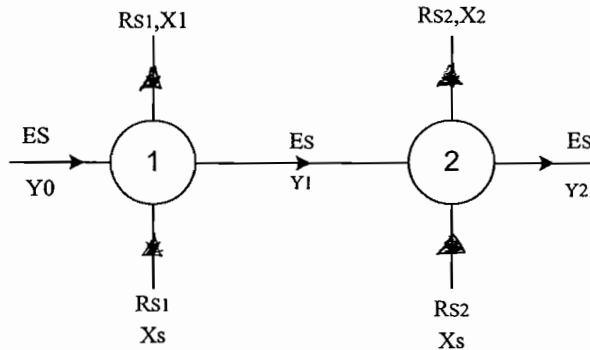
(۴) هر سه گزینه درست است

حل: گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

با توجه به نمودار در شروع هر یک از مراحل مقدار X برابر صفر بوده است پس گزینه ۱ صحیح می‌باشد و در مرحله دوم خط تبادل منحنی تعادل را قطع می‌کند پس گزینه ۲ صحیح می‌باشد و همان طور که گفته شده شیب خط کار در هر مرحله $-\frac{R_s}{E_s}$ می‌باشد که

با توجه به افزایش شیب و ثابت بودن E_s ، می‌توانیم نتیجه بگیریم که در مرحله دوم مقدار حلال بیشتری $-R$ مصرف شده است

نکته : برای یک مجموعه دو واحدی با جریان متقاطع داریم



(۱) با فرض خطی بودن منحنی تعادل یعنی: $Y = mX$

$$\left. \begin{aligned} \frac{Y_1 - Y_0}{X_1 - X_s} &= -\frac{R_{s1}}{E_s} \\ \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_s} &= -\frac{R_{s2}}{E_s} \end{aligned} \right\} \Rightarrow R_{s1} + R_{s2} = -E_s \left(\frac{Y_1 - Y_0}{X_1 - X_s} + \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_s} \right)$$

میزان حلال مصرفی برای کل مجموعه: $R_{s1} + R_{s2}$

برای مینیوم کردن میزان حلال مصرفی لازم است هر دو مرحله تعادلی باشند یعنی:

$$X_1 = \frac{Y_1}{m}$$

$$X_2 = \frac{Y_2}{m}$$

* فرض دوم: حال فرض می‌کنیم حلال ورودی در هر مرحله، خالص بوده است یعنی:

$$X_s = 0$$

در این صورت داریم

$$R_{s1} + R_{s2} = -E_s \left[\frac{Y_1 - Y_0}{\frac{Y_1}{m}} + \frac{Y_2 - Y_1}{\frac{Y_2}{m}} \right]$$

می‌خواهیم « $R_{s1} + R_{s2}$ » را مینیوم کنیم، تمام پارامترهای معادله بالا مشخص و معین است به جز Y_1

$$\text{پس } \frac{\delta(R_{s1} + R_{s2})}{\delta Y_1} = 0 \Rightarrow Y_1 = \sqrt{Y_0 Y_2}$$

اگر Y_1 متوسط هندسی Y_0, Y_2 باشد در این صورت میزان حلال مصرفی، کمینه است و داریم

$$R_{s1} = -E_s \left(\frac{\sqrt{Y_0 Y_2} - Y_0}{\frac{\sqrt{Y_0 Y_2}}{m}} \right) \times \frac{\sqrt{Y_0 Y_2}}{\sqrt{Y_0 Y_2}} = -E_s \left(\frac{Y_0 Y_2 - Y_0 \sqrt{Y_0 Y_2}}{\frac{Y_0 Y_2}{m}} \right)$$

$$R_{s2} = -E_s \left(\frac{Y_2 - \sqrt{Y_0 Y_2}}{\frac{Y_2}{m}} \right) \Rightarrow R_{s1} = R_{s2}$$

به شرط برقراری فرضیات زیر:

* مجموعه دو واحدی با جریان متقاطع

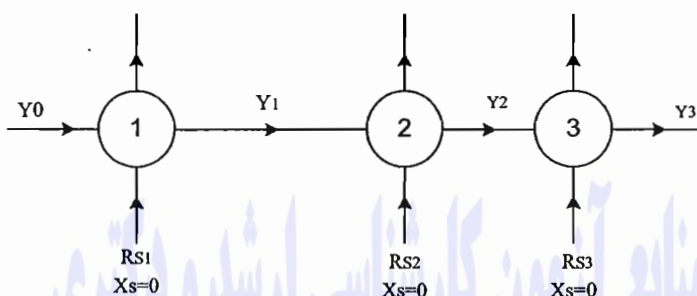
* حلال ورودی خالص باشد

* منحنی تعادل در مختصات X,Y خطی باشد

* مراحل تعادلی باشند

$$\text{میزان حلال مصرفی مینیمم است} \Leftrightarrow y_1 = \sqrt{y_0 y_2} \Leftrightarrow R_{s_1} = R_{s_2}$$

نکته: برای یک مجموعه سه واحدی با جریان متقاطع داریم:



میزان حلال مصرفی با برقراری فرضیات نکته قبلی، مینیموم است اگر

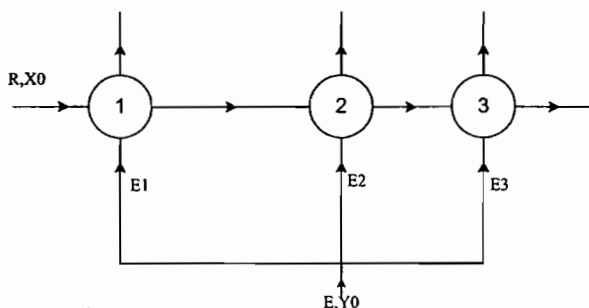
$$\begin{cases} Y_1 = \sqrt{Y_0 Y_2} \\ Y_2 = \sqrt{Y_1 Y_3} \end{cases} \text{ یا } \begin{cases} Y_1 = \sqrt[3]{Y_0^2 Y_3} \\ Y_2 = \sqrt[3]{Y_0 Y_3^2} \end{cases} \text{ یا } \{R_{s_1} = R_{s_2} = R_{s_3}\}$$

نکته: به طور کلی در مجموعه‌ای از واحدهای با جریان متقاطع با فرض خطی بودن منحنی تعادل، زمانی می‌توان به حداکثر

جداسازی دست یافت که میزان حلال مصرفی در واحدها، با هم برابر باشند

مثال: در آرایش مراحل تعادلی به صورت متقاطع به شکل زیر، در چه صورت بیشترین جداسازی مزاحم از فاز R انجام خواهد شد؟

(مهندس شیمی آزاد ۸۴)



$$\frac{E_1 - E_2}{2} = \frac{E_2 - E_3}{3} \quad (۲)$$

$$E_1 = \frac{E_2}{2} = \frac{E_3}{3} \quad (۱)$$

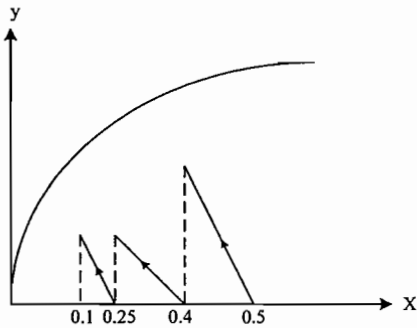
$$E_1 = E_2 = E_3 \quad (۴)$$

$$E_1 = 2E_2 = 4E_3 \quad (۳)$$

حل: گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

با توجه به نکته اخیر.

مثال : با توجه به فرایند استخراج نشان داده شده در شکل زیر کدامیک از گزینه های زیر صحیح است؟



- (۱) فرایند استخراج با حلال های خالص و نابرابر در سه مرحله و درصد استخراج 80%
- (۲) فرایند استخراج با حلال های خالص و برابر در سه مرحله و درصد استخراج 50%
- (۳) فرایند استخراج با حلال های ناخالص برابر در سه مرحله و درصد استخراج 50%
- (۴) فرایند استخراج با حلال های ناخالص و نابرابر در سه مرحله و درصد استخراج 80%

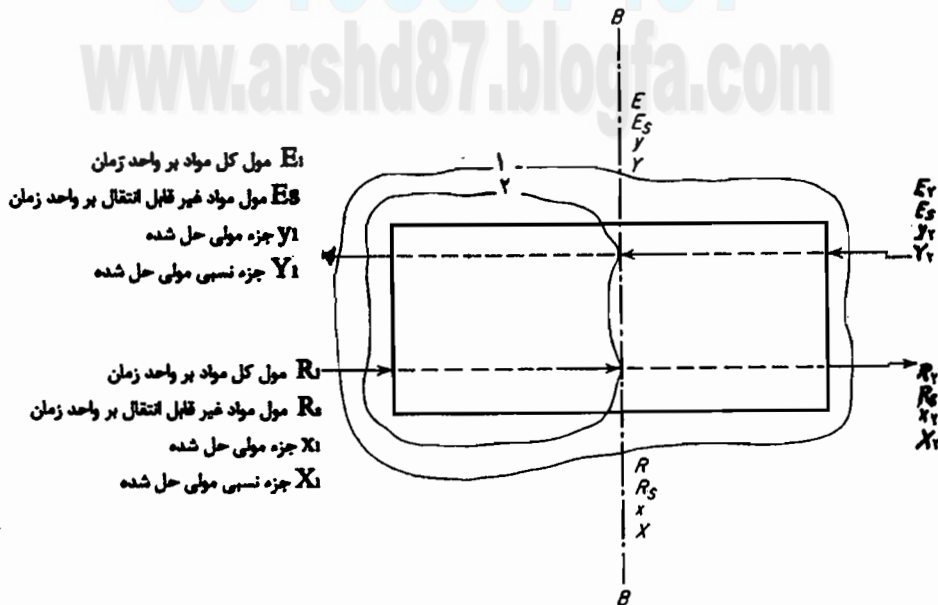
حل : گزینه ۱ صحیح می باشد.

در سه مرحله $Y=0$ می باشد یعنی جزء جداسونده در حلال ها وجود نداشته و حلال ها در هر 3 مرحله خالص می باشند و همچنین چون شیب خطوط تبادل در ۳ مرحله با هم برابر نیستند پس میزان حلال در 3 مرحله با هم برابر نمی باشند

$$\text{درصد استخراج} = \frac{X_1 - X_2}{X_1} \times 100 = \frac{0.5 - 0.1}{0.5} \times 100 = 80\%$$

۳-۵-۴ فرایند پایای انتقال جرم با جریان متقابل counter current

در شکل زیر دستگاه انتقال جرمی نشان داده شده است که فاز E از یک طرف دستگاه و فاز R از طرف دیگر دستگاه انتقال جرم وارد شده اند چنین آرایشی را counter current یا متقابل می نامند یک طرف دستگاه را با شماره 1 و طرف دیگر دستگاه را با شماره 2 مشخص می کنیم بنابراین در چنین سیستم هایی 1 به مفهوم ورودی یا ابتدا و 2 به مفهوم خروجی یا انتها نیست



دستگاه انتقال جرم که در آن جریان ها به صورت متقابل هستند.

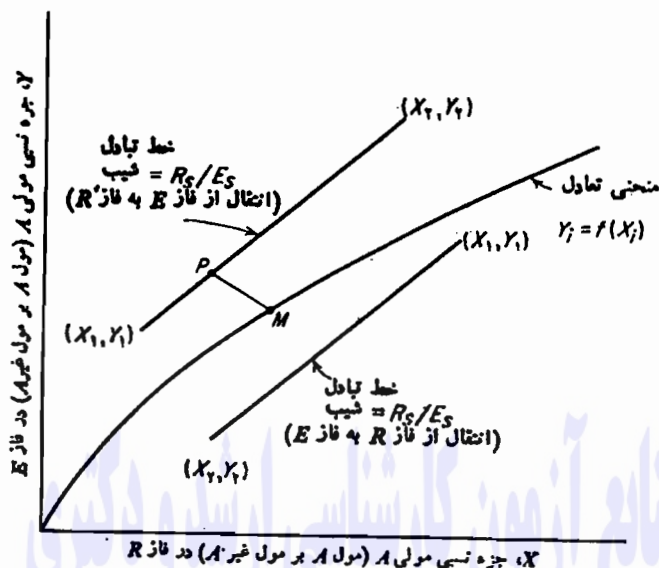
خروجی = ورودی

با نوشتن موازنه جرم برای جزء A داریم

$$E_2 Y_2 + R_1 X_1 = E_1 Y_1 + R_2 X_2 \Rightarrow \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = \frac{R_2}{R_1}$$

که نشانگر خطی است که از نقاط (X_1, Y_1) , (X_2, Y_2) با شیب $\frac{R_s}{E_s}$ می‌گذرد

همان طور که قبلاً گفته شد در فرایند جذب - انتقال ماده از جزء سبک E به جزء سنگین R - خط تبادل بالای منحنی تعادل و در فرایند دفع - انتقال ماده از جزء سنگین R به جزء سبک E - خط تبادل پایین منحنی تعادل قرار می‌گیرد.



موقعیت خط تبادل و منحنی تعادل در جریان‌های متقابل پایا

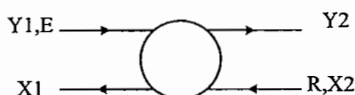
مزیت مهم جریان‌های ناهم‌سو و یا متقابل در وجود نیروی محرکه دائمی در طول دستگاه می‌باشد به همین جهت جریان ناهم‌سو به عنوان موثرترین الگوی تماس دو فاز به شمار می‌آید لذا در جریان ناهم‌سو برای یک میزان جداسازی معین به حلال کمتری نسبت به سایر الگوهای تماس نیاز داریم و یا با یک مقدار معین حلال به درصدهای جداسازی بالاتری نسبت به سایر الگوهای تماس می‌رسیم

نکته: برخلاف جریان‌های هم جهت که اگر طول دستگاه بی‌نهایت می‌شد، فازها حتماً به تعادل می‌رسیدند در سیستم‌های با جریان متقابل ممکن است که دو فاز هیچ وقت به تعادل نرسند حتی اگر زمان تماس نامحدود باشند

نکته: در حالت جریان‌های ناهم‌سو رسیدن به هر غلظتی و حتی کاهش غلظت ناخالصی به صفر با تغییر مقادیر E_s, R_s توسط مهندس طراح امکان‌پذیر است بنابراین در صورت اهمیت خلوص محصول نهایی، جریان‌های متقابل تنها انتخاب خواهند بود.

۴-۳-۱ تعیین حداقل حلال مصرفی در جریان ناهم‌سو

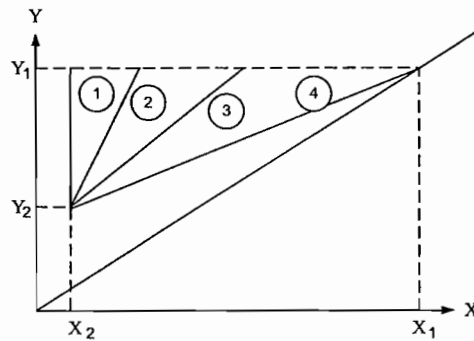
الف) فرایند جذب - انتقال جرم از فاز E به R -



داده‌ها: E_s, X_2, Y_2, Y_1

مجهولات: R_s, X_1

خواسته‌ها: مقدار حلال R یا مینیموم شود



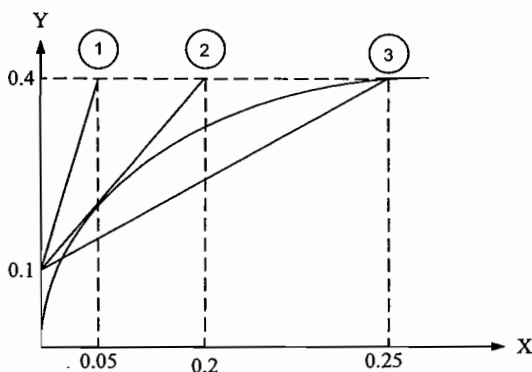
همان طور که در شکل نشان داده شده است خط تبادل با توجه به داده‌های مسئله می‌تواند دارای شیب‌های متفاوتی باشد اما هرچه به سمت راست «1 → 4» پیش می‌رویم شیب خط عملیاتی یا تبادل - $\frac{R_s}{E_s}$ - کاهش می‌یابد و در حالت چهارم کمترین شیب را با توجه به داده‌های مسئله داریم و در این صورت:

$$\left. \begin{array}{l} \frac{R_s}{E_s} \Big|_{\min} \\ \text{جز داده‌های مسئله می‌باشد } E_s = \text{cte} \end{array} \right\} \Rightarrow R_s = \text{مینیموم است}$$

پس نتیجه می‌گیریم حلال مصرفی در فرایند جذب - R - موقعی حداقل است^۱ که خط تبادل، منحنی تعادل را در Y_1 قطع کند - خروجی R با ورودی E در تعادل باشد - و داریم

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - \left[\frac{Y_1}{m} \right]} = \frac{R_s}{E_s} \Big|_{\min} \Rightarrow R_s \rightarrow \min \\ Y = mX \end{array} \right.$$

مثال : در یک فرایند خطوط کار به شکل زیر می‌باشند $\frac{R_s}{E_s} \Big|_{\min}$ در این فرایند کدام است؟



10 (۲)

1.5 (۱)

12 (۴)

6 (۳)

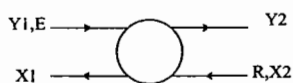
حل : گزینه ۱ صحیح می باشد.

در هیچ شرایطی خط تبادل یا عملیاتی نمی تواند از منحنی تعادل عبور کند پس حالت سوم نشان داده شده در شکل امکان پذیر

نمی باشد و حالت دوم نشانگر $\left. \frac{R_s}{E_s} \right)_{\min}$ است و داریم

$$\left. \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = \frac{R_s}{E_s} \right)_{\min} = \frac{0.1 - 0.4}{0 - 0.2} = 1.5$$

(ب) فرایند دفع - انتقال جرم از فاز R به E -



داده ها : R_s, Y_1, X_2, X_1

مجهولات : E_s, Y_2

خواسته ها : مقدار حلال یا E مینیموم شود



همان طور که در شکل نشان داده شده است با توجه به داده های مسئله ، خط تبادل می تواند شیب های مختلفی داشته باشد و هر چه

به سمت چپ « 1 → 4 » پیش می رویم شیب خط عملیاتی یا تبادل - $\frac{R_s}{E_s}$ - افزایش می یابد و در حالت چهارم بیشترین شیب ممکنه

را داراست

$$\left. \frac{R_s}{E_s} \right)_{\max} \Rightarrow E_s \rightarrow \min$$

$$R_s = \text{cte}$$

پس نتیجه می گیریم حلال مصرفی در فرایند دفع - E - موقعی حداقل است که خط تبادل، منحنی تعادل را در X_1 قطع کند -

خروجی E با ورودی R در تعادل باشد - و داریم

$$\left. \begin{aligned} \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} &= \frac{mX_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = \frac{R_s}{E_s} \right)_{\max} \Rightarrow E_s \rightarrow \min \\ Y &= mX \end{aligned}$$

مثال : گازی محتوی جزء A ($y_A = 0.2$) طی یک فرایند ناهم سو در مجاورت حلال خالصی قرار می گیرد. اگر هدف جداسازی 90% جزء A از گاز باشد، میزان حداقل حلال مصرفی به ازای گاز خالص ورودی چه قدر است؟ " منحنی تعادل به صورت ($Y = 2X$) می باشد؟

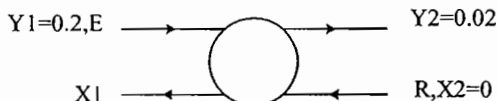
1.8 (۴)

2 (۳)

20 (۲)

18 (۱)

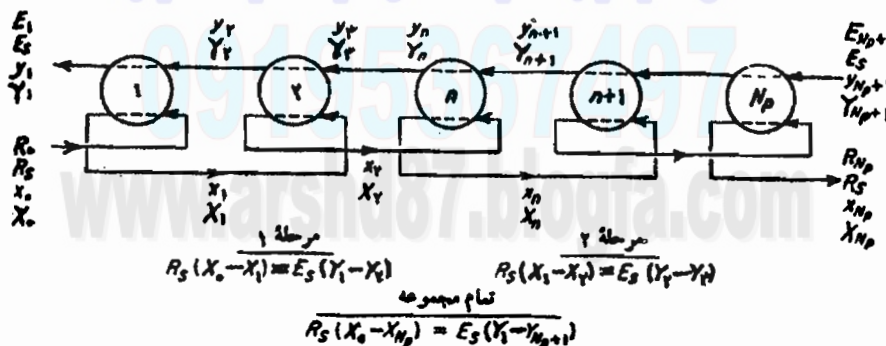
حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.



$$90 = \text{درصد جداسازی} \Rightarrow Y_2 = 0.1 Y_1 = 0.02, \left. \begin{aligned} \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} &= \frac{R_s}{E_s} \Rightarrow \frac{Y_2 - Y_1}{0 - \frac{Y_1}{m}} \Bigg|_{\min} = \frac{0.2 - 0.02}{0.1} = 1.8 = \frac{R_s}{E_s} \Bigg|_{\min} \end{aligned} \right\}$$

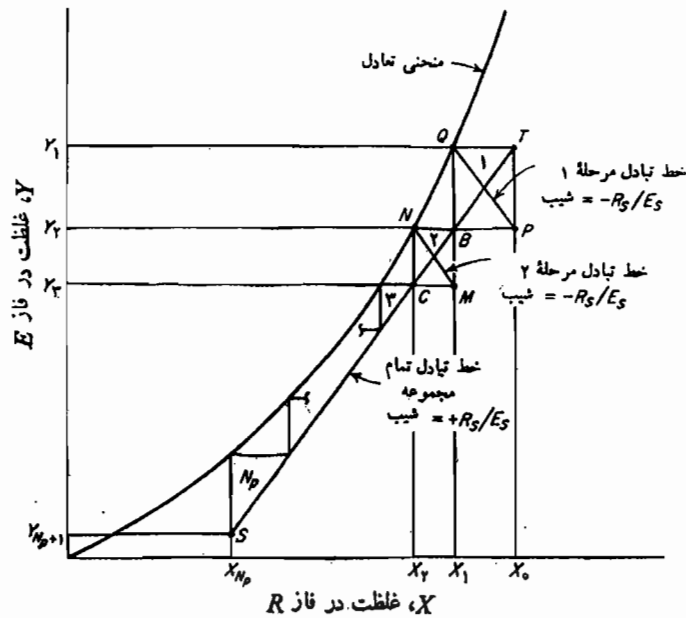
۴-۵-۴ سیستم چند مرحله ای متقابل یا سلسله متقابل یا counter current Cascade

یک سلسله متقابل انتقال جرم عبارت است از مجموعه از فرایندهای هم جهت که به نحوی به یکدیگر مربوط شده اند که در مجموع یک فرایند متقابل را تشکیل می دهند نمونه ای از این سیستم در شکل نشان داده شده است



آرایش جریانها در یک سیستم چند مرحله ای متقابل

که دارای N_p مرحله ایده آل است، طبق قرارداد در چنین سیستمی همیشه شماره جریانها و غلظت فازها با شماره مرحله ای که از آن خارج می شوند نشان داده شده است همان طور که مشاهده می کنید هر واحد به تنهایی از نظر عملکرد کاملاً مشابه با واحدهای مربوط به فرایند جریانهای هم سو است ولی کل مجموعه دارای رفتار فرایندهای جریان متقابل است. اگر انتقال جرم از فاز R به E - دفع - را در نظر بگیریم نمودار $X - Y$ مجموعه ذکر شده به صورت زیر خواهد بود فرض می کنیم که در هر مرحله فازها به تعادل می رسند پس خط تبادل هر مرحله به منحنی تعادل می رسد



چند مرحله‌ای متقابل. انتقال از فاز R به فاز E

شیب خط تبادل در هر مرحله $-\frac{R_s}{E_s}$ و در تمامی مراحل با هم موازی می‌باشد و شیب خط تبادل کلی مجموعه $\frac{R_s}{E_s}$ می‌باشد.

برای تعیین تعداد مراحل مورد نیاز برای کاهش غلظت جزء A در فاز R از X_0 به X_{Np} از روش ترسیمی استفاده می‌کنیم بدین

صورت که ابتدا منحنی تعادل را در مختصات $X-Y$ رسم می‌کنیم و سپس با تعیین نقاط $T \left(\frac{X_0}{Y_1} \right)$ و $S \left(\frac{X_{Np}}{Y_{Np}+1} \right)$ و اتصال آن‌ها به هم از

طریق رسم پلکان‌های نشان داده شده در شکل تعداد مراحل تعادلی لازم را بدست می‌آوریم

نکته: مجموعه سلسه متقابل دارای بالاترین کارایی می‌باشد یعنی برای رسیدن به یک تغییر غلظت مشخص با نسبت شدت جریان‌های معلوم به حداقل تعداد واحدها نیاز دارد.

نکته: با نزدیک شدن خط تبادل به منحنی تعادل، تعداد مراحل مورد نیاز، افزایش می‌یابد.

نکته: با روش ترسیمی، تعداد مراحل ایده‌آل مشخص می‌شود زیرا در هر مرحله فرض کردیم که فازهای خروجی به حالت تعادل

می‌رسند اما همان طور که قبلاً ذکر شد چنین شرطی هیچ وقت امکان‌پذیر نمی‌باشد بنابراین تعداد مراحل ایده‌آل، حداقل تعداد

مراحل مورد نیاز می‌باشد، پس می‌توانیم برای هر سیستم با مراحل متوالی یک راندمان دیگر به نام راندمان کلی به صورت

زیر تعریف کنیم

$$\text{راندمان کلی} = \frac{\text{تعداد مراحل ایده‌آل}}{\text{تعداد مراحل واقعی مورد نیاز}}$$

تعداد مراحل واقعی مورد نیاز به صورت تجربی بدست می‌آید

۴-۵ معادلات کرمسر

از معادلات کرمسر برای تعیین تعداد مراحل تئوری در جریان ناهم‌ساز و متغیر که خطوط تبادل و تعادل هر دو خطی باشند استفاده

www.arshd87.blogfa.com

می‌کنند در یک حالت خاص وقتی « $A = 1$ » این معادلات به صورت 09195367497 می‌آیند

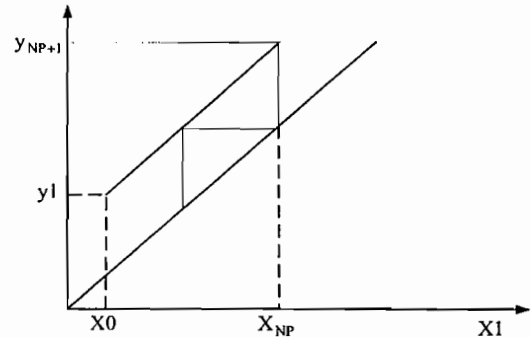
: A=1

الف) در فرایند جذب - انتقال جرم A از E به R -

$$N_p = \frac{\text{ارتفاع کلی پله‌ها}}{\text{ارتفاع یک پله}} = \frac{Y_{Np+1} - Y_1}{Y_1 - mX_0}$$

ارتفاع همه پله‌ها با هم برابر است و:

$$\frac{Y_{Np+1} - Y_1}{Y_{Np+1} - mX_0} = \frac{N_p}{N_p + 1}$$



با فرض

* خط تبادل، خطی است با شیب ثابت

* منحنی تعادل، خطی است با شیب ثابت

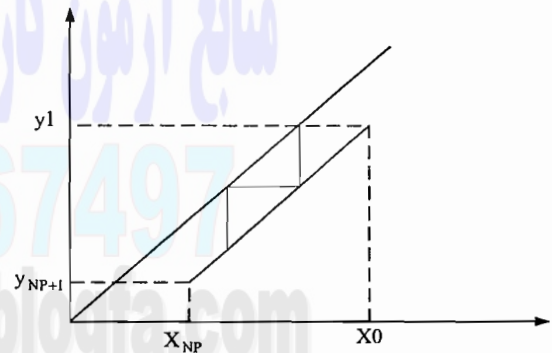
$$S = A = 1 *$$

ب) در فرایند دفع - انتقال جرم A از R به E -

$$N_p = \frac{\text{عرض کلی پله‌ها}}{\text{عرض یک پله}} = \frac{X_0 - X_{Np}}{X_{Np} - \frac{Y_{Np+1}}{m}}$$

$$\frac{X_0 - X_{Np}}{X_0 - \frac{Y_{Np+1}}{m}} = \frac{N_p}{N_p + 1}$$

ارتفاع همه پله‌ها با هم برابر است



با فرض:

* خط تبادل، خطی است با شیب ثابت

* منحنی تعادل، خطی است با شیب ثابت

$$S = A = 1 *$$

نکته : در جریان ناهم‌سو اگر

(۱) خط تبادل و منحنی تعادل ، هر دو خطی باشند

$$A=1 \quad (۲)$$

(۳) حلال ورودی خالص باشد

در این صورت N_p - تعداد مراحل تئوری - مستقل از غلظت خوراک خواهد بود و داریم:

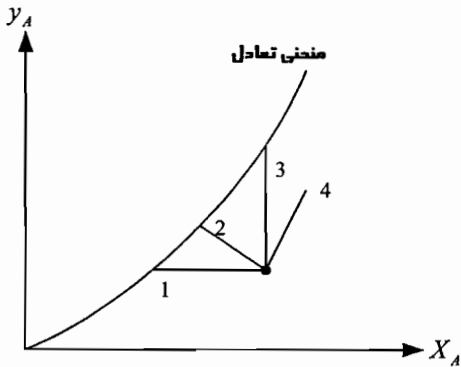
$$N_p = \frac{\eta}{1-\eta}$$

$$\eta = \text{درصد جداسازی بر مبنای فاز دهنده} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{X_0 - X_{Np}}{X_0} \\ \frac{Y_{Np+1} - Y_1}{Y_{Np+1}} \end{array} \right.$$

تست‌های طبقه بندی شده فصل چهارم

۱- منحنی تبادل در فرایند خشک کردن یک کیلوگرم سیلیکاژل با جریان هوای خشک به چه صورت خواهد بود؟

(مهندسی شیمی ۸۶)



- ۱ (۱)
- ۲ (۲)
- ۳ (۳)
- ۴ (۴)

۲- در انتقال جرم از فاز x (L) به درون فاز y (G) کدام مورد صحیح است؟ (غلظت بالک فازها x_A و y_A روی سطح مشترک x_{A_i})

(مهندسی شیمی ۸۶)

و y_{A_i} است؟

$$\frac{\frac{N_A - y_{A_i}}{N_t - y_A}}{\frac{N_A - y_A}{N_t - y_{A_i}}} = \left(\frac{\frac{N_A - x_{A_i}}{N_t - x_A}}{\frac{N_A - x_A}{N_t - x_{A_i}}} \right)^{\frac{F_L}{F_G}} \quad (۲)$$

$$\frac{\frac{N_A - y_A}{N_t - y_{A_i}}}{\frac{N_A - y_{A_i}}{N_t - y_A}} = \left(\frac{\frac{N_A - x_{A_i}}{N_t - x_A}}{\frac{N_A - x_A}{N_t - x_{A_i}}} \right)^{\frac{F_L}{F_G}} \quad (۱)$$

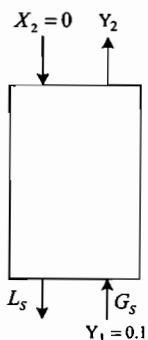
$$\frac{\frac{N_A - y_A}{N_t - y_{A_i}}}{\frac{N_A - y_{A_i}}{N_t - y_A}} = \left(\frac{\frac{N_A - x_{A_i}}{N_t - x_A}}{\frac{N_A - x_A}{N_t - x_{A_i}}} \right)^{\frac{F_G}{F_L}} \quad (۳)$$

$$\frac{\frac{N_A - y_{A_i}}{N_t - y_A}}{\frac{N_A - y_A}{N_t - y_{A_i}}} = \left(\frac{\frac{N_A - x_{A_i}}{N_t - x_A}}{\frac{N_A - x_A}{N_t - x_{A_i}}} \right)^{\frac{F_G}{F_L}} \quad (۴)$$

۳- در عملیات جذب از فاز گاز مطابق شکل با منحنی تعادل $Y = X^2$ و با فرض 90% جذب، غلظت خروجی فاز مایع اگر

(مهندسی شیمی ۸۶)

نصف $\frac{L_s}{G_s}$ واقعی باشد کدام است؟



- $X_1 = \frac{1}{20}$ (۲)
- $X_1 = \frac{1}{10}$ (۱)
- $X_1 = \frac{1}{200}$ (۴)
- $X_1 = \frac{1}{100}$ (۳)

۴- ضریب جمعی انتقال جرم (K_y) در یک برج جذب سینی‌دار که گاز H_2S در آب خالص جذب می‌شود تقریباً تابع چه عواملی

(مهندسی شیمی ۸۵)

است؟

- (۱) تابع ضریب انتقال جرم فاز گاز
- (۲) تابع ضریب انتقال جرم فاز مایع

(۳) تابع ضریب انتقال جرم فاز گاز و درجه حرارت آن
پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

(۴) 40% تابع ضریب انتقال جرم فاز گاز و 60% تابع ضریب انتقال جرم فاز مایع

۵- در یک ستون دیواره مرطوب که در آن جذب آمونیاک از مخلوط آمونیاک - هوا توسط آب صورت می‌گیرد در موضعی خاص در فاز گاز غلظت آمونیاک 60 درصد و در فاز مایع 4 درصد می‌باشد «از تبخیر آب صرف نظر می‌شود». اگر ضریب انتقال جرم فاز گاز $F_G = 1.8 \times 10^{-3} \frac{\text{kmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$ و فاز مایع $F_L = 1.2 \times 10^{-3} \frac{\text{kmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$ باشد آنگاه در آن موضع خاص داریم: (مهندسی شیمی ۸۵)

$$1 - x_A = 0.4 \left(\frac{0.96}{1 - y_A} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (۲) \qquad 0.6 - y_A = \frac{2}{3} (0.04 - x_A) \quad (۱)$$

$$1 - y_A = 0.4 \left(\frac{0.96}{1 - x_A} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (۴) \qquad 0.6 - y_A = \frac{3}{2} (0.04 - x_A) \quad (۳)$$

۶- منحنی تعادل برای یک سیستم بر حسب اجزای مولی به صورت $y = 5x$ نشان داده می‌شود. منحنی تعادل برای این سیستم بر حسب نسبت‌های مولی (X, Y) چگونه بیان می‌شود؟ (مهندسی شیمی ۸۴)

$$Y = \frac{2X}{5-4X} \quad (۴) \qquad Y = \frac{3X}{1-4X} \quad (۳) \qquad Y = \frac{X}{5-4X} \quad (۲) \qquad Y = \frac{5X}{1-4X} \quad (۱)$$

۷- ضرایب انتقال جرم در دو فاز گاز و مایع در حال تماس به صورت زیر داده شده است. کدام یک از جملات در گزینه‌های مختلف در مورد این سیستم صحیح است؟ (مهندسی شیمی ۸۴)

$$\begin{cases} k_x = 0.1 \text{ moles/h, m}^2, \text{atm} \\ k_y = \text{moles/h, m}^2 \cdot \text{atm} \end{cases}$$

(۱) فاز مایع، فاز محدودکننده در مقابل انتقال جرم است. (۲) مقاومت در هر دو فاز یکسان می‌باشد.

(۳) فقط 10% مقاومت کل در فاز مایع می‌باشد. (۴) فاز گاز فاز محدود کننده در مقابل انتقال جرم است.

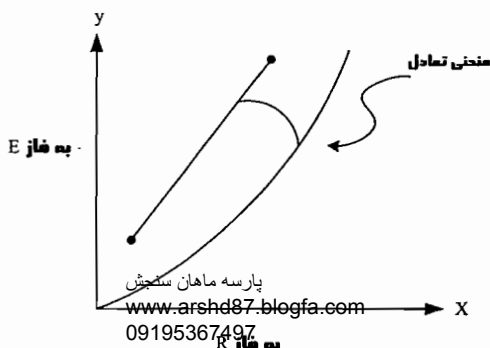
۸- 20 گرم زغال فعال در یک ظرف 10 لیتری محتوی هوا و آمونیاک با دمای 30°C و فشار یک آتمسفر قرار گرفته و قرار است آمونیاک موجود در هوا جذب زغال فعال شود. ضریب زاویه خط عملیاتی (Operating line) برای این مورد برابر است با: (فشار جزئی آمونیاک در ظرف در شروع عملیاتی 60 mmHg است.)

$$+ 1.86 \quad (۴) \qquad + 0.537 \quad (۳) \qquad - 1.86 \quad (۲) \qquad - 0.537 \quad (۱)$$

۹- در صورتی که شدت انتقال جرم توسط فاز مایع کنترل شود و خط تعادل دارای شیب برابر $\frac{3}{2}$ باشد در رابطه با مقاومت کل در قبال مقاومت انتقال جرم در فاز فردی چه می‌توان گفت؟ (مهندسی شیمی ۸۳)

$$\frac{1}{k_x} \quad (۴) \qquad \frac{2}{3k_x} \quad (۳) \qquad \frac{2}{3} \quad (۲) \qquad \frac{3}{2k_x} \quad (۱)$$

۱۰- کدام یک از گزینه‌ها در مورد شکل زیر صحیح‌تر است؟ (مهندسی شیمی ۸۲)



۱) انتقال جرم از فاز E به R صورت می گیرد. واحد عملیاتی موازی و غیرهمسو است و خط چین منحنی عملیاتی در موضعی خاص را نشان می دهد.

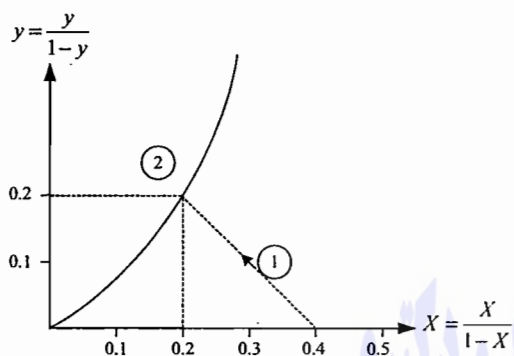
۲) انتقال جرم از فاز E به R صورت می گیرد. واحد عملیاتی موازی و همسو است و خط چین بیانگر منحنی تعادلی موضعی است.

۳) انتقال جرم از فاز E به R صورت می گیرد واحد عملیاتی موازی و غیرهمسو است و خط چین بیانگر منحنی عملیاتی موضعی است.

۴) انتقال جرم از فاز E به R صورت می گیرد واحد عملیاتی موازی و غیرهمسو است و خط چین بیانگر منحنی تعادلی موضعی است.

۱۱ - 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؟

(مهندسی شیمی ۸۱)



۱) 20

۲) 50

۳) 100

۴) قابل محاسبه نیست.

۱۲ - اگر برای یک سیستم انتقال جرم گاز - مایع کل مقاومت در برابر انتقال جرم در فاز مایع باشد ایجاد تلاطم در سبب

(مهندسی شیمی ۸۰)

افزایش میزان انتقال جرم می شود.

۱) فاز گاز ۲) فاز مایع ۳) هر دو فاز مایع و گاز ۴) فصل مشترک مایع و گاز

۱۳ - رابطه تعادلی توزیع A بین دو فاز بخار و مایع به صورت $P_A = H C_A$ داده شده است که P_A فشار جزئی A در فاز بخار و C_A

غلظت A در فاز مایع است. کدام یک از روابط زیر برای ضریب انتقال جرم حجمی فاز بخار صحیح است؟ (مهندسی شیمی ۷۹)

$$K_G = \frac{1}{\frac{1}{K_G} + \frac{H}{K_L}} \quad (۴) \quad K_G = \frac{1}{\frac{1}{K_G} + \frac{H}{K_y}} \quad (۳) \quad K_G = \frac{1}{\frac{1}{K_G} + \frac{H}{K_L}} \quad (۲) \quad K_G = \frac{1}{\frac{H}{K_G} + \frac{1}{K_L}} \quad (۱)$$

۱۴ - ماده A بین دو فاز R و E مبادله می شود. با افزایش درهم بودن فاز R میزان انتقال جرم کلی افزایش یافت اما افزایش درهم

(مهندسی شیمی ۷۷)

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

۱) ضریب انتقال جرم در دو فاز یکسان است.

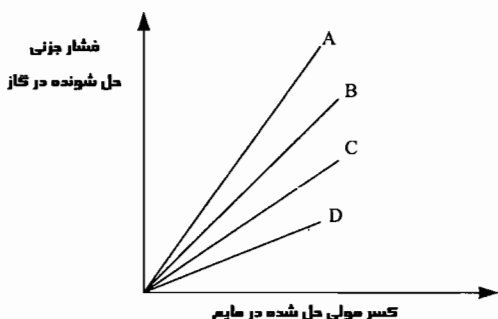
۲) فاز R کنترل کننده انتقال جرم است.

۳) فاز E مقاومت اصلی در برابر انتقال جرم می باشد.

۴) هر دو فاز کنترل کننده انتقال جرم است.

(مهندسی شیمی ۷۷)

۱۵ - گاز در کدام حالت حلالیت بیشتری در مایع دارد؟



۱) A

۲) B

۳) C

۴) D

۱۶ - منحنی تعادلی به صورت $y = mx$ موجود است رابطه $\frac{1}{F_{OL}} = \frac{1}{F_L} + \frac{1}{mF_G}$ موقعی صحیح است که: (مهندسی شیمی ۷۷)

(۱) $N_B = 0$ باشد. $\sum N = 0$ (۲) باشد.

(۳) همواره صحیح است. (۴) فقط یک جزء انتقال یابد اگرچه سیستم چندجزئی باشد.

۱۷ - در رابطه ضریب انتقال جرم کلی $\frac{1}{K_y} = \frac{1}{K_x} + \frac{m}{K_y}$ ، هرگاه m ضریب زاویه منحنی تعادل بین غلظت‌های دو فاز گاز و مایع

خیلی کوچک باشد کدام عبارت درست است؟ (مهندسی شیمی ۷۶)

(۱) شدت جرم توسط مقاومت هر دو فاز به‌طور یکسان کنترل می‌شود.

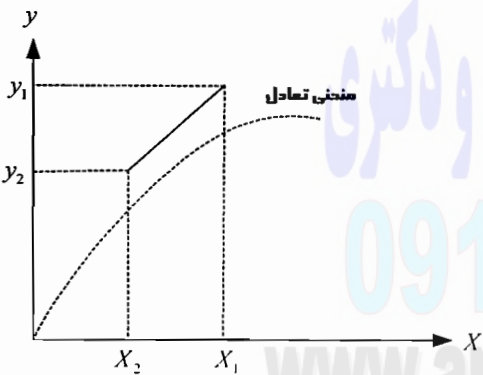
(۲) شدت انتقال جرم توسط مقاومت در فاز مایع کنترل می‌شود.

(۳) غلظت A در مایع مستقل از غلظت آن در گاز می‌باشد.

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

۱۸ - در شکل زیر انتقال جرم از فاز و فاز کنترل کننده جرم فاز است. (x_A نسبت مولی در فاز R و y_A نسبت

مولی در فاز E است) (مهندسی شیمی ۷۶)



(۱) R به R

(۲) E به R

(۳) R ، E به R

(۴) E ، E به R

۱۹ - چنانچه در سیستم‌های گاز - مایع فاز مایع را گرم کنیم و در میزان انتقال جرم تغییر حاصل نشود کدام فاز کنترل کننده انتقال

جرم است؟ (مهندسی شیمی ۷۶)

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

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

(۳) در این حالت فاز مایع

(۴) در این حالت فاز گاز

۲۰ - نسبت مقاومت فاز گاز به مقاومت فاز مایع در مقطعی از ستون جذب که در آن غلظت‌های توده و فصل مشترک به قرار زیر

هستند، چقدر خواهد بود؟ (ضریب تعادلی برابر واحد است.) (مهندسی شیمی ۷۵)

اجزای مولی در توده $\begin{cases} y_{A_G} = 0.2 \\ x_{A_L} = 0.04 \end{cases}$ ، اجزای مولی فصل مشترک $\begin{cases} y_{A_i} = 0.10 \\ x_{A_i} = 0.08 \end{cases}$

(۱) 2 (۲) 2.5 (۳) 4 (۴) 0.4

۲۱ - در تعریف ضریب انتقال جرم به صورت $N_A = k_y (y_{AG} - y_A^*)$ نیروی رانش (driving force) مقدار نیروی راننده برابر است

با: (مهندسی شیمی ۷۵)

(۱) بزرگترین در فاز گاز

(۳) خود نیرو در فاز گاز

۲۲ - در عمل انتقال جرم بین دو فاز گاز - مایع (از گاز به مایع) اگر $y_{A_i}, y_{A_i}^*$ و y_A^* اجزای مولی جزء نفوذکننده در توده گاز فصل

مشترک و در حالت تعادل با توده مایع بوده و k_y و K_y ضرایب محلی و کلی انتقال جرم مربوط به فاز گاز باشد مقدار کسر $\frac{k_y}{K_y}$

برابر است با: (مهندسی شیمی ۷۵)

$$(1) \frac{y_{A_G} - y_A^*}{y_{A_G} - y_{A_i}} \quad (2) \frac{y_{A_G} - y_{A_i}}{y_A^* - y_{A_i}} \quad (3) \frac{y_{A_i} - y_{A_i}^*}{y_{A_i} - y_A^*} \quad (4) \frac{y_{A_G} - y_A^*}{y_{A_i} - y_{A_G}}$$

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

(مهندسی شیمی ۷۵)

(۱) بی نهایت میل حجم E به سوی بی نهایت

(۲) متعدد، زیاد بودن حجم

(۴) یک، نه بیشتر

(۳) متعدد زیاد بودن حجم $\frac{R}{E}$

۲۴ - در یک سیستم گاز مایع با انتقال جرم از گاز به مایع $\sum \frac{N_A}{N}$ برابر با یک در صورتی که $\frac{k_y}{k_x} = 0.5$ ، $y_{AG} = 0.1$ و $x_{AL} = 0$

(مهندسی شیمی ۷۴)

باشد کدام رابطه بین غلظت های فصل مشترک صحیح است؟

$$(4) 2y_{A_i} = x_{A_i} - 0.1$$

$$(3) y_{A_i} = 2x_{A_i} + 0.1$$

$$(2) y_{A_i} = 0.1 - 2x_{A_i}$$

$$(1) 2y_{A_i} = 0.1 - x_{A_i}$$

۲۵ - در سیستم جذب گازی از نوع A (نفوذکننده) (diffusing) و B (non-diffusing) در صورتی که جزء مولی A در توده فاز گاز

برابر است با 0.1 و در فصل مشترک گاز و مایع برابر با 0.01 باشد نسبت ضرایب انتقال جرم $\left(\frac{k_y}{F_G}\right)$ کدام یک از مقادیر زیر است؟

(مهندسی شیمی ۷۴)

$$(4) 8.57 \times 10^{-3}$$

$$(3) 0.944$$

$$(2) 1.059$$

$$(1) 1.115$$

۲۶ - در یک برج جذب غیرهمسو (caunter-current) فشار کل سیستم 120 KPa و ضریب کلی انتقال جرم بر مبنای فاز گاز

می باشد اگر مقاومت فاز گاز بر حسب k_y پنجاه درصد مقاومت کلی فاز گاز (K_y) را تشکیل دهد $K_G = 0.8 \times 10^{-10} \frac{\text{kmole}}{\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{pa}}$

(مهندسی شیمی ۷۴)

مقدار k_y بر حسب $\frac{\text{kmole}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$ برابر است با:

$$(4) 9.6 \times 10^{-6}$$

$$(3) 19.2 \times 10^{-6}$$

$$(2) 16.4 \times 10^{-6}$$

$$(1) 8.2 \times 10^{-5}$$

۲۷ - در یک سیستم انتقال جرم بین دو فاز گاز و مایع معادله منحنی تعادل به صورت $y = 51x$ می باشد در این صورت:

(مهندسی شیمی ۷۴)

(۱) مقاومت در مقابل انتقال جرم در هر دو فاز تقریباً برابر است.

(۲) مقاومت در فاز مایع 51 برابر مقاومت در فاز گاز می باشد.

(۳) تمام مقاومت در مقابل انتقال جرم در فاز مایع قرار دارد.

(۴) تمام مقاومت در مقابل انتقال جرم در فاز گاز قرار دارد.

(مهندسی شیمی ۷۴)

۲۸ - در صورتی که شدت انتقال جرم توسط فاز گاز کنترل شود، کدام یک از روابط زیر صحیح است؟

$$(4) K_x \equiv k_x$$

$$(3) K_y \equiv k_y$$

$$(2) K_y \equiv k_y$$

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

۲۹ - اگر ضریب کلی (overall) انتقال جرم بر مبنای فاز گاز برابر $K_y = 5 \times 10^{-4} \frac{\text{kg mole}}{\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{mole fraction}}$ و منحنی تعادل دارای

شیب ثابت $m = \frac{y}{x} = 2.5$ باشد ضرایب کلی انتقال جرم بر مبنای فاز مایع K_x بر حسب $\frac{\text{kg mole}}{\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{mole fraction}}$ چه مقدار خواهد

بود؟

(مهندسی شیمی ۷۴)

5×10^2 (۴)

2×10^{-4} (۳)

1.25×10^{-3} (۲)

0.5×10^2 (۱)

۳۰ - ضریب انتقال جرم در دو فاز گاز و مایع در حال تماس به صورت زیر بیان شده است. کدام یک از جملات زیر در مورد این

(مهندسی شیمی ۷۴)

سیستم صادق است؟

$$\begin{cases} k_y = 0.1 \frac{\text{moles}}{\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{atm}} \\ k_x = 1 \frac{\text{moles}}{\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{atm}} \end{cases}$$

(۲) فاز گاز محدودکننده در مقابل انتقال جرم است.

(۱) فقط ۱۰ درصد از مقاومت کل در فاز گاز می باشد.

(۴) مقاومت در هر دو فاز یکسان است.

(۳) فاز مایع فاز محدودکننده در مقابل انتقال جرم است.

۳۱ - در یک سیستم انتقال جرم خط کار (operating line) و منحنی تعادل یکدیگر را در یک نقطه قطع می کنند. برای این سیستم

(مهندسی شیمی ۷۴)

کدام یک از عبارات زیر صحیح است؟

(۱) مقدار حلال مصرفی و تعداد واحدهای تعادلی هر دو بهینه هستند.

(۲) مقدار حلال مصرفی حداکثر بوده ولی تعداد واحدهای تعادلی حداقل خواهند بود.

(۳) مقدار حلال بهینه بوده و تعداد واحدهای تعادلی بی نهایت می باشد.

(۴) تعدد بی نهایت واحد تعادلی و حداقل حلال مصرفی خواهیم داشت.

۳۲ - در یک واحد عملیاتی و در موضعی خاص از آن ملاحظه شده است که ۴۰٪ از کل مقاومت در فاز مایع قرار دارد در صورتی که

ضرایب انتقال جرم گاز و مایع به ترتیب $k_y = 0.29$ و $k_x = 0.62$ باشد منحنی تعادلی این سیستم شیمیایی عبارتند از X و Y

(مهندسی شیمی ۷۳)

(نسبت مولی)

$\frac{Y}{1+Y} = \frac{1.42X}{1+0.4X}$ (۴)

$Y = \frac{1.4X}{1+X}$ (۳)

$Y = \frac{1.4X}{1+X}$ (۲)

$Y = 1.2X$ (۱)

۳۳ - در یک برج جذب غیرهمسو گاز NO_2 از یک مخلوط گازی توسط آب جذب می گردد و منحنی تعادل بین فازهای گاز و مایع

به صورت $y = 1.5x$ می باشد. در یک نقطه از برج غلظت NO_2 در فاز گاز ۱۲ درصد حجمی و در فاز مایع ۴ درصد وزنی می باشد.

در این حالت نسبت K_x به K_y چه مقدار است؟ (x و y) اجزاء مولی جسم جذب شونده در دو فاز می باشد؟ (مهندسی شیمی ۷۳)

1.5 (۴)

2.5 (۳)

0.67 (۲)

1.0 (۱)

۳۴ - در یک برج جذب غیرهمسو فشار کل ۱.۲ اتمسفر ($1 \text{ atm} = 10^5 \text{ pa}$) و $K_G = 8.0 \times 10^{-10} \frac{\text{k moles}}{\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{pa}}$ می باشد. اگر مقاومت کل

در برابر انتقال جرم به طور مساوی در فازهای گاز و مایع پخش شده باشد مقدار k_y بر حسب $\frac{\text{k moles}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$ برابر است با:

(مهندسی شیمی ۷۳)

19.2×10^{-5} (۴)

16.0×10^{-5} (۳)
پارسیه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

8.0×10^{-5} (۲)

32.2×10^{-5} (۱)

۳۵ - در یک سیستم گاز - مایع مقاومت فاز مایع دو برابر مقاومت فاز گاز است. و منحنی تعادل از رابطه $Y = 5X$ پیروی می‌نماید.

در صورتی که در مقطعی از این دستگاه غلظت‌های جذب شونده در توده گاز و مایع برابر باشد با غلظت $\begin{cases} x_{AL} = 0 \\ y_{AG} = 0.1 \end{cases}$ و غلظت

جذب شونده در فصل مشترک و در فاز مایع (x_{A_i}) برابر خواهد بود با:

- (مهندسی شیمی ۷۳)
- (۱) 0.01 (۲) 0.014 (۳) 0.018 (۴) 0.05

۳۶ - منحنی تعادل در یک سیستم شیمیایی به صورت $y = 0.01x$ داده شده است. در این سیستم بیشترین مقاومت در کدام فاز است؟

- (مهندسی شیمی ۷۲)
- (۱) فاز گازی
(۲) فاز مایع
(۳) فاز گازی - اگر ضرایب انتقال جرم فیلمی گاز و مایع تقریباً مساوی باشد.
(۴) فاز مایع - اگر ضرایب انتقال جرم فیلمی گاز و مایع تقریباً مساوی باشد.

۳۷ - در یک نقطه از سیستم دو فاز گاز مایع 50 درصد از کل مقاومت در مقابل انتقال جرم در فاز مایع قرار دارد. اگر شیب خط تعادل جهت این سیستم یک $(m=1)$ باشد شیب خط نیروی محرکه (driving force line) برابر خواهد بود: (مهندسی شیمی ۷۲)

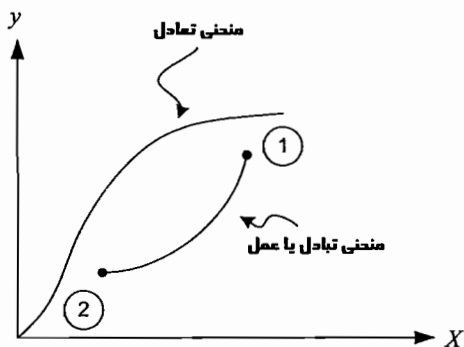
- (۱) -1 (۲) -2 (۳) 1 (۴) 2

۳۸ - منحنی تعادل دو فاز گاز و مایع به صورت $P_A = 40 x_A$ (بر حسب bar است). داده شده است. در یک نقطه از برج فشار جزئی گاز A برابر است با $P_{A_b} = 0.3 \text{ bar}$ و کسر مولی A در فاز مایع برابر است با $x_{A_b} = 0.007$ می‌باشد اگر

$k_G = 1.47 \times 10^{-3} \frac{\text{k mole}}{\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{bar}}$ و $k_x = 1.200 \times 10^{-3} \frac{\text{k mole}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$ را داشته باشیم. فشار تعادلی در فصل مشترک گاز و مایع چند bar خواهد بود؟

- (مهندسی شیمی ۷۲)
- (۱) 0.300 (۲) 0.351 (۳) 0.393 (۴) 0.450

۳۹ - شکل زیر را در نظر بگیرید. این شکل:



- (۱) نشان‌دهنده یک واحد عملیاتی موازی و همسو و جذب می‌باشد.
(۲) نشان‌دهنده یک واحد عملیاتی موازی و همسو و دفع می‌باشد.
(۳) نشان‌دهنده یک واحد عملیاتی موازی و غیرهمسو و جذب می‌باشد.
(۴) نشان‌دهنده یک واحد عملیاتی موازی و غیرهمسو و دفع می‌باشد.

پاسخ تست‌های طبقه‌بندی شده فصل چهارم

۱- گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

با توجه به جریان داشتن هوای خشک، پس اکثر مقاومت در برابر انتقال جرم در سیلیکاژل وجود دارد و گرادیان غلظتی در هوای خشک نمی‌بینیم.

۲- گزینه‌های اول و دوم و سوم صحیح هستند.

گزینه دوم و سوم تکراری هستند.

$$\frac{\frac{N_A}{N_t} - y_{A_i}}{\frac{N_A}{N_t} - y_A} = \left(\frac{\frac{N_A}{N_t} - x_{A_i}}{\frac{N_A}{N_t} - x_A} \right)^{\frac{F_L}{F_G}}$$

$$\frac{\frac{N_A}{N_t} - y_A}{\frac{N_A}{N_t} - y_{A_i}} = \left(\frac{\frac{N_A}{N_t} - x_A}{\frac{N_A}{N_t} - x_{A_i}} \right)^{\frac{F_L}{F_G}}$$

۳- هیچ کدام از گزینه‌ها صحیح نیستند.

$$90\% \text{ جذب} \Rightarrow Y_1 = 0.1 \Rightarrow Y_2 = 0.01$$

$$\frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = \frac{L_s}{G_s} \Rightarrow \frac{L_s}{G_s} (\min) = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - \sqrt{Y_1}} = \frac{0.01 - 0.1}{0 - \sqrt{0.1}} = 0.3$$

$$\frac{L_s}{G_s} \text{ واقعی} = 2 \frac{L_s}{G_s} (\min) = 0.6 \Rightarrow \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = 0.6 = \frac{0.01 - 0.1}{0 - X_1} = 0.15$$

۴- گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

حلالیت H_2S در آب بسیار کم می‌باشد و مقاومت کنترل‌کننده در فاز مایع می‌باشد.

۵- گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$$\frac{\frac{N_A}{\sum N} - y_{A_i}}{\frac{N_A}{\sum N} - y_{A_G}} = \left(\frac{\frac{N_A}{\sum N} - x_{A_L}}{\frac{N_A}{\sum N} - x_{A_i}} \right)^{\frac{F_L}{F_G}}$$

$$\sum N = N_A + N_B = N_A \rightarrow \frac{N_A}{\sum N} = 1$$

$$\frac{F_L}{F_G} = \frac{1.2 \times 10^{-3}}{1.8 \times 10^{-3}} = \frac{2}{3} \Rightarrow \frac{1 - y_A}{1 - 0.6} = \left(\frac{1 - 0.04}{1 - x_A} \right)^{\frac{2}{3}} \Rightarrow 1 - y_A = 0.4 \left(\frac{0.96}{1 - x_A} \right)^{\frac{2}{3}}$$

۶- گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$y = 5x \Rightarrow \frac{Y}{1+Y} = 5 \frac{X}{1+X} \Rightarrow Y = 5X$$

۷- گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

با توجه به این که مقدار m در سؤال داده نشده است و $k_x < k_y$ می‌باشد با مقایسه کیفی به این نتیجه می‌رسیم که مقاومت

$$\frac{1}{k_x} > \frac{1}{k_y}$$

کنترل‌کننده در فاز مایع است

۸- گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

در متن درس این سؤال حل شده است.

۹- گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$\text{شدت انتقال جرم توسط فاز مایع کنترل می‌شود.} \Rightarrow \frac{1}{k_x} \gg \frac{1}{k_y}$$

$$\frac{1}{K_y} = \frac{1}{k_y} + \frac{m}{k_x} \Rightarrow \frac{1}{K_y} = \frac{m}{k_x} = \frac{3}{2K_x}$$

۱۰- گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۱۱- گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$\text{درصد جداسازی} = \frac{X_1 - X_2}{X_1} = \frac{0.4 - 0.2}{0.4} = 0.5$$

۱۲- گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

۱۳- گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{K_y} &= \frac{1}{k_y} + \frac{m}{k_x} \\ P_A &= HC_A \end{aligned} \right\} \rightarrow \frac{1}{K_G} = \frac{1}{k_G} + \frac{H}{k_L} \Rightarrow K_G = \frac{1}{\frac{1}{k_G} + \frac{H}{k_L}}$$

۱۴- گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۱۵- گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۱۶- گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۱۷- گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۱۸- گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

خط تبادل بالای منحنی تعادل است پس انتقال جرم از فاز E به R می‌باشد. شیب منحنی تعادل کوچک است پس مقاومت

کنترل‌کننده در فاز E می‌باشد.

۱۹- گزینه ۴ صحیح می باشد.

با توجه به متن درس.

۲۰- گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$\frac{y_{A_G} - y_{A_i}}{x_{A_L} - x_{A_i}} = -\frac{k_x}{k_y} = \frac{0.2 - 0.1}{0.08 - 0.04} = 2.5 = -\frac{\frac{1}{k_y}}{\frac{1}{k_x}}$$

نسبت مقاومت فاز گاز به مایع

$$y_{A_i} = mx_{A_i} \Rightarrow m = \frac{y_{A_i}}{x_{A_i}} = \frac{0.1}{0.08}$$

۲۱- گزینه ۲ صحیح می باشد.

با توجه به متن درس.

۲۲- گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$N_A = k_y (y_{A_G} - y_{A_i}) = K_y (y_{A_G} - y_{A_i}^*) \Rightarrow \frac{k_y}{K_y} = \frac{y_{A_G} - y_{A_i}^*}{y_{A_G} - y_{A_i}}$$

۲۳- گزینه ۴ صحیح می باشد.

با توجه به متن درس.

۲۴- گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$\frac{y_{A_G} - y_{A_i}}{x_{A_i} - x_{A_i}} = -\frac{k_x}{k_y} = -2 \Rightarrow \frac{0.1 - y_{A_i}}{0 - x_{A_i}} = -2 \Rightarrow y_{A_i} = 0.1 - 2x_{A_i}$$

۲۵- گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$N_A = K_y (y_{A_G} - y_{A_i}) = \frac{N_A}{\sum N} F_G \ln \frac{\sum N - y_{A_i}}{\sum N - y_{A_G}}$$

$$\sum N = N_A + N_B = N_A$$

$$\Rightarrow N_A = k_y (0.1 - 0.01) = F_G \ln \frac{1 - 0.01}{1 - 0.1} \Rightarrow \frac{K_y}{F_G} = \frac{\ln \left(\frac{0.99}{0.9} \right)}{0.1 - 0.01} = 1.059$$

۲۶- گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$K_y = K_G P_t = 0.8 \times 10^{-10} \times 120 \times 10^3 = 9.6 \times 10^{-6}$$

$$\frac{1}{k_y} = 0.5 \frac{1}{K_y} \Rightarrow k_y = 2K_y = 2 \times 9.6 \times 10^{-6} = 1.92 \times 10^{-5} \frac{\text{kmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

۲۷- گزینه ۳ صحیح می باشد.

مقدار m بزرگ می باشد پس حلالیت در فاز گاز زیاد است و اکثر مقاومت در فاز مایع می باشد.

۲۸- گزینه ۲ صحیح می باشد.

با توجه به متن درس.

۲۹- گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$K_x = mK_y = 2.5 \times 5 \times 10^{-4} = 1.25 \times 10^{-3}$$

۳۰- گزینه ۲ صحیح می باشد.

با توجه به متن درس.

۳۱- گزینه ۴ صحیح می باشد.

با توجه به متن درس.

۳۲- گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$\text{نسبت مقاومت فاز مایع به فاز گاز} = \frac{mk_y}{k_x} \Rightarrow \frac{0.4}{0.6} = \frac{m \times 0.29}{0.62} \Rightarrow m = 1.42$$

$$y = 1.42x \Rightarrow \frac{Y}{1+Y} = 1.42 \frac{X}{1+X}$$

۳۳- گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$K_x = mK_y \Rightarrow \frac{K_x}{K_y} = m = 1.5$$

۳۴- گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$K_y = K_G \times P_t = 8 \times 10^{10} \times 1.2 \times 10^5 = 9.6 \times 10^{-5}$$

$$\frac{1}{K_y} = \frac{1}{k_y} + \frac{m}{k_x} = \frac{2}{k_y} \Rightarrow k_y = 2K_y = 2 \times 9.6 \times 10^{-5} = 19.2 \times 10^{-5}$$

۳۵- گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$\text{نسبت مقاومت فاز مایع به فاز گاز} = \frac{mk_y}{k_x} = 2 = 5 \times \frac{k_y}{k_x} \Rightarrow \frac{k_y}{k_x} = \frac{2}{5}, \frac{k_x}{k_y} = 2.5$$

$$\frac{y_{A_G} - y_{A_i}}{x_{A_L} - x_{A_i}} = -\frac{k_x}{k_y} \Rightarrow \frac{0.1 - 5x_{A_i}}{0 - x_{A_i}} = -2.5 \Rightarrow x_{A_i} = 0.014$$

۳۶- گزینه ۳ صحیح می باشد.

گزینه سوم از گزینه اول کاملتر است.

۳۷- گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$\text{نسبت مقاومت فاز مایع به فاز گاز} = \frac{mk_y}{k_x} = 1 = \frac{1 \times k_y}{k_x} \Rightarrow \frac{k_y}{k_x} = 1$$

$$\text{شیب خط نیروی محرکه} = -\frac{k_x}{k_y} = -1$$

شیب خط نیروی محرکه همواره منفی است.

۳۸- گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$N_A = k_G (P_{A_G} - P_{A_i}) = k_x (x_{A_i} - x_{A_L})$$

$$\Rightarrow 1.47 \times 10^{-3} (0.3 - P_{A_i}) = 1.2 \times 10^{-3} \left(\frac{P_{A_i}}{40} - 0.007 \right) \Rightarrow P_{A_i} = 0.305 \text{ bar}$$

۳۹- گزینه ۴ صحیح می باشد.

با توجه به متن درس.

فصل پنجم

دستگاه‌های مربوط به عملیات گاز - مایع

۱-۵ مقدمه

برای به وجود آمدن تماس کافی بین دو فاز - سیال - و انتقال سازنده‌ها از دستگاه‌های انتقال جرم استفاده می‌کنند این دستگاه‌ها به دو دسته اصلی تقسیم می‌شوند

- (۱) دستگاه‌هایی که در آن‌ها فاز گاز پراکنده می‌شود مانند مخازن مولد حباب و مخازن هم‌زن دار و برج‌های سینی دار
- (۲) دستگاه‌هایی که در آن‌ها فاز مایع پراکنده می‌شود مانند شستشو دهنده وانتوری و برج دیواره مرطوب و برج‌های پرشده

نکته : معمولاً فازی را که مقاومت بیشتری را دارد - فاز کنترل کننده - پراکنده می‌کنند

نکته : شدت انتقال جرم مستقیماً به سطح تماس دو فاز بستگی دارد

۲-۵ مخازن مولد حباب

اگر استفاده از سیستم چند مرحله‌ای - مانند برج‌های سینی‌دار - ضروری نباشد می‌توان گاز را به صورت حباب‌هایی در مخازن حاوی مایع پراکنده کرد به طور کلی وقتی در فاز مایع، ذرات جامد به صورت معلق وجود داشته باشد و همچنین یک واکنش شیمیایی بین گاز و یکی از اجزای مایع رخ بدهد از مخازن مولد حباب استفاده می‌کنیم چون با وجود ذرات جامد و به کار گرفتن برج‌ها، منافذ موجود در سینی‌ها و ... به مرور بسته می‌شود و این‌که با وجود واکنش شیمیایی، همواره نیروی محرکه برای انتقال جرم وجود دارد که در این صورت لزوم استفاده از سیستم‌های چند مرحله‌ای از بین می‌رود مانند کربن‌اسیون دوغاب آهک، کلرینه کردن خمیر کاغذ، هیدروژناسیون روغن‌های نباتی، هوادهی مخمرها و ...

نکته :

مخازن مولد حباب یا مخازن هم‌زن دار → در فاز مایع ذرات جامد به صورت معلق وجود داشته باشد

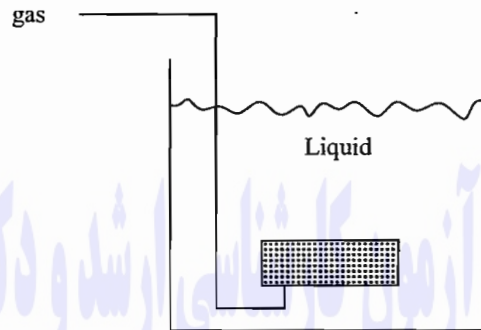
پارسیه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

در فاز مایع ذرات جامد به صورت معلق وجود داشته باشد
بین دو فاز واکنش شیمیایی اتفاق بیفتد
افت فشار فاز گاز کم باشد

شستشو دهنده و انتوری →

مانند حذف SO₂ از گازهای سوختی توسط دوغاب آهک

نکته: در مخازن مولد حباب معمولاً جریان فاز گاز به صورت پیوسته *continues* و جریان فاز مایع به صورت ناپیوسته یا *Batch* می باشد



نکته: با توجه به ایجاد پراکندگی در فاز گاز، مقاومت اصلی به فاز مایع منتقل می شود

نکته: هدف از پراکنده کردن گاز در مایع در مخازن مولد حباب، ایجاد تماس مناسب بین دو فاز می باشد و به عبارت دیگر این دستگاه وسیله ساده‌ای برای هم زدن دو فاز می باشد، هم زدن به وسیله هوا در استخراج مایعات رادیواکتیو به علت عدم وجود قطعات متحرک از امتیاز خاصی برخوردار است

نکته: قطر حباب‌های گاز بستگی به شدت جریان گاز، قطر روزنه، خواص فیزیکی گاز و میزان تلاطم و درهمی فاز مایع دارد

ماندگی گاز ϕ_G : کسری از حجم مخزن که توسط گاز اشتغال می شود را ماندگی گاز می نامند

$V_g \leftarrow$ حجم گاز درون مخزن

$$\phi_G = \frac{V_g}{V}$$

$V \leftarrow$ حجم مخزن

$$\phi_L = \frac{V_L}{V}$$

V_L : حجم مایع درون مخزن

$$\phi_G + \phi_L = 1$$

سطح مشترک ویژه: برابر است با مساحت سطح حباب‌ها به واحد حجم - $\frac{m^2}{m^3}$ - و واحد آن در سیستم SI $\frac{1}{m}$ می باشد

$$\alpha = \frac{6\phi_G}{d_p}$$

نکته : روابط تقریبی زیر را برای تعیین تعداد حباب‌های درون مخزن و سطح تماس ایجاد شده توسط حباب‌های گاز داریم:

$$n = \frac{\phi_G V}{\frac{\pi}{6} d_p^3}$$

n : تعداد حباب‌ها

d_p : قطر حباب‌های درون مخزن

$$A = \left(\frac{\phi_G V}{\frac{\pi}{6} d_p^3} \right) \pi d_p^2$$

سرعت ظاهری گاز $u_G = \frac{Q_G}{A} = \frac{\text{شدت حجمی گاز}}{\text{سطح مقطع مخزن}}$

سرعت ظاهری مایع $u_L = \frac{Q_L}{A} = \frac{\text{شدت حجمی مایع}}{\text{سطح مقطع مخزن}}$

سرعت واقعی گاز $= \frac{Q_G}{\phi_G A} = \frac{u_G}{\phi_G}$

سرعت واقعی مایع $= \frac{Q_L}{\phi_L A} = \frac{u_L}{(1-\phi_G)}$

سرعت لغزش یا سرعت نسبی گاز و مایع $u_s = \frac{u_G}{\phi_G} \pm \frac{u_L}{1-\phi_G}$

+ : وقتی گاز و مایع در خلاف جهت هم‌دیگر حرکت می‌کنند

- : وقتی گاز و مایع هم‌جهت با هم‌دیگر حرکت می‌کنند

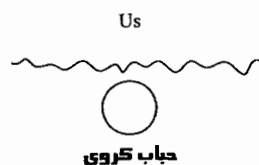
در مخازن مولد حباب، فاز مایع حرکت نمی‌کند پس داریم : $- u_L = 0$

$$u_s = \frac{u_G}{\phi_G} \Rightarrow \phi_G = \frac{u_G}{u_s}$$

نکته : ماندگی گاز را می‌توان به صورت نسبت سرعت ظاهری گاز به سرعت لغزش نیز تعریف کرد همان‌طور که گفته شد، به دلیل

پراکندگی فاز گاز، مقاومت کنترل‌کننده درون فاز مایع می‌باشد و به همین جهت برای محاسبه شار انتقال جرم، باید از روابط

مربوط به k_L استفاده کنیم و داریم



$$Sh_L = 2 + Re^m \cdot Sc_L^n$$

که:

$$Sh_L = \frac{k_L d_p}{D_{AB}}$$

$$Re = \frac{\rho_L u_s d_p}{\mu_L}$$

نکته: رفتار تعداد زیادی از حبابها به صورت یک مجموعه حباب کاملا متفاوت با حبابهای تنها می باشد و در این حالت سرعت صعود حبابها کمتر می شود

مثال: در یک بستری از آب، که اکسیژن را به شکل حبابهای کوچک از آن عبور می دهند تا جذب آن شود (فرمانتور) ضرایب انتقال جرم در فازهای گاز و مایع چه رابطه ای دارند؟ (در ضریب انتقال جرم فاز مایع $k_x =$ و ضریب انتقال جرم فاز گاز $k_y =$)
(بیوتکنولوژی ۸۴)

(۱) $k_y \gg k_x$ (۲) $k_x > k_y$ (۳) $k_y > k_x$ (۴) $k_x = k_y$

حل: گزینه ۱ صحیح می باشد.

با توجه به توضیحات داده شده که مقاومت کنترل کننده در فاز مایع می باشد پس $k_y \gg k_x$

مثال: کدام مورد زیر بر قطر حبابهای تشکیل شده در مخازن مولد حباب تاثیری ندارد؟

(۱) کشش سطحی (۲) شدت جریان گاز (۳) شدت جریان مایع (۴) چگالی گاز

حل: گزینه ۳ صحیح می باشد.

مثال: رابطه زیر برای محاسبه ضریب انتقال جرم در مخازن مولد حباب به کار می رود، کدام گزینه تعریف درست Re موجود در رابطه را نشان می دهد؟

$$Sh = 2 + Re^{0.779} Sc^{0.546}$$

d_p : قطر حبابها D : قطر مخزن

(۱) $\frac{\rho_g u_s d_p}{\mu_g}$ (۲) $\frac{\rho_L u_s D}{\mu_L}$ (۳) $\frac{\rho_g u_s D}{\mu_g}$ (۴) $\frac{\rho_L u_s d_p}{\mu_L}$

حل: گزینه ۴ صحیح می باشد.

با توجه به متن درس

مثال: کدام یک از عبارات زیر کاملا صحیح است؟

- (۱) در مخازن مولد حباب سرعت واقعی فاز گاز از سرعت ظاهری بزرگتر است.
- (۲) در مخازن مولد حباب هر چه حبابها ریزتر باشند سطح ویژه بزرگتری حاصل می شود.
- (۳) در مخازن مولد حباب اگر شدت جریان گاز خیلی کم باشد، آن گاه قطر حباب تولید شده متناسب با قطر روزنه ارفیس به توان

$$d_p \propto d_0^{\frac{1}{3}}$$

(۴) هر سه گزینه ۱ و ۲ و ۳

حل: گزینه ۴ صحیح می باشد.

نکته: کار انجام شده توسط جریان گاز بر روی مایع که برای هم زدن مایع و تولید سطح تماس زیاد، مصرف می شود را می توان با نوشتن رابطه برنولی بین نقاط خروجی گاز «روزنه اوریفیس» و سطح آزاد مایع بدست آورد.

$$W = \frac{V_0^2}{2g_c} + (Z_0 - Z_s) \frac{g}{g_c} + \frac{\rho_0}{\rho_{G0}} \ln \frac{P_0}{P_s}$$

که

W : کار به ازای واحد جرم گاز

V_0 : سرعت صعود حباب‌ها در روزنه اوریفیس

Z_0 : عمق اوریفیس

Z_s : عمق مایع

P_0 : فشار گاز در دهانه اوریفیس

P_s : فشار گاز در سطح آزاد مایع

P_{G0} : چگالی گاز در دهانه اوریفیس

بدیهی است که کار مربوط به کمپرسور گاز بایستی از W به دست آمده از رابطه بالا بیشتر باشد تا بتواند اثرات اصطکاک در لوله‌ها و روزنه‌ها را جبران نماید.

۳-۵ مخازن همزن‌دار

در این نوع مخازن از یک همزن مکانیکی برای پراکنده کردن گازها در درون مایعات استفاده می‌شود به کار بردن همزن باعث ایجاد اختلاط مناسب در فاز مایع و کاهش مقاومت فیلمی و پراکندگی موثر مایعات و گازها در یکدیگر می‌شود.

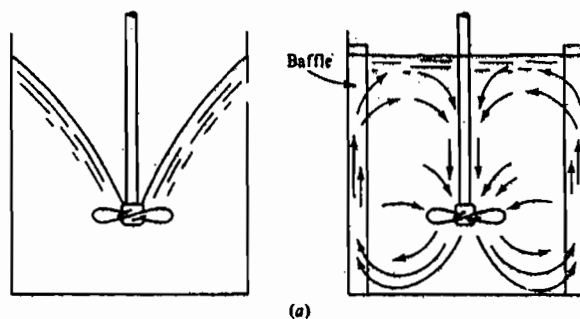
با افزایش سرعت همزن، توان لازم برای به حرکت درآوردن همزن افزایش یافته و در اطراف همزن گرداب (vortex) تشکیل می‌شود. در سرعت‌های بالاتر، در نهایت گرداب به پره همزن می‌رسد و هوا به درون مایع کشیده می‌شود و قسمتی از پره درون هوا می‌گردد و توان لازم کاهش می‌یابد. به وجود آمدن گرداب عموماً نامطلوب است - به جز در حل کردن جامدی که به سختی در مایع حل شود مانند حل کردن گرداسیدبوریک در آب که در این صورت جامد به درون گرداب ریخته می‌شود - به همین جهت با استفاده از روش‌های زیر از ایجاد گرداب جلوگیری می‌کنند

(۱) سعی می‌کنند عملیات انتقال جرم در ناحیه آرام قرار بگیرد - که باعث کندشدن انتقال جرم می‌شود -

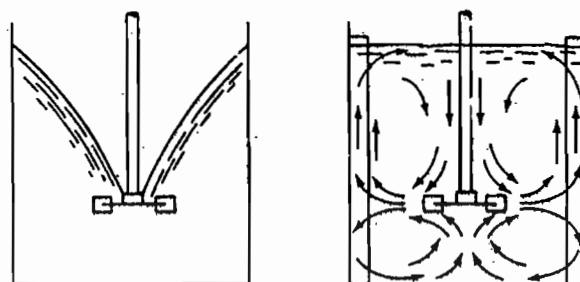
(۲) مایل نصب کردن پره

(۳) نصب Baffle (تیغه) درون مخزن

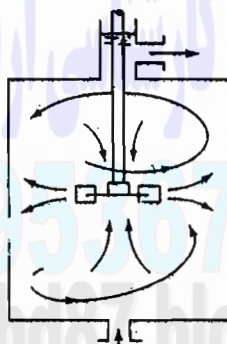
(۴) استفاده از مخزن سر بسته



(a)



(b)

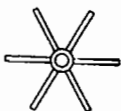


(c)

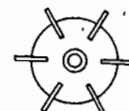
نکته : نسبت قطر پره همزن به قطر مخزن پنج به یک و یا کمتر می‌باشد و در توصیف پره‌های همزن منظور از Pitch مسافت طی شده به ازای هر دور چرخش می‌باشد. انواع متنوعی از پره‌ها موجود می‌باشد که هر یک، کاربرد خاص خود را دارا می‌باشد که در شکل زیر نشان داده شده است. پره دریایی برای مایعات باویسکوزیت پایین و پره توربینی با پره‌های مورب برای معلق نمودن خمیر چوب و پره توربینی محضور شده برای مجاورسازی گاز و مایع به کار می‌رود.



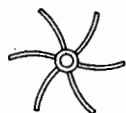
پره دریایی



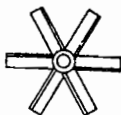
پره توربینی با پره‌های مسطح



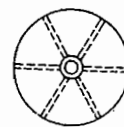
پره توربینی با پره‌های صفحه‌ای مسطح



پره توربینی با پره‌های مورب



پره توربینی با پره‌های دارای برآمدگی



پره توربینی محصور شده

چهار عدد بدون بعد در مخازن همزن دار اهمیت دارند که عبارتند از: عدد توان P_0 و عدد رینولدز Re و عدد فرود Fr و عدد ویر

We

عدد توان، برای بی بعد کردن توان همزن به کار می‌رود و به صورت زیر تعریف می‌شود

$$P_0 = \frac{\text{توان همزن}}{[\text{توان مشخصه}]}$$

$$\text{توان مشخصه} = (u.A) \times \Delta P = (u.A) \times (\rho u^2) = (N.d.d^2) \times (\rho \times N^2 d^2) = \rho N^3 d^5 \Rightarrow P_0 = \frac{P}{\rho N^3 d^5}$$

که

d : قطر همزن

N : دور / ثانیه

D_T : قطر مخزن

δ : کشش سطحی

$$Re = \frac{\rho u d}{\mu} = \frac{\rho N d^2}{\mu}$$

$$Fr = \frac{u^2}{dg} = \frac{N^2 d}{g}$$

$$we = \frac{\rho u^2 d}{\delta} = \frac{\rho (N d)^2 d}{\delta} = \frac{\rho N^2 d^3}{\delta}$$

عدد رینولدز نسبت نیروهای اینرسی به نیروهای ویسکوز را نشان می‌دهد و عدد فرود نشانگر نسبت نیروی اینرسی به نیروی ثقلی می‌باشد و عدد ویر عبارت است از نسبت نیروی اینرسی به نیروی سطحی. در حالت کلی می‌توان گفت که عدد توان وابسته به Re و Fr و we می‌باشد

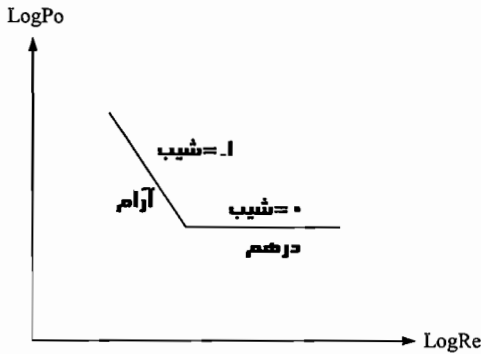
$$P_0 = f(Re, Fr, we)$$

نکته: عدد توان همواره وابسته به Re است مگر در جریان درهم

نکته: فقط وقتی که در مخزن گرداب به وجود بیاید، عدد توان وابسته به Fr می‌شود

نکته: فقط در اختلاط سیستم‌های دوفازی، عدد we دارای اهمیت است و بر عدد توان تأثیر می‌گذارد.

مختصات Log - Log



جریان آرام جریان درهم

$$p_o \propto \frac{1}{Re}$$

$p_o = \text{ثابت}$

$$\frac{p}{\rho N^3 d^5} \propto \frac{1}{\frac{\rho N d^2}{\mu}}$$

$$\frac{p}{\rho N^3 d^5} = \text{cte}$$

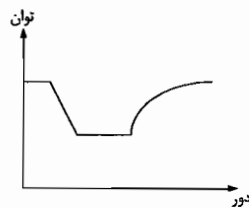
$$p \propto \mu N^2 d^3$$

$$p \propto \rho N^3 d^5$$

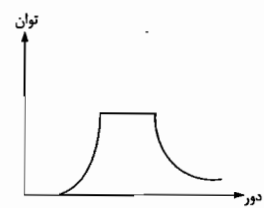
نکته : طبق روابط بالا، در جریان آرام، توان همزن متناسب با ویسکوزیته و مستقل از چگالی سیال می‌باشد و در جریان درهم توان همزن متناسب با چگالی و مستقل از ویسکوزیته سیال می‌باشد

نکته : با تزریق گاز به مخزن همزن‌دار در حال کار، توان همزن کاهش می‌یابد

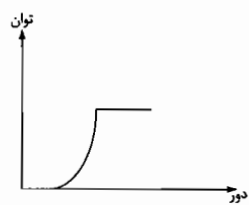
مثال : در یک فرایند انتقال جرم در ظرف همزده، ابتدا ظرف را از مایع پر نموده سپس همزن به کار افتاده و پس از رسیدن همزن به دور ماکزیمم، دبی گاز به آهستگی افزوده می‌شود تا به مقدار مورد نظر برسد کدام نمودار برای تغییرات توان داده شده به محتویات داخل ظرف همزده صحیح است؟ (مهندس شیمی ۸۰ و بیوتکنولوژی ۸۰)



(۲)



(۱)



(۴)



(۳)

حل : گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس

مثال : توان همزنی که دو فاز گاز و مایع را مخلوط می‌کند تابع است

- (۱) عدد وبر (۲) عدد رینولدرز (۳) عدد وبر و عدد رینولدرز (۴) هیچ کدام

حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

مثال : در اختلاط تک فاز سیالی در مخزن سرریسته عدد توان تابع است.

- (۱) عدد وبر (۲) عدد فرود (۳) عدد رینولدرز (۴) هر سه مورد

حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

در اختلاط تک فاز عدد وبر نقشی در تعیین عدد توان ندارد و چون ظرف سرریسته می‌باشد بنابراین گرداب در مخزن به وجود نمی‌آید پس عدد فرود نیز در تعیین عدد توان نقشی ندارد

نکته : برای محاسبه ضریب انتقال جرم در مخازن هم‌زن‌دار از رابطه زیر استفاده می‌شود

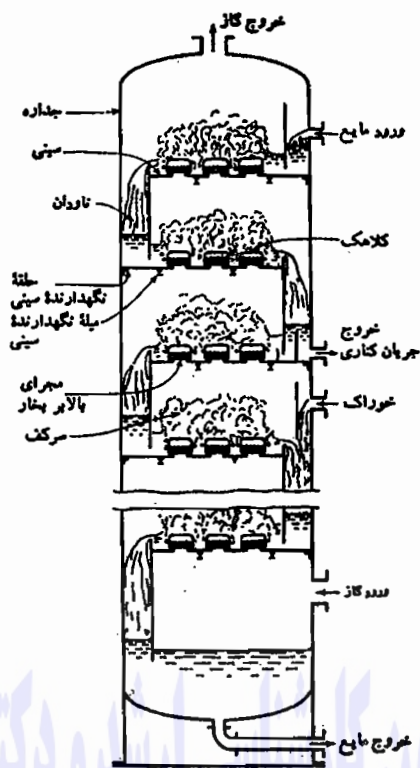
$$Sh_L = 2 + 0.31 Ra^{\frac{1}{3}}$$

که

$$Ra = \frac{(\rho_L - \rho_g)gd^3}{D_{AB}\mu_L} \approx \frac{\rho_Lgd^3}{D_{AB}\mu_L}$$

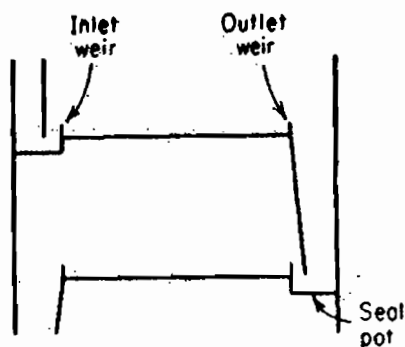
۴-۵- برج‌های سینی‌دار

برج‌های سینی‌دار مهم‌ترین دستگاه‌های این گروه به شمار می‌روند و در آن‌ها جریان‌های متقابل و تماس چند مرحله‌ای بین فازهای مایع و گاز برقرار می‌شود. برج‌های سینی‌دار استوانه‌های عمودی هستند که در آن‌ها مایع و گاز به صورت مرحله‌ای در سینی‌ها با یکدیگر تماس پیدا می‌کنند به طور کلی وقتی شدت جریان گاز و مایع زیاد باشد و برای انجام انتقال جرم مطلوب، نیازمند مراحل تعادلی زیادی هستیم از برج‌های سینی‌دار استفاده می‌کنیم که مایع از بالای برج وارد می‌شود - از طریق خروجی کندانسور - و تحت اثر نیروی ثقل خود به طرف پایین حرکت می‌کند و از روی هر سینی از طریق یک مجرا - Down spout - به سینی پایین می‌ریزد و گاز از پایین به بالا - از طریق خروجی ریبویلر - و از طریق روزنه‌های موجود در روی سینی و ایجاد حباب در درون مایع حرکت می‌کند. هر سینی برج به منزله یک مرحله تعادلی عمل می‌کند چون تماس کافی در روی هر سینی بین فازها انجام می‌شود



ساختمان یک برج سینی دار - چگونگی آرایش داخل برج برای انتقال جرم بهتر

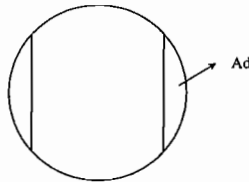
مجاری ریزش مایع (Down spouts): همان طور که گفته شد، انتقال مایع از یک سینی به سینی پایین تر از طریق مجاری ریزش مایع انجام می شود. فرض بر این است که ، هنگامی که مایع وارد Down spout می شود حباب های گاز از آن جدا شده و عملاً میزان انتقال جرم مابین مایع و حباب هایی که در داخل آن مانده است در مقایسه با میزان انتقال جرم که درون سینی انجام می شود ناچیز است - نیروی محرکه خیلی کم می شود - حالت ناودانی Down spout کمک می کند که جریان گاز به جای این که از Down spout بالا برود از منافذ روی سینی عبور کند



ظروف جمع آوری کننده

man way: در برج های سینی دار برای تمیز کردن داخل برج، دریچه هایی در اطراف آنها نصب می کنند و در برج های بزرگ برای تمیز کردن به ازای هر ده سینی یک راه ورود (man way) به درون برج برای ورود اپراتورها در نظر می گیرند.

بندها (weir) : برای این که مایع عمق مناسبی روی سینی داشته باشد از بندها استفاده می‌کنند عرض بندها معمولا ۶۰٪ تا ۸۰٪ قطر برج می‌باشد



سطح یک سینی به قسمت‌های مختلفی تقسیم می‌شود

A_n : سطح مقطع خالص برای جریان گاز

A_d : سطح مقطع خالص برای جریان مایع

A_t : سطح مقطع برج

A_α : سطح فعال

A_o : سطح منافذ موجود روی سینی

که روابط زیر بین این سطح موجود است

$$A_t = A_n + A_d$$

یا $A_t = A_a + 2A_d$

و $A_n = \frac{Q}{V}$

نسبت سطح مقطع خالص برای جریان مایع A_d به سطح مقطع برج A_t در جداولی موجود می‌باشد که با توجه به این نسبت و A_n به دست آمده از طریق دبی و سرعت فاز گاز می‌توان سطح مقطع برج A_t و قطر برج را به دست آورد.

سینی را به صورت شیب‌دار نصب می‌کنند - معمولا اختلاف ارتفاع دو سر سینی حدود 6mm می‌باشد - تا جریان مایع روی سینی به خوبی انجام شود. افزایش بیش از حد شیب باعث به وجود آمدن اشکال در پراکندگی گاز در مایع می‌شود برای افزایش بازده هر سینی و نزدیک کردن فازهای خروجی از هر سینی به حالت تعادل می‌توان زمان تماس فازها و یا سطح تماس فازها را افزایش داد. با افزایش سرعت گاز، حباب‌های به وجود آمده در مایع ریزتر می‌شوند^۱ و در نتیجه سطح تماس گاز و مایع افزایش می‌یابد و برای افزایش زمان تماس فازها می‌توان عمق مایع موجود در روی سینی را افزایش داد اما مهمترین مسئله در طراحی برج انتخاب ابعاد و مشخصات قسمت‌های مختلف آن به ترتیبی است که با توجه به عوامل مختلف با اثرات گوناگون، بهترین نتیجه کلی را بدهد زیرا که تجربه نشان داده که ایجاد شرایطی که تنها موجب افزایش بازده سینی شود، در عمل سبب بروز اشکالات زیادی خواهد گردید که در بخش بعدی به آن‌ها اشاره می‌شود.

پدیده‌های نامطلوب رایج در برج‌های سینی‌دار

ماندگی (Entrainment): همان‌طور که قبلا گفته شده به مقدار مایعی که توسط جریان گاز حمل می‌شود ماندگی می‌گویند و این پدیده در تمام دستگاه‌های گاز - مایع اتفاق می‌افتد در برج‌های سینی‌دار سرعت زیاد گاز، قطرات ریزمایع را با خود حمل کرده و به سینی بالایی منتقل می‌کند که باعث کاهش نیروی محرکه (اختلاف غلظت) انتقال جرم می‌شود و نوعی اختلاط معکوس یا Back mixing رخ می‌دهد و در نتیجه راندمان برج کاهش می‌یابد

طغیان (Flooding): یک اشکال صرفاً مکانیکی است که عامل آن افت فشار بیش از حد جریان گاز است که باعث می‌شود گاز از ورود مایع به سینی پایینی جلوگیری کند و مایع از سینی پایینی به سینی بالایی برگردانده می‌شود افزایش بیشتر در شدت جریان گاز، وضعیت سیستم را به سرعت عوض می‌کند و مایع تمام فاصله بین سینی‌ها را پر می‌کند

نکته: در پدیده ماندگی مایع توسط گاز حمل می‌شود ولی در طغیان مایع توسط گاز پس زده می‌شود

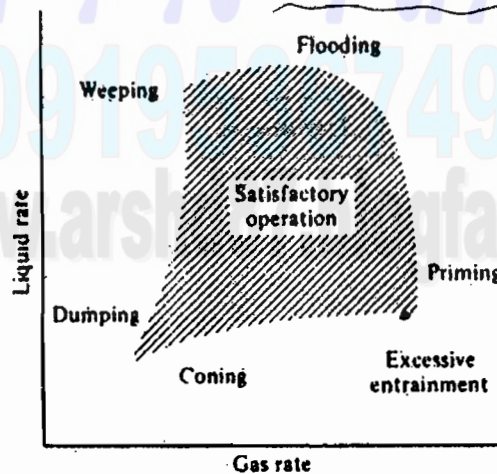
انسداد (Priming): اگر مخلوط خاصیت کف‌کنندگی بالا داشته باشد، در سرعت‌های زیاد گاز، حالت بسیار حاد پدیده ماندگی اتفاق می‌افتد که به آن انسداد می‌گویند

مخروطی شدن (Coning): هرگاه شدت جریان مایع بسیار پایین باشد، جریان گاز به جای پراکنده شدن در فاز مایع، برای خود مجرا باز می‌کند که سبب تماس ضعیف مایع و گاز می‌شود

چکه کردن (weeping): زمانی اتفاق می‌افتد که شدت جریان گاز خیلی کم باشد، در این حالت بخشی از مایع به جای خارج شدن از طریق down spout از منافذ روی سینی به پایین چکه می‌کند

شرشر کردن (Dumping): اگر شدت جریان گاز خیلی کم باشد عملاً گازی از منافذ وارد سینی نمی‌شود و یک جریان پیوسته مایع از درون منافذ به وجود می‌آید و کل مایع روی سینی از منافذ به پایین می‌ریزد.

نکته: سریع‌ترین راه برطرف کردن طغیان، کم کردن دبی گاز است



مشخصات عملیاتی سینی‌های مشبک

(فرآوری و انتقال گاز ۸۳)

مثال: پدیده طغیان منتهی به کدام مورد خواهد شد؟

(۴) سرعت زیاد گاز و مایع

(۳) سرعت زیاد مایع

(۲) بازده کم برج

(۱) بازده زیاد برج

حل: گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

مثال: در یک برج سینی‌دار با سینی مشبک، پدیده Entrainment در کدام یک از حالات زیر اتفاق می‌افتد؟

(۲) کم بودن دبی گاز و مایع

(۱) کم بودن دبی گاز و زیاد بودن دبی مایع

(۴) زیاد بودن دبی گاز و مایع

(۳) کم بودن دبی مایع و زیاد بودن دبی گاز

حل: گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

قطر برج

قطر برج سینی‌دار به دبی جریان‌های گاز و مایع بستگی دارد و باید به اندازه‌ای باشد که بتواند شدت جریان‌های گاز و مایع را بدون به وجود آمدن اشکالات ذکر شده از خود عبور دهد.

سرعت طغیان را به عنوان معیاری جهت تعیین قطر برج به کار می‌برند که در این صورت دبی جریان گاز فاکتور اصلی تعیین قطر برج می‌باشد و به صورت زیر تعریف می‌شود

$$v_f = \ell_f \left(\frac{\rho_L - \rho_G}{\rho_G} \right)^{\frac{1}{2}} = \ell_f \left(\frac{\rho_L}{\rho_G} \right)^{\frac{1}{2}}$$

ρ_L : چگالی مایع

ρ_G : چگالی گاز

ℓ_f : ضریب طغیان

این رابطه یک رابطه تجربی می‌باشد و ℓ_f تابع نوع سینی است که در مورد سینی‌های مشبک از رابطه زیر محاسبه می‌شود

$$\ell_f = \left[\alpha \text{Log} \frac{1}{\left(\frac{L'}{G'} \right) \sqrt{\frac{\rho_G}{\rho_L}}} + \beta \right] \left(\frac{\sigma}{0.02} \right)^{0.2}$$

$$\alpha = \alpha_1 t + \alpha_2$$

$$\beta = \beta_1 t + \beta_2$$

t: فاصله بین دو سینی متوالی tray spacing

α_1, α_2 و β_1, β_2 : ضرایب ثابت و تجربی

$$L: \text{دبی جریان مایع } \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$L': \text{سرعت جریان مایع } \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$G: \text{دبی جریان گاز } \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$G': \text{سرعت جریان گاز } \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

A: سطح مقطع

σ : کشش سطحی

$$\frac{L'}{G'} = \frac{L}{G}$$

سرعت جریان‌های گاز و مایع را در ابتدا نمی‌دانیم ولی نسبت این دو سرعت برابر است با:

پس از تعیین سرعت طغیان، سرعت مجاز جریان گاز را طبق رابطه زیر تعیین می‌کنیم

$$V = \begin{cases} (80\% - 85\%) \times V_F & \text{برای مخلوط‌های غیرکفزا} \\ (70\% - 75\%) \times V_F & \text{برای مخلوط‌های کفزا} \end{cases}$$

یا
 G'

با داشتن سرعت مجاز جریان گاز (G') و دبی جریان گاز (G) می‌توانیم سطح مقطع عبوری جریان گاز را به دست آوریم و قطر برج را تعیین کنیم

مثال: افزایش فاصله بین سینی‌ها و کشش سطحی با فرض ثابت بودن دبی جریان گاز و مایع به ترتیب چه اثری بر قطر برج دارد؟

(۱) در هر دو حالت، قطر برج افزایش می‌یابد.

(۲) در حالت اول قطر برج کاهش و در حالت دوم قطر برج افزایش می‌یابد.

(۳) در هر دو حالت، قطر برج کاهش می‌یابد.

پارسه ماهان سنچس
www.arshd87.blogfa.com

09195367497

(۴) در حالت اول قطر برج افزایش و در حالت دوم قطر برج کاهش می‌یابد.

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$l_f \propto \sigma \Rightarrow \sigma \uparrow \Rightarrow \left. \begin{array}{l} l_f \uparrow \\ , v_f \propto l_f \end{array} \right\} \Rightarrow V_f \uparrow, V \uparrow$$

$$\left. \begin{array}{l} V = \frac{G}{A} \\ V \uparrow \\ G = \text{cte} \end{array} \right\} \Rightarrow A \downarrow, D_T \downarrow$$

با افزایش کشش سطحی، قطر برج کاهش می یابد

$$\left. \begin{array}{l} \alpha, \beta \propto t \\ t \uparrow \end{array} \right\} \left. \begin{array}{l} \alpha, \beta \uparrow \\ l_f \propto \alpha \\ l_f \propto \beta \end{array} \right\} \Rightarrow \left. \begin{array}{l} l_f \uparrow \\ V_f \propto l_f \end{array} \right\} V_f \uparrow, V \uparrow$$

با افزایش فاصله بین سینی ها، قطر برج کاهش می یابد

لازم به ذکر است که هرچه قطر برج بزرگتر باشد

فاصله بین دو سینی، بیشتر می شود که این دو مطلب متفاوت از یکدیگر می باشند

نکته : شدت جریان های گاز و مایع معمولاً در طول برج متغیر می باشد ولی تغییر قطر برج از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه

نمی باشد و به همین جهت با در نظر گرفتن حداکثر شدت جریان ها، یک قطر واحد برای تمام برج در نظر می گیرند، اگر

تغییرات شدت جریان ها از بالا به پایین برج از 20% بیشتر شود از دو قطر استفاده می کنند

نکته : قطر برج را می توان با افزودن فاصله سینی ها کاهش داد. بنابراین منحنی تغییرات هزینه ساخت برج که بستگی به قطر و

ارتفاع برج دارد از یک نقطه بهینه عبور خواهد کرد که هزینه حداقل می گردد

ماندگی مایع

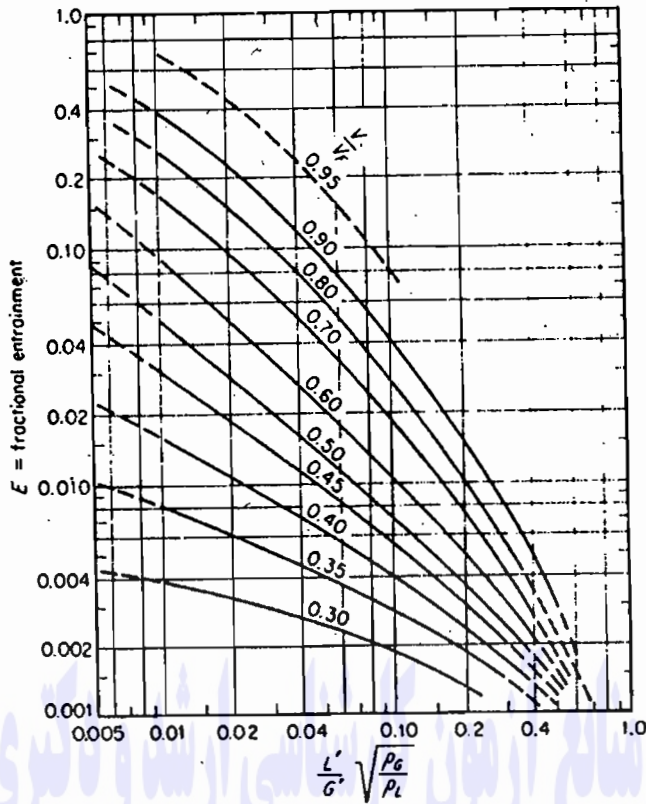
همان طور که قبلاً توضیح داده شد، به میزان مایعی که توسط جریان گاز از یک سینی به سینی بالاتر حمل می شود ماندگی می گویند.

ماندگی در حقیقت یک نوع اختلاط معکوس به حساب می آید و سبب از بین رفتن اختلاف غلظت در سینی ها می شود که منجر به

کاهش بازده برج می گردد به همین جهت پارامتری به نام درجه ماندگی تعریف می شود که در طراحی برج باید سعی شود که درجه

ماندگی هر چه کمتر شود در شکل زیر درجه ماندگی بر حسب پارامتر جریان $\frac{L'}{G'} \sqrt{\frac{\rho_G}{\rho_L}}$ و نسبت $\frac{V}{V_F}$ در مورد سینی های مشبک

داده شده است.



ماندگی در سینی‌های مشبک

نکته : معمولاً به ازای هر سینی افت فشار جریان گاز درون برج 0.1 psi می‌باشد.

افت فشار گاز در طول برج مجموع سه عامل زیر می‌باشد

$$h_G = h_p + h_L + h_R$$

h_G : افت فشار فاز گاز

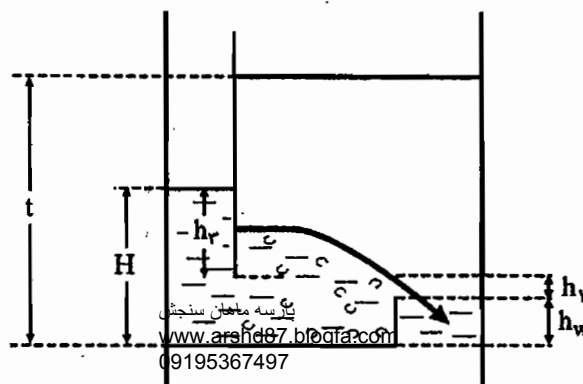
h_p : افت فشار فاز گاز در اثر عبور از سینی خشک

h_L : افت فشار فاز گاز ناشی از عمق مایع روی سینی

h_R : افت فشار فاز گاز در اثر عوامل دیگر همچون کشش سطحی و ...

از طرفی افت فشار گاز برابر است با ارتفاع مایع خالص درون مجرای بین دو سینی - Down spout - که باید از نصف فاصله بین دو

سینی کمتر باشد



$$h_G = H = h_w + h_1 + h_3$$

که

h_w : ارتفاع بند weir

و

$$H < \frac{t.s}{2}$$

h_1 : ارتفاع مایع سرریز از روی بند

h_3 : اختلاف ارتفاع بین سطح مایع در مجرای بین دو سینی Down spout و سطح مایع در روی سینی

t.s=tray spacing - فاصله بین دو سینی متوالی -

در جدول زیر گزیده‌ای از مقادیر توصیه شده برای فواصل بین سینی‌ها بر حسب قطر برج ارائه گردیده است بدیهی است مقدار انتخاب شده از جدول بر حسب قطر برج، باید بزرگتر از دو برابر ارتفاع مایع در ناودان باشد تا پدیده‌های نامطلوب طغیان و ماندگی رخ ندهد.

قطر برج بر حسب m	فاصله بین سینی‌ها بر حسب m
1 متر و کمتر	0.15
1-3	0.5
3-4	0.6
4-8	0.9

مثال : در برج‌های سینی‌دار، ارتفاع مایع در ناودان، چند درصد فاصله بین دو سینی باید باشد؟

(فرآوری و انتقال گاز ۸۳)

(۴) کمتر از ۵۰%

(۳) ۷۰%

(۲) ۸۰%

(۱) ۹۰%

حل : گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس

ضخامت سینی‌ها بر حسب جنس مواد به کار رفته در ساخت سینی و میزان مجاز خوردگی تعیین می‌شود

نکته : در نصب سینی‌ها به بدنهٔ برج فاصله‌ای را در نظر می‌گیرند که به دلیل انبساط حرارت سینی در نظر گرفته می‌شود.

انواع سینی

سینی کلاهکی یا فنجان‌ی (Bubble cap): قدیمی‌ترین سینی‌های مورد استفاده می‌باشند

که تقریباً استفاده از آن‌ها منسوخ شده است زیرا که هزینه ساخت آن‌ها تقریباً دو برابر سینی‌های دیگر است و افت فشار بیشتری برای جریان گاز نسبت به سایر سینی‌ها ایجاد می‌کنند ولی مزیت اصلی این نوع سینی‌ها اینست که قادرند محدوده وسیعی از نسبت شدت جریان‌های مایع و گاز - turn down - را در برگیرند

نکته : در طراحی، نسبت شدت جریان طراحی شده به حداقل شدت جریان را، turn down ratio می‌نامند که معیار انعطاف‌پذیری یک

$$\text{turn down ratio} = \frac{G}{G_{\min}} \text{ یا } \frac{L}{L_{\min}}$$

سینی می‌باشد.

سینی‌های مشبک sieve trays : از مهم‌ترین و پرکاربردترین نوع سینی‌ها به حساب می‌آیند زیرا هزینه ساخت آن‌ها در مقایسه با

سایر سینی‌ها کمتر است و افت فشار کمتری برای جریان گاز نسبت به سایر سینی‌ها ایجاد می‌کنند

سینی‌های دریچه‌ای (valve trays) : در این نوع سینی‌ها پدیده نامطلوب چکه کردن weeping اتفاق نمی‌افتد زیرا دارای کلاهک‌های

متحرکی هستند که بسته به شدت جریان گاز باعث تغییر اندازه شکاف‌ها می‌شوند

کاربرد	sieve trays => valve trays > Babble cap
افت فشار	Bubble cap > valve trays > sieve trays
هزینه ساخت	Bubble cap > valve trays > sieve trays
turn down ratio	Bubble cap > valve trays > sieve trays

مثال : در مواردی که رنج تغییرات شدت جریان بخار و مایع ورودی به یک برج جذب زیاد باشد (نسبت حداقل شدت جریان بخار به حداکثر شدت جریان بخار کم باشد) چه نوع برجی جهت طراحی مناسب است؟ (مهندس شیمی ۸۴)

- (۱) برج آکنده
 (۲) برج با سینی شیری valve
 (۳) برج با سینی مشبک sieve
 (۴) برج با سینی کلاهکی Bubble

حل : گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$$\text{turn down ratio} = \frac{G_{\max}}{G_{\min}} = \frac{1}{\frac{G_{\min}}{G_{\max}}}$$

نکته : در برج‌های تقطیر در خلا از نوع خاصی سینی به نام Leva استفاده می‌کنند این سینی‌ها بند weir ندارند بنابراین ارتفاع مایع روی سینی کم است و در نتیجه افت فشار فاز گاز بسیار کم می‌شود.

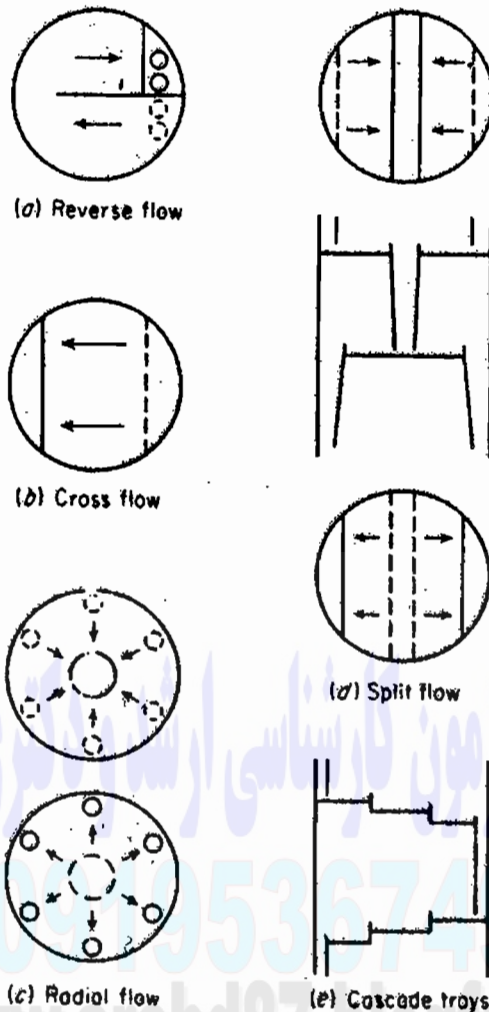
روش‌های توزیع مایع روی سینی‌ها

Cross flow (جریان با یک محل ریزش مایع) که متداول‌ترین روش توزیع مایع روی سینی‌هاست
 reverse flow (جریان معکوس مایع) : که در برج‌های کوچک با دبی کم جریان مایع استفاده می‌شود و سطح مقطع Down spout نصف سطح مقطع در cross flow می‌باشند و طول مسیری که مایع در روی این سینی‌ها طی می‌کند برابر با πD_T می‌باشد « قطر سینی »

Double split flow (جریان با دو محل ریزش مایع) که در برج‌های با قطر 3 تا 6 متر با دبی زیاد جریان مایع مورد استفاده قرار می‌گیرد و طول مسیری که مایع در روی این سینی‌ها طی می‌کند تقریباً برابر با قطر سینی می‌باشد

Radial flow (جریان شعاعی مایع) که در برج‌های با قطر بزرگ در حد 6 متر با دبی زیاد فاز مایع به کار می‌رود

Cascade trays (سینی‌های پله‌ای) که در برج‌های با قطر بسیار بزرگ در حد 9 متر که مهم‌ترین مسئله توزیع مناسب مایع در روی سینی می‌باشد، مورد استفاده قرار می‌گیرد



حالات مختلف جریان مایع در روی سینی، فلش‌ها جهت حرکت مایع را نشان می‌دهند.

