

آزمایش ۷:

خشک کن پاششی (Spray Dryer)



مقدمه:

فرآیند خشک کردن توسط خشک کن پاششی، عبارت است از تبدیل خوراک از حالت محلول، به ذرات خشک جامد. این فرایند توسط اسپری کردن محلول در محیطی که گرمای لازم جهت خشک کردن با استفاده از هوای گرم تأمین شده است، انجام می-گیرد. این سیستم، یک فرآیند مداوم و پیوسته است و خوراک مورد نظر می تواند محلول، دوغاب و یا حتی خمیر باشد. بر اساس خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خوراک، محصول بدست آمده پودری متشکل از ذرات منفرد و ذرات بهم چسبیده می باشد. مهم-ترین ویژگی پودر بدست آمده یکنواختی ذرات آن است، که باعث بوجود آمدن خصوصیتی نظیر روان بودن، حل شدن سریع، مخلوط شدن آسان با دیگر مواد و همچنین سهولت انجام عملیات بعدی بر روی آن می شود. خشک کردن از طریق خشک کنهای پاششی یکی از روشهای جدید خشک کردن محلولها است. از خشک کنهای پاششی به صورت وسیع برای خشک کردن محلولها، سوسپانسیون ها، امولسیونها و خمیرها در صنایع غذایی، شیمیایی، داروسازی، سرامیک و... استفاده می شود. وسیلهی مخصوصی به نام اتمایزر (Atomizer) مایع را به قطرات ریز تبدیل کرده و به طور هم زمان به همراه هوای داغ به داخل محفظه پراکنده می-شود. در این روش رطوبت ذرات تبخیر شده و محصول خشک به صورت پودر یا دانه ای یا به شکل کلوخه به دست می آید. فرم ذرات به نوع مواد خشک شونده بستگی دارد. وقتی خوراک به صورت محلول یا دوغاب وارد شود ذرات تقریباً کروی شکل و توخالی به دست خواهد آمد. چگالی توده تا حد زیادی به نوع اتمایزر و شیوه عمل کرد آن بستگی دارد [۱].

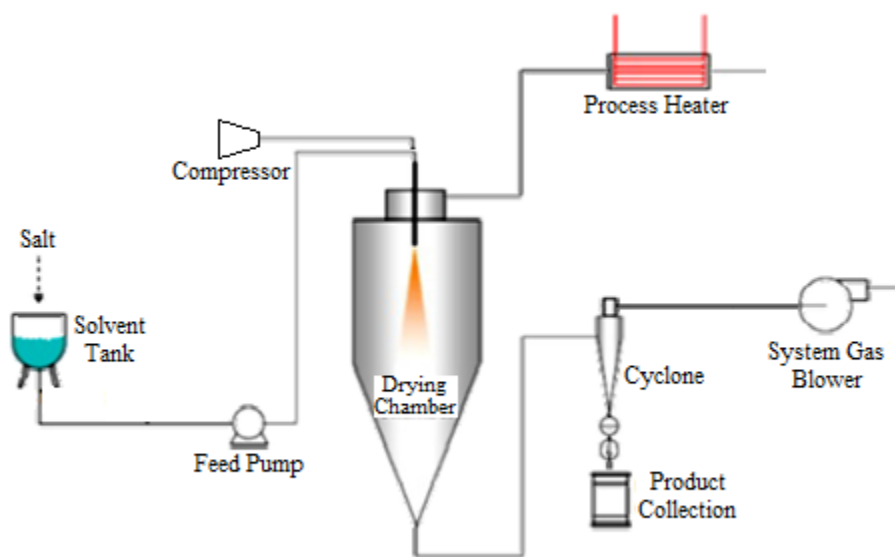
عملیات خشک شدن شامل سه مرحله است:

- اسپری کردن مواد برای تبدیل شدن به قطرات یا ذرات ریز
- تبخیر رطوبت ماده در اثر تماس آن با گاز داغ
- جدا کردن محصول خشک از گازهای خروجی

روشهای مختلفی برای هوادهی به محفظه خشک کن وجود دارد. در بعضی از ساختارها هوا از بالای خشک کن و در بعضی دیگر از میان سوراخ های مخصوصی که در نقاط مختلف تعبیه شده اند وارد محفظه می شود. در محفظه های مخروطی جهت دهنده هایی در دهانه ورودی هوا نصب شده اند تا حرکت چرخشی در هوا ایجاد کنند. این روش به بهتر مخلوط شدن هوا و ذرات ریز محلول کمک می کند. در برخی از خشک کنهای پاششی ذرات جامد به همراه هوای خروجی از محفظه خشک کن خارج شده و در یک سیستم جداسازی مانند کیسه صافی و سیکلون از هوا جدا می شود. اغلب ذرات جامد خشک در کف محفظه خشک کن ته نشین و از آنجا تخلیه می شوند. تبخیر در محفظه خشک کن به صورتی که در بالا توضیح داده شده است تقریباً به صورت لحظه ای انجام می شود به

