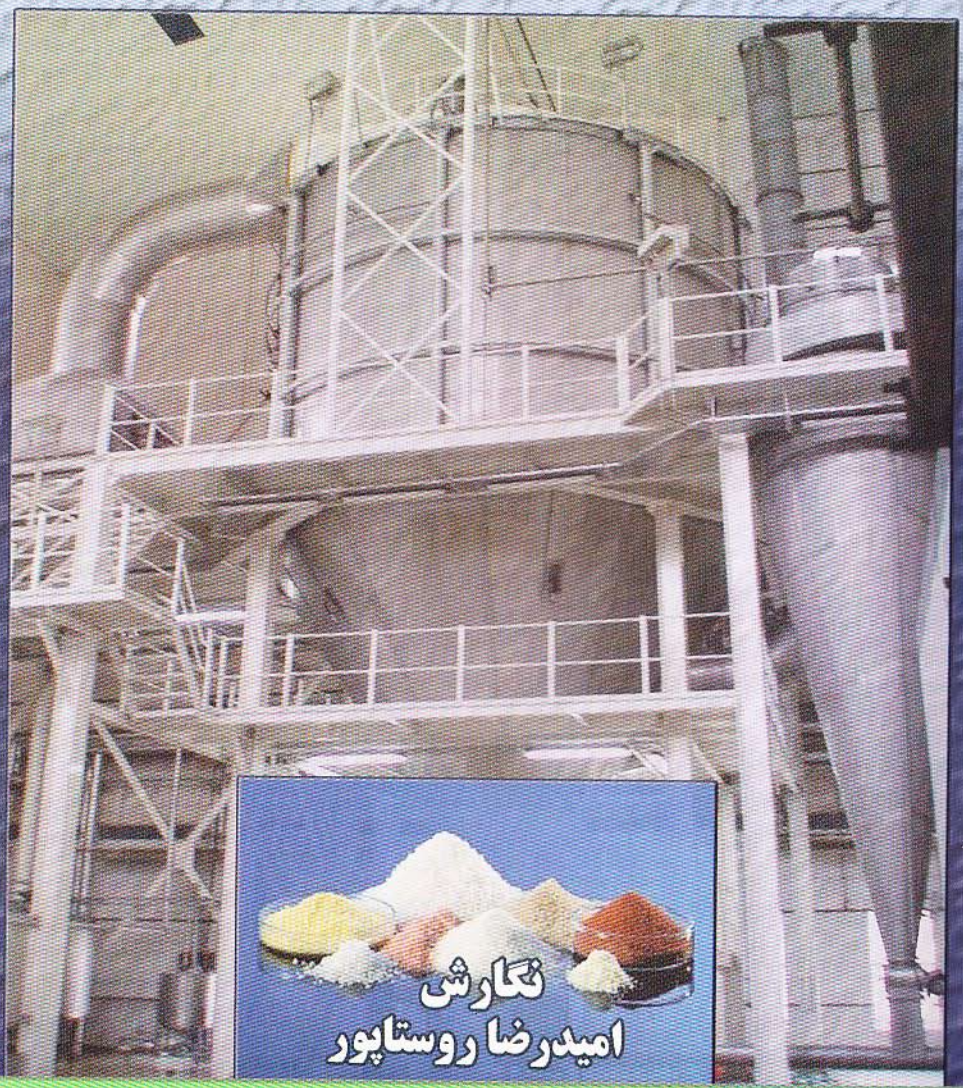
وزارت جهاد کشاورزی
سازمان ترویج، آموزش و تحقیقات کشاورزی
موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی
AERI

روش‌های تولید پودر آب میوه با استفاده از خشک‌کن‌های پاششی



نگارش
امیدرضا روستاپور

نشریه فنی، شماره ۳، سال ۱۳۸۷

بسم الله الرحمن الرحیم

موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی
نشریه فنی

روش‌های تولید پودر آب میوه با استفاده از خشک‌کن‌های پاششی

نگارش:
امیدرضا روستاپور

سال انتشار:
۱۳۸۷

مقدمه

فرآیند خشک‌کردن پاششی (Spray drying) تبدیل قطرات کوچک به ذرات با رطوبت بسیار کم در تماس با هوای گرم است. تبخیر سریع موجب می‌شود که دمای قطره در یک سطح کم باقی بماند بنابراین افزایش دمای هوای خشک‌کن به میزان قابل توجه بدون تأثیر بر قطرات خوراک ارسال شده به داخل محیط خشک‌کن امکان پذیر می‌باشد. در مقایسه با دیگر فرآیندهای خشک کردن، زمان عملیات در خشک‌کن‌های پاششی بسیار کمتر است. دمای کم قطرات در حین تبخیر و زمان کم فرآیند، این روش را برای خشک کردن محصولات حساس به گرما مانند لبنیات، غذاها و آب میوه‌ها مناسب نموده است (Filkova & Mujumdar, 1995; Masters, 1985). خشک‌کن پاششی به‌طور گسترده در صنایع شیمیایی، دارویی، بهداشتی و غذایی کاربرد دارد. محصولاتی از قبیل پودر شیر، چای، قهوه، آب پنیر، تخم‌مرغ، سرکه، گوجه فرنگی و انواع آب میوه‌ها را می‌توان توسط خشک‌کن پاششی در صنایع غذایی تولید نمود.

