آزمایشگاه‌های آموزشی
دانشکده مهندسی شیمی

بهار ۱۴۰۰

آزمایشگاه عملیات واحد
(اصول مهندسی شیمی)

آزمایشگاه عملیات واحد

تعریف آزمایشگاه:

آزمایشگاه عملیات واحد به منظور آشنایی عملی دانشجویان مهندسی شیمی با مفاهیمی که در دروس عملیات واحد ۱ و ۲ به صورت تئوری آموخته‌اند برگزار می‌گردد .

نام انگلیسی آزمایشگاه:

Unit Operations of Chemical Engineering Lab (Principles of Chemical Engineering)

شرح وظایف کارشناس آزمایشگاه:

۱ـ نظارت بر حسن انجام آزمایش‌ها مطابق با دستورالعمل کار با دستگاه‌ها

۲ـ نظارت بر اجرای دقیق آیین‌نامه‌های سلامت، ایمنی و محیط زیستی

۳- نظارت بر نظم و تمیزی آزمایشگاه وکمک به دانشجویان در انجام آزمایش‌ها

۴- بازدید مکرّر از دستگاه‌ها برای آماده بکار بودن آنها

۶- تعمیر و نگهداری دستگاه‌ها در حد توان

۷- تهیه گزارش کار دستگاه‌ها و فایل‌های تکمیلی جهت آموزش بهتر به دانشجویان

۸- نظارت دقیق به انجام کار دانشجویان هم به جهت یادگیری و هم آسیب نرساندن به تجهیزات و ایمنی دانشجویان و همکاران در آزمایشگاه

دستگاه‌های مورد استفاده:

۱- خشک‌کن سینی‌دار (Tray Dryer)

۲- استخراج جامد- مایع (Solid-Liquid Extraction)

۳- برج خنک‌کن (Cooling Tower)

۴- تعیین ضریب نفوذ (Metering Diffusivity)

۵- کار با جامدات (Solid Handling)

۶- بستر سیال (Fluidized Bed)

۷- تقطیر در ستون پرشده یا آکنده (Distillation in Packed Tower)

خشک‌کن سینی‌دار:

این دستگاه به منظور اندازه‌گیری رطوبت بحرانی و زمان مؤثر خشک شدن و بررسی تأثیر ضخامت نمونه و رسم منحنی مشخصهٔ خشک شدن مورد استفاده قرار می‌گیرد.

شکل ۱ نمای کلّی این دستگاه را نشان می‌دهد:

شکل ۱: دستگاه خشک‌کن سینی‌دار

این دستگاه با نیروی برق تک‌فاز کار می‌کند. درون دستگاه المنت‌های برقی جهت گرم کردن فضای داخل خشک‌کن تعبیه شده و یک فن برای گردش هوای یکنواخت در محیط خشک‌کن کار گذاشته شده است. یک ترمومتر هم در بیرون دستگاه برای ثبت دما نصب شده است.

روش انجام کار با دستگاه خشک‌کن سینی‌دار:

۱. توزین کردن یک سینی
۲. توزین کردن سینی با ماسه (جامد خشک)
۳. اضافه کردن آب (مایع) بطوریکه ماسه کاملاً مرطوب شود.
۴. ایجاد کیک با ضخامت تقریباً یکسان
۵. خارج کردن آب اضافی
۶. توزین کردن سینی با ماسه و آب
۷. قرار دادن سینی در خشک‌کن
۸. درآوردن سینی از خشک‌کن در زمان‌های معین و توزین آن
۹. تکرار آزمایش با ضخامت نصف سینی اول

- **ملاحظات**
  - مقدار ماسه در سینی اول: ۶ kg، درسینی دوم: ۳ kg
  - زمان‌های توزین سینی اول: ۱۵، ۱۰، ۵، ۵، ۳، ۳ و ... دقیقه
  - سینی پس از خروج از خشک‌کن، توزین و از سمت دیگر داخل خشک‌کن شود.
  - خودداری از تکان دادن و کج کردن سینی در حین عملیات
  - پس از اتمام خشک‌کردن سینی اول، عملیات سینی دوم آغاز می‌شود
  - زمان‌های توزین سینی دوم: ۱۰، ۵، ۵، ۳، ۳ و ... دقیقه
  - خشک‌کردن تا کمتر از ۵۰ g آب باقیمانده ادامه می‌یابد.

