Archive of SID

بررسی عوامل مؤثر بر رسوب پودر آب‌پرتقال بر دیواره خشک‌کن پاششی

غلامرضا چگینی[۱]، برات قبادیان[۱]، محسن برکتین[۲]

چکیده

شرایط سخت نگه‌داری آب‌میوه‌ها و بهره‌گیری از پودر آنها در صنایع مختلف غذایی سبب روآوری مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان به پودر آب‌میوه‌ها شده است. خشک کردن آب‌میوه‌ها به‌صورت پودر از پیچیده‌ترین روش‌های فرآوری میوه‌هاست. خواص آب‌دوستی ترکیبات آب‌میوه و ویژگی‌های ترموپلاستیکی آنها پس از آب‌گیری، کنترل زمان خشک شدن و بردن از محفظه خشک‌کن به قسمت‌های بعدی را بسیار مشکل کرده است. دراین پژوهش با یک خشک‌کن پاششی آزمایشگاهی، عوامل مؤثر بر رسوب پودر آب‌پرتقال بر دیواره‌های خشک‌کن بررسی شد.

نتایج نشان می‌دهد که بدون بهره‌گیری از مواد افزودنی به کنسانتره پرتقال، هیچ‌گونه پودری تولید نمی‌شود. بهره‌گیری از گلوکز مایع به‌عنوان ماده کمکی خشک شدن در کنسانتره پرتقال، عملکرد را بالا برده و رسوب پودر را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد. شرایط بهینه کاری خشک‌کن پاششی برای خشک‌کردن آب پرتقال با افزودنی گلوکز مایع با دمای هوای ورودی $130^{\circ}C$، دمای هوای خروجی $85^{\circ}C$ و مقدار تغذیه $15\ ml/min$ به‌دست آمد. نتایج تجزیه و تحلیل آماری داده‌های آزمایشگاهی نشان می‌دهد که پارامترهای دمای هوای ورودی و مقدار تغذیه به‌صورت مستقل و در کنار هم، اثر معنی‌داری درسطح ۱٪ بر عملکرد خشک‌کن و رسوب دیواره دارند. با افزایش دمای هوای ورودی و مقدار تغذیه، عملکرد خشک‌کن کاهش و رسوب دیواره افزایش می‌یابد. با وجود بهره‌گیری از افزودنی مناسب، بین ۱۴ تا ۶۵٪ پودر بر دیواره‌ها رسوب کرد. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که عامل اصلی رسوب، دمای بالای دیواره است. برای جلوگیری از رسوب، باید دمای دیواره از دمای نقطه چسبندگی پودر پرتقال کمتر باشد. برای پودر پرتقال با رطوبت ۲٪، دمای نقطه چسبندگی $44^{\circ}C$ به‌دست آمد. برای کنترل دمای دیواره، خشک‌کنی با دیواره دو جداره و سیستم خنک‌کننده دیواره پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: *خشک‌کن پاششی، رسوب دیواره، پودر آب‌پرتقال، دمای نقطه چسبندگی*

---

۱. به‌ترتیب دانشجوی دکتری و استادیار ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس تهران

۲. دکتری صنایع غذایی، موسسه تحقیقات و توسعه قمس، تهران

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

یکی از راه‌های کاهش ضایعات و افزایش بازده، بهره‌گیری بیشتر از میوه‌ها و کاهش رطوبت آنهاست. خشک کردن آب‌میوه‌ها و تبدیل به پودر، سبب کاهش حجم محصول و قابلیت نگه‌داری بالای آن می‌شود. هم‌چنین بهره‌گیری از پودر آب‌میوه‌ها به‌عنوان مواد پایه، برای تولید محصولات غذایی دیگر و ویژگی‌هایی مانند دسترسی آسان، قابلیت نگه‌داری طولانی، بسته‌بندی و انتقال راحت، سبب روآوری مصرف‌کنندگان و و تولیدکنندگان به آن شده است.

آب‌گیری صحیح از آب‌میوه‌ها یکی از پیچیده‌ترین‌روش‌های خشک کردن مواد غذایی است. حساسیت به گرما، وجود ترکیبات آب‌دوست مانند قندها و طبیعت ترموپلاستیکی آنها مشکلات عمده‌ای در کنترل زمان خشک‌شدن، بردن محصول از ناحیه خشک‌کن به قسمت‌های بعدی و انتقال نهایی محصول ایجاد کرده است. روش خشک‌کن پاششی (Spray Drying) یکی از راه‌هایی است که برای خشک‌کردن مستقیم مایعات به‌صورت پودر به‌کار می‌رود. در این روش، مایعات به‌صورت محلول، سوسپانسیون، خمیر و کنسانتره به قسمت پاشنده مایع به داخل هوای گرم (Atomizer) پمپاژ شده و در اثر تماس با هوای گرم داخل محفظه به پودر تبدیل می‌شوند. هم‌چنین در این روش، زمان خشک‌شدن خیلی کوتاه‌تر از دیگر روش‌های خشک‌شدن، مثل خشک‌کن تصعیدی (Freeze Drying) و تسمه‌ای تحت‌خلاء (Vacuum Belt Drying) است و می‌توان با کنترل زمان خشک شدن خسارت حرارتی را به حداقل رساند (۱۱).

طبیعت آب‌دوستی و ترموپلاستیکی مواد موجود در آب‌میوه، مشکلاتی از قبیل چسبیدن به دیواره خشک‌کن برای بردن و جمع‌آوری پودر ایجاد می‌کند. برای رفع این مشکل دو راه‌حل به‌کار گرفته شده است، یکی بهره‌گیری از مواد کمکی خشک شدن و دیگری به‌کارگیری تجهیزات و طراحی مخصوص برای بردن و هدایت پودر تولیدی. مواد افزودنی که به‌عنوان ماده کمکی خشک شدن به‌کار برده می‌شود با تغییر فیزیکی در محصول به خشک شدن محصول کمک می‌کند. این مواد باعث کاهش رسوب بر دیواره‌ها و انتقال بهتر پودر از خشک‌کن می‌شود. این مواد کمکی شامل پروتئین سویا، شیره ذرت، صمغ‌های طبیعی، ساکارز، دکسترین، مالتودکسترین و غیره است (۱۲).

روش‌های خشک کردن محدودی برای تولید پودر آب‌میوه‌ها بدون مواد کمکی وجود دارد. در این مورد *آتیات* (۱) توانست با کنترل دمای هوای خروجی درمحدوده ۵۰ – ۴۰ درجه سانتی‌گراد با بهره‌گیری از یک خشک‌کن پاششی صنعتی، پودر گوجه‌فرنگی جریان‌پذیر و با کیفیت تولید کند. *مالتینی* (۱۰) توانست بدون بهره‌گیری از مواد کمکی با خشک‌کن تسمه‌ای تحت خلاء وخشک‌کن تصعیدی، پودرگلابی، هلو و زردآلو تولید کند.