بازده برج‌های سینی‌دار

بازده برج‌های سینی‌دار به سه صورت بیان می‌شود

بازده کلی

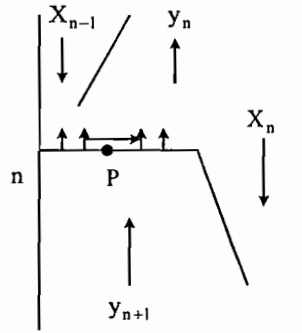
بازده موضعی یا محلی

بازده مورفوری

بازده کلی: که برای کل برج تعیین می‌شود و به صورت زیر تعریف می‌گردد.

$$E_o = \frac{\text{تعداد مراحل ایده‌آل مورد نیاز}}{\text{تعداد مراحل واقعی مورد نیاز}}$$

بازده موضعی و مورفوری: در برج‌های سینی‌دار هر چند که جریان کلی گاز و مایع به صورت ناهم‌سو counter current به حساب می‌آید اما جریان گاز و مایع در روی هر سینی به صورت متقاطع cross current می‌باشد و هر چه در طول سینی و در جهت جریان مایع پیش می‌رویم نیروی محرکه انتقال جرم کاهش می‌یابد بنابراین بیشترین میزان انتقال جرم در ابتدای سینی انجام می‌شود و هر چه در



بازده موضعی برای یک محل خاص در روی سینی بیان می‌شود و به صورت زیر تعریف می‌شود

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

$y_{n,p}$: غلظت بخار خروجی از سینی n ام در نقطه p

$y_{n+1,p}$: غلظت بخار ورودی به سینی n ام در نقطه p

$y_{n,p}^*$: غلظت بخار در حال تعادل با مایع خروجی $x_{n,p}$ از سینی n ام در نقطه p

$y_{n,p}$ هیچ وقت نمی‌تواند از $y_{n,p}^*$ بزرگ‌تر باشد - انتقال جرم در هیچ نقطه‌ای فراتر از حالت تعادلی پیش نمی‌رود - پس بازده موضعی هیچ وقت نمی‌تواند بزرگ‌تر از یک شود

بازده مورفری برای یک سینی تنها بیان می‌شود و به صورت زیر تعریف می‌شود

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

y_n : غلظت توده بخار خروجی از سینی n ام

y_{n+1} : غلظت توده بخار ورودی به سینی n ام

y_n^* : غلظت بخار در حال تعادل با مایع خروجی از سینی n ام - x_n

بازده مورفری بیان‌گر یک تعادل مجازی می‌باشد که در آن هیچ‌گاه، گاز و مایعی که در تعادل با هم فرض شده‌اند در مجاور هم قرار نمی‌گیرند. بنابراین تنها نوعی از بازده است که تحت شرایطی می‌تواند از یک بزرگ‌تر شود که این به معنی پیشرفت انتقال جرم فراتر از حالت تعادلی نمی‌باشد

بازده موضعی و مورفری برای فاز مایع به صورت زیر تعریف می‌شود

$$E_{oL} = \frac{x_{n-1,p} - x_{n,p}}{x_{n-1,p}^* - x_{n,p}}$$

$$E_{ML} = \frac{x_{n-1} - x_n}{x_{n-1}^* - x_n}$$

بین بازده موضعی و بازده مورفری روابطی در حالت کلی وجود دارد که در این جا در دو حالت حدی بررسی می‌شود

حالت حدی یک - جریان مایع روی سینی به صورت کاملاً مخلوط یا mixed flow باشد - فرض کنید در روی سینی یک همزن

داریم - در این صورت به خاطر وجود اختلاط معکوس شدید، غلظت در کلیه نقاط روی سینی در فاز مایع یکنواخت می‌شود و برابر با

x_n می‌گردد و داریم:

$$E_{MG} = E_{oG}$$

و بازده موضعی با بازده مورفری برابر می‌شود و بازده مورفری در این حالت بیان می‌تواند از یک بزرگ‌تر گردد

حالت حدی دو - جریان مایع روی سینی به صورت قالبی یا Plug flow باشد. در این صورت هیچ گونه اختلاط معکوس back mixing در فاز مایع وجود ندارد و زمان اقامت برای کلیه ذرات مایع روی سینی برابر است و داریم

$$E_{mG} = \frac{1}{mG} \left(e^{\frac{EoG \cdot mG}{L}} - 1 \right)$$

m : شیب منحنی تعادل

G: دبی جریان گاز

L: دبی جریان مایع

معمولا رفتاری بین دو حالت حدی مذکور مشاهده می شود و معیار مقایسه بین دو حالت حدی عدد پکله Pe می باشد که به صورت زیر تعریف می شود

$$Pe = \frac{uL}{D_{AB}} = \frac{Z^2}{D_E \cdot \theta_L}$$

U: سرعت جریان مایع

L: بعد مشخصه - در این جا طول سینی -

D_{AB} : ضریب نفوذ

Z: طول مسیر حرکت روی سینی

D_E : ضریب نفوذ گردانه ای

θ_L : زمان اقامت مایع روی سینی

در حالت اختلاط کامل mixed flow، $pe=0$ و در حالت جریان قالبی plug flow، $Pe = \infty$ می باشد

$$D_E \text{ یا } D_{AB} = \infty \Rightarrow Pe = 0 \Rightarrow \text{mixed flow}$$

$$D_E \text{ یا } D_{AB} = 0 \Rightarrow Pe = \infty \Rightarrow \text{plug flow}$$

جریان در برج های بزرگ، Z یا L بزرگ - نزدیک به صورت قالبی یا plug flow می باشد

مثال : در روی یک سینی که انتقال جرم بین دو فاز روی آن انجام می گیرد، پروفایل غلظت به وجود آمده است. (بیوتکنولوژی آزاد ۷۸)

(۲) مایع و بخار به خوبی روی سینی مخلوط شده اند

(۱) قطر سینی کم است

(۴) قطر سینی زیاد است

(۳) عدد اشویت Sc در دو فاز مساوی بوده است

حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.

با توجه به این که پروفایل غلظت در روی سینی داریم پس جریان نزدیک به صورت plug یا قالبی می باشد و می دانیم که در جریان

$$Pe = \infty, \text{ plug}$$

$$Pe = \infty = \frac{uL}{D_{AB}} \Rightarrow L \uparrow \uparrow$$

نکته : در صورت طراحی درست برج، باید پروفایل دمایی مناسبی از بالا به پایین برج وجود داشته باشد در صورتی که دما چند

سینی پشت سر هم با هم برابر باشند به این معنی است که انتقال جرم در آن سینی ها به خوبی انجام نمی شود.

همان طور که در ابتدای فصل توضیح داده شد دستگاه www.arshd87.blogfa.com مسته اصلی تقسیم می شدند در ادامه درس به بررسی دستگاه هایی که در آن ها فاز مایع پراکنده می شود می پردازیم

۵-۵ برج‌های دیواره مرطوب

در این برج‌ها، لایه نازکی از مایع از طریق دیواره داخلی برج از بالا به پایین ریخته می‌شود و گاز به صورت هم‌سو و یا ناهم‌سو از درون برج جریان می‌یابد.

مزایا: افت فشار جریان گاز در این دستگاه بسیار کم می‌باشد و به علت سادگی، تنها دستگاهی است که می‌توان سطح انتقال جرم را به طور دقیق اندازه‌گیری کرد به همین جهت در مطالعات آزمایشگاهی کاربرد زیادی دارد و مزیت آخر این که می‌توان با قراردادن کویل در دیواره خارجی برج به راحتی از برج خارج و یا به برج تزریق کنیم.

معایب: این دستگاه دارای سطح انتقال جرم کمی می‌باشد « $A = \pi DH$ » و به همین علت عده مراحل تعادلی که در ارتفاع معین می‌دهد کم می‌باشد.

با توجه به مزایا و معایب ذکر شده از این دستگاه در فرایندهایی استفاده می‌شود که عده مراحل زیادی لازم نداشته باشند همانند جذب توام با واکنش شیمیایی که به علت واکنش شیمیایی همواره در دستگاه نیروی محرکه قابل قبولی وجود دارد و عده مراحل تعادلی مورد نیاز کم است، در فرایند جذب با واکنش گرمازا - مانند جذب اسیدکلریدریک توسط آب - نیز می‌توان از این دستگاه استفاده کرد.

$$a = \frac{\pi DH}{\frac{\pi D^2}{4} H} = \frac{4}{D}$$

نکته: سطح ویژه در برج‌های دیواره مرطوب برابر است با

۵-۶ برج‌های پاششی spray tower

در این دستگاه مایع با فشار زیاد و با عبور از درون نازل‌هایی با سطح مقطع کم از بالا به درون جریان گاز پاشیده می‌شود. مزایا: افت فشار فاز گاز در این دستگاه کم می‌باشد و به علت ریزبودن قطرات مایع، سطح تبادل جرم در این دستگاه زیاد می‌باشد. معایب: افت فشار فاز مایع در این دستگاه زیاد است و حداکثر مراحل تعادلی که در این دستگاه می‌توان به آن رسید 2 تا 3 مرحله تعادلی می‌باشد در این دستگاه‌ها بالاترین میزان اختلاط معکوس یا Back mixing اتفاق می‌افتد و جریان گاز به راحتی قطرات مایع را با خود حمل می‌کند - ماندگی بالا -

با توجه به مزایا و معایب ذکر شده، هیچ‌گاه از یک برج پاششی برای فرایندهایی مانند تقطیر یا جذب و دفع که مستلزم داشتن عده مراحل تعادلی زیاد است استفاده نمی‌شود و بنابراین تنها کاربرد برج‌های پاششی محدود به خشک کردن دوغاب‌های مایعات غلیظ می‌شود که در مورد خشک کردن مواد غذایی و دارویی زمان تماس کم موجود در برج، خود مزیتی به شمار می‌آید - مانند خشک کردن شیر خشک

نکته: H: ارتفاع برج پاششی

D: قطر برج پاششی و داریم:

به علت قطر کم، قطرات مایع به هم می‌چسبند و یا با دیواره برج برخورد می‌کنند و سطح انتقال جرم کاهش می‌یابد \Rightarrow بزرگ $\frac{H}{D}$ اگر

به علت ارتفاع کم برج، مشکل به هم چسبیدن قطرات تا حدودی مرتفع می‌شود ولی به دلیل، زمان کم تماس دو فاز، تعداد مراحل

تعادلی کاهش می‌یابد. \Rightarrow کوچک $\frac{H}{D}$ اگر

۵-۲- شستشو دهنده و نتوری:

در این دستگاه فاز مایع با عبور از نازل‌های با سطح مقطع کم به شکل قطرات ریزی در جریان گاز که به صورت موازی با آن وارد شده است پخش می‌شود

همان طور که قبلاً گفته شد، در صورت برقراری سه شرط زیر از شستشو دهنده و نتوری استفاده می‌شود

(۱) وجود واکنش شیمیایی بین دوفاز

(۲) افت فشار کم فاز گاز

(۳) وجود ذرات جامد معلق در فاز مایع

مانند حذف SO_2 از گازهای سوختی توسط دوغاب آهک

**۵-۳- برج‌های پرشده Packed bed**

برج‌های پرشده مهم‌ترین دستگاه انتقال جرم این گروه می‌باشد در آن‌ها فاز مایع به صورت فاز پراکنده در می‌آید این برج‌ها، استوانه‌های عمودی هستند که از قطعاتی به نام آکنه پر می‌شوند ویژگی مهم آکنه‌ها داشتن سطح ویژه بالا می‌باشد و غالباً نحوه تماس فازها به صورت نامتقابل counter current می‌باشد که فاز مایع از بالای برج وارد شده و با گذشتن از روی آکنه‌های داخل برج، سطح تماس زیادی برای تبادل جرم با فاز گاز فراهم می‌آورند

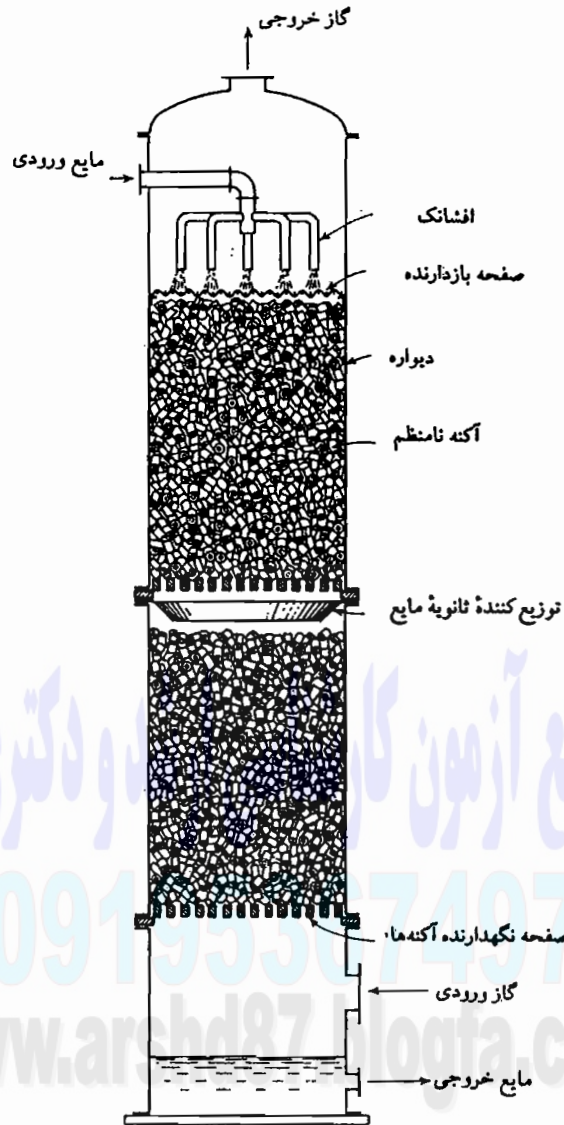
همان طور که در شکل مشاهده می‌کنید یک برج پر شده از قسمت‌های زیر تشکیل شده است

(۱) محفظه استوانه‌ای

(۲) آکنه‌ها

(۳) صفحات نگهدارنده

(۴) صفحات توزیع کننده مایع



برج آکنده و نمایش اجزای داخل آن

۱-۱ آکنه‌ها

همان طور که اشاره شد از آکنه‌ها جهت ایجاد سطح تماس بالا در برج‌های پر شده استفاده می‌کنند یک پرکن خوب باید دارای ویژگی‌های زیر باشد

۱- داشتن سطح ویژه - a_p - زیاد

هرچه سطح ویژه - سطح واحد حجم - پرکن بیشتر باشد سطح تماس دو فاز بیشتر خواهد شد البته لازم به ذکر است که داشتن حفره‌های میکرونی و میکروسکوپی برای بالا بردن سطح ویژه پرکن مناسب نمی‌باشد چرا که چنین حفره‌هایی باعث محبوس شدن مایع در آن‌ها می‌شود و پس از به تعادل رسیدن مایع، انتقال جرم در آن‌ها متوقف می‌گردد

$$a_p = \frac{A_p}{V} = \frac{\text{سطح پرکن‌ها}}{\text{حجم برج}}$$

۲- داشتن تخلخل زیاد - ϵ -

پرکن‌ها باید خلل و فرج کافی برای عبور جریان گاز از بستر را فراهم کنند تا افت فشار جریان گاز کم باشد

$$\epsilon = \frac{\text{حجم فضای خالی درون برج}}{\text{حجم برج}}$$

نکته : رابطه بین سطح ویژه و قطرپرکن با ضریب تخلخل به صورت زیر می‌باشد:

$$a_p = \frac{6(1-\epsilon)}{d_p}$$

نکته : همان طور که از رابطه بالا مشخص است، داشتن a_p زیاد مستلزم ϵ کم می‌باشد که نشانگر اهمیت انتخاب شکل پرکن می‌باشد

۳- ترشوندگی زیاد

پرکن‌ها بایستی به خوبی توسط فاز مایع تر بشوند

۴- قیمت پایین

۵- پرکن‌ها بایستی باعث ایجاد افت فشار کمی در برج بشوند

۶- پایداری شیمیایی و مکانیکی:

پرکن‌ها بایستی در مقابل سیالاتی که در برج در حال تبادل جرم هستند پایداری شیمیایی داشته باشد و از استحکام کافی برخوردار باشند

۷- حتی‌المقدور سبک باشند

نکته : قطر پرکن‌ها معمولاً تا $\frac{1}{10}$ تا $\frac{1}{15}$ قطر برج می‌باشد و با افزایش قطر پرکن‌ها، افت فشار جریان گاز کاهش می‌یابد پرکن‌ها را به دو صورت درون برج قرار می‌دهند

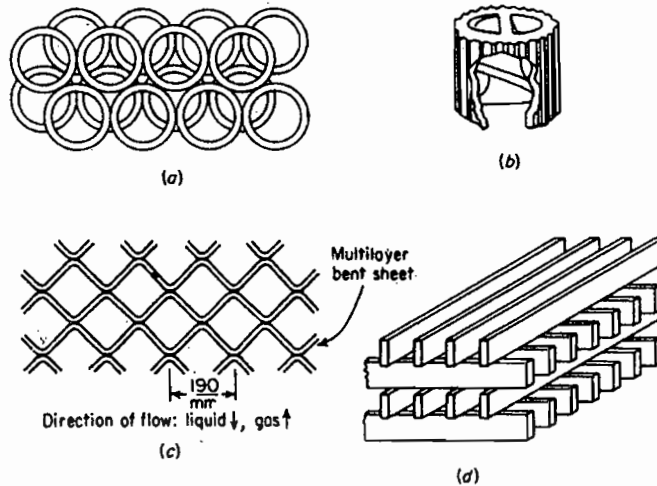
۱) نامنظم: در این روش، پرکن‌ها به طور اتفاقی و نامنظم درون برج ریخته می‌شوند که در شکل زیر انواعی از پرکن‌ها که به صورت نامنظم درون برج قرار داده می‌شود آورده شده است



انواع آکنه‌های تجارتي مطرح در جهان

۱- افت فشار ایجاد شده توسط پرکن‌ها به دو ضریب تجربی C_D, C_F بستگی دارد سازندگان پرکن‌ها اعلام می‌شود C_D معرف اصطکاک عبور فاز گاز از بستر خشک پرکن‌ها می‌باشد و C_F معرف اصطکاک ناشی از جریان‌های متقابل گاز و مایع می‌باشد.

(۲) **منظم:** که در این صورت آکنه‌ها را به طور منظم درون برج می‌چینند که باعث کاهش افت فشار جریان گاز می‌شود و همچنین باعث استفاده از دبی‌های بیشتر فازها می‌شود ولی استفاده از این روش باعث بالا رفتن هزینه‌ها می‌شود



پرکن‌های منظم (a) حلقه‌های راشیک (b) حلقه‌های حلزونی (Chemical Processing Products Division, Norton Co.)
(c) برشی از مجموعه ورقه‌های فلزی موجی شکل (d) آجرهای مشبک

جنس پرکن‌ها: به طور کلی جنس پرکن‌ها از مواد سرامیکی، فلزی، پلاستیکی و کربنی می‌باشد و چون مهم‌ترین انتظار از پرکن‌ها اینست که فاز مایع به خوبی سطح آن را بپوشاند به همین جهت عموماً جنس پرکن را با در نظر گرفتن نوع مایع فرایندی تعیین می‌کنند

نکته: در صورت وجود مواد اکسیدکننده قوی و یا در دماهای بالا در حضور حلال‌های آلی نباید از پرکن‌های پلاستیکی استفاده کرد

مثال: زیاد کردن قطر پرکن‌ها در یک برج پر شده موجب می‌شود.....

- (۱) افت فشار گاز درون برج کاهش یابد
(۲) سطح ویژه پرکن‌ها افزایش یابد
(۳) سطح ویژه پرکن‌ها کاهش یابد
(۴) گزینه ۱ و ۳ هر دو صحیح است

حل: گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

مثال: حجم کل یک بستر ثابت از ذرات کروی به قطر 3mm برابر 5m³ می‌باشد. اگر سطح ویژه بستر 1400 $\frac{m^2}{m^3}$ باشد ضریب

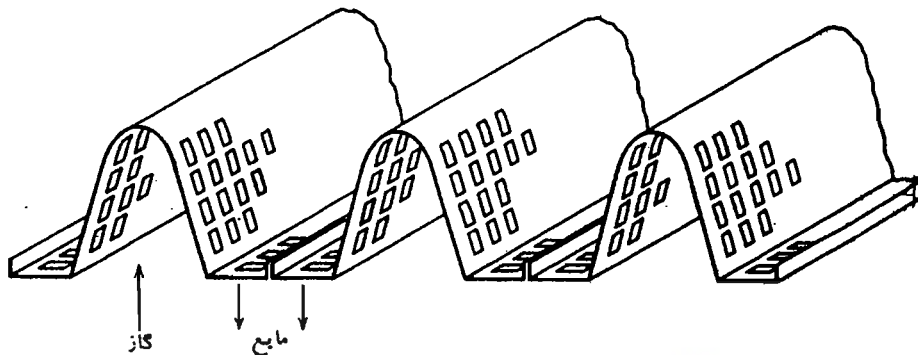
- تخلخل (ε) بستر چه قدر است؟
(۱) 0.30
(۲) 0.45
(۳) 0.60
(۴) 0.75
(بیوتکنولوژی ۸۱)

حل: گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$a_p = \frac{6(1-\varepsilon)}{d_p} = \frac{6(1-\varepsilon)}{3 \times 10^{-3}} = 1400 \Rightarrow \varepsilon = 0.3$$

۲-۸-۵ صفحات نگهدارنده

صفحات نگهدارنده ، صفحات متخلخلی می باشند که در بالا و پایین برج نصب می شوند که وظیفه آن ها نگه داشتن بستر پرکن می باشد و چون فضای خالی در پایین جهت توزیع یکنواخت جریان گاز در بستر می باشد در شکل زیر نمونه ای از صفحه نگهدارنده که در پایین برج نصب می شود آورده شده است

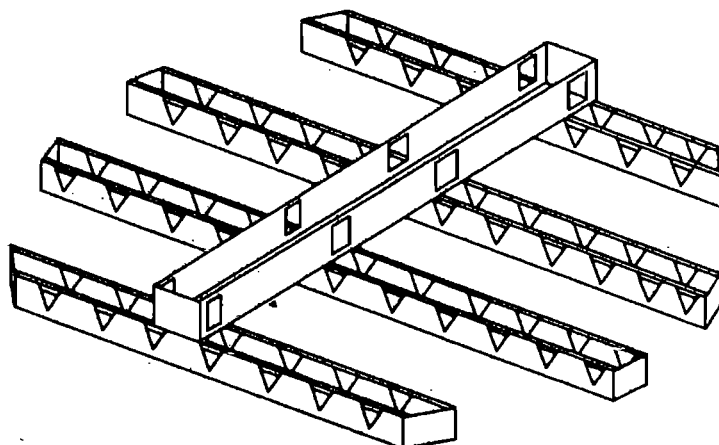


نمونه ای از صفحه متخلخل نگهدارنده که در زیر بستر آکنه ها نصب می شود. مسیر عبور مایع و گاز در شکل نشان داده شده است.

نکته : در مواردی که مشکل حمل قطرات مایع توسط فاز گاز وجود دارد می توان از یک بستر خشک به ارتفاع حدودا 0.5 متر در بالای برج استفاده کرد

۳-۸-۵ صفحات توزیع کننده مایع

توزیع اولیه و صحیح مایع در بالای برج از اهمیت زیادی برخوردار می باشد همان طور که در شکل زیر مشاهده می کنید عدم توزیع مناسب مایع باعث خشک ماندن عده ای از پرکن ها می شود که از لحاظ انتقال جرم کاملا بی فایده می باشد و به همین جهت از صفحات توزیع کننده مایع در بالای برج استفاده می کنند نمونه ای از صفحه توزیع کننده مایع در شکل نشان داده شده است



نکته : جریان مایع تمایل دارد از مسیری حرکت کند که افت فشار کمتری ایجاد می‌کند به همین جهت به طرف دیواره‌ها که اصطکاک کمتری وجود دارد - سطح ویژه موضعی در نزدیک دیواره‌ها کمتر است حرکت می‌کند به همین جهت در برج‌های پرشده با ارتفاع زیاد، برج را دو تکه می‌سازند



۴-۸-۵ ماندگی مایع (Liquid Holdup)

ماندگی مایع عبارت است از مقدار مایعی که به صورت لایه‌هایی پرکن را خیس می‌کند و نیز به صورت حوضچه‌هایی در لابه‌لای پرکن‌ها درگیر شده است، ماندگی مایع از دو قسمت تشکیل شده است:

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

که:

ϕ_{Lt} : ماندگی کلی مایع در برج پرشده بر حسب حجم مایع به حجم برج

ϕ_{Lo} : ماندگی مایع متحرک یا عملیاتی یا operating بر حسب حجم مایع به حجم برج

ϕ_{Ls} : ماندگی مایع ایستا یا ثابت یا static بر حسب حجم مایع به حجم برج

ماندگی مایع متحرک (ϕ_{Lo}): مقدار مایعی که در بین پرکن‌ها به طور مداوم جای خود را به مایع جدید می‌دهد و اگر جریان‌های گاز و مایع به درون برج متوقف شود این مایع از لابه‌لای پرکن‌ها چکه خواهد کرد و از برج خارج خواهد شد

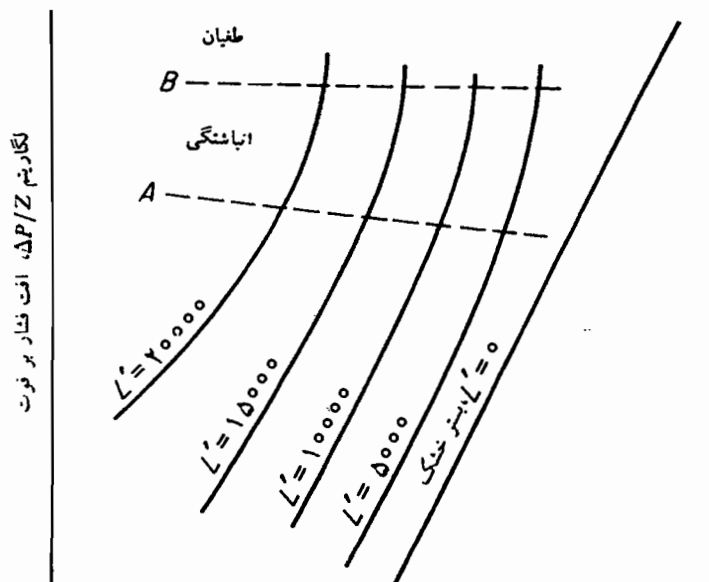
ماندگی مایع ثابت (ϕ_{Ls}): مقدار مایعی که در بین پرکن‌ها گیر کرده است و به صورت ساکن درآمده و در اثر توقف جریان مایع و گاز، از برج خارج نمی‌شود و برای خارج کردن آن، لازمست که پرکن‌ها از برج خارج شوند.

در عملیات جذب و دفع برای انجام بهتر انتقال جرم، باید مقدار ϕ_{Ls} حداقل شود چرا که ماندگی مایع ثابت ϕ_{Ls} سطح موثر انتقال جرم را کاهش می‌دهد - مایع ساکن به سرعت با گاز مجاور خود به تعادل می‌رسد -

نکته: در برجی که تبخیر و یا معیان مایع خالص انجام می‌گیرد مانند cooling tower، استاتیکی یا عملیاتی بودن ماندگی اهمیتی ندارد چون مقاومتی در فاز مایع برای انتقال جرم وجود ندارد

۵-۸-۵ افت فشار گاز در برج‌های پرشده

افت فشار گاز به طور کلی به دبی گاز و دبی مایع و نوع پرکن‌ها و تخلخل بستر بستگی دارد تغییرات افت فشار گاز در برج پرشده به صورت شکل زیر تغییر می‌کند



لگاریتم G ، سرعته جرمی ظاهر گاز

www.arshd87.blogfa.com

09195367497

تغییرات افت فشار گاز در برج‌های آکنده نامنظم برای جریان‌های متقابل

همچنان که در شکل مشاهده می‌کنید در صورتی که در برج اصلا مایع وجود نداشته باشد - بستر خشک باشد - افت فشار گاز بر حسب شار جرمی ظاهری گاز، G' در مختصات لگاریتمی خط راستی با شیب 1.8 تا 2 می‌باشد و با استفاده از معادله ارگان $ergun$ با رابطه زیر به دست می‌آید.

$$\frac{\Delta P}{z} = C_p \frac{G'^2}{\rho_G}$$

$$\frac{\Delta P}{z} : \text{افت فشار گاز در واحد ارتفاع برج } \frac{\text{pa}}{\text{m}}$$

C_p : ضریب درگ که توسط سازندگان پرکن‌ها گزارش می‌شود

$$G' : \text{شار جرمی ظاهری گاز بر حسب } \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{sec}}$$

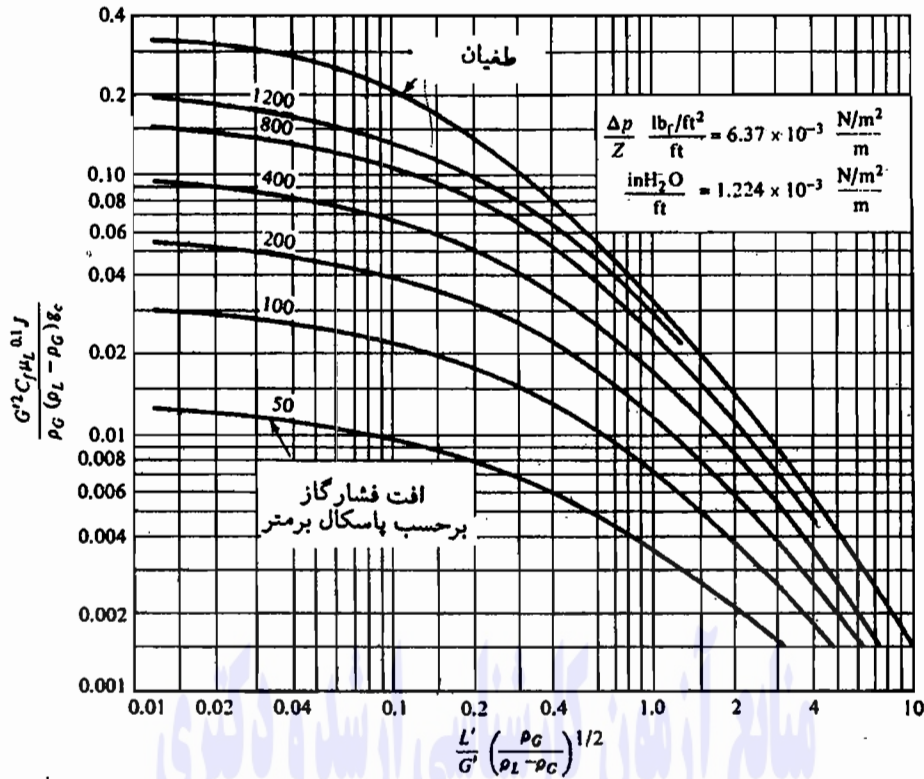
$$\rho_G : \text{چگالی فاز گاز بر حسب } \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

نکته : برای استفاده از رابطه $ergun$ شار جرمی ظاهری گاز باید بزرگتر از $0.7 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{sec}}$ باشد - $G' > 0.7 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{sec}}$ - که در این

صورت جریان گاز در برج به صورت درهم خواهد بود

همان طور که در شکل مشاهده می‌کنید با افزایش شار جرمی ظاهری مایع - L' - افت فشار گاز افزایش می‌یابد چون با افزایش شار مایع، مسیر عبور گاز کمتر شده و گاز برای عبور از بستر پر شده نیاز به فشار بیشتری دارد دو ناحیه در شکل توسط خط چین از یکدیگر جدا شده‌اند. تا ناحیه‌ای که با خط چین A مشخص شده است افت فشار جریان گاز به ازای واحد عمق بستر - $\frac{\Delta P}{z}$ - تقریباً خطی است اما در ناحیه فاصله بین دو خط چین A و B افت فشار با تغییر کم مقدار G' به شدت افزایش می‌یابد و در ناحیه بالاتر از خط چین B شیب خطوط تقریباً به سمت بی‌نهایت میل می‌کند در ناحیه بین دو خط چین A و B - ناحیه انباشتگی یا Loading - بخش عمده‌ای از مقدار مایع به تله افتاده در بین پرکن‌ها به دلیل افزایش دبی گاز به جریان می‌افتد و ϕ_{Ls} - ماندگی ایستا - به حداقل می‌رسد به همین جهت یک جهش قابل ملاحظه در افت فشار جریان گاز داریم - افزایش شدید شیب - و نیز به دلیل به جریان افتادن ϕ_{Ls} ، سطح موثر انتقال جرم افزایش می‌یابد بنابراین مناسب‌ترین ناحیه‌ای کار برای برج پر شده، ناحیه Loading می‌باشد تشخیص ناحیه انباشتگی یا Loading به کمک نمودار افت فشار جریان گاز انجام می‌شود در ناحیه بالاتر از خط چین B، ناحیه طغیان - flooding - افت فشار جریان گاز به حدی زیاد می‌شود که پدیده طغیان در برج اتفاق می‌افتد و فاز گاز به صورت فاز پراکنده درمی‌آید و فاز مایع به صورت پیوسته درمی‌آید

برای محاسبه افت فشار گاز در بستر دو فازی «از معادله ارگان در بستر خشک استفاده می‌کنند» از نمودارهای زیر استفاده می‌کنند



افت فشار در برج‌های آکنده نامنظم - ارتباط عوامل مؤثر

در سیستم SI ، مقدار g_c برابر یک می‌باشد ولی در سیستم انگلیسی - $[G'] = \frac{Lb}{ft^2 \cdot hr}$ ، $[\rho] = \frac{Lb}{ft^3}$ و $-\mu_L = cp$ مقدار

$z = 1.502$ ، $g_c = 4.18 \times 10^8$ می‌باشند و C_f یک پارامتر تجربی است که توط سازندگان پرکن گزارش می‌شود

پارامتر جریان نام دارد ، $\frac{L'}{G'} \sqrt{\frac{\rho_G}{\rho_L - \rho_G}}$

نکته : افت فشار برج پر شده نسبت به برج سینی دار کمتر است

مثال : در یک برج شده، شدت جرمی جریان گاز $\frac{kg}{s}$ 1 می‌باشد اگر ضریب درگ پرکن‌ها $C_D = 80$ و سطح مقطع برج $1m^2$ باشد

$$\rho_G = 1.5 \frac{kg}{m^3}$$

افت فشار در واحد ارتفاع برج در بستر خشک برج چه مقدار خواهد بود؟

$$180 \frac{Pa}{m} \quad (۴)$$

$$120 \frac{Pa}{m} \quad (۳)$$

$$53 \frac{Pa}{m} \quad (۲)$$

$$35 \frac{Pa}{m} \quad (۱)$$

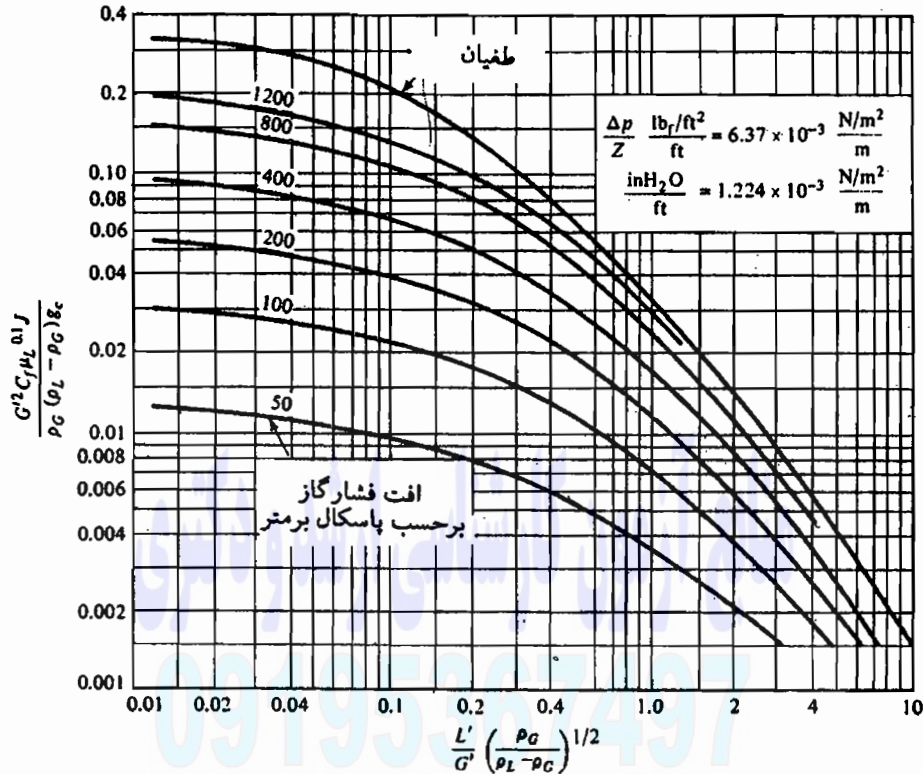
حل : گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$\frac{\Delta p}{z} = C_D \frac{G'^2}{\rho_G} \Rightarrow \frac{\Delta p}{z} = 80 \times \frac{1^2}{1.5} \cong 53 \frac{Pa}{m}$$

$$G' = \frac{G}{A} = \frac{1}{1} = 1 \frac{kg}{m^2 \cdot s}$$

۶-۱ تعیین قطر برج پرشده

برای تعیین قطر برج پرشده از افت فشار مجاز جریان گاز استفاده می‌کنیم و با استفاده از نمودار افت فشار در طی مراحل زیر قطر برج را به دست می‌آوریم



افت فشار در برج‌های آکنده نامنظم - ارتباط عوامل مؤثر

مرحله اول: پارامتر جریان را محاسبه می‌کنیم $\frac{L'}{G'} \sqrt{\frac{\rho_G}{\rho_L - \rho_G}}$

مرحله دوم: از روی نمودار و با استفاده از افت فشار طغیان، Ψ_{flooding} را به دست می‌آوریم و با داشتن $\rho_G, \rho_L, \mu_L, C_f$ می‌توان شار جرمی ظاهری گاز - G'_{flooding} - را به دست آوریم
مرحله سوم: برای جلوگیری از وقوع حالت طغیان داریم

$$G' = 0.7 G'_{\text{flooding}}$$

مرحله چهارم: با به دست آوردن G' در مرحله قبلی و با توجه به دبی جریان گاز داریم:

$$G' = \frac{G}{A} \Rightarrow A = \frac{G}{G'} \Rightarrow D_T \text{ بدست می‌آید}$$

$$A = \frac{\pi D_T^2}{4}$$

مثال: افزایش شدت جریان مایع چه اثری بر قطر برج پرشده در مرحله طراحی دارد؟

- (۱) باعث افزایش قطر برج می‌شود
(۲) تاثیری بر قطر برج ندارد
(۳) باعث کاهش قطر برج می‌شود
- پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497
- به ضریب پرکن - C_f - دارد

حل : گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$L' \uparrow \Rightarrow \uparrow \text{ پارامتر جریان } \Rightarrow \Psi_{\text{flooding}} \downarrow \Rightarrow \left. \begin{array}{l} G' \downarrow \\ G' = \frac{G}{A} \end{array} \right\} \Rightarrow A \uparrow, D_T \uparrow$$

مثال : در صورتی که با تغییر نوع آکنه (Packing) یک برج آکنده (Packed) ضریب پرکن (packing factor) یک و نیم برابر مقدار اولیه طراحی انتخاب شده و بقیه پارامترها مشابه در نظر گرفته شود، قطر برج چند برابر قطر اولیه آن باید باشد؟ (بیوتکنولوژی ۸۴)

1.5 (۴)

0.9 (۳)

1.1 (۲)

2 (۱)

حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$\left. \begin{array}{l} \Psi_{\text{flooding}} = \text{cte} \\ \Psi \propto C_f G'^2 \end{array} \right\} \Rightarrow C_f G'^2 = \text{cte} \Rightarrow \text{داریم :}$$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{C_{f_1}}{C_{f_2}} = \frac{G_2'^2}{G_1'^2} \Rightarrow \frac{G_2'}{G_1'} = \sqrt{1.5} \\ G' \propto \frac{1}{A} \\ A \propto D^2 \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{D_2^2}{D_1^2} = \sqrt{1.5} \Rightarrow \frac{D_2}{D_1} = \sqrt[4]{1.5} = 1.1$$

مثال : اگر در یک برج پرشده در مرحله طراحی، شدت جریان های گاز و مایع دو برابر شوند چه اثری بر قطر برج دارد؟

(۲) تاثیری بر قطر برج ندارد

(۱) باعث افزایش قطر برج می شود

(۴) بستگی به ضریب پرکن - C_f - دارد

(۳) باعث کاهش قطر برج می شود

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$\left. \begin{array}{l} L_2 = 2L_1 \\ G_2 = 2G_1 \end{array} \right\} \Rightarrow \text{پارامتر جریان} = \text{cte} \Rightarrow \Psi_{\text{flooding}} = \text{cte} \Rightarrow \left. \begin{array}{l} C_f G'^2 = \text{cte} \\ C_f = \text{cte} \end{array} \right\}$$

$$\Rightarrow \left. \begin{array}{l} G'^2 = \text{cte} \\ G' = \frac{G}{A} \\ G_2 = 2G_1 \end{array} \right\} \Rightarrow A_2 = 2A_1, D_2 = D_1 \sqrt{2}$$

مثال : اگر در یک برج پرشده در حال کار، شدت جریان های مایع و گاز دو برابر شوند و

(۲) افت فشار جریان گاز کاهش می یابد

(۱) افت فشار جریان گاز افزایش می یابد

(۴) قطر برج کاهش می یابد

(۳) قطر برج، افزایش می یابد

حل : گزینه ۱ صحیح می باشد.

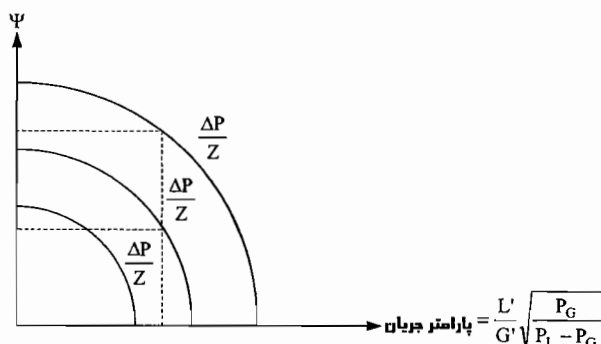
چون برج در حال کار می باشد پس قطر و ارتفاع برج ثابت می باشد و با توجه به نمودار زیر کاملاً مشخص است که افت فشار در این

پارامتر جریان = cte

قطر برج = cte

ارتفاع برج = cte

$$C_f = cte \quad \psi \propto C_f G'^2$$



به هر میزان شدت یکی از جریان‌های گاز یا مایع را در برج پرشده افزایش دهیم، افت فشار نیز افزایش می‌یابد

۹-۵- مقایسه برج‌های سینی دار و پرشده

(۱) برای دبی زیاد جریان گاز از برج سینی دار استفاده می‌کنیم و همچنین در برج‌های با قطر زیاد، برج سینی دار بهتر است.

(۲) اگر نسبت جریان مایع به جریان گاز - $\frac{L}{G}$ - زیاد باشد از برج پرشده استفاده می‌کنیم

(۳) افت فشار برج پرشده کمتر از برج سینی دار می‌باشد به همین جهت در عملیات تقطیر در خلا از برج پرشده استفاده می‌کنیم

(۴) اگر سیال فرایندی، خاصیت خوردگی داشته باشد با توجه به تنوع جنس پرکن‌ها، استفاده از برج پرشده بهتر است

(۵) در صورت وجود نوسانات شدید گرمایی از برج‌های سینی دار و برج‌های پرشده فقط با پرکن فلزی می‌توان استفاده کرد

(۶) در سیستم‌های کف زاء، استفاده از برج پرشده توصیه می‌شود

(۷) مایع تجمع یافته Liquid Holdup - در برج‌های سینی دار بیش‌تر از برج‌های پرشده می‌باشد

(۸) گرفتن جریان جانبی - side stream - از برج‌های سینی دار، آسان‌تر است

(۹) تمیز کردن برج‌های سینی دار راحت‌تر از برج‌های پرشده می‌باشد

(۱۰) اگر فاز مایع سمی و یا اشتعال‌زا باشد، استفاده از برج‌های پرشده بهتر می‌باشد.

(۱۱) دادن یا گرفتن گرما در برج سینی دار سهولت بیشتری دارد

(۱۲) معمولا هزینه ساخت برج‌های پرشده کمتر از برج‌های سینی دار می‌باشد

(۱۳) در صورت وجود فاز جامد، هیچ کدام از برج‌های پرشده و سینی دار مناسب نیستند.

مثال : در کدام یک از دستگاه‌های مجاور کننده گاز - مایع زیر گرفتن جریان جانبی عملی‌تر است؟ (مهندس شیمی ۸۳)

- (۱) برج سینی دار (۲) برج پرشده (۳) ستون‌های پاششی (۴) ستون دیواره مرطوب

حل : گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

مثال : در چه موردی برج آکنده به برج سینی دار برتری دارد؟ (مهندس شیمی ۷۶)

- (۱) عملیات در خلا (۲) مواد خورنده (۳) مواد کف‌کننده (۴) هر سه مورد

حل : گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

(۱۴) برج‌های پرشده با پرکن‌های پلاستیکی سبک‌تر از برج‌های سینی دار هستند و برج پرشده با پرکن‌های فلزی سنگین‌تر از برج‌های

تست‌های طبقه بندی شده فصل پنجم

۱- هرگاه برج جدار مرطوبی به طول 6.5 ft با شار متوسط مولی انتقال جرم بین دو فاز $10 \frac{\text{lb mole}}{\text{ft}^2 \cdot \text{min}}$ و مقدار جذب $100 \frac{\text{lb mole}}{\text{min}}$

(مهندسی شیمی ۸۷)

عمل کند قطر برج چند اینچ محاسبه می‌شود؟

- 0.5 (۱) 1.5 (۲) 3 (۳) 6 (۴)

۲- یک ستون جذب از پرکن‌های کروی با $a_p = 30 \frac{\text{ft}^2}{\text{ft}^3}$ و $\epsilon = 0.50$ پر شده است قطر پرکن‌ها چند فوت است؟

(مهندسی شیمی ۸۷)

- 0.01 (۴) 0.1 (۳) 1.0 (۲) 10 (۱)

(مهندسی شیمی ۸۷)

۳- کدام عبارت در مورد مقایسهٔ برج سینی‌دار با برج آکنده صحیح است؟

- (۱) موجودی مایع در برج‌های آکنده بیشتر از برج‌های سینی دار و فاز گاز فاز پیوسته است.
(۲) موجودی مایع در برج‌های آکنده کمتر از برج‌های سینی دار و فاز گاز فاز پراکنده است.
(۳) موجودی مایع در برج‌های آکنده کمتر از برج‌های سینی دار و فاز گاز فاز پیوسته است.
(۴) موجودی مایع در برج‌های آکنده بیشتر از برج‌های سینی دار و فاز گاز فاز پراکنده است.

۴- در روی سینی‌های تقطیر از نوع غربالی (sieve trays) میزان ماندگی (Hold up) فاز بخار حدوداً چقدر است؟

(مهندسی شیمی ۸۷)

- حدود 2% (۱) 5% - 15% (۲) حدود 60% (۳) ماندگی گاز تابع مستقیم دبی فاز مایع است. (۴)

(مهندسی شیمی ۸۶)

۵- کدام یک از دستگاه‌های زیر برای عملیات جداسازی در خلأ مناسب‌تر است؟

- (۱) برج جدار مرطوب wetted wall column (۲) برجی سینی‌دار Tray tower
(۳) برج آکنده Packed tower (۴) هیچ‌یک ارجحیت ندارند.

۶- در روی یک سینی برج تقطیر، زمان توقف فازهای مایع و بخار بسیار کوتاه بوده است، کدام یک از دلایل زیر موجه است؟

(مهندسی شیمی ۸۶)

- (۱) فاصله سینی‌ها از یکدیگر کم بوده است.
(۲) قطر برج کوچک و تحت خلأ کار می‌کرده است.
(۳) پدیده ریزش (weeping) در این سینی وجود داشته است.
(۴) فاز بخار مقدار قابل توجهی قطرات مایع با خود حمل می‌کرده است.

۷- چرا در محاسبات تعداد سینی‌های برج تقطیر از روش‌های معمول ضرایب انتقال جرم دو فاز روی سینی نقشی ندارند؟

(مهندسی شیمی ۸۵)

- (۱) به دلیل این‌که نفوذ متقابل برابر انجام می‌شود.
(۲) به دلیل این‌که ضرایب انتقال جرم در هر دو فاز بزرگ می‌باشند.
(۳) به دلیل این‌که دو فاز خروجی از هر سینی را به حال تعادل در نظر می‌گیرند.
(۴) به دلیل این‌که عدد شرود (Sherwood's No.) برای هر دو فاز در حد زیاد است.

۸ - زیاد بودن شیب سطح سینی‌ها در یک برج سینی‌دار کدام‌یک از معایب زیر را به همراه دارد؟ (مهندسی شیمی ۸۴)

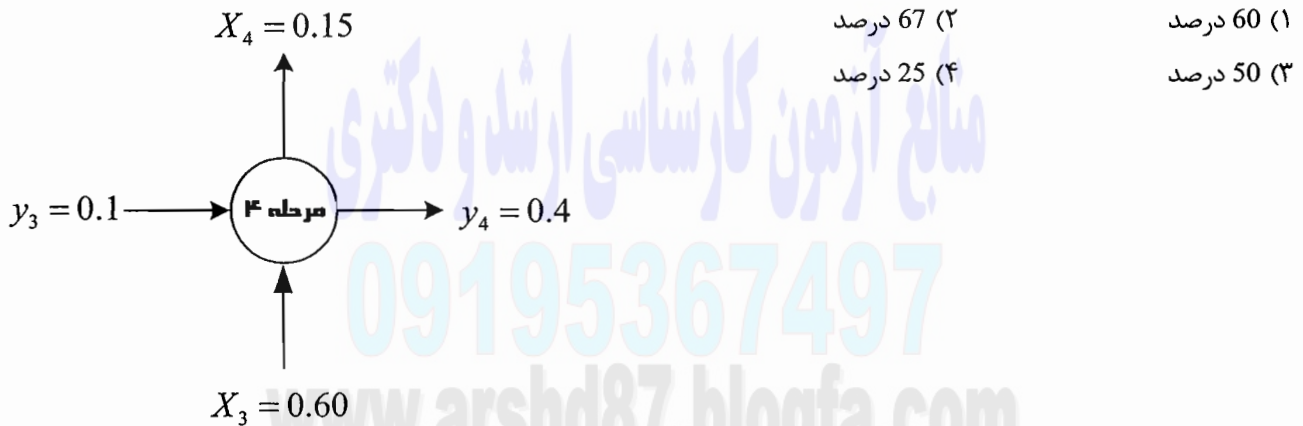
- (۱) افت فشار بیش از حد فاز گاز
(۲) سرعت زیاد جریان مایع روی سینی
(۳) توزیع غیریکنواخت حباب‌های گاز در فاز مایع
(۴) مسدود شدن مسیر ناودان ورودی به سینی

۹ - در داخل ناودان (down comer) برج‌های سینی‌دار گاز مایع:

- (۱) انتقال جرم صورت نمی‌پذیرد.
(۲) نسبت گاز به مایع بسیار بزرگ است.
(۳) انتقال جرم معکوس روی سینی انجام می‌پذیرد.
(۴) به دلیل این که دو فاز خروجی از سینی به حال تعادل نیستند. باز هم انتقال جرم صورت می‌پذیرد که مقدار آن در مقایسه با انتقال جرم روی سینی رقم کوچکی می‌باشد.

۱۰ - برای مرحله نشان داده شده در شکل زیر راندمان مورفری بر اساس فاز گاز (E_{ME}) چقدر است؟ معادله منحنی تعادل به صورت

$y^* = 4x$ است. (مهندسی شیمی ۸۲)



۱۱ - یک بستر آکنده (packed) به حجم کل 5 متر مکعب حاوی ذرات کروی به قطر 3mm می‌باشد. اگر سطح ویژه بستر $1400 \frac{m^2}{m^3}$ باشد حجم خلل و فرج داخل بستر را بر حسب متر مکعب به دست آورید.

(مهندسی شیمی ۸۲)

- (۱) 1 (۲) 1.5 (۳) 2 (۴) 2.5

۱۲ - در استفاده از برج‌های آکنده جهت تماس مایع و گاز معمولاً یک بستر آکنده کوچک و با آرایش نامنظم در قسمت فوقانی برج

در بالاتر از محل ورود و توزیع مایع تعبیه می‌گردد. هدف از کاربرد این بستر چه می‌باشد؟ (مهندسی شیمی ۸۱ و ۸۲)

- (۱) جلوگیری از وقوع احتمالی پدیده طغیان
(۲) جلوگیری از به حرکت درآمدن بستر آکنده اصلی
(۳) بازیابی قطرات مایع مانده در فاز گاز خروجی از برج
(۴) یکنواخت کردن جریان و غلظت فاز گاز خروجی از برج

۱۳ - در برج‌های انتقال جرم آکنده (Packed Towers) هر چقدر آکنه (Packing) کوچکتر انتخاب شود

(مهندسی شیمی ۷۹)

- (۱) راندمان برج بالا می‌رود.
(۲) راندمان برج پایین می‌رود.
(۳) سطح تماس برای انتقال جرم کمتر می‌شود.
(۴) دو عامل مثبت و منفی را در مورد راندمان تغییر می‌دهد.

۱۴- در سیستم‌های انتقال جرم بین دو فاز گاز و مایع اگر مسأله افت فشار گاز مهم باشد مناسبترین وسیله مجاورسازی دو فاز کدام است؟ (مهندسی شیمی ۷۹)

- (۱) برج‌های پرشده
(۲) برج‌های سینی‌دار غربالی (sieve)
(۳) برج‌های کلاهکی
(۴) برج‌های سینی‌دار دریچه‌ای (Valve)

۱۵- در عملیات انتقال جرم نظیر کربناسیون دوغاب آهک کلرینه کردن خمیر کاغذ و هیوروژناسیون روغن نباتی که یک واکنش شیمیایی بین مایع و یکی از سازنده‌های فاز گاز مورد نظر است دستگاه مناسب برای انتقال جرم کدام مورد است؟

- (۱) ونتوری
(۲) برج‌های سینی‌دار
(۳) برج‌های آکنده
(۴) مخازن مجهز به همزن

۱۶- در یک سیستم مشخص گاز - مایع در شرایط یکسان افت فشار در کدام برج کمترین مقدار خود را خواهد داشت؟

- (۱) سینی‌دار مشبک
(۲) سینی‌دار کلاهک
(۳) پر شده نامنظم
(۴) پر شده منظم

۱۷- چرا افت فشار در بستر آکنده با افزایش سرعت جرمی مایع افزایش می‌یابد؟ (مهندسی شیمی ۷۷)

- (۱) با افزایش سرعت مایع فشار استاتیک کاهش می‌یابد.
(۲) با افزایش سرعت مایع فشار استاتیک افزایش می‌یابد.
(۳) برج به نقطه سیلابی (Flooding) رسیده است.
(۴) مایع موجود در برج فضای لازم برای عبور گاز را اشغال می‌کند.

۱۸- در برج‌های پر شده (packed) ضریب انتقال جرم در فاز گاز افزایش می‌یابد اگر سرعت گاز و فضای بین پرکن‌ها یابد.

- (۱) افزایش، کاهش
(۲) افزایش، افزایش
(۳) کاهش، افزایش
(۴) کاهش، کاهش

۱۹- در برج‌های سینی‌دار مشبک جهت افزایش راندمان سینی چه می‌توان کرد؟ (مهندسی شیمی ۷۶ و ۷۴)

- (۱) افزایش ارتفاع مایع روی سینی و تعداد سوراخ‌های روی سینی
(۲) افزایش جریان مایع و سطح ناودانی
(۳) افزایش قطر برج و کاهش تعداد سوراخ‌های سینی
(۴) افزایش جریان مایع و استفاده از سینی نوع شعاعی (Radial)

۲۰- یک بستر آکنده (Packed bed) به حجم کل ۷ مترمکعب و محتوی ذرات کروی به قطر ۳ میلی‌متر و سطح مخصوص (specific surface) ۱۵۰۰ مترمربع به هر مترمکعب می‌باشد. در این حالت حجم ذرات جامد درون بستر چند مترمکعب است؟

- (۱) ۵.۲۵
(۲) ۱.۵۰
(۳) ۱.۷۵
(۴) ۴.۵

۲۱- در چه موردی برج آکنده به برج سینی‌دار برتری دارد؟ (مهندسی شیمی ۷۴)

- (۱) عملیات در خلاء
(۲) مواد خورنده
(۳) مواد کف کننده
(۴) هر سه مورد

۲۲- در تقطیر خلاء (Vacuum Distillation) حتی‌الامکان از برج‌های نوع استفاده می‌شود؟ (مهندسی شیمی ۷۴)

- (۱) Bubble cup
(۲) packed
(۳) sieve tray
(۴) vcalva tray

۲۳- در طراحی برج‌های سینی‌دار که برای عملیات جداسازی گاز مایع استفاده می‌شوند، ارتباط بین قطر برج و فاصله سینی‌ها به کدام صورت صحیح است؟ (مهندسی شیمی ۷۴)

(۱) هرچه برج بزرگتر باشد فاصله سینی‌ها باید کوچکتر باشد.

(۲) فاصله سینی‌ها ارتباطی به قطر برج نداشته و فقط به نوع سینی بستگی پیدا می‌کند.

(۳) قطر برج ارتباطی به فاصله سینی‌ها نداشته و فقط به شرایط عملیاتی سیستم بستگی دارد.

(۴) هرچه قطر برج بزرگتر باشد فاصله سینی‌ها باید بیشتر باشد.

۲۴- در برج سینی‌دار پدیده weeping در کدام یک از حالات زیر ممکن است رخ دهد؟ (مهندسی شیمی ۷۳)

(۱) دبی - خیلی زیاد گاز

(۲) دبی خیلی زیاد گاز و افت فشار زیاد

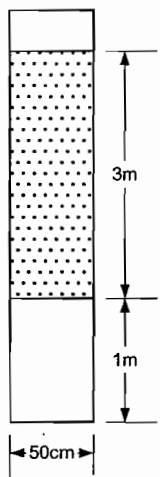
(۳) دبی زیاد گاز و دبی خیلی کم مایع

(۴) دبی زیاد مایع و دبی کم گاز

۲۵- ستونی با سطح مقطع 10 cm^2 و ارتفاع 50 cm پر شده از موادی با سطح مخصوص $a = 30 \frac{\text{m}^2}{\text{m}^3}$ برای عمل جداسازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. اگر شدت جسم جذب شده در این ستون برابر با $0.3 \frac{\text{kg mole}}{\text{hr}}$ باشد شار NA برحسب $\frac{\text{kg mole}}{\text{hr} \cdot \text{m}^2}$ برابر است با:

- (مهندسی شیمی ۷۳):
- (۱) 5×10^{-6} (۲) 9 (۳) 1.8×10^4 (۴) 450

۲۶- جهت محاسبه جزء تهی (Void fraction)، ϵ ، در یک برج آکنده (شکل زیر) که با آکنه‌های کروی به قطر 4 cm پر شده است. آن را تا بالای آکنه‌ها از آب پر کرده و سپس آن را تخلیه نموده و حجم آب را که 609 لیتر است اندازه‌گیری می‌نمایند. با توجه به ابعاد برج و مشخصات درج شده بر روی شکل ϵ برابر است؟ (مهندسی شیمی ۷۳)



(۱) 0.966 (۲) 0.525

(۳) 0.701 (۴) 0.776

۲۷- یک ستون شیشه‌ای با گلوله‌های کروی پر شده است. در صورتی که بدانیم برای آن $a = 60 \frac{\text{ft}^2}{\text{ft}^3}$ و $\epsilon = 0.50$ باشد قطر گلوله‌ها چند فوت است؟ (در ستون به طور یکنواخت پر شده است). (مهندسی شیمی ۷۲)

- (۱) 0.005 (۲) 0.05 (۳) 0.5 (۴) 0.2

حل تست‌های طبقه‌بندی شده فصل پنجم

۱ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$$G_A = N_A \cdot A \Rightarrow 100 \frac{\text{lb mol}}{\text{min}} = 10 \frac{\text{lb mol}}{\text{ft}^3 \cdot \text{min}} \times \pi d \times 1 \Rightarrow 10 = \pi d \times 6.5 \Rightarrow d = 0.5 \text{ ft} = 6 \text{ in}$$

۲ - گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$a_p = \frac{6(1-\varepsilon)}{d_p} \Rightarrow 30 = \frac{6(1-0.5)}{d_p} \Rightarrow d_p = 0.1 \text{ ft}$$

۳ - گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۴ - گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

۵ - گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۶ - گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

قطر برج کوچک باشد نشان‌گر دبی کم جریان‌های مایع و بخار می‌باشد و در صورتی که برج تحت خلأ کار کند از سینی‌های lewa استفاده می‌کنند که بند weiv ندارد و در نتیجه ارتفاع مایع در سطح سینی‌ها کم می‌باشد که این دو عامل - کم بودن دبی جریان‌های مایع و بخار و کم بودن ارتفاع مایع در سینی‌ها - سبب زمان توقف کوتاه فازهای مایع و بخار می‌شود.

۷ - گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

۸ - گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۹ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۱۰ - گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$E_{ME} = \frac{y_n - y_{n-1}}{y_n^* - y_{n-1}} = \frac{y_4 - y_3}{y_4^* - y_3} \Rightarrow E_{ME} = \frac{0.4 - 0.1}{0.6 - 0.1} = 0.6$$

$$y^* = 4x \Rightarrow y_4 = 4x_4 = 0.6$$

۱۱ - گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$A = \frac{6(1-\varepsilon)}{d_p} \Rightarrow 1400 = \frac{6(1-\varepsilon)}{3 \times 10^{-3}} \Rightarrow \varepsilon = 0.3$$

$$\text{حجم فضای خالی} = \varepsilon V \Rightarrow 0.3 \times 5 = 1.5 \text{ m}^3$$

۱۲ - گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۱۳ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

هرچه اکنه کوچکتر شود \Leftarrow سطح تماس مؤثر گاز و مایع افزایش می‌یابد \Leftarrow راندمان افزایش می‌یابد.هرچه اکنه کوچکتر شود \Leftarrow افت فشار جریان گاز افزایش می‌یابد \Leftarrow کاهش می‌یابد.

۱۴ - گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۱۵ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۱۶ - گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۱۷ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۱۸ - گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۱۹ - گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

با افزایش ارتفاع مایع روی سینی، زمان تماس دو فاز افزایش می‌یابد.

با افزایش تعداد سوراخ‌های روی سینی، سطح تماس فاز گاز و مایع افزایش می‌یابد.

۲۰ - گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$a = \frac{6(1-\varepsilon)}{d_p} \Rightarrow 1500 = \frac{6(1-\varepsilon)}{3 \times 10^{-3}} \Rightarrow \varepsilon = 0.25$$

$$\text{حجم ذرات جامد} = V(1-\varepsilon) = 7 \times (1-0.25) = 5.25$$

۲۱ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۲۲ - گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۲۳ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۲۴ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۲۵ - هیچ کدام از گزینه‌ها صحیح نیست.

$$\text{حجم برج} V = A \times L = 10 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \times 50 \times 10^{-2} = 5 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$\text{حجم انتقال جرم} = V \times a_p = 5 \times 10^{-4} \times 30 = 1.5 \times 10^{-2} \text{ m}^3$$

$$G_A = N_A \cdot A \Rightarrow 0.3 = N_A \times 1.5 \times 10^{-2} \Rightarrow N_A = 20 \frac{\text{kmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{hr}}$$

۲۶ - گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$\varepsilon = \frac{\text{حجم فضای خالی}}{\text{حجم کل}} = \frac{0.609 - \frac{\pi \times 0.5^2}{4} \times 1}{\frac{\pi \times 0.5^2}{4} \times 3} = 0.701$$

۲۷ - گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$a_p = \frac{6(1-\varepsilon)}{d_p} \Rightarrow 60 = \frac{6(1-0.5)}{d_p} \Rightarrow d_p = 0.05 \text{ m}$$

فصل ششم

جذب و دفع گاز

۶-۱ مقدمه

در فرایندهای شیمیایی برای حذف یک جزء گازی از یک مخلوط گازی، معمولا از یک مایع - حلال - استفاده می‌کنند که به طور انتخابی - selective - جزء گاز مورد نظر را در خود حل کند که به این فرایند جذب - Absorption - می‌گویند اگر انتقال جرم در جهت معکوس، یعنی از مایع به گاز انجام گیرد، فرایند دفع یا عاری‌سازی می‌نامند

نکته: در مواردی از یک جامد متخلخل - با سطح تماس بالا - برای حذف جزء گازی از یک مخلوط گازی استفاده می‌کنند که به این فرایند جذب سطحی - adsorption - می‌گویند

در سیستم‌های دو جزئی غلظت گاز حل شده در مایع در دما و فشار ثابت، مقدار معین و مشخصی دارد و حلالیت گاز با افزایش فشار و کاهش دما افزایش می‌یابد اگر فشار تعادلی یک گاز در یک غلظت معین در مایع زیاد باشد گاز در مایع تقریبا نامحلول است (مانند حلالیت SO_2 در آب در شکل صفحه بعد) فرایند جذب عموما فرایند گرمازا می‌باشد و با کاهش دما، حلالیت گاز در مایع افزایش می‌یابد

نکته: حلالیت بسیاری از گازهای سبک نظیر هیدروژن و اکسیژن و نیتروژن و متان در فشار بالاتر از اتمسفر در آب با افزایش دما، افزایش می‌یابد

فرایند دفع برخلاف جذب، فرایندی گرماگیر می‌باشد بنابراین بهتر است در دماهای بالا انجام بگیرد و همچنین کاهش دادن فشار به نفع فرایند دفع می‌باشد

موارد مهم تصمیم‌گیری در فرایند جذب عبارتند از:

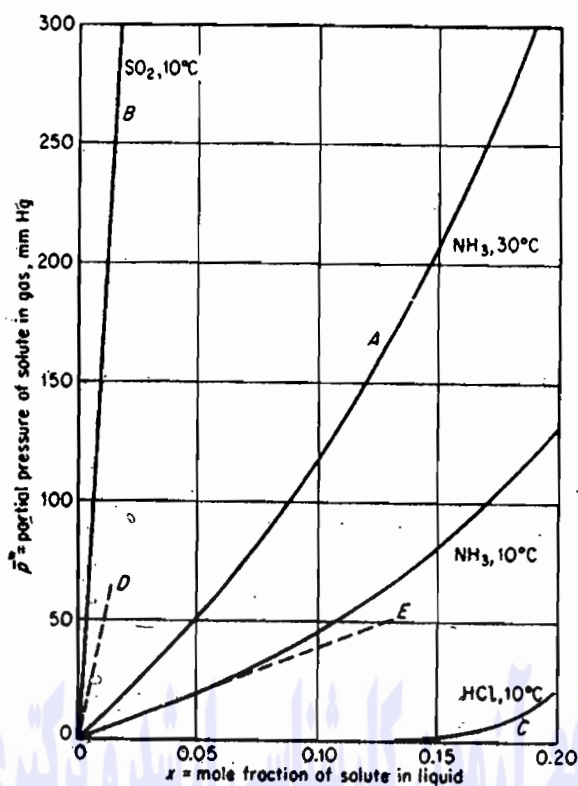
۱) انتخاب حلال مناسب

۲) دبی مناسب حلال

۳) قطر مناسب برج و آرایش جریان‌ها

۴) ارتفاع برج

۵) دما و فشار داخل برج



حلالیت گازها در آب

۲-۶ انتخاب حلال مناسب

اگر هدف اصلی از فرایند جذب تهیه یک محلول مشخص باشد مانند تولید اسید کلریدریک، حلال مناسب با توجه به ماهیت محصول انتخاب می‌شود، اما اگر هدف اصلی حذف برخی از سازندگان مخلوط گازی باشد انتخاب‌های بیشتری امکان‌پذیر است هر چند که آب به خاطر فراوانی و ارزانی در بسیاری از موارد می‌تواند به عنوان اولین انتخاب مطرح باشد ولی باید دانست که یک حلال خوب می‌تواند در هزینه‌های عملیاتی و کیفیت محصول تاثیر فراوانی بگذارد.

ویژگی‌های یک حلال خوب عبارتند از

- ۱) قابل احیا بودن حلال: از نظر مسائل اقتصادی و محیط زیستی قابل احیا بودن یک حلال به صورت یک اصل الزامی درآمده است
- ۲) ظرفیت جذب بالا - حلالیت زیاد گاز در حلال - ظرفیت جذب بالا سبب کمتر شدن میزان حلال مصرفی و در نتیجه نیاز به ابعاد کوچک‌تر برای برج و پمپ و و در نهایت سبب کاهش هزینه‌ها می‌شود.
- ۳) شرایط عملیاتی متعارف: همان طور که گفته شد دما و فشار بر میزان حلالیت گاز در مایع تاثیر می‌گذارد بنابراین مطلوب است که شرایط عملیاتی مناسب برای حلال، شرایط متعارف باشد.
- ۴) فراریت کم: هر چه فشار بخار حلال کمتر باشد - نقطه جوش بالا - اتلاف حلال کمتر خواهد بود
- ۵) خوردگی کم: خوردگی حلال باعث می‌شود که هزینه مواد و مصالحی که برای ساختن برج‌ها به کار می‌رود به طور چشم‌گیری افزایش یابد.

۶) ویسکوزیته کم: ویسکوزیته کم سبب افزایش ضریب انتقال جرم و ضریب انتقال حرارت - $Re \propto \frac{1}{\mu}$ - می‌شود و نیز سبب کاهش

۷) نقطه انجماد پایین: سبب کمتر شدن مشکلات ناشی از انجماد حلال در ایام سرد می شود

۸) ارزان تر بودن:

۹) خواص عمومی: در شرایط مشابه، حلالی که غیرسمی، غیرقابل اشتعال و از نظر شیمیایی پایدار باشد مطلوب تر است.

۳-۶ دبی مناسب حلال

در فرایند جذب از دو روش معادل برای محاسبه میزان حلال مناسب استفاده می کنند

الف روش اول: با توجه به منحنی تعادل و معادله خط تبادل - در فصل 4 به طور مفصل توضیح داده شده است - مقدار مینیموم حلال مصرفی را به دست می آورند - $R_{S_{min}}$ - و سپس مقدار حلال واقعی مصرفی را بیست تا پنجاه درصد بیشتر از مقدار حلال مینیموم قرار می دهند

$$R_{S_{\text{واقعی}}} = (1.2-1.5)R_{S_{\text{min}}}$$

ب) روش دوم: استفاده از ضریب جذب: نسبت شیب خط عملیاتی - تبادل - به شیب خط تعادل را ضریب جذب می نامند که به صورت زیر تعریف می شود

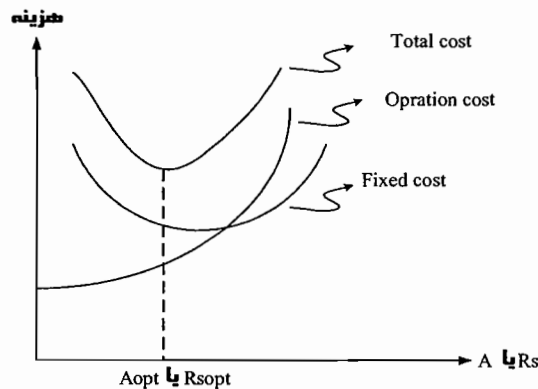
$$A = \frac{\frac{R_s}{E_s}}{m} = \frac{R_s}{mE_s}$$

منابع آزمون کارشناسی ارشد و دکتری
09195367497

نکته: اقتصادی ترین مقدار برای ضریب جذب برابر است با: $1.25 < A < 2$

مقدار R_s را طوری انتخاب می کنند که ضریب جذب در اقتصادی ترین مقدار خود - $1.25 < A < 2$ - باشد

نکته: با افزایش مقدار حلال مصرفی - R_s - ارتفاع برج کم می شود (به دلیل کم شدن تعداد مراحل لازم برای جداسازی) ولی قطر برج افزایش می یابد که این دو عامل یکی به نفع اقتصاد برج - کاهش ارتفاع - و یکی به ضرر اقتصاد برج - افزایش قطر برج - است.



در فرایند دفع نیز از دو روش برای محاسبه مقدار حلال مصرفی استفاده می کنند

الف) روش اول: با توجه به منحنی تعادل و خط تبادل - در فصل چهارم به طور مفصل توضیح داده شده است - مقدار مینیموم حلال مصرفی را به دست می آورند - $E_{S_{min}}$ - و سپس مقدار حلال واقعی مصرفی را بیست تا پنجاه درصد بیشتر از مقدار مینیموم قرار

$$E_{S_{\text{واقعی}}} = (1.2-1.5)E_{S_{\text{min}}}$$

(ب) روش دوم:

استفاده از ضریب دفع: نسبت شیب خط تعادل به خط عملیاتی - تبادل - را ضریب دفع می‌نامند که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$S = \frac{1}{A} = \frac{m}{R_s} = \frac{E_s \cdot m}{R_s}$$

نکته: اقتصادی‌ترین مقدار برای ضریب دفع برابر است با: $0.5 < S < 0.8$

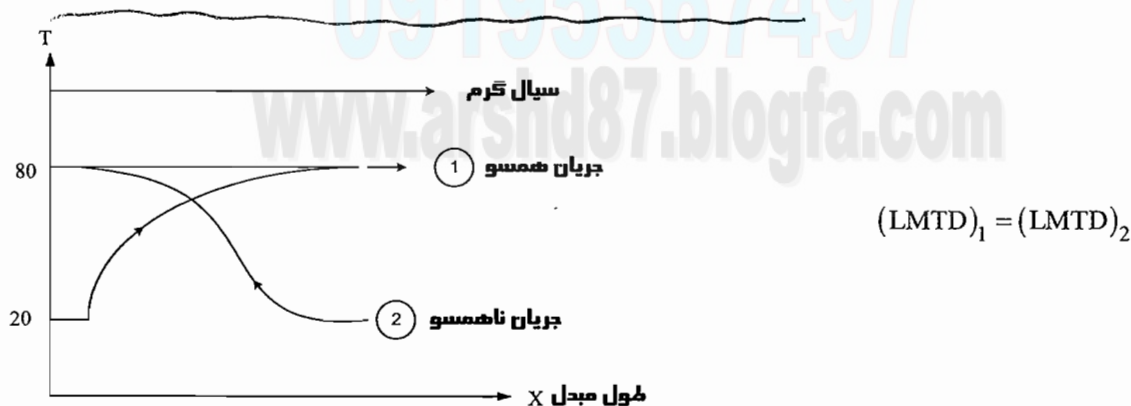
مقدار E_s را طوری انتخاب می‌کنند که ضریب دفع در اقتصادی‌ترین مقدار خود - $0.5 < S < 0.8$ - باشد

۴-۶ قطر مناسب برج و آرایش جریان‌ها

قطر مناسب برج براساس شدت جریان مجاز فاز گاز تعیین می‌شود که در مورد هر دو برج سینی‌دار و پرشده در فصل قبل توضیح داده شده است

آرایش جریان‌ها در برج‌های جذب و دفع می‌تواند به صورت هم‌سو و ناهم‌سو باشد و مناسب‌ترین الگوی تماس فازها به صورت ناهم‌سو - counter current - می‌باشد به جزء در حالت جذب و یا دفع توأم با واکنش شیمیایی سریع - چون در صورت وجود واکنش شیمیایی جزء حل شده، همیشه نیروی محرکه کافی در طول برج برای انتقال جرم وجود دارد - مثل جذب NH_3 توسط H_2SO_4 - این حالت مشابه انتقال حرارت در مبدل‌هایی که تغیر فاز داریم، می‌باشد

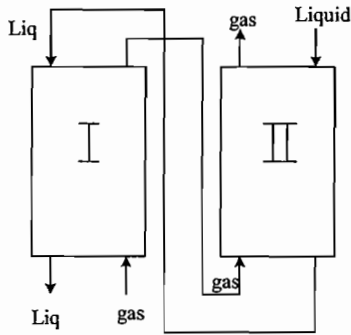
جذب توأم با واکنش شیمیایی $\Rightarrow (\Delta y)_{ave} |_{conter\ current} = (\Delta y)_{ave} |_{cocurrent}$



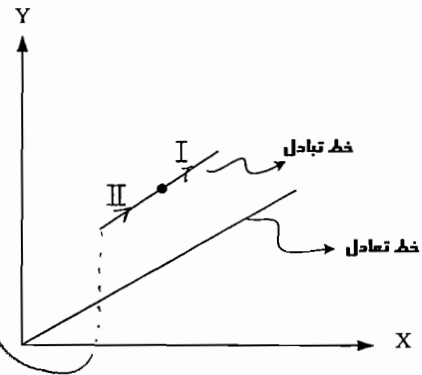
مزایای استفاده از جریان هم‌سو co-current

- (۱) در طول برج مشکل به وجود آمدن پدیده طغیان - flooding - اتفاق نمی‌افتد پس در یک شدت جریان معین فاز گاز می‌توانیم از برجی با قطر کمتر استفاده کنیم و یا در برجی با قطر معین می‌توانیم شدت جریان گاز را افزایش دهیم
 - (۲) جریان‌های هم‌سو افت فشار کمتری نسبت به جریان‌های ناهم‌سو ایجاد می‌کنند.
 - (۳) در شرایط یکسان در حالت جریان‌های هم‌سو قطر لازم برای برج کمتر می‌باشد که باعث کاهش هزینه‌های ساخت برج می‌شود
- نکته: اگر ارتفاع محاسبه شده برای برج زیاد باشد برج را دو تکه درست می‌کنند و در این حالت برای هر برج می‌توان با توجه به

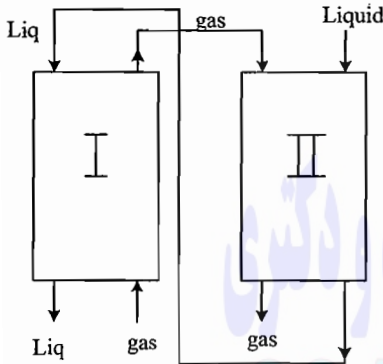
برج جذب:



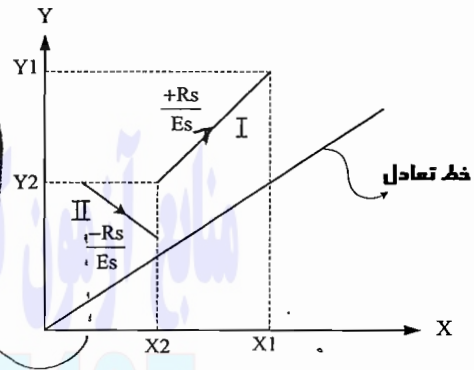
صاع اول دارد
 برج II می شود



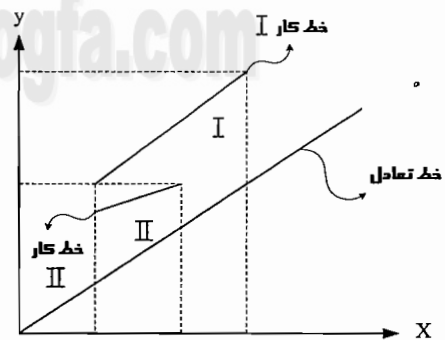
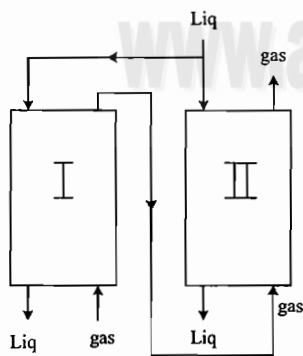
جذب:



صاع اول دارد
 برج همسو می شود



مثال: با توجه به آرایش جریان‌ها در برج‌های زیر و نمودار منحنی تعادل و تبادل کدام یک از گزینه‌های زیر صحیح است؟



(۱) فرایند جذب در هر دو برج انجام می‌گیرد

(۲) مقدار حلال مصرفی در برج I بیشتر از برج شماره II می‌باشد $R_{S_1} > R_{S_2}$

(۳) هیچ کدام از برج‌ها به حالت تعادلی نمی‌رسند

(۴) هر سه گزینه صحیح می‌باشد.

حل: گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

چون خطوط تبادل بالای منحنی تعادل قرار دارند پس گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

پارسه ماهان سنجش
 با توجه به نحوه آرایش برج‌ها مشخص است که $E_{S_1} = E_{S_2}$ خطوط تبادل داریم
 09195367497

$$\left. \begin{array}{l} \Rightarrow \frac{R_{S_I}}{E_{S_I}} > \frac{R_{S_{II}}}{E_{S_{II}}} \\ , E_{S_I} = E_{S_{II}} \end{array} \right\} \Rightarrow R_{S_I} > R_{S_{II}}$$

شیب خط کار II > شیب خط کار I

پس گزینه ۲ صحیح می باشد.

و چون هیچ کدام از خطوط تبادل منحنی تعادل را قطع نکرده اند پس به حالت تعادل نرسیده ایم پس گزینه ۳ نیز صحیح می باشد.

۵- ارتفاع برج

ارتفاع برج های سینی دار با توجه به تعداد مراحل مورد نیاز و فاصله سینی ها تعیین می شود و داریم

$$H = N * (t.s)$$

ارتفاع برج سینی دار

N: تعداد مراحل مورد نیاز

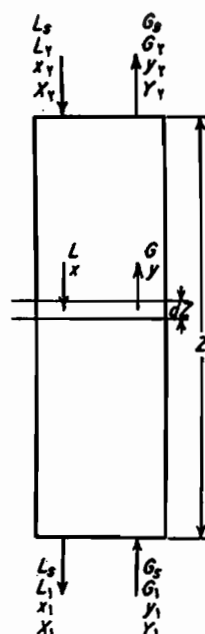
t.s: فاصله بین دو سینی متوالی

تعداد مراحل مورد نیاز در صورت خطی بودن خطوط تبادل و تعادل در جریان های ناهم سو همان طور که در فصل 4 توضیح داده شده است با استفاده از معادلات کرمسر به دست می آید. روش های به دست آوردن تعداد مراحل در برج های سینی دار در حالت های پیچیده تر در فصل آینده توضیح داده می شود. و فاصله بین دو سینی متوالی (t.s) همان طور که در فصل قبل توضیح داده شد، با توجه به افت فشار مجاز فاز گاز تعیین می گردد.

برای محاسبه ارتفاع برج های پر شده از مفهوم H_{TG} ارتفاع معادل یک واحد انتقال فاز گاز (Height of gas transfer unit) و تعداد مراحل انتقال N_{TG} (Number of gas transfer unit) استفاده می کنیم

۶- H_{TG} و N_{TG}

در شکل زیر یک برج پر شده با جریان های ورودی و خروجی نشان داده شده است و المانی به ارتفاع dz از برج را در نظر می گیریم و موازنه جرم برای جزء A - جزء منتقل شونده - را برای این المان با در نظر گرفتن فرضیات زیر می نویسم



فرضیات:

- ۱) فقط جزء A می‌تواند بین فاز گاز و مایع منتقل شود
- ۲) جریان‌های به صورت پیستونی - plug - می‌باشد یعنی در هر سطح مقطع از برج توزیع سرعت و غلظت نداریم و غلظت و سرعت در هر سطح مقطع یکنواخت می‌باشند.
- ۳) دما و فشار در سرتاسر برج ثابت است
- ۴) سیستم در حالت پایا steady state می‌باشد

$$0 \quad 0 \quad 0$$

↑ ↑ ↑

تجمع - تولید + مصرف - خروجی - ورودی = 0

$$\underbrace{GSy|_z + LSx|_{z+dz}}_{\text{ورودی}} - \underbrace{G Sy|_{z+dz} - LSx|_z}_{\text{خروجی}} - 0 + 0 - 0 = 0 \Rightarrow d(Gy) = d(Lx)$$

این رابطه، معادله دیفرانسیلی خط تبادل است و معرف این است که، مقدار ماده‌ای که از یک فاز خارج شده دقیقاً برابر مقدار ماده‌ای است که وارد فاز دیگر شده است

y: جزء مولی A در فاز گاز

x: جزء مولی A در فاز مایع

S: سطح مقطع برج

$$N_A \cdot a \cdot S \cdot dz$$

و از طرف دیگر مقدار ماده منتقل شده بین دو فاز برابر است با:

$$N_A \cdot a \cdot S \cdot dz = F_G \text{Ln} \left(\frac{1-y_i}{1-y} \right) (a \cdot S \cdot dz)$$

a: سطح ویژه آکنه

و با مساوی قرار دادن دو رابطه

$$-d(Gy) = F_G \text{Ln} \left(\frac{1-y_i}{1-y} \right) (a \cdot dz)$$

در رابطه بالا دو پارامتر y, G هر دو در طول برج تغییر می‌کنند بنابراین با نوشتن G به صورت زیر داریم

$$G = \frac{G_s}{1-y} \Rightarrow d(Gy) = d \left(\frac{G_s y}{1-y} \right) = \frac{G_s dy}{(1-y)^2} \Rightarrow \frac{-G_s}{(1-y)^2} dy = F_G \text{Ln} \left(\frac{1-y_i}{1-y} \right) (adz)$$

حال با انتگرال‌گیری داریم

$$Z = \int_0^z dz = \int_{y_2}^{y_1} \frac{G_s \cdot dy}{(1-y)^2 \cdot F_G \cdot a \cdot \text{Ln} \left(\frac{1-y_i}{1-y} \right)}$$

$$N_A = \frac{A \text{ مول}}{\text{سطح مقطع زمان}} \quad -1$$

$$A \text{ مول} = N_A \times \text{سطح مقطع برج} = N_A \cdot a \cdot S \cdot dz$$

چون سطح مقطع برج پر شده تابع سطح ویژه پرکن‌ها می‌باشد پس نرخ ماده A و جرم آن شده برابر است با
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

زمان

$$\text{سطح مقطع برج برای عبور گاز} = a \cdot S \cdot dz$$

رابطه بالا، رابطه عمومی محاسبه ارتفاع برج پر شده می باشد که راه حل تحلیلی ندارد بلکه به روش کامپیوتری یا به روش ترسیمی حل می گردد

رابطه بالا را می توان به شکل زیر نوشت

$$Z = \int_{y_2}^{y_1} \frac{G}{F_G \cdot a} \frac{dy}{(1-y)^2 \text{Ln} \left(\frac{1-y_i}{1-y} \right)}$$

نکته: $F_G \cdot a$ و F_G با دما و فشار و دبی جریان تغییر می کند اما با توجه به آزمایشات و تجربیات مقدار $\frac{G}{F_G \cdot a}$ تقریباً ثابت و مستقل از شرایط برج دارد پس می توانیم رابطه بالا، را به صورت زیر بنویسیم

$$Z = \frac{G}{F_G \cdot a} \int_{y_2}^{y_1} \frac{dy}{(1-y) \text{Ln} \left(\frac{1-y_i}{1-y} \right)}$$

H_{tG} : کمیت تقریباً ثابت $\frac{G}{F_G \cdot a}$ که واحد آن طول است $m = \frac{\frac{\text{mole}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}}{\frac{\text{mole}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{m}^3}}$ را ارتفاع معادل یک واحد انتقال فاز گاز می گویند

$$\frac{G}{F_G \cdot a} = H_{tG}$$

و با H_{tG} نشان می دهند و بستگی به نوع پرکن ها دارد.

نکته: بالاترین H_{tG} در بین پرکن ها مربوط به پرکن های از نوع راشینگ است چون پایین ترین سطح ویژه را دارند.

$$Z = H_{tG} \int_{y_2}^{y_1} \frac{dy}{(1-y) \text{Ln} \left(\frac{1-y_i}{1-y} \right)}$$

پس رابطه ارتفاع برج را می توانیم به شکل زیر، بازآرایی کنیم

$$(1-y)_{im} = \frac{(1-y_i) - (1-y)}{\text{Ln} \frac{1-y_i}{1-y}} \Rightarrow \text{Ln} \frac{1-y_i}{1-y} = \frac{y-y_i}{(1-y)_{im}} \Rightarrow Z = H_{tG} \int_{y_2}^{y_1} \frac{(1-y)_{im}}{(1-y)(y-y_i)} dy$$

عبارت داخل انتگرال فقط تابعی از غلظت ها می باشد که با N_{tG} نشان می دهند

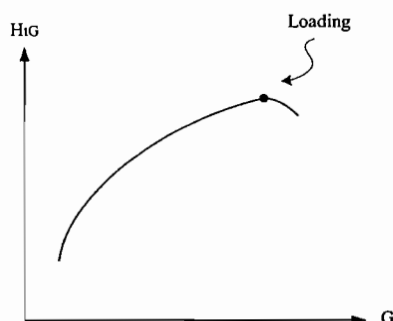
$$N_{tG} = \int_{y_2}^{y_1} \frac{(1-y)_{im}}{(1-y)(y-y_i)} dy$$

تعداد واحدهای انتقال N_{tG} معرف سختی جداسازی است و مفهومی شبیه به تعداد سینی های ایده آل مورد نیاز برای دستیابی به درجه مورد نظر جداسازی دارد.

$$z = N_{tG} \cdot H_{tG}$$

نکته: نمودار تقریبی $G-H_{tG}$ به صورت زیر می باشد

در نقطه Loading به خاطر افزایش قابل توجه در سطح ویژه (a) نقطه ماکزیمم داریم



برای فاز مایع نیز داریم:

$$N_A = F_L \text{Ln} \frac{1-x}{1-x_i}$$

$$Z = H_{tL} * N_{tL}$$

$$H_{tL} = \frac{L}{F_L \cdot a}$$

$$N_{tL} = \int_{x_2}^{x_1} \frac{(1-x)_{im}}{(1-x)(x_i-x)}$$

نکته: برای ضرایب کلی انتقال جرم روابط زیر را داریم

$$Z = H_{tOG} * N_{tOG}$$

$$H_{tOG} = \frac{G}{F_{OG} \cdot a}, \quad N_{tOG} = \int_{y_2}^{y_1} \frac{(1-y)_{*M}}{(1-y)(y-y^*)}$$

$$Z = H_{toL} * N_{toL}$$

$$H_{toL} = \frac{L}{F_{OL} \cdot a}, \quad N_{toL} = \int_{x_2}^{x_1} \frac{(1-x)_{*m}}{(1-x)(x^*-x)}$$

نکته: در سیستم‌های رقیق می‌توان به جای متوسط لگاریتمی $(1-y)_{iM}$ از متوسط حسابی دو مقدار $(1-y_i)$, $(1-y)$ استفاده

$$N_{tG} = \int_{y_2}^{y_1} \frac{dy}{y-y_i} + \frac{1}{2} \text{Ln} \frac{1-y_2}{1-y_1}$$

کرد و در این صورت داریم:

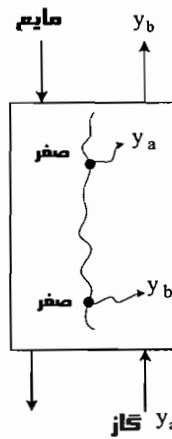
$$N_{tL} = \int_{x_2}^{x_1} \frac{dx}{x_i-x} + \frac{1}{2} \text{Ln} \frac{1-x_1}{1-x_2}$$

نکته: در سیستم رقیق، اگر y_i برابر صفر باشد در اولین واحد انتقال فاز گاز، غلظت ناخالصی به اندازه 63.2% از مقدار اولیه خود

کاهش می‌یابد

نکته : در فرایند جذب توام با واکنش سریع داریم

در سطح مشترک غلظت جزء A به خاطر واکنش سریع برابر صفر است



y_a : غلظت جزء A در توده فاز گاز در بالای برج

y_b : غلظت جزء A در توده فاز گاز در پایین برج

$$N_{tG} = \frac{y_a - y_b}{(y_a - 0) - (y_b - 0)} \Rightarrow N_{tG} = \text{Ln} \frac{y_a}{y_b}$$

09195367497
www.arshd87.blogfa.com

تست های طبقه بندی شده فصل ششم

۱- در یک فرآیند جذب چنانچه ضریب جذب $A = \frac{L}{MG} = 1$ باشد و منحنی تعادل خطی باشد کدام یک از عبارات زیر صحیح است؟

(مهندسی شیمی ۸۵ و سال ۷۲)

(۱) نیروی محرکه انتقال جرم در دو فاز برابر است.

(۲) نیروی محرکه در فاز مایع در طول دستگاه افزایش می یابد.

(۳) نیروی محرکه انتقال جرم در دو فاز در طول دستگاه ثابت است.

(۴) نیروی محرکه انتقال جرم در دو فاز در طول دستگاه افزایش می یابند.

۲- در کدام یک از موارد زیر می توان از قانون هنری برای محاسبه خط تعادل برج های جذب ایزوترمال استفاده نمود؟

(مهندسی شیمی ۸۴)

(۱) حلالیت گاز در مایع زیاد باشد.

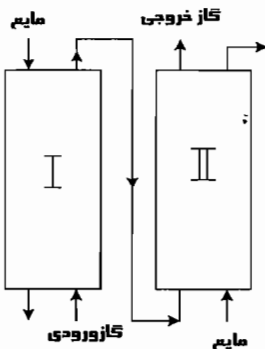
(۲) فشار برج کمتر از یک اتمسفر باشد.

(۳) تغییرات درصد عامل انتقالی زیر ۵۰٪ باشد.

(۴) تغییرات درصد عامل انتقالی در محدود ۷٪ - ۰ باشد.

۳- دو ستون جذب به شکل زیر به یکدیگر مربوط هستند. شیب خطوط عملیاتی در این دو ستون به کدام حالت زیر صحیح است؟

(مهندسی شیمی ۸۳)



(۱) شیب خطوط عملیاتی ستون های I و II هر دو منفی است.

(۲) شیب خطوط عملیاتی ستون های I و II هر دو مثبت است.

(۳) شیب خط عملیاتی ستون I منفی و شیب خط عملیاتی ستون II مثبت است.

(۴) شیب خط عملیاتی ستون I مثبت و شیب خط عملیاتی ستون II منفی است.

۴- در مقطعی از ستون جذب $\frac{F_L}{F_G} = 1$ و می باشد جزء مولی θ در فصل مشترک مایع

$$\begin{cases} y_{A_G} = 0.1 & \text{جزء مولی A در توده گاز} \\ y_{A_i} = 0.01 & \text{جزء مولی A در فصل مشترک} \\ x_{A_L} = 0 & \text{جزء مولی A در توده مایع} \end{cases}$$

(x_{A_i}) چه مقدار است؟

(۴) حدود صفر

(۳) 0.001

(۲) 0.01

(۱) 0.09

۵- در یک برج دفع غیر همسو 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 $x_2 = 0.1$ باشد حداکثر

(مهندسی شیمی ۸۱)

نسبت $\frac{L}{G}$ در این حالت چیست؟ (منحنی تعادل برای این سیستم $Y = X$ است)

www.arshd87.blogfa.com

09195367497

(۴) 1.67

(۲) 0.75

(۱) 0.6

- ۶ - دفع یک حل شونده از یک مایع با تغییرات فشار و دما افزایش می یابد. اگر:
- (۱) دما و فشار کاهش یابد.
(۲) دما افزایش و فشار نیز افزایش یابد.
(۳) دما کاهش و فشار افزایش می یابد.
(۴) دما افزایش و فشار کاهش یابد.

۷ - در یک برج جذب غیرهمسو قرار است 80 درصد آمونیاک موجود در هوای ورودی (باغلظت ورودی 10 درصد حجمی) به وسیله آب خالص جذب گردد و اگر منحنی تعادل سیستم به صورت $Y = X$ بیان گردد حداقل نسبت دبی مایع به گاز کدام است؟

- (مهندسی شیمی ۸۰)
- (۱) 0.75 (۲) 0.82 (۳) 1.23 (۴) 1.33

۸ - 100 kg محلول A و C شامل 50% جرمی از هر کدام با حلال خالص B استخراج می شود. اگر معادله خط کار (Operating line) بر اساس درصدهای عاری از جزء استخراج شونده به صورت $Y = -0.25X + 0.125$ باشد مقدار حلال مصرفی چند کیلوگرم (kg) است؟

- (مهندسی شیمی ۷۹)
- (۱) 100 (۲) 150 (۳) 200 (۴) 250

۹ - اگر $F_G \cdot a$ ضریب حجمی انتقال جرم و G دبی گاز در یک برج جذب باشد کدام پارامتر تقریباً ثابت می ماند؟

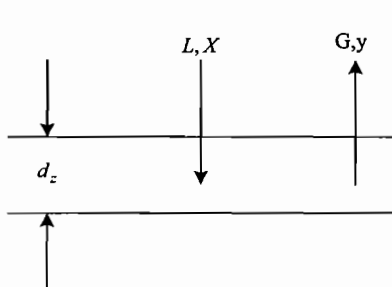
- (مهندسی شیمی ۷۹)
- (۱) $F_G a$ (۲) F_G (۳) $\frac{F_G a}{G}$ (۴) $F_G a L$

۱۰ - می خواهیم در یک برج دفع نسبت مولی جزء A را در مایع از 0.5 به 0.1 برسانیم رابطه تعادلی به صورت $Y = \frac{X}{2}$ مفروض است.

- (مهندسی شیمی ۷۷) اگر نتیجه شود که نسبت مولی A در گاز از 0.12 به 0.35 افزایش می یابد
- (۱) به حدود یک واحد تعادلی نیاز داریم.
(۲) به حدود 5 واحد تعادلی نیاز داریم.
(۳) به حدود 3 واحد تعادلی نیاز داریم.
(۴) عملیات امکان پذیر نیست.

۱۱ - در برج های جذب تماس پیوسته موازنه دیفرانسیلی برای ماده منتقل شونده در طول dz توسط کدام رابطه تعیین می شود؟

(مهندسی شیمی ۷۷)



$$N_A = -\frac{d(Gy)}{adz} \quad (۲) \quad N_A = \frac{d(Gy)}{adz} \quad (۱)$$

$$N_A = \frac{Gdy}{adz} \quad (۴) \quad N_A = \frac{ydG}{adz} \quad (۳)$$

۱۲ - در یک برج آکنده تعداد واحدهای انتقال فاز گاز به کدام پارامتر بستگی دارد؟

(۱) دبی گاز (۲) سطح ویژه آکندهها (۳) ضریب انتقال جرم (۴) فشار جزئی

۱۳ - در یک برج آکنده (Packed Tower)، معرف تعداد مولهای انتقال یافته A به ازای واحد زمان در حجم برج، کدام است؟

(مهندسی شیمی ۷۶)

N (۴)

$\frac{J}{a}$ (۲)

$N_A a$ (۱)

۱۴- در یک برج جذب برای شیرین کردن گاز ترش سطح مشترک ویژه برای، a ، برای حباب‌هایی که جزء حجمی آن‌ها برابر $\phi = 0.1097$

و قطر متوسط آن‌ها $dp = 4.47$ میلی‌متر است چند $\frac{m^2}{m^3}$ است؟ (مهندسی شیمی ۷۶)

- (۱) 14.72 (۲) 147.20 (۳) 73.60 (۴) 294.40

۱۵- اگر R_s و E_s به ترتیب مقادیر مایع و گاز بدون حل‌شونده x_1 و y_1 نسبت مولی این فازها در ورود به این برج جذب

باشند $R_s(x_1 - x)$ مساوی است با E_s ضربدر برای یک فرآیند (مهندسی شیمی ۷۶)

- (۱) $(y_1 - y)$ همسو (۲) $(y - y_1)$ غیرهمسو (۳) $(y_1 - y)$ غیرهمسو (۴) $(y - y_1)$ همسو

۱۶- در عمل جذب گازی:

(۱) حلالیت جزء نفوذکننده گاز در حلال زیاد باشد تا موجب افزایش شدت جذب و کاهش حلال مصرفی می‌شود.

(۲) حلالیت جزء نفوذکننده گاز در حلال باید محدود باشد.

(۳) حلالیت جزء نفوذکننده گاز در حلال باید کم باشد تا موجب کاهش میزان مصرفی حلال شود.

(۴) شدت جذب ارتباطی به حلالیت جزء نفوذکننده گاز در حلال ندارد.

۱۷- مخلوط گازی تحت شرایط معین در یک ستون جذب با جریان‌های معکوس (counter current) با حلال خالص تماس حاصل

می‌کند. اگر غلظت جذب‌شونده در گاز ورودی و خروجی و نیز تغییر سینی‌های برج معلوم باشد. در این صورت می‌توان نسبت

حلال ورودی به گاز خالص ورودی و را به دست آورد. (مهندسی شیمی ۷۶)

(۱) حداقل شدت حلال مصرفی (۲) فقط این نسبت

(۳) غلظت جذب‌شونده در مایع خروجی از پایین ستون (۴) میزان جذب‌شونده

۱۸- اگر تعداد سینی‌های واقعی یک برج جذب 50 و تعداد سینی‌های ایده‌آل 30 باشد، راندمان کلی برج جذب چند درصد است؟

(مهندسی شیمی ۷۶)

- (۱) 30 (۲) 50 (۳) 60 (۴) 80

۱۹- در یک ستون پر شده به ارتفاع 10 متر با دبی مولی گاز $G = 0.0609 \frac{kmole}{m^2 \cdot s}$ و $F_G \cdot a = 0.0719 \frac{kmole}{m^3 \cdot s}$ تعداد واحدهای انتقال

(مهندسی شیمی ۷۵)

فاز گاز در حدود چند است؟

- (۱) 8.47 (۲) 9.1 (۳) 10 (۴) 12

۲۰- از دو ستون جذب با جریان‌های معکوس که به شکل زیر به یکدیگر مربوط شده‌اند. برای جذب ماده (A) از هوا از آب استفاده

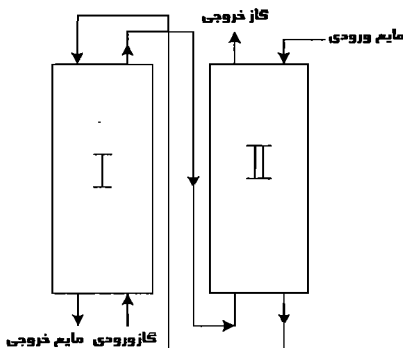
می‌شود. معادلات خطوط عملیاتی دو برج به کدام صورت قرار می‌گیرند؟ (مهندسی شیمی ۷۵)

(۱) دو خط در یک امتداد

(۲) متعامد

(۳) هر دو در یک طرف منحنی تعادل ولی با شیب‌های مختلف

(۴) هر کدام در یکی از دو طرف منحنی تعادل



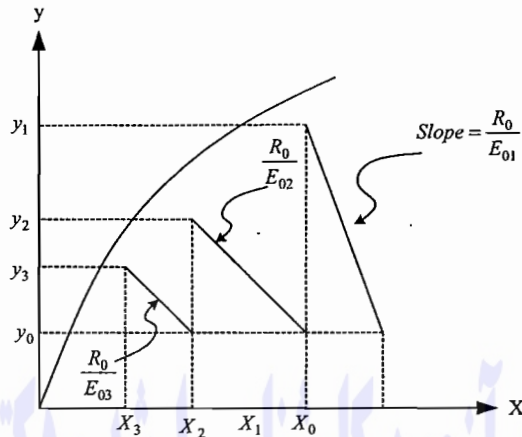
۲۱ - معمولاً در واحدهای جذب گاز، هم برج جذب و هم برج دفع داریم، دما و فشار برج جذب در مقایسه با برج دفع چگونه است؟

- (۱) دما بیشتر (۲) دما یکسان (۳) فشار بیشتر (۴) فشار و دما یکسان

۲۲ - مقدار حلال مورد استفاده در برج جذب عملاً چند برابر L_{min} است؟ (L_{min} حداقل حلال)

- (۱) 1 (۲) 1.4 (۳) 4 (۴) 10

۲۳ - شکل زیر مربوط به کدام یک از سیستم‌های زیر است؟ (مهندسی شیمی ۷۴)



(۱) سه مرحله‌ای واقعی با جریان‌های متقاطع (Cross) حلال ناخالص و شدت جریان‌های نامساوی حلال در سه مرحله

(۲) سه مرحله‌ای تعادلی با جریان‌های متقاطع (Cross) حلال ناخالص و شدت جریان‌های نامساوی حلال در سه مرحله

(۳) سه مرحله‌ای واقعی با جریان‌های معکوس (Counter Current) حلال ناخالص و شدت جریان‌های مساوی حلال در سه مرحله

(۴) سه مرحله‌ای واقعی با جریان‌های متقاطع حلال خالص و شدت جریان‌های نامساوی حلال در سه مرحله

۲۴ - یک صد کیلوگرم از خوراک مایع حاوی 40 درصد جرمی از جسم استخراج شونده را با 80 کیلوگرم از حلال خالص به‌طور

متقاطع (Cross) در یک مرحله تعادلی مجاور می‌سازند. در صورتی که معادله منحنی تعادل از رابطه $Y = \frac{1}{4}X$ پیروی نماید.

حداکثر درصد استخراج در این مرحله چقدر است. حلال و همراه در یکدیگر کاملاً نامحلول می‌باشند. $X = \frac{x}{1-x}$ ، $Y = \frac{y}{1-y}$ و

اجزاء جرمی جسم استخراج‌شونده در دو فاز E و R هستند. (مهندسی شیمی ۷۴)

- (۱) 10 درصد (۲) 40 درصد (۳) 50 درصد (۴) 20 درصد

۲۵ - کدام عبارت در مورد برج‌های جذب درست است؟ (مهندسی شیمی ۷۴)

(۱) وقتی جریان هم‌سو باشد شیب خط کار (operating line) برابر $\frac{L_s}{G_s}$ است.

(۲) وقتی که جریان هم‌سو باشد شیب خط کار (Operating line) برابر $\frac{G_s}{L_s}$ است.

(۳) جریان هم‌سو وقتی به کار می‌رود که یک واکنش برگشت‌ناپذیر سریع در فاز مایع صورت گیرد.

(۴) جریان غیرهم‌سو وقتی به کار می‌رود که گازی که در فاز مایع حل می‌شود خالص است.

۲۶- در یک سیستم گاز-مایع منحنی تعادل از رابطه $0.15X = \frac{P^*}{P_t - P^*}$ پیروی می‌نماید که در آن P^* فشار جزئی تعادلی P_t فشار

کل سیستم و $X = \frac{x}{1-x}$ (x جزء مولی جسم جذب‌شونده در فاز مایع است) می‌باشد. در صورتی که شیب خط عملیاتی

(Operating line) برابر 0.6 باشد ضریب جذب (A) برای این سیستم برابر خواهد بود با:

(مهندسی شیمی ۷۳) (۱) 25 (۲) 4 (۳) 0.15 (۴) 0.09

۲۷- مخلوط هوا و آمونیاک (10% حجمی) آمونیاک از پایین یک برج جذب و آب خالص از بالای برج به‌طور غیرهمسو وارد می‌گردند، منحنی تعادل در این حالت به صورت $Y = X$ فرض می‌گردد اگر قرار باشد 90% از آمونیاک ورودی در هوا جذب گردد.

حداقل مقدار آب مورد نیاز به ازاء هر کیلوگرم هوای خالص ورودی برابر است با:

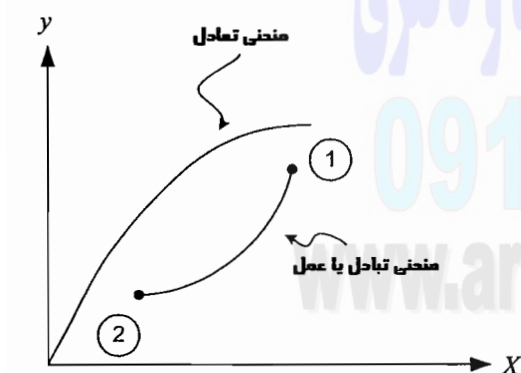
(مهندسی شیمی ۷۲) (۱) 0.91 کیلوگرم (۲) 0.55 کیلوگرم (۳) 1.82 کیلوگرم (۴) 1.10 کیلوگرم

۲۸- معادله خط تبادل برج جذبی به صورت $Y = 2X + 4$ و معادله تعادل آن $Y = 4X$ است که در آن X و Y کسرهای مولی نسبی در

فاز مایع و گاز است ضریب جذب برج کدام است؟

(مهندسی شیمی ۷۲) (۱) 0.05 (۲) 0.5 (۳) 0.25 (۴) 5

۲۹- شکل زیر را در نظر بگیرید. این شکل نشان‌دهنده یک واحد عملیاتی موازی و می‌باشد.



(مهندسی شیمی ۷۲) (۱) همسو و جذب

(۲) غیرهمسو و جذب

(۳) غیرهمسو و دفع

(۴) همسو و دفع

۳۰- در یک ستون جذب موازی و غیرهمسو هدف بازیابی 90% از ماده مورد نظر A موجود در فاز گاز ورودی که غلظت A در آن

0.13 است می‌باشد. در صورتی که دبی گاز ورودی $2 \frac{\text{kmol}}{\text{s}}$ و خط تعادل $Y = X$ باشد حداقل مقدار حلال خالص چند کیلومول

بر ثانیه است؟

(مهندسی شیمی ۷۲) (۱) 1.57 (۲) 1.80 (۳) 2.22 (۴) 4.50

حل تست‌های طبقه‌بندی شده فصل ششم

۱ - گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$A = \frac{L}{MG} = 1 \quad \left. \vphantom{A = \frac{L}{MG} = 1} \right\} \rightarrow \text{نیروی محرکه در طول دستگاه ثابت است} \Rightarrow \text{فاصله خط کار و منحنی تعادل در طول فرایند ثابت می‌باشد.}$$

منحنی تعادل خطی است.

۲ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

۳ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۴ - گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$\frac{\sum N_i - y_i}{\sum N_i - y_{A_G}} = \left[\frac{\sum N_i - x_{A_L}}{\sum N_i - x_{A_i}} \right]^{\frac{F_L}{F_G}}$$

$$\sum N_i = N_A \Rightarrow \frac{N_A}{\sum N_i} = 1 \Rightarrow \frac{1-0.01}{1-0.1} = \left[\frac{1-0}{1-x_{A_i}} \right]^1 \Rightarrow x_{A_i} = 0.091$$

۵ - هیچ کدام از گزینه‌ها صحیح نمی‌باشد.

برای حداکثر شدن $\frac{L}{G}$ باید x_1 با y_1 در حال تعادل باشد.

$$\frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = \frac{L_s}{G_s} \Rightarrow \frac{0 - \frac{0.2}{1-0.2}}{0.1 - \frac{0.2}{1-0.2}} = \frac{L_s}{G_s} \Big|_{\max} \Rightarrow \frac{L_s}{G_s} \Big|_{\max} = 1.8 \Rightarrow \frac{L}{G} \Big|_{\max} = \frac{\frac{L_s}{G_s}}{1-y_1} = \frac{1.8}{1-0.2} = 2.25$$

۶ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۷ - گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$\left. \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = \frac{L_s}{G_s} \right\} \Rightarrow \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - Y_1} = \frac{L_s}{G_s} \Big|_{\min} \Rightarrow \frac{0.2 \times \frac{0.1}{1-0.1} - \frac{0.1}{1-0.1}}{0 - \frac{0.1}{1-0.1}} = \frac{0.022 - 0.11}{0 - 0.11} = \frac{L_s}{G_s} \Big|_{\min} = 0.8$$

$$\frac{L}{G} \Big|_{\min} = \frac{\frac{L_s}{G_s}}{1-y_1} = \frac{0.8}{1-0} = 0.72$$

۸ - گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

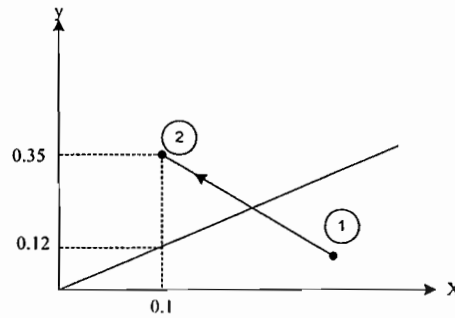
$$Y = -0.25X + 0.125 \Rightarrow \frac{R_s}{E_s} = 0.25 \Rightarrow E_s = \frac{R_s}{0.25} = \frac{100 \times 0.5}{0.25} = 200 \text{ kg}$$

۹ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

با توجه به متن درس.

۱۰ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

اگر برج به صورت همسو کار کند داریم:



خط کار منحنی تعادل را قطع می کند و از آن عبور می کند که امکان پذیر نیست.

اگر برج به صورت ناهمسو کار کند داریم:

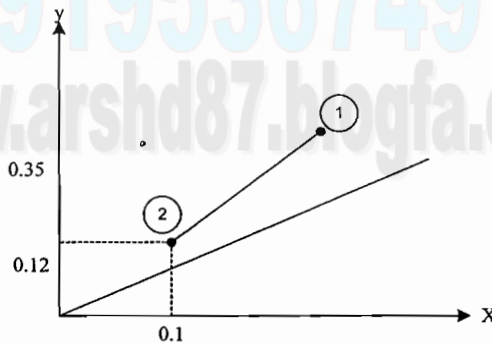
$$X_1 = 0.5$$

$$Y_1 = 0.35$$

$$X_2 = 0.1$$

$$Y_2 = 0.12$$

که در این حالت خط کار در فرایند دفع بالای منحنی تعادل قرار گرفته که امکان پذیر نیست.