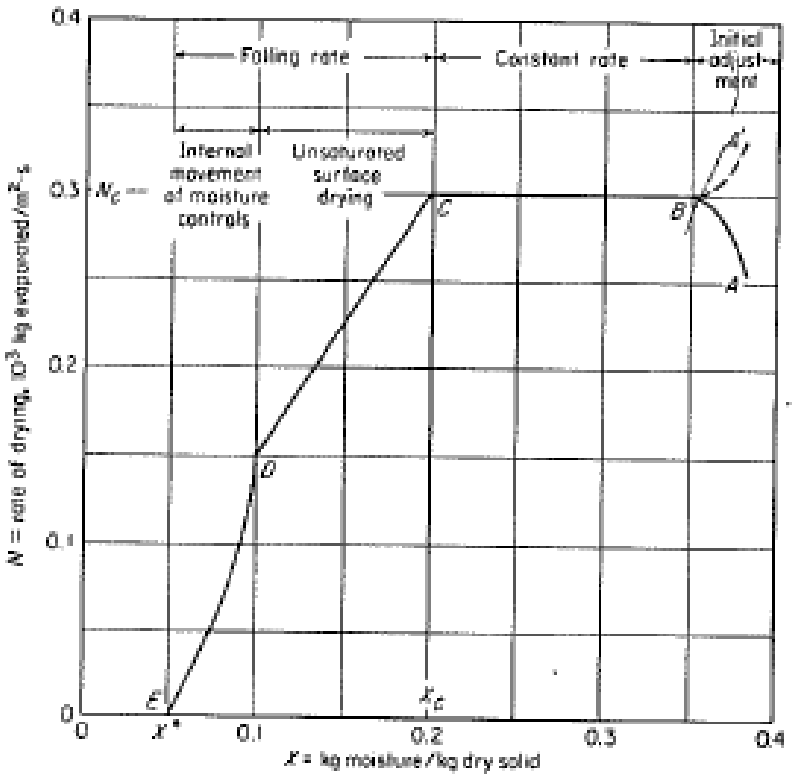
محاسبات :

رابطهٔ سرعت خشک شدن:

$$N = \frac{-S_S dX}{A d\theta}$$

که در آن θ زمان خشک شدن، X رطوبت، N سرعت خشک شدن، S جرم جامد خشک و A سطح خشک‌شونده است.

شکل ۲ نمودار خشک کردن را نشان می‌دهد:



شکل ۲: نمودار خشک کردن

زمان دوره خشک شدن با نرخ ثابت نیز توسط رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$\theta = \frac{S_S(X_1 - X_c)}{AN_c}$$

سلامت، ایمنی و محیط زیستی دستگاه خشک‌کن :

۱- این دستگاه دارای نکتهٔ مرتبط با سلامت، ایمنی و محیط زیست نمی‌باشد.

۲- به دلیل گرمای زیاد به هنگام استفاده از دستگاه باید دقت شود که سینی را حتماً با دستکش ایمنی جابجا کرد.

استخراج جامد- مایع:

این دستگاه به منظور استخراج یک جامد (شکر روی ورموکولیت) به‌وسیله حلال به دو روش تزریقی و غوطه-وری مورد استفاده قرار می‌گیرد. هدف از انجام این آزمایش، مقایسه دو روش با هم، مزایا و معایب دو روش و روش‌های بهبود و افزایش سرعت و میزان انتقال‌جرم می‌باشد.

شکل ۳ نمای کلی این دستگاه را نشان می‌دهد:

شکل ۳: دستگاه استخراج جامد- مایع

روش انجام کار با دستگاه استخراج جامد- مایع:

۱. توزین مقدار معینی از جامد (ورموکولیت): ۵۰ g
۲. ریختن جامد در کیسه و قرار دادن آن در مخزن استخراج
۳. ریختن مقدار لازم حلال (آب) در مخزن حلال
۴. تنظیم شیرهای سیستم (بستن مدار تزریقی، یا غوطه‌وری)

۵. وصل کردن تابلو به جریان الکتریکی
۶. روشن کردن پمپ و زدن کرنومتر
۷. نمونه‌گیری از شیر نمونه‌گیر در هر ۵ دقیقه
۸. تعیین غلظت نمونه با دستگاه رفراکتومتر
۹. تکرار آزمایش (با ثابت نگهداشتن کلیهٔ شرایط) از روش دیگر

- **ملاحظات**
  - در روش تزریقی، حلال از بالا وارد و از پایین خارج می‌شود.
  - در روش تزریقی، ریختن مایع بر روی کیسه انجام می‌شود.
  - در روش غوطه‌وری، حلال از پایین وارد و از بالا خارج می‌شود.
  - در روش غوطه‌وری، قبل از سرریز شدن مایع باید از شیر تخلیه نمونه‌گیری شود.
  - در هر آزمایش حداقل ۶ نمونه گرفته شود.