طوری که زمان خشک شدن حدود سه تا شش ثانیه در نوع همسو و ۲۵ تا ۳۰ ثانیه در نوع ناهمسو می باشد که این زمان کوتاه برای خشک کردن مواد حساس به حرارت مناسب می باشد. معمولاً یک خشک کن پاششی از قسمت های زیر تشکیل می شود (شکل ۱):

- (۱) محفظه خشک کن
- (۲) وسیله ای برای تزریق هوا به داخل اتمایزر (کمپرسور)
- (۳) وسیله ای برای مکش هوا از داخل محفظه (ونتیلاتور)
- (۴) وسیله ای برای پاشیدن خوراک به داخل محفظه (پمپ پرستالتیک و نازل)
- (۵) وسیله ای جهت جداسازی ذرات خشک شده از هوای خروجی (سیکلون)

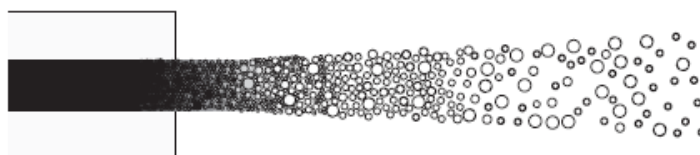


شکل ۱: نمای کلی فرایند.

به عمل پاشیدن خوراک اتمایزره کردن خوراک گویند و برای این عمل معمولاً از سه نوع وسیله استفاده می شود:

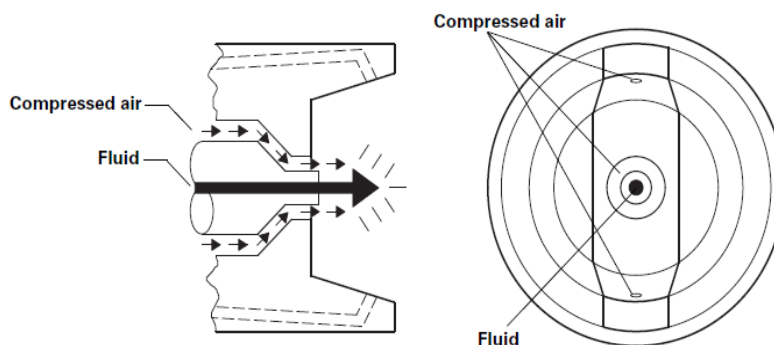
- (۱) نازل هایی که در آن ها خوراک تحت فشار زیاد از سوراخ های کوچک عبور می کند.
- (۲) نازل هایی که در آن ها از یک سیال دیگر مانند هوا برای اعمال فشار استفاده می شود.
- (۳) صفحه چرخان.

در اتمایزر فشاری، مایع با فشار زیاد وارد نازلی کوچک شده و از سوی دیگر به صورت یک جریان جامد و یا یک سطح (در سرعت های بالا) خارج می گردد (شکل ۲). اصطکاک میان هوا و مایع در ابتدا موجب شکسته و تکه شدن این جریان و در نهایت و بر اثر اصطکاک مدام با هوا، قطرات تشکیل می شوند. منبع انرژی برای این شکل از ریزسازی، از تبدیل فشار مایع پشت نازل به انرژی جنبشی آن به هنگام خروج از نازل به دست می آید. سه عامل که اتمایزرهای فشاری را تحت تاثیر قرار می دهند، عبارتند از: قطر اریفیس (روزنه) اتمایزر، اتمسفر و سرعت نسبی بین مایع و هوا. هر قدر قطر یا اندازه روزنه اتمایزر بزرگ باشد، متوسط اندازه ذرات تولیدی بزرگ تر خواهد بود. اتمسفر با ایجاد مقاومت در برابر جریان مایع و غلبه بر خواص مایع (کشش سطحی، ویسکوزیته و دانسیته)، آن را می شکند. سرعت سیال نتیجه فشار موجود در پشت نازل است. با افزایش فشار؛ سرعت افزایش یافته و در نتیجه اندازه متوسط ذرات کاهش می یابد [۱].