۱۱ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

با توجه به متن درس.

۱۲ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

N_{TG} تنها تابع y ها می باشد و در نتیجه فقط تابع فشارهای جزئی می باشد.

۱۳ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$[N_A \cdot a] = \frac{\text{mole}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \times \frac{\text{m}^2}{\text{m}^3} = \frac{\text{mol}}{\text{m}^3 \cdot \text{s}}$$

$$a = \frac{6\phi}{d_p} = \frac{6 \times 0.1097}{4.47 \times 10^{-3}} = 147.2 \frac{\text{m}^2}{\text{m}^3}$$

۱۴ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

۱۵- گزینه ۳ و ۴ صحیح می‌باشند.

با توجه به متن درس.

۱۶- گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۱۷- گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۱۸- گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$\text{راندمان کلی برج} = \frac{30}{50} = 0.6$$

$$H_{tG} = \frac{G}{F_G \cdot a} = \frac{0.0609}{0.0719} = 0.847$$

$$z = N_{tG} \cdot H_{tG} \Rightarrow N_{tG} = \frac{z}{H_{tG}} = \frac{10}{0.847} = 11.8 \approx 12$$

۱۹- گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

۲۰- گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۲۱- گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۲۲- گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۲۳- گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

خطوط کار منحنی تعادل را قطع نکرده‌اند پس مراحل واقعی هستند.

$Y_0 \neq 0$ می‌باشد پس حلال ناخالص است.

شیب خطوط کار یکسان نیستند پس شدت جریان‌های حلال متفاوت می‌باشد.

۲۴- گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$$R_s = R_1(1 - X_1) = 100(1 - 0.2) = 80 \text{ kg}$$

$$\text{حلال خالص} \Rightarrow E_s = E = 80 \text{ kg}$$

$$\frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = -\frac{R_s}{E_s} \xrightarrow{\text{خروجی‌ها در حال تعادل}} \frac{\frac{1}{4}X_2 - 0}{X_2 - \frac{0.25}{1-0.2}} = -1 \Rightarrow X_2 = 0.2$$

$$\text{درصد جداسازی} = \frac{X_1 - X_2}{X_1} \times 100 = \frac{0.25 - 0.2}{0.25} \times 100 = 20\%$$

۲۵- گزینه ۳ صحیح می باشد.

با توجه به متن درس.

۲۶- گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$A = \frac{\frac{R_s}{E_s}}{m} = \frac{0.6}{0.15} = 4$$

۲۷- گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$\left. \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = \frac{L_s}{G_s} \right\} \Rightarrow \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - Y_1} = \frac{L_s}{G_s} \Big|_{\min} \Rightarrow \frac{0.1 - 0.1 \times \frac{0.1}{1-0.1}}{\frac{0.1}{1-0.1} - 0} = 0.9 \frac{\text{mol H}_2\text{O}}{\text{mol Air}}$$

منحنی تعادل $Y = X$:

$$\Rightarrow \frac{0.9 \text{ mol H}_2\text{O}}{\text{mol Air}} \times \frac{1 \text{ mole Air}}{29 \text{ kg Air}} \times \frac{18 \text{ kg H}_2\text{O}}{1 \text{ mole H}_2\text{O}} = 0.55 \frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{kg Air}}$$

۲۸- گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$A = \frac{\frac{R_s}{E_s}}{m} = \frac{2}{4} = 0.5$$

۲۹- گزینه ۳ صحیح می باشد.

با توجه به متن درس.

۳۰- گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$\left. \frac{L_s}{G_s} = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} \right\} \Rightarrow \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - Y_1} = \left(\frac{L_s}{G_s} \right)_{\min} \Rightarrow \frac{0.1 \times \frac{0.13}{1-0.13} - \frac{0.13}{1-0.13}}{0 - \frac{0.13}{1-0.13}} = \frac{0.015 - 0.15}{0 - 0.15} = \frac{L_s}{G_s} \Big|_{\min}$$

منحنی تعادل $Y = X$

$$G_s = G_1(1 - y_1) = 2(1 - 0.13) = 1.74 \Rightarrow L_{s,\min} = 1.57$$

فصل هفتم

تقطیر

۱-۷ مقدمه

تقطیر مهم‌ترین عملیات انتقال جرم می‌باشد و جزء عملیات مستقیم انتقال جرم طبقه‌بندی می‌شود بدین معنی که برخلاف جذب یا دفع که با اضافه کردن ماده جدیدی به داخل محلول، فاز جدیدی ایجاد می‌شود. در تقطیر فاز جدید بر اثر دادن حرارت به فاز اصلی به وجود می‌آید که در این صورت کلیه سازندگان در هر دو فاز وجود دارند ولی توزیع مواد مختلف بین دو فاز متفاوت می‌باشد

نکته : برخلاف تبخیر، تقطیر در جداسازی محلول‌هایی به کار می‌رود که کلیه سازندگان آن به میزان قابل توجهی فرار می‌باشند به عنوان مثال در جداسازی یک محلول آب - نمک از تبخیر استفاده می‌کنند زیرا نمک در شرایط عملیاتی معمول کاملاً غیرفرار است ولی در جداسازی محلول آب - آمونیاک از تقطیر استفاده می‌کنند

در فرایندهای جذب و دفع، انتخاب حلال - فاز جدیدی که خودمان اضافه می‌کنیم - توسط طراح سیستم انجام می‌شود اما در تقطیر چنین انتخابی وجود ندارد و تفاوت فاز جدید و فاز اصلی در میزان انرژی - گرمای - آن‌ها می‌باشد برای تهیه محصولات خالص نمی‌توان از عملیات جذب و یا دفع - عملیات غیرمستقیم - استفاده نمود - چون همواره محصول به صورت محلول می‌باشد - ولی از تقطیر برای تهیه محصولات تقریباً خالص استفاده می‌کنند
توزیع مواد در دو فاز براساس اختلاف فراریت آن‌ها می‌باشند و برای به‌دست‌آوردن توزیع مواد باید به بررسی شرایط تعادلی بخار - مایع بپردازیم

۲-۷ تعادل بخار - مایع - VLE -

درجه آزادی یک سیستم که با رابطه زیر به‌دست می‌آید معرف تعداد متغیرهای مستقلی می‌باشد که لازم است برای تعیین حالت درونی سیستم مشخص گردد

$$F = 2 + N - \pi - r - s$$

N : تعداد اجزای شیمیایی موجود در سیستم

π : تعداد فازهای موجود در سیستم

r : تعداد واکنش‌های مستقل موجود در سیستم

S : محدودیت‌های اعمال شده بر سیستم

به عنوان مثال درجه آزادی در حالت تعادل بخار و مایع برای یک ماده خالص برابر یک می‌باشد

$$F = 2 + 1 - 2 - 0 - 0 = 1$$

که به معنی این است که با مشخص شدن یکی از خواص ترمودینامیکی - دما یا فشار یا حجم مایع موجود یا حجم بخار موجود و یا ... - حالت سیستم «سایر خواص ترمودینامیکی سیستم» مشخص و معین می‌گردد.

در حالت تعادل بخار مایع برای دو جزء، درجه آزادی سیستم، 2 می‌باشد

$$F = 2 + 2 - 2 - 0 - 0 = 2$$

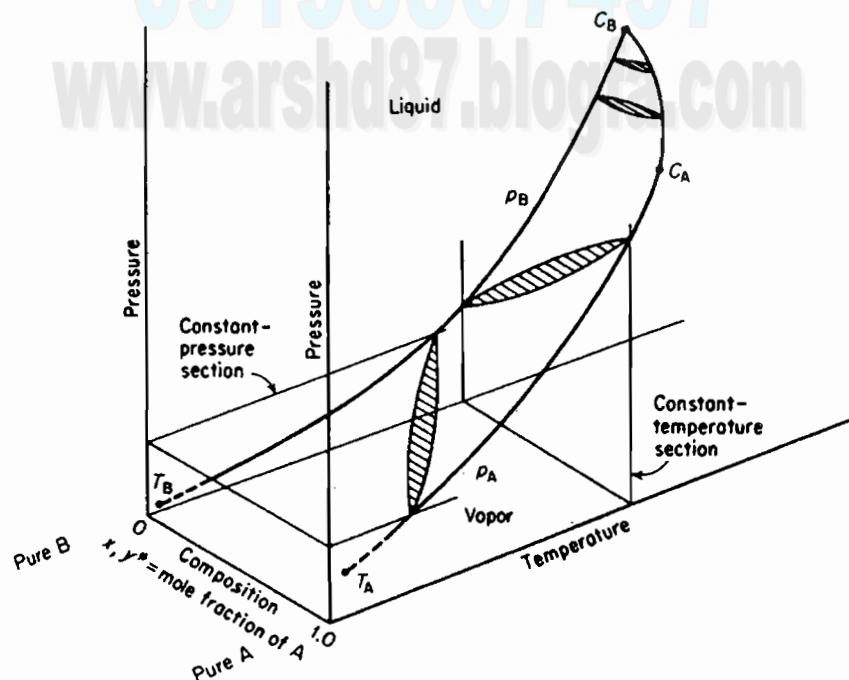
برای تقطیر دو جزئی در فشار ثابت درجه آزادی سیستم، یک می‌باشد

$$F = 2 + 2 - 2 - 0 - 1 = 1$$

↑

فشار ثابت

همان طور که گفته شد درجه آزادی بخار - مایع سیستم دو جزئی برابر دو می‌باشد که به معنی این می‌باشد که برای مشخص کردن حالت تعادل، دو متغیر مستقل - به عنوان مثال دما و فشار - سیستم باید معین گردند به همین جهت برای ارائه نمودارهای تعادلی نیاز به استفاده از محورهای سه بعدی داریم



تعادل فازهای بخار و مایع سیستم‌های دو جزئی

۷-۲-۱ محلول ایده آل دو جزئی

محلول دو جزئی A و B را محلول ایده آل می نامیم اگر شرایط زیر برقرار باشند

$$\left. \begin{aligned} \Delta V_{\text{mixing}} = 0 \\ \Delta H_{\text{mixing}} = 0 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \text{محلول ایده آل} \Rightarrow \begin{cases} \text{در فاز مایع قانون راول برقرار است} \\ \text{در فاز گاز، قانون دالتون برقرار است} \end{cases}$$

$$P_A = P_A^{\text{sat}} x_A$$

از قانون راول برای به دست آوردن فشار بخار اجزا در دمای سیستم استفاده می کنیم

فشار بخار A در محلول در دمای T

$$P_A^{\text{sat}} : \text{فشار بخار ماده خالص A در دمای T}$$

$$x_A : \text{جزء مولی ماده A در محلول}$$

$$P_B = P_B^{\text{sat}} x_B$$

$$x_A + x_B = 1$$

و داریم:

$$P_t = P_A + P_B = x_A P_A^{\text{sat}} + x_B P_B^{\text{sat}} \Rightarrow x_A = \frac{P_t - P_B^{\text{sat}}}{P_A^{\text{sat}} - P_B^{\text{sat}}}$$

فشار کلی سیستم

$$P_A = P_t y_A$$

قانون دالتون در مورد فاز گاز:

$$P_A : \text{فشار بخار جزء A در دمای T}$$

$$P_t : \text{فشار کلی مخلوط}$$

$$y_A : \text{جزء مولی A در فاز گاز}$$

$$\text{و } P_B = P_t * y_B \Rightarrow y_A = \frac{x_A P_A^{\text{sat}}}{P_t}$$

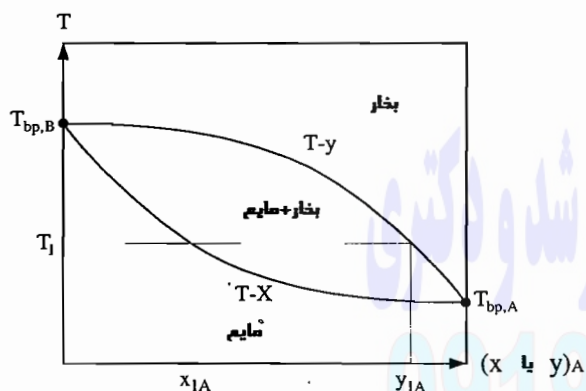
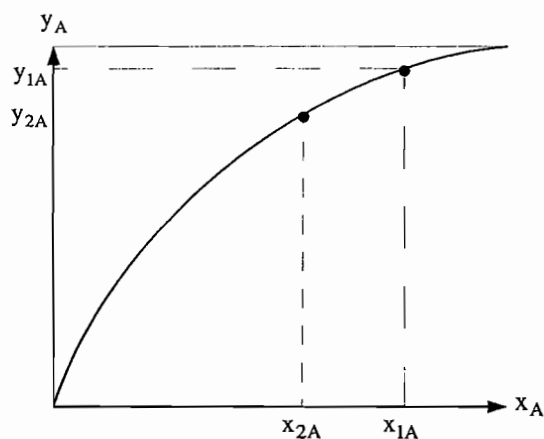
$$\text{و } y_B = \frac{x_B P_B^{\text{sat}}}{P_t}$$

حال با ثابت کردن یکی از متغیرهای مستقل سیستم - به عنوان مثال P یا T - به رسم نمودارهای تعادلی می پردازیم

T	P_A^{sat}	P_B^{sat}	$x_A = \frac{P_t - P_B^{\text{sat}}}{P_A^{\text{sat}} - P_B^{\text{sat}}}$	$y_A = \frac{x_A P_A^{\text{sat}}}{P_t}$	$x_B = 1 - x_A$	$y_B = 1 - y_A$
$T_{\text{bp,A}}$	P_t	-	1	1	0	0
T_1	-	-	x_{1A}	y_{1A}	x_{1B}	y_{1B}
T_2	-	-	x_{2A}	y_{2A}	x_{2B}	y_{2B}
T_3	-	-	-	-	-	-
$T_{\text{bp,B}}$	-	P_t	0	0	1	1

که در این حالت ما فشار کل سیستم P_t را ثابت در نظر گرفته ایم و همچنین ماده A را به عنوان جزء فرار سیستم انتخاب کرده ایم. ماده فرار: ماده ایست که در فشار ثابت، نقطه جوش کمتری نسبت به سایر اجزا دارد و یا به عبارتی دیگر در دمای ثابت دارای فشار بخار بیشتری نسبت به سایر اجزای مخلوط دارد.

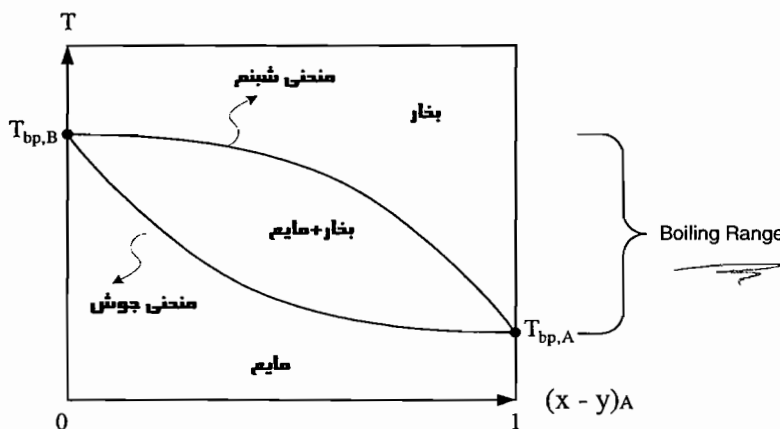
با پرکردن اطلاعات جدول می‌توانیم نمودارهای تعادلی $(y_A - x_A)$ و $(y_B - x_B)$ و $(T - xy)_A$ و $(T - xy)_B$ را رسم نماییم



و به همین ترتیب برای جزء B نیز می‌توان این دو نمودار را رسم کرد

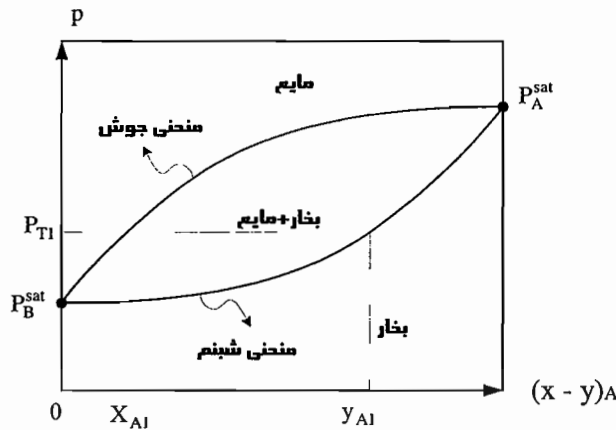
نکته: هر خط افقی در نمودار $T - xy$ یک tie-line می‌باشد یعنی معرف فاز بخار و مایعی است که در تعادل با هم می‌باشند مانند خط $T_1 - x_{1A}y_{1A}$ این خط در نمودار $x - y$ به یک نقطه تبدیل می‌شود - x_{A1}, y_{A1}

نکته: برای یک سیستم چند جزئی در فشار معین یک محدوده جوش داریم در صورتی که برای یک ماده خالص یک نقطه جوش داریم.



نکته: اگر مخلوط مایعی شامل اجزای A و B با کسر مولی x_{A1}, x_{B1} را در فشار ثابت P_t گرم کنیم تا اولین حباب بخار تشکیل شود و این عمل را در ترکیب درصدهای مختلف کرده و نتایج را دست‌آمده را به هم وصل کنیم منحنی جوش یا منحنی حباب به دست می‌آید

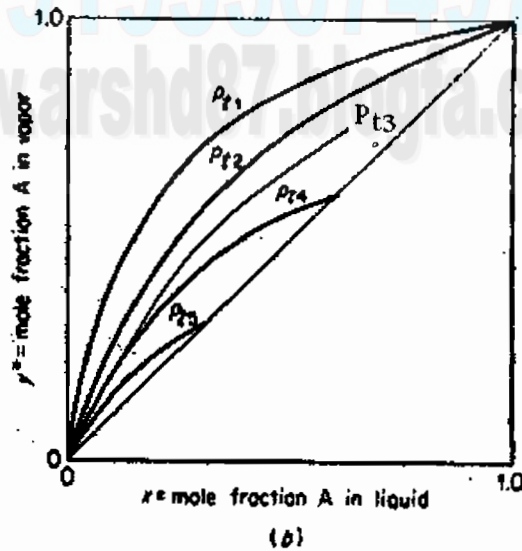
نکته: اگر مخلوط گازی شامل اجزای A و B با کسر مولی x_{A1}, x_{B1} را در فشار ثابت سرد کنیم تا اولین قطره مایع تشکیل شود و این عمل را در ترکیب درصدهای مختلف تکرار کنیم و نقاط به دست آمده را به هم وصل کنیم منحنی شبیم به دست می‌آید با ثابت کردن دما و تغییر فشار سیستم می‌توان نمودار $P-xy$ را نیز رسم کرد.



هر خط افقی در نمودار « $P-xy$ » یک tie line می‌باشد یعنی معرف فاز بخار و مایعی است که در دما و فشار مربوطه در حال تعادل می‌باشد مانند خط $(P_{T1} - x_{A1} - y_{A1})$. این خط در نمودار xy به یک نقطه تبدیل می‌شود

نکته: با افزایش فشار، منحنی تعادلی $x-y$ به خط $x=y$ نزدیک‌تر می‌شود و جداسازی اجزا سخت‌تر می‌گردد

$$P_{t5} > P_{t4} > P_{t3} > P_{t2} > P_{t1}$$



تعادل فازهای بخار و مایع در فشارهای بالا

۲-۲-۷ محلول غیر ایده‌آل دو جزئی

در محلول‌های غیرایده‌آل برای محاسبه فشار بخار اجزا از رابطه زیر استفاده می‌کنیم که در این صورت سه حالت زیر به وجود می‌آید

$$P_A = \gamma_A x_A P_A^{sat}$$

انحراف مثبت از قانون راول داریم و فشار بخار جزء A بیشتر از قانون راول پیش‌بینی می‌شود. $\Rightarrow \gamma_A > 1$ حالت اول

عدم انحراف از قانون راول → $\gamma_A = 0$ حالت دوم

انحراف منفی از قانون راول → $\gamma_A < 1$ حالت سوم

$$P_B = \gamma_B x_B P_B^{\text{sat}}$$

و برای جزء B نیز داریم:

در حالت کلی γ_B, γ_A دارای تابعیت از x_B, x_A می‌باشند

$$\gamma_A = f(x_A, x_B)$$

$$\gamma_B = g(x_A, x_B)$$

برای محاسبه فشار کلی سیستم:

$$P_t = P_A + P_B = \gamma_A x_A P_A^{\text{sat}} + \gamma_B x_B P_B^{\text{sat}} = f(x_A, x_B) x_A P_A^{\text{sat}} + g(x_A, x_B) x_B P_B^{\text{sat}}$$

$$= f(x_A, x_B) x_A P_A^{\text{sat}} + g(x_A, x_B) (1 - x_A) P_B^{\text{sat}}$$

نکته: در برخی حالات انحراف از قانون راول، $\frac{\delta P_t}{\delta x_A} = 0$ می‌شود که در این حالت سیستم را آزئوتروپی می‌گویند

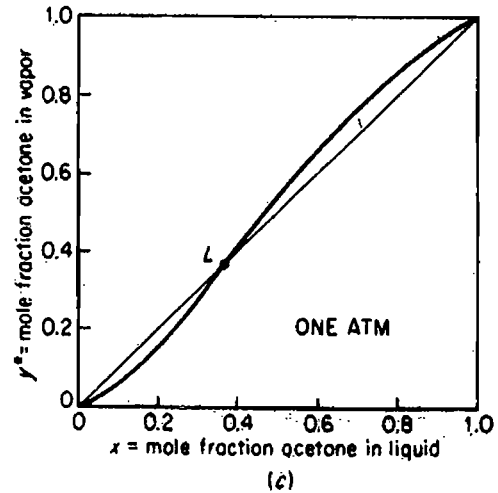
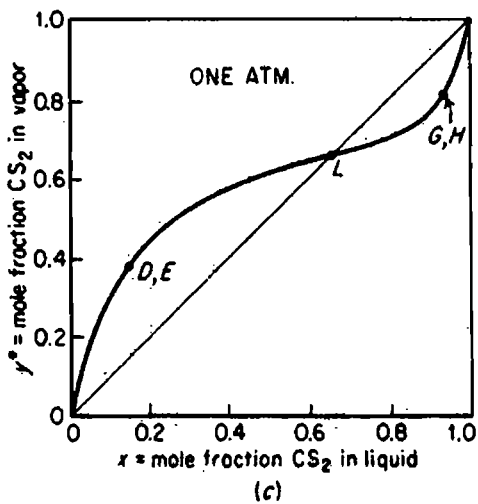
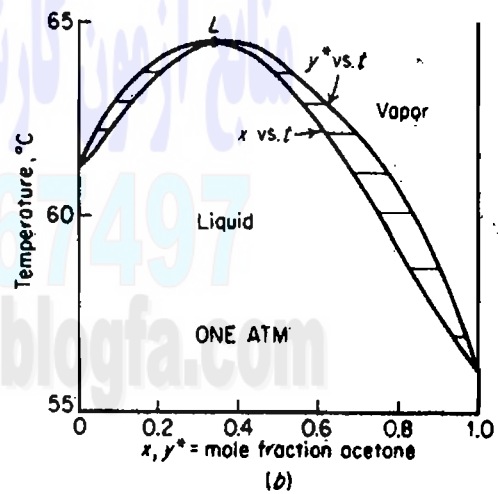
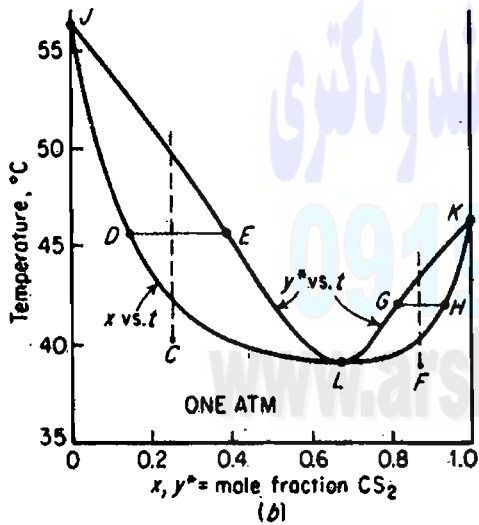
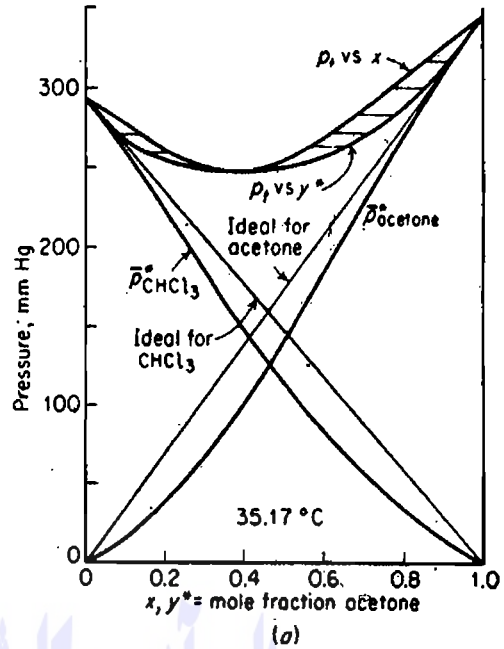
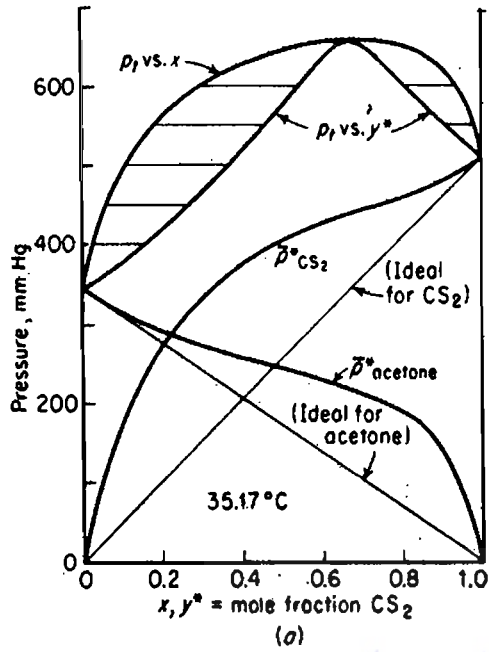
$$\left. \begin{array}{l} \frac{\delta P_t}{\delta x_A} = 0 \\ , \\ 0 \leq x_A \leq 1 \end{array} \right\} \Rightarrow \text{سیستم دارای آزئوتروپ می‌باشد}$$

سیستم‌های آزئوتروپی به دو دسته اصلی تقسیم می‌شوند

(۱) سیستم آزئوتروپی با ماکسیمم نقطه جوش و یا مینیموم فشار ← مانند مخلوط آب و اسید کلریدریک در فشار اتمسفر

(۲) سیستم آزئوتروپی با مینیموم نقطه جوش و یا ماکزیمم فشار ← مانند مخلوط آب و اتانول در فشار اتمسفر

که در ادامه به بررسی این سیستم‌ها خواهیم پرداخت



ضریب توزیع یک سازنده در دو فاز:

ضریب توزیع یک جزء به صورت زیر تعریف می شود

$$K_A = \frac{y_A}{x_A}$$

برای محلول ایده آل داریم:

$$K_A = \frac{y_A}{x_A} = \frac{\frac{x_A P_A^{sat}}{P_t}}{x_A} = \frac{P_A^{sat}}{P_t}$$

و برای محلول غیرایده آل داریم

$$K_A = \frac{y_A}{x_A} = \frac{\frac{\gamma_A x_A P_A^{sat}}{P_t}}{x_A} = \frac{\gamma_A P_A^{sat}}{P_t}$$

ضریب توزیع تابعی از دما و فشار سیستم و نوع ماده می باشد و مواد فرار دارای ضریب توزیع بزرگ تری می باشند و با افزایش دما و یا کاهش فشار ضریب توزیع افزایش می یابد - سیستم بیشتر به حالت بخار در می آید - در یک سیستم دوجزئی داریم:

$$\left. \begin{aligned} y_A &= k_A x_A \\ y_B &= k_B x_B \end{aligned} \right\} y_A + y_B = k_A x_A + k_B x_B = 1$$

$$\Rightarrow x_A = \frac{1 - k_B}{k_A - k_B}, \quad y_A = \frac{k_A (1 - k_B)}{k_A - k_B}$$

$$x_B = \frac{k_A - 1}{k_A - k_B}, \quad y_B = \frac{k_B (k_A - 1)}{k_A - k_B}$$

فراریت نسبی:

فراریت نسبی مبین جدایی پذیری مواد از یک دیگر می باشد و عبارت است از نسبت غلظت های A و B در فاز بخار به همین نسبت در فاز مایع

$$\alpha_{AB} = \frac{\frac{y_A}{x_A}}{\frac{y_B}{x_B}} = \frac{\frac{y_A}{x_A}}{\frac{y_B}{x_B}} = \frac{k_A}{k_B}$$

$$\alpha_{BA} = \frac{\frac{y_B}{x_B}}{\frac{y_A}{x_A}} = \frac{\frac{y_B}{x_B}}{\frac{y_A}{x_A}} = \frac{k_B}{k_A}$$

در محلول های ایده آل داریم

$$\alpha_{AB} = \frac{P_A^{sat}}{P_B^{sat}}$$

نکته : با فرض ثابت بودن مقدار α می توانیم به صورت زیر معادله منحنی تعادل را به دست آوریم

$$\alpha = \frac{\frac{y_A}{x_A}}{\frac{y_B}{x_B}} = \frac{\frac{y_A}{x_A}}{\frac{1-y_A}{1-x_A}} \Rightarrow y_A = \frac{\alpha x_A}{1 + (\alpha - 1)x_A}$$

نکته : α معیاری برای تعیین درجه دشواری جداسازی مواد از طریق تقطیر می باشد در شرایط مختلف α ، تقسیم بندی زیر را داریم

تقطیر امکان پذیر نمی باشد و غیر اقتصادی است $\Rightarrow \alpha < 1.1$ اگر

تقطیر مشکل است $\Rightarrow 1.1 < \alpha < 3.5$ اگر

تقطیر آسان است $\Rightarrow 3.5 < \alpha < 10$ اگر

اختلاف فراریت دو جزء بسیار زیاد است و عملا به جای تقطیر، تبخیر یک جزء داریم $\Rightarrow \alpha > 10$ اگر

نکته : در نقطه آزنوتروپ، ترکیب درصد های فاز های بخار و مایع با هم برابر هستند $x_A = y_A, x_B = y_B$ و مقدار فراریت نسبی در نقطه آزنوتروپ برابر یک می باشد پس سازندگان محلول هایی از این نوع را تا بالاتر از نقطه آزنوتروپی به روش تقطیر معمولی نمی توان از یکدیگر جدا کرد و معمولا با تغییر فشار نقطه آزنوتروپ - هم جوشی - را از بین می برند

نکته : اگر فشار کل سیستم P_T - در یک نقطه از فشار اشباع P_A^{sat}, P_B^{sat} - تک تک اجزا بیشتر باشد در این صورت سیستم حتما دارای نقطه آزنوتروپ می باشد و نوع آن، مینیموم نقطه جوش - ماکزیمم فشار - می باشد

نکته : اگر فشار کل سیستم P_T - در یک نقطه از فشار اشباع تک تک اجزا کمتر باشد در این صورت سیستم حتما دارای نقطه آزنوتروپی می باشد و نوع آن ماکزیمم نقطه جوش - مینیموم فشار - می باشد

مثال : در یک سیستم دو جزئی A و B با افزایش مقدار x_A از صفر تا یک مقدار ضریب فراریت نسبی از مقادیر کوچک تر از یک تا مقادیر بزرگ تر از یک تغییر می کند، در مورد این سیستم کدام یک از گزینه های زیر صحیح است؟

(۱) سیستم دارای آزنوتروپ از نوع ماکزیمم فشار می باشد.

(۲) سیستم دارای آزنوتروپ از نوع مینیموم فشار می باشد.

(۳) احتمال وجود آزنوتروپ در سیستم وجود دارد

(۴) سیستم دارای آزنوتروپ نمی باشد

حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

برای توضیح به شکل نمودار xy سیستم های آزنوتروپی دقت کنید و این که α تابع پیوسته ای می باشد

مثال : در یک سیستم دو جزئی A و B با افزایش مقدار x_A از صفر تا یک مقدار ضریب فراریت نسبی از مقادیر بزرگ تر از یک تا مقادیر کوچک تر از یک تغییر می کند، در مورد این سیستم کدام یک از گزینه های زیر صحیح است؟

(۱) سیستم دارای آزنوتروپ از نوع ماکزیمم فشار می باشد.

(۲) سیستم دارای آزنوتروپ از نوع مینیموم فشار می باشد.

(۳) احتمال وجود آزنوتروپ در سیستم وجود دارد

(۴) سیستم دارای آزنوتروپ نمی باشد

حل : گزینه ۱ صحیح می باشد .

نکته : ضریب فراریت نسبی، تابع پیوسته‌ای می باشد در سیستم‌های دارای آزنوتروپ از نوع ماکزیم فشار، قبل از نقطه آزنوتروپ $\alpha > 1, y_A > x_A$ می باشد «به شکل سیستم‌های آزنوتروپی دقت کنید» و در سیستم‌های دارای آزنوتروپ از نوع مینیم فشار، قبل از نقطه آزنوتروپ $\alpha < 1, y_A < x_A$ می باشد و همواره در نقطه آزنوتروپ $\alpha = 1$ می باشد.

مثال : دو مایع نرمال هپتان و نرمال اکتان هنگامی که با هم مخلوط می شوند محلول ایده آل به وجود می آورند در صورتی که در دمای 110 درجه سانتی گراد فشار بخار نرمال هپتان و نرمال اکتان به ترتیب برابر 1050 و 484 میلی متر جیوه باشد، ترکیب نرمال هپتان در بخار و مایع در حال تعادل در فشار یک اتمسفر و دمای 110 درجه سانتی گراد کدام یک از گزینه‌های زیر می تواند باشد؟

«فرآوری و انتقال گاز ۸۲»

$$x = 0.312 \quad y = 0.492 \quad (۲)$$

$$x = 0.655 \quad y = 0.810 \quad (۱)$$

$$x = 0.15 \quad y = 0.279 \quad (۴)$$

$$x = 0.487 \quad y = 0.674 \quad (۳)$$

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$x_A = \frac{P_t - P_B^{\text{sat}}}{P_A^{\text{sat}} - P_B^{\text{sat}}} = \frac{760 - 484}{1050 - 484} = 0.487$$

$$y_A P_t = x_A P_A^{\text{sat}} \rightarrow y_A = \frac{P_A^{\text{sat}} x_A}{P_t} = \frac{1050 \times 0.487}{760} = 0.674$$

مثال : در تقطیر یک محلول دوجزئی اگر کسر مولی جزء B در فاز بخار برابر 0.4 و در فاز مایع برابر 0.6 باشد α_{AB} در آن حالت چه قدر است؟

$$3.5 \quad (۴)$$

$$3.25 \quad (۳)$$

$$2.5 \quad (۲)$$

$$2.25 \quad (۱)$$

حل : گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$\alpha_{AB} = \frac{\frac{y_A}{x_A}}{\frac{y_B}{x_B}} = \frac{\frac{1-y_B}{1-x_B}}{\frac{1-0.6}{0.4}} = 2.25$$

۷-۲-۳ نمودار آنتالپی - غلظت - $H-x, y$

تعادل بخار و مایع در سیستم‌های دو جزئی را می توان به صورت تغییرات آنتالپی بر حسب غلظت در فشار ثابت نشان داد آنتالپی مایع « H_L » در هر غلظتی را از رابطه زیر به دست می آورند

$$H_L = [M_A C_{pA} (T - T_{\text{ref}})] x_A + [M_B C_{pB} (T - T_{\text{ref}})] x_B + \Delta H_s$$

M_A, M_B : جرم مولکولی A و B

C_{pA}, C_{pB} : ظرفیت حرارتی مایعات خالص A و B در فشار ثابت P بر حسب انرژی بر مول بر درجه حرارت

T: دمای سیستم

T_{ref} : دمای مرجع

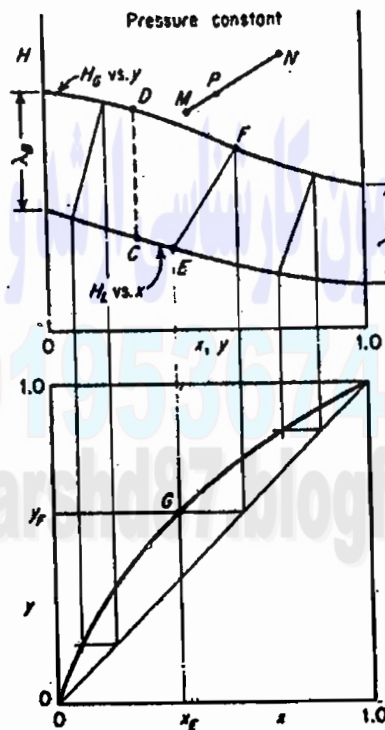
پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

ΔH_s : گرمای انحلال A و B در فشار سیستم بر حسب انرژی بر مول محلول

در رابطه بالا جمله $[M_A C_{p_A} (T - T_{ref})]$ نشانگر آنتالپی خالص ماده A در فشار ثابت سیستم می‌باشد - در دمای T - و جمله $[M_B C_{p_B} (T - T_{ref})]$ نشانگر آنتالپی خالص ماده B در فشار ثابت سیستم می‌باشد - در دمای T -
 ΔH_S : گرمای انحلال ماده A و B - در مورد سیستم‌های ایده‌آل «محلول ایده‌آل» برابر صفر است و برای محاسبه آنتالپی گاز «H_G» از رابطه زیر استفاده می‌کنیم

$$H_G = [M_A C_{p_A} (T - T_{ref}) + \lambda_A M_A] y_A + [M_B C_{p_B} (T - T_{ref}) + \lambda_B M_B] y_B$$

گرمای انحلال گازها در یک‌دیگر بسیار کم بوده و می‌توان از آن صرف‌نظر نمود
 λ_A, λ_B : گرمای نهان تبخیر A و B در دمای T و فشار ثابت p بر حسب انرژی بر مول
 با به‌دست آوردن آنتالپی فاز مایع در دمای حباب و آنتالپی فاز بخار در دمای شبنم می‌توان مرز بین سیستم‌های تک فازی - بخار یا مایع - را با سیستم دو فازی - مایع و بخار - در نمودار H-xy مشخص نمود.



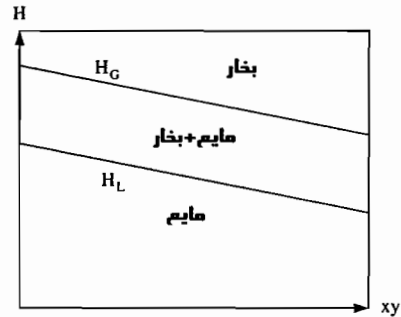
نمودار آنتالپی - غلظت

فواصل عمودی بین دو منحنی نشانگر انرژی لازم برای تبخیر مایع در ترکیب درصد مربوطه است و در این نمودار خطوط tie به صورت افقی و یا عمودی نمی‌باشند و تبدیل به خطوط مایل شوند که در شکل مشخص شده است سه ناحیه «مایع سرد» «ناحیه دو فازی بخار و مایع» و «بخار داغ» در شکل کاملاً مشخص می‌باشند

نکته: در سیستم‌های دارای آزئوتروپ، شیب خطوط tie در نمودار H-xy از یک مقدار مثبت «یا منفی» تا یک مقدار منفی «یا مثبت» تغییر می‌کند و در نقطه آزئوتروپ شیب خطوط tie بی‌نهایت می‌شود

نکته: در صورت صفر بودن گرمای انحلال مایعات A و B و ثابت بودن ظرفیت‌های حرارتی مواد « C_{p_B}, C_{p_A} » در رنج دمایی مورد نظر و برابری گرمای نهان تبخیر A و B « $\lambda_A = \lambda_B$ » و H_{Gy} با یک‌دیگر موازی می‌شوند

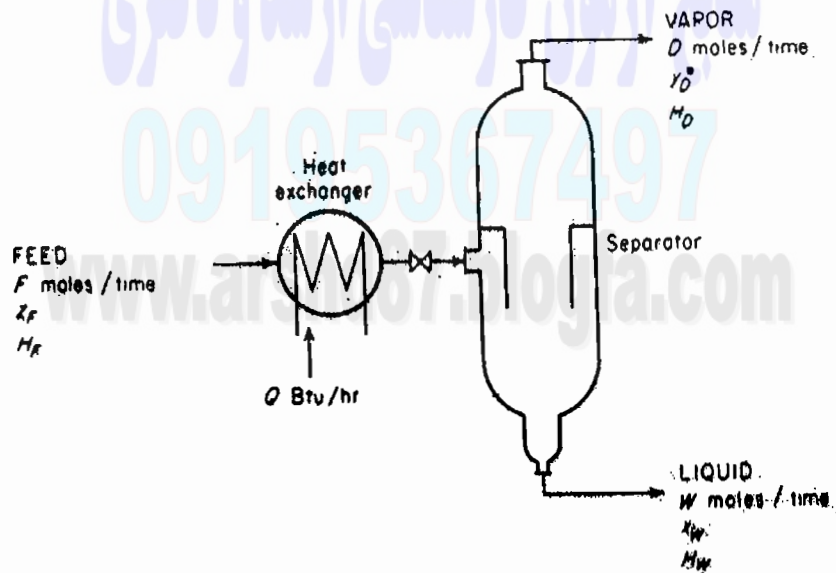
$$\left. \begin{aligned} \Delta H_s &= 0 \\ \lambda_A &= \lambda_B \\ T_a < T < T_b &\Rightarrow C_{p_A}, C_{p_B} = \text{cte} \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$



۳-۷ تبخیرکننده ناگهانی flash vaporization

در شکل زیر یک تبخیرکننده ناگهانی نشان داده شده است که یک فرایند تک مرحله‌ای ایست و به طور کلی از سه قسمت تشکیل شده است - گرم کن - شیر فشار شکن - مخزن جداکننده - در گرم کن ابتدا مایع ورودی را گرم می‌کنیم که به خاطر افت فشار ایجاد شده توسط شیرفشارشکن به حالت دو فازی درمی‌آید که این دو فاز در جداکننده، از یکدیگر جدا می‌شوند لازم به ذکر است که این دو فاز در حال تعادل با یکدیگر می‌باشند.

تبخیرکننده ناگهانی هم به طور ناپیوسته و هم به صورت مداوم قابل استفاده می‌باشد

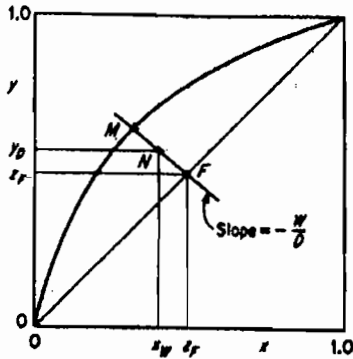


با نوشتن موازنه جرم و انرژی داریم:

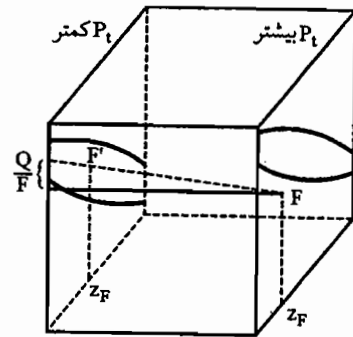
$$\left. \begin{aligned} F &= D + W \quad \text{موازنه جرم کلی مواد} \\ Fz_F &= Dy_D + wx_w \quad \text{موازنه جرم برای جزء سبک} \end{aligned} \right\} \rightarrow -\frac{w}{D} = \frac{y_D - z_F}{x_w - z_F} \quad \text{معادله خط کار flash در نمودار y-x}$$

$$\left. \begin{aligned} FH_F + Q &= DH_D + WH_w \\ F &= D + W \end{aligned} \right\} \rightarrow -\frac{w}{D} = \frac{H_D - \left(H_F + \frac{Q}{F}\right)}{H_w - \left(H_F + \frac{Q}{F}\right)} \quad \text{معادله خط کار flash در نمودار H-xy}$$

پارسه ماهان سنجش
 www.arshd87.blogfa.com
 09195367497
 نشانگر خط کار - عامل - یک تحول یک مرحله‌ای نقاط $M \left| \begin{matrix} x_w \\ y_D \end{matrix} \right| F \left| \begin{matrix} z_F \\ z_F \end{matrix} \right|$ با شیب منفی عبور می‌کند $-\frac{w}{D} = \frac{y_D - z_F}{x_w - z_F}$



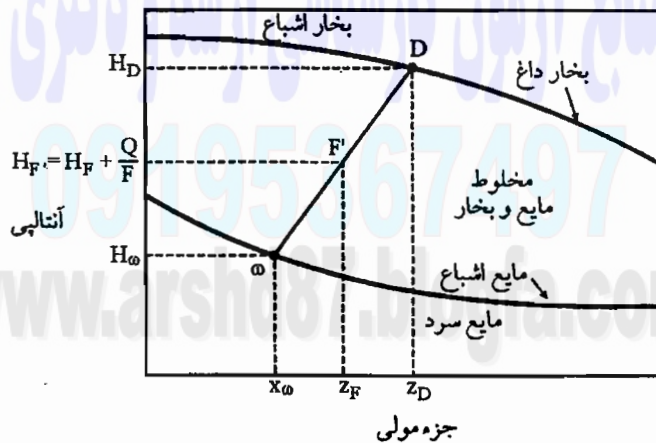
نمودار XY فرآیند تبخیر ناگهانی



نمودار آنتالی - غلظت مربوط به F و F'

نشانهگر خط مستقیمی با شیب $-\frac{w}{D}$ است که از نقاط $D \left(\frac{y_D}{H_D}, \frac{x_w}{H_w} \right)$ و $F' \left(\frac{z_F}{H_F + \frac{Q}{F}}, \frac{z_F}{H_F + \frac{Q}{F}} \right)$ عبور می کند

$$-\frac{w}{D} = \frac{H_D \left(H_F + \frac{Q}{F} \right)}{H_w - \left(H_F + \frac{Q}{F} \right)}$$



نمودار آنتالی - غلظت مربوط به فرآیند تبخیر ناگهانی

برای محاسبه x_w, y_D از سه روش - با توجه به اطلاعات مسئله - می توان استفاده کرد
(۱) روش اول: با استفاده از نمودارهای تعادلی (x-y) و پیدا کردن محل تقاطع خط کار و منحنی تعادل می توان x_w و y_D را به دست آورد.

(۲) روش دوم: با استفاده از ضریب توزیع K

$$\left\{ \begin{array}{l} -\frac{w}{D} = \frac{y_D - z_f}{x_w - z_f} \\ y_D = kx_w \rightarrow \text{معادله منحنی تعادل} \end{array} \right\} \Rightarrow y_D = \frac{z_f \left(1 + \frac{w}{D} \right)}{1 + \frac{w}{Dk}}$$

چون جریان های خروجی در حال تعادل می باشند.

$$x_w = \frac{z_f \left(1 + \frac{w}{D} \right)}{k + \frac{w}{D}}$$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۳) روش سوم: با استفاده از فراریت نسبی α

$$\left. \begin{aligned} & \left\{ \begin{aligned} -\frac{w}{D} = \frac{y_D - z_F}{x_w - z_F} & \leftarrow \text{معادله خط کار} \\ y_D = \frac{\alpha x_w}{1 + (\alpha - 1)x_w} & \leftarrow \text{معادله منحنی تعادل} \end{aligned} \right. \\ & \left. \begin{aligned} & \text{به دست می آیند} \\ & x_w \cdot y_D \end{aligned} \right\}$$

همان طور که مشاهده کردید شیب خط کار در تبخیر کننده ناگهانی همواره منفی می باشد - $\frac{w}{s}$ - بنابراین با استفاده از flash نمی توان به هر x و y دست یافت و این دستگاه دارای محدوده عملکردی می باشد برای مشخص کردن این محدوده دو حالت حدی را در نظر می گیریم

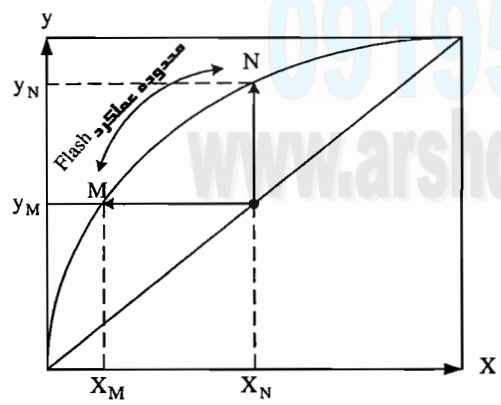
حالت حدی اول: $D \rightarrow 0$

$D \rightarrow 0 \Rightarrow \frac{w}{D} = \infty$ نقطه حباب

حالت حدی دوم: $w \rightarrow 0$

$w \rightarrow 0 \Rightarrow \frac{w}{D} = 0$ نقطه شبنم

محدوده عملکرد:



$$\begin{aligned} y_M &\leq y_D \leq y_N \\ y_M &= z_F \\ y_N &= kz_F \text{ یا } y_N = \frac{\alpha z_F}{1 + (\alpha - 1)z_F} \\ x_M &\leq x_w \leq x_N \\ x_N &= z_F \\ x_M &= \frac{z_F}{k} \text{ یا } z_F = \frac{\alpha x_M}{1 + (\alpha - 1)x_M} \end{aligned}$$

دما و فشار تبخیر کننده

میزان فشار تبخیر کننده، طوری تنظیم می کنند که بتوانند با استفاده با آب سرد در خروجی جریان گاز، عمل میعان صورت گیرد. محدوده دمایی عملکرد تبخیر کننده را نیز با استفاده از محدوده عملکرد تبخیر کننده تنظیم می کنند در شکل بالا نقطه N نشانگر فاز بخاری است که دارای بالاترین غلظت ماده فرار می باشد و دمای مخلوط در نقطه N برابر با نقطه حباب مخلوط می باشد و نقطه M مبین فاز مایعی با کمترین غلظت ماده فرار می باشد که در نقطه شبنم خوراک قرار دارد بنابراین با توجه به دمای حباب و شبنم خوراک و نیز ترکیب درصد جزء فرار در محصولات می توان دمای عملکرد تبخیر کننده را تعیین نمود بدیهی است که دمای عملکرد تبخیر بایستی مابین دمای حباب و شبنم خوراک باشد.

مثال : 100Lb_{mol} خوراکی شامل 60%A, 40%B به صورت ناگهانی تقطیر شده 50 پوند مول در ساعت محصول بالای برج و 50 پوند مول بر ساعت محصول پایین برج است. هر گاه فراریت دو جزء 2 باشد کسر مولی محصولات y, x برابر است با:

«مهندس شیمی ۷۵»

0.55, 0.65 (۴)

0.68, 0.52 (۳)

0.48, 0.56 (۲)

0.92, 0.95 (۱)

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$\left. \begin{aligned} \text{معادله خط کار} \quad \frac{y_D - z_F}{x_w - z_F} &= -\frac{w}{D} = \frac{y_D - 0.6}{x_w - 0.6} = -1 \\ \text{معادله منحنی تعادل} \quad y_D &= \frac{\alpha x_w}{1 + (\alpha - 1)x_w} = y_D = \frac{2x_w}{1 + x_w} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{aligned} x_w &= 0.52 \\ y_D &= 0.68 \end{aligned}$$

۲-۳-۷ تبخیر ناگهانی چند جزئی multy componand flash

روش کار همانند حالت دو جزئی می باشد و تغییرات زیر در معادلات موازنه انجام می گردد

$F = D + w$

$Fz_{iF} = Dy_{iD} + wx_{iw}$

$FH_F + Q = DH_D + wH_w$

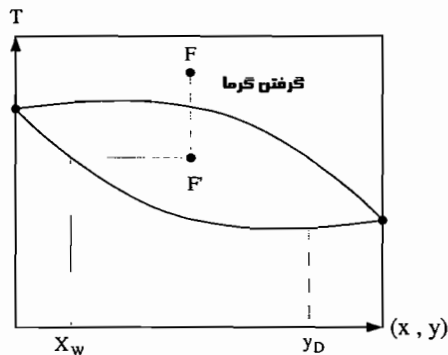
معادله منحنی تعادل $k_i = \frac{y_i}{x_i} \Rightarrow y_{iD} = k_i x_{iw}$

$$\Rightarrow y_{iD} = \frac{z_{iF} \left(1 + \frac{w}{D}\right)}{1 + \frac{w}{Dk_i}}, \quad x_{iw} = \frac{z_{iF} \left(1 + \frac{w}{D}\right)}{k_i + \frac{w}{D}}$$

۳-۳-۷ میعان کننده ناگهانی flash condensate

در این حالت خوراک ورودی به صورت بخار داغ - super heated - می باشد که در مبدل گرما از آن گرفته می شود و جریان به صورت دوفازی در می آید بقیه مراحل همانند حالت قبل می باشد

نکته : چون از سیال ورودی گرما گرفته می شود علامت Q در معادلات قبلی منفی می شود «(Q → -Q)»



$F = D + w$

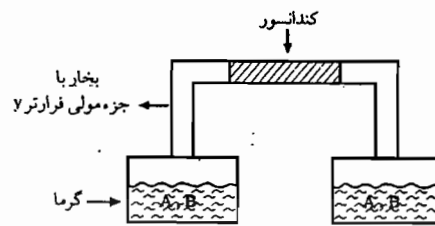
$Fz_F = Dy_D + wx_w$

$FH_F - Q = DH_D + WH_w$

معادله خط کار $-\frac{w}{D} = \frac{y_D - z_F}{x_w - z_F} = \frac{H_D - \left(H_F - \frac{Q}{F}\right)}{H_w - \left(H_F - \frac{Q}{F}\right)}$

۴-۷ تقطیر دیفرانسیل یا ساده Differential Distillation

در شکل زیر یک دستگاه تقطیر دیفرانسیلی نشان داده شده است که در یک طرف دستگاه در اثر حرارت فاز مایع به آرامی به جوش می‌آید و بخار حاصل به طور مداوم از یک کندانسور عبور می‌کند و به حالت مایع - مقطر - درمی‌آید و مایع - مقطر - در مخزنی مجزا ذخیره می‌شود اولین قطرات فاز مقطر دارای بالاترین غلظت از ماده فرار است. با پیشرفت عملیات تقطیر دیفرانسیلی، از میزان ماده فرار در محصول میعان یافته کاسته می‌شود بنابراین فاز مقطر را می‌توان در چندین مرحله مجزا که هر کدام را «برش» - cut - می‌نامند جمع‌آوری کرد و به این ترتیب محصولات مختلفی با درجات خلوص گوناگون به دست آورد.



تقطیر دیفرانسیلی

فرض کنید مخلوط دوجزئی A و B «جزء فرار می‌باشد و ترکیب درصد آن Z_F می‌باشد» در مخزن حرارت می‌دهیم اگر ترکیب درصد جزء A در فاز مقطر جمع‌آوری شده را با y_A نشان دهیم. همان طور که توضیح داده شد در طول انجام فرایند تغییر می‌کند

$$y_A = \frac{\alpha Z_F}{1 + (\alpha - 1) Z_F} \text{ یا } K Z_F \text{ ترکیب درصد اولین قطره‌ای که وارد ظرف جمع‌آوری می‌شود}$$

$$y_A = \frac{\alpha x_w}{1 + (\alpha - 1) x_w} \text{ یا } k x_w \text{ ترکیب درصد آخرین قطره‌ای که وارد ظرف جمع‌آوری می‌شود}$$

x_w : ترکیب درصد مایع باقی‌مانده در ظرف تحت حرارت در پایان عملیات تقطیر دیفرانسیلی

$$\frac{\alpha x_w}{1 + (\alpha - 1) x_w} < y_{D,ave} < \frac{\alpha Z_F}{1 + (\alpha - 1) Z_F} \text{ و داریم:}$$

اگر فرض کنیم تعداد مول‌های اولیه L و ترکیب درصد جزء فرار x باشد با دادن گرما، مقدار dL مول از مایع بخار می‌شود در این صورت ترکیب درصد مایع باقی‌مانده « $x-dx$ » می‌باشد و با نوشتن موازنه جرم برای جزء A داریم

$$Lx = (L - dL)(x - dx) + ydL \Rightarrow Lx = Lx - Ldx - xdL + dLdx + ydL$$

حاصل ضرب $dx \times dL$ مقدار بسیار ناچیزی است و می‌توان از آن صرف‌نظر کرد.

$$Ldx = (y - x)dL \Rightarrow \frac{dx}{y - x} = \frac{dL}{L} \Rightarrow \int_{x_1=Z_F}^{x_2=x_w} \frac{dx}{y - x} = \int_{L_1=F}^{L_2=W} \frac{dL}{L}$$

معادله فوق به معادله ریله معروف است

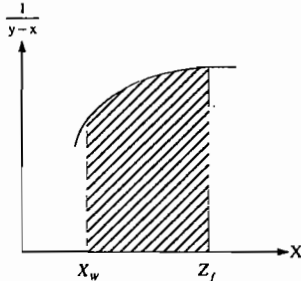
F : تعداد مول‌های اولیه

W : تعداد مول‌های باقی‌مانده در ظرف در پایان عملیات

Z_F : درصد مولی جزء فرارتر در خوراک اولیه

x_w : درصد مولی جزء فرارتر در محلول باقی‌مانده

روش (۱) ترسیمی ← در این روش با رسم منحنی $\frac{1}{y-x}$ بر حسب x ، و به دست آوردن سطح زیر منحنی از x_w تا z_f ، مقدار انتگرال بدست می‌آید.



x	y	$\frac{1}{y-x}$

روش (۲) ← استفاده از ضریب توزیع $y = kx$

$$\int_F^w \frac{dL}{L} = \int_{z_f}^{x_w} \frac{dx}{y-x} \Rightarrow \ln \frac{F}{w} = \int_{z_f}^{x_w} \frac{dx}{kx-x}$$

$$\Rightarrow \ln \frac{F}{w} = \frac{1}{k-1} \ln \frac{z_f}{x_w} \Rightarrow \left(\frac{F}{w}\right)^{k-1} = \left(\frac{z_f}{x_w}\right) \text{ یا } \left(\frac{F}{w}\right)^k = \frac{Fz_f}{wx_w}$$

روش (۳) ← استفاده از فراریت نسبی

$$y_A = \frac{\alpha_{AB} x_A}{1 + (\alpha_{AB} - 1) x_A} \quad y = \frac{\alpha_{AB} x}{1 + (\alpha - 1) x}$$

$$\alpha \ln \frac{F(1-z_f)}{w(1-x_w)} = \ln \frac{Fz_f}{wx_w}$$

n_{AF} : تعداد مول‌های A در خوراک

n_{BF} : تعداد مول‌های B در خوراک

n_{Aw} : تعداد مول‌های A در مایع باقی‌مانده

n_{Bw} : تعداد مول‌های B در مایع باقی‌مانده

$$\Rightarrow \frac{n_{AF}}{n_{Aw}} = \left[\frac{n_{BF}}{n_{Bw}} \right]^{\alpha_{AB}}$$

مثال: در تبخیر ساده یا دیفرانسیلی، مخلوط 50% متانول و 50% آب تبخیر شده و در پایان کار مایع باقی‌مانده در دیگ تبخیر

40% متانول و 60% آب داشته است ترکیب متانول در آخرین قطره ورودی بر ظرف جمع‌آوری برابر است با: « $\alpha = 2$ »

0.57 (۴)

0.67 (۳)

0.75 (۲)

0.36 (۱)

حل: گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس برای محاسبه ترکیب درصد آخرین قطره داریم

$$y = \frac{\alpha x}{1 + (\alpha - 1) x} \Rightarrow y = \frac{2x}{1+x} = \frac{2 \times 0.4}{1+0.4} = 0.57$$

مثال: در تقطیر دیفرانسیلی مخلوط ایده‌آل A و B با $\alpha_{AB} = 2$ ، اگر نسبت تعداد مول‌های B در خوراک به تعداد مول‌های B در w

برابر 9 باشد نسبت تعداد مول‌های A در خوراک به تعداد مول‌های A در w برابر است با:

4.5 (۴)

$\frac{1}{3}$ (۳)
پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

3 (۲)

81 (۱)

حل: گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$\frac{n_{AF}}{n_{Aw}} = \left(\frac{n_{BF}}{n_{Bw}} \right)^{\alpha_{AB}} = 9^2 = 81$$

نکته : روابط پایانی روش‌های ۲ و ۳ در صورتی که k و α در طول فرایند ثابت باشند صحیح هستند.

۴-۷-۲ کندانس دیفرانسیلی «میعان دیفرانسیلی»

در این فرایند برعکس حالت قبل خوراک ورودی سیستم به صورت بخار می‌باشد که تحت شرایط تعادلی میعان یافته و محصول مایع بلافاصله خارج می‌گردد با نوشتن موازنه جرم به رابطه زیر می‌رسیم

$$\int_F^D \frac{dV}{V} = \int_{z_F}^{y_D} \frac{dy}{x-y} \quad \leftarrow \text{معادله ریله}$$

F : تعداد مول‌های خوراک

D : تعداد مول‌های بخار باقی‌مانده

z_F : جزء مولی خوراک

y_D : جزء مولی بخار باقی‌مانده

مثال : در صورتی که ۵۰ مول از یک مخلوط دوجزئی به صورت بخار که شامل ۵۰٪ جزء فرارتر است مورد عمل میعان جزئی قرار گرفته و در انتهای عمل، ۳۰ مول محصول مایع حاصل گردد، جزء مولی جزء فرارتر در محصول بخار باقی‌مانده چه قدر خواهد شد؟ «در محدوده غلظت مورد استفاده رابطه تعادلی را می‌توان به صورت $y = 2x$ در نظر گرفت» "مهندس شیمی ۸۱"

- (۱) 0.35 (۲) 0.65 (۳) 0.79 (۴) 0.82

حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$\int_F^D \frac{dV}{V} = \int_{z_F}^{y_D} \frac{dy}{x-y} = \int_{50}^{20} \frac{dV}{V} = \int_{0.5}^{y_D} \frac{dy}{\frac{1}{2}y-y} \Rightarrow \ln \frac{20}{50} = -2 \ln \frac{y_D}{0.5} \Rightarrow y_D = 0.79$$

مثال : در صورتی که ۱۰۰ مول مخلوط دوجزئی به صورت بخار که شامل ۶۰٪ جزء فرار است مورد میعان دیفرانسیل قرار بگیرد. میزان محصول بخار باقی‌مانده محتوی ۴۰٪ جزء فرار چه قدر است؟ «در محدوده غلظت رابطه تعادلی به صورت $y = 0.5x$ می‌باشد»

- (۱) 73.2 mol (۲) 66.6 mol (۳) 6.66 mol (۴) 33.6 mol

حل : گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$\int_F^D \frac{dV}{V} = \int_{z_F}^{y_D} \frac{dy}{x-y} \rightarrow \ln \frac{D}{F} = \int_{0.6}^{0.4} \frac{dy}{y} \Rightarrow \ln \frac{D}{100} = \ln \frac{0.4}{0.6} \Rightarrow D = 66.6 \text{ mol}$$

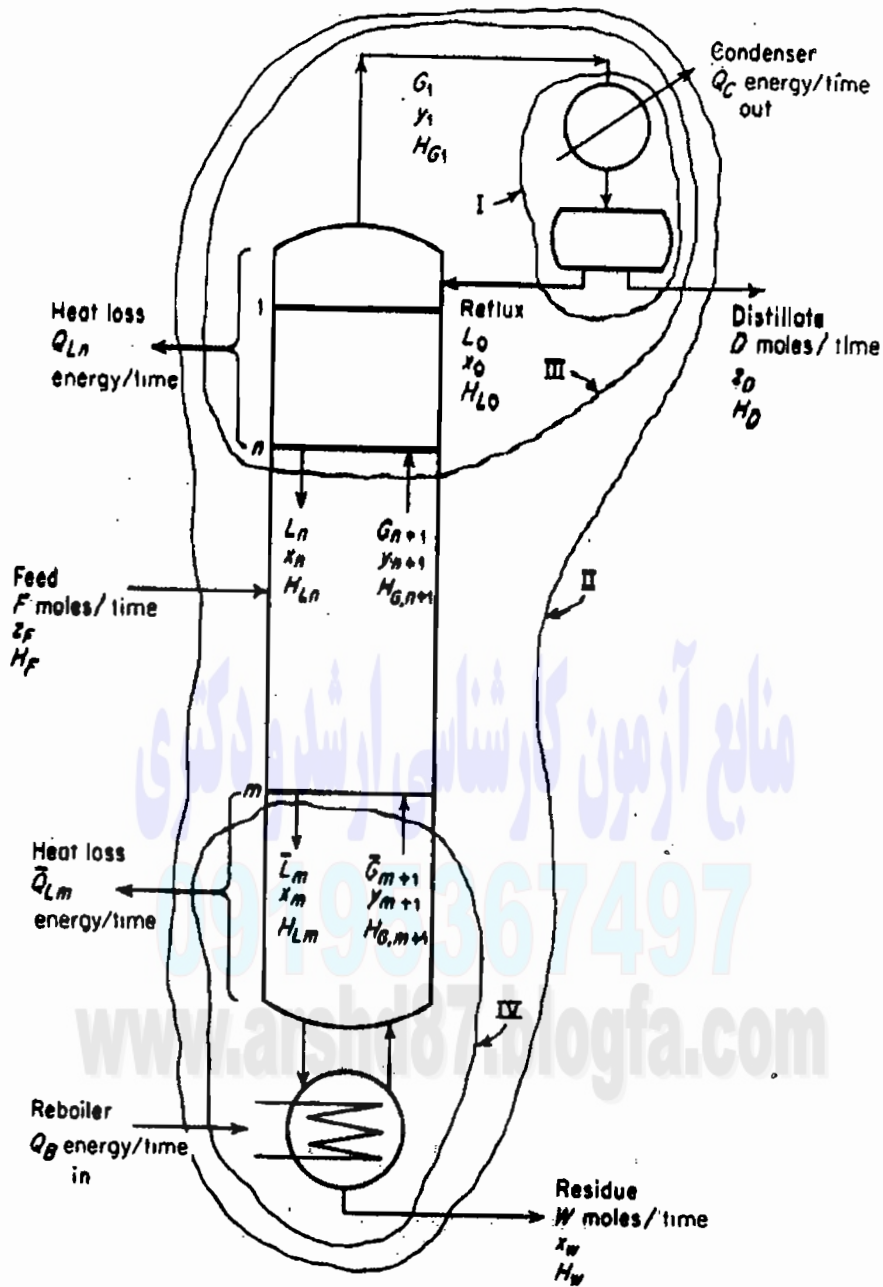
۵-۷ تقطیر پیوسته «مداوم»

وقتی به محلول باخلوص بالا و در ضمن باظرفیت بالا نیاز داریم از تقطیر پیوسته استفاده می‌کنیم در شکل صفحه بعد یک برج تقطیر پیوسته نشان داده شده است که از n سینی تشکیل شده است که از بالا به پایین شماره‌گذاری می‌شود شماره‌گذاری جریان‌ها نیز براساس خارج شدن از سینی می‌باشد.

معمولا خوراک - Feed یا F - وارد مرکز برج می‌شود حالت جریانی مایع سرد یا مایع اشباع یا بخار اشباع یا بخار داغ یا مخلوط دوفازی بخار و مایع باشد به ناحیه بالایی محل ورود خوراک در برج، بخش غنی‌سازی یا منطقه تصفیه‌کننده می‌گویند که در

این بخش بخار با بالا رفتن توسط مایع شسته می‌شود و جزء غیرفرار موجود در آن توسط مایع جذب می‌شود و بخار با حرکت به سمت بالای برج از جزء فرار غنی‌تر می‌شود بخار خروجی از بالای برج وارد کندانسور می‌شود وظیفه کندانسور تامین دائمی جریان مایع به درون برج است بخشی از بخار ورودی کندانسور به عنوان محصول مقطر - distillate - از برج خارج می‌شود که می‌تواند به حالت مایع یا بخار و یا جریان دوفازی بخار و مایع باشد و بخش دیگر از جریان گاز ورودی به کندانسور به صورت مایع به ستون برج برگردانده می‌شود که جریان برگشتی یا Reflux نام دارد. وجود جریان برگشتی باعث افزایش خلوص جزء فرار در بالای برج می‌شود و به ناحیه پایینی محل ورود خوراک در برج، بخش دفع می‌گویند که در این بخش جزء فرار موجود در فاز مایع به جریان گاز دفع می‌شود. مایع خروجی از پایین برج که از جزء غیرفرار غنی است به نام پس ماند - Residue - یا محصول تحتانی - Bottoms - معروف است. در داخل برج همواره مایع و بخار به ترتیب در دماهای حباب و شبلم می‌باشند بنابراین حداکثر دما در انتهای برج و حداقل دما در بالای برج قرار دارد برای این که درون برج، جریان دائمی بخار وجود داشته باشد بخشی از مایع خروجی وارد ریبولر می‌شود که با جذب گرما به بخار تبدیل می‌شود و به درون برج بازگردانده می‌شود و بخش دیگر به عنوان محصول تحتانی از برج خارج می‌شود

منابع آزمون کارشناسی ارشد و دکتری
09195367497
www.arshd87.blogfa.com



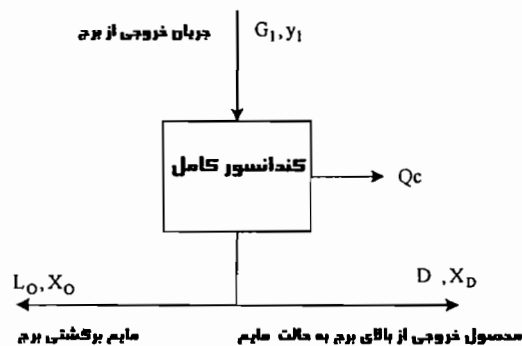
موازنه‌های مواد و آنتالپی در یک دستگاه تفکیک

۷-۱ محاسبه بار حرارتی کندانسور « Q_C » و ریبویلر « Q_B »

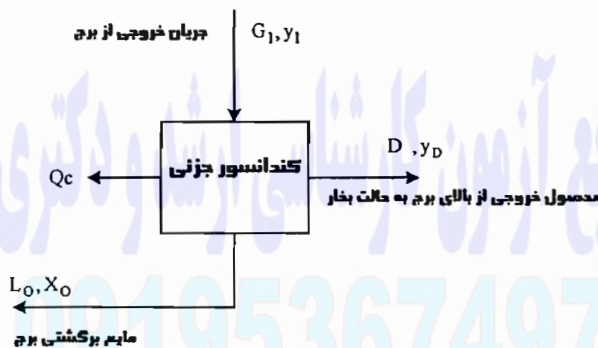
در برج‌های تقطیر همواره دو نوع کندانسور مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱) کندانسور کامل: که بخار ورودی به کندانسور کاملاً به مایع تبدیل می‌شود

آنتالپی مولی جریان L_0 و D با یکدیگر برابرند $H_{L_0} = H_D$

و ترکیب درصد جزء فرار در هر سه جریان با یکدیگر برابرند $y_1 = x_0 = x_D$



۲) کندانسور جزئی: که در این حالت بخشی از بخار ورودی به کندانسور به مایع تبدیل می‌شود که به درون برج برگردانده می‌شود در این حالت آنتالپی مولی جریان‌های L_0 و D با یکدیگر برابر نیستند $H_{L_0} \neq H_D$ ولی دو جریان L_0 و D در حال تعادل با یکدیگر می‌باشند و ارتباط بین x_0, y_D را می‌توان از طریق محاسبات flash به دست آورد.



نکته: نسبت جریان برگشتی - Reflux Ratio - به صورت زیر تعریف می‌شود

$$R = \frac{L_0}{D}$$

موازنه جرم به صورت کلی در اطراف برج و کندانسور به صورت زیر می‌باشد:

$$\text{موازنه جرم حول کل برج} \rightarrow \begin{cases} F = D + W \\ Fz_F = Dx_D + Wx_w \end{cases}$$

$$\text{موازنه جرم حول کندانسور به طور کلی} \rightarrow \begin{cases} G_1 = D + L_0 \\ G_1 y_1 = Dx_D + L_0 x_0 \end{cases} \Rightarrow G_1 = (R+1)D$$

و موازنه انرژی به صورت کلی در اطراف برج و کندانسور به صورت زیر می‌باشد

$$\text{موازنه انرژی حول کل برج} \quad \underbrace{FH_F + Q_B}_{\text{انرژی ورودی به برج}} = \underbrace{DH_D + WH_w + Q_C}_{\text{انرژی خروجی از برج}}$$

Q_B : بار حرارتی ریویلر

Q_C : بار حرارتی کندانسور

H_F : آنتالپی خوراک ورودی

H_D : آنتالپی محصول خروجی بالای برج

H_w : آنتالپی محصول خروجی پایین برج

$$G_1 H_{G_1} = L_0 H_{L_0} + D H_D + Q_C$$

H_{G_1} : آنتالپی بخار ورودی به کندانسور

H_{L_0} : آنتالپی مایع برگشتی به بالای برج

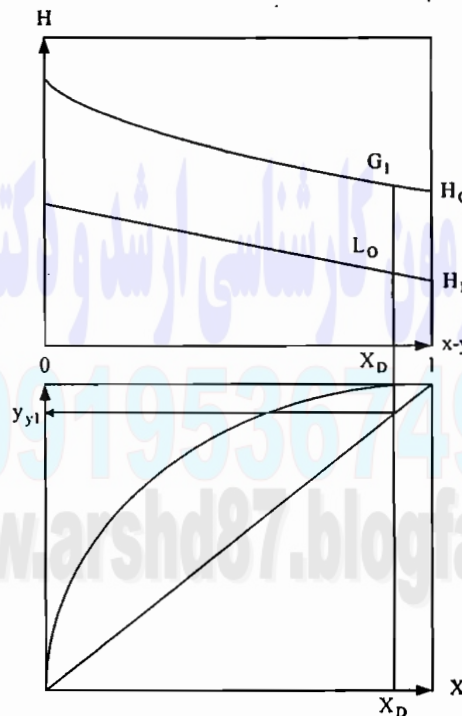
حال در دو حالت کندانسور کامل و جزئی به بررسی بار حرارتی کندانسور می‌پردازیم

الف) کندانسور کامل باشد $H_{L_0} = H_D$

$$\Rightarrow Q_C = G_1 H_{G_1} - (L_0 H_{L_0} + D H_D) \Rightarrow Q_C = (R+1) D H_{G_1} - (R D H_{L_0} + D H_{L_0}) \Rightarrow Q_C = (R+1) D (H_{G_1} - H_{L_0})$$

با توجه به این که در کندانسور کامل بخار اشباع ورودی G_1 - به مایع اشباع D - تبدیل می‌شود پس داریم

$$H_{G_1} - H_{L_0} = \lambda_D \Rightarrow Q_C = (R+1) D \lambda_D$$



ب) کندانسور جزئی باشد

$$Q_C = R D (H_{G_1} - H_{L_0}) + D (H_{G_1} - H_D)$$

نکته: در محاسبات بار حرارتی کندانسور جزئی به صورت تقریبی $H_{G_1} = H_D$ می‌باشد و می‌توان بار حرارتی کندانسور جزئی را

$$Q_C \approx R D (H_{G_1} - H_{L_0})$$

از رابطه زیر به دست آورد

نکته: همان طور که گفته شد فازهای مایع خروجی L_0 و بخار خروجی D در حال تعادل می‌باشند و برای محاسبه x_0 و y_D

باید از محاسبات flash استفاده کنیم و داریم

$$\text{معادله خط کار flash} = -\frac{w}{D} = \frac{y_D - z_f}{x_w - z_f} \Rightarrow -\frac{L_0}{D} = \frac{y_D - y_1}{x_0 - y_1}$$

y_D : جزء مولی ماده فرار در بخار خروجی - محصول خروجی از برج -

پارسه ماهان سنجش

www.arshd87.blogfa.com

09195367497

www.arshd87.blogfa.com

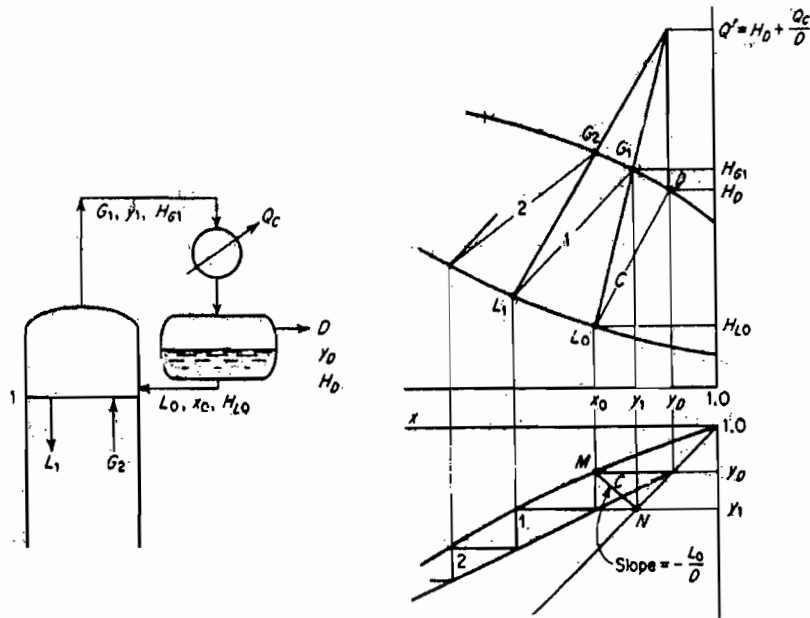
09195367497

www.arshd87.blogfa.com

09195367497

x_0 : جزء مولی ماده فرار در مایع برگشتی به برج - جریان و

y_1 : جزء مولی ماده فرار در بخار ورودی به کندانسور - بخار خروجی از اولین سینی برج -



کندانسور جزئی

و برای محاسبه بار حرارتی ریبولر از دو روش استفاده کنیم
(۱) روش اول: با استفاده از نوشتن موازنه انرژی برای کل برج

$$FH_F + Q_B = DH_D + wH_w + Q_c \Rightarrow Q_B = DH_D + wH_w + Q_c - FH_F$$

(۲) روش دوم: با استفاده از آنتالپی نقطه تفاضل پایین: که این روش در قسمت بعدی کاملاً توضیح داده می‌شود

$$H_{\Delta w} = H_w - \frac{Q_B}{w} \Rightarrow Q_B = w(H_w - H_{\Delta w})$$

۲-۵-۷ محاسبه تعداد مراحل تئوری

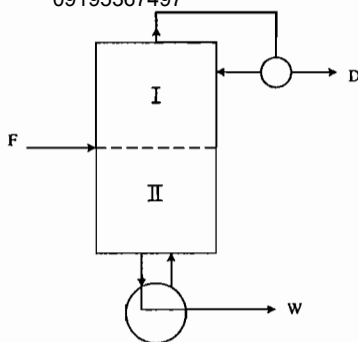
برای محاسبه تعداد مراحل تئوری - تعداد سینی‌های ایده‌آل- در برج‌های تقطیر از دو روش استفاده می‌کنیم که هر یک مزایا و معایب خود را دارا هستند

روش اول - روش پانچوان - ساواریت - که در این روش با استفاده از منحنی‌های $(H - xy)$ و $(x - y)$ تعداد مراحل تئوری را به دست می‌آوریم این روش براساس موازنه آنتالپی می‌باشد و حجم محاسبات لازم برای بدست آوردن تعداد مراحل تئوری بالا می‌باشد ولی روش دقیقی می‌باشد

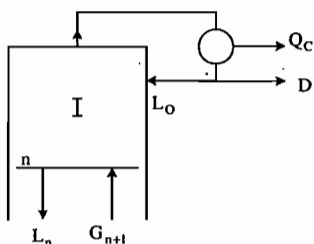
روش دوم - روش مک کیب تیلی - که در این روش با استفاده از منحنی تعادلی $x - y$ تعداد مراحل تئوری را بدست می‌آورند و به عنوان یک تقریب اولیه از آن استفاده می‌کنند محاسبات مورد نیاز در این روش، ساده می‌باشد.

۲-۵-۷-۱ روش پانچوان - ساواریت

روش پانچوان - ساواریت در مورد برج تقطیر ساده نشان داده شده در شکل - برج با یک خوراک «F» و یک محصول بالای «D» و یک محصول خروجی «W» - بدین صورت عمل می‌کند که برج را به دو بخش تقسیم می‌کند بخش اول بالای خوراک - بخش غنی سازی - و بخش دوم پایین خوراک - بخش دفع -



حال با نوشتن موازنه جرم برای سینی nام که در بخش بالای خوراک قرار دارد داریم:



$$\text{خروجی} = \text{ورودی} \Rightarrow \text{انباشت} + \text{مصرف} - \text{تولید} + \text{خروجی} = \text{ورودی}$$

توجه شود که شماره گذاری سینی‌ها از بالا به پایین در برج انجام می‌شود

$$\Rightarrow \begin{cases} G_{n+1} = L_n + D \\ G_{n+1}y_{n+1} = L_n x_n + Dx_D \\ G_{n+1}H_{G_{n+1}} = L_n H_{L_n} + DH_D + Q_C \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} (1) G_{n+1} - L_n = D \\ (2) G_{n+1}y_{n+1} - L_n x_n = Dx_D \\ (3) G_{n+1}H_{G_{n+1}} - L_n H_{L_n} = DH_D + Q_C \end{cases}$$

مقادیر «D» «Dx_D» و «DH_D + Q_C» - طرف راست معادلات - ثابت می‌باشند و با تغییر شماره سینی‌ها - n - تغییر نمی‌کند پس نتیجه می‌گیریم که:

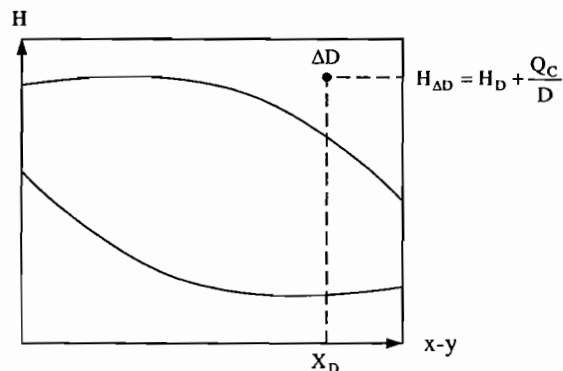
از معادله (۱): مقدار خالص اختلاف مول‌های جریان گاز ورودی به هر سینی و جریان مایع خروجی از هر سینی در بخش بالایی خوراک ثابت و مستقل از شماره سینی می‌باشد.

از معادله (۲): مقدار خالص اختلاف جزء فرار گاز ورودی به هر سینی و جریان مایع خروجی از هر سینی در بخش بالایی خوراک ثابت و مستقل از شماره سینی می‌باشد.

از معادله (۳): مقدار خالص اختلاف انرژی‌های جریان گاز ورودی به هر سینی و جریان مایع خروجی از هر سینی در بخش بالایی خوراک ثابت و مستقل از شماره سینی می‌باشد.

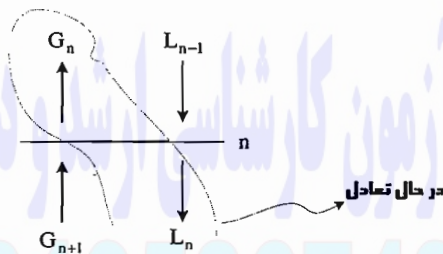
بنابراین نتیجه می‌گیریم که در مختصات H-xy نقطه‌ای وجود دارد که نشانگر این ثوابت می‌باشند - D و Dx_D و DH_D + Q_C - که به این نقطه، نقطه تفاضل بالایی می‌گوییم و با ΔD و مختصات این نقطه در نمودار H-xy به صورت زیر می‌باشد

$$\Delta D = \left| \begin{array}{l} \frac{Dx_D = x_D}{D} \\ \frac{DH_D + Q_C = H_D + \frac{Q_C}{D}}{D} \end{array} \right. \Rightarrow \Delta D \left| \begin{array}{l} x_{\Delta D} = x_D \\ H_{\Delta D} = H_D + \frac{Q_C}{D} \end{array} \right.$$



نکته : خطوط عبوری از نقاط $\Delta D, G_{n+1}, L_n$ که از موازنه جرم و انرژی بدست می آیند خطوط کار یا تبادل می باشند

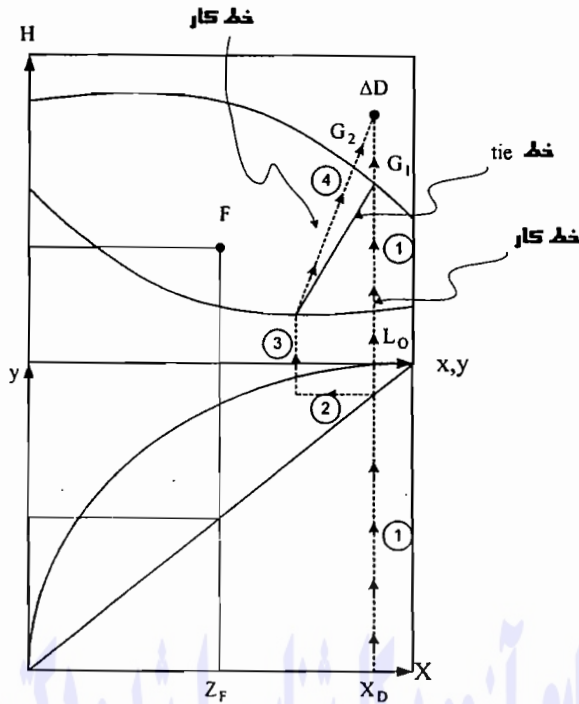
نکته : هر مرحله - سینی - به صورت تعادلی در نظر گرفته می شود پس جریان های خروجی از هر سینی در حال تعادل می باشند - L_n در تعادل با G_n می باشد پس خطوط گذرنده از آنها tie line می باشند که نشانگر در حال تعادل بودن آنهاست.



حال برای رسم خطوط کار و خطوط tie line به صورت زیر عمل می کنیم

$$H_{\Delta D} = H_D + (R+1)(H_{G_1} - H_{L_0}) \quad \Leftarrow \text{الف) کندانسور کامل باشد}$$

ابتدا نقطه تفاضل بالا - ΔD - را در مختصات $H-xy$ مشخص می کنیم و نقطه L_0 به مختصات « $x_0 = x_D, H_{L_0}$ » را به آن وصل می کنیم که منحنی بخار اشباع را در نقطه G_1 به مختصات « $y_1 = x_D, H_{G_1}$ » قطع می کند همان طور که گفته شد جریان های خروجی از هر سینی در حال تعادل می باشند - به عنوان مثال جریان L_1, G_1 - با استفاده از منحنی تعادلی $x-y$ و نقطه y_1 ، نقطه تعادلی x_1 را پیدا کرده و با استفاده از x_1 و منحنی مایع اشباع در مختصات $H-xy$ ، نقطه L_1 را پیدا می کنیم و این نقطه را به نقطه تفاضل بالایی ΔD وصل می کنیم که منحنی بخار اشباع در نقطه G_2 قطع می کند و به همین ترتیب ادامه می دهیم تا راستای خط کار از نقطه ورودی خوراک - F - عبور کند تعداد خطوط tie line مشخص کننده تعداد مراحل تئوری مورد نیاز در بخش بالای برج تقطیر می باشد

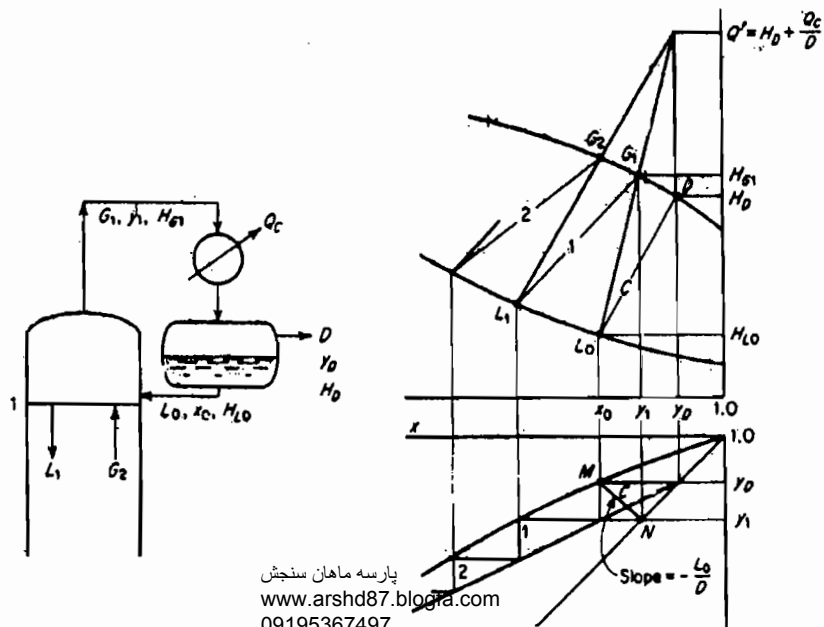


$$H_{\Delta D} \approx H_D + R(H_{G_1} - H_{L_0})$$

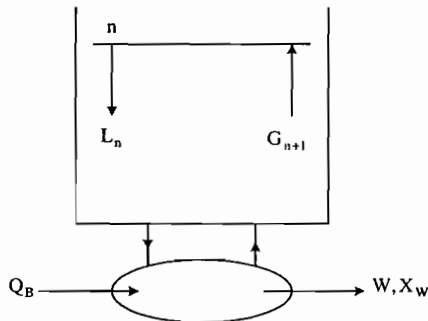
(ب) کندانسور جزئی باشد \Leftarrow

مراحل مختلف کار همانند حالت قبل می باشد با این تفاوت که کندانسور جزئی همانند یک دستگاه flash عمل می کند و جریان های خروجی از آن در حال تعادل می باشند

ابتدا مختصات نقطه تقاضا بالا - ΔD را مشخص می کنیم سپس نقطه D به مختصات « y_D, H_D » را در روی منحنی بخار اشباع مشخص می کنیم y_D در حال تعادل با x_0 می باشد- و با استفاده از منحنی تعادلی $x-y$ ، نقطه x_0 را بدست می آوریم سپس نقطه L_0 را به مختصات « x_0, H_{L_0} » را در روی منحنی مایع اشباع مشخص می کنیم و به نقطه ΔD وصل می کنیم که نقطه تقاطع این خط با منحنی بخار اشباع نشانگر نقطه G_1 می باشد و این عمل را تکرار می کنیم تا خطوط کار از نقطه F به مختصات « z_f, H_f » عبور کند تعداد خطوط tie line مشخص کننده تعداد سینی های تئوری مورد نیاز در بخش بالای برج می باشد



برای بخش دوم برج - بخش دفع یا عاری سازی - و با نوشتن موازنه جرم و انرژی برای سینی n ام داریم:



خروجی = ورودی

$$L_n = w + G_{n+1}$$

$$L_n x_n = w x_w + G_{n+1} y_{n+1}$$

$$Q_B + L_n H_{L_n} = w H_w + G_{n+1} H_{G_{n+1}}$$

$$\Rightarrow L_n - G_{n+1} = w \quad (1)$$

$$L_n x_n - G_{n+1} y_{n+1} = w x_w \quad (2)$$

$$L_n H_{L_n} - G_{n+1} H_{G_{n+1}} = w H_w - Q_B \quad (3)$$

مقادیر «w» و « $w x_w$ » و « $w H_w - Q_B$ » - طرف راست معادلات - ثابت می‌باشند و با تغییر شماره سینی‌ها - n - تغییر نمی‌کنند پس نتیجه می‌گیریم که:

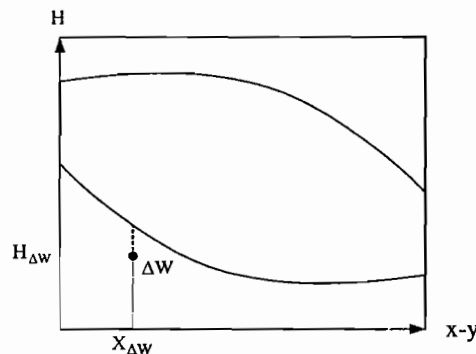
از معادله (۱): مقدار خالص اختلاف مول‌های جریان مایع ورودی به هر سینی و جریان گاز خروجی از هر سینی در بخش پایین خوراک ثابت و مستقل از شماره سینی است.

از معادله (۲): مقدار خالص اختلاف مول‌های جزء فرار ورودی به هر سینی و جزء فرار خروجی از هر سینی در بخش پایین خوراک ثابت و مستقل از شماره سینی است.

از معادله (۳): مقدار خالص اختلاف انرژی جریان مایع ورودی به هر سینی و انرژی جریان گاز خروجی از هر سینی در بخش پایین خوراک ثابت و مستقل از شماره سینی است.

بنابراین نتیجه می‌گیریم که در مختصات $H-xy$ نقطه‌ای وجود دارد که نشانگر این ثوابت می‌باشند (w و $w x_w$ و $w H_w - Q_B$) که به این نقطه، نقطه تفاضل پایین می‌گوییم و با Δw نشان می‌دهیم مختصات این نقطه در نمودار $H-xy$ به صورت زیر می‌باشد

$$\Delta w = \begin{cases} x_{\Delta w} = \frac{w x_w}{w} = x_w \\ H_{\Delta w} = \frac{w H_w - Q_B}{w} = H_w - \frac{Q_B}{w} \end{cases}$$



نکته : خطوط عبوری از نقاط $\Delta w, G_{n+1}, L_n$ که از موازنه جرم و انرژی بدست می‌آیند خطوط کار یا تبادل می‌باشند

نکته : هر مرحله - سینی - به صورت تعادلی در نظر گرفته می‌شود پس جریان‌های خروجی از هر سینی در حال تعادل می‌باشند -

G_n در تعادل با L_n می‌باشد - پس خطوط گذرنده آن‌ها tie line می‌باشند که نشانگر در حال تعادل بودن آن‌ها می‌باشند

خطوط کار و tie line را با توجه به نقطه تفاضل پایینی Δw و نمودار تعادلی $x-y$ رسم می‌کنیم تعداد tie line از ابتدا تا انتها شماره‌گذاری می‌کنیم که نشانگر تعداد مراحل تئوری - سینی - می‌باشند پس از شماره‌گذاری tie lineها تعداد سینی‌ها با توجه به نوع کندانسور و ریپویلرها، تعیین می‌شود

تعداد سینی‌های تئوری مورد نیاز = {
 کندانسور کامل + Open steam $\rightarrow +0$
 کندانسور کامل + ریپویلر $\rightarrow -1$ تعداد tie line
 کندانسور جزئی + Open steam $\rightarrow -1$
 کندانسور جزئی + ریپویلر $\rightarrow -2$

نکته : در برخی از برج‌ها به جای استفاده از ریپویلر، بخار داغ را به طور مستقیم به درون برج می‌فرستند که به این برج‌ها، برج‌های open steam می‌گویند که در ادامه درس به توضیح آن‌ها خواهیم پرداخت

نکته : کندانسور جزئی و ریپویلر به عنوان یک مرحله تعادلی عمل می‌کند

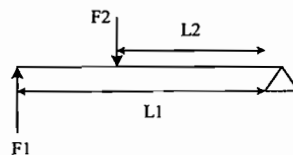
نکته : با نوشتن موازنه کلی حول برج داریم

$$\left. \begin{aligned} F &= D + w \\ Fz_f &= Dx_D + wx_w \\ FH_f &= (DH_D + Q_c) + (wH_w - Q_B) \end{aligned} \right\} \Rightarrow F = \Delta D + \Delta w$$

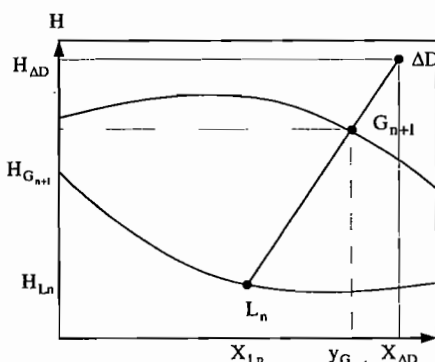
پس نقاط F و ΔD و Δw بر یک استقامتند که می‌توان با استفاده از آن و نمودار $H-xy$ به محاسبه بار حرارتی ریپویلر یا بار حرارتی کندانسور استفاده کنیم

همان طور که گفته شد در روش پانچوان، مراحل تعادلی فرض شده‌اند بنابراین در حین محاسبات نیازی به استفاده از ضرایب انتقال جرم نیست برای بدست آوردن عده مراحل واقعی نیازمند مشخص بودن راندمان سینی‌ها هستیم - راندمان سینی‌ها تابعی از ضرایب انتقال جرم می‌باشد-

در فیزیک مکانیک، قانون اهرم در مورد شکل زیر در حالت تعادل به صورت روبرو بیان می‌شود



این قانون در مورد نمودارهای $H-xy$ و با در نظر گرفتن نقاط تفاضل به عنوان تکیه‌گاه به صورت زیر بیان می‌شود



$$L_n * \overline{L_n \Delta D} = G_{n+1} * \overline{G_{n+1} \Delta D}$$

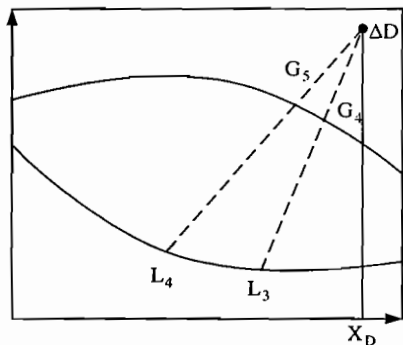
$$\overline{L_n \Delta D}: \text{فاصله بین نقاط } \Delta D, L_n$$

$$\overline{G_{n+1} \Delta D}: \text{فاصله بین نقاط } \Delta D, G_{n+1}$$

$$\Rightarrow L_n (H_{\Delta D} - H_{L_n}) = G_{n+1} (H_{\Delta D} - H_{G_{n+1}})$$

$$L_n (x_{\Delta D} - x_{L_n}) = G_{n+1} (x_{\Delta D} - y_{G_{n+1}})$$

مثال : تصویر H_{xy} برای یک سیستم شیمیایی مشخص است . مطلوب است نسبت دبی مایع به بخار بین سینی 4 و 5 در شکل مقابل «مهندس شیمی ۸۲»



$$\overline{\Delta D G_4} = 3.15$$

$$\overline{\Delta D G_5} = 3.35$$

$$\overline{L_3 G_4} = 2.1$$

$$\overline{L_4 G_5} = 2.3$$

0.578 (۴)

1.46 (۳)

0.593 (۲)

0.687 (۱)

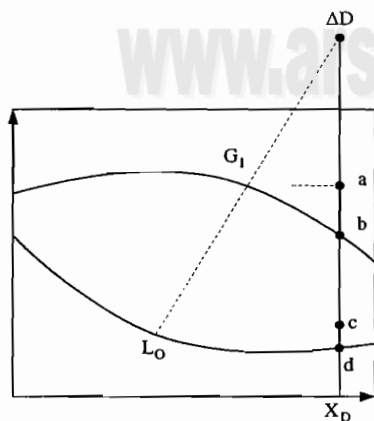
حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$L_n \cdot \overline{L_n \Delta D} = G_{n+1} \cdot \overline{G_{n+1} \Delta D}$$

$$L_4 \times \overline{L_4 \Delta D} = G_5 \cdot \overline{G_5 \Delta D} \Rightarrow \frac{L_4}{G_5} = \frac{\overline{G_5 \Delta D}}{\overline{L_4 \Delta D}} = \frac{3.35}{2.3 + 3.35} = 0.593$$

$$\overline{L_4 \Delta D} = \overline{G_5 \Delta D} + \overline{L_4 G_5}$$

مثال : بخشی از تصویر H_{xy} برای یک واحد تقطیر دو جزئی مطابق شکل موجود است در این شکل L_0 مایع ورودی به سینی اول و G_1 بخار خروجی از سینی اول است «مهندس شیمی ۸۲»



$$\overline{\Delta D a} = 3.7$$

$$\overline{ab} = 0.5$$

$$\overline{bc} = 2.2$$

$$\overline{cd} = 0.3$$

(۲) کندانسور کامل است و $R=1.37$

(۱) کندانسور کامل است و $R=1.68$

(۴) کندانسور جزئی عمل می کند و $R=1.37$

(۳) کندانسور جزئی عمل می کند و $R=1.68$

حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.

با توجه به این که جزء مولی ماده فرار در L_0, G_1 متفاوت است پس کندانسور جزئی عمل می کند

$$R = \frac{L_0}{D}, \quad L_0 + D = G = (R+1)D$$

روش اول:

$$L_0 \times (3.7 + 0.5 + 2.2) = G_1 \times 3.7 \Rightarrow \frac{L_0}{G_1} = \frac{3.7}{2.7} = 1.37$$

روش دوم:

$$\text{کندانسور جزئی} \rightarrow H_{\Delta D} = H_D + R(H_{G_1} - H_{L_0}) \Rightarrow R = \frac{H_{\Delta D} - H_D}{H_{G_1} - H_{L_0}} = \frac{H_{\Delta D} - H_{G_1}}{H_{G_1} - H_{L_0}} = \frac{3.7}{0.5 + 2.2} = 1.37$$

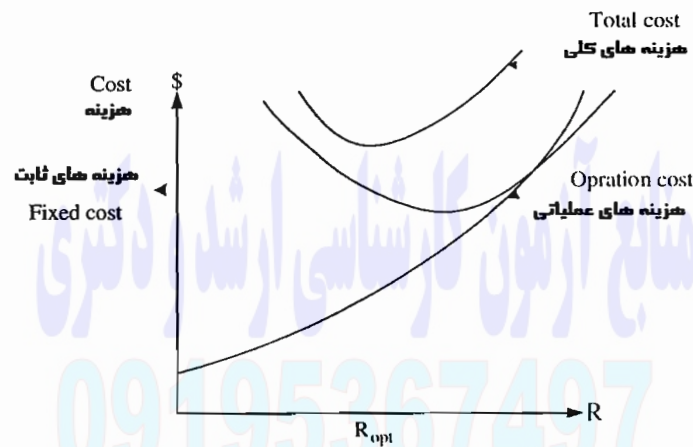
برای مشخص کردن مقدار جریان برگشتی بهینه - Reflux Ratio - از معادله Gilland استفاده می کنیم

$$R_{opt} = (1.2 - 1.5)R_{min}$$

که:

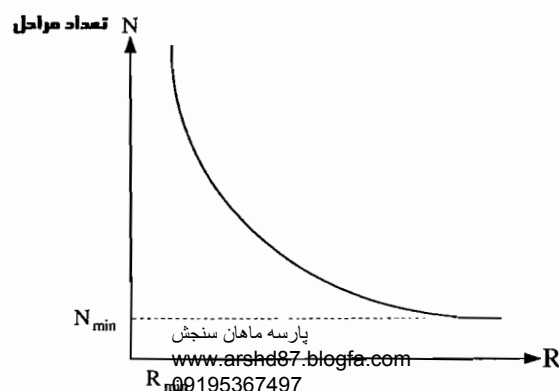
R_{opt} : مقدار درصد جریان برگشتی بهینه که معادل با کمترین هزینه کلی برج است

R_{min} : حداقل نسبت جریان برگشتی



نکته: با افزایش مقدار نسبت جریان برگشتی - $R \uparrow$ - بار حرارتی کندانسور « Q_c » و ریبویلر « Q_B » افزایش می یابند که باعث افزایش هزینه های عملیات می شوند

نکته: با افزایش مقدار نسبت جریان برگشتی تعداد سینی های لازم برای انجام عمل جداسازی کاهش می یابد ولی در عوض قطر برج، افزایش می یابد که این دو عامل باعث به وجود آمدن نقطه مینیموم در هزینه های ثابت می شود همان طور که ملاحظه کردید برای بدست آوردن مقدار نسبت برگشتی بهینه لازم است مقدار R_{min} را تعیین کنیم یا حداقل نسبت جریان برگشتی، حداکثر نسبتی است که در صورت به کار بردن آن، تعداد سینی های لازم جهت انجام یک جداسازی مشخص به بی نهایت می رسد

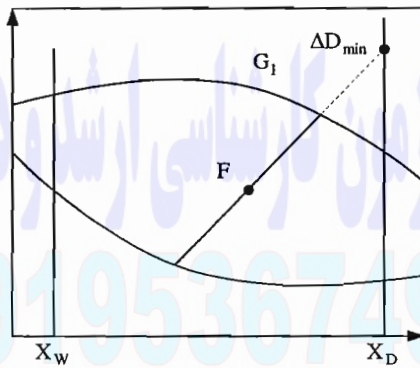


در برجی که در حال حداقل نسبت جریان برگشتی کار می‌کند بار حرارتی کندانسور و ریبولر در حداقل ممکن قرار دارند و تعدادی از سینی‌های پشت سرهم دارای دمای یکسانی می‌شوند که نشانگر توقف عمل انتقال جرم در آن‌ها می‌باشد. از نمودار H-xy مشخص است که وقتی خط کار عبوری از F منطبق بر خط tie line عبوری از F شود تعداد مراحل - سینی‌ها - بی‌نهایت می‌شود.

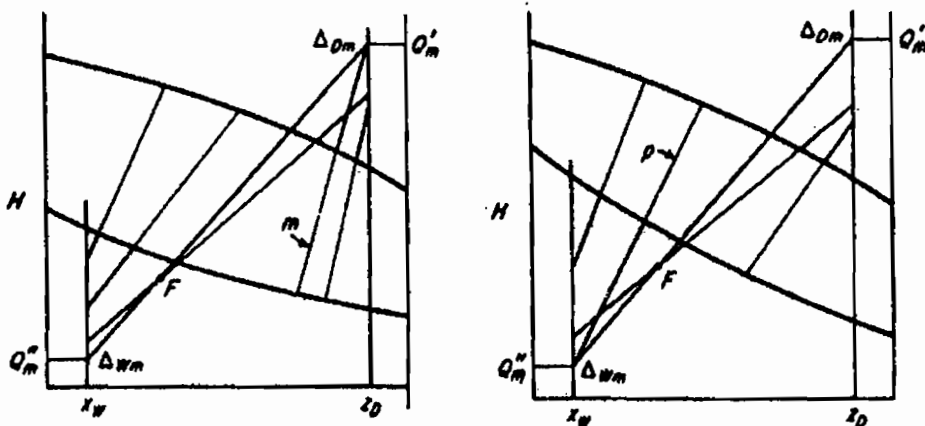
برای مشخص کردن R_{min} به روش ترسیمی ابتدا نقطه F در نمودار H-xy مشخص می‌کنیم و سپس tie line عبوری از F را رسم می‌کنیم و امتداد می‌دهیم تا راستای قائم x_D را قطع کند که محل تلاقی مشخص کننده ΔD_{min} می‌باشد حال با داشتن ΔD_{min} و نوع کندانسور می‌توانیم R_{min} را بدست آوریم.

$$\text{الف) } H_{\Delta D, min} = H_D + (R_{min} + 1)(H_{G_1} - H_{L_0}), H_D = H_{L_0} \Rightarrow R_{min} = \frac{H_{\Delta D, min} - H_{G_1}}{H_{G_1} - H_{L_0}}$$

$$\text{ب) } H_{\Delta D, min} = H_D + R_{min}(H_{G_1} - H_{L_0}), H_D \square H_{G_1} \Rightarrow R_{min} = \frac{H_{\Delta D, min} - H_{G_1}}{H_{G_1} - H_{L_0}}$$



نکته: Tie line عبوری از F همواره منجر به محاسبه R_{min} نمی‌شود در برخی از مخلوط‌ها که دارای انحراف مثبت یا منفی از حالت کامل هستند و تمایل به ایجاد نقاط آزنوتروپی هستند این حالت اتفاق می‌افتد که در شکل زیر نشان داده شده است همیشه محل تقاطع آن tie line ای جواب مسئله است که خط عمودی x_D را در نقطه بالاتری قطع کند - که خط عمودی x_W در نقطه پایین‌تری قطع می‌کند.



مثال : در حالی که در یک برج تقطیر نسبت مایع برگشتی برابر با مقدار مینیموم R_m انتخاب شود در مختصات H_{xy} ، قطب مربوط به بالای برج در چه محلی قرار می گیرد؟

«مهندس شیمی ۸۲»

(۱) در بی نهایت

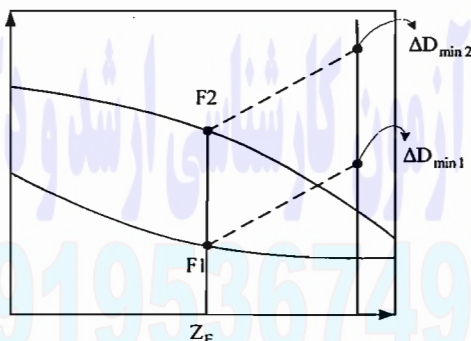
(۲) در محل تلاقی tie line عبوری از نقطه F «خوراک» با خط $x = x_D$

(۳) نزدیک ترین محل تلاقی tie line رسم شده، با خط $x = x_D$ از نمودار

(۴) دورترین محل تلاقی tie line رسم شده، با خط $x = x_D$ از نمودار

حل : گزینه ۴ صحیح می باشد.

حالت ترمودینامیکی خوراک ورودی بر میزان حداقل نسبت برگشتی تاثیر می گذارد که در مورد جریان خوراک به حالت مایع اشباع و بخار اشباع در شکل زیر نشان داده شده است



و همواره داریم:

بخار سوپرهیت R_{min} < بخار اشباع R_{min} < دوفازی R_{min} < مایع اشباع R_{min} < خوراک سرد R_{min}

مثال : حداقل نسبت جریان برگشتی « R_m » نسبتی است که در صورت به کار بردن آن در یک عمل تفکیک مشخص، تعداد

سینی های لازم می شود و بار حرارتی جوش آور و ظرفیت تبرید کندانسور به خواهد رسی ۷د

(۲) حداقل - بی نهایت - حداکثر

(۱) حداکثر - بی نهایت - حداقل

(۴) حداکثر - بی نهایت - حداکثر

(۳) حداقل - حداقل - حداقل

حل : گزینه ۱ صحیح می باشد.

مثال : در منحنی پانچوان برای برج های سینی دار، با افزایش نسبت جریان برگشتی «R» نقطه ΔD و Δw آمده بنابراین

تعداد سینی های مورد نظر می یابد.

(۲) بالاتر - پایین تر - افزایش

(۱) بالاتر - پایین تر - کاهش

(۴) پایین تر - بالاتر - افزایش

(۳) پایین تر - بالاتر - کاهش

حل : گزینه ۱ صحیح می باشد.

محاسبه حداقل تعداد مراحل مورد نیاز

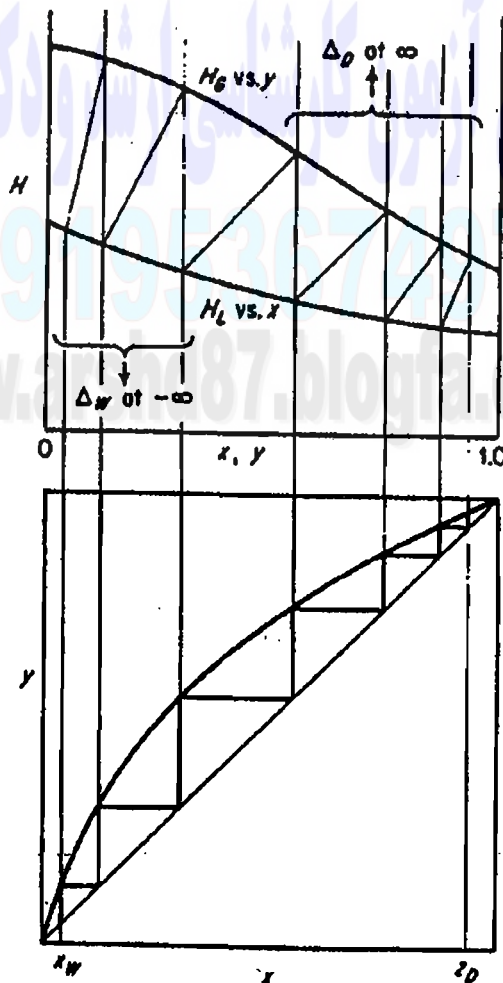
همان طور که در شکل بخش قبلی نشان داده شد، اگر نسبت جریان برگشتی بی‌نهایت شود، تعداد سینی‌های لازم برای جداسازی انجام یک جداسازی معین مینیموم می‌شود بی‌نهایت شدن نسبت جریان برگشتی - $R = \frac{L_0}{D}$ - به معنی این است که تمام جریان ورودی به کندانسور تبدیل به مایع شود و به درون برج برگردانده شود - $D = 0$ - بنابراین همواره در این حالت کندانسور کامل می‌باشد

و همچنین در این حالت میزان محصول خروجی پایین برج و خوراک ورودی برابر صفر شوند - $F = 0, w = 0$ - بار حرارتی کندانسور و ریویولر ماکزیمم می‌باشند و داریم

$$H_{\Delta D} = H_D + (R+1)(H_{G_1} - H_{L_0}) \Rightarrow H_{\Delta D} \rightarrow +\infty$$

$$, H_{\Delta w} \rightarrow -\infty$$

به همین جهت، در این حالت خطوط کار یک دسته خط موازی و قائم می‌شوند



نمودار H_{xy} و xy در حالت جریان برگشتی کامل

با شمارش تعداد tie line ها، حداقل تعداد سینی‌ها از رابطه زیر بدست می‌آید

$$N_{\min} = \text{تعداد tie line} - \begin{cases} 0 \leftrightarrow \text{Open steam} \\ 1 \leftrightarrow \text{ریبویلر} \end{cases}$$

چون در حالت رفلاکس کامل، کندانسور حتماً کامل است

با استفاده از معادله فنسک هم در حالتی که α در طول برج تقریباً ثابت است می‌توانیم حداقل تعداد سینی‌ها را بدست آوریم

$$N_{\min} = \frac{\text{Log} \left[\frac{x_D(1-x_w)}{x_w(1-x_D)} \right]}{\text{Log} \alpha_{\text{ave}}} - 1$$

α_t : ضریب فراریت نسبی در بالای برج

$$\alpha_{\text{ave}} = \sqrt{\alpha_t \alpha_b}$$

α_b : ضریب فراریت نسبی در پایین برج

نکته: همان طور که مشاهده کردید حداقل تعداد سینی‌ها - N_{\min} - مستقل از دمای خوراک و غلظت خوراک و حالت ترمودینامیکی خوراک می‌باشد

مثال: حداقل تعداد سینی‌های تئوری لازم برای یک برج تقطیر

(۱) به دمای خوراک و حالت خوراک وابسته است.