با توجه به اینکه آب میوه‌ها جزو مواد ترموپلاست و چسبنده می‌باشند و خشک‌کردن آنها در خشک‌کن پاششی مشکل است، می‌توان با طراحی خشک‌کن برای این منظور و استفاده از مواد افزودنی

که در رفع چسبندگی آب میوه‌ها مؤثر هستند، مشکل را برطرف نمود و پودر آب میوه را در خشک‌کن پاششی تولید کرد.

شرح مراحل خشک‌کن پاششی

همانطور که بیان شد در طی این فرآیند رطوبت قطرات مایع طی تماس با هوای گرم خشک‌کن تبخیر شده و بسته به ترکیبات شیمیایی و خواص فیزیکی خوراک، پودر با رطوبت پایین به‌صورت ذرات ریز یا توده ایجاد می‌شود. به‌طورکلی هر خشک‌کن پاششی شامل مخزن، پمپ تغذیه مواد مایع، افشانک (پاشنده)، گرم‌کن هوا، پخش کننده هوا به داخل مخزن خشک‌کن (Air disperser) و مکانیزم جداکننده ذرات پودر از هوا می‌باشد. شرایط متفاوت در فرآیند خشک‌کردن و کیفیت نهایی محصولات پودری تولید شده توسط خشک‌کن پاششی تعیین‌کننده نوع افشانک انتخابی، الگوی مناسب جریان هوا و طراحی مخزن خشک‌کن می‌باشند. به‌طورکلی فرآیند خشک‌کردن پاششی شامل چهار مرحله است.

مرحله اول: تبدیل خوراک مایع به قطرات ریز و پاشش آنها در محیط گرم مخزن خشک‌کن،

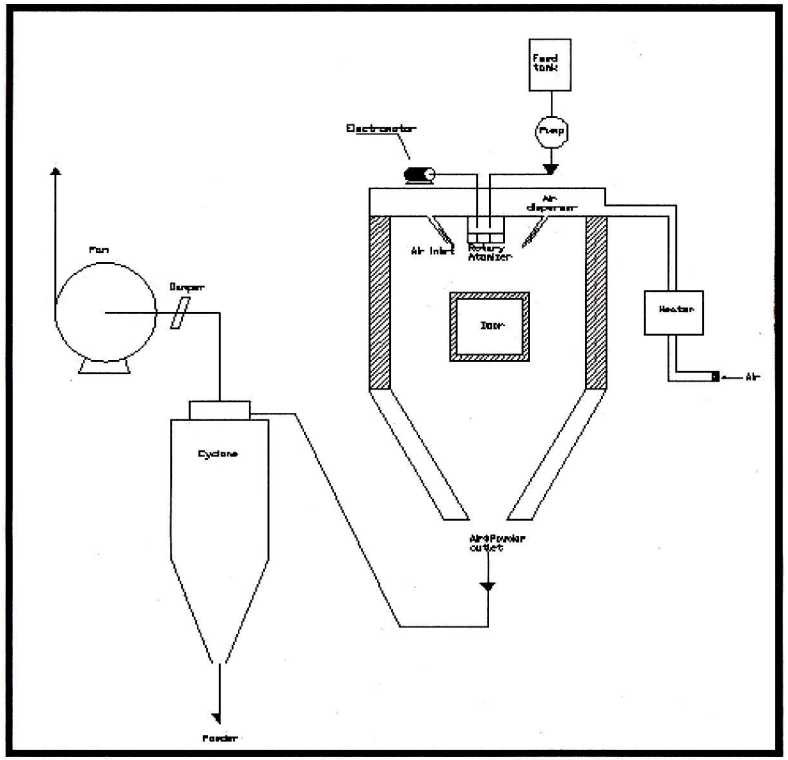
مرحله دوم: تماس هوای گرم با قطرات مایع،

مرحله سوم: تبخیر رطوبت و خشک شدن قطرات،

مرحله چهارم: جداسازی ذرات پودر از هوا.

هر یک از مراحل بر اساس طرح خشک‌کن، نوع اتمایزر و مکانیزم جداسازی پودر و هوا انجام می‌پذیرد. همچنین خواص فیزیکی و شیمیایی خوراک، تعیین‌کننده خواص محصول خشک شده نهایی (پودر) می‌باشند. همگن بودن قطرات و میزان تبخیر بالا باعث می‌شوند که دمای محصول نهایی کمتر از دمای هوای خروجی از خشک‌کن باشد. شکل ۱، طرح‌واره یک خشک‌کن پاششی و اجزاء آن را نشان می‌دهد.