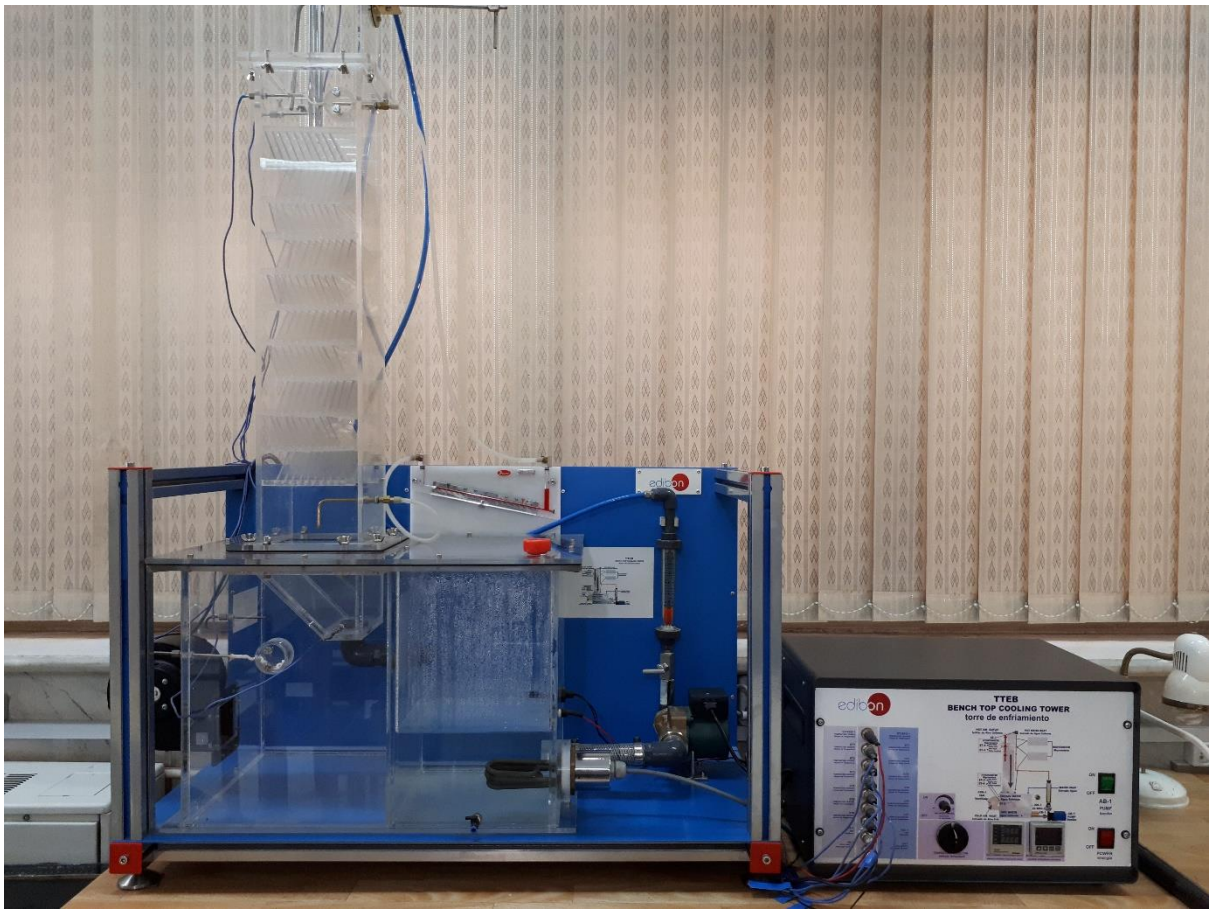
سلامت، ایمنی و محیط زیستی دستگاه استخراج جامد- مایع:

این دستگاه به دلیل بازیافت ورموکولیت دارای نکتهٔ مرتبط با سلامت، ایمنی و محیط زیست نمی‌باشد.