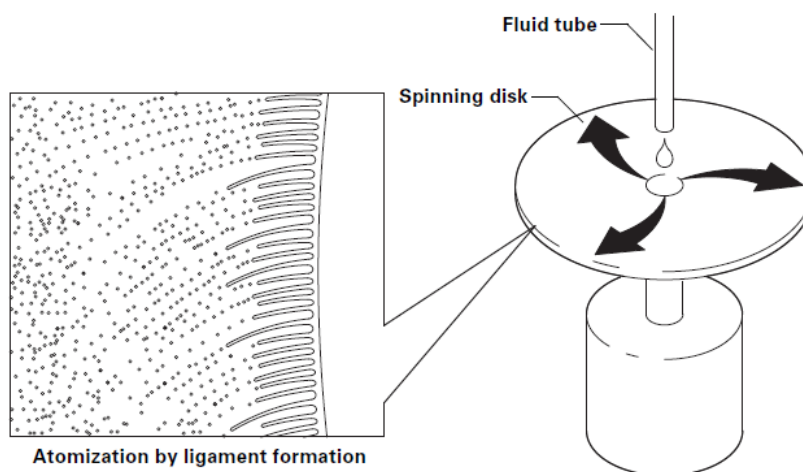
شکل ۲: اتمایزر فشاری.

در اتمایزرهای هوای فشرده مایع با سرعت زیادی از نازل خارج می شود (شکل ۳). این در حالی است که جریان پرسرعتی از هوا نیز آن را احاطه کرده است. این تماس باعث شتاب بخشیدن به ذرات مایع شده و در نتیجه سبب ریز شدن خوراک می شود. این طرح برای بهره گیری از انرژی گاز فشرده شده برای تبدیل کردن مایع به پودر است که برای طیف وسیعی از مواد خورنده به کار می رود. خواص رئولوژیکی هوا و خوراک، مانند کشش سطحی، دانسیته و ویسکوزیته، کیفیت محصول نهایی را تعیین می کنند. این سیستم ها دارای مشکلاتی مانند رسوب گرفتگی می باشند. از جمله مزایای استفاده از این نازل ها، توانایی آن برای تولید ذرات بسیار ریز و قابلیت استفاده برای محتوای با ویسکوزیته بالا می باشد. فشار هوا منبع انرژی این دسته از فرایندها است.



شکل ۳: اتمایزر هوای فشرده [۱].

در اتمایزرهای صفحه چرخان، یک نازل مایع را در تماس با مرکز یک ظرف یا صفحه چرخان قرار می‌دهد (شکل ۴). نیروی گریز از مرکز، مایع را به سمت لبه صفحه رانده و باعث پرتاب مایع می‌شود. بدین ترتیب مایع شکسته و به قطرات ریزی تبدیل می‌شود. در این سیستم‌ها، اندازه ذرات ارتباط مستقیمی با ویسکوزیته، دانسیته و کشش سطحی؛ و رابطه‌ای معکوس با قطر صفحه سانتریفوژ و سرعت چرخیدن دارد. این سیستم قادر است محصولاتی با ویسکوزیته بالا و در حجم‌های زیاد تولید کند. توان اسپری این سیستم چیزی حدود ۲۷ تن در هر ساعت است. مزایای استفاده از اتمایزرهای دوار عبارتند از: انعطاف‌پذیری بالا و سهولت عملیات، سازگاری با فشار پایین مایع، فاقد مشکلاتی از قبیل رسوب گرفتگی، کار با خورنده‌ها و ساینده‌ها، سهولت کنترل اندازه قطرات از طریق تنظیم سرعت چرخش. با این وجود دارای معایبی هم می‌باشد از جمله این که: مقدار زیادی ذرات ریز تولید می‌کند که می‌تواند ایجاد آلودگی کند، هزینه بالا، نگهداری گران، دشواری استفاده برای مواد بسیار چسبناک و این که نمی‌توان در خشک‌کن‌های افقی مورد استفاده قرار گیرد. لذا به خاطر مشکلات و هزینه‌های مرتبط با اتمایزر چرخان در بخش صنعت علاقه به جایگزینی نازل فشاری وجود دارد. نیروی گریز از مرکز منبع انرژی این دسته از فرآیندها می‌باشد [۱].



شکل ۴: اتمایزر صفحه چرخان [۱].

یکی از مهمترین عوامل در تسريع و يکنواختی عمل خشک شدن، توزيع مناسب هوای گرم در محفظه خشک کن است. مهمترين وظیفه توزيع کننده هوا، هدایت جریان هوا بصورتی است که حداکثر تماس بين هوا و قطرات خوراک بوجود آید و از ماندگی پودر بر روی بدنه خشک کن، در حد امکان، جلوگیری نماید. طراحی توزيع کننده هوا عموماً بستگی به نوع سیستم پاشش خوراک، شکل محفظه و نحوه تماس هوا و خوراک دارد. معمولاً تماس خوراک و هوا به سه صورت انجام می گیرد:

