

(مقاله پژوهشی)

تأثیر شرایط خشک کردن پاششی بر ویژگی‌های فیزیکی، عملکردی و بازده تولید پودر آب ماست

مهران اعلمی^{۱*}، مجید شیرمحمدی^۲، یحیی مقصدلو^۳ و مرتضی خمیری^۱

- ۱- دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
 ۲- دانشجوی دکتری علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
 ۳- استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۲۱

چکیده

در این مطالعه تأثیر پارامترهای مختلف شامل دمای هوای ورودی، نرخ و غلظت ورود خوراک بر ویژگی‌های فیزیکی، عملکردی و بازده تولید پودر آب ماست تهیه شده به روش خشک‌کن پاششی مورد بررسی قرار گرفت. فرایند تولید پودر آب ماست با استفاده از یک خشک‌کن پاششی در مقیاس پایلوت انجام شد. متغیرهای فرایند شامل دمای هوای ورودی (140°C ، 160°C ، 180°C)، غلظت خوراک ورودی (۳۰ و ۴۰ درصد) و نرخ ورود خوراک (15 ml min^{-1} و ۲۲) بودند. در طول اجرای فرایند دوراتمازیر، دمای خوراک ورودی و فشار هوای نازل در مقدار ثابت و به ترتیب در مقادیر 18000 rpm ، $1 \pm 25^{\circ}\text{C}$ و $0.1 \pm 4\text{ bar}$ ثابت نگه داشته شدند. نتایج بررسی بیانگر آن بود که میزان بازده تولید پودر تحت تأثیر متغیرهای در نظر گرفته شده بود و ترتیب شدت تأثیر از بیشترین به کم‌ترین به صورت دمای هوای ورودی، نرخ ورود خوراک و غلظت خوراک ورودی بود. همچنین تغییرات ویژگی‌های پودرهای مورد بررسی نسبت به تغییرات دمای هوای ورودی، معنی‌دار بوده ولی تغییرات ناشی از نرخ ورود خوراک و غلظت خوراک ورودی در یک دمای ثابت نسبتاً کم و غالباً غیر معنی‌دار بدست آمد. با در نظر گرفتن مجموع نتایج پارامترهای اندازه‌گیری شده برای پودر می‌توان بیان داشت که انتخاب دمای هوای ورودی 160°C و غلظت خوراک ورودی ۴۰ درصد و نرخ ورود خوراک 15 ml min^{-1} می‌توان به پودر آب ماست با ویژگی‌های مطلوب دست یافت.

واژه های کلیدی: محصول فرعی، پودر آب ماست، خشک کردن پاششی، بازیافت محصول، ماست چکیده.

۱-مقدمه

خشک کردن، قدیمی ترین روش نگهداری فرآورده های غذایی می باشد که توسط بشر به کار گرفته شده است (۱). در بین انواع روش های خشک کردن، خشک کردن پاششی تقریباً گسترده ترین فرایند صنعتی برای تولید انواع پودر بوده و به عنوان تکنولوژی کارآمد در زمینه های مختلف منجر به تولید محصولاتی با ارزش افزوده مناسب شده است (۱). در زمینه مواد غذایی این تکنولوژی در جهت تولید پودر آب پنیر، کافی های فوری، پودر شیر خشک، انواع دمنوش و سوپ ها و پودرهای فوری در جهت تهیه نوشیدنی کاربرد دارد و در زمینه پزشکی و داروسازی نیز از این تکنولوژی در جهت تولید پودر داروهای مختلف و ویتامین ها، آنزیم ها و باکتری ها استفاده می شود (۲۹). این روش برای تولید مواد جامد خشک در اشکال پودری، گرانولی و آگلومره از خوراک مایع به شکل محلول، امولسیون و سوسپانسیون های قابل پمپ بسیار مناسب می باشد (۱۰). از مزایای خشک کردن پاششی می توان به اقتصادی و انعطاف پذیر بودن فرآیند اشاره کرد. همچنین به دلیل زمان بسیار کوتاه فرایند و عدم افزایش دمای محصول به بیش از 100°C ، ارزش تغذیه ای و کیفیت محصول حفظ می شود (۵ و ۴). اما خشک کردن پاششی برای انواع کنسانتره، شربت و آب میوه ها به دلیل غنی بودن از قندهایی با وزن مولکولی پایین (مانند فروکتوز، گلوکز و ساکاروز) و اسیدهای آلی (اسید سیتریک، تارتاریک و مالیک) که منجر به پایین بودن دمای انتقال شیشه ای و چسبندگی این محصولات می شوند در شرایط معمول دشوار می باشد (۲۹، ۱۷ و ۳). محصولات فرعی مربوط به صنعت لبنیات غالباً شامل آب پنیر شیرین^۱، آب پنیر نمکی^۲، آب پنیر ترش^۳ و آب ماست^۴ می باشند. در بین محصولات فرعی مذکور آب پنیر شیرین به دلیل مقدار ماده خشک بالاتر، خاکستر پایین تر و همچنین اسیدیته پایین، بیشترین سهم از تبدیل این محصول فرعی و مشتقات

مربوطه به پودرهای مختلف را دارا بوده و فرایندهای بالادستی شامل تغلیظ و جداسازی پروتئین ها و همچنین فرایندهای پایین دستی شامل فرمولاسیون در مواد غذایی مختلف به صورت عملی امکان پذیر شده است (۲۸). فرایند تبدیل سایر محصولات فرعی به دلیل مقادیر بالای لاکتوز و اسیدلاکتیک و خاکستر، با چالش های تکنولوژیکی همراه است (۲۸). به طوری که در عمل تلاش برای خشک کردن پاششی این محصولات به دلیل چسبیدن به دیواره خشک کن ها و رسوب در دیواره اوبراتورهای تغلیظ با مشکلاتی مواجه است (۱۴). پودرهایی که به دیواره خشک کن می چسبند در طول کل مدت زمان فرایند در داخل خشک کن باقی مانده و نهایتاً دچار سوختگی یا پختگی می شوند. این عوامل سبب کاهش کیفیت محصول و افزایش خطر آتش سوزی می شوند (۲). به همین دلیل صنعت غذا در استفاده از آب پنیر نمکی، آب پنیر اسیدی و آب ماست در مقایسه با آب پنیر شیرین موفق نبوده است (۲۸). از سویی در طول دهه های اخیر تولید انواع آب پنیر ترش و آب ماست به دلیل محبوبیت محصولات اصلی مربوطه افزایش چشمگیری داشته است (۴۱۱). در برخی صنایع غذایی نیز استفاده از پودر آب ماست به عنوان چاشنی و طعم دهنده^۵ و همچنین تنظیم اسیدیته و بالا بردن ماده خشک رواج پیدا کرده است. در همین راستا به منظور دستیابی به کیفیت مناسبی از پودر آب ماست، نیاز به بررسی شرایط مختلف فرایند خشک کردن پاششی می باشد. برخی از این متغیرها شامل: غلظت خوراک ورودی، دمای هوای خشک کن، نرخ ورود خوراک می باشند که در این مطالعه سه متغیر مذکور در سطح پایلوت مورد بررسی قرار گرفته است.

۲-مواد و روش ها

۲-۱-تولید پودر آب ماست

در این تحقیق از خشک کن پاششی در مقیاس پایلوت (مهام صنعت، نیشابور، ایران) استفاده گردید. محفظه خشک کن به صورت استوانه ای با قسمت تحتانی مخروطی

- 1-Sweet Whey
- 2- Salty Whey
- 3- Acid Whey
- 4- Acid Whey

خوراک ورودی، متغیرهای فرآیند بودند. بدین ترتیب که از هوای ورودی با دماهای (۱۴۰، ۱۶۰ و ۱۸۰°C) و دبی خوراک ۱۵ و ۲۲ میلی‌لیتر بر دقیقه، میزان ماده خشک نیز مقادیر ۳۰ و ۴۰ درصد تعیین شد. پودر حاصل از خروجی اصلی تا رسیدن به دمای ثابت و ممانعت از تغییرات رطوبت در دسیکاتور قرار گرفته و سپس در شیشه‌های تیره و دور از نور تا زمان انجام آزمایشات نگهداری گردید. آب مقطر به مدت ۱۰ دقیقه قبل از شروع خشک کردن تا رسیدن دمای خشک کن به میزان ثابت، به عنوان خوراک به دستگاه داده شد. ترتیب کدگذاری پودرهای آب ماست به شرح زیر می‌باشد.

