

بهینه‌سازی فرآیند خشک کردن پاششی رب گوجه‌فرنگی با استفاده از روش سطح پاسخ

عادل دزیانی^۱، سید مهدی جعفری^{۲*}، امان محمد ضیائی فر^۳، محمد قربانی^۲،
علیرضا صادقی ماهونک^۲

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشکده علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۲- دانشیار دانشکده علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۳- استادیار دانشکده علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
(تاریخ دریافت: ۹۴/۱۰/۰۶ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۲/۰۶)

چکیده

هدف از این تحقیق، تولید پودر رب گوجه‌فرنگی با استفاده از خشک‌کن پاششی و تاثیر شرایط خشک‌کردن بر ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی پودر تولیدشده به منظور افزایش نگهداری، سهولت در بسته‌بندی و حمل و نقل است. در این تحقیق، تأثیر دمای هوای ورودی (۱۸۰-۱۲۰ درجه سانتی‌گراد) و غلظت مالتودکستروزین به عنوان حامل (۵۰-۲۵ درصد وزنی/وزنی) بر روی راندمان تولید، رطوبت، حلالیت، جذب رطوبت، پارامترهای رنگی a^* ، L^* و $chroma^*$ و مقدار لیکوپین پودر رب گوجه‌فرنگی تولیدشده با خشک‌کن پاششی نیمه‌صنعتی بررسی شد. نتایج نشان داد که با افزایش دمای ورودی خشک‌کن راندمان، حلالیت و پارامتر رنگی $chroma^*$ پودر افزایش یافته، ولی در این شرایط مقدار رطوبت، پارامترهای رنگی a^* و L^* جذب رطوبت و مقدار لیکوپین پودر کاهش نشان داد. افزایش غلظت مالتودکستروزین باعث افزایش راندمان، حلالیت، پارامتر رنگی L^* و مقدار لیکوپین پودر شده ولی مقدار رطوبت، جذب رطوبت، پارامترهای رنگی a^* و $chroma^*$ کاهش می‌یابد. بهینه‌سازی توسط روش سطح پاسخ انجام شد و شرایط نقطه بهینه شامل دمای هوای ورودی ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد و غلظت مالتودکستروزین ۳۷/۵ درصد بود.

کلید واژگان: رب گوجه‌فرنگی، خشک‌کن پاششی، روش سطح پاسخ، مالتودکستروزین

*مسئول مکاتبات: jafarism@hotmail.com

۱- مقدمه

با افزایش روبه رشد جمعیت و نیاز به مصرف مواد غذایی و ماندگاری آن‌ها در طول سال و مشکل نگهداری این مواد با درصد آب بالا، باعث شده روش‌های مختلفی برای خشک کردن و رسیدن به محصولی باکیفیت بالا مورد بررسی و مطالعه قرار گیرد [۱ و ۲]. با توجه به نوع و خصوصیات موادی که می‌بایست خشک شوند به مرور زمان روش‌های زیادی برای خشک کردن به وجود آمده است. تعداد تنوع موادی که لازم است خشک شوند و اختلاف در خواص فیزیکی و شیمیایی آن‌ها و موارد کاربردشان موجب شده است دستیابی به نوع خشک کن و فرآیند مناسب تولید آن‌ها همواره مورد توجه محققین قرار گیرد. در بین روش‌ها و خشک‌کن‌هایی که برای خشک کردن آب میوه‌ها و تولید پودر آن‌ها مورد استفاده قرار گرفته می‌توان خشک‌کن‌های پاششی^۱، انجمادی^۲، غلتکی^۳ دوار^۳ و تسمه‌ای تحت خلأ^۴ را نام برد [۳]. در میان تعدادی از روش‌های خشک کردن، خشک کردن پاششی یکی از روش‌های معمولی است که دارای گستره بیشتری برای تولید پودرهای خشک‌شده باکیفیت بالاست [۴]. لیکوپن می‌تواند به عنوان یک شاخص ارزشمند محصولات گوجه‌فرنگی در نظر گرفته شود و گزارش‌ها نشان می‌دهد که حرارت دادن و خشک کردن این محصولات تحت شرایط فرآوری مختلف برای تولید پودر گوجه‌فرنگی ممکن است سبب تخریب لیکوپن شود [۸ و ۹] همچنین لیکوپن به عنوان خاصیت آنتی‌اکسیدانی و ضد سرطانی مورد مطالعه قرار گرفته است. این ماده ضد سرطان پروستات، پستان، ریه و دستگاه گوارش است [۵]. مطالعات بسیاری نشان‌دهنده این بوده که رژیم غذایی غنی از لیکوپن اثرات بسیار مفیدی بر سلامت انسان دارد [۶]. علاوه بر این گزارش‌ها نشان می‌دهد که لیکوپن در ترکیب با ویتامین E، گلابریدین^۵، رزمارینیک اسید^۶، کارنوسیک اسید^۷ یا سیر باعث مهار اکسیداسیون لیپوپروتئین‌های کم چگال (LDL) می‌شود [۷].