محصول مایع از مخزن تغذیه (Feed tank) توسط پمپ مکش شده و با دبی مشخص تحویل افشانک می‌گردد. افشانک مایع را تبدیل به قطرات ریز نموده و در داخل مخزن خشک‌کن پاشش می‌کند. از طرفی هوا توسط یک گرم‌کن (Air heater) انرژی حرارتی لازم را دریافت نموده و پس از رسیدن به دمای مطلوب از ناحیه ورود هوا (Air inlet) به داخل مخزن خشک‌کن جریان می‌یابد. جریان هوا در خشک‌کن توسط فن برقرار می‌شود. در طی تماس قطرات با جریان هوای گرم و در اثر فرآیند تبخیر، ذرات پودر خشک ایجاد شده و به همراه جریان هوا از انتهای خشک‌کن خارج می‌شوند. در این مرحله ذرات پودر توسط مکانیزم بازیاب از قبیل سیکلون (Cyclone) از جریان هوا جدا می‌شوند.

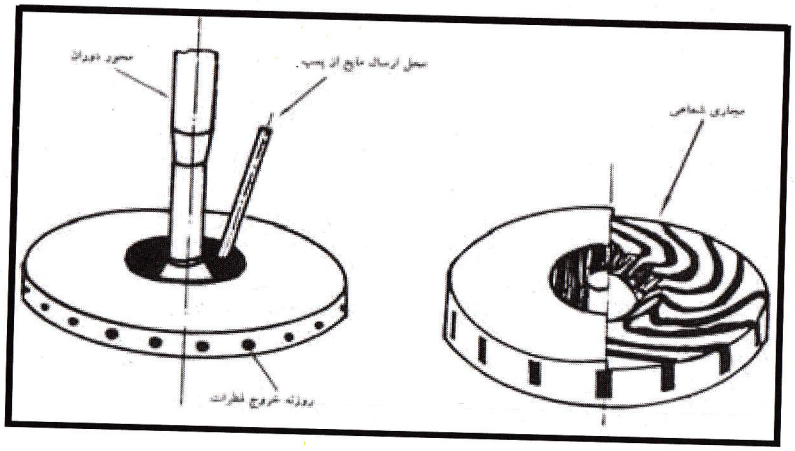


شکل ۱- خشک‌کن پاششی و اجزاء آن

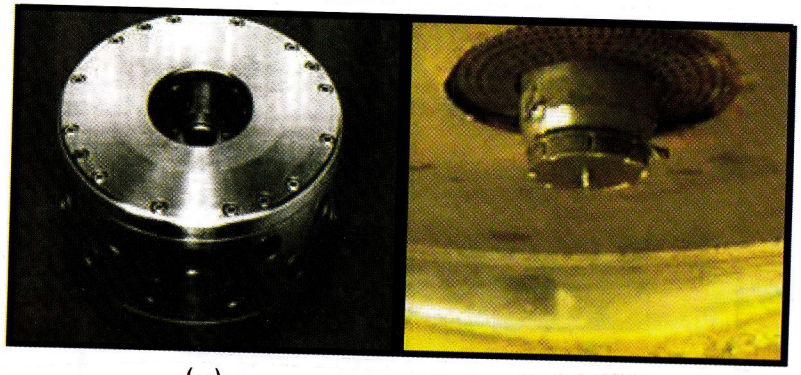
پاشش خوراک به‌صورت قطرات مایع

افشانک خوراک مایع را تبدیل به قطرات ریز نموده و به داخل محیط گرم خشک‌کن ارسال می‌نماید. در طی پاشش، قطرات ریز با توزیع ابعادی مشخص تولید می‌گردد. روش‌های مختلفی جهت پاشش مایع وجود دارد و انتخاب روش در کیفیت پودر تولیدی سهیم است.

یکی از انواع افشانک‌ها نوع چرخ دوار (Rotary disk atomizer) می‌باشد. افشانک چرخ دوار گشتاور لازم جهت دوران را از یک موتور الکتریکی دریافت نموده و با سرعت بالا دوران می‌نماید. چرخ دوار شامل یک سری مجاری بوده که در امتداد شعاعی در آن ایجاد شده‌اند. خوراک مایع توسط پمپ به مرکز چرخ دوار منتقل شده و در مجاری افشانک جریان می‌یابد. مایع در لحظه رسیدن به لبه چرخ دوار، تحت تأثیر نیروی گریز از مرکز حاصل از دوران با سرعت بالا به قطرات ریز شکسته شده و در داخل مخزن خشک‌کن با سرعت زیاد پرتاب می‌شوند. شکل ۲، افشانک چرخ دوار و اجزاء آن را نشان می‌دهد. همچنین تصویر این افشانک با یک و دو ردیف مجاری خروج مایع را می‌توان در شکل ۳ (الف و ب) مشاهده نمود. بسته به شرایط جریان و طراحی خشک‌کن، افشانک دوار به‌علت انعطاف‌پذیری و عملکرد بهتر نسبت به اتمایزرهای فشاری ترجیح داده می‌شود. این افشانک برای انتقال مواد ساینده مناسب است و مشکل گرفتگی مجاری در آن به‌مراتب کمتر از انواع دیگر می‌باشد. فشار در این مکانیزم بسیار کم است و کنترل قطر قطرات با تغییر سرعت دورانی چرخ صورت می‌پذیرد.