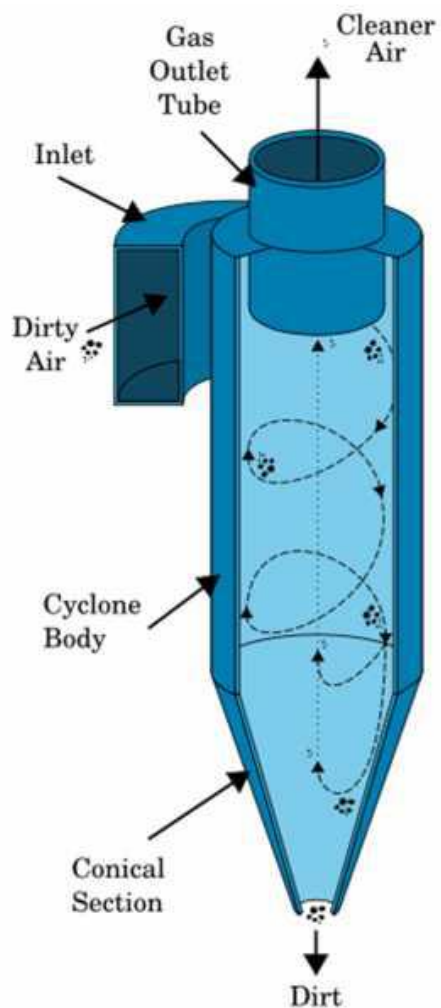
(۱) همسو: در خشک کن با جریان همسو مایع همسو با هوای گرم خشک کننده، اسپری شده و هر دو در یک جهت از محفظه عبور می کنند. دمای هوای خشک کننده به خاطر تبخیر آب به سرعت کاهش می یابد. به همین دلیل محصول دچار تخریب حرارتی نمی شود. اغلب مواد دارویی، لبنیات و دیگر محصولات غذایی حساس به حرارت معمولاً در خشک کن با جریان همسو خشک می گردند.

(۲) غیر همسو: در طراحی این خشک کن خوراک و هوا از دو انتهای مخالف به محفظه ی خشک کن وارد شده به صورتی که اتمایزر در موقعیت بالا و ورودی هوا در پایین است. بنابراین، خشک ترین ذرات در تماس با داغ ترین هوا قرار می گیرند. لذا این طرح برای محصولات حساس به حرارت مناسب نیست. خشک کن با جریان غیر همسو، تبخیر سریع تر و بازده انرژی بالاتری نسبت به خشک کن با جریان همسو، ارائه می دهد. در خشک کن با جریان مخالف به طور معمول از نازلها برای اسپری کردن استفاده می شود تا قدرت کافی برای اسپری در مقابل حرکت هوا داشته باشد. تولید صابون ها و مواد شوینده معمولاً با استفاده از این نوع خشک کن صورت می گیرد.

۳) جریان مختلط: این نوع از خشک کن، ترکیبی از هر دو جریان همسو و مخالف است. در خشک کن جریان مختلط هوا از بالا وارد می‌گردد و اتمایزر در پایین قرار دارد. مانند طراحی جریان مخالف، در خشک کن جریان مختلط نیز خشک‌ترین ذرات در معرض داغ‌ترین هواست، بنابراین، این طراحی نیز برای محصولات حساس به حرارت استفاده نمی‌شود. متداول‌ترین روش، نصب سیستم پاشش خوراک و توزیع‌کننده هوا در بالای محفظه خشک‌کن است که جهت همسو به هوا و خوراک می‌دهد. از این سیستم در خشک کردن اغلب مواد غذایی و موادی که نسبت به افزایش دما حساسیت دارند استفاده می‌شود.

بخشی از پودر حاصل از خشک شدن قطرات خوراک همراه با هوا از محفظه خشک‌کن خارج می‌شود. به منظور جداسازی آن از هوا به طور مرسوم از سیکلون استفاده می‌شود. در سیکلون‌ها جداسازی براساس اعمال نیروی گریز از مرکز است که سبب می‌شود ذرات پودر که سنگین‌تر هستند بر روی بدنه سیکلون حرکت کرده و هوا از وسط سیکلون عبور کند (شکل ۵). بدین ترتیب ذرات جامد پودر از انتهای سیکلون توسط شیر چرخان خارج می‌شود و هوا از طریق کلاhek بالایی سیکلون و توسط فن مکش شده و به بیرون هدایت می‌گردد. تعداد سیکلون‌های انتخابی جهت جداسازی به میزان هوا و پودر همراه آن بستگی دارد و به طور متداول از یک تا چهار سیکلون استفاده می‌شود. به طور کلی در صورتی که قطر سیکلون‌ها از یک متر کمتر باشد راندمان جداسازی پودر بیشتر است ولی در بهترین شرایط این عدد از ۹۵٪ تجاوز نخواهد کرد. به همین دلیل برای افزایش راندمان از سیکلون‌های راندمان بالا (High Efficiency) استفاده می‌شود و برای دست‌یابی به راندمان ۱۰۰٪ فیلتر اضافه می‌شود. مواردی که در طراحی سیکلون‌ها جهت دستیابی به راندمان حداکثری بایستی مدنظر قرار گیرد ابعاد سیکلون و شکل ورودی مخلوط هوا و پودر می‌باشد.