با روش خشک‌کن پاششی برای تولید پودر آب‌میوه، آب مرکبات وآب پرتقال پژوهش‌های مختلفی انجام گرفته است. در این پژوهش‌ها برای کاهش آب‌دوستی و کمک به خشک کردن آب‌میوه از مواد افزودنی مختلف بهره‌گیری شده است. برای مثال *هولزکر* (۹) با افزودنی شیره ذرت به آب‌پرتقال به نسبت ۷۵٪ به ۲۵٪ ماده جامد پودری با مزه و جریان‌پذیری خوب تولید کرد. *استراشوم* (۱۶) توانست با افزودنی منواستتاریت گلیسرول، پودر پرتقال تولید کند ولی طعم پودر تغییریافته بود. *بوهم و بورنج* (۳) نیز با بهره‌گیری از صمغ عربی، آب‌دوستی آب مرکبات را کاهش دادند.

گوپتا (۸) در پژوهشی توانست، پودر کنسانتره پرتقال جریان‌پذیری تولید کند. او از چند خشک‌کن با اتمایزرهای مختلف و از گلوکز مایع به‌عنوان ماده کمکی بهره‌گیری کرد و نتیجه گرفت که با افزایش دمای دیواره‌های خشک‌کن به دمایی بیشتر از دمای چسبندگی پودر، لایه شیشه‌ای سختی روی دیواره‌ها شکل می‌گیرد.

ولتسی و لافونتی (۱۸) با بررسی روی خشک کردن آب‌میوه پرتقال و با بهره‌گیری از خشک‌کن پاششی نتیجه گرفتند که

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۱. ترکیبات کنسانتره پرتقال

ترکیبات	مقدار
درصد ماده جامد	۱ ± ٪۶۳
قند	۴۲ - ۵۴ g/۱۰۰ ml
اسید سیتریک	۸ - ۱۲ g/۱۰۰ ml
ویتامین ث	۰/۲۶ g/۱۰۰ ml
چگالی	۱/۲۸ - ۱/۳۲ Kg/lit
pH	۲ - ۳/۵

دمای هوای ورودی مناسب برای تولید پودر $^{\circ}C$ ۱۱۰–۱۰۰ است و افزایش دمای هوای خروجی خشک‌کن به بیشتر از $^{\circ}C$ ۱۲۵ باعث تخریب محصول می‌شود.

بهاندازی و همکارانش (۲) با بهره‌گیری از دو نوع خشک‌کن پاششی آزمایشگاهی، پودر آب‌میوه انگور سیاه، زردآلو و تمشک را بررسی کردند. در این پژوهش از نسبت‌های مختلف افزودنی مالتودکسترین با DE (Degree Equivalent) ۱۹، ۱۲ و۶ بهره‌گیری کردند و نتیجه گرفتند که با افزودنی مالتودکسترین با DE ۶، بهترین نسبت افزودنی به آب‌میوه برای انگور سیاه ۶۵/۳۵، برای زردآلو ۶۰/۴۰ و برای تمشک۵۵/۴۵ درصد به‌دست می‌آید.

دوک و همکارانش (۷) با بررسی روی خشک‌شدن آب‌میوه عناب با مواد کمکی مالتوز+ دکسترین، مالتوز+ صمغ عربی و دکسترین+ صمغ عربی، رفتار و ظاهر پودر را بررسی کردند و نتیجه گرفتند که تمام مواد کمکی نام‌برده مفید و باعث تولید پودری با رنگ و کیفیت خوب شدند و رسوب پودر بر دیواره‌ها را به مقدار قابل توجهی کاهش دادند.

کارکمو و *لوییس* (۴) با بهره‌گیری از یک خشک‌کن پاششی، خشک کردن آب سیب را بررسی کردند. آنها با افزودنی مالتودکسترین با DE ۶ تا ۱۰ با نسبت افزودنی به آب‌میوه ۳۰/۷۰ درصد و با شرایط کاری دمای هوای ورودی $^{\circ}C$ ۲۰۰–۱۴۰، سرعت دورانی پاشنده rpm ۲۵۰۰۰، ۳۱۰۰۰، ۳۸۰۰۰ خشک شدن آب سیب را بررسی کرده و نتیجه گرفتند که شرایط بهینه‌کاری

جدول۲. نسبت افزودنی به کنسانتره پرتقال

نوع	مقدار افزودنی (٪)	مقدار کنسانتره پرتقال (٪)
متیل سلولز	۵	۹۵
مالتودکسترین	۳۴	۶۶
گلوکز مایع	۲۵	۷۵

خشک‌کن با سرعت دورانی پاشنده rpm ۲۵۰۰۰ و دمای هوای ورودی $^{\circ}C$ ۲۲۰–۱۷۰ به‌دست می‌آید و با این شرایط، پودری با کیفیت نسبتاً خوب تولید می‌شود. بررسی روی افزودنی‌های مؤثر برخشک شدن آب‌میوه‌ها به روش خشک شدن پاششی بسیار محدود انجام گرفته است. در مورد افزودنی‌های مناسب برای تولید پودر آب‌پرتقال و اثر عوامل مؤثر بر رسوب دیواره خشک‌کن، پژوهش‌ها محدود بوده است. در این پژوهش با انتخاب افزودنی مناسب برای تولید پودر آب‌پرتقال، عوامل مؤثر بر رسوب دیواره بررسی شده و شرایط بهینه‌کاری خشک‌کن پاششی آزمایشگاهی به‌دست آمده است.

مواد و روش‌ها

الف) مواد

مواد مورد استفاده در این پژوهش شامل کنسانتره پرتقال و مواد افزودنی است. ترکیبات کنسانتره پرتقال مطابق جدول ۱ است.

مواد کمکی خشک شدن باید با تغییر ویژگی‌های آب‌میوه، خواص آب‌دوستی و ترموپلاستیکی آن را کاهش داده و کیفیت و حل‌پذیری پودر را تغییر ندهد. مواد افزودنی بهره‌گیری شده و نسبت ترکیب آنها با کنسانتره پرتقال درجدول ۲ نشان داده شده است.

ب) تجهیزات

برای‌خشک کردن آب پرتقال از یک خشک‌کن پاششی آزمایشگاهی مدل Buchi، ساخت دانمارک بهره‌گیری شد. در این خشک‌کن مایع تغذیه با یک پمپ پریستالیک (با مقدار تغذیه ml/min ۴۲ - ۷/۵) روی دیسک دواری با سرعت دورانی rpm ۳۰۰۰۰ انتقال داده می‌شد. هوای ورودی نیز

www.SID.ir

Archive of SID

به‌کمک گرمکن برقی با محدوده دمایی $^{\circ}C$ ۲۰۰-۸۰ گرم و از طریق یک توزیع‌کننده هوا با جریانی چرخشی وارد محفظه خشک‌کن می‌شد. خشک‌کن با استفاده از سیکلونی با قطر مؤثر ۱۰ cm مخلوط هوا و پودر خروجی را جداسازی می‌کرد. پارامترهای دمای هوای ورودی و خروجی، دور پاشنده، مقدار تغذیه و دبی هوای ورودی با کنترلرهایی تنظیم و کنترل می‌شدند.