شکل با قطر قسمت استوانه‌ای ۱ متر و ارتفاع کل محفظه ۲ متر بود. دستگاه مجهز به یک پمپ تغذیه حجمی و با دبی تغذیه متغیر و ظرفیت حداکثر ۳ لیتر مایع در ساعت برای ارسال خوراک به نازل بود. فرآیند پاشش توسط اتمایزر چرخشی با قطر ۵cm و قابلیت چرخش توسط کمپرسور هوا، صورت گرفت. در همه آزمون‌ها، دور اتمایزر، دمای خوراک ورودی و فشار اتمایزر با استفاده از نتایج حاصل از آزمون و خطاهای انجام گرفته به ترتیب در ۱۸۰۰۰rpm، ۲۵±۱°C و ۱/۴±۰.۱ bar ثابت نگه داشته شدند. دمای هوای ورودی، دبی حجمی ورودی خوراک و ماده خشک

جدول ۱- کدگذاری تیمارهای مختلف نسبت به متغیرهای در نظر گرفته شده

تیمارها	T431	T432	T441	T442	T631	T632	T641	T642	T831	T832	T841	T842
دما	۱۴۰	۱۴۰	۱۴۰	۱۴۰	۱۶۰	۱۶۰	۱۶۰	۱۶۰	۱۸۰	۱۸۰	۱۸۰	۱۸۰
غلظت ورود	۳۰	۳۰	۴۰	۴۰	۳۰	۳۰	۴۰	۴۰	۳۰	۳۰	۴۰	۴۰
نرخ ورود	۱۵	۲۲	۱۵	۲۲	۱۵	۲۲	۱۵	۲۲	۱۵	۲۲	۱۵	۲۲

۲-۲-آزمون‌های پودر آب ماست

۲-۲-۱-بازده تولید پودر

بازده تولید پودر معیار ارزیابی کارایی و اقتصادی بودن فرآیند خشک کردن پاششی است. مقدار این شاخص به صورت نسبت وزن پودر بدست آمده به جرم کل ماده جامد موجود در خوراک (بر حسب ماده خشک) محاسبه گردید. در این مطالعه، پودر جمع‌آوری شده از دستگاه جهت محاسبه بازده فرآیند و انجام آزمون‌های پودر مورد استفاده قرار گرفت (۱).

۲-۲-۲-مقدار رطوبت و فعالیت آبی

اندازه‌گیری مقدار رطوبت و فعالیت آبی نمونه‌ها، عامل موثر در شناخت قابلیت ماندگاری محصولات خشک شده به روش پاششی است. برای تعیین مقدار رطوبت، حدود ۲ گرم پودر در یک پتری دیش بمدت ۳-۲ ساعت در یک آون در دمای (۱۰۵±۲°C) قرار داده شد، در نهایت در دسیکاتور خنک و سپس وزن گردید، فرآیند خشک شدن

تا رسیدن به وزن ثابت ادامه یافت. سپس مقدار رطوبت پودرها محاسبه گردید (۸). در ادامه فعالیت آبی پودرهای آب ماست نیز با دستگاه سنجش فعالیت آبی (Hygropalm، Rotronic، آلمان) تعیین شد. دستگاه یک ساعت قبل از خواندن فعالیت آبی نمونه‌ها، جهت کالیبراسیون روشن گردید. بعد از کالیبراسیون، محفظه دستگاه تا محل تعیین شده (دو سوم حجم ظرف) پر، سپس فعالیت آبی نمونه‌ها در دمای محیط ۵/۲۵±۰°C اندازه‌گیری شد.

۲-۲-۳-دانسیته توده و دانسیته توده حاصل از ضربه

دلایل اقتصادی و عملکردی مانند ویژگی‌های بسته‌بندی و شرایط حمل و نقل از عوامل مهم در تعیین دانسیته توده و دانسیته ضربه پودرها محسوب می‌شوند. دانسیته توده با افزودن تدریجی ۲ گرم پودر آب ماست به استوانه مدرج و از نسبت جرم پودر به حجم اشغال شده در استوانه مدرج، بصورت (گرم بر میلی‌لیتر) محاسبه گردید. سپس با استفاده

بالاتر از ۰/۴ حاکی از عدم جریان پذیری به علت چسبندگی بالای پودرها است (۲۲).

(۲)

$$CI = 1 - (1/HR)$$

۲-۲-۵- اندازه گیری شاخص های انحلال پذیری و نم-پذیری

انحلال پذیری و نم-پذیری شاخص های مهم و تعیین کننده در قابلیت استفاده از پودرهای غذایی (به ویژه پودرهای فوری) هنگام بازسازی در آب بوده و از نظر تولید کنندگان و مصرف کنندگان از اهمیت بالای برخوردارند. سنجش انحلال پذیری پودرهای آب ماست با استفاده از روش کانو و همکاران (۲۰۰۵)، با کمی اصلاحات انجام گرفت (۱۲). بدین صورت که، ۱ گرم پودر به دقت به ۱۰۰ml آب مقطر تحت شرایط هم زدن با یک همزن مغناطیسی در ۷۰۰rpm به مدت ۴ min اضافه گردید. محلول حاصل در ۳۰۰۰×g برای ۴ min سانتریفوژ شد. حجم ۲۵ml از محلول فوقانی جدا و به یک پتری دیش که از قبل وزن گردیده منتقل و در آون ۱۰۵°C به مدت ۵ ساعت خشک گردید. وزن ماده جامد خشک شده نسبت به پودر اولیه بر حسب درصد جهت تعیین مقدار انحلال پذیری در آب به کار رفت. برای تعیین نم-پذیری پودرها، ۰/۲ گرم پودر در دمای محیط بر سطح ۱۰۰ml آب مقطر بدون هم زدن ریخته شد. زمان صرف شده برای ته نشین شدن ذرات از سطح آب به طوری که هیچ ذره ای بر سطح نمانده باشد برای محاسبه شاخص نم-پذیری ثبت گردید (۱۲).

۲-۲-۶- میزان جاذب الرطوبه بودن

جذب رطوبت توسط پودرها از مهمترین عوامل موثر بر قابلیت حفظ، نگهداری و پایداری پودرهای غذایی و دارویی در شرایط مختلف بسته بندی و نگهداری است. قابلیت جاذب الرطوبه بودن پودرها به شکل مقدار رطوبت (گرم آب جذب شده توسط ۱۰۰ گرم پودر) طی ۷ روز نگهداری در دمای محیط ۳۰°C و رطوبت نسبی RH=۷۵٪ در یک دسیکاتور با محلول اشباع کلرید سدیم تعیین

از دانسیتومتر ضربه ای، ضربات مداومی به استوانه وارد تا زمانی که تغییرات حجم پودر در استوانه متوقف شود (میانگین ۴۰۰ ضربه)، در نهایت نسبت جرم پودر به حجم حاصل پس از ضربه محاسبه و دانسیته توده حاصل از ضربه به دست آمد (۱۳).

۲-۲-۴- جریان پذیری (زاویه استاتیک ریپوز، شاخص تراکم پذیری^۱ و نسبت هاسنر^۲)

شاخص های جریان پذیری از جمله عوامل موثر بر سهولت و قابلیت استفاده از پودرها در فرمولاسیون ها، جابجایی و بسته بندی به شمار می روند. مقدار ۱۰ گرم پودر آب ماست با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم (سارتریوس، مدل BM150، آلمان) توزین و از درون قیف در ارتفاع ثابت و با قطر مجرای خروجی ۱۲ میلی متر عبور داده تا بر یک سطح افقی صاف ریخته شده و تشکیل یک توده دهد. زاویه ریپوز از طریق زاویه شیب توده محصول نسبت به سطح مبنا محاسبه گردید (۳۷). پیوستگی پودرها با نسبت هاسنر (HR) قابل محاسبه می باشد (معادله ۱). مقادیر رابطه تجربی بین ویژگی های جریان پذیری پودرها و نتایج حاصل از دو آزمون زاویه ریپوز و نسبت هاسنر بر اساس تحقیقات جیناپونگ و همکاران (۲۰۰۸) و به ترتیب از ۳۰-۲۵ و ۱/۱۱-۱ برای جریان پذیری عالی و بیش از ۶۶ و ۱/۶ برای جریان پذیری بسیار بد (عدم جریان پذیری آزاد) بیان شده است (۲۲). در این فرمول (نسبت هاسنر)، TD (دانسیته توده حاصل از ضربه^۳)، BD (دانسیته توده) می باشند.

(۱)

$$HR = \frac{TD}{BD}$$

مقدار شاخص تراکم پذیری را می توان از رابطه ۲ و با استفاده از نسبت هاسنر محاسبه نمود (۲۲). برای این شاخص، مقادیر تجربی بین ۰/۱۵-۰/۰۵ نشان دهنده رفتار جریان پذیری بسیار خوب با نوع پودر گرانولی و درشت و مقادیر

گردید (۱۷). اندازه‌گیری رطوبت نسبی با استفاده از دستگاه تستو مدل ۱۷۵ انجام پذیرفت.

۲-۲-۷-ارزیابی رنگ

مولفه‌های رنگی سیستم LAB شامل مولفه‌های L^* ، a^* ، b^* مربوط به پودر آب ماست با استفاده از دستگاه رنگ سنج هانتر لب در سه تکرار اندازه‌گیری شد (۳۱).