برج خنک‌کن:

از این دستگاه با انجام دو آزمایش می‌توان شرایط بهینهٔ عملکرد برج را اندازه‌گیری و ظرفیت خنک‌کردن برج که به صورت تابعی از دمای آبی است که خنک می‌شود را تعیین نمود. همچنین میزان آب تبخیرشده و تبادل انرژی را محاسبه نمود.

شکل ۴ نمای کلی این دستگاه را نشان می‌دهد:



شکل ۴: دستگاه برج خنک‌کن

- **شرح دستگاه برج خنک‌کن**

  - آب گرم از مخزن به بالای برج پمپ می‌شود.
    - جریان آب با شیر سوزنی (تا حداکثر دبی ۱۲۰ lit/hr) قابل تنظیم است.
    - دمای آب ورودی و خروجی از برج قابل اندازه‌گیری است.
    - میزان تبخیر آب با تعیین مقدار آب از روی سطح آب مخزن (حسگر ارتفاع) تعیین می‌شود.
  - هوا که سرعت آن توسط دور پنکه یا فن تنظیم می‌شود، وارد برج می‌شود.
    - جریان هوای خروجی از برج توسط فشارسنج متّصل به لولهٔ پیتوت اندازه‌گیری می‌شود.
    - دمای خشک و مرطوب هوای ورودی اندازه‌گیری می‌شود.
    - دو دماسنج برای تعیین دمای خشک و مرطوب هوا در قسمت فوقانی قرار دارد.

- اختلاف فشار بالا و پایین برج توسط فشارسنج قابل اندازه‌گیری می‌باشد.
- مشخصات آکنه یا پُرکن برج:

  - تعداد ۱۰ سطح، ۱۰ صفحه در هر سطح، سطح پُرکن‌ها: ۱,۰۱۳ m^2
  - ارتفاع پرکن: ۶۰ cm، سطح مخصوص: ۵۸ m^2/m^3

روش انجام کار با دستگاه برج خنک‌کن:

آزمایش اول

* پس از روشن کردن دستگاه و اجرای برنامه:

۱. سطح آب مخزن بالای سوئیچ سطح و دما تنظیم و ثابت شود.
۲. جریان هوا انتخاب شود، دبی جریان آب 20~80 L/h تعیین شود.
۳. بعد از تثبیت شرایط، دمای مرطوب هوای ورودی و دمای آب ورودی و خروجی ثبت شود.
۴. با تغییر جریان هوا (متوسط و بیشتر) آزمایش را از مرحلهٔ ۳ تکرار شود.
۵. پس از اتمام با تغییر دما، آزمایش از مرحلهٔ ۲ تکرار شود.

جریان آب	جریان هوا	ST1	ST2	ST4
۲۰	کم متوسط زیاد			
۴۰	کم متوسط زیاد			
۶۰	کم متوسط زیاد			
۸۰	کم متوسط زیاد			

آزمایش دوم

* پس از روشن کردن دستگاه و اجرای برنامه:

۱. سطح آب مخزن بالای سوئیچ سطح و دما تنظیم و ثابت شود.
۲. جریان هوا انتخاب شود، دبی جریان آب 20~80 L/h تعیین شود.
۳. بعد از تثبیت شرایط، مقادیر پارامترهای زیر، تعیین و در جدول ثبت شود:

- اندازه‌گیری مقدار آب تبخیرشده
- مدت زمان کارکرد برج
- دمای مرطوب و خشک هوای ورودی و خروجی
- جریان هوای خروجی (از اختلاف فشار لولهٔ پیتوت)
- درصد رطوبت هوای ورودی و خروجی
- مقدار رطوبت هوای ورودی و خروجی

اختلاف فشار لوله پیتوت Pa	دمای خشک خروجی ST6	دمای مرطوب خروجی ST5	دمای خشک ورودی ST3	دمای مرطوب ورودی ST4	مقدار آب تبخیر شده

سلامت، ایمنی و محیط زیستی دستگاه برج خنک‌کن :

این دستگاه دارای نکتهٔ مرتبط با سلامت، ایمنی و محیط زیست نمی‌باشد.