ج) روش‌های آزمایش

خشک‌کن در یک اتاق با شرایط محیطی ثابت قرار داده شد وکلیه آزمایش‌ها در دمای هوای محیط $^{\circ}C$ ۲۵-۲۰ و رطوبت نسبی ۲۵ تا ۳۰٪ انجام گرفت. در تمامی آزمایش‌ها پارامترهای سرعت دورانی پاشنده در ۳۰۰۰۰ rpm و دبی هوای ورودی در ۶۵۰ cm^3/s ثابت نگه‌داشته شدند. آزمایش‌ها در سه مرحله و با ۳ تکرار انجام شد. این آزمایش‌ها در سه مرحله انجام گرفت. در مرحله اول آزمایش‌ها برای خشک‌کردن آب پرتقال بدون مواد افزودنی و با افزودنی‌های متیل‌سلولز و مالتودکسترین مطابق ماتریس آزمایش‌های جدول ۳ انجام گرفت.

در مرحله بعد با بهره‌گیری از نتایج آزمایش‌های مرحله اول، آزمایش‌های دیگری برای خشک‌کردن آب پرتقال با افزودنی گلوکز مایع انجام گرفت. در این مرحله مقدار تغذیه در ۴ سطح با تقسیمات کوچک‌تر و دما در ۳ سطح که عملکرد بیشتری داشتند، انتخاب شدند. آزمایش‌ها نیز براساس آزمایش کامل فاکتوریل با طرح پایه کامل تصادفی در۳ سطح دمای هوای ورودی و ۴ سطح مقدار تغذیه و با ۳ تکرار انجام شد. در این آزمایش‌ها ویژگی‌های پودر اندازه‌گیری و اثر پارامترهای کاری خشک‌کن برعملکرد و رسوب بررسی شد. تجزیه و تحلیل آماری و مقایسه میانگین‌ها با روش دانکن انجام شد. در مرحله سوم عوامل ایجاد رسوب با کمک آزمایش‌های دیگر بررسی گردید. در این آزمایش‌ها دمای دیواره‌ها با بهره‌گیری از ترموکوپل‌های نصب شده درنقاط مختلف دیواره اندازه‌گیری و بررسی شد.

د) اندازه‌گیری ویژگی‌های پودر

نمونه‌های پودر به‌دست آمده از آزمایش‌ها درظروف دربسته تا مرحله آنالیز پودر نگه‌داری شدند. با توجه به روش‌های اندازه‌گیری شرح داده شده در پژوهش‌های پیش، ویژگی‌های پودر به شرح زیر اندازه‌گیری شدند (۱۴، ۱۵ و ۱۷).

اندازه و توزیع اندازه ذرات: با میکروسکوپ الکترونی مدل (PHILIPS-XL30) اندازه‌گیری شدند.

جامد غیرمحلول: با حل نمودن مقدار ۱۰ گرم پودر در آب خالص $^{\circ}C$ ۲۵ در مدت ۲۰ ثانیه درصد جامد غیرمحلول به‌دست آمد.

چگالی حجمی پودر: مقدار ۲۰ گرم پودر در یک استوانه مدرج ml ۱۰۰ ریخته شد و ده مرتبه از ارتفاع cm ۱۵ روی یک صفحه لاستیکی رها شد. با تقسیم وزن پودر برحجم پودر به‌دست آمده از استوانه مدرج، چگالی حجمی پودر به‌دست آمد.

رطوبت باقیمانده پودر: با قرار دادن مقدار مشخصی از پودر در آون با دمای $^{\circ}C$ ۱۰۵ به‌مدت ۴ ساعت و با بهره‌گیری از رابطه [۱]، رطوبت باقیمانده پودر (Mc)، براساس پایه خشک محاسبه شد.

$$Mc(\%) = [(m_1-m_2)/m_2]*100 \qquad [1]$$

m_1 و m_2 به‌ترتیب عبارت‌اند از وزن پودر (g) پیش از قرارگیری و بعد از درآوردن از آون است.

عملکرد خشک‌کن: عبارت است از مقدار پودر تولیدی از مقدارجامد تغذیه در واحد زمان که از رابطه [۲] محاسبه می‌شود.

$$Y= [P.S_p / L \,.\, S_f] * 100 \qquad [2]$$

که در این رابطه:

Y= عملکرد(٪)

P= مقدار پودر تولیدی در واحد زمان (g/min)

L= مقدار تغذیه در واحد زمان (ml/min)

S_p , S_f به‌ترتیب درصد ماده جامد تغذیه و درصد ماده جامد پودر

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۳. ماتریس آزمایش‌ها برای خشک کردن آب پرتقال با افزودنی متیل سلولز و مالتودکسترین

پارامتر	سطوح				
	۱	۲	۳	۴	۵
دمای هوای ورودی (°C)	۱۳۰	۱۴۰	۱۵۰	۱۶۰	۱۷۰
مقدار تغذیه (ml/min)	۲۰	۳۰	۴۰	–	–

دمای نقطه چسبندگی: (Sticky Point Temperature): برای به‌دست آوردن دمایی که ذرات پودر شروع به چسبیدن می‌کنند دستگاه اندازه‌گیری دمای نقطه چسبندگی مطابق شکل ۱ ساخته شد. برای اندازه‌گیری، مقداری پودر روی صفحه ریخته و گرمکن دستگاه روشن می‌شود، دمای دستگاه در لحظه‌ای که با مشاهده چشمی، پودر شروع به چسبیدن می‌کند دمای نقطه چسبندگی پودر است (۱۴).

نتایج و بحث

آزمایش‌های تولید پودر پرتقال در چند مرحله و با مواد افزودنی مختلف صورت گرفت. نخست، این آزمایش‌ها از کنسانتره پرتقال، بدون هیچ‌گونه مواد افزودنی مطابق شرایط کاری نشان داده شده درجدول ۳ انجام شد. در تمامی آزمایش‌ها هیچ پودری تولید نشد و تمامی مایع تغذیه به دیواره‌های مخزن خشک‌کن و سیکلون چسبیده و رسوبی سنگین بر دیواره‌ها ایجاد شد. با ادامه آزمایش‌ها لایه‌ای سخت و شیشه‌ای روی دیواره‌ها شکل گرفت که جدا کردن آن به سختی امکان‌پذیر بود. تغییر پارامترهای کاری خشک‌کن مانند دمای هوای ورودی و مقدارتغذیه (Feed Flow Rate) نیز، هیچ‌گونه اصلاحی بر عملکرد و تولید پودر نداشت.

همان‌طور که پژوهش‌های *دولینسکی*، *رنی* و همکاران نشان می‌دهد، موادی مانند قندهای ساکارز، گلوکز و فروکتوز به آب‌میوه‌ها طبیعتی آب‌دوست و ترموپلاست داده‌اند که هنگام خشک شدن یا از دست دادن آب، ذرات پودر به‌هم می‌چسبند. در مواد غذایی با ساختار نامنظم، آب به‌عنون یک عامل پلاستیک‌کننده (Plasticizer) عمل کرده و ساختار ماده را تغییر می‌دهد. وجود مقدار کم آب ممکن است دمای شیشه‌ای شدن (Glass Transition Temperature) را تا زیر دمای اتاق کاهش دهد (۵، ۶ و ۱۵).