۲-۲-۸-تجزیه و تحلیل تحلیل آماری

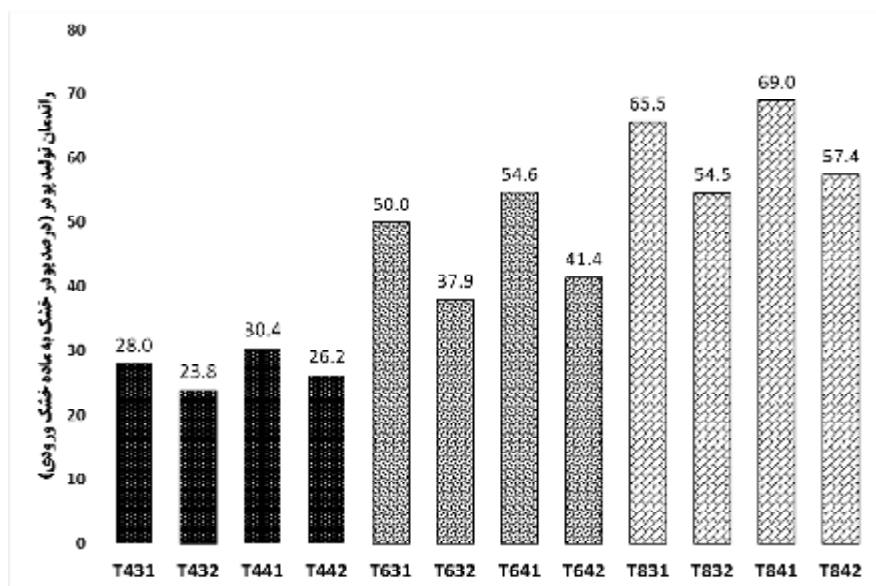
به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها و تاثیر فاکتورهای مختلف از طرح فاکتوریل کامل استفاده شد. همچنین جهت تعیین اختلاف معنی‌داری بین میانگین داده‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده شد. نرم‌افزار آماری به کار رفته در این تحقیق SPSS, ver. 20 بود.

۳- نتایج و بحث

۳-۱-بازده تولید پودر آب ماست

در صنعت تبدیل مواد غذایی و تولید پودر از محلول‌های مختلف، اولین و مهمترین شاخص کاربردی و صنعتی، راندمان تولید پودر از محلولی با درصد ماده خشک معین می‌باشد. در شکل ۱ بازده تولید پودر مربوط به ۱۲ تیمار مشخص شده است. میزان بازده برای ۱۲ تیمار انتخاب شده در محدوده نسبتاً گسترده ایجاد شده برای تیمارهای مختلف بیانگر آن است که هر سه تیمار انتخاب شده می‌تواند در کارایی خشک‌کن پاششی و ایجاد تغییر در راندمان تولید پودر تاثیر گذار باشد و توجیح اقتصادی امر با انتخاب دما، غلظت خوراک ورودی و نرخ ورود خوراک متناسب با خشک‌کن پاششی امکان‌پذیر خواهد بود. در ابتدا با نگاهی به نمودار مربوطه ملاحظه می‌گردد که بالا بردن دما از 140°C به 160°C و همچنین در مرحله دوم از 160°C به 180°C موجب افزایش قابل توجهی در بازده تولید پودر شده است. البته بررسی تاثیر دمای هوای ورودی خشک‌کن

پاششی بر روی مواد اولیه مختلف بیانگر آن است که تاثیر دما از ماده‌ای به ماده دیگر متفاوت بوده و همواره افزایش دما در این مورد منجر به افزایش راندمان تولید پودر نخواهد شد. در مطالعات دیگر افزایش دمای هوای ورودی برای کنسانتره سه نوع میوه متفاوت منجر به افزایش راندمان تولید پودر شده (۱۵، ۳۰ و ۷). همچنین با توجه به داده‌های مربوط به نرخ ورود خوراک ۱۵ و ۲۲ میلی‌لیتر بر دقیقه مشخص می‌گردد که یک دمای ثابت کاربرد نرخ ورود ۱۵ نسبت به ۲۲ منجر به بازده بیشتر شده است. این امر احتمالاً بیانگر آن است که در یک شرایط دمایی و غلظت یکسان در نرخ ورود خوراک پایین‌تر توان معین و ثابت خشک‌کن، برای خشک کردن قطرات محلول کافی بوده و میزان انرژی گرمایی در دسترس برای خشک شدن قطرات محلول وجود داشته است شده و میزان پودر بیشتری از محصول در دسترس قرار می‌گیرد. البته باید توجه داشت که انتخاب نرخ ورود خوراک پایین‌تر منجر به بالا رفتن مدت زمان لازم بیشتر برای خشک کردن میزان ثابتی از محلول خواهد شد. در مطالعه محققین دیگر نیز نشان داده شده است که نرخ ورود خوراک دارای تاثیر بارزی بر راندمان تولید پودر خواهد بود (۲۶). همچنین داده‌های شکل ۱ بیانگر آن است که انتخاب غلظت بالاتر از خوراک ورودی منجر به بالا رفتن راندمان محصول می‌گردد. البته این متغیر به اندازه متغیرهای دمایی و نرخ ورود خوراک تاثیر بارزی نداشته است. انتخاب میزان غلظت بالاتر از سویی منجر به اندازه ذرات بزرگ‌تر در طی فرایند پاشش، تبخیر و تولید پودرهایی با اندازه بزرگتر شده است که در نتیجه راندمان تولید پودر در نتیجه از مقدار معینی خوراک ورودی بیشتر به دست آمده است (۱۸ و ۷). مقایسه داده‌های مختلف ناشی از اعمال تیمارهای مختلف دمایی، نرخ ورود خوراک و غلظت خوراک ورودی بیانگر آن است که دمای هوای خشک‌کننده ورودی به مراتب دارای تاثیر بیشتر نسبت به دو تیمار دیگر می‌باشد این موضوع در مطالعات سایر محققین نیز نشان داده شده است (۵ و ۶).



شکل ۱- بررسی تاثیر تیمارهای مختلف بر بازده تولید پودر

۳

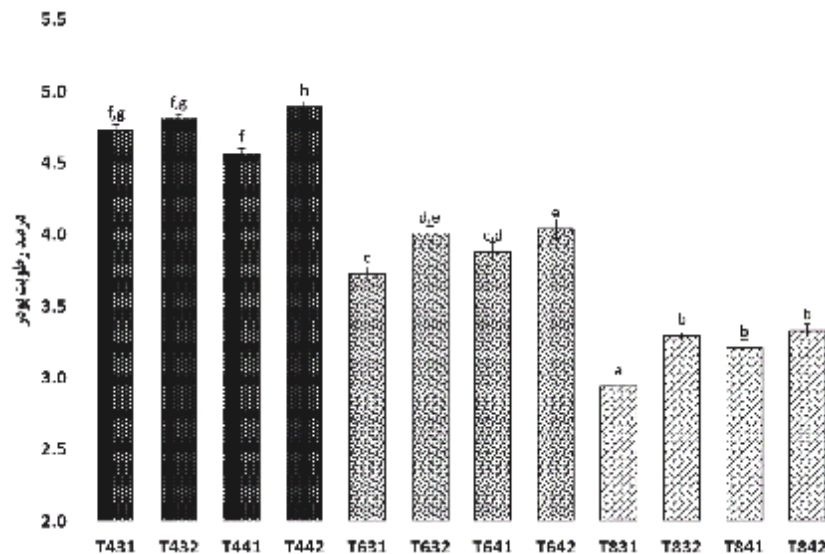
داده‌های پودرهای مختلف آب ماست نیز بیانگر همین مساله بوده ولی نتایج تغییرات غالباً غیر معنی‌دار استدر این تحقیق نیز با وجود اینکه تیمارهای محلول ۴۰ درصد ماده خشک نیازمند انرژی گرمایی کمتری برای خشک شدن بوده است ولی احتمالاً ایجاد پوسته اولیه در حین خشک شدن منجر به باقی ماندن رطوبت بیشتر در درون ذرات پودر اولیه شده است. البته نتایج محاسبات آماری در سطح اطمینان ۹۵ درصد بیانگر آن است که تفاوت ناشی از این امر معنی‌دار نمی‌باشد. برای پودر حاصل از پرمیاتفراپالایش شرایط خشک‌کن پاششی منجر به تغییراتی در محتوای رطوبتی پودر نهایی نشده است (۲۷). این امر بیانگر آن است که میزان تاثیر تیمارهای در نظر گرفته شده برای خشک‌کن پاششی به نوع مواد موجود در محلول اولیه نیز وابسته است. فعالیت آبی در واقع میزان رطوبت در دسترس در ماده غذایی است که با ترکیبات موجود در پودر باند نشده است. آب باند نشده در محصولات مختلف مواد غذایی در واکنش‌های بیوشیمیایی شرکت کرده و معمولاً مطلوب نمی‌باشد. معمولاً میزان فعالیت آبی بالاتر منجر به کاهش زمان ماندگاری پودرهای مواد غذایی خواهد بود (۳۲). میزان فعالیت آبی برای تمامی تیمارها به دلیل درصد

