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

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1382.7.4.15.5]

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 منواستئاریت 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.

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

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1382.7.4.15.5]

جدول۱. ترکیبات کنسانتره پرتقال

ترکیبات	مقدار
درصد ماده جامد	٪۶۳ ± ۱
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.

بهانداری 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 ٦٥/٣٥، برای زردآلو ٦٠/٤٠ و برای تمشک٥٥/٤٥ 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 ۲۵۰۰۰ rpm، 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 ۲۵۰۰۰ rpm 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

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1382.7.4.15.5]

بـه‌کمک گرمـکن برقی با محـدوده دمایی $^{\circ}C$ ۲۰۰-۸۰ گرم و از طـریق یـک توزیـع‌کنـنده هـوا با جریانی چرخشی وارد محفظه خشـک‌کن می‌شد. خشک‌کن با استفاده از سیکلونی با قطر مؤثر ۱۰ cm مخلـوط هوا و پـودر خـروجی را جـداسازی مـی‌کرد. پارامتـرهای دمـای هوای ورودی و خروجی، دور پاشنده، مقدار تغذیـه و دبـی هـوای ورودی بـا کنترلرهایـی تنظـیم و کنتـرل می‌شدند.

ج) روش‌های آزمایش

خشـک‌کـن در یـک اتـاق با شرایط محیطی ثابت قرار داده شد وکلیـه آزمایش‌هـا در دمای هـوای محیط $^{\circ}C$ ۲۵-۲۰ و رطـوبت نسـبی ۲۵ تا ۳۰٪ انجام گرفت. در تمامی آزمایش‌ها پارامترهای سرعت دورانی پاشنده در ۳۰۰۰۰ rpm و دبی هوای ورودی در ۶۵۰ cm^3/s ثابـت نگه‌داشته شدند. آزمایش‌ها در سه مرحله و با ۳ تکـرار انجـام شد. این آزمایش‌ها در سه مرحله انجام گرفت. در مـرحله اول آزمـایش‌هـا برای خشک‌کردن آب پرتقال بدون مـواد افزودنـی و بـا افزودنـی‌هـای متـیل‌سلولز و مالتودکسترین مطابق ماتریس آزمایش‌های جدول ۳ انجام گرفت.

در مرحله بعد با بهره‌گیری از نتایج آزمایش‌های مرحله اول، آزمـایش‌هـای دیگـری برای خشک‌کردن آب پرتقال با افزودنی گلوکز مایع انجام گرفت. در این مرحله مقدار تغذیه در ۴ سطح بـا تقسـیمات کـوچک‌تـر و دما در ۳ سطح که عملکرد بیشتری داشـتند، انـتخاب شـدند. آزمـایش‌ها نیز براساس آزمایش کامل فاکـتوریل بـا طـرح پایـه کامـل تصادفی در۳ سطح دمای هوای ورودی و ۴ سـطح مقـدار تغذیه و با ۳ تکرار انجام شد. در این آزمـایش‌ها ویژگی‌های پودر اندازه‌گیری و اثر پارامترهای کاری خشـک‌کـن برعملکـرد و رسـوب بررسـی شد. تجزیه و تحلیل آمـاری و مقایسه میانگین‌ها با روش دانکن انجام شد. در مرحله سـوم عـوامل ایجـاد رسوب با کمک آزمایش‌های دیگر بررسی گـردید. در ایـن آزمـایش‌هـا دمـای دیـواره‌هـا بـا بهره‌گیری از تـرموکوپل‌های نصب شده درنقاط مختلف دیواره اندازه‌گیری و بررسی شد.

د) اندازه‌گیری ویژگی‌های پودر

نمـونه‌های پودر به‌دست آمـده از آزمـایش‌ها درظـروف دربسته تـا مـرحله آنالیـز پـودر نگـه‌داری شـدند. با توجه به روش‌های انـدازه‌گیـری شـرح داده شده در پژوهش‌های پیش، ویژگی‌های پودر به شرح زیر اندازه‌گیری شدند (۱۴، ۱۵ و ۱۷).

انـدازه و توزیـع اندازه ذرات: با میکـروسکوپ الکتـرونی مـدل (PHILIPS-XL30) اندازه‌گیری شدند.

جامـد غیـرمحلول: بـا حـل نمـودن مقدار ۱۰ گرم پودر در آب خـالـص $^{\circ}C$ ۲۵ در مـدت ۲۰ ثانـیه درصـد جامـد غیـرمحلول به‌دست آمد.