هنگام خشک‌شدن آب پرتقال و از دست دادن آب، هیدروژن‌های فعال باعث چسبیدن ذرات و ایجاد لایه‌ای پیوسته روی دیواره داخلی محفظه خشک‌کن می‌شود. وجود نخستین لایه، زمینه را برای جذب ذرات خشک شده دیگر روی دیواره فراهم می‌کند و حرارت بالا باعث می‌شود، لایه‌ای سخت و شیشه‌ای روی دیواره شکل گیرد (۲ و ۱۸).

اضافه کردن افزودنی *متیل سلولز* به کنسانتره پرتقال و انجام آزمایش‌ها مطابق شرایط کاری جدول ۳ جریان‌پذیری و انتقال مایع را بهتر کرد، ولی هیچ اصلاحی در رسوب پودر ایجاد نکرده و رسوب نسبتاً سنگینی بر دیواره‌ها ایجاد شد. تغییر پارامترهای کاری خشک‌کن مانند دمای هوای ورودی و مقدار تغذیه نیز تغییری بر رسوب دیواره و تولید پودر ایجاد نکرد.

یکی دیگر از مواد افزودنی که آزمایش شد، مالتودکسترین بود. آزمایش‌ها مطابق شرایط مندرج در جدول ۳ انجام گرفت. نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری ویژگی‌های پودر آب پرتقال در جدول ۴ نشان داده شده است. بهره‌گیری از افزودنی مالتودکسترین عملکرد را به‌میزان ۱۸ تا ۳۵٪ افزایش داد ولی حدود ۶۵ تا ۸۲٪ پودر روی دیواره‌ها رسوب کرد. با جمع‌آوری رسوب دیواره‌ها و اندازه‌گیری ویژگی‌های پودر، چگالی حجمی ۰/۸ g/cm^3-۰/۵ و دامنه اندازه ذرات ۲۰ تا ۳۰ μm بود.

شکل ۲ اثر متغیر دمای هوای ورودی بر چگالی حجمی و اندازه ذرات را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل نشان

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴. نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری ویژگی‌های پودر آب پرتقال با افزودنی مالتودکسترین

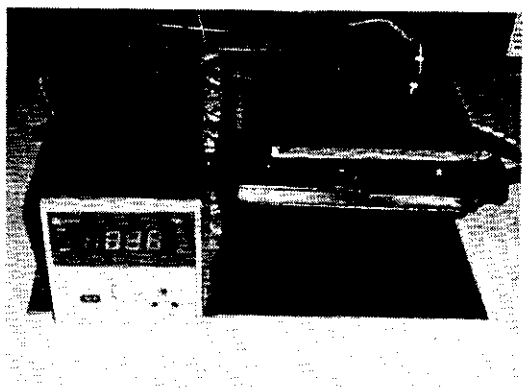
پارامترهای کاری خشک کن			ویژگی‌های پودر				
دمای هوای ورودی (°C)	دمای هوای خروجی(°C)	مقدار تغذیه (ml/min)	چگالی حجمی (g/cm^3)	رطوبت پودر(٪)	اندازه ذرات (μm)	جامد غیرمحلول(٪)	عملکرد (٪)
۱۳۰	۷۰	۲۰	۰/۵	۲/۵۰	۲۰	۰/۱۰	۳۵
	۷۱	۳۰	۰/۴۵	۲/۲۰	۲۱/۱۰	۰/۱۲	۳۴
	۷۳	۴۰	۰/۴۲	۲/۱۰	۲۲/۱۵	۰/۱۳	۳۴
۱۴۰	۸۵	۲۰	۰/۳۸	۲/۴۵	۲۴/۴۲	۰/۱۴	۳۳
	۸۵	۳۰	۰/۳۴	۲/۴۰	۲۵/۱۲	۰/۲۱	۳۵
	۸۳	۴۰	۰/۳۰	۲/۳۰	۲۵/۳۵	۰/۲۲	۳۲
۱۵۰	۹۵	۲۰	۰/۲۷	۲/۲۵	۲۶/۱۰	۰/۲۴	۳۲
	۹۵	۳۰	۰/۲۳	۲/۱۰	۲۶/۲۵	۰/۲۹	۳۰
	۹۲	۴۰	۰/۲۱	۲/۱۰	۲۶/۳۵	۰/۳۲	۳۰
۱۶۰	۱۱۰	۲۰	۰/۱۷	۲/۲۰	۲۷/۳۰	۰/۴۹	۲۰
	۱۰۸	۳۰	۰/۱۴	۲/۱۵	۲۸/۳۵	۰/۵۲	۱۹
	۱۰۸	۴۰	۰/۱۲	۲	۲۸/۴۲	۰/۵۹	۱۹
۱۷۰	۱۱۳	۲۰	۰/۱۰	۲/۱۰	۲۹/۱۵	۰/۶۲	۱۸
	۱۱۴	۳۰	۰/۰۸	۲	۳۰/۰۰	۰/۷۱	۱۹
	۱۱۳	۴۰	۰/۰۸	۲	۳۰/۵۰	۰/۷۵	۱۸

داده شده است با افزایش دمای هوای ورودی، چگالی حجمی کاهش و اندازه ذرات افزایش می‌یابد. افزایش دمای هوای ورودی باعث تبخیر سریع و ایجاد لایه سخت روی ذرات شده و مانع خروج رطوبت از داخل ذره به بیرون می‌شود و با افزایش دما، ذرات متورم‌تر می‌شود. بنابراین ذرات پودر درشتی تولید می‌شود که چگالی حجمی کمی دارند. پژوهش‌های *والتون* نیز همین نتیجه را نشان می‌دهد (۱۷).

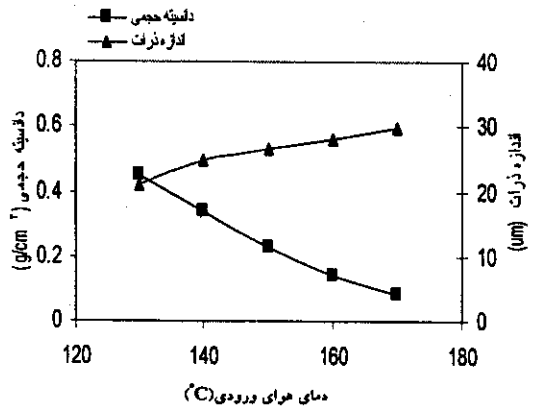
اثر دمای هوای ورودی بر جامد غیر محلول و عملکرد پودرآب پرتقال در شکل ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل مشخص است با افزایش دمای هوای ورودی، عملکرد کاهش پیدا کرده است وجامد غیر محلول پودر افزایش می‌یابد. عملکرد پودر تولیدی در دماهای ۱۳۰ تا ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد بین ۳۰ تا ۳۵٪ و در دمای ۱۶۰ تا ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد به شدت افت کرده است. با افزایش دمای هوای ورودی، ذرات تولید شده ذوب شده و روی دیواره‌ها رسوب می‌کند که باعث کاهش مقدار پودر تولیدی و در نتیجه عملکرد می‌شود. هم‌چنین لایه‌ای سخت روی ذرات ایجاد شده که مانع خروج رطوبت از داخل ذره به بیرون می‌شود. در نتیجه حجم و اندازه ذرات افزایش یافته و چگالی حجمی پودر کاهش می‌یابد. وجود این پوسته سخت روی ذرات، مانع نفوذ آب به داخل ذره و حل شدن آن می‌شود و درصد جامد غیرمحلول پودر را افزایش می‌دهد (۶). بهره‌گیری از افزودنی مالتودکسترین، عملکرد پودر تولیدی را تاحدودی بهتر و در تولید پودر آب پرتقال اصلاح ایجاد کرد ولی هنوز درصد زیادی رسوب روی دیواره‌ها ایجاد می‌شد. در آزمایش دیگری اثر افزودنی گلوکز مایع بر خشک شدن آب پرتقال بررسی شد. آزمایش‌ها مطابق شرایط کاری مندرج در جدول ۵ انجام گرفت. با توجه به این‌که مناسب‌ترین دما برای خشک کردن کنسانتره پرتقال با افزودنی مالتودکسترین، دمای

