

نشریه فنی

مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

روش‌های تولید پودر آب میوه با استفاده از خشک کن‌های پاششی

نویسنده: امید رضا روستاپور

استادیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس



فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۳	۱- مقدمه.....
۳	۲- شرح مراحل خشک کن پاششی.....
۵	۱-۲ پاشش خوراک به صورت قطرات مایع.....
۸	۲-۲ تماس هوا و قطرات.....
۹	۳-۲ تبخیر رطوبت و خشک شدن قطرات.....
۱۰	۴-۲ جداسازی ذرات پودر از هوا.....
۱۱	۳- تکنیک‌های تولید پودر میوه در خشک کن پاششی.....
۱۴	۴- نتیجه گیری.....
۱۴	۵- فهرست منابع.....

۱- مقدمه

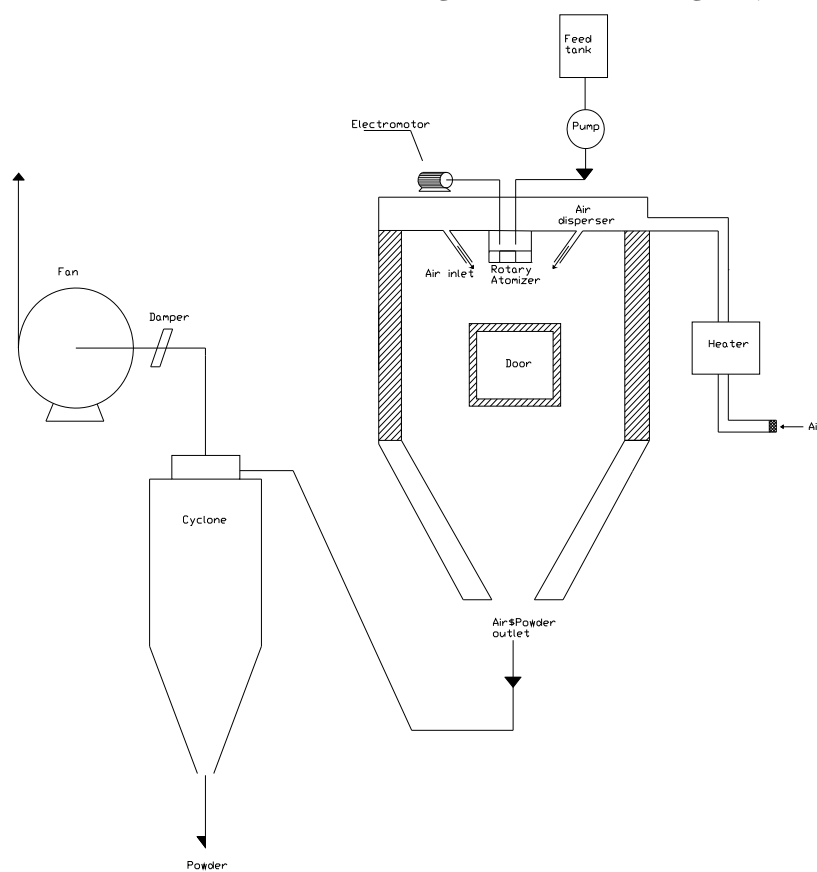
فرآیند خشک کردن پاششی (Spray drying) تبدیل قطرات کوچک به ذرات با رطوبت بسیار کم در تماس با هوای گرم است. تبخیر سریع موجب می‌شود که دمای قطره در یک سطح کم باقی بماند بنابراین افزایش دمای هوای خشک‌کن به میزان قابل توجه بدون تأثیر بر روی قطرات خوراک ارسال شده به داخل محیط خشک‌کن امکان پذیر می‌باشد. در مقایسه 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 آب‌میوه‌ها مناسب نموده است (Filkova & Mujumdar, 1995; Masters, 1985). خشک‌کن پاششی بطور وسیعی در صنایع شیمیایی، دارویی، بهداشتی و غذایی کاربرد دارد. محصولاتی از قبیل پودر شیر، چای، قهوه، آب پنیر، تخم‌مرغ، سرکه، گوجه فرنگی و انواع آب‌میوه‌ها را می‌توان توسط خشک‌کن پاششی در صنایع غذایی تولید نمود.