[۱].



شکل ۵: نمایی از اجزای یک سیکلون.

شرح دستگاه:

به طور کلی در یک سیستم خشک کن پاششی چهار مرحله زیر به ترتیب صورت می گیرد:

- (۱) اسپری کردن خوراک
- (۲) تماس بین فاز هوای داغ و مایع اسپری شده
- (۳) خشک شدن قطرات اسپری شده
- (۴) جداسازی محصول خشک شده از هوا

هریک از مراحل فوق براساس خصوصیات محصول مورد نظر و خواص فیزیکی و شیمیایی خوراک بررسی و طراحی می‌شود. همچنین چگونگی قرار گرفتن دستگاه‌ها و تجهیزات لازم نسبت به هم به عوامل مذکور بستگی دارد. اسپری کردن مایع و تبخیر سریع رطوبت از قطرات اسپری باعث می‌شود که دمای محصول خشک شده به طور قابل توجهی از دمای هوای ورودی محفظه خشک‌کن کمتر باشد، بنابراین محصول تحت تأثیر دماهای بالا قرار نگرفته و به هنگام جدا شدن از هوای گرم هیچ گونه آسیب حرارتی نمی‌بیند. خوراک از طریق یک مخزن و به وسیله پمپ و کمپرسور به دستگاه اتمایزر یا نازل دو سیاله که در بالای محفظه خشک‌کن قرار دارد، منتقل می‌شود و به قطرات ریز مایع تبدیل می‌گردد. در محفظه خشک‌کن این قطرات در تماس با هوای داغ قرار می‌گیرند. هوا با توجه به نوع محصول توسط هیتر، بخار یا مشعل، گرم شده و توسط یک فن به داخل محفظه فرستاده می‌شود. تبخیر سریع مایع (که اغلب آب می‌باشد) باعث می‌شود که خشک شدن به سرعت انجام گیرد. پودر بعد از خروج از محفظه خشک‌کن توسط سیستم‌های جداساز نظیر سیکلون و یا فیلتر کیسه‌ای از هوا جدا می‌شود. جهت کنترل عملکرد خشک‌کن و تولید محصول مناسب، کنترل پارامترهایی نظیر درجه حرارت هوای ورودی و خروجی، کنترل میزان خوراک و درصد مواد جامد آن ضروری است [۲]. در این آزمایش دو هدف زیر دنبال می‌شود:

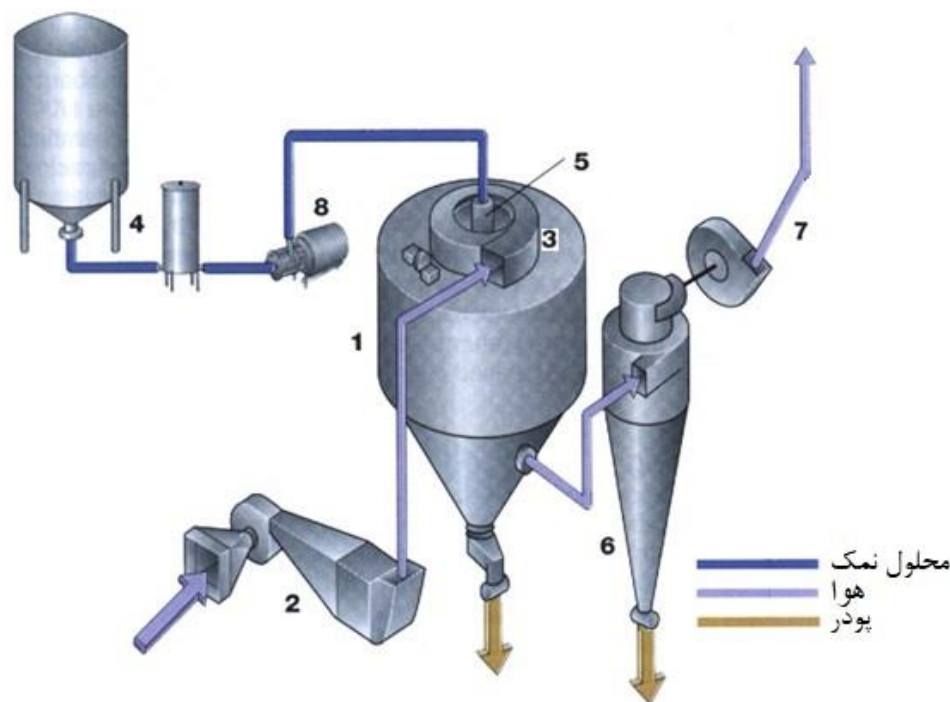
(۱) آشنایی کامل با کارکرد یک خشک‌کن پاششی.