www.SID.ir

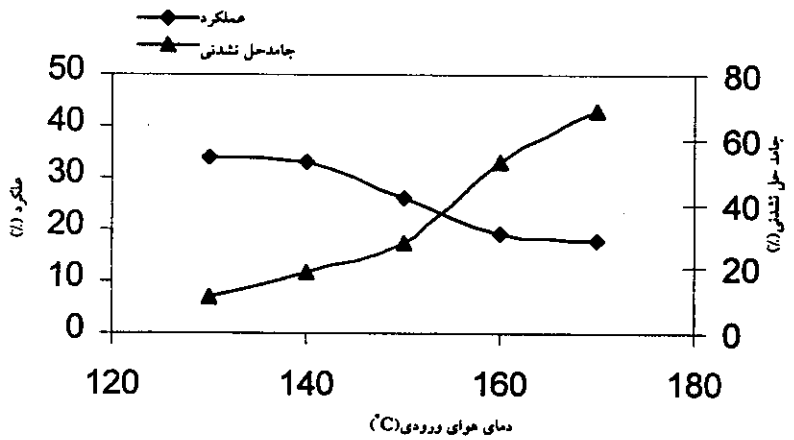
Archive of SID



شکل۱. دستگاه اندازه‌گیری دمای نقطه چسبندگی



شکل۲. اثر دمای هوای ورودی بر چگالی حجمی و اندازه ذرات پودر آب‌پرتقال



شکل۳. اثر دمای هوای ورودی بر عملکرد و جامدحل نشدنی پودر آب‌پرتقال

هوای ورودی ۱۳۰، ۱۴۰ و ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد بود، برای خشک‌کردن کنسانتره پرتقال با افزودنی گلوکز مایع از همین سه سطح دمایی بهره‌گیری شد.

نتایج نشان می‌دهد که بهره‌گیری از گلوکز مایع، عملکرد خشک‌کن را افزایش، چسبندگی و رسوب دیواره‌ها را کاهش می‌دهد. نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری ویژگی‌های پودر (جدول ۵) نشان می‌دهد که با افزایش دمای هوای ورودی، چگالی حجمی پودر کاهش و اندازه ذرات و جامد غیرمحلول پودر افزایش می‌یابد. همان‌طور که گفته شد، علت آن ایجاد لایه سخت روی ذرات است (۶).

تجزیه و تحلیل آماری

برای شناسایی عوامل مؤثر بر عملکرد خشک‌کن و رسوب دیواره، اثر پارامترهای کاری خشک‌کن مانند دمای هوای ورودی و مقدار تغذیه بر رسوب پودر و عملکرد خشک‌کن بررسی گردید و نتایج ۳۶ آزمون انجام شده تجزیه و تحلیل آماری شد. نتایج تجزیه واریانس عملکرد خشک‌کن و رسوب دیواره درجدول ۶ نشان داده شده است.

همان‌طور که در جدول ۶ نشان داده شده، آثار مستقل پارامترهای دمای هوای ورودی و مقدار تغذیه، هم‌چنین اثرهای متقابل آنها بر عملکرد خشک‌کن و رسوب دیواره در سطح ۱٪

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۵. نتایج اندازه‌گیری ویژگی‌های پودر آب پرتقال با افزودنی گلوکز مایع

پارامترهای خشک کن			ویژگی‌های پودر						
دمای هوای ورودی (°c)	دمای‌هوای خروجی (°c)	مقدار تغذیه (ml/ min)	چگالی حجمی (g/cm^3)	اندازه ذرات (µm)	رطوبت پودر(٪)	جامدغیر محلول(٪)	رسوب (٪)	تلفات* (٪)	عملکرد (٪)
۱۳۰	۸۳	۱۵	۰/۷۵	۲۴/۷۲	۲/۵۲	۰/۰۹	۱۴	۱	۸۵
۱۳۰	۸۵	۲۰	۰/۷۱	۲۹/۱۵	۲/۱۵	۰/۱۰	۲۵	۳	۷۲
۱۳۰	۸۵	۲۵	۰/۶۸	۲۸/۲۰	۲/۷۵	۰/۱۸	۳۰	۵	۶۵
۱۳۰	۸۷	۳۰	۰/۶۷	۲۸/۱۸	۲/۶۵	۰/۲۱	۳۵	۳	۶۲
۱۴۰	۸۵	۱۵	۰/۶۸	۳۱/۲۶	۲/۰۵	۰/۱۱	۳۵	۵	۶۰
۱۴۰	۸۷	۲۰	۰/۵۸	۳۱/۵۰	۲/۱۲	۰/۱۰	۴۰	۲	۵۸
۱۴۰	۹۰	۲۵	۰/۵۶	۳۲/۳۵	۲/۰۵	۰/۱۰	۴۵	۵	۵۰
۱۴۰	۹۱	۳۰	۰/۵۴	۳۲/۳۰	۲/۰۲	۰/۱۲	۵۰	۸	۴۲
۱۵۰	۹۲	۱۵	۰/۵۶	۳۳/۴۵	۲	۰/۳۳	۵۵	۱۰	۳۵
۱۵۰	۹۵	۲۰	۰/۵۳	۳۳/۷۲	۲	۰/۴۳	۶۰	۱۰	۳۰
۱۵۰	۹۵	۲۵	۰/۴۹	۳۳/۸۹	۲/۰۵	۰/۴۵	۶۳	۱۰	۲۷
۱۵۰	۹۸	۳۰	۰/۴۵	۳۳/۹۵	۲/۱۰	۰/۴۳	۶۵	۱۰	۲۵

* از طریق فن سیکلون از خشک‌کن خارج شده است.

