

بررسی پارامترهای مؤثر افشانه فراصوت بر خواص فیزیکی پودر گوجه‌فرنگی

محمد رضا ارجمندی^۱ - محمد ابونجمی^{۲*} - غلامرضا چگینی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۴/۲۷

چکیده

با توجه به اهمیت نگهداری، ماندگاری و کاهش هزینه‌های حمل و نقل محصولات غذایی، در این تحقیق اثر مؤثر برخی پارامترهای خشک‌کن پاششی دارای افشانه فراصوت، بررسی شد. آزمایش‌ها به صورت طرح کاملاً تصادفی انجام گرفت و در آن اثر دمای صفحات خشک‌کن پاششی در سه سطح ۱۳۰، ۱۴۰، ۱۵۰ درجه سلسیوس، دبی خروجی افشانه فراصوت در سه سطح ۱۳، ۱۴ و ۱۵ میلی‌متر بر دقیقه و همچنین اثر منبع فراصوت در سه سطح ۲۵، ۳۷/۵ و ۵۰ وات بر درصد رطوبت و اندازه ذرات بررسی شد. برای تعیین میزان رطوبت نمونه‌ها در آن با دمای ۷۰ درجه سلسیوس خشک شدند. برای تعیین اندازه ذرات عکس‌های دوبعدی از نمونه‌ها توسط میکروسکوپ نوری تهیه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد اثر متغیرهای مستقل بر روی پارامترهای مورد بررسی در سطح یک درصد معنی‌دار، ولی اثر دمای صفحات بر روی اندازه ذرات غیر معنی‌دار می‌باشد. کمترین درصد رطوبت در نمونه‌های با توان ۲۵ وات و دبی خروجی ۱۳ میلی‌متر بر دقیقه و دمای ۱۵۰ درجه سلسیوس در سطح ۵ درصد بود. بزرگ‌ترین قطر پودر تولید شده ۲۰/۸۵ میکرومتر در نمونه‌هایی با دبی ۱۷ میلی‌متر بر دقیقه و توان ۵۰ وات در سطح ۵ درصد بود. به‌طور کلی با توجه به نتایج این پژوهش، تولید پودر گوجه‌فرنگی در دمای ۱۵۰ درجه سلسیوس با دبی ۱۵ میلی‌لیتر بر دقیقه با توان ۲۵ وات مناسب‌ترین سطح برای رسیدن به پودرهایی با کیفیت بالاتر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: خشک‌کن پاششی، فراصوت، قطر پودر، گوجه‌فرنگی، محتوای رطوبتی

مقدمه

جلوگیری از اتلاف مازاد محصول و افزایش طول عمر آن، خشک‌کردن مواد غذایی می‌باشد. به‌وسیله خشک‌نمودن، علاوه بر اینکه زمان ماندگاری محصول طولانی می‌شود، محصول تولیدی فضای کمتری اشغال نموده و به‌تبع آن هزینه‌های حمل و نقل و انبارداری آن به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد (Bhandari and Howes, 1999). خشک‌کردن پاششی مناسب‌ترین روش برای رطوبت‌گیری از محصولات کشاورزی غذایی است که در ابتدا در فاز مایع می‌باشند. در این روش، مایع توسط مکانیزمی به ذرات و قطرات ریز تبدیل شده و همزمان با هوای داغی که وارد محفظه خشک‌کن می‌شود برخورد می‌نماید. رطوبت ذرات و قطرات سریعاً در محفظه پراکنده و تبخیر شده و محصول خشک به‌صورت پودر، دانه یا کلوخه به‌دست می‌آید. افشاندن محصول درون محفظه خشک‌کن مهمترین بخش خشک‌کردن پاششی می‌باشد. در واقع مهمترین عامل دستیابی به یک تولید اقتصادی و محصولی با کیفیت بالا، انتخاب اتمایزر مناسب می‌باشد (Masters, 1991).

محتوای رطوبت نقش حیاتی در تمام جنبه‌های حمل و نقل کلی هر نوع پودری ایفا می‌کند. جایی که با افزایش چسبندگی در ارتباط

گوجه‌فرنگی با نام علمی (*Solanumlycopersicum*) میوه‌ای سرخ‌رنگ و آبدار است. میوه گوجه‌فرنگی دوام و ماندگاری اندکی در شرایط محیطی دارد و از طرفی دیگر، نگهداری آن به‌وسیله آب‌گیری به دلیل تغییر ساختار و شکل گوجه‌فرنگی روش توصیه شده‌ای برای افزایش قابلیت انبارمندی این میوه نیست. رطوبت باقی‌مانده در پودرهای فرآوری شده خصوصیات دیگر پودر مثل چگالی حجمی و قابلیت حل شدن پودر را تحت تأثیر قرار می‌دهد. امروزه گرایش به استفاده از پودرهای گوجه‌فرنگی که کیفیت مشابه میوه اصلی دارند به شدت در حال گسترش است (Davoodi et al., 2007). حفظ و نگهداری محصولات غذایی با توجه به رشد جمعیت و کمبود مواد غذایی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. از جمله راه‌های

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک بیوسیستم، گروه فنی کشاورزی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران

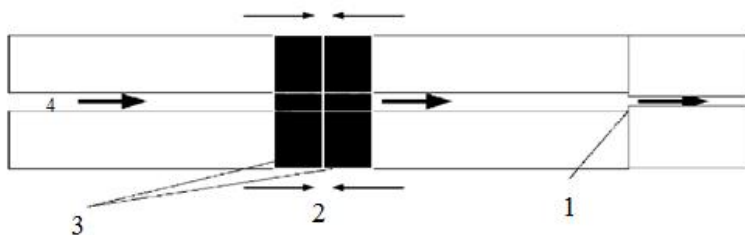
۲ و ۳- دانشیار، گروه فنی کشاورزی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران

(Email: abonajmi@ut.ac.ir)

*- نویسنده مسئول:

آزمایش که از میکروسکوپ به‌دست‌آمده است، با استفاده از نرم‌افزارهای آنالیز تصویر مثل MATLAB و Digimizer تجزیه و تحلیل می‌شوند. در خشک‌کن‌های پاششی از روش‌های مختلفی برای پودر کردن محصولات کشاورزی غذایی که در فاز مایع هستند استفاده می‌شود. از آن جمله می‌توان به نازل فشار، نازل دو سیاله، نازل‌های دوار دیسکی، نازل‌های چرخ‌دار اشاره کرد. با این حال در این اتمایزها برخی اشکالات وجود دارد که از جمله می‌توان به کنترل ضعیف میانگین قطر ذرات، گستردگی توزیع قطرات و خطر گرفتگی در نمونه‌هایی که سوسپانسیون هستند اشاره کرد. این معایب را می‌توان توسط اتمایزر فراصوت کاهش داد. اتمایزرهای فراصوت برخلاف سایر اتمایزها دارای اجزای ساختمانی ثابت می‌باشند. در این اتمایزها، فقط انرژی الکتریکی به ارتعاش مکانیکی ذرات تبدیل می‌شود. اتمایزرهای فراصوت توانایی اتمیزه کردن گسترده وسیعی از مایعات با خواص فیزیکی متفاوت را دارا می‌باشند. در این نازل‌ها ارتعاشات مکانیکی که از عنصر پیزوسرامیک به‌وجود می‌آید، باعث اتمیزه کردن مایع می‌شود (Ramisetty et al., 2013).