گوجه‌فرنگی دارای محتوای مواد جامد بسیار کمی هستند (کمتر از ۶ درصد) بنابراین قبل از خشک کردن آن با استفاده از روش پاششی باید گوجه‌فرنگی‌ها تغلیظ گردد تا مواد جامد آن‌ها به حدود ۳۰ درصد برسد [۱۰].

با این حال رب گوجه‌فرنگی شبیه دیگر آب میوه‌ها شامل نسبت بالایی از ترکیب مولکول‌هایی با وزن مولکولی کم از قبیل فروکتوز، گلوکز و سیتریک اسید است که می‌تواند باعث مشکلات چسبندگی در طی خشک کردن شود. مشکل چسبندگی عمدتاً به دلیل دمای انتقال شیشه‌ای^۸ پایین این ترکیبات می‌باشد که در حدود ۵، ۱۸ و ۳۱ درجه سانتی‌گراد به ترتیب برای فروکتوز، اسیدسیتریک و گلوکز است [۱۱].

با توجه به این خشک کردن رب گوجه‌فرنگی بسیار پیچیده است. در طی خشک کردن در دماهای غالب در خشک کن پاششی، آن‌ها تمایل دارند به محفظه خشک‌کن بچسبند و سرانجام یک ساختار خمیری به جای پودر به خود بگیرند؛ بنابراین در طی خشک کردن پاششی رب گوجه‌فرنگی با مشکلاتی مانند عملکرد پایین محصول و برخی از مشکلات عملیاتی روبرو خواهد شد. برخی از روش‌های موجود برای کاهش مشکل چسبندگی شامل روش‌های مبتنی بر استفاده از دمای هوای خروجی پایین و رطوبت کم هوا و همچنین استفاده از حامل‌هایی^۹ با وزن مولکولی بالا می‌باشد [۱۲].

شایان‌ذکر است که مواد افزودنی با وزن مولکولی بالا که دمای انتقال شیشه‌ای خیلی بالایی دارند و دمای انتقال شیشه‌ای خوراکی را بالا می‌برند، معمولاً به خوراک خشک‌کن پاششی افزوده می‌شوند تا شرایط دمایی خشک کردن به صورت مطلوب فراهم شود [۱۳] و موادی که معمولاً به عنوان حامل به کار می‌روند عبارت‌اند از: کربوهیدرات‌هایی با وزن مولکولی بالا مانند مالتو دکسترین‌ها یا ساکارز، پروتئین‌های شیر یا سویا، ژلاتین و هیدروکلوئیدهایی مانند صمغ عربی [۱۴ و ۱۵] که در حال حاضر مالتو دکسترین رایج‌ترین کمک خشک کن، محسوب می‌شود [۱۱].

در همین راستا اربای (Erbay) و همکاران (۲۰۱۴)، بهینه‌سازی تولید پودر پنیر به وسیله خشک‌کن پاششی را با روش سطح

1. Spray Dryer
2. Freez Dryer
3. Roller Dryer
4. Vacuum Belt Dryer
5. Glabridin
6. Rosmarinic Acid
7. Carnosic Acid

8. Glass Transition Temperature
9. Carrier Agents

۱۶۳ درجه سانتی‌گراد و غلظت مالتودکسترین (۲/۶۷ درصد وزنی/وزنی) بهترین نتایج را نشان دادند [۱۸].

سالوا (Solval) و همکاران (۲۰۱۲)، خشک کردن پاششی آب طالبی را بررسی کردند. هدف از این پژوهش توسعه پودر آب طالبی و ارزیابی خصوصیات فیزیکی و تغذیه‌ای آن بود. آب طالبی با ۱۰٪ مالتودکسترین ترکیب شده و در دماهای ۱۷۰، ۱۸۰ و ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد با خشک‌کن پاششی در مقیاس پیلوت خشک گردید. پودرهای تولید شده برای ارزیابی مقدار رطوبت، حلالیت، فعالیت آبی، میزان ویتامین C و بتا کاروتن و ساختار مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. میزان تولید واقعی پودر آب طالبی کمتر از مقدار تخمین زده شده بود. نتایج آن‌ها نشان دادند با افزایش دمای ورودی مقدار رطوبت، فعالیت آبی، مقدار ویتامین C و بتا کاروتن کاهش یافت [۱۹].

