

## برج‌های تقطیر و استخراج

### چکیده فصل

در این فصل، هنرجویان با عملیات فیزیکی تقطیر و استخراج به منظور تخلیص مایعات، آشنا می‌شوند. همچنین عملکرد دستگاه‌های مربوطه یعنی برج‌های تقطیر و استخراج را می‌آموزند.

دانسته‌های قبلی: هنرجویان در سال گذشته، اطلاعات مختصری در مورد این دو عملیات، به صورت تئوری و عملی کسب کرده‌اند.

اهداف فصل: از هنرجویان انتظار می‌رود که بتوانند پس از پایان فصل، راجع به عناوین زیر توضیحات لازم را ارائه دهند.

- تعریف تقطیر
- اصول تقطیر
- انواع تقطیر از نظر عملیاتی و تشریح هر کدام
- انواع تقطیر از نظر فشار عملیاتی
- استخراج و موارد مربوطه
- موارد انتخاب حلال
- انواع برج‌های تقطیر، سینی‌دار و آکنده
- انواع برج‌های استخراج؛ پاششی، سینی‌دار، آکنده و استخراج کننده با همزن مکانیکی

### برنامه زمان‌بندی تدریس فصل یازدهم

صفحه	موضوعات	هفته
۸۳ تا ۸۹	تقطیر و انواع آن	۲۷
۹۲ تا ۹۸	برج‌های تقطیر سینی‌دار	۲۸
۹۹ تا ۱۰۳	برج‌های تقطیر - آکنده	۲۹
۹۰ تا ۹۲ ۱۰۴ تا ۱۰۸	استخراج - برج‌های استخراج	۳۰

برنامه زمان بندی هفته بیست و هفتم			دقیقه
۱	آماده کردن کلاس (احوالپرسی، تبریک سال جدید، حضور و غیاب و ...)	۲۰	
۲	تدریس	۱۰۰	
۳	استراحت میان تدریس (سه نوبت)	۱۵	

### تقطیر و انواع آن

عناوین و مطالبی که در این هفته تدریس می شوند، عبارت اند از :

- تعریف جامعی از تقطیر
- خصوصیات مایعات سبک (فزار) و سنگین
- تعریف قابلیت تبخیر یا فزاریت
- انواع تقطیر
- تشریح تقطیرهای ساده، ناگهانی و جزء به جزء، از نظر :
- عملکرد، نوع عملیات، دستگاه، درجه خلوص محصولات، کاربرد و خصوصیات دیگر
- انواع تقطیر از نظر فشار عملیاتی :
- تقطیر در فشار بالا، تقطیر اتمسفریک، تقطیر در خلأ
- توضیح مثال های عملی تقطیر

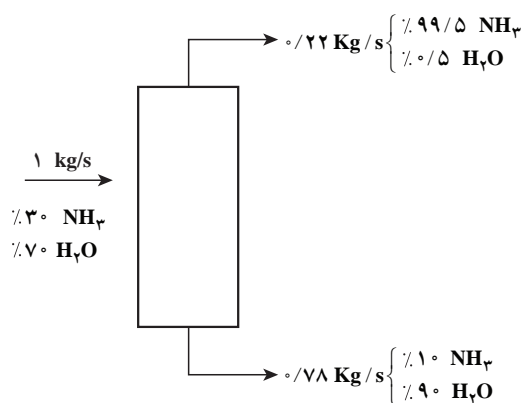
### راهنمای تدریس

متن کتاب درسی عملیات دستگاهی، برای تدریس عناوین مطروحه مرجع خوبی است، لذا به مواردی اشاره خواهد شد که نیاز به توضیح تکمیلی داشته باشند، به صورت زیر :

- **تعریف تقطیر :** بهتر است برای تقطیر تعریف جامعی به هنرجویان ارائه داد، مثلاً :
- تقطیر فرآیندی است که در آن اجزای یک مخلوط مایع یکنواخت، به دلیل اختلاف در نقطه جوش براساس دو عمل تبخیر و میعان از یکدیگر جدا می شوند.
- دستگاه های مورد استفاده برای تقطیر، به نام برج یا ستون تقطیر معروف هستند، که به دو صورت سینی دار و آکنده طراحی می شوند و تقطیر جزء به جزء در این برج ها انجام می شود.
- تدریس این هفته، بیشتر در خصوص تقطیر و انواع آن از دید عملکردی است و راجع به برج های تقطیر، در هفته بعد صحبت خواهد شد.
- یکی از قسمت های مهم این فصل، فشار برج های تقطیر است که براساس نوع خوراک از نظر سبکی و سنگینی، تعیین می شود.

## — توضیح در مورد مثال‌های عملی تقطیر :

مثال (۱) به جداسازی اتانل از آب در یک برج تقطیر ناپیوسته مربوط می‌شود. این مثال شاهدهی بر مباحث مطروحه در بخش تقطیر جزء به جزء ناپیوسته است. اول اینکه نقش زمان را در عملیات ناپیوسته بیان می‌کند. به این صورت که ختم تقطیر را زمانی اعلام می‌دارد که درصد مولی اتانل در داخل دیگ به ۱۰/۵ برسد. در ثانی، چنان‌که از نتایج پیداست، بیشترین درصد ماده سبک، که اتانل باشد، در شروع عملیات، یعنی در اولین قطره محصول بالای برج است (۷۸ درصد) و با ادامه کار برج، درصد خلوص آن کاهش می‌یابد. به طوری که در آخرین قطره محصول، درصد اتانل به ۷۴ تنزل می‌کند زیرا به مرور، ماده سنگین‌تر که آب است نیز تبخیر می‌شود.



شکل ۱-۱۱

در مثال (۲)، گزارشی از جداسازی آمونیاک از آب در یک برج تقطیر پیوسته مشاهده می‌شود. در این برج هر ثانیه یک کیلوگرم محلول ۳۰٪ وزنی آمونیاک در آب، به صورت خوراک وارد برج می‌شود و از بالای برج ۲۲۰ کیلوگرم و از پایین برج مقدار ۷۸۰ کیلوگرم بر ثانیه، محصولات خارج می‌گردد.

با توجه به شکل ۱-۱۱، در هر ثانیه ۳ kg آمونیاک و ۷ kg آب وارد برج می‌شوند و با حضور ۹ سینی، تقطیر صورت می‌گیرد و در هر ثانیه ۲۱۸۹ kg آمونیاک جدا می‌شود و از بالای برج خارج می‌گردد و مابقی همراه با آب از پایین برج بیرون می‌رود، محاسبات ساده زیر بیانگر این نتایج است :

$$1 \times 0.30 = 0.3 \text{ kg/s } \text{NH}_3, \quad 1 \times 0.70 = 0.7 \text{ kg/s } \text{H}_2\text{O}$$

$$0.22 \text{ kg/s} \times 99.5 = 0.2189 \text{ kg/s } \text{NH}_3$$

$$0.22 - 0.2189 = 0.0011 \text{ kg/s } \text{H}_2\text{O}$$

آب موجود در محصول بالای برج

آمونیاک تفکیک نشده، به همراه آب، که محصول پایین برج است، از آن خارج می‌شود.

$$0.78 \text{ kg/s} \times 10 = 0.078 \text{ kg/s } \text{NH}_3$$

با یک محاسبه، بازده جداسازی آمونیاک از خوراک مورد نظر، حدوداً ۷۲/۹۷٪ است:

$$\frac{0.2189}{0.3} \times 100 = 72.97\%$$

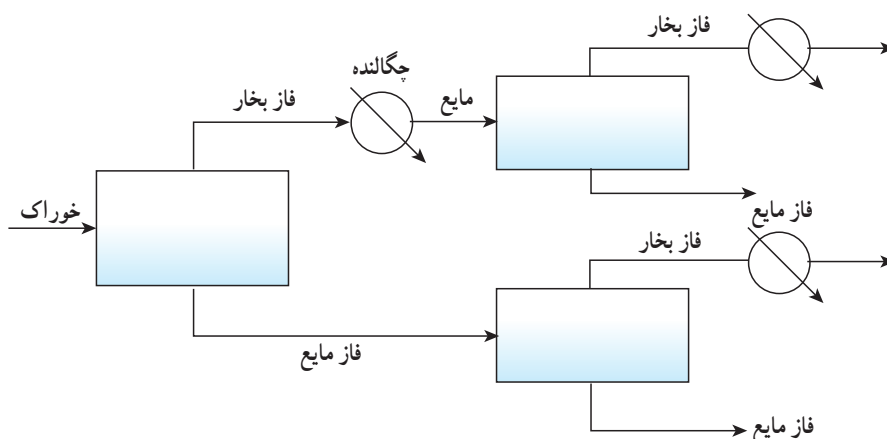
نکته : با علم به این که این فصل، این نمونه مسائل را مد نظر ندارد ولی توضیح این دو مثال ذهن هنرجویان را نسبت به عملیات

تقطیر در صنعت روشن می‌سازد.

— دلیل بالاتر بودن درجه خلوص محصولات در تقطیر جزء به جزء نسبت به تقطیر ساده، این گونه توضیح داده می‌شود :

تقطیر ساده، یک تقطیر یک مرحله‌ای است و به همین دلیل از درجه خلوص بالایی برخوردار نیست. برای افزایش درجه خلوص محصولات، می‌توان هر کدام از فاز بخار یا مایع ایجاد شده را به صورت خوراک جدید، بار دیگر مورد تقطیر قرار داد و در صورت دست نیافتن به درجه خلوص مورد نظر، این کار ادامه می‌یابد. واضح است که این تقطیرهای پی در پی یا چند مرحله‌ای

به فضای بسیار بزرگی نیاز دارد (مانند شکل ۲-۱۱).



شکل ۲-۱۱

برای حل این مشکل، برج‌های سینی‌دار جهت انجام تقطیر جزء به جزء یا چند مرحله‌ای طراحی می‌شوند و در آنها هر سینی نقش یک مخزن تقطیر را دارد. در هر سینی تماس مایع و بخار انجام می‌شود و انتقال حرارت و انتقال جرم صورت می‌گیرد. تعداد سینی‌ها بستگی به درجه خلوص مطلوب دارد.

– تأکید بر این مطلب ضروری است:

«به دلیل ثابت بودن وضعیت عملیاتی، تقطیر پیوسته بر ناپیوسته ارجح است.»

– مقدار، دما، فشار و سرعت مایع برگشتی، نقش بسیار مهمی در عملکرد برج تقطیر دارند. با تنظیم مقدار مایع برگشتی، می‌توان سه عامل دیگر را نیز کنترل کرد.

چون دمای مایع برگشتی، از دمای سینی‌های بالای برج کمتر است، با این عمل، دمای بالای برج کنترل می‌شود و شیب حرارتی مناسب به دست می‌آید.

فشار و سرعت این مایع نیز در نحوه حرکت مایع و بخار درون برج و کنترل فشار و دبی آنها نسبت به یکدیگر مؤثر هستند. با تنظیم مقدار مایع مذکور و U شکل ساختن مسیر حرکت آن، از چگالنده تا اولین سینی برج، این دو عامل در حد بهینه کنترل می‌شوند و از اختلالات احتمالی برج می‌کاهند.