۳-۲- درصد رطوبت و فعالیت آبی

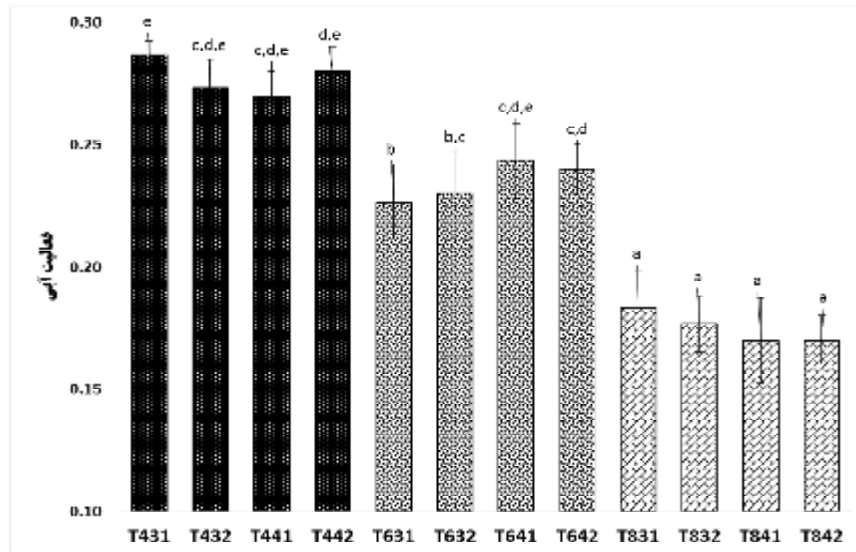
در شکل ۲ میزان رطوبت برای تیمارهای مختلف اعمال شده در خشک‌کن پاششی شامل دمای هوای ورودی، غلظت خوراک ورودی و نرخ ورود خوراک به صورت میانگین حاصل از سه تکرار نشان داده شده است. با افزایش دما از ۱۴۰ به ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد میزان رطوبت پودرها به صورت معنی‌داری کاهش پیدا کرده است. این امر در واقع بیانگر آن است که در شرایط یکسان میزان انرژی گرمایی در دسترس قطرات محلول در زمان خشک شدن برای دماهای بالاتر بیشتر بوده و منجر به جداسازی بیشتر رطوبت شده است. همچنین در تمام تیمارها استفاده از نرخ ورود خوراک پایین‌تر منجر به ایجاد محتوای رطوبتی پایین‌تر شده است. البته تفاوت ایجاد شده برای دماهای ۱۴۰ و ۱۶۰ و ۱۸۰ درجه‌سانتی‌گراد برای نرخ ورود ۱۵ و ۲۲ از روند ثابتی پیروی نکرده و تفاوت‌های ایجاد شده در تمام موارد معنی‌دار نبوده است. در سیستم خشک‌کن پاششی محتوای رطوبتی خوراک ورودی میزان رطوبت پودر تهیه شده را تحت تاثیر قرار خواهد داد. به طوری که برای شرایط ثابت خشک‌کن پاششی میزان ماده خشک ورودی بالاتر (محتوای رطوبتی پایین‌تر) برای خوراک ورودی منجر به شرایط رطوبتی پایین‌تر برای پودر خواهد شد (۱۸).

قطرات محلول پاشش شده درون محفظه اصلی خشک‌کن پاششی (چمبر) منجر به بالا رفتن نرخ انتقال حرارت بالاتر به قطرات محلول آب ماست شده و در یک فاصله و زمان مشخص از لحظه پرتاب قطره تا فرود به انتهای چمبر میزان رطوبت بیشتری از پودر حاصله جدا شده و میزان فعالیت آبی نهایی در دماهی بالاتر کمتر شده است. در این مورد تحقیقات نسبتاً مشابه برای آب میوه‌های مختلف بیانگر همین موضوع بوده است (۱۳، ۲۳ و ۲۰). ولی تیمارهای مربوط به نرخ ورود خوراک و غلظت ورود خوراک در اکثر موارد تاثیر معنی‌داری بر روی فعالیت آبی نداشته‌اند. تنها در تیمارهای مربوط به دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد تیمار مربوط به نرخ ورود خوراک ۱۵ و غلظت ۳۰ درصد نسبت به تیمارهای همان دما میزان فعالیت آبی کمتری داشته و تفاوت ملاحظه شده معنی‌دار بوده است.

رطوبت پایین و مواد تشکیل دهنده پودر در سطح پایینی بوده و در محدوده ۰/۱۷ تا ۰/۲۹ قرار گرفته است. این محدوده برای پودرهای مواد غذایی به لحاظ میکروبیولوژیکی محدوده امنی محسوب می‌گردد (۱۳) و ۱۸). اعمال تیمار مربوط به دمای هوایی ورودی خشک‌کن شامل دماهای ۱۴۰، ۱۶۰ و ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد منجر به ایجاد تفاوت معنی‌دار در میزان فعالیت آبی پودرها شده است. به طوری که افزایش دمای هوای ورودی میزان فعالیت آبی را در دمای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد و در محدوده ۰/۲۷ - ۰/۲۸ به محدوده ۰/۲۴ - ۰/۲۳ در دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد و به محدوده ۰/۱۷ - ۰/۱۸ در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد کاهش داده است و کاهش ملاحظه شده نیز در سطح اطمینان ۰/۹۵ درصد معنی‌دار بوده است. این امر بیانگر آن است که اعمال دمای هوای ورودی بالاتر برای



شکل ۲- تاثیر متغیرهای فرایند خشک کن پاششی بر روی درصد محتوای رطوبتی پودرها



شکل ۳- تاثیر متغیرهای خشک کن پاششی بر روی محتوای فعالیت آبی پودرها

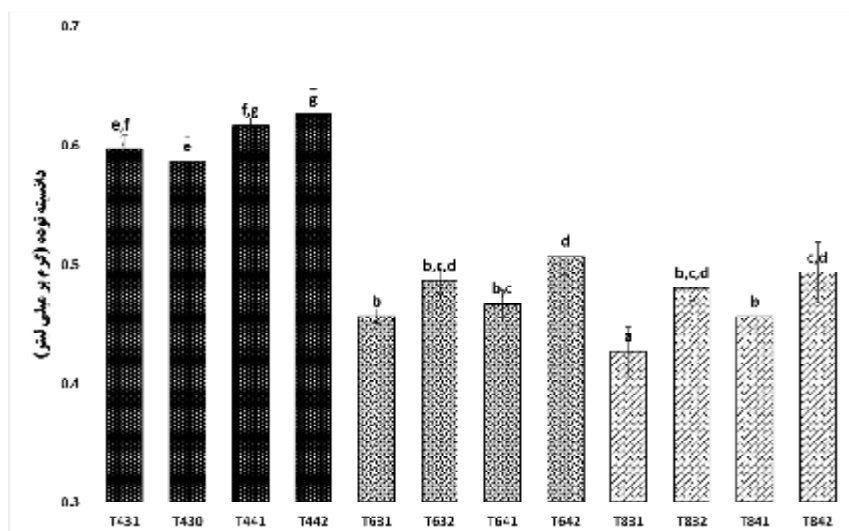
۳-۵ دانسیته توده و دانسیته توده حاصل از ضربه

در مورد پودرها تولید محصولی با میزان دانسیته توده پایین به معنی پودرهایی با ساختار متخلخل تر و دارای ساختاری با چروکیدگی کمتر و ساختار کروی می باشد که مطلوب تکنولوژی تولید پودرهای غذایی است. در شکل ۴ مقادیر میانگین دانسیته توده برای تیمارهای مختلف پودر آب ماست به تصویر کشیده شده است. میزان دانسیته توده برای تیمارهای مختلف در محدوده ۰/۴۳ تا ۰/۶۳ g/ml بدست آمده است. با افزایش دمای هوای ورودی از ۱۴۰ به ۱۶۰ و در ادامه از ۱۶۰ به ۱۸۰ درجه سانتی گراد مقادیر دانسیته توده در سطح معنی داری کاهش یافته است. به نظر می رسد که افزایش دمای هوای ورودی منجر به بالارفتن نرخ خشک شدن قطرات شده و منجر به تولید پودرهایی با خواص متخلخل تر شده و احتمالاً میزان چروکیدگی پودرها نیز کاهش پیدا کرده است و در نتیجه نسبت وزن به حجم پودرها کاهش پیدا کرده است. نتایج بدست آمده از تحقیقات سایر محققین نیز بیانگر آن است که افزایش دمای هوای ورودی و خروجی خشک کن پاششی منجر به افزایش اندازه ذرات پودر خواهد شد. در نتیجه این امر موجب کاهش دانسیته توده و محتوای رطوبتی پودر نهایی خواهد شد (۶). در رابطه با تیمارهای مربوط به نرخ ورود خوراک