اجزاء ساختمانی نازل‌های فراصوت بیشتر شامل ورودی مایع، لوله تغذیه و یک عنصر پیزوسرامیک می‌باشد. عنصر پیزوسرامیک، تولیدکننده امواج کاپیلاری که شامل یک سطح ارتعاشی است. نازل‌های فراصوت جزء اضافی دارند که نقش تقویت‌کننده امواج را برعهده دارد. این جزء اضافی انرژی مورد نیاز را برای افشانه‌ها تا حد زیادی کاهش می‌دهد. نازل‌های فراصوت بر اساس امواج کاپیلاری یا زاویه افشانه کردن طبقه‌بندی می‌شوند. شکل ۱ طرحواره کار یک نازل را نشان می‌دهد (Berger, 1998).



شکل ۱- طرحواره نحوه عملکرد نازل فراصوت (۱- تقویت‌کننده امواج فراصوت، ۲- جهت ارتعاش، ۳- مبدل پیزوالکتریک، ۴- جریان آب)

Fig. 1. Schematic of an ultrasonic nozzle function

(1. Ultrasonic wavelength amplifier, 2. Vibration direction, 3. Piezoelectric transducer, 4. Water flow)

گوجه‌فرنگی مطالعه و اثر آن‌ها بر میانگین اندازه ذرات و محتوای رطوبتی محصول مطالعه شد.

مواد و روش‌ها

تهیه و نگهداری مواد اولیه

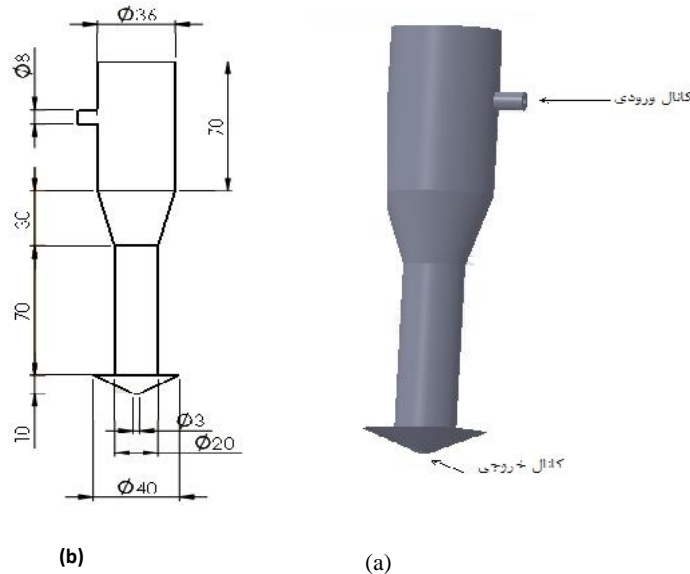
در این پژوهش برای انجام آزمایش‌ها و تولید پودر گوجه‌فرنگی،

است، محتوای رطوبتی یک جنبه مهم در پودرهای مواد غذایی است که این چسبندگی عمدتاً به‌دلیل پل‌های مایع بین ذرات است. همچنین لایه‌ها و یا پل‌های بین ذرات باعث انباشتگی خود به خود ذرات می‌شوند. یک تغییر کوچک در مقدار رطوبت می‌تواند به‌طور قابل ملاحظه‌ای خواص اصطکاکی (به‌عنوان مثال زاویه اصطکاک با دیوار و زاویه‌های داخلی اصطکاک) مواد را تحت تأثیر قرار دهد. رطوبت مقدار آب موجود در یک توده پودر است که به‌عنوان درصدی از اختلاف وزن توده خشک شده به وزن اولیه بیان می‌شود (Ortega-Rivas et al., 2006). با بررسی پارامترهای خشک‌کن پاششی صفحه داغ بر روی پودر نعنای فلفلی میزان رطوبت پودرهای نعنای در دماهای ۱۳۰، ۱۴۰ و ۱۵۰ درجه سلسیوس زیر ۵ درصد گزارش شد. ذرات اعم از طبیعی (مانند دانه‌های شن و ماسه در ساحل دریا) و صنعتی (مانند ذرات خشک شده شیر با خشک‌کن پاششی) شامل توزیع مشخصی می‌باشند. اندازه ذرات یک ویژگی مهم محصول به دلیل اثر آن بر ظاهر محصول، انحلال‌پذیری ماده فرآوری شده می‌باشد (Smith, 2011). میانگین اندازه ذرات از مهمترین شاخص‌ها برای ارزیابی نازل فراصوت می‌باشند. برای ارزیابی اتمایزر فراصوت از آب خالص به‌عنوان ماده نیوتونی برای بررسی اندازه قطر ذرات استفاده شد (Ramisetty et al., 2013). او برای انجام آزمایش‌ها از توان‌های ۳، ۵ و ۷ وات استفاده کرد. وی گزارش کرد که میانگین اندازه ذرات با افزایش توان افزایش یافت. همچنین افزایش میانگین اندازه ذرات در اثر افزایش دبی جریان گزارش شده است. روش پردازش تصویر، پارامترهای اندازه و شکل ذرات را بر اساس عکس دوبعدی از نمونه پودر تعیین می‌کند. تصاویر دیجیتالی از پودر مورد

با توجه به اهمیت پاشش در خشک‌کن پاششی و اثر دبی جریان و توان منبع فراصوت بر ویژگی‌های محصول تولید شده، تعیین بهترین پارامترهای نازل فراصوت با توجه به دمای صفحات خشک‌کن، برای تولید با کیفیت پودر گوجه‌فرنگی پیشنهاد شد. بنابراین در این پژوهش اثر پارامترهای مؤثر نازل فراصوت مانند دبی و توان و همچنین دمای صفحات خشک‌کن بر خشک کردن پودر

صافی گذرانده شد. آب گوجه فرنگی در بطری‌های ۱/۵ لیتری درون یخچال در دمای ۵-۴°C برای انجام آزمایش‌ها نگهداری شد. برای پودر کردن آب گوجه فرنگی از نازل فراصوت با فرکانس ثابت ۲۰ kHz استفاده شد. در شکل ۲ طرح سه‌بعدی نازل و ابعاد نازل نشان داده شده است. از منبع تغذیه‌ای با مشخصات (TOPSONICS) 400W, 20kHz برای تأمین توان امتیاز که قابلیت تنظیم توان از صفر تا ۴۰۰ وات را دارا بود استفاده شد.