## دانستنی (۱)

**تقطیر؛ فرّاریت نسبی:** تقطیر یکی از روش‌های مهم و متداول برای تفکیک و تخلیص مواد موجود در مخلوط‌های همگن مایع (محلول‌های مایع)، در صنایع شیمیایی و به خصوص در صنعت نفت است. بارش باران و تشکیل شبنم بر برگ گل‌ها و شیشه‌ها در فصل زمستان از مثال‌های تقطیر در طبیعت است. اختلاف نقطه جوش مایعات موجود در یک مخلوط مایع، اساس فرآیند تقطیر است. یادآوری می‌شود اختلاف نقطه جوش، شرط لازم جهت انجام عمل تقطیر است ولی الزاماً کافی نیست و عامل دیگری به نام «فرّاریت» اجزاء،

۱- در جواب به سؤال مطروحه در صفحه (۸۷) کتاب درسی عملیات دستگاهی (دلیل U شکل ساختن مسیر مایع برگشتی)

از عوامل اصلی برای امکان پذیر بودن عمل تقطیر به حساب می آید.  
 هر چه اختلاف فشاریت نسبی بین اجزا بیشتر باشد، عمل تفکیک توسط تقطیر ساده تر و با درجه خلوص بالاتری صورت می گیرد.

فشاریت نسبی را با  $(\alpha)$  نمایش می دهند که تابعی از غلظت است، و برای هر دو جزء، نسبت به هم محاسبه می شود.  
 برای مثال، در مخلوط دو جزئی A و B، فشاریت نسبی جزء A نسبت به جزء B عبارت است از:  
 خارج قسمت نسبت غلظت A به B در فاز بخار بر نسبت غلظت A به B در فاز مایع.  
 اگر x نشانگر کسر مولی<sup>۱</sup> اجزا در فاز مایع و y نشانگر کسر مولی اجزا در فاز بخار باشد طبق تعریف ذکر شده برای فشاریت نسبی، رابطه زیر به دست می آید:

$$\alpha_{AB} = \frac{y_A/y_B}{x_A/x_B} = \frac{y_A x_B}{y_B x_A}$$

از آنجا که

$$x_A + x_B = 1, \quad y_A + y_B = 1$$

$$\Rightarrow \alpha_{AB} = \frac{y_A (1 - x_A)}{x_A (1 - y_A)} \quad \text{رابطه (۱۱-۱)}$$

در صورتی که  $\alpha = 1$  باشد عمل تقطیر امکان پذیر نیست، زیرا نشان دهنده این است که هر دو جزء به یک اندازه در فاز مایع و بخار وجود دارند. هر قدر  $\alpha$  از یک بزرگ تر باشد تفکیک ساده تر انجام می شود.  
 فشاریت نسبی در محلول های ایده آل<sup>۲</sup>، براساس فشار بخارهای اجزا محاسبه می شود، به صورت رابطه زیر:

$$\alpha_{AB} = \frac{P_{VA}}{P_{VB}} \quad \text{رابطه (۱۱-۲)}$$

در رابطه (۱۱-۲)،  $P_V$  نماد فشار بخار است.

۱- کسر مولی نسبت تعداد مول هر جزء به کل مول های موجود است (mole Fraction)

۲- محلول ایده آل محلولی است که دارای شرایط زیر باشد:

الف) تغییر نیافتن نیروهای بین مولکولی در اثر اختلاط

ب) تغییر نیافتن حجم در اثر اختلاط

ج) جذب یا دفع نشدن انرژی حرارتی در اثر اختلاط

د) فشار بخار محلول با کسر مولی اجزای تشکیل دهنده آن متناسب باشد.

واضح است با این شرایط، محلول ایده آل واقعاً وجود ندارد ولی این فرض برای حل مسائل و محاسبات لازم است.

۳- این رابطه در مسئله ۲ خودآزمایی فصل ۱۱ معرفی شده است.

## فعالیت

تهیه تصاویر بزرگی از یک برج سینی دار و آکنده جهت تدریس :

دو شکل ۵-۱۱ و ۶-۱۱ کتاب درسی برای تدریس هفته آینده مرجع خوبی هستند. از هنرجویان خواسته شود تصاویر بزرگ این دو شکل را داوطلبانه تهیه کنند. آنها می توانند این دو شکل را به صورت دستی یا با دستگاه کپی در ابعاد بزرگ تهیه کنند و به کلاس درس بیاورند و امتیاز بگیرند. برای این فعالیت دو هنرجو کافی است.

## فعالیت

تهیه تصاویر از سایت های اینترنتی :

هنرآموز محترم با آموزش کلمات کلیدی، مانند

Tray Towers – Packing Towers – Packings – Trays

و روش تحقیق در سایت ها، از هنرجویان بخواهند تصاویری از این وسایل تهیه کنند و به صورت مجموعه درآورند و ارائه دهند و امتیاز کسب کنند. برای این کار نیاز به گروه بندی هنرجویان است که به انتخاب خودشان، انجام می شود.

برنامه زمان بندی هفته بیست و هشتم			دقیقه
۱	آماده کردن کلاس (احوالپرسی، حضور و غیاب)	۵	
۲	رفع اشکال	۱۰	
۳	پرسش	۳۰	
۴	تدریس	۸۰	
۵	استراحت میان تدریس (دو نوبت)	۱۰	

### سوالات پیشنهادی

- ۱- تقطیر را تعریف کنید.
- ۲- عمل تقطیر برای جداسازی چه نوع مخلوط‌هایی است؟ مثال بزنید.
- ۳- در چه مواردی امکان استفاده از عمل تقطیر وجود دارد؟
- ۴- متداول‌ترین و مهم‌ترین عمل در میان عملیات جداسازی، چیست؟
- ۵- تقطیر براساس دو فرآیند فیزیکی انجام می‌شود، آنها را نام ببرید.
- ۶- دلیل جدا شدن مواد در فرآیند تقطیر چیست؟
- ۷- چهار خصوصیت برای «جزء سبک» در تقطیر ذکر کنید.
- ۸- چهار خصوصیت برای «جزء سنگین» در تقطیر ذکر کنید.
- ۹- «قابلیت تبخیر یا فراریت» چیست؟
- ۱۰- اگر مخلوطی از پنتان و هگزان داشته باشیم، مقدار کدامیک در محصول بالای برج بیشتر است؟ چرا؟
- ۱۱- در چه صورت بازده عمل تقطیر بالاتر است؟
- ۱۲- انواع تقطیر را نام ببرید.
- ۱۳- مختصراً توضیح دهید «تقطیر ساده» چگونه انجام می‌شود.
- ۱۴- تجهیزات لازم برای انجام یک «تقطیر ساده» را نام ببرید.
- ۱۵- آیا در تقطیر ساده، امکان تولید محصولات به صورت خالص وجود دارد؟ توضیح دهید.
- ۱۶- هدف اصلی از «تقطیر ساده» چیست؟
- ۱۷- تقطیر ساده از نظر عملیاتی، چگونه انجام می‌شود؟
- ۱۸- دلیل اصلی خالص نبودن محصولات در تقطیر ساده، چیست؟
- ۱۹- «تبخیر ناگهانی» را مختصراً توضیح دهید.
- ۲۰- «تبخیر ناگهانی» و تقطیر ساده را از نظر شرایط عملیاتی فشار و دما و درجه خلوص محصولات مقایسه کنید.

- ۲۱- برای رسیدن به درجه خلوص بالا در تقطیر، چه نوع تقطیری پیشنهاد می‌کنید؟
- ۲۲- «نفت خام با دمای  $440^{\circ}\text{K}$  و فشار  $900\text{ kPa}$  وارد یک مخزن لوله‌ای می‌شود و در دمای  $520^{\circ}\text{K}$  و فشار  $400\text{ kPa}$  آن را ترک می‌کند و وارد برج تقطیر می‌شود.» مشخص کنید :  
اولاً به نظر شما در این مخزن لوله‌ای چه دستگاه‌هایی وجود دارد؟  
ثانیاً این فرآیند، چه نوع تقطیری را نشان می‌دهد؟
- ۲۳- چرا سرعت «تبخیر ناگهانی» از تقطیر ساده بیشتر است؟
- ۲۴- در تقطیر جزء به جزء ناپیوسته، زمان چگونه و بر چه اساسی تعیین می‌شود؟
- ۲۵- در تقطیر جزء به جزء ناپیوسته، ترکیب محصولات بالای برج به چه عواملی بستگی دارد؟
- ۲۶- در تقطیر جزء به جزء، چرا بخشی از محصول به برج بازگشت داده می‌شود؟
- ۲۷- در تقطیر جزء به جزء، بالاترین درصد خلوص برای محصول بالای برج چه زمانی است؟ و با ادامه کار برج این درصد چگونه تغییر می‌کند؟ چرا؟
- ۲۸- در تقطیر ناپیوسته، عامل مهمی که در خلوص محصول نقش دارد، چیست؟
- ۲۹- تجهیزات یک ستون تقطیر را نام ببرید.
- ۳۰- «مایع برگشتی» چیست؟
- ۳۱- گرمادهی در ستون تقطیر چگونه انجام می‌شود؟
- ۳۲- نقش هر سینی در ستون تقطیر چیست؟
- ۳۳- در ستون تقطیر، بخار که به طرف بالای برج حرکت می‌کند ..... و به عکس مایع برگشتی از بالای برج با پایین آمدن ..... می‌شود.
- ۳۴- در ستون تقطیر، خوراک از چه قسمتی به برج وارد می‌شود؟ چرا؟
- ۳۵- بخش «تصفیه» و «عاری‌سازی» را در یک ستون تقطیر مشخص کنید.
- ۳۶- از نظر عملیاتی، کدام نوع تقطیر ارجح است؟ چرا؟
- ۳۷- از نظر فشار عملیاتی، برج‌های تقطیر چگونه می‌توانند کار کنند؟ اقتصادی‌ترین روش کدام است؟ در چه مواردی نمی‌توان با این روش کار کرد؟
- ۳۸- خوراک‌های سنگین در چه فشاری تقطیر می‌شوند؟ چرا؟
- ۳۹- چرا خوراک‌های سنگین را نمی‌توان در فشار اتمسفری تقطیر کرد؟
- ۴۰- خوراک‌های سبک در چه فشاری تقطیر می‌شوند؟ چرا؟
- ۴۱- چرا خوراک‌های سبک را نمی‌توان در فشار اتمسفری تقطیر کرد؟
- ۴۲- خوراک‌های سنگین را در فشار ..... و خوراک‌های سبک را در فشار ..... تقطیر می‌کنند.
- ۴۳- برای جدا کردن برش روغن از نفت خام از برج تقطیر در ..... استفاده می‌کنند.
- ۴۴- برای جدا کردن پروپان از بوتان از برج تقطیر در ..... استفاده می‌کنند.
- ۴۵- رابطه فشار و نقطه جوش مواد چیست؟



## پاسخ برخی از سؤالات پیشنهادی

پاسخ سؤال (۷): نقطه جوش پایین‌تر، فشار بخار بالاتر، مولکول‌های کوچک‌تر، قابلیت تبخیر (فشاریت)

بیشتر

یادآوری می‌شود خصوصیات جزء سنگین، که مورد سؤال (۸) است، در همه موارد وضعیت عکس دارد. پاسخ سؤال (۱۱): هر چه اختلاف نقطه جوش اجزا نسبت به هم، بیشتر باشد یا به عبارت دیگر، فشاریت نسبی اجزا نسبت به هم بیشتر باشد، درجه خلوص محصولات بیشتر و در نتیجه بازده تقطیر و کارایی آن بالاتر است. پاسخ سؤال (۱۴): تجهیزات لازم برای یک عمل تقطیر ساده عبارت‌اند از:

۱- مخزن خوراک      ۲- سیستم گرمایشی مانند ژاکت حرارتی      ۳- مبرد

پاسخ سؤال (۱۶): چون تقطیر ساده یک تقطیر یک مرحله‌ای است پس نباید از محصولات درجه خلوص بالا را انتظار داشت مگر اینکه اختلاف فشاریت اجزا نسبت به هم خیلی زیاد باشد. به طور کلی هدف اصلی از تقطیر ساده، تبدیل خوراک به اجزای سبک و سنگین است. به طور مثال در بسیاری از پالایشگاه‌های مجهز و معتبر، ابتدا نفت خام را با یک تقطیر ساده در فشار بالا، تقطیر می‌کنند تا اجزای سبک کاملاً از اجزای سنگین جدا شده و از بالای برج خارج شوند. سپس، بر روی هر کدام در فشارهای مناسب تقطیر مجدد انجام می‌دهند.