تعیین ضریب نفوذ:

در این آزمایش ضریب نفوذ یک‌طرفهٔ هر یک از مواد (تتراکلریدکربن، کلروفرم، دی‌کلرومتان) در داخل لایهٔ ساکن هوا تعیین می‌شود. همچنین تأثیر طول لایهٔ انتقال جرم بر ضریب نفوذ و تأثیر جرم مولکولی بر ضریب نفوذ بررسی می‌شود.

شکل ۵ نمای کلی تجهیزات این آزمایش را نشان می‌دهد .

شکل ۵: تجهیزات آزمایش ضریب نفوذ

تجهیزات آزمایش تعیین ضریب نفوذ:

برای این آزمایش از یک ترازوی دقیق با دقت ۰.۰۰۰۱ g، استوانهٔ مدرّج، پیپت، کولیس،کرنومتر، دماسنج و فشارسنج استفاده می‌شود.

روش انجام کار آزمایش تعیین ضریب نفوذ :

۱. مواد شیمیایی با مقادیری که ذکرشده در استوانهٔ مدرّج ریخته شود:
۲، ۶ و ۱۰ میلی‌لیتر تتراکلریدکربن، ۶ میلی‌لیتر کلروفرم، ۶ میلی‌لیتر دی‌کلرومتان
۲. هریک از استوانه‌ها روی ترازوی با دقت ۰,۰۰۰۱ g قرار گیرد.
۳. زمان کم شدن ۰,۰۰۲ g از وزن نمونه‌ها تعیین شود.
۴. ارتفاع از سطح نمونه تا بالای استوانه با کولیس اندازه‌گیری شود.
۵. قطر داخلی استوانهٔ آزمایش با کولیس اندازه گرفته شود.
۶. فشار آزمایشگاه با بارومتر اندازه‌گیری شود.
۷. دمای نمونه‌ها تعیین شود.

- **ملاحظات**
  - برای پرکردن استوانه‌های آزمایش از قرار دادن سر پیپت در دهان خودداری شود.
  - زمان کم شدن وزن هر نمونه حداقل سه‌بار و تقریباً یکسان باشد.
  - به دلیل حساسیت ترازو، دقت کافی به عمل آورده شود.
  - درب استوانه‌های آزمایش قبل و بعد از اندازه‌گیری بسته شود.

سلامت، ایمنی و محیط زیستی آزمایش ضریب نفوذ:

۱- به دلیل استفاده از حلال‌های خطرناک، درب ظروف به‌جز حین انجام آزمایش، حتماً بسته مانده و از تنفّس در نزدیکی ظروف حلال‌ها خودداری گردد.

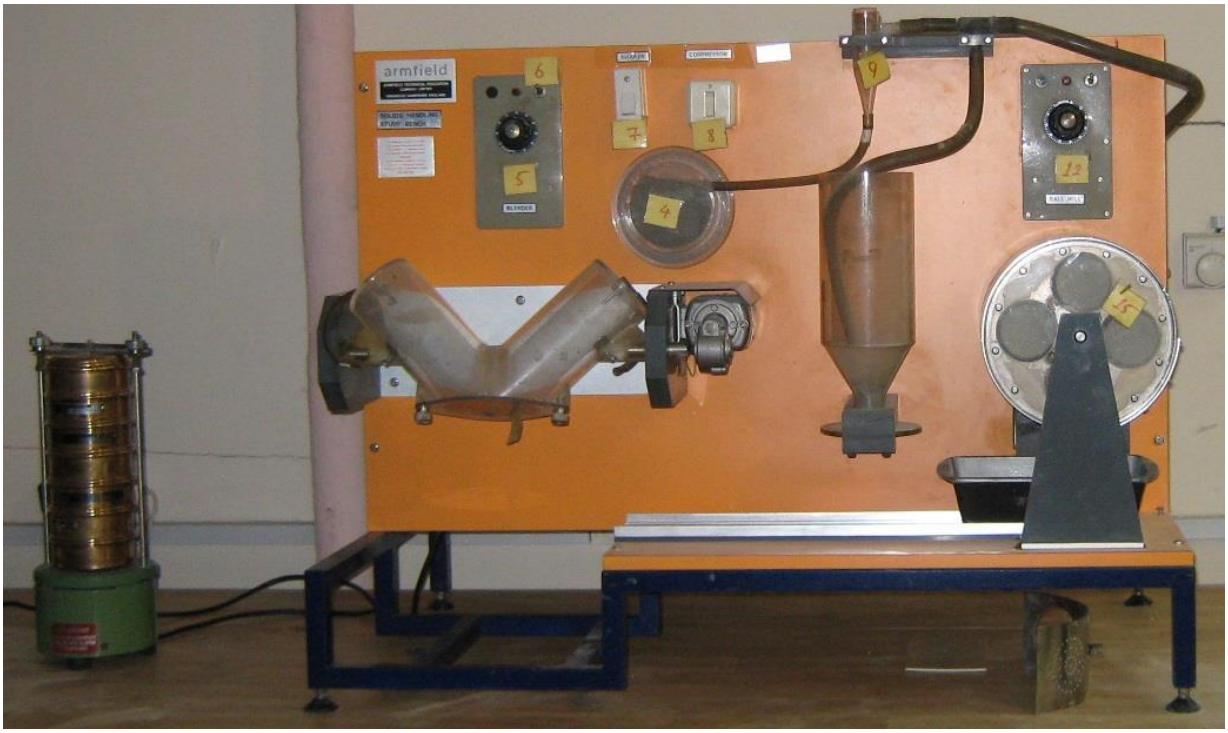
۲- برای برداشتن حلال به‌وسیلهٔ پیپت، هرگز حلال با دهان کشیده نشود.