با توجه به اینکه آب‌میوه‌ها جزو مواد ترموپلاست و چسبنده می‌باشند و خشک کردن آنها در خشک‌کن پاششی مشکل است، می‌توان با طراحی خشک‌کن برای این منظور و استفاده از مواد افزودنی که در رفع چسبندگی آب‌میوه‌ها مؤثر هستند، مشکل را برطرف نمود و پودر آب‌میوه را در خشک‌کن پاششی تولید کرد.

۲- شرح مراحل خشک‌کن پاششی

همانطور که بیان گردید 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 به صورت ذرات ریز یا توده ایجاد می‌شود. بطور کلی هر خشک‌کن پاششی شامل مخزن، پمپ تغذیه مواد مایع، افشانک (پاشنده)، گرم‌کن هوا، پخش‌کننده هوا به داخل مخزن خشک‌کن (Air disperser) و مکانیزم جداکننده ذرات پودر از هوا می‌باشد. شرایط متفاوت در فرآیند خشک کردن و

کیفیت نهایی محصولات پودری تولید شده توسط خشک کن پاششی تعیین کننده نوع افشانک انتخابی، الگوی مناسب جریان هوا و طراحی مخزن خشک کن می باشند. بطور کلی فرآیند خشک کردن پاششی شامل چهار مرحله است. مرحله اول، تبدیل خوراک مایع به قطرات ریز و پاشش آنها در محیط گرم مخزن خشک کن، مرحله دوم، تماس هوای گرم با قطرات مایع، مرحله سوم، تبخیر رطوبت و خشک شدن قطرات و مرحله چهارم، جداسازی ذرات پودر از هوا می باشند. هر یک از مراحل بر اساس طرح خشک کن، نوع اتمایزر و مکانیزم جداسازی پودر و هوا صورت می گیرد. همچنین خواص فیزیکی و شیمیایی خوراک، تعیین کننده خواص محصول خشک شده نهایی (پودر) می باشند. همگن بودن قطرات و میزان تبخیر بالا باعث می شوند که دمای محصول نهایی کمتر از دمای هوای خروجی از خشک کن باشد. شکل ۱ طرحواره یک خشک کن پاششی و اجزاء آن را نشان می دهد.



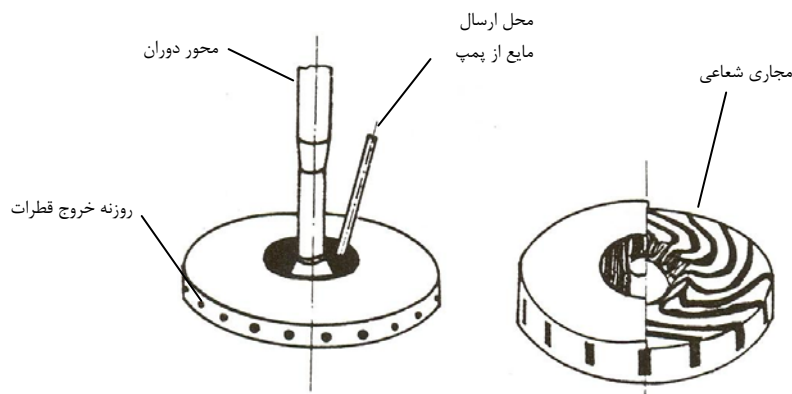
شکل ۱- خشک کن پاششی و اجزاء آن

محصول مایع ازمخزن 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 می‌گردد. 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 می‌گردند.