پاسخ سؤال (۲۰): از نظر فشار و دما، تبخیر ناگهانی با تقطیر ساده تفاوت دارد. در تبخیر یا تقطیر ناگهانی، با کاهش فشار و افزایش دما (نسبت به تقطیر ساده) خوراک را قبل از ورود به مخزن تقطیر، دو فازی می‌کنند تا به محض ورود، با سرعت بالا دو فاز از هم جدا شود. در نتیجه، از نظر سرعت انجام تفکیک نیز با هم تفاوت دارند که از این نظر تبخیر ناگهانی ارجح است. از نظر نوع عملیات، تبخیر ناگهانی معمولاً به صورت پیوسته انجام می‌شود، درحالی‌که تقطیر ساده را هم به صورت پیوسته و هم ناپیوسته می‌توان انجام داد.

از نظر درجه خلوص، چون هر دو یک مرحله‌ای هستند درجه خلوص بالایی ندارند.

پاسخ سؤال (۲۲): به طور طبیعی چون خوراک پس از خروج از مخزن لوله‌ای، به کاهش فشار و افزایش دما دچار می‌شود می‌توان حدس زد که در این مخزن به اصطلاح لوله‌ای کوره یا مبدل حرارتی جهت افزایش دما و مثلاً شیر فشار شکنی برای کاهش فشار وجود دارد.

نوع تقطیر: تقطیر ناگهانی

هنرآموز محترم می‌تواند از اعداد دیگری برای مطرح کردن این سؤال استفاده کند.

پاسخ سؤال (۲۴): در این نوع تقطیر، مدت عملیات را براساس درصد مورد انتظار جزء سبک در فاز بخار یا فاز مایع تعیین می‌کنند.

پاسخ سؤال (۲۶): به دلایل زیر، بخشی از محصول بالای برج به برج بازگشت داده می‌شود، که به نام «مایع برگشتی»<sup>۱</sup> معروف است:

۱- تأمین مایع روی سینی‌ها جهت خشک نشدن آنها

۲- تنظیم دمای برج

۳- دست‌یابی به درجه خلوص بالاتر

۴- ایجاد حالت پایدار<sup>۱</sup> برای برج

پاسخ سؤال (۲۹) :

۱- بدنه فلزی استوانه‌ای شکل

۲- سینی‌های سوراخ‌دار (یا آکنه‌ها)

۳- دستگاه جوش‌آور<sup>۲</sup> برای تأمین بخار آب

۴- کندانسور جهت میعان بخار خروجی از بالای برج

پاسخ سؤال (۳۱) : خوراک پس از عبور از یک کوره یا مبدل حرارتی به دمای لازم می‌رسد و به برج وارد می‌شود. در طول تقطیر ممکن است از بخار آب جهت تأمین حرارت استفاده شود.

پاسخ سؤال (۳۳) : سبک‌تر - سنگین‌تر

پاسخ سؤال (۳۴) : معمولاً خوراک در برج به جایی وارد می‌شود که جریان مایع یا بخار داخل برج تقریباً دارای همان ترکیب خوراک باشد و این عمل در حقیقت یک صرفه‌جویی در میزان انرژی است. (در مقایسه با اینکه خوراک از پایین وارد برج شود که در این صورت انرژی حرارتی بیشتری مورد نیاز است).

### ادامه تدریس فصل یازدهم

عناوین و مطالبی که در این هفته تدریس می‌شوند، عبارت‌اند از :

- تقسیم‌بندی برج‌های تقطیر از نظر نوع عملیات

- تقسیم‌بندی برج‌های تقطیر از نظر ساختمان داخلی

- ساختمان و عملکرد برج تقطیر سینی‌دار<sup>۳</sup>؛

- شکل برج و جنس آن

- شکل سینی‌ها

- سرریز یا بند

- ناودان

- چگونگی نصب سینی‌ها در برج (نحوه جریان مایع بر روی سینی‌ها)

- فاصله بین سینی‌ها

- نقش سینی‌ها

- محل ورود خوراک و خروج محصولات

- عملکرد برج

- انواع سینی‌ها و مقایسه آنها از جهات مختلف

- برج‌های تقطیر، از نظر نوع عملیات، به دو دسته پیوسته و ناپیوسته تقسیم می‌شوند.

---

۱- Steady State

۲- Reboiler

۳- تدریس برج تقطیر سینی‌دار، با استفاده از شکل‌های (۱۱-۶) الی (۱۱-۱۵) کتاب درسی عملیات دستگاهی، انجام می‌شود.

– برج‌های تقطیر سینی‌دار جهت انجام سه فرآیند جداسازی تقطیر، جذب<sup>۱</sup> و استخراج، در واحدهای صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

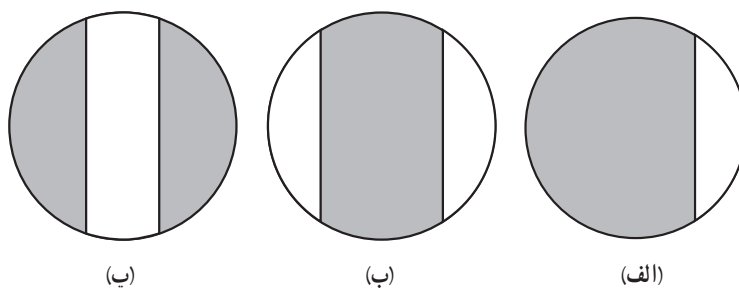
در شکل ۱۱-۳، تعدادی برج تقطیر سینی‌دار در یک واحد صنعتی مشاهده می‌شود :



شکل ۱۱-۳- برج‌های تقطیر سینی‌دار

– تدریس قسمت‌های داخلی برج‌های سینی‌دار و عملکرد آنها، با استفاده از شکل‌های مربوطه انجام می‌شود.<sup>۲</sup>

– در رابطه با شکل سینی‌ها : همیشه قطر فعال<sup>۳</sup> سینی‌ها، کمتر از قطر برج می‌باشد زیرا جهت حرکت مایع در برج، فضایی در نظر گرفته می‌شود که به «ناودان» معروف است، این فضا، براساس میزان جریان مایع نسبت به بخار، به شکل‌های مختلفی طراحی می‌شود. شکل ۱۱-۴، نمای بالای یک سینی را با طرح‌های مختلفی از ناودان، نشان می‌دهد :



شکل ۱۱-۴- طراحی ناودان بر روی سینی‌ها

شکل ۱۱-۴- الف، جهت جریان‌های متوسط مایع و بخار است. نحوه جریان مایع بر روی این سینی‌ها، «مقاطع<sup>۴</sup>» نام دارد. در جریان‌های بالا، یک ناودان کفایت نمی‌کند و معمولاً دو نوع (ب) و (پ) را به صورت یک در میان، به کار می‌برند و به آن «جریان

۱- گفتنی است شکل (۱۱-۶) کتاب درسی عملیات دستگاهی، برج سینی‌داری را نشان می‌دهد که جهت انجام یک فرآیند جذب گازی، مورد استفاده قرار گرفته است.

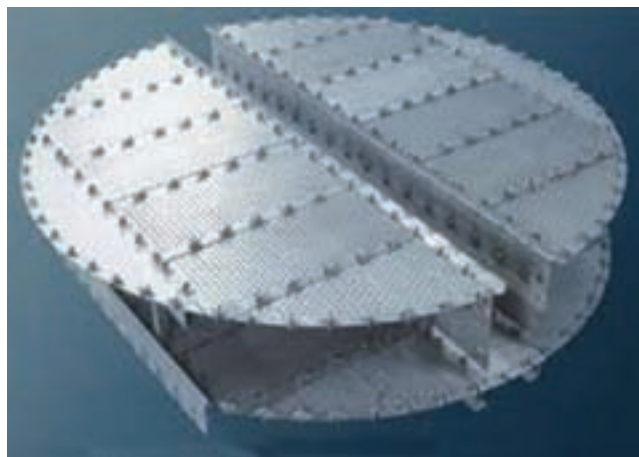
۲- شکل‌های (۱۱-۵) الی (۱۱-۱۵)، همچنین تصویر بزرگ شده شکل‌های (۱۱-۵) و (۱۱-۶) کتاب که به صورت فعالیت، مطرح شده بود نیز می‌توانند مورد استفاده قرار

گیرند.

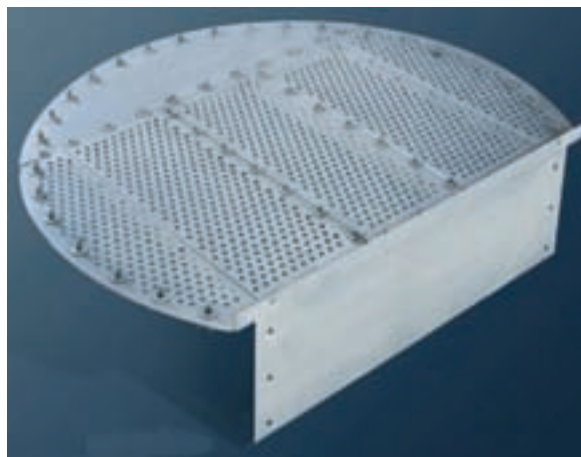
۳- منظور از قطر فعال سینی، قسمتی از سینی است که جهت عبور بخار و تماس دوفاز مایع و بخار در نظر گرفته می‌شود.

۴- Cross Flow (Single Pass Flow)

دوگذره<sup>۱</sup> می‌گویند. این دو نوع جریان مایع بر روی سینی‌ها، در شکل‌های ۵-۱۱ و ۶-۱۱ مشاهده می‌شود.



شکل ۶-۱۱- جریان دوگذره



شکل ۵-۱۱- سینی تک گذره (جریان متقاطع)

— معرفی انواع سینی‌ها : جهت سهولت در فرآیند یاددهی و یادگیری این بخش، با توجه به تصاویر هر کدام از سینی‌ها، خصوصیات آنها با عناوین مزایا و معایب بیان می‌شوند. به این ترتیب مقایسه‌ای بین سینی‌های مختلف نیز انجام شده است، برای مثال؛



شکل ۷-۱۱- سینی غربالی

خصوصیات سینی‌های غربالی<sup>۲</sup>؛ (شکل ۷-۱۱)

مزایا :

- ۱- ساخت ساده و ارزان
- ۲- مقاوم در برابر گرفتگی (قابل استفاده برای مایعات رسوب‌زا یا دارای جامدات معلق)
- ۳- افت فشار کم
- ۴- تعمیرات و نظافت آسان

معایب :

- ۱- انعطاف پذیری کم در برابر تغییرات جریان مایع و بخار (فقط برای جریان‌های ثابت قابل استفاده هستند).
  - ۲- سطح تماس کم دو فاز مایع و بخار
- به روش مشابه، خصوصیات سینی‌های دریچه‌ای<sup>۳</sup> و کلاهکی<sup>۴</sup> بیان می‌شوند. در شکل‌های ۸-۱۱ و ۹-۱۱ به ترتیب نمایی از سینی‌های دریچه‌ای و کلاهکی مشاهده می‌شوند.