۳- حلال‌ها پس از اتمام آزمایش هرگز دور ریخته نمی‌شود و به ظرف اصلی خود بازگردانده شده و به یخچال منتقل می‌گردد.

کار با جامدات:

از این آزمایش جهت به دست آوردن دور بهینهٔ آسیا، همچنین بررسی عملکرد سرند و آسیا، رسم نمودار درصد وزنی مواد باقیمانده روی سرند به اندازهٔ آن و رسم نمودار کوچک‌اندازه (Undersize) و بزرگ‌اندازه (Oversize) سرند و مقایسهٔ آنها بهره برده می‌شود.

شکل ۶ نمای کلی دستگاه کار با جامدات را نشان می‌دهد:



شکل ۶: دستگاه کار با جامدات

تجهیزات آزمایش کار با جامدات:

آسیا، لرزاننده با شش الک با مش‌های ۲۵۰ mic، ۳۵۵ mic، ۵۰۰ mic، ۷۱۰ mic، ۱ mm و ۲ mm، آسیا در سه اندازه بزرگ، متوسط و کوچک، ترازو و تجهیزات باز و بسته کردن درب آسیا از تجهیزات انجام آزمایش کار با جامدات می‌باشد.

روش انجام کارآزمایش کار با جامدات:

۱. تعیین توزیع دانه‌بندی خوراک
۲. تمیز کردن آسیا
۳. ریختن گلوله‌ها با اندازه معیّن به داخل آسیا
۴. پیدا کردن دور حداقل و حداکثر آسیا و تعیین سه دور گردش
۵. وارد کردن خوراک به داخل آسیا
۶. آسیا کردن خوراک
۷. تخلیه و جداسازی گلوله‌ها از مواد و تعیین توزیع دانه‌بندی محصول
۸. تکرار آزمایش در سرعت‌های دیگر با ثابت نگه‌داشتن سایر شرایط

- **ملاحظات**
  - نسبت اندازه گلوله‌ها: ۱ عدد درشت، ۲ عدد متوسط، ۶ عدد ریز
  - مقدار گلوله مورد استفاده ۲,۵ kg
  - مقدار جامد مورد استفاده: ۱۰۰ g
  - الک‌ها به‌ترتیب از دانه‌درشت تا دانه‌ریز از بالا به پایین چیده می‌شود.
  - توزین کردن میزان باقیمانده روی هر الک