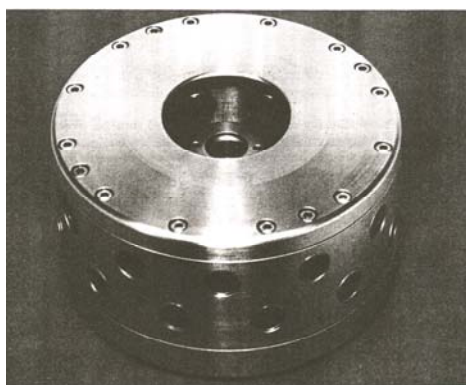
۱-۲- پاشش خوراک به صورت قطرات مایع

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 سهمیم 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 تاثیر 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 به علت 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 به مراتب کمتر از انواع دیگر می باشد. فشار در این مکانیزم بسیار کم است و کنترل قطر قطرات با تغییر سرعت دورانی چرخ صورت می پذیرد.



شکل ۲- قسمت های مختلف یک افشانک چرخ دوار



(ب)

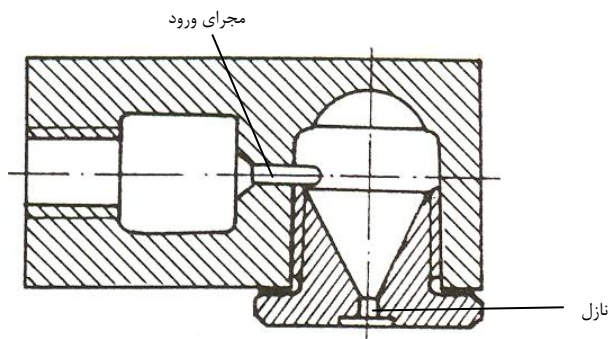


(الف)

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

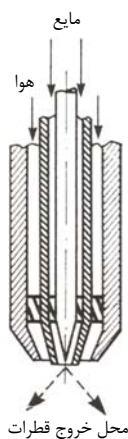
نوع دیگر، افشانک فشاری (Pressure nozzle) است. در این مکانیزم، خوراک مایع تحت فشار به داخل افشانک هدایت می شود. در افشانک انرژی فشاری تبدیل به انرژی جنبشی شده و باعث جریان یافتن خوراک در روزنه افشانک به صورت یک لایه نازک پرسرعت می گردد. در روزنه افشانک، مایع به قطرات بسیار ریز شکسته شده و به داخل محیط

خشک کن پاشیده می شود. قطرات ایجاد شده توسط این افشانک از یکنواختی کمتری برخوردار بوده و درشت تر از قطرات ایجاد شده توسط افشانک دوار هستند. شکل ۴ طرحواره افشانک فشاری را نشان می دهد.



شکل ۴- افشانک فشاری

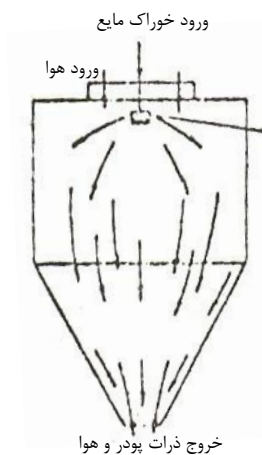
از دیگر افشانکها نوع دوسیالی (Two fluid nozzle) است (شکل ۵). این مدل در واقع نوعی افشانک فشاری می باشد که در آن هوا و خوراک مایع با هم ارسال می گردد. در طی حرکت چرخشی هوا در افشانک، خوراک مایع و هوا به خوبی با هم مخلوط شده و شکست مایع به قطرات ریز به نحو مطلوبی انجام می شود. در این افشانک فشار در سطح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