۱ \_ Double Pass Flow

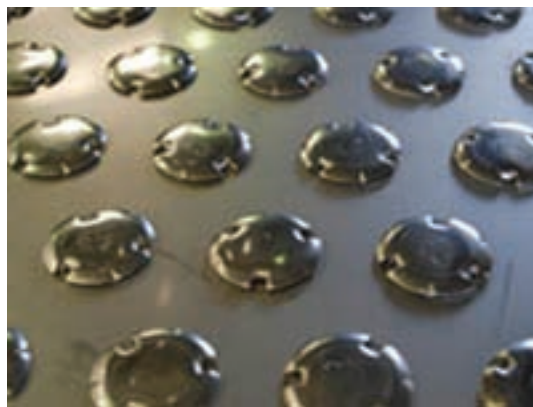
۲ \_ Sieve Trays

۳ \_ Valve Trays

۴ \_ Bubble – Cap Trays



شکل ۱۱-۹- سینی کلاهی



شکل ۱۱-۸- سینی دریچه‌ای

ساده‌ترین نوع سینی، سینی غربالی است. روی این سینی‌ها، سوراخ‌هایی جهت عبور بخار به سمت بالا وجود دارد که به آنها «بالا برنده بخار» می‌گویند. به منظور ایجاد شرایط مناسب‌تر جهت توزیع بخار در مایع و تماس بیشتر این دو فاز، کلاهک‌ها یا دریچه‌هایی روی سوراخ‌ها نصب می‌شوند.

در مقایسه، می‌توان سینی‌های دریچه‌ای را بهترین سینی معرفی و انتخاب کرد، زیرا سطح تماس نسبتاً زیاد، افت فشار نسبتاً کم، قابلیت استفاده در شدت جریان‌های متغیر مایع و بخار و قیمت نسبتاً مناسب دارند.

— ذکر این نکته ضروری است که قسمت‌های مختلف یک برج سینی‌دار، همه براساس محاسبات دقیق و هدفمند طراحی می‌شوند، برای مثال؛

ارتفاع بند یا سرریز، که باید در حد بهینه باشد زیرا بلند بودن آن باعث افت فشار زیاد فاز بخار می‌شود و کوتاه بودن آن، مانع از تماس لازم دو فاز مایع و بخار بر روی سینی‌ها می‌شود و در نتیجه فرصت کافی جهت انتقال حرارت و انتقال جرم، وجود ندارد و بازده برج کاهش می‌یابد. و یا تعیین تعداد سینی‌های لازم و محل ورود خوراک به برج، مثالی دیگر است که با روش‌های مختلف محاسبه می‌شوند.<sup>۲</sup>

— در رابطه با فواصل بین سینی‌ها : تعیین فاصله بین سینی‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است، به دلایل زیر :

۱- در اثر فشار بخار، مقداری از قطرات مایع به زیر سینی بالاتر حمل می‌شود، فاصله مناسب بین سینی‌ها، به این قطرات فرصت بازگشت می‌دهد.

۲- در اثر انتقال حرارت از بخار به مایع روی سینی‌ها، ممکن است بعضی از مولکول‌های مایع که متعلق به سینی‌های بالاتر نیستند، نیز تبدیل به بخار شوند، فاصله بین سینی‌ها موجب می‌شود که این گونه مولکول‌ها دوباره به مایع تبدیل شوند و به پایین برج برگردند و در سینی مخصوص خود قرار گیرند.

۳- در فواصل بین سینی‌ها از دریچه‌های آدمرو، برای تعمیرات استفاده می‌شود.

۲- دو روش برای محاسبه تعداد سینی‌های ایده‌آل و محل ورود خوراک وجود دارد :

الف) روش تقریبی و سریع مک کیب – تیل (McCabe – Thiele)

ب) روش دقیق پانچون – ساواریت (Panchon – Savarit)

هنر آموزان برای کسب اطلاعات بیشتر می‌توانند به کتاب عملیات واحدها (unit operation) اثر McCabe – Smith مراجعه کنند (فصل ۱۹).

## دانستنی (۲)

واحد تقطیر: به طور کلی در هر واحد تقطیر، سه دستگاه اصلی مشاهده می‌شود:

ستون تقطیر<sup>۱</sup>، جوش‌آور<sup>۲</sup>، کندانسور<sup>۳</sup>

این سه دستگاه در ارتباط با یکدیگر کار می‌کنند، به طوری که اختلال در کار هر کدام اثر نامطلوبی بر بازده واحد می‌گذارد.

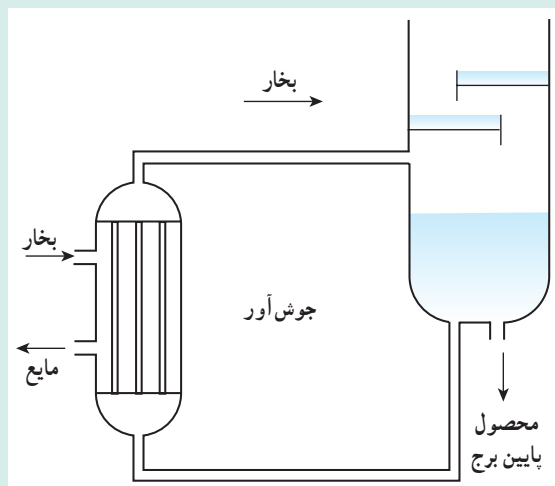
در ستون‌های تقطیر تعدادی سینی یا آکنه جهت تماس فازهای مایع و بخار وجود دارد. در یک برج تقطیر سینی‌دار، جریان مایع و بخار به صورت غیر همسو حرکت کرده و روی سینی‌ها با هم انتقال حرارت و انتقال جرم انجام می‌دهند. هر سینی یک مرحله تقطیر تلقی می‌شود.

در آغاز عملیات<sup>۴</sup>، همه خروجی محصول بالای برج بعد از عبور از کندانسور به صورت مایع به بالاترین سینی برگردانده می‌شود<sup>۵</sup> ولی بعد از مدتی که برج به حالتی<sup>۶</sup> می‌رسد که هر جزء در سینی مخصوص خود قرار می‌گیرد، فقط بخشی از آن به نام مایع برگشتی به برج برگردانده می‌شود که در درجه خلوص محصول بالای برج، نقش مؤثری دارد. مایع برگشتی در حقیقت موجب مایع شدن قسمتی از بخارات بالای برج می‌شود و در نتیجه اجزای غیر فرار سریع‌تر به مایع تبدیل می‌شوند و به پایین می‌ریزند و غلظت اجزای فرار در محصول بالای برج افزایش می‌یابد.

جوش‌آور: جوش‌آورها، مبدل‌های حرارتی و در واقع منبع تأمین انرژی حرارتی هستند که در قسمت پایین برج تقطیر قرار دارند. مایع خروجی از برج، به جوش‌آور وارد می‌شود و در اثر تماس غیر مستقیم با بخار آب یا روغن داغ،

مجدداً تبخیر نسبی می‌شود. بخار حاصل وارد برج می‌شود و مایع باقی مانده به صورت محصول پایین برج تقطیر، جمع‌آوری می‌گردد. طرح یک نوع جوش‌آور در شکل ۱۱-۱۰ مشاهده می‌شود<sup>۷</sup>.

کندانسور: کندانسور یک مبدل حرارتی است که در بالای برج تقطیر جهت مایع بخار خروجی از برج، استفاده می‌شود. سیال سرد می‌تواند آب یا هوای سرد باشد.



شکل ۱۱-۱۰ - یک نوع جوش‌آور

۱- Distillation Column

۲- Reboiler

۳- Condensor

۴- Start up

۵- Total Reflux

۶- Steady state

۷- جوش‌آورها به طرق مختلف در واحد تقطیر مورد استفاده قرار می‌گیرند. نوعی از آنها به صورت لوله‌های حاوی بخار درون مخزن است که مایع خروجی از برج در آن قرار

دارد. شکل از کتاب «آشنایی با مهندسی شیمی» تألیف مختاریان و محمد نصیری انتخاب شده است.

### دانستنی (۳)

عوامل مؤثر در بازده تفکیک :

۱- سطح تماس دو فاز : هر چه سطح تماس دو فاز بیشتر باشد انتقال جرم، که عامل تفکیک است، بیشتر انجام می‌شود. افزایش سطح تماس از دو طریق کلی محقق می‌شود :

الف) کوچک کردن اندازه حباب‌های بخار (گاز)

ب) استفاده از برج‌های آکنده

۲- زمان تماس دو فاز : هر چه زمان تماس دو فاز بیشتر باشد، بازده تفکیک بیشتر می‌شود. افزایش زمان تماس به طرق زیر امکان پذیر است :

الف) در برج‌های سینی‌دار، حتی‌المقدور ارتفاع مایع روی سینی‌ها زیاد باشد.

ب) در برج‌های آکنده، تخلخل آکنه‌ها در این امر مؤثر است.

۳- سرعت حرکت حباب‌های بخار (گاز) : افزایش سرعت حرکت حباب‌های بخار در فاز مایع، به هم خوردگی را بیشتر می‌کند و در نتیجه انتقال جرم مؤثرتر می‌شود.

۴- افت فشار : افت فشار در برج‌ها بسیار مسئله ساز و ناشی از حرکت رو به بالای سیالات است. مثلاً در برج‌های تقطیر عبور بخار از سینی‌ها و ارتفاع مایع روی آنها یا از میان آکنه‌ها، افت فشار ایجاد می‌کند که باعث بروز مشکلاتی در کار برج خواهد شد که بیشتر متوجه مصرف انرژی است. در اثر افت فشار زیاد، فشار در پایین برج بالا می‌رود و در نتیجه نقطه جوش اجزا نیز بالا می‌رود و برای تقطیر، به انرژی حرارتی بیشتری نیاز است که در این صورت ممکن است به تجزیه شیمیایی و تغییر خواص مواد منجر گردد.

در کل، هر چه مسیر عبور بخار باریک‌تر و ارتفاع مایع روی سینی‌ها بیشتر یا تخلخل آکنه‌ها بیش از حد لازم باشد افت فشار بیشتر خواهد بود.

به منظور اطمینان از عملکرد برج، در نقاط مختلف آن فشارسنج، دماسنج و شیرهای نمونه‌گیری نصب می‌کنند.