(۲) به غلظت خوراک ورودی وابسته است.

(۳) به شدت خوراک ورودی وابسته است.

(۴) مستقل از شدت و دمای خوراک است.

حل: گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

اگر جریان برگشتی از کندانسور به داخل برج مایع سرد - subcool - باشد بخشی از بخارات بالای برج تبدیل به مایع می‌شوند تا مایع سرد ورودی به حالت مایع اشباع برگردد به این حالت cold Reflux می‌گوییم

$$L_{\text{act}} = L_0 + \Delta L$$

و داریم

$$\Rightarrow L_0(H_L - H_{L_0}) = \Delta L(H_{G_1} - H_L)$$

L_{act} : مقدار مایع واقعی

$$\Rightarrow \Delta L = \frac{L_0(H_L - H_{L_0})}{H_{G_1} - H_L}$$

L_0 : مقدار مایع سرد برگشتی به درون برج

$$\Delta L = \frac{L_0 C_p (T_L - T_{L_0})}{\lambda}$$

ΔL : مقدار بخارات، که تبدیل به مایع شده‌اند

H_{L_0} : آنتالپی مایع سرد

H_L : آنتالپی مایع اشباع

ظاهری $R' > R_{\text{واقعی}}$

$$R_{\text{واقعی}} = \frac{L_0 + \frac{L_0 C_p \Delta T}{\lambda}}{D}$$

$$\Rightarrow R_{\text{واقعی}} = R_{\text{ظاهری}} \left[1 + \frac{C_p \Delta T}{\lambda} \right]$$

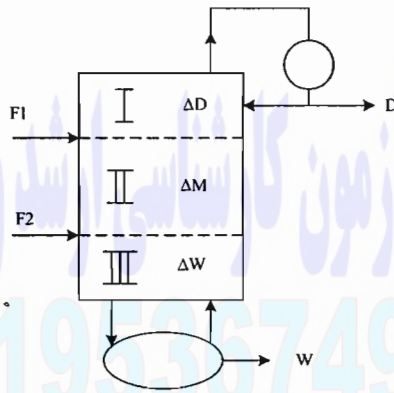
$$R_{\text{ظاهری}} = \frac{L_0}{D}$$

با توجه به این که مایع برگشتی به درون برج مایع سرد می‌باشد پس کندانسور حتماً به صورت کامل عمل می‌کند به وجود آمدن cold Reflux در مرحله طراحی باعث کاهش تعداد مراحل تئوری می‌شود و در برج در حال کار - $N = cte$ - باعث بالاتر رفتن خلوص محصول می‌گردد - $x_D \uparrow$ - و افزایش هزینه‌های عملیاتی - بالا رفتن Q_B, Q_C و را به دنبال دارد اگر محصول بالایی برج تقطیر بسیار فرار باشد - به عنوان مثال اتر - به وجود آمدن حالت cold Reflux می‌تواند مفید باشد

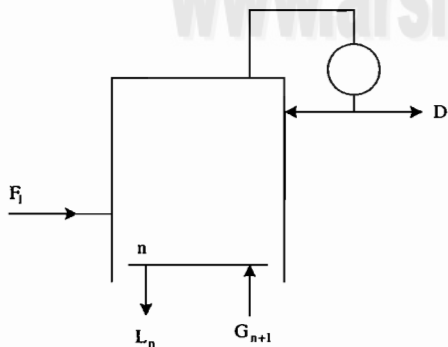
برج‌های دو خوراکه

در برج‌های دو خوراکه برج را به سه بخش تقسیم می‌کنیم و برای هر بخش نقاط تفاضل را مشخص می‌کنیم در این حالت - برج‌های دو خوراکه - مختصات نقطه تفاضل بالایی ΔD و نقطه تفاضل پایینی برج ΔW تغییر نمی‌کنند و داریم

$$\Delta D \left| \begin{matrix} x_D \\ H_D + \frac{Q_c}{D} \end{matrix} \right., \quad \Delta W \left| \begin{matrix} x_w \\ H_w - \frac{Q_B}{w} \end{matrix} \right.$$



حال با نوشتن موازنه جرم برای سینی n ام که در بخش دوم برج قرار دارد، داریم:



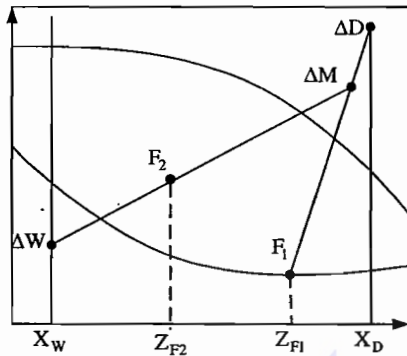
$$\begin{aligned} (1) & G_{n+1} - L_n = D - F_1 \\ (2) & G_{n+1} y_{n+1} - L_n x_n = D x_D - F_1 x_{f1} \\ (3) & G_{n+1} H_{G_{n+1}} - L_n H_{L_n} = D H_D + Q_c - F_1 H_F \end{aligned}$$

$$\Delta M \left| \begin{matrix} \frac{D x_D - F_1 z_{f1}}{D - F_1} = x_{\Delta M} \\ \frac{D H_D + Q_c - F_1 H_F}{D - F_1} = H_{\Delta M} \end{matrix} \right.$$

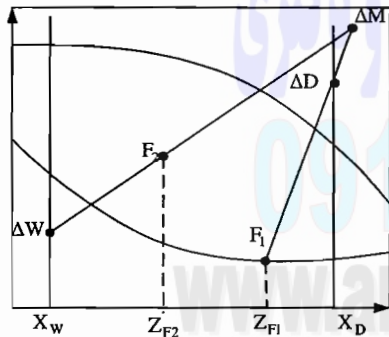
اگر موازنه جرم و انرژی را به کمک پایین برج می‌نوشتیم نقطه بدست آمده هم‌ارز نقطه بالا می‌باشد و هر دو نشانگر نقطه یکسانی در مختصات $H - xy$ می‌باشند

$$\Delta M \begin{cases} \frac{F_2 z_{f2} - w n_w}{F_2 - w_1} = x_{\Delta M} \\ \frac{F_2 H_{F2} + Q_B - w H_w}{F_2 - w} = H_{\Delta M} \end{cases}$$

نکته : نقاط $[\Delta M, F_1, \Delta D]$ و $[\Delta w, F_2, \Delta M]$ به یک استقامتند



$$D < F_1 \\ F_2 < W$$

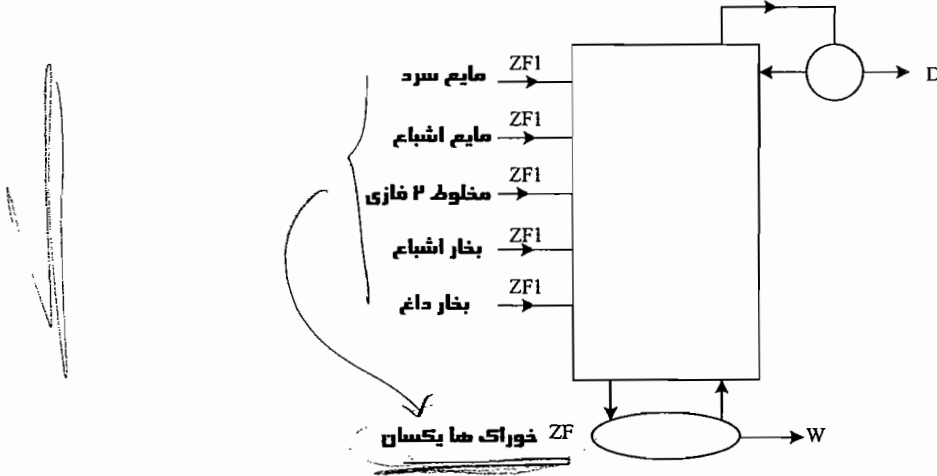


$$D > F_1 \\ F_2 > W$$

$$x_{\Delta M} = \frac{D x_D - f_1 z_{f1}}{D - f_1} \Rightarrow x_{\Delta M} = \frac{D x_D - f_1 x_D + f_1 x_D - f_1 z_{f1}}{D - f_1} \Rightarrow x_{\Delta M} = x_D + \frac{f_1}{D - f_1} (x_D - z_f)$$

$$F_1 + F_2 = D + w \Rightarrow D - f_1 = f_2 - w$$

نکته : محل ورود خوراک به برج از اهمیت خاصی برخوردار است، ورود خوراک به برج نباید باعث به هم خوردن پروفایل دمایی و پروفایل غلظت در طول برج شود و خوراک ورودی باید از نظر حالت ترمودینامیکی و غلظت با سیالات درون برج همخوانی داشته باشد اگر چند خوراک به حالت‌های مختلف ترمودینامیکی و z_f یکسان داشته باشیم ترتیب ورود خوراک‌ها باید به شکل زیر باشد.



نکته : اگر خوراک‌ها در حالت‌های ترمودینامیکی و غلظت‌های مختلف وارد برج شوند برای مشخص کردن ترتیب ورود آن‌ها ، باید مقایسه کمی بین جزء مولی فرار در فاز بخار خوراک انجام دهیم و هر کدام که بیشتر بود بالاتر وارد می‌شود.

مثال : در یک ستون تقطیر مداوم دو خوراک با مشخصات جدول مقابل وارد می‌شود $\alpha = 2.5$ و ثابت فرض می‌شود به نظر شما مواضع ورودی خوراک به برج چگونه باشد بهتر است؟ «مهندس شیمی ۷۵»

خوراک	وضع	جزء مولی فرارتر
I	بخار اشباع	0.6
II	مایع اشباع	0.45

(۱) هر دو بعد از تبدیل به بخار اشباع و به صورت مخلوط

(۲) خوراک I بالاتر از خوراک II

(۳) دو خوراک را به طور مخلوط

(۴) خوراک II بالاتر از خوراک I

حل : گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$$y_I = 0.6$$

$$y_{II} = \frac{\alpha x_{II}}{1 + (\alpha - 1)x_{II}} = \frac{2.5 \times 0.45}{1 + (1.5 \times 0.45)} = 0.67$$

پس خوراک II باید بالاتر از خوراک I وارد شود.

مثال : سه خوراک با مشخصات زیر در برج تقطیری که جداسازی در آن براساس $\alpha = 2.5$ انجام می‌گیرد بایستی تقطیر شده و محصولات بالا و پایین برج را ایجاد نماید کدام ترتیب ورود خوراک‌ها صحیح‌تر است؟ «مهندسی شیمی ۸۱»

$F_1 \left\{ \begin{array}{l} \text{مایع اشباع} \\ z_{F_1} = 0.4 \end{array} \right.$	$F_2 \left\{ \begin{array}{l} \text{بخار اشباع} \\ z_{F_2} = 0.5 \end{array} \right.$	$F_3 \left\{ \begin{array}{l} \text{بخار اشباع} \\ z_{F_3} = 0.58 \end{array} \right.$
F_2, F_1, F_3 (۴)	F_3, F_2, F_1 (۳)	F_2, F_3, F_1 (۲)
		F_1, F_2, F_3 (۱)

حل : گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$F_1 = \left\{ \begin{array}{l} \text{مایع اشباع} \\ z_{F_1} = 0.4 \end{array} \right. \Rightarrow y_{F_1} = \frac{\alpha x_{F_1}}{1 + (\alpha - 1)x_{F_1}} = \frac{2.5 \times 0.4}{1 + 1.5 \times 0.4} = 0.625$$

$$F_2 = \begin{cases} \text{بخار اشباع} \\ z_{f_2} = 0.5 \end{cases} \Rightarrow y_{F_2} = 0.5$$

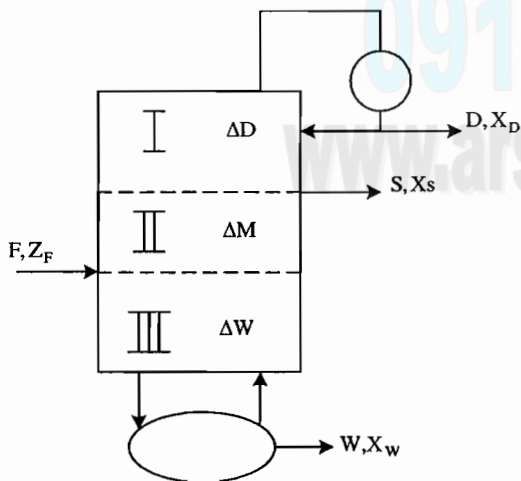
$$F_1 = \begin{cases} \text{بخار اشباع} \\ z_{f_3} = 0.58 \end{cases} \Rightarrow y_{F_3} = 0.58$$

پس F_1 باید قبل از F_3 وارد شود و در آخر نیز F_2 وارد شود.

برج‌های جریان جانبی

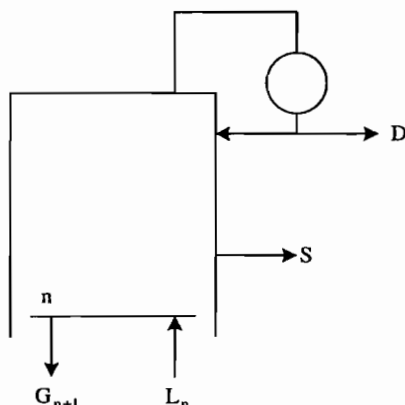
جریان‌های جانبی، محصولاتی با ترکیب نسبی بینابین محصولات بالا و پایین برج می‌باشند که از سینی‌های میانی برج گرفته می‌شوند. از جریان‌های جانبی در تقطیر مواد نفتی استفاده می‌کنند که محصولاتی با ترکیب نسبی‌های معین مورد نیاز است که آن‌ها را نمی‌توان با مخلوط کردن محصولات مقطر یا پس ماند با خوراک بدست آورد در تقطیر دو جزئی به ندرت از جریان‌های جانبی استفاده می‌شود جریان‌های جانبی اکثراً به صورت مایع اشباع - مایع جوش - از برج خارج می‌کنند در این حالت نیز برج را به سه قسمت تقسیم می‌کنند

مختصات نقاط تفاضل بالایی ΔD و پایینی Δw همانند حالت‌های قبلی می‌باشد



$$\Delta D \begin{vmatrix} x_D \\ H_D + \frac{Q_c}{D} \end{vmatrix} \quad \Delta w \begin{vmatrix} x_w \\ H_w - \frac{Q_B}{w} \end{vmatrix}$$

با نوشتن موازنه جرم و انرژی برای قسمت دوم داریم



$$G_{n+1} - L_n = D + S$$

$$G_{n+1} y_{n+1} - L_n x_n = D x_D - S x_s$$

$$G_{n+1} H_{G_{n+1}} - L_n H_{L_n} = D H_D + Q_c + S H_s$$

$$\Rightarrow \Delta M = \begin{cases} x_{\Delta M} = \frac{S x_s + D x_D}{S + D} \\ H_{\Delta M} = \frac{D H_D + Q_c + S H_s}{D + S} \end{cases}$$

نکته : نقاط $S, \Delta M, \Delta D$ بر یک استقامتند

نکته : نقاط $\Delta w, F, \Delta M$ بر یک استقامتند

نکته : در این حالت ΔM هیچگاه سمت راست نقطه ΔD قرار نمی‌گیرد

$$x_{\Delta M} = \frac{Sx_s + Dx_D}{S+D} = \frac{Sx_s - Sx_D + Dx_D + Sx_D}{S+D} \Rightarrow x_{\Delta M} < x_{\Delta D}$$

همواره $x_s < x_D$ برقرار است

مثال: برج تقطیری که برای جداسازی یک مخلوط دوجزئی به کار می‌رود. در مختصات H_{xy} ، 5 قطب «نقطه تفاضل» دارد. این برج دارای چند خوراک و چند محصول جانبی است؟

3,2 (۱) 3,3 (۲) 2,2 (۳) 2,4 (۴)

حل : گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

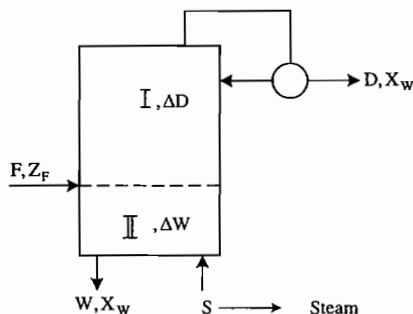
برج تقطیر در حالت عادی - یک خوراک و یک محصول بالایی و یک محصول پایینی - دارای دو نقطه تفاضل می‌باشد با اضافه شدن هر خوراک اضافی و یا جریان جانبی، به نقاط تفاضل یکی اضافه می‌شود پس در این مسئله مجموع جریان‌های جانبی و خوراک اضافی برابر ۳ می‌باشد که در حالت کلی با در نظر گرفتن خوراک اصلی، مجموع کل جریان‌های جانبی و خوراک برابر ۴ می‌شود پس گزینه ۳ می‌تواند صحیح می‌باشد.

1 + تعداد جریان جانبی + تعداد خوراک = تعداد نقاط تفاضل

برج‌های **open steam** - استفاده از بخار مستقیم -

اگر بخواهند یک محلول آبدار که جزء غیر فرار آب می‌باشد، را تفکیک کنند مانند آب و آمونیاک که آمونیاک جزء فرار می‌باشد و آب محصول پس‌ماند را تشکیل می‌دهد در این صورت نیازی به استفاده از ریپولر نیست و حرارت لازم را می‌توان با ورود مستقیم بخار به انتهای برج تامین کرد در یک نسبت جریان برگشتی ثابت و ترکیب نسبی معین محصول مقطر، استفاده از بخار مستقیم، سبب افزایش تعداد سینی‌های لازم در برج می‌شود ولی استفاده از بخار مستقیم ارزان‌تر از ریپولر - جوش‌آور - می‌باشد و هزینه‌ای برای تمیزکردن ندارد

نقطه تفاضل بالایی ΔD همانند حالت‌های قبلی می‌باشد $\Delta D \left(x_D, H_D + \frac{Q_c}{D} \right)$ با نوشتن موازنه جرم برای قسمت دوم داریم:

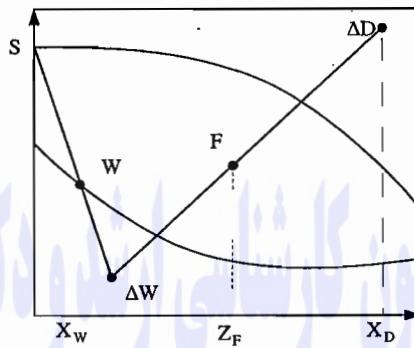
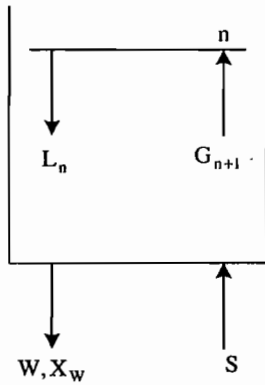


$$L_n - G_{n+1} = w - s$$

$$L_n x_n - G_{n+1} y_{n+1} = w x_w - s x_0^0$$

$$L_n H_{L_n} - G_{n+1} H_{G_{n+1}} = w H_w - s H_s$$

$$\Rightarrow \Delta w = \begin{cases} x_{\Delta w} = \frac{w x_w}{w - s} \\ H_{\Delta w} = \frac{w H_w - s H_s}{w - s} \end{cases}$$



نکته : نقاط $\Delta w, F, \Delta D$ بر یک استقامتند

نکته : نقاط $\Delta w, s, w$ بر یک استقامتند

نکته : همواره $x_{\Delta w} > x_w$

در شکل بالا بخار ورودی «S» به صورت اشباع می‌باشد - روی منحنی بخار اشباع قرار دارد - اگر به صورت بخار داغ وارد شود نقطه S بالاتر قرار می‌گیرد

مثال : در یک برج تقطیر، از بخار مستقیم open steam در پایین برج به جای جوش آور استفاده می‌شود. در صورتی که مشخصات

نقطه تفاضل پایین برج نشان دهد که $x_{\Delta w} = 0.015$ همچنین در این برج محصول پایین برج $w = 80 \frac{\text{kmol}}{\text{h}}$ و شدت مولی

جزء فرارتر در محصول پایین برج $0.8 \frac{\text{kmol}}{\text{h}}$ باشد شدت بخار مصرفی در این برج «S» چه قدر است. «مهندس شیمی ۸۴»

$$40 \frac{\text{kmol}}{\text{h}} \quad (۲)$$

$$26.6 \frac{\text{kmol}}{\text{h}} \quad (۱)$$

(۴) با اطلاعات داده شده قابل محاسبه نیست

$$120 \frac{\text{kmol}}{\text{h}} \quad (۳)$$

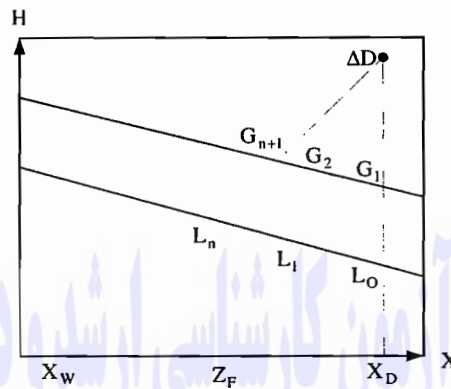
حل : گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$x_{\Delta w} = \frac{wx_w}{w-s} \Rightarrow 0.015 = \frac{0.8}{80-s} \Rightarrow s = 26.67 \frac{\text{kmol}}{\text{h}}$$

۲-۲-۵-۷ روش مک کیب و تیلی

این روش، یک روش تقریبی می باشد و در مواردی که تلفات حرارتی و گرماهای انحلال ناچیز باشند استفاده از این روش مناسب است
منحنی های مربوط به آنتالپی با در نظر گرفتن فرضیات زیر به دو خط موازی تبدیل می شوند فرضیات روش مک کیب:

- (۱) گرمای انحلال - اختلاط - ناچیز است
- (۲) گرمای نهانی مولی اجزا برابر می باشد
- (۳) افت حرارتی ناچیز است
- (۴) فشار در طول برج ثابت می باشد



ثابت $G_{n+1} - L_n = cte$: از روش پانچوان می دانیم که

$$(1) \frac{L_0}{G_1} = \frac{G_1 \Delta D}{L_0 \Delta D}, \frac{L_1}{G_2} = \frac{G_2 \Delta D}{L_1 \Delta D}, \frac{L_n}{G_{n+1}} = \frac{G_{n+1} \Delta D}{L_n \Delta D}$$

$$(2) \frac{G_1 \Delta D}{L_0 \Delta D} = \frac{G_2 \Delta D}{L_1 \Delta D} = \frac{G_{n+1} \Delta D}{L_n \Delta D}$$

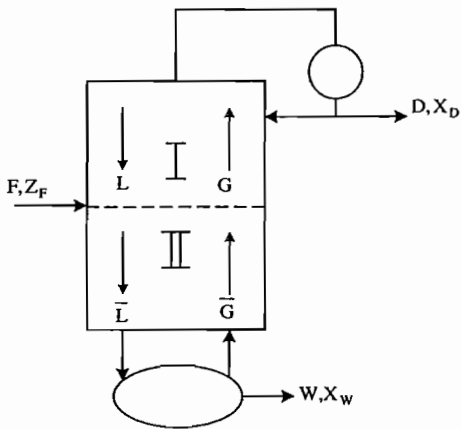
$$\Rightarrow \frac{L_0}{G_1} = \frac{L_1}{G_2} = \frac{L_n}{G_{n+1}} = cte \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \Rightarrow \begin{array}{l} L_0 = L_1 = \dots = L_n \\ G_0 = G_1 = \dots = G_n \end{array}$$

و داشتیم $G_{n+1} - L_n = cte$

با در نظر گرفتن فرضیات بالا - 4 فرضیه - نتیجه می شود که شدت جریان های مایع و بخار مقادیر ثابتی هستند پس در روش مک کیب

دبی مولی فازها در مقاطع مختلف درون برج ثابت است

در روش مک کیب از نمودار x-y استفاده می کنیم و همانند حالت قبلی برج را به دو قسمت تقسیم می کنیم و معادلات خطوط کار را برای هر قسمت مشخص می کنیم



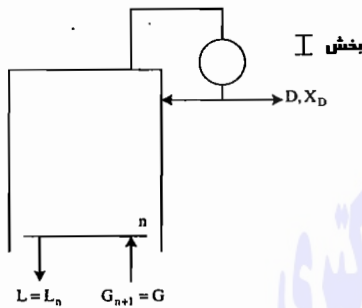
L: دبی مولی مایع در بخش I

G: دبی مولی گاز در بخش I

\bar{L} : دبی مولی مایع در بخش II

\bar{G} : دبی مولی گاز در بخش II

حال با نوشتن موازنه جرم برای هر بخش داریم



$$\left. \begin{aligned} G &= L + D \\ R &= \frac{L_0}{D} = \frac{L}{D} \Rightarrow L = RD \end{aligned} \right\} \Rightarrow G = G_1 = (R+1)D$$

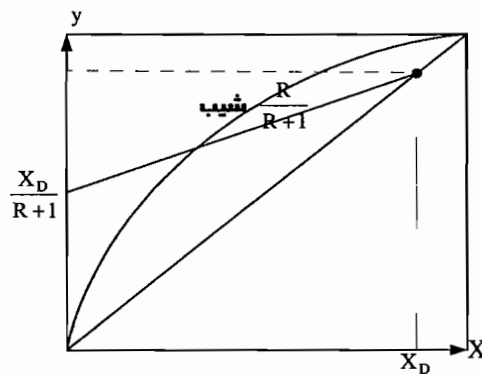
$$\Rightarrow \frac{G}{D} = R+1$$

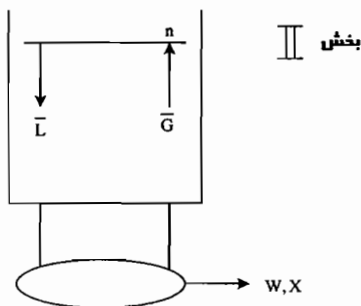
$$Gy_{n+1} = Lx_n + Dx_D \Rightarrow y_{n+1} = \frac{L}{G}x_n + \frac{D}{G}x_D$$

$$\Rightarrow y_{n+1} = R \left(\frac{D}{G} \right) x_n + \frac{D}{G} x_D \Rightarrow y_{n+1} = \frac{R}{R+1} x_n + \frac{1}{R+1} x_D$$

معادله خط بالای برج ←

معادله خط بالای برج: خطی است که از نقطه $\left(\frac{x_D}{R+1}, \frac{x_D}{R+1} \right)$ با شیب $\frac{R}{R+1}$ می‌گذرد که عرض از مبدا آن $\frac{x_D}{R+1}$ می‌باشد





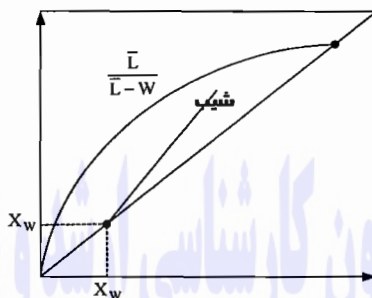
$$\bar{L} = \bar{G} + w \Rightarrow \bar{G} = \bar{L} - w$$

$$\bar{L}x_n = \bar{G}y_{n+1} + wx_w$$

$$\Rightarrow y_{n+1} = \frac{\bar{L}}{\bar{G}}x_n - \frac{w}{\bar{G}}x_w$$

$$y_{n+1} = \frac{\bar{L}}{\bar{L} - w}x_n - \frac{w}{\bar{L} - w}x_w$$

معادله خط پایین برج خطی است که از نقطه $\left| \frac{x_w}{x_w} \right|$ با شیب $\frac{\bar{L}}{\bar{L} - w}$ می‌گذرد



نکته : شیب خط کار بالای برج $\frac{R}{R+1}$ همواره کوچکتر از یک می‌باشد و در نسبت جریان برگشتی بی‌نهایت به یک میل می‌کند

نکته : شیب خط کار پایین برج $\frac{\bar{L}}{\bar{L} - w}$ همواره بزرگتر از یک می‌باشد و در نسبت جریان برگشتی بی‌نهایت که میزان محصول

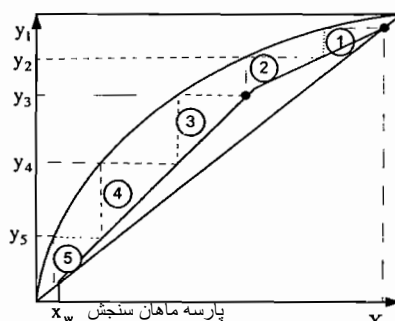
خروجی از بالا و پایین برج برابر صفر است به یک میل می‌کند

نکته : محل تلاقی خط کار بالا و پایین برج، نشانگر سینی ورود خوراک می‌باشد

برای مشخص کردن تعداد مراحل در روش مک‌کیب، پس از رسم خطوط کار، خطوط افقی - عمودی «پلکانی» را از نقطه (x_D, x_D) رسم می‌کنیم تا به نقطه (x_w, x_w) برسیم یا از آن بگذریم تعداد پلکان‌ها نشانگر تعداد مراحل مورد نیاز است.

به عنوان مثال در شکل مقابل تعداد مراحل تئوری مورد نیاز 5 مرحله می‌باشد و خوراک باید از بالای سینی شماره دوم وارد شود با

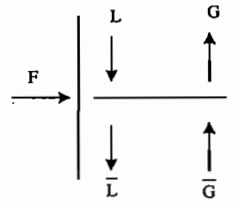
بدست آمدن تعداد مراحل تئوری با در نظر گرفتن نوع کندانسور و ریبولر می‌توان تعداد سینی‌های مورد نیاز را بدست آورد



$$- \left\{ \begin{array}{l} \text{تعداد پله‌ها} = \text{تعداد سینی‌ها تئوری} \\ \text{کندانسور جزئی + open steam یا ریویلر + کندانسور کامل} \rightarrow 1 \\ \text{ریویلر + کندانسور جزئی} \rightarrow 2 \\ \text{Open steam + کندانسور کامل} \rightarrow 0 \end{array} \right.$$

معادله خط خوراک

برج را در قسمت ورود خوراک در نظر بگیرید پارامتر q را به صورت زیر تعریف می‌کنیم:
 q : کسری از خوراک که به فرم مایع اشباع است در این صورت داریم:



$1-q$: کسری از خوراک که به فرم بخار اشباع است

بخشی از خوراک که به شکل مایع است به پایین برج و بخش دیگر آن به شکل بخار است به سمت بالای برج حرکت می‌کند و داریم

$$\Rightarrow \bar{L} = L + qF \quad \Rightarrow \frac{\bar{L} - L}{F} = q$$

$$G = \bar{G} + (1-q)F \Rightarrow \frac{\bar{G} - G}{F} = q - 1$$

$$Fz_f + \bar{G}y + Lx = \bar{L}x + Gy$$

$$\Rightarrow fz_f + (\bar{G} - G)y = (\bar{L} - L)x \Rightarrow (\bar{G} - G)y = (\bar{L} - L)x - fz_f \stackrel{+F}{\Rightarrow} y = \frac{qx}{q-1} - \frac{z_f}{q-1}$$

معادله خط خوراک: خطی است که از نقطه (z_f, z_f) با شیب $\frac{q}{q-1}$ می‌گذرد و مکان هندسی نقاطی است که هر نقطه از آن می‌تواند

محل تلاقی خط کار بالا و پایین برج باشد.

اگر موازنه انرژی را برای قسمت ورودی خوراک بنویسیم داریم:

$$FH_F + \bar{G}H_{\bar{G}} + LH_L = \bar{L}H_{\bar{L}} + GH_G$$

$$\begin{array}{l} H_{\bar{G}} = H_G \\ H_{\bar{L}} = H_L \end{array} \Leftrightarrow \text{با فرضیات مک کیب و تیل}$$

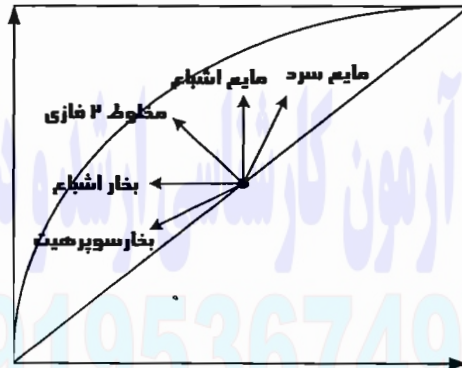
$$\Rightarrow FH_F + (\bar{G} - G)H_G = (\bar{L} - L)H_L \quad , \bar{G} - G = (q-1)F \text{ و } \bar{L} - L = qF$$

$$\Rightarrow FH_F + (q-1)FH_G = qFH_L$$

$$\Rightarrow H_F + (q-1)H_G = qH_L \Rightarrow q = \frac{H_G - H_F}{H_G - H_L} = \frac{H_G - H_F}{\lambda}$$

در این صورت می‌توان q را به صورت نسبت انرژی لازم برای تبدیل خوراک به بخار اشباع به گرمای نهان تبخیر تعریف کرد در این صورت داریم:

حالت خوراک	آنتالپی خوراک H_F	q	شیب خط خوراک $\frac{q}{q-1}$
مایع سرد	$H_F < H_L$	$q > 1$	$1 < \frac{q}{q-1} < \infty$
مایع اشباع	$H_F = H_L$	$q = 1$	$\frac{q}{q-1} = \infty$
مخلوط دوفازی مایع و بخار	$H_L < H_F < H_G$	$0 < q < 1$	$\frac{q}{q-1} < 0$
بخار اشباع	$H_F = H_G$	$q = 0$	$\frac{q}{q-1} = 0$
بخار سوپرهیت داغ	$H_F > H_G$	$q < 0$	$0 < \frac{q}{q-1} < 1$



مثال : در جداسازی یک مخلوط دوجزئی با مول جزئی 0.5 در یک برج تقطیر معادلات خطوط تبادل برج به صورت $y = 0.6x + 0.32$ و $y = 2x - 0.1$ می باشند وضعیت حرارتی خوراک در هنگام ورود به برج به صورت می باشد.

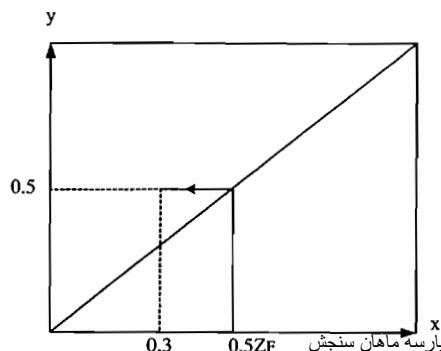
- (۱) مایع سرد (۲) بخار اشباع (۳) مایع اشباع (۴) مخلوط دوفازی

حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$y = 0.6x + 0.32$$

$$y = 2x - 0.1$$

$$\text{محل تقاطع خطوط کار بالا و پایین} = \text{محل ورود خوراک} \Rightarrow 0.6x + 0.32 = 2x - 0.1$$



$$\Rightarrow 1.4x = 0.42 \Rightarrow x = 0.3$$

$$y = 0.5$$

نقطه تقاطع $\left| \begin{matrix} 0.3 \\ 0.5 \end{matrix} \right|$ و با توجه به ترکیب درصد خوراک $\left| \begin{matrix} 0.5 \\ 0.5 \end{matrix} \right|$ خط خوراک به صورت $y = 0.5$ می‌باشد و صورت بخار اشباع وارد شده است

مثال: یک محلول دوجزئی که به صورت 20% بخار و 80% مایع است جهت جداسازی وارد یک ستون تقطیر می‌شود. کسر مولی جزء فرار در خوراک ورودی 40% می‌باشد معادله خط خوراک کدام است؟
 فرآوری و انتقال گاز 85

(۱) $y = 2 - 2x$ (۲) $y = 4 - 4x$ (۳) $y = 4 - 2x$ (۴) $y = 2 - 4x$

حل: گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

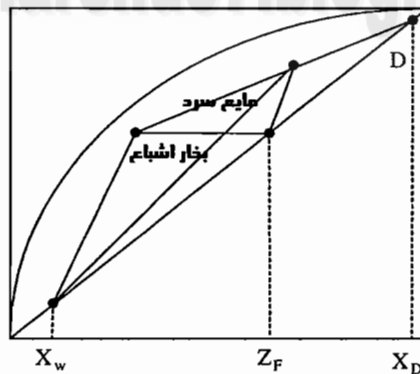
$$\left. \begin{matrix} y = \frac{q}{q-1}x - \frac{z_f}{q-1} \\ q = 0.8 \\ z_f = 0.4 \end{matrix} \right\} \Rightarrow y = \frac{0.8}{-0.2}x - \frac{0.4}{-0.2} \Rightarrow y = 2 - 4x$$

مثال: اگر شیب خط خوراک در یک فرایند تقطیر مثبت باشد حالت ترمودینامیکی خوراک چیست؟

(۱) مایع سرد (۲) مخلوط دو فازی (۳) بخار سوپرهیت (۴) گزینه‌های ۱ و ۳

حل: گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

نکته: در یک نسبت جریان برگشتی ثابت - $R = cte$ - اگر خوراک ورودی به صورت مایع سرد باشد تعداد سینی‌های مورد نیاز کمترین و اگر به صورت بخار داغ باشد بیشترین مقدار را خواهد داشت - هر چه خطوط کار به منحنی تعادلی نزدیک‌تر شوند تعداد مراحل تئوری مورد نیاز افزایش می‌یابد -



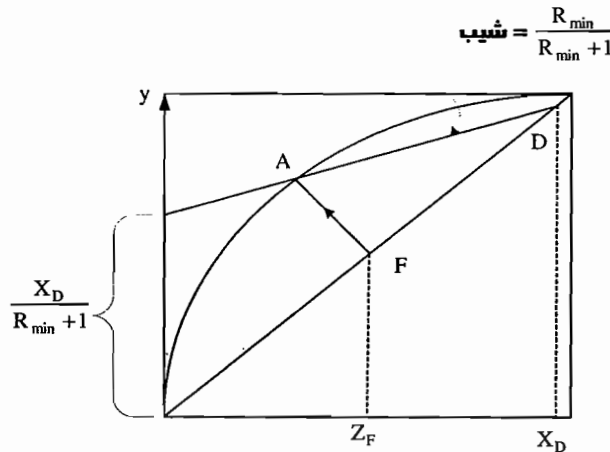
سوپرهیت $N < N$ بخار اشباع $N < N$ مخلوط دو فازی $N < N$ مایع اشباع $N < N$ مایع سرد N تعداد مراحل مورد نیاز

محاسبه حداقل نسبت جریان برگشتی در روش مکعب و تیلی

همان طور که قبلاً گفته شد، زمانی که نسبت جریان برگشتی حداقل است، تعداد مراحل مورد نیاز جداسازی بی‌نهایت می‌شود که این به معنی اینست که خطوط کار، منحنی تعادل را قطع کنند بنابراین در این روش برای تعیین حداقل نسبت جریان برگشتی - R_m -

خط خوراک را امتداد می‌دهیم تا منحنی تعادل را قطع کند حال نقطه (x_D, x_D) و یا (x_w, x_w) - به آن وصل می‌کنیم در این

صورت شیب خط کار بالا برابر $\frac{R_{min}}{R_{min}+1}$ و عرض از مبدا آن برابر $\frac{x_D}{R_{min}+1}$ می‌باشد



و یا از معادله under wood برای محاسبه R_{min} استفاده می‌کنیم که در دو حالت ساده زیر بیان شده است:

$$R_{min} = f(z_f, q, x_D, \alpha)$$

(۱) اگر خوراک به صورت مایع اشباع باشد

$$R_{min} = \frac{1}{a-1} \left[\frac{x_D}{x_F} - \frac{a(1-x_D)}{1-x_F} \right]$$

و اگر $x_D = 1$ در این صورت:

$$R_{min} = \frac{1}{(a-1)x_F}$$

(۲) اگر خوراک به صورت بخار اشباع باشد:

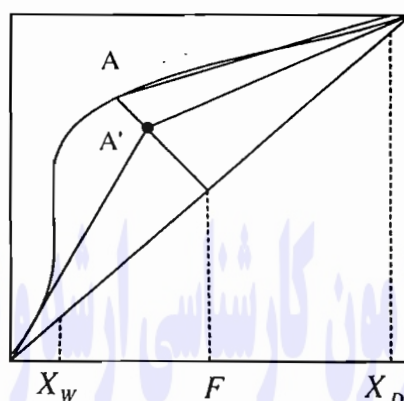
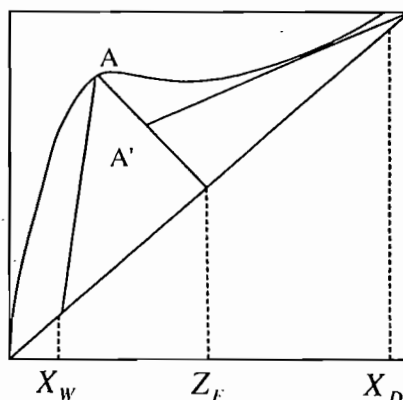
$$R_{min} = \frac{1}{a-1} \left[\frac{ax_D}{y_F} - \frac{1-x_D}{1-y_F} \right] - 1$$

و اگر $x_D = 1$ باشد داریم:

$$R_{min} = \frac{a}{(a-1)y_F} - 1$$

همان طور که گفته شد حداقل نسبت جریان برگشتی R_m ، حداکثر نسبتی است که در صورت به کار بردن آن در یک عمل تفکیک

معین تعداد سینی‌های لازم بی‌نهایت می‌شود



در این شکل ها در صورت در نظر گرفتن نقاط A و A' در هر دو حالت تعداد مراحل بی نهایت می شود ولی با در نظر گرفتن تعریف حداقل نسبت جریان برگشتی، نقطه A' مشخص کننده R_{min} می باشد.

مثال: برای جداسازی یک محلول دو جزئی، لازم است محصول بالای برج تقطیر به درجه خلوص 98% برسد. اگر خط کار بالای ستون تقطیر در روی منحنی تعادل محور y ها را در عدد 0.35 قطع کند، مقدار حداقل نسبت برگشتی چه قدر است؟ با توجه به این که در این جداسازی $R = 2R_m$ می باشد

«فراوری و انتقال گاز ۸۵»

0.9 (۴)

0.8 (۳)

0.7 (۲)

0.6 (۱)

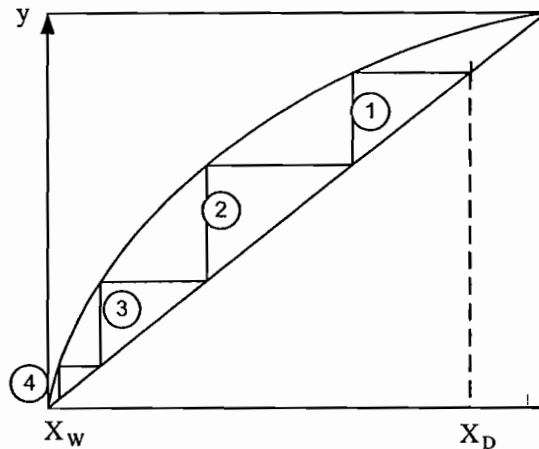
حل: گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$x_D = 0.98$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{x_D}{R+1} = 0.35 &\Rightarrow \frac{0.98}{R+1} = 0.35 \Rightarrow R = 1.8 \\ R = 2R_m &\end{aligned} \right\} \rightarrow R_m = 0.9$$

محاسبه حداقل تعداد مراحل N_{min}

همان طور که اشاره شد زمانی تعداد مراحل تئوری در برج حداقل است که نسبت جریان برگشتی بی نهایت شود - $R \rightarrow \infty$ - در این صورت شیب خطوط بالا و پایین برج برابر یک می شود



با استفاده از معادله فنسک در حالی که α در طول برج تقریباً ثابت است می‌توانیم N_{min} را بدست آوریم

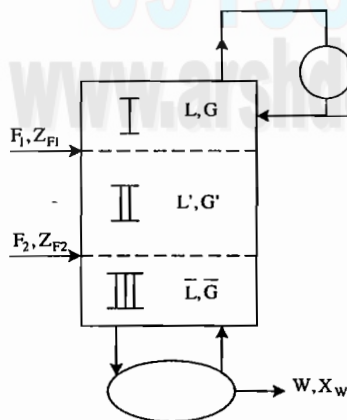
$$N_{min} = \frac{\text{Log} \left(\frac{x_D(1-x_w)}{x_w(1-x_D)} \right)}{\text{Log} \alpha_{ave}} - 1$$

$$\alpha_{ave} = \sqrt{\alpha_{top} \alpha_{bottom}}$$

حداقل تعداد سینی‌ها - N_{min} - مستقل از دما و غلظت و حالت ترمودینامیکی خوراک می‌باشد

• برج‌های دوخوراکه

در این حالت نیز برج را به سه قسمت تقسیم می‌کنیم



$$\text{I} \begin{cases} L = RD \\ G = (R+1)D \end{cases}$$

$$\text{II} = \begin{cases} L' = L + q_1 F_1 \\ G' = G + (q_1 - 1) F_1 \end{cases}$$

$$\text{III} \begin{cases} \bar{L} = L' + q_2 F_2 \\ \bar{G} = G' + (q_2 - 1) F_2 \end{cases}$$

I بخش کار معادله خط کار $\Rightarrow y_{n+1} = \frac{R}{R+1} x_n + \frac{x_D}{R+1}$

معادلات خط کار

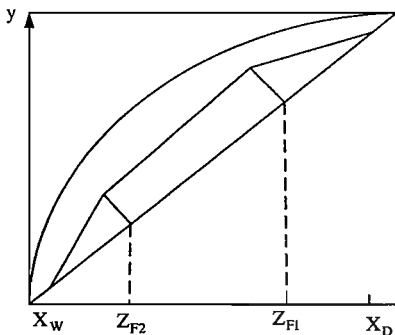
II بخش کار معادله $\Rightarrow y_{n+1} = \frac{L'}{G'} x_n + \frac{Dx_D - F_1 z_{F1}}{G'}$

III بخش کار معادله $\Rightarrow y_{n+1} = \frac{\bar{L}}{\bar{G}} x_n - \frac{w}{\bar{G}} x_w$

معادلات خط خوراک:

$$\left\{ \begin{array}{l} y = \frac{q_1}{q_1 - 1} x - \frac{z_{f1}}{q_1 - 1} \quad \text{خط خوراک (۱)} \\ Y = \frac{q_2}{q_2 - 1} x - \frac{z_{f2}}{q_2 - 1} \quad \text{خط خوراک (۲)} \end{array} \right.$$

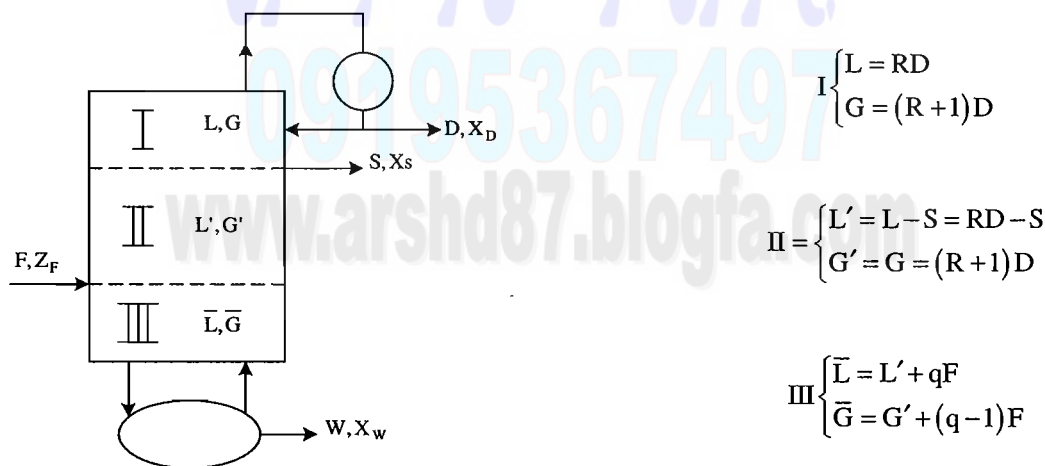
نکته: ورود خوراک همواره باعث افزایش شیب خط کار می‌شود صرف‌نظر از حالت خوراک



$$\frac{L}{G} < \frac{L'}{G'} < \frac{\bar{L}}{\bar{G}}$$

برج‌های با جریان جانبی

در این حالت نیز برج را به سه قسمت تقسیم می‌کنیم



و با نوشتن موازنه جرم داریم

1 خط کار بخش 1 $y_{n+1} = \frac{R}{R+1} x_n + \frac{x_D}{R+1}$

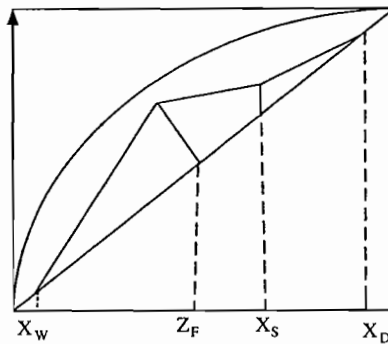
2 معادله خط کار بخش 2 $\Rightarrow G'y_{n+1} = L'x_n + Dx_D + Sx_s \Rightarrow y_{n+1} = \frac{L'}{G'} x_n + \frac{Dx_D + Sx_s}{G'}$

$$\Rightarrow y_{n+1} = \frac{RD - S}{(R+1)D} x_n + \frac{Dx_D + Sx_s}{(R+1)D} = \frac{R - \frac{S}{D}}{R+1} x_n + \frac{x_D + \frac{S}{D} x_s}{R+1}$$

3 معادله خط کار بخش 3 $\Rightarrow y_{n+1} = \frac{\bar{L}}{\bar{G}} x_n - \frac{w}{\bar{G}} x_w$

نکته: جریان جانبی معمولاً به صورت مایع اشباع می‌باشد و باعث کاهش شیب خط می‌شود

نکته: جریان جانبی باعث نزدیک شدن خط کار به منحنی تعادل می‌شود و در نتیجه باعث افزایش تعداد مراحل تئوری می‌گردد.



مثال : در یک برج تقطیر در تصویر xy روش مک کیب چهار خط تبادل operating line به ترتیب از بالای برج به پایین برج به شکل زیر است

۱) $y = 0.99x + 1$ 3: $y = x + 0.25$

۲) $y = 0.61x + 0.15$ 4: $y = 1.7x - 0.03$

این برج دارای چند خوراک ورودی (عدد سمت راست) و چند محصول جانبی «عدد سمت چپ» است؟

۱, 1 (۴)

1, 2 (۳)

2, 1 (۲)

1, 3 (۱)

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

با توجه به نکته های ذکر شده

$y = 0.99x + 0.1$
 $y = 0.64x + 0.15$ } جریان جانبی s_1 ⇒ کاهش شیب →

$y = 0.61x + 0.15$
 $y = z + 0.25$ } خوراک ورودی F_1 ⇒ افزایش شیب →

$y = z + 0.25$
 $y = 1.7x - 3$ } خوراک ورودی F_2 ⇒ افزایش شیب →

مثال : در یک برج مخلوطی از A و B به صورت مایع اشباع شامل 60% مولی A تقطیر می شوند تا $15 \frac{\text{kmol}}{\text{h}}$ محصول بالای برج

شامل 90% جزء A و نیز یک محصول جانبی با شدت $10 \frac{\text{kmol}}{\text{h}}$ شامل 75% A علاوه بر محصول پایین برج حاصل می شود.

ضریب فراریت ثابت و برابر با 2 انتخاب می شود حداقل نسبت مایع برگشتی برای این برج چه قدر است؟ مهندس شیمی ۸۲

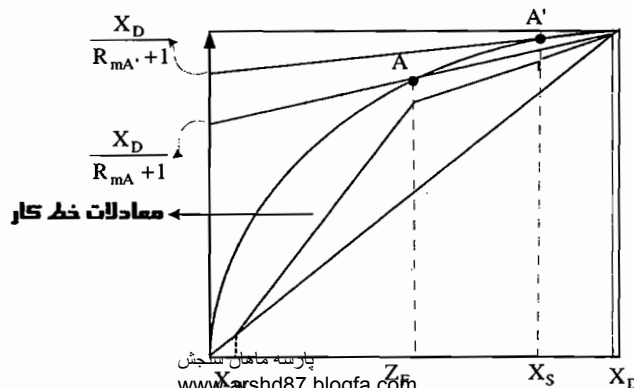
2.5 (۴)

1.5 (۳)

0.8 (۲)

1 (۱)

حل : به گزینه سوم نزدیک تر است.



قبل از حل این تست توجه کنید برای بی‌نهایت شدن تعداد مراحل دو راه داریم روش اول این که نقطه D را به A' - محل تقاطع S و منحنی تعادل - وصل کنیم

روش دوم این که نقطه S را به A - محل قطع F و منحنی تعادل - وصل کنیم

در هر دو حالت تعداد مراحل بی‌نهایت می‌شود اما برای بدست آوردن R_{min} باید از نقطه A استفاده کنیم چون $R_{m_A} > R_{m_{A'}}$ حال به حل مسئله می‌پردازیم مختصات نقطه A باید در معادله خط کار بخش II صدق کند

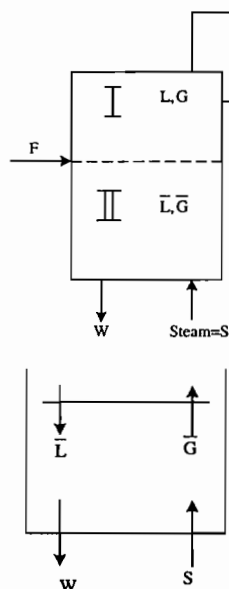
$$A = \begin{cases} x_A = z_f = 0.6 \\ y_A = \frac{2 \times 0.6}{1 + 1 \times 0.6} = 0.75 \end{cases}$$

$$y_A = \frac{R_{min} - \frac{S}{D}}{R_{min} + 1} x_A + \frac{x_D + \frac{S}{D} x_s}{R_{min} + 1} \Rightarrow 0.75 = \frac{R_{min} - \frac{10}{15}}{R_{min} + 1} \times 0.9 + \frac{0.9 + \frac{10}{15} \times 0.75}{R_{min} + 1} \Rightarrow R_{min} = 1.67$$

هیچ کدام از گزینه‌های صحیح نیست ولی به گزینه سوم نزدیک‌تر است.

برج‌های open steam

در این حالت معادله خط کار بالای برج تغییری نمی‌کند



$$\text{معادله خط بخش I} \Rightarrow y_{n+1} = \frac{R}{R+1} x_n + \frac{x_D}{R+1}$$

$$\text{معادله خط کار در بخش II} \Rightarrow y_{n+1} = \frac{\bar{L}}{\bar{G}} x_n - \frac{w x_w}{\bar{G}}$$

با توجه به شکل و فرضیات روش مک‌کیب کاملاً مشخص است که $\bar{L} = w$ و $\bar{G} = s$

$$\Rightarrow y = \frac{w}{s} x - \frac{w x_w}{s} = \frac{w}{s} (x - x_w)$$

معادله خط کار بخش II و خطی است که از نقطه $\left(0, \frac{w}{s} x_w\right)$ با شیب $\frac{w}{s}$ می‌گذرد

ریبویلر همواره به عنوان یک مرحله تعادلی در نظر گرفته می‌شود با استفاده از برج‌های open steam برای بدست آوردن تعداد سینی‌ها داریم

تعداد مراحل تئوری = N تعداد سینی‌ها

کندانسور جزئی 1

کندانسور کامل 0
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

به همین جهت استفاده از open steam باعث افزایش تعداد سینی‌های برج می‌شود

مثال : کدام گزینه صحیح می باشد؟

- (۱) در برج تقطیر زمانی از بخار مستقیم open steam استفاده می شود که آب به عنوان جزء فرارتر باشد.
- (۲) استفاده از بخار مستقیم open steam سبب کاهش تعداد سینی های برج می شود.
- (۳) استفاده از بخار مستقیم open steam سبب افزایش تعداد سینی های برج می شود.
- (۴) استفاده از بخار مستقیم open steam تأثیری بر روی تعداد سینی های برج نداشته و تنها سبب صرفه جویی در مصرف انرژی می شود.

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

با توجه به متن درس

مثال : در یک برج تقطیر دوتایی که ماده سنگین آن آب است از بخار مستقیم استفاده می شود اگر دبی بخار ورودی $100 \frac{\text{kmol}}{\text{hr}}$ باشد و آنتالپی بخار اشباع در شرایط برج، آنتالپی بخار ورودی به برج و گرمای نهان تبخیر مولی جریان خروجی از آخرین سینی به ترتیب برابر با $90 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}}$ و $100 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}}$ و $200 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}}$ باشند، مطلوب است دبی بخار در ناحیه عریان سازی برج مذکور؟

«مهندس شیمی ۸۲»

$$110 \frac{\text{kmol}}{\text{hr}} \quad (۱) \quad 105 \frac{\text{kmol}}{\text{hr}} \quad (۲) \quad 95 \frac{\text{kmol}}{\text{hr}} \quad (۳) \quad 90 \frac{\text{kmol}}{\text{hr}} \quad (۴)$$

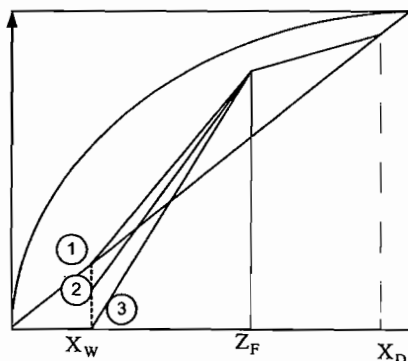
حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$\left. \begin{array}{l} H_S = 100 \\ H_G = 90 \text{ بخار اشباع} \end{array} \right\} \rightarrow H_S > H_G \quad \text{بخار به صورت سوپرهیت وارد شده است}$$

پس مقداری از مایع تبخیر می شود تا بخار به صورت اشباع درآید - ΔG -

$$\lambda = 200 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}}$$

$$\Rightarrow S \times (H_S - H_G) = \Delta G \times \lambda \Rightarrow \Delta G = \frac{100 \times (100 - 90)}{200} = 5 \Rightarrow \bar{G} = S + \Delta G = 100 + 5 = 105$$



حالت (۱) ریبویلر مختصات $\begin{matrix} X_w \\ X_w \end{matrix}$

حالت (۲) ← open steam به حالت سوپرهیت

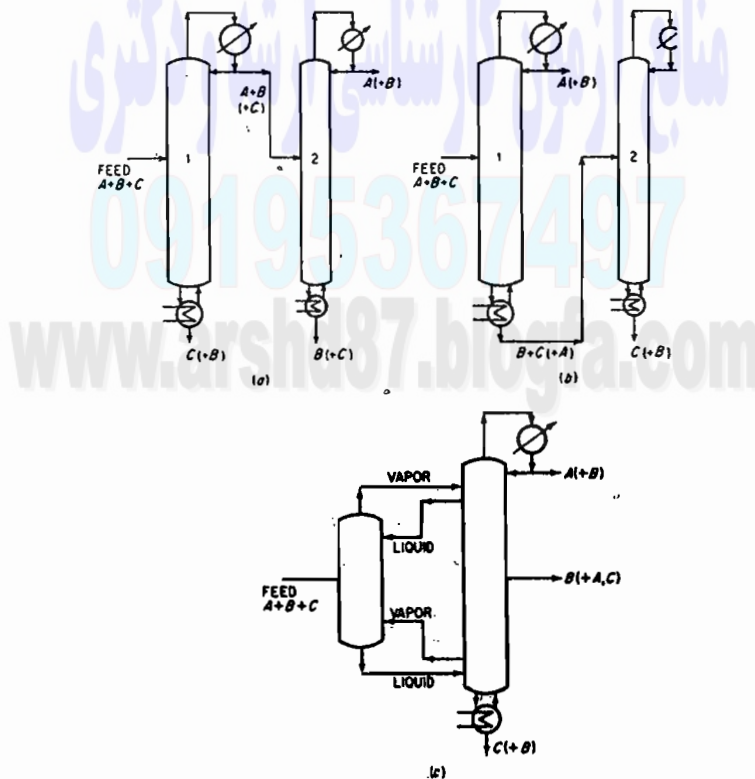
حالت (۳) ← open steam به صورت بخار اشباع به مختصات $\begin{matrix} X_w \\ 0 \end{matrix}$

اتلاف حرارتی

برج‌های تقطیر اکثراً در دمایی بالاتر از دمای محیط کار می‌کنند بنابراین اتلاف حرارتی در طول برج اجتناب‌ناپذیر است زیرا مواد عایق‌کننده نیز دارای ضریب هدایت حرارتی معین می‌باشند. تلفات حرارتی سبب افزایش جریان برگشتی داخلی برج می‌شود و در یک بار حرارتی معین و ثابت تعداد سینی‌های لازم جهت عمل جداسازی مورد نظر کاهش می‌یابد - هر چه نقطه تفاضل بالایی، بالاتر و نقطه تفاضل پایینی، پایین‌تر قرار بگیرد تعداد سینی‌ها کمتر می‌شود - اما در این صورت ریبویلر نه تنها باید حرارت گرفته شده در کندانسور را، بلکه تلفات حرارتی را نیز جبران کند بنابراین با یک بار حرارتی معین و ثابت ریبویلر، با وجود تلفات حرارتی تعداد سینی‌های لازم برای انجام جداسازی مشخص، باید افزایش یابد.

تقطیر سیستم‌های چندجزئی

جهت جداسازی کامل یک سیستم متشکل از n سازنده به $n-1$ برج تقطیر نیاز داریم حال مسئله اینجاست که این $n-1$ برج را به چه ترتیب در کنار یکدیگر قرار دهیم که برای حل این مسئله از روش‌های پیچیده کامپیوتری و نیز قواعد سرانگشتی استفاده می‌کنند. فرض کنید یک محلول سه جزئی، با اجزاء A و B و C داریم که A فرارترین جزء محلول و فراریت B از C بیشتر باشد برای جداسازی کامل سه جزء از یکدیگر بر دو برج نیاز داریم که چیدمان این دو برج می‌تواند به یکی از صورت‌های شکل زیر باشد.



مقرون به صرفه‌ترین روش چیدن برج‌ها، روش C می‌باشد. روش b که در آن، در برج اول، فرارترین جزء A جدا می‌شود و سپس از برج دوم برای جداسازی B و C استفاده می‌کنند را روش مستقیم چیدمان برج‌ها می‌گویند و روش a که در آن، در برج اول، غیرفرارترین جزء C جدا می‌شود و سپس از برج دوم برای جداسازی A و B استفاده می‌کنند را روش غیرمستقیم می‌نامند. از بین روش‌های مستقیم و غیرمستقیم، روش مستقیم چیدمان برج‌ها «روش b » اقتصادی‌تر است.

۶-۷ تقطیر هم جوش یا تقطیر آزنوتروپی

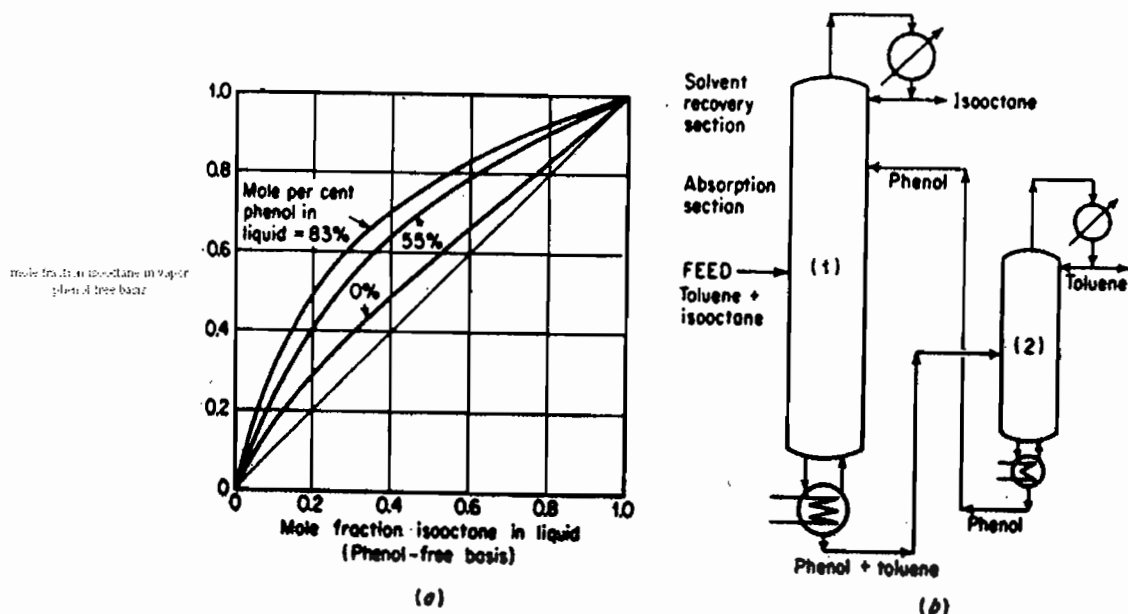
این فرایند حالت خاصی از تقطیر چند جزئی است که جهت تفکیک برخی از مخلوط‌های دوجزئی که امکان جداسازی آن‌ها با تقطیر معمولی مشکل و یا غیرممکن است به کار می‌رود اگر فراریت نسبی یک مخلوط دوجزئی بسیار کم باشد برای تفکیک مخلوط به محصولات نسبتاً خالص، نیازمند نسبت جریان برگشتی و حرارت زیاد و همچنین برچی با سطح مقطع بزرگ و تعداد سینی‌های زیاد می‌باشیم در بعضی موارد مخلوط دو جزئی، تشکیل یک مخلوط آزنوتروپی می‌دهد که در این صورت تهیه محصولات خالص امکان‌ناپذیر است. در این شرایط یک سازنده دیگر به نام entrainer به مخلوط اضافه می‌کنند تا مخلوط آزنوتروپی جدیدی با دمای جوش پایین‌تر با یکی از سازندگان اصلی به وجود آورد در این صورت فراریت نسبی مخلوط هم آزنوتروپی جدید چنان است که جداسازی آن از سازنده اصلی دیگر به آسانی امکان‌پذیر می‌باشد

یک مثال از این نوع تقطیر، جداسازی آب و اسیداستیک است که امکان تفکیک اسیداستیک از آب با روش‌های معمول وجود دارد ولی هزینه انجام این عمل به علت فراریت نسبی پایین مخلوط علی‌رغم تفاوت قابل ملاحظه در نقاط جوش آن‌ها در فشار اتمسفری «دمای جوش نرمال اسیداستیک 118.1 و آب 100 درجه سانتی‌گراد می‌باشد» بسیار زیاد می‌باشد به همین جهت با اضافه کردن مقداری بوتیل استات که دارای حلالیت ناچیزی در آب است یک مخلوط آزنوتروپی با دمای جوش 90.2°C به وجود می‌آورند که در این صورت این مخلوط به آسانی از اسیداستیک جدا می‌شود. مهم‌ترین عامل در تقطیر آزنوتروپی انتخاب ماده خارج‌کننده یا entrainer می‌باشد

۷-۷ تقطیر استخراجی

این نوع تقطیر، یک روش تصفیه چند جزئی محسوب می‌شود که از نظر اصول، مشابه تقطیر آزنوتروپی است ولی در کل مناسب‌تر از تقطیر آزنوتروپی می‌باشد در تقطیر استخراجی به یک مخلوط دوجزئی که جداسازی آن با روش‌های معمولی مشکل و یا غیرممکن است، یک سازنده سوم به نام حلال - solvent - اضافه می‌کنند که در نتیجه فراریت‌های نسبی سازندگان اصلی را تغییر داده و سبب جداسازی آسان‌تر آن‌ها می‌شود حلال باید فراریت ناچیزی داشته باشد تا به میزان قابل توجهی در برج تبخیر نشود و هدر نگردهد معمولاً شدت جریان حلال ورودی 3 تا 4 برابر شدت جریان خوراک می‌باشد در این روش نسبت به تقطیر استخراجی، انتخاب بیشتری برای ماده افزودنی وجود دارد نمونه‌ای از این نوع تقطیر جداسازی تولوئن - نقطه جوش نرمال 110.8°C - از هیدروکربن‌های پارافینی با وزن مولکولی تقریباً برابر با تولوئن مانند ایزواکتان - نقطه جوش نرمال 99.3°C - با اضافه کردن فنل به عنوان حلال solvent که دارای نقطه جوش نرمال 181.4°C می‌باشد که حضور فنل باعث افزایش فراریت نسبی ایزواکتان می‌گردد.

در شکل صفحه بعد تقطیر استخراجی مخلوط تولوئن و ایزواکتان به کمک حلال فنل نشان داده شده است. همان طور که از نمودار تعادلی شکل a مشخص است با افزایش مقدار فنل، فراریت نسبی دو جزء افزایش می‌یابد به طوری که در صورت وجود 83 درصد مولی از فنل در مایع، جداسازی ایزواکتان از تولوئن آسان می‌شود.



در شکل b، مخلوط دو جزئی تولوئن و ایزواکتان تقریباً وارد مرکز برج تقطیر می‌شود و فنل به عنوان حلال به بالای برج هدایت می‌شود تا غلظت آن در اغلب سینی‌ها زیاد باشد در چنین شرایطی ایزواکتان به راحتی تقطیر شده و به عنوان محصول فوقانی خارج می‌شود و تولوئن و فنل محصول پس ماند را تشکیل می‌دهند محصول پس ماند برج را در برج دیگری تقطیر می‌کنند تا تولوئن از فنل جدا شود و فنل جدا شده به برج تقطیر اصلی بر می‌گردانند.

۸-۷ تقطیر در فشار پایین

بسیاری از مواد آلی و ویتامین‌ها تحمل گرما و افزایش دما را ندارند و در دماهای بالا تجزیه می‌شوند برای جداسازی این گونه مواد به وسیله تقطیر لازم است فشار برج را کاهش دهیم تا مواد در دماهای پایین‌تر از یکدیگر جدا شوند - مانند جداسازی ویتامین‌ها از روغن ماهی - تقطیر در فشار پایین در فشارهای 1 تا 5 psi-7 تا 35 کیلوپاسکال - انجام می‌گردد

۹-۷ تقطیر مولکولی

نوعی تقطیر در فشارهای خیلی پایین است که در صنعت در فشارهای مطلق حدود 0.3 تا 3 پاسکال - 0.03 تا 0.003 میلیمتر جیوه - انجام می‌شود که جهت جداسازی مواد حساس در برابر گرما مانند بعضی از ویتامین‌ها و نرم کننده پلاستیک استفاده می‌شود.

مثال : تقطیر مولکولی در حدود چه فشار مطلق انجام می‌شود؟

20 pa (۴)

2 atm (۳)

2 pa (۲)

1 atm (۱)

حل : گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

مثال : در تقطیر استخراجی Extractive Distillation، یک جسم سوم به ستون تقطیر اضافه می‌شود که باعث آسان شدن تفکیک اجزا موجود در خوراک می‌شود. براساس کدام ویژگی، این تفکیک راحت‌تر صورت می‌گیرد؟

« فرآوری و انتقال گاز ۸۳ »

(۴) تغییر فراریت اجزاء

(۳) تغییر گرانروی

(۲) تغییر فشار

(۱) تغییر دما

حل : گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

تست‌های طبقه بندی شده فصل هفتم

۱ - در تقطیر دو جزئی در مخلوط ایده آل حداقل تعداد سینی‌های برج تقطیر وابسته است به:

(مهندسی شیمی ۸۵)

$$X_W, X_D, X_F, \alpha \quad (۴) \quad X_W, X_D, \frac{P_A^*}{P_B^*} \quad (۳) \quad X_W, X_D, X_F \quad (۲) \quad X_W, X_D \quad (۱)$$

۲ - در تقطیر ناگهانی (flash) کدام یک از عبارات زیر صحیح می‌باشد؟

(مهندسی شیمی ۸۵)

- (۱) اگر تقطیر ناگهانی در دمای جوش خوراک انجام شود، غنی‌ترین بخار حاصل می‌گردد.
- (۲) اگر تقطیر ناگهانی در دمای شبیم خوراک انجام شود، رقیق‌ترین مایع حاصل می‌گردد.
- (۳) دمای تقطیر ناگهانی بین نقطه جوش خوراک و نقطه شبیم خوراک متغیر است.
- (۴) همه موارد صحیح می‌باشد.

۳ - کدام مورد ذیل در رابطه با هزینه تقطیر با بخار آب باز نسبت به هزینه تقطیر معمولی صحیح است؟

(مهندسی شیمی ۸۵)

- (۱) هزینه تقطیر با بخار آب باز کمتر است زیرا تعداد سینی‌های آن معمولاً کمتر است.
- (۲) هزینه تقطیر با بخار آب باز معمولاً کمتر است، زیرا هزینه خرید ریبویلر و تمیز نمودن آن وجود ندارد.
- (۳) هزینه تقطیر با بخار آب باز معمولاً بیشتر است. زیرا تعداد سینی‌های آن به علت عدم وجود ریبویلر معمولاً بیشتر است.
- (۴) هزینه تقطیر با بخار آب باز معمولاً بیشتر است. زیرا تعداد سینی‌های آن معمولاً بیشتر است. هر چند که هزینه خرید ریبویلر و تمیز نمودن آن وجود ندارد.

۴ - اگر مخلوط ۹۲% اتانول و ۸% آب (درصدها مولی هستند) خوراک ورودی یک برج تقطیر باشد محصول پایین این برج چه خواهد بود؟

(مهندسی شیمی ۸۵)

$$90\% \text{ اتانول و } 10\% \text{ آب} \quad (۱) \quad \text{آب تقریباً خالص} \quad (۲) \quad 10\% \text{ اتانول و } 90\% \text{ آب} \quad (۳) \quad \text{الکل تقریباً خالص} \quad (۴)$$

۵ - نسبت $\frac{L}{V}$ در یک برج تقطیر تقریباً در تمام طول برج ثابت بوده است. دلیل این پدیده این بوده است که:

(مهندسی شیمی ۸۵)

- (۱) مایع برگشتی به برج مقدار بسیار بزرگتری از مقدار خوراک ورودی بوده است.
- (۲) مقدار محصول پایینی برج نسبت به خوراک ورودی قابل توجه بوده است.
- (۳) مقدار محصول بالای برج نسبت به خوراک ورودی قابل توجه بوده است.
- (۴) خوراک ورودی بسیار داغ‌تر از نقطه شبیم خود بوده است.

۶ - مایع مخلوطی از ۵۰% متانول و ۵۰% آب در نقطه جوش و بخاری از ۵۰% متانول و ۵۰% آب در نقطه شبیم وجود دارد. (فشار

(مهندسی شیمی ۸۵)

در هر دو یکسان است.)

- (۱) چون هر دو فاز از نقطه آزئوتروپ دور هستند می‌توانند درجه حرارت یکسان داشته باشند.
- (۲) درجه حرارت فاز بخار بیشتر از درجه حرارت فاز مایع است.
- (۳) درجه حرارت فاز مایع بیشتر از درجه حرارت فاز بخار است.
- (۴) درجه حرارت هر دو فاز با یکدیگر مساوی هستند.

۷ - در جداسازی یک مخلوط دو جزئی با مول جزئی ۰.۵ در یک برج تقطیر معادله خطوط تبادل برج به صورت $y = 0.6x + 0.32$ و $y = 2x - 0.1$ می‌باشد. وضعیت حرارتی خوراک در هنگام ورود به چه صورتی است؟

(مهندسی شیمی ۸۵)

$$\text{بخار اشباع} \quad (۱) \quad \text{دوفازی} \quad (۲) \quad \text{مایع سرد} \quad (۳) \quad \text{مایع اشباع} \quad (۴)$$

۸ - در یک برج تقطیر تعدادی از سینی‌های پشت سر هم میان برج درجه حرارت یکسان داشته‌اند. علت این پدیده این بوده است که:

(مهندسی شیمی ۸۵)

- (۱) نسبت برگشت برج در حداقل خود بوده است.
(۲) مخلوط نقطه آزنوتروپ نزدیک به $x = 0$ داشته است.
(۳) مخلوط نقطه آزنوتروپ نزدیک به $x = 1$ داشته است.
(۴) مقدار انتقال جرم در این سینی‌های بسیار زیاد بوده است.

۹ - در خصوص محل اپتیموم ورود یک خوراک به صورت مایع سرد در یک برج تقطیر کدام عبارت صحیح است؟

(مهندسی شیمی ۸۴)

- (۱) محلی است که دمای آن تقریباً با دمای حباب خوراک برابر باشد.
(۲) بالاتر از محلی است که خوراک در نقطه حباب وارد می‌شود.
(۳) پایین‌تر از محلی است که خوراک در نقطه حباب وارد می‌شود.
(۴) محلی است که غلظت متوسط آن تقریباً با غلظت خوراک برابر باشد.

۱۰ - یک سیستم دو جزئی با ضریب فرارایت ثابت در یک برج تقطیر تصفیه شود. برج علاوه بر دو محصول بالا و پایین دارای یک محصول جانبی در بالاتر از خوراک ورودی می‌باشد. در محاسبات تعیین حداقل مایع برگشتی به برج نقطه pinch نقطه‌ای از می‌باشد.

(مهندسی شیمی ۸۴)

- (۱) خط تبادل بالا
(۲) خط تبادل میانی
(۳) تلاقی خط تبادل بالا و پایین
(۴) تلاقی خط تبادل و خط خوراک در روی منحنی تعادلی

۱۱ - در محاسبه N_{min} (حداقل سینی‌ها) در برج‌های تقطیر سینی‌دار کدام یک از گزینه‌های زیر صحیح است؟ (مهندسی شیمی ۸۴)

- (۱) N_{min} به دمای خوراک بستگی دارد.
(۲) N_{min} به ترکیب خوراک بستگی دارد.
(۳) N_{min} بستگی به ترکیب و دمای خوراک ندارد.
(۴) N_{min} به ترکیب و دمای خوراک بستگی دارد.

۱۲ - حداقل مقدار سینی‌های تئوری لازم برای یک برج تقطیر:

(مهندسی شیمی ۸۳)

- (۱) به دمای خوراک ورودی وابسته است.
(۲) به شدت خوراک ورودی وابسته است.
(۳) به غلظت خوراک ورودی وابسته است.
(۴) مستقل از شدت و دمای خوراک است.

۱۳ - اگر در یک برج تقطیر از نوع بخار آب با (open - steam distillation) از بخار آب داغ (super - heat) برای ورود به برج استفاده

(مهندسی شیمی ۸۳)

شود چه پدیده‌ای در داخل برج به وجود می‌آید؟

- (۱) راندمان سینی‌ها افزایش خواهند یافت.
(۲) افت فشار در سینی‌های پایینی برج کمتر خواهد بود.
(۳) دبی بخار در سینی‌های پایینی برج بیشتر از دبی بخار ورودی خواهد شد.
(۴) درجه حرارت چند سینی اول پایینی برجی تقریباً یکسان خواهند شد.

۱۴ - در ستون تقطیری با یک خوراک که حاوی یک جزء فرار و یک جزء سنگین (آب) است از بخار مستقیم به جای جوش‌آور در

پایین ستون استفاده می‌شود. در صورتی که در مورد نقطه تفاضل زیر خوراک $X_{\Delta w} = 0.003$ و نیز w ، x_w به ترتیب $300 \frac{\text{mole}}{\text{h}}$ و

0.002 باشند. S مصرفی چقدر است؟

(مهندسی شیمی ۸۳)

- (۱) $90 \frac{\text{mole}}{\text{h}}$
(۲) $100 \frac{\text{mole}}{\text{h}}$
(۳) $600 \frac{\text{mole}}{\text{h}}$
(۴) $900 \frac{\text{mole}}{\text{h}}$

۱۵ - حداقل نسبت برگشتی (minimum Reflux Ratio) در کدام یک از حالات زیر و در شرایط یکسان کوچکترین خواهد بود؟

(مهندسی شیمی ۸۳)

- (۱) خوراک ورودی در نقطه جوش باشد.
(۲) خوراک ورودی مخلوط مایع و بخار باشد.
(۳) خوراک ورودی بخار اشباع باشد.
(۴) خوراک ورودی سردتر از نقطه جوش خود باشد.

۱۶ - در تبخیر دیفرانسیلی دوجزئی یک مخلوط ایده آل $a = 2$ اگر نسبت مولهای سازنده سنگین B در خوراک F به سازنده B در

باقی مانده تقطیر W برابر $\frac{1}{3}$ باشد نسبت مولهای سازنده سبک A در خوراک F به سازنده A در باقی مانده تقطیر W برابر خواهد

(مهندسی شیمی ۸۳)

بود با:

- (۱) $\frac{1}{9}$ (۲) 3 (۳) 9 (۴) 6

۱۷ - در کدام یک از سیستمهای زیر انجام تقطیر مداوم پایدار در برجهای سینی دار به کمک بخار مستقیم به جای جوش آور

(مهندسی شیمی ۸۳)

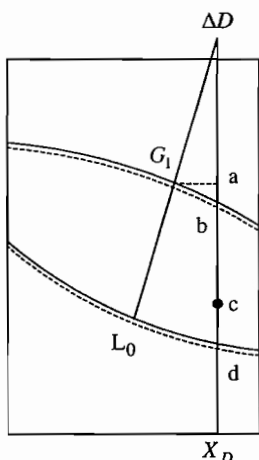
(use of open steam) مقدور نیست؟

- (۱) استن - آب (۲) الکل پروپیلک - آب (۳) الکل متیلک - آب (۴) آمونیاک - آب

۱۸ - بخشی از تصویر H_{xy} برای یک واحد تقطیر دوجزئی مطابق شکل موجود است. در این شکل L_0 مایع ورودی به سینی اول و G_1

(مهندسی شیمی ۸۲)

بخار خروجی از سینی اول است.



$$\overline{Da} = 3.7, \quad \overline{ab} = 0.5, \quad \overline{bc} = 2.2, \quad \overline{cd} = 0.3$$

(۱) کندانسور کامل است و $R = 1.68$

(۲) کندانسور کامل است و $R = 1.37$

(۳) کندانسور جزئی عمل می کند $R = 1.68$

(۴) کندانسور جزئی عمل می کند $R = 1.37$

۱۹ - در یک برج مخلوطی از A و B به صورت مایع اشباع شامل 60% مولی A تقطیر می شوند تا $\frac{15 \text{ kmol}}{h}$ محصول بالای برج شامل

90% جزء A و نیز یک محصول جانبی با شدت $\frac{10 \text{ kmol}}{h}$ شامل 75% A علاوه بر محصول پایین برج حاصل می شود. ضریب

فراریت سیستم ثابت و برابر 2 انتخاب می شود. حداقل نسبت مایع برگشتی برای این برج چقدر است؟ (مهندسی شیمی ۸۲)

- (۱) 1.0 (۲) 0.8 (۳) 1.5 (۴) 2.5

۲۰ - یک مخلوط دو جزئی در 75°C و در فشار کل P_T می جوشد. فشار کل محاسبه شده برای مخلوط در حال جوشش و با فرض

ایده آل بودن نشان می دهد که واقعی $P_T < P_T^{\text{ایده آل}}$ و از طرفی فشار کل واقعی P_T از فشار بخار حاصل جزء فرارتر در دمای

فوق (P_A^*) کوچکتر و از فشار بخار خالص جزء غیر فرارتر در دمای فوق (P_B) بزرگتر است. این سیستم (مهندسی شیمی ۸۲)

(۱) مخلوط ایده آل است.

(۲) غیر ایده آل است. لیکن آزتوتروپ ندارد.

(۳) غیر ایده آل است. ممکن است آزتوتروپ داشته باشد یا نه.

(۴) غیر ایده آل است. دارای نقطه آزتوتروپ با ماکزیمم نقطه جوش

۲۱- در جداسازی یک مخلوط دوجزئی که کسر مولی جزء فرارتر برابر با 0.6 می باشد به روش تقطیر معادلات خطوط تبادل برج به صورت $y = 0.6x + 0.36$ و $y = 1.34x - 0.034$ فرض می شود. وضعیت حرارتی خوراک در هنگام ورود به برج به چه صورتی است؟ (مهندسی شیمی ۸۲)

(۱) دو فازی (۲) بخار اشباع (۳) مایع اشباع (۴) بخار سوپرهیت

۲۲- در یک ستون تقطیر مداوم خوراک اول وارد سینی 5 و خوراک دوم وارد سینی 17 می شود. (شماره گذاری از بالا) بخشی از بخار خروجی از سینی 10 از ستون خارج و پس از کندانس شدن کامل قسمتی از مایع به صورت محصول جانبی و بقیه وارد سینی 14 می شود. مایع برگشتی به سینی اول نیز سرد است. تعداد منحنی های عملیاتی این واحد در تصویر تعادلی xy چندتا است؟ (مهندسی شیمی ۸۲)

(۱) 3 منحنی عملیاتی (۲) 4 منحنی عملیات (۳) 5 منحنی عملیاتی (۴) 6 منحنی عملیاتی

۲۳- سه خوراک با مشخصات زیر در برج تقطیری که جداسازی در آن بر اساس $a = 2.5$ انجام می گیرد بایستی تقطیر شده و محصولات بالا و پایین برج را ایجاد نماید. کدام ترتیب ورود خوراک ها صحیح تر است؟ (مهندسی شیمی ۸۱)

$$F_1 \begin{cases} \text{مایع اشباع} \\ Z_{F_1} = 0.4 \end{cases}, \quad F_2 \begin{cases} \text{بخار اشباع} \\ Z_{F_2} = 0.5 \end{cases}, \quad F_3 \begin{cases} \text{بخار اشباع} \\ Z_{F_3} = 0.58 \end{cases}$$

(۱) F_1, F_2, F_3 (۲) F_2, F_3, F_1 (۳) F_3, F_2, F_1 (۴) F_2, F_1, F_3

۲۴- در تقطیر دیفرانسیلی مخلوط ایده آل A و B با $\alpha_{AB} = 2$ اگر نسبت تعداد مول های A در خوراک به تعداد مول های A در W برابر 9 باشد تعدد مول های B در خوراک به تعداد مول های B در W چقدر خواهد بود؟ (مهندسی شیمی ۸۱)

(۱) 82 (۲) 4.5 (۳) 3 (۴) $\frac{1}{3}$

۲۵- در صورتی که 50 مول از یک مخلوط دوجزئی به صورت بخار که شامل 50% جزء فرارتر است مورد عمل میعان جزئی قرار گرفته و در انتهای عمل 30 مول محصول مایع حاصل گردد. جزء مولی جزء فرارتر در محصول بخار باقی مانده چقدر خواهد شد. (در محدوده غلظت مورد استفاده رابطه تعادلی را می توان به صورت $y = 2x$ در نظر گرفت). (مهندسی شیمی ۸۱)

(۱) 0.35 (۲) 0.65 (۳) 0.79 (۴) 0.82

۲۶- اگر منحنی تعادل برای تقطیر و منحنی تبادل برای بالای برج تقطیر یک مخلوط دوجزئی مشخص باشد و منحنی تعادل از نوع معمولی و رایج باشد در کدام حالت ذیل تعداد سینی کمتری برای برجی با ترکیب خوراک و محصولات مشخص به دست می آید؟ (مهندسی شیمی ۸۱)

(۱) خوراک داغ (۲) خوراک سرد (۳) خوراک در دمای شبنم (۴) خوراک در دمای حباب

۲۷- داده های تعادلی سیستم شیمیایی دوجزئی به شرح زیر در شرایط عملیاتی خاصی داده شده است.

x	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.10
y	0.0	0.17	0.24	0.4	0.47	0.58	0.65	0.73	0.78	0.8	1

(مهندسی شیمی ۸۰)

در این صورت می توان گفت:

(۱) سیستم ایده آل است و آزنوتروپ ندارد.

(۲) سیستم دارای نقطه آزنوتروپ با مینیمم نقطه جوش است.

(۳) اطلاعات برای تشخیص آزنوتروپ کافی نیست.

(۴) سیستم دارای نقطه آزنوتروپ با ماکزیمم نقطه جوش است پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۲۸- جریان های جانبی که از برج تقطیر می توانند به دست آیند با چه حالت ترمودینامیکی هستند؟ (مهندسی شیمی ۸۰)

(۱) مایع غیراشباع (۲) بخار اشباع (۳) مخلوط مایع و بخار (۴) مایع اشباع

۲۹- در روش McCabe برای حل مسائل تقطیر وقتی شیب خط خوراک (q line) مثبت باشد می توان گفت: (مهندسی شیمی ۸۰)

(۱) خوراک مایع سرد است.
(۲) خوراک بخار فوق اشباع است.
(۳) خوراک مخلوطی از مایع و بخار است.
(۴) خوراک ممکن است مایع (subcool) و یا بخار فوق اشباع (super heated) باشد.

۳۰- مخلوط ۵۰٪ A و ۵۰٪ B تبخیر ساده می شود (simple vaporization) 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؟ (مهندسی شیمی ۸۰)

(۱) ۶۶٪ A (۲) ۶۸٪ A (۳) ۶۹٪ A (۴) ۷۱٪ A

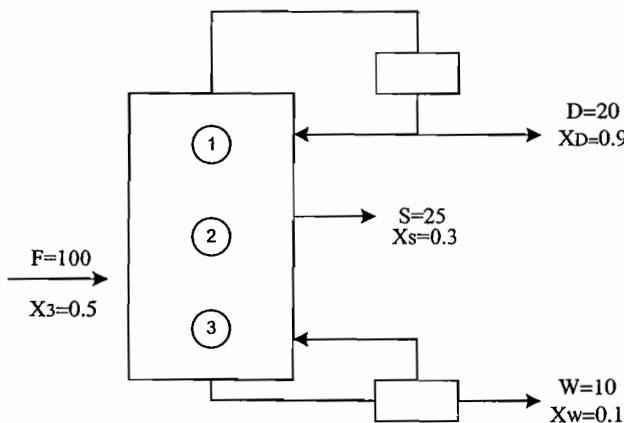
۳۱- برای یک مخلوط دوتایی (Binary Mixture) دو معادله تعادل به شکل زیر داده شده است: (مهندسی شیمی ۸۰)

$$(I) y = \frac{3x}{2x+1} \quad , \quad (II) y = \frac{2.7x}{1.7x+1}$$

در این صورت کدام اظهار نظر صحیح می باشد؟

- (۱) برای یک مخلوط دوتایی نمی توان بیشتر از یک معادله تعادل انتظار داشت.
(۲) این دو معادله برای دو فشار متفاوت داده شده و فشار I بیشتر از فشار II بوده است.
(۳) این دو معادله برای دو فشار متفاوت داده شده و فشار I کمتر از فشار II بوده است.
(۴) 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.

۳۲- در شکل زیر شیب خط عملیاتی در منطقه ۲ کدام است؟ (R = 2.0) (مهندسی شیمی ۸۰)



- (۱) 0.25
(۲) 0.75
(۳) 1.25
(۴) 1.75

۳۳- 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 این حالت مایع سرد تعداد مراحل افزایش می یابد. (مهندسی شیمی ۷۹)

- (۱) کمتر، لیکن قطر ستون در قسمت دفع
(۲) بیشتر، لیکن قطر ستون در قسمت دفع
(۳) بیشتر، لیکن قطر ستون در قسمت جذب

۳۴- در یک ستون تقطیر مداوم مخلوطی از آب و استن تقطیر می‌شود. به جای جوش‌آور در پایین برج تقطیر از بخار مستقیم

(Open steam) استفاده می‌شود. مول‌های استن خروجی از پایین برج $4 \frac{\text{mol}}{\text{h}}$ جزء مولی استن در جریان خروجی از پایین برج

$x_w = 0.04$ و مختصات نقطه تفاضل پایین برج $x_{\Delta w} = 0.05$ می‌باشد شدت بخار s چند $\frac{\text{mol}}{\text{h}}$ است؟ (مهندسی شیمی ۷۹)

(۱) 20 (۲) 40 (۳) 50 (۴) 80

۳۵- تقطیر 500 kmol از محلولی شامل A (جزء فرارتر) و B که جزء مولی A در این محلول $x_F = 0.6$ است در یک دستگاه Batch تا

باقی‌ماندن 10 kmol در ظرف تبخیر ادامه می‌یابد. اگر نهایتاً جزء مولی A در ظرف تبخیر $x_w = 0.15$ باشد فراریت A چقدر است؟

(مهندسی شیمی ۷۹)

(۱) 0.11 (۲) 1.05 (۳) 1.68 (۴) 2.45

۳۶- در یک تبخیر آبی معادله خط کار (Operating line) $y = 1.5x - 0.2$ می‌باشد خوراک شامل جزء سبکتر می‌باشد.

(مهندسی شیمی ۷۹)

(۱) %60 (۲) %40 (۳) %30 (۴) %20

۳۷- 100 مول مخلوطی از A و B شامل 40 mol% جزء سبکتر A با فراریت نسبی 2.5 (ثابت) به صورت دیفرانسیلی تقطیر می‌شود.

تقطیر تا زمانی که 50% ماده A تبخیر شود ادامه می‌یابد. در این صورت درصد مولی A در محلول باقی‌مانده برابر کدام مورد

است؟ (مهندسی شیمی ۷۹)

(۱) %10 (۲) %20 (۳) %30 (۴) %50

۳۸- خوراکی به صورت مایع جوش وارد یک ستون می‌شود. محصول بالا حاوی 95% جزء فرار است خط عمل بالا (Operating line)

خط خوراک را در نقطه‌ای قطع می‌کند که مختصات عرض آن $y = 0.5$ است. نسبت مایع حداقل برگشتی برابر است با 0.45. نسبت

مایع برگشتی واقعی چند برابر نسبت مایع برگشتی حداقل است؟ (مهندسی شیمی ۷۹)

(۱) 1.11 (۲) 2 (۳) 2.22 (۴) 4

۳۹- در یک برج تقطیر $100 \frac{\text{lbmoles}}{\text{hr}}$ خوراکی به صورت مایع اشباع شامل 50 mole% A از 50 mole% B به دو محصول یکی

شامل 90 mole% A و دیگری شامل 10 mole% A جدا می‌شود. اگر حداقل بخار خروجی از ریویولر $70 \frac{\text{lbmoles}}{\text{hr}}$ باشد. حداقل

نسبت مایع برگشتی این برج چقدر است؟ (مهندسی شیمی ۷۹)

(۱) 0.8 (۲) 0.6 (۳) 0.4 (۴) 0.2

۴۰- در یک برج تقطیر خوراک ورودی به برج به صورت مایع تک فاز اشباع و مخلوطی از دو ماده A و B به غلظت Z_{AF} می‌باشد.

برای تفکیک A از B به صورت صد در صد کامل ضریب رفلکس مینیمم را از کدام یک از فرمول‌های زیر می‌توان محاسبه نمود.

(a ضریب فراریت است.) (مهندسی شیمی ۷۸)

$$R_{\min} = \frac{(a-1)}{Z_{AF}} \quad (۲)$$

$$R_{\min} = \frac{1}{[Z_{AF}(a-1)]} \quad (۱)$$

(۴) هیچ کدام

$$R_{\min} = \frac{a}{[Z_{AF}(a-1)]} \quad (۳)$$

۴۱ - 100 kmoles 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 می‌کنیم تا در نهایت 40 kmole مواد در ظرف تبخیر بماند اگر جزء مولی A در این محلول نهایی 0.1 باشد فراریت نسبی این ماده برابر است با: (مهندسی شیمی ۷۸)

- (۱) حدود 26 (۲) حدود 50 (۳) حدود 11 (۴) 4.3

۴۲ - در یک ستون تقطیر در بخش تصفیه (بالتر از نقطه خوراک و پایین‌تر از سینی 1) یک محصول جانبی به صورت مایع اشباع با دبی $5 \frac{\text{kmoles}}{\text{s}}$ وجود دارد. محصول بالا دبی $D = 20 \frac{\text{kmoles}}{\text{s}}$ و مایع برگشتی $R = 2$ است در این صورت شیب خط عمل operating line 2 (پایین‌تر از محصول جانبی و بالاتر از خوراک) برابر است با: (مهندسی شیمی ۷۸)

- (۱) $\frac{1}{2}$ (۲) $\frac{1}{4}$ (۳) 2 (۴) $\frac{7}{12}$

۴۳ - در تقطیر یک مخلوط دوجزئی، معادله خط خوراک به صورت $y = 0.75x + 1.5$ می‌باشد حالت خوراک ورودی به برج کدام یک از وضعیت‌های زیر است؟ (مهندسی شیمی ۷۸)

- (۱) مایع سرد (۲) بخار سوپرهیت (داغ) (۳) مایع اشباع (۴) دو فازی

۴۴ - در یک سیستم تقطیر دو جزئی با بخار آب مستقیم open - steam که به منظور تفکیک خوراکی به صورت بخار اشباع با جزء مولی جزء فرارتر برابر 0.6 به کار می‌رود. معادله خط تبادل بالای برج $y = 0.75x + 0.225$ جزء مولی جزء فرارتر در محصول پایین برج 0.1 می‌باشد. معادله خط تبادل پایین برج به چه صورتی است؟ (مهندسی شیمی ۷۸)

- (۱) $X = 1.25x - 0.25$ (۲) $y = 1.5x - 0.15$ (۳) $Y = 1.35x - 0.135$ (۴) $Y = 1.15x - 0.015$

۴۵ - در جداسازی یک مخلوط دوجزئی حداقل تعداد سینی‌ها تئوری یک برج تقطیر 4 بوده و این برج مجهز به یک کندانسور پاره‌ای تعادلی و یک جوش‌آور تعادلی می‌باشد. 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 می‌شود چقدر است؟ (مهندسی شیمی ۷۸)

- (۱) حدود 2 (۲) حدود 3 (۳) حدود 2.5 (۴) حدود 3.5

۴۶ - در تقطیر دوجزئی با استفاده از روش McCabe معادله خط خوراک به صورت $Y = 0.5x + 0.25$ می‌باشد. جزء مولی سازنده سبکتر در خوراک چقدر است؟ (مهندسی شیمی ۷۸)

- (۱) 0.25 (۲) 0.75 (۳) 0.2 (۴) 0.5

۴۷ - از یک خوراک دوجزئی با 50% مولی جزء فرارتر که به صورت بخار اشباع وارد برج تقطیر می‌شود محصولی با 90% و 50% مولی جزء فرارتر در بالا و پایین برج مورد نظر می‌باشد در صورتی که ضریب فراریت سیستم ثابت و برابر با 3 باشد. مقدار حداقل نسبت مایع برگشتی برابر است با: (مهندسی شیمی ۷۷)

- (۱) 0.6 (۲) 1.0 (۳) 1.6 (۴) 2.5

۴۸ - با کاهش نسبت جریان برگشتی در برج شیب خط مماس بخش غنی‌سازی

(۱) بزرگتر شده و تعداد سینی‌های لازم کاهش می‌یابد.

(۲) بزرگتر شده و تعداد سینی‌های لازم افزایش می‌یابد.

(۳) کوچکتر شده و تعداد سینی‌های لازم افزایش می‌یابد.

(۴) کوچکتر شده و تعداد سینی‌های لازم کاهش می‌یابد.

۴۹- معادله خط خوراک یک مخلوط دوجزئی به صورت $y = -1.5x + 1$ می باشد. این مخلوط هنگام ورودی به برج به صورت:

(مهندسی شیمی ۷۷)

(۱) مایع سرد (۲) بخار داغ شامل 60% مولی A

(۳) دو فاز 60% مایع شامل 40% مولی جزء فرارتر (۴) دو فاز 40% مایع شامل 40% مولی جزء فرارتر

۵۰- در یک برج تقطیر در تصویر xy روش McCabe چهار خط تبادل Operating line به ترتیب از بالای برج به پایین به شکل زیر است:

1: $y = 0.99x + 0.1$, 2: $y = 0.61x + 0.15$, 3: $Y = x + 0.25$, 4: $Y = 1.7x - 0.03$

این برج دارای چند خوراک ورودی (عدد سمت راست) و چند محصول جانبی (عدد سمت چپ) است؟

(۱) 1,3 (۲) 2,1 (۳) 1,2 (۴) 1,1

۵۱- در یک ستون تقطیر دو جزئی محصول بالایی ستون $4 \frac{\text{k mole}}{\text{s}}$ و نسبت مایع برگشتی $R = 2.1$ است. اگر محصول جانبی با

شدت $3 \frac{\text{k mole}}{\text{s}}$ بین محصول بالایی و نقطه ورودی خوراک خارج شود شیب خط عملیاتی بین محصول جانبی و نقطه ورودی

خوراک در ستون برابر است با:

(مهندسی شیمی ۷۶)

(۱) 0.43 (۲) 1.57 (۳) 0.68 (۴) 0.70

۵۲- تقطیر 1000 مول از خوراکی مایع با غلظت 0.8 به صورت batch مورد نظر است اگر معادله منحنی تعادلی $y = 7x$ و غلظت مایع باقی مانده 0.2 باشد میزان مایع باقی مانده کدام است؟

(۱) 167 (۲) 200 (۳) 430 (۴) 793

۵۳- در یک برج تقطیر کندانسور جزئی مورد استفاده قرار می گیرد. محصول بالا به صورت بخار از واحد خارج می شود و مقدار آن

برابر است با $D = 5 \frac{\text{k mole}}{\text{hr}}$ سیال سردکننده آب $C_p = 4.2 \text{ KJ}(\text{kg})(^\circ\text{C})$ گرمای نهان تبخیر بخار $\lambda = 8.4 \times 10^3 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}}$ و نسبت

مایع برگشتی $R = 4$ است. میزان آب سرد مورد نیاز چند $\frac{\text{kg}}{\text{hr}}$ است؟ (اختلاف دمای آب ورودی و خروجی از کندانسور 5°C است.)

(مهندسی شیمی ۷۶)

(۱) 8×10^3 (۲) 8.4×10^3 (۳) 10×10^3 (۴) 144×10^5

۵۴- در دیاگرام مک کیپ - تیل مفهوم فیزیکی خط کار عبارت است از مکان هندسی نقاطی که در آن ها:

(مهندسی شیمی ۷۶)

(۱) اختلاف بین جریان جرمی مایع و بخار ثابت است. (۲) اختلاف بین جریان مولی مایع و بخار ثابت است.

(۳) غلظت بخار و مایع عبوری با هم برابر است. (۴) غلظت بخار و مایع عبوری با هم در تعادلند.

۵۵- در یک برج تقطیر سینی دار خوراک به صورت فوق اشباع (superheated vapor) وارد برج می گردد شیب خط خوراک (q line) چگونه است؟

(مهندسی شیمی ۷۶)

(۱) بی نهایت (۲) بزرگتر از یک (۳) بین صفر و یک (۴) منفی

۵۶- برج تقطیری که برای جداسازی یک مخلوط دوجزئی به کار می رود. در مختصات $4Hxy$ قطب (نقطه) دارد. این برج دارای

(مهندسی شیمی ۷۶)

(۱) 2, 2 (۲) 2, 1 (۳) بین صفر و یک (۴) 3, 4

حل تست‌های طبقه‌بندی شده فصل هفتم

۱- گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

Fenske : با توجه به رابطه $N_{\min} = f(x_D, x_w, \alpha)$

$$\alpha = \frac{P_A^*}{P_B^*}$$

محلول‌های ایده‌آل

۲- گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۳- گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۴- گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

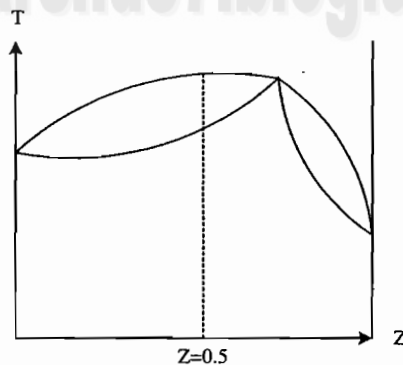
با توجه به این‌که مخلوط آب و اتانول در درصد مولی ۹۰ تشکیل آزنوتروپ می‌دهد پس با استفاده از یک برج تقطیر نمی‌توان به مقدار جداسازی بیشتری از این مقدار رسید.

۵- گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$R \rightarrow \infty \Rightarrow \frac{L}{V} = \frac{\bar{L}}{\bar{V}} = 1$$

۶- گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

منحنی شبنم بالاتر از منحنی جوش قرار دارد و در نقطه آزنوتروپ به یکدیگر می‌رسند.



۷- گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$y = 0.6x + 0.32 \Rightarrow 0.6x + 0.32 = 2x - 0.1 \Rightarrow x = 0.3, y = 0.5$$

$$y = 2x - 0.1$$

$$\begin{cases} y = 0.5 \\ z_f = 0.5 \end{cases} \Rightarrow \text{خوراک ورودی به صورت بخار اشباع می‌باشد.}$$

روش دوم:

$$y = \frac{q}{q-1}x - \frac{z_f}{q-1} \Rightarrow 0.5 = \frac{q}{q-1} \times 0.3 - \frac{0.5}{q-1}$$

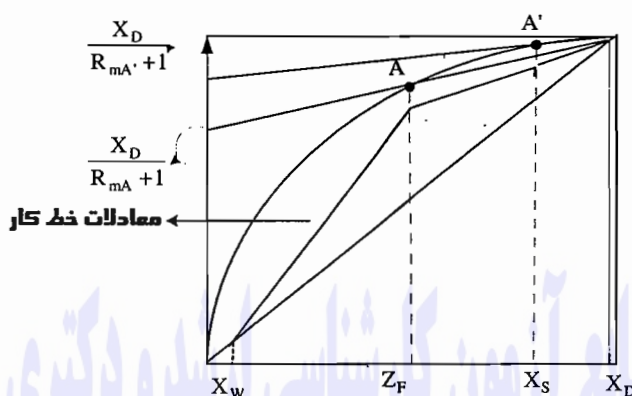
۸ - گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

در صورت به کار بردن حداقل نسبت برگشتی، تعداد سینی‌های برج بی‌نهایت می‌شود که در این صورت تعدادی از این سینی‌ها، درجه حرارت یکسان خواهند داشت.

۹ - گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۱۰ - گزینه ۲ صحیح می‌باشد.



همان‌طور که در شکل مشاهده می‌کنید برای بی‌نهایت شدن تعداد مراحل دو روش داریم: روش اول این‌که نقطه D را به A' وصل کنیم و روش دوم این‌که نقطه S را به A وصل کنیم در هر دو حالت تعداد مراحل بی‌نهایت می‌شود. اما برای به دست آوردن R_{min} باید از نقطه A استفاده کنیم چون $R_{m_A} > R_{m_{A'}}$.

۱۱ - گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۱۲ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۱۳ - گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

چون بخار ورودی به صورت سوپرهیت می‌باشد مقداری از مایع پایین برج، بخار می‌شود.

۱۴ - گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$x_{\Delta w} = \frac{w x_w}{w - \bar{G}_{NP+1}} \Rightarrow 0.003 = \frac{300 \times 0.002}{300 - \bar{G}_{NP+1}} \Rightarrow \bar{G}_{NP+1} = 100 \frac{\text{moles}}{h}$$

۱۵ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۱۶ - گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$\frac{n_{AF}}{n_{AW}} = \left(\frac{n_{BF}}{n_{BW}} \right)^{\alpha_{AB}} \Rightarrow \frac{n_{AF}}{n_{AW}} = \left(\frac{1}{3} \right)^2 = \frac{1}{9}$$

۱۷ - گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

در برج‌های open steam جزء سنگین آب می‌باشد در مخلوط «الکل پروپیلک و آب» جزء سنگین الکل پروپیلک می‌باشد و برای جداسازی این دو جزء نمی‌توان از بخار مستقیم استفاده کرد.

۱۸ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

L_0 در حال تعادل با G_1 می‌باشد پس کندانسور جزئی می‌باشد و برای محاسبه R از دو روش می‌توانیم استفاده کنیم.

روش اول:

$$\text{کندانسور جزئی} \rightarrow H_{\Delta D} = H_D + R(H_{G_1} - H_{L_0}) \Rightarrow R = \frac{H_{\Delta D} - H_D}{H_{G_1} - H_{L_0}} = \frac{H_{\Delta D} - H_{G_1}}{H_{G_1} - H_{L_0}} = \frac{3.7}{0.5 + 2.2} = 1.37$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{روش دوم قانون اهرم: } L_0 \times \overline{G_1 L_0} = D \times \overline{\Delta_D G_1} \\ R = \frac{L_0}{D} \end{array} \right\} \Rightarrow R = \frac{\overline{\Delta_D G_1}}{\overline{G_1 L_0}} = \frac{3.7}{0.5 + 2.2} = 1.37$$

۱۹ - گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

در متن درس به‌طور کامل حل شده است.

۲۰ - گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

واقعی $P_t < P_t^*$ ایده‌آل پس سیستم غیر ایده‌آل است.

$P_A^* < P_t < P_B^*$ واقعی پس سیستم دارای آژوتروپ نمی‌باشد.

۲۱ - گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$y = 1.34x - 0.034, \quad y = 0.6x + 0.36$$

$$\text{محل تقاطع خطوط تبادل} \Rightarrow 1.34x - 0.034 = 0.6x + 0.36 \Rightarrow x = 0.532, \quad y = 0.679$$

$$\text{معادله خط خوراک} \Rightarrow y = \frac{q}{q-1}x - \frac{z_f}{q-1}, \quad \left. \begin{array}{l} x = 0.532 \\ y = 0.679 \\ z_f = 0.6 \end{array} \right\}$$

$$\Rightarrow q = 0.537 \Rightarrow \text{خوراک به صورت دوفازی می‌باشد.}$$

۲۲ - گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$xy = 5 = 1 + 3 + 1 + 1 = \text{تعداد جریان جانبی} + \text{تعداد خوراک} = \text{تعداد منحنی‌های تعادلی در تصویر } xy$$

سینی ۱۷ و سینی ۱۴ و سینی پنج \Rightarrow جریان‌های خوراک

سینی ۱۰ \Rightarrow جریان‌های جانبی

۲۳ - گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$F_1 \left\{ \begin{array}{l} \text{مایع اشباع} \\ z_{f_1} = 0.4 \end{array} \right. \Rightarrow y_{F_1} = \frac{2.5 \times 0.4}{1 + 1.5 \times 0.4} = 0.625$$

$$F_2 \left\{ \begin{array}{l} \text{بخار اشباع} \\ z_{f_2} = 0.5 \end{array} \right. \Rightarrow y_{F_2} = 0.5$$

$$F_3 \left\{ \begin{array}{l} \text{بخار اشباع} \\ z_{f_3} = 0.58 \end{array} \right. \Rightarrow y_{F_3} = 0.58$$

پس خوراک F_1 بالاتر از همه و سپس خوراک F_3 و در نهایت خوراک F_2 می‌شوند.

۲۴ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$\frac{n_{AF}}{n_{AW}} = \left(\frac{n_{BF}}{n_{BW}} \right)^{\alpha_{AB}} \Rightarrow 9 = \left(\frac{n_{BF}}{n_{BW}} \right)^2 \Rightarrow \frac{n_{BF}}{n_{BW}} = 3$$

۲۵ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$\text{معادله ريله در معيان} \Rightarrow \left. \int_{50}^{20} \frac{dV}{V} = \int_{0.5}^{y_D} \frac{dy}{x-y} \right\} \Rightarrow \ln \frac{20}{50} = \int_{0.5}^{y_D} \frac{dy}{\frac{1}{2}y - y} = -2 \ln \frac{y_D}{0.5} \Rightarrow y_D = 0.79$$

, $y = 2x$

۲۶ - گزینه ۲ صحیح می باشد.