۱۰ کیلوگرم گوجه فرنگی موجود در بازار که به علت حمل و نقل نامناسب شکل ظاهری خود را از دست داده و مشتری‌پسند نبوده ولی دارای ارزش غذایی گوجه فرنگی سالم می‌باشد، برای آب‌گیری استفاده شد. از یک چرخ گوشت برای آب‌گیری استفاده شد، دلیل انتخاب چرخ گوشت نسبت به سایر وسایل آب‌گیری این بود که ناخالصی‌ها درون مایع گوجه فرنگی مخلوط نشده و قابلیت تفکیک و جداسازی را داشته و کیفیت پودر را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد. گوجه فرنگی‌ها پس از آب‌گیری توسط چرخ گوشت به دلیل داشتن مقداری ناخالصی از



شکل ۲- (a) طرح سه‌بعدی نازل فراصوت (b) ابعاد نازل فراصوت

Fig. 2. a) Ultrasonic nozzle three-dimensional design b) Ultrasonic nozzle dimensions

نازل فراصوت استفاده شد. مایع ریخته شده درون مجاری نازل بدون فشار و تنها به وسیله ارتعاشات مکانیکی که توسط عنصر پیزوسرامیک ایجاد می‌شوند به قطرات ریزی تبدیل و از نوک نازل خارج شد.

آنالیز آماری

در این پژوهش اثر متغیرهای مستقل بر متغیرهای وابسته در نرم‌افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و تأثیر متغیرها بر روی میانگین اندازه ذرات و درصد رطوبت بررسی شد. آزمایش‌ها به روش طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار صورت پذیرفت. مقایسه میانگین مقادیر حاصل در قالب آزمون میانگین (LSD) در سطح ۱ درصد به دست آمد. نمودار تغییرات رطوبت و تغییرات اندازه ذرات به وسیله نرم‌افزار Excel رسم شدند. پارامترهای مورد بررسی در این آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- ماتریس آزمایش‌ها برای خشک کردن گوجه فرنگی

Table 1- Experiments matrix to dry tomatoes

پارامتر Parameter	سطح Level		
	1	2	3
توان ژنراتور (W) Generator power	25	37.5	50
دبی (ml min ⁻¹) Flow rate	13	15	17
دما (°C) Temperature	130	140	150

آزمایش‌های خشک کردن آب گوجه فرنگی

در این تحقیق از خشک‌کن پاششی صفحه داغ ساخته شده در گروه فنی و کشاورزی پردیس ابوریحان- دانشگاه تهران، برای پودر کردن آب گوجه فرنگی استفاده شد. در این خشک‌کن، از پمپ پیرستالیتیک با دبی متغیر و قابل تنظیم برای انتقال سیال به درون

ترازویی با دقت ۰/۰۱ گرم توزین شد و نمونه‌ها در دمای ۷۰ درجه به مدت ۲۴ ساعت در آن خشک شدن و از دست دادن رطوبت قرار گرفت. نمونه برای جلوگیری از رطوبت در بسته پلی اتیلن در جای خشک قرار گرفتند. درصد محتوای رطوبتی بر پایه تر از رابطه (۱) به دست آمد (ahin-Nadeem *et al.*, 2013).

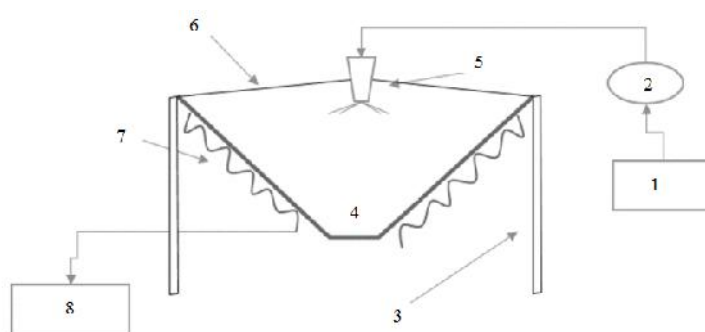
MC: درصد رطوبت، M_W : جرم آب از دست رفته و M_T : جرم کل اولیه نمونه

$$\%MC = M_W/M_T \quad (1)$$

این ذرات به محض برخورد با صفحات خشک‌کن رطوبت خود را از دست داده و ذرات به صورت ماده خشک روی صفحات باقی می‌ماند. مواد خشک شده پس از سرمایه‌ی نسبی از روی صفحات تراشیده و به صورت پودر خشک در می‌آید. لازم به ذکر است که برای جداسازی ماده خشک از صفحات، خشک‌کن کاملاً متوقف می‌شود. در شکل ۳ طرحواره خشک‌کن نشان داده شده است.

اندازه‌گیری میزان رطوبت

برای تعیین میزان رطوبت‌گیری پودر گوجه‌فرنگی از آن استفاده شد. با توجه به آزمایش‌های صورت گرفته ۰/۵ گرم از هر نمونه توسط



شکل ۳- طرحواره خشک‌کن پاششی صفحه داغ

(۱- منبع محلول، ۲- پمپ، ۳- پایه‌های خشک‌کن، ۴- محفظه خشک‌کن، ۵- اتمایزر، ۶- نگهدارنده اتمایزر، ۷- المنت، ۸- کنترل‌کننده دما)

Fig 3. Schematic of hot plate spray dryer

(1- Solution source, 2- Pump, 3- Drier bases, 4- Drier case, 5- Atomizer, 6- Atomizer holder, 7- Element, 8- Temperature controller)

همان‌طور که توسط ASTM ذکر شده است، متوسط تعداد دسته کم ۵۰۰ ذره توسط استاندارد E1382 برای تعیین اندازه یا شکل ذرات توصیه می‌شود (Li *et al.*, 2002). بنابراین، حداقل ۵ تصویر میکروسکوپی نوری از مناطق مختلف در نمونه ظرف توسط دوربین‌های دیجیتال در بزرگنمایی ۴۰۰ برابر تهیه شد. سپس از نرم‌افزار Digimizer برای تفسیر تصاویر تهیه شده توسط میکروسکوپ نوری کمک گرفته شد. این نرم‌افزار با شناسایی و تجزیه و تحلیل ذرات قادر به ارائه اطلاعاتی در مورد اندازه ذرات بود.