تحقیق حاضر به منظور بررسی و ارزیابی اثر دمای هوای ورودی خشک‌کن پاششی نیمه‌صنعتی (۱۲۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد) و غلظت کمک خشک‌کن یا حامل مالتودکسترین (۲۵، ۳۷/۵ و ۵۰ درصد وزنی/وزنی) بر خصوصیات پودر رب گوجه‌فرنگی شامل مقدار رطوبت، حلالیت، جذب رطوبت، پارامترهای رنگی a^* ، L^* ، $chroma$ و شکل و ساختار پودر و همچنین مقدار لیکوپن آن و راندمان تولید پودر انجام شده جهت انتخاب شرایط بهینه تولید پودر از روش سطح پاسخ استفاده گردید.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

رب گوجه‌فرنگی واریته *S.lycopersicum* از شرکت صنایع غذایی کامنوش واقع در استان گلستان و لیکوپن از شرکت آنهویی مین متالز دولوپمنت^۱ (آنهویی چین) خریداری شد، مالتودکسترین با دکستروز اکی والان ۱۸ از شرکت کینه‌نگدائو لیهو^۳ (کینه‌گدائو، چین) تهیه شد، پترولیوم اتر، سدیم هیدروکسید و پتاسیم هیدروکسید، استون و متانول از شرکت مرک (ساخت کشور آلمان) تهیه گردیدند.

پاسخ بررسی کردند. متغیرهای مستقل دمای هوای ورودی (۲۳۰-۱۶۰ درجه سانتی‌گراد)، دمای هوای خروجی (۱۰۰-۶۰ درجه سانتی‌گراد) و فشار نازل (۵۸۸-۲۹۴ کیلوپاسکال) و پاسخ‌ها شاخص قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی، محتوای چربی آزاد، دانسیته توده‌ای، حلالیت پودر و کارایی فرآیند خشک‌کن پاششی بودند. شرایط بهینه در دمای هوای ورودی ۱۷۴ درجه سانتی‌گراد، دمای هوای خروجی ۶۸ درجه سانتی‌گراد و فشار نازل ۳۵۴ کیلوپاسکال به دست آمد. در شرایط بهینه شاخص قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی، محتوای چربی آزاد، حلالیت، دانسیته توده‌ای و کارایی فرآیند خشک‌کن پاششی به ترتیب برابر ۰/۱۲۳، ۴۰/۷ درصد، ۸۲/۷ درصد، ۲۵۲ کیلوگرم بر مترمکعب و ۴/۸۱ درصد بودند [۱۶].

تونون (Tonon) و همکاران (۲۰۰۸)، تأثیر شرایط فرآیند بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی پودر آکایی^۱ تولید شده توسط خشک‌کن پاششی را مورد مطالعه قرار دادند. برای انجام این پژوهش یک خشک‌کن پاششی کوچک به منظور فرآیند خشک کردن و مالتودکسترین به عنوان حامل به کار گرفته شدند. دمای هوای ورودی خشک‌کن (۲۰۲-۱۳۸ درجه سانتی‌گراد)، سرعت جریان خوراک (۲-۲۵ گرم بر دقیقه) و غلظت مالتودکسترین (۳۰-۱۰ درصد) به عنوان متغیرهای مستقل و مقدار رطوبت، جذب رطوبت، عملکرد فرآیند و مقدار آنتوسیانین به عنوان پاسخ‌ها در نظر گرفته شدند. دمای هوای ورودی بر مقدار رطوبت پودر و عملکرد فرآیند خشک کردن اثر قابل توجهی داشت اما سرعت جریان خوراک تأثیر چندانی روی آن‌ها نداشت که این مستقیماً وابسته به انتقال حرارت و جرم می‌باشد. مقدار آنتوسیانین به دلیل حساسیت بالا فقط تحت تأثیر دما بود [۱۷].