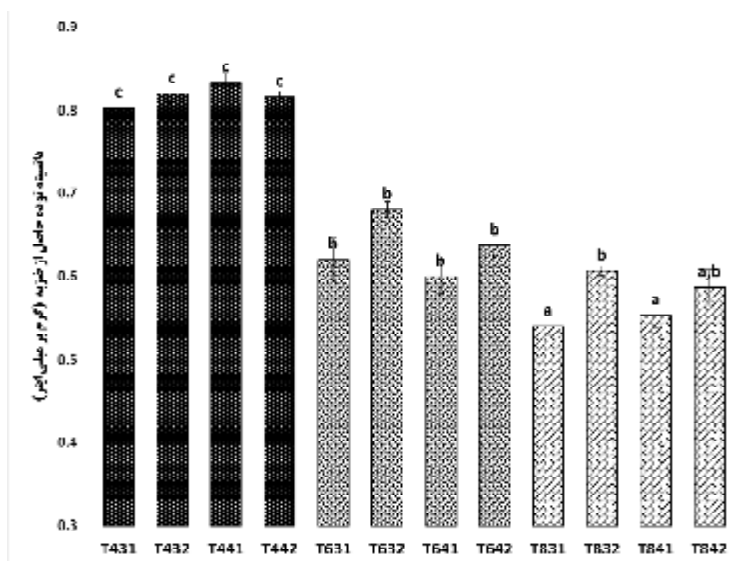
نیز اعمال دو تیمار ۱۵ و ۲۲ میلی لیتر بر دقیقه منجر به بروز تفاوت در تمامی تیمارهای دمایی و غلظتی شده است ولی در دمای ۱۴۰ درجه این تفاوتها معنی دار نبوده است. در اکثر تیمارها افزایش نرخ ورود خوراک منجر به افزایش دانسیته توده شده است. تنها مورد استثنا در این مورد به افزایش نرخ ورود خوراک در دمای ۱۴۰ درجه سانتی گراد بوده که از مقدار ۰/۶۰ به ۰/۵۹ g/ml کاهش یافته که البته کاهش ایجاد شده نیز مقدار کمی بوده و در سطح آماری در نظر گرفته شده نیز معنی دار نبوده است. نتایج بدست آمده از سایر محققین نیز بیانگر آن است که افزایش نرخ ورود خوراک منجر به افزایش دانسیته توده شده است (۱۰). برخی محققین دیگر نیز در مطالعات خود بیان داشته اند که اندازه ذرات پودر تابعی از غلظت خوراک ورودی می باشد (۳۵). ایجاد دو تیمار غلظتی (۳۰ و ۴۰ درصد) برای تولید پودر در دماهای مختلف و نرخ ورود خوراک مختلف منجر به ایجاد تفاوت در دانسیته توده پودر تولیدی شده است. مشاهده دقیق تر شکل ۴ نشان می دهد که در دماهای مختلف و نرخهای ورود خوراک مختلف، تفاوت های ایجاد شده معنی دار نبوده است. این امر به مفهوم آن است که در مورد تکنولوژی تولید پودر آب ماست و در شرایط آزمون بالا بردن غلظت خوراک ورودی از ۳۰

به ایجاد فضای بیشتر بین ذرات پودری می‌گردد و بعد از ضربات در جهت تعیین دانسیته توده بیشتر بوده است در نتیجه در دماهای بالاتر میزان دانسیته توده کمتر به دست آمده است و بعد از ضربات مداوم در جهت تعیین دانسیته توده، تغییرات دانسیته نیز در دماهای بالاتر کمتر بوده است. تغییرات مربوط به تیمار نرخ ورود خوراک و غلظت ورود خوراک در دمای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد منجر به ایجاد تغییرات کوچک شده و در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار نبوده است ولی در دماهای بالاتر (۱۶۰ و ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد) افزایش نرخ ورود خوراک از ۱۵ به ۲۲ میلی‌لیتر بر دقیقه منجر به افزایش دانسیته توده حاصل از ضربه شده است ولی باز هم تغییرات ایجاد شده در اکثر موارد معنی‌دار نبوده است به جز تغییر نرخ ورود خوراک در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و در غلظت ۳۰ درصد خوراک ورودی که افزایش نرخ ورود خوراک منجر به تغییر معنی‌دار در میزان دانسیته توده حاصل از ضربه شده است.

درصد به ۴۰ درصد منجر به بهبود دانسیته توده پودرها در سطح معنی‌دار نخواهد شد. شکل ۵ میانگین داده‌های حاصل از اندازه‌گیری دانسیته توده حاصل از ضربه مربوط به پودرهای تهیه شده را نشان می‌دهد. محدوده میانگین داده‌های مربوط به دانسیته توده حاصل از ضربه از ۰/۵۴ تا ۰/۸۳ g/ml متغیر بوده است. این امر در حالی است که میزان دانسیته توده برای تیمارهای مختلف در محدوده ۰/۴۳ تا ۰/۶۳ g/ml به دست آمده است. همان‌طور که در شکل مربوطه مشاهده می‌گردد مقادیر مربوط به دانسیته توده حاصل از ضربه بیشتر و به طور معنی‌دار متاثر از تیمار مربوط به دمای هوای ورودی بوده است و تغییرات ایجاد شده در دانسیته توده حاصل از ضربه مربوط به تیمارهای غلظت خوراک ورودی و نرخ ورود خوراک کمتر بوده است. استفاده از دماهای بالاتر منجر به تولید ذرات پودری با چروکیدگی کمتر و توخالی و پوک بیشتر شده و میزان حجم اشغال شده به صورت اولیه نیز بیشتر خواهد بود و همچنین در ادامه و طی همین امر تولید این نوع ذرات منجر



شکل ۴ - تاثیر متغیرهای خشک کن پاششی بر میزان دانسیته توده پودرهای آب ماست



شکل ۵- تاثیر متغیرهای خشک کن پاششی بر میزان دانسیته توده حاصل از ضربه پودرهای آب ماست

عوامل موثر بر افزایش میزان زاویه ریپوز میزان رطوبت پودرهای تولیدی می باشد که با افزایش دمای هوای ورودی میزان رطوبت به صورت معنی داری کاهش نشان داده است و منجر به بهبود جریان پذیری پودرهای تولیدی در دمای بالا شده اند. نتایج تحقیقات سایر محققین نیز بیانگر آن است که تیمارهای دمای هوای ورودی و نسبت حامل بر ویژگی جریان پذیری پودرهای حاصل از تفاله آسیرولا منجر به تحت تاثیر قرار گرفتن رطوبت پودرهای تولیدی شده و کاهش میزان رطوبت در نتیجه ی افزایش دمای هوای ورودی را عاملی برای بهبود جریان پذیری بیان نموده اند (۲۶). این محققین بیان داشته اند که رطوبت بیشتر پودرهای تولیدی موجب تشکیل پل های مایع بین ذرات شده و منجر به ایجاد حالت کلوخه ای شدن می گردد که میزان جریان پذیری پودرها را کاهش می دهد (۲۲). با توجه به شکل ۷ مقادیر پیوستگی و تراکم پذیری پودرها به ترتیب در محدوده ۱/۱۹ تا ۱/۳۹ و ۰/۱۶ تا ۰/۲۸ قرار دارند. بر اساس تحقیقات فیتزپاتریک و همکاران (۲۰۰۸) که ارتباط تجربی ویژگی های جریان پذیری را با معیارهای فوق را بررسی نمودند (۱۶)، مقادیر مربوط به پیوستگی و تراکم پذیری

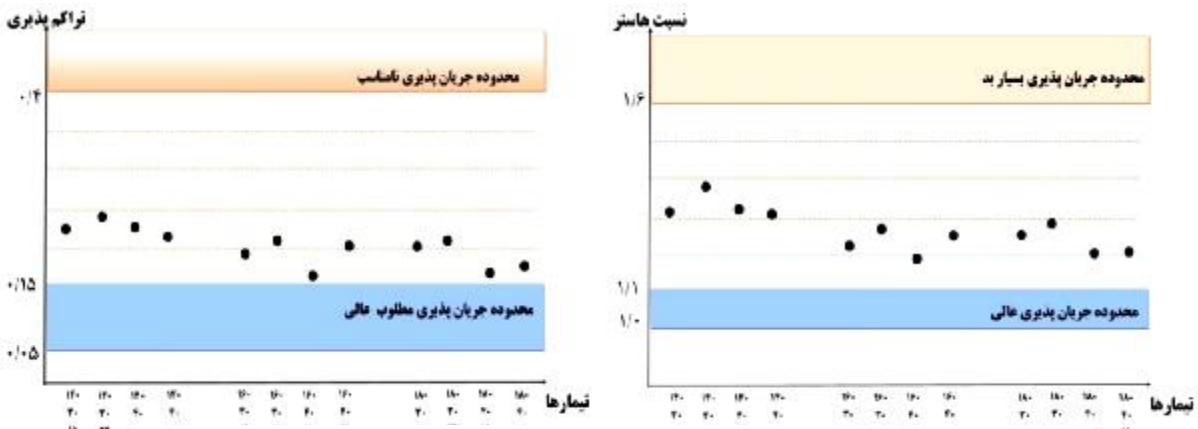
۳-۴- جریان پذیری (زاویه استاتیک ریپوز، شاخص