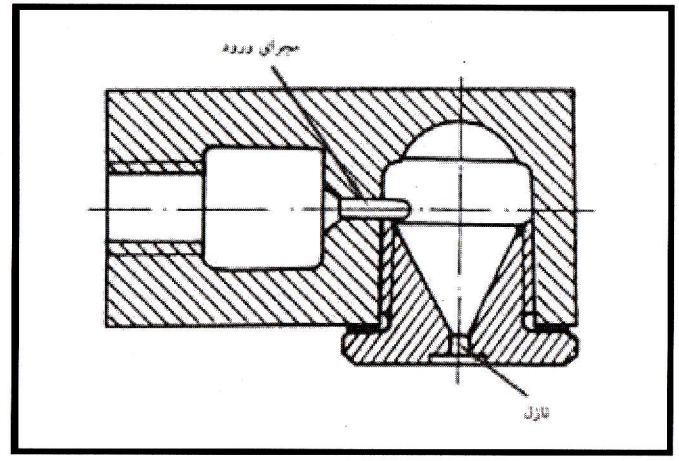
شکل ۲- قسمت‌های مختلف یک افشانک چرخ دوار



(ب) (الف)

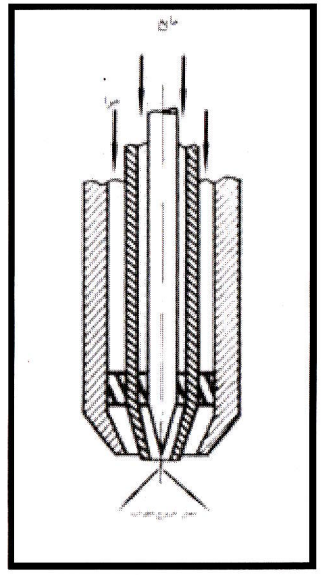
شکل ۳- افشانک چرخ دوار، الف: یک ردیفه، ب: دو ردیفه

نوع دیگر، افشانک فشاری (Pressure nozzle) است. در این مکانیزم، خوراک مایع تحت فشار به داخل افشانک هدایت می‌شود. در افشانک انرژی فشاری تبدیل به انرژی جنبشی شده و باعث جریان یافتن خوراک در روزنه افشانک به‌صورت یک لایه نازک پرسرعت می‌گردد. در روزنه افشانک، مایع به قطرات بسیار ریز شکسته شده و به داخل محیط خشک‌کن پاشیده می‌شود. قطرات ایجاد شده توسط این افشانک از یکنواختی کمتری برخوردار بوده و درشت‌تر از قطرات ایجاد شده توسط افشانک دوار هستند. شکل ۴، طرحواره افشانک فشاری را نشان می‌دهد.



شکل ٤- افشانک فشاری

از دیگر افشانک‌ها نوع دوسیالی (Two fluid nozzle) است (شکل ۵). این مدل در واقع نوعی افشانک فشاری می‌باشد که در آن هوا و خوراک مایع با هم ارسال می‌گردد. در طی حرکت چرخشی هوا در افشانک، خوراک مایع و هوا به‌خوبی با هم مخلوط شده و شکست مایع به قطرات ریز به نحو مطلوبی انجام می‌شود. در این افشانک فشار در سطح کمتری نسبت به افشانک فشاری می‌باشد و برای انتقال و پاشش مایع با گرانروی بالا بسیار مناسب است. ابعاد قطرات تولید شده توسط این افشانک کوچک‌تر از افشانک فشاری است.