جدول ۶. نتایج تجزیه واریانس عملکرد ورسوب دیواره

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		عملکرد خشک‌کن	رسوب دیواره
A: مقدارتغذیه	۲	۲۸۹۶/۳۳۳**	۳۹۰۶/۱۹۴**
B: دمای هوای ورودی	۳	۵۹۶/۶۳۰**	۲۵۸/۱۸۵**
A× B	۶	۳۳/۹۶۳**	۳۹/۹۳۵**
خطا	۲۴	۱/۶۱۱	۰/۶۳۹
جمع	۳۵		

**احتمال درسطح ۱٪

معنی‌دار است. نتایج آثار متقابل مقدار تغذیه و دمای هوای ورودی بر عملکرد و رسوب پودر با بهره‌گیری از آزمون مقایسه میانگین‌ها به‌صورت نمودار در شکل ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۴ الف و ب نشان داده شده است، تأثیر افزایش مقدار تغذیه در دماهای هوای ورودی مختلف باهم فرق می‌کند. در یک دمای هوای ورودی ثابت، با افزایش مقدارتغذیه، عملکرد کاهش و رسوب دیواره افزایش می‌یابد. با افزایش مقدار تغذیه در یک دبی هوای ورودی و دور ثابت پاشنده، مقدار مایع بیشتری وارد محفظه شده و زمان خشک شدن قطرات کاهش می‌یابد و در نتیجه خشک شدن به‌صورت ناقص انجام می‌شود. در چنین شرایطی ذرات حاوی رطوبت به‌هم چسبیده و باعث افزایش رسوب دیواره و کاهش عملکرد می‌شوند. هم‌چنین این شکل‌ها نشان می‌دهند که در دماهای هوای بالاتر، عملکرد کاهش و رسوب دیواره‌ها افزایش یافته است. با افزایش دمای هوای ورودی، ذرات در معرض تخریب حرارتی قرار گرفته، ذوب شده و به‌صورت یک ماده شیشه‌ای به دیواره‌ها می‌چسبند و

www.SID.ir

Archive of SID

در نتیجه میزان پودر تولیدی و عملکرد خشک‌کن کاهش می‌یابد.

نتایج نشان می‌دهد که بهره‌گیری از گلوکز مایع به‌عنوان افزودنی برای خشک کردن آب پرتقال مفید است و آب‌دوستی و خواص ترموپلاستیکی آن را کاهش داده و عملکرد را در مقایسه با افزودنی‌های دیگر بهتر می‌کند ولی هنوز درصد زیادی رسوب (۶۵-۱۴٪) بر دیواره وجود دارد. از این‌رو، پارامترهای دیگری در ایجاد رسوب و چسبندگی پودر تأثیر داشتند که بررسی شدند. نتایج تجزیه و تحلیل آماری نشان داد که پارامترهای مقدار تغذیه و دمای هوای ورودی بر رسوب دیواره تأثیر دارند. بنابراین علت رسوب، پاشش غیریکنواخت و یا دمای زیاد دیواره‌هاست.

برای بررسی یکنواخت بودن پاشش، با میکروسکوپ الکترونی نمودار توزیع اندازه ذرات، به‌صورت شکل ۵ اندازه‌گیری شد. همان‌طور که در شکل نشان داده شده است، بیشتر ذرات در محدوده اندازه زیر ۴۰ μm توزیع شده‌اند و درصد اندازه‌های دیگرخیلی کم است. از این‌رو می‌توان گفت که پودر به‌دست آمده خیلی ریز بوده و از یکنواختی زیادی برخوردار است، هم‌چنین با توجه به این‌که توزیع اندازه ذرات در محدوده باریکی قرار دارد، پاشش به‌صورت یکنواخت انجام شده است.

در این‌صورت تنها دلیل چسبیدن و رسوب ذرات به دیواره، دمای بالای دیواره‌هاست. برای بررسی آن ترموکوپل‌هایی بر ۴ نقطه مختلف دیواره نصب وآزمایش‌های دیگری انجام شد که نتایج آن درجدول ۷ نشان داده شده است.

نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد هنوز مقدار قابل توجهی رسوب بر دیواره‌ها و در تمامی نقاطی که ترموکوپل نصب شده بود، وجود داشت. بنابراین دمای بالای دیواره پارامتر مهمی در ایجاد رسوب پودر به دیواره است.

پژوهش‌ها نشان می‌دهد که عامل مهم برای تعیین چسبندگی پودر، دمای نقطه چسبندگی آن است. در چنین دمایی ذرات پودر به‌هم چسبیده و یک ماده کلوخه‌ای جریان‌ناپذیر ایجاد می‌شود (۱۳ ، ۱۵).

با آزمایشی دیگر دمای نقطه چسبندگی پودر در رطوبت‌های مختلف اندازه‌گیری شد. نتایج این آزمایش به‌صورت نمودار در شکل ۶ نشان داده شده است. برای رطوبت ۲٪ دمای نقطه چسبندگی پودر پرتقال $44\ ^{\circ}C$ به‌دست آمد. نتایج جدول ۷ نشان می‌دهد که دمای تمامی نقاط نصب حسگر روی دیواره بیشتر از دمای نقطه چسبندگی پودر است. به‌عبارت دیگر، دمای دیواره داخلی بیشتر از دمای چسبندگی پودر است و همین امر باعث چسبندگی پودر و ایجاد رسوب می‌شود.

برای صحت و اطمینان از چنین نتیجه‌ای، یک صفحه خنک کننده روی دیواره خشک‌کن نصب شد. این صفحه با بهره‌گیری از جریان هوای خنکی، دمای دیواره را در دمای $42\ ^{\circ}C$- ۲۵ ثابت نگه می‌داشت. یک حسگر دما در محل نصب صفحه خنک شده و دو حسگر دما در دو قسمت دیگر دیواره نصب شدند. با اندازه‌گیری دمای نقاطی که حسگرها نصب شده بودند، آثار دمای دیواره بررسی شد که نتایج آن در جدول ۸ نشان داده شده است. در قسمتی از محفظه خشک‌کن که صفحه خنک شده قرار داشت و دمای دیواره کمتر از دمای نقطه چسبندگی بود، هیچ رسوبی بر دیواره دیده نشد. در بقیه نقاط که دیواره خنک نشده بود، رسوب وجود داشت. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت، که عامل مهم در ایجاد رسوب، دمای بالای دیواره است و باید دمای دیواره کمتر از دمای نقطه چسبندگی پودر نگه داشته شود.