برنامه زمان بندی هفته بیست و نهم			دقیقه
۱	آماده کردن کلاس (احوالپرسی، حضور و غیاب)	۵	
۲	رفع اشکال	۱۰	
۳	پرسش	۳۰	
۴	تدریس	۸۰	
۵	استراحت میان تدریس (دو نوبت)	۱۰	

### سؤالات پیشنهادی

- ۱- برج های تقطیر براساس ساختمان داخلی شان، به چند دسته تقسیم می شوند، آنها را نام ببرید.
- ۲- شکل و جنس برج های سینی دار به چه صورت است؟
- ۳- در یک برج تقطیر سینی دار، نقش ناودان و سرریز را تعریف کنید.
- ۴- در یک برج تقطیر سینی دار، حرکت مایع و بخار چگونه است؟ و روی هر سینی چگونه تفکیک صورت می گیرد؟
- ۵- مایعی که از هر سینی سرریز می شود به صورت ..... است.
- ۶- به چه دلیل فاصله سینی ها باید به اندازه کافی باشد؟
- ۷- رابطه قطر برج و فاصله سینی ها چگونه است؟
- ۸- نحوه جریان مایع بر روی سینی ها به چه عاملی بستگی دارد؟
- ۹- به چند صورت مایع بر روی سینی ها جریان می یابد؟ نام ببرید.
- ۱۰- برای جریان های متوسط مایع و گاز، مایع به چه صورت روی سینی ها حرکت می کند؟
- ۱۱- برای جریان های بالای مایع، نحوه حرکت مایع روی سینی ها چگونه است؟
- ۱۲- در برج های با قطر بزرگ، نحوه جریان مایع بر روی سینی چگونه است؟
- ۱۳- انواع سینی های مورد استفاده در برج های تقطیر را نام ببرید.
- ۱۴- خصوصیات (معايب و مزایا) سینی غربالی را بنویسید.
- ۱۵- ساده ترین و ارزان ترین نوع سینی کدام است؟
- ۱۶- سینی ها را از نظر قیمت از پایین به بالا، ردیف کنید.
- ۱۷- کدام یک از سینی ها در برابر گرفتگی، مقاوم هستند؟
- ۱۸- برای جریان ثابت مایع و بخار، کدام سینی مناسب تر است؟
- ۱۹- یک سینی غربالی را چگونه می سازند؟



- ۲۰- قطر سوراخ‌ها در سینی‌های دریچه‌ای ..... از قطر آنها سینی‌های غربالی است.
- ۲۱- عملکرد دریچه‌ها در سینی‌های دریچه‌ای چگونه است؟
- ۲۲- معایب سینی دریچه‌ای را نسبت به غربالی نام ببرید.
- ۲۳- انعطاف پذیری سینی‌های دریچه‌ای را با سینی‌های غربالی مقایسه کنید.
- ۲۴- کدامیک برای جریان‌های متغیر مایع و بخار کاربرد دارد؟ دریچه‌ای - غربالی
- ۲۵- دو نمونه از انواع سینی‌های دریچه‌ای را نام ببرید.
- ۲۶- دو نوع سینی را که برای جریان‌های متغیر مایع و بخار کاربرد دارند، نام ببرید.
- ۲۷- قابلیت انعطاف سینی‌های کلاهکی در برابر تغییر جریان خوراک ..... است.
- ۲۸- به چه دلیل امروزه، استفاده از سینی‌های کلاهکی منسوخ شده است؟

### پاسخ سؤالات پیشنهادی

پاسخ همه سؤالات در متن کتاب وجود دارد پس نیازی به تکرار آنها نیست.

### ادامه تدریس فصل یازدهم

عناوین و مطالبی که در این هفته تدریس می‌شوند، عبارت‌اند از:

- معرفی برج‌های آکنده
- کاربردهای برج‌های آکنده در فرآیندهای مختلف صنایع شیمیایی
- مورد استفاده قرار دادن یا ندادن برج‌های آکنده به جای سینی‌دار
- ساختمان و عملکرد برج تقطیر آکنده<sup>۱</sup>
- نقش آکنده‌ها
- نحوه چیدمان آکنده‌ها در برج
- کاربرد صفحات نگهدارنده
- انواع آکنده‌ها
- خصوصیات آکنده مناسب
- خصوصیات مواد جامد خرد شده
- خصوصیات آکنده‌های شکل داده شده
- انواع متداول آکنده‌های شکل داده شده
- خصوصیات آکنده‌های شکل داده شده سرامیکی
- مواردی که تحت تأثیر اندازه آکنده‌ها هستند
- خصوصیات آکنده منظم
- مقایسه انواع آکنده‌ها

— میزان انتقال جرم<sup>۱</sup> بین فازها، در برج‌های آکنده<sup>۲</sup> بیشتر از برج‌های سینی‌دار است زیرا :  
آکنده‌ها<sup>۳</sup> به سبب شکل خاصی<sup>۴</sup> که دارند، سطح و زمان تماس بیشتری را در اختیار فازها قرار می‌دهند. ولی به همین دلیل، میزان افت فشار فاز بخار نیز، بیشتر می‌شود که با انتخاب آکنده‌های مناسب، می‌توان مقدار آن را در حد قابل ملاحظه‌ای کاهش داد.  
— خصوصیات آکنه مناسب<sup>۵</sup> :

- سطح زیاد و قابل دسترس
- وزن کم
- مقاومت مکانیکی بالا
- مقاومت شیمیایی بالا
- مقاوم در برابر خوردگی
- ایجاد افت فشار کم
- قیمت مناسب

#### دانستنی (۴)

— آکنده‌ها از جهات مختلف از جمله شکل، جنس، عملکرد، کاربرد، چیدمان در برج و ... دسته‌بندی می‌شوند.

آکنده‌ها به دو دسته کلی تقسیم‌بندی می‌شوند :

۱- آکنده‌های نامنظم      ۲- آکنده‌های منظم

۱- آکنه نامنظم : رایج‌ترین و پرکاربردترین نوع آکنه، آکنه‌های نامنظم هستند، که ممکن است به جهت محدودیت مالی، از ضایعات بعضی کارخانه‌ها تهیه شوند یا در شکل‌های مختلف با طراحی‌های حساب شده از نظر میزان سطح تماس و افت فشار، ساخته شوند که طبعاً قیمت بالاتری دارند. معمولاً نحوه چیدمان این گونه آکنده‌ها در برج، نامنظم است.

دسته‌بندی آکنده‌ها از نظر جنس و کاربرد : سرامیکی، پلاستیکی و فلزی

۱- آکنه‌های نامنظم سرامیکی؛ خصوصیات

— مقاوم در برابر خوردگی (قابل استفاده در محیط‌های اسیدی و قلیایی)

— مقاومت مکانیکی پایین (شکننده)

— مقاومت شیمیایی بالا

— ایجاد افت فشار بالا

— قابلیت ترشوندگی مناسب

۱- عامل اصلی جداسازی مواد از یکدیگر، انتقال جرم آنها بین فازهاست.

۲- یا برج‌های پر شده

۳- یا پرکن‌ها

۴- معمولاً آکنده‌ها را متخلخل می‌سازند تا سطح گسترده‌ای را جهت تماس بیشتر ایجاد کنند.

۵- در انتخاب آکنده‌ها، باید به این خصوصیات توجه کرد.



شکل ۱۱-۱۱- آکنه‌های نامنظم سرامیکی

– قابل استفاده در دماهای بالا  
تعدادی از آکنه‌های نامنظم سرامیکی، در شکل ۱۱-۱۱ مشاهده می‌شود.

## ۲- آکنه‌های نامنظم پلاستیکی؛ خصوصیات



شکل ۱۱-۱۲- آکنه‌های نامنظم پلاستیکی

– مقاوم در برابر خوردگی  
– مقاومت مکانیکی مناسب  
– مقاومت شیمیایی مناسب  
– قابلیت ترشوندگی محدود (پلاستیک‌ها آب گریز هستند).  
– محدودیت استفاده در دماهای بالا  
– شکل پذیری بالا  
تعدادی از آکنه‌های نامنظم پلاستیکی در شکل ۱۱-۱۲ مشاهده می‌شود.

## ۳- آکنه‌های نامنظم فلزی؛ خصوصیات



شکل ۱۱-۱۳- آکنه‌های نامنظم فلزی

– غیر قابل استفاده در محیط‌های خورنده  
– مقاومت مکانیکی بالا  
– قابل استفاده در دماهای بالا  
– قابلیت ترشوندگی مناسب  
تعدادی از آکنه‌های نامنظم فلزی در شکل ۱۱-۱۳ مشاهده می‌شود.

در کل، استفاده از آکنه‌های پلاستیکی و فلزی رایج‌تر است. در صورت انتخاب آکنه‌های فلزی، آلیاژی انتخاب می‌شود که مقاومت لازم در محیط‌های خورنده را داشته باشد.

آکنه‌های نامنظم به شکل‌های زیر ساخته می‌شوند :



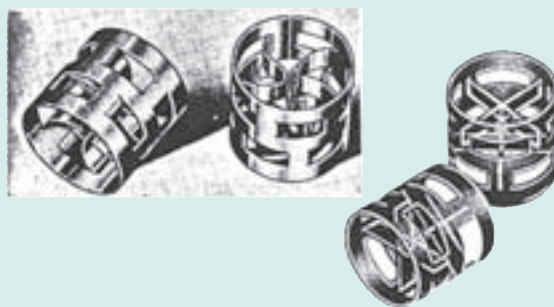
شکل ۱۱-۱۵- آکنه اینتالوکس



شکل ۱۱-۱۴- حلقه‌های راشیگ



شکل ۱۱-۱۷- آکنه اینتالوکس زین اسبی

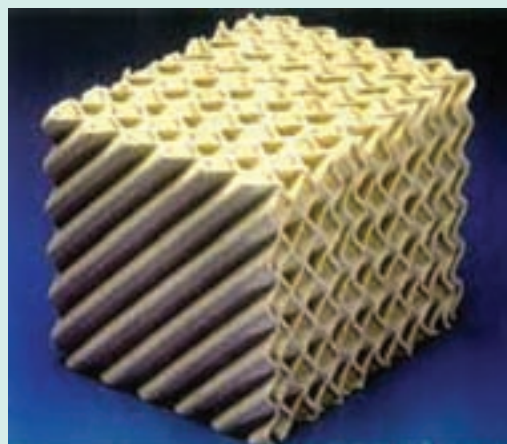


شکل ۱۱-۱۶- حلقه‌های پال

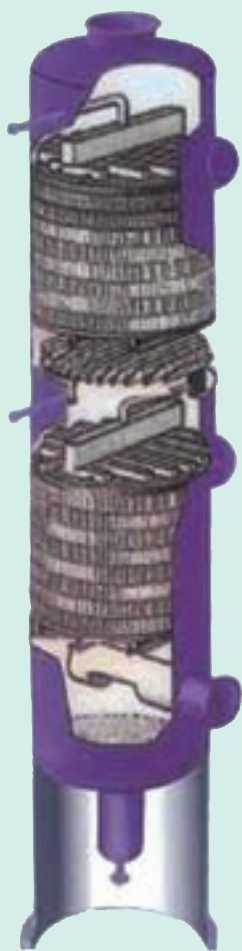
۲- آکنه منظم : شکل‌های ۱۱-۱۸ تا ۱۱-۲۱ تصاویری از آکنه‌های منظم هستند که به دلیل طراحی مناسب، افت فشار کمتر و سطح تماس بیشتر را در برج فراهم می‌سازند و در نتیجه بازدهی را افزایش می‌دهند.