تراکم پذیری و نسبت هاسنر)

شاخص های جریان پذیری از جمله عوامل موثر بر سهولت و قابلیت استفاده از پودرها در فرمولاسیون ها، جابه جایی و بسته بندی به شمار می رود. در شکل ۶ و ۷ به ترتیب نتایج اندازه گیری مربوط به زاویه ریپوز، تراکم پذیری و پیوستگی برای تیمارهای مختلف نشان داده شده است. مقادیر مربوط به زاویه ریپوز در محدوده ۲۹/۶۹ تا ۳۷/۱۴ درجه متغیر بوده است. مقادیر ذکر شده به ترتیب مربوط به تیمار دمایی ۱۴۰ درجه سانتی گراد، غلظت ۳۰ درصد و با نرخ ورود ۱۵ میلی لیتر بر دقیقه برای خوراک ورودی و همچنین بیشترین مقدار برای تیمار دمایی ۱۸۰ درجه سانتی گراد، غلظت ۳۰ درصد و با نرخ ورود ۱۵ میلی لیتر بر دقیقه برای خوراک ورودی بوده است. البته مقادیر ذکر شده با نمونه های بالاتر و پایین تر از خود در تیمارهای متفاوت غلظت خوراک و نرخ ورود خوراک تفاوت کمی داشته و منجر به ایجاد تفاوت معنی دار در دمای یکسان نشده است؛ ولی تفاوت های ایجاد شده با منشاء دمای متفاوت منجر به ایجاد تفاوت معنی دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد شده اند. از

ورود خوراک در خشک‌کن پاششی منجر به ایجاد تمایل داده‌ها به مقدار کم به سمت ویژگی‌های جریان‌پذیری بد شده است و همچنین افزایش غلظت خوراک ورودی تا حد کمی منجر به بروز ویژگی‌های جریان‌پذیری مطلوب‌تر شده‌اند. نتایج حاصله برای شاخص‌های تراکم‌پذیری و پیوستگی با نتایج حاصل از داده‌های زاویه استاتیک ریپوز تا حد زیادی مطابقت دارد.

پودرهای تولید شده آب ماست مطلوب می‌باشند. البته هیچ یک از داده‌ها چه به لحاظ پیوستگی و چه به لحاظ تراکم‌پذیری در محدوده عالی نمی‌باشند. روند مشاهده شده برای داده‌ها بیانگر آن است که افزایش دمای هوای ورودی منجر به بهبود شاخص‌های مذکور شده است و تأثیر غلظت خوراک ورودی و نرخ ورود خوراک نیز بر روی دو شاخصه فوق مشاهده می‌گردد ولی به اندازه تیمار دمایی تأثیرگذار نبوده است. در مورد هر دو شاخص افزایش نرخ



شکل ۶- مقادیر نسبت هاستر و تراکم‌پذیری برای تیمارهای مختلف پودر آب ماست

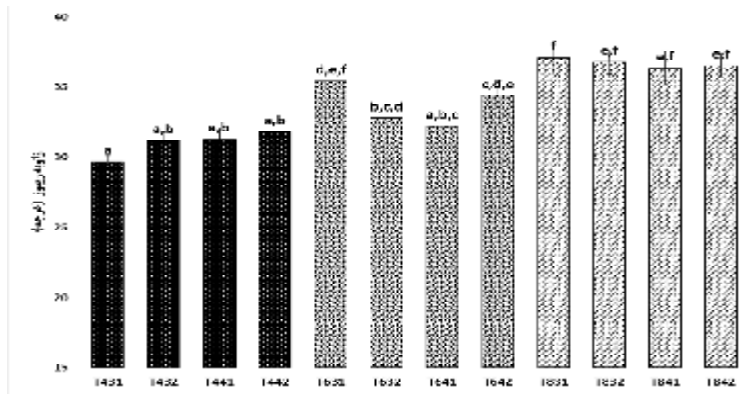
۳-۵- انحلال پذیری و نم‌پذیری

در داده‌های حاصل نگردیده است. بررسی‌های دیگر توسط سایر محققین بیانگر آن است که افزایش دمای هوای ورودی در خشک‌کن پاششی منجر به افزایش اندازه ذرات پودر، بالا رفتن زمان نم‌پذیری و افزایش ذرات نامحلول خواهد شد. همچنین این امر موجب کاهش دانسیته توده و محتوای رطوبتی پودر نهایی خواهد شد (۵، ۱۸). از سوی دیگر افزایش دمای هوای ورودی منجر به ایجاد لایه خشک در اطراف ذرات مرطوب مربوط به قطرات شده و این امر به مفهوم ایجاد لایه سخت در محیط اطراف قطرات خواهد شد (۳۴). این اتفاق منجر به ایجاد لایه فیلمی در قسمت محیطی می‌شود که تا حدی مانع از نفوذ رطوبت از قسمت مرکزی به بیرون در حین خشک‌شدن خواهد شد. در این حالت در دمای بالا احتمال ایجاد بخارات داخلی و ایجاد حالت انفجاری در قطرات در حال خشک شدن خواهد بود

حلالیت پودر یک ویژگی عملکردی مهم در رابطه با پودرهای مواد غذایی می‌باشد که بر رفتار پودرها، زمانی که در آب بازسازی می‌شوند اثر می‌گذارد. از نقطه نظر تجاری و مصرف نیز، این ویژگی از نظر تولیدکنندگان و مصرف کنندگان از اهمیت خاصی برخوردار است. این امر در مورد پودرهای فوری از شاخصه‌های بسیار مهم به شمار می‌رود که درجه اهمیت موضوع بیشتر می‌گردد. در جدول ۲ به ترتیب مقادیر میانگین مربوط به داده‌های نم‌پذیری و انحلال‌پذیری نشان داده شده است. محدوده مقادیر نم‌پذیری برای تیمارهای مختلف از ۱۸/۳ تا ۲۷/۰ ثانیه قرار دارد. در تمامی تیمارها افزایش دمای هوای ورودی در خشک‌کن پاششی منجر به افزایش زمان نم‌پذیری شده است ولی تغییرات ناشی از غلظت خوراک ورودی و نرخ ورود خوراک در دمای یکسان منجر به ایجاد تفاوت‌های معنی‌دار

زمان خیلی کوتاهی تبخیر شده و منجر به ایجاد پوسته نسبتاً سختی شده و به دلیل اینکه پودر گرمای درون را در قسمت‌های سرد خشک کن از دست می‌دهد در نتیجه بخار درونی دوباره کندانس شده و در درون ذرات پودر باقی می‌ماند (۲۷). البته زمانی که میزان دمای هوای ورودی نیز پایین باشد پوسته ذرات به صورت مرطوب مانده و در طی گذر زمان ذرات حالت صاف و کروی خود را از دست داده و به صورت ذراتی با حالت چروکیده و تجمع یافته تبدیل خواهند شد که همین امر اثر منفی بر روی نم‌پذیری و انحلال پذیری خواهد داشت (۲۷). همچنین نشان داده شده است که استفاده از دمای هوای ورودی پایین منجر به ایجاد پودرهایی با اندازه ذرات کوچک‌تر شده و به دلیل بالا رفتن میزان کشش سطحی مابین ذرات مقادیر نم‌پذیری پودرهای افزایش نشان خواهد داد (۲۲). در جدول ۲ اثر تیمارهای مورد بررسی بر روی انحلال پذیری پودرهای آب ماست به وضوح مشاهده می‌گردد. محدوده داده‌های انحلال‌پذیری مابین ۹۸/۷ تا ۹۳/۷ قرار گرفته است. تغییرات ایجاد شده مربوط به تیمارهای غلظت خوراک و ورودی و نرخ ورود خوراک در دمای ثابت منجر به تغییرات کم ولی غیرمعنی‌دار در میزان انحلال‌پذیری پودرها شده است ولی تغییرات ناشی از اعمال دمای متفاوت منجر به تغییرات معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد گردیده است. تاثیر المان‌های تکنولوژی خشک کردن پاششی بر روی انحلال‌پذیری پودر به جنس ماده خشک شونده بستگی زیادی دارد به طوری که برخی محققین نشان داده‌اند که در مورد محصولات لبنی استفاده از دمای بالاتر موجب دناتوراسیون پودرها گردیده و حلالیت پودرها کاهش می‌یابد (۲۴).