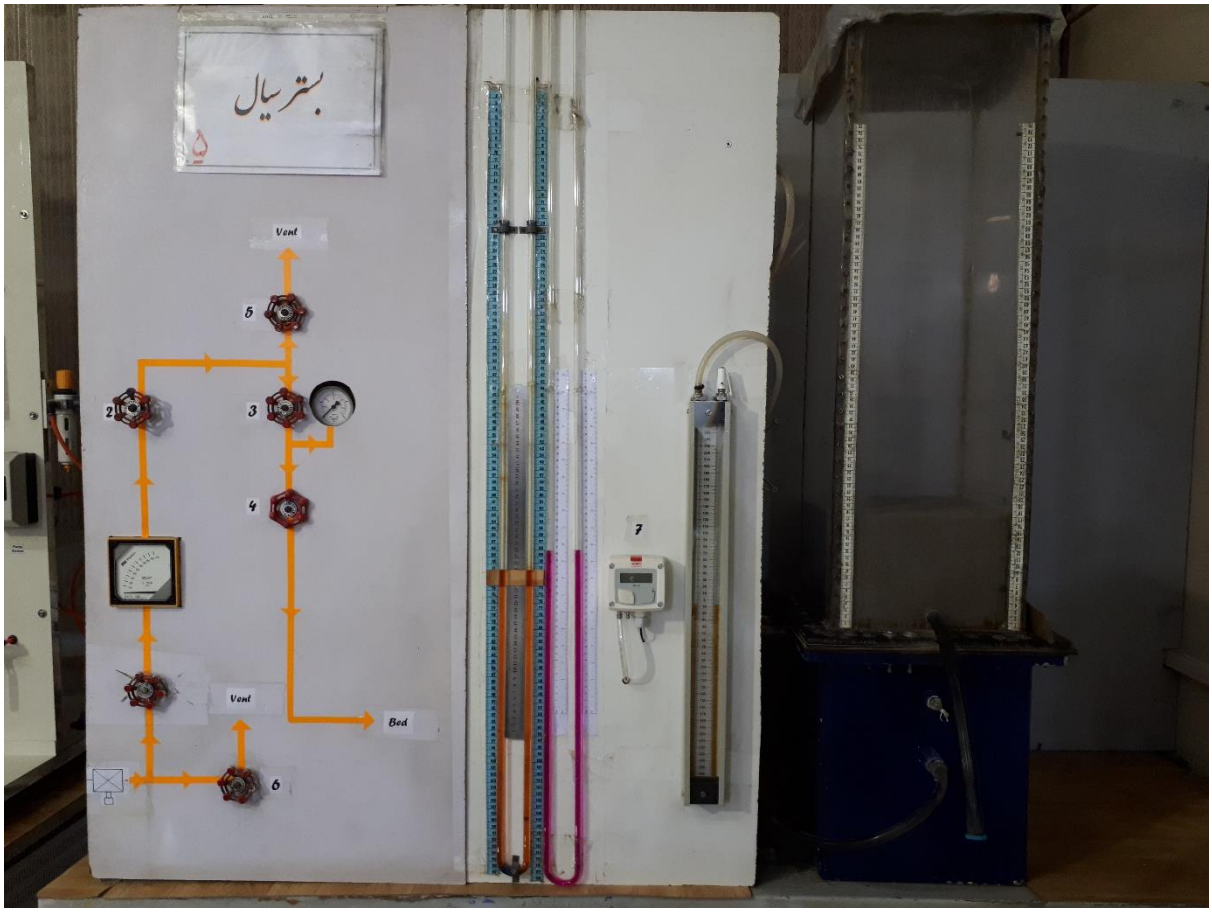
سلامت، ایمنی و محیط زیستی آزمایش کار با جامدات:

این دستگاه دارای نکتهٔ مرتبط با سلامت، ایمنی و محیط زیست نمی‌باشد .

بستر سیال:

در این آزمایش سیّالیت در بستری از ذرات جامد با جریان سیال در ارتفاع‌های مختلف بررسی می‌شود. همچنین نمودارهای منحنی لگاریتمی افت فشار و هیستر زیس ارتفاع بستر رسم شده و سرعت U_{mf} آنها به‌دست آورده می‌شود و مقدار U_{mf} تئوری و عدد Froude در هر حالت محاسبه می‌شود.

شکل ۷ نمای کلی دستگاه بستر سیال را نشان می‌دهد:



شکل ۷: دستگاه بستر سیال

تجهیزات آزمایش بستر سیال:

این آزمایش با هوای فشرده که توسط یک کمپرسور هوا تأمین می‌گردد کار می‌کند. بعد از شیر ورودی هوا یک روتامتر برای اندازه‌گیری دبی جریان هوا نصب شده و توسط لوله‌ای به زیر بستر هدایت می‌شود. بستر نیز از ذرات با جنس ماسه با اندازهٔ ۱۰۰ میکرون پر شده است. یک لولهٔ شیشه‌ای پر از آب نیز جهت اندازه‌گیری افت فشار در این آزمایش مورد استفاده قرار می‌گیرد.