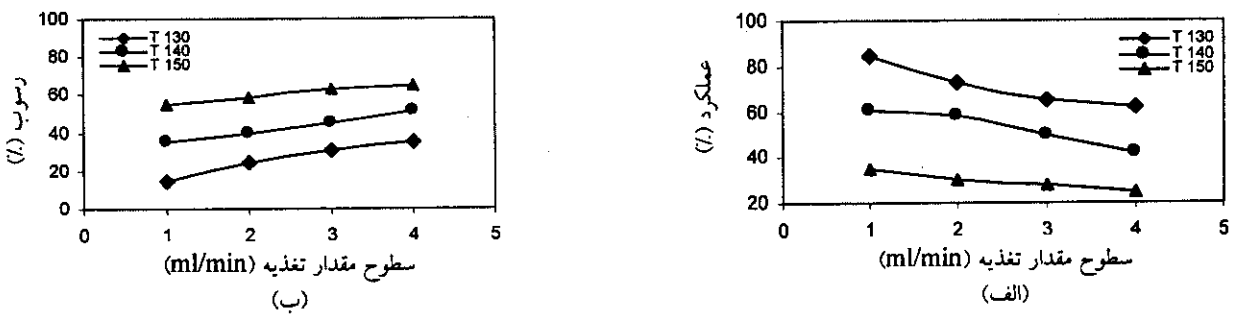
نتایج نشان می‌دهد که مناسب‌ترین شرایط کاری برای خشک‌کن مورد استفاده در این آزمایش برای خشک کردن آب پرتقال با دمای هوای ورودی $130\ ^{\circ}C$، مقدارتغذیه ۱۵ ml/min و نوع افزودنی گلوکز مایع است. پژوهش‌هایی که *بهانداری* و همکاران (۲) انجام داده‌اند مناسب‌ترین افزودنی برای خشک‌کردن آب‌میوه‌های هلو، انگور و تمشک را مالتودکسترین معرفی کردند و نتیجه گرفتند که دمای هوای ورودی مناسب برای خشک‌کردن آنها با یک خشک‌کن پاششی آزمایشگاهی $^{\circ}C$ ۱۶۰-۱۳۰ و با نسبت افزودنی ۵۰/۵۰ است و با افزایش دمای هوای ورودی، عملکرد خشک‌کن افزایش می‌یابد. نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان می‌دهد که افزودنی مالتودکسترین برای آب پرتقال، عملکرد خشک‌کن را بالا برده و رسوب را کاهش می‌دهد ولی به‌اندازه‌ای که در آب‌میوه‌های

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۷. دمای دیواره در نقاط نصب ترموکوپل و رطوبت پودر در شرایط مختلف کاری خشک‌کن

دمای تغذیه (°C)	دمای هوای ورودی (°C)	دمای هوای خروجی (°C)	مقدارتغذیه (ml/min)	دمای نقاط نصب ترموکوپل روی دیواره(°C) ۱	۲	۳	۴	رطوبت پودر (٪)
۲۰	۱۵۰	۹۲	۳۰	۹۸	۹۷	۹۰	۸۸	۲/۱۰
۲۰	۱۴۰	۸۵	۲۰	۸۶	۸۳	۸۰	۸۰	۲/۰۵
۲۰	۱۳۰	۸۳	۱۵	۸۴	۷۹	۷۵	۷۴	۲/۴۲
۳۰	۱۵۰	۹۵	۳۵	۱۰۰	۹۷	۹۷	۸۲	۲/۰۵
۳۰	۱۴۰	۸۷	۲۵	۹۱	۹۱	۸۹	۷۳	۲
۳۰	۱۳۰	۸۵	۲۰	۸۵	۸۳	۸۲	۷۰	۲/۱۴
۴۰	۱۵۰	۹۵	۴۰	۱۲۹	۱۳۸	۱۱۵	۱۲۰	۲
۴۰	۱۴۰	۹۰	۳۰	۱۲۹	۱۲۴	۱۱۷	۱۱۵	۲/۱۰
۴۰	۱۳۰	۸۵	۲۵	۱۱۸	۱۱۸	۱۱۲	۱۱۰	۲/۱۲



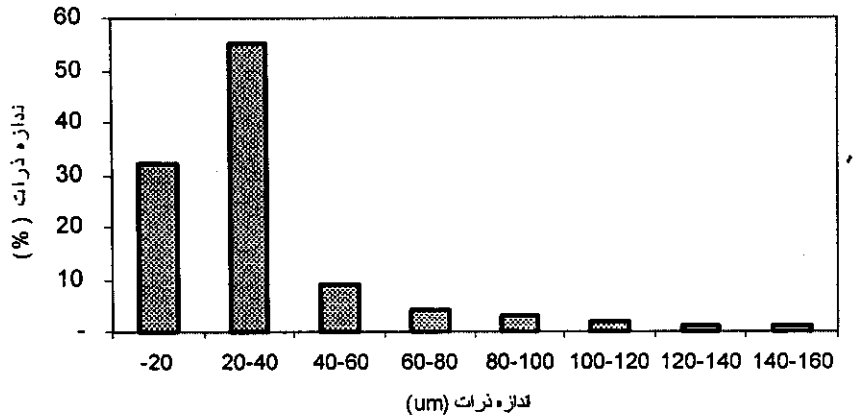
شکل٤. اثر متقابل دمای هوای ورودی و مقدار تغذیه بر عملکرد و رسوب

جدول ۸ . شرایط کاری خشک‌کن با صفحه خنک‌شده

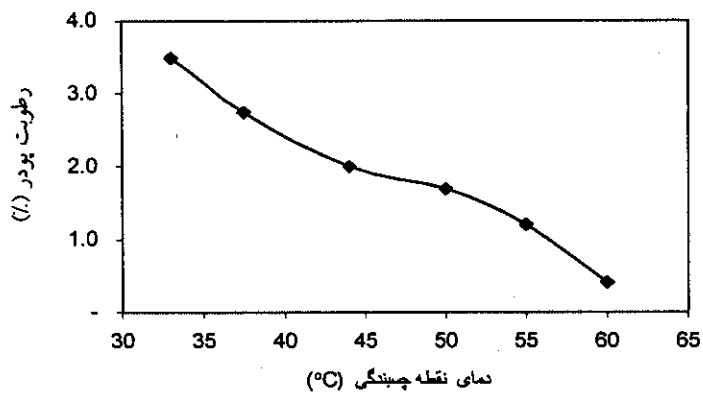
دمای هوای ورودی (°C)	دمای هوای خروجی (°C)	نرخ تغذیه (ml/min)	دمای نقاط نصب حسگر دما روی دیواره(°C) خنک شده	خنک نشده	خنک نشده
۱۴۰	۷۸	۱۵	۳۸	۸۱	۷۹
۱۴۰	۸۴	۲۰	۳۸	۸۵	۸۴
۱۴۰	۸۸	۳۰	۴۱	۱۱۹	۱۱۱
۱۳۰	۸۰	۱۵	۳۰	۸۳	۷۸
۱۳۰	۸۲	۲۰	۳۱	۸۴	۸۰
۱۳۰	۸۲	۳۰	۳۳	۱۱۰	۱۰۹
وضعیت رسوب دیواره			بدون رسوب	رسوب	رسوب

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۵. رابطه بین اندازه و توزیع اندازه ذرات



شکل٦. رابطه بین دمای نقطه چسبندگی و درصد رطوبت پودر پرتقال

دیگر تأثیر دارد به خشک کردن آب پرتقال کمک نمی‌کند. علت آن وجود ترکیبات مختلف قندها در آب‌میوه‌های مختلف و وجود مواد اسیدی در آب پرتقال است. ترکیبات مختلف موجود در آب‌میوه‌های مختلف، هنگام خشک‌شدن، رفتاری متفاوت از خود نشان می‌دهند. هم‌چنین در دماهای بالاتر از ۱۳۰ °C عملکرد خشک‌کن کاهش یافته و رسوب دیواره بیشتر می‌شود. بنابراین نمی‌توان از شرایط به‌دست آمده با خشک‌کن پاششی برای محصولات مختلف استفاده کرد.