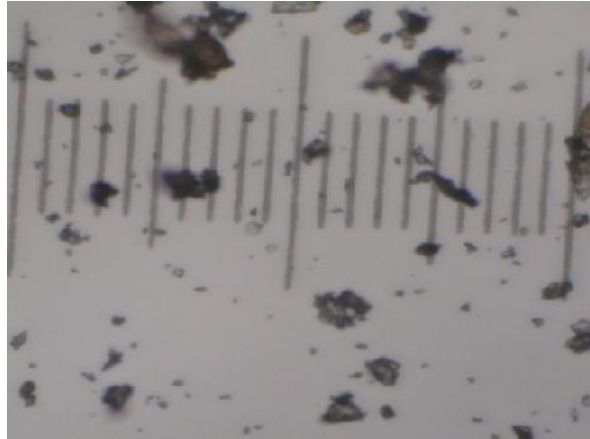
اندازه ذرات با استفاده از ذراتی که دستی یا خودکار به کمک نرم‌افزار شناخته می‌شوند، مورد ارزیابی قرار گرفتند. شکل ۵ تصویر پودر گوجه‌فرنگی خشک شده بعد از پردازش به وسیله نرم‌افزار تجزیه و تحلیل تصویر را نشان می‌دهد. نرم‌افزار، با شمارش تمام پیکسل‌ها در داخل مرز ذرات، مساحت (A) را اندازه‌گیری کرد. پس از به دست آوردن مساحت توسط نرم‌افزار قطر متوسط ذرات محاسبه شد. برای بررسی یکنواخت بودن پاشش نمودار توزیع اندازه ذرات، به صورت شکل ۶ تهیه شد. همان‌طور که در شکل ۶ نشان داده شده است،

اندازه‌گیری میانگین قطر ذرات

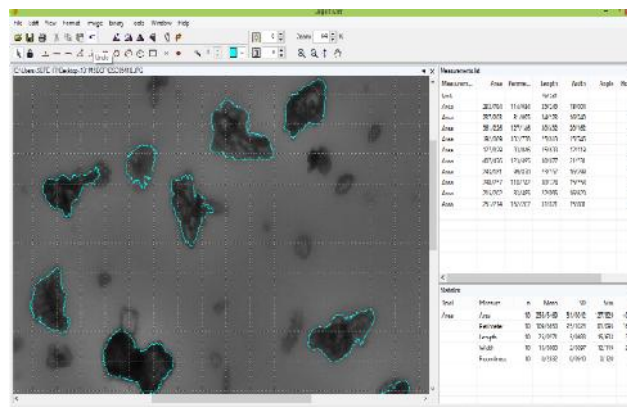
برای اندازه‌گیری اندازه ذرات از روش تجزیه و تحلیل عکس‌های دوبعدی استفاده شد. میکروسکوپ نوری مورد استفاده در این مطالعه ابزاری قدرتمند برای تعیین خواص پودر مانند قطر، سطح مقطع، محیط و گردی بر اساس داده‌های دوبعدی به دست آمده از تصویر نمونه پودر می‌باشد. از میکروسکوپ نوری OLYMPUS CX21 که به دوربین عکاسی دیجیتال SONY DSC-HX1 مجهز شده بود، برای تجزیه و تحلیل تصویر در این مطالعه استفاده شد. میکروسکوپ تصویر بزرگ‌نمایی شده تا ۴۰۰ برابر را از نمونه پودرها ایجاد کرد (شکل ۴). برای تهیه عکس از نمونه پودرها زیر میکروسکوپ نوری، پودرها بر روی یک میکرومتر به نام لام مدرج میکرومتری یا میکرومتر صفحه‌ای ریخته شد. این میکرومتر یک لام شیشه‌ای است که در بخش میانی آن که با دایره سیاه‌رنگ مشخص شده یک فاصله یک میلی‌متری به ۱۰۰ قسمت مساوی تقسیم شده است و کوچک‌ترین تقسیم‌بندی آن ۰/۰۱ میلی‌متر یا ۱۰ میکرون است (Bodhmag, 2006).

همچنین با توجه به این توزیع اندازه ذرات در محدوده باریکی قرار دارد، پاشش به صورت یکنواخت است (Chegini and Ghobadian, 2007).

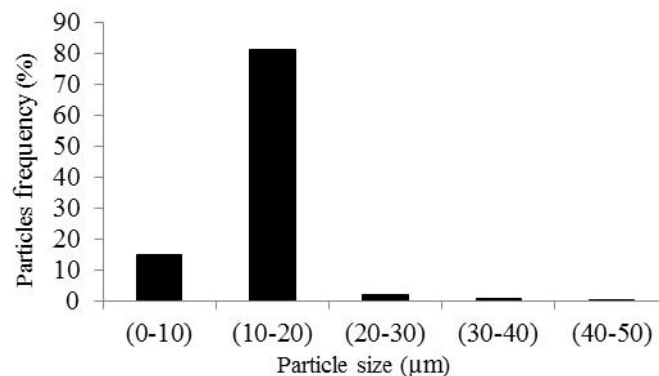
بیشتر ذرات در محدوده اندازه زیر $20 \mu\text{m}$ توزیع شده‌اند و درصد اندازه‌های دیگر خیلی کم است. از این رو می‌توان گفت که پودر به دست آمده خیلی ریز بوده و از یکنواختی زیادی برخوردار است.



شکل ۴- تصویر تهیه شده توسط میکروسکوپ نوری با مقیاس میکرون
Fig. 4. Image provided by the optical microscope with microns scale



شکل ۵- تصویر آنالیز شده توسط نرم افزار digimazer
Fig. 5. Analyzed image by digimazer software



شکل ۶- رابطه بین اندازه و توزیع اندازه ذرات
Fig. 6. The relationship between size and particle size distribution

نتایج و بحث

نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس نشان داد اثر فاکتورهای مورد مطالعه بر میانگین اندازه ذرات به جز دمای صفحات خشک کن جدول ۲ و درصد رطوبت جدول ۳ در سطح ۱ درصد معنی دار است. در این پژوهش با توجه به معنی دار شدن اثرات سه گانه، مقایسه میانگین‌های این اثرات به روش LSD انجام شد.