شکل ۵- افشانک دو سیالی

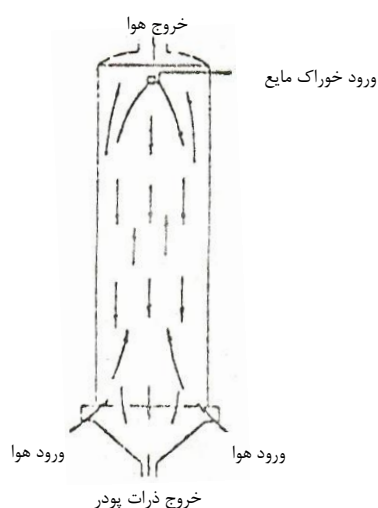
۲-۲- تماس هوا و قطرات

هوای گرم توسط پخش کننده در مخزن خشک کن پاششی جریان می‌یابد. پخش کننده باعث چرخش جریان هوا و یکنواختی دمای هوا در محیط خشک کن می‌گردد. طریقه تماس هوا با قطرات عامل مهمی در طراحی خشک کن پاششی می‌باشد و تاثیر به‌سزایی بر کیفیت محصولات خشک شده دارد همچنین کنترل کننده میزان تبخیر و دمای ذرات در خشک کن می‌باشد. در یک مدل از طرح تماس، قطرات می‌توانند هم‌جهت با جریان هوای گرم ورودی به داخل خشک کن جریان یابند. این نوع از خشک کن‌های پاششی تحت عنوان جریان هم‌سو (Co-Current) می‌باشند. در این طرح هوای گرم و قطرات از بالای مخزن خشک کن وارد شده و پس از طی فرآیند از انتهای خشک کن خارج می‌شوند. این طرح برای محصولات حساس به گرما از قبیل آب‌میوه‌ها و مواد غذایی بسیار مناسب است زیرا شدت تبخیر در این مدل بسیار زیاد و به‌عبارتی زمان تبخیر کوتاه است و محصول کمتر تحت تاثیر 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 خشک کن، 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 طرح حواره این نوع جریان را نشان می‌دهد.



شکل ۶- خشک کن پاششی جریان هم‌سو

نوع دیگر خشک کن پاششی، طرح جریان غیرهم سو (Counter-Current) است. در این طرح قطرات از بالای خشک کن وارد مخزن شده و هوای گرم در جهت مخالف از پایین وارد مخزن خشک کن می شود. جریان هوا باعث کاهش سرعت سقوط قطرات و افزایش زمان ماندگاری آنها در مخزن خشک کن خواهد شد. بازده حرارتی این مدل نسبت به مدل جریان هم سو بیشتر است ولی برای محصولات حساس به گرما از قبیل مواد غذایی مناسب نمی باشد. در شکل (۷) طرحواره این نوع جریان مشاهده می گردد.



شکل ۷- خشک کن پاششی جریان غیر هم سو

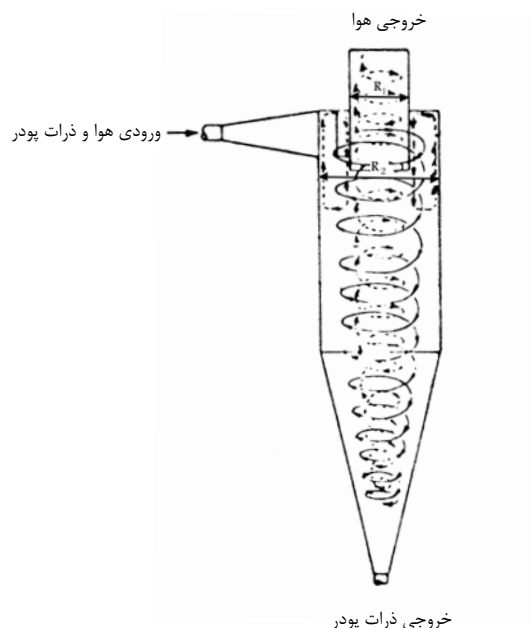
۲-۳- تبخیر رطوبت و خشک شدن قطرات

به مجرد تماس قطرات با هوای گرم، تبخیر از سطح قطرات شروع می شود. تبخیر سطحی باعث ثبات دمای سطح قطره در حد دمای حباب تر می گردد. 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 می نماید. این مرحله تحت عنوان شدت ثابت است و بیشترین درصد تبخیر در این مرحله که در آن سطح قطرات اشباع می باشد، رخ می دهد. زمانی که میزان رطوبت کاهش یابد و به حدی برسد که نتواند شرایط اشباع سطحی را برقرار کند، تبخیر وارد