(۹). نتایج بررسی‌ها بیانگر آن است که افزایش دمای هوای ورودی در جهت خشک نمودن محلول با کاهش رطوبت نهایی پودر در در ارتباط است که منجر به افزایش زمان نم‌پذیری پودر می‌گردد (۹). افزایش نرخ ورود خوراک در ۳ تیمار منجر به افزایش کم در زمان نم‌پذیری پودرها شده است البته این تغییرات معنی‌دار نمی‌باشند. برخی محققین نیز در تحقیقات خود همین امر را مشاهده نموده‌اند. این امر احتمالاً نشأت گرفته از این امر خواهد بود که افزایش نرخ ورود خوراک ذرات منجر به تولید ذرات پودری با مقدار محتوای رطوبتی بیشتری شده و در هنگام افزودن آب سریع‌تر حل می‌گردند. افزایش نرخ ورود خوراک همچنین منجر به کاهش ذرات نامحلول می‌شود. این امر به دلیل بالا رفتن محتوای رطوبتی ذرات و همچنین پوسته نازک روی ذرات است (۳۶). افزایش نرخ ورود خوراک منجر به افزایش باقیمانده رطوبت در پودر نهایی می‌گردد. در ادامه همین امر نشان داده شده است که افزایش همزمان دمای هوای ورودی و کاهش نرخ خوراک ورودی منجر به افزایش ذرات حل نشده می‌گردد (۳۶). در دماهای بالاتر مربوط به هوای ورودی خشک کن لایه سخت بر روی ذرات پودری تشکیل شده و هنگام حل شدن بسته به شدت اثر مانع از ورود رطوبت به قسمت درونی ذرات پودر خواهد شد. در حالت کلی‌تر دمای هوای ورودی دارای تاثیراتی بر روی موفولوژی ذرات پودر و قسمت‌های حل‌شونده ذرات پودر خواهد بود که در مورد پودر آب پنیر نیز این امر نشان داده شده است (۳۶). محققین دیگر نیز بیان کرده‌اند که با استفاده از دمای هوای ورودی و خروجی خشک کن پاششی می‌توان موفولوژی و اندازه ذرات پودری و در نتیجه میزان نم‌پذیری ذرات پودری را کنترل نمود (۳۶). زمانی که دمای هوای ورودی به اندازه کافی بالا باشد رطوبت سطحی در



شکل ۷- مقادیر زاویه ریپوز برای پوره های آب ماست

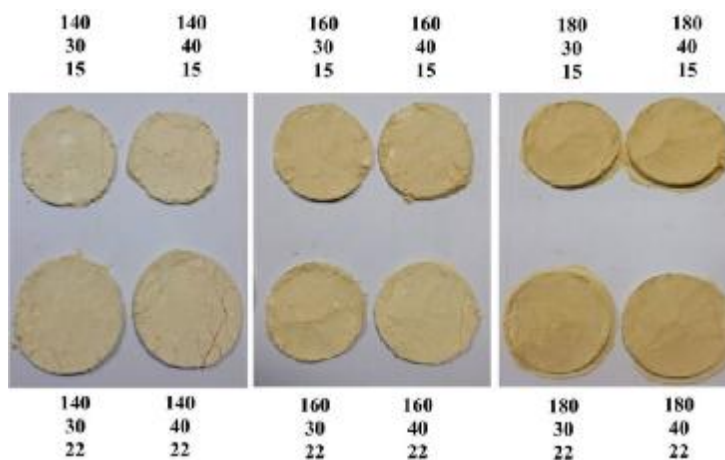
۳-۶- رنگ

معنی دار بوده است. با افزایش دمای هوای ورودی مقادیر مربوط به سفیدی، قرمزی و زردی نمونه‌ها به ترتیب کاهش، افزایش، افزایشی بوده است. این نوع تغییرات به معنی کاهش مطلوبیت رنگی پودرهای حاصله در اثر افزایش دما بوده است. به طوری که در تمامی تیمارهای مربوط به دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گرادی پودرهایی با میزان سفیدی کمتر و قرمزی بیشتر ایجاد شده است که مطلوب نمی‌باشد. تصاویر مربوط به هر ۱۲ تیمار پودری در شکل ۸ نشان داده شده است.

در جدول ۲ داده‌های حاصل از ارزیابی رنگ نمونه‌های پودر بدست آمده با استفاده از تیمارهای دمای هوای ورودی، غلظت خوراک ورودی و نرخ ورود خوراک و بر اساس سیستم رنگی L*, a* و b* به ترتیب بیانگر سفیدی، قرمزی و زردی نشان داده شده است. تغییرات متاثر از تیمارهای غلظت خوراک ورودی و نرخ ورود خوراک در دمای ثابت مربوط به هر سه شاخصه L*, a* و b* در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی دار نبوده است. اما تغییرات متاثر از افزایش دمای هوای ورودی برای هر سه شاخصه رنگ

جدول ۲- مقادیر ویژگی های مختلف پودر، شامل انحلال پذیری، نم پذیروری، نم پذیروری رنگ (Lab) برای نمونه های پودر آب ماست

تیمارها	انحلال پذیری	نم پذیری	L*	a*	b*
T431	98.7 ± 0.6 ^e	19.0 ± 1.0 ^a	39.0 ± 1.0 ^a	1.0 ± 0.0 ^a	13.0 ± 1.0 ^a
T432	98.3 ± 0.5 ^{d,e}	18.3 ± 0.6 ^a	41.0 ± 1.0 ^{a,b}	1.0 ± 0.0 ^a	14.7 ± 0.6 ^{a,b}
T441	97.0 ± 1.0 ^{d,e}	19.0 ± 1.0 ^a	40.0 ± 1.0 ^a	0.4 ± 0.6 ^a	13.3 ± 0.6 ^a
T442	97.0 ± 1.0 ^{c,d,e}	20.0 ± 0.0 ^{a,b}	41.0 ± 1.0 ^{a,b,c}	1.3 ± 0.6 ^{a,b}	13.3 ± 0.6 ^a
T631	97.0 ± 1.0 ^{d,e}	20.3 ± 0.4 ^{b,a}	41.0 ± 1.0 ^a	1.0 ± 0.0 ^a	18.3 ± 0.6 ^d
T632	96.0 ± 1.0 ^{c,b,d,e}	22.7 ± 0.6 ^{a,b,c}	41.0 ± 1.0 ^a	0.0 ± 1.0 ^a	17.3 ± 1.0 ^{c,d}
T641	96.7 ± 0.6 ^{b,a}	21.7 ± 0.6 ^{b,c}	41.0 ± 1.0 ^a	0.4 ± 0.6 ^a	17.7 ± 0.5 ^d
T642	95.0 ± 1.0 ^{a,b,c}	23.0 ± 1.0 ^{b,c,d}	41.0 ± 1.0 ^a	0.0 ± 1.0 ^a	16.4 ± 0.5 ^d
T831	94.7 ± 0.6 ^{a,b,c}	24.0 ± 1.0 ^{d,e,f}	55.0 ± 1.0 ^{e,f}	3.7 ± 0.6 ^{b,c}	22.7 ± 0.6 ^e
T832	93.7 ± 1.0 ^a	24.3 ± 0.6 ^{e,f}	56.0 ± 1.0 ^e	4.0 ± 1.0 ^c	22.3 ± 0.6 ^e
T841	94.3 ± 0.5 ^{a,b}	25.7 ± 0.6 ^f	57.0 ± 1.0 ^{e,d}	4.0 ± 0.0 ^c	23.3 ± 0.6 ^e
T842	94.0 ± 1.0 ^a	25.0 ± 1.0 ^{e,f}	55.0 ± 1.0 ^e	4.7 ± 1.0 ^c	22.0 ± 1.0 ^e



شکل ۸- تصاویر مربوط به ۱۲ تیمار پودر آب ماست

۴-نتیجه گیری

آب ماست یکی از محصولات فرعی صنایع لبنی می باشد که سالانه مقادیر بالایی از این محصول به صورت فاضلابی دفع می گردد. این محصول فرعی به دلیل شرایط میکروبی و شیمیایی مربوطه دارای عمر ماندگاری کوتاه بوده و مستعد فساد می باشد. نتایج تحقیق فوق بیانگر آن است که این محصول فرعی می تواند توسط خشک کن پاششی به صورت پودری و حالت پایدارتر تبدیل شده و در صنایع لبنی و سایر صنایع غذایی دیگر دوباره به عنوان ماده اولیه مورد استفاده قرار گیرد و از هدر رفت مقادیر بالایی از مواد مغذی جلوگیری به عمل آید.