(۲) بررسی پارامترهای موثر در فرایند خشک کردن در خشک‌کن‌های پاششی.

دستگاه مورد استفاده در این آزمایش شامل اجزای زیر است:

- محفظه اصلی خشک‌کن
- فن دستگاه
- سیستم گرمایش
- توزیع کننده و کانال انتقال هوای گرم
- سیستم و پمپ خوراک
- سیستم پاشش خوراک (اسپری کننده)
- سیستم خنک کننده خشک‌کن
- سیستم جداسازی پودر
- صفحه نمایشگر لمسی همراه با نرم افزار تخصصی

در ادامه به توضیح بیشتر هر یک از قسمت‌های فوق پرداخته می‌شود که در شکل ۶ نیز نشان داده شده‌اند.



شکل ۶: قسمت های مختلف خشک کن یاششی [۲].

۱) **محفظه اصلی خشک کن:** محفظه خشک کن قسمتی از دستگاه است که در آن تماس بین قطرات مایع و هوای داغ و در نتیجه فرآیند خشک شدن صورت می پذیرد و از دو قسمت استوانه‌ای و مخروطی، تشکیل شده است. خوراک پس از خشک شدن از انتهای قسمت مخروطی و یا از قسمت ورودی به سیکلون از محفظه خارج می‌شود. جهت خنک کاری محفظه خشک کن و کمک به عدم چسبندگی محفظه از لوله‌های مسی و آب استفاده شده است. سیستم از طریق آب شهری تغذیه می‌شود.

(۲) سیستم گرمایش: جهت گرم کردن هوا، از دو روش زیر استفاده می‌شود:

۲-۱) روش مستقیم: در این روش هوا بصورت مستقیم با منبع گرمایش (مشعل یا المنت های برقی) در تماس است.

۲-۲) روش غیر مستقیم: هوا بصورت غیر مستقیم و توسط مبدل حرارتی، گرم می‌شود. در این روش منبع حرارتی روغن داغ، بخار، مشعل گازی یا گازوئیلی می‌باشد. بار حرارتی به دبی هوا، ظرفیت گرمایی آن و مقدار افزایش دما بستگی دارد و مقدار بخار مصرفی با انجام موازنه‌های جرم و انرژی محاسبه می‌شود.

در این دستگاه ، هوا به صورت مستقیم با یک دسته المنت برقی در تماس بوده و گرم می‌شود. توان المنت‌های گرمایی ۹ کیلووات بوده و یک فن در ابتدای کانال جهت افزایش راندمان سیستم گرمایش نصب شده است. توان المنت‌ها بوسیله نرم افزار دستگاه و با وارد کردن set point قابل تغییر و تنظیم است.

(۳) توزیع کننده و کانال انتقال هوای گرم: در این دستگاه برای تماس خوراک و هوا از روش همسو استفاده شده است.

(۴) سیستم و پمپ خوراک: سیستم خوراک دهی وظیفه انتقال خوراک به سیستم پاشش خوراک را به عهده دارد و شامل مخزن خوراک، پمپ خوراک، لوله کشی و متعلقات می‌باشد. دبی پمپ به وسیله نرم افزار دستگاه قابل تنظیم می‌باشد.

(۵) سیستم پاشش خوراک (اسپری کننده): سیستم پاشش خوراک یا اسپری کننده، به عنوان قلب خشک کن پاششی با تبدیل خوراک به قطرات ریز و ایجاد سطح وسیع تماس با هوای داغ، شرایط را جهت تبخیر یکنواخت و سریع قطرات فراهم می‌آورد. هرچه قطرات یکنواخت‌تر باشند، ضمن یکسان بودن زمان خشک شدن آنها، محصول از ذرات یکنواخت‌تری برخوردار بوده و قابلیت بسته‌بندی و نگهداری طولانی مدت را داراست. خشک شدن قطرات در چند ثانیه که سبب جلوگیری از آسیب حرارتی محصول می‌شود، از مزایای این سیستم به شمار می‌رود. این دستگاه شامل سیستم اسپری کننده نازل دو سیاله می‌باشد که با ایجاد جریان مغشوش در محفظه خود و شتاب دادن به مایع باعث تبدیل آن به قطرات ریز می‌شوند.