مارکوس (Marques) و همکاران (۲۰۱۴)، کاربرد مالتودکسترین در تولید پودر عصاره ذرت سبز را بررسی کردند. هدف از این پژوهش تأثیر غلظت مالتودکسترین و دمای هوای ورودی خشک‌کن بر خصوصیات فیزیکی عصاره ذرت سبز خشک شده با خشک‌کن پاششی بود. غلظت مالتودکسترین (۲۰-۰ درصد وزنی/وزنی) و دمای هوای ورودی (۱۸۰-۱۵۰ درجه سانتی‌گراد) به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند. دمای ورودی

2. Anhui Minmetals Development Co. Ltd

3. Qinhuangdao Lihua Starch Co. Ltd

1. Acai

۲-۲- روش‌ها

۲-۲-۱- تولید خوراک ورودی به خشک‌کن

برای تولید خوراک ورودی به خشک‌کن پاششی محلول حامل (مالتودکسترین) با رب گوجه‌فرنگی (بریکس ۳۶/۵) (اندازه‌گیری بریکس با استفاده از روش رفرکتومتری^۱ با دستگاه رفرکتومتر مدل ABBE، شرکت ستی بلژیوم^۲، ساخت کشور بلژیک) ابتدا با همزن و سپس با همزنایزر دور بالا (مدل D91126، شرکت هایدولف، ساخت کشور آلمان)، با سرعت ۸۰۰۰ دور در دقیقه مخلوط شدند. مقدار حامل اضافه‌شده به رب گوجه‌فرنگی ۲۵، ۳۷/۵ و ۵۰ درصد بر اساس وزن ماده خشک رب گوجه‌فرنگی و بریکس^۳ نهایی خوراک ۲۰ بود. نمونه‌های خوراک قبل از ورود به خشک‌کن پاششی تا دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد (با استفاده از حمام آب گرم مدل WB 14، شرکت ممرت^۴، ساخت کشور آلمان) پیش گرم شدند.

برای تولید محلول حامل مقدار محاسبه‌شده آن در مقدار محاسبه‌شده‌ای از آب مقطر حل شد و برای اطمینان از جذب آب کامل و تشکیل یک محلول شفاف یک شب در بن ماری با دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد [۲۰].

۲-۲-۲- تولید پودر

برای تولید پودر، خوراک‌های تولیدشده به یک خشک‌کن پاششی نیمه‌صنعتی (شرکت آذر مخزن، ساخت کشور ایران) با ارتفاع ۳ متر و قطر ۱/۵ متر منتقل شدند. حجم محفظه خوراک این خشک‌کن حدود ۷۰۰ گرم بود که ۵۰۰ گرم خوراک تهیه‌شده در آن ریخته شد. همچنین خشک‌کن به یک کمپرسور هوای فشرده متصل بود که فشار هوای خروجی از آن حدود ۲ بار بود. بخشی از هوای فشرده خروجی از کمپرسور به محفظه خوراک وارد شده و در آن جا نیروی مورد نیاز جهت راندن سیال به بالای برج خشک‌کن را تأمین می‌کرد. بخش دیگر هوای فشرده مستقیماً به سمت نازل خشک‌کن حرکت کرده و در آن جا فشار مناسب جهت خروج مواد از سر نازل و پودری شدن سیال تأمین می‌گردید. قطر سر نازل خشک‌کن پاششی، ۰/۵ میلی متر بود.

برای خشک کردن خوراک، غلظت حامل (۲۵، ۳۷/۵ و ۵۰ درصد) و دمای هوای ورودی خشک‌کن (۱۲۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد) به عنوان متغیر خشک کردن در نظر گرفته شدند. همچنین فشار هوای نازل بر روی ۲ بار و دمای خوراک ۷۰ درجه سانتی‌گراد ثابت در نظر گرفته شد. نهایتاً خوراک‌ها پس از خشک شدن در محفظه محصول جمع‌آوری شده و سپس در ظروف پلاستیکی تیره و کاملاً در بسته به منظور بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و ساختاری نگهداری شدند.

۲-۲-۳- آزمون‌های ارزیابی خصوصیات پودر رب

گوجه‌فرنگی

راندمان پودر

راندمان پودر یکی از شاخص‌های اصلی عملکرد خشک‌کن پاششی است. راندمان کلی پودر خشک‌شده طبق معادله (۱) محاسبه شد [۱۱].

$$\text{معادله (۱)} \quad 100 \times (\text{مواد جامد کل خوراک} / \text{وزن کل پودر تولیدی بر پایه خشک}^6) = \text{درصد راندمان پودر}$$

رطوبت پودر

برای اندازه‌گیری میزان رطوبت، ۵ گرم از پودرها در آن (مدل FD53، شرکت بایندر^۷، ساخت کشور آلمان) با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و در زمان‌های مختلف توزین شد تا زمانی که تغییر وزن مشاهده نگردید [۲۱]. در نهایت با داشتن وزن اولیه و وزن خشک نمونه‌ها، مقدار رطوبت طبق معادله (۲) مشخص شد.