۵-منابع

1. سرابندی، خ و پیغمبردوست، س. ه. ۱۳۹۴. تاثیر برخی پارامترهای تولید و زمان نگهداری بر ویژگی های جریان پذیری پودر عصاره مالت خشک شده به روش پاششی. *مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران*. شماره ۱، ۶۰ - ۵۱.
2. Adhikari, B., Howes, T., Bhandari, B.R. and Truong, V, 2003. In situ characterization of stickiness of sugar-rich foods using a linear actuator driven stickiness testing device. *Journal of Food Engineering*, 8:11-22.
3. Adhikari, B., Howes, T., Bhandari, B.R., and Truong, V. 2004. Effect of addition of maltodextrin on drying kinetics and stickiness of sugar and acid-rich foods during convective drying: experiments and modelling. *Journal of Food Engineering*, 62: 53-68.
4. Alsaed, A.K.R., Ahmad, H., Aldoomy, S.A. El-Qader, M. 2013. Characterization, Concentration and Utilization of Sweet and Acid Whey. *Pakistan Journal of Nutrition*, 12: 172-177
5. Anandharamkrishnan, C., Rielly, C.D. & Stapley, A.G.F. 2007. Effects of Process Variables on the Denaturation of Whey Proteins during Spray Drying, *Drying Technology. An International Journal*, 25: 799-807.
6. Anandharamkrishnan, C, Rielly, C.D., Stapley, A.G.F. 2008. Loss of solubility of α -lactalbumin and β -lactoglobulin during the spray drying of whey proteins. *LWT-Food Science and Technology*, 41:270-277.
7. Ameri, M., and Maa, Y.F. 2006. Spray drying of biopharmaceuticals: stability and process considerations. *Drying Technology*, 24: 763-768.
8. AOAC. (1995). Official methods of analysis of AOAC International, (16th. Ed, vol 3).
9. Bhandari, B.R., Patel, K.C., and Chen, X.D. 2008. Spray drying of food materials-process and product characteristics. *Drying technologies in food processing*, 4: 113-157.
10. Brennan, J.G. 2006. Evaporation and Dehydration. In J.G. Brennan (Ed.), *Food Processing Handbook* (pp. 85, 96-96, 105-110). Wiley-VCH Verlag

20. Hernandez, I., Barron, L.J.R., Virto, M., Perez-Elortondo, F.J., Flanagan, C., Rozas, U., Najera, A.I., Albisu, M., Vicente, M. S. and de Renobales, M. 2009. Lipolysis, proteolysis and sensory properties of ewe's raw milk cheese (Idiazabal) made with lipase addition. *Food Chemistry*, 116: 158–166.
21. Jafari, S.M., Assadpoor, E., He, Y., and Bhandari, B. 2008. Encapsulation efficiency of food flavours and oils during spray drying. *Drying Technology*, 26: 816-835.
22. Jinapong, N., Suphantharika, M., and Jamnong, P. 2008. Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. *Journal of Food Engineering*, 84: 194-205.
23. Kha, T.C., Nguyen, M.H. and Roach, P.D. 2010. Effects of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of the Gac (*Momordica cochinchinensis*) fruit aril powder. *Journal of Food Engineering*, 98: 385–392.
24. Kim, E.H.J., Chen, X.D. and Pearce, D. 2003. On the mechanisms of surface formation and the surface compositions of industrial milk powders. *Drying Technology*, 21(2), 265-278.
25. Masters K, 1997. Spray dryers. In CGJ Baker (Ed.), *Industrial drying of foods* (pp. 90-114). New York: Blackie Academic & Professional
26. Moreira, G.É.G., Costa, M.G.M., de Souza, A.C.R., de Brito, E.S., de Medeiros, M.D.F.D., and de Azeredo, H.M. 2009. Physical properties of spray dried acerola pomace extract as affected by temperature and drying aids. *LWT-Food Science and Technology*, 42: 641-645.
27. Nijdam, J.J. and Langrish, T.A.G. 2006. The effect of surface composition on the functional properties of milk powders. *Journal of Food Engineering*, 77: 919-925
28. Nishanthi, M., Chandrapala, J., Vasiljevic, T. 2017. Compositional and structural properties of whey proteins of sweet, acid and salty whey concentrates and their respective spray GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany
11. Callahan J.C, Cleary G.W, Elefant, M, Kaplan, G. Kensler, T. and Nash, R.A. 1982. Equilibrium moisture content of pharmaceutical excipients. *Drug Development and Industrial Pharmacy*, 8: 355-369
12. Cano-Chauca, M., Stringheta, P.C., Ramos, A.M., and Cal-Vidal, J. 2005. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 6: 420-428.
13. Chegini, G.R. and Ghobadian B, 2007. Spray dryer parameters for fruit juice drying. *World Journal of Agricultural Sciences*, 3:230–236
14. Dec, B. and Chojnowski, W. 2006. Characteristic of acid whey powder partially demineralized by nanofiltration. *Polish journal of food and nutrition science*. 56: 87-90.
15. Fazaeli, M., Emam-Djomeh, Z., Ashtari, A.K. and Omid, M. 2012. Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. *Food and bioprocess processing*, 90: 667-675.
16. Fitzpatrick, J.J., Barry, K., Cerqueira, P.S.M., Iqbal, T., O'Neill, J., and Roos, Y.H. 2007. Effect of composition and storage conditions on the flowability of dairy powders. *International Dairy Journal*, 17: 383–392.
17. Frascareli, E.C., Silva, V.M., Tonon, R.V., and Hubinger, M.D. 2012. Effect of process conditions on the microencapsulation of coffee oil by spray drying. *Food and bioproducts processing*, 90: 413-424.
18. Goula, A.M., Adamopoulos, K.G. 2004. Spray drying of tomato pulp: effect of feed concentration. *Journal of Drying Technology*, 22:2309–2330.
19. Goula, A.M. and Adamopoulos, K.G. 2005. Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: The effect on powder properties. *Journal of Food Engineering*. 66, 35–42.

34. Shrestha, A.K., Howes, T., Adhikari, B.P. and Bhandari, B.R. 2007. Water sorption and glass transition properties of spray dried lactose hydrolysed skim milk powder. *LWT – Food Science and Technology*, 40:1593-1600.
35. Souza, C.R.F. and W.P. Oliveira, 2006. Powder Properties and System Behavior during Spray Drying of Bauhinia forficata Link Extract. *Journal of Drying Technology*, 24: 735-749.
36. Thybo, P.L. Hovgaard, J.S. Lindeløv, A. Brask and S.K. Andersen, 2008. Scaling up the spray drying process from pilot to production scale using an atomized droplet size criterion. *Pharmaceutical Research*, 25(7): 1610-1620.
37. Tonon, R.V., Brabet, C. and Hubinger, M.D. 2008. Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. *Journal of Food Engineering*, 88: 411-418.
38. Walton D.E. 2000. The morphology of spray-dried particles. A qualitative view. *Drying Technology*, 18:1943-1986.
- dried powders. *International Dairy Journal*
29. Oakley, D.E. 2004. Spray Dryer Modeling in Theory and Practice. *Drying Technology*, 22(6): 1371-1402
30. Papadakis, S.E., Gardeli, C., Tzia, C. 2006. Spray drying of raisin juice concentrate. *Drying Technology*, 24: 173-180.
31. Pérez-Pacheco, E., Moo-Huchin, V.M., Estrada-León, R.J., Ortiz-Fernández, A., May-Hernández, L.H., Ríos-Soberanis, C.R. and Betancur-Ancona, D. 2014. Isolation and characterization of starch obtained from *Brosimum alicastrum* Swartz Seeds, *Carbohydrate Polymers*, 101. 920-927.
32. Quek, S.Y., Chok, N.K., and Swedlund, P. 2007. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 46: 386-392.
33. Salam, M., EL-SHibiny. S., Safinaz, N. and Mahfouz, M. 1985. Chemical composition and Nutritive value of spray dried permeate powder. *Journal of the society of dairy technology*. Vol. 38. No. 2. 53- 55

(Original Research Paper)

Influence of Spray Drying Process Conditions on the Physical, Functional Properties and Production Yield of Acid Whey Powders

Mehran Alami^{1*}, Majid Shir Mohammadi², yahya Maghsoudloo³, Morteza Khomeyri¹

1-Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Gorgan, Iran.

2- Ph.D Student of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Gorgan, Iran

3-Professor, Department of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Gorgan, Iran.

Received: 11/05/2019

Accepted:05/01/2020

Abstract

The aim of this work was to evaluate the influence of various parameters such as inlet air temperature, feed concentrate and feed rate on physical and functional properties and production yield of Acid whey powders. Spray dryer system was in pilot scale. Process variables was inlet air temperature (140, 160 and 180 °C), Feed concentrate (30 and 40 %) and feed rate (15 and 22 ml/min). During spray drying some process variable such as atomizer round (18000 rpm), feed temperature (25±1 °C) and nozzle air pressure (4.0 ± 0.1 bar) were fixed. The results showed that powder production yield was influenced by variables and Strength of impact from highest to lowest was respectively for inlet air temperature, feed rate and feed concentrate. Changes in physical and functional properties of powders in relative to the air temperature treatments were high and significant but in relative to the feed concentrate and feed rate was low and often insignificant. Conclusion of results for measured parameters of powders showed that the best variables are, 160 °C for inlet air temperature, 40 % for feed concentrate and 15 ml/min for feed rate.

Key words: Byproduct, Acid whey Powder, Spray Drying, Product Recycle, Concentrated Yoghurt

*Corresponding Author: mehranalami@gmail.com