اندازه ذرات

بر اساس نتایج تجزیه واریانس تجزیه و تحلیل عکس‌های

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس تأثیر دمای صفحات، دبی جریان و توان ژنراتور بر اندازه ذرات

Table 2- The variance analysis results of the effect of the plates temperature, the flow rate and the power generator on the particle size

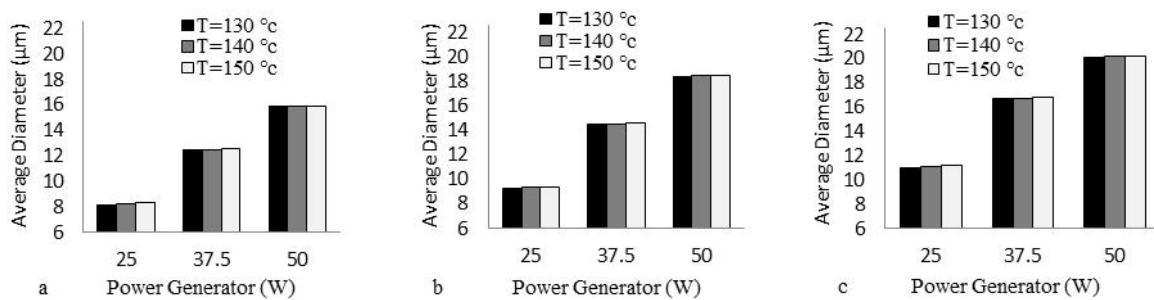
اندازه ذرات			
Particle size			
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F
Variation sources (vs)	df	Mean square	F value
توان (وات) Power	2	54.6	117.7**
دبی (میلی لیتر دقیقه) Flow rate	2	26.2	56.5**
دما (درجه سلسیوس) Temperature	2	0.09	0.21 ^{ns}
توان × دبی Power*Flow rate	4	2.1	4.6*
توان × دما Power*Temperature	4	0.01	0.37 ^{ns}
دما × دبی Temperature*Flow rate	4	0.03	0.92 ^{ns}
توان × دبی × دما Temperature*Power*Flow rate	8	0.01	0.7 ^{ns}
خطا Error	54	2.15	
کل	80		

**معنی دار در سطح ۰/۰۱، *معنی دار در سطح ۰/۰۵، n.s معنی دار نیست

**Significant at 1%, * Significant at 5% of probability level, ns No significant

مشخصات نازل فراصوت است و دمای صفحات تأثیری روی اندازه ذرات نداشته است. بزرگترین میانگین اندازه ذرات در همه سطوح دما، در توان حداکثر ۵۰ وات و کوچکترین میانگین اندازه ذرات در توان ۲۵ وات حاصل شد. جوماه و همکاران با بررسی تأثیر توان منبع فراصوت و دبی جریان بر اندازه قطرات آب تولید شده توسط افشانه فراصوت به نتایج مشابهی دست یافتند (Jumah et al., 2000).

در شکل ۷ مشاهده می شود با افزایش توان منبع فراصوت میانگین اندازه ذرات افزایش می یابد، علت این امر ایجاد موج‌های بزرگتر در سطح مایع به دلیل توان‌های بزرگتر و فرضیه مویرگی موج است که باعث شده قطرات بزرگتری از سطح مایع جدا شده و با برخورد به صفحات خشک کن، میانگین اندازه ذرات تولید شده افزایش یابد. مقادیر میانگین اندازه ذرات حاصل از تغییرات توان منبع تغذیه در سطح‌های مختلف دما دارای اختلاف معنی داری نیست دلیل آن این است که اندازه ذرات یک پارامتر خارجی بوده و به شدت وابسته به

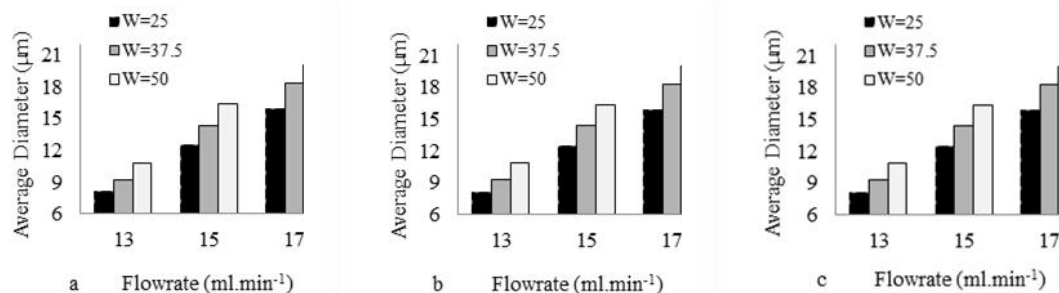


شکل ۷- میانگین اندازه ذرات پودر گوجه فرنگی در سه دبی جریان (a) ۱۳ (b) ۱۵ (c) ۱۷ (میلی لیتر بر دقیقه)

Fig. 7. The average particles size of tomato powder at three flow rate a) 13 b) 15 c) 17 (ml min⁻¹)

امواج کاپیلاری فرورفتگی‌ها و برآمدگی‌های بزرگتری در سطح مایع ایجاد می‌شود. نتایج مقایسه میانگین‌ها مبین آن است که در تولید پودر گوجه فرنگی، بزرگترین میانگین اندازه ذرات (۲۰/۲ میکرومتر) در دبی ۱۷ میلی لیتر بر دقیقه و توان ۵۰ وات و کوچکترین میانگین اندازه ذرات (۸/۱۳ میکرومتر) در دبی ۱۳ میلی لیتر و توان ۲۵ وات حاصل شد (Chegini and Ghobadian, 2007).

همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود با افزایش دبی جریان میانگین اندازه ذرات افزایش می‌یابد و مقادیر میانگین اندازه ذرات حاصل از تغییرات دبی جریان در سطح‌های مختلف توان منبع تغذیه دارای اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد می‌باشد و با افزایش توان در هر سطح دبی، میانگین اندازه ذرات افزایش می‌یابد. علت افزایش میانگین اندازه ذرات، وجود سطح تماس بیشتر برای برخورد امواج فراصوت است. با وجود سطح تماس بیشتر و فرضیه مویرگی موج و



شکل ۸- میانگین اندازه ذرات پودر گوجه فرنگی در سه دمای (a) ۱۳۰ °C (b) ۱۴۰ °C (c) ۱۵۰ °C

Fig. 8. The average particles size of tomato powder at three temperatures a) 130 °C b) 140 °C c) 150 °C

رطوبتی کاهش می‌یابد، مهمترین علت این است که میزان گرمای مبادله شده بین پودرها و صفحات خشک‌کن افزایش یافته و پودرهای تولید شده مقدار آب بیشتری از دست داده، در نتیجه میزان رطوبت کاهش می‌یابد (SouzaOliveira, 2009). مقادیر محتوای رطوبتی حاصل از تغییرات دمای صفحات در سطح‌های مختلف دبی جریان دارای اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد است و بیشترین درصد محتوای رطوبتی در همه سطوح دبی جریان، در دمای ۱۳۰ درجه و کمترین درصد محتوای رطوبتی در دمای ۱۵۰ درجه سلسیوس حاصل شد. مقادیر محتوای رطوبتی حاصل از تغییرات دبی جریان در هر سطح دما دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد است و با افزایش دبی جریان میزان رطوبت افزایش می‌یابد.

محتوای رطوبت

نتایج بررسی‌ها نشان داد اثر توان منبع تغذیه، دما و دبی جریان بر محتوای رطوبتی و همچنین اثر متقابل دو متغیر توان و دبی جریان در سطح ۱ درصد معنی‌دار است. اثرات متقابل دو متغیر توان و دما، اثر متقابل دو متغیر دما و دبی در سطح ۵ درصد و اثرات سه‌گانه آن‌ها در سطح ۵ درصد معنی‌دار است. بررسی نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین تأثیر را توان منبع تغذیه با مقدار F برابر با ۱۱۹۲۱/۴ بر روی میانگین اندازه ذرات داشته است. همچنین دبی جریان با مقدار F برابر با ۷۶۷۴/۲۵ و دما با مقدار F برابر ۶۰۴۳/۹۵ بعد از توان منبع تغذیه بیشترین تأثیر را نشان داد (جدول ۳). در شکل ۹ مشاهده می‌شود با افزایش دمای صفحات محتوای

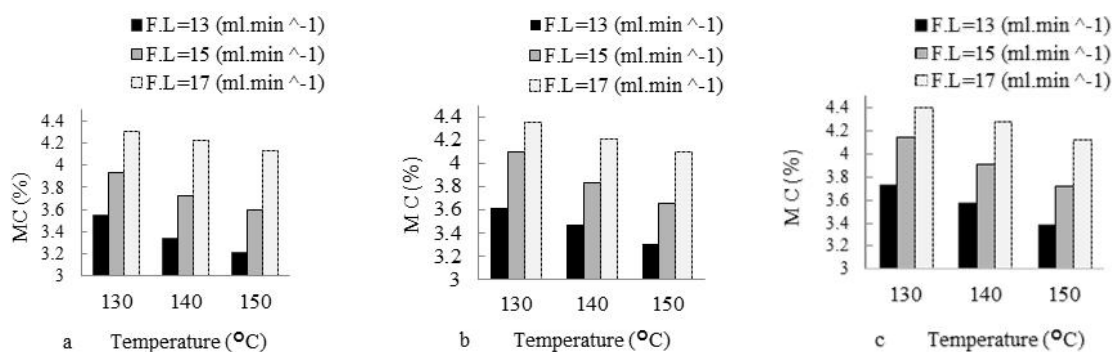
جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس تأثیر دمای صفحات، دبی جریان و منبع توان بر محتوای رطوبتی

Table 3- The variance analysis results of the effect of the plates temperature, the flow rate and the power generator on the moisture content

محتوای رطوبتی Moisture content			
منابع تغییرات Variation sources (vs)	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square	مقدار F F value
توان (وات) Power	2	5.78	11921.4**
دبی (میلی لیتر بر دقیقه) Flow rate (ml min ⁻¹)	2	3.72	7674.25**
دما (درجه سلسیوس) Temperature	2	2.93	6043.95**
توان × دبی Power*Flow rate	4	0.012	25.42*
توان × دما Temperature*Power	4	0.03	66.85**
دما × دبی Temperature*Flow rate	4	0.018	38.68**
توان × دبی × دما Temperature* Power*Flow rate	8	0.012	25.33*
خطا Error	54	0.000485	
کل	80		

** معنی‌دار در سطح ۰/۰۱ * معنی‌دار در سطح ۰/۰۵

** Significant at 1%, * Significant at 5% of probability level



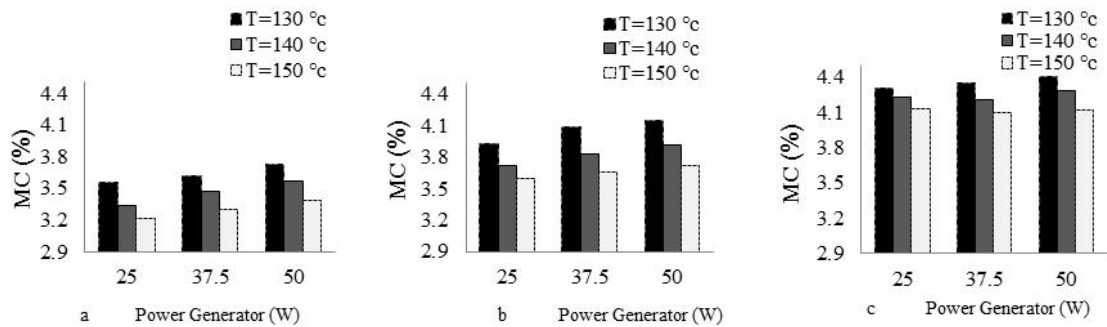
شکل ۹- محتوای رطوبتی پودر گوجه‌فرنگی در سه توان (a) ۲۵ وات (b) ۳۷/۵ وات (c) ۵۰ وات

Fig. 9. The moisture content of tomato powder at three power of generator a) 25w b) 37.5 w c) 50w

تغذیه در سطح‌های مختلف دمای صفحات خشک‌کن دارای اختلاف معنی‌داری در سطح ۱ درصد است. بیشترین درصد محتوای رطوبتی در همه سطوح دمایی در توان ۵۰ وات و کمترین درصد محتوای رطوبتی در توان ۲۵ وات حاصل شد. مقادیر محتوای رطوبتی حاصل از تغییرات دمای صفحات در هر سطح توان دارای اختلاف معنی‌داری

همان‌طور که در شکل ۷ اشاره شد با افزایش توان، میانگین اندازه ذرات افزایش می‌یابد. محتوای رطوبتی به شدت به اندازه ذرات وابسته است و این باعث دشواری انتقال آب می‌شود. در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود که با افزایش توان منبع فراصوت محتوای رطوبتی افزایش می‌یابد و مقادیر محتوای رطوبتی حاصل از تغییرات توان منبع

در سطح ۱ درصد است و با افزایش دمای صفحات میزان رطوبت کاهش می‌یابد (Goula and Adamopoulos, 2008).