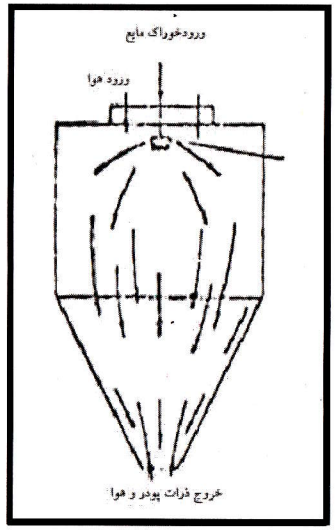


شکل ۵- افشانک دو سیالی

تماس هوا و قطرات

هوای گرم توسط پخش‌کننده در مخزن خشک‌کن پاششی جریان می‌یابد. پخش‌کننده باعث چرخش جریان هوا و یکنواختی دمای هوا در محیط خشک‌کن می‌شود. طریقه تماس هوا با قطرات عامل مهمی در طراحی خشک‌کن پاششی می‌باشد و تأثیر به‌سزایی بر کیفیت محصولات خشک شده دارد همچنین کنترل کننده میزان تبخیر و دمای ذرات در خشک‌کن می‌باشد. در یک مدل از طرح تماس، قطرات می‌توانند هم‌جهت با جریان هوای گرم ورودی به داخل خشک‌کن جریان یابند. این نوع از خشک‌کن‌های پاششی تحت عنوان جریان هم‌سو (Co-Current) می‌باشند. در این طرح هوای گرم و قطرات از بالای مخزن خشک‌کن وارد شده و پس از طی فرآیند از انتهای خشک‌کن خارج می‌شوند. این طرح برای محصولات حساس به گرما از قبیل آب میوه‌ها و مواد غذایی بسیار مناسب است زیرا شدت تبخیر در این مدل بسیار زیاد و به‌عبارتی زمان تبخیر کوتاه است و محصول کمتر تحت تأثیر تنش‌های حرارتی قرار می‌گیرد. در طی تبخیر به علت اشباع بخار در اطراف قطرات، دمای سطحی آنها پایین است. همچنین با ادامه حرکت قطرات به سمت خروجی خشک‌کن، دمای هوا به علت جذب رطوبت قطرات و تبادل حرارتی کاهش می‌یابد، لذا قطرات تحت

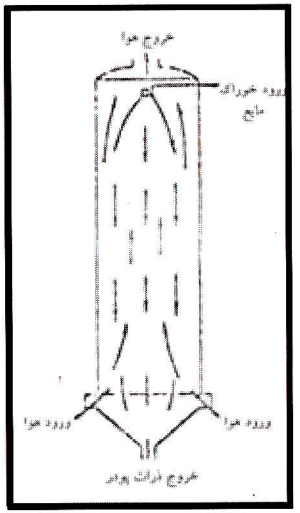
تنش حرارتی کمتری قرار دارند و خواص آنها تا حد زیادی حفظ می‌شوند. شکل ۶، طرحواره این نوع جریان را نشان می‌دهد.



شکل ٦- خشک‌کن پاششی جریان هم‌سو

نوع دیگر خشک‌کن پاششی، طرح جریان غیرهم‌سو (Counter-Current) است. در این طرح قطرات از بالای خشک‌کن وارد مخزن شده و هوای گرم درجهت مخالف از پایین وارد مخزن خشک‌کن می‌شود. جریان هوا باعث کاهش سرعت سقوط قطرات و افزایش زمان ماندگاری آنها در مخزن خشک‌کن خواهد شد. بازده حرارتی این مدل نسبت به مدل جریان هم‌سو بیشتر است ولی برای محصولات حساس

به گرما از قبیل مواد غذایی مناسب نمی‌باشد. در شکل ۷ طرح‌واره این نوع جریان مشاهده می‌شود.



شکل ۷- خشک‌کن پاششی جریان غیر هم‌سو

تبخیر رطوبت و خشک‌شدن قطرات

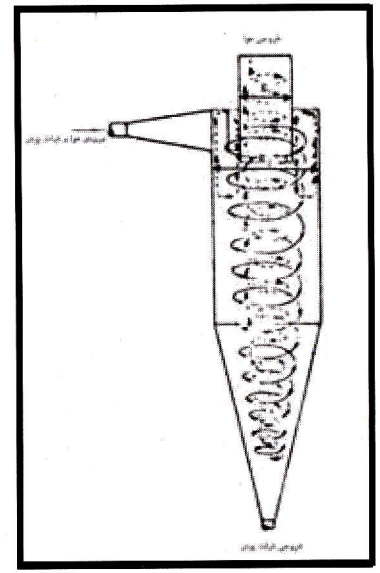
به مجرد تماس قطرات با هوای گرم، تبخیر از سطح قطرات شروع می‌شود. تبخیر سطحی باعث ثبات دمای سطح قطره در حد دمای حباب تر می‌شود. تبخیر شامل دو مرحله است. در مرحله اول رطوبت کافی برای جایگزینی رطوبت تبخیر شده از سطح قطرات وجود دارد. انتشار رطوبت از داخل قطره شرایط اشباع در سطح قطره را حفظ