مرحله دوم خواهد گردید. در این زمان یک لایه سخت (Crust) در سطح قطره در اثر افزایش دما به علت کاهش رطوبت سطحی ایجاد می‌گردد. این نقطه به عنوان رطوبت بحرانی شناخته می‌شود. تبخیر در این مرحله به شدت انتشار رطوبت در لایه سخت سطحی قطره بستگی دارد. ضخامت لایه سخت به علت کاهش شدت تبخیر به تدریج افزایش می‌یابد. مرحله دوم تبخیر تحت عنوان مرحله شدت نزولی می‌باشد. دبی جریان هوا و طراحی مخزن خشک کن زمان ماندگاری مناسب را برای قطرات به منظور کاهش رطوبت در حد مورد قبول و تکمیل فرآیند خشک شدن قبل از خروج از انتهای خشک کن فراهم می‌آورند.

۲-۴- جداسازی ذرات پودر از هوا

در این مرحله ذرات پودر خشک شده از جریان هوا جدا می‌گردند. 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 به کار رفته برای خشک‌کن‌های پاششی، سیکلون است. وقتی جریان هوا و ذرات پودر در یک مسیر گردابه‌ای در سیکلون قرار می‌گیرند، ذرات علاوه بر نیروی گرانشی و اینرسی جریان هوا، تحت تاثیر 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 می‌گردند. 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

۳- تکنیک‌های تولید پودر آب میوه در خشک کن پاششی

هدف از خشک کردن آب میوه‌ها و تولید پودر، افزایش عمر مفید محصول، به کار گرفتن میوه‌های درجه ۲ و ۳ 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 مالتین 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 می‌گردد. 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

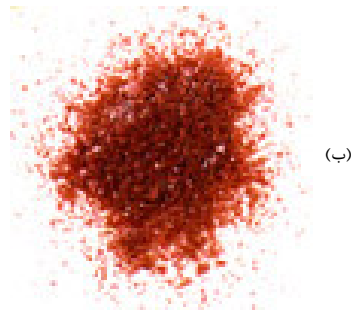
شیشه پایین هستند، حتی بعد از خشک شدن در صورت برخورد به جداره گرم خشک کن به آن خواهند چسبید. به عبارتی زمانی که ذرات جامد به سطح گرم با دمای بیش از دمای تبدیل شیشه خود برخورد نمایند ذوب شده و وارد فاز مایع می گردند و در نتیجه به سطح گرم می چسبند. بر اساس تحقیقات، دمای سطح ذره در طی خشک شدن نایستی به ۱۰ تا ۲۰ درجه سلسیوس بالاتر از دمای تبدیل شیشه برسد در غیر این صورت چسبندگی رخ می دهد (Adhikari et al., 2004). پایین بودن دمای تبدیل شیشه ذرات در محیط خشک کن با رطوبت نسبی بالا باعث چسبندگی ذرات به یکدیگر به علت تشکیل باندهای هیدروژنی بین آنها می گردد. این عمل باعث تشکیل توده و کاهش کیفیت محصول نهایی خواهد شد (Peleg, 1993; Chuy and Labuza, 1994).