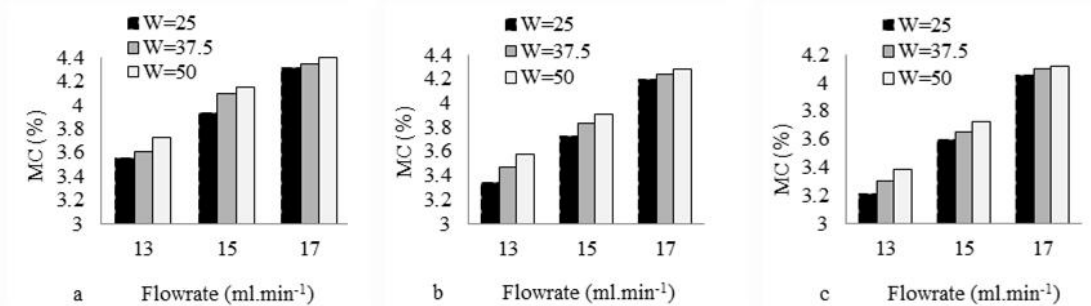


شکل ۱۰- محتوای رطوبتی پودر گوجه‌فرنگی در سه دبی جریان (a) ۱۳ (b) ۱۵ (c) ۱۷ میلی لیتر بر دقیقه

Fig. 10. The moisture content of tomato powder at three flow rates a) 13 b) 15 c) 17 (ml min⁻¹)

درصد است و بیشترین درصد محتوای رطوبتی در همه سطوح دبی جریان، در توان ۵۰ وات و کمترین درصد محتوای رطوبتی در توان ۲۵ وات حاصل شد. مقادیر محتوای رطوبتی حاصل از تغییرات توان منبع تغذیه در هر سطح دبی جریان دارای اختلاف معنی‌داری در سطح ۱ درصد است و با افزایش توان میزان رطوبت افزایش می‌یابد (Tonon et al., 2008).

در شکل ۸ نشان داده شد با افزایش دبی، میانگین قطر ذرات افزایش یافته در نتیجه انتقال حرارت کمتری رخ داده و این امر باعث می‌شود میزان از دست دادن آب درون ذرات پودرها به سختی صورت پذیرد. در بررسی تجزیه واریانس محتوای رطوبتی، شکل ۱۱ مشاهده می‌شود با افزایش دبی جریان محتوای رطوبتی افزایش می‌یابد و مقادیر محتوای رطوبتی حاصل از تغییرات توان منبع تغذیه در سطح‌های مختلف دبی جریان دارای اختلاف معنی‌داری در سطح ۵



شکل ۱۱- محتوای رطوبتی پودر گوجه‌فرنگی در سه دمای (a) ۱۳۰°C (b) ۱۴۰°C (c) ۱۵۰°C

Fig. 11. The moisture content of tomato powder at three temperatures a) 130°C b) 140°C c) 150°C

میلی لیتر بر دقیقه تولیدشده دارای کوچکترین میانگین اندازه ذرات با مقدار ۸/۱۳ میکرومتر و نمونه‌هایی با توان ۵۰ و دبی ۱۷ میلی لیتر بر دقیقه دارای بزرگترین میانگین اندازه ذرات ۲۰/۰۲ میکرومتر می‌باشد. محتوای رطوبتی ذرات کمتر از ۵ درصد بوده و کمترین محتوای رطوبتی مربوط به نمونه‌هایی است که با دمای ۱۵۰ درجه سلسیوس صفحات خشک‌کن، توان ۲۵ وات و دبی جریان ۱۳ میلی لیتر بر دقیقه با مقدار ۳/۰۲٪ و بیشترین محتوای رطوبتی مربوط به نمونه‌هایی است که با دمای ۱۳۰ درجه سلسیوس صفحات خشک‌کن، توان ۵۰

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد، عواملی مانند توان منبع فراصوت، دبی جریان و دمای صفحات خشک‌کن بر خواص فیزیکی پودر گوجه‌فرنگی مانند میانگین اندازه ذرات و محتوای رطوبتی، بر میانگین اندازه ذرات در سطح یک درصد معنی‌دار بوده ولی دمای صفحات خشک‌کن بر میانگین اندازه ذرات تأثیر معنی‌داری نداشته است. بررسی‌ها نشان داد که نمونه‌هایی که با توان ۲۵ وات و دبی ۱۳

در فاز مایع هستند می‌توان اثر این پارامترها بر حفظ ارزش غذایی محصولات و خواص کیفی را طی مراحل خشک کردن بررسی نمود و نتایج را قبل از خشک کردن به کار برد.

وات و دبی جریان ۱۷ میلی لیتر بر دقیقه با مقدار ۴/۱۲٪ تولید شده است. بیش از ۹۰ درصد فراوانی میانگین اندازه ذرات در محدوده ۱۰ تا ۲۰ میکرومتر به دست آمد که نشان دهنده یکنواختی پاشش این افشانه می‌باشد. با توجه به اهمیت خشک کردن محصولات غذایی که