معادله (۲)

$$100 \times \text{وزن اولیه} / (\text{وزن خشک} - \text{وزن اولیه}) = \text{درصد رطوبت پودرها بر پایه مرطوب}^8$$

حلالیت پودر

شاخص حلالیت در آب^۵ تمام نمونه‌های پودر بر اساس روش کانو (Cano) و همکاران (۲۰۰۵)، انجام شد. به طور مشخص، ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر به یک بشر ۲۰۰ میلی‌لیتری انتقال داده شد و ۵ گرم پودر به ظرف اضافه شد و سپس بر روی همزن

5. Dry Basis
6. Binder
7. Wet Basis
8. Water Solubility Index

1. Refractometry
2. Ceti Belgium
3. Brix
4. Memmert

معادله (۴)

$$c = (a^*2 + b^*2)^{\frac{1}{2}}$$

آنالیز لیکوپین پودر

مقدار لیکوپین (میکروگرم برگرم مواد جامد) به وسیله روش اسپکتروفتومتری بر اساس استخراج در پترولیوم اتر در طول موج ۵۰۵ نانومتر [۲۵]، توسط یک اسپکتروفتومتر مرئی-ماوراءبنفش تعیین شد (اسپکتروفتومتر مرئی- ماوراءبنفش T80 شرکت پی جی اینسترومنتس انگلیس). ۱ گرم از نمونه پودر با دقت وزن شد سپس با ۶۰ میلی لیتر پترولیوم اتر و ۷۵ میلی لیتر استون (دمای ۱۰۰-۶۵ درجه سانتی گراد) مخلوط شده و به مدت ۵ دقیقه هم زده شدند. مخلوط به وسیله پشم شیشه برای جلوگیری از ورود مواد جامد صاف شد و به یک قیف جداساز ۵۰۰ میلی لیتری انتقال داده شد. عصاره استخراج شده سه مرتبه با آب مقطر شسته شد سپس فاز زیرین دور ریخته شد و فاز روئین با ۲۰ میلی لیتر متانول ۹۰ درصد به مدت ۳۰ ثانیه مخلوط شد. فاز زیرین دور ریخته و فاز روئین با ۲۰ میلی لیتر KOH ۲۰ درصد در متانول به مدت ۳۰ ثانیه مخلوط شد. فاز زیرین دور ریخته و فاز روئین دوباره با متانول ۹۰ درصد به مدت ۳۰ ثانیه هم زده شد. فاز زیرین دور ریخته و فاز روئین سه مرتبه با آب مقطر شسته شد. در نهایت عصاره استخراج شده با پترولیوم اتر به حجم رسانده شد و فوراً جذب آن خوانده شد و با کمک منحنی استاندارد مقدار لیکوپین به دست آمد [۲۶].

آنالیز ریز ساختار پودر

برای بررسی ساختار و شکل پودرهای تولید شده از میکروسکوپ الکترونی^۳ (PS230، پمترن، کره جنوبی) استفاده شد. بدین منظور مقدار کافی نمونه توسط لایه نازکی از طلا تحت شرایط خلأ پوشش داده شد و سپس درون دستگاه قرار گرفت. ولتاژ دستگاه ۱۰KV و بزرگنمایی عکس ها ۵۰۰× بودند [۱۹ و ۲۴].

مدل آماری طرح و تجزیه و تحلیل داده‌ها

پس از انجام پیش تیمارهای اولیه و به دست آوردن دامنه مناسب متغیرهای مستقل، روش سطح پاسخ (RSM) در قالب طرح مرکب مرکزی (CCD) برای پیش‌بینی تأثیر متغیرهای تولید پودر شامل دمای هوای ورودی خشک کن (۱۲۰، ۱۵۰ و ۱۸۰

مغناطیسی (مدل F60، شرکت فالک^۱، ساخت کشور ایتالیا) با سرعت ۸۰۰ دور در دقیقه برای مدت ۵ دقیقه در دمای اتاق (۲۵ درجه سانتی‌گراد) قرار داده شد. مخلوط به دست آمده با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه برای مدت ۵ دقیقه سانتریفوژ گردید. سپس ۲۵ میلی‌لیتر از سوپرناتانت^۲ به یک پتری دیش از قبل وزن شده انتقال یافت و در آن با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت قرار گرفت. میزان حلالیت بر اساس وزن سوپرناتانت خشک‌شده در برابر وزن پودر اولیه طبق معادله (۳) تعیین شد [۲۲].