با توجه به متن درس.

۲۷ - گزینه ۲ صحیح می باشد.

پس با توجه به شکل های متن درس سیستم دارای آزنوتروپ با فشار ماکزیمم می باشد.

$$\left. \begin{array}{l} 0 < x \leq 0.7 \Rightarrow y > x \\ 0.8 \leq x < 1 \Rightarrow x > y \end{array} \right\}$$

۲۸ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

با توجه به متن درس.

۲۹ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

با توجه به متن درس.

۳۰ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

حداکثر غلظت محصول مربوط به ابتدای فرایند می باشد.

$$y_{D, \max} = \frac{\alpha x_F}{1 + (\alpha - 1)x_F} = \frac{2 \times 0.5}{1 + 0.5} = 0.667$$

۳۱ - گزینه ۳ و ۴ صحیح می باشند.

با تغییر غلظت مقدار α تغییر می کند و هرچه جزء مولی ماده فرار به یک نزدیک شود مقدار α افزایش می یابد پس گزینه ۴ صحیح است و همچنین مقدار α با تغییر فشار نیز تغییر می کند و با افزایش فشار، منحنی تعادلی به خط $y = x$ نزدیک تر می شود و در نتیجه α کاهش می یابد پس گزینه سوم نیز صحیح است.

لازم به ذکر است که مقدار α با دما نیز تغییر می کند و با افزایش دما، مقدار α افزایش می یابد.

۳۲ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$\text{شیب خط عملیاتی در منطقه 2} = \frac{\bar{L}}{\bar{G}} = \frac{L-S}{G} = \frac{RD-S}{(R+1)D} = \frac{2 \times 20 - 25}{3 \times 20} = \frac{15}{60} = 0.25$$

۳۳ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

همان طور که در متن درس اشاره شده است تعداد کل مراحل مورد نیاز در حالت خوراک ورودی به صورت مایع سرد کمتر از حالت خوراک ورودی به صورت مایع اشباع می باشد. دبی جریان گاز در قسمت دفع برابر است با \bar{G} و داریم:

$$\bar{G} - G = (q-1)F \Rightarrow \bar{G} = G + (q-1)F$$

خوراک ورودی به صورت مایع اشباع $\Rightarrow q=1 \Rightarrow \bar{G}=G$

خوراک ورودی به صورت مایع سرد $\Rightarrow q>1 \Rightarrow \bar{G}>G$

پس دبی جریان گاز در حالت خوراک ورودی به صورت مایع سرد در قسمت دفع «قسمت پایین ورودی خوراک» بیشتر از حالت مایع اشباع می‌باشد پس قطر برج در این حالت در قسمت دفع افزایش می‌یابد.

۳۴- گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$x_{\Delta w} = \frac{wx_w}{w-s} = \frac{4}{\frac{4}{0.04}-s} = 0.05 \Rightarrow s=20$$

۳۵- گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$\alpha \ln \frac{F(1-x_F)}{w(1-x_w)} = \ln \frac{Fx_F}{wx_w} \Rightarrow \frac{\alpha \ln 500(1-0.6)}{10(1-0.15)} = \ln \frac{500 \times 0.6}{10 \times 0.15} \Rightarrow \alpha = 1.68$$

۳۶- صورت سؤال اشکال دارد.

معادله خط کار در تبخیر ساده (flash) همواره دارای شیب منفی می‌باشد برای توضیحات بیشتر به متن درس و قسمت محدوده عملکرد flash مراجعه کنید.

۳۷- گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$\text{مقدار ماده A در خوراک} = \frac{40}{100} \times 100 = 40 \text{ mole}$$

$$\text{مقدار ماده A در انتهای تقطیر در مخلوط باقی مانده} = \frac{50}{100} \times 40 = 20 \text{ mole} = wx_w$$

$$\Rightarrow \alpha \ln \frac{F(1-x_F)}{w(1-x_w)} = \ln \frac{Fx_F}{wx_w} = 2.5 \ln \frac{100(1-0.4)}{w-20} = \ln \frac{100 \times 0.4}{20} \Rightarrow w = 65.45 \text{ mole}$$

$$\Rightarrow wx_w = 20 \Rightarrow x_w = \frac{20}{65.45} = 0.3$$

۳۸- صورت سؤال اشکال دارد.

عرض نقطه محل تقاطع خط خوراک و خط کار بالای برج 0.5 می‌باشد. پس داریم:

$$y = \frac{R}{R+1}x + \frac{x_D}{R+1} \Rightarrow 0.5 = \frac{R}{R+1}x + \frac{0.95}{R+1}$$

که یک معادله و دو مجهول می‌باشد که بی‌نهایت جواب دارد ولی اگر فرض کنیم منظور طراح از عرض، عرض از مبدأ باشد داریم:

$$\frac{x_D}{R+1} = 0.5 \Rightarrow \frac{0.95}{R+1} = 0.5 \Rightarrow R = 0.9$$

$$\frac{R}{R_{\min}} = \frac{0.9}{0.45} = 2$$

۳۹- گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$\text{موازنه جرم حول برج} \begin{cases} F = D + W \\ Fz_f = Dx_D + wx_w \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 100 = D + w \\ 100 \times 0.5 = D \times 0.9 + w \times 0.1 \end{cases} \Rightarrow D = 50 \frac{\text{lbmol}}{\text{hr}}, w = 50 \frac{\text{lbmol}}{\text{hr}}$$

$$\left. \begin{aligned} G = D + L \\ \bar{G} = G + (q-1)F \Rightarrow \bar{G} = G \end{aligned} \right\} \Rightarrow V_0 = 50 + L \Rightarrow L = 20 \frac{\text{lbmole}}{\text{hr}}$$

$$\Rightarrow R = \frac{L}{D} = \frac{20}{50} = 0.4$$

۴۰- گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$\text{معادله Underwood برای خوراک مایع اشباع} \Rightarrow R_{\min} = \frac{1}{\alpha - 1} \left[\frac{x_D}{x_F} - a \frac{(1-x_D)}{(1-x_F)} \right]$$

$$\text{اگر } x_D = 1 \Rightarrow R_{\min} = \frac{1}{(\alpha - 1)x_F}$$

۴۱ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$\alpha \ln \frac{F(1-x_F)}{w(1-x_w)} = \ln \frac{Fx_F}{wx_w} \Rightarrow \alpha \ln \frac{100 \times (1-0.6)}{40 \times (1-0.1)} = \ln \frac{100 \times 0.6}{40 \times 0.1} \Rightarrow \alpha = 25.79$$

۴۲ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$\text{معادله خط کار ناحیه II} \Rightarrow y = \frac{R - \frac{S}{D}}{R+1} x + \frac{x_D + \frac{S}{D} x_s}{R+1} \Rightarrow \text{شیب خط کار} = \frac{R - \frac{S}{D}}{R+1} = \frac{2 - \frac{5}{20}}{2+1} = \frac{7}{12}$$

۴۳ - گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$0 < \frac{q}{q-1} < 1 \Rightarrow q < 0 \Rightarrow \text{خوراک به صورت بخار داغ}$$

۴۴ - گزینه ۲ صحیح می باشد.

خط کار پایین برج از نقطه تقاطع خط کار بالای برج و خط خوراک عبور می کند که مختصات این نقطه به صورت زیر به دست می آید:

$$\left. \begin{array}{l} \text{معادله خط خوراک } y = 0.6 \\ \text{معادله خط کار بالا } y = 0.75x + 0.225 \end{array} \right\} \Rightarrow y = 0.6, x = 0.5$$

و همچنین خط کار پایین برج open steam از نقطه $(x_w, 0)$ نیز می گذرد $(0.1, 0)$ بنابراین داریم:

$$\frac{y-y_1}{x-x_1} = \frac{y_2-y_1}{x_2-x_1} = \frac{y-0}{x-0.1} = \frac{0.6-0}{0.5-0.1} \Rightarrow y = 1.5x - 0.15$$

۴۵ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$\text{کندانسور جزئی و ریویلر} \Rightarrow N_{\min} + 2 = \frac{\log \left(\frac{y_D(1-x_w)}{x_w(1-y_D)} \right)}{\log \alpha_{ave}} \Rightarrow 4 + 2 = \frac{\log \frac{0.9 \times (1-0.1)}{0.1(1-0.9)}}{\log \alpha_{ave}} \Rightarrow \alpha_{ave} = 2.08$$

۴۶ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

روش اول

$$\left. \begin{array}{l} y = 0.5x + 0.25 \\ y = x \end{array} \right\} \Rightarrow y = 0.5y + 0.25 \Rightarrow y = 0.5 = z_f$$

روش دوم

$$y = 0.5x + 0.25 = \frac{q}{q-1} x - \frac{z_f}{q-1} \Rightarrow \frac{q}{q-1} = 0.5 \Rightarrow q = -1$$

$$0.25 = -\frac{z_f}{q-1} \Rightarrow z_f = 0.5$$

۴۷ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$\text{معادله Underwood برای خوراک بخار اشباع} \Rightarrow R_{\min} = \frac{1}{\alpha - 1} \left[\frac{\alpha x_D}{x_F} - \frac{1-x_D}{1-y_F} \right] - 1$$

$$\Rightarrow R_{\min} = \frac{1}{3-1} \left[\frac{3 \times 0.9}{0.5} - \frac{1-0.9}{1-0.5} \right] - 1 \Rightarrow R_{\min} = 1.6$$

۴۸- گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$\left. \begin{array}{l} \Rightarrow \frac{R}{R+1} \\ \text{شیب خط کار بالای برج} \\ R \downarrow \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{R}{R+1} \downarrow \text{ کاهش می یابد.}$$

با کاهش نسبت جریان برگشتی خط کار به منحنی تعادل نزدیک تر می شود که باعث افزایش تعداد مراحل تئوری می گردد.

۴۹- گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$y = -1.5x + 1 = \frac{q}{q-1}x - \frac{z_f}{q-1} \Rightarrow \frac{q}{q-1} = -1.5 \Rightarrow q = 0.6$$

۵۰- گزینه ۳ صحیح می باشد.

این تست در متن درس، حل شده است.

۵۱- گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$y = \frac{R - \frac{s}{D}}{R+1}x + \frac{x_D + \frac{s}{D}x_s}{R+1}$$

$$\text{شیب خط کار} \Rightarrow \frac{R - \frac{s}{D}}{R+1} = \frac{2.1 - \frac{3}{4}}{2.1+1} = 0.435$$

۵۲- گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$\text{معادله ریله برای تقطیر Batch} \Rightarrow \left. \int_F^w \frac{dL}{L} = \int_{z_f}^{x_w} \frac{dx}{y-x} \right\} \Rightarrow \left(\frac{F}{w} \right)^6 = \frac{z_f}{x_w} \Rightarrow \left(\frac{1000}{w} \right)^6 = \frac{0.8}{0.2} = 4$$

$$\Rightarrow w = 793$$

۵۳- گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$\text{بار حرارتی کندانسور جزئی} \Rightarrow Q_C = RD(H_{G_1} - H_{L_0}) \square RD\lambda$$

$$RD\lambda = \dot{m}C_p\Delta T \Rightarrow 4 \times 5 \times 10^3 \times 8.4 \times 10^3 = \dot{m} \times 4.2 \times 10^3 \times 5 \Rightarrow \dot{m} = 8000 \frac{\text{kg}}{\text{hr}}$$

۵۴- گزینه ۲ صحیح می باشد.

با توجه به متن درس.

۵۵- گزینه ۳ صحیح می باشد.

با توجه به متن درس.

۵۶- گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$H_{xy} = 1 + \text{تعداد جریان جانبی} + \text{تعداد خوراک} = \text{تعداد نقاط تفاضل در مختصات}$$

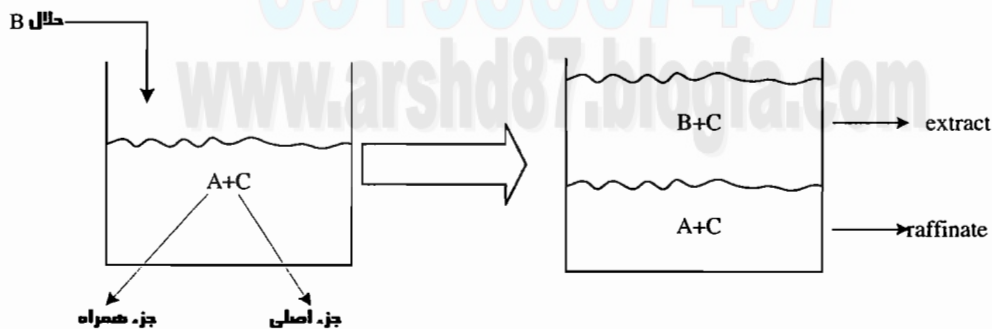
پس مجموع تعداد جریان های جانبی و خوراک در این مسئله برابر سه می باشد پس فقط گزینه دوم می تواند صحیح باشد.

فصل هشتم

استخراج مایع - مایع

۱-۸ مقدمه

استخراج مایع - مایع که به آن استخراج با حلال هم گفته می‌شود، یک فرایند غیرمستقیم است^۱ که در آن اجزای یک محلول مایع به وسیله تماس با یک مایع نامحلول دیگر جدا می‌شود



اگر موادی که جزئی از محلول اولیه هستند به مقدار متفاوتی در دو فاز مایع پخش شوند جداسازی نسبی حاصل می‌شود که به این عملیات استخراج مایع - مایع می‌گویند برای انجام جداسازی کامل - جداسازی C از B - می‌توان از عملیات انتقال جرم دیگر مانند، مجاورسازی، جذب گازی و یا تقطیر استفاده کرد

به عنوان مثال برای جداسازی اسیداستیک - جزء اصلی - از آب - جزء همراه - می‌توان از مایعی مانند اتیل استات - حلال - استفاده کرد در این صورت اسیداستیک در اتیل استات به مقدار بیشتری نسبت به آب حل می‌شود و جداسازی نسبی حاصل می‌گردد

۲-۸ موارد استفاده از استخراج مایع - مایع

از روش‌های غیرمستقیم نمی‌توان برای بدست آوردن محصول خالص استفاده کرد ولی در بعضی موارد ناگزیر به استفاده از این روش‌ها می‌باشیم و در مواردی نیز محاسبات اقتصادی تعیین کننده استفاده از این روش‌ها می‌باشند

به عنوان مثال جداسازی اسیداستیک از آب به وسیله تقطیر به سختی انجام می‌شود به همین جهت ابتدا به وسیله استخراج عمل جداسازی نسبی انجام می‌گیرد و سپس محصول مورد عمل تقطیر قرار می‌گیرد که حالت دوم اقتصادی‌تر می‌باشد و یا در مواردی که گرمای نهان تبخیر مواد بالا می‌باشند استفاده از استخراج ارجحیت می‌یابد درباره محلول‌های آزنوتروپی که مانند ماده خالص دارای یک نقطه جوش می‌باشند - محدوده جوش ندارند - مجبور به استفاده از استخراج می‌باشیم ویتامین‌ها و مواد حساس به دما را نیز به وسیله استخراج، مورد عملیات انتقال جرم قرار می‌دهند.

در مورد محلول‌هایی که ضریب فراریت نسبی آن‌ها نزدیک یک می‌باشد نمی‌توانیم از تقطیر برای جداسازی استفاده کنیم و استخراج گزینه مناسبی می‌باشد.

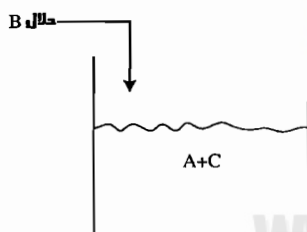
با توجه به این‌که اساس استخراج بر پایه اختلاف در خواص شیمیایی می‌باشد، و در آن واکنشی صورت نمی‌گیرد می‌تواند به عنوان روش جایگزینی برای روش‌های شیمیایی باشند که با انجام واکنش - و در نتیجه تولید محصولات جانبی - به انجام جداسازی می‌پردازند مانند جداسازی فلزاتی مانند اورانیم و انادیم و مولیبدن و مواد حاصل از فیسین در فرایندهای تولید انرژی اتمی

۳-۸ علائم و تعریف‌ها

A: جزء همراه

B: حلال

C: جزء اصلی



E-Extract استخراج شده : فازی که مقدار B در آن زیاد است - غنی از حلال -

R-Raffinate پس ماند : فازی که مقدار A در آن زیاد است - غنی از همراه -

$$x: \text{کسر جرمی جزء اصلی C- در فاز R- پس ماند-} \left(\frac{\text{جرم C}}{\text{جرم A} + \text{جرم C} + \text{جرم B}} \right)$$

y: کسر جرمی جزء اصلی C- در فاز E- استخراج شده -

$$X: \text{کسر جرمی جزء اصلی C- در فاز R- پس ماند- براساس عاری از B-} \frac{\text{جرم C}}{\text{جرم A} + \text{جرم C}}$$

$$Y: \text{کسر جرمی جزء اصلی C- در فاز E- استخراج شده براساس عاری از B-} \left(\frac{\text{جرم C}}{\text{جرم A} + \text{جرم C}} \right)$$

$$N: \text{کسر جرمی حلال B- براساس عاری از B-} \frac{\text{جرم B}}{\text{جرم A} + \text{جرم C}}$$

β : فاکتور گزینش پذیری به صورت نسبت $\frac{\left(\frac{C}{A}\right)_E}{\left(\frac{C}{A}\right)_R}$ تعریف می شود

برای انجام جداسازی باید $\beta > 1$ باشد در سیستم‌هایی که $y < x$ می باشد به شرط این که $\beta > 1$ باشد عمل جداسازی به وسیله استخراج صورت می گیرد اما میزان حلال مصرفی افزایش می یابد.

$$\beta = \frac{\frac{\text{جزء جرمی C در فاز E}}{\text{جزء جرمی A در فاز E}}}{\frac{\text{جزء جرمی C در فاز R}}{\text{جزء جرمی A در فاز R}}}$$

در صورت به کار بردن نسبت‌های عاری از حلال «Y,X» داریم:

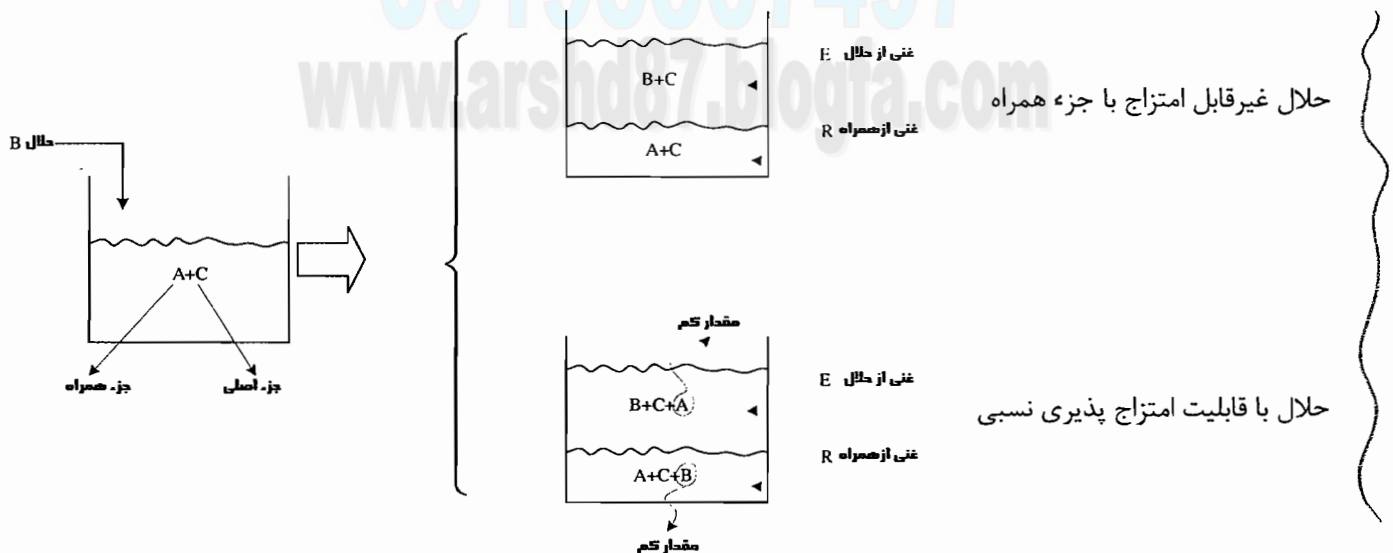
$$Y = \frac{\beta X}{1 + (\beta - 1)X}$$

K: ضریب توزیع: به صورت نسبت غلظت جزء C در فاز E به فاز R تعریف می شود

$$K = \frac{y}{x}$$

۴-۸ انواع استخراج و نمودارهای به کار رفته در عملیات استخراج مایع مایع

به طور کلی عملیات استخراج به دو شکل - که بستگی به نوع حلال دارد - انجام می گیرد



پس در مورد حلال غیرقابل امتزاج با جزء همراه داریم

کسر وزنی B در فاز E: $1 - y$ ⇒ کسر وزنی C در فاز E: y

کسر وزنی A در فاز R: $1 - x$ ⇒ کسر وزنی C در فاز R: x

و در مورد حلال با قابلیت امتزاج پذیری نسبی داریم

کسر وزنی A, B در فاز E: $1 - y$ ⇒ کسر وزنی C در فاز E: y

مجموع کسر وزنی‌های A, B در فاز R: $1 - x$ ⇒ کسر وزنی C در فاز R: x

در مورد حلال غیر قابل امتزاج، فاکتور گزینش پذیری، بی معنی می شود

$$\beta = \frac{\left(\frac{C}{A}\right)_E}{\left(\frac{C}{A}\right)_R} = \frac{\frac{y}{0}}{\frac{x}{1-x}} = !!$$

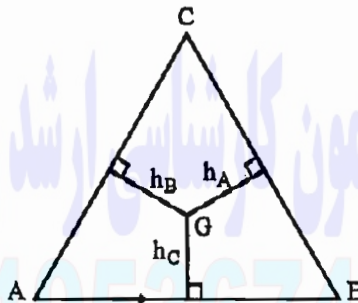
و در مورد حلال با قابلیت امتزاج پذیری نسبی داریم:

$$\beta = \frac{\left(\frac{C}{A}\right)_E}{\left(\frac{C}{A}\right)_R} = \frac{\frac{y}{A_E}}{\frac{x}{A_R}}, A_E \neq 1-y$$

در این حالت

$$A_R \neq 1-x$$

و با توجه به موجود بودن هر سه جزء در دو فاز برای مشخص کردن غلظت سه جزء A و B و C - در هر فاز نیازمند استفاده از مختصات مثلثی می باشیم که در شکل زیر نمونه ای از آن نشان داده شده است

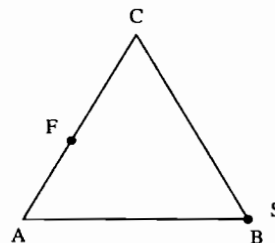
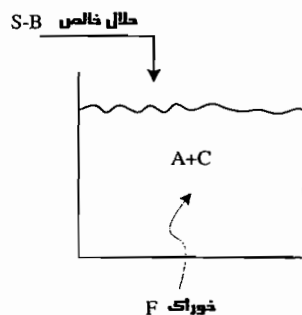


برای مشخص کردن غلظت محلولی مانند G، خطوط عمودی بر سه ضلع مثلث رسم می کنیم که هر یک از این خطوط بیانگر کسر جرمی هر یک از اجزا در محلول می باشند

$$x_A = \frac{h_A}{\text{ارتفاع مثلث}}, \quad x_B = \frac{h_B}{\text{ارتفاع مثلث}}, \quad x_C = \frac{h_C}{\text{ارتفاع مثلث}}$$

$$\text{ارتفاع مثلث} = h_A + h_B + h_C$$

برای رسم نمودار مثلثی مخلوط دو فازي R و E و مشخص کردن منطقه دو فازي به صورت زیر عمل می کنیم
(۱) با توجه به غلظت های اجزا - C و B و A - نقاط F مربوط به خوراک - و S - مربوط به حلال - را در روی نمودار مشخص می کنیم

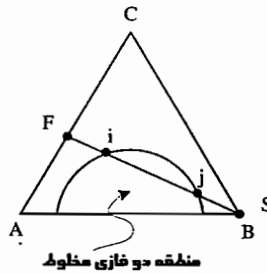


- خوراک فاقد B می باشد بنابراین نقطه F روی خط AC قرار دارد که در این شکل مقدار A در خوراک بیشتر از C می باشد حلال،

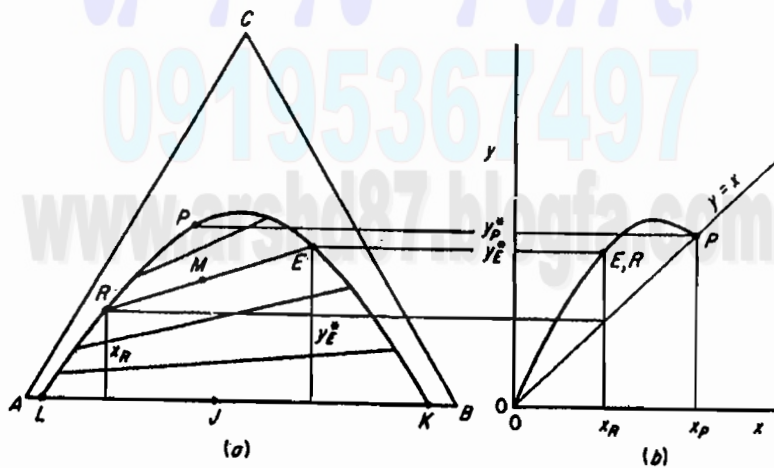
خالص می باشد پس نقطه S بر روی راس B قرار دارد

۲) حال حلال را به خوراک اضافه می‌کنیم تا مخلوط A و B و C به وجود آید با اضافه شدن حلال در یک نقطه مخلوط به حالت دوفازی در می‌آید - نقطه i - این نقطه، شروع منطقه دو فازی می‌باشد اضافه کردن حلال را ادامه می‌دهیم تا این که در یک نقطه - نقطه j - مخلوط از حالت دو فازی خارج می‌شود و تک فازی می‌شود

۳) این کار را در غلظت‌های مختلف خوراک ورودی تکرار می‌کنیم تا منحنی مشخصه منطقه دو فازی حاصل می‌گردد



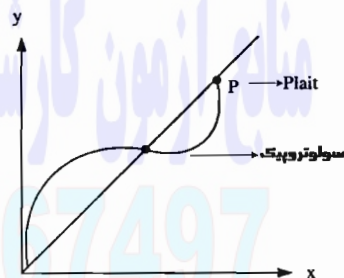
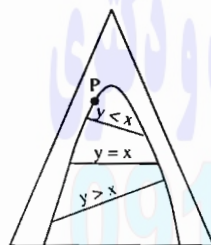
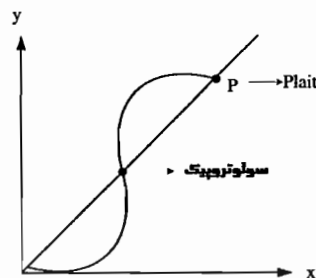
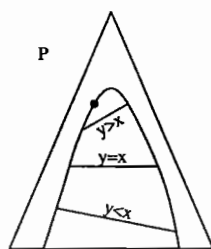
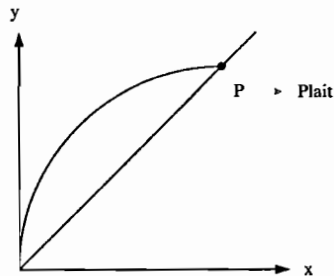
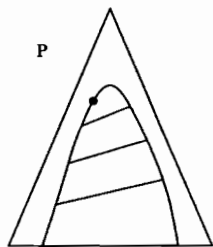
با استفاده از نمودار تعادلی می‌توانیم خطوط tie line را در مختصات مثلثی رسم کنیم که خط اتصال بین ترکیب درصد‌های تعادلی در دو فاز را نشان می‌دهد این خطوط موازی نمی‌باشند طول tie line ها به تدریج کاسته می‌شود تا این که در نقطه p - plait - صفر می‌شود و در این نقطه مقدار C در هر دو فاز یکسان است منحنی‌های حلالیت فازهای E و R در نقطه P به هم می‌رسند همان طور که گفته شد این نقطه آخرین نقطه ناحیه دوفازی است - در این نقطه مخلوط تک فاز می‌باشد -



سیستم سه‌گانه مایع با حلالیت جزئی یک زوج

شیب خطوط tie line ها معمولا در یک جهت تغییر می‌کند - یا دارای شیب مثبت هستند یا منفی - اما در بعضی از سیستم‌ها - سیستم‌های سولوتروپیک - جهت تغییرات شیب tie line ها تغییر می‌کند که در نتیجه یکی از خطوط، افقی می‌شود که به آن نقطه، نقطه سولوتروپیک می‌گویند

نقطه سولوتروپیک، همانند نقطه آزوتروپ در تقطیر است ($y = x$) با این تفاوت که با وجود نقطه سولوتروپیک مشکلی در استخراج به وجود نمی‌آید



منحنی سمت راست نقطه Plait در مختصات مثلثی که غنی از حلال می باشد غلظت های مربوط به فاز E را نشان می دهد - y -
و منحنی سمت چپ نقطه Plait در مختصات مثلثی که غنی از جزء همراه می باشد غلظت های مربوط به فاز R را نشان
می دهد - x -

در جدول زیر نقطه سولوتروپیک با نقطه Plait مقایسه شده است

نقطه سولوتروپیک	نقطه Plait
$y = x$	$y = x$
دو فازی	تک فاز - آخرین نقطه ناحیه دو فازی
tie line طول $\neq 0$	tie line طول = 0
$\Delta\rho \neq 0$ $\sigma \neq 0$	$\Delta\rho = 0$ $\sigma = 0$
$\beta \neq 1$	$\beta = 1$

نکته : نقطه Plait همان طور که مشاهده کردید نقطه ماکزیمم منحنی نیست

قانون اهرم در مختصات مثلثی

اگر R کیلوگرم از مخلوط R را که غلظت جزء C در آن برابر x_R می‌باشند با E کیلوگرم از مخلوط E را که به غلظت جزء C در آن x_E می‌باشد مخلوط کنیم مخلوط جدیدی حاصل می‌شود. که اولاً این مخلوط -M- در روی خط RE قرار دارد و رابطه زیر درباره آن برقرار است

$$\frac{R}{E} = \frac{\overline{ME}}{\overline{RM}} = \frac{\overline{EP}}{\overline{PS}}$$

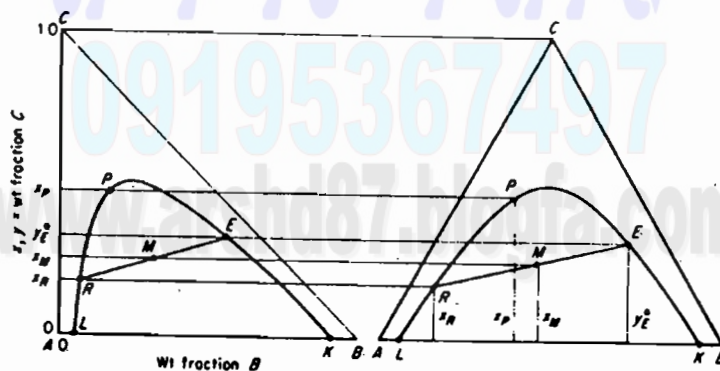
$$R \cdot \overline{RM} = E \cdot \overline{ME}$$

غلظت جزء C در مخلوط جدید -M- را می‌توان با استفاده از موازنه جرم بدست آورد

$$\left. \begin{aligned} R + E &= M \\ R x_R + E x_E &= M x_m \end{aligned} \right\} \text{ دو معادله و دو مجهول} \rightarrow x_m = \frac{R x_R + E x_E}{R + E}$$

مختصات قائم

با توجه به این که غلظت‌های جزء اصلی و حلال از اهمیت بیشتری نسبت به جزء همراه برخوردار هستند برای این که مقیاس غلظت C و B را افزایش دهیم تا دقیق‌تر به مقایسه آن‌ها بپردازیم از مختصات قائم استفاده می‌کنیم تمام روابط استفاده شده در مختصات مثلثی را در این جا نیز می‌توان استفاده نمود

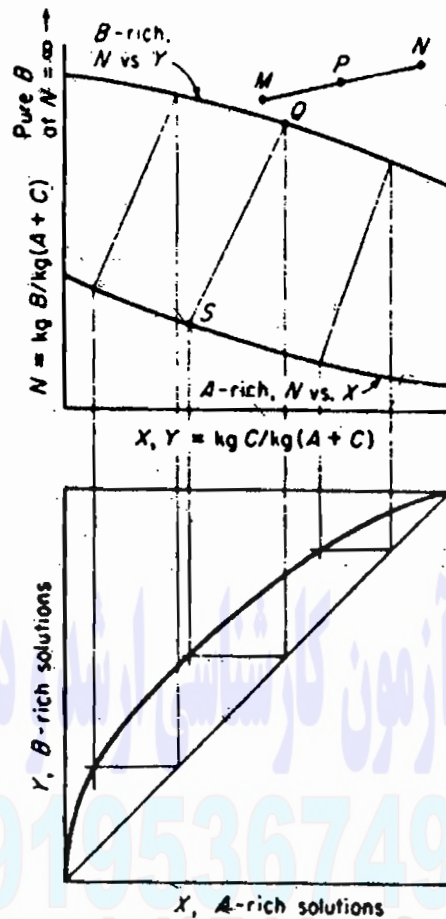


سیستم سه گانه مایع با حلالیت جزئی یک زوج

یک روش دیگر نشان دادن غلظت‌ها رسم N - بر حسب x و y

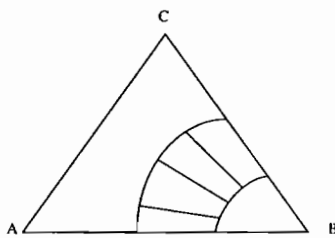
جرم B
جرم C + جرم A
جرم C
جرم C + جرم A

در فاز E و R - می باشد که در شکل زیر نشان داده شده است



مختصات قائم بر اساس بودن حلال، برای سیستم‌های دارای دو زوج مایع با حلالت جزئی

مثال : با توجه به شکل زیر کدام گزینه صحیح می باشد

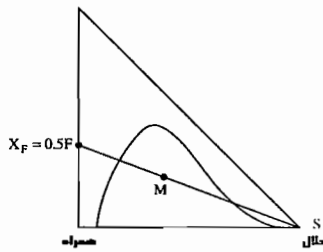


- (۱) A و B به هر نسبتی در یکدیگر محلول اند
- (۲) B و C به هر نسبتی در یکدیگر محلول اند
- (۳) A و C به هر نسبتی در یکدیگر محلول اند
- (۴) خطوط دوفازی دارای نقطه سولوتروپیک می باشد

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

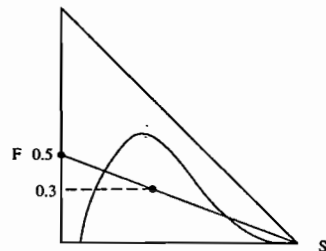
با توجه به این که شیب خطوط رابط همواره منفی می باشند پس مخلوط دوفازی دارای نقطه سولوتروپیک نمی باشد و همان طور که می بینید مخلوط B و C - خط BC - در بعضی از غلظت‌های B و C در ناحیه دو فازی قرار دارد پس این دو جزء - B و C - به هر نسبتی در یکدیگر محلول نمی باشند همین را در مورد A و B نیز می شود نتیجه گرفت

مثال : در شکل زیر در صورتی که مخلوط حلال و خوراک در $x_m = 0.3$ واقع شود. حلال مصرفی چند برابر خوراک بوده است.



- (۱) 2.5
 (۲) 0.667
 (۳) 1.5
 (۴) 0.4

حل : گزینه ۲ صحیح می باشد.



$$\left. \begin{aligned} S \times \overline{SM} &= F \times \overline{FM} \\ \frac{\overline{SM}}{\overline{FM}} &= \frac{0.3}{0.2} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{S}{F} = \frac{\overline{FM}}{\overline{SM}} = \frac{2}{3} = 0.667$$

با توجه به قانون اهرم

مثال : در فرایند استخراج مایع - مایع ، ضریب جداسازی β در نقطه پلایت Plait چه قدر است؟

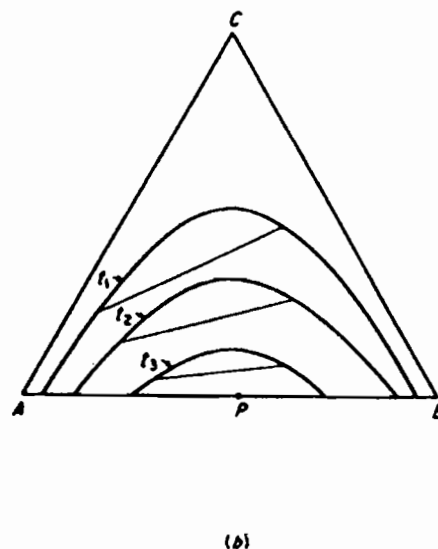
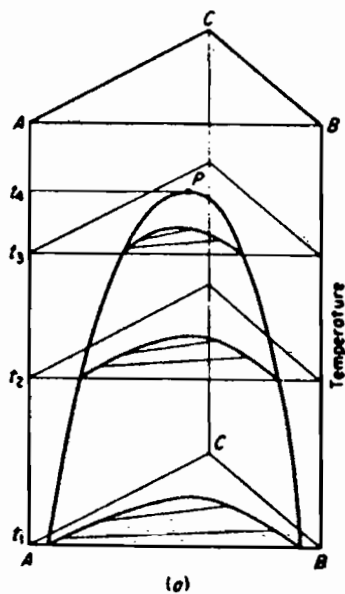
- (۱) $B < 1$
 (۲) بستگی به شرایط عملیاتی دارد
 (۳) $B = 1$
 (۴) $B > 1$

حل : گزینه ۳ صحیح می باشد.

با توجه به متن درس

۵-۸ اثرات دما و فشار

عملیات استخراج مایع - مایع متکی بر تشکیل ناحیه دو فازی می باشد با افزایش دما، حلالیت مواد در یکدیگر افزایش می یابد و ناحیه دو فازی کوچکتر می شود بنابراین بهتر است عملیات استخراج در دمای پایین انجام شود.



اثر درجه حرارت بر روی تعادل سه تایی

نکته : دما بر روی شیب خطوط رابط - tie line - نیز تاثیر می‌گذارد

تغییر فشار عموماً بر عملیات استخراج مایع تاثیر ندارد به جز در فشارهای بسیار بالا و فشارهای پایین‌تر از فشار بخار محلول. در فشارهای پایین‌تر از فشار بخار محلول، فاز بخار تشکیل می‌شود و باعث به هم خوردن تعادل مایع می‌شود

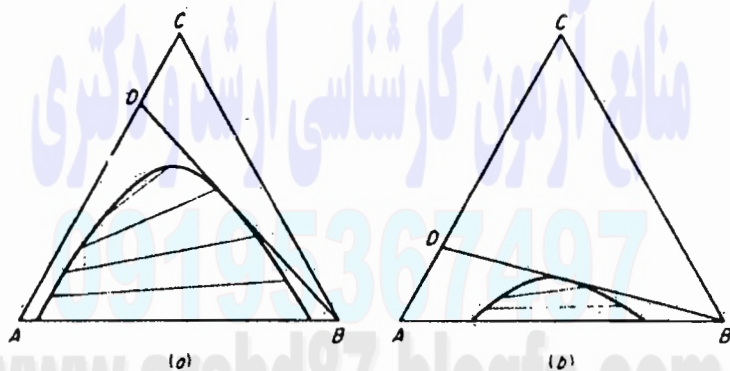
۶-۸ انتخاب حلال

برای انتخاب حلال مناسب باید خصوصیات زیر را مدنظر داشته باشیم

(۱) حلال باید گزینش پذیری بالایی - β - داشته باشد لازم به ذکر است که برای انجام جداسازی به روش استخراج باید $B > 1$ باشد ضریب جداسازی یا فاکتور گزینش پذیری با غلظت حل شونده - C - تغییر می‌کند به طوری که در نقطه پلایت - Plait - برابر یک می‌شود

(۲) حداکثر امکان دارای ضریب توزیع بزرگ‌تر از یک باشد همان طور که گفته شد جداسازی به روش استخراج در صورتی که $k < 1$ باشد نیز انجام می‌شود ولی میزان حلال مصرفی زیاد خواهد شد

(۳) حلال باید محدوده دو فازی وسیعی ایجاد کند - نامحلول بودن حلال - همان طور که در شکل می‌بینید حلال a برای انجام جداسازی مناسب‌تر می‌باشد



اثر حلالیت حلال در استخراج

(۴) قابلیت بازیابی: همان طور که گفته شد از عملیات غیرمستقیم برای تهیه محصولات خالص نمی‌توان استفاده کرد برای بدست آوردن محصول خالص و همچنین بازیابی مجدد حلال برای استفاده مجدد لازم است که عملیات دیگری مانند تقطیر انجام شود که در این صورت ماده حل شونده استخراج شده - C - نباید با حلال - B - ایجاد آزنوتروپیک کند و مخلوط برای کم شدن هزینه بازیابی حداکثر امکان فراریت بالایی داشته باشد و گرمای نهان تبخیر آن کم باشد

(۵) دو فاز ایجاد شده توسط حلال باید اختلاف دانسیته بالایی داشته باشند لازم به ذکر است که اختلاف دانسیته فازها در نقطه پلایت - Plait - برابر صفر می‌شود

(۶) کشش سطحی: هر چه کشش سطحی دو فاز بیشتر باشد پیوستگی ذرات امولسیون بیشتر می‌شود و از طرف دیگر پراکندگی مایع در مایع دیگر سخت‌تر می‌شود - که این مشکل - مشکل پراکندگی - را با افزایش دور هم‌زن می‌توان رفع کرد بنابراین کشش سطحی بالا مطلوب می‌باشد

(۷) حلال باید از نظر شیمیایی پایدار باشد و نسبت به دیگر اجزا و مواد سازنده دستگاه‌ها خنثی باشد

(۸) ویسکوزیته حلال - برای راحتی حمل و نقل - فشار بخار حلال - برای راحتی انبار کردن و کم کردن ضایعات - و نقطه ذوب حلال -

۷-۸ واحدهای عملیاتی

محاسبات استخراج برای واحدهای عملیاتی به دو بخش زیر تقسیم می‌شوند که در هر بخش به طور مجزا سه الگوی جریان بررسی می‌شود

(۱) حلال غیرقابل امتزاج با سه الگوی جریان:

(۱) هم‌سو co current

(۲) متقاطع cross current

(۳) ناهم‌سو counter current

(۲) حلال با امتزاج پذیری نسبی با سه الگوی جریان

(۱) هم‌سو co current

(۲) متقاطع counter current

(۳) ناهم‌سو counter current

حالت اول با استفاده از نمودارهای $x-y$ و منحنی تعادل - در فصل چهارم این روش توضیح داده شده است.

(۱) cocurrent



که وقتی حلال غیرقابل امتزاج باشد داریم:

$$R_s = A$$

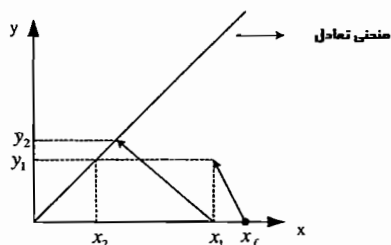
جزء همراه \rightarrow

$$E_s = B$$

حلال \rightarrow

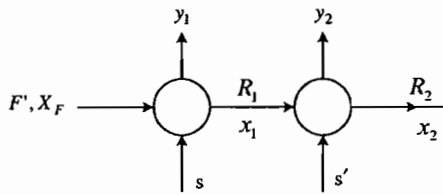
$$\frac{Y_1 - Y_S}{X_1 - X_F} = -\frac{R_s}{E_s} = -\frac{A}{B}$$

(۲) cross current



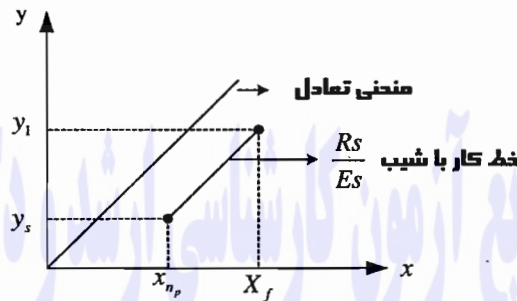
به عنوان مثال در حالی که حلال خالص باشد داریم: $y_s = 0$

$$\frac{Y_1 - 0}{X_1 - X_F} = -\frac{R_s}{E_{sI}}, \quad \frac{Y_2 - 0}{X_2 - X_1} = -\frac{R_s}{E_{sII}}$$

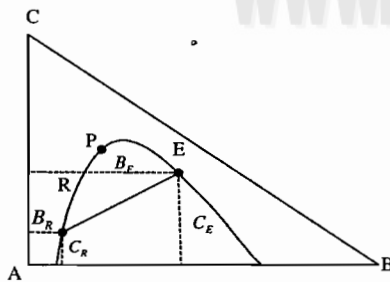


(۳) ناهمسو counter current

$$\frac{Y_s - Y_1}{X_{NP} - X_F} = \frac{A}{B}$$



در مورد حلال با قابلیت امتزاج پذیری نسبی چون هر سه جزء در هر دو فاز به طور نسبی حل می شوند از نمودارهای مثلثی استفاده می کنیم و همان طور که اشاره شد از آن جایی که غلظت های دو جزء اصلی و حلال - B, C - برایمان از اهمیت خاصی برخوردار می باشند از نمودارهای مثلثی قائم الزاویه استفاده می کنیم. در این حالت داریم:



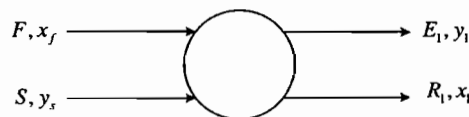
$$A_E = 1 - (C_E + B_E)$$

$$B_R = 1 - (C_R + A_R)$$

A_E غلظت جزء A در فاز E

B_R غلظت جزء B در فاز R

حالت (۱) جریان همسو:



جریان خوراک F و حلال S با یکدیگر ترکیب شده و تشکیل مخلوط M را می دهند و داریم:

x_m : کسر جرمی جزء C در مخلوط M

y_s : کسر جرمی جزء C در حلال اولیه s

y_1 : کسر جرمی جزء C در فاز E

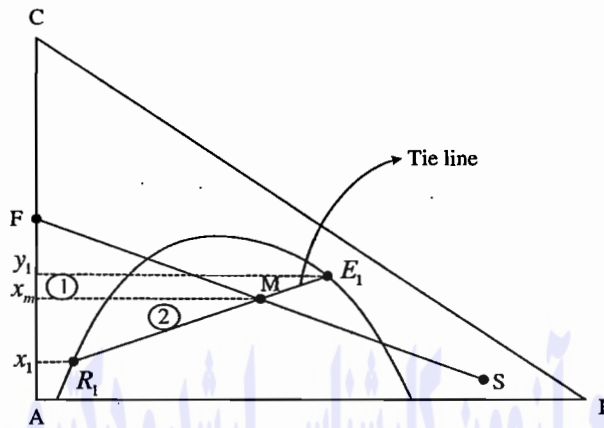
M_1 : کسر جرمی جزء C در فاز R

$$F + S = M = E_1 + R_1$$

$$F x_F + S y_s = M x_M = E_1 y_1 + R_1 x_1$$

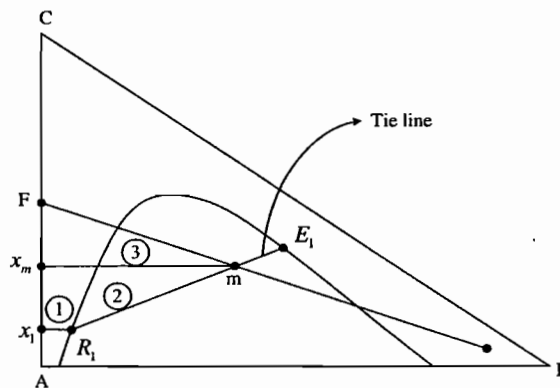
$$\Rightarrow x_M = \frac{x_F + \frac{S}{F} y_s}{1 + \frac{S}{F}}$$

با توجه به موازنه جرم مشخص است که نقاط S ، F و M هر سه بر روی یک خط قرار دارند. حال فرض کنید با مشخص بودن شدت و غلظت خوراک و حلال می‌خواهیم درصد جداسازی را به دست آوریم. ابتدا با توجه به معادله بالا مقدار x_M را محاسبه می‌کنیم، محل تلاقی خط افقی x_M با خط \overline{FS} مشخص کننده نقطه M می‌باشد حال $\overline{tie\ line}$ گذرنده از M را رسم می‌کنیم دو سر این $\overline{tie\ line}$ مشخص کننده نقاط E_1 و R_1 می‌باشند که با توجه به x_1 و y_1 به دست آمده، می‌توان درصد جداسازی را مشخص نمود.

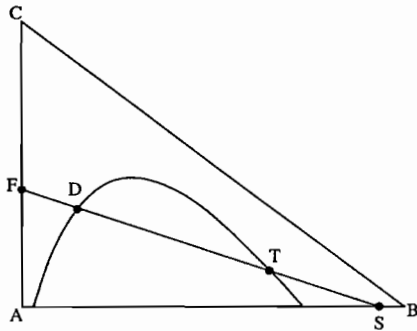


در حالت دوم فرض کنید شدت و غلظت جریان خوراک مشخص است و حلالی با غلظت معین y_s داریم که می‌خواهیم خوراک را تا غلظت x_1 تحت عمل جداسازی قرار دهد، می‌خواهیم میزان حلال مصرفی را به دست آوریم. در این حالت ابتدا خط افقی x_1 را امتداد می‌دهیم تا منحنی منطقه دوفازی را قطع کند - R_1 - عبوری از R_1 را رسم می‌کنیم که خط \overline{FS} را در نقطه M قطع می‌کند که با مشخص شدن x_M و با استفاده از رابطه زیر می‌توان مقدار حلال مصرفی را به دست آورد.

$$x_M = \frac{x_F + \frac{S}{F} y_S}{1 + \frac{S}{F}}$$



نکته : با توجه به قانون اهم مشخص است که نقاط D و T به ترتیب مربوط به مینیموم و ماکزیمم حلال مصرفی می باشد.



$$F \cdot \overline{FD} = S \cdot \overline{SD} \Rightarrow \text{مقدار } S, \text{ مینیمم است}$$

$$F \cdot \overline{FT} = s \cdot \overline{ST} \Rightarrow \text{مقدار } S, \text{ ماکزیمم است}$$

مثال: در فرایند استخراج مایع از مایع یک مرحله‌ای، خوراک ورودی 1000 kg و غلظت 60% وزنی است و از 500 kg حلال خالص استفاده شده است. در امولسیون ایجاد شده، درصد وزنی جزء جداشونده «solute» چقدر است؟
فرآوری و انتقال گاز ۸۳

0.1 (۴)

0.2 (۳)

0.3 (۲)

0.4 (۱)

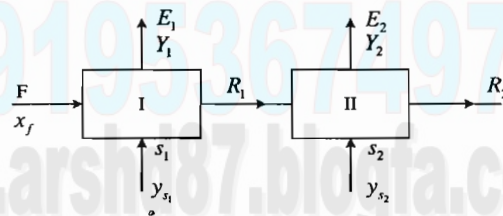
حل: گزینه ۱ صحیح می باشد.

با استفاده از موازنه جرم داریم:

$$F + S = M \Rightarrow 1000 + 500 = 1500 = M$$

$$F x_F + S y_S = M x_M \Rightarrow 1000 \times 0.6 + 0 = 1500 x_M \Rightarrow x_M = 0.4$$

حالت (۲) جریان متقاطع cross current

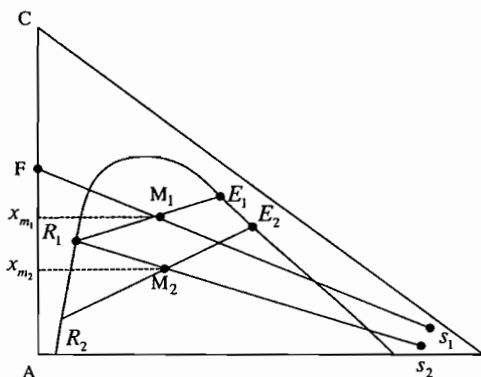


برای هر کدام از مراحل با نوشتن موازنه جرم داریم:

$$\text{I} \begin{cases} F + S_1 = M_1 = E_1 + R_1 \\ F x_F + S_1 y_{S_1} = M_1 x_{M_1} = E_1 y_1 + R_1 x_1 \end{cases}$$

$$\text{II} \begin{cases} R_1 + S_2 = M_2 = E_2 + R_2 \\ R_1 x_{R_1} + S_2 y_{S_2} = M_2 x_{M_2} = E_2 y_{E_2} + R_2 x_{R_2} \end{cases}$$

با توجه به موازنه‌های جرم، نتیجه می گیریم که نقاط $[S_1, M_1, F]$ و نقاط $[S_2, M_2, R_1]$ به یک استقامتند و همچنین داریم:



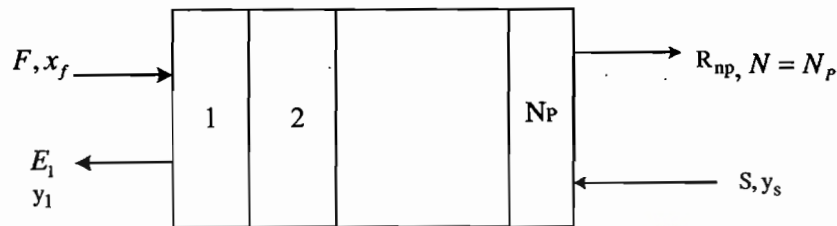
$$x_{M_1} = \frac{F x_F + S_1 y_{S_1}}{F + S_1} \quad \text{I}$$

$$x_{M_2} = \frac{R_1 x_1 + S_2 y_{S_2}}{R_1 + S_2} \quad \text{II}$$

حال فرض کنید با مشخص بودن شدت و غلظت جریان خوراک $-F, x_F-$ و جریان‌های حلال $-S_2, y_{S_2}, S_1, y_{S1}-$ می‌خواهیم درصد جداسازی را به دست آوریم.

ابتدا با استفاده از رابطه I، x_{M_1} را به دست می‌آوریم و با رسم خط افقی از x_{M_1} ، خط FS_1 را در نقطه M_1 قطع می‌کنیم، tie line عبوری از M ، نقاط E_1 و R_1 را به دست می‌دهد حال با استفاده از رابطه II، x_{M_2} را محاسبه می‌کنیم و در نتیجه نقطه M_2 به دست می‌آید که tie line عبوری از M_2 ، نقاط E_2 و R_2 را به دست می‌دهد.

حالت ۳) جریان متقابل counter current



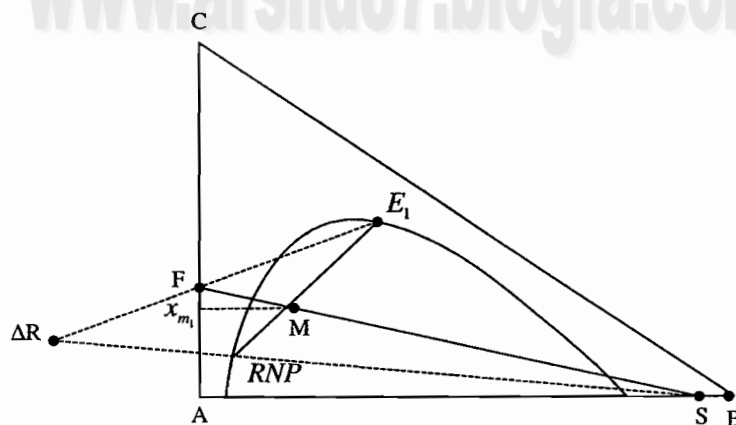
در جریان ناهم‌سو، نقطه M یک نقطه مجازی می‌باشد و نشان‌دهنده یک امولسیون مجازی می‌باشد.

$$\begin{cases} F+S=M=E_1+R_{N_p} & I \\ Fx_F+Sy_S=Mx_M=E_1y_1+R_{N_p}x_{N_p} \end{cases} \Rightarrow x_M = \frac{Fx_F+Sy_S}{F+S}$$

با بازآرایی معادله I داریم:

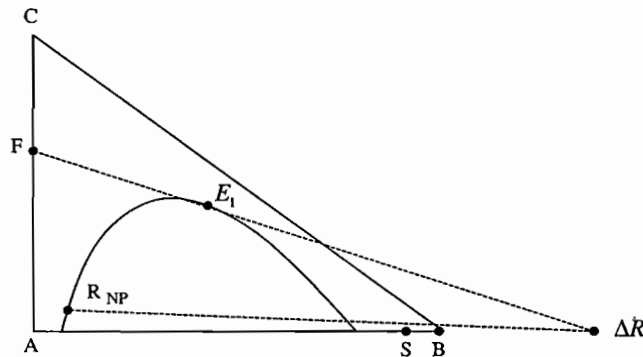
$$F-E_1=R_{N_p}-S=\Delta R$$

که نقطه ΔR نشانگر نقطه تفاضل در مختصات مثلثی می‌باشد.



خطوط کار با استفاده از نقطه ΔR رسم می‌شود - $R_m E_{m+1} \Delta R$ ← خط کار -
و خطوط $R_m E_m$ مشخص کننده tie line می‌باشد.

نکته : نقطه تفاضل می تواند در سمت راست نیز واقع شود.



موقعیت نقطه تفاضل ΔR بستگی به شدت و غلظت خوراک F, x_F و حلال S, y_S و یا نسبت آن‌ها $\frac{F}{S}$ و نیز درصد جداسازی - و یا x_{N_p} یا y_1 دارد.

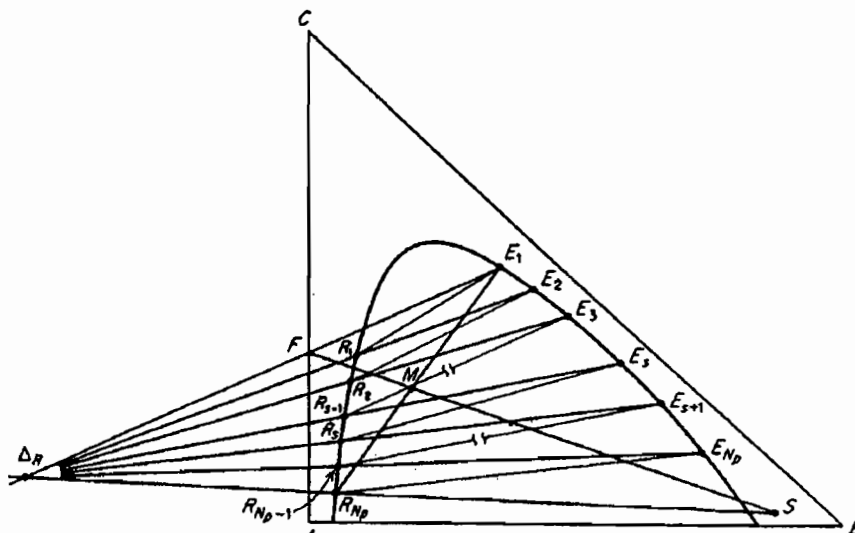
$$\Delta R \text{ موقعیت} = f(\underbrace{F, x_F, S, y_S}_{\text{درصد جداسازی}})$$

$$\frac{F}{S} \text{ و یا نسبت}$$

و یا غلظت R_{N_p} « x_{N_p} »
و یا غلظت E_1 « y_1 »

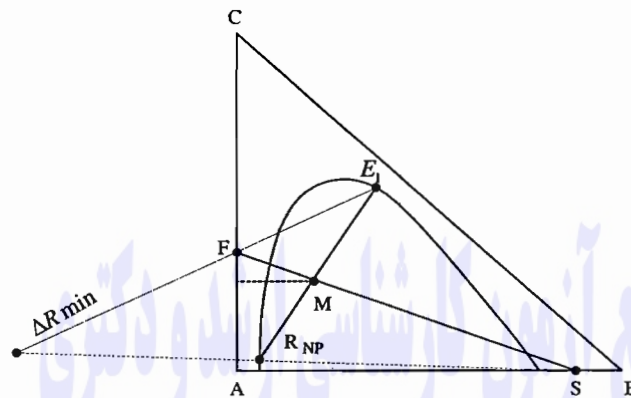
نکته : در تعیین موقعیت نقطه تفاضل، شیب tie line ها هیچ نقشی ندارند.

حال با مشخص بودن شدت و غلظت خوراک F, x_F و حلال S, y_S و نیز درصد جداسازی می خواهیم تعداد مراحل مورد نیاز را تعیین کنیم ابتدا مختصات نقاط معلوم را R_{N_p}, S, F در نمودار مثلثی مشخص می کنیم حال با استفاده از نقطه x_M نقطه M را روی خط \overline{FS} مشخص می کنیم R_{N_p} را به M وصل می کنیم و امتداد می دهیم تا منحنی دو فازی را در نقطه E_1 قطع کنند حال نقطه تقاطع خطوط $\overline{FE_1}$ و $\overline{R_{N_p}S}$ را به دست می آوریم $-\Delta R$ ، با رسم کردن tie line عبوری از E_1 می توانیم نقطه R_1 را مشخص کنیم و R_1 را به ΔR وصل می کنیم و نقطه E_2 را با استفاده از این خط مشخص کنیم و این کار را ادامه می دهیم تا زمانی که خطوط کار $-\Delta R - R_m E_{m+1}$ از نقطه R_{N_p} عبور کند در این صورت تعداد tie line ها مشخص کننده تعداد مراحل مورد نیاز می باشد.



مشخص کردن مینیمم حلال مصرفی

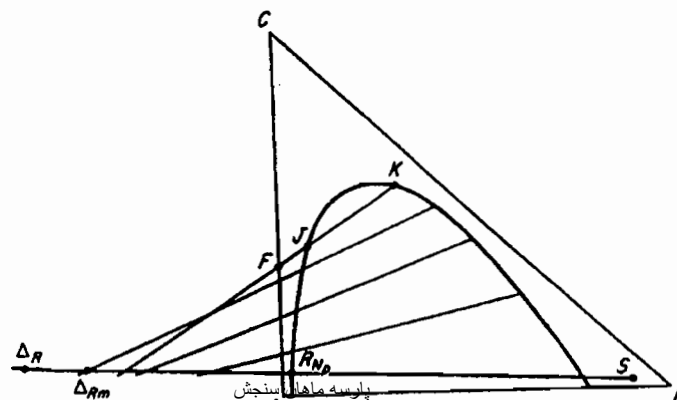
در این حالت فرض می‌کنیم شدت و غلظت خوراک $-F, x_F-$ و نیز درصد جداسازی $-x_{N_p}$ یا $-x_{N_p}$ و همچنین غلظت حلال ورودی مشخص می‌باشد و می‌خواهیم میزان مینیموم حلال مصرفی را تعیین کنیم، می‌دانیم زمانی که میزان حلال مصرفی مینیمم باشد، تعداد مراحل مورد نیاز بی‌نهایت می‌شود برای بی‌نهایت شدن تعداد مراحل، باید خط کار و tie line منطبق بر یکدیگر شوند به همین جهت tie line عبوری از F را رسم می‌کنیم که محل تقاطع این tie line با منحنی دو فاز مشخص‌کننده نقطه E_1 می‌باشد محل تقاطع خطوط $\overline{FE_1}$ و $\overline{SR_{N_p}}$ مشخص‌کننده نقطه ΔR_{min} می‌باشد و محل تلاقی خطوط \overline{FS} و $\overline{E_1R_{N_p}}$ مشخص‌کننده نقطه M می‌باشد که در نهایت با استفاده از $x_M = \frac{Fx_F + Sy_S}{F+S}$ می‌توانیم مقدار حلال مینیمم را به دست آوریم.



نکته: در تعیین موقعیت نقطه ΔR_{min} شیب tie line تأثیر دارند و بسته به شیب tie line ها نقطه ΔR_{min} می‌تواند در سمت راست نیز واقع شود.

نکته: اگر شیب tie line ها مثبت باشد، نقطه ΔR_{min} حتماً سمت چپ واقع می‌باشد و اگر شیب tie line ها منفی باشد، نقطه ΔR_{min} احتمال دارد که در سمت راست واقع شود.

نکته: tie line عبوری از F همواره مشخص‌کننده مقدار حلال مینیمم نمی‌باشد همان‌طور که گفته شد حداقل حلال، بزرگترین مقدار حلالی است که در صورت استفاده از آن میزان، تعداد مراحل بی‌نهایت شود اگر نقطه تفاضل ΔR در سمت چپ قرار بگیرد، دورترین محل تلاقی tie line ها با امتداد خط $\overline{SR_{N_p}}$ مشخص‌کننده نقطه ΔR_{min} است که منجر به محاسبه حداقل حلال می‌شود و اگر نقطه تفاضل ΔR در سمت راست قرار بگیرد، نزدیک‌ترین محل تلاقی tie line ها با امتداد خط $\overline{SR_{N_p}}$ مشخص‌کننده نقطه ΔR_{min} است که منجر به محاسبه میزان حداقل حلال مصرفی می‌شود.



نکته : در محلول‌های سولوتروپیک که شیب خطوط tie line مثبت و منفی می‌باشد که تعدادی از tie line ها خط SR_{N_p} در سمت راست قطع می‌کنند و تعدادی از آن‌ها خط SR_{N_p} در سمت چپ قطع می‌کنند. در این شرایط برای یافتن نقطه ΔR_{min} و مینیمم حلال مصرفی، مقدار حلال به دست آمده از دورترین نقطه تلاقی در سمت چپ با مقدار حلال به دست آمده از نزدیک‌ترین نقطه تلاقی در سمت راست مقایسه می‌شود هر کدام میزان بزرگتری داشت مشخص‌کننده حداقل حلال مصرفی می‌باشد.

۸-۸- دستگاه‌های استخراج

دستگاه‌های استخراج به دو گروه عمده تقسیم می‌شوند:

۱- استخراج‌کننده‌های مرحله‌ای

- مخلوط‌کننده‌ها و ته‌نشین‌کننده‌ها Mixer - settler

- برج‌های سینی‌دار غربالی

۲- استخراج‌کننده‌های دیفرانسیل «تماس مداوم»

- برج‌های پاششی

- برج‌های پر شده

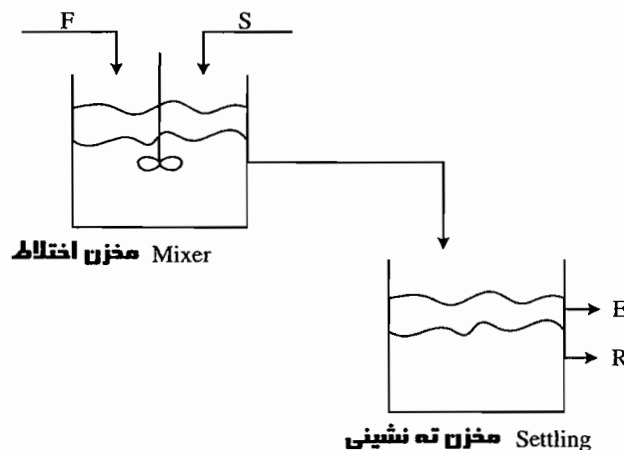
- تماس‌دهنده با دیسک چرخان

- برج‌های ضربه‌ای

- استخراج‌کننده‌های سانتریفوژی

۸-۸-۱- مخلوط‌کننده‌ها و ته‌نشین‌کننده‌ها Mixer - settler

دستگاهی است که به صورت تک‌مرحله‌ای و چندمرحله‌ای - حداکثر ۸ مرحله - مورد استفاده قرار می‌گیرد و معمولاً شامل دو قسمت می‌باشد یکی مخلوط‌کن که برای تماس و در نتیجه افزایش انتقال جرم بین دو فاز به کار می‌رود و دوم ته‌نشین‌کننده که برای جداسازی مکانیکی عملیات مورد استفاده قرار می‌گیرد.



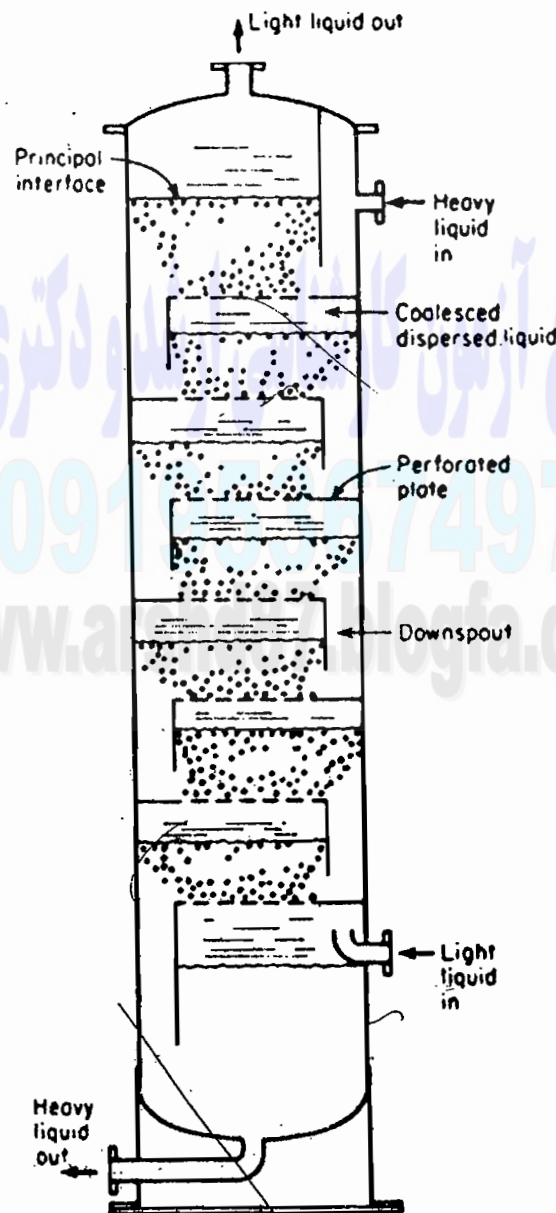
این دستگاه‌ها جزء متداول‌ترین دستگاه‌های استخراج مایع مایع می‌باشند و ساده‌ترین نوع عملیات را دارند.

از لحاظ نزدیکی به حالت تعادل جزء دستگاه‌های با راندمان بالا محسوب می‌شود و راندمان مرحله‌ای در آن‌ها حدود 75% - 100% می‌باشد.

نکته : اگر از این دستگاه‌ها، به صورت Batch استفاده شود واحد mixing «ختلاط» و settling «ته‌نشین» در هم ادغام می‌شوند بدین صورت که ابتدا مخلوط به مدت t_1 هم زده می‌شود و به مدت t_2 برای ته‌نشینی در همان مخزن وقت صرف می‌کنند.

۲-۸۸ برج‌های سینی‌دار غربالی

این دستگاه‌ها به صورت چند مرحله‌ای با جریان ناهمسو مورد استفاده قرار می‌گیرند و در مواردی که کشش سطحی بین اجزا کم می‌باشد به کار می‌روند - نیروی زیادی برای مخلوط کردن آن‌ها مورد نیاز نیست - نمونه‌ای از این برج در شکل زیر نشان داده شده است.



برای استخراج با سینی مشبک که برای پخش مایع سبک طراحی شده است.

انتقال جرم در این برج‌ها به خوبی انجام می‌شود و معمولاً فاز سبک را در اکتده می‌کنیم انرژی مصرفی نسبت به Mixer - settler کمتر می‌باشد و همچنین راندمان پایین‌تری نسبت به Mixer - settler ها دارند.

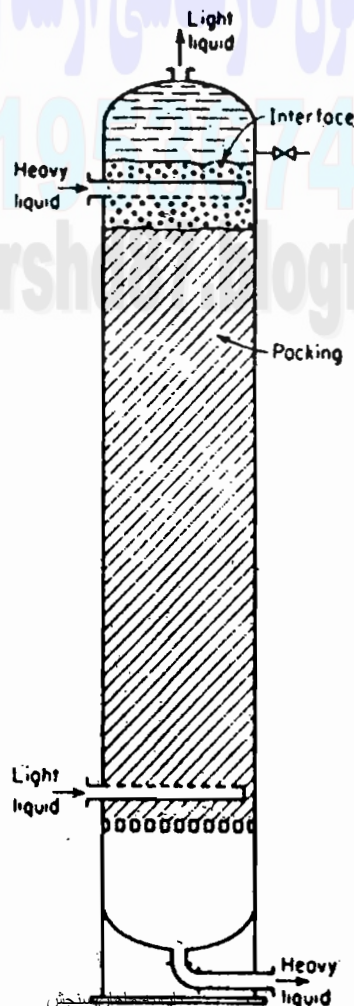
۳-۸-۱- برج‌های پاششی

این دستگاه‌ها ساده‌ترین نوع دستگاه‌ها با تماس دیفرانسیلی می‌باشد که شامل یک محفظه توخالی هستند به دلیل وجود اختلاط محوری دارای راندمان بسیار کمی می‌باشند و به سختی می‌توان بیشتر از معادل یک واحد تئوری - N_{TG} - از آن‌ها به دست آورد و طول واحد تئوری - HETP - در آن‌ها حدود 10 تا 20 ft می‌باشد بیشترین میزان انتقال جرم در این دستگاه‌ها در محل تشکیل قطرات می‌باشد.

۴-۸-۱- برج‌های پرشده

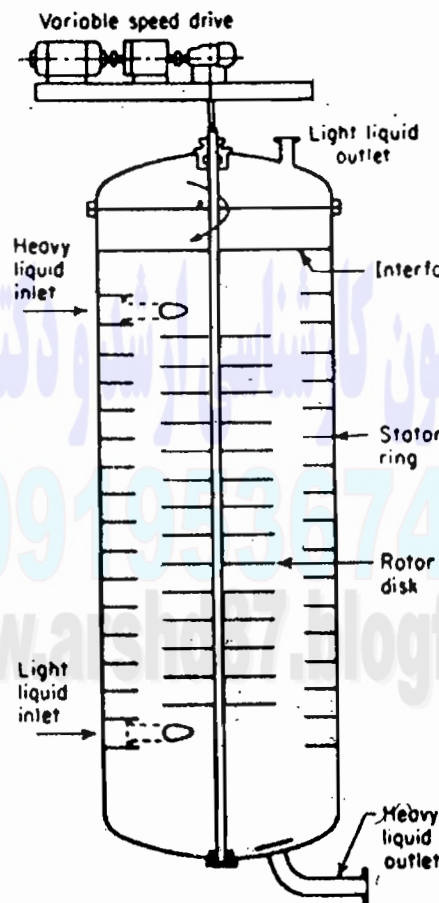
استفاده از پرکن‌ها باعث کاهش اختلاط محوری می‌گردد که باعث بهبود عملکرد این برج‌ها نسبت به برج‌های پاششی می‌گردد. با این وجود راندمان این دستگاه‌ها نیز کم می‌باشد و ارتفاع واحد تئوری این دستگاه‌ها حدود 5 تا 20 ft می‌باشد جنس پرکن‌ها را باید متناسب با فاز پیوسته انتخاب کنیم و استفاده از این نوع دستگاه‌ها در حضور فاز جامد توصیه نمی‌شود.

نکته : مفهوم طغیان به برج پر شده استخراج، بدین صورت است که اگر شدت جریان یک فاز ثابت باشد و شدت جریان فاز دیگر را افزایش دهیم، در این صورت قطرات فاز پراکنده به هم چسبیده و همراه با فاز پیوسته از یک طرف دستگاه خارج می‌شود. قطرات مایع سبک از داخل مایع سنگین بالارفته و در بالا به صورت لایه‌ای تجمع پیدا می‌کند و یک سطح جدایی - interface - را به وجود می‌آورد. برای ثابت نگه داشتن سطح جدایی، فشار مایع داخل برج در پایین، باید با فشار مایع در جریان خروجی در ته برج که دارای شیر کنترل است، مساوی باشد. در شکل زیر نمونه‌ای از برج‌های پرشده استخراج نشان داده شده است.



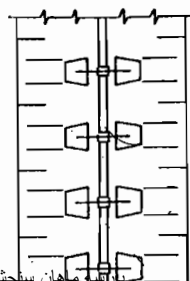
۵-۸۸- تماس دهنده با دیسک چرخان RDC

نمونه‌ای از این دستگاه در شکل نشان داده شده است همان‌طور که می‌بینید هر قسمت از دستگاه (Rotar Disk) دیسک چرخان - starter ring باقله‌های عمودی ذخیره) همانند یک دستگاه Mixer - settler عمل می‌کند به همین جهت این دستگاه‌ها دارای راندمان بالایی حدود 80-100% می‌باشند و ارتفاع واحد تئوری در آن‌ها حدود 1-2ft می‌باشد به‌خاطر وجود هم‌زن‌ها و تنش برشی بزرگی که ایجاد می‌کنند در مورد سیالات خورنده استفاده از این دستگاه‌ها توصیه نمی‌شود همچنین میزان انرژی مصرفی در این دستگاه‌ها بالا می‌باشد در صورتی‌که مراحل تئوری لازم برای جداسازی بالا باشد - به عنوان مثال ۲۰ مرحله - از این دستگاه‌ها استفاده می‌کنیم.

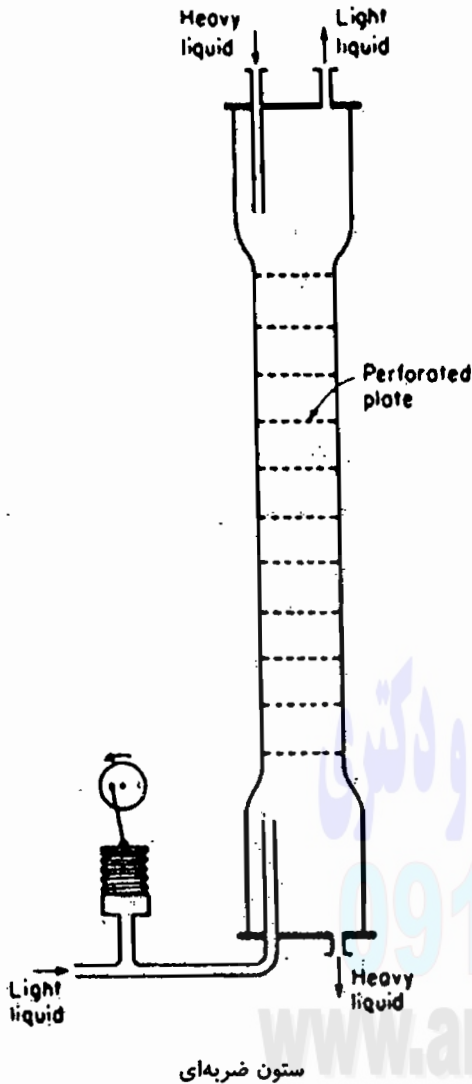


تماس دهنده با دیسک چرخان

استخراج‌کننده‌های Scheibel شیبیل نیز با همین مکانیزم کار می‌کنند با این تفاوت که قسمت هم‌زن آن‌ها از نوع توربینی می‌باشد که در مورد سیالات ویسکوز استفاده از آن‌ها نسبت به برج‌های RDC ارجحیت دارد در شکل زیر نمونه‌ای از برج‌های شیبیل نشان داده شده است.



۸-۶ برج‌های ضربه‌ای



در این دستگاه‌ها با استفاده از یک پمپ رفت و برگشتی که در ورودی فاز سبک نصب شده است پالسی با فرکانس 0.5 تا 4 هرتز به صورت هیدرولیکی به مایع داخل ستون اعمال می‌کنند پالس ایجاد شده باعث اختلاط مناسب فازها می‌شود. با افزایش تعداد ضربان‌ها، راندمان برج ضربه‌ای افزایش می‌یابد اما با افزایش بیش از حد تعداد ضربان‌ها، راندمان کاهش می‌یابد چون زمان کافی برای ته‌نشینی فازها مهیا نمی‌شود. وجود پالس باعث کاهش ارتفاع معادل تئوری می‌شود. - $HETP_{pulsed} = \frac{1}{3} HETP_{unpulsed}$ - چون در این

دستگاه‌ها، هیچ قسمت متحرکی وجود ندارد برای استخراج مواد رادیواکتیو و خورنده کاربرد فراوان دارند. نمونه‌ای از این نوع برج‌ها در شکل زیر نشان داده شده است.

۸-۷ استخراج‌کننده‌های سانتریفوژی

موقعی که اختلاف دانسیته دوفاز کم باشد و یا زمان اقامت کوتاهی مورد نیاز باشد $t \leq 4s$ از این نوع استخراج‌کننده‌ها استفاده می‌کنیم مانند استخراج پنی‌سیلین‌ها و مواد دارویی.

این دستگاه از یک محفظه استوانه‌ای که دارای پوسته‌های سوراخ‌دار هم‌مرکز می‌باشد تشکیل شده است که با سرعت 30 تا 85 دور در ثانیه می‌چرخند.

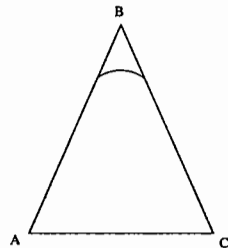
فاز سنگین به صورت شعاعی جریان می‌یابد و به سمت خارج استوانه می‌رود و فاز سبک به سمت داخل استوانه حرکت می‌کند و از محور استوانه خارج می‌شود این دستگاه‌ها گران قیمت بوده و هزینه عملیاتی آن‌ها نیز زیاد می‌باشد به همین جهت کاربرد استخراج‌کننده‌های سانتریفوژی کم می‌باشد.

نکته : در عملیات استخراج مایع مایع ترجیحاً فازی به عنوان پخش‌شونده انتخاب می‌شود که دارای ویسکوزیته بیشتر و شدت جریان کمتری باشد.

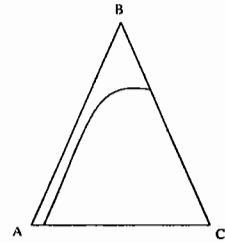
تست‌های طبقه بندی شده فصل هشتم

۱- در کدام یک از سیستم‌های سه تایی زیر، می‌توانند در عملیات استخراج متقابل A و C را از یکدیگر به طور کامل جدا کنند؟

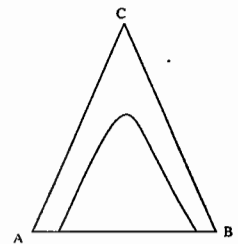
(مهندسی شیمی ۸۵)



(۲)



(۱)



(۳)

(۴) هیچ کدام

۲- در یک سیستم استخراج چند مرحله‌ای با جریان‌های معکوس (Counter-current) و حلال از نوع نیمه محلول (Partially miscible) جهت تعیین تعداد مراحل از نقطه تفاضل ΔR استفاده می‌شود برای یافتن این نقطه داشتن چه اطلاعاتی ضروری است؟ (مهندسی شیمی ۸۴)

(۱) فقط شدت و ترکیب خوراک و حلال مورد لزوم است.

(۲) شدت و ترکیب خوراک، ترکیب حلال و ترکیب Raffinate نهایی

(۳) شدت و ترکیب خوراک، شدت و ترکیب حلال، غلظت محصول استخراج نهایی E_1

(۴) شدت و ترکیب خوراک و شدت و ترکیب حلال - ترکیب محصول استخراج نهایی و ترکیب Raffinate نهایی

۳- در شرایط یکسان، در کدام یک از روش‌های استخراج مایع - مایع زیر انرژی بیشتری مصرف می‌گردد؟ (مهندسی شیمی ۸۴)

(۱) برج RDC (۲) برج آکنده (۳) برج ضربه‌ای (۴) برج سینی‌دار

۴- رابطه تعادلی در خصوص یک سیستم استخراج مایع - مایع در مختصات بدون حلال به صورت $y = \frac{2.5X}{1+1.5X}$ می‌باشد مقدار

(مهندسی شیمی ۸۴)

selectivity این سیستم برابر است با:

(۱) 1.5 (۲) 2.5 (۳) متغیر است. (۴) قابل تعیین نیست.

۵- در یک سیستم استخراج مایع - مایع در صورتی که فاکتور جداسازی selectivity بزرگتر از یک باشد حلالی مناسب‌تر است که

(مهندسی شیمی ۸۳)

ضریب توزیع k آن به چه صورتی باشد؟

(۱) مساوی یک (۲) بزرگتر از یک (۳) کوچکتر از یک (۴) قابل تعیین نیست.

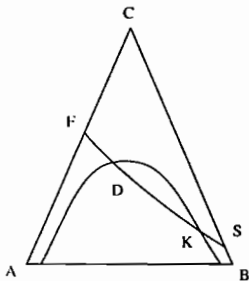
۶- خوراکی حاوی 30% وزنی از C در A با حلال B استخراج می‌شود، اگر استخراج در یک مرحله انجام و A و B در هم حل نشوند برای آن که جریان‌های خروجی Extract و Raffinate به ترتیب 20 و 10 درصد وزنی از ماده C بر مبنای جزء منتقل نشده باشند

(مهندسی شیمی ۸۲)

مطلوبست نسبت $\frac{A}{B}$ در فرآیند؟

(۱) در حدود $\frac{1}{6}$ (۲) در حدود 0.6 (۳) در حدود 2.5 (۴) در حدود 4

۷ - برای یک مرحله استخراج حداقل مقدار حلال با توجه به شکل زیر از کدام رابطه محاسبه می‌شود؟ (مهندسی شیمی ۸۲)



$$S_{\min} = F \frac{\overline{DS}}{\overline{FD}} \quad (۲) \quad S_{\min} = F \frac{\overline{FK}}{\overline{KS}} \quad (۱)$$

$$S_{\min} = F \frac{\overline{FD}}{\overline{DS}} \quad (۴) \quad S_{\min} = F \frac{\overline{KS}}{\overline{FK}} \quad (۳)$$

۸ - رابطه تعادلی در سیستم‌های استخراج مایع - مایع با selectivity ثابت (β) به چه صورت است؟ (مهندسی شیمی ۸۱)

$$Y = \frac{\beta x}{1 + (\beta - 1)x} \quad (۴) \quad Y = \frac{\beta X}{1 + (\beta + 1)X} \quad (۳) \quad Y = \frac{x}{\beta - (\beta - 1)x} \quad (۲) \quad Y = \frac{X}{\beta - (\beta - 1)X} \quad (۱)$$

۹ - در عملیات استخراج از مایع ترجیحاً کدام فاز باید به عنوان پخش شونده انتخاب شود. فازی که دارای ویسکوزیته:

(مهندسی شیمی ۸۱)

- (۱) کمتر و شدت جریان بیشتر باشد.
(۲) بیشتر و شدت جریان بیشتر باشد.
(۳) کمتر و شدت جریان کمتر باشد.
(۴) بیشتر و شدت جریان کمتر باشد.

۱۰ - کدام یک از استخراج‌کننده‌های مایع - مایع دارای حداقل راندمان است؟ (مهندسی شیمی ۸۱)

- (۱) برج همزده
(۲) برج ضرب‌های
(۳) برج سینی‌دار غربالی
(۴) استخراج‌کننده سانتریفوژی

۱۱ - کدام شیب خط بست (Tie line) در منحنی‌های مثلثی که حل شونده در رأس بالا حلال اولیه در رأس سمت چپ و حلال ثانویه در رأس سمت راست قرار دارد مناسب‌تر است؟ (مهندسی شیمی ۸۱)

- (۱) شیب صفر
(۲) شیب منفی
(۳) شیب مثبت
(۴) شیب بی‌نهایت

۱۲ - در یک فرآیند استخراج مایع - مایع چند مرحله‌ای جزء استخراج شونده C از همراه آن A توسط حلال B استخراج می‌شود.

(مهندسی شیمی ۸۰) اگر معادله خط کار (تبادل) به صورت $\frac{Y_1 - Y_s}{x_f - x_n} = \frac{A}{B}$ باشد وضعیت استخراج چگونه است؟

- (۱) چند مرحله‌ای از نوع متقاطع بوده و A و B هیچ‌گونه حلالیتی ندارند.
(۲) چند مرحله‌ای از نوع متقاطع بوده و A و B کاملاً در هم محلولند.
(۳) چند مرحله‌ای از نوع جریان‌های متقابل بوده و A و B کاملاً در هم محلولند.
(۴) چند مرحله‌ای از نوع جریان‌های متقابل بوده و A و B هیچ‌گونه حلالیتی ندارند.

۱۳ - در عمل استخراج با حلال (مایع - مایع) در محدوده‌ای از غلظت ضریب جداسازی β حدود 100 گزارش شده است حلال به کار

برده شده در این سیستم دارای قدرت استخراج‌کنندگی (مهندسی شیمی ۸۰)

- (۱) زیاد بوده ولی بازیابی آن دشوار است.
(۲) ضعیف بوده و بازیابی آن دشوار است.
(۳) ضعیف بوده ولی بازیابی آن آسان است.
(۴) زیاد بوده و بازیابی آن به سهولت امکان‌پذیر است.

۱۴ - منحنی تعادلی در بعضی از سیستم‌های استخراج مایع از مایع دارای نقطه‌ای به نام (plait point) است. کدام اظهارنظر با مفهوم

این نقطه منطبق است؟ (مهندسی شیمی ۸۰)

(۱) ترکیب دو فاز raffinate و extract یکی است.

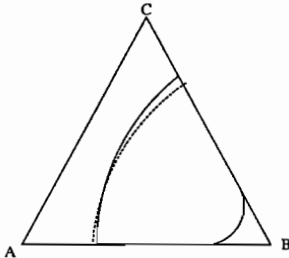
(۲) غلظت جسم رقیق‌کننده (diluent) در فاز extract بیشتر است.

(۳) غلظت جسم محلول (solute) در فاز extract بالاترین مقدار ممکن است.

(۴) غلظت جسم رقیق‌کننده (diluent) در فاز raffinate بیشتر است.

۱۵- با توجه به دیاگرام مثلثی یک سیستم استخراج که در شکل داده شده است کدام اظهار نظر صحیح می‌باشد؟

(مهندسی شیمی ۸۰)



- ۱) با حلال B فقط می‌توان A را خالص جدا کرد.
- ۲) با حلال B فقط می‌توان C را خالص جدا کرد.
- ۳) این نوع سیستم استخراج مناسب برای جداسازی نیستند.
- ۴) جداسازی نسبتاً کامل C و A با حلال B امکان‌پذیر است.

۱۶- در واحدهای آکنده استخراج مایع از مایع لازم است از تشکیل شرایط غرقابی پرهیز گردد. در کدام یک از حالات زیر این شرایط اتفاق می‌افتد؟

(مهندسی شیمی ۷۹)

- ۱) فاز پیوسته تمام برج را فرا می‌گیرد و فاز ناپیوسته مجال ورود به آن را پیدا نمی‌کند.
- ۲) جای فازهای پیوسته و ناپیوسته عوض می‌شود به این معنی که فاز پیوسته ناپیوسته می‌شود و فاز ناپیوسته پیوسته
- ۳) فاز ناپیوسته به صورت یک فاز پیوسته تمام برج را فرا می‌گیرد و از ورود فاز پیوسته به داخل برج جلوگیری می‌کند.
- ۴) قطرات فاز ناپیوسته به یکدیگر وصل شده و به صورت یک فاز پیوسته دیگر همراه با فاز پیوسته اصلی از محل خروج فاز پیوسته اصلی از واحد خارج می‌شود.

۱۷- در منحنی‌های استخراج مایع - مایع از نوع مثلثی که دارای نقطه plait هستند. کدام گزینه صحیح‌تر است؟ (β ضریب جداسازی می‌باشد).

(مهندسی شیمی ۷۹)

$$\beta = 1 \quad (1) \quad \frac{Y}{X} = 1 \quad (2) \quad \frac{Y}{X} = 1, \beta = 1 \quad (3) \quad \beta = 1, \frac{Y}{X} < 1 \quad (4)$$

۱۸- 100 کیلوگرم محلول A و C شامل 50% جرمی از هر کدام با حلال خالص β استخراج می‌شود. اگر معادله خط کار (operating line) بر اساس درصدهای عاری از جزء استخراج‌شونده به صورت $Y = -0.25X + 0.125$ باشد مقدار حلال مصرفی چند کیلوگرم (kg) است؟

(مهندسی شیمی ۷۹)

- 100 (۱) 200 (۲) 150 (۳) 250 (۴)

۱۹- محلول‌های استن در آب اگر به وسیله MIK به عنوان حلال استخراج شوند. در این صورت منحنی تعادلی سیستم دارای plait خواهد بود. کدام یک از عبارات زیر این نقطه را صحیح‌تر تعریف می‌کند؟

(مهندسی شیمی ۷۹)

- ۱) در این نقطه غلظت استن در فاز extract بالاترین مقدار است.
- ۲) در این نقطه نسبت غلظت حلال در فاز raffinate کمترین مقدار است.
- ۳) در این نقطه نسبت غلظت استن در فاز raffinate به فاز extract بیش از یک است.
- ۴) در این نقطه نسبت غلظت استن در فاز raffinate به فاز extract برابر یک است.

۲۰- کدام یک از عبارات زیر صحیح می‌باشد؟

(مهندسی شیمی ۷۸)

- ۱) در نقطه plait مقدار interfacial tension بین حلال و خوراک به مقدار ماکزیمم خود می‌رسد.
- ۲) در عملیات استخراج مایع از مایع به کمک حلال در نقطه plait point مقدار کشش سطحی میان فازی بین حلال و خوراک (Interfacial Tension) به صفر تنزل می‌کند.

۳) در نقطه plait point مقدار interfacial tension تغییر نمی‌کند و همچنان ثابت می‌ماند.

۴) در نقطه plait point مقدار interfacial tension بین حلال و خوراک به مقدار مینیمم خود می‌رسد.

۲۱- در یک سیستم استخراج مایع - مایع غلظت جزء A بین دو فاز R و E برابر شده است $(X_R = Y_E)$ ، این نقطه:

(مهندسی شیمی ۷۸)

(۱) دقیقاً نقطه plait است.

(۲) این نقطه نمی تواند وجود داشته باشد.

(۳) ممکن است نقطه plait باشد.

(۴) ضمن آن که این نقطه وجود ندارد همواره $Y_E > X_R$ است.

۲۲- رابطه توزیع جزء حل شده در دو فاز حاصل از عمل استخراج مایع - مایع بر مبنای بدون حلال به صورت $Y = \frac{4X}{1+3X}$ و X و Y

(مهندسی شیمی ۷۸)

نسبت مولی می باشد. در این صورت انتخاب پذیری (selectivity) حلال برابر است با:

(۱) ۳

(۲) اطلاعات کافی نیست.

(۳) ۴

(۴) بستگی به تغییرات X و Y دارد.

(مهندسی شیمی ۷۷)

۲۳- در عمل استخراج مایع کدام حلالی مناسب تر است؟

(۱) selectivity بزرگتر از یک باشد.

(۲) selectivity بزرگتر از یک و ضریب توزیع کوچکتر از یک باشد.

(۳) ضریب توزیع بزرگتر از یک باشد.

(۴) selectivity و ضریب توزیع هر دو بزرگتر از یک باشد.

۲۴- در عمل استخراج با حلال (مایع - مایع) در محدوده ای از غلظت ضریب جداسازی β حدود 65 گزارش شده است حلال به کار

(مهندسی شیمی ۷۷)

برده شده در این سیستم دارای قدرت استخراج کنندگی:

(۱) کم بوده ولی بازیابی حلال آسان است.

(۲) ضعیف بوده و بازیابی آن نیز مشکل است.

(۳) زیاد بوده و بازیابی حلال به سهولت انجام می گیرد.

(۴) زیاد بوده ولی بازیابی حلال مشکل است.

(مهندسی شیمی ۷۷)

۲۵- کدام یک از موارد زیر در مورد استخراج مایع - مایع صحیح است؟

(۱) تماس غیرمستقیم دو فاز و نوعی جداسازی مستقیم است.

(۲) تماس غیرمستقیم دو فاز و نوعی جداسازی مستقیم است.

(۳) تماس مستقیم دو فاز و نوعی جداسازی مستقیم است.

(۴) تماس مستقیم دو فاز و نوعی جداسازی غیرمستقیم و گاهی مستقیم است.

(مهندسی شیمی ۷۷)

۲۶- استفاده از دستگاه های استخراج با نیروی گریزاز مرکز در کدام مورد توصیه می شود. وقتی

(۱) اختلاف دانسیته خوراک بسیار کم بوده و زمان تماس و جداسازی کوتاهی لازم باشد.

(۲) اختلاف دانسیته خوراک و حلال بسیار کم است.

(۳) اجزاء جامد در خوراک حضور دارند.

(۴) با سیالات با دانسیته بالا سر و کار داریم.

۲۷- از کدام دستگاه ها می توان برای محاسبه مراحل (عمل استخراج مایع - مایع) از فرض تعادل بین فازها با تقریب بسیار خوب

(مهندسی شیمی ۷۶)

استفاده کرد؟

(۱) برج پاشنده Spary Tower

(۲) برج RDC

(۳) برج سینی دار

(۴) سیستم mixer settler

۲۸- در عمل استخراج مایع - مایع با حلال های از نوع نیمه محلول (partially miscible) و سیستم چند مرحله ای با جریان های

(مهندسی شیمی ۷۶)

معکوس (counter current) برای تعیین تعداد مراحل تعادلی باید روش مورد استفاده قرار گیرد.

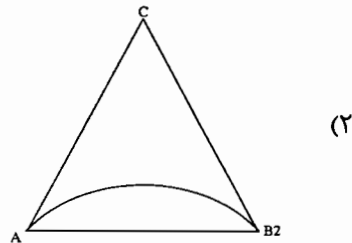
(۱) پلکانی (step - wise)

(۲) خط عملیاتی هر مرحله و تلاقی آن با منحنی تعادل

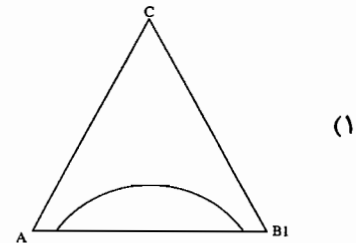
(۳) نقطه تفاضلی difference point

پارسیه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

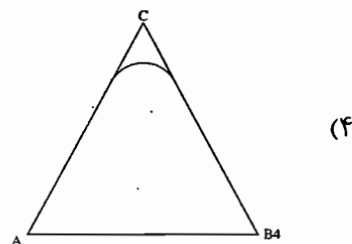
۲۹- چهار حلال مختلف B_1, B_2, B_3 و B_4 چهار منحنی تعادلی مطابق شکل‌های (۱)، (۲)، (۳) و (۴) پدید می‌آورند. عملیات استخراج را با کدام حلال انجام می‌دهید؟ (مهندسی شیمی ۷۵)



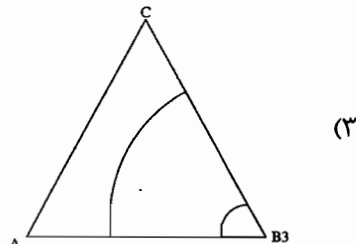
(۲)



(۱)

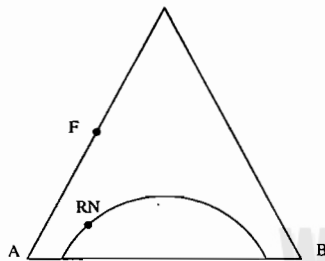


(۴)



(۳)

۳۰- در عملیات استخراج در سیستم‌های متقابل (Counter current) شامل N مرحله مکان نقطه Δ (نقطه اختلاف) در دیاگرام مثلثی زیر: (مهندسی شیمی ۷۵)



(مهندسی شیمی ۷۵)

(۱) بستگی به غلظت استخراج‌شونده (C) در فاز E و فاز R دارد.

(۲) بستگی به میزان حلال S و نسبت به خوراک دارد.

(۳) همواره در سمت چپ نقطه A قرار دارد.

(۴) همواره در سمت چپ نقطه B قرار دارد.

۳۱- در صورتی که ضریب توزیع $K = \frac{Y}{X}$ در استخراج مایع مایع کوچکتر از یک باشد در آن صورت: (مهندسی شیمی ۷۵)

(۱) به حلال بیشتری نیاز است.

(۲) به حلال کمتری نیاز است.

(۳) تأثیر در پارامترهای مهم استخراج ندارد.

(۴) جداسازی به کمک استخراج امکان‌پذیر نیست.

۳۲- در استخراج مایع - مایع برای دو فاز نسبی قابل امتزاج در یک واحد عملیاتی موازی و غیرهمسو عبوری از F منجر به دستیابی به حداقل حلال خواهد شد. (مهندسی شیمی ۷۵)

(۱) همواره با رسم خط Tie

(۲) هر خط دلخواه

(۳) همواره خط Tie

۳۳- در عمل استخراج مایع - مایع تک مرحله‌ای ضریب توزیع $\left(\frac{Y}{X}\right)$ در دو فاز حلال و خوراک در حالت تعادل: (مهندسی شیمی ۷۴)

(۱) با ضریب جداسازی (selectivity) باید برابر باشد تا جداسازی امکان‌پذیر باشد.

(۲) می‌تواند کوچکتر از یک باشد مشروط بر آن که ضریب جداسازی B بزرگتر از یک شود.

(۳) باید حتماً بزرگتر از یک باشد تا جداسازی امکان‌پذیر گردد.

(۴) می‌تواند کوچکتر از یک باشد و شرطی وجود ندارد. (مهندسی شیمی ۷۴)
پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

۳۴- در عملیات استخراج مایع A از مخلوط مایع A و C به کمک مایع حلال B برای یک درجه تصفیه معین: (مهندسی شیمی ۷۴)

- (۱) هرچه تعداد مراحل تصفیه افزایش یابد مقدار بیشتری از مایع حلال مصرف می‌شود.
- (۲) ارتباطی بین مقدار مصرف حلال و تعداد مراحل تصفیه وجود ندارد.
- (۳) نسبت حجم حلال مصرفی به حجم مخلوط همیشه باید بزرگتر از یک باشد.
- (۴) هرچه تعداد مراحل تصفیه افزایش یابد مقدار کمتری از مایع حلال مصرف می‌شود.

۳۵- در یک دستگاه استخراج مایع - مایع که در آن فاز سنگین از بالای برج به صورت فاز پخش‌شونده (dispersed) به داخل فاز

سبک و پیوسته (continuous) می‌ریزد قسمت اعظم انتقال جرم

- (۱) در قسمت‌های مرکزی برج انجام می‌پذیرد.
- (۲) در پایین برج صورت می‌گیرد.
- (۳) در بدو ورود حباب‌های فاز پخش‌شونده به داخل برج انجام می‌گیرد.
- (۴) در تمام قسمت‌های برج به صورت یکسان می‌باشد.

۳۶- در عملیات چند مرحله‌ای (counter current) استخراج مایع - مایع کدام یک از جملات زیر صحیح است؟ (مهندسی شیمی ۷۴)

- (۱) با افزایش میزان ضریب توزیع (Distribution - coefficient) حداقل حلال مورد نیاز کاهش می‌یابد.
- (۲) تغییر درجه حرارت تأثیری روی حداقل حلال مورد نیاز ندارد.
- (۳) تغییرات غلظت خوراک ورودی تأثیری روی حداقل حلال مورد نیاز ندارد.
- (۴) تغییرات خلوص حلال ورودی تأثیری روی حداقل حلال مورد نیاز ندارد.

۳۷- در تعیین حداقل حلال لازم جهت استخراج چند مرحله‌ای مداوم متقابل (counter - current) در مختصات مثلثی کدام عبارت

صحیح است؟ (مهندسی شیمی ۷۴)

- (۱) نقطهٔ تفاضل - محل تلاقی خط تعادل (tie) عبوری از F با خط SR_{NP} است.
- (۲) نقطهٔ تفاضل نزدیکترین محل تلاقی خط تعادل (tie) با خط SR_{NP} می‌باشد در صورتی که این نقطه در سمت چپ S قرار گیرد.
- (۳) نقطهٔ تفاضلی دورترین محل تلاقی خط تعادل (tie) با خط SR_{NP} می‌باشد در صورتی که این نقطه در سمت راست S قرار گیرد.
- (۴) نقطهٔ تفاضلی دورترین محل تلاقی خط تعادل (tie) با خط SR_{NP} می‌باشد در صورتی که این نقطه در سمت چپ S قرار گیرد.

۳۸- در عمل استخراج مایع - مایع در یک واحد تعادلی با حلال تجزیه در فاز E و R به صورت زیر می‌باشد:

$$\left. \begin{array}{l} \text{جزء جرمی جسم قابل استخراج 0.30} \\ \text{جزء جرمی جسم همراه 0.20} \\ \text{جزء جرمی جسم حلال 0.50} \end{array} \right\} \text{ فاز E}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{جزء جرمی جسم قابل استخراج 0.10} \\ \text{جزء جرمی جسم همراه 0.8} \\ \text{جزء جرمی جسم حلال 0.1} \end{array} \right\} \text{ فاز R}$$

ضریب جداسازی چه مقدار است؟ (مهندسی شیمی ۷۲)

$$0.75 \quad (۱) \quad 12 \quad (۲) \quad 12.5 \quad (۳) \quad 60 \quad (۴)$$

۳۹- در واحدهای استخراج مایع از مایع (LIQUID - LIQUID - EXTRACTION) که به صورت برجی شکل با سینی‌های

سوراخ‌دار ساخته شده‌اند. حداکثر انتقال جرم در موقع تشکیل یک حباب در فاز ناپیوسته (DISPERSED PHASE) صورت

می‌گیرد. کدام عبارت علت اصلی این پدیده را بیان می‌کند؟ (مهندسی شیمی ۷۲)

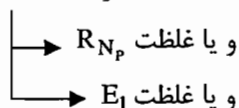
- (۱) چون فیلم بخاری از حلال که سطح حباب را احاطه می‌کند و مانع از انتقال جرم می‌شود هنوز تشکیل نشده است.
- (۲) چون در موقع تشکیل حباب در اطراف سطح آن عدد رینولدز (Re) نسبت به محلول بزرگتر است.
- (۳) چون حباب‌ها هنوز به همدیگر نچسبیده‌اند (Coalescence) بنابراین سطح مخصوص بیشتری برای انتقال جرم دارند (Coalescence).
- (۴) چون اختلاف غلظت جسم محلول (solute) در سطح حباب تازه تشکیل شده با غلظت فاز پیوسته نسبتاً زیاد است.

پاسخ تست‌های طبقه‌بندی شده فصل هشتم

۱ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

در هیچ‌کدام از شکل‌ها A و C به هر نسبتی در یکدیگر حل نمی‌شوند.

۲ - گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

 ΔR (درصد جداسازی) = $f(F, x_F, s, y_s)$ موقعیت

۳ - گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

برج‌های RDC و سانتریفوژ، انرژی بیشتری نسبت به سایر برج‌ها مصرف می‌کنند.

۴ - گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$Y = \frac{2.5X}{1+1.5X} = \frac{\beta X}{1+(\beta-1)X} \Rightarrow \beta = 2.5$$

۵ - گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

۶ - گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$\frac{Y_1 - Y_s}{X_1 - X_F} = -\frac{A}{B}$$

$$Y_s = 0, Y_1 = 0.2, X_1 = 0.1, X_F = \frac{0.3}{1-0.3} = 0.43 \Rightarrow \frac{0.2-0}{0.1-0.43} = -0.608$$

۷ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$$\text{قانون اهرم} \Rightarrow S_{\min} \times \overline{KS} = F \times \overline{FK} \Rightarrow S_{\min} = F \cdot \frac{\overline{FK}}{\overline{KS}}$$

۸ - گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۹ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۱۰ - گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۱۱ - گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

برای امکان انجام عملیات استخراج لازمست که گزینش‌پذیری - selectivity - بزرگتر از یک باشد و برای مصرف کمتر حلال نیز، بهتر

است که ضریب توزیع $\left(K = \frac{Y}{X}\right)$ بزرگتر از یک گردد که در صورتی که شیب Tie line، ضریب توزیع بزرگتر از یک می‌گردد.

$$\frac{Y_1 - Y_s}{X_F - X_n} = \frac{A}{B} \Rightarrow \frac{Y_1 - Y_s}{X_n - X_F} = -\frac{A}{B}$$

۱۲ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

۱۳ - گزینه ۱ صحیح می باشد.
 با توجه به متن درس.

۱۴ - گزینه ۱ صحیح می باشد.
 با توجه به متن درس.

۱۵ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

با توجه به شکل مشخص است که غلظت C در فاز R کمتر از غلظت C در فاز E می باشد بنابراین این سیستم برای استخراج مناسب نیست.

۱۶ - گزینه ۴ صحیح می باشد.
 با توجه به متن درس.

۱۷ - گزینه ۳ صحیح می باشد.
 با توجه به متن درس.

۱۸ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$\left. \begin{aligned} \frac{R_s}{E_s} &= 0.25 \\ R_s &= 100(1-0.5) = 50 \text{ kg} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{50}{E_s} = 0.25 \Rightarrow E_s = 200 \text{ kg}$$

حلال خالص $\Rightarrow E = E_s = 200 \text{ kg}$

۱۹ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

۲۰ - گزینه ۲ صحیح می باشد.
 با توجه به متن درس.

۲۱ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

در نقطه plait و سولوتروپیک $y = x$ می باشد.

۲۲ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$Y = \frac{4X}{1+3X} = \frac{\beta X}{1+(\beta-1)X} \Rightarrow \beta = 4$$

۲۳ - گزینه ۴ صحیح می باشد.
 با توجه به متن درس.

۲۴ - گزینه ۴ صحیح می باشد.
 با توجه به متن درس.

۲۵- گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۲۶- گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۲۷- گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

به دلیل وجود تلاطم کافی و زمان اقامت مناسب در mixer - settler، می‌توان از فرض برقراری تعادل بین فازها استفاده کرد.

۲۸- گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۲۹- گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

در شکل گزینه چهارم، ناحیه دو فازي بخش وسیع تری را نسبت به سایر گزینه‌ها دربر می‌گیرد.

۳۰- گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۳۱- گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۳۲- گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۳۳- گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۳۴- گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

۳۵- گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۳۶- گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۳۷- گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۳۸- گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$\beta = \frac{\left(\frac{C}{A}\right)_E}{\left(\frac{C}{A}\right)_R} = \frac{0.3}{0.1} = \frac{0.2}{0.8} = 12$$

۳۹- گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

فصل نهم

عملیات مرطوب سازی

۹-۱ مقدمه

رطوبت زنی و رطوبت زدایی شامل انتقال ماده بین یک فاز مایع خالص و یک گاز غیرقابل حل در آن می باشد و از آن جایی که فاز مایع فقط یک جزء دارد هیچ گونه گرادیان غلظت - مقاومت در برابر انتقال جرم - در فاز مایع وجود ندارد. ماده ای که در این عملیات منتقل می شود ماده تشکیل دهنده فاز مایع می باشد که در طی تحول تبخیر می شود و یا میعان می یابد بنابراین این عملیات انتقال جرم توام با انتقال حرارت صورت می گیرد.

۹-۲ تعاریف

رطوبت مطلق: absolute humidity

نسبت جرم بخار به جرم هوای خشک - هوای بدون بخار - را گویند که با Y' یا H نشان می دهند اگر کمیات برحسب مول بیان شوند نسبت مذکور را رطوبت مطلق مولی می گویند و با Y نشان می دهند.

$$Y' = \frac{kg_A}{kg_B}$$

A: بخار

$$Y = \frac{n_A}{n_B}$$

B: هوای خشک

اگر قانون گاز کامل صادق باشد داریم:

$$PV = \frac{mRT}{M_w} \Rightarrow m = \frac{PVM_w}{RT}$$

$$\Rightarrow Y' = \frac{m_A}{m_B} = \frac{P_A V \frac{M_A}{RT}}{P_B V \frac{M_B}{RT}} = \frac{M_A}{M_B} \times \frac{P_A}{P_B}$$

پارسیه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

$$P_A + P_B = P_t$$

$$PV = nRT \Rightarrow n = \frac{PV}{RT}$$

$$Y = \frac{n_A}{n_B} = \frac{P_A \frac{V}{RT}}{P_B \frac{V}{RT}} = \frac{P_A}{P_B}$$

$$P_A + P_B = P_t \rightarrow \text{فشار کل سیستم} \Rightarrow Y = \frac{P_A}{P_t - P_A}$$

رطوبت اشباع Saturated humidity

مقدار رطوبت موجود در هوا وقتی که از بخار اشباع باشد را رطوبت اشباع گویند در این صورت فشار جزئی بخار در گاز اشباع با فشار بخار مایع در دمای گاز مساوی است رطوبت اشباع را با Y'_s نشان می‌دهند.

$$Y'_s = \frac{M_A}{M_B} \frac{P_A^{sat}}{P_t - P_A^{sat}}$$

$$P_A \leq P_A^{sat} \Rightarrow Y' \leq Y'_s$$

نکته :

درصد رطوبت نسبی یا رطوبت درصدی

به صورت نسبت رطوبت مطلق به رطوبت اشباع بیان می‌شود و با H_A نشان می‌دهند.

$$H_A = \frac{Y'}{Y'_s} \times 100 = \frac{P_A}{P_A^{sat}} \times \frac{P_t - P_A^{sat}}{P_t - P_A} \times 100$$

رطوبت نسبی Relativ Humidity

به صورت نسبت فشار جزئی بخار به فشار بخار مایع در دمای گاز تعریف می‌شود و با R_H نشان می‌دهند.

$$RH\% = \frac{P_A}{P_A^{sat}} \times 100$$

نکته : در رطوبت نسبی 0% ($P_A = 0$) و 100% ($P_A = P_A^{sat}$) رطوبت نسبی با رطوبت درصدی برابر می‌باشد ولی در بقیه رطوبت‌ها، رطوبت نسبی همواره بزرگتر از رطوبت درصدی می‌باشد.