(۶) سیستم جداسازی پودر: بخشی از پودر حاصل از خشک شدن قطرات خوراک، همراه با هوا از محفظه خشک کن خارج می‌شود. به منظور جداسازی آن از هوا، در این دستگاه از سیکلون و فیلتر کیسه‌ای استفاده شده است. ذرات جامد پودر از انتهای سیکلون خارج می‌شود و هوا از طریق کلاهک بالایی سیکلون و توسط فن، مکش شده و به بیرون هدایت می‌گردد. از آنجا که راندمان سیکلون‌ها، در بهترین شرایط بین ۹۰ تا ۹۵ درصد است، لذا خروج پودر از سیستم به علت مسائل زیست محیطی قابل قبول نیست. به همین دلیل این دستگاه شامل تعدادی کیسه از جنس الیاف می‌باشد که مانع عبور پودر می‌گردند، ولی هوا را از خود عبور می‌دهند.

(۷) فن دستگاه: به منظور تأمین هوای خشک کن از یک فن سانتریفیوژ استفاده شده است. برخی از انواع فن، هوا را به درون سیستم خشک کن فرستاده که به آنها فن دمنده گفته می‌شود و معمولاً در ابتدای سیستم تأمین هوا نصب می‌شوند. برخی دیگر از انواع فن، هوا را از سیستم خارج می‌کنند که به آنها فن مکند گفته می‌شود و معمولاً در انتهای سیستم خشک کن پس از سیکلون‌ها نصب می‌شوند. فن مکند هوا در این دستگاه، در انتهای مسیر هوا بعد از سیکلون قرار گرفته است و بوسیله آن هوا به درون گرم کن هوا و نهایتاً محفظه خشک کن مکیده می‌شود. دبی فن بوسیله نرم افزار دستگاه قابل تنظیم است.

۸) کمپرسور هوا به همراه کلیه متعلقات: در اتمایزهای نازلی از نوع نازل دو سیاله، از هوای فشرده جهت ایجاد اغتشاش در جریان خوراک و شتاب دادن به مایع و نهایتاً تبدیل مایع به قطرات ریز استفاده می‌شود. منبع تامین این هوای فشرده یک یا تعدادی کمپرسور هوا یا خط هوای فشرده می‌باشد. در این خشک کن پاششی از یک دستگاه کمپرسور هوا استفاده شده است. رگولاتور جهت تنظیم فشار کمپرسور بر روی استراکچر نصب شده است. روشن و خاموش کردن کمپرسور نیز از طریق نرم افزار امکان پذیر است.

همچنین جهت کنترل بعضی از پارامترهای فرایندی خشک کردن پودر، نرم افزار کنترلی طراحی شده است که در شکل ۷ نشان داده شده است. نمایش و کنترل دماها، تنظیم دبی فن و پمپ خوراک و کنترل توان الکتریکی مصرفی هیترها توسط این مجموعه که در دستگاه فوق شامل یک صفحه نمایشگر لمسی و نرم افزار می‌باشد، انجام می‌شود. دمای هوای ورودی و خروجی محفظه خشک کن و همچنین دمای آب ورودی و خروجی سیستم خنک کننده در نرم افزار نشان داده می‌شود. دمای هوای ورودی مخزن با استفاده از نرم افزار و در آیکون AIR HEATING SETPOINT قابل تنظیم است. دبی فن سانتریفیوژ و فن خوراک بصورت بازه درصدی تعریف شده‌اند و پس از وارد کردن درصد دلخواه تنظیم می‌شوند. با استفاده از آیکون AIR COMPRESSOR، کمپرسور روشن یا خاموش می‌شود [۲].



شکل ۷: نمایی از صفحه نرم‌افزار کنترل دستگاه [۲].

روش انجام آزمایش:

(۱) از بسته بودن دریچه های خشک کن مطمئن شوید. همچنین از خشک بودن کانال انتقال پودر و سیکلون اطمینان حاصل نمایید.

(۲) از پر بودن مخزن خوراک و عدم گرفتگی در مسیر عبور مایع و نازل اطمینان حاصل نمایید.

(۳) ظروف شیشه ای مربوط به جمع آوری پودر را ابتدا در حالت خالی وزن کرده و سپس در انتهای قسمت مخروطی محفظه خشک کن و انتهای سیکلون ببندید.

(۴) مقدار ۲۵۰ گرم نمک طعام را وزن کرده و آن را در ۱ لیتر آب مقطر حل کنید. محلول را از یک صافی عبور دهید.