می‌نماید. این مرحله تحت عنوان شدت ثابت است و بیشترین درصد تبخیر در این مرحله که در آن سطح قطرات اشباع می‌باشد، رخ می‌دهد. زمانی که میزان رطوبت کاهش یابد و به حدی برسد که نتواند شرایط اشباع سطحی را برقرار کند، تبخیر وارد مرحله دوم خواهد شد. در این زمان یک لایه سخت (Crust) در سطح قطره در اثر افزایش دما به علت کاهش رطوبت سطحی ایجاد می‌گردد. این نقطه به‌عنوان رطوبت بحرانی شناخته می‌شود. تبخیر در این مرحله به‌شدت انتشار رطوبت در لایه سخت سطحی قطره بستگی دارد. ضخامت لایه سخت به‌علت کاهش شدت تبخیر به‌تدریج افزایش می‌یابد. مرحله دوم تبخیر تحت عنوان مرحله شدت نزولی می‌باشد. دبی جریان هوا و طراحی مخزن خشک‌کن زمان ماندگاری مناسب را برای قطرات به‌منظور کاهش رطوبت درحد مورد قبول و تکمیل فرآیند خشک‌شدن قبل از خروج از انتهای خشک‌کن فراهم می‌آورند.

جداسازی ذرات پودر از هوا

در این مرحله ذرات پودر خشک شده از جریان هوا جدا می‌شوند. روش‌های مختلفی جهت جداسازی از قبیل کاربرد سیکلون (Cyclone) در یک یا چند مرحله، فیلترهای کیسه‌ای (Bag filter) و یا کاربرد توام هر دو مکانیزم وجود دارد. معمول‌ترین مکانیزم به‌کار رفته برای خشک‌کن‌های پاششی، سیکلون است. وقتی جریان هوا و ذرات پودر در

یک مسیر گردابه‌ای در سیکلون قرار داده می‌شود، ذرات علاوه بر نیروی گرانشی و اینرسی جریان هوا، تحت تأثیر یک نیروی اینرسی چندین مرتبه بزرگ‌تر از جاذبه گرانشی قرار می‌گیرند. در اثر این نیرو ذرات پودر به بیرون از جریان هوا رانده شده و بر دیواره داخلی سیکلون قرار می‌گیرند و در امتداد آن به سمت پایین لغزش نموده و از دهانه خروجی سیکلون خارج می‌شوند. جریان هوا به سمت بالای سیکلون هدایت شده و توسط جریان مکنده وارد محیط می‌شود. شکل ۸، طرح‌واره جریان هوا و ذرات پودر را در یک سیکلون نمایش می‌دهد.



شکل ۸- طرح‌واره جریان در سیکلون

تکنیک‌های تولید پودر آب میوه در خشک‌کن پاششی

هدف از خشک کردن آب میوه‌ها و تولید پودر، افزایش عمر مفید محصول، به‌کار گرفتن میوه‌های درجه ۲ و۳ در راستای کنترل و کاهش ضایعات، حمل و نقل آسان و ایجاد محصول برای استفاده‌های متنوع از قبیل کاربرد در شیرینی، کیک و غذای کودک و یا استفاده مستقیم آن می‌باشد. آب میوه‌ها شامل مواد قندی از قبیل فروکتوز، دکستروز، ساکاروز، لاکتوز، مالتوز، گلوکز و مالترین و اسیدهای خوراکی از قبیل اسید سیتریک، مالیک، تارتاریک، لاکتیک و اسکوربیک بوده که همگی دارای دمای تبدیل شیشه (Glass transition temperature) پایین و جزو مواد چسبنده و ترموپلاست می‌باشند. از مواد نام برده هرکدام که دمای تبدیل شیشه و ذوب بالاتری دارند، راحت‌تر خشک خواهند شد (Tsourouflis *et al.*, 1976). وجود آب در میوه‌ها باعث کاهش شدید دمای تبدیل شیشه ماده می‌شود. دمای تبدیل شیشه نقطه‌ای است که در آن ماده از فاز جامد وارد فاز مایع می‌گردد. قطرات آب میوه که شامل ترکیبات با دمای تبدیل شیشه پایین هستند، حتی بعد از خشک شدن در صورت برخورد به جداره گرم خشک‌کن به آن خواهند چسبید. به‌عبارتی زمانی که ذرات جامد به سطح گرم با دمای بیش از دمای تبدیل شیشه خود برخورد نمایند ذوب شده و وارد فاز مایع می‌گردند و درنتیجه به سطح گرم می‌چسبند. براساس تحقیقات، دمای سطح ذره در طی خشک شدن نباید به ۱۰ تا ۲۰ درجه سلسیوس