معادله (۳)

۱۰۰ × وزن پودر اولیه (۵ گرم) / وزن سوپرناتانت خشک‌شده = درصد حلالیت

جذب رطوبت

جذب رطوبت نمونه‌های پودر بر طبق روش ارائه شده توسط کاپارینو (Caparino) و همکاران (۲۰۱۲) با اندکی تغییرات تعیین شد. ۱ گرم از نمونه پودر درون پتری دیش قرار داده شد. پتری دیش‌ها در دسیکاتور شیشه‌ای حاوی محلول اشیاع کلرید سدیم (رطوبت ۷۵/۵ درصد) قرار داده شد و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ روز نگهداری شد. جذب رطوبت بر حسب گرم رطوبت جذب‌شده در هر ۱۰۰ گرم مواد جامد خشک (۱۰۰ گرم/گرم) محاسبه شد [۲۳].

اندازه‌گیری رنگ

برای بررسی رنگ نمونه‌های پودر از روش پردازش تصویر استفاده شد. بدین منظور از یک اسکنر پوشانیده شده با پارچه کاملاً سیاه و ضخیم به منظور ایجاد محیطی کاملاً ایزوله جهت عکس‌برداری و جلوگیری از ایجاد خطا به دلیل تغییر مقدار نور محیط و زاویه تابش استفاده شد. ۱۰ گرم از نمونه به یک پتری دیش (با ارتفاع و قطر به ترتیب یک و نه سانتی متر) انتقال یافت و عکس‌برداری طبق روش گفته شده انجام شد. تصاویر با وضوح ۴۰۰ دی پی آی و با فرمت JPEG ذخیره شدند. پس از انتقال تصاویر به رایانه مقادیر L^* ، a^* و b^* نمونه‌ها با استفاده از نرم‌افزار Image J نسخه (۱/۴۷) استخراج گردید. شاخص کروما (نشانهگر شدت رنگ) طبق معادله (۴) محاسبه شد [۲۴].

1. Falk
2. Supernatant

3. Scanning Electron Microscope (SEM)

که دارای بیش‌ترین مقادیر این فاکتورها باشد دارای قدرت پیش‌بینی بالا و دقت بیشتری خواهد بود. آنالیز واریانس برای تعیین عدم برازش⁶ و معنی‌دار بودن اثرات خطی، درجه دوم و برهمکنش متغیرهای مستقل بر متغیرهای وابسته صورت گرفت. اگر مقدار P برای آزمون عدم برازش در ANOVA، بزرگ‌تر مساوی ۰/۰۵ باشد؛ به معنای کافی بودن مدل برای پیش‌بینی پاسخ مورد نظر می‌باشد.

۳-۱-۱- راندمان تولید پودر

بررسی نتایج آنالیز واریانس راندمان تولید پودر نشان داد که اثر سطوح پارامترهای عملیاتی دمای ورودی خشک‌کن و غلظت مالتودکسترین بر میزان راندمان تولید پودر در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار نبود. بیش‌ترین و کمترین مقدار راندمان به ترتیب مربوط به تیمارهای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد، ۵۰ درصد (وزنی/وزنی) و ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد، ۳۷/۵ درصد (وزنی/وزنی) بود. بیش‌ترین مقدار ضریب همبستگی و ضریب همبستگی تنظیم‌شده برای مدل دوفاکتوره و به ترتیب برابر ۵۰/۳ درصد و ۲۹ درصد بود. مقدار P برای آزمون عدم برازش، ۰/۴۱۷۸ بود. معادله (۵) اثرات متغیرهای مستقل دمای ورودی خشک‌کن و غلظت مالتودکسترین بر روی راندمان را نشان می‌دهد.