(۵) جهت راه اندازی دستگاه باید ابتدا با استفاده از نرم افزار کنترل دستگاه فن هوای ورودی را روی ۱۰۰٪ تنظیم و روشن کنید. (ماکزیمم دبی هوای ورودی $500 \text{ m}^3/\text{hr}$ می باشد).

توجه: قبل از روشن شدن هیتر، حتما ابتدا فن دستگاه روشن شود و حتما از کار کردن فن پشت هیتر اطمینان حاصل کنید.

(۶) دمای محفظه را با استفاده از SET کردن دمای ورودی روی ۱۶۰ درجه سانتی گراد در نرم افزار کنترل دستگاه تنظیم کنید. به سیستم زمان دهید تا به دمای تنظیم شده برسد. (توان هیتر ۹ کیلووات می باشد).

توجه: هرگز بخش هیتر دستگاه را لمس نکنید چون به علت حرارت بالا ممکن است باعث ایجاد سوختگی شود.

(۷) کمپرسور را با بالا کشیدن دکمه قرمز روی آن روشن کنید و هنگامی که فشار درون مخزن کمپرسور به ۸ bar رسید شیر خروجی هوای روی کمپرسور را باز کنید. توسط نرم افزار مسیر هوای فشرده به محفظه دستگاه را باز کرده و شیر آبی رنگ تنظیم فشار هوای ورودی به دستگاه (کنار جعبه برق دستگاه) را روی ۲ bar تنظیم کنید.

(۸) پس از رسیدن دمای خشک کن به دمای تنظیم شده و پس از چک کردن نازل و اطمینان از عدم گرفتگی آن، خوراک را به درون مخزن پمپ کنید. دبی خوراک به وسیله کنترل دور پمپ در نرم افزار کنترل دستگاه قابل تنظیم می باشد. دور پمپ را روی ۳۵٪ تنظیم کنید (معادل دبی ۱۸ میلی لیتر بر دقیقه).

(۹) زمان انجام آزمایش از لحظه شروع به کار پمپ خوراک تا وقتی که محلول تمام شود را یادداشت کنید و در طی این مدت دمای ورودی و خروجی هوا را یادداشت کنید. همچنین دبی هوا و دبی پمپ مایع را نیز یادداشت کنید.

- ۱۰) در هنگام اسپری شدن خوراک با استفاده از دریچه‌های تعبیه شده روی بدنه دستگاه، عمل کرد نازل را مشاهده کنید.
- ۱۱) مقدار رطوبت هوای آزمایشگاه را با استفاده از دستگاه رطوبت سنج (Psychrometer) اندازه بگیرید.
- ۱۲) پس از پایان آزمایش هیتر را خاموش کرده و اجازه دهید ۱۵ دقیقه فن کار کرده تا دمای سیستم کاهش یابد. همچنین ظروف شیشه‌ای محصول را از دستگاه جدا کنید.
- ۱۳) جهت شستشوی نازل در حالی که هنوز فن و کمپرسور روشن است، آب مقطر را با دبی کم وارد مدار کرده و به سیستم ۱۰ دقیقه زمان می‌دهیم تا داخل نازل از نمک پاک شود.
- ۱۴) ظرف‌های محصول را همراه نمک به دست آمده وزن کرده و مقدار معینی از محصول را به مدت نیم ساعت در اتوکلاو با درجه حرارت ۱۰۰ درجه سانتی گراد قرار دهید تا میزان رطوبت آن مشخص شود.
- ۱۵) در انتها پمپ خوراک، کمپرسور و فن را خاموش کرده و دریچه روی بدنه دستگاه را باز کرده و توسط شلنگ آب بدنه دستگاه و نازل را شستشو کنید. مساله شستشو در این دستگاه جهت افزایش طول عمر مفید دستگاه، الزامی است.

گزارش:

- ۱) موازنه انرژی و مواد را برای نمک، هوا و آب به طور کامل برقرار سازید.
- ۲) درصد نمک از دست رفته و درصد انرژی تلف شده را محاسبه کنید.
- ۳) شرحی راجع به چگونگی ریز و درشت شدن ذرات به وجود آمده و عوامل موثر بر آنها بنویسید.
- ۴) چگونه با کمک اتمایزر می‌توان اندازه ذرات خروجی را تعیین کرد؟
- ۵) برای بهتر کردن کارکرد دستگاه راهکاری پیشنهاد نمایید.
- ۶) علاوه بر سه اتمایزری که در متن ذکر شد تحقیق کنید که آیا روش‌های دیگری نیز برای اسپری کردن خوراک وجود دارد یا خیر.

منابع و مراجع:

[۱] Unit Operations of Chemical Engineering; McCabe

[۲] <http://www.radmansanatco.com/home>