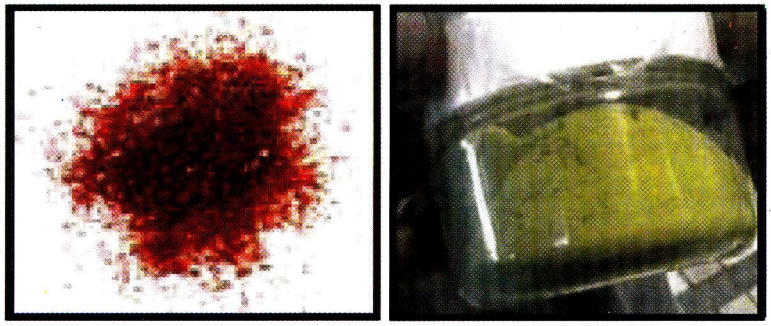
بالاتر از دمای تبدیل شیشه برسد در غیر این‌صورت چسبندگی رخ می‌دهد (Adhikari *et al.*, 2004). پایین بودن دمای تبدیل شیشه ذرات در محیط خشک‌کن با رطوبت نسبی بالا باعث چسبندگی ذرات به یکدیگر به علت تشکیل باندهای هیدروژنی بین آنها می‌شود. این عمل باعث تشکیل توده و کاهش کیفیت محصول نهایی خواهد شد (Peleg, 1993; Chuy & Labuza, 1994).

یکی از راه‌های کاهش چسبندگی، خنک کردن دیواره مخزن خشک‌کن می‌باشد. برای این منظور مخزن را دو جداره ساخته و در آن جریان هوای سرد را توسط یک فن برقرار می‌نمایند. استفاده از جداره سرد به‌ویژه در قسمت مخروطی خشک‌کن که بیشترین برخورد ذرات در این لایه مرزی می‌باشد، باعث کاهش چسبندگی ذرات پودر می‌شود. این مکانیزم گرچه باعث بهبودی فرآیند خشک شدن می‌شود، ولی راه حل قطعی برای رفع چسبندگی ذرات نیست (Jayaraman & Das Gupta, 1995; Sudhagar, 2000). به‌منظور کاهش چسبندگی و خاصیت ترموپلاستیکی آب میوه‌ها در طی فرآیند خشک شدن، اضافه کردن مواد کمکی از قبیل مالتودکسترین، شربت گلوکز، لاکتوز، آدامس عربی، نشاسته ذرت، متیل سلولز، کازینات سدیم و همچنین دی‌اکسید سیلیکان (به مقدار کم) به آب میوه قبل از ارسال به خشک‌کن برای تولید پودر ضروری است. میزان کاربرد مواد افزودنی

بر اساس خاصیت ترموپلاستیکی و طبیعت رطوبت‌گیری محصولات پودری تعیین می‌شود (Dolinsky & Gurov, 1986). از مالتودکسترین با دکستروزهای مختلف برای تولید پودر آب میوه‌ها در خشک‌کن پاششی به‌طور گسترده استفاده می‌شود. مالتودکسترین از پلیمرهای دکستروز و جزو کربوهیدرات‌های قابل هضم بوده که از هیدرولیز نشاسته ذرت به‌دست می‌آید و بسته به درجه هیدرولیز، معادل دکستروز آن تغییر خواهد کرد. معادل دکستروز (DE) معرف کاهش قدرت باندهای پلیمری در مقایسه با DE100 می‌باشد. مالتودکسترین با دکستروز پایین‌تر، دارای وزن مولکولی بیشتری است. بسته به مواد قندی تشکیل‌دهنده آب میوه‌ها از مالتودکسترین با دکستروزهای مختلف (دکستروز ۵ تا ۱۲) به‌عنوان مواد افزودنی استفاده می‌شود. به‌طور مثال برای تولید پودر مرکبات از قبیل پرتقال و لیموترش، مالتودکسترین با دکستروز ۸ تا ۱۰ و یا پودر آب انار، مالتودکسترین با دکستروز ۱۱ و ۱۲ مناسب‌تر هستند. مقدار بهینه مواد افزودنی بسته به مواد تشکیل دهنده آب میوه نیز متفاوت است و با انجام آزمایش‌های تجربی تعیین می‌شود. به‌طور مثال کاربرد مالتودکسترین برای تولید پودرهای آب انگور سیاه به میزان ۳۵ درصد ماده جامد، آب زردآلو ۴۰ درصد ماده جامد، آب انبه ۴۵ درصد ماده جامد و آب آناناس ۱۰ درصد ماده جامد توصیه شده است

(Bhandari *et al.*, 1993; Abadio *et al.*, 2004; Sudhagar *et al.*, 2002).

همچنین در تولید پودر آب لیموترش کاربرد توام ۲۰ درصد مالتودکسترین و ۱۰ درصد دی‌اکسید سیلیکان در خشک‌کن پاششی دو جداره با جریان هوای سرد توصیه شده است (Roustapour *et al.*, 2006). دی‌اکسید سیلیکان یک ماده معدنی و بی‌خطر بوده و استفاده از این ماده برای خشک کردن، تولید پودر و یا نگهداری پودرهای غذایی، ۵ تا ۱۰ درصد توصیه شده است. مقادیر استاندارد این دی اکسید سیلیکان برای مصارف گوناگون در صنایع غذایی و دارویی، مورد تایید مؤسسه F.D.A. آمریکا می‌باشد (Cabot Corporation, 1989). شکل ۹ (الف و ب)، تصویر یک نمونه پودر آب گوجه‌فرنگی و آب لیموترش که توسط خشک‌کن پاششی تولید شده است را نشان می‌دهد.