چگالـی حجمی پودر: مقدار ۲۰ گرم پودر در یک استوانه مدرج ۱۰۰ ml ریختـه شـد و ده مـرتـبه از ارتفـاع ۱۵ cm روی یـک صـفحـه لاسـتیـکی رها شد. با تقسیـم وزن پودر برحجـم پودر بـه‌دسـت آمـده از اسـتوانه مدرج، چگالی حجمی پودر به‌دست آمد.

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

$$Mc(\%) = [(m_1-m_2)/m_2]*100 \qquad [۱]$$

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

عمـلکـرد خشـک‌کـن: عبـارت است از مقـدار پـودر تولیـدی از مقدارجامـد تغذیـه در واحـد زمـان کـه از رابطه [۲] محاسبه می‌شود.

$$Y= [P.S_p / L \,.\, S_f] * 100 \qquad [۲]$$

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 بـه‌تـرتـیب درصـد ماده جامـد تغـذیه و درصـد مـاده جامـد پـودر

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1382.7.4.15.5]

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	–	–

دمـای نقـطه چسبنـدگی: (Sticky Point Temperature): بـرای بـه‌دست آوردن دمایی که ذرات پودر شروع به چسبیدن می‌کنند دستگاه اندازه‌گیری دمای نقطه چسبندگی مطابق شکل ۱ ساخته شـد. بـرای انـدازه‌گیـری، مقـداری پـودر روی صفحه ریخته و گـرمکن دستگاه روشن می‌شود، دمای دستگاه در لحظه‌ای که با مشـاهده چشـمی، پـودر شـروع بـه چسبیدن می‌کند دمای نقطه چسبندگی پودر است (۱۴).

نتایج و بحث

آزمایش‌های تولید پودر پرتقال در چند مرحله و با مواد افزودنی مخـتلف صـورت گـرفت. نخسـت، ایـن آزمایش‌ها از کنسانتره پـرتقال، بدون هیچ‌گونه مواد افزودنی مطابق شرایط کاری نشان داده شـده درجـدول ۳ انجـام شـد. در تمامـی آزمـایش‌ها هیچ پـودری تولـید نشـد و تمامـی مایـع تغذیه به دیواره‌های مخزن خشـک‌کـن و سـیکلون چسـبیده و رسـوبی سنگین بر دیواره‌ها ایجـاد شـد. بـا ادامـه آزمایش‌ها لایه‌ای سخت و شیشه‌ای روی دیـواره‌هـا شـکل گـرفت که جدا کردن آن به سختی امکان‌پذیر بود. تغییر پارامترهای کاری خشک‌کن مانند دمای هوای ورودی و مقـدارتغـذیـه (Feed Flow Rate) نیز، هیچ‌گـونه اصلاحی بر عملکرد و تولید پودر نداشت.

همان‌طور که پژوهش‌های *دولینسکی*، *رنی* و همکاران نشان مـی‌دهـد، مـوادی مانـند قـندهای ساکارز، گلوکز و فروکتوز به آب‌مـیوه‌هـا طبیعتـی آب‌دوست و ترموپلاست داده‌اند که هنگام خشـک شدن یا از دست دادن آب، ذرات پودر به‌هم می‌چسبند. در مـواد غذایـی بـا سـاختار نامـنظم، آب بـه‌عـنون یـک عامل پلاسـتیک‌کننده (Plasticizer) عمل کرده و ساختار ماده را تغییر مـی‌دهد. وجود مقدار کم آب ممکن است دمای شیـشه‌ای شدن (Glass Transition Temperature) را تا زیر دمـای اتاق کاهش دهد (۵، ۶ و ۱۵).

هـنگام خشـک‌شـدن آب پـرتقال و از دسـت دادن آب، هیدروژن‌های فعال باعث چسبیدن ذرات و ایجاد لایه‌ای پیوسته روی دیـواره داخلـی محفظه خشک‌کن می‌شود. وجود نخستین لایـه، زمینه را برای جذب ذرات خشک شده دیگر روی دیواره فـراهم مـی‌کـند و حـرارت بالا باعث می‌شود، لایه‌ای سخت و شیشه‌ای روی دیواره شکل گیرد (۲ و ۱۸).