یکی از راه های کاهش چسبندگی، خنک کردن دیواره مخزن خشک کن می باشد. برای این منظور مخزن را دو جداره ساخته و در آن جریان هوای سرد را توسط یک فن برقرار می نمایند. استفاده از جداره سرد به ویژه در قسمت مخروطی خشک کن که بیشترین برخورد ذرات در این لایه مرزی می باشد، باعث کاهش چسبندگی ذرات پودر می گردد. این مکانیزم گرچه باعث بهبودی فرآیند خشک شدن می گردد، ولی راه حل قطعی برای رفع چسبندگی ذرات نیست (Jayaraman and Das Gupta, 1995; Sudhagar, 2000). به منظور کاهش چسبندگی و خاصیت ترموپلاستیکی آب میوه ها در طی فرآیند خشک شدن، اضافه کردن مواد کمکی از قبیل مالتودکسترین، شربت گلوکز، لاکتوز، آدامس عربی، نشاسته ذرت، متیل سلولوز، کازینات سدیم و همچنین دی اکسید سیلیکان (به مقدار کم) به آب میوه قبل از ارسال به خشک کن برای تولید پودر ضروری است. میزان کاربرد مواد افزودنی بر اساس خاصیت ترموپلاستیکی و طبیعت رطوبت گیری محصولات پودری تعیین می گردد (Dolinsky and Gurov, 1986). از مالتودکسترین با دکستروزهای مختلف برای تولید پودر آب میوه ها در خشک کن پاششی به طور وسیعی استفاده می گردد. مالتودکسترین از پلیمرهای دکستروز و جزو کربوهیدرات های قابل هضم بوده که از هیدرولیز نشاسته ذرت به دست می آید و بسته به درجه هیدرولیز،

معادل دکستروز آن تغییر خواهد کرد. معادل دکستروز (DE) معرف کاهش قدرت باندهای پلیمری در مقایسه با DE100 می باشد. مالتودکستروز با دکستروز پایین تر، دارای وزن مولکولی بیشتری است. بسته به مواد قندی تشکیل دهنده آب میوه ها از مالتودکستروز با دکستروزهای مختلف (دکستروز ۵ تا ۱۲) به عنوان مواد افزودنی استفاده می شود. بطور مثال برای تولید پودر مرکبات از قبیل پرتقال و لیموترش، مالتودکستروز با دکستروز ۸ تا ۱۰ و یا پودر آب انار، مالتودکستروز با دکستروز ۱۱ و ۱۲ مناسب تر هستند. مقدار بهینه مواد افزودنی بسته به مواد تشکیل دهنده آب میوه نیز متفاوت است و با انجام آزمایش های تجربی تعیین می گردد. بطور مثال کاربرد مالتودکستروز 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 مالتودکستروز و ۱۰ درصد دی اکسید سیلیکان در خشک کن پاششی دو جداره با جریان هوای سرد توصیه شده است (Roustapour et al., 2006). دی اکسید سیلیکان یک ماده معدنی و بی خطر 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 می باشد (Cabot Corporation, 1989). شکل ۹ (الف و ب) تصویر یک نمونه پودر آب گوجه فرنگی و آب لیموترش که توسط خشک کن پاششی تولید شده است را نشان می دهد.



(الف)



(ب)

شکل ۹: نمونه پودر، الف: آب لیموترش (Roustapour et al., 2006)، ب: آب گوجه فرنگی

۴- نتیجه گیری

خشک کن پاششی برای خشک کردن مایعات و محصولات خمیری مناسب است. در این خشک کن مایع توسط افشانک تبدیل به قطرات ریز شده و در محیط خشک کن پاشیده می شود. قطرات ریز در طی تماس با جریان هوای گرم خشک شده و تبدیل به ذرات پودر با رطوبت پایین می گردند. در نهایت ذرات پودر از هوا توسط مکانیزم های بازیاب از قبیل سیکلون جدا می شود. خشک کن پاششی کاربرد وسیعی در صنایع غذایی از قبیل تولید پودر آب میوه دارد. آب میوه ها به علت داشتن مواد قندی و اسیدهای خوراکی بسیار چسبنده بوده و در طی فرآیند خشک کردن سریعاً به دیواره خشک کن می چسبند. برای رفع این معضل افزودن مواد کمکی از قبیل مالتودکسترین، شربت گلوکز، متیل سلولوز، نشاسته ذرت و دی اکسید سیلیکان به آب میوه قبل از انجام فرآیند خشک کردن ضروری است. همچنین خنک نمودن جداره خشک کن در طی فرآیند به منظور کاهش چسبندگی مناسب می باشد.

۵- فهرست منابع

- 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 maltodextrin 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 maltodextrin 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- Tsourouflis, 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.