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان می‌دهد که خشک‌کردن کنسانتره آب‌پرتقال بدون بهره‌گیری از مواد افزودنی، عملی نیست و تغییر پارامترهای کاری خشک‌کن مانند دمای هوای ورودی و مقدار تغذیه، اثری بر عملکرد و تولید پودر ایجاد نمی‌کند.

بهره‌گیری از افزودنی *متیل سلولز* به کنسانتره پرتقال، جریان‌پذیری و انتقال مایع را بهتر کرده ولی اصلاحی در رسوب پودر ایجاد نمی‌کند. اضافه‌کردن مالتودکسترین به کنسانتره آب‌پرتقال عملکرد را بین ۳۵- ۱۸٪ بالا می‌برد ولی بیش از ۸۲-۶۵٪ از پودر تولیدی روی دیواره‌ها رسوب شد. در دماهای هوای ورودی بیشتر از ۱۵۰ °C پودری تولید نمی‌شود.

بهره‌گیری از افزودنی گلوکز مایع برای خشک‌کردن کنسانتره آب‌پرتقال مناسب بوده و باعث افزایش عملکرد

www.SID.ir

Archive of SID

خشک‌کن و کاهش رسوب دیواره‌ها می‌شود. نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری ویژگی‌های پودر نشان می‌دهد که با افزایش دمای هوای ورودی، چگالی حجمی پودر کاهش و اندازه ذرات و جامد غیرمحلول پودر افزایش می‌یابد.

نتایج تجزیه و تحلیل آماری نشان می‌دهد که آثار مستقل پارامترهای دمای هوای ورودی و مقدار تغذیه و آثار متقابل آنها بر عملکرد خشک‌کن و رسوب دیواره در سطح ۱٪ معنی‌دار است و با افزایش مقدار تغذیه و دمای هوای ورودی، عملکرد خشک‌کن کاهش و رسوب دیواره افزایش می‌یابد. شرایط بهینه‌کاری خشک‌کن با دمای هوای ورودی $130^{\circ}C$ مقدار تغذیه ۱۵ ml/min حاصل می‌شود. برای پودر پرتقال با رطوبت ۲٪، دمای نقطه چسبندگی $44^{\circ}C$ است و این ویژگی در چسبیدن پودر و ایجاد رسوب نقش مهمی دارد.

علت اصلی رسوب دیواره‌ها، دمای بالای آن است و باید دمای آن در محدوده کمتر از دمای نقطه چسبندگی پودر پرتقال نگه‌داشته شود. برای جلوگیری از افزایش دمای دیواره بهتر است از خشک‌کن‌های دوجداره و با سیستم خنک‌کننده دیواره بهره‌گیری شود.

منابع مورد استفاده

1. Attiyat, Y. 1978. Breakthrough in spray drying improve quality, shelf life. Food Eng. Int. 3(4): 48-51.
2. Bahandari, B. R., A. Senoussi, E. D. Dumoulin And A. Albert. 1993. Spray drying of concentrated fruit juices. Dry Technol. 11(5): 1081-1092.
3. Bohm, C. and C. Bornegg. 1931. U. S. Patent 1800501.
4. Carcmo, F. and E. Luis. 1998. Technical Feasibility of Spray Drying Process of Concentrated Apple Juice. Valdivia.
5. Dolinsky, A., Y. Maletskaya and Snezhkin. 2000. Fruit and vegetable powders production technology on the bases of spray and convective drying methods. Dry Technol. 18(3): 747-758.
6. Dolinsky, A. 2001. High-temperature spray drying. Dry Technol. 19(5): 785-806.
7. Duck, S., L. Kang, and S. Dong. 1997. Processing of powdered jujube juice by spray drying. Dry Technol. 14: 568-574.
8. Gupta, A. S. 1978. Spray drying of orange juice. U. S. Patent 4112130.
9. Holzcker. R. 1943. Spray drying of fruit juice. Food Indust. 15: 62-66.
10. Maltini, E., R. Nani and G. Bertolo. 1986. Vacuum belt drying of fruit juices without drying aids. Technol. Product Agric.
11. Masters, K. 1991. Spray Drying. 5th Ed. Longman Scientific Technical, London.
12. Mujumdar, A. S. 1987. Handbook of Industrial Drying. 2nd ed., Marcel Dekker, New York.
13. Papadakis, S. E. and R. E. Bahu. 1992. The sticky issues of drying. Dry Technol. 10(4): 817-837.
14. Pearson, D. 1985.Laboratory Technique In Food Analysis. Butterworths, London.
15. Rennie, P. R., X. D. Chen, Hargreaves and A. R. Mackereth. 1999. A study of the cohesion of dairy powders. J. Food Eng. 39: 277-285 .
16. Strashum, S. J. 1954. U. S. Patent 2577155.
17. Walton, D. E. 2000. The morphology of spray dried particles. Dry Technol. 18: 1945-1983.
18. Welti, J. S. and B. Lafuenete. 1983. Spray drying of comminuted orange products. Chem. Eng. Prog. 79: 80-85.

www.SID.ir

Archive of SID
J. Sci. & Technol. Agric. & Natur. Resour., Vol. 7, No. 4, Winter 2004, Isf. Univ. Technol., Isf., Iran.

Effective Parameters on Orange Juice Powder Deposit on Spray Dryer Wall

GH. Chegini, B. Ghobadian[1], and M. Barekatin[2]

Abstract

The difficulties in the storage of fruit juice and the use of juice powder in various food processing industries has made the juice powder attractive to consumers and producers. Making powder from fruit juice is one of the most complex methods of fruit processing.The hygroscopic nature of fruit juice component and its thermoplastic properties has caused the drying time control and the transportation of the product from the drying zone to the next stage to become very difficult. In this investigation with laboratory spray dryer, the effective parameters on orange juice powder deposit on the wall of the spray dryer was studied.

The results indicate that the powder can not be made without the use of additives. Using liquid glucose as an additive to orange juice concentration increased the dryer performance and reduced the wall deposit considerably. With the help of liquid glucose additive, spray dryer optimum conditions were obtained with a feed flow rate of 15 ml/min, inlet air temperature of 130°C and outlet air temperature of 85°C. The results from the statistical analysis of the experimental data show that the parameters of inlet air temperature and feed flow rate have significant effects on the dryer yield and wall deposit both individually and jointly. By increasing inlet air temperature and feed flow rate, the dryer yield decreased but wall deposit increased. In spite of using suitable additives, the wall deposit was still in the range of 14 to 65 %. The results of experiments indicate that the main cause of wall deposit can be attributed to the wall high temperature. It is, therefore, necessary to keep the wall temperature below the orange powder sticky point temperature to prevent rising temperature in wall deposit. For the orange powder containing 2% moisture, the sticky point temperature is 44°C. To control the wall temperature, a dryer with double partition wall chamber and a cooling system is proposed.

Keywords: Spray dryer, Wall deposit, Orange powder, Sticky point temperature.

1. Ph.D. Student and Assis. Prof. of Agric. Machinery, respectively, Tarbiat Modares Univ., Tehran, Iran.
2. Prof. of Food Technol., Ghomes R&D Assoc. Inc., Tehran, Iran.

www.SID.ir