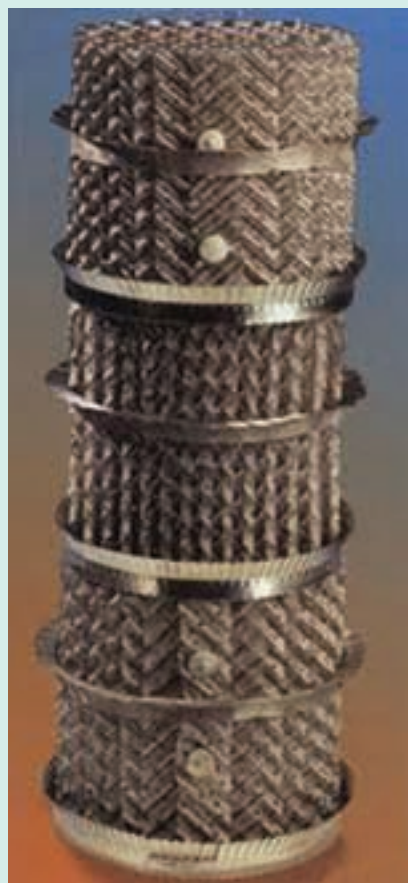
شکل ۱۱-۱۹- آکنه منظم



شکل ۱۱-۱۸- آکنه منظم



شکل ۱۱-۲۱- نمایی از یک برج آکنده



شکل ۱۱-۲۰- آکنه منظم

## دانستنی (۵)

**اختلال در کار برج تقطیر:** کنترل نسبت جریان گاز (بخار) به مایع در برج‌های تقطیر بسیار مهم است، به طوری که اگر این نسبت از یک حدی بیشتر شود، گاز قسمتی از مایع روی سینی‌ها را با خود به سمت سینی‌های بالاتر حمل می‌کند و به مرور فاصله بین سینی‌ها از مایع و کف پر می‌شود که به این پدیده «ماندگی مایع»<sup>۱</sup> می‌گویند و در اثر آن، بازده برج کاهش می‌یابد. برای جلوگیری از بروز این پدیده، سرعت گاز را باید کم کرد. و اگر این نسبت از یک حدی کمتر شود، امکان بارش و ریزش مایع از سوراخ‌های سینی فراهم می‌شود که در این صورت حرکت گاز یا بخار به سمت بالا مختل می‌شود و در نتیجه بازده برج کاهش می‌یابد. نام این پدیده «ریزش»<sup>۲</sup> است و برای کنترل آن، باید سرعت گاز را کاهش داد.

۱- Liquid Entrainment

۲- Wierping

برنامه زمان بندی هفته سیام			دقیقه
۱	آماده کردن کلاس (احوالپرسی، حضور و غیاب)	۵	
۲	رفع اشکال	۱۰	
۳	پرسش	۳۰	
۴	تدریس	۸۰	
۵	استراحت میان تدریس (دو نوبت)	۱۰	

### سوالات پیشنهادی

- ۱- برج های آکنده در چه فرآیندهایی استفاده می شوند؟ آنها را نام ببرید.
- ۲- در چه مواردی برج های آکنده جایگزین برج های سینی دار می شوند؟
- ۳- در چه مواردی استفاده از برج های آکنده، توصیه نمی شود؟ چرا؟
- ۴- حرکت مایع و بخار در برج های آکنده چگونه است؟
- ۵- آکنده ها با چه هدفی استفاده می شوند؟
- ۶- سه خصوصیت مهم آکنده ها را ذکر کنید.
- ۷- «صفحات نگه دارنده» به چه منظور در برج های آکنده استفاده می شوند و باید دارای چه خصوصیتی باشند؟
- ۸- دلیل استفاده از «توزیع کننده مایع و گاز» چیست؟ و چه زمانی از «صفحات توزیع کننده میانی» استفاده می کنند؟
- ۹- انواع آکنده ها را نام ببرید.
- ۱۰- خصوصیات «مواد جامد خرد شده» را به عنوان آکنه ذکر کنید (معایب و محاسن).
- ۱۱- چرا «مواد جامد خرد شده» کمتر مورد استفاده قرار می گیرند.
- ۱۲- انواع متداول آکنده های شکل داده شده را نام ببرید.
- ۱۳- کدام یک از آکنده های شکل داده شده، امروزه بیشتر استفاده می شوند؟ چرا؟
- ۱۴- معایب و محاسن آکنده های سرامیکی را بنویسید.
- ۱۵- اندازه آکنده ها، روی چه پارامترهایی از برج اثر دارند؟
- ۱۶- با افزایش اندازه آکنه، هزینه ساخت .....، افت فشار .....،  
سطح تماس .....، میزان انتقال جرم ..... و ارتفاع برج ..... خواهد یافت.
- ۱۷- نحوه چیدن مواد جامد خرد شده و آکنده های شکل داده شده در برج چگونه است؟
- ۱۸- دلایل استفاده از آکنده های منظم را بیان کنید.
- ۱۹- ساختمان آکنده های منظم از چه قسمت هایی تشکیل شده اند؟



## پاسخ سؤالات پیشنهادی

پاسخ سؤالات مذکور، در متن کتاب موجود است و تنها چند مورد از آنها نیاز به توضیح دارد.

— پاسخ سؤال (۶) :

۱- سطح تماس مناسب ۲- خروج آسان مایع ۳- ایجاد افت فشار کم  
پاسخ سؤال (۱۶) : کاهش - کاهش - کاهش - افزایش

## ادامه تدریس فصل یازدهم

عناوین و مطالبی که در این هفته تدریس می‌شود، عبارت‌اند از :

- موارد استفاده استخراج به جای تقطیر
- تعریف «استخراج مایع - مایع»
- معرفی اجزای موجود در یک فرآیند استخراج
- تشریح فرآیند استخراج پی در پی (چند مرحله‌ای)
- تعریف جداسازی نسبی، در فرآیند استخراج
- تعریف استخراج دو حلالی یا جزئی
- مشخصات حلال
- انواع برج‌های استخراج (ذکر نام دستگاه‌ها)
- دو عمل موجود در یک مرحله استخراج
- فاکتورهای تعیین کننده تعداد مراحل استخراج
- تشریح هر یک از برج‌های استخراج
- مقایسه عملکرد و بازده برج‌های استخراج

## راهنمای تدریس

در آغاز به نظر می‌رسد که یاددهی و یادگیری هشت صفحه در یک هفته برای هنرآموزان و هنرجویان مشکل باشد، ولی با توجه به دانسته‌های قبلی هنرجویان در خصوص این فرآیند و آموزش دو برج سینی‌دار و آکنده در هفته‌های پیش، تدریس مطالب جدید در این مدت زمان امکان پذیر است.

توصیه می‌شود عناوین مطروحه با توجه به متن کتاب تدریس شود. در این قسمت تنها مواردی که نیاز به توضیح بیشتر دارند

بیان می‌شوند :

— بعد از ارائه تعریف فرآیند استخراج با حلال، راجع به اجزای موجود در آن، یعنی خوراک<sup>۱</sup>، حلال<sup>۲</sup>، فاز استخراج شده<sup>۳</sup> و

---

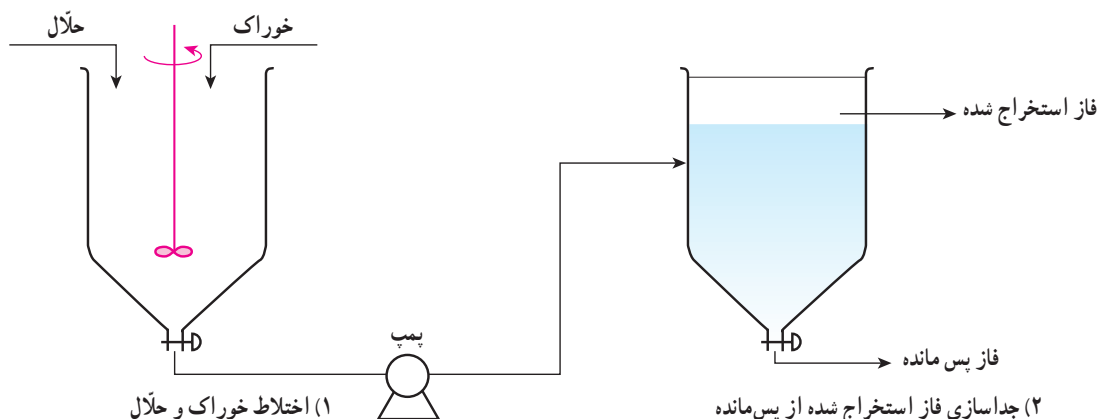
۱- Feed

۲- Solvent

۳- Extract

پس مانده<sup>۱</sup> توضیحانی داده می‌شود.

برای تشریح عملیات موجود در یک مرحله از فرآیند استخراج، می‌توان یک شکل ساده نیز رسم کرد (مانند شکل ۱۱-۲۲)<sup>۲</sup>



شکل ۱۱-۲۲- طرحی از فرآیند استخراج یک مرحله‌ای

در یک فرآیند استخراج یک مرحله‌ای، سه دستگاه اصلی وجود دارد که عبارت‌اند از:

۱- مخلوط‌کن<sup>۳</sup> جهت اختلاط خوراک و حلال

۲- پمپ برای انتقال مخلوط خوراک و حلال به جداکننده

۳- ته‌نشین کننده<sup>۴</sup> که در آن دو فاز نامحلول تشکیل شده به نام‌های «فاز استخراج شده» و «فاز پس مانده»، طی زمان معینی از یکدیگر جدا می‌شوند<sup>۵</sup>.

– هدف از انجام فرآیند استخراج پی در پی یا چند مرحله‌ای، افزایش بازده تفکیک جزء مورد نظر از خوراک است.

در فرآیند استخراج پی در پی، فاز استخراج شده و پس مانده، هر یک جداگانه به عنوان یک خوراک، عمل استخراج را تکرار

می‌کنند تا درصد خلوص جزء مورد نظر در فاز استخراج شده نهایی بالا رود.

برای انجام استخراج‌های پی در پی جهت صرفه‌جویی در فضای اشغالی توسط دستگاه‌ها و ایجاد شرایط عملیاتی مناسب از

برج‌های سینی‌دار و آکنده استفاده می‌کنند.

– در خصوص مشخصات حلال انتخابی برای یک فرآیند استخراج، توصیه می‌شود مورد (۴)، به صورت جملات زیر بیان

گردد:

«هر قدر حلال مصرفی در یکی از اجزای خوراک محلول‌تر و نسبت به بقیه نامحلول‌تر باشد محدوده دوفازی وسیع‌تری را

ایجاد می‌کند و...»

– یادآوری می‌شود، در همه برج‌های استخراج، خوراک (مایع سنگین) از بالا و حلال (مایع سبک) از پایین وارد برج می‌شوند

۱- Raffinate

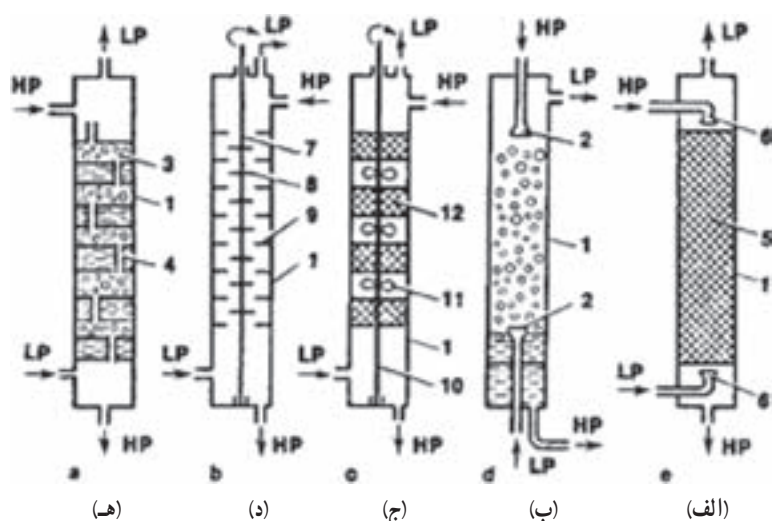
۲- این شکل به نام: «Mixer – settler» معروف است.

۳- Mixer

۴- Settler

۵- هنرجویان در سال دوم در آزمایشگاه شیمی آلی، از یک قیف دکانتور جهت تفکیک دو فاز نامحلول استفاده کرده‌اند.