References

- Berger, H. L. 1998. Ultrasonic liquid atomization: theory and application. Partridge Hill Publishers.
- Bhandari, B., and T. Howes. 1999. Implication of glass transition for the drying and stability of dried foods. *Journal of Food Engineering* 40: 71-79.
- Bodhmag, A. 2006. Correlation between physical properties and flowability indicators for fine powders. University of Saskatchewan Saskatoon.
- Chegini, G., and B. Ghobadian. 2007. Spray dryer parameters for fruit juice drying. *World Journal of Agricultural Sciences* 3: 230-236.
- Davoodi, M. G., P. Vijayanand, S. Kulkarni, and K. Ramana. 2007. Effect of different pre-treatments and dehydration methods on quality characteristics and storage stability of tomato powder. *LWT-Food Science and Technology* 40: 1832-1840.
- Goula, A. M., and K. G. Adamopoulos. 2008. Effect of maltodextrin addition during spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II. Powder properties. *Drying Technology* 26: 726-737.
- Jumah, R., B. Tashtoush, R. Shaker, and A. Zrai. 2000. Manufacturing parameters and quality characteristics of spray dried jameed. *Drying Technology* 18: 967-984.
- Li, Z., J. Yang, X. Xu, X. Xu, W. Yu, X. Yue, and C. Sun. 2002. Particle shape characterization of fluidized catalytic cracking catalyst powders using the mean value and distribution of shape factors. *Advanced Powder Technology* 13: 249-263.
- Masters, K. 1991. Spray drying fundamentals: process stages and layouts. *Spray Drying Handbook*. 5th ed. New York, USA: Longman Scientific and Technical: 23-64.
- Ortega-Rivas, E., P. Juliano, and H. Yan. 2006. Food powders: physical properties, processing, and functionality. Springer Science & Business Media.
- Ramisetty, K. A., A. B. Pandit, and P. R. Gogate. 2013. Investigations into ultrasound induced atomization. *Ultrasonics sonochemistry* 20: 254-264.
- Ahin-Nadeem, H., C. Dinçer, M. Torun, A. Topuz and F. Özdemir. 2013. Influence of inlet air temperature and carrier material on the production of instant soluble sage (*Salvia fruticosa* Miller) by spray drying. *LWT-Food Science and Technology* 52: 31-38.
- Smith, P. G. 2011. An Introduction to Food Process Engineering. Springer.
- Souza, C., and W. Oliveira. 2009. Drying of herbal extract in a draft-tube spouted bed. *The Canadian Journal of Chemical Engineering* 87: 279-288.
- Tonon, R. V., C. Brabet, and M. D. Hubinger. 2008. Influence of process conditions on the physicochemical properties of acai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. *Journal of Food Engineering* 88: 411-418.

Investigation on the Ultrasonic Nozzle Parameters Affecting Physical Properties of Tomato Powder

M. R. Arjomandi¹- M. Aboonajmi^{2*}- Gh. R. Chegini³

Received: 13-02-2016

Accepted: 17-07-2016

Introduction

Preserving food products has been much regarded due to the population growth and food scarcity. Drying food is one of the methods of preventing the waste of food products. Spray drying for which products that are initially in the liquid phase is the most suitable method of drying the moisture. In this method, the solution is turned into particles and droplets via mechanism and synchronous collision with the hot air that enters the drying case. Moisture content is one important aspect of the food powder which is associated with an increase of adhesion. The particles size is an important feature of the product due to its effect on the product appearance, solubility, and powder fluidity.

Materials and Methods

In this study for producing tomato powder, 10 kg of tomato available in the market which was not good and did not have a good appearance but suitable for juicing was supplied. A meat grinder was used for juicing. Tomato juice was filtered to become pure. Tomato juice was put in the 1.5 lit bottles and was kept in the refrigerator for experiments. To spray the tomato juice, an ultrasonic nozzle with 20 kHz frequency was used. Energy sources (TOPSONICS 400W, 20 kHz) was used to provide the atomizer power with adjustable power from 0 to 400 W. In this study a hot-plate spray dryer was used to change the tomato juice into powder. An oven was used to measure the tomato powder moisture content. 0.5 g of tomato powder was weighed and was put in the oven with 70°C for 24 hours to be dried to lose moisture. To measure the size of the particles the analysis of two-dimensional images was used. The photos were taken with optical microscope OLYMPUS CX21 equipped with a digital camera- SONY DSC-HX1. To illustrate the photos, the Digimizer software was applied. SAS software was used for further statistical analysis.

Results and Discussion

Analysis of variance results indicated that the effect of the studied parameters was significant on the average of the particles size except for dryer plates temperature ($p < 0.01$) and on the moisture content ($p < 0.01$). The mean comparison of these effects was done via LSD method. The effect of the temperature on the particle size was insignificant. The reason for this result is due to particles size that is an external parameter and is much related to the ultrasonic nozzle features. The reciprocal dual the flow rate in the generator power on the particles size was significant ($p < 0.05$). The results analysis of the mean comparison indicated that particle size average of flow rate 13 ml min⁻¹ is smaller than the flow rate 15 and 17 ml min⁻¹. The least particles size mean is related to the samples which have been produced with 25 watts power as it has the significant difference with 37.5 and 50 watts. The least particle size average produced with 25 watts power and the flow rate of 13 ml min⁻¹ and 13.8 micrometers was obtained.

Results of the means comparison indicated that the moisture content of the samples with 25 watts of power produced less moisture content which was significant ($p < 0.01$). Moisture content is strongly related to the particle size and it makes the water transfer difficult and moisture content of the samples which is produced in this power is less. Thus, when the sonication power increases, the moisture content increases too. The samples which were produced in flow rate 13 ml min⁻¹ showed less moisture content than other flow rate levels. Results showed increasing temperature caused decreasing moisture content of the samples. This is because the exchange heat between the powders and the environment has been increased and more moisture was lost therefore, the

1- M.Sc. Graduated Student, Department of Agrotechnology, College of Abouraihan, University of Tehran, Tehran, Iran

2 and 3- Associate Professor, Department of Agrotechnology, College of Abouraihan, University of Tehran, Tehran, Iran

(*- Corresponding Author Email: abonajmi@ut.ac.ir)

moisture content decreases.

Conclusions

The results of this study indicated that the parameters such as ultrasound power, flow rate, and the dryer plates temperature on the physical properties of tomato powder like the particles size average and moisture content were significant ($p < 0.01$) except for dryer plates temperature on the particle size. The results indicated that the particles size average in the samples with the flow rate 13 ml.min^{-1} and 25 watts' power has been produced which has a significant difference ($p < 0.01$). Likewise, the least moisture content of the samples with temperature 150°C of the dryer plates and 25 watts power and flow rate 13 mL min^{-1} was obtained with a significant difference. It can generally be claimed that the tomato powder which has been produced with 25 watts' power sonication and flow rate 13 ml.min^{-1} has the best quality regarding the size and moisture content. Considering the importance of drying the food products which are in a liquid form the effects of these parameters on the value preservation and qualitative nutritional properties can be investigated within the processes of drying, and the results can be applied before drying.

Keywords: Moisture content, Powder size, Spray dryer, Ultrasonic