اضافه کردن افزودنی *متیل سلولز* به کنسانتره پرتقال و انجام آزمـایش‌هـا مطابق شرایط کاری جدول ۳ جریان‌پذیری و انتقال مایـع را بهتـر کـرد، ولـی هـیچ اصلاحی در رسوب پودر ایجاد نکـرده و رسـوب نسـبتاً سـنگینی بـر دیواره‌ها ایجاد شد. تغییر پارامتـرهای کـاری خشک‌کن مانند دمای هوای ورودی و مقدار تغذیه نیز تغییری بر رسوب دیواره و تولید پودر ایجاد نکرد.

یکـی دیگـر از مواد افزودنی که آزمایش شد، مالتودکسترین بـود. آزمایش‌ها مطابق شرایط مندرج در جدول ۳ انجام گرفت. نـتایج بـه‌دست آمده از اندازه‌گیری ویژگی‌های پودر آب پرتقال در جـدول ۴ نشـان داده شـده اسـت. بهـره‌گیـری از افزودنـی مالتودکسـترین عملکـرد را بـه‌میزان ۱۸ تا ۳۵٪ افزایش داد ولی حـدود ۶۵ تـا ۸۲٪ پـودر روی دیـواره‌هـا رسـوب کـرد. بـا جمـع‌آوری رسـوب دیـواره‌هـا و انـدازه‌گیـری ویژگـی‌های پـودر، چگالی حجمی ۰/۵–۰/۸ g/cm^3 و دامنه اندازه ذرات ۲۰ تا ۳۰ µm بود.

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

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1382.7.4.15.5]

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

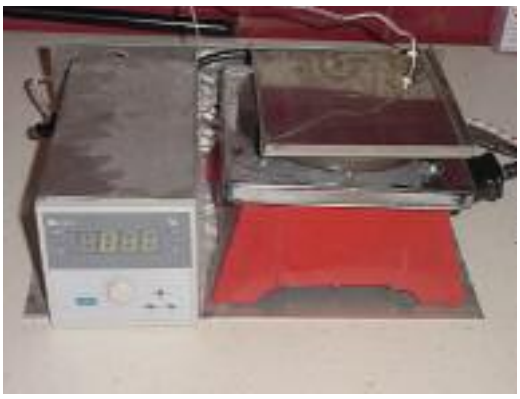
پارامترهای کاری خشک کن			ویژگی‌های پودر				
دمای هوای ورودی (°C)	دمای هوای خروجی(°C)	مقدار تغذیه (ml/min)	چگالی حجمی (g/cm^3)	رطوبت پودر(٪)	اندازه ذرات (μm)	جامد غیرمحلول(٪)	عملکرد (٪)
۱۳۰	۷۰	۲۰	۰/۵	۲/۵۰	۲۰	۰/۱۰	۳۵
	۷۱	۳۰	۰/۴۵	۲/۲۰	۲۱/۱۰	۰/۱۲	۳۴
	۷۳	۴۰	۰/۴۲	۲/۱۰	۲۲/۱۵	۰/۱۳	۳۴
۱۴۰	۸۵	۲۰	۰/۳۸	۲/۴۵	۲۴/۴۲	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).

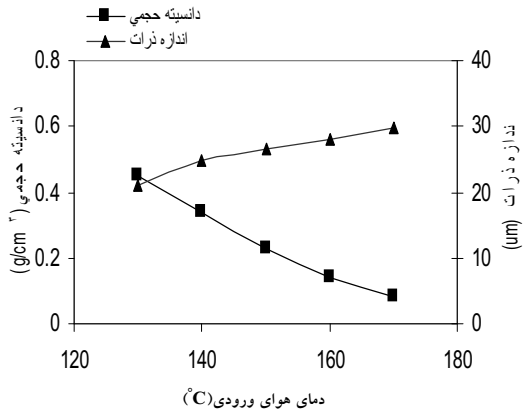
اثر دمای هوای ورودی بر جامد غیر محلول و عملکرد پودرآب پرتقال در شکل ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل مشخص است با افزایش دمای هوای ورودی، عملکرد کاهش پیدا کرده است وجامد غیر محلول پودر افزایش می‌یابد. عملکرد پودر تولیدی در دماهای ۱۳۰ تا ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد بین ۳۰ تا ۳۵٪ و در دمای ۱۶۰ تا ۱۷۰ درجه 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

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-04-20]