معادله (۵)

$$P = +135/45833 - 0/72756 \times T - 3/07827 \times MD + 0/023253 \times T \times MD$$

p: راندمان تولید پودر

T: دما

MD: غلظت مالتودکسترین

شکل ۱ اثر متغیرهای مورد بررسی را بر راندمان تولید پودر نشان می‌دهد. راندمان تولید یکی از شاخص‌های اصلی عملکرد خشک‌کن پاششی است. با افزایش دمای ورودی خشک‌کن راندمان تولید پودر افزایش یافت. با افزایش دمای هوای ورودی عملکرد خشک‌کردن به دلیل بازده بیشتر فرآیندهای انتقال حرارت و جرم و کاهش احتمالی برخورد ذرات خشک‌شده به

درجه سانتی‌گراد) و غلظت مالتودکسترین (۲۵، ۳۷/۵ و ۵۰ درصد وزنی/وزنی) بر مقدار لیکوپن، راندمان تولید پودر و خصوصیات فیزیکیوشیمیایی پودر تولیدی به‌کاربرده شد. تیمارها در ۱۱ آزمایش بر اساس طرح CCD شامل ۳ تکرار در نقطه مرکزی چیده شد (جدول ۱). آنالیز داده‌ها و رسم نمودارها، به کمک نرم‌افزارهای Design-Expert 7.0.0 و Microsoft Excel 2013 صورت پذیرفت.

The treatments designed by central composite Table 1 design

Treatment	Temperature (° C)	concentration of (w/w%) maltodextrin
1	150	37.5
2	150	25
3	150	50
4	180	37.5
5	120	37.5
6	180	50
7	120	25
8	150	37.5
9	120	50
10	180	25
11	150	37.5

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی اثرات متغیرها توسط روش سطح

پاسخ

آنالیز واریانس برای ارزیابی اثرات معنی‌دار متغیرهای فرآیند بر روی هر یک از پاسخ‌ها انجام شد. توابع پاسخ در مورد پارامترهای اندازه‌گیری شده با استفاده از مدل‌های مختلف (خطی^۱، دوفاکتوره^۲ و درجه دوم^۳) بر اساس ضریب همبستگی^۴ و ضریب همبستگی تنظیم‌شده^۵ مقایسه شدند. به صورتی که مدلی

1. Linear Model
2. 2 Factor Interaction (2fi) Model
3. Quadratic Model
4. R2
5. Adjusted R2

6. Lack Of Fit

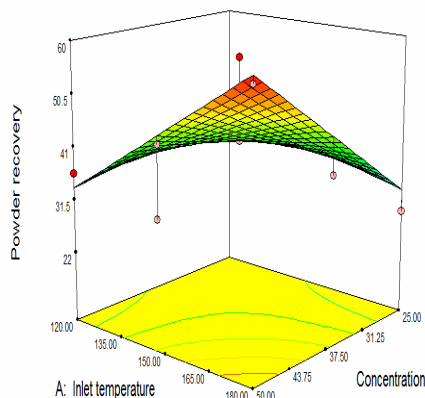


Fig 1 Three-dimensional graphs the effect of inlet temperature and maltodextrin concentration variables on the powder recovery

۳-۱-۲- رطوبت پودر

بررسی نتایج آنالیز واریانس مقدار رطوبت پودر نشان داد که اثر سطوح پارامترهای عملیاتی دمای ورودی خشک کن و غلظت مالتودکسترین بر مقدار رطوبت در سطح اطمینان ۹۵ درصد غیر معنادار بود. بیشترین و کمترین مقدار رطوبت به ترتیب مربوط به تیمارهای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد، ۲۵ درصد (وزنی/وزنی) و ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد، ۳۷/۵ درصد (وزنی/وزنی) بود. بیشترین مقدار ضریب همبستگی و ضریب همبستگی تنظیم‌شده برای مدل خطی و به ترتیب برابر ۴۴/۶۷ درصد و ۳۰/۸۴ درصد بود. مقدار P برای آزمون عدم برازش، برابر ۰/۱۱۹۰ بود. معادله (۶) اثرات متغیرهای مستقل دمای ورودی خشک کن و غلظت مالتودکسترین بر روی رطوبت را نشان می‌دهد.