(ب) (الف)

شکل ۹- نمونه پودر، الف: آب لیموترش (Roustapour *et al.*, 2006)، ب: آب گوجه‌فرنگی

نتیجه‌گیری

خشک‌کن پاششی برای خشک کردن مایعات و محصولات خمیری مناسب است. در این خشک‌کن مایع توسط افشانک تبدیل به قطرات ریز شده و در محیط خشک‌کن پاشیده می‌شود. قطرات ریز در طی تماس با جریان هوای گرم خشک شده و تبدیل به ذرات پودر با رطوبت پایین می‌شوند. در نهایت ذرات پودر از هوا توسط مکانیزم‌های بازیاب از قبیل سیکلون جدا می‌شود. خشک‌کن پاششی کاربرد گسترده در صنایع غذایی از قبیل تولید پودر آب میوه دارد. آب میوه‌ها به علت داشتن مواد قندی و اسیدهای خوراکی بسیار چسبنده بوده و طی فرآیند خشک کردن سریعاً به دیواره خشک‌کن می‌چسبند. برای رفع این معضل افزودن مواد کمکی از قبیل مالتودکسترین، شربت گلوگز،

متیل سلولز، نشاسته ذرت و دی‌اکسید سیلیکان به آب میوه قبل از انجام فرآیند خشک کردن ضروری است. همچنین خنک نمودن جداره خشک‌کن در طی فرآیند به‌منظور کاهش چسبندگی مناسب می‌باشد.

منابع مورد استفاده

1- Abadio, F. D. B., Domingues, A. M., Borges, S. V. and Oliveria, V. M. 2004. Physical properties of powdered pineapple (Ananas comosus) juice: effect of malt dextrin concentration and atomization speed. Journal of Food Engineering. 64: 285-287.

2- Adhikari, B., Howes, T., Bhandari, B. R. and Troung, V. 2004. Effect of addition of malt dextrin on drying kinetics and stickiness of sugar and acid-rich foods during convective drying: experiments and modeling. Journal of Food Engineering. 62: 53-68.

3- Bhandari, B. R., Senoussi, A., Dumoulin, E. D. and Lebert, A. 1993. Spray drying of concentrated fruit juices. Drying Technology Journal. 11(5): 1081-1092.

4- Cabot Corporation. 1989. Cab-O-Sil fumed silica as a conditioning agent for the food processing industry. Information about Cab-O-Sil Fumed Silica, a Cabot Performance Chemical.

5- Chuy, L. E. and Labuza, T. P. 1994. Caking and stickiness of dairy-based food powders as related to glass transition. Journal of Food Science. 59(1): 43-46.

6- Dolinsky, A. A., Gurov, A. 1986. Method of production vegetable and fruit powders. USSR. No. 1270511.

7- Filkova, I. and Mujumdar, A. S. 1995. Industrial spray drying systems. In Mujumdar A. S. (Eds.), Handbook of Industrial Drying (2nd Ed.), Marcel Dekker, Inc., New York. pp. 243-244.

8- Jayaraman, K. S. and Das Gupta, D. K. 1995. Drying of fruits and vegetables. In Handbook of Industrial Drying. 2nd Ed. New York, Marcel Dekker Inc. pp. 661-662.

9- Masters, K. 1985. Spray Drying. 4th Ed. John Wiley and Sons. New York. 696 pp.

10- Peleg, M. 1993. Glass transition and physical stability of food powders. In Blanshard, J.M.V. and Lillford, P.J. (Eds.). The Glassy State in Foods. Nottingham University Press, Leicestershire. pp. 435-452.

11- Roustapour, O. R., Hosseinalipour, M. and Ghobadian, B. 2006. An experimental investigation of lime juice drying in a pilot plant spray dryer. Drying Technology Journal. 24(2):181-188.

12- Sudhagar, M. 2000. Spray drying of fruit juices. M. Tech. Thesis's of the Report. Indian Ins. Technol. Kharagpur, West Bengal, India.

13- Sudhagar, M., Jaya, S. and Das, H. 2002. Sticky issues on spray drying of fruit juices. The Society for Engineering in Agricultural, Food and Biological System. Paper No: MBSK 02-201. An ASAE Meeting Presentation. September 27-28, 2002.

14- Tsouroufl is, S., Flink, J. M. and Karel, M. 1976. Loss of structure in freeze-dried carbohydrates solutions: effect on temperature, moisture content and composition. Journal of Science Food and Agriculture. 27: 509-519.