روش انجام کارآزمایش بسترسیال :

۱. ریختن مقدار جامد در بستر تا ارتفاع معین
۲. برقرارکردن جریان سیال از درون بستر
۳. تغییر جریان سیال ورودی
۴. ثبت تغییرات جریان سیال، افت فشار و ارتفاع بستر
۵. تکرار آزمایش در ارتفاع‌های اولیهٔ متفاوت بستر

- **ملاحظات**
  - ارتفاع‌های اولیه ۳۶، ۲۶ و ۱۸ سانتی‌متر می‌باشد.
  - کم کردن تخلخل بستر با ضربه زدن ملایم به اطراف قبل از شروع آزمایش
  - اضافه کردن جریان سیال تا تلاطم کامل بستر ادامه یابد.
  - منحنی‌های سیالیت بستر با افزایش و کاهش جریان (رفت و برگشتی) به‌دست می‌آید.

سلامت، ایمنی و محیط زیستی آزمایش بسترسیال :

این دستگاه دارای نکتهٔ مرتبط با سلامت، ایمنی و محیط زیست نمی‌باشد.

تقطیر در ستون پُرشده یا آکنده:

در این آزمایش جداسازی مخلوطی از آب و الکل اتیلیک از هم انجام می‌گیرد و ارتفاع معادل یک سینی نظری از طریق تجربی در حالت پایا و از طریق معادلهٔ انتقال جرم محاسبه می‌گردد.

اشکال ۸ ، ۹ و ۱۰ نمای کلی و پایین و بالای برج تقطیر در ستون پُرشده را نشان می‌دهد:

شکل ۸: ستون تقطیر پُرشده

شکل ۹: پایین برج

شکل ۱۰: بالای برج

تجهیزات آزمایش تقطیر در ستون پُرشده:

در این آزمایش از یک ظرف مخلوط آب و الکل اتیلیک (خوراک) و هیدرومتر جهت اندازه‌گیری درصد الکل، دیگ بخار برای گرم‌کردن خوراک، ریبویلر یا بازجوش‌آور، ستون پُرشده، چند ترمومتر، فشارسنج، تلهٔ بخار، کندانسور یا چگالنده و ظرف جمع‌آوری محصول استفاده می‌شود. دستکش برزنتی و کلاه ایمنی جهت بالارفتن از برج نیز آماده می‌باشد.

روش انجام کارآزمایش تقطیر در ستون پُرشده :

۱. تعیین غلظت خوراک با هیدرومتر
۲. تنظیم غلظت الکل (اضافه کردن در صورت لزوم)
۳. انتقال خوراک به ریبویلر یا بازجوش‌آور
۴. باز کردن شیر بخار ورودی به ریبویلر و تنظیم آن
۵. باز کردن شیر آب کندانسور یا چگالنده
۶. نمونه‌گیری از جریان برگشتی و هم‌زمان ثبت شرایط برج
۷. تکرار نمونه‌گیری و ثبت متغیرها تا رسیدن به حالت پایدار
۸. نمونه‌گیری از انتهای ریبویلر، سردکردن و تعیین غلظت آن

- **ملاحظات**
  - ثابت نگه‌داشتن فشار بخار ورودی به کویل
  - تنظیم فشار بخار با مقدار ثابت بین ۱,۵ bar-۲
  - باز کردن شیر آب سرد به مقدار حداقل لازم
  - برگرداندن نمونه‌ها پس از تعیین غلظت به داخل برج
  - ثبت مقادیر متغیرها هر ۵ دقیقه در جدول

سلامت، ایمنی و محیط زیستی آزمایش تقطیر در ستون پُرشده:

در حین انجام آزمایش باید مراقب فشار بخار سیستم بود تا خطری از سوی بخار آب داغی که در آزمایش به‌کار برده می‌شود ایجاد نشود. هنگام بالا رفتن از پله‌های برج دقت لازم صورت پذیرد. به‌دلیل حرارت زیاد، از دست زدن بدون پوشش مناسب به لوله‌ها و تجهیزات دستگاه خودداری گردد.