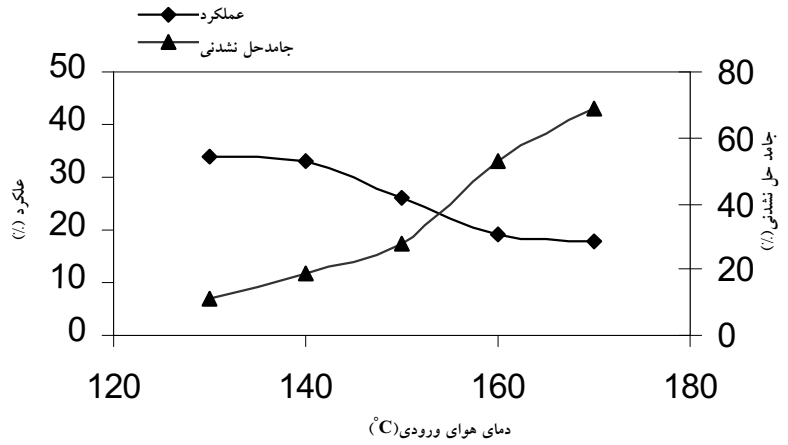
[DOR: 20.1001.1.24763594.1382.7.4.15.5]



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

هـوای ورودی ۱۳۰، ۱۴۰ و ۱۵۰ درجـه سـانتی‌گـراد بـود، برای خشک‌کردن کنسانتره پرتقال با افزودنی گلوکز مایع از همین سه سطح دمایی بهره‌گیری شد.

نـتایـج نشـــان مـــی‌دهـد که بهـــره‌گیری از گلـوکز مـایـع، عملکـرد خشک‌کن را افزایش، چسبندگی و رسوب دیواره‌ها را کـاهش مـی‌دهـد. نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری ویژگی‌های پـــودر (جـــدول ۵) نشـان مـی‌دهد که با افزایش دمـای هـوای ورودی، چگـالی حجمی پودر کاهـش و انـدازه ذرات و جـامد غیـرمحـلول پودر افـزایش مـی‌یابـد. همان‌طـور که گفتـــه شد، علت آن ایجاد لایه سخت روی ذرات است (۶).

تجزیه و تحلیل آماری

بـرای شناسـایی عوامـل مؤثر بر عمـلکرد خشک‌کن و رسـوب دیـــواره، اثـر پارامتـرهای کـــاری خشک‌کن ماننـد دمای هوای ورودی و مقـدار تغذیـه بـر رسـوب پودر و عملکرد خشک‌کن بررســی گـردید و نـتایج ۳۶ آزمـون انجام شده تجزیه و تحلیل آماری شد. نتایج تجـزیه واریانس عملکرد خشـک‌کن و رسوب دیواره درجدول ۶ نشان داده شده است.

همـان‌طور که در جـدول ۶ نشـان داده شـده، آثار مســتقل پارامترهای دمای هوای ورودی و مقدار تغذیه، هم‌چنین اثرهای مـتقابل آنها بر عملکرد خشک‌کن و رسوب دیواره در سطح ۱٪

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1382.7.4.15.5]

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

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1382.7.4.15.5]

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 $25-42^{\circ}C$ 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.

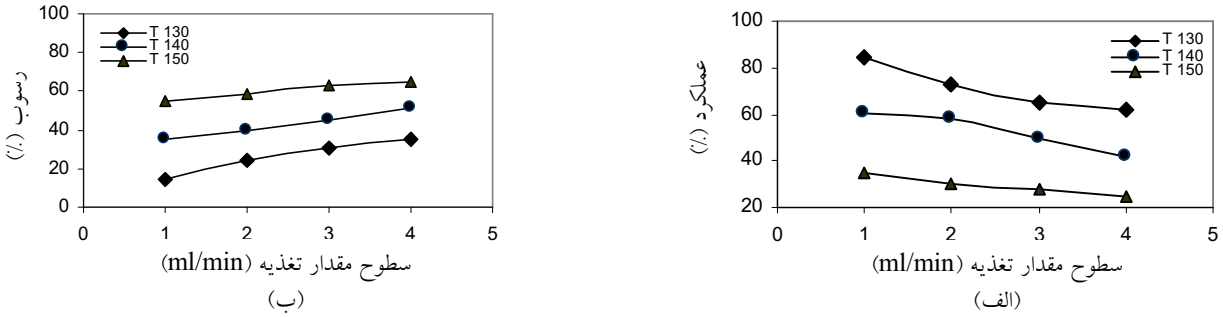
نتایج نشان می‌دهد که مناسب‌ترین شرایط کاری برای خشک‌کن مورد استفاده در این آزمایش برای خشک کردن آب پرتقال با دمای هوای ورودی $130^{\circ}C$، مقدارتغذیه ۱۵ ml/min و نوع افزودنی گلوکز مایع است. پژوهش‌هایی که *بهانداری* و همکاران (۲) انجام داده‌اند مناسب‌ترین افزودنی برای خشک‌کردن آب‌میوه‌های هلو، انگور و تمشک را مالتودکسترین معرفی کردند و نتیجه گرفتند که دمای هوای ورودی مناسب برای خشک‌کردن آنها با یک خشک‌کن پاششی آزمایشگاهی $160-130^{\circ}C$ 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