شکل ۱۱-۲۳- انواع برج‌های استخراج

و حرکت آنها در درون برج، به دلیل اختلاف چگالی است. در پایان عمل استخراج، فاز استخراج شده در بالای برج و فاز پس مانده در پایین آن جمع‌آوری می‌گردد.

شکل ۱۱-۲۳ انواع برج‌های استخراج

را نشان می‌دهد:

در شکل ۱۱-۲۳ برج‌ها به شرح زیر

معرفی می‌گردند:

(الف) برج استخراج آکنده<sup>۱</sup>

(ب) برج پاششی<sup>۲</sup>

(ج) مخلوط‌کن ته‌نشین کننده<sup>۳</sup>

(د) استخراج کننده با همزن مکانیکی<sup>۴</sup>

(هـ) برج استخراج سینی‌دار<sup>۵</sup>

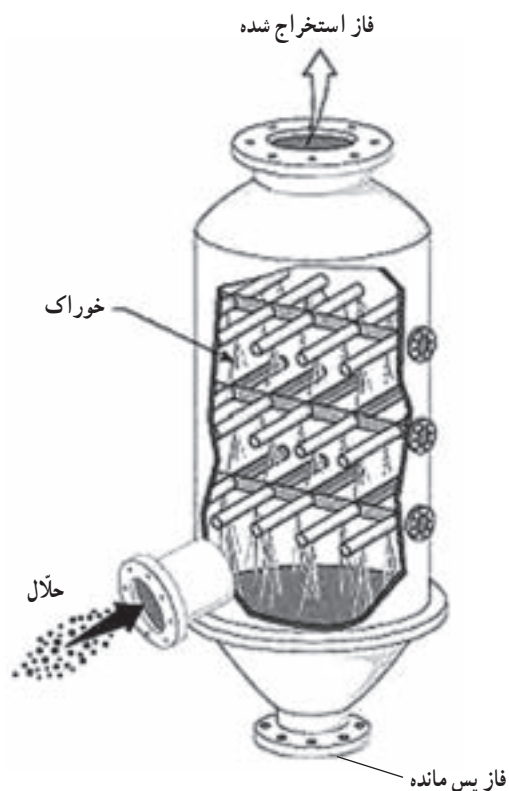
### — مقایسهٔ برج‌های استخراج :

۱- برج پاششی: ساده‌ترین دستگاه استخراج است که در آن خوراک

توسط توزیع کننده‌هایی در برج پخش می‌شود. این برج به دلیل اختلاط

نامطلوب، بازده بسیار پایینی دارد و کم استفاده می‌شود. در شکل ۱۱-۲۴

یک نوع برج پاششی مشاهده می‌شود.



شکل ۱۱-۲۴- برج پاششی استخراج

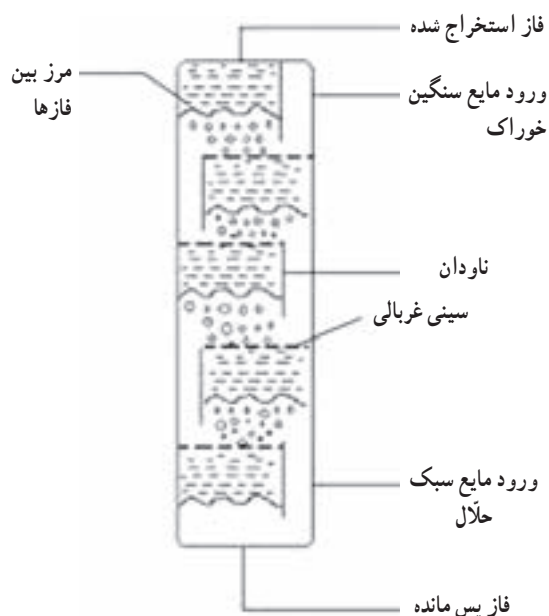
۱- Packing Tower Extractor

۲- Spray Tower Extractor

۳- Mixer settler Extractor

۴- Mechanically Agitated Extractor

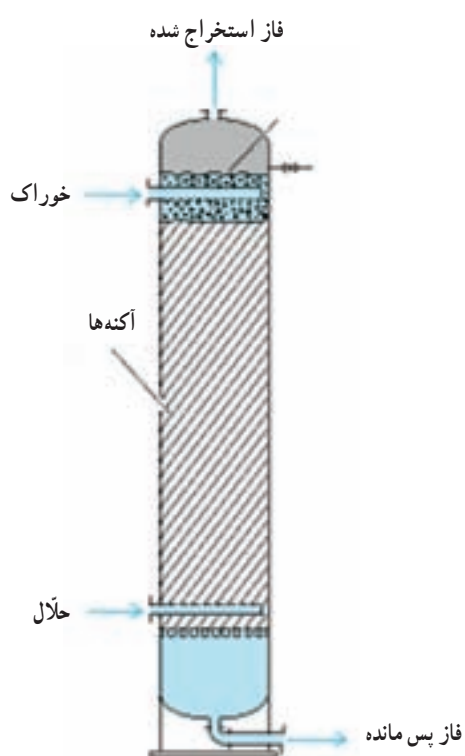
۵- Tray Tower Extractor



شکل ۱۱-۲۵- برج استخراج سینی دار

۲- برج استخراج سینی دار: این برج برای استخراج از مخلوط مایعاتی است که کشش سطحی آنها کم است و نیروی زیادی جهت اختلاط، لازم ندارد.

بازده این برج، به مراتب از برج پاششی بالاتر است. شکل ۱۱-۲۵ یک برج استخراج سینی دار را نشان می دهد.

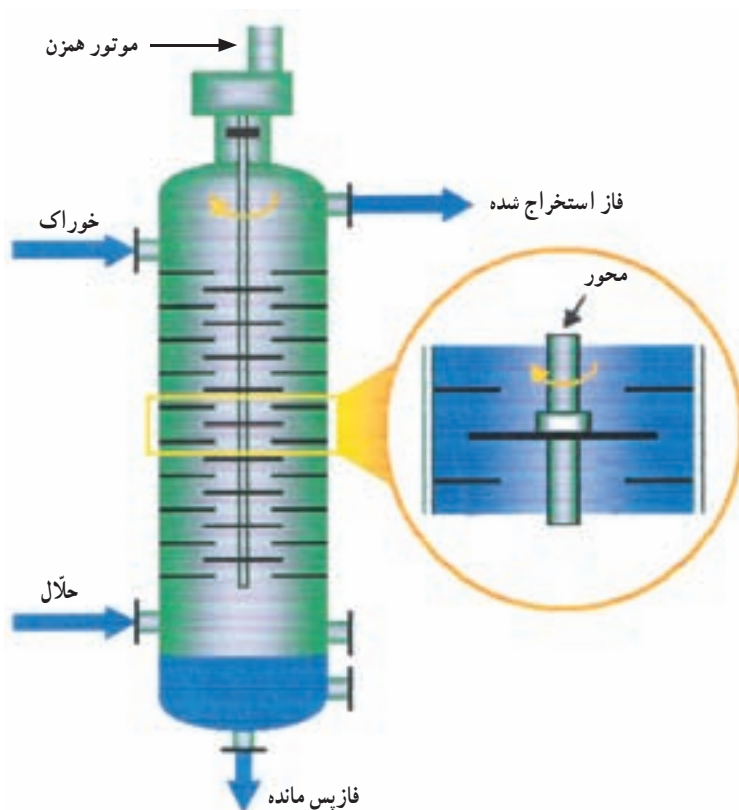


شکل ۱۱-۲۶- برج استخراج آکنده

۳- برج استخراج آکنده: این برج ها، بین دو فاز مایع، شدیداً تماس ایجاد می کنند و به همین دلیل کارایی بیشتری نسبت به دو برج پاششی و سینی دار دارند.

در شکل ۱۱-۲۶، نمای یک برج استخراج آکنده مشاهده می شود.

۴- استخراج کننده با همزن مکانیکی: این برج برای مخلوط مایعاتی است که کشش سطحی زیاد و اختلاف چگالی کم دارند. در این صورت اختلاط و جداسازی هر دو به سختی انجام می‌شود و به همزن الکتریکی نیاز دارد. شکل ۱۱-۲۷ یک استخراج کننده با همزن مکانیکی را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱-۲۷- استخراج کننده با همزن مکانیکی

### فعالیت (تحقیق)

چرا محلول آب و استیک اسید را نمی‌توان با تقطیر از هم جدا کرد؟

بعد از پایان تدریس، از هنرجویان خواسته شود که خودآزمایی را برای هفته بعد، حل کنند.

برنامه زمان بندی هفته سی و یکم			دقیقه
۱	آماده کردن کلاس (احوالپرسی، حضور و غیاب)	۵	
۲	رفع اشکال	۱۰	
۳	حل خودآزمایی فصل (۱۱)	۱۵	
۴	پرسش	۲۰	
۵	برگزاری آزمون فصل یازدهم	۴۰	
۶	بررسی سؤالات چند نمونه امتحان نهایی	۴۵	

سؤالات خودآزمایی، توسط هنجریان پاسخ داده شوند.

با مطرح کردن سؤالاتی از درس، اشکالات هنجریان برطرف گردد و سپس یک آزمون کلی از فصل یازدهم، به عمل آید. در پایان، سؤالات چند نمونه امتحان نهایی سال های قبل، بررسی شود و در صورت امکان، نمونه های دیگری در اختیار آنان گذاشته شود.

این آخرین جلسه سال جاری است زیرا هفته آینده (هفته آخر اردیبهشت)، امتحانات عملی کارگاه ها و آزمایشگاه ها برگزار می شود.

«موفق و مؤید باشید»

## پاسخ سؤالات خودآزمایی<sup>۱</sup>

پاسخ سؤال (۱) : توضیح :

نقطه جوش و فشار بخار با هم رابطه عکس دارند، بنابراین آن که نقطه جوش پایین تر دارد فشار بخار بیشتری دارد و سبک تر است، یعنی ماده (A)

و آن که نقطه جوش بالاتر دارد فشار بخار کمتری دارد و سنگین تر است، یعنی ماده (B)

پاسخ سؤال (۲) :

$$\alpha_{AB} = \frac{P_A}{P_B} \Rightarrow \alpha_{AB} = \frac{600}{118/5} = 5/06$$

$$\alpha_{AC} = \frac{P_A}{P_C} \Rightarrow \alpha_{AC} = \frac{600}{402} = 1/49$$

$$\alpha_{CB} = \frac{P_C}{P_B} \Rightarrow \alpha_{CB} = \frac{402}{118/5} = 3/39$$

۱- پاسخ اکثر سؤالات در متن کتاب وجود دارد.

هر دو آمیزه‌ای که قابلیت فزایت نسبی آنها بیشتر باشد، جداسازی آنها با تقطیر راحت‌تر است، یعنی (A و B)، زیرا از اختلاف بیشتر نقطه جوش یا فشار بخار خبر می‌دهد.

پاسخ سؤال (۸): زیرا در این صورت انتقال جرم سریع‌تر و کامل‌تر انجام می‌شود و مرز بین دو فاز، مشخص‌تر و واضح‌تر دیده می‌شود.