مثال: مخلوطی از گاز نیتروژن و بنزن در $60^\circ C$ و فشار 1060 mmHg به حالت اشباع درآمده است اگر فشار بخار تعادلی بنزن در این

دما 280 mmHg باشد رطوبت مطلق برحسب $\frac{kg A}{kg B}$ مخلوط برابر است با:

$$(M_{N_2} = 28, M_{C_6H_6} = 78)$$

1 (۴)

0.1 (۳)

0.13 (۲)

1.5 (۱)

حل: گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$$Y' = \frac{M_A}{M_B} \frac{P_A}{P_t - P_A} = \frac{78}{28} \times \frac{280}{1060 - 280} = 1$$

مثال: رابطه بین رطوبت مطلق «H» و کسر مولی بخار آب در هوای مرطوب کدام است؟ M_A وزن مولکولی آب و M_B وزن مولکولی

فرآوری و انتقال گاز ۸۴

هوای خشک می‌باشد؟

$$y = \frac{\frac{H}{M_H}}{\frac{1}{M_A} + \frac{H}{M_B}} \quad (۴)$$

$$y = \frac{\frac{H}{M_A}}{\frac{H}{M_A} + \frac{1}{M_B}} \quad (۲)$$

$$y_H = \frac{\frac{1}{M_H}}{\frac{1}{M_A} + \frac{H}{M_B}} \quad (۱)$$

حل: گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$Y' = H = \frac{M_A}{M_B} \frac{P_A}{P_t - P_A} = \frac{M_A}{M_B} \frac{y_A}{1 - y_A}$$

با حل معادله داریم:

$$y_A = \frac{\frac{H}{M_A}}{\frac{1}{M_B} + \frac{H}{M_A}}$$

حجم مرطوب

حجم مرطوب حجمی است که یک کیلوگرم هوای خشک و رطوبت همراه آن اشغال می‌کند که با V_H نشان می‌دهند اگر قانون گاز کامل برقرار باشد داریم:

$$P_t V = \frac{mRT}{M} \Rightarrow V = \frac{mRT}{P_t M}$$

$$\begin{cases} Y' = \frac{m_A}{m_B} \\ m_B = 1 \end{cases} \Rightarrow m_A = Y'$$

$$V_H = \frac{m_B RT}{P_t M_B} + \frac{m_A RT}{P_t M_A} = \frac{1 \text{ kg} \times RT}{P_t M_B} + \frac{Y' RT}{P_t M_A}$$

$$V_A = \frac{RT}{P_t} \left(\frac{1}{M_B} + \frac{Y'}{M_A} \right)$$

$$V_H = \frac{0.082 T}{P_t} \left(\frac{1}{M_B} + \frac{Y'}{M_A} \right)$$

که در صورت به کار بردن واحدهای زیر برای پارامترها داریم:

V_H : مترمکعب بر کیلوگرم

T : کلون

P_t : بر حسب اتمسفر

$M_B = 29$, $M_A = 18$

نکته: حجم مرطوب با فشار کل نسبت عکس دارد و با دمای مطلق نسبت مستقیم دارد:

$$V_A \propto \frac{1}{P_t} , V_H \propto T$$

نکته: دانسیته هوای مرطوب به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\rho_H = \frac{m}{V} = \frac{1 \text{ kg} + Y'}{V_H}$$

گرمای مرطوب

گرمای مرطوب C_s - عبارت است از مقدار انرژی لازم برای آن که دمای یک کیلوگرم هوای خشک و رطوبت همراه آن یک درجه سانتی‌گراد افزایش یابد.

C_s : گرمای مرطوب

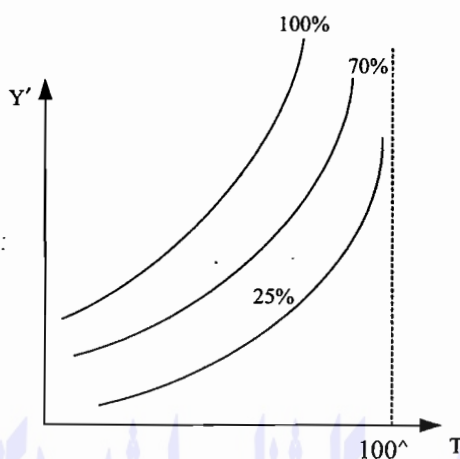
C_B : ظرفیت گرمایی هوای خشک

C_A : ظرفیت گرمایی بخار آب

$$C_s = C_B + Y' C_A$$

منحنی رطوبت سنجی

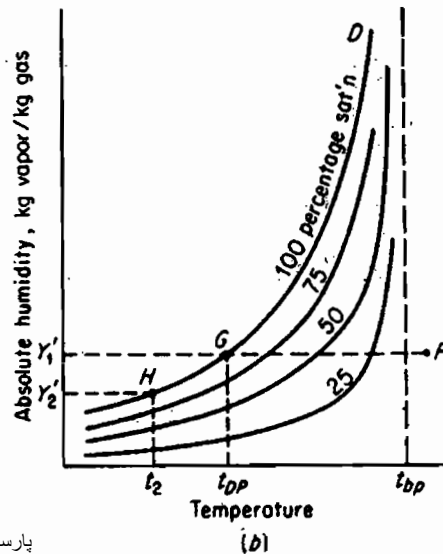
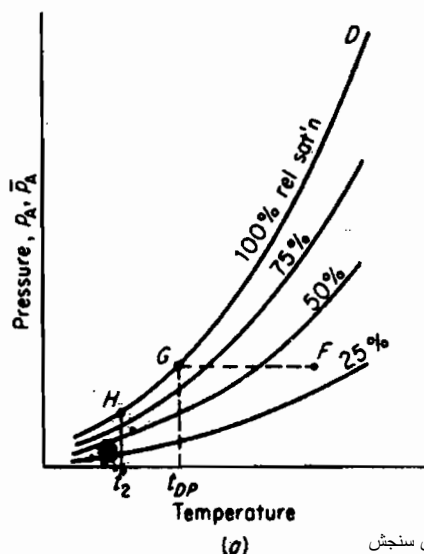
منحنی رطوبت سنجی، نسبت رطوبت مطلق به دمای گاز را در رطوبت‌های نسبی متفاوت و فشار ثابت نشان می‌دهد نمونه‌ای از منحنی‌های رطوبت سنجی برای بخار آب در فشار یک اتمسفر نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل مشخص است هر چه دمای هوا بالا می‌رود گنجایش آن برای رطوبت افزایش می‌یابد و در دمای صد درجه سانتی‌گراد منحنی‌ها به سمت بی‌نهایت ($Y'_s \rightarrow \infty$) میل می‌کنند.



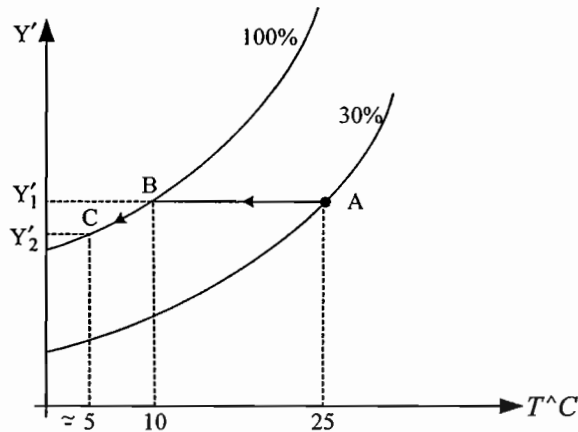
نکته : برای به دست آوردن اطلاعات کامل درباره‌ی هوای مرطوب حداقل باید دو مشخصه از آن را داشته باشیم مثلاً برای دانستن مقدار رطوبت مطلق هوا، بایستی دما و رطوبت نسبی هوا را بدانیم.

دمای شبنم t_{DP}

دمای شبنم، دمایی است که در آن مخلوط گاز و بخار در فشار کل ثابت و بدون تماس با مایع تا آن دما سرد شوند تا به حالت اشباع برسند به عنوان مثال در شکل زیر مخلوط اشباع نشده‌ای مانند F داریم که اگر در حالت فشار ثابت و بدون تماس با مایع سرد شود مسیر این تحول خط FG خواهد بود در نقطه G مخلوط به حالت کاملاً اشباع درمی‌آید و دمای t_{DP} دمای شبنم مخلوط می‌باشد لازم به ذکر است که تمام مخلوط‌های با رطوبت مطلق Y'_1 دارای نقطه شبنم یکسانی می‌باشند. اگر در نقطه G باز هم مخلوط را سرد کنیم مقداری از بخار میعان یافته و به نقطه H می‌رسیم.



با توجه به توضیحات داده شده، می‌توانیم علت تعرق سطح داخلی شیشه‌های اتاق را در زمستان توجیه کنیم. دمای هوای داخل اتاق در حدود 25 درجه سانتی‌گراد می‌باشد و رطوبت نسبی هوا در داخل اتاق در حدود 30% است دمای هوای خارج اتاق در حدود 5 درجه سانتی‌گراد می‌باشد در نمودار زیر این تحول نشان داده شده است.



مشخصات هوای داخل اتاق در نقطه A نشان داده شده است در مجاورت شیشه دمای هوای پایین می‌باشد هوای مرطوب تا دمای 10° سانتی‌گراد بدون مایع شدن سرد می‌شود و از دمای 10 تا 5 درجه سانتی‌گراد میعان می‌یابد مقدار بخار مایع شده برابر با اختلاف رطوبت‌های مطلق Y_1' و Y_2' می‌باشد.

• $B \leftarrow A$

- رطوبت مطلق هوا ثابت است.

- رطوبت نسبی افزایش می‌یابد.

- دمای هوا کاهش می‌یابد.

• $C \leftarrow B$

- رطوبت مطلق هوا کاهش می‌یابد.

- رطوبت نسبی ثابت است.

- دمای هوا کاهش می‌یابد.

منحنی اشباع آدیباتیک و دمای اشباع آدیباتیک

تحول آدیباتیکی را در نظر بگیرید. که در یک سیستم مقداری گاز با دمای t_g و رطوبت مطلق Y_g' در مجاورت مایعی قرار دارد بعد از گذشتن زمان کافی مایع تبخیر شده و انرژی لازم را از هوا می‌گیرد و گاز به حالت اشباع درمی‌آید و حالت تعادل برقرار می‌شود در این حالت دمای گاز به دمای t_{as} می‌رسد و رطوبت مطلق آن نیز Y_{as}' می‌گردد به این دما که دمای تعادلی و پایداری می‌باشد دمای اشباع آدیباتیک می‌گویند و با نوشتن موازنه انرژی داریم:

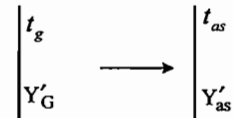
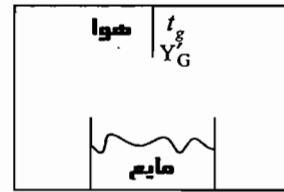
$$\overset{0}{\text{تجمع}} + \overset{0}{\text{مصرف}} - \overset{0}{\text{تولید}} = \overset{0}{\text{خروجی}} - \overset{0}{\text{ورودی}}$$

مصرف = تولید

$$C_s (t_g - t_{as}) = \lambda (Y'_{as} - Y'_G)$$

انرژی لازم برای تبخیر آب

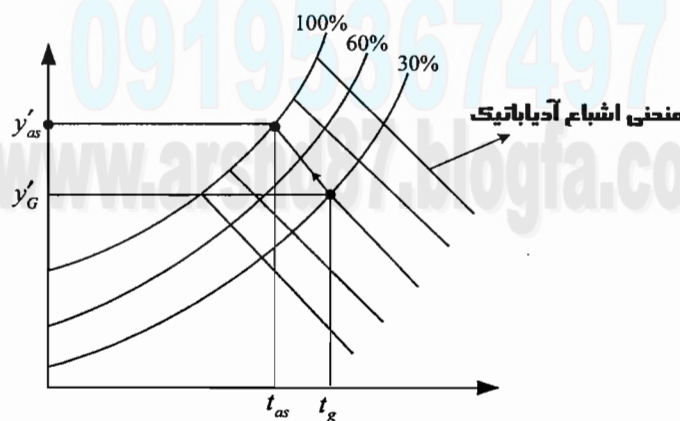
$$\Rightarrow Y'_{as} - Y'_G = \frac{-C_s}{\lambda} (t_{as} - t_g)$$



این کار را در دماها و رطوبت‌های مطلق مختلف تکرار می‌کنیم، خطوط به‌دست آمده همگی دارای شیب $-\frac{C_s}{\lambda}$ می‌باشند و تشکیل منحنی‌های اشباع آدیاباتیک را می‌دهند.

نکته: به‌خاطر وجود C_s منحنی‌ها به‌صورت خطوط مستقیم نبوده و دارای اندکی تقعر به طرف بالا می‌باشند که به‌خاطر سادگی فرض می‌کنیم این خطوط به‌صورت مستقیم می‌باشند

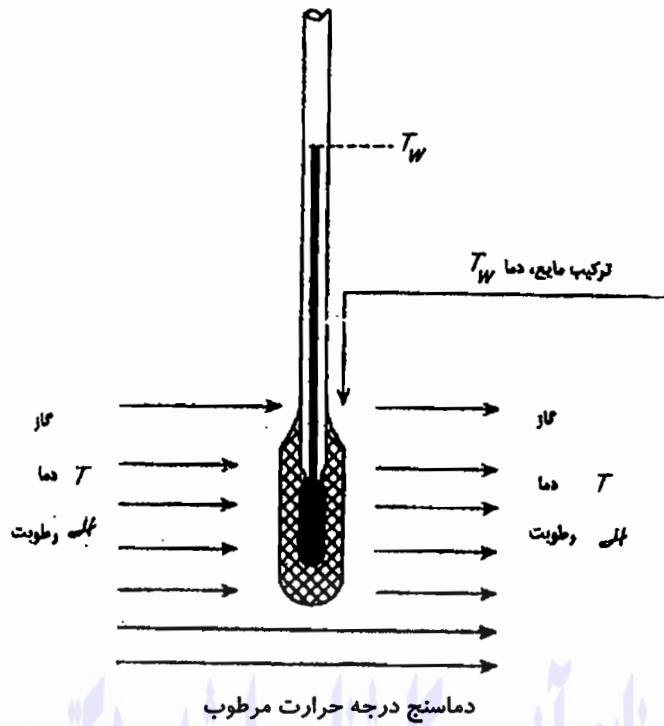
$$\frac{Y'_{as} - Y'_G}{t_{as} - t_g} = \frac{-C_s}{\lambda} = \frac{C_{PB} + Y'_G C_{PA}}{\lambda}$$



نکته: دمای آدیاباتیک اشباع، یک دمای پایدار است، زیرا با زمان تغییر نمی‌کند و نیز چون حالت تعادل سیستم برقرار شده است دمای تعادلی نیز می‌باشد $T_{as} = \text{steady state equilibrium temperature}$

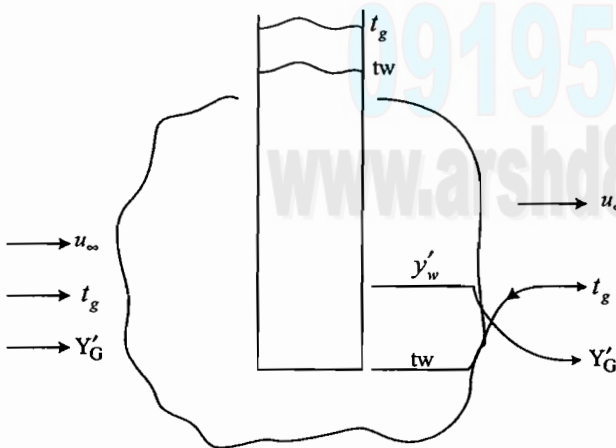
دمای حباب مرطوب wet bulb temperature

دمای حباب مرطوب، دمای غیرتعادلی و پایدار می‌باشد و برای اندازه‌گیری آن از یک دماسنج که با پارچهٔ خیس پوشانده شده است استفاده می‌کنند این دماسنج را در جریان هوای مورد نظر قرار می‌دهند. مقدار مایع موجود در پارچه در مقایسه با مقدار هوای عبوری ناچیز است و تبخیر آن به درون هوا باعث تغییر دمای هوا نمی‌شود اما باعث تغییر دمای دماسنج می‌گردد، در حالت حدی گرمای رسیده به رطوبت موجود در دماسنج دقیقاً برابر با گرمای لازم برای تبخیر مایع می‌شود در این حالت دیگر دمای ترمومتر با زمان تغییری نمی‌کند که به این دمای غیرتعادلی و پایدار - که با زمان تغییر نمی‌کند - دمای حباب مرطوب می‌گویند.



با نوشتن موازنه جرم و انرژی داریم:

$$hA(t_g - t_w) = (Y'_w - Y'_G) \times ky \times A \times \lambda$$



h : ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی

A : سطح پارچه خیس شده

t_g : دمای گاز

t_w : دمای حباب مرطوب

Y'_w : مقدار رطوبت موجود در پارچه خیس در فصل مشترک

Y'_G : مقدار رطوبت گاز

ky : ضریب انتقال جرم

λ : گرمای نهان تبخیر

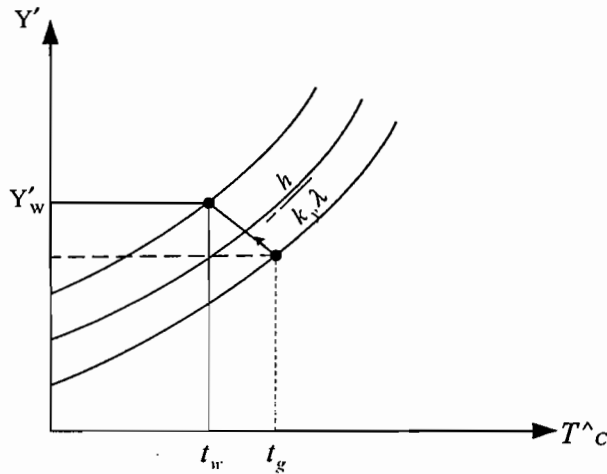
نکته: همان‌طور که می‌بینید جهت انتقال جرم از پارچه به سمت گاز می‌باشد و جهت انتقال حرارت از سمت جریان گاز به سمت پارچه می‌باشد.

نکته: $(Y'_w - Y'_G)$ نیروی محرکه انتقال جرم می‌باشد.

نکته: سرعت گاز عبوری u_∞ تأثیری بر میزان دمای حباب مرطوب ندارد اما روی زمان رسیدن به این دما تأثیر دارد.

$$Y'_w - Y'_G = -\frac{h}{ky\lambda} (T_w - T_g)$$

$$\frac{Y'_w - Y'_G}{T_w - T_g} = -\frac{h}{ky\lambda}$$



برای اندازه‌گیری دقیق دمای حباب مرطوب توجه به دو شرط زیر الزامی می‌باشد:

۱- پارچه پیچیده شده به دور دماسنج همواره باید مرطوب باشد.

۲- سرعت گاز عبوری باید به اندازه کافی بالا باشد تا بتوان از اثر انتقال حرارت بر اثر تشعشع صرف‌نظر کرد.

برای مقایسه بین دمای حباب مرطوب و دمای اشباع آدیاباتیک از نسبت رطوبت‌سنجی استفاده می‌کنیم و به‌صورت زیر تعریف می‌شود.

$$\text{نسبت رطوبت‌سنجی} = \frac{\text{شیب خطوط حباب مرطوب}}{\text{شیب خطوط اشباع آدیاباتیک}} = \frac{\frac{h_G}{k_y \lambda}}{\frac{C_s}{\lambda}} = \frac{h_G}{k_y C_s}$$

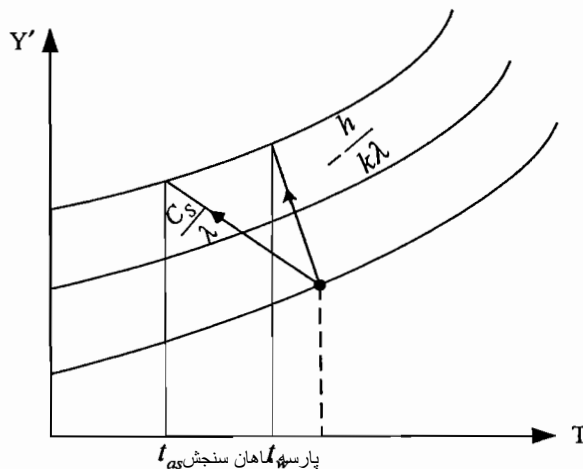
این نسبت برابر عدد بدون بعد لوویس می‌باشد که معادله زیر توسط هنری - اپستاین پیشنهاد گردیده است.

$$\text{نسبت رطوبت‌سنجی} = \frac{h_G}{k_y C_s} = Le^{0.567}$$

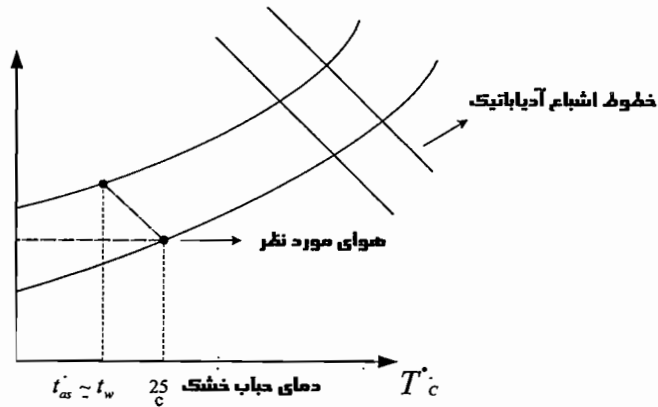
نکته : با توجه به رابطه بالا مشخص است که اگر عدد لوویس $Le > 1$ - بزرگتر از یک باشد در این‌صورت شیب خطوط حباب

مربوط بزرگتر از شیب خطوط اشباع آدیاباتیک می‌شود و در نتیجه دمای حباب مرطوب بزرگتر از دمای اشباع آدیاباتیک

می‌شود - $t_w > t_{as}$



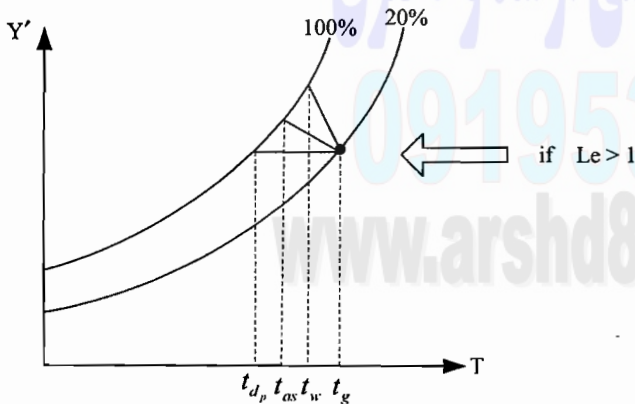
نکته : برای سیستم هوا و بخار آب تقریباً عدد پرانتل با عدد اشمیت برابر است - $Pr \approx Sc$ - و در نتیجه عدد لوویس تقریباً برابر یک می‌شود در نتیجه شیب خطوط حباب مرطوب و اشباع آدیباتیک با یکدیگر برابر می‌شود و برای به دست آوردن دمای حباب مرطوب هوای مورد نظر کافی است خطوطی به موازات اشباع آدیباتیک رسم کنیم.



دمای حباب خشک

دمای حباب خشک، دمایی است در حالت عادی دماسنج نشان می‌دهد و با t_g نشان داده‌ایم.

نکته : رابطه بین دماهای مختلف به صورت زیر می‌باشد:

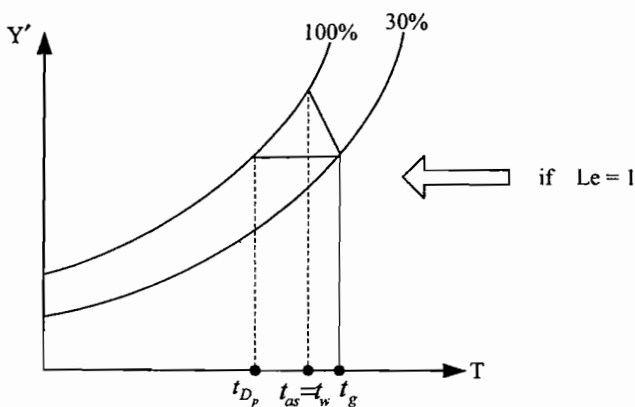


$$\text{if } Le > 1: \quad t_{Dp} < t_{as} < t_w < t_g$$

دمای حباب خشک < دمای حباب مرطوب < دمای اشباع آدیباتیک < دمای شبنم

$$\text{if } Le = 1: \quad t_{Dp} < t_{as} = t_w < t_g$$

دمای حباب خشک < دمای حباب مرطوب = دمای اشباع آدیباتیک < دمای شبنم



نکته : در حالت مخلوط گازی اشباع - 100% - هر چهار دما با یکدیگر هم‌اندازه می‌باشند.

۳-۹ مکانیسم‌ها

در دستگاه‌های انتقال جرم که برهم‌کنش گاز و مایع در آن‌ها صورت می‌گیرد سه مکانیزم عمده اتفاق می‌افتد که در این بخش به بررسی هر یک از آن‌ها می‌پردازیم.

۱-۳-۹ مکانیسم رطوبت‌زنی آدیاباتیک

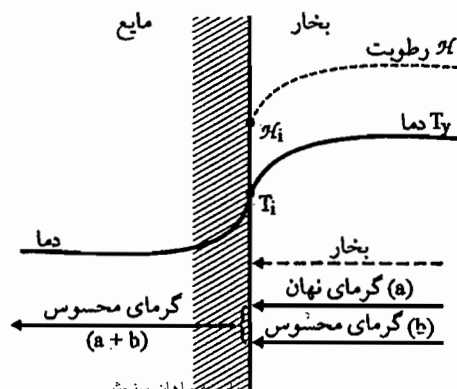
در این حالت، دمای گاز از دمای مایع بیشتر می‌باشد ولی میزان رطوبت مطلق توده گاز از فصل مشترک دو فاز کوچکتر است $-H < H_i$ در نتیجه مایع به درون فاز گاز، بخار می‌شود انتقال گرمای محسوس از گاز به مایع $-T_y > T_i$ با انتقال گرمای نهان تبخیر از مایع به گاز در موازنه است و در نتیجه هیچ‌گونه گرادیان دمایی در فاز مایع وجود ندارد.



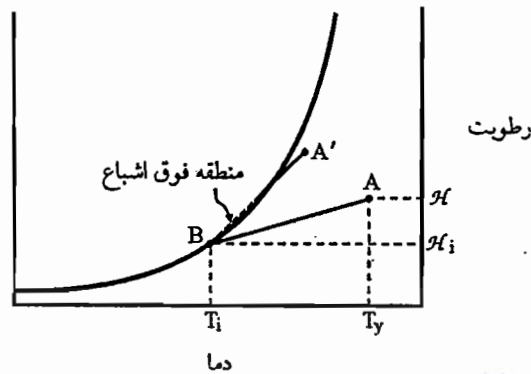
شرایط رطوبت‌زنی آدیاباتیک

۲-۳-۹ مکانیسم رطوبت‌زدایی

در این حالت میزان رطوبت مطلق توده گاز از رطوبت فصل مشترک دو فاز بیشتر است $-H > H_i$ دمای توده گاز نیز در نتیجه بزرگتر از دمای فصل مشترک می‌باشد $-T_y > T_i$ چون که شرایط فصل مشترک « H_i, T_i » مشخص‌کننده شرایط اشباع می‌باشند و اگر دمای توده گاز T_y کوچکتر از دمای فصل مشترک T_i باشد در این صورت گاز به‌صورت فوق اشباع درمی‌آید. همان‌طور که در شکل مشخص است جهت انتقال جرم و انرژی هم‌سو می‌باشند. دمای فاز مایع در نزدیکی سطح مشترک مقداری افزایش می‌یابد که به دلیل هم‌جهت بودن انتقال گرمای نهان و گرمای محسوس می‌باشد.



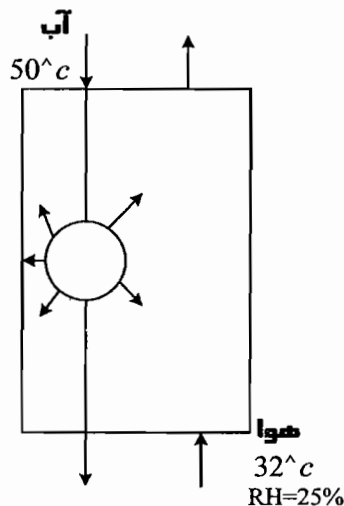
عملیات رطوبت‌زدایی بعضی مواقع باعث تشکیل مه می‌شود به عنوان مثال در شکل زیر اگر شرایط اولیه گازی نقطه A' باشد و مسیر رطوبت‌زنی از A' به B باشد در این صورت برای رسیدن به B مجبور به گذر از منحنی تعادلی - رطوبت نسبی 100% - می‌شویم که وارد ناحیه فوق اشباعیت می‌گردیم برای جلوگیری از تشکیل مه می‌توانیم دمای اولیه مخلوط را بالا ببریم به عنوان مثال شرایط اولیه گازی را با گرم کردن مخلوط به نقطه A منتقل نماییم و یا این که ضمن عملیات رطوبت‌زدایی کل مخلوط را گرم کنیم.



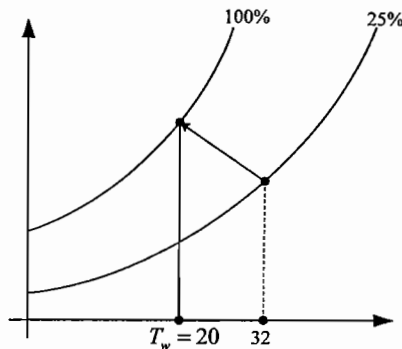
رطوبت‌زدایی با مایع سرد

۳-۳-۹ مکانیسم برج خنک‌کننده Cooling tower

برج‌های خنک‌کن برای سرد کردن سیالات به عنوان مبرد در مبدل‌ها و کندانسورها به کار می‌روند و به‌طور کلی به‌صورت یک رطوبت‌زن عمل می‌کند علت خنک شدن سیال تبخیر آن به درون گاز با استفاده از انرژی خود سیال می‌باشد جهت انتقال گرمای محسوس و گرمای نهان در بالا و پایین برج متفاوت می‌باشد اما جهت انتقال رطوبت همواره از سمت فاز مایع به سمت فاز گاز می‌باشد جریان فازها به‌صورت متقابل counter current می‌باشد و مایع از بالای برج و گاز از پایین برج وارد می‌شوند به عنوان مثال در شکل زیر می‌خواهیم آب ورودی با دمای 50°C را با استفاده از هوای با دمای حباب خشک 32°C و رطوبت نسبی 25% خنک کنیم.



با توجه به نمودار رطوبت-سنجی داریم:



دمای حباب مرطوب هوای ورودی برابر 20°C می‌باشد و برای محاسبه دمای آب خنک خروجی داریم:

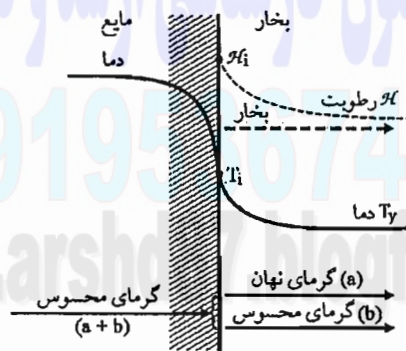
$$T_{\text{آب خنک خروجی}} = T_w + (2.5 - 5^{\circ}\text{C})$$

T_w : دمای حباب مرطوب هوای ورودی

$(2.5 - 5^{\circ}\text{C})$ ← دمای نزدیکی approach

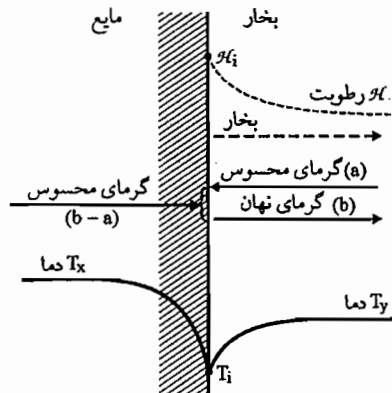
$$T_{\text{آب خنک خروجی}} - T_w = \Delta T_{\text{approach}}$$

پروفایل دما و غلظت در بالای برج خنک کن به صورت زیر می‌باشد:



شرایط در بالای برج سردکننده

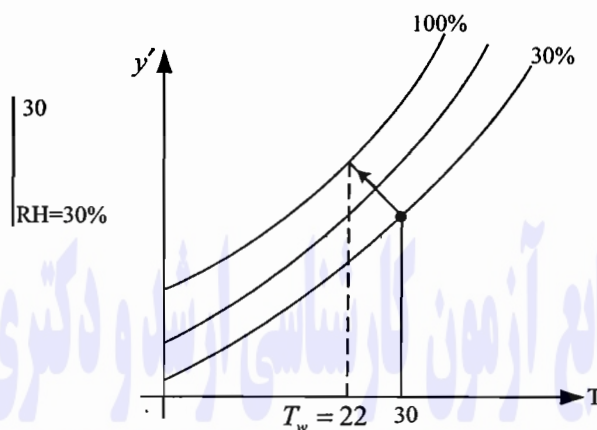
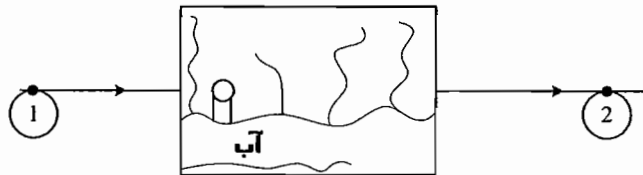
همان‌طور که در شکل مشخص است جهت انتقال گرمای نهان و محسوس یکسان می‌باشند و پروفایل دما و غلظت در پایین برج به صورت زیر می‌باشد.



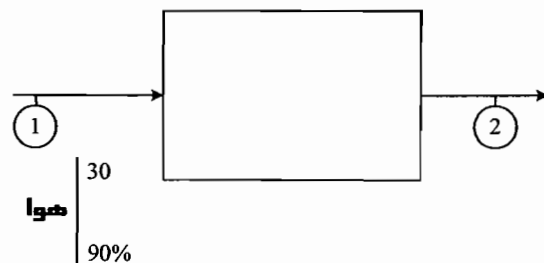
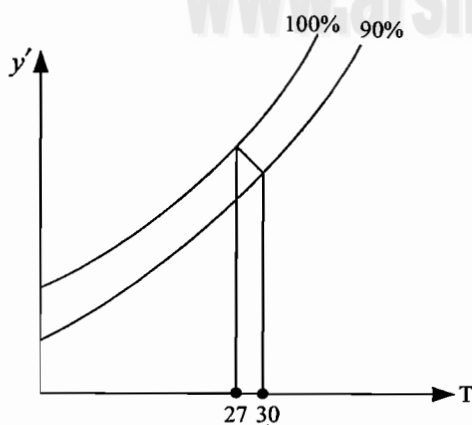
شرایط در پایین برج سردکننده

همان‌طور که در شکل می‌بینید دمای سطح مشترک پایین‌تر از دمای توده مایع می‌باشد و جهت انتقال گرمای محسوس از توده گاز به سمت فصل مشترک می‌باشد.

نکته : کولرهای آبی، برای سرد کردن هوا استفاده می‌شود در این دستگاه‌ها، آب به درون هوا تبخیر می‌شود و گرمای نهان تبخیر را از هوا می‌گیرد و هرچه میزان رطوبت نسبی هوای ورودی به کولر کمتر باشد، هوا بیشتر خنک می‌شود به همین جهت در محیط‌های شرجی استفاده از کولرهای آبی توصیه نمی‌شود.



در صورتی که هوا شرجی باشد دمای حباب خشک و مرطوب به هم خیلی نزدیک می‌شود و کولر آبی نقش چندانی در خنک کردن ها ندارد.



تست‌های طبقه‌بندی شده فصل نهم عملیات مرطوب‌سازی

۱ - مخلوطی از گاز نیتروژن (B) و بنزن (A) در 55 درجه سانتی‌گراد و فشار 800 میلی‌متر جیوه به حالت اشباع درآمده است. اگر

فشار بخار تعادلی بنزن در 55 درجه سانتی‌گراد برابر 280 میلی‌متر جیوه باشد رطوبت مطلق برحسب $\frac{kgA}{kgB}$ مخلوط برابر با

(مهندسی شیمی ۸۵) $M_B = 28$ و $M_A = 78$

(۱) 0.21 (۲) 0.57 (۳) 1.5 (۴) 3.15

۲ - کدام گزینه حرارت مرطوب (Humid Heat) را معرفی می‌کند؟ (مهندسی شیمی ۸۵)

(۱) حرارت لازم برای گرم کردن هوای مرطوب

(۲) حرارت لازم برای گرم کردن هوا در عملیات رطوبت‌زنی

(۳) میزان حرارتی که دمای واحد جرم هوای خشک و رطوبت همراه آن را یک درجه افزایش دهد.

(۴) میزان حرارت لازم برای آن که دمای رطوبت همراه هوا یک درجه افزایش یابد.

۳ - تعریف حجم مرطوب (Humid Volume) به کدام صورت صحیح است؟ (مهندسی شیمی ۸۵)

(۱) حجم هوای مرطوب داخل خشک‌کن

(۲) تفاوت حجم خشک‌کن و هوای داخل آن

(۳) حجم اشغال شده توسط رطوبت همراه واحد جرم هوای خشک

(۴) حجمی که واحد جرم هوای خشک و رطوبت همراه آن در دما و فشار مشخصی اشغال می‌نماید.

۴ - در ظرفی به فشار $101.3 \frac{kN}{m^2}$ و دمای 300k رطوبت نسبی بخار آب در هوا 25% است. اگر فشار جزئی بخار آب هنگامی که

هوا در دمای 300k از بخار آب اشباع است $3.6 \frac{kN}{m^2}$ باشد فشار جزئی بخار آب در ظرف $\left(\frac{kN}{m^2}\right)$ و رطوبت مطلق (%) به ترتیب

چقدر می‌باشد؟ (مهندسی شیمی ۸۴)

(۱) 48, 0.9 (۲) 24, 1.8 (۳) 24, 0.9 (۴) 48, 1.8

۵ - کدام گزاره در مورد یک ترمومتر که با کاربرد یک پارچه فتیله‌ای خیس در اطراف حباب جیوه‌ای آن دمای حباب هوا خیس

غیراشباع را نشان می‌دهد صادق است؟ (مهندسی شیمی ۸۴)

(۱) دمای آب در سطح پارچه با دمای هوا برابر است.

(۲) دمای آب در سطح پارچه بیشتر از دمای هوا است.

(۳) فشار بخار آب در سطح پارچه بیشتر از فشار جزئی بخار آب در هواست.

(۴) فشار بخار آب در سطح پارچه با فشار جزئی بخار آب در هوا برابر است.

۶ - عاملی که در کولرهای آبی هوا را خنک می‌کند؟ (مهندسی شیمی ۸۴)

(۱) درجه حرارت پایین آب می‌باشد.

(۲) تبخیر آب در هوا با انرژی آب می‌باشد.

(۳) تفاوت درجه حرارت حرارت هوا و آب می‌باشد.

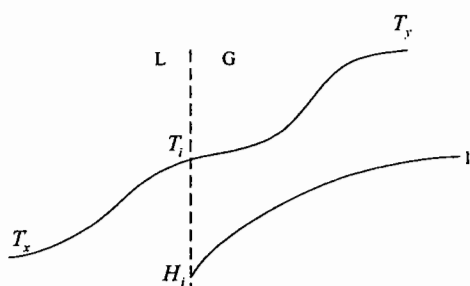
۷ - پروفایل دما و غلظت زیر مربوط به کدام دستگاه است؟ (مهندسی شیمی ۸۳)

(۱) رطوبت‌گیر

(۲) کولر آبی

(۳) برج خنک‌کننده (قسمت فوقانی)

(۴) برج خنک‌کننده آب (قسمت تحتانی)



۸ - اگر درصد مولی بخار آب در هوای مرطوب برابر 10 درصد باشد رطوبت هوا برابر است با: (مهندسی شیمی ۸۳)

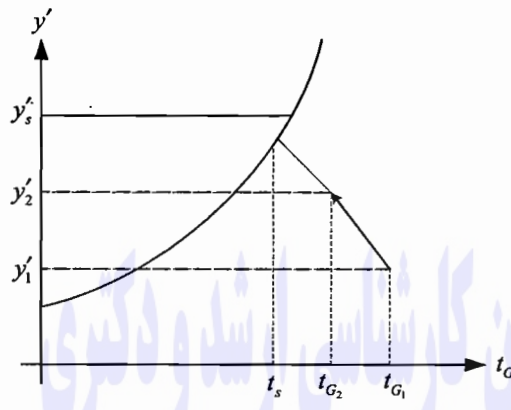
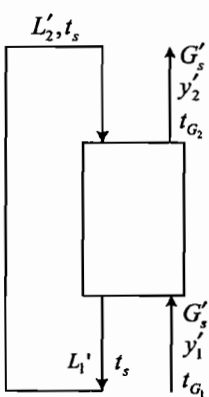
(۱) $0.069 \frac{\text{kg water}}{\text{kg dry air}}$

(۲) $0.10 \frac{\text{kg water}}{\text{kg dry air}}$

(۳) $0.55 \frac{\text{kg water}}{\text{kg dry air}}$

(۴) برای محاسبه رطوبت دمای هوا و فشار بخار اشباع آب در دمای هوا لازم است در دست باشد تا بتوان رطوبت را محاسبه نمود.

۹ - برج مرطوب‌سازی مطابق شکل در حال کار است، مقدار N_{tG} چقدر است؟ (مهندسی شیمی ۸۲)



$Y_1^1 = 0.017 \frac{\text{kg water}}{\text{kg dry air}}$ $t_{G1} = 65^\circ\text{C}$

$Y_2^1 = 0.0265 \frac{\text{kg water}}{\text{kg dry air}}$ $t_{G2} = 42^\circ\text{C}$

0.6 (۲) 4 (۱)

1.2 (۴) 2.13 (۳)

۱۰ - حجم مرطوب humid volume برای هوایی که در فشار یک اتمسفر و دمای 27°C بوده و رطوبت آن $y' = 0.01 \text{ kg } \frac{\text{H}_2\text{O}}{\text{kg dry air}}$ باشد برحسب $\frac{\text{m}^2}{\text{kg dry air}}$ کدام است؟ (مهندسی شیمی ۸۰)

2.8756×10^{-3} (۴) 283×10^{-2} (۳) 4.56×10^{-3} (۲) 0.862 (۱)

۱۱ - اختلاف بین دمای دماسنج مرطوب (wet bulb temperature) و دماسنج خشک نشانی از میزان رطوبت موجود در هوا است. این اختلاف به کدام یک از عوامل زیر بیشتر وابسته است؟ (مهندسی شیمی ۷۹)

(۱) نسبت ضریب انتقال جرم آب در اطراف دماسنج مرطوب به ضریب انتقال حرارت $\left(\frac{\text{ky}}{\text{hy}}\right)$

(۲) سرعت عبور هوا از کنار دماسنج مرطوب

(۳) ویسکوزیته هوا

(۴) کشش سطحی آب

۱۲ - رطوبت نسبی یک گاز (Relative humidity) در عملیات مرطوب‌سازی و خشک کردن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. کدام یک از مفاهیم زیر این عبارت را تعریف می‌کند؟ (مهندسی شیمی ۷۹)

(۱) نسبت فشار جزئی بخار مایع در گاز به فشار کل گاز

(۲) نسبت فشار جزئی بخار مایع در گاز به فشار بخار آن مایع در دمای گاز

(۳) نسبت حجم رطوبت موجود در گاز به حجم رطوبت آن گاز در حال اشباع

(۴) نسبت وزن رطوبت موجود در گاز به وزن رطوبت موجود در گاز در حال اشباع

پاسخ تست‌های طبقه‌بندی شده فصل نهم عملیات رطوبت‌سازی

۱- گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$Y' = \frac{M_A}{M_B} \frac{P_A}{P - P_A} = \frac{78}{28} \times \frac{280}{800 - 280} = 1.5$$

۲- گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۳- گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۴- گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$\text{رطوبت نسبی} = \frac{P_A}{P_A^s} \times 100 \Rightarrow 25 = \frac{P_A}{3.6} \times 100 \Rightarrow P_A = 0.9 \text{ KPa}$$

$$\text{درصد رطوبت مطلق} = \frac{P_A}{P_A^s} \cdot \frac{P_t - P_A^s}{P_t - P_A} \times 100 = \frac{0.9}{3.6} \times \frac{101.3 - 3.6}{101.3 - 0.9} \times 100 = 24.3$$

۵- گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

با توجه به این که هوای مرطوب غیراشباع می‌باشد و این که سطح پارچه خیس، همواره در شرایط اشباع می‌باشد، گزینه سوم صحیح است.

۶- گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۷- گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۸- گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$Y' = \frac{M_A}{M_B} \frac{y_A}{1 - y_A} = \frac{18}{29} \times \frac{0.1}{0.9} = 0.069$$

۹- گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

نیروی محرکه برابر است با اختلاف دمای گاز و دمای فصل مشترک، تعداد مراحل تئوری برابر است نیروی محرکه کلی تقسیم بر نیروی محرکه متوسط در طول برج. برای محاسبه نیروی محرکه متوسط از متوسط لگاریتمی نیروی محرکه بالای برج و پایین برج استفاده می‌کنیم و داریم:

$$\left. \begin{array}{l} \text{نیروی محرکه بالای برج} : 42 - 32 = 10 \\ \text{نیروی محرکه پایین برج} : 65 - 32 = 33 \end{array} \right\} \text{متوسط لگاریتمی} : \frac{33 - 10}{\ln \frac{33}{10}} = 19.26 \Rightarrow N_{tG} = \frac{23}{19.26} = 1.19 \approx 1.2$$

با استفاده از متوسط حسابی خواهیم داشت:

$$N_{tG} = \frac{23}{\frac{33 + 10}{2}} = 1.07$$

۱۰- گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$V_H = \frac{0.082 T}{P_t} \left(\frac{1}{M_B} + \frac{Y'}{M_A} \right) = \frac{0.082 \times 300}{1} \left(\frac{1}{29} + \frac{0.01}{18} \right) = 0.862 \frac{\text{m}^3}{\text{kg drg air}}$$

۱۱- گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۱۲- گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

فصل دهم

خشک کردن drying

۱-۱۰ مقدمه

خشک کردن جامدات به معنی خارج کردن رطوبت موجود در آنها به وسیله جریان گاز می باشد. جداسازی رطوبت جامدات به وسیله فشردن و یا سانتریفیوژ جزء عملیات خشک کردن قرار نمی گیرد. لازم به ذکر است که به وسیله عملیات مکانیکی نمی توان کلیه رطوبت موجود در جسم را خارج نمود. خشک کردن معمولاً آخرین مرحله یک فرایند محسوب می شود و محصول خروجی از این مرحله، اغلب آماده بسته بندی نهایی می باشد.

۲-۱۰ تعاریف

رطوبت جسم جامد moisture

به مقدار آب موجود در جسم جامد رطوبت گفته می شود و آن را بر اساس دو مبنای کلی توصیف می کنند.

رطوبت بر مبنای مرطوب: - x - مقدار رطوبت جسم مرطوب نسبت به جامد مرطوب، که اگر برحسب درصد وزنی بیان شود به صورت زیر می باشد:

$$x = \frac{\text{کیلوگرم آب موجود در جامد}}{\text{کیلوگرم جامد خشک} + \text{کیلوگرم آب موجود در جامد}} = \frac{m_v}{m_w}$$

m_v : جرم آب موجود در جامد
 m_w : جرم جامد مرطوب

رطوبت بر مبنای خشک: - X - مقدار رطوبت جسم مرطوب نسبت به جامد خشک، که اگر برحسب درصد وزنی بیان شود؛ بنابراین داریم:

$$X = \frac{\text{کیلوگرم آب موجود در جامد}}{\text{کیلوگرم جامد خشک}} = \frac{m_v}{m_s - m_v} = \frac{m_v}{m_s}$$

m_s : جرم جامد خشک

رابطه بین رطوبت بر مبنای خشک و بر مبنای رطوبت به صورت زیر است:

$$X = \frac{x}{1-x}, \quad x = \frac{X}{1+X}$$

رطوبت تعادلی - X^* -

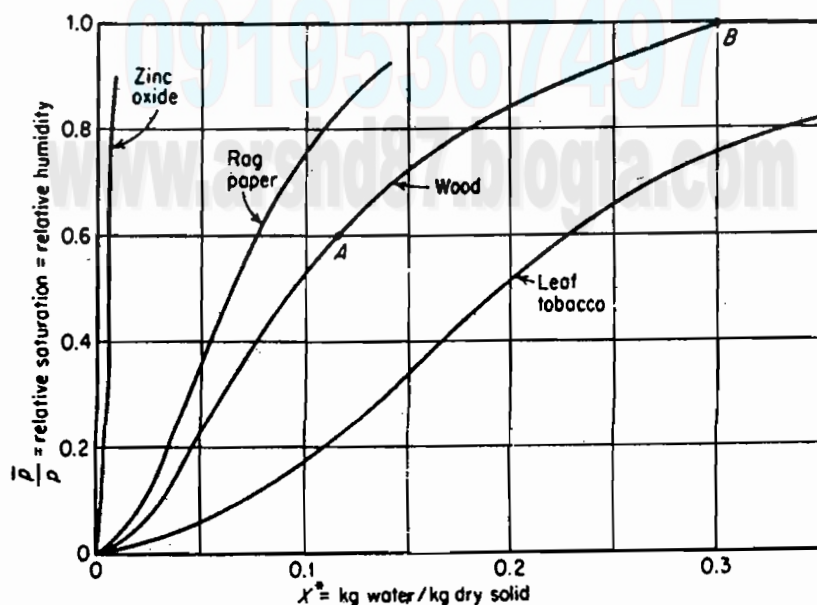
رطوبت موجود در جامد، فشار بخاری ایجاد می‌کند که به نوع رطوبت - در قسمت‌های بعدی توضیح بیشتری در مورد نوع رطوبت داده خواهد شد - و نوع جامد و درجه حرارت جامد بستگی دارد. بنابراین اگر جامد مرطوبی در معرض جریانی گازی که حاوی بخار با فشار جزئی P قرار بگیرد، جسم جامد تا جایی رطوبت خود را از دست می‌دهد که فشار بخار رطوبت در جسم به P برسد. بعد از آن گاز و جامد در حال تعادل خواهند بود. به مقدار رطوبت جسم در این حالت تعادل رطوبت تعادلی - X^* - گویند.

بنابراین نتیجه می‌گیریم که رطوبت تعادلی تابعی از نوع ماده و شرایط هوای خشک‌کننده می‌باشد. در شکل زیر نمودار تعادلی برای چند جسم نشان داده شده است. محور عمودی نشانگر رطوبت نسبی RH% هوای خشک‌کننده می‌باشد و محور افقی نشانگر رطوبت تعادلی اجسام است.

منحنی مربوط به چوب را در نظر بگیرید. اگر چوب در ابتدا حاوی 0.3 کیلوگرم آب / کیلوگرم جامد خشک «نقطه B» رطوبت باشد و در معرض جریان

مداومی از هوا با رطوبت نسبی 0.6 قرار گیرد، مقدار آب موجود در چوب آن قدر تبخیر می‌شود تا به غلظت تعادلی 0.12 کیلوگرم آب / کیلوگرم جامد خشک

«نقطه A» برسد بعد از این نقطه با افزایش میزان جریان هوا نیز نمی‌توانیم بیش از این رطوبت از چوب خارج کنیم. لازم به ذکر است که مقدار رطوبت را می‌توان با جریانی از هوا که دارای رطوبت نسبی پایین‌تر باشد، کاهش داد. ولی برای خارج کردن تمام رطوبت احتیاج به هوای خشک یعنی با رطوبت نسبی 0% داریم.



مقدار آب تعادلی چند جامد در 25°C (From "international Critical Tables," vol. II, pp. 25)

نکته: اگر رطوبت نسبی هوا به سمت صفر میل کند - $\text{RH} \rightarrow 0$ - در این صورت میزان رطوبت تعادلی نیز به صفر میل می‌کند - $X^* \rightarrow 0$ -

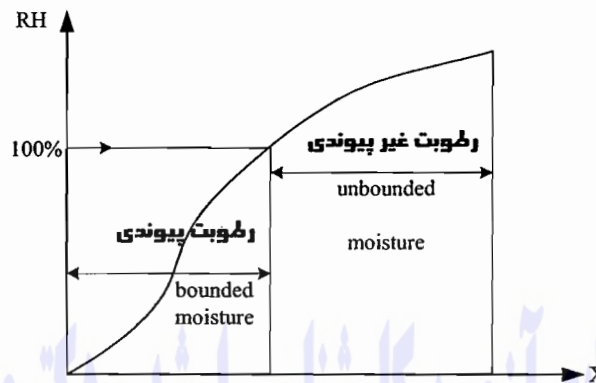
رطوبت غیر پیوندی و پیوندی

رطوبت غیر پیوندی: رطوبت‌های موجود در جامد که بیشتر از رطوبت در تعادل با هوای حاوی بخار با رطوبت نسبی $RH = 100\%$

می‌باشد، رطوبت غیر پیوندی گویند. رطوبت غیر پیوندی در حقیقت، رطوبت سطحی جسم می‌باشد.

رطوبت پیوندی: رطوبت‌های موجود در جامد که کمتر از رطوبت در تعادل با هوای حاوی بخار با رطوبت نسبی $RH = 100\%$

می‌باشد رطوبت پیوندی گویند. رطوبت پیوندی، در حقیقت، رطوبت درونی جسم می‌باشد.



نکته : رطوبت پیوندی و غیر پیوندی به شرایط هوا بستگی ندارند.

نکته : فشار بخار حاصل از رطوبت غیر پیوندی برابر با فشار بخار آب خالص در درجه حرارت مربوطه می‌باشد و فشار بخار

حاصل از رطوبت پیوندی کمتر از فشار بخار آب خالص در درجه حرارت مربوطه می‌باشد.

www.arshd87.blogfa.com

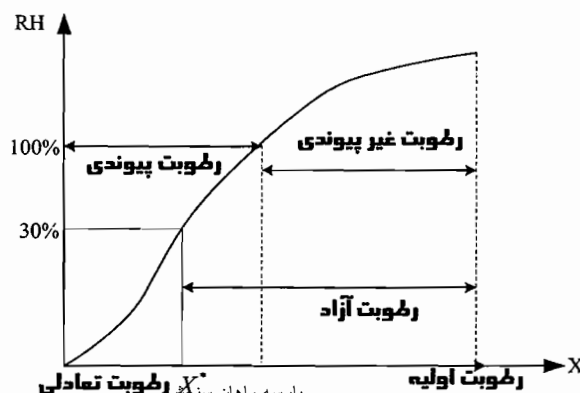
رطوبت آزاد free moisture

رطوبت آزاد، کل رطوبتی است که در حضور هوای مشخص می‌توان از جسم جامد خارج کرد و برابر با تفاوت رطوبت اولیه جسم و

رطوبت تعادلی می‌باشد « $X - X^*$ »

نکته : رطوبت آزاد تابعی از شرایط هوای خشک‌کننده و نوع ماده خشک‌شونده است.

به عنوان مثال در شکل زیر فرض کنید جسم جامد مرطوبی را می‌خواهیم با هوای با رطوبت نسبی $RH = 30\%$ خشک کنیم.



مثال: کدام یک از گزینه‌های زیر صحیح نمی‌باشد؟

- (۱) عمل خشک شدن در هر زمانی اتفاق می‌افتد و به میزان رطوبت جسم بستگی ندارد.
- (۲) رطوبت تعادلی به دما، رطوبت هوا و نوع ماده بستگی دارد.
- (۳) اگر رطوبت یک جسم از رطوبت تعادلی آن در رطوبت نسبی %100 کمتر باشد، به آن رطوبت چسبیده گویند.
- (۴) اختلاف رطوبت موجود در جسم و رطوبت تعادلی در همان شرایط را رطوبت آزاد گویند.

حل: گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

عمل خشک شدن زمانی اتفاق می‌افتد که رطوبت جسم از رطوبت تعادلی بیشتر باشد $X > X^*$

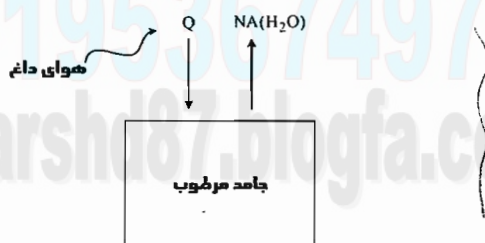
۱۰-۳ تقسیم‌بندی خشک‌کن‌ها

خشک‌کن‌ها را از دو منظر می‌توان تقسیم‌بندی نمود؛ الف) از منظر نحوه حرارت‌دهی جامدات و ب) از منظر ظرفیت خشک‌کن

۱۰-۳-۱

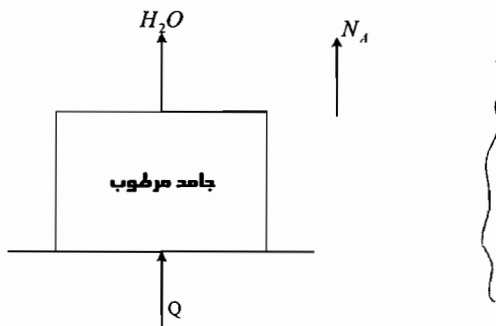
از منظر نحوه حرارت‌دهی جامدات مرطوب، خشک‌کن‌ها به دو دسته آدیاباتیک و غیرآدیاباتیک تقسیم می‌شوند.^۱

خشک‌کن‌های آدیاباتیک: در خشک‌کن‌های آدیاباتیک یا مستقیم، جامد مرطوب مستقیماً توسط گاز داغ حرارت می‌گیرد. انتقال حرارت در این نوع خشک‌کن‌ها به صورت جابه‌جایی می‌باشد. جهت شار انتقال جرم و شار انتقال حرارت ناهمسو می‌باشد. - حرارت از گاز به جامد و انتقال جرم از جامد به سمت گاز می‌باشد. -



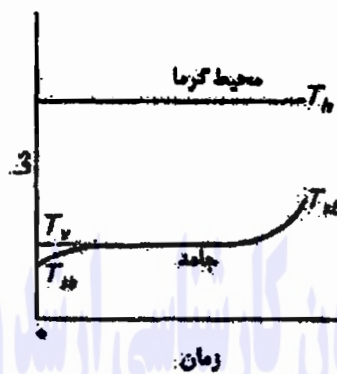
اگر حرکت هوای داغ داخل خشک‌کن به صورت غیریکنواخت باشد، رطوبت موجود در محصول خروجی از قسمت‌های مختلف دستگاه متفاوت خواهد بود. برای حل این مشکل مقدار کمی از هوای داغ را از دستگاه عبور می‌دهند و بخش اعظم آن را به درون دستگاه باز می‌گردانند.

خشک‌کن‌های غیرآدیاباتیک: در خشک‌کن‌های غیرآدیاباتیک و یا غیرمستقیم گرما از طریق محیط خارجی به جسم جامد منتقل می‌شود. در این خشک‌کن‌ها انتقال حرارت با مکانیزم هدایت صورت می‌گیرد و جهت شار انتقال جرم با شار انتقال حرارت همسو می‌باشد.



از حیث ظرفیت خشک کن‌ها به دو دسته پیوسته - continuous - و ناپیوسته - Batch - تقسیم می‌شوند.

خشک کن‌های ناپیوسته: در خشک کن‌های ناپیوسته و یا Batch، مقدار جامد مرطوب درون دستگاه ثابت است و جریان گاز در طی فرایند سبب خشک شدن آن‌ها می‌شود. از این نوع خشک کن در عملیات‌های با مقیاس‌های کوچک و نیز زمانی که میزان محصول تولیدی مورد نظر کمتر از $50 \frac{kg}{hr}$ می‌باشد استفاده می‌کنند. در این خشک کن‌ها دمای محیط در طی فرایند خشک کردن ثابت می‌ماند و منحنی توزیع دما در خشک کن‌ها ناپیوسته به صورت زیر می‌باشد.

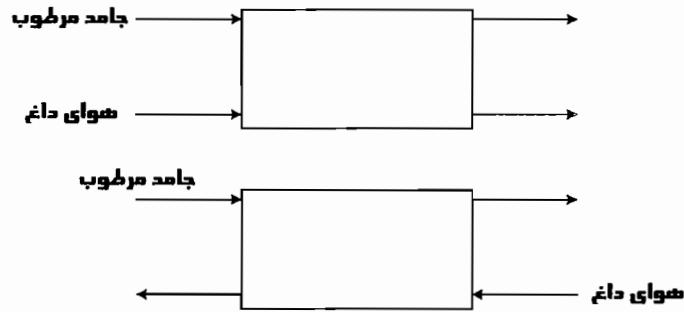


شیوه تغییر دما در خشک کن ناپیوسته

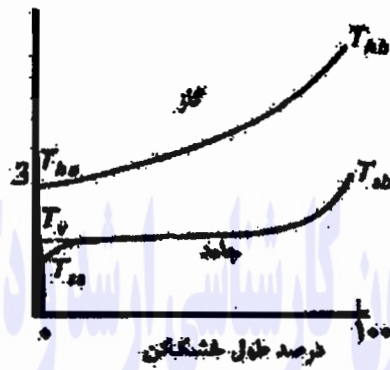
همان‌طور که در شکل می‌بینید دمای محیط گرم در طی فرایند ثابت است ولی دمای جسم جامد از T_{sa} تا دمای تبخیر T_v افزایش می‌یابد و برای مدت قابل ملاحظه‌ای در این دما باقی می‌ماند و در نهایت محصول خروجی با دمای T_{sb} از دستگاه خارج می‌شود.

نکته : در دستگاه‌های مستقیم و یا آدیاباتیک T_v ، برابر با دمای حباب مرطوب سیستم می‌باشد و در دستگاه‌های غیرمستقیم و یا غیرآدیاباتیک T_v ، برابر با نقطه جوش آب در فشار سیستم می‌باشد.

خشک کن‌های پیوسته: در خشک کن‌های پیوسته و یا continuous در هر لحظه مقدار جامد ورودی با خروجی برابر است و هر جزء از جامد کل مسیر دستگاه را در زمان مشخص می‌کند. از معروفترین دستگاه‌های خشک کن‌ها پیوسته می‌توان به خشک کن دوار اشاره کرد جریان گاز و جامد می‌تواند به صورت هم سو و یا ناهمسو باشد. از خشک کن‌های پیوسته در ظرفیت‌های بالا - capacity $1 \frac{ton}{hr}$ استفاده می‌کنند. در این نوع خشک کن‌ها، دمای محیط گرم ثابت نمی‌باشد و دمای هوا در طول فرایند کاهش می‌یابد - کل رطوبت گرفته شده توسط مقدار هوای مشخصی گرفته می‌شود که در نتیجه باعث کاهش دمای آن خواهد شد - همان‌طور که گفته شد در خشک کن‌های مستقیم و پیوسته، جریان هوا و جامد مرطوب می‌توانند به صورت هم سو و یا ناهمسو باشند که شرایط و خواسته‌های ما آن را مشخص می‌کند. به عنوان مثال برای خشک کردن جامدات حساس به دما بهتر است از جریان‌های هم سو استفاده کنیم زیرا در این حالت هوای با ماکزیمم دما در مجاور جامدی قرار می‌گیرد که میزان رطوبتش بیشتر است.



منحنی توزیع دما در خشک کن مستقیم و پیوسته که در آن جریان‌ها به صورت ناهمسو می‌باشند در شکل زیر آورده شده است.



شیوه تغییر دما در خشک کن پیوسته متقابل و آدیاباتیک

۴-۱۰ محاسبه شار خشک شدن یا شار انتقال جرم در فرایند خشک کردن

شار انتقال جرم به صورت جرم آب تبخیر شده در واحد زمان از واحد سطح جسم جامد تعریف می‌شود:

$$N = \frac{\text{تبخیر شده } \text{kg}(\text{H}_2\text{O})}{\text{m}^2 \cdot \text{sec}}$$

شدت خشک شدن

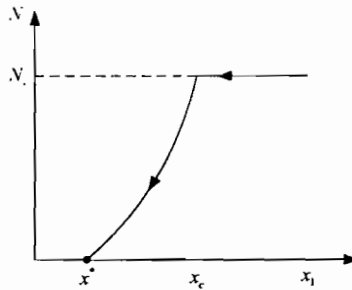
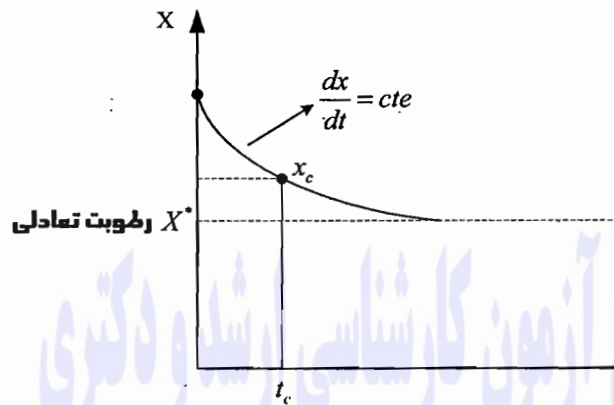
$$\left\{ \begin{array}{l} \text{وزن جامد خشک} = m_s \\ \text{وزن جامد مرطوب} = m_w \rightarrow m_w = m_s + m_v \\ \text{وزن آب موجود در جامد} = m_v \end{array} \right. \quad , \quad X = \frac{m_v}{m_s} = \frac{m_w - m_s}{m_s}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} N = -\frac{dm_v}{A \cdot dt} \\ m_v = X \cdot m_s \Rightarrow dm_v = m_s dX \end{array} \right. \Rightarrow N = -\frac{m_s}{A} \frac{dX}{dt}$$

جرم جامد خشک در طول فرایند خشک کردن، تغییر نمی‌کند.

حال با تشکیل جدول زیر و انجام اندازه گیری های لازم می توانیم نمودارهای زیر را رسم کنیم:

t	m_w	$X = \frac{m_w - m_s}{m_s}$	$\frac{dX}{dt}$	$N = -\frac{L_s}{A} \frac{dX}{dt}$
0	-	-	-	-
t_1	-	X_1	-	N_1
t_2	-	X_2	-	N_2
\vdots	-	-	-	\vdots
t_f	-	X_f	-	N_f



همان طور که در نمودارهای بالا مشاهده می کنید در یک غلظت مشخص X_c رفتار سیستم تغییر می کند. به عنوان مثال در نمودار آخر مشاهده می کنید که سرعت خشک شدن N - بر حسب رطوبت X دارای دو مرحله سرعت ثابت و سرعت نزولی می باشد.

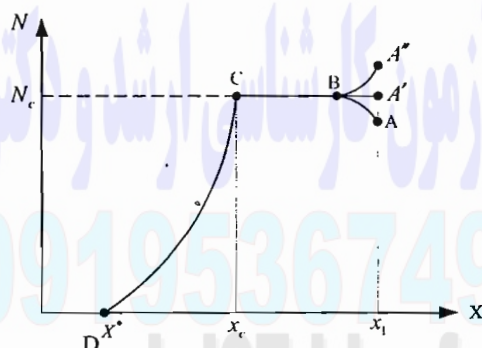
به رطوبتی که در آن مکانیزم خشک شدن عوض می‌شود رطوبت بحرانی X_c می‌گویند. در ناحیه سرعت ثابت «از X_1 تا X_c » رطوبت پیوسته‌ای روی سطح جسم وجود دارد و سرعت ثابت است ولی در ناحیه سرعت نزولی «از X_c تا X^* » رطوبت سطحی از بین رفته است و نقاط خشک روی سطح جامد پدیدار شده است. لازم به ذکر است که رطوبت بحرانی X_c یک خاصیت از جسم نیست و تابع ضخامت جسم و شرایط خشک شدن آن است.

۵-۱۰ بررسی مکانیزم خشک شدن جامدات غیرمتخلخل و متخلخل

وجود خلل و فرج در جسم جامد بر رفتار جسم در حین خشک شدن تأثیر می‌گذارد. لذا ما اجسام جامد را به دو دسته متخلخل و غیرمتخلخل تقسیم می‌کنیم و به بررسی جداگانه هر یک می‌پردازیم.

۱-۵-۱۰ جامدات غیرمتخلخل

نمودار تغییرات سرعت خشک شدن جامد غیرمتخلخل بر حسب رطوبت به صورت زیر می‌باشد:



با توجه به دمای جامد ورودی به دستگاه خشک‌کن، نقطه شروع فرایند می‌تواند هر یک از نقاط A یا A' یا A'' باشد. اگر دمای جسم جامد بالاتر از دمای اشباع سطحی باشد فرایند از نقطه A'' شروع می‌شود. اگر جامد ورودی در دمای اشباع سطحی وارد خشک‌کن شود فرایند از نقطه A' شروع می‌شود و اگر جامد ورودی سردتر از دمای اشباع سطحی باشد و وارد خشک‌کن گردد در این صورت متناسب با افزایش دمای جامد به دلیل افزایش فشار بخار آب، شدت تبخیر سطحی افزایش می‌یابد و نقطه شروع فرایند نقطه A خواهد بود.

ناحیه BC - ناحیه سرعت ثابت - همان‌طور که قبلاً گفته شد، در این ناحیه همواره فیلم پیوسته‌ای از مایع سطح جامد را پوشانده است و هیچ نقطه خشکی روی سطح جامد وجود ندارد و تبخیر آب‌های سطحی صورت می‌گیرد و عمدتاً آبی که از جامد خارج می‌شود مربوط به رطوبت غیرپیوندی جامد می‌باشد.

موارد زیر در مورد خشک‌کن‌های مستقیم در رابطه با ناحیه BC برقرار است:

۱- انتقال حرارت و انتقال جرم در این ناحیه با مکانیزم جابه‌جایی - Convection - انجام می‌گیرد.

۲- با نوشتن موازنه انرژی داریم:

$$N_C \times \lambda = h(T_G - T_w)$$

انرژی لازم برای تبخیر در سرعت ثابت

T به دمای جامد با دمای T_w

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

T_G : دمای حباب خشک یا دمای توده‌ای گاز

T_W : دمای حباب مرطوب یا دمای سطح جامد

h : ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی

N_C : شدت و یا سرعت خشک شدن $\frac{kg}{m^2 \cdot s}$

λ : گرمای نهان تبخیر $\frac{kJ}{kg}$

۳- تأثیر پارامترهای مختلف بر شدت خشک شدن ثابت

با توجه به رابطه به‌دست آمده $\left[N_C = \frac{h(T_G - T_W)}{\lambda} \right]$ داریم:

$$\frac{N_{C_2}}{N_{C_1}} = \frac{h_2}{h_1}$$

و می‌دانیم که با افزایش سرعت گاز، ضریب انتقال حرارت h - افزایش می‌یابد پس:

$$\begin{cases} u_{gas} \propto G \\ h \propto u \end{cases} \Rightarrow \frac{N_{C_2}}{N_{C_1}} \propto \frac{G_2}{G_1} \propto \frac{u_{2g}}{u_{1g}}$$

u : سرعت گاز

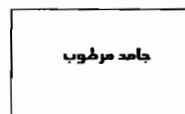
G : دبی گاز ورودی

و همچنین زمان خشک شدن با سرعت خشک شدن رابطه عکس دارد پس:

$$\frac{t_2}{t_1} \propto \frac{G_1}{G_2} \propto \frac{u_{1g}}{u_{2g}}$$

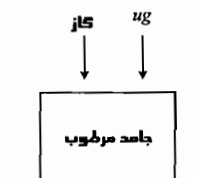
t : زمان خشک شدن

با توجه به روابط عدد ناسلت و رینولدز می‌توانیم در دو حالت زیر نسبت تغییر ضریب انتقال حرارت و سرعت گاز را به‌دست آوریم.
الف) جریان گاز به موازات سطح جامد حرکت کند.



$$Nu \propto Re^{0.8} \Rightarrow h \propto u^{0.8} \Rightarrow \frac{N_{C_2}}{N_{C_1}} = \frac{h_2}{h_1} = \left(\frac{u_2}{u_1} \right)^{0.8} = \left(\frac{G_2}{G_1} \right)^{0.8}$$

ب) جریان گاز به‌صورت عمود بر سطح جامد حرکت کند.

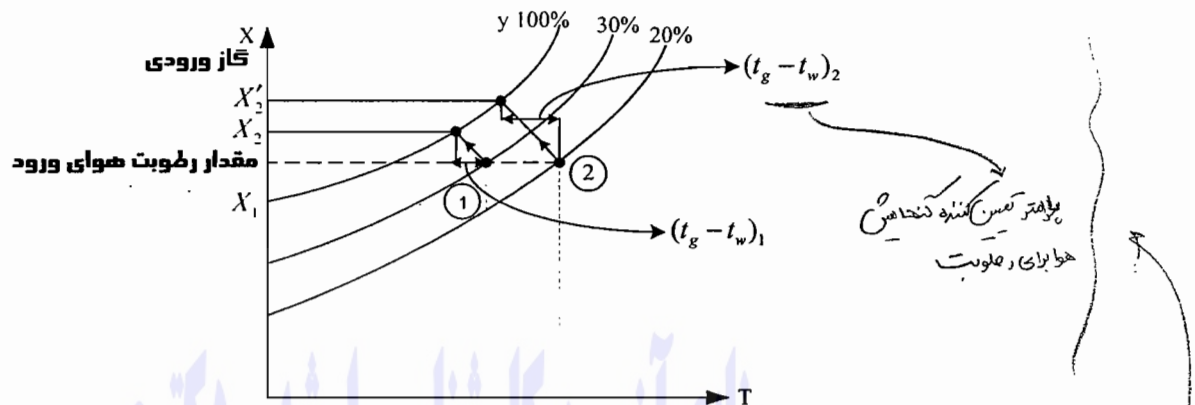


$$\Rightarrow Nu \propto Re^{0.37} \Rightarrow L \propto u^{0.37} \Rightarrow \frac{N_{C_2}}{N_{C_1}} = \left(\frac{u_2}{u_1} \right)^{0.37} = \left(\frac{G_2}{G_1} \right)^{0.37}$$

و با توجه به رابطه $\left[N_C = \frac{h(T_o - T_w)}{\lambda} \right]$ تأثیر شرایط گاز ورودی مورد استفاده را بر شدت خشک شدن به دست می آوریم:

$$\frac{N_{C_2}}{N_{C_1}} = \frac{(T_G - T_w)_2}{(T_G - T_w)_1}$$

که با رجوع به نمودار رطوبت سنجی می توانیم درک بهتری از این موضوع داشته باشیم:



همان طور که می بینید با پیش گرم کردن هوای ورودی، باعث کاهش رطوبت نسبی آن می شویم - $\frac{P_A}{P_{sat}}$ - و همچنین سبب افزایش

گنجایش هوا برای رطوبت می گردیم $(X'_2 - X_1) > (X_2 - X_1)$

ناحیه CD - ناحیه سرعت نزولی Falling Rate - : پس از تبخیر آب های سطحی و به وجود آمدن نقاط خشک روی سطح جامد، دوره نزولی سرعت آغاز می شود و رطوبت بایستی از درون جامد به سطح آن نفوذ کند و به فاز هوا منتقل شود. در خشک کن های مستقیم در مورد ناحیه CD نکات زیر مهم است:

۱- انتقال جرم و انتقال حرارت در این ناحیه هر دو با مکانیزم نفوذ مولکولی و هدایت انجام می گیرد.

۲- دمای سطح جسم جامد برابر با دمای حباب خشک گاز مرطوب می باشد.

۳- رطوبت سطح جامد برابر با رطوبت تعادلی - X^* - می باشد و نیروی محرکه انتقال جرم از درون جسم جامد برابر با « $X - X^*$ » می باشد که X رطوبت درونی جسم جامد است.

۴- تأثیر پارامترهای مختلف بر شدت خشک شدن در ناحیه نزولی به صورت زیر می باشد:

سرعت گاز عبوری در این ناحیه تأثیری بر شدت خشک شدن نزولی ندارد چون مکانیزم انتقال حرارت و انتقال جرم هر دو به صورت مولکولی می باشد، ولی دمای هوای عبوری بر شدت خشک شدن در این ناحیه تأثیر دارد زیرا با افزایش دمای هوای عبوری، دمای حباب خشک - دمای سطحی جسم جامد - افزایش می یابد که باعث افزایش میزان انتقال حرارت به وسیله هدایت می گردد

- $q = \frac{k(T_1 - T_2)}{\Delta x}$ - و همچنین میزان رطوبت نسبی هوا، به واسطه تأثیری که بر میزان رطوبت تعادلی دارد بر شدت خشک شدن

نزولی مؤثر است و هرچه رطوبت نسبی هوا کمتر باشد باعث افزایش میزان رطوبت آزاد درون جسم می شود که به نوبه خود سبب افزایش نیروی محرکه انتقال جرم می گردد. برای بررسی اثر ضخامت جسم جامد بر شدت خشک شدن در این ناحیه با توجه به

برقراری شرایط قانون دوم فیک «شرایط ناپایدار، عدم وجود واکنش مکانیزم خشک شدن به وسیله نفوذ» داریم:

D_{AB} : ضریب نفوذ آب در جسم جامد

z : ضخامت جسم جامد

X : میزان رطوبت

t : پارامتر زمانی

$$\frac{\delta X}{\delta t} = D_{AB} \frac{\delta^2 X}{\delta z^2}$$

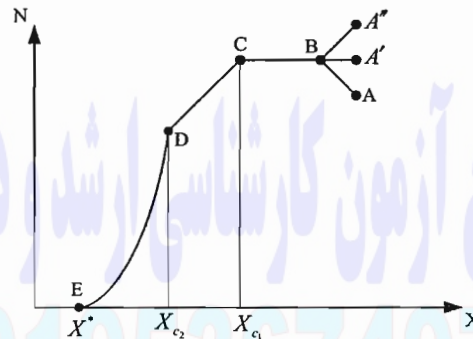
$$\frac{X}{t} \propto D_{AB} \frac{X}{z^2} \Rightarrow t \propto \frac{z^2}{D_{AB}}$$

با استفاده از آنالیز مرتبه مقداری می‌توانیم رابطه بالا را به صورت مقابل بنویسیم:

پس زمان خشک شدن با ضخامت به دو متناسب است.

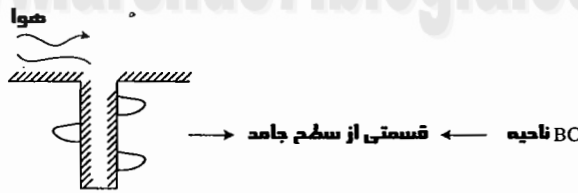
۱۰-۵-۲ جامدات متخلخل

نمودار تغییرات سرعت خشک شدن جامد متخلخل بر حسب رطوبت، به صورت زیر می‌باشد:



از نقاط (A یا A' یا A'') تا نقطه C همانند جامدات غیرمتخلخل می‌باشد.

در ناحیه BC همان‌طور که در شکل زیر مشاهده می‌شود سطح جامد توسط فیلمی از مایع پوشانده شده است.



در ناحیه CD در سطح جامد نقاط خشک به وجود می‌آید و در این ناحیه نیروهای موینگی به وجود آمده در خلل و فرج جسم متخلخل، باعث وجود فیلمی از مایع در داخل حفرات می‌شود.

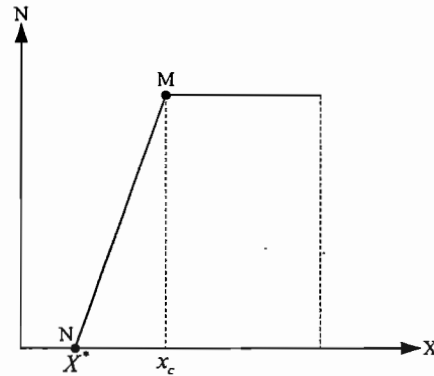


در ناحیه DE با پیشرفت خشک شدن جامد، از شدت خشک شدن باز هم کاسته می‌شود که باعث به وجود آمدن نقطه رطوبت بحرانی دوم - X_{C2} - می‌گردد. در این ناحیه نیروی نفوذ مولکولی کنترل کننده سرعت خشک شدن می‌باشد.



۶-۱۰ محاسبه زمان لازم برای خشک شدن جامد

با فرض خطی بودن تغییرات سرعت خشک شدن جامد، برای محاسبه زمان لازم جهت خشک شدن، سه حالت زیر را در نظر می‌گیریم:



$$N = -\frac{m_s}{A} \frac{dX}{dt} \Rightarrow t = -\frac{m_s}{A} \int_{X_1}^{X_2} \frac{dX}{N}$$

\$X_1\$: مقدار رطوبت در شروع فرایند
\$X_2\$: مقدار رطوبت در پایان فرایند

معادله خط MN: $\frac{N-0}{X-X^*} = \frac{N_C-0}{X_C-X^*}$

$$M \left| \begin{matrix} N_C \\ X_C \end{matrix} \right., \quad M \left| \begin{matrix} 0 \\ X^* \end{matrix} \right. \Rightarrow N = \left(\frac{N_C}{X_C - X^*} \right) X - \left(\frac{N_C}{X_C - X^*} \right) X^* \quad \text{یا} \quad N = N_C \left[\frac{X - X^*}{X_C - X^*} \right]$$

حالت اول: اگر $X_1 > X_2 > X_C$ در این صورت مقدار N ثابت بوده و از انتگرال خارج می‌شود $N = N_C$

$$\Rightarrow t = \frac{m_s}{AN_C} (X_1 - X_2)$$

حالت دوم: اگر $X_1 > X_C$ و $X_2 < X_C$ باشد در این صورت N تا رطوبت X_C ثابت بوده و بعد از آن به صورت خطی تغییر می‌کند و برای محاسبه زمان لازم برای خشک شدن انتگرال را به دو قسمت تقسیم می‌کنیم:

$$t = -\frac{m_s}{A} \int_{X_1}^{X_2} \frac{dX}{N} = -\frac{m_s}{A} \left[\int_{X_1}^{X_C} \frac{dX}{N_C} + \int_{X_C}^{X_2} \frac{dX}{N_C \left(\frac{X - X^*}{X_C - X^*} \right)} \right]$$

$$\Rightarrow t = \frac{m_s}{AN_C} \left[(X_1 - X_C) + (X_C - X^*) \ln \left(\frac{X_C - X^*}{X_2 - X^*} \right) \right]$$

حالت سوم: اگر $X_C > X_1 > X_2 > X^*$ در این صورت در کل ناحیه خشک شدن، سرعت خشک شدن به صورت خطی تغییر می‌کند و داریم:

$$t = -\frac{m_s}{A} \int_{X_1}^{X_2} \frac{dX}{N_C \left(\frac{X - X^*}{X_C - X^*} \right)} \Rightarrow t = \frac{m_s}{AN_C} (X_C - X^*) \ln \frac{X_1 - X^*}{X_2 - X^*}$$

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

نکته : با توجه به رابطه به دست آمده برای محاسبه مدت زمان خشک شدن در ناحیه سرعت ثابت، می‌توانیم اثر ضخامت جامد را بر زمان خشک شدن در ناحیه سرعت ثابت به صورت زیر به دست آوریم:

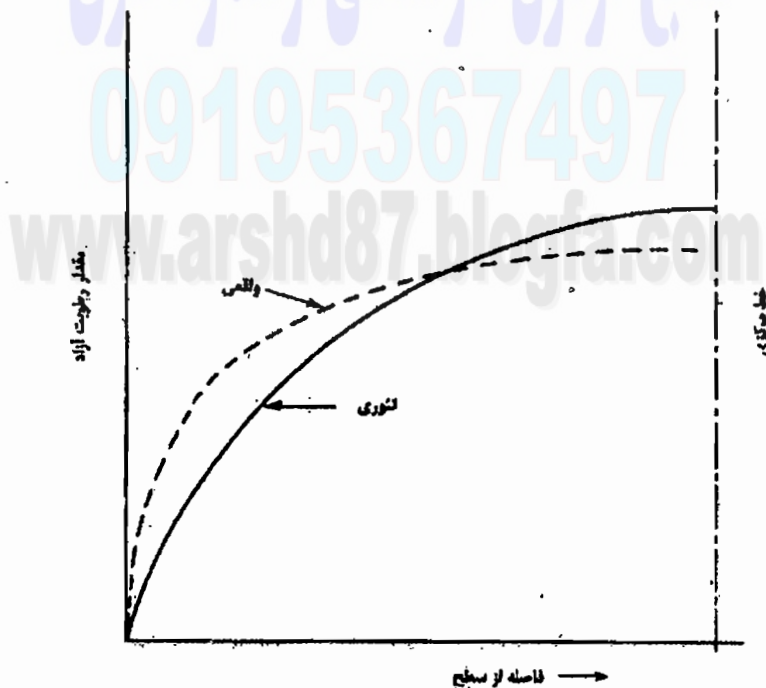
$$\begin{cases} t = \frac{m_s}{AN_C} (X_1 - X_2) \Rightarrow t \propto m_s \Rightarrow t \propto z \\ m_s \propto z \end{cases}$$

نکته : در اجسام متخلخل، در ناحیه CD که نیروهای موینگی تأثیر دارند و کنترل‌کننده سرعت خشک شدن می‌باشند همان‌طور که در نمودار دیدید، تغییرات سرعت خشک شدن برحسب رطوبت به صورت خطی بود. پس با استفاده از معادله به دست آمده در حالت سوم می‌توانیم اثر ضخامت جامد متخلخل را بر زمان خشک شدن در ناحیه CD به صورت زیر به دست آوریم:

$$t = \frac{m_s}{AN_C} (X_C - X^*) \ln \left(\frac{X_1 - X^*}{X_2 - X^*} \right) \Rightarrow \begin{cases} t \propto m_s \\ m_s \propto z \end{cases} \Rightarrow t \propto z$$

۱۰-۷ بررسی دقیق تر نفوذ مولکولی

در شکل زیر توزیع رطوبت درون جامد نشان داده شده است که در آن تغییرات میزان رطوبت موضعی نسبت به فاصله تا سطح جامد رسم شده است با توجه به قانون دوم فیک داریم:



توزیع رطوبت در بستری که از دو طرف خشک می‌شود (انتقال رطوبت به طریق نفوذ)

$$\frac{\delta X}{\delta t} = D_{AB} \frac{\delta^2 X}{\delta z^2}$$

که D_{AB} ضریب نفوذ رطوبت در جامد می باشد با توجه به آزمایشات ثابت شده است که D_{AB} ، خود تابعی از میزان رطوبت می‌باشد و

$$D_{AB} \propto X^n, n > 0$$

پس توزیع واقعی میزان رطوبت موضعی نسبت به فاصله تا سطح جامد به صورت خط نقطه‌چین نشان داده شده است که هر جا میزان رطوبت بیشتر است مقدار D_{AB} بزرگتر بوده و در نتیجه توزیع رطوبت یکنواخت‌تر می‌باشد. - قسمت‌های مرکزی جسم -
در بعضی مواد وابستگی D_{AB} به میزان رطوبت، موجب بروز مشکلاتی به نام چروکیدگی پوسته «shrinkage» و سخت شدن پوسته - case hardening - می‌شود.

این دو پدیده اغلب در جامدات کلئیدی نامتخلخل اتفاق می‌افتد که دلیل اصلی آن کاهش ضریب نفوذ D_{AB} - در سطح بیرونی «که به علت کاهش سطح میزان رطوبت سطح بیرونی می‌باشد» است.

چروکیدگی و سخت شدن پوسته سبب می‌شود که سطح خارجی در برابر نفوذ رطوبت، مقاومت بیشتری از خود نشان بدهد و لذا رطوبت داخلی نمی‌تواند از جسم جامد خارج شود. برای جلوگیری از به وجود آمدن این حالات نامطلوب از موارد زیر استفاده می‌کنند:

- ۱- انجام عملیات خشک کردن با استفاده از گاز با دمای پایین‌تر
- ۲- انجام عملیات خشک کردن با استفاده از گاز با میزان رطوبت نسبی بیشتر
- ۳- کاهش تدریجی رطوبت نسبی هوای گرم مورد استفاده در خشک‌کن

۸-۱-۰ دستگاه‌های خشک‌کن

خشک‌کن‌ها به صورت‌های مختلفی ساخته می‌شوند که عبارتند از:

۱- خشک‌کن دوار

از این نوع خشک‌کن برای مواد دانه‌ای شکل استفاده می‌کنند. لازم به ذکر است که جامد مورد استفاده در این دستگاه نباید به صورت چسبنده یا صمغی شکل باشد.

از این نوع دستگاه، هم به صورت مستقیم و هم به صورت غیرمستقیم برای انجام عملیات خشک کردن استفاده می‌شود و همچنین جریان‌های هوا و جامد می‌توانند به صورت هم‌سو و یا ناهم‌سو وارد این دستگاه شوند که این موضوع با توجه به حساسیت ماده جامد به گرما، تعیین می‌گردد.

زمان اقامت جامد درون خشک‌کن دوار تابع پارامترهای زیر می‌باشد:

L : طول خشک‌کن

w : سرعت گردش

D : قطر خشک‌کن

WD : سرعت زاویه‌ای

s : شیب خشک‌کن

$$t \propto L$$

$$t \propto \frac{1}{WD}$$

$$t \propto \frac{1}{s}$$

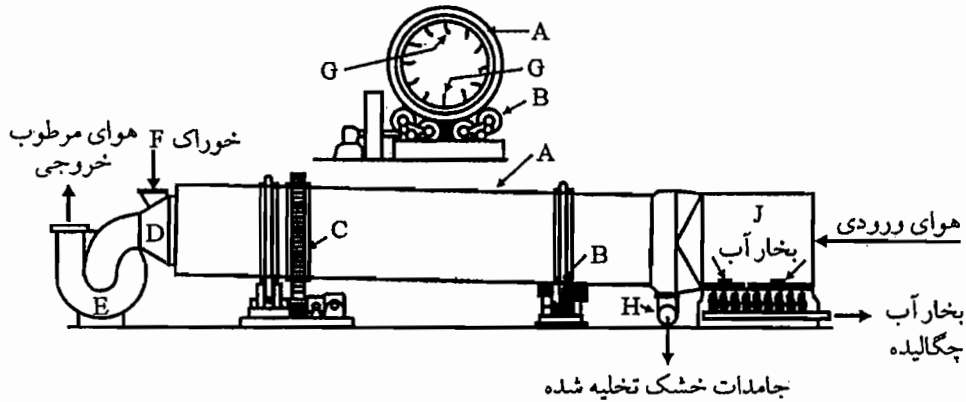
$$t \propto G \quad G : \text{دبی گاز ورودی}$$

$$t \propto \frac{1}{G} \quad G : \text{دبی گاز ورودی}$$

اگر جریان گاز به صورت ناهم‌سو با جریان جامد وارد شود

اگر جریان گاز به صورت هم‌سو با جریان جامد وارد شود

نمونه‌ای از خشک‌کن دوار که به صورت ناهم‌سو کار می‌کند در شکل زیر نشان داده شده است:



خشک کن دوار متقابل که با هوا گرم می شود. A : پوسته خشک کن، B : غلتک های نگه دارنده پوسته، C : چرخ دنده گردان، D : هود تخلیه هوا، E : پنکه تخلیه، F : ناودان خوراک، G : پزه های بالابرنده، H : تخلیه محصول، J : گرم کن هوا.

۲. خشک کن پاششی - spray dryer

مزیت عمده این خشک کن ها زمان اقامت بسیار کوتاه جامد می باشد که بسته به هم سو بودن و یا ناهم سو بودن جریان ها از 3 تا 30 ثانیه متغیر است. به همین جهت برای خشک کردن مواد حساس به دما از این دستگاه استفاده می کنند. اما عیب بزرگ این دستگاه، اتلاف حرارتی زیادی است که توسط گاز خروجی از آن ها به وجود می آید. به همین جهت راندمان این نوع از خشک کن پایین می باشد. برای جدا کردن ذرات جامد حمل شده توسط جریان گاز، از تجهیزاتی به نام سیکلون در قسمت خروجی گاز استفاده می کنند. محصول خروجی از این نوع خشک کن ها می تواند به شکل توپر و یا توخالی و یا حتی متخلخل باشد. در تولید شیر خشک و نیز شوینده ها از این نوع خشک کن استفاده می شود. برای خشک کردن مواد دوغابی نیز می توان از این نوع خشک کن استفاده کرد.

۳. خشک کن بستر سیال fluidized Bed dryer

در این نوع خشک کن، ذرات جامد که معمولاً به صورت پودری می باشند به وسیله جریان گاز خشک به حالت سیالیت می رسند که باعث افزایش میزان انتقال حرارت می شود. مدت زمان اقامت جامد در این نوع خشک کن بین 30 تا 120 ثانیه متغیر است. از این نوع خشک کن به صورت ناپیوسته نیز می توان استفاده نمود.

۴. خشک کن های نوار نقاله ای screw conveyor dryer

برای خشک کردن جامداتی که ریزتر و چسبنده تر از جامداتی هستند که با خشک کن های دوار خشک می شوند، از خشک کن نوار نقاله ای استفاده می کنند. از این خشک کن ها معمولاً به صورت پیوسته و غیرمستقیم برای عملیات خشک کردن استفاده می کنند.

۵. خشک کن های سینی دار

در مواردی که سرعت تولید کم باشد از این نوع خشک کن استفاده می شود که معمولاً به صورت ناپیوسته کار می کند. به خاطر زحمت زیاد بارگیری و تخلیه بار آن ها، بهره برداری از این نوع خشک کن هزینه زیادی را در بر می گیرد. در نوعی از خشک کن های سینی دار که به خشک کن های تحت خلأ معروف هستند، با استفاده از ایجاد خلأ نسبی، باعث کاهش دمای مورد نیاز برای خشک کردن جامد می شوند که در مورد جامدات حساس به دما می توان از آن ها استفاده نمود که این خشک کن ها به صورت غیرمستقیم کار می کنند. در نوعی دیگر از خشک کن های سینی دار که به خشک کن های انجمادی معروف هستند با استفاده از تصعید آب موجود در جامد، باعث کاهش رطوبت آن می شوند که از این خشک کن نیز برای مواد جامد حساس به دما و مواد دارویی استفاده می کنند.

تست‌های طبقه‌بندی شده فصل دهم خشک کن

۱- در عمل خشک کردن یک باریکه «slad» مرطوب، در صورتی که خشک کردن از دو سطح مقابل صورت پذیرد شدت خشک کردن N بر حسب جرم جسم بر زمان بر واحد سطح برابر خواهد بود با:

(مهندسی شیمی ۸۵)

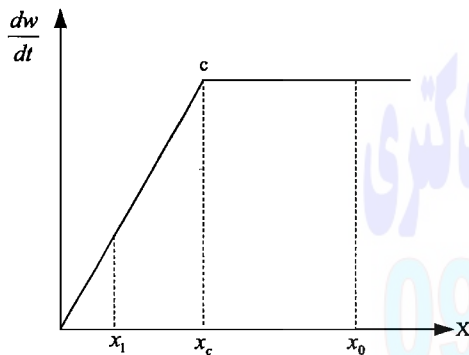
«دانسیتته جامد خشک = ρ_s ، نصف ضخامت باریکه = s، رطوبت بر مبنای خشک = X، زمان = t»

$$N = -\frac{s}{2}\rho_s \frac{dX}{dt} \quad (۴) \quad N = -\frac{2s}{\rho_s} \frac{dX}{dt} \quad (۳) \quad N = -2s\rho_s \frac{dX}{dt} \quad (۲) \quad N = -s\rho_s \frac{dX}{dt} \quad (۱)$$

۲- در صورتی که طی فرآیند خشک کردن یک نمونه مرطوب مکانیسم حرکت رطوبت به صورت موئینگی (capillary) باشد. با نصف شدن ضخامت نمونه مرطوب و ثابت نگاه داشتن بقیه شرایط سرعت خشک شدن (مهندسی شیمی ۸۵)

(۱) تغییری نمی‌کند. (۲) دو برابر می‌شود. (۳) نصف می‌شود. (۴) چهار برابر می‌شود.

۳- شکل زیر منحنی خشک شدن یک ماده جامد را نشان می‌دهد. اگر شیب خط خشک شدن با سرعت نزولی m باشد، زمان لازم جهت خشک کردن ماده از رطوبت X_c به رطوبت X_1 برابر است با (وزن ماده خشک موجود در ماده جامد w_s می‌باشد). (مهندسی شیمی ۸۵)



$$t = \frac{\omega_s}{m} \ln \frac{X_c}{X_1} \quad (۲)$$

$$t = m \ln \frac{X_c}{X_1} \quad (۱)$$

$$t = m\omega_s \ln \frac{X_c}{X_1} \quad (۴)$$

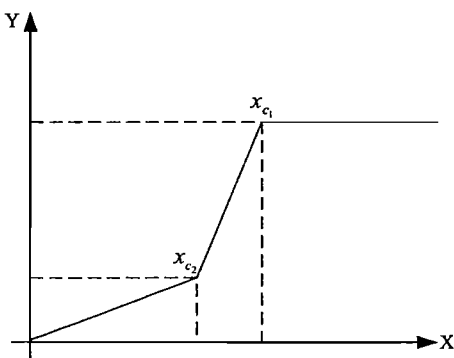
$$t = \frac{m}{\omega_s} \ln \frac{X_c}{X_1} \quad (۳)$$

۴- در صورتی که در فرآیند خشک کردن یک نمونه مرطوب تنها مکانیسم انتقال حرارت به صورت جابه‌جایی از هوای گرم به سطح نمونه مرطوب باشد. دمای سطح نمونه مرطوب همواره (مهندسی شیمی ۸۵)

(۱) معادل دمای حباب خشک هوای گرم است. (۲) معادل دمای حباب مرطوب هوای گرم است.

(۳) کمتر از دمای حباب مرطوب هوای گرم است. (۴) بیشتر از دمای حباب مرطوب هوای گرم است.

۵- برای یک نمونه مرطوب منحنی شدت خشک شدن بر حسب رطوبت آزاد به صورت شکل زیر نشان داده شده است، در این نمونه مرطوب (مهندسی شیمی ۸۴)



(۱) مکانیسم خشک شدن در ناحیه سرعت (Rate) نزولی توسط مکانیسم نفوذ بیان می‌شود.

(۲) مکانیسم خشک شدن در ناحیه سرعت نزولی توسط مکانیسم نیروی موئینگی بیان می‌شود.

(۳) مکانیسم خشک شدن ابتدا توسط تئوری نفوذ و سپس توسط نیروهای موئینگی بیان می‌شود.

(۴) مکانیسم خشک شدن در ناحیه سرعت نزولی ابتدا توسط نیروهای موئینگی و سپس تئوری نفوذ بیان می‌شود.

۶- در یک خشک کن دوار با جریان مختلف جهت افزایش کدام یک از عوامل زیر موجب افزایش موجودی ماده جامد (Hold-up) درون خشک کن می‌شود؟

(مهندسی شیمی ۸۴)

(۴) شیب خشک کن

(۲) قطر خشک کن

(۱) دور خشک کن

۷ - زمان لازم برای خشک کردن نمونه‌ای در جامد مرطوب در منطقه شدت ثابت برابر 2 است در صورتی که $X_1 = 0.2$ رطوبت اولیه بر مبنای خشک، $X_c = 0.1$ رطوبت بحرانی بر مبنای خشک، $L_s = 1 \text{ kg}$ جرم جامد خشک، $R_c = 0.1 \frac{\text{kg}}{\text{h} \cdot \text{m}^2}$ شدت ثابت سطح خشک‌شونده چقدر است؟ (مهندسی شیمی ۸۴)

- (۱) 0.5 m^2 (۲) 1 m^2 (۳) 0.2 m^2 (۴) 2 m^2

۸ - جامد مرطوبی در یک خشک‌کن سینی‌دار از رطوبت اولیه 46% تا رطوبت نهایی 20% خشک می‌گردد. در صورتی که رطوبت بحرانی معادل 15% و سرعت بحرانی خشک‌کردن $0.3 \frac{\text{lbH}_2\text{O}}{\text{h} \cdot \text{ft}^2}$ باشد و سطح تماس خشک شدن به ازای واحد جرم جامد خشک معادل $0.1 \frac{\text{ft}^2}{\text{lb dry solid}}$ باشد زمان خشک شدن چقدر است؟ (مهندسی شیمی ۸۳)

- (۱) 0.2 ساعت (۲) 8.7 ساعت (۳) 15 ساعت (۴) 20 ساعت

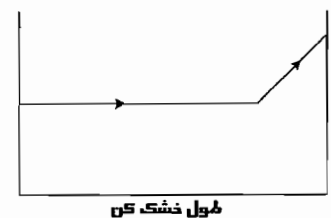
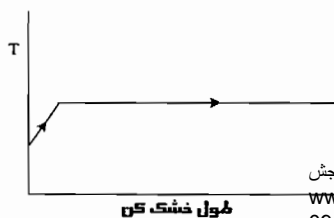
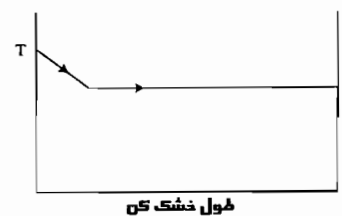
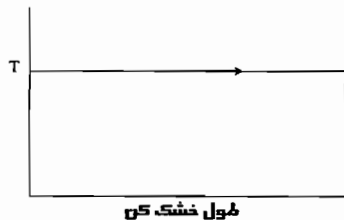
۹ - رطوبت آزاد جامد خشک‌شونده
(۱) فقط به نوع ماده بستگی دارد.
(۲) فقط به شرایط خشک‌کردن بستگی دارد.
(۳) به ضخامت ماده و درصد تخلخل آن وابسته است.
(۴) به ماهیت ماده و سرعت خشک‌کردن وابسته است.

۱۰ - در فرآیند خشک کردن یک نمونه مرطوب شدت تبخیر آب از سطح نمونه $0.708 \frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{hr}}$ گزارش شده است. اگر دمای حباب خشک و مرطوب هوای عبوری از سطح نمونه به ترتیب 65.6 و 28.9 درجه سانتی‌گراد باشد و سطح نمونه مرطوب 0.21 مترمربع اندازه‌گیری شده باشد ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی هوای عبوری از سطح نمونه مرطوب چه مقدار می‌باشد؟ (حرارت نهان تبخیر آب در دمای حباب $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ 2433 است) (مهندسی شیمی ۸۳)

- (۱) $62.45 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$ (۲) $73.24 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$ (۳) $58.4 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$ (۴) $52.5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$

۱۱ - در صورتی که فرایند خشک شدن جسم مرطوب در ناحیه Falling Rate با مکانیسم نفوذ بیان شود کدامیک از عوامل زیر بر میزان شدت خشک شدن بدون اثر می‌باشد؟
(۱) ضخامت نمونه مرطوب
(۲) سطح خشک شدن برای نمونه مرطوب
(۳) سرعت هوای عبوری از نمونه مرطوب
(۴) درجه حرارت هوای عبوری از نمونه مرطوب

۱۲ - پروفایل درجه حرارت برای یک نمونه مرطوب که در یک خشک‌کن پیوسته در حال خشک شدن است در صورتی که در ابتدای ورود به خشک‌کن جسم کاملاً مرطوب و در خروج آن کاملاً خشک باشد به چه صورت است؟ (مهندسی شیمی ۸۲)



۱۳- در طی خشک نمودن یک ورق مسطح از یک نمونه جامد در درون یک خشک کن سینی دار ناپیوسته که خشک کردن تنها از سطح بالایی ورقه صورت می گیرد و اثرات انتقال حرارت تشعشی و هدایتی هر دو قابل صرف نظر هستند. در صورتی که شدت جریان جرمی هوا و همچنین ضخامت ورقه 2 برابر شوند رابطه زمان خشک شدن حالت دوم (θ_2) با زمان خشک شدن حالت اول (θ_1) چگونه است؟ (جریان هوا به موازات سطح می باشد).

$$\theta_2 = 1.15\theta_1 \quad (1) \quad \theta_2 = \theta_1 \quad (2) \quad \theta_2 = 4\theta_1 \quad (3) \quad \theta_2 = 3.45\theta_1 \quad (4)$$

۱۴- در یک فرایند خشک شدن با افزایش سرعت هوا عبوری از سطح نمونه ضریب انتقال حرارت جابه جایی محیط به دو برابر افزایش می یابد. زمان خشک شدن در ناحیه ریت ثابت چه تغییری می کند؟

(مهندسی شیمی ۸۲)

$$\frac{1}{4} \quad (1) \quad \text{دو برابر می شود.} \quad (2) \quad \text{تغییر نمی کند.} \quad (3) \quad \text{نصف می شود.} \quad (4)$$

۱۵- اختلاف میزان رطوبت یک جسم با رطوبت تعادلی در شرایطی که محیط کاملاً اشباع باشد رطوبت می نامند.

(مهندسی شیمی ۸۱)

$$\text{آزاد} \quad (1) \quad \text{چسبیده} \quad (2) \quad \text{بحرانی} \quad (3) \quad \text{اشباع} \quad (4)$$

۱۶- یک نمونه جامد مرطوب تحت آزمایش خشک کردن قرار گرفته و مشاهده می شود که در ابتدا کاهش رطوبت در آن ثابت و

برابر $0.1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}$ است در صورتی که جرم جامد کاملاً خشک مربوط به این نمونه 0.8 kg و $\frac{dX}{d\theta} = 0.2$ باشد سطح خشک شونده

(مهندسی شیمی ۸۱)

چقدر است؟

$$1.6 \text{ m}^2 \quad (1) \quad 0.16 \text{ m}^2 \quad (2) \quad 4 \text{ m}^2 \quad (3) \quad 0.4 \text{ m}^2 \quad (4)$$

۱۷- در خشک کن جابه جایی (Convective) شدت ثابت خشک کردن N_C را از کدام رابطه می توان به دست آورد؟ (h, λ_i) به ترتیب

(مهندسی شیمی ۸۱)

حرارت نهان تبخیر آب در سطح و ضریب انتقال حرارت جابه جایی است؟

$$N_C = h\lambda_i \quad (1) \quad N_C = \frac{h\lambda_i}{t_G - t_i} \quad (2) \quad N_C = h(t_G - t_i) \quad (3) \quad N_C = \frac{h(t_G - t_i)}{\lambda_i} \quad (4)$$

۱۸- کدام روش برای پیشگیری از سخت شدن پوسته حین خشک کردن مناسب است؟

(مهندسی شیمی ۸۱)

- (۱) استفاده از هوای گرمتر
(۲) کاهش سرعت خشک کردن
(۳) افزایش سرعت خشک کردن
(۴) استفاده از هوای دارای رطوبت کمتر

۱۹- جسم جامدی از 42 تا 4 درصد رطوبت «بر اساس تر» در یک خشک کن با هوایی که رطوبت مطلق ورودی و خروجی آن به

ترتیب 0.006 و 0.028 می باشد خشک می شود مقدار هوای خشک لازم به ازای هر کیلوگرم جامد خشک چه قدر است؟ «بر حسب

(مهندسی شیمی ۸۰)

کیلوگرم»

$$48 \quad (1) \quad 31 \quad (2) \quad 23 \quad (3) \quad 12 \quad (4)$$

۲۰- یک ورقه (slab) مرطوب با رطوبت آزاد اولیه در داخل یک خشک کن می شود و به یک رطوبت باقیمانده می رسد. اگر ضخامت

این ورقه دو برابر گردد، با ثابت نگه داشتن سایر شرایط در خشک کن چه تغییری در زمان خشک کن آن به وجود می آید؟

(مهندسی شیمی ۸۰)

(خشک کن از نوع هدایتی است)

$$\sqrt{2} \quad (1) \quad \text{برابر می شود.} \quad (2) \quad 2 \text{ برابر می شود.} \quad (3) \quad \text{تغییر نمی کند.} \quad (4)$$

۲۱- رطوبت آزاد در داخل یک جسم که به صورت 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؟ ($X_1 < X_C$) (مهندسی شیمی ۷۹)

(۱) 4 برابر می شود. (۲) $\sqrt{2}$ برابر می شود. (۳) 2 برابر می شود. (۴) تغییر چندانی نمی کند.

۲۲- در خشک کردن یک slab که از دو سطح خشک می شود و در منطقه شدت ثابت (Constant rate) و خشک کردن جابه جایی (Convective) کدام گزینه صحیح است؟ (A یک سطح، hy ضریب انتقال حرارت جابه جایی، T دمای توده گاز و λ_i حرارت نهان تبخیر در دمای T_i (سطح) می باشد.) (مهندسی شیمی ۷۹)

$$\frac{dm}{dt} = \frac{2Ah_y(T-T_i)}{\lambda_i} \quad (۴) \quad \frac{dm}{dt} = \frac{A}{2} h_y \frac{\lambda_i}{(T-T_i)} \quad (۳) \quad \frac{dm}{dt} = \frac{h_y(T-T_i)}{2A\lambda_i} \quad (۲) \quad \frac{dm}{dt} = \frac{\lambda_i(T-T_i)}{2h_y \cdot A} \quad (۱)$$

۲۳- در داخل یک خشک کن دوار که به طور پیوسته (Continuous) کار می کند و سیال گرم از طرف مقابل جسم مرطوب وارد می شود (به صورت Countercurrent) دمای جسم مرطوب در داخل خشک کن همچنانکه به سمت آخر خشک کن حرکت می کند به صورت زیر تغییر می نماید؟ (مهندسی شیمی ۷۸)

(۱) به طور غیر خطی افزایش می یابد.

(۲) به طور خطی افزایش می یابد.

(۳) در قسمت عمده خشک کن ثابت می ماند.

(۴) در نیمه اول خشک کن ثابت می ماند ولی در نیمه بعد به طور خطی بالا می رود.

۲۴- در عملیات خشک کردن اجسام جامد متخلخل، آیا ضخامت جسم در زمان خشک شدن آن تأثیر دارد. چگونه؟ (مهندسی شیمی ۷۷)

(۱) بله - رابطه معکوس

(۲) بله - رابطه مستقیم

(۳) خیر - نیروهای اسمزی مؤثرند.

(۴) خیر - بستگی به ورزش موازی هوا از روی جسم یا از زیر آن به صورت عمودی دارد.

۲۵- در کدام نوع خشک کن زمان توقف ماده در خشک کن کوتاه تر است؟ (مهندسی شیمی ۷۶)

(۱) دوار (۲) پاششی

(۳) درون عبوری (through circulation) (۴) سینی دار

۲۶- در خشک کردن جامدات و در منطقه شدت نزولی «falling rate» در صورتی که تئوری نفوذ را صادق فرض کنیم و s نصف ضخامت جامد باشد، شدت خشک شدن متناسب است با: (مهندسی شیمی ۷۵)

$$s \quad (۱) \quad \frac{1}{s^2} \quad (۲) \quad s^2 \quad (۳) \quad \frac{1}{s} \quad (۴)$$

۲۷- در فرآیند خشک کردن به وسیله حرارت جهت انتقال جرم و انتقال حرارت و (مهندسی شیمی ۷۵)

(۱) همسو است. (۲) غیر همسو است.

(۳) میزان منتج انتقال جرم صفر است. (۴) میزان منتج انتقال حرارت صفر است.

(مهندسی شیمی ۷۴)

۲۸- رطوبت بحرانی موجود در یک جسم

(۱) رطوبتی است که به هیچ وجه نمی‌توان آن را از جسم جدا نمود.

(۲) خاصه جسم است و بستگی به شکل ظاهری جسم ندارد.

(۳) رطوبت در حال تعادل با رطوبت هوای در تماس با آن است.

(۴) خاصه جسم نیست و بستگی به شکل ظاهری جسم و رطوبت هوای خشک‌کننده جسم دارد.