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1382.7.4.15.5]

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



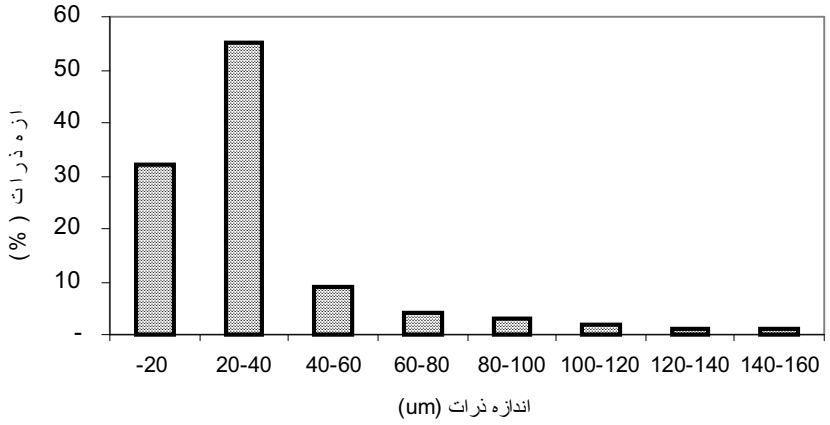
شکل٤. اثر متقابل دمای هوای ورودی و مقدار تغذیه بر عملکرد و رسوب

جدول ۸ . شرایط کاری خشک‌کن با صفحه خنک‌شده

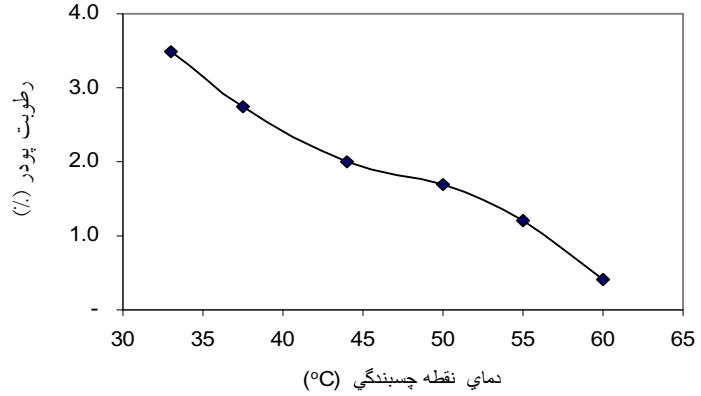
دمای هوای ورودی (°C)	دمای هوای خروجی (°C)	نرخ تغذیه (ml/min)	دمای نقاط نصب حسگر دما روی دیواره(°C) خنک شده	خنک نشده	خنک نشده
۱۴۰	۷۸	۱۵	۳۸	۸۱	۷۹
۱۴۰	۸۴	۲۰	۳۸	۸۵	۸۴
۱۴۰	۸۸	۳۰	۴۱	۱۱۹	۱۱۱
۱۳۰	۸۰	۱۵	۳۰	۸۳	۷۸
۱۳۰	۸۲	۲۰	۳۱	۸۴	۸۰
۱۳۰	۸۲	۳۰	۳۳	۱۱۰	۱۰۹
وضعیت رسوب دیواره			بدون رسوب	رسوب	رسوب

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1382.7.4.15.5]



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 $^{\circ}$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 $^{\circ}$C پودری تولید نمی‌شود.

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

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1382.7.4.15.5]

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.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1382.7.4.15.5]