پاسخ سؤال (۱۵):

الف) یک مرحله      ب) اختلاط – جدا شدن      ج) تقطیر

## سوالات پیشنهادی

- ۱- فرآیند استخراج با حلال را توضیح دهید.
- ۲- در چه صورت در فرآیند استخراج، جداسازی نسبی حاصل می‌شود؟
- ۳- چه مواقعی به جای تقطیر از استخراج برای جداسازی اجزای موجود در یک محلول مایع استفاده می‌کنند؟
- ۴- تشابهات و تفاوت‌های دو فرآیند تقطیر و استخراج را بیان کنید.
- ۵- جهت استخراج اسید استیک از محلول آن با آب، از چه حلالی استفاده می‌کنند؟
- ۶- نام اجزای موجود در فرآیند استخراج را بگوئید و مختصراً در مورد هر کدام توضیح دهید.
- ۷- یک مرحله از فرآیند استخراج، شامل چه عملیاتی است؟
- ۸- در چه فرآیندهایی، برای جداسازی اجزای خوراک از دو حلال استفاده می‌شود؟ با یک مثال، استخراج دو حلالی یا جزئی را توضیح دهید.
- ۹- چهار مورد از مشخصاتی را که در انتخاب حلال مد نظر قرار می‌گیرد، ذکر کنید.
- ۱۰- «ضرب گزینش» را تعریف کنید و کاربرد آن را بیان کنید.
- ۱۱- «ضرب گزینش» بسیار شبیه به ..... در تقطیر است.
- ۱۲- چه زمانی از مقدار کمتری حلال برای فرآیند استخراج استفاده می‌کنند؟
- ۱۳- جهت بازیابی حلال، از چه عملیاتی می‌توان استفاده کرد؟
- ۱۴- به چه دلیل حلال را بازیابی می‌کنند؟
- ۱۵- هر چه تفاوت دانسیته بین فازهای استخراج شده و پس مانده ..... باشد، جداسازی فازها ..... انجام می‌شود.
- ۱۶- زیاد بودن کشش سطحی بین دو فاز، چه عیب و چه حسنی دارد؟ آیا در نهایت به نفع فرآیند استخراج است؟ توضیح دهید.
- ۱۷- بر چه اساسی، تعداد مراحل استخراج مشخص می‌شود؟
- ۱۸- انواع برج‌های استخراج را نام ببرید.
- ۱۹- ساده‌ترین برج استخراج چیست؟ ساختمان آن را با رسم شکل، توضیح دهید.
- ۲۰- آیا بازده برج پاششی بالاست؟ چرا؟

- ۲۱- حرکت فازها در داخل برج‌های استخراج به چه دلیل، انجام می‌شود؟
- ۲۲- چه زمانی از برج‌های سینی‌دار غربالی جهت فرآیند استخراج استفاده می‌شود و کارایی آنها نسبت به برج‌های پاششی چگونه است؟
- ۲۳- یک برج استخراج با تعداد ۱۲ سینی در واحد مربوطه کار می‌کند، چند مرحله استخراج در این برج انجام می‌شود؟
- ۲۴- عملکرد یک برج استخراج آکنده را مختصراً شرح دهید.
- ۲۵- در یک برج استخراج آکنده، سطح جدایی فازها در ..... تشکیل می‌شود.
- ۲۶- در یک برج استخراج آکنده، هر چه اندازه آکنه‌ها ..... باشد، اختلاط ..... انجام می‌شود.
- ۲۷- بازده برج استخراج آکنده را نسبت به برج پاششی، بررسی کنید.
- ۲۸- در چه مواردی از برج آکنده به جای سینی‌دار جهت استخراج استفاده می‌کنند؟
- ۲۹- چه مواقعی از «استخراج کننده با همزن مکانیکی» استفاده می‌شود؟ چرا؟
- ۳۰- دو نوع همزن مکانیکی مورد استفاده در برج استخراج را نام ببرید و بگوئید در صورت استفاده از کدامیک، از بافل استفاده نمی‌شود؟
- ۳۱- سرعت دوران صفحات چرخان (RDC) ..... از پره‌های توربینی است.

## پاسخ سؤالات پیشنهادی

- پاسخ اکثر سؤالات در متن کتاب وجود دارد. در این قسمت به تعدادی از آنها، جهت اطمینان، پاسخ داده می‌شود:
- پاسخ سؤال (۴)
- تشابهات:
- ۱- هر دو فرآیند از عملیات فیزیکی جداسازی هستند و با انتقال جرم انجام می‌شوند.
  - ۲- هر دو جهت جداسازی اجزای محلول‌های مایع به کار می‌روند.
- تفاوت‌ها:
- ۱- در تقطیر حتماً نیاز به حرارت‌دهی است.
  - ۲- اساس جداسازی در تقطیر، اختلاف در فرآیند اجزاست، درحالی که در استخراج اختلاف در حلالیت باعث تفکیک اجزا از یکدیگر است.
  - ۳- تقطیر از جمله عملیات مستقیم<sup>۱</sup> است، که با تغییر دما انجام می‌شود. درحالی که استخراج نیاز به حضور یک ماده سوم یعنی حلال مایع دارد.
  - ۴- بعد از فرآیند استخراج، برای دستیابی به ماده مورد نظر، به انجام فرآیند تفکیک دیگری چون تبخیر یا تقطیر

۱- در فصل هشتم کتاب «کارگاه عملیات دستگاهی»، عملیات جداسازی به دو دسته مستقیم و غیرمستقیم تقسیم‌بندی شده است. برای اطلاعات بیشتر به صفحه ۸۶ کتاب

مذکور مراجعه شود.

نیاز است که طی آن حلال نیز بازیابی می‌شود. درحالی‌که اگر فرآیند تقطیر با طراحی‌های دقیق صورت گیرد، درصد خلوص محصولات می‌تواند در حد انتظار باشد و عمل تفکیک دیگری در کار نیست.

پاسخ سؤال (۱۴): جهت صرفه‌جویی اقتصادی، حلال را طوری انتخاب می‌کنند که قابل بازیابی باشد. به این صورت که بین نقطه جوش حلال و جزء مورد نظر، اختلاف لازم وجود داشته باشد.

پاسخ سؤال (۱۷): براساس خواص فیزیکی خوراک و حلال (نظیر حلالیت، دانسیته و کشش سطحی) و خلوص مورد نیاز برای محصول

پاسخ سؤال (۲۳): به تعداد سینی‌ها، یعنی ۱۲ مرحله، زیرا در هر سینی یک مرحله استخراج انجام می‌شود. توجه: جهت دسترسی هنرجویان به سؤالات امتحان نهایی، می‌توانید از سایت اداره سنجش و ارزشیابی تحصیلی به آدرس <http://aee.medu.ir> استفاده کنید و آنها را به هنرجویان معرفی نمایید.

### معرفی چند نرم‌افزار کاربردی رایج در مهندسی شیمی

۱- Aspen (محصول شرکت Aspen Tech): یکی از معروف‌ترین و برقدرت‌ترین نرم‌افزارهای مهندسی شیمی «Aspen» است، که شامل چندین بسته نرم‌افزار مرتبط به هم است. با این نرم‌افزار می‌توان شبیه‌سازی و طراحی سیستم‌های پالایشگاهی و پتروشیمی را انجام داد. از نقاط قوت این نرم‌افزار، بانک اطلاعاتی بسیار قوی آن در خصوص جامدات، مایعات و گازها و همچنین قابلیت شبیه‌سازی سیستم‌های پلیمری است.

۲- Hysys (محصول شرکت Hyprotech): این نرم‌افزار جهت طراحی و شبیه‌سازی سیستم‌های پالایشگاهی، پتروشیمی، الکترولیتی و جامد قابل استفاده است.

۳- Pro II (محصول شرکت Provision): کار با این نرم‌افزار ساده و خوب است. با این نرم‌افزار شبیه‌سازی برج‌های تقطیر، سیستم‌های پالایشگاهی و پتروشیمیایی غیر پلیمری انجام می‌شود.

۴- Chem Cad (محصول شرکت Chemstation): محیط کاری این نرم‌افزار، بسیار ساده است. از این نرم‌افزار برای شبیه‌سازی فرآیندهای شیمیایی، سیستم‌های پالایشگاهی و الکترولیتی می‌توان استفاده کرد.

۵- Design II (محصول شرکت Winsim): از این نرم‌افزار نیز برای شبیه‌سازی استفاده می‌شود ولی مانند نرم‌افزارهای معرفی شده دیگر، مورد توجه نیست.

## منابع و مراجع

- ۱- دیوید هیمبل بلاو (ترجمه دکتر مرتضی سهرابی)، اصول بنیانی و مبانی محاسبات در مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۸۳.
- ۲- استریتروایلی (ترجمه مهندس علیرضا انتظار)، مکانیک سیالات، نوپردازان، ۱۳۸۲.
- ۳- محمد نصیری و نادر مختاریان، آشنایی با مهندسی شیمی، ندای مصلح، ۱۳۸۵.
- ۴- مهندس محمدتقی معاضد، حسن عباس نژاد، محمد اشراقی، مهرداد هوشمندی و حجت عشرتی، کتاب مهندسی شیمی، نشر ارکان اصفهان، ۱۳۸۲.
- ۵- دکتر احمد نوربخش، پمپ و پمپاژ، دانشکده فنی تهران، ۱۳۷۹.
- ۶- وارون مک کیب (ترجمه عطاءالله امینی)، عملیات واحد در مهندسی شیمی، ۱۳۷۹.
- ۷- مهندس ساسان صدرایی نوری، فرآیندهای شیمیایی، شرکت چاپ و نشر کتابهای درسی ایران، ۱۳۸۱.
- ۸- داوود رشتچیان، سیروس قطبی و غلامحسین غلامی سعیدی، مبانی صنایع شیمیایی (۱)، شرکت چاپ و نشر کتابهای درسی ایران، ۱۳۷۷.
- ۹- داوود رشتچیان، سیروس قطبی و غلامحسین غلامی سعیدی، کارگاه مبانی صنایع شیمیایی (۱)، شرکت چاپ و نشر کتابهای درسی ایران، ۱۳۷۷.
- ۱۰- شه زاد برقی، ماشین آلات صنعتی، شرکت چاپ و نشر کتابهای درسی ایران، ۱۳۶۸.
- ۱۱- شه زاد برقی، دستگاههای اندازه گیری و کنترل، شرکت چاپ و نشر کتابهای درسی ایران، ۱۳۶۸.
- ۱۲- سید پندار توفیقی و ساسان صدرایی نوری، عملیات دستگاهی در صنایع شیمیایی، شرکت چاپ و نشر کتابهای درسی ایران، ۱۳۸۹.
- ۱۳- سید پندار توفیقی، کارگاه عملیات دستگاهی در صنایع شیمیایی، شرکت چاپ و نشر کتابهای درسی ایران، ۱۳۸۸.
- ۱۴- شه زاد برقی، اصول عملیات، شرکت چاپ و نشر کتابهای درسی ایران، ۱۳۶۵.
- ۱۵- و.ر. راداکریشان (ترجمه دکتر جمشید بهین)، وسایل اندازه گیری و کنترل در فرآیندهای شیمیایی، متالورژی و معدنی.

16 – Treyball , Mass transfer operation , Mc – Graw Hill , 1979.

17 – Gessner G. Hawley , Condensed Chemical Dictionary ,

۱۳۶۳ ، جهاد دانشگاهی دانشگاه شهید بهشتی

18 – J.P. Holman , Heat transfer , Mc – Graw Hil , 1999.

19 – Robert H. Perry and Cecil H. Chilton , Chemical Engineering Handbook , Mc – Graw

Hill

20 – Mc Cabe , W.L., Smith , J.G., Unit operations of Chemical Engineering , Mc – Graw

Hill