۲۹- سرعت از دست دادن رطوبت یک جسم مرطوب در یک خشک‌کن که تحت شرایط ثابت قرار دارد وقتی به صورت ثابت در حال

(مهندسی شیمی ۷۴)

تنزل (Constant Falling Rate Zone) خواهد بود که

(۱) فیلم آب سطحی پیوستگی خود را از دست داده باشد ولی خلل و فرج جسم را آب به صورت یک فاز مایع پیوسته احاطه کرده است.

(۲) در سطح جسم فیلمی از آب وجود نداشته و در خلل و فرج جسم آب به صورت بخار اشباع قرار داشته باشد.

(۳) در سطح جسم یک فیلم پیوسته از آب وجود داشته باشد به طوری که بتوان تبخیر را از نوع تبخیر سطحی فرض کرد.

(۴) در سطح جسم رطوبتی وجود ندارد و خلل و فرج جسم را بخار آب توأم با هوا اشغال کرده است.

۳۰- در یک خشک‌کن که سیال گرم عمود به سطح جسم خشک‌شونده عبور می‌کند (نوع اول) در مقایسه با یک خشک‌کن دیگر

که عبور سیال گرم در آن به موازات سطح جسم خشک‌شونده است (نوع دوم) اثر سرعت جرمی (mass velocity) بر حسب

(مهندسی شیمی ۷۴)

..... سیال گرم در شرایط برابر افزایش یابد اثر آن بر روی ضریب انتقال حرارت در $\frac{\text{lb}}{\text{h} \cdot \text{ft}^2}$

(۱) خشک‌کن نوع اول بیشتر است.

(۲) هر دو خشک‌کن یکی است و سرعت جرمی سیال گرم روی این پارامتر تأثیر محسوسی ندارد.

(۳) در صورتی که دمای سیال گرم و رطوبت نسبی آن ثابت باشد در مورد هیچ‌کدام از این دو نوع تغییری مشاهده نخواهد شد.

(۴) خشک‌کن نوع دوم بیشتر است.

۳۱- یک کیلوگرم از جامد مرطوبی به مدت 500 ثانیه از یک خشک‌کن دوار عبور کرده و 10% از وزن آن کاسته می‌شود. رطوبت

مطلق هوای ورودی و خروجی به ترتیب $\frac{0.02 \text{ kg}}{\text{kg}}$ و $\frac{0.03 \text{ kg}}{\text{kg}}$ است مقدار هوای مصرفی در خشک‌کن چقدر است؟

(مهندسی شیمی ۷۲)

0.01 kg (۴)

10.2 kg (۳)

0.7 kg (۲)

15.5 kg (۱)

۳۲- در خشک‌کن جامدات در صورتی که سرعت هوای گذرنده از روی سطح جامد دو برابر شود، شدت ثابت خشک کردن

(مهندسی شیمی ۷۲)

 N_C (constanat drying rate)

(۴) نصف می‌شود.

(۳) دو برابر می‌شود.

(۲) تغییر نمی‌کند.

(۱) تغییر می‌کند.

پاسخ تست‌های طبقه‌بندی شده فصل دهم خشک کردن

۱- گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$\left\{ \begin{array}{l} N = \frac{-m_s dX}{A_t dt} \\ m_s = \rho_s V = \rho_s \times 2s \times A \\ A_t = 2A \text{ چون از دو طرف خشک می‌شود} \end{array} \right. \Rightarrow N = -\frac{\rho_s \times 2s \times A}{2A} \frac{dX}{dt} = -\rho_s \times s \frac{dX}{dt}$$

۲- گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$\left. \begin{array}{l} \text{وقتی نیروی موئینگی کنترل کننده باشد.} \\ t \propto m_s \\ m_s \propto z \\ \text{Rate} \propto \frac{1}{t} \end{array} \right\} \Rightarrow \text{Rate} \propto \frac{1}{z} \Rightarrow \frac{R_1}{R_2} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{1}{2} \Rightarrow R_2 = 2R_1$$

۳- گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۴- گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۵- گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۶- گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۷- گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$t = \frac{m_s}{AN_C} (X_1 - X_2) \leftarrow \text{در ناحیه سرعت ثابت}$$

$$\Rightarrow 2 = \frac{1}{A \times 0.1} (0.2 - 0.1) \Rightarrow A = 0.5 \text{ m}^2$$

به هماهنگی واحدها دقت کنید.

۸- گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

چون رطوبت نهایی از رطوبت بحرانی بزرگتر است پس کل فرایند در ناحیه سرعت ثابت انجام گرفته است و داریم:

$$t = \frac{m_s (X_1 - X_2)}{AN_C} = \frac{(0.46 - 0.2)}{0.1 \times 0.3} = 8.67 \text{ hr}$$

با فرض رطوبت بر مبنای خشک

۹- گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۱۰- گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$N_C \propto \lambda = h(T_G - T_w) \leftarrow \text{موازنه انرژی} \Rightarrow h = \frac{N_C \propto \lambda}{T_G - T_w}$$

$$N_C = \frac{0.708}{0.21} = 3.37 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{m}^2 \cdot \text{hr}} \propto \frac{1 \text{ hr}}{3600 \text{ s}} = 9.36 \times 10^{-4} \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \Rightarrow h_c = \frac{9.36 \times 10^{-4} \times 24 \times 10^3}{(65.6 - 28.9)} = 62.1 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

۱۱ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

با توجه به متن درس.

۱۲ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

برای خشک شدن کامل جسم باید دمای آن بعد از طی طول مشخصی از خشک کن افزایش یابد - دمای حباب مرطوب به دمای حباب خشک - که فقط در گزینه سوم دیده می شود.

۱۳ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$\frac{t_2}{t_1} = \frac{z_2}{z_1} \propto \left(\frac{G_1}{G_2}\right)^{0.8} \Rightarrow \frac{t_2}{t_1} = 2 \propto \left(\frac{1}{2}\right)^{0.8} = 1.15 t_1$$

۱۴ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$\frac{t_2}{t_1} = \frac{h_1}{h_2} \Rightarrow \frac{t_2}{t_1} = \frac{1}{2}$$

۱۵ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

با توجه به متن درس.

۱۶ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$N_C = \frac{-m_s}{A} \frac{dX}{dt} \Rightarrow 0.1 = \frac{-0.8}{A} \times -0.2 \Rightarrow A = 1.6 m^2$$

۱۷ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

با توجه به متن درس.

۱۸ - گزینه ۲ صحیح می باشد.

با توجه به متن درس.

۱۹ - گزینه ۲ صحیح می باشد.

مقدار بخاری که به گاز افزوده می شود = مقدار آبی که جسم جامد از دست می دهد \Rightarrow موازنه جرم برای آب

$$X = \frac{x}{1-x} \Rightarrow X_1 = \frac{0.42}{1-0.42} = 0.72, X_2 = \frac{0.04}{1-0.04} = 0.042 \Rightarrow -m_s (X_2 - X_1) = m_g (H_2 - H_1)$$

$$-m_s (0.042 - 0.72) = m_g (0.028 - 0.006) \Rightarrow \frac{m_g}{m_s} = 30.8 \approx 31$$

-۲۰

$$\left. \begin{array}{l} \text{جامد متخلخل} \\ \text{جامد غیرمتخلخل} \end{array} \right\} \begin{cases} \text{ناحیه سرعت ثابت} \Rightarrow \frac{t_2}{t_1} = \frac{z_2}{z_1} \Rightarrow t_2 = 2t_1 \\ \text{ناحیه مویبندی} \Rightarrow \frac{t_2}{t_1} = \frac{z_2}{z_1} \Rightarrow t_2 = 2t_1 \\ \text{ناحیه نفوذ مولکولی} \Rightarrow \frac{t_2}{t_1} = \left(\frac{z_2}{z_1}\right)^2 \Rightarrow t_2 = 4t_1 \end{cases}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{جامد متخلخل} \\ \text{جامد غیرمتخلخل} \end{array} \right\} \begin{cases} \text{ناحیه سرعت ثابت} \Rightarrow \frac{t_2}{t_1} = \frac{z_2}{z_1} \Rightarrow t_2 = 2t_1 \\ \text{ناحیه نفوذ مولکولی} \Rightarrow \frac{t_2}{t_1} = \left(\frac{z_2}{z_1}\right)^2 \Rightarrow t_2 = 4t_1 \end{cases}$$

نکته : اگر فرض کنیم جامد slab به معنی جامد غیرمتخلخل است باز هم گزینه های دوم و سوم صحیح هستند.

۲۱- گزینه ۱ و ۲ صحیح می باشند.

با توجه به این که $x_1 < x_c$ پس داریم:

$$\text{جامد متخلخل} \begin{cases} \text{ناحیه مویبگی} \Rightarrow \frac{t_2}{t_1} = \frac{z_2}{z_1} \Rightarrow t_2 = 2t_1 \\ \text{ناحیه نفوذ مولکولی} \Rightarrow \frac{t_2}{t_1} = \left(\frac{z_2}{z_1}\right)^2 \Rightarrow t_2 = 4t_1 \end{cases}$$

$$\text{جامد غیرمتخلخل} \Rightarrow \text{ناحیه نفوذ مولکولی} \Rightarrow \frac{t_2}{t_1} = \left(\frac{z_2}{z_1}\right)^2 \Rightarrow t_2 = 4t_1$$

نکته : اگر فرض کنیم جامد slab به معنی جامد غیرمتخلخل است فقط گزینه اول صحیح است.

۲۲- گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$\begin{cases} N_C \propto \lambda = h(T_G - T_w) \\ N_C = -\frac{1}{A} \frac{dm}{dt} \Rightarrow \text{چون از دو طرف خشک می شود} \Rightarrow N_C = -\frac{dm}{2Adt} \Rightarrow -\frac{dm}{dt} = \frac{2Ah(T_G - T_w)}{\lambda} \end{cases}$$

۲۳- گزینه ۳ صحیح می باشد.

در قسمت عمده خشک کن در منطقه سرعت ثابت قرار داریم و دمای جسم مرطوب در دمای حباب مرطوب هوا قرار دارد و ثابت است.

۲۴- گزینه ۲ صحیح می باشد.

۲۵- گزینه ۲ صحیح می باشد.

با توجه به متن درس.

۲۶- گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$\begin{cases} t \propto s^2 \\ N \propto \frac{1}{t} \end{cases} \rightarrow N \propto \frac{1}{s^2}$$

۲۷- گزینه ۱ و ۲ صحیح می باشند.

با توجه به مشخص نبودن نوع خشک کن - مستقیم و یا غیرمستقیم - هر دو گزینه ۱ و ۲ صحیح است.

۲۸- گزینه ۴ صحیح می باشد.

با توجه به متن درس.

۲۹- گزینه ۱ صحیح می باشد.

با توجه به متن درس.

۳۰- گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$\text{جریان موازی سطح} \Rightarrow h \propto G^{0.8}$$

$$\text{جریان عمود به سطح} \Rightarrow h \propto G^{0.37}$$

۳۱- گزینه ۳ صحیح می باشد.

افزایش مقدار رطوبت هوا = آبی که جسم از دست می دهد \Rightarrow موازنه جرم برای آب

$$\frac{10}{100} \propto 1 \text{ kg} = \dot{m}_g (0.03 - 0.02) \Rightarrow \dot{m}_g = 10 \text{ kg}$$

۳۲- گزینه ۱ صحیح می باشد.

فصل یازدهم

تبخیر

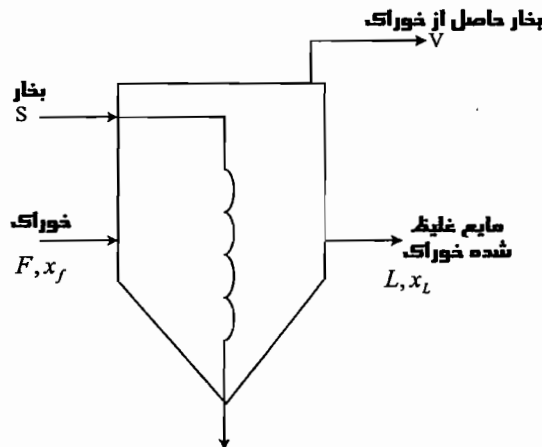
۱-۱۱ مقدمه

فرایند تبخیر یکی از عملیات‌های مستقیم انتقال جرم می‌باشد که مانند تقطیر توسط دادن گرما دو فاز مایع و بخار تشکیل می‌شود از این فرایند برای تغلیظ فاز مایع استفاده می‌شود و فاز بخار معمولاً به صورت خالص می‌باشد. در تبخیر اختلاف فراریت نسبی اجزاء بسیار بالا می‌باشد - اختلاف نقطه جوش اجزاء زیاد است - که از تفاوت‌های این فرایند با تقطیر محسوب می‌شود. تفاوت فرایند تبخیر با فرایند خشک کردن این است که محصول فرایند تبخیر، مایعی است بسیار غلیظ که اغلب دارای گران‌روی بالایی هم می‌باشد اما محصول فرایند خشک کردن جامد می‌باشد. فرایند تبخیر می‌تواند به عنوان مقدمه فرایند کریستالیزاسیون - تبلور - به منظور نزدیک کردن غلظت اجزا به غلظت اشباع به کار رود در این فرایند از به وجود آمدن فاز جامد که باعث انسداد لوله‌ها می‌شود جلوگیری می‌کنند. به‌طور کلی دلایل استفاده از این فرایند عبارتند از:

- ۱- تغلیظ فاز مایع
- ۲- کاهش هزینه‌های نگهداری و افزایش زمان نگهداری فاز مایع
- ۳- کاهش هزینه‌های حمل و نقل به واسطه کاهش حجم

۲-۱۱ تبخیرکننده

تبخیرکننده دستگاهی است که عملیات تبخیر و تغلیظ فاز مایع در آن انجام می‌شود و در حقیقت نوعی مبدل حرارتی می‌باشد که در آن از بخار به عنوان سیال گرم‌کننده استفاده می‌کنند، خوراک ورودی نیز به عنوان سیال سرد به‌شمار می‌آید که در درون تبخیرکننده بر اثر گرمای حاصل از میعان بخار ورودی، به دو فاز مایع و بخار تبدیل می‌شود بخار حاصل از خوراک خالص می‌باشد پس نتیجه می‌گیریم که $x_L > x_F$



در تبخیرکننده‌ها با دو اصطلاح ظرفیت - capacity - و اقتصاد - economy - سرکار داریم که به صورت زیر تعریف می‌شود:

مقدار بخار حاصل از خوراک $\rightarrow \text{capacity} = V$ ظرفیت

$$\text{Economy} = \frac{V}{S} = \frac{\text{مقدار بخار حاصل از خوراک}}{\text{مقدار بخار ورودی (مصرفی)}}$$

هرچه اقتصاد یک تبخیرکننده بالاتر باشد تبخیرکننده مطلوب‌تری می‌باشد که نشان‌گر مصرف کمتر بخار ورودی به آن می‌باشد.

۱۱-۳ صعود نقطه جوش و قاعده دورینگ

وجود ناخالصی - جسم حل شده در حلال - باعث افزایش دمای جوش محلول از دمای جوش حلال خالص در همان فشار می‌شود که به این افزایش نقطه جوش BPE - Boiling Point Elevation - می‌گویند.

$$\text{BPE} = T - T'$$

T : نقطه جوش محلول در فشار P

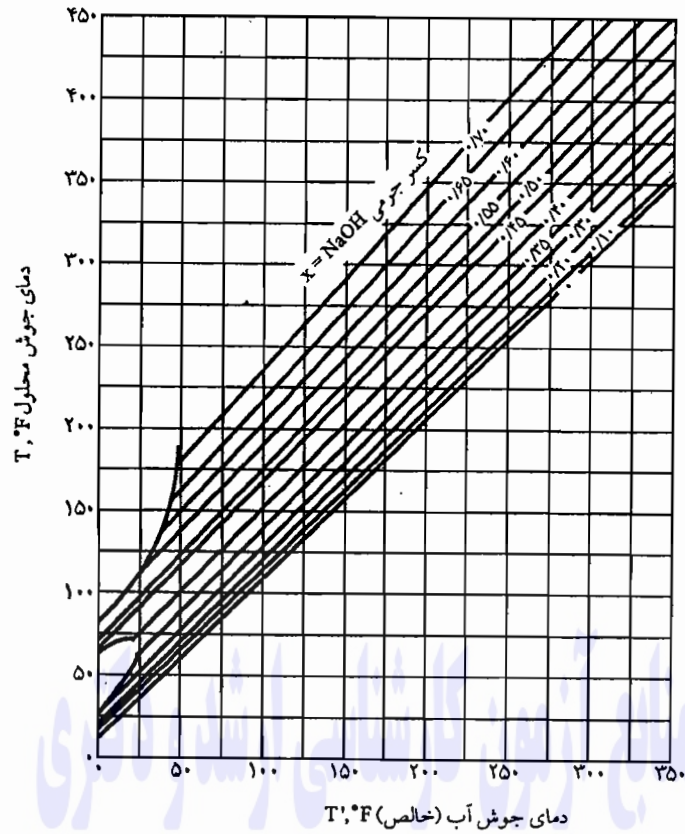
T' : نقطه جوش حلال خالص در فشار P

در محلول‌های رقیق و محلول‌های آلی مقدار BPE کم بوده و قابل اغماض می‌باشد اما در محلول‌های معدنی و غلیظ نمی‌توان از مقدار BPE صرف‌نظر نمود.

قاعده دورینگ: برای تعیین مقدار BPE محلول‌های غلیظ از قاعده‌ای به نام دورینگ استفاده می‌کنیم این قاعده بیان می‌کند که

نقطه جوش محلول، تابعی خطی از نقطه جوش حلال خالص در همان فشار است این قاعده در محدوده فشارهای بالا دقیق نیست، اما اگر فشار در محدوده متوسط باشد، جواب‌های به‌دست آمده از این قاعده از دقت مناسبی برخوردار هستند در شکل زیر خطوط دورینگ برای سیستم هیدروکسید سدیم و آب رسم شده است محور افقی دمای جوش حلال خالص، آب را نشان می‌دهد^۱ و محور عمودی دمای جوش محلول را نشان می‌دهد.

با توجه به نمودار مشخص است که BPE تابعی قوی از غلظت و نوع اجزا می‌باشد و تابع ضعیفی از دما یا فشار است به عنوان مثال برای محلول $x = 0.5$ مقدار BPE در فشارهای مختلف - و یا نقطه‌جوش‌های مختلف آب خالص - تقریباً ثابت و برابر 75°F می‌باشد.



خطوط دورینگ برای سیستم هیدروکسید سدیم - آب (توسط McCabe*).

مثال: مخلوطی از آب و هیدروکسید سدیم در فشار یک اتمسفر در دمای 135 درجه سانتی‌گراد به جوش می‌آید در صورتی که فشار کاهش یابد به گونه‌ای که در این فشار آب خالص در دمای 65 درجه سانتی‌گراد بجوشد نقطه جوش محلول کدام یک از گزینه‌های زیر می‌باشد؟

65°C (۴)

105°C (۳)

95°C (۲)

100°C (۱)

حل: گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

می‌دانیم در فشار یک اتمسفر نقطه جوش آب 100°C می‌باشد.

$$BPE = 135 - 100 = 35 \Rightarrow BPE = T_{\text{محلول}} - T_{\text{خالص}} \Rightarrow 35 = T_{\text{محلول}} - 65 \Rightarrow T_{\text{محلول}} = 100^\circ\text{C}$$

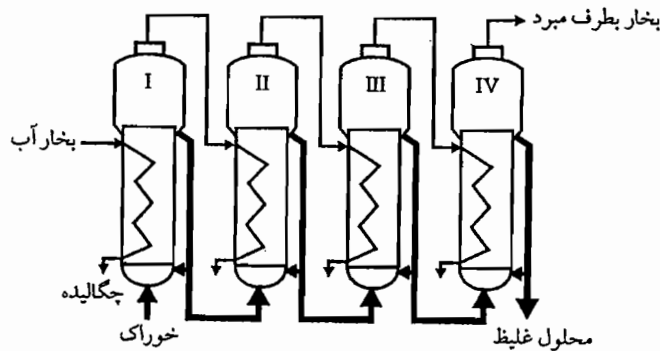
۱-۴ تبخیرکننده‌های چندمرحله‌ای و روش‌های خوراکی‌دهی

برای افزایش اقتصاد تبخیرکننده‌ها^۱ از تبخیرکننده‌های چند مرحله‌ای استفاده می‌کنند. در تبخیرکننده‌های یک مرحله‌ای، بخار حاصل از مایع در حال جوش به هدر می‌رود ولی در یک تبخیرکننده چندمرحله‌ای بخار حاصل از تبخیرکننده اول وارد تبخیرکننده دیگر می‌شود به عبارت دیگر بخار حاصل از تبخیرکننده اول، در تبخیرکننده دوم مصرف می‌شود این کار باعث صرفه‌جویی در مصرف بخار می‌شود و در نتیجه اقتصاد تبخیرکننده بالا می‌رود به عنوان مثال در شکل زیر یک تبخیرکننده چهارمرحله‌ای نشان داده شده است.

۱- به‌طور کلی برای افزایش اقتصاد تبخیرکننده‌ها از دو روش زیر استفاده می‌کنند: پاریسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com

۱. استفاده از تبخیرکننده‌های چند مرحله‌ای multi effect evaporator 09195367497

۲. استفاده از تبخیرکننده‌های توأم با تراکم مجدد Vapor recompressive evaporator

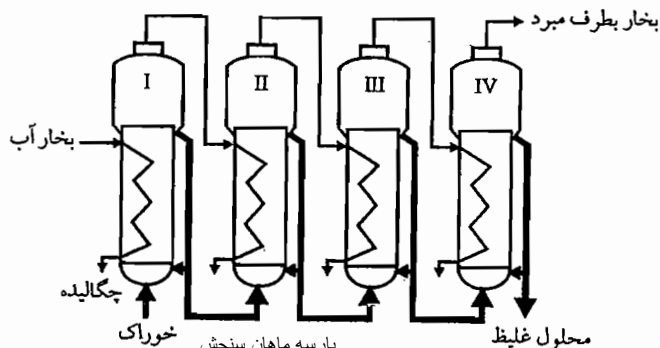


تبخیر کننده چندمرحله‌ای

برای این که بخار خروجی از مرحله اول بتواند محلول را در مرحله دوم به جوش آورد لازمست که فشار تبخیرکننده مرحله دوم را کاهش دهیم همچنین در تبخیرکننده دوم به واسطه افزایش غلظت محلول نقطه جوش آن بالا رفته است که لازم است در کاهش دادن فشار تبخیرکننده این نکته را نیز مدنظر بگیریم. در تبخیرکننده‌های چندمرحله‌ای، چگونگی جهت ورود خوراک به سیستم، سبب به وجود آمدن چهار روش مختلف خوراک‌دهی می‌گردد که در ادامه به بررسی این چهار روش می‌پردازیم.

۱۱-۴-۱ روش خوراک‌دهی رو به جلو Forward Feeding

همواره بخار - steam - از سمت چپ تبخیر کننده وارد می‌شود و شماره‌گذاری تبخیرکننده‌ها بر اساس ورود بخار می‌باشد. در شکل زیر یک تبخیرکننده چند مرحله‌ای با روش خوراک‌دهی رو به جلو Forward feeding نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌کنید جهت ورود خوراک و بخار همسو می‌باشد و همان‌طور که قبلاً گفته شد برای استفاده از بخار ایجاد شده لازم است که فشار در مراحل بعدی کاهش پیدا کند. $P_I > P_{II} > P_{III} > P_{IV}$ لذا جریان خوراک، در جهت کاهش فشار صورت می‌گیرد - از مرحله اول تا چهارم فشار کاهش می‌یابد - پس برای انتقال خوراک، در مسیر تغذیه نیازی به پمپ نداریم که این از جمله محاسن این روش خوراک‌دهی می‌باشد. نکته بعدی که باید بدان اشاره کرد تغییر نقطه جوش در اثر کاهش فشار مراحل مختلف می‌باشد که به صورت $T_I > T_{II} > T_{III} > T_{IV}$ کاهش دمای جوش محلول - در اثر کاهش فشار تبخیرکننده - و تغلیظ محلول سبب افزایش ویسکوزیته محلول در مراحل مختلف تبخیرکننده‌ها می‌شود. $\mu_I < \mu_{II} < \mu_{III} < \mu_{IV}$ که این عامل باعث محدودیت استفاده از این روش خوراک‌دهی می‌شود افزایش ویسکوزیته سبب می‌شود که ضریب انتقال حرارت محلول در مراحل کاهش یابد $h_I > h_{II} > h_{III} > h_{IV}$ که خود سبب کاهش مقدار انتقال حرارت در مراحل $q_I > q_{II} > q_{III} > q_{IV}$ می‌شود.



نکته : این روش خوراک‌دهی برای تغلیظ محلول‌هایی که در حین تغلیظ مشکل ویسکوزیته پیدا می‌کنند استفاده نمی‌شود.

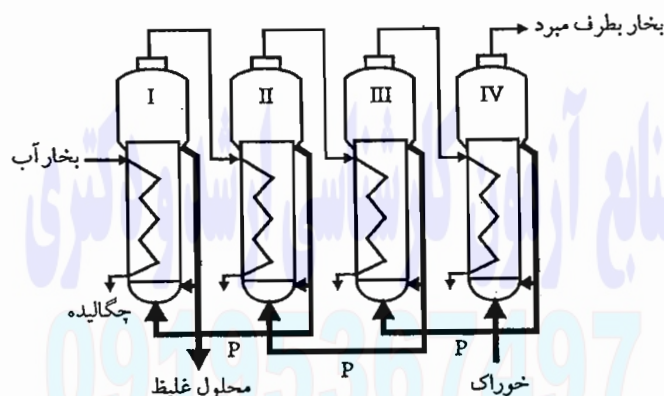
نکته : با توجه به کاهش مقدار حرارت انتقال‌یافته و نقطه جوش محلول در مراحل، استفاده از این روش خوراک‌دهی برای محلول‌هایی که حساس به دما هستند توصیه می‌شود.

۱۱-۴-۲ روش خوراک‌دهی رو به عقب Backward Feeding

در شکل زیر یک تبخیرکننده چهارمرحله‌ای با روش خوراک‌دهی رو به عقب نشان داده شده است در این روش خوراک از مرحله آخر وارد می‌شود پروفایل تغییر فشار و دمای جوش مانند روش قبلی می‌باشد.

$$P_I > P_{II} > P_{III} > P_{IV}$$

$$T_I > T_{II} > T_{III} > T_{IV}$$



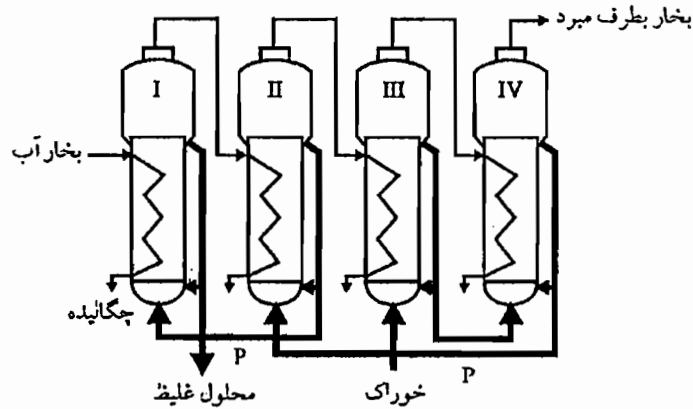
روش خوراک‌دهی Backward

در این روش حرکت خوراک در جهت افزایش فشار در تبخیرکننده‌ها می‌باشد لذا برای انتقال آن در مراحل نیازمند استفاده از پمپ می‌باشیم که این جزء معایب استفاده از این روش خوراک‌دهی می‌باشد.

پروفایل تغییر غلظت به صورت $x_I > x_{II} > x_{III} > x_{IV}$ می‌باشد که افزایش دما و افزایش غلظت در جهت جریان خوراک - از مرحله IV به I - دو تأثیر متفاوت به پروفایل ویسکوزیته در مراحل می‌گذارد که افزایش دما - از مرحله IV به I - باعث کاهش ویسکوزیته و افزایش غلظت - از مرحله IV به I - باعث افزایش ویسکوزیته می‌شود که باعث می‌شود این روش برای محلول‌های ویسکوز از مزیت بیشتری نسبت به روش Forward برخوردار باشد.

۱۱-۴-۳ روش تغذیه ترکیبی Mixed Feeding

روش تغذیه ترکیبی، ترکیبی از دو روش خوراک‌دهی رو به جلو و رو به عقب می‌باشد در این روش خوراک در یکی از مراحل میانی وارد می‌شود و تا آخرین مراحل جلویی پیش رفته و سپس به مراحل اولیه پمپ می‌شود تا عمل تغلیظ نهایی روی آن انجام گیرد در شکل زیر این روش تغذیه برای یک تبخیرکننده ۴ مرحله‌ای نشان داده شده است.



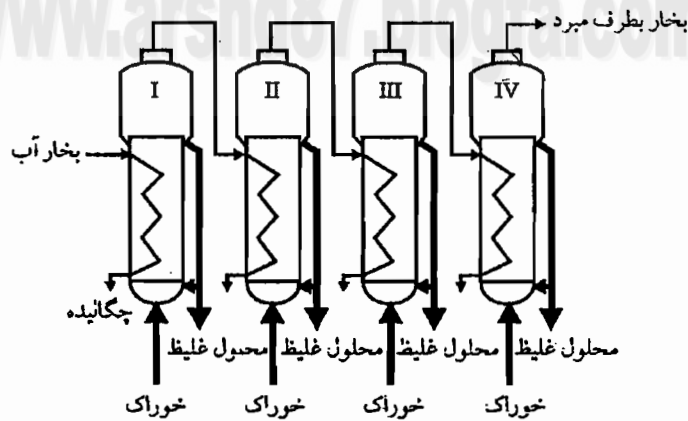
روش خوراک‌دهی Mixed

در قسمت‌هایی که خوراک به صورت forward جریان دارد نیاز به پمپ نداریم - از مرحله III به مرحله IV - اما در قسمت‌هایی که خوراک به صورت Backward جریان دارد نیازمند استفاده از پمپ هستیم - از مرحله IV به مرحله II و I - این روش از انعطاف‌پذیری خوبی برخوردار می‌باشد.

نکته : تبخیر نهایی - مرحله I - در بالاترین دما صورت می‌گیرد.

۱-۴-۴ روش تغذیه موازی Parallel Feeding

در شکل زیر یک تبخیرکننده ۴ مرحله‌ای با روش خوراک‌دهی موازی نشان داده شده است در این روش خوراک مستقیماً وارد هر مرحله از تبخیرکننده می‌شود و از همان مرحله به صورت محصول غلیظ خارج می‌شود.



روش خوراک‌دهی Parallel

در مورد محلول‌های کریستال‌زا و یا رسوب‌زا از این روش خوراک‌دهی استفاده می‌شود.

مثال: در عملیات تغلیظ متشکل از چند تبخیرکننده در صورتی که محصول نهایی غیریوسکوز بوده و خوراک مصرفی سرد باشد بهترین روش خوراک‌دهی کدام روش زیر می‌تواند باشد؟

(مهندسی شیمی ۸۴)

(۴) معکوس

(۲) موازی

(۱) مختلط

حل: گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

با توجه به این که محصول نهایی غیرویسکوز می‌باشد روش خوراک‌دهی مستقیم، روش مناسبی است ولی با توجه به این که خوراک ورودی سرد می‌باشد، روش خوراک‌دهی رو به عقب روش مناسبی می‌شود بنابراین از ترکیبی از دو روش ذکر شده استفاده می‌کنیم و روش مختلط جواب صحیح می‌باشد.

جهت محاسبه اقتصاد تبخیرکننده چند مرحله‌ای از رابطه زیر استفاده می‌کنیم:

V_i : کیلوگرم بخار تولیدشده در مرحله i ام

s : بخار مصرفی که در مرحله اول وارد تبخیرکننده اول می‌شود.

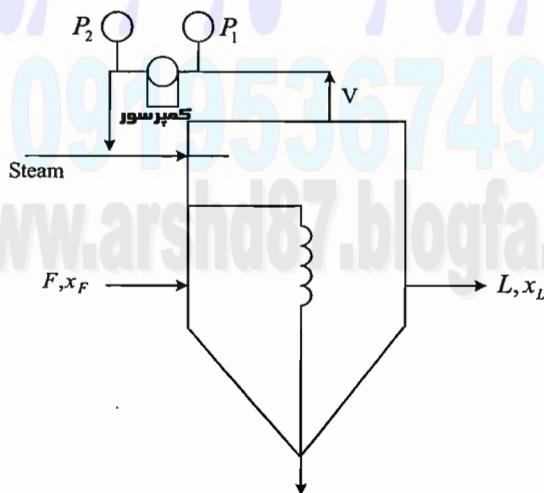
N : تعداد مراحل تبخیرکننده

$$E = \frac{\sum_{i=1}^N V_i}{s}$$

نکته: همان‌طور که از رابطه بالا مشخص است اقتصاد تبخیرکننده‌های چند مرحله‌ای می‌تواند بزرگتر از یک باشد.

۱۱-۴-۵ تبخیرکننده با تراکم مجدد بخار

در شکل زیر یک تبخیرکننده با تراکم مجدد بخار نشان داده شده است که در این روش بخار تولیدی توسط یک کمپرسور گریز از مرکز تا فشارهای بالا، فشرده می‌شود و با مخلوط شدن با بخار ورودی - steam - دوباره درون تبخیرکننده بازگردانده می‌شوند در این تبخیرکننده به‌خاطر استفاده از کمپرسور، عامل اصلی در تعیین هزینه‌ها، فشار بخار خروجی از کمپرسور - P_2 - می‌باشد.



اقتصاد تبخیرکننده در این حالت برابر است با:

$$E = \frac{V}{s} \text{ بدون تراکم مجدد}$$

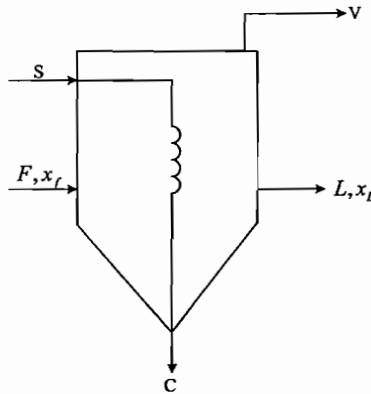
$$\bar{E} = \frac{V}{s - V} = \frac{\frac{V}{s}}{1 - \frac{V}{s}} = \frac{E}{1 - E}$$

به عنوان مثال اگر اقتصاد تبخیرکننده‌ای بدون تراکم مجدد بخار برابر 0.9 باشد با استفاده از تراکم مجدد بخار داریم:

$$E = \frac{0.9}{1 - 0.9} = 9$$

استفاده از تراکم مجدد بخار علاوه بر افزایش اقتصاد تبخیر، سطح مورد نیاز برای تغلیظ نسبت به تبخیرکننده‌های چند مرحله‌ای می‌گردد.

۵-۱۱ محاسبات تبخیر کننده تک مرحله‌ای



با نوشتن موازنه جرم داریم:

$$\begin{cases} F = L + V \\ Fx_f = Lx_L \end{cases}$$

با نوشتن موازنه انرژی:

خروجی = ورودی

$$FH_f + s\lambda_s = LH_L + VH_V$$

مقدار گرمای مبادله شده در تبخیر کننده برابر با گرمایی است که بخار ورودی - steam - از دست داده و به مایع - c - تبدیل شده
مقدار گرمای مبادله شده $Q = s\lambda_s = UA\Delta T$

که:

Q : مقدار گرمای مبادله شده در تبخیر کننده

λ_s : گرمای نهان تبخیر، بخار ورودی

U : ضریب کلی انتقال حرارت تبخیر کننده

A : سطح تبادل انرژی تبخیر کننده

ΔT : اختلاف دمای بین بخار ورودی - steam - و نقطه جوش محلول در شرایط داخل تبخیر کننده $\Delta T = T_{\text{steam}} - T_1$

مثال: در یک تبخیر کننده تک مرحله‌ای محلول 20% هیدروکسید سدیم با دبی جرمی $10000 \frac{\text{lb}}{\text{h}}$ باید تا غلظت 50% تغلیظ گردد.

اگر مقدار بخار مصرف شده $7700 \frac{\text{lb}}{\text{h}}$ باشد، اقتصاد تبخیر کننده کدام است؟ (مهندسی شیمی ۷۷)

1.28 (۴)

1 (۳)

0.78 (۲)

0.39 (۱)

حل: گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$Fx_f = Lx_L \Rightarrow 10000 \times \frac{20}{100} = L \times \frac{5}{100} \Rightarrow L = 4000 \frac{\text{lb}}{\text{hr}}$$

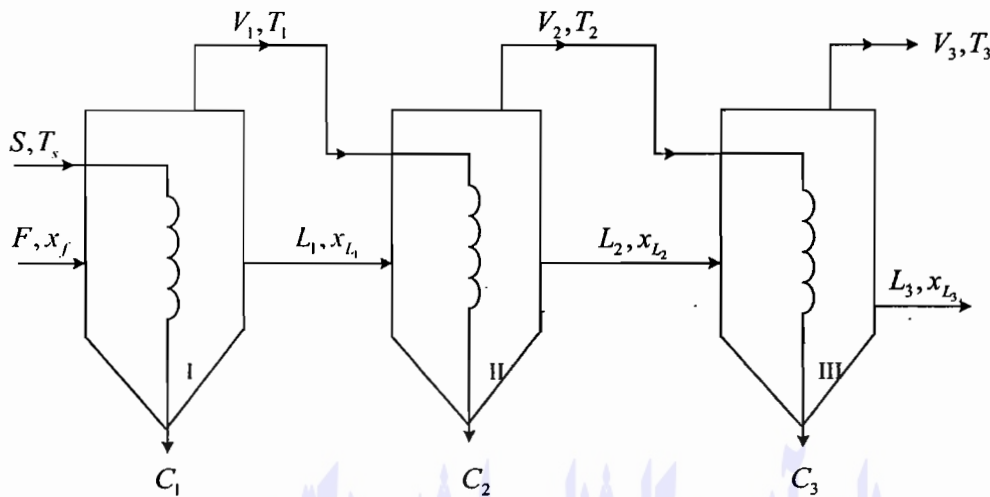
$$F = L + V \Rightarrow V = 10000 - 4000 = 6000 \frac{\text{lb}}{\text{hr}}$$

$$E = \frac{V}{s} = \frac{6000}{7700} = 0.78$$

نکته: اگر $BPE = 0$ باشد در این صورت حالت ترمودینامیکی بخار خروجی - V - به صورت بخار اشباع می‌باشد ولی اگر $BPE \neq 0$ باشد حالت ترمودینامیکی بخار خروجی - V - به صورت سوپرهیت می‌باشد.

۱۱-۶ محاسبات تبخیرکننده‌های چندمرحله‌ای

در مورد تبخیرکننده‌های چند مرحله‌ای، در هر مرحله، موازنه جرم و انرژی به دست آمده در بخش قبلی مورد استفاده قرار می‌گیرد و برای کل مراحل داریم:



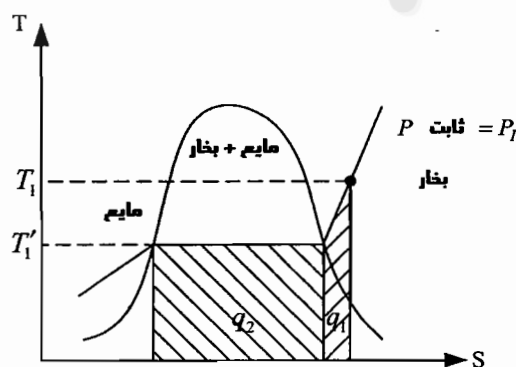
بخار ورودی - steam - به مرحله اول با دمای T_s وارد می‌شود اگر فرض کنیم محلول در مرحله اول در دمای T_1 به جوش می‌آید می‌توانیم ΔT_1 طبق رابطه زیر به دست می‌آوریم:

$$\Delta T_1 = T_s - T_1$$

بخار خروجی از این مرحله در دمای T_1 می‌باشد که به خاطر وجود BPE به صورت سوپرهیت می‌باشد نقطه جوش حلال خالص در مرحله دوم برابر با T'_1 می‌باشد و داریم:

$$BPE_1 = T_1 - T'_1$$

حال نمودار T-s را در فشار تبخیرکننده مرحله اول رسم می‌کنیم و از ترمودینامیک به یاد داریم که $Q = \int s dT$



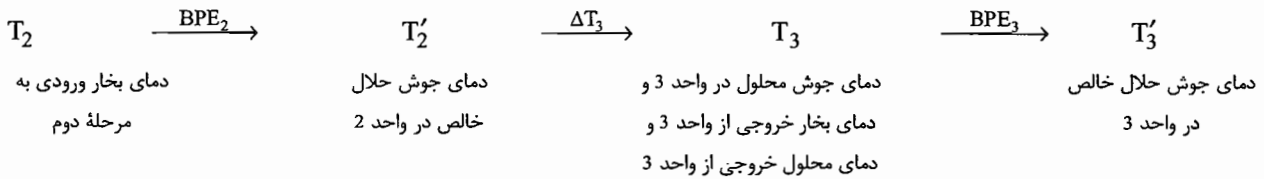
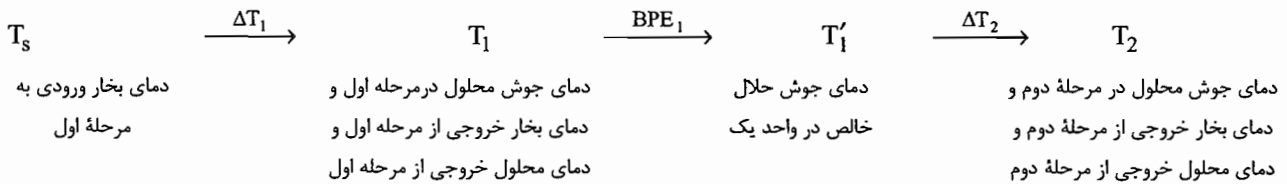
q_1 : گرمای منتقل شده به خاطر سوپرهیت بودن بخار می‌باشد (انتالپی محسوس)

q_2 : گرمای منتقل شده حاصل از میعان بخار اشباع می‌باشد (گرمای نهان تبخیر) $q_1 \ll q_2$ و نیز از انتقال حرارت به یاد داریم که

ضریب انتقال حرارت میعان تقریباً از مرتبه $10^5 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{k}}$ می‌باشد و ضریب انتقال حرارت گاز سوپرهیت از مرتبه $10 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{k}}$ می‌باشد

بنابراین می‌توانیم از انرژی تبدیل بخار سوپرهیت به بخار اشباع در برابر انرژی حاصل از میعان بخار اشباع صرف نظر کنیم.

پروفایل تغییر دمای جریان‌های بخار و محلول به صورت زیر می‌باشد:



$$\begin{aligned} BPE_1 &= T_1 - T'_1 & \Delta T_1 &= T_s - T_1 \\ BPE_2 &= T_2 - T'_2 & \Delta T_2 &= T'_1 - T_2 \\ BPE_3 &= T_3 - T'_3 & \Delta T_3 &= T'_2 - T_3 \end{aligned}$$

در پروفایل دمایی ذکر شده ماکزیمم دما مربوط به دمای ورودی بخار به مرحله I می‌باشد (T_s) و مینیمم دما مربوط به دمای جوش حلال خالص در مرحله III می‌باشد (T'_3) و ظاهری ΔT را به صورت مقابل تعریف می‌کنیم:

$$\Delta T_{\text{ظاهری}} = T_s - T'_3$$

و با توجه به نمودارهای دورینگ و غلظت‌های هر مرحله - x_1, x_2 و x_3 - می‌توانیم BPE مربوط به هر مرحله را به دست آوریم.

نکته : با توجه به میزان تغییرات BPE ها می‌توان الگوی جریان و نحوه خوراک‌دهی تبخیرکننده‌ها را به دست آوریم. اگر BPE ها روند صعودی داشته باشند - $BPE_3 > BPE_2 > BPE_1$ - در این صورت می‌توانیم نتیجه‌گیری کنیم که $x_3 > x_2 > x_1$ و نحوه خوراک‌دهی به صورت روبه جلو بوده است.

واقعی ΔT و یا مؤثر ΔT در تبخیرکننده چند مرحله‌ای را با توجه به میزان BPE ها می‌توانیم از رابطه زیر به دست آوریم:

$$\Delta T_{\text{کل}} = \Delta T_{\text{واقعی}} = \Delta T_{\text{ظاهری}} - \sum_{i=1}^N BPE_i = \Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3$$

حال با اعمال دو فرض زیر داریم:

فرض اول: بار حرارتی تمام مراحل برابر می‌باشد:

$$q_1 = q_2 = q_3 = q$$

فرض دوم: سطح حرارتی تمام مراحل تبخیرکننده برابر می‌باشد:

$$A_1 = A_2 = A_3 = A$$

و داریم:

$$\begin{aligned} q &= UA\Delta T \Rightarrow U_1 A_1 \Delta T_1 = U_2 A_2 \Delta T_2 = U_3 A_3 \Delta T_3 \Rightarrow U_1 A \Delta T_1 = U_2 A \Delta T_2 = U_3 A \Delta T_3 \\ &\Rightarrow U_1 \Delta T_1 = U_2 \Delta T_2 = U_3 \Delta T_3 \end{aligned}$$

$$q_{\text{کل}} = q_1 + q_2 + q_3$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta T_1}{\Delta T_{\text{کل}}} = \frac{\Delta T_1}{\Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3} = \frac{\frac{q}{U_1 A}}{\frac{q}{U_1 A} + \frac{q}{U_2 A} + \frac{q}{U_3 A}} = \frac{1}{\frac{1}{U_1} + \frac{1}{U_2} + \frac{1}{U_3}} \Rightarrow \Delta T_1 = \frac{1}{\frac{1}{U_1} + \frac{1}{U_2} + \frac{1}{U_3}} \times \Delta T_{\text{کل}}$$

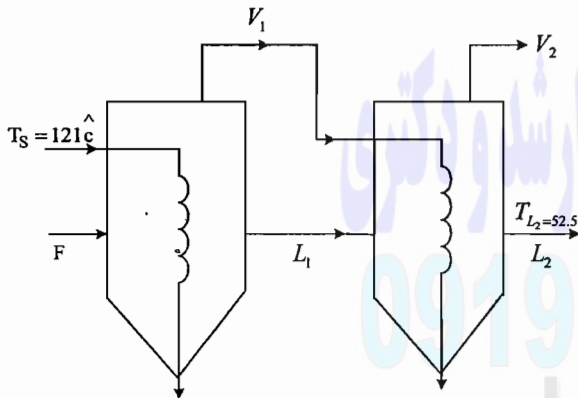
$$\Delta T_2 = \frac{\frac{1}{U_2}}{\frac{1}{U_1} + \frac{1}{U_2} + \frac{1}{U_3}} \times \Delta T_{\text{کل}}$$

$$\Delta T_3 = \frac{\frac{1}{U_3}}{\frac{1}{U_1} + \frac{1}{U_2} + \frac{1}{U_3}} \times \Delta T_{\text{کل}}$$

نکته: با توجه به فرض ثابت بودن میزان گرمای انتقال یافته در مراحل می‌توانیم نتیجه بگیریم که هر کدام از مراحل که ماکزیمم ضریب کلی انتقال حرارت - u_{max} - داشته باشد دارای مینیمم اختلاف دما - ΔT_{min} - نیز می‌باشد.

مثال: در صورتی که افت درجه حرارت کل برای یک مجموعه تبخیرکننده 65.97 درجه سانتی‌گراد باشد با توجه به مقادیر داده شده در شکل میزان BPE در مرحله اول برابر است با:

(مهندسی شیمی ۸۳)



- در شکل میزان BPE در مرحله اول برابر است با:
- 1.5 °C (۱)
 - 2.25 °C (۲)
 - 2.63 °C (۳)
 - 3.52 °C (۴)

حل: گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$T_s \xrightarrow{\Delta T_1} T_1 \xrightarrow{\text{BPE}_1} T'_1 \xrightarrow{\Delta T_2} T_2 \xrightarrow{\text{BPE}_2} T'_2$$

$$121.1 \xrightarrow{\Delta T_1} T_1 \xrightarrow{\text{BPE}_1} T'_1 \xrightarrow{\Delta T_2} 52.5$$

$$\begin{cases} \Delta T_{\text{ظاهری}} = 121 - 52.5 = \Delta T_1 + \text{BPE}_1 + \Delta T_2 \\ \Delta T_{\text{واقعی}} = \Delta T_1 + \Delta T_2 = 65.7 \end{cases} \Rightarrow \text{BPE}_1 = 2.63$$

مثال: در یک تبخیرکننده سه مرحله‌ای با لوله‌های قائم و بلند، خوراک به صورت forward وارد تبخیرکننده می‌شود در صورتی که دمای خوراک ورودی به مرحله اول برابر 90 درجه سانتی‌گراد، دمای بخار مصرفی برابر 120 درجه سانتی‌گراد، نقطه جوش مرحله سوم برابر 40 درجه سانتی‌گراد، صعود نقطه جوش در هر سه مرحله ناچیز و ضرایب انتقال حرارت در مراحل 1، 2 و 3 به ترتیب

برابر $U_1 = 2950 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$ ، $U_2 = 2670 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$ ، $U_3 = 1360 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$ باشد، نقطه جوش محلول غلیظ‌شده در مراحل

اول و دوم به‌طور تقریبی برحسب سانتی‌گراد برابر است با:

- 79, 99.7 (۴)
- 82, 102.7 (۳)
- 84.3, 105 (۲)
- 80.6, 101.3 (۱)

حل: گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

$$\sum_{i=1}^N \text{BPE}_i = 0 \Rightarrow \Delta T_{\text{واقعی}} = \Delta T_{\text{ظاهری}} = 120 - 40 = 80$$

$$\Rightarrow \Delta T_1 = \frac{\frac{1}{U_1}}{\frac{1}{U_1} + \frac{1}{U_2} + \frac{1}{U_3}} \times \Delta T_{\text{کل}} = \frac{3.3 \times 10^{-4}}{1.44 \times 10^{-3}} \times 80 = 18.8$$

$$\Rightarrow \Delta T_2 = \frac{\frac{1}{U_2}}{\frac{1}{U_1} + \frac{1}{U_2} + \frac{1}{U_3}} \times \Delta T_{\text{کل}} = \frac{3.74 \times 10^{-4}}{1.44 \times 10^{-3}} \times 80 = 20.84$$

$$\Delta T_1 = T_s - T_1 \Rightarrow 18.8 = 120 - T_1 \Rightarrow T_1 = 101.2^\circ \text{C}$$

دارای جوش محلول در مرحله یک

$$\begin{cases} \text{BPE}_i = 0 \Rightarrow T_1 = T_1' \\ \Delta T_2 = T_1' - T_2 \end{cases} \Rightarrow \Delta T_2 = T_1 - T_2 = \Delta T_2 = T_1 - T_2 \Rightarrow 20.81 = 101.2 - T_2 \Rightarrow T_2 = 80.39$$

۱-۱ انواع تبخیر کننده‌ها

تبخیر کننده‌ها را از دو منظر اصلی می‌توان تقسیم کرد:

- ۱- از منظر ساختار و شکل هندسی
- ۲- از منظر تعداد دفعات عبور محلول از درون تبخیر کننده

۱-۱-۱ تقسیم‌بندی تبخیر کننده‌ها از منظر شکل هندسی

تبخیر کننده‌ها از نظر شکل هندسی به صورت زیر تقسیم‌بندی می‌شوند:

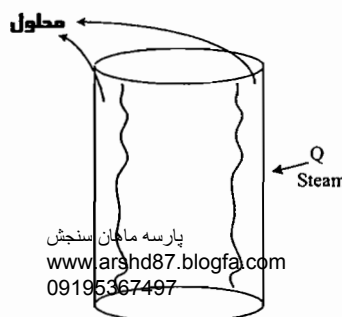
الف: لوله بلند و جریان رو به پایین Falling Film ب: لوله بلند و جریان رو به بالا Rissing Film ج: گردش اجباری Forced circulation	}	تبخیر کننده عمودی با لوله بلند (Long Tube) تبخیر کننده هم‌زن دار Agitated	}	تبخیر کننده‌ها:
--	---	--	---	------------------------

که در ادامه به بررسی هر یک از آن‌ها می‌پردازیم.

۱- تبخیر کننده عمودی با لوله بلند (long tube)

الف) تبخیر کننده با لوله بلند و جریان رو به پایین falling film

در این تبخیر کننده‌ها جریان مایع به صورت فیلمی از درون لوله به سمت پایین جریان می‌یابد، از آنجایی که زمان تماس مایع با سطح داغ کوتاه می‌باشد، برای مواد با حساسیت دمایی بالا بهترین گزینه هستند.



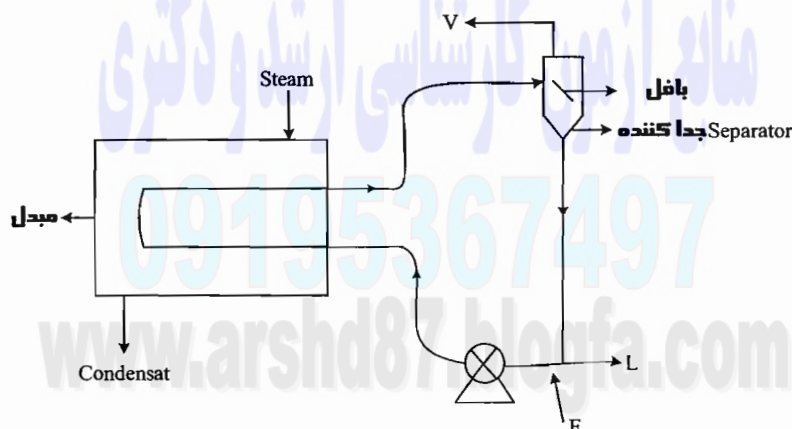
هرچه مایع به سمت پایین لوله حرکت می‌کند، به علت تبخیر شدن، دبی جریان آن کاهش می‌یابد که این امر سبب کاهش عدد رینولدز می‌گردد. لازم است در طراحی در نظر گرفته شود که عدد رینولدز در سرتاسر لوله کمتر از 2000 نشود. مهمترین مشکل در این نوع تبخیرکننده، توزیع یکنواخت مایع به صورت فیلم در لوله‌ها می‌باشد به همین جهت از یک سری صفحات سوراخ‌دار - spider - استفاده می‌کنند این دستگاه همچنین برای افزایش غلظت محلول‌هایی با ویسکوزیته بالا به کار می‌رود.

ب) تبخیرکننده با لوله بلند و جریان رو به بالا

در این تبخیرکننده‌ها مایع داخل لوله به سمت بالا حرکت می‌کند - تمام سطح مقطع توسط مایع اشغال می‌شود - و جریان مایع به صورت فیلم نمی‌باشد و به علت استفاده از Baffle ها در این تبخیرکننده، برای تبخیر مایعاتی که ایجاد کف می‌کنند استفاده از این دستگاه‌ها توصیه می‌شود.

ج) تبخیرکننده با لوله بلند و جریان اجباری forced circulation

نمونه‌ای از این دستگاه در شکل زیر نشان داده شده است:



محلول خروجی از مبدل به خاطر فشار حاصل از ارتفاع مایع در نزدیکی‌های جداکننده به جوش می‌آید و دو فاز می‌شود در جداکننده جریان دوفازی، جدا می‌شود بخشی از مایع به دست آمده، از سیستم خارج می‌شود - L - و بقیه آن به همراه خوراک - F - به درون مبدل پمپ می‌شود.

وقتی محلول دارای ویسکوزیته بالایی باشد، نیروهای بویانسی به وجود آمده در اثر اختلاف چگالی جریان‌های دو فاز برای انتقال سیال کافی نیستند و نیازمند اعمال نیروی خارجی برای انتقال آن می‌باشیم به همین جهت در مورد محلول‌های ویسکوز از تبخیرکننده‌ها با گردش اجباری استفاده می‌کنیم همچنین به دلیل استفاده از Baffle در جداکننده، برای محلول‌هایی که خاصیت کف‌کنندگی دارند، نیز می‌توان از این دستگاه‌ها استفاده کنیم در مورد محلول‌هایی که حساسیت دمایی متوسط دارند نیز می‌توان از این نوع تبخیرکننده استفاده کرد.

نکته : یکی از کاربردهای forced circulation زمانی است که جنس فلز تبخیرکننده، از فلزات گرانبها مثل نیکل و تیتانیوم و ... باشد.

۲- تبخیرکننده همزن دار Agitated

در تبخیرکننده‌ها، مقاومت اصلی در برابر انتقال جرم در فاز مایع می‌باشد بنابراین با استفاده از تجهیزات مقاومت فاز مایع را کاهش می‌دهند. تبخیرکننده‌های همزن دار مانند تبخیرکننده‌های falling film می‌باشند با این تفاوت که یک همزن نیز برای کاهش مقاومت فاز مایع دارند از این تبخیرکننده‌ها زمانی استفاده می‌شود که محلول ویسکوزیته بسیار بالایی داشته باشد، نصب همزن به انتقال گرما نیز کمک می‌کند به طوری که این تبخیرکننده‌ها دارای ضریب انتقال حرارت بالاتری نسبت به سایر تبخیرکننده‌ها هستند.

$$U_{\text{Agitated}} > U_{\text{forced circulation}} > U_{\text{falling film}} > U_{\text{climbing}}$$

هزینه خرید و نگهداری این نوع تبخیرکننده‌ها بالا می‌باشد همچنین در مورد محلول‌هایی که همزمان دارای ویسکوزیته بالا و حساسیت دمایی باشند استفاده از این نوع تبخیرکننده‌ها توصیه می‌شود مانند آنتی‌بیوتیک‌ها و ژلاتین.

۱۱-۲-۲ تقسیم‌بندی تبخیرکننده‌ها از منظر تعداد دفعات عبور محلول

از این منظر تبخیرکننده‌ها به دو دسته اصلی تقسیم می‌شوند:

۱- تبخیرکننده با یک بار عبور Once through

در این تبخیرکننده‌ها خوراک تنها یک بار از تبخیرکننده می‌گذرد لذا این نوع تبخیرکننده برای مواد حساس به دما مناسبند چون در این تبخیرکننده‌ها محلول به مدت کوتاهی در دمای تبخیر می‌ماند و بلافاصله پس از خروج سریع سرد می‌شود تبخیرکننده‌های Agitated از این نوع تبخیرکننده‌ها می‌باشند.

۲- تبخیرکننده‌های گردش Circulation

در این نوع تبخیرکننده‌ها، تمام و یا قسمتی از محلول پس از تغلیظ دوباره به ظرف اصلی تبخیرکننده بازگردانده می‌شوند بنابراین این تبخیرکننده‌ها قادر به کار در محدوده وسیعی از غلظت بین خوراک و محلول غلیظ حاصل هستند تبخیرکننده‌های Forced circulation از این نوع تبخیرکننده‌ها هستند.

نکته : تبخیرکننده با یک مسیر عبوری برای تبخیرکننده‌های چند مرحله‌ای مناسب هستند.

نکته : تبخیرکننده با گردش برای تبخیرکننده‌های یک مرحله‌ای مناسب هستند.

۱۱-۸ عوامل مؤثر بر ΔT

عوامل زیر بر $\Delta T = T_s - T$ تأثیر دارند که به بررسی هر یک از آن‌ها می‌پردازیم.

الف) اثر ارتفاع مایع - هد مایع -

نقطه جوش در سطح یک مایع از نقطه جوش درون مایع کمتر است ارتفاع مایع منجر به افزایش فشار و در نتیجه افزایش دمای جوش محلول می‌شود - $\Delta T = T_s - T$ - که سبب می‌شود ΔT کاهش یابد.

ب) اثر اصطکاک

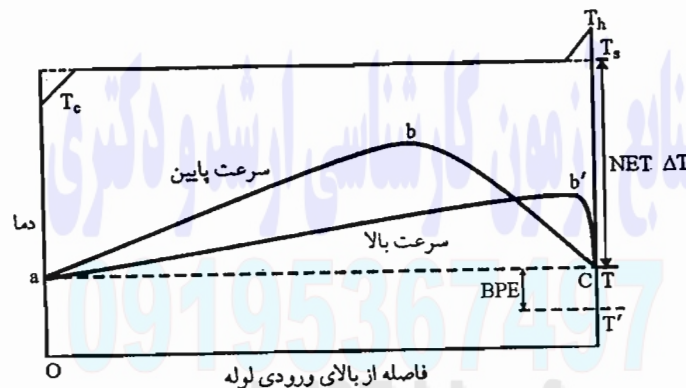
اصطکاک منجر به افزایش افت فشار جریان مایع می‌گردد که خود باعث کاهش دمای جوش محلول می‌گردد که سبب افزایش ΔT می‌گردد.

ج) اثر غلظت

همان طور که در بخش‌های قبلی توضیح داده‌ایم افزایش غلظت سبب افزایش نقطه جوش می‌گردد - $T \uparrow$ - که باعث کاهش میزان ΔT می‌گردد.

د) اثر سرعت

با افزایش سرعت، ضریب اصطکاک نیز افزایش می‌یابد که سبب افزایش افت فشار می‌گردد که در نهایت باعث افزایش ΔT می‌گردد. در شکل زیر در دو حالت سرعت بالا و پایین دمای جوش محلول نشان داده شده است و T_s نشان‌گر دمای بخار ورودی به تبخیرکننده می‌باشد همچنان که مشاهده می‌کنید در سرعت‌های بالا به‌خاطر افزایش افت فشار میزان ΔT نیز بیشتر از حالت سرعت پایین می‌باشد همچنین در حالت سرعت پایین چون محلول در زمان بیشتری در تماس با بخار قرار دارد پس در طول کمتری از لوله به جوش می‌آید و در نقطه‌ای نزدیک وسط لوله به بخار تبدیل می‌شود اما در حالت سرعت بالا سیال در انتهای لوله به جوش می‌آید - به‌خاطر زمان تماس اندک -



تغییرات دمایی مایع در لوله و افت دما در تبخیرکننده‌های عمودی با لوله بلند.

تست های طبقه بندی شده فصل یازدهم تبخیر

۱- در تبخیرکننده های توأم با تراکم مجدد بخار کل هزینه های سیستم C_t (Total Cost) وابسته است به: $P_1 = 1 \text{ atm}$ فشار عملیاتی تبخیرکننده (مهندسی شیمی ۸۵)

- (۱) هزینه کار کمپرسور در سیستم
(۲) میزان steam مصرفی سیستم
(۳) سطح تبخیرکننده و فشار عملیاتی آن
(۴) فشار متراکم کردن بخار خروجی از تبخیرکننده

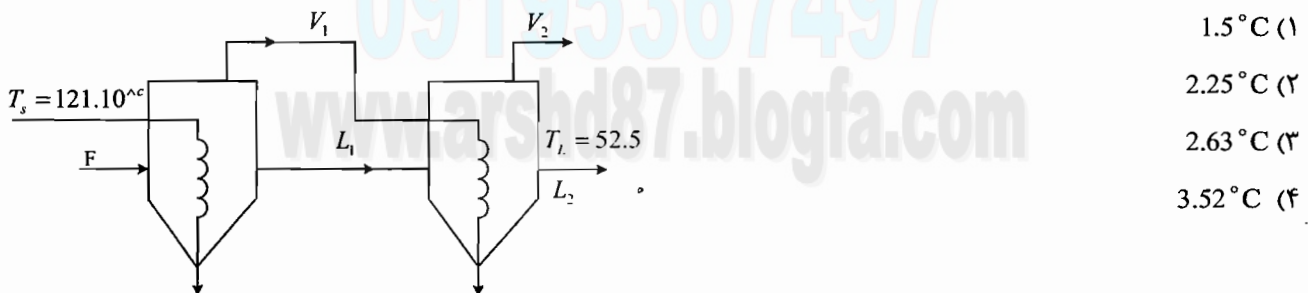
۲- در تغذیه مجموعه تبخیرکننده ها به صورت موازی (Parallel) کدام گزینه صحیح است؟ (مهندسی شیمی ۸۵)

(۱) خوراک وارد یک مرحله میانی گردیده و بخار وارد تک تک مراحل می شود.
(۲) خوراک وارد مرحله اول شده و steam موازی با آن وارد همان مرحله می گردد.
(۳) خوراک تقسیم شده و وارد مراحل می گردد، ولی محصول از مرحله آخر خارج می گردد.
(۴) خوراک به چند قسمت تقسیم شده و وارد هر مرحله گردیده و محصول از همان مرحله خارج می شود.

۳- در عملیات تغلیظ متشکل از چند تبخیرکننده در صورتیکه محصول نهایی غیر ویسکوز بوده و خوراک مصرفی سرد باشد، بهترین روش خوراک دهی کدام روش زیر می تواند باشد؟ (مهندسی شیمی ۸۴)

- (۱) مختلط
(۲) موازی
(۳) مستقیم
(۴) معکوس

۴- در صورتیکه افت درجه حرارت کل برای یک مجموعه تبخیرکننده 65.97 درجه سانتی گراد باشد با توجه به مقادیر داده شده در شکل میزان BPE در مرحله اول برابر است با: (مهندسی شیمی ۸۳)



۵- در صورتیکه محلول تغلیظ شونده در یک سیستم تبخیرکننده ضمن حساس بودن به درجه حرارت افزایش ویسکوزیته آن با تغلیظ نیز قابل توجه باشد کدام یک از سیستم های زیر برای تغلیظ این محلول مناسب تر می باشد؟ (مهندسی شیمی ۸۲)

- (۱) تبخیرکننده یک مرحله ای فیلم نزولی
(۲) تبخیرکننده یک مرحله ای فیلم صعودی
(۳) تبخیرکننده یک مرحله ای با گردش اجباری
(۴) تبخیرکننده چند مرحله ای با گردش اجباری و خوراک Backward

۶- در یک تبخیرکننده تک مرحله ای باید محلول 20% هیدروکسید سدیم با دبی جرمی $10000 \frac{\text{lb}}{\text{h}}$ تا غلظت 50% تغلیظ شود اگر

مقدار بخار مصرف شده برابر $8000 \frac{\text{lb}}{\text{h}}$ باشد اقتصاد تبخیرکننده عبارتست از: (مهندسی شیمی ۸۲)

- (۱) 0.4
(۲) 0.75
(۳) 1.0
(۴) 1.25

۷- در یک مجموعه تبخیرکننده چند مرحله‌ای multiple effect تعداد مراحل معمولاً محدود بین ۳ الی ۵ است زیرا

(مهندسی شیمی ۷۹)

- (۱) استفاده از چند مرحله اقتصادی نیست.
- (۲) دستگاه‌های تبخیر حجیم و جاگیر هستند.
- (۳) کنترل تعداد زیاد مرحله در یک مجموعه تبخیرکننده مشکل است.
- (۴) وجود BPE زیاد مانع از امکان استفاده مؤثر از بخار در مراحل مختلف می‌گردد.

۸- در عملیات تغلیظ مواد در تبخیرکننده‌هایی از نوع falling film مشکل اساسی (مهندسی شیمی ۷۸)

- (۱) تشکیل شدن لایه‌های رسوب در داخل لوله‌ها می‌باشد زیرا مرتباً از مقدار مایع کم می‌شود.
- (۲) کم بودن عدد رینولدز و مقدار انتقال حرارت می‌باشد، زیرا برای تغلیظ لازمست که مقدار مایع ورود به هر لوله کم باشد و این سبب می‌شود که مقدار بخار مصرفی (به خاطر کم بودن مقدار انتقال حرارت) زیاد شود.
- (۳) کف کردن مایع است، زیرا کف از جاری شدن مایع به سمت پایین لوله‌ها جلوگیری می‌کند.
- (۴) تقسیم خوراک بین لوله‌ها به صورت فیلم نازک و یکنواخت در جدار داخلی آنها می‌باشد.

۹- بهینه‌یابی (aptimization) تبخیرکننده‌های توأم با تراکم مجدد بخار (vapor recompression) بر اساس کدام عامل انجام می‌گیرد؟

(مهندسی شیمی ۷۶)

- (۱) شدت محصول خروجی از تبخیرکننده
- (۲) شدت بخار جبرانی
- (۳) فشار بخار خروجی از کمپرسور
- (۴) فشار بخار ورودی به کمپرسور

۱۰- در نوع تغذیه (feeding) تبخیرکننده‌ها اهمیت کدام عامل بیشتر است؟

(مهندسی شیمی ۷۵)

- (۱) تمایل به ایجاد رسوب در بدنه تبخیرکننده
- (۲) حساسیت به دما
- (۳) دانسیته محلول
- (۴) ویسکوزیته

۱۱- در یک تبخیرکننده دو مرحله‌ای ΔT خالص $85^\circ F$ است U_1 و U_2 به ترتیب ۳۵۰ و $580 \frac{B_1 T_1 U}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F}$ می‌باشد ΔT_1 سمت راست

(مهندسی شیمی ۷۵)

و ΔT_2 سمت چپ برابر با چند $^\circ F$ است؟

- (۱) ۳۰ ، ۵۵ (۲) ۴۰ ، ۴۵ (۳) ۴۲ ، ۴۲ (۴) ۳۲ ، ۵۳

۱۲- یک تبخیرکننده سه مرحله‌ای مایعی را بدون افزایش نقطه جوش (BPE) تغلیظ می‌کند. دمای بخار ورودی به مبدل حرارتی

مرحله اول $105^\circ C$ (صد و پنچ) و نقطه جوش محلول در مرحله آخر $50^\circ C$ است. ضریب انتقال حرارت کلی (U) در مرحله اول

۳۰۰۰ و در مرحله دوم ۲۰۰۰ و در مرحله سوم $1000 \frac{w}{m^2 \cdot ^\circ C}$ است نقطه جوش محلول در مرحله اول تقریباً چند درجه

(مهندسی شیمی ۷۵)

سانتی‌گراد است؟

- (۱) ۱۰۰ (۲) ۹۵ (۳) ۹۰ (۴) ۸۵

۱۳- در تبخیرکننده‌های توأم با تراکم مجدد بخار (Vaper recompression) عمل تراکم مجدد بخار سبب کاهش میزان افزایش نقطه جوش BPE می‌شود.

(مهندسی شیمی ۷۴)

- (۱) عمل تراکم مجدد بخار سبب کاهش میزان افزایش نقطه جوش BPE می‌شود.
- (۲) نسبت شدت بخار مصرفی (steam) به شدت بخار تبخیر بسیار کم است.
- (۳) نسبت شدت بخار مصرفی به شدت تبخیر بسیار زیاد است. پارسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
- (۴) عمل تراکم مجدد بخار سبب افزایش میزان صعود نقطه جوش می‌شود.

۱۴ - بعضی از ترکیبات مانند سود سوزآور وقتی که به آب افزوده می‌شوند بسته به مقداری که افزوده شده‌اند نقطه جوش آب را بالا می‌برند. (BPE) در صورتی که فشار سیستم تغییر کند نقطه جوش این گونه محلول‌ها نیز تغییر می‌کند با تغییر فشار در غلظت ثابت افزایش نقطه جوش محلول (BPE)

(۱) در فشار معینی به حداکثر خود می‌رسد.

(۲) تقریباً ثابت می‌ماند.

(۳) با بالا رفتن فشار کم می‌شود و با پایین آمدن فشار عکس عمل فوق اتفاق می‌افتد.

(۴) با بالا رفتن فشار افزایش می‌یابد و با پایین آمدن فشار عکس آن اتفاق می‌افتد.

۱۵ - جهت تغلیظ محلول‌هایی که در اثر تبخیر متبلور می‌شوند کدامیک از روش‌های زیر در خوراک‌دهی به یک تبخیرکننده چند مرحله‌ای Multiple effect ترجیح داده می‌شود؟ (مهندسی شیمی ۷۴)

(۱) Mixed feed (۲) Parallel feed (۳) forward feed (۴) backward feed

۱۶ - در یک تبخیرکننده تک مرحله‌ای محلول 20 درصد هیدروکسید سدیم با دبی جرمی $\frac{10000 \text{ lb}}{\text{h}}$ باید تا غلظت 50 درصد تغلیظ

گردد. اگر مقدار بخار مصرف شده برابر با $\frac{7700 \text{ lb}}{\text{h}}$ باشد اقتصاد (economy) دستگاه عبارتند از: (مهندسی شیمی ۷۴)

(۱) 0.78 (۲) 0.88 (۳) 0.98 (۴) 1

۱۷ - نقطه جوش یک محلول 40 درصد سودسوزآور در فشار اتمسفری حدود 135°C ($\text{BPE} = 35^\circ\text{C}$) می‌باشد. اگر فشار بالای این

محلول تا حدی که آب در 60°C می‌جوشد کاهش یابد نقطه جوش این محلول به کدامیک از دماهای زیر نزدیک‌تر خواهد بود؟

(مهندسی شیمی ۷۲)
(۱) 85°C (۲) 90°C (۳) 95°C (۴) 100°C

۱۸ - در تبخیرکننده‌های توأم با تراکم مجدد Economy (vapor recompression evaporators) (مهندسی شیمی ۷۲)

(۱) اصلاً تغییری نمی‌کند. (۲) به شدت افزایش می‌یابد. (۳) به شدت کاهش می‌یابد. (۴) تغییر جزئی می‌یابد.

۱۹ - برای تبخیر کردن یک محلول با ویسکوزیته بسیار بالا چه نوع تبخیر کننده‌ای مناسب‌تر است؟ (مهندسی شیمی ۷۲)

(۱) agitated film (۲) falling film (۳) climbing film (۴) vapor Recompression

پاسخ تست‌های طبقه‌بندی شده فصل یازدهم تبخیر

۱- گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن.

۲- گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن.

۳- گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

در متن درس این سؤال مطرح شده است.

۴- گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

در متن درس این سؤال مطرح شده است.

۵- گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن. البته مناسب‌ترین تبخیرکننده برای این شرایط تبخیرکننده‌های Agitated می‌باشند.

۶- گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$F \times F = L \times L \Rightarrow 10000 \times 0.2 = L \times 0.5 \Rightarrow L = 4000 \frac{\text{lb}}{\text{hr}}$$

$$F = L + V \Rightarrow V = 6000 \frac{\text{lb}}{\text{hr}}$$

$$E = \frac{V}{S} = \frac{6000}{8000} = 0.75$$

۷- گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

۸- گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۹- گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۱۰- گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

ویسکوزیته عامل اصلی انتخاب نحوه خوراک‌دهی می‌باشند.

۱۱- گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$$\left. \begin{aligned} \Delta T_i &= \frac{1}{\sum \frac{1}{u_i}} \times \Delta T_{\text{کل}} \\ \Delta T_{\text{کل}} &= 85^\circ \text{F} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \Delta T_1 = \frac{1}{\frac{1}{350} + \frac{1}{580}} \times 85 = 53^\circ \text{F}$$

$$\Delta T_{\text{کل}} = \Delta T_1 + \Delta T_2 \Rightarrow \Delta T_2 = 85 - 53 = 32^\circ \text{F}$$

۱۲ - گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

$$\Delta T_i = \frac{1}{\sum \frac{1}{u_i}} \times \Delta T_{\text{کل}}$$

$$BPE_i \approx 0 \Rightarrow \Delta T_{\text{کل}} = \Delta T_{\text{ظاهری}} = 105 - 50 = 55 \Rightarrow \Delta T_i = \frac{1}{\frac{1}{3000} + \frac{1}{2000} + \frac{1}{1000}} \times 55 = 10^\circ \text{C}$$

$$\Delta T_i = T_s - T_1 \Rightarrow T_1 = 105 - 10 = 95^\circ \text{C}$$

۱۳ - گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۱۴ - گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس BPE تقریباً مستقل از دما و فشار می‌باشد.

۱۵ - گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۱۶ - گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$F \times F = L \times L \Rightarrow 10000 \times 0.2 = L \times 0.5 \Rightarrow L = 4000 \frac{\text{lb}}{\text{hr}}$$

$$F = L + V \Rightarrow V = 6000 \frac{\text{lb}}{\text{hr}}$$

$$E = \frac{V}{S} = \frac{6000}{7700} = 0.78$$

۱۷ - گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

100°C = دمای جوش آب خالص در فشار یک اتمسفر ، $BPE = 35^\circ \text{C}$

$$BPE = T' - T \Rightarrow 35 = T' - 60 \Rightarrow T' = 95^\circ \text{C}$$

۱۸ - گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۱۹ - گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

فصل دوازدهم

جذب سطحی Adsorption

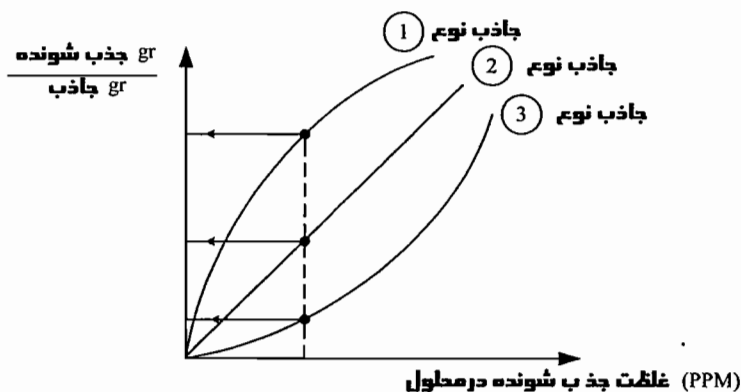
۱-۱۲ مقدمه

جذب سطحی نوعی عملیات انتقال جرم غیرمستقیم می‌باشد که در آن از قابلیت بعضی از جامدات در جذب بعضی از مواد موجود در محلول استفاده می‌نماید به ماده جذب شده adsorbate و جامد و جذب‌کننده adsorbent می‌گویند از این عملیات زمانی استفاده می‌شود که غلظت حل شونده در فاز سیال کم می‌باشد به طوری که با استفاده از سایر روش‌های جداسازی قادر به جداسازی آن نباشیم و یا مقرون به صرفه نباشد به عنوان مثال وقتی میزان آب موجود در گاز طبیعی کم باشد از ستون adsorption پر شده با سیلیکاژل استفاده می‌کنیم اما زمانیکه میزان آب موجود در گاز طبیعی زیاد باشد از ستون absorption پر شده با استفاده از حلال اتیلن گلیکول استفاده می‌کنیم در جذب سطحی جداسازی به دلیل اختلاف وزن و اختلاف شکل و یا اختلاف قطبیت انجام می‌شود و جذب سطحی به دو صورت فیزیکی و شیمیایی انجام می‌شود در جذب فیزیکی پیوند فیزیکی ضعیف واندروالس بین جاذب و جذب شونده انجام می‌شود که حرارت آزاد شده در این نوع جذب، نیز بسیار کم می‌باشد و جاذب به آسانی قابل بازیابی می‌باشد که اغلب با اندکی حرارت دادن، پیوند فیزیکی به وجود آمده شکسته می‌شود و جاذب بازیابی می‌گردد ولی در جذب سطحی شیمیایی پیوند شیمیایی بین جاذب و جذب شونده به وجود می‌آید به همین دلیل بازیابی جاذب بسیار مشکل و یا غیرممکن است و همچنین حرارت آزاد شده در این نوع جذب، بسیار زیاد می‌باشد به طور کلی توصیه می‌شود جذب سطحی در دمای پایین و فشار بالا انجام گیرد.

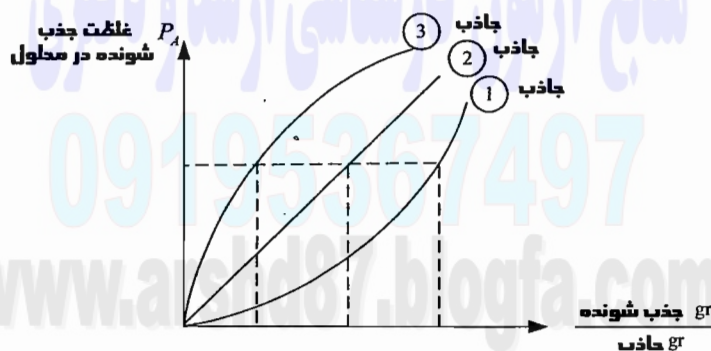
جاذب‌ها عموماً متخلخل هستند و دارای سطح ویژه بسیار بالایی می‌باشند و اکثراً از مواد معدنی به دست می‌آیند که نسبت به جزء جذب شونده دارای گزینش پذیری می‌باشند از جمله جاذب‌های مهم می‌توان به خاک‌های رس - کربن فعال شده - کیتوسان «Bio - polymer» و سیلیکاژل و ... اشاره کرد.

۲-۱۲ نمودارهای جذب سطحی

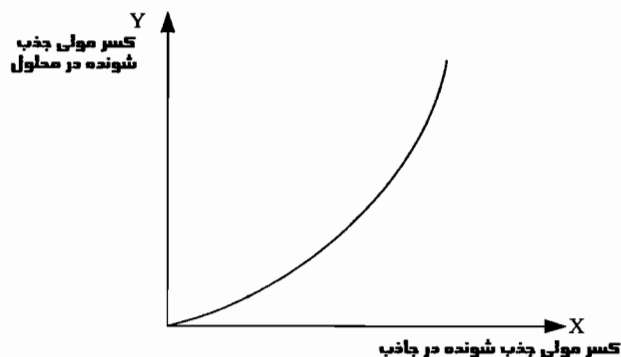
نمودارهای جذب سطحی برای هر جذب به صورت‌های مختلفی رسم می‌شوند که در زیر سه نوع از آن‌ها نشان داده شده است.



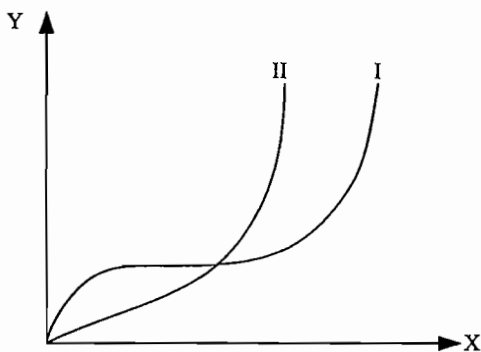
با توجه به نمودار مشخص است که به ازای میزان مشخص غلظت جذب‌شونده در سیال میزان جاذب مصرفی نوع یک از بقیه جاذب‌ها کمتر است پس جاذب شماره یک انتخاب مناسبی است.



با توجه به نمودار مشخص است که انتخاب جاذب نوع ۱، انتخاب بهتری می‌باشد.



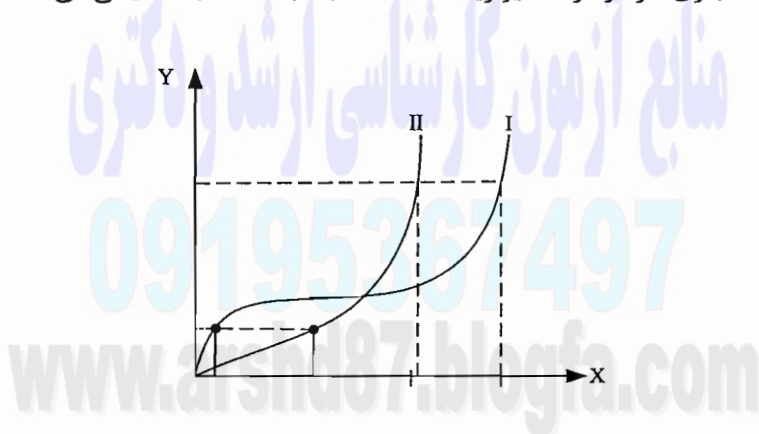
مثال: برای روش جذب سطحی Adsorption و جداسازی بخار A «منتقل شونده» از گاز B «منتقل نشونده» دو نوع جاذب که خط تعادلی آن‌ها در شکل داده شده پیشنهاد گردیده است در این صورت کدام عبارت صحیح است؟ (مهندسی شیمی ۸۰)



- (۱) با توجه به شکل، جاذب II را نمی‌توان به کار برد.
- (۲) برای مقادیر جذب کم جاذب I بهتر از II می‌باشد.
- (۳) برای مقادیر جذب کم جاذب II بهتر از I می‌باشد.
- (۴) برای مقادیر جذب زیاد جاذب II بهتر از I می‌باشد.

حل: گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

با توجه به شکل مشخص است که برای مقادیر مختلف غلظت جذب شونده در محلول، جاذب مناسب متفاوت است و در مقادیر کم غلظت Y، جاذب II عملکرد مناسبتری دارد و در مقادیر زیاد غلظت Y، جاذب I انتخاب صحیحی می‌باشد.



۱۲-۳ معادله فرندلیچ

این معادله بیانگر رابطه بین غلظت حل شونده در محلول و جاذب می‌باشد و در مورد محلول‌های مایع و رقیق به کار می‌رود و به صورت کلی زیر می‌باشد:

$$Y = mX^n$$

مربوط به جاذب مربوط به سیال

X: جرم جذب شونده بر جرم جاذب

Y: جرم جذب شونده بر جرم حلال - جذب نشونده -

نکته: برای این‌که عمل جذب سطحی به خوبی انجام بگیرد لازم است مقدار $2 \leq n \leq 10$ باشد اگر $n < 1$ باشد جذب سطحی ضعیف می‌باشد.

رابطه فرندلیچ را می‌توان به صورت $X = \left(\frac{Y}{m}\right)^{\frac{1}{n}}$ نیز نوشت در این صورت کاملاً مشخص است هرچه مقدار m کوچکتر و مقدار n بزرگتر

مثال: معادله تعادلی یک سیستم انتقال جرم که در آن جذب سطحی Adsorption بین دو فاز جامد و مایع صورت می‌پذیرد به صورت $Y = 10^{-5} (X)^{2.5}$ است. (مهندسی شیمی ۷۹)

- (۱) جامد مصرفی در این عمل، پذیرش بالایی از جذب دارد.
- (۲) جامد مصرفی در این عمل، پذیرش ضعیفی از جذب دارد.
- (۳) فاز جامد این عمل فقط مناسب سیستم‌های cross-current است.
- (۴) فاز جامد این عمل فقط مناسب سیستم‌های counter-current است.

حل: با توجه به نکته اخیر گزینه ۱ صحیح است. $n = 2.5$, $m = 10^{-5}$

۱۲-۲ الگوهای جریان در جذب سطحی

برای جذب سطحی از الگوهای جریان cocurrent و cross current - بیشتر cross current - استفاده می‌کنند به خاطر حضور فاز جامد به وجود آوردن الگوی جریان counter current مشکل می‌باشد.

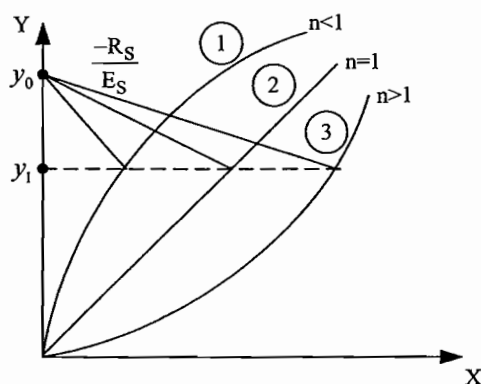
الف) الگوی جریان cocurrent هم‌جهت



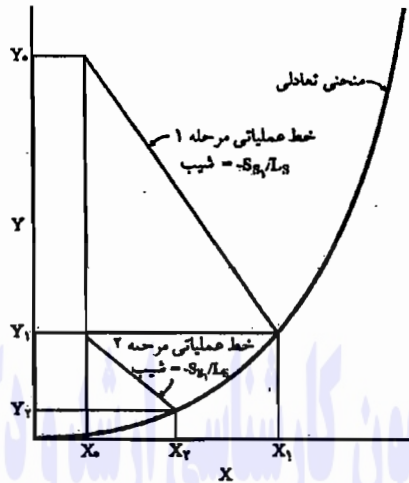
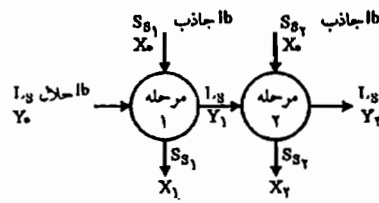
معادله خط کار به شکل زیر می‌باشد:

$$\frac{Y_1 - Y_0}{X_1 - X_0} = -\frac{R_s}{E_s} = \frac{\text{مقدار جاذب خالص}}{\text{مقدار حلال خالص}}$$

با توجه به معادله خط کار پرواضح است که هرچه شیب خط کار کمتر باشد مقدار جاذب مصرفی کمتر خواهد بود در شکل زیر نمودار تعادلی $Y = mX^n$ - برای سه جاذب مختلف رسم شده است که در جریان cocurrent استفاده شده‌اند واضح است که جاذب نوع سوم، مناسب‌تر می‌باشد n - بزرگتر و شیب خط کمتر.

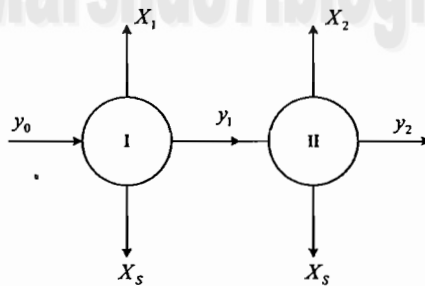


ب) الگوی جریان cross current



جذب دو مرحله‌ای با جریان متقاطع

با توجه به این که در جذب سطحی مقدار جذب‌شونده در محلول کم می‌باشد عملاً بعد از دو مرحله جذب سطحی تغییر چندانی در غلظت حل‌شونده ایجاد نمی‌شود به همین جهت این عملیات معمولاً در دو مرحله انجام می‌شود:



معادله خط مرحله اول:

$$\frac{Y_1 - Y_0}{X_1 - X_s} = -\frac{R_{sI}}{E_s} = \frac{\text{مقدار جذب خالص مرحله I}}{\text{مقدار حلال خالص}}$$

معادله خط کار مرحله دوم:

$$\frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_s} = -\frac{R_{sII}}{E_s} = \frac{\text{مقدار جذب خالص مرحله II}}{\text{مقدار حلال خالص}}$$

و مقدار حلال مصرفی کل برابر خواهد بود با:

$$R_{s_{total}} = R_{sI} + R_{sII} = E_s \left[\frac{Y_0 - Y_1}{X_1 - X_s} + \frac{Y_1 - Y_2}{X_2 - X_s} \right]$$

و در صورتی که حلال مصرفی خالص باشد داریم:

$$R_{s_{total}} = R_{s_I} + R_{s_{II}} = E_s \left[\frac{Y_0 - Y_1}{X_1} + \frac{Y_1 - Y_2}{X_2} \right]$$

با فرض خالص بودن حلال ورودی برای بدست آوردن میزان مینیموم جاذب مصرفی، لازم است هر دو مرحله تعادلی باشند پس داریم:

$$R_{s_{total}} = R_{s_I} + R_{s_{II}} = E_s \left[\frac{Y_0 - Y_1}{\left(\frac{Y_1}{m}\right)^{\frac{1}{n}}} + \frac{Y_1 - Y_2}{\left(\frac{Y_2}{m}\right)^{\frac{1}{n}}} \right]$$

حال برای پیدا کردن نقطه بهینه لازم است که: «مقادیر Y_0 و Y_2 توسط شرایط عملیات ثابت مشخص است.»

$$\frac{\delta R_{s_{total}}}{\delta Y_1} = 0$$

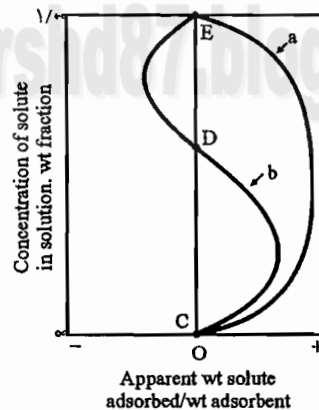
که منتج به رابطه زیر می شود:

$$\left(\frac{Y_1}{Y_2}\right)^{\frac{1}{n}} - \frac{1}{n} \frac{Y_0}{Y_1} = 1 - \frac{1}{n}$$

که اگر $n=1$ داریم: $Y_1 = \sqrt{Y_0 Y_2}$ که نشانگر این است که میزان جاذب مصرفی در هر دو مرحله برابر باشد.

۵-۱۲ جذب از محلول های غلیظ - جذب ظاهری -

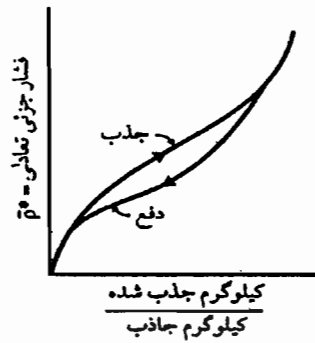
در شکل میزان جذب ظاهری یک جذب شونده در محدوده غلظت بین حلال خالص تا جذب شونده خالص نشان داده شده است.



خط افقی نشانگر نسبت وزنی جذب شونده به جاذب - جذب ظاهری - می باشد و خط عمودی کسر وزنی جذب شونده در حلال را نشان می دهد که از مقدار صفر تا یک تغییر می کند اگر در تمام غلظت ها، جذب شونده قوی تر از حلال - بیشتر از حلال - جذب شود منحنی جذب ظاهری به شکل منحنی a خواهد بود ولی اگر در بعضی از غلظت ها حلال بیشتر از جذب شونده، جذب گردد نمودار s شکل b به وجود می آید که نشانگر منحنی جذب ظاهری می باشد در نمودار b، در محدوده غلظت از C تا D، جذب شونده قوی تر از حلال جذب می شود و در نقطه D هر دو به یک مقدار یکسان جذب می شوند در محدوده غلظت D تا E حلال قوی تر جذب می شود و جذب ظاهری منفی می باشد.

۱۲-۶ نمودار پس ماند جذب سطحی Hysteresis

به فرایندهایی که حالت رفت و برگشت آن‌ها یکی نیست، حالت Hysteresis گویند هرگاه فشار تعادلی دفع سطحی کمتر از جذب سطحی باشد حالت پسماندگی Hysteresis به وجود می‌آید. در فرایند پس ماند جذب و دفع سطحی منحنی تعادلی جذب بالای دفع قرار می‌گیرد.



جذب ایزوترم که دارای پسماند است.

منابع آزمون کارشناسی ارشد و دکتری
09195367497
www.arshd87.blogfa.com

تست‌های طبقه‌بندی شده فصل ۱۲ جذب سطحی

۱- عمل جذب سطحی یک محلول رقیق شربت قند رنگی توسط جاذب کربن فعال در نظر گرفته می‌شود. این رنگ‌زدائی از طریق سیستم دو مرحله‌ای تعادلی از نوع جریان‌های متقاطع (cross-current) و با جاذب خالص انجام می‌گیرد. حداقل میزان جاذب مصرفی بستگی خواهد داشت به:

(۱) Y_1 و Y_2 (۲) غلظت ماده رنگی در خوراک اولیه

(۳) غلظت محلول رنگی خروجی از مرحله اول (۴) غلظت محلول رنگی خروجی از مرحله دوم

۲- پدیده جذب منفی در کدامیک از شرایط زیر مشاهده می‌شود؟

(۱) جذب گازی در فشار بالا (۲) جذب از محلول‌های غلیظ مایعات

(۳) جذب از محلول‌های رقیق مایع (۴) جذب بخارات گازی در فشار بالا

۳- در عمل جذب سطحی (adsorption) وقتی یک جزء نفوذکننده همراه آن غیرنفوذکننده (Non diffusing) باشد منحنی تعادل

کدامیک از سیستم‌های زیر از معادله Freundlich پیروی می‌نماید؟ (مهندسی شیمی ۸۴)

(۱) سیالات ایده‌آل

(۲) مخلوط مایعات با انحراف زیاد از حالت ایده‌آل

(۳) مخلوط‌های مایع که در آن غلظت جذب‌شونده بسیار کوچک است.

(۴) مخلوط گازی در صورتی که غلظت جذب‌شونده در آن بسیار کوچک باشد.

۴- در یک عملیات جذب سطحی دو مرحله‌ای متقاطع در صورتیکه از جاذب خالص استفاده شود و معادله تعادلی به صورت

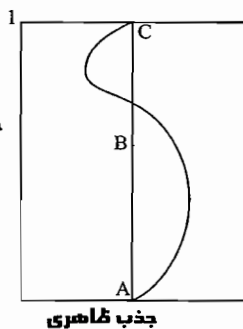
$Y = mx$ باشد رابطه بین غلظت میانی Y_1 و غلظت‌های Y_0 و Y_2 که ترتیب غلظت‌های ماده ورودی به مرحله اول و خروجی از

مرحله دوم می‌باشد کدام است؟ (مهندسی شیمی ۸۲)

(۱) $Y_1 = Y_2$ (۲) $Y_1 = \sqrt{Y_0 Y_2}$ (۳) $Y_1 = \ln Y_0 Y_2$ (۴) $Y_1 = \frac{Y_0 + Y_2}{2}$

۵- با توجه به شکل داده شده برای تغییرات جذب ظاهری با غلظت جزء حل شده در محلول که برای جذب سطحی از محلول‌های

مایع غلیظ داده شده است. منفی شدن مقدار جذب سطحی در فاصله B تا C چه مفهومی دارد؟ (مهندسی شیمی ۸۲)



(۱) از نقطه B به بعد ماده جذب شده قبلی مجدداً به محلول بازمی‌گردد.

(۲) از نقطه B به بعد جذب شیمیایی جایگزین جذب فیزیکی می‌گردد و به

علت ضعف آن جذب ظاهری منفی می‌گردد.

(۳) از نقطه B به بعد حلال بیش از حل‌شونده جذب می‌گردد و با رفتن به

سمت نقطه C با زیاد شدن غلظت حل شده این اثر خنثی می‌شود.

(۴) از نقطه B به بعد حلال و حل‌شونده با سرعت یکسان جذب می‌شوند و

با رفتن به نقطه C با زیاد شدن غلظت حل‌شونده این اثر خنثی می‌شود.

۶- با افزایش درجه حرارت میزان جذب سطحی:

(۱) در هر دو فرایند فیزیکی یا شیمیایی کاهش می‌یابد.

(۲) در هر دو فرایند فیزیکی یا شیمیایی افزایش می‌یابد.

(۳) در فرایند جذب سطحی فیزیکی کاهش و در فرایند جذب سطحی شیمیایی افزایش می‌یابد.

(۴) در فرایند جذب سطحی فیزیکی افزایش و در فرایند جذب سطحی شیمیایی کاهش می‌یابد.

۷- اگر در حالت ایزوترم جذب سطحی خطی میزان جاذب کل برای عملیات جذب سطحی دو مرحله‌ای جریان متقاطع حداقل باشد، چه نتیجه‌ای برای میزان جاذب در دو مرحله می‌توان گرفت؟

(مهندسی شیمی ۸)

(۱) یکسان است.

(۲) به سبب ایزوترم جذب سطحی بستگی دارد.

(۳) در مرحله دوم بزرگتر از میزان جاذب در مرحله اول است.

(۴) در مرحله اول بزرگتر از میزان جاذب در مرحله دوم است.

۸- در عملیات جذب سطحی چند مرحله‌ای چرا معمولاً تعداد مراحل محدود به ۲ می‌باشد و افزایش نمی‌یابد. زیرا

(مهندسی شیمی ۸)

(۱) کنترل عملیات بسیار مشکل می‌گردد.

(۲) میزان جداسازی تغییر محسوسی نمی‌کند.

(۳) طراحی سیستم و ساخت آن را بسیار مشکل می‌سازد.

(۴) از لحاظ هزینه سرمایه‌گذاری و عملیات مقرون به صرفه نمی‌باشد.

(مهندسی شیمی ۷۸)

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

(۱) قطر و طول دو مقیاس نیمه صنعتی (pilot-plant) و صنعتی یکسان باشد.

(۲) دبی و طول در دو مقیاس یکسان باشد.

(۳) دبی و قطر در دو مقیاس یکسان باشد.

(۴) شکل و اندازه جاذب و سرعت ظاهری باید یکسان باشد.

۱۰- یک عمل جذب سطحی و رنگ‌زدایی در محلول‌های رقیق از روش دو مرحله‌ای متقاطع (cross-current) و با استفاده از حلال

خالص در هر مرحله انجام گیرد. اگر Y_0, Y_1, Y_2 به ترتیب غلظت ماده رنگی ورودی به مراحل ۱ و ۲ و خروجی از مرحله ۲ باشد

در تعیین کل جاذب مصرفی سیستم کدام مقدار مهم‌تر است؟ (مقادیر Y بر اساس عاری از جذب شونده‌اند) (مهندسی شیمی ۷۵)

$$Y = \sqrt{Y_1 Y_2} \quad (۴)$$

$$Y_2 \quad (۳)$$

$$Y_0 \quad (۲)$$

$$Y_1 \quad (۱)$$

۱۱- در عملیات جذب سطحی دو مرحله‌ای متقاطع (cross-current) جهت تعیین میزان جاذب مورد نیاز می‌توان از رابطه

فروندلیچ (Freundlich) به صورت زیر استفاده نمود.

$$Y \left(\frac{\text{جز حل شدنی kg}}{\text{محلول kg}} \right) = 5 \times 10^{-5} X, \quad X = \frac{\text{جذب شده kg}}{\text{جاذب kg}}$$

(۱) میزان جاذب بهینه مرحله دوم بیش از میزان جاذب بهینه مرحله اول است.

(۲) با توجه به اطلاعات داده شده نمی‌توان روی میزان جاذب بهینه دو مرحله اظهار نظر کرد.

(۳) میزان جاذب بهینه مورد نیاز در هر دو مرحله برابر است.

(۴) میزان جاذب بهینه مرحله اول بیش از میزان جاذب بهینه مرحله دوم است.

۱۲- در فرآیند جذب سطحی در محلول‌های رقیق وقتی معادله منحنی تعادل به صورت $Y = mx^n$ جاذب مناسب‌تر کدام است؟

(مهندسی شیمی ۷۲)

$$Y = mx^3 \quad (۴)$$

$$Y = mx \quad (۱)$$

$$Y = mx^{1.2} \quad (۲)$$

$$Y = mx \quad (۱)$$

پاسخ تست‌های طبقه‌بندی شده فصل ۱۲ جذب سطحی

۱- گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۲- گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۳- گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۴- گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

$$\left. \left(\frac{Y_1}{Y_2} \right)^{\frac{1}{n}} - \frac{1}{n} \frac{Y_0}{Y_1} = 1 - \frac{1}{n} \right\} \Rightarrow \frac{Y_1}{Y_2} - \frac{Y_0}{Y_1} = 0 \Rightarrow Y_1 = \sqrt{Y_0 Y_2}$$

$Y = mx \Rightarrow n = 1$

۵- گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۶- گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

دما تأثیر کمی بر فرایند جذب سطحی فیزیکی دارد اما با این وجود افزایش دما باعث کاهش جذب سطحی فیزیکی و یا شیمیایی می‌گردد.

۷- گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس و اینکه در حالت ایزوترم، جذب سطحی، خطی - $n = 1$ - می‌باشد.

۸- گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۹- گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

از درس مکانیک سیالات به یاد داریم که برای برقراری تشابه هندسی و سینماتیکی لازم است شکل هندسی دستگاه و نیز سرعت‌ها در جاهای مختلف برابر باشند.

۱۰- گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس.

۱۱- گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

با توجه به این که $n = 1$ می‌توان نتیجه گرفت که گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

۱۲- گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس - x بزرگ و m کوچک \Leftarrow جذب سطحی \Leftarrow پاریسه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

فصل سیزدهم

استخراج از جامدات Leaching

۱-۱۳ مقدمه

استخراج از جامد جزء روش‌های غیرمستقیم انتقال جرم می‌باشد که در آن یک یا چند جزء از مخلوط جامد که در تماس با یک حلال مایع قرار گرفته است در آن حل می‌شود از این عملیات در صنایع استخراج فلزات بیشتر استفاده می‌کنند و همچنین در استخراج روغن از دانه‌های روغنی نیز از این عملیات استفاده می‌کنند. همانند استخراج از مایعات در استخراج از جامدات نیز پس از مخلوط کردن حلال و جامد، دو فاز به دست می‌آید که به فاز شامل جزء حل‌شونده و حلال، جریان سرریز Over flow و به فاز شامل ذرات جامد و محلول تجمع‌یافته در آن under flow گویند.

۲-۱۳ روش‌های استخراج

۱. **استخراج از جامد در محل:** در این روش مواد معدنی از طریق نفوذ جریان حلال در محل معدن و روی سنگ معدن استخراج می‌گردد نام دیگر این روش solution mining می‌باشد.

۲. **استخراج از جامد به صورت توده‌ای:** این روش در مورد سنگ معدن‌هایی که ارزش خرد کردن و آسیاب کردن را - به علت وجود کم مواد معدنی در آن‌ها - ندارند به کار می‌رود به این صورت که این سنگ‌ها را در روی زمین نفوذناپذیر جمع می‌کنند و حلال را از روی آن‌ها عبور می‌دهند و بعد از آن که حلال از توده خارج شد، آن را جمع‌آوری می‌کنند.

۳. **مخازن نفوذ:** این روش در مورد جامداتی با اندازه متوسط به کار می‌رود بدین صورت که آن‌ها را در مخازن روباز توسط روش‌های نفوذ مورد عمل قرار می‌دهند این روش نسبتاً پرهزینه می‌باشد.

۴. **نفوذ در ظروف سر بسته:** وقتی افت فشار جریان حلال برای حرکت در اثر نیروی جاذبه خیلی زیاد باشد و یا زمانی که حلال بسیار فرار می‌باشد و یا درجه حرارت عملیات بالاتر از نقطه جوش نرمال حلال است از این روش برای انجام عمل جداسازی استفاده

۵. استخراج از جامد به صورت صافی فشاری: از این روش در مورد جامدات بسیار ریز که مخازن نفوذ عمیق برای انجام عملیات جداسازی آنها مناسب است، استفاده می کنند.

۶. ظروف به هم زن: در مواقعی که استخراج آهسته و ناقص باشد و جامدات نیز نسبتاً ریز باشند می توان عمل استخراج را با هم زدن مایع و جامد در ظروف استخراج انجام داد که در این صورت ذرات ریز جامد در حلال به صورت معلق درمی آیند نمونه ای از این دستگاه ها، مخازن پاچوکا pachuca می باشد که در صنایع فلزی مورد استفاده قرار می گیرد.

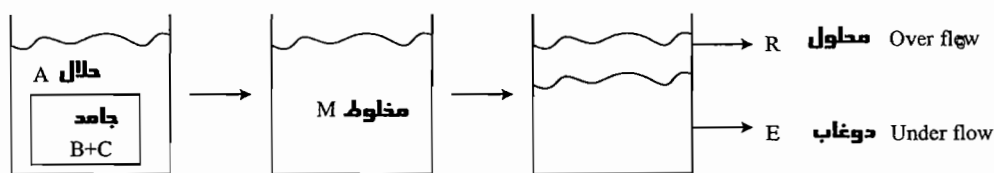
نکته : جامداتی که بستر غیر قابل نفوذ تشکیل می دهند را توسط پراکندن آنها در حلال توسط هم زن تحت عملیات استخراج قرار می دهند.

نکته : عملیات استخراج از جامد معمولاً در دمای بالا انجام می گیرد زیرا با افزایش دما، حلالیت حل شونده در حلال افزایش می یابد و نیز افزایش دما باعث کاهش ویسکوزیته حلال می شود که خود سبب افزایش ضریب نفوذپذیری آن می گردد البته بالا بردن دما به شرط عدم تخریب شیمیایی جامد مجاز است در مواردی مانند استخراج مواد قندی از چغندر بالا بردن دما سبب تخریب شیمیایی چغندر می گردد بنابراین این عمل باید در دمای پایین صورت گیرد.

۳-۱۳ محاسبات استخراج

فرض کنید جزء C توسط حلال A از مخلوط جامد B و C جدا می شود.

تعریف یک مرحله تعادلی با بازده 100% - تعادل ایده آل - در عملیات استخراج بدین صورت است که تمام جزء C توسط حلال A حل گردد و همچنین هیچ گونه جذب سطحی حلال و حل شونده توسط جامد B انجام نگیرد در این صورت با اعمال فیزیکی مانند ته نشینی و یا صاف کردن و یا تخلیه، فازهای حل نشدنی به طور کامل از یکدیگر جدا می شوند و هیچ مقداری از حل شونده همراه با جامد خروجی نخواهد بود.



و تعاریف زیر را داریم:

N در هر دو جریان بالادستی - Over flow - و پایین دستی - under flow - به صورت زیر تعریف می شود:

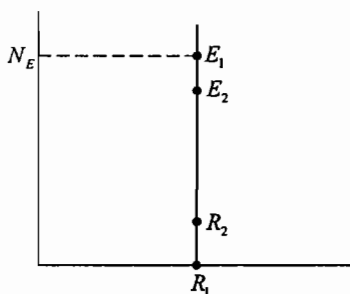
$$N = \frac{\text{جرم B}}{\text{جرم (A+C)}}$$

$$X = \text{در جریان بالادستی} = \frac{\text{جرم C}}{\text{جرم (A+C)}}$$

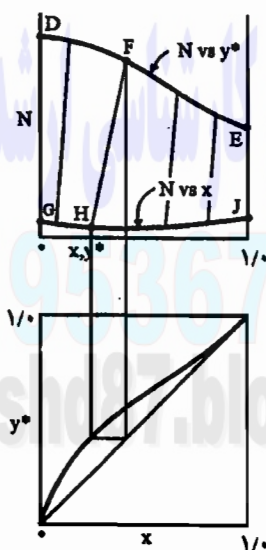
$$Y = \text{در جریان پایین دستی} = \frac{\text{جرم C}}{\text{جرم (A+C)}}$$

تعدادل ایره ال

با توجه به تعریف در جداسازی کامل $N_R = 0$ است که در شکل زیر R_1 و E_1 مربوط به حالتی است که جداسازی کامل صورت گرفته است و نقاط E_2 و R_2 مربوط به حالتی است که جداسازی کامل نبوده است که نشان گر این است که زمان لازم برای جداسازی کم بوده و یا مقدار حلال کم بوده است.



در این قسمت به بررسی چند نمونه از منحنی $N-xy$ می پردازیم.



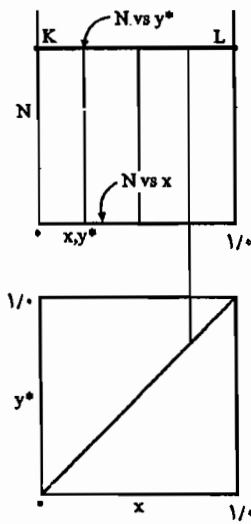
دیاگرام تعادلی

این منحنی نشان گر حالتی است که جامد B به طور نسبی در حلال حل می شود و حل شونده C به هر میزان در حلال A حل می گردد بنابراین X و Y از مقادیر صفر تا یک متغیر می باشد منحنی DFE نشان دهنده جامد جدا شده و منحنی GHJ نشان دهنده محلول خارج شده می باشد همان طور که می بینید در این حالت خطوط tie عمودی نیستند زیرا:

(الف) زمان تماس برای حل شدن تمام حل شونده ناکافی می باشد.

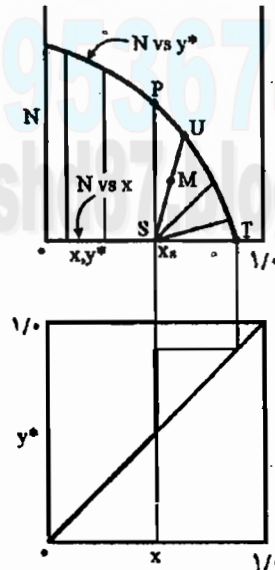
(ب) حل شونده توسط جامد B جذب سطحی می شود.

(ج) حل شونده به طور نامساوی بین فازهای مایع و جامدی که در حالت تعادل هستند، توزیع شود.



دیاگرام تعادلی

این منحنی مربوط به حالتی است که جامد B به طور کامل ته نشین می شود - $N_R = 0$ - و جذب سطحی حل شونده به وجود نمی آید و محلول خارج شده و محلول تجمع یافته با جامد دارای غلظت های یکسانی می باشند از این رو خطوط tie به صورت عمودی خواهند بود و منحنی موجود در مختصات XY منطبق بر خط 45 درجه خواهد بود.



دیاگرام تعادلی

این منحنی مربوط به حالتی است که حل شونده C دارای محدودیت حلالیت در حلال A می باشد - x_s - نقطه T نشانگر غلظت جامد حل شونده خالص بعد از ته نشینی محلول اشباع است با توجه به عمودی بودن خطوط tie در قسمت سمت چپ خط PS ، جذب سطحی وجود ندارد.

تست‌های طبقه‌بندی شده فصل سیزدهم استخراج از جامد

- ۱- دلیل عمودی نبودن خطوط بست در عملیات استخراج مایع - جامد این است که: (مهندسی شیمی ۸۱)
- (۱) هر دو مورد دوم و سوم
(۲) زمان تماس خیلی زیاد بوده است.
(۳) مقداری از ماده حل‌شونده در حلال حل نمی‌شود.
(۴) مقداری از جامد حل‌نشده در حلال حل می‌شود.
- ۲- کدام مورد برای عملیات استخراج مایع - جامد در هر حالتی صحیح نیست؟ (مهندسی شیمی ۸۱)
- (۱) خطوط بست معمولاً عمودی هستند.
(۲) خط تعادل معمولاً بر خط $Y = X$ منطبق است.
(۳) میزان جامد در فاز محلول خروجی معمولاً نزدیک صفر است.
(۴) حلال در این عملیات ماده حل شده را به هر میزان در خود حل می‌نماید.
- ۳- اگر جامدی به صورت بستر غیرقابل نفوذ درآید، در فرآیند استخراج از این جامد کدام حالت مناسب‌تر است؟ (مهندسی شیمی ۸۱)
- (۱) بستر ثابت به کار رود.
(۲) جامد در مایع پخش شود.
(۳) بستر متحرک اعمال شود.
(۴) مایع بر جامد ریخته شود.
- ۴- کدام عبارت در مورد تعادل در استخراج از جامد توسط حلال صحیح است؟ (مهندسی شیمی ۷۷)
- (۱) تعادل به منحنی اشباع جریان محلول همراه جامد از هر دو مرحله است.
(۲) تعادل وقتی برقرار می‌شود که تمامی جرم حل‌شونده موجود در جامد در حلال حل شود.
(۳) تعادل وقتی برقرار است که غلظت جریان مایع همراه جامد خروجی از هر مرحله مساوی غلظت جریان سرریز از همان مرحله است.
(۴) هیچ‌یک از موارد فوق
- ۵- در فرآیند استخراج از یک بستر جامد وقتی که حلال فرار به کار برده می‌شود عمل مناسب است؟ (مهندسی شیمی ۷۷)
- (۱) تحت فشار و در ظروف سربسته
(۲) تحت خلأ و در ظروف سربسته
(۳) در فشار اتمسفر و در ظروف سرباز
(۴) در فشار اتمسفر و در ظروف سربسته
- ۶- در فرآیند استخراج از جامد (leaching) کدام‌یک از شرایط زیر باید برقرار باشد تا مراحل آن (stage) به صورت ایده‌آل عمل کرده و تعادل برقرار شود؟ (مهندسی شیمی ۷۲)
- (۱) جسم جامد به‌طور کافی خرد شده باشد تا سطح مخصوص با لایه پیدا کند.
(۲) جسم محلول در جامد (solute) به تناسب هر مرحله وارد حلال شده و به‌صورت محلول درآمده باشد.
(۳) درجه حرارت و فشار هر طبقه آن‌قدر بالا رود تا عمل پخت (curing) انجام گیرد.
(۴) کلیه جسم محلول در جامد (solute) وارد حلال شده و به‌صورت (solution) درآمده باشد.

پاسخ تست‌های طبقه‌بندی شده فصل سیزدهم استخراج از جامد

- ۱ - گزینه ۳ صحیح می‌باشد.
زمانی که ماده حل‌شونده به‌طور کامل در حلال حل نمی‌شود و خطوط رابط مایل می‌شوند.
- ۲ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.
با توجه به متن درس.
- ۳ - گزینه ۲ صحیح می‌باشد.
با توجه به متن درس.
- ۴ - گزینه ۲ صحیح می‌باشد.
با توجه به تعریف تعادل و متن درس.
- ۵ - گزینه ۱ صحیح می‌باشد.
با توجه به متن درس.
- ۶ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.
با توجه به متن درس.

منابع آزمون کارشناسی ارشد و دکتری
09195367497
www.arshd87.blogfa.com

فصل چهاردهم

کریستالیزاسیون

۱-۱۴ مقدمه

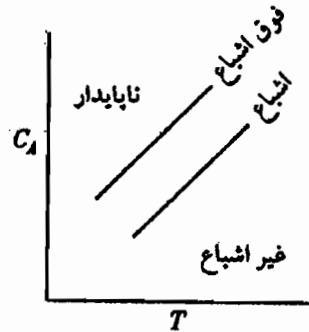
تشکیل یک فاز جامد در یک فاز همگن را کریستالیزاسیون می‌گویند فاز جامد می‌تواند مایع یا گاز باشد مانند تولید نبات و یا تشکیل برف، بلوری که از محلول ناخالص تشکیل می‌شود، خود خالص است از این روش برای جداسازی کامل جامد محلول از حلال آن استفاده می‌شود.

۲-۱۴ تعاریف

محلول ماگما: به مخلوط دو فازی محلول مادر و ذرات کریستال که دستگاه کریستال‌ساز را اشغال کرده‌اند محلول ماگما می‌گویند.
کریستال: نوعی از مواد جامد که مولکول‌های آن نظم خاصی دارند.
CSD: توزیع اندازه ذرات کریستال را در ظرف کریستال‌ساز گویند.

۳-۱۴ منحنی حلالیت

حلالیت یک جامد در مایع در هر دما و فشار مقدار مشخصی است - معمولاً تأثیر فشار بر حلالیت جامد در مایع کمتر از دما می‌باشد -
به این حلالیت حلالیت اشباع می‌گویند در شکل میزان حلالیت جامد در محلول برحسب دما نشان داده شده است.



منحنی حلالیت جامد در محلول

در شکل سه ناحیه مشخص است.

۱- ناحیه غیر اشباع *under saturate*: در این ناحیه هیچ کریستالی تشکیل نمی شود و برای حل شدن جامد در مایع و رسیدن به مرز اشباعیت ظرفیت وجود دارد.

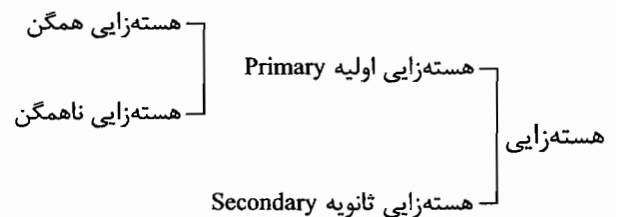
۲- ناحیه *metastable*: در این ناحیه امکان تشکیل کریستال وجود دارد و محلول می تواند با تخلیه فوق اشباعیت با تشکیل کریستال های جامد دوباره به صورت محلول اشباع در آید.

۳- ناحیه *labil*: این ناحیه بسیار ناپایدار است و محلول موجود در این ناحیه به شدت ناپایدار است و به حالت اشباع در می آید.

۴-۱ مراحل تشکیل کریستال

در حالت کلی مراحل رشد یک کریستال شامل دو مرحله است:

- ۱- هسته زایی *Nucleation*: ایجاد کریستال با سایز بسیار کوچک در حد جمع شدن چند مولکول در کنار هم را گویند.
- ۲- رشد کریستال *Growth*: رشد کریستال های کوچک تا رسیدن به اندازه میکروسکوپی را گویند.



هسته زایی اولیه: هسته زایی در غیاب کریستال است در این حالت هنوز هیچ کریستالی در محلول به وجود نیامده است که خود به دو دسته تقسیم می شود.

هسته زایی همگن: تشکیل کریستال در یک فاز و بدون وجود ناخالصی را هسته زایی همگن می گویند که در اثر وجود فوق اشباعیت و در غیاب کریستال های تشکیل شده، صورت می گیرد.

هسته زایی ناهمگن: اگر هسته زایی اولیه در اثر وجود کاتالیزور و یا ناخالصی ها در محلول به وجود آید به آن هسته زایی ناهمگن

هسته‌زایی ثانویه: هسته‌زایی در اثر حضور کریستال‌های جامد در محلول است.

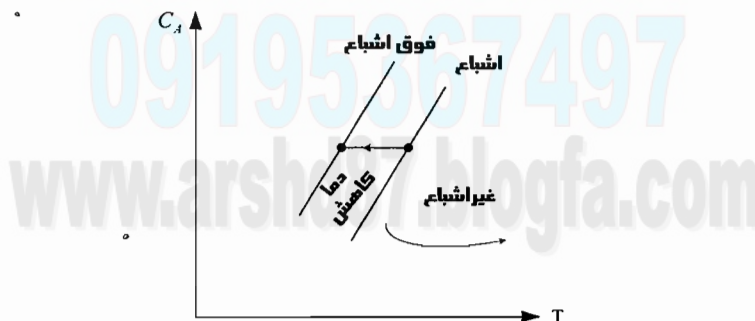
رشد کریستال: پس از انجام هسته‌زایی زمانی که کریستال به اندازه‌ای رسید که دیگر متلاشی نشود مرحله رشد کریستال آغاز می‌شود شرط رشد کردن کریستال این است که غلظت حل شونده در سطح و اطراف کریستال در مقابل بقیه قسمت‌های محلول کمتر باشد در این صورت مولکول‌های ماده حل شده با نفوذ درون محلول به سطح در حال رشد کریستال می‌رسند و طی یک واکنش سطحی، جذب سطح کریستال می‌شوند همان‌طور که مشخص است دو مرحله در رشد کریستال وجود دارد یکی نفوذ مولکولی و دیگری واکنش شیمیایی و از آنجایی که واکنش شیمیایی سریع می‌باشد پدیده نفوذ مولکولی کنترل‌کننده سرعت رشد کریستال می‌باشد به‌طور کلی می‌توان گفت که سرعت رشد کریستال تابع فوق اشباعیت و دما و اندازه کریستال و حضور ناخالصی در محلول است.

۱۴-۵ روش‌های ایجاد فوق اشباعیت

روش‌های مختلفی برای ایجاد فوق اشباعیت وجود دارد که به توضیح آن‌ها می‌پردازیم.

۱- روش سرد کردن

اگر حلالیت ماده حل‌شونده با افزایش دما شدیداً افزایش یابد. با کاهش دما و سرد کردن می‌توان یک محلول اشباع را به یک محلول فوق اشباع تبدیل کرد - مانند شکر - به دستگاه‌های کریستال‌سازی که به این طریق عمل می‌کنند کریستال‌سازهای سرمایشی می‌گویند - مثل تولید شکر -



نکته : شیب زیاد منحنی نشان‌گر تأثیر زیاد دما بر حلالیت است.

۲- روش تبخیر کردن

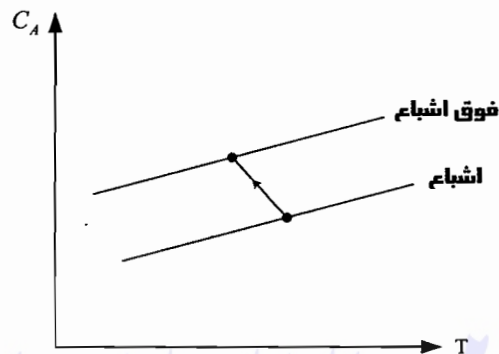
در مورد موادی به‌کار می‌رود که حلالیت آن‌ها تابع ضعیفی از دما می‌باشد مانند نمک‌طعام در این صورت مقداری از حلال را تبخیر می‌کند و فوق اشباعیت را به‌وجود می‌آورند به دستگاه کریستال‌سازی که از این طریق کار می‌کند کریستال‌ساز تبخیری می‌گویند.



نکته : شیب کم منحنی، نشان‌گر تأثیر کم دما بر حلالیت ماده می‌باشد.

۳- روش تبخیر تحت خلأ - سرد کردن همراه با تبخیر -

اگر شیب منحنی حلالیت متوسط باشد - نه زیاد و نه کم - مناسبترین روش ایجاد فوق اشباعیت سرد کردن محلول توأمان با تبخیر آن است که این عمل در اثر تبخیر در خلأ امکان پذیر است که این کار توسط کاهش سریع فشار کریستال ساز و ایجاد خلأ روی آن انجام می شود که در نتیجه کاهش فشار عمل flash صورت می گیرد به دستگاه های کریستال سازی که از این روش استفاده می کنند Evaporative cooling می گویند.



۴- روش salting

این روش در موادی به کار می رود که دارای حلالیت بسیار بالایی در حلال هستند به طوری که هیچ کدام از روش های دیگر جوابگوی نیازهای فوق اشباعیت نیستند در این روش با اضافه کردن یک جزء سوم به محلول حلالیت جزء مورد نظر را کاهش می دهند این روش جزء روش های غیرمستقیم جداسازی محسوب می شود

ه- روش ایجاد رسوب - واکنش شیمیایی -

اگر رسوب تقریباً کاملی مورد نیاز باشد می توان با اضافه کردن جزء سوم که با ماده حل شده اصلی واکنش داده و یک ماده نامحلول تشکیل می دهد، رسوبی را به روش شیمیایی ایجاد کرد که به این روش، فرایند ایجاد رسوب می گویند.

تست‌های طبقه‌بندی شده فصل ۱۴ کریستالیزاسیون

۱- هر قدر تغییرات حلالیت یک ماده با دما شدیدتر باشد، جهت استحصال آن با روش کریستالیزاسیون

(مهندسی شیمی ۷۹)

- ۱) کریستالیزاسیون واکنشی مناسبتر است.
- ۲) کریستالیزاسیون تبخیری موجه‌تر خواهد بود.
- ۳) کریستالیزاسیون سرمایشی موجه‌تر خواهد بود.
- ۴) با تبخیر کامل حلال محصول کمتری از کریستالیزاسیون سرمایشی حاصل می‌شود.

۲- برای این‌که اندازه کریستال‌ها در محصول یکنواخت‌تر و طیف اندازه کریستال‌ها (Crystal size distribution) محدودتر باشد

(مهندسی شیمی ۷۴)

بهتر است؟

- ۱) دبی دستگاه را کم کرد.
- ۲) زمان ماند دانه‌ها را در داخل کریستالیزور ثابت نگاه داشت.
- ۳) سرعت دانه‌بندی را با ثابت نگهداشتن دمای دستگاه ثابت نگاه داشت.
- ۴) مایع برگشتی از زیرماگما (magma) وارد کریستالیزور شود.

(مهندسی شیمی ۷۴)

۳- برای جداسازی کامل جامد محلول از حلال آن کدام‌یک از فرایندهای زیر استفاده می‌شود؟

(۴) کریستالیزاسیون

(۳) تبخیر

(۲) شناورسازی

(۱) فیلتراسیون

پاسخ تست‌های طبقه‌بندی شده فصل ۱۴ کریستالیزاسیون

۱- گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

با توجه به متن درس

۲- گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

۳- گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

فصل پانزدهم

فیلتراسیون

۱-۱۵ مقدمه

فیلتراسیون جزء عملیات‌های انتقال جرم محسوب نمی‌شود و یکی از روش‌های جداسازی مکانیکی می‌باشد که برای جداسازی ذرات جامد در یک مایع با استفاده از فیلترهایی با اندازه‌ی روزه‌های مشخص به کار می‌رود به جامدات مرطوب که روی فیلتر و یا غشاء باقی می‌مانند، کیک cake و به مایع جدا شده filtrate می‌گویند. اساس فیلتراسیون، اختلاف اندازه‌ی ذرات می‌باشد و سیال در عمل فیلتراسیون ممکن است گاز و یا مایع باشد.

۲-۱۵ روش‌های فیلتراسیون

فیلتراسیون به سه روش عمده انجام می‌شود:

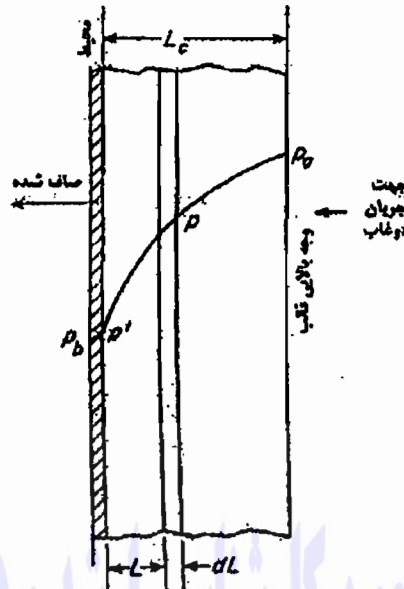
الف) با استفاده از نیروی جاذبه - صافی‌های ثقیلی - : در این حالت مایع موجود در بالای صافی به کمک نیروی وزن از دوغاب حاوی ذرات جامد جدا می‌شود کاربرد این روش در جداسازی محلول با بلورهای خیلی درشت و در تصفیه آب و فاضلاب می‌باشد.

ب) فیلتراسیون تحت فشار: در این روش با اعمال یک اختلاف فشار به طرفین فیلتر، مایع موجود در دوغاب را وادار می‌سازند تا از خلل و فرج صافی عبور کند.

ج) فیلتراسیون تحت خلاء: در این روش، فشار وجه بالایی صافی فشار جو، و فشار وجه پایینی صافی کمتر از فشار جو - خلاء نسبی - می‌باشد که به واسطه‌ی همین اختلاف فشار جداسازی انجام می‌گیرد مشخص است که حداکثر اختلاف فشاری که در این روش می‌توان ایجاد نمود، برابر یک اتمسفر می‌باشد.

۳-۱۵ محاسبات فیلتراسیون

در شکل زیر نمونه‌ای از یک قالب و محیط صافی در زمان t نشان داده شده است.



برشی از یک قالب و محیط صافی

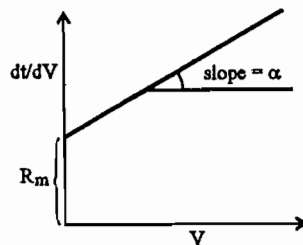
افت فشار جریان مایع در عمل فیلتراسیون به دو دلیل عمده صورت می‌گیرد:

$$\Delta P_{\text{total}} = \Delta P_{\text{cake}} + \Delta P_{\text{medium}}$$

- افت فشار بر اثر عبور از کیک متخلخل

- افت فشار در اثر عبور از صافی

که تأثیر عامل اول بیشتر از عامل دوم است لازم به ذکر است که افت فشار در اثر عبور از کیک با گذشت زمان به دلیل افزایش میزان کیک، افزایش می‌یابد اما افت فشار در اثر عبور از صافی - فیلتر - با گذشت زمان تغییر نمی‌کند اگر کیک را یک محیط متخلخل در نظر بگیریم می‌توانیم ΔP_{cake} را از معادله ارگان به دست آوریم که این معادله، بسیار پیچیده می‌باشد به همین جهت پارامتر a را به عنوان مقاومت ویژه کیک تعریف می‌کنیم اگر عکس تغییرات دبی حجمی فیلتریت عبوری از صافی نسبت به زمان - $\frac{dt}{dV}$ - را بر حسب دبی حجمی فیلتریت - V - رسم کنیم خطی حاصل می‌شود که شیب آن a را نشان می‌دهد و عرض از مبدأ آن نشانگر مقاومت صافی است که مشخص است مقاومت در صافی R_m مقدار ثابتی است و ارتباطی با جرم کیک تشکیل شده ندارد.



۴-۱۵ انواع کیک‌ها

کیک‌ها بر اثر اعمال فشار به دو صورت رفتار می‌کنند:

(الف) کیک‌های غیر قابل تراکم: که در آن‌ها a مستقل از فشار است.

(ب) کیک‌های تراکم‌پذیر: که در آن‌ها a وابسته به فشار است و رابطه کلی آن به صورت $a = a_0 (\Delta P)^s$ می‌باشد که در آن s توان

تست‌های طبقه‌بندی شده فصل ۱۵ فیلتراسیون

۱- در عمل فیلتراسیون تحت فشار ثابت (ثابت ΔP)، a یا مقاومت ویژه کیک (specific cake resistance) را از کدام طریق می‌توان به دست آورد؟

(۱) به کمک R_m (مقاومت صافی)

(۲) تعیین سطح فیلتر

(۳) رسم $\frac{dt}{dV}$ (عکس تغییرات حجم مایع صاف شده بر زمان) در مقابل متوسط حجم مایع صاف شده و تعیین شیب خط

(۴) رسم زمان (t) در مقابل حجم مایع صاف شده

۲- در فیلتراسیون غیرپیوسته به کمک فیلتر پرس کدام یک از جملات زیر صحیح است؟ (مهندسی شیمی ۷۴)

(۱) مرحله شستشوی فیلتر یک فرآیند فشار ثابت ولی دبی متغیر است.

(۲) مرحله فیلتراسیون یک فرآیند فشار ثابت و دبی ثابت است.

(۳) سرعت جمع‌آوری مایع در مرحله شستشو برابر با سرعت جمع‌آوری مایع حاصل از فیلتراسیون شروع عملیات فیلتراسیون است.

(۴) میزان مایع حاصل از فیلتراسیون همواره کمتر از میزان مایع موجود در خوراک ورودی است.

۳- در عمل فیلتراسیون هرگاه غلظت دوغاب اولیه (slurry) افزایش یابد مقاومت صافی (medium) (مهندسی شیمی ۷۲)

(مهندسی شیمی ۷۲)

(۲) بی تغییر می‌ماند.

(۱) افزایش می‌یابد.

(۴) متناسب با افزایش غلظت افزایش می‌یابد.

(۳) کاهش می‌یابد.

پاسخ تست‌های طبقه‌بندی شده فصل ۱۵ فیلتراسیون

۱- گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

۲- گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

قسمتی از مایع در کیک به وجود آمده، باقی می‌ماند.

۳- گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

مقاومت صافی مستقل از نوع محلول است و ثابت است.

۱۱ - در تقطیر دو جزئی در مخلوط ایده آل، حداقل تعداد سینی های برج تقطیر وابسته است به:

$$x_W, x_D, x_F, \alpha \quad (۴) \quad x_W, x_D, \frac{P_A^*}{P_B^*} \quad (۳) \quad x_W, x_D, x_F \quad (۲) \quad x_W, x_D \quad (۱)$$

۱۲ - تعریف حجم مرطوب (Humid Volume) به کدام صورت صحیح است؟

- (۱) حجم هوای مرطوب داخل خشک کن
- (۲) تفاوت حجم خشک کن و هوای داخل آن
- (۳) حجم اشغال شده توسط رطوبت همراه واحد جرم هوای خشک
- (۴) حجمی که واحد جرم هوای خشک و رطوبت همراه آن در دما و فشار مشخصی اشغال می نماید.

۱۳ - عمل جذب سطحی یک محلول رقیق شربت قند رنگی توسط جاذب کربن فعال در نظر گرفته می شود. این رنگ زدائی از طریق

سیستم دو مرحله ای تعادلی از نوع جریان های متقاطع (Cross-Current) و با جاذب خالص انجام می گیرد. حداقل میزان جاذب مصرفی بستگی خواهد داشت به:

$$Y_2 \text{ و } Y_1 \quad (۱) \quad Y_2 \text{ (غلظت ماده رنگی در خوراک اولیه)} \quad (۲) \quad Y_1 \text{ (غلظت محلول رنگی خروجی از مرحله اول)} \quad (۳) \quad Y_2 \text{ (غلظت محلول رنگی خروجی از مرحله دوم)} \quad (۴)$$

۱۴ - در عمل خشک کردن یک باریکه (Slad) مرطوب، در صورتی که خشک کردن از دو سطح مقابل صورت پذیرد، شدت خشک

کردن N بر حسب جرم بر زمان بر واحد سطح برابر خواهد بود با:

(دانسیتته جامد خشک = ρ_s ، نصف ضخامت باریکه = s ، رطوبت بر مبنای خشک = X ، زمان = t)

$$N = -s\rho_s \frac{dx}{dt} \quad (۱) \quad N = -2s\rho_s \frac{dx}{dt} \quad (۲) \quad N = -\frac{2s}{\rho_s} \frac{dx}{dt} \quad (۳) \quad N = -\frac{s}{2}\rho_s \frac{dx}{dt} \quad (۴)$$

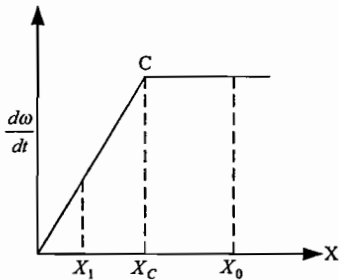
۱۵ - در تغذیه مجموعه تبخیرکننده ها به صورت موازی (Parallel)، کدام گزینه صحیح است؟

- (۱) خوراک وارد یک مرحله میانی گردیده و بخار وارد تک تک مراحل می شود.
- (۲) خوراک وارد مرحله اول شده و Steam موازی با آن وارد همان مرحله می گردد.
- (۳) خوراک تقسیم شده و وارد مراحل می گردد ولی محصول از مرحله آخر خارج می گردد.
- (۴) خوراک به چند قسمت تقسیم شده و وارد هر مرحله گردیده و محصول از همان مرحله خارج می شود.

۱۶ - کدام گزینه حرارت مرطوب (Humid Heat) را معرفی می کند؟

- (۱) حرارت لازم برای گرم کردن هوای مرطوب
- (۲) حرارت لازم برای گرم کردن هوا در عملیات رطوبت زنی
- (۳) میزان حرارتی که دمای واحد جرم هوای خشک و رطوبت همراه آن را یک درجه افزایش دهد.
- (۴) میزان حرارت لازم برای آن که دمای رطوبت همراه هوا یک درجه افزایش یابد.

۱۷- شکل زیر منحنی خشک شدن یک ماده جامد را نشان می‌دهد. اگر شیب خط خشک شدن با سرعت نزولی m باشد، زمان لازم جهت خشک کردن ماده از رطوبت x_c به رطوبت x_1 برابر است با (وزن ماده خشک موجود در ماده جامد، ω_s می‌باشد.)



$$t = \frac{\omega_s}{m} \ln \frac{x_c}{x_1} \quad (2) \qquad t = m \ln \frac{x_c}{x_1} \quad (1)$$

$$t = m \omega_s \ln \frac{x_c}{x_1} \quad (4) \qquad t = \frac{m}{\omega_s} \ln \frac{x_c}{x_1} \quad (3)$$

۱۸- در صورتی که طی فرآیند خشک کردن یک نمونه مرطوب، مکانیسم حرکت رطوبت به صورت موئینگی (Capillary) باشد، با نصف شدن ضخامت نمونه مرطوب و ثابت نگاه داشتن بقیه شرایط، سرعت خشک شدن
(۱) تغییری نمی‌کند. (۲) دو برابر می‌شود. (۳) نصف می‌شود. (۴) چهار برابر می‌شود.

۱۹- در صورتی که در فرآیند خشک کردن یک نمونه مرطوب، تنها مکانیسم انتقال حرارت به صورت جابه‌جایی از هوای گرم به سطح نمونه مرطوب باشد دمای سطح نمونه مرطوب همواره:
(۱) معادل دمای خشک هوای گرم است. (۲) معادل دمای حباب مرطوب هوای گرم است.
(۳) کمتر از دمای حباب مرطوب هوای گرم است. (۴) بیشتر از دمای حباب مرطوب هوای گرم است.

۲۰- در تقطیر ناگهانی (Flash) کدام یک از عبارات زیر صحیح می‌باشد؟

- (۱) اگر تقطیر ناگهانی در دمای جوش خوراک انجام شود، غنی‌ترین بخار حاصل می‌گردد.
- (۲) اگر تقطیر ناگهانی در دمای شبنم خوراک انجام شود، رقیق‌ترین مایع حاصل می‌گردد.
- (۳) دمای تقطیر ناگهانی بین نقطه جوش خوراک و نقطه شبنم خوراک متغیر است.
- (۴) همه موارد صحیح می‌باشد.

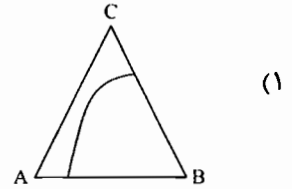
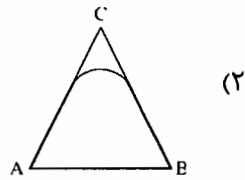
۲۱- کدام مورد ذیل در رابطه با هزینه تقطیر با بخار آب باز نسبت به هزینه تقطیر معمولی صحیح است؟

- (۱) هزینه تقطیر با بخار آب باز کمتر است زیرا تعداد سینی‌های آن معمولاً کمتر است.
- (۲) هزینه تقطیر با بخار آب باز معمولاً کمتر است زیرا هزینه خرید ریپویلر و تمیز نمودن آن وجود ندارد.
- (۳) هزینه تقطیر با بخار آب باز معمولاً بیشتر است زیرا تعداد سینی‌های آن به علت عدم وجود ریپویلر، معمولاً بیشتر است.
- (۴) هزینه تقطیر با بخار آب باز معمولاً بیشتر است زیرا تعداد سینی‌های آن معمولاً بیشتر است هر چند که هزینه خرید ریپویلر و تمیز نمودن آن وجود ندارد.

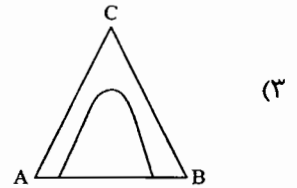
۲۲- در رابطه با برج‌های تقطیر کدام یک از مطالب زیر درست می‌باشد؟

- (۱) با افزایش نسبت رفلاکس، تعداد سینی‌ها، سطوح حرارتی کندانسور و ریپویلر و سطح مقطع برج افزایش می‌یابد.
- (۲) با افزایش نسبت رفلاکس، تعداد سینی‌ها، سطوح حرارتی کندانسور و ریپویلر و سطح مقطع برج کاهش می‌یابد.
- (۳) با افزایش نسبت رفلاکس، تعداد سینی‌ها کاهش، سطوح حرارتی کندانسور و ریپویلر و سطح مقطع برج افزایش می‌یابد.
- (۴) با افزایش نسبت رفلاکس، تعداد سینی‌ها افزایش، سطوح حرارتی کندانسور و ریپویلر و سطح مقطع برج کاهش می‌یابد.

۲۳- در کدام یک از سیستم‌های سه تائی زیر، می‌توانند در عملیات استخراج متقابل، A و C را از یکدیگر به طور کامل جدا کنند؟



(۴) هیچ کدام



۲۴- اگر مخلوط 92% اتانول و 8% آب (درصدها ملی هستند)، خوراک ورودی یک برج تقطیر باشد، محصول پایین این برج چه خواهد بود؟

(۱) 90% اتانول و 10% آب (۲) آب تقریباً خالص (۳) 10% اتانول و 90% آب (۴) الکل تقریباً خالص

۲۵- نسبت $\frac{L}{V}$ در یک برج تقطیر تقریباً در تمام طول برج ثابت بوده است. دلیل این پدیده این بوده است که:

- (۱) مایع برگشتی به برج مقدار بسیار بزرگتری از مقدار خوراک ورودی بوده است.
- (۲) مقدار محصول پایین برج نسبت به خوراک ورودی قابل توجه بوده است.
- (۳) مقدار محصول بالای برج نسبت به خوراک ورودی قابل توجه بوده است.
- (۴) خوراک ورودی بسیار داغ‌تر از نقطه شبنم خود بوده است.

۲۶- مایع مخلوطی از 50% متانول و 50% آب در نقطه جوش و بخاری از 50% متانول و 50% آب در نقطه شبنم وجود دارند (فشار در هر دو یکسان است).

- (۱) چون هر دو فاز از نقطه آزنوتروپ دور هستند، می‌توانند درجه حرارت یکسان داشته باشند.
- (۲) درجه حرارت فاز بخار بیشتر از درجه حرارت فاز مایع است.
- (۳) درجه حرارت فاز مایع بیشتر از درجه حرارت فاز بخار است.
- (۴) درجه حرارت هر دو فاز با یکدیگر مساوی هستند.

۲۷- در تقطیر مخلوطی دو جزئی ایده‌آل، خوراک 50 درصد مایع و 50 درصد بخار است در صورتی که $\frac{L}{G}$ (مربوط به بالای خوراک)

و $\frac{\bar{L}}{\bar{G}}$ (مربوط به زیر خوراک) باشد به ازاء هر مول از خوراک کدام گزینه صحیح است؟

$$\frac{\bar{L}}{\bar{G}} = \frac{L-0.5}{G-0.5} \quad (۴)$$

$$\frac{\bar{L}}{\bar{G}} = \frac{L+0.5}{G-0.5} \quad (۳)$$

$$\frac{\bar{L}}{\bar{G}} = \frac{L+0.5}{G+0.5} \quad (۲)$$

$$\frac{\bar{L}}{\bar{G}} = \frac{L}{G} \quad (۱)$$

۲۸- در جداسازی یک مخلوط دو جزئی با مول جزئی 0.5 در یک برج تقطیر، معادله خطوط تبادل برج به صورت $y=0.6x+0.32$ و

$y=2x-0.1$ می‌باشد. وضعیت حرارتی خوراک در هنگام ورود به برج به چه صورتی است؟

- (۱) بخار اشباع (۲) دو فازی (۳) مایع سرد (۴) مایع اشباع

۲۹- در تبخیرکننده‌های توأم با تراکم مجدد بخار، کل هزینه‌های سیستم C_t (Total Cost) وابسته است به: $P_1=1\text{atm}$ فشار عملیاتی تبخیرکننده)

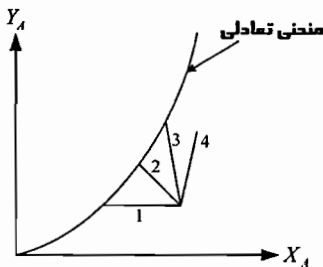
- (۱) هزینه کار کمپرسور در سیستم (۲) میزان Steam مصرفی سیستم
(۳) سطح تبخیرکننده و فشار عملیاتی آن (۴) فشار متراکم کردن بخار خروجی از تبخیرکننده

۳۰- در یک برج تقطیر، تعدادی از سینی‌های پشت سر هم میان برج، درجه حرارت یکسان داشته‌اند. علت این پدیده این بوده است که:

- (۱) نسبت برگشت برج در حداقل خود بوده است. (۲) مخلوط نقطه آزنوتروپ نزدیک به $x=0$ داشته است.
(۳) مخلوط نقطه آزنوتروپ نزدیک به $x=1$ داشته است. (۴) مقدار انتقال جرم در این سینی‌ها بسیار زیاد بوده است.

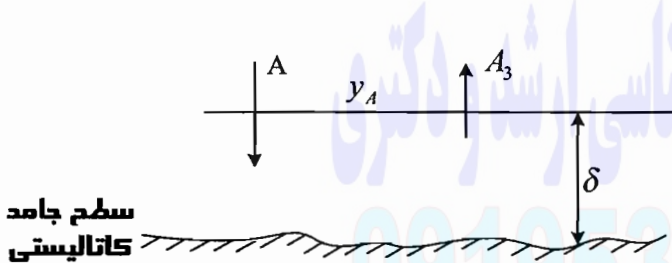
منابع آزمون کارشناسی ارشد و دکتری
09195367497
www.arshd87.blogfa.com

۱- منحنی تبادل در فرآیند خشک کردن یک کیلوگرم سیلیکاژل با جریان هوای خشک به چه صورت خواهد بود؟



- 1 (۱)
2 (۲)
3 (۳)
4 (۴)

۲- فعل و انفعالات پلیمری شدن بسیار سریع فاز گاز $3A \rightarrow A_3$ در سطح کاتالیست مطابق شکل زیر اتفاق می افتد، کدام یک از روابط زیر میزان انتقال A به سطح جامد کاتالیستی بر واحد زمان در واحد سطح در حالت پایدار را بیان می کند؟ (فرض شود 100% تبدیل A صورت می پذیرد).



$$N_A = -\frac{3 D_{AB} P_t}{2 RT \delta} \text{LN} \left[1 - \frac{3}{2} y_A \right] \quad (۱)$$

$$N_A = -\frac{2 D_{AB} P_t}{3 RT \delta} \text{LN} \left[1 - \frac{2}{3} y_A \right] \quad (۲)$$

$$N_A = -\frac{3 D_{AB} P_t}{2 RT \delta} \text{LN} \left[1 - \frac{2}{3} y_A \right] \quad (۳)$$

$$N_A = \frac{3 D_{AB} P_t}{2 RT \delta} \text{LN} \left[1 - \frac{2}{3} y_A \right] \quad (۴)$$

۳- تشابه بین روابط مربوط به ضریب اصطکاک و ضریب انتقال جرم زمانی برقرار است که:

(۱) اصطکاک فقط شکلی باشد.

(۲) اصطکاک فقط سطحی باشد.

(۳) هیچ کدام

(۴) اصطکاک می تواند سطحی یا شکلی باشد.

۴- در انتقال جرم از فاز $L(x)$ به درون فاز $y(G)$ کدام مورد صحیح است؟ (غلظت بالک فازها x_A و y_A و روی سطح مشترک

x_{Ai} و y_{Ai} است؟

$$\frac{N_A / N_t - y_{Ai}}{N_A / N_t - y_A} = \left(\frac{N_A / N_t - x_A}{N_A / N_t - x_{Ai}} \right)^{\frac{F_L}{F_G}} \quad (۲)$$

$$\frac{N_A / N_t - y_A}{N_A / N_t - y_{Ai}} = \left(\frac{N_A / N_t - x_{Ai}}{N_A / N_t - x_A} \right)^{\frac{F_L}{F_G}} \quad (۱)$$

$$\frac{N_A / N_t - y_A}{N_A / N_t - y_{Ai}} = \left(\frac{N_A / N_t - x_{Ai}}{N_A / N_t - x_A} \right)^{\frac{F_G}{F_L}} \quad (۴)$$

$$\frac{N_A / N_t - y_{Ai}}{N_A / N_t - y_A} = \left(\frac{N_A / N_t - x_A}{N_A / N_t - x_{Ai}} \right)^{\frac{F_L}{F_G}} \quad (۳)$$

۵- دو فاز نامحلول در تماس مستقیم بوده و انتقال جرم بین دو فاز انجام می شود در فاز اول عدد اشمیت 1000 و در فاز دوم عدد

اشمیت 2200 است؟

(۱) این پدیده می تواند در یک برج دفع انجام شده باشد.

(۲) این پدیده می تواند در یک برج جذب انجام شده باشد.

پارسه ماهان سنجش

www.arshd87.blogfa.com

09195367497

(۳) این پدیده می تواند در یک برج تقطیر انجام شده باشد.

(۴) این پدیده می تواند در یک برج استخراج مایع - مایع انجام شده باشد.

۶- سرعت متوسط مولی یک مخلوط هیدروژن و اکسیژن 0.6 متر بر ثانیه است. اگر سرعت مولکول های هیدروژن یک متر بر ثانیه و سرعت مولکول های اکسیژن 0.5 متر بر ثانیه باشد جزء مولی هیدروژن در مخلوط برابر است با:

- (۱) 0.1 (۲) 0.2 (۳) 0.4 (۴) 0.5

۷- برای جلوگیری از entrainment قطرات مایع در ستون Packed کدام راه را پیشنهاد می کنید؟

- (۱) استفاده از ارتفاع خشک از packing در بالا ستون
(۲) زیاد کردن دبی فاز مایع
(۳) کم کردن دبی فاز مایع
(۴) هیچ کدام

۸- در تبخیر از سطح یک استوانه به داخل فضای گاز اطراف آن به صورت یک جهت r در شرایط steady معادله پیوستگی جزء تبخیر شونده (A) در فاز گاز کدام است؟ (N_{Ar} شار جزء A در جهت r است.)

(۱) $\frac{d}{de} N_{Ar} = 0$ (۲) $\frac{d}{dr} (N_{Ar} \cdot r^2) = 0$ (۳) $\bar{V} \cdot \bar{N}_{Ar} = 0$ (۴) $\frac{d}{dr} (N_{Ar} \cdot r) = 0$

۹- در عملیات جذب از فاز گاز مایع مطابق شکل زیر با منحنی تعادل $Y = X^2$ و با فرض 90% جذب، غلظت خروجی فاز مایع اگر

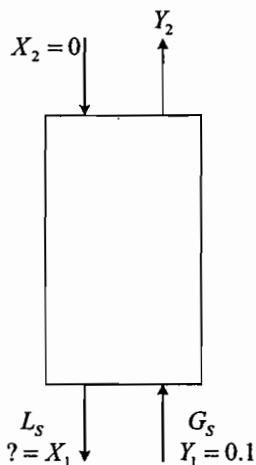
$\frac{L_s}{G_s}$ (min) نصف $\frac{L_s}{G_s}$ واقعی باشد، کدام است؟

(۱) $X_1 = \frac{1}{10}$

(۲) $X_1 = \frac{1}{20}$

(۳) $X_1 = \frac{1}{100}$

(۴) $X_1 = \frac{1}{200}$



۱۰- کدام یک از دستگاه های زیر برای عملیات جداسازی در خلاء مناسب تر است؟

- (۱) برج جداره مرطوب (Wetted wall Column)
(۲) برج سینی دار (Tray tower)
(۳) برج آکنده (Packed Tower)
(۴) هیچ یک ارجحیت ندارند.

۱۱- اگر خوراک ورودی به یک برج تقطیر دو جزئی (Binary) 96% متانول و 4% متانول باشد، محصولات این برج چه خواهند بود؟

- (۱) الکل خالص و آب خالص
(۲) الکل خالص و مخلوط 90% الکل و 10% آب (ملی)
(۳) آب خالص و مخلوط 96% الکل و 4% آب (ملی)
(۴) الکل خالص و مخلوط 96% و 4% آب (ملی)

۱۲- اگر بخوایم هوای مرطوبی را تحت فشار ثابت و تحت رطوبت نسبی ثابت گرم کنیم:

(۱) باید بخار آب به هوا اضافه کنیم.

(۲) باید مقداری از بخار آب هوا را جذب نمائیم.

پارسه ماهان سنجش

www.arshd87.blogfa.com
09195367497

(۳) باید حجم مخصوص را ثابت و انتالپی را افزایش دهیم.

(۴) باید تحت رطوبت (مقدار آب موجود در هوا) ثابت این کار انجام شود.

۱۳- تبخیر ساده (Simple Vaporization) کدام یک از مخلوط‌های زیر می‌تواند منجر به تفکیک درجه بسیار بالای عنصر سبک‌تر شود؟

- (۱) آب و فنل (۲) آب واتر (۳) آب و آمونیاک (۴) آب و اسید کلریدریک

۱۴- خوراک ورودی به یک برج تقطیر آتمسفریک، ۱۰٪ بنزن و ۹۰٪ تولوئن بوده و هدف جداسازی کامل بنزن از تولوئن است. کدام یک از گزاره‌های زیر صحیح است؟

- (۱) برای این برج باید قطر بزرگی پیش‌بینی نمود.
(۲) بیشتر سینی‌های این برج درجه حرارت بزرگتر از 140°C دارند.
(۳) تعداد سینی‌های بالای محل ورود خوراک کمتر از تعداد سینی‌های زیر محل ورود خوراک است.
(۴) تعداد سینی‌های بالای محل ورود خوراک بیشتر از تعداد سینی‌های زیر محل ورود خوراک است.

۱۵- خطوط تبادل (Operating lines) یک برج تقطیر دو جزئی، یک خوراکه و دو محصوله، در تصویر xy روش McCabe منحنی بوده‌اند. علت این امر:

- (۱) وضعیت $N_A + N_B = 0$ در روی سینی‌ها بوده است.
(۲) به خاطر متغیر بودن میزان انتقال جرم در روی سینی‌ها می‌باشد.
(۳) به خاطر وضعیت $N_A + N_B \neq 0$ در روی سینی‌ها بوده است.
(۴) به خاطر متغیر بودن دبی جرمی مایع و بخار در داخل برج بوده است.

۱۶- در روی یک سینی برج تقطیر، زمان توقف فازهای مایع و بخار بسیار کوتاه بوده است، کدام یک از دلایل زیر موجه می‌باشند؟

- (۱) فاصله سینی‌ها از یکدیگر کم بوده است.
(۲) قطر برج کوچک و تحت خلاء کار می‌کرده است.
(۳) پدیده ریزش (weeping) در این سینی وجود داشته است.
(۴) فاز بخار مقدار قابل توجهی قطرات مایع با خود حمل می‌کرده است.

۱۷- در فرآیند خشک شدن در ریت (rate) خشک شدن ثابت کدام عبارت صحیح نمی‌باشد؟

- (۱) ریت خشک شدن مستقل از نوع جسم (جامد مرطوب) است.
(۲) رطوبت موجود در جسم به صورت رطوبت unbound است.
(۳) دمای سطح جسم مرطوب همواره معادل دمای مرطوب هوای عبوری از سطح می‌باشد.
(۴) خشک شدن به صورت تبخیر سطحی از یک فیلم پیوسته رطوبت در سطح جسم انجام می‌شود.

۱۸- در کدام یک از شرایط زیر، ریت (rate) خشک شدن جسم مرطوب، مستقل از سرعت هوای عبوری از سطح جسم مرطوب می‌باشد؟

- (۱) خشک شدن با ریت ثابت (۲) همواره ریت خشک شدن تابع سرعت هوای عبوری است.
(۳) خشک شدن با ریت (rate) نزولی با مکانیسم نفوذ (۴) خشک شدن با ریت نزولی با مکانیسم موئینگی (Capillary)

۱۹- در صورتی که غلظت خروجی از تبخیرکننده زیاد باشد به طوری که امکان پدیده نمکی شدن وجود داشته باشد بهترین راه جهت جلوگیری از آن کدامیک از عوامل زیر می‌باشد؟

- (۱) افزایش دبی خوراک (۲) افزایش دمای خوراک (۳) افزایش فشار تبخیرکننده (۴) کاهش فشار تبخیرکننده

۲۰- کدامیک از استخراج‌کننده‌های مایع - مایع ذیل کمترین راندمان استخراج را دارد؟

- (۱) برج ضربه‌ای (پالسی) (۲) استخراج‌کننده سانتریفوژی
 (۳) برج دارای سینی غربالی (۴) تماس‌دهنده دیسکی دورانی (RDC)

۲۱- در استخراج جامد - مایع، در یک مخزن حلال به جامد افزوده شده و پس از طی زمان لازم، محلول از بستر ذرات جامد تخلیه می‌شود، مقدار محلول باقیمانده در جامد:

- (۱) با افزایش اندازه ذرات و کاهش کشش سطحی محلول افزایش می‌یابد.
 (۲) با کاهش اندازه ذرات جامد و کاهش کشش سطحی محلول افزایش می‌یابد.
 (۳) با افزایش اندازه ذرات و افزایش کشش سطحی محلول افزایش می‌یابد.
 (۴) با کاهش اندازه ذرات جامد و افزایش کشش سطحی محلول افزایش می‌یابد.

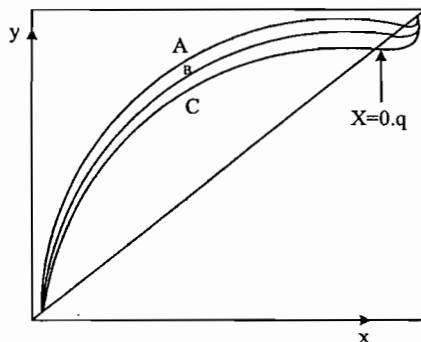
۲۲- 50 گرم سیلیکاژل در یک ظرف 20 لیتری محتوی هوای مرطوب با دمای 30 درجه سانتی‌گراد و فشار کل یک اتمسفر قرار گرفته و رطوبت هوا را به خود جذب می‌نماید. ضریب زاویه خط عملیاتی (Operating line) برای این مورد حدوداً برابر است با: (فشار جزیی بخار آب در ظرف در ابتدای عملیات 60 mmHg است.)

- (۱) -2.15 (۲) -11.86 (۳) 0.15 (۴) 11.86

۲۳- مختصات نقطه تلاقی دو خط تبادل (Operating lines) یک برج تقطیر معمولی $x=0.3$ و $y=0.5$ بوده است. اگر ترکیب خوراک ورودی 40% سبک و 60% سنگین بوده باشد، شرایط کیفی و کمی خوراک چه می‌باشد؟ (x و y ملی هستند.)

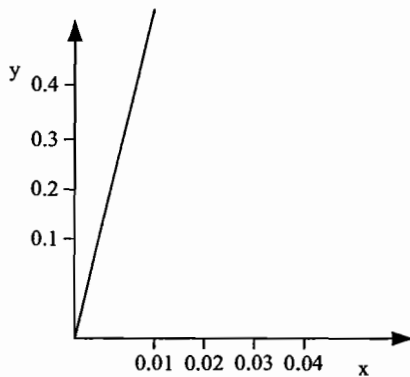
- (۱) مخلوط مایع در نقطه جوش می‌باشد. (۲) مخلوط خوراک بخار داغ است. (درجه داغی 7°C)
 (۳) مخلوط به حالت بخار اشباع است. (۴) مخلوط مایع و بخار است. (50% بخار و 50% مایع)

۲۴- کدامیک از منحنی‌های زیر می‌تواند مربوط به خط تعادل اتانول و آب باشند؟



- (۱) A
 (۲) B
 (۳) C
 (۴) هر سه خط

۲۵ - دیاگرام تعادلی یک عمل جذب سطحی در مقابل ترسیم شده است کدام گزینه صحیح تر به نظر می‌رسد؟



(۱) انجام یک مرحله تعادلی بیش از 90% عامل انتقالی را جذب می‌نماید.

(۲) نسبت $\frac{\text{جامد}}{\text{سیال}}$ در مراحل تعادلی باید بسیار کم باشد.

(۳) انجام یک مرحله تعادلی در سیستم فوق، مقدار قابل توجهی جذب می‌نماید.

(۴) انجام یک مرحله تعادلی در سیستم فوق، مقدار قابل توجهی جذب نمی‌نماید.

۲۶ - میزان رطوبت یک جسم مرطوب در محیطی که رطوبت نسبی آن 100% می‌باشد ($\phi=100\%$)، $40 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{100 \text{ kg dry solid}}$ اندازه‌گیری

شده است. در صورتی که میزان رطوبت نچسبیده (unbound moisture) در شرایط محیط $4 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{100 \text{ kg dry solid}}$ باشد، در این

صورت رطوبت جسم در شرایط مورد مطالعه برابر است با:

$$(۲) \quad 40 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{100 \text{ kg dry solid}}$$

$$(۱) \quad 36 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{100 \text{ kg dry solid}}$$

(۴) جهت محاسبه میزان رطوبت نچسبیده به اطلاعات بیشتری نیاز است.

$$(۳) \quad 44 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{100 \text{ kg dry solid}}$$

۲۷ - پدیده موج جذب (adsorption wave) در چه حالتی مشاهده می‌گردد؟

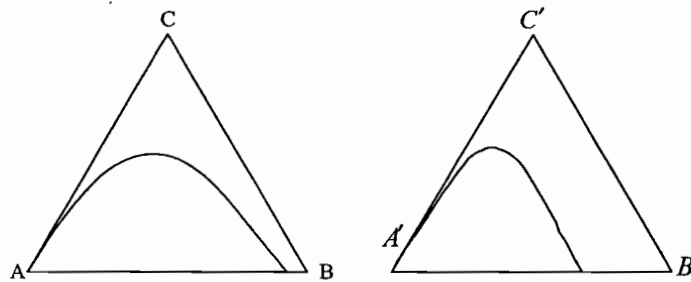
(۲) جذب در بستر ثابت جاذب

(۱) در فرآیند کروماتوگرافی

(۴) جذب رقابتی در سیستم‌های حاوی تعویض یون

(۳) جذب رقابتی در محلول رقیق

۲۸ - دو نوع سیستم مثلثی استخراج مایع - مایع در زیر ترسیم شده است. کدام یک از عبارات زیر صحیح است؟



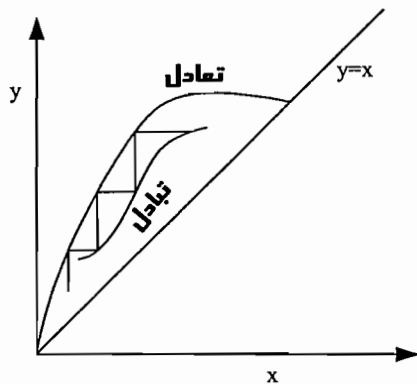
(۱) حلال B و حلال B' در غیاب C به ترتیب در A و A' حل نمی‌شوند.

(۲) حلالیت C در A بیشتر از حلالیت C' در A' است.

(۳) جداسازی A و C مشکل‌تر از جداسازی C' در A' با روش استخراج است.

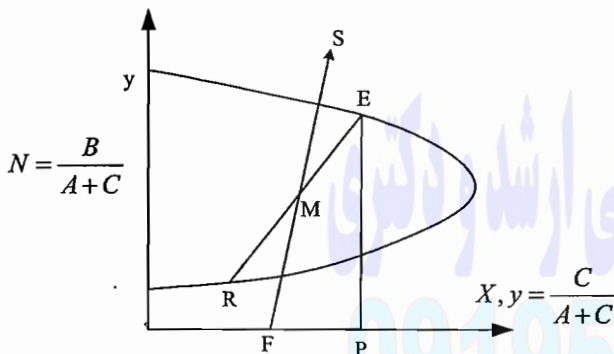
(۴) حلالیت C در A کمتر از حلالیت C' در A' است.

۲۹- تصویر داده شده مربوط به یک برج انتقال جرم است. کدام جواب صحیح تر می‌باشد؟



- (۱) این سیستم مربوط به یک سیستم استخراج مایع - مایع است.
- (۲) این یک سیستم استخراج مایع - جامد است که دبی فاز جامد ثابت بوده است.
- (۳) این سیستم مربوط به یک سیستم استخراج مایع - مایع است که دبی مای دو فاز مایع مستقل از محل سینی می‌باشد.
- (۴) این سیستم مربوط به یک سیستم استخراج مایع - مایع است که دبی جرمی دو فاز مایع مستقل از محل سینی می‌باشد.

۳۰- تصویر زیر در مورد یک سیستم انتقال جرم است؟



- (۱) این تصویر یک سیستم استخراج مایع - مایع دو مرحله‌ای تعادلی است.
- (۲) این تصویر یک سیستم تک مرحله استخراج مایع - مایع است که فاز استخراج شده حلال‌زدائی کامل شده است.
- (۳) این تصویر یک سیستم استخراج مایع - مایع دو مرحله‌ای تعادلی است که فاز استخراج شده حلال‌زدائی شده است.
- (۴) این تصویر یک سیستم تک مرحله‌ای استخراج مایع - مایع است که راندمان مراحل آن کامل نبوده است.

www.arshd87.blogfa.com

۱- در $T=300\text{k}$ ضریب نفوذ A در 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 مایع 45% کاهش می‌یابد. در این دما ضریب نفوذ برحسب $\frac{\text{m}^2}{\text{s}}$ چقدر است؟

- (۱) $2.2 \times 10^{-9} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$ (۲) $4 \times 10^{-9} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$ (۳) $2.3 \times 10^{-9} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$ (۴) $4.9 \times 10^{-9} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$

۲- ضریب انتقال جرم بین اتمسفر و آب اقیانوس‌ها برای انتقال 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 1.46×10^{-9} و ضریب نفوذ آرگون در آب

5.84×10^{-9} مترمربع بر ثانیه است.

- (۱) 1×10^{-3} (۲) 4×10^{-3} (۳) 5×10^{-3} (۴) 8×10^{-3}

۳- هرگاه برج جدار مرطوبی به طول 6.5ft با شار متوسط مولی انتقال جرم بین دو فاز $10 \text{ lbmole}/\text{ft}^2 \cdot \text{min}$ و مقدار جذب

$100 \text{ lbmole}/\text{min}$ عمل کند قطر برج چند اینچ محاسبه می‌شود؟

- (۱) 0.5 (۲) 1.5 (۳) 3 (۴) 6

۴- کدام یک از روابط زیر برای شار مولی A صحیح است؟

(۱) $(N_A + N_B)X_A - D_{AB}C_T \nabla X_A$ (۲) $(N_A + N_B)X_A - D_{AB}C_T \nabla X_B$

(۳) $(N_A + N_B)X_A - D_{AB} \rho \nabla X_A$ (۴) $(N_A + N_B)X_A + D_{AB}C_T \nabla X_A$

۵- یک ستون جذب از پرکن‌های کروی با $a_p = 30 \text{ ft}^2/\text{ft}^3$ و $\varepsilon = 0.50$ پر شده است قطر پرکن‌ها چند فوت است؟

- (۱) 10 (۲) 1.0 (۳) 0.1 (۴) 0.01

۶- کدام عبارت در مورد مقایسهٔ برج سینی‌دار با برج آکنده صحیح است؟

(۱) موجودی مایع در برج‌های آکنده بیشتر از برج‌های سینی‌دار و فاز گاز فاز پیوسته است.

(۲) موجودی مایع در برج‌های آکنده کمتر از برج‌های سینی‌دار و فاز گاز فاز پراکنده است.

(۳) موجودی مایع در برج‌های آکنده کمتر از برج‌های سینی‌دار و فاز گاز فاز پیوسته است.

(۴) موجود مایع در برج‌های آکنده بیشتر از برج‌های سینی‌دار و فاز گاز فاز پرداکنده است.

۷- برای آکنهٔ خاصی $\text{HETP} = 0.25 \text{ m}$ است. اگر بخواهیم یک برج سینی‌دار دارای 50 سینی و راندمان کلی $E_0 = 0.2$ را با برج

آکنده جایگزینی کنیم، ارتفاع قسمت آکنده برج چقدر خواهد بود؟

- (۱) 5.0 m (۲) 7.5 m (۳) 10 m (۴) 2.5 m

۸- زمان نقطه شکست در منحنی عبور جذب (Breakthrough Curve) در یک بستر ثابت پر شده از جاذب، با کاهش کدام یک از

عوامل زیر کاهش می‌یابد؟

(۱) اندازه ذرات جاذب

(۳) طول بستر

۹- اگر بخار خروجی از دیگ جوش (Reboiler) یک برج تقطیر سینی‌دار، به حالت بخار داغ وارد برج شود (Super heat):

- (۱) در اولین سینی از پایین برج، به حالت نرمال نقطه شبنم باز می‌گردد.
- (۲) درجه حرارت تعدادی از سینی‌های پایین برج یکسان می‌شود.
- (۳) در چند سینی اول پایین برج، حالت طغیان (Flooding) ایجاد می‌نماید.
- (۴) سینی‌های زیر محل ورود خوراک، حالت نرمال خود را از دست می‌دهند.

۱۰- در روی سینی‌های تقطیر از نوع غربالی (Sieve Trays)، میزان ماندگی (Hold-up) فاز بخار حدوداً چقدر است؟

- (۱) حدود 2%
- (۲) 5% - 15%
- (۳) حدود 60%
- (۴) ماندگی گاز تابع مستقیم دبی فاز مایع است.

۱۱- فرآیند Elution عبارتست از:

- (۱) فرآیند Absorption به صورت شیمیایی
- (۲) فرآیند Desorption به کمک حلال
- (۳) فرآیند Stripping به صورت شیمیایی
- (۴) فرآیند Adsorption در حضور حلال در یک محلول آبی

۱۲- در یک عمل رطوبت (Humidification)، میزان آب موجود در هوا کاهش چشم‌گیری داشته بدون آن که درجه حرارت تغییری قابل توجه داشته باشد،

- (۱) این کار با میعان هوا در انتالی ثابت انجام شده است.
- (۲) این کار با عمل انتالی ثابت صورت گرفته است.
- (۳) این کار با میعان هوا با درجه حرارت ثابت انجام شده است.
- (۴) این کار عبور هوا از یک بستر جاذب بوده است.

۱۳- در یک برج استخراج مایع - مایع، از نوع سینی‌دار، بین دو سینی پروفایل درجه حرارت وجود داشته است:

- (۱) یک فاز سرعت بالاتری از فاز دوم داشته است.
- (۲) در این برج انتقال جرم با آزاد شدن یا گرفتن انرژی همراه بوده است.
- (۳) فاز پخش شده (disperse) به اندازه‌های بسیار کوچک بوده است.
- (۴) فاز پخش شده (disperse) به اندازه‌های بسیار بزرگ بوده است.

۱۴- برای محلول‌هایی که نسبت به درجه حرارت حساس بوده و از لحاظ ساختار مولکولی تخریب می‌شوند مناسب‌ترین تبخیرکننده جهت حرارت‌دهی و تغلیظ آن‌ها کدام است؟

- (۱) مجهز به همزن
- (۲) افقی
- (۳) فیلم ریزان
- (۴) عمودی لوله کوتاه

۱۵- کدام یک از عبارات زیر بیان‌کننده فرآیند خشک شدن با مکانیسم موینگی (Capillary) نمی‌باشد؟

- (۱) در ناحیه ریت نزولی اتفاق می‌افتد.
- (۲) عموماً در اجسام و نمونه‌های مرطوبت متخلخل مشاهده می‌شود.
- (۳) میزان یا شدت تبخیر نسبت به حالت نفوذ بیشتر است.
- (۴) ریت خشک شدن در این حالت مستقل از سرعت هوای عبوری از سطح نمونه می‌باشد.

۱۶- سرعت خطی قطرات مایع در برج‌های استخراج از نوع سینی‌دار حدوداً کدام یک از اعداد زیر است؟

- (۱) کمتر از $10 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$
- (۲) $44 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$
- (۳) فیلم ریزان
- (۴) $34 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$

۱۷- میزان انتقال جرم روی سینی‌های تقطیر کدام یک از جداسازی‌های زیر در شرایط یکسان و به طور متوسط کمتر است؟

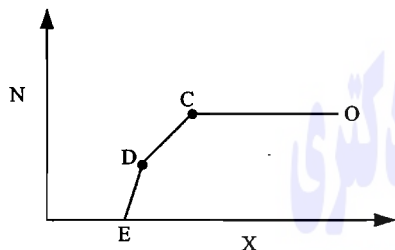
- (۱) آب و متانول
(۲) آب و اسید استیک
(۳) بنزن و تولوئن
(۴) آب (H_2O) و دیتریوم (D_2O)

۱۸- مطابق با فرضیات روش مک کیب (McCabe) در محاسبات برج تقطیر:

- (۱) دبی جرمی مایع و بخار سینی به سینی متغیر است.
(۲) دبی جرمی مایع و بخار در بالا و پایین محل ورود خوراک هر کدام جدا و مقدار ثابتی است.
(۳) به شرطی که خوراک به شکل مایع و بخار وارد شود، بالای برج، دبی جرمی مایع و بخار، سینی به سینی ثابت است.
(۴) به شرطی که خوراک در نقطه جوش وارد شود، پایین برج، دبی جرمی مایع و بخار سینی به سینی ثابت است.

۱۹- منحنی خشک کردن یک جامد به روش ناپیوسته (Batch) ترسیم شده است. در کدام بخش، درجه حرارت جامد در حین

خشک شدن افزایش می‌یابد؟



- (۱) بین دو نقطه O و E
(۲) بین دو نقطه O و C
(۳) بین دو نقطه D و E
(۴) بین دو نقطه O و D

۲۰- برای یک عمل استخراج مایع - مایع (Liquid Extraction) به طور تئوری به حدود 80 مرحله نیاز بوده است:

- (۱) برای این کار می‌توان از برج استخراج سینی‌دار استفاده کرد.
(۲) برای این کار نمی‌توان از برج استخراج سینی‌دار استفاده کرد.
(۳) برحسب این که کدام فاز پیوسته و کدام فاز پخش شونده باشد می‌توان از برج سینی‌دار استفاده نمود.
(۴) فقط هنگامی که فاز با دانسیته بیشتر به عنوان فاز پخش‌شونده انتخاب شود، می‌توان از برج سینی‌دار استفاده نمود.

۱- در انتقال جرم پایای یک گاز از درون گاز ساکن دیگر، کدام رابطه، برای ضریب انتقال جرم (k_c) براساس تئوری فیلم صحیح می‌باشد؟ متوسط لگاریتمی فشار جزئی B: P_{Bm} ، فشار کل: P و ضخامت لایه انتقال جرم: δ

$$(1) \frac{CD_{AB}}{\delta} \quad (2) \frac{D_{AB}P}{P_{Bm}\delta} \quad (3) \frac{D_{AB}P}{RT\delta} \quad (4) \frac{D_{AB}}{\delta}$$

۲- نفتالین به شکل یک استوانه بلند به طول L و شعاع R در هوای ساکن و در دمای نسبتاً پایین تصعید می‌شود. سرعت انتقال جرم \dot{m}_A برابر است با: جرم مولکولی A: M_A و غلظت روی سطح استوانه (حد اشباع): C_A^*

$$(1) \dot{m}_A = \frac{2\pi LM_A D_{AB} (C_A^* - C_A)}{\ln \frac{r}{R}} \quad (2) \dot{m}_A = \frac{2\pi LM_A D_{AB} (C_A^* - C_A)}{(1-x_A)(r-R)}$$

$$(3) \dot{m}_A = \frac{2\pi LM_A D_{AB} (C_A^* - C_A)}{r-R} \quad (4) \dot{m}_A = \frac{2\pi LM_A D_{AB} (C_A^* - C_A)}{(1-x_A) \ln \frac{r}{R}}$$

۳- کدام عبارت، در مورد ستون‌های سینی‌دار و پر شده درست نیست؟

(۱) ستون‌های پر شده برای سیستم کفزا مناسب‌ترند.

(۲) ایجاد جریان‌های جانبی در ستون‌های سینی‌دار آسان‌تر است.

(۳) ستون‌های پر شده برای دبی مایع خیلی کم مناسب نمی‌باشند.

(۴) هلد آپ فاز مایع در ستون‌های پر شده نسبتاً زیاد می‌باشد.

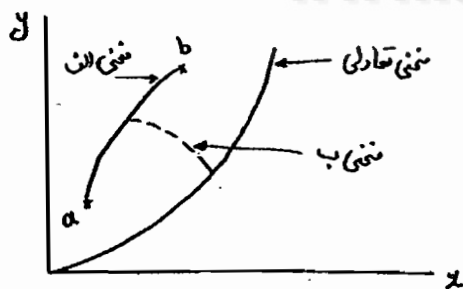
۴- کدام عبارت در خصوص منحنی‌های شکل مقابل مناسب‌تر است؟

(۱) منحنی الف ستون دفع و b بالای ستون است.

(۲) منحنی الف جذب، b پایین ستون و منحنی ب دفع موضعی است.

(۳) منحنی الف ستون جذب، منحنی ب جذب به همراه واکنش شیمیایی است.

(۴) منحنی الف ستون جذب و منحنی ب منحنی عملیاتی در موضع خاص، a بالای ستون است.



۵- گاز CO_2 درون ظرفی به حجم 100 سانتی‌متر مکعب و از طریق لوله موئینه در شرایطی یکنواخت به محیط هوای خالص وارد می‌شود. ابعاد لوله موئینه داده شده است. چند ثانیه طول می‌کشد تا غلظت CO_2 درون ظرف به $\frac{2}{3}$ مقدار اولیه خود برسد؟

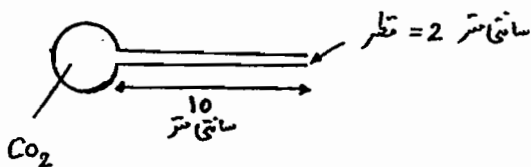
سایر اطلاعات: $\ln 1.5 = 0.4$ و $\pi = 3.0$ و $M_{CO_2} = 40$ و $D_{CO_2-هو} = 3.33 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}$

(۱) 10

(۲) 1

(۳) 0.1

(۴) 100



۶- هوای عاری از نفتالین با سرعت ظاهری V_o از بستر سیالی حاوی کره‌های نفتالین به ارتفاع L عبور می‌کند. اگر سطح ویژهی بستر a و ضریب انتقال جرم k_c باشد، غلظت نفتالین در هوای خروجی تقریباً چقدر است؟ (فشار بخار نفتالین P^* ، دمای مطلق T و ثابت عمومی گازهاست.)

$$C_{Aout} = \frac{2P^*}{RT \left(1 + \frac{2V_o}{aLk_c} \right)} \quad (2)$$

$$C_{Aout} = \frac{P^*}{RT \left(1 + \frac{2V_o}{aLk_c} \right)} \quad (1)$$

$$C_{Aout} = \frac{2P^*}{RT \left(1 + \frac{V_o}{aLk_c} \right)} \quad (4)$$

$$C_{Aout} = \frac{P^*}{RT \left(1 + \frac{V_o}{aLk_c} \right)} \quad (3)$$

۷- انتقال جرم A از فاز گاز به مایع صورت می‌گیرد. به نحوی که انتقال جرم B نیز وجود ندارد ($N_B = 0$). غلظت A در توده‌ی گاز و مایع به ترتیب $y_{AG} = 0.8$ و $x_{AL} = 0.2$ داده شده است. اگر برای سیستم $F_L = F_G$ باشد، آنگاه غلظت‌ها در فصل مشترک عبارتند از: (رابطه‌ی تعادلی $y_{Ai} = x_{Ai}$)

$$y_{Ai} = x_{Ai} = 0.7 \quad (4)$$

$$y_{Ai} = x_{Ai} = 0.6 \quad (3)$$

$$y_{Ai} = x_{Ai} = 0.5 \quad (2)$$

$$y_{Ai} = x_{Ai} = 0.4 \quad (1)$$

۸- تقطیر استخراجی وقتی استفاده می‌شود که تقطیر معمولی برای سیستم دوجزئی مورد نظر به دلیل α (ضریب فراریت) پایین نیاز به برجی باشد.

(۱) قطور

(۲) قطور و بلند

(۳) بلند ولی با قطر کم

(۴) بلند با تعداد سینی خیلی زیاد

۹- در بحث خشک کردن جامدات، تعادل نشانگر کدام مورد (موارد) است؟

(۱) کسر مولی رطوبت در هوا برابر با کسر مولی رطوبت در جامد است.

(۲) مقدار رطوبت هوا برابر با مقدار رطوبت در جامد است.

(۳) اگر رطوبت هوا بیشتر از مقدار تعادلی رطوبت هوا در حال تعادل با جامد معینی باشد، آنگاه جامد می‌تواند رطوبت هوا را به خود جذب کرده خیس تر شود.

(۴) موارد ۱ و ۲ صحیح می‌باشند.

۱۰- در عملیات رطوبت‌زنی، هنگام نوشتن روابط موازنه آنتالپی و استفاده از منحنی رطوبت‌سنجی رسم بر این است که مبنا را «هوای خشک» قرار می‌دهیم در حالی که هوای اولیه خود دارای رطوبت است، کدام مورد صحیح می‌باشد؟

(۱) استفاده از این روش حل مسایل را آسان‌تر می‌کند چون مبنا ثابت است.

(۲) چنین روشی کاملاً دقیق است و هیچ فرضیاتی در نوشتن روابط اولیه موازنه آنتالپی اعمال نمی‌شود.

(۳) این روش رطوبت هوای اولیه را در نظر نمی‌گیرد ولی چون مقدار رطوبت کم است خطای قابل توجهی در محاسبات ایجاد نمی‌گردد.

(۴) موارد ۱ و ۲ صحیح است.

۱۱- لباس خیس در کدام شرایط زودتر خشک می‌شود؟

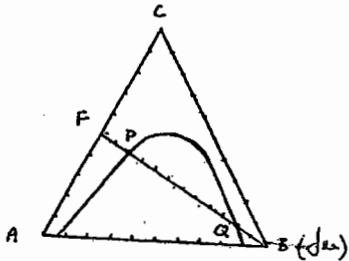
(۱) دمای خشک 70°F (Dry-bulb) و دمای حباب خیس 50°F (Wet-bulb)

(۲) دمای خشک 60°F (Dry-bulb) و دمای حباب خیس 50°F (Wet-bulb)

(۳) دمای خشک 70°F (Dry-bulb) و دمای حباب خیس 40°F (Wet-bulb)

(۴) دمای خشک 60°F (Dry-bulb) و دمای حباب خیس 40°F (Wet-bulb)

۱۲- خوراکی حاوی 50 درصد جزء C در یک میکسر ستلر (Mixer-settler) در تماس با حلال خالص قرار می‌گیرد (یک مرحله‌ای). نسبت حداکثر حلال به حداقل حلال مصرفی در این واحد برابر کدام مقدار است؟



(۱) 5

(۲) 10

(۳) 15

(۴) 25

۱۳- در به‌دست آوردن معادله فنسک (Fenski's equation) در عملیات تقطیر، کدام فرض مورد استفاده قرار گرفته است؟

(۱) یک ضریب فرار متوسط برای تمام سینی‌ها مورد استفاده قرار گرفته است.

(۲) فرض شده است که درجه حرارت سینی‌ها با یکدیگر مساوی است.

(۳) فرض شده است که نسبت دبی مایع به بخار کوچک‌تر از یک باشد.

(۴) فرض شده است که نسبت دبی مایع به بخار بزرگ‌تر از یک باشد.

۱۴- در یک برج استخراج مایع-مایع از نوع سینی دار، ماندگی (hold-up) فاز بخش شده در بین سینی‌ها حدوداً چقدر است؟

(۱) کمتر از 20% (۲) 20-40% (۳) 40-60% (۴) بیشتر از 70%

۱۵- با توجه به فاز پخش شده (پراکنده) و فاز پیوسته یا مداوم در برج‌های استخراج آکنده (packed)، کدام عبارت صحیح است؟

(۱) فاز پخش شده باید سطح آکنه را تر نماید.

(۲) فاز پیوسته باید سطح آکنه (packing) را تر نماید.

(۳) فاز پخش شده باید سطح آکنه را تر نموده و در حین حرکت قطرات بزرگ‌تر شوند.

(۴) فاز پیوسته باید سطح آکنه را تر نموده و باعث افزایش سرعت فاز پخش شده شود.

۱۶- تعریف نسبت برگشت (R_{min}) در یک برج تقطیر دوجزئی (Binary) چه می‌باشد؟

(۱) کوچک‌ترین نسبت برگشت که براساس آن قطر سینی حساب می‌شود.

(۲) کوچک‌ترین نسبت برگشت که می‌توان با آن تعداد سینی‌ها را محاسبه نمود.

(۳) کوچک‌ترین نسبت برگشت که توزیع درجه حرارت را در طول برج از بین می‌برد.

(۴) بزرگ‌ترین نسبت برگشت بین تمام نسبت برگشت‌هایی که تعداد سینی‌ها را بی‌نهایت می‌کنند.

۱۷- در محاسبات تعداد سینی‌های برج تقطیر از کدام روش استفاده می‌شود؟

(۱) روش و معادلات بستگی به ساختار درونی برج دارد. (یعنی نحوه برقراری تماس بین دو فاز)

(۲) همیشه از روش‌های پله‌ای برمبنای موازنه جرم، موازنه آنتالپی و روابط تعادلی استفاده می‌شود.

(۳) همیشه از روش‌های پله‌ای برمبنای موازنه جرم، موازنه آنتالپی و رابطه نرخ انتقال جرم استفاده می‌شود.

(۴) همیشه از روش‌های پله‌ای بر مبنای موازنه جرم، رابطه نرخ انتقال جرم و رابطه نرخ انتقال حرارت استفاده می‌شود.

۱۸- در چه حالتی مقدار حداقل جریان برگشتی (R_m) تقطیر دوجزئی، برای درصد خاص جداسازی (X_D) و ترکیب خاص

خوراک (Z_f)، در ستون تقطیر پیوسته بیشتر خواهد بود؟

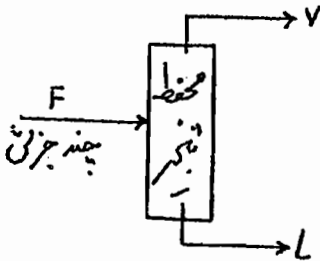
(۱) خوراک ورودی به ستون، مایع سرد می‌شود.

(۲) خوراک ورودی به صورت مایع اشباع باشد.

(۳) خوراک ورودی به ستون، بخار داغ باشد.

(۴) خوراک ورودی به صورت مخلوط مایع - بخار باشد.

۱۹ - بهترین پیشنهاد برای حدس دمای محفظ تبخیرکننده، در یک واحد عملیاتی تبخیرکننده ناگهانی (Flash)، تحت فشار محفظ تبخیر، مطابق شکل مقابل کدام است؟



- ۱) دمایی بین دمای جوش فرارترین و دمای جوش غیرفرارترین در خوراک ورودی است.
- ۲) دمایی بین دمای جوش فرارترین و دمای شبنم غیرفرارترین در خوراک ورودی است.
- ۳) دمایی بین دمای جوش خوراک و دمای شبنم خوراک ورودی است.
- ۴) دمایی بین دمای جوش خوراک و دمای جوش غیرفرارترین در خوراک ورودی است.

۲۰ - اگر در یک ستون تقطیر مداوم، نسبت مایع برگشتی از ۴ به ۸ تغییر یابد، آنگاه 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.)

- ۱) ۱.۵ برابر مقدار اولیه
- ۲) ۱.۸ برابر مقدار اولیه
- ۳) ۲.۲ برابر مقدار اولیه
- ۴) اصلاً بار حرارتی کندانسور در بالا به نسبت مایع برگشتی ربطی ندارد و تغییر نمی کند.

منابع آزمون کارشناسی ارشد و دکتری
09195367497
www.arshd87.blogfa.com

حل تشریحی سوالات آزمون‌های مهندسی شیمی سال‌های ۸۵ تا ۸۸

سال ۸۵

۱- گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

دو فاز خروجی از هر سینی را در حال تعادل در نظر می‌گیرند و تأثیر ضرایب انتقال جرم دو فاز در راندمان سینی می‌باشد.

فصل پنجم برج سینی دار

۲- گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

مقاومت فاز مایع بیشتر از مقاومت فاز گاز می‌باشد $\frac{1}{k_x} \gg \frac{1}{k_y}$ بنابراین $\frac{1}{K_y} = \frac{m}{k_x}$

فصل سوم ضریب کلی انتقال جرم

۳- گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$A \rightarrow 3B \Rightarrow \frac{N_A}{1} = \frac{N_B}{-3} \Rightarrow \frac{N_A}{\sum N_i} = \frac{1}{1-3} = -\frac{1}{2}$$

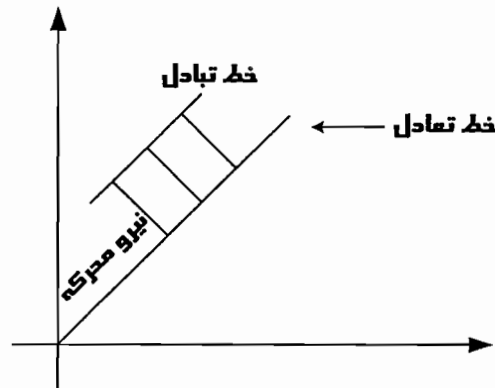
$$N_A = \frac{N_A}{\sum N_i} F \ln \frac{\sum N_i - y_{A2}}{\sum N_i - y_{A1}} = -\frac{1}{2} F \ln \frac{-\frac{1}{2} - 0}{-\frac{1}{2} - y_A} = \frac{1}{2} F \ln(1 + 2y_A)$$

$$N_A = K_y (y_A - 0) = K_y y_A \Rightarrow F = \frac{2K_y y_A}{\ln(1 + 2y_A)}$$

فصل سوم ضرایب انتقال جرم

۴- گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

ضریب جذب بیانگر نسبت شیب خط تبادل به منحنی تعادل می‌باشد با توجه به این که $A = \frac{L}{mG} = 1$ می‌باشد پس فاصله خطوط تبادل و تعادل ثابت و با شیب برابر می‌باشند.



فصل چهارم انتقال جرم بین فازها

۵ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$Sc = Pr \Rightarrow \left. \begin{matrix} Sh = Nu \\ Re = cte \end{matrix} \right\} \Rightarrow \left. \begin{matrix} Nu = \frac{hL}{k} \\ Re = cte \end{matrix} \right\} \Rightarrow \frac{h_1 L_1}{k_1} = \frac{h_2 L_2}{k_2} \Rightarrow h_1 L_1 = h_2 L_2 \Rightarrow L_2 = 2L_1 \Rightarrow h_2 = \frac{1}{2} h_1$$

$$Sh = Nu \Rightarrow \frac{FL}{CD_{AB}} = \frac{hL}{k} \Rightarrow F = \frac{CD_{AB} h}{k} \Rightarrow F = \frac{P_t D_{AB} h}{RTk}$$

$$C = \frac{P_t}{RT}$$

$$\Rightarrow F = \frac{0.2 \times 10^5 \times 1.12 \times 10^{-4} \times 120}{8.314 \times 300 \times 0.0263} = 4.1 \frac{\text{mol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} = 4.1 \times 10^{-3} \frac{\text{kmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

فصل سوم تشابه

۶ - گزینه ۲ صحیح می باشد.

شار انتقال جرم همواره ثابت است و داریم:

$$\dot{m}_A = N_A \cdot S \cdot M_A$$

فصل دوم نفوذ مولکولی

۷ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$\frac{\frac{N_A}{\sum N} - y_{A_i}}{\frac{N_A}{\sum N} - y_{A_G}} = \left[\frac{\frac{N_A}{\sum N} - x_{A_L}}{\frac{N_A}{\sum N} - x_{A_i}} \right]^{\frac{F_L}{F_G}} \Rightarrow \frac{1 - y_A}{1 - 0.6} = \left(\frac{1 - 0.4}{1 - x_A} \right)^{\frac{1.2 \times 10^{-3}}{1.8 \times 10^{-3}}} \Rightarrow 1 - y_A = 0.4 \left(\frac{0.96}{1 - x_A} \right)^{\frac{2}{3}}$$

فصل ۴ ضرایب انتقال جرم محلی

۸ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

در انتقال جرم از کره $Sh = 2 + f(Re \cdot Sc)$

$$Sh = 1.2 Re^{0.55} \cdot Sc^{0.34}$$

با توجه به دو رابطه بالا، مشاهده می‌شود که در رابطه پایینی از عدد ثابت 2 صرفنظر شده است که مربوط به انتقال جرم با مکانیزم نفوذ مولکولی می‌باشد.

فصل دوم نفوذ مولکولی

۹ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

فصل سوم تشابه

۱۰ - گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$N_A = \frac{Q(\Delta C_A)}{A} = \frac{Q(C_{AL} - C_{A_0})}{2\pi RL}$$

$$N_A = \frac{\frac{m^3}{s} \times \frac{mole}{m^3}}{m^2} = \frac{mole}{m^2 \cdot s}$$

فصل دوم + فصل سوم

۱۱ - گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

معادله فنسک $N_{min} = f(x_D, x_w, \alpha_{ave})$

$$\alpha_{ave} = \frac{\frac{y_A}{y_B}}{\frac{x_A}{x_B}} = \frac{\frac{y_A}{x_A}}{\frac{y_B}{x_B}} = \frac{\frac{P_A^*}{P_t}}{\frac{P_B^*}{P_t}} = \frac{P_A^*}{P_B^*}$$

محلول ایده‌آل $P_t y_1 = x_1 P_1^*$

فصل هفتم حداقل تعداد سینی‌ها

۱۲ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

فصل نهم تعاریف

۱۳ - گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

$$\text{مقدار جاذب مینیموم} \Rightarrow \left(\frac{Y_1}{Y_2} \right)^{\frac{1}{n}} - \frac{1}{n} \frac{Y_0}{Y_1} = 1 - \frac{1}{n}$$

$n=2$ و Y_0 و Y_2 ثابت و مشخص می‌باشند و y_1 از معادله بالا به دست می‌آید.

فصل دوازدهم جذب سطحی

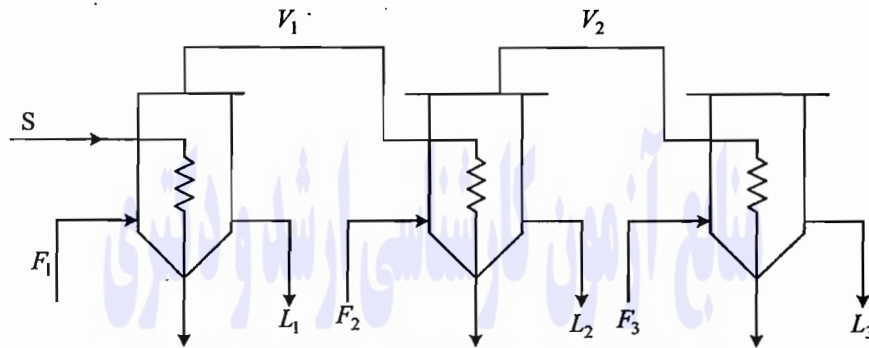
۱۴- گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$\left. \begin{aligned} N &= -\frac{m_s}{A_t} \frac{dX}{dt} \\ m_s &= \rho_s V = \rho_s \times 2s \times A \\ A_t &= 2A \end{aligned} \right\} \rightarrow N = \frac{\rho_s 2s \cdot A}{2A} \frac{dx}{dt} = \rho_s \cdot s \frac{dx}{dt}$$

فصل دهم

۱۵- گزینه ۴ صحیح می باشد.

تغذیه موازی:



فصل یازدهم انواع تبخیر کننده

۱۶- گزینه ۳ صحیح می باشد.

ظرفیت گرمایی هوای خشک

$$C_s = C_B + Y C_A$$

Humid Heat

ظرفیت گرمایی بخار

فصل نهم تعاریف

۱۷- گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$w_s \frac{dX}{dt} = mX \Rightarrow dt = \frac{w_s}{mX} dX \Rightarrow t = \frac{w_s}{m} \int_{x_1}^{x_c} \frac{dx}{x} \Rightarrow t = \frac{w_s}{m} \ln \frac{x_c}{x_1}$$

فصل نهم محاسبه مدت زمان خشک شدن

۱۸- گزینه ۲ صحیح می باشد.

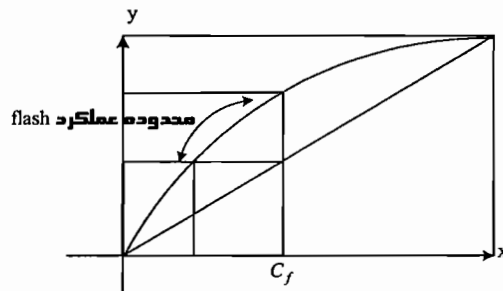
$$\text{نیروی موینگی کنترل کننده} \Rightarrow R \propto \frac{1}{t} \propto \frac{1}{s} \Rightarrow \frac{R_2}{R_1} = \frac{s_1}{s_2} = 2$$

فصل دهم جامدات متخلخل

۱۹- گزینه ۲ صحیح می باشد.

فصل دهم تقسیم بندی خشک کن ها

۲۰- گزینه ۴ صحیح می باشد.



فصل هفتم تقطیر ناگهانی

۲۱- گزینه ۲ صحیح می باشد.

خرید و نگهداری ریبویلر پرهزینه می باشد با استفاده از بخار آب مستقیم در هزینه ها صرفه جویی می شود اما تعداد مراحل افزایش می یابد.

فصل هفتم برج های open steam

۲۲- گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$R \propto \frac{1}{N}$$

فصل هفتم

۲۳- گزینه ۴ صحیح می باشد.

در هیچ کدام از شکل ها A و C نمی توانند به طور کامل در یکدیگر حل شوند.

فصل هشتم

۲۴- گزینه ۱ صحیح می باشد.

مخلوط آب و اتانول در ترکیب درصد ۸۹٪ تشکیل آزنوتروپ می دهند و جداسازی بیش از این مقدار توسط یک برج تقطیر امکان پذیر نیست و از طرف دیگر در خروجی از ریبویلر ترکیب درصد جزء غیر فرار باید نسبت به خوراک بیشتر باشد پس گزینه ۱ صحیح است.

فصل هفتم

۲۵- گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$R \rightarrow \infty \Rightarrow \frac{L}{V} = \frac{\bar{L}}{\bar{V}} = 1$$

فصل هفتم روش مک کیب

۲۶- گزینه ۲ صحیح می باشد.

مخلوط 50% متانول و اب از نقطه آزنوتروپ دور می باشند و همواره «به جز در ترکیب آزنوتروپ» در نمودار T_{xy} منحنی شپنم بالاتر از منحنی قرار دارد پس گزینه ۲ صحیح است.

فصل هفتم آزنوتروپ

۲۷- گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$\begin{aligned} \bar{L} &= L + qF & \Rightarrow & \bar{L} = L + \frac{1}{2} \\ \bar{G} &= G + (q-1)F & \Rightarrow & \bar{G} = G - \frac{1}{2} \end{aligned} \Rightarrow \frac{\bar{L}}{\bar{G}} = \frac{L+0.5}{G-0.5}$$

فصل هفتم روش مک کیب

۲۸- گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$\left. \begin{aligned} y &= 0.6x + 0.32 \\ y &= 2x - 1 \end{aligned} \right\} \rightarrow \text{محل ورود خوراک } 0.6x + 0.32 = 2x - 1 \Rightarrow x = 0.3, y = 0.5$$

$$\text{معادله خط خوراک } y = \frac{q}{q-1}x - \frac{z_f}{q-1} \quad \left. \begin{aligned} z_f &= 0.5 \\ x &= 0.3 \\ y &= 0.5 \end{aligned} \right\} \Rightarrow q = 0 \rightarrow \text{خوراک بخار اشباع}$$

فصل هفتم محل ورود خوراک

۲۹- گزینه ۴ صحیح می باشد.

عامل اصلی تعیین هزینه، فشار خروجی از کمپرسور می باشد.

فصل یازدهم

۳۰- گزینه ۱ صحیح می باشد.

اگر نسبت R در حداقل خود باشد تعداد سینی ها بی نهایت می شود و انتقال جرم در تعدادی از سینی ها انجام نمی شود و درجه حرارت یکسانی خواهند داشت.

فصل هفتم + فصل پنجم برج های سینی دار

سال ۸۶

۱ - هیچ کدام از گزینه ها صحیح نمی باشد.

جریان هوا به صورت خشک می باشد پس $y_{A1} = 0$ می باشد.

فصل دهم

۲ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$3A \rightarrow A_3 \Rightarrow \frac{N_A}{3} = \frac{N_{A_3}}{-1} \Rightarrow \frac{N_A}{\sum N} = \frac{3}{2}$$

واکنش سریع $\Rightarrow y_{A_2} = 0$

$$N_A = \frac{N_A}{\sum N} \frac{D_{AB} P_t}{RTz} \ln \frac{\frac{N_A}{\sum N} - y_{A_2}}{\frac{N_A}{\sum N} - y_{A_1}} = \frac{3 D_{AB} P_t}{2 RTz} \ln \frac{\frac{3}{2} - 0}{\frac{3}{2} - y_A} = \frac{3 D_{AB} P_t}{2 RTz} \ln \left(1 - \frac{2}{3} y_A \right)$$

فصل دوم نفوذ همراه واکنش شیمیایی هتروژن

۳ - گزینه ۲ صحیح می باشد.

وقتی اصطکاک از نوع سطحی باشد می توانیم از تشابه و آنالوژی رینولدز کلیورن استفاده کنیم.

فصل سوم تشابه

۴ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$\frac{\frac{N_A}{N_t} - y_A}{\frac{N_A}{N_t} - y_{A_1}} = \left(\frac{\frac{N_A}{N_t} - x_{A_i}}{\frac{N_A}{N_t} - x_A} \right)^{\frac{F_L}{F_G}}$$

فصل چهارم ضرایب انتقال جرم محلی

۵ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

با توجه به اعداد اشمیت، مشخص است که هر دو فاز مایع می باشند پس این پدیده می تواند در یک برج استخراج مایع انجام شود.

فصل دوم

۶ - گزینه ۲ صحیح می باشد.

$$V = \sum x_i V_i \Rightarrow 0.6 = x_{H_2} + (1 - x_{H_2}) 0.5 \Rightarrow x_{H_2} = 0.2$$

۷- گزینه ۱ صحیح می باشد.

برای بازیافت قطرات مایع باقی مانده در جریان گاز خروجی از برج packed از 0.5 متر ارتفاع خشک پرکن در بالای برج استفاده می کنند.

فصل پنجم برج پر شده

۸- گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$\text{در مختصات استوانه} \rightarrow \frac{d}{dr}(N_{A,r})=0$$

فصل دوم بررسی فشار نفوذی در مشخصات کارتیزین استوانه‌ای کروی

۹- هیچ کدام از گزینه‌ها صحیح نمی باشد.

$$Y_1=0.1, \quad Y_2=0.1Y_1=0.01$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{L_s}{G_s} &= \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} \\ , Y_1 &= X_1^2 \\ \left(\frac{L_s}{G_s} \right)_{\min} &= \frac{1}{2} \left(\frac{L_s}{G_s} \right) \end{aligned} \right\} \rightarrow \left(\frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} \right)_{\min} = \frac{1}{2} \left(\frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} \right)$$

$$\Rightarrow \frac{0.01 - 0.1}{0 - \sqrt{0.1}} = \frac{1}{2} \frac{0.01 - 0.1}{0 - X_1} \Rightarrow$$

جواب در گزینه‌ها نمی باشد.

فصل چهارم جریان curmter

۱۰- گزینه ۳ صحیح می باشد.

برج‌های آکنده افت فشار کمتری نسبت به برج‌های سینی دار ایجاد می کنند.

فصل پنجم

۱۱- گزینه ۲ صحیح می باشد.

مخلوط آب و اتانول در ترکیب درصد ۸۹٪ دارای نقطه آزنوتروپ می باشند بنابراین با تقطیر مخلوط ۹۶٪ اتانول، می توانیم به الکل خالص دست یابیم ولی محصول پایینی برج نمی تواند بیش از ۱۱٪ مولی آب داشته باشد و در عین حال باید مقدار جزء غیر فرار در آن نسبت به خوراک بیشتر باشد پس گزینه ۲ صحیح است.

فصل هفتم + فصل پنجم برج‌های سینی دار

۱۲- گزینه ۱ صحیح می باشد.

در اثر حرارت دادن به هوای مرطوب تحت فشار ثابت، حجم مخلوط افزایش می یابد و از طرفی برای ثابت ماندن رطوبت نسبی، لازم است مقداری بخار آب به هوا اضافه کنیم.

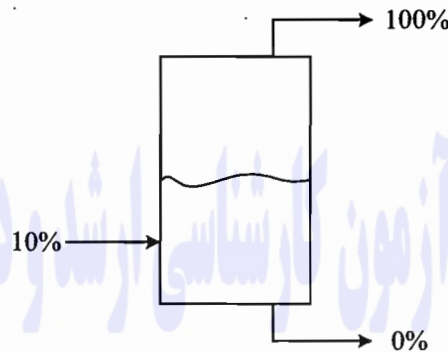
۱۳- گزینه ۲ صحیح می باشد.

فراریت نسبی اتر نسبت به فنل و آمونیاک و اسید کلریدریک در مخلوط با آب بیشتر است پس در عمل تبخیر ساده منجر به تفکیک درجه بالاتری می شود.

فصل هفتم تبخیر ساده

۱۴- گزینه ۴ صحیح می باشد.

بنزن جزء سبک و تولونن جزء سنگین می باشد و برای انجام جداسازی مطلوب لازمست محل ورود خوراک سبب به هم خوردن پروفایل غلظت در طول برج نشود بنابراین لازم است مخلوط ۱۰% بنزن و ۹۰% تولونن از قسمت پایین برج وارد شوند.



فصل هفتم + فصل پنجم برج سینی دار

۱۵- گزینه ۳ صحیح می باشد.

$N_A \neq -N_B$ خطوط متبادل به صورت منحنی درمی آیند.

فصل هفتم

۱۶- گزینه ۲ صحیح می باشد.

اگر قطر برج کوچک باشد و تحت خلا کار کند، شدت جریان های مایع و گاز کم می باشد و برای کاهش افت فشار لازم است ضخامت مایع در روی سینی ها کم باشد که براینده این دو عامل سبب کاهش زمان توقف فازهای بخار و مایع در روی سینی ها می شود.

فصل پنجم برج های سینی دار

۱۷- هیچ کدام از گزینه ها صحیح نمی باشد.

$$N_C = \frac{h(T_G - T_w)}{\lambda}$$

پس ریت خشک شدن مستقل از نوع جسم جامد است پس گزینه ۱ صحیح است. رطوبتی که جسم در ریت خشک شدن ثابت از

دست می دهد رطوبت سطحی و از نوع غیر پیوندی است پس گزینه ۲ و ۴ نیز صحیح هستند.

همچنین دمای سطح مشترک جامد و هوا برابر دمای مرطوب است پس گزینه ۳ نیز صحیح است.

فصل دهم

۱۸- گزینه ۳ صحیح می باشد.

سرعت هوا بر شدت و زمان خشک شدن در ناحیه fallig rate اثری ندارد چون انتقال حرارت و جرم با مکانیزم نفوذ مولکولی انجام می شود.

فصل دهم

۱۹- گزینه ۱ صحیح می باشد.

با افزایش دبی خوراک، حرارت جذب شده بر واحد جرم خوراک کم شده و مقدار تبخیر انجام شده خوراک کاهش می یابد و غلظت خوراک نسبت به حالت قبلی کاهش می یابد.

فصل یازدهم

۲۰- گزینه ۳ صحیح می باشد.

برج های دارای سینی دارای کمترین راندمان می باشند.

فصل هشتم دستگاه های استخراج کننده

۲۱- گزینه ۴ صحیح می باشد.

با کاهش اندازه ذرات و افزایش تخلخل میزان ماندگی مایع در ذرات جامد افزایش می یابد و همچنین زیاد بودن کشش سطحی ذرات جامد نسبت به مایع سبب افزایش نیروی جاذبه جامد - مایع می گردد که سبب افزایش ماندگی مایع می گردد.

فصل سیزدهم

۲۲- گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$\text{Batch شیب خط عملیاتی فرایند} = -\frac{L_s}{G_s}$$

$$L_s = 50 \text{ gr}$$

$$PV = \frac{m}{M}RT \Rightarrow m = \frac{PVM}{RT} \Rightarrow G_s = \frac{\left(\frac{760-60}{1000}\right) \times 13600 \times 29}{8.314 \times 3.3} = 22.14 \Rightarrow \text{شیب} = -\frac{50}{22.14} \approx -2$$

فصل چهارم

۲۳- گزینه ۴ صحیح می باشد.

$$y = \frac{q}{q-1}x - \frac{z_f}{q-1} \begin{cases} x=0.3 \\ y=0.5 \\ z_f=0.4 \end{cases} \Rightarrow 0.5 = \frac{q}{q-1} \cdot 0.3 - \frac{0.4}{q-1} \Rightarrow 0.5q - 0.5 = 0.3q - 0.4$$

$$\Rightarrow 0.2q = 0.1 \Rightarrow q = \frac{1}{2} \rightarrow \text{خوراک به صورت مایع و بخار}$$

فصل هفتم محل ورود خوراک

۷- گزینه ۴ صحیح می

۲۴- گزینه ۴ صحیح می باشد.

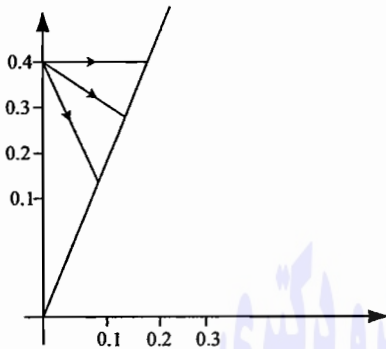
مخلوط آب و اتانل دارای آزنوتروپ می باشند که در فشارهای مختلف محل نقطه آزنوتروپ تغییر می کند پس نشانگر مخلوط آب و اتانول باشند.

فصل ششم

فصل هفتم تعادل بخار مایع

۸- گزینه ۳ صحیح می
زمان نقطه شکست با آ
کاهش شدت جریان سی

۲۵- گزینه ۴ صحیح می باشد.



فصل دوازدهم

۹- گزینه ۱ صحیح می
بخار سوپرهیت خروجی
به خاطر داغ بودن خود

فصل هفتم + فصل پنجم

۱۰- گزینه ۲ صحیح می
میزان Hold up سینی ه

فصل پنجم انواع سینی

۱۱- گزینه ۲ صحیح می

فصل اول

۱۲- گزینه ۴ صحیح می
میعان همواره با آزاد شد
آن صرف نظر نمود.

فصل دوازدهم

۱۳- گزینه ۲ صحیح می
وقتی انتقال جرم با آزاد

فصل پنجم + هشتم

۱۴- گزینه ۳ صحیح می
برای محلول های حساس

فصل دوازدهم

۲۶- گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$\left. \begin{array}{l} \text{رطوبت پیوندی} + \text{رطوبت غیر} \\ \phi=100 \end{array} \right| = 4 + 40 = 44$$

فصل دهم تعاریف

۲۷- گزینه ۲ صحیح می باشد.

فصل دوازدهم جذب سطحی

۲۸- گزینه ۱ صحیح می باشد.

فصل هشتم

۲۹- گزینه ۱ صحیح می باشد.

فصل هشتم

۳۰- گزینه ۲ صحیح می باشد.

فصل سیزدهم

فصل یازدهم انواع تبخیر کننده

سال ۸۷

۱۵- گزینه ۴ صحیح می باشد.

۱- گزینه ۲ صحیح م

فصل دهم جامدات متخلخل

۱۶- گزینه ۱ صحیح می باشد.

فصل دوم ضریب نفوذ

فصل پنجم

۱۷- گزینه ۴ صحیح می باشد.

۲- گزینه ۲ صحیح م

میزان فراریت نسبی مخلوط آب و دیتریوم بسیار کم می باشد.

فصل پنجم + فصل هفتم

۱۸- گزینه ۱ صحیح می باشد.

بر اساس فرضیات مک کیب دبی مولی مایع و بخار در بالا و پایین برج ثابت است.

فصل هفتم روش مک کیب

۱۹- گزینه ۳ صحیح می باشد.

فصل سوم تئوری های از

۳- گزینه ۴ صحیح م

در ناحیه ED، مکانیزم انتقال جرم و حرارت از نوع نفوذ مولکولی می باشد و دمای جسم مرطوب در طول فرایند

فصل دهم

۲۰- گزینه ۲ صحیح می باشد.

اگر برای عمل استخراج نیازمند تعداد مراحل بالا باشیم از برج های Agitated استفاده می کنیم.

فصل پنجم برج جداره

۴- گزینه ۱ صحیح م

فصل هشتم

فصل دوم

۵- گزینه ۳ صحیح م

فصل پنجم برج پر شده

۶- گزینه ۳ صحیح م

فصل پنجم

سال ۸۸

۱ - گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

فصل سوم

۲ - گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$N_A = -D_{AB} \frac{dC_A}{dr} + \frac{C_A}{C} \sum N_i \left. \begin{array}{l} \Rightarrow \sum N_i = N_A \\ \text{نفوذ در جزء ساکن} \end{array} \right\} \rightarrow N_A = \frac{-D_{AB} \frac{dC_A}{dr}}{1 - \frac{C_A}{C}}$$

در مختصات استوانه‌ای N_A ثابت نمی‌باشند و نمی‌تواند از انتگرال خارج شود.

$$N_A \times 2\pi r L = \left[\frac{-D_{AB} \frac{dC_A}{dr}}{1 - \frac{C_A}{C}} \right] \times 2\pi r L = \frac{-2\pi L D_{AB} \frac{dC_A}{1 - \frac{C_A}{C}}}{\frac{dr}{r}}$$

عبارت $N_A \times 2\pi r L$ بیانگر سرعت انتقال جرم بر حسب $\frac{\text{mole}}{s}$ می‌باشد و ثابت است و می‌تواند از انتگرال خارج شود.

$$N_A \times 2\pi r L \times M_A = \dot{m}_A$$

$$\Rightarrow \int \dot{m}_A = \frac{-2\pi L M_A D_{AB} \int_{C_{A1}}^{C_{A2}} \frac{dC_A}{1 - \frac{C_A}{C}}}{\int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r}} = \frac{2\pi L D_{AB} M_A C}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \cdot \ln \frac{1 - \frac{C_{A2}}{C}}{1 - \frac{C_{A1}}{C}}$$

$$N_A = -D_{AB} \frac{dC_A}{dr} + \frac{C_A}{C} \sum N_i \left. \begin{array}{l} \Rightarrow \sum N_i = 0 \\ \text{نفوذ متقابل} \end{array} \right\} \rightarrow N_A = -D_{AB} \frac{dC_A}{dr}$$

$$\Rightarrow N_A \times 2\pi r L \times M_A = \left[-D_{AB} \frac{dC_A}{dr} \right] \times 2\pi r L M_A$$

$$\Rightarrow \int \dot{m}_A = \frac{-D_{AB} 2\pi L M_A \int_{C_A^*}^{C_A} dC_A}{\frac{dr}{r}} \Rightarrow \dot{m} = \frac{2\pi L M_A D_{AB} (C_A^* - C_A)}{\ln \frac{r}{R}}$$

فصل دوم

۳ - گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

مایع تجمع یافته در برج‌های سینی‌دار بیشتر از برج‌های پر شده است.

فصل پنجم

۴ - گزینه ۴ صحیح می باشد.

در عملیات جذب، انتقال جرم از فاز سبک به فاز سنگین می باشد و خط کار یا خط تبادل بالای منحنی تعادل قرار می گیرد و در مختصات x و y خط عملیاتی به منحنی تبدیل می شود.

فصل چهارم

۵ - گزینه ۱ صحیح می باشد.

به دلیل یکسان بودن فشار درون ظرف و هوای بیرون، انتقال جرم به صورت نفوذ مولکولی متقابل می باشد و به میزان مولکول های CO₂ خروجی از ظرف، مولکول های هوا وارد ظرف می شوند.

$$\sum N_i = 0$$

$$N_A = j_A + x_A \sum N_i \Rightarrow N_A = J_A = -D_{AB} \frac{dC_A}{dz}$$

با مدل سازی شبه پایا، توزیع غلظت را فقط تابع زمان در نظر می گیریم و داریم.

$$\left. \begin{aligned} N_A &= -D_{AB} \frac{dC_A}{dz} \\ C_A &= \frac{n_A}{V} \end{aligned} \right\} \rightarrow N_A = \frac{+D_{AB} (n_A - 0)}{V \delta} \quad \text{معادله شماره (۱)}$$

از تعریف N_A داریم:

$$N_A = \frac{1}{M_A} \frac{dn_A}{dt} \quad \text{معادله شماره (۲)}$$

$$(۱) \text{ و } (۲) \Rightarrow \frac{1}{M_A} \frac{dn_A}{dt} = \frac{D_{AB} n_A}{V \delta} \Rightarrow$$

$$\frac{\delta V}{M_A D_{AB} n_A} \frac{dn_A}{dt} = \int \frac{\delta V}{M_A D_{AB} n_A} \int_{\frac{2}{3} n_{A1}}^{n_{A1}} \frac{dn_A}{n_A} = \int_0^t dt$$

$$\Rightarrow \frac{\delta V}{M_A D_{AB} L \pi \frac{2}{3} n_A} = t \Rightarrow t = \frac{10 \times 10^{-2} \times 100 \times 10^{-6}}{40 \times 3 \times 1 \times 10^{-4} \times 3.33 \times 10^{-5}} \times 0.4 = 10s$$

فصل دوم

۶ - گزینه ۲ صحیح می باشد.

فصل ششم

۷ - گزینه ۳ صحیح می باشد.

$$\frac{\sum N_i - y_{A_i}}{\sum N_i - y_{AG}} = \left[\frac{\sum N_i - x_{AL}}{\sum N_i - x_{A_i}} \right] \frac{F_L}{F_G}$$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{N_A}{\sum N_i} = 1 \\ \frac{F_L}{F_G} = 1 \end{array} \right\} \rightarrow \frac{1-y_{A_i}}{1-0.8} = \frac{1-0.2}{1-y_{A_i}} \Rightarrow y_{A_i} = x_{A_i} = 0.4$$

فصل چهارم

۸- گزینه ۲ صحیح می‌باشد.

در تقطیر استخراجی به یک مخلوط دوجزئی که جداسازی آن با روش‌های معمولی مشکل و یا غیرممکن است یک سازنده سوم به نام حلال اضافه می‌کنند که سبب می‌شود فراریت نسبی سازندگان اصلی تغییر می‌کند. به همین جهت قطر برج بزرگ و ارتفاع آن نیز افزایش می‌یابد.

فصل هفتم

۹- گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

رطوبت تعادلی تابعی از نوع ماده و شرایط هوای خشک‌کننده است و اگر رطوبت هوا بیشتر از مقدار رطوبت تعادلی جسم باشد آنگاه جامد رطوبت هوا را به خود جذب کند.

فصل دهم

۱۰- گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

فصل نهم

۱۱- گزینه ۳ صحیح می‌باشد.

هرچه دمای حباب خشک بزرگ‌تر باشد و دمای حباب خیس کوچک‌تر باشد اجسام زودتر خشک می‌شوند.

فصل نهم

۱۲- گزینه ۴ صحیح می‌باشد.

$$\begin{array}{l} B_{\max} \times \overline{BQ} = F \times \overline{FQ} \\ B_{\min} \times \overline{BP} = F \times \overline{FP} \end{array} \Rightarrow \frac{B_{\max}}{B_{\min}} = \frac{F \times \frac{\overline{FQ}}{\overline{BQ}}}{F \times \frac{\overline{FP}}{\overline{BP}}} = \frac{\frac{10}{2}}{\frac{2}{10}} = 25$$

فصل هشتم

۱۳- گزینه ۱ صحیح می‌باشد.

$$\text{معادله فتسک} \Rightarrow N_{\min} = \frac{\log \left(\frac{x_D (1-x_W)}{x_W (1-x_D)} \right)}{\log a_{\text{ave}}} - 1$$

$$a_{\text{ave}} = \sqrt{a_{\text{top}} a_{\text{bottom}}}$$

فصل هفتم

۱۴- گزینه ۱ صحیح می باشد.

در برج سینی دار استخراج مایع مایع، ماندگی کمتر از 20% می باشد.

فصل هشتم

۱۵- گزینه ۱ صحیح می باشد.

در برج های پر شده، فاز مایع به صورت فاز پراکنده درمی آید که سطح آکنه را تر می کند و جریان گاز با عبور از روی آن سبب می شود که سطح انتقال جرم افزایش یابد.

فصل پنجم

۱۶- گزینه ۴ صحیح می باشد.

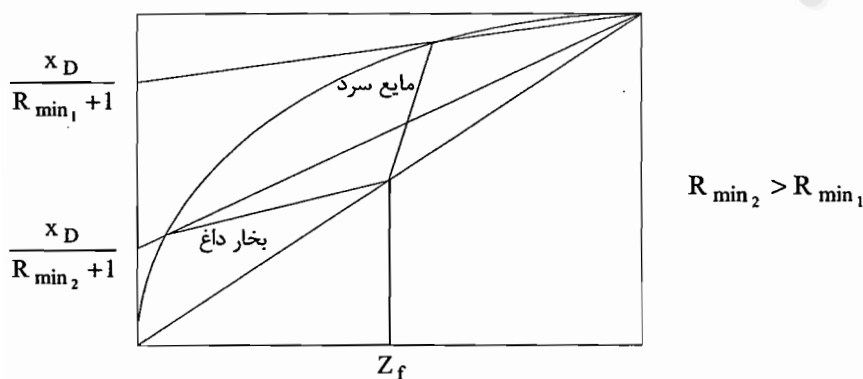
R_{min} ، حداکثر نسبتی است که در صورت به کار بردن آن در یک عمل تفکیک مشخص تعداد سینی های لازم بی نهایت می شود و بار حرارتی جوش آور و ظرفیت تبرید کندانسور به حداکثر می رسد.

فصل هفتم

۱۷- گزینه ۱ صحیح می باشد.

فصل هفتم

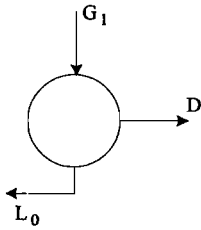
۱۸- گزینه ۳ صحیح می باشد.



فصل هفتم

۱۹- گزینه ۳ صحیح می باشد.

محدوده دمایی عملکرد تبخیرکننده بین دمای جوش خوراک و دمای شبنم خوراک ورودی است.



$$R = \frac{L_o}{D}$$

$$L_o + D = G_1$$

$$\Rightarrow R_1 = 4 = \frac{L_{o1}}{D_1} \Rightarrow L_{o1} = 4D_1 \Rightarrow L_{o1} + D_1 = G_1 \Rightarrow G_1 = 5D_1$$

$$R_2 = 8 = \frac{L_{o2}}{D_1} \Rightarrow L_{o2} = 8D_2 \Rightarrow L_{o2} + D_2 = G_1 \Rightarrow G_1 = 9D_2$$

$$\Rightarrow \frac{9D_2}{5D_1} = 1.8$$

منابع آزمون کارشناسی ارشد و دکتری
09195367497
www.arshd87.blogfa.com

منابع

- ۱- انتقال جرم، نویسنده رابرت تریبال، دکتر طاهره کاغذچی، ترجمه دکتر مرتضی سهرابی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر
- ۲- اصول انتقال جرم، نویسنده دکتر محمد چالکش امیری، انتشارات ارکان
- ۳- عملیات واحد جلد دوم، نویسنده رابرت تریبال، ترجمه مهندس پریسا زینی، انتشارات دانشگاه هرمزگان

منابع آزمون کارشناسی ارشد و دکتری
09195367497
www.arshd87.blogfa.com

یادداشت

پارسیه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

منابع آزمون کارشناسی ارشد و دکتری
09195367497
www.arshd87.blogfa.com

پارسیه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

منابع آزمون کارشناسی ارشد و دکتری
09195367497
www.arshd87.blogfa.com

یادداشت

پارسیه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

منابع آزمون کارشناسی ارشد و دکتری

09195367497

www.arshd87.blogfa.com

پارسیه ماهان سنجش
www.arshd87.blogfa.com
09195367497

مطالعه آزمون کارشناسی ارشد و دکتری
09195367497
www.arshd87.blogfa.com