(۶)

معادله

$$MC = +12 / 63030 - 0 / 034444 \times T - 0 / 093333 \times MD$$

MC: مقدار رطوبت

T: دما

MD: غلظت مالتودکسترین

شکل ۲ اثرات متغیرهای مورد بررسی را بر مقدار رطوبت پودر تولیدی نشان می‌دهد. مقدار رطوبت یک ویژگی ضروری برای تعیین پایداری و ذخیره‌سازی پودر است [۴۰]. واضح است که در دماهای پایین تر خشک کردن نسبت به دماهای بالاتر ناکامل تر است که این به دلیل کاهش سرعت انتقال حرارت و جرم

دیواره خشک کن زمانی که دمای هوای ورودی بالاست افزایش یافت [۱۷ و ۲۶]. با این حال پاپا داکیس (Papadakis) و همکاران (۲۰۰۶)، نشان دادند که با افزایش دمای هوای ورودی عملکرد فرآیند خشک کردن آب کشمش کاهش می‌یابد [۲۷]. این کاهش عملکرد به دلیل مشکلات چسبندگی و به این معنی است که دمای خشک کردن بالاتر از دمای انتقال شیشه‌ای آن است. نتایج مشابهی در افزایش راندمان پودر با افزایش دمای هوای ورودی توسط کای و کورک (Cai & Corke) (۲۰۰۰)، بانات (Banat) و همکاران (۲۰۰۲)، فضائی (Fazaeli) و همکاران (۲۰۱۲) و تونون (Tonon) و همکاران (۲۰۰۸) که به ترتیب بر روی پودر بتاسیانین آماراتوس^۱، رب گوجه‌فرنگی، آب توت سیاه و آکایی مطالعه نموده‌اند مشاهده شده گردید [۲۸-۳۰ و ۱۷]. همچنین راندمان پودر با افزایش غلظت حامل نیز افزایش یافت. این افزایش به دلیل کاهش چسبندگی و رسوبات ذرات پودر بر دیواره محفظه خشک کن است. یکی دیگر از عوامل ممکن است به دلیل افزایش برآیند دمای انتقال شیشه‌ای خوراکی با افزایش غلظت حامل باشد. دمای انتقال شیشه‌ای برای مالتودکسترین با دکستروز اکی والان ۲۰ نزدیک به ۱۴۱ درجه سانتی‌گراد، صمغ عربی ۲۳۲-۱۶۰ درجه سانتی‌گراد و پروتئین آب پنیر ۱۵۳ درجه سانتی‌گراد است [۳۱ و ۳۲]. نتایج مشابهی در افزایش راندمان پودر با افزایش غلظت حامل توسط پنگ (Peng) و همکاران (۲۰۱۳)، کاراسلان و دالگیک (Karaaslan & Dalgıç) (۲۰۱۲) و فونگچاندانگ و سرتواسانا (Phoungchandang & Sertwasana) (۲۰۱۰) که به ترتیب بر روی پودر آب لیمو، آرد سیب‌زمینی شیرین ارغوانی، عصاره شیرین‌بیان و آب زنجبیل کار کرده‌اند مشاهده شده است [۳۳-۳۵]. همچنین کوروزاوا (Kurozawa) و همکاران (۲۰۰۹) و شرستا (Shrestha) و همکاران (۲۰۰۷)، به ترتیب نتایج مشابهی با پودر هیدرولیز شده پروتئین گوشت مرغ و پودر آب پرتقال نشان دادند [۳۶ و ۳۷].

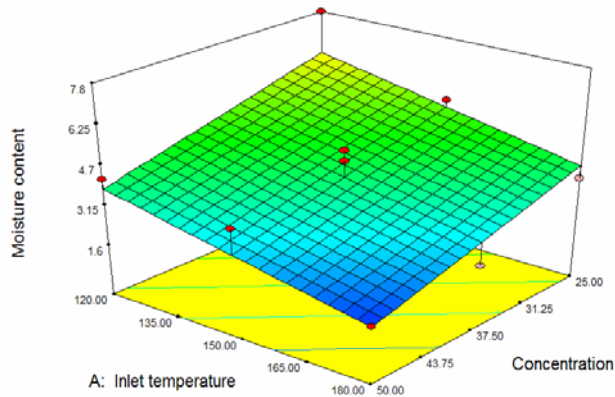


Fig 2 Three-dimensional graphs the effect of inlet temperature and maltodextrin concentration variables on the moisture content

۳-۱-۳- حلالیت پودر

بررسی نتایج آنالیز واریانس مقدار حلالیت پودر نشان داد که اثر سطوح پارامترهای عملیاتی دمای ورودی خشک کن و غلظت مالتودکسترین بر حلالیت پودر در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار بود. بیش‌ترین و کمترین مقدار حلالیت به ترتیب مربوط به تیمارهای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد، ۵۰ درصد (وزنی/وزنی) و ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد، ۲۵ درصد (وزنی/وزنی) بود. بیش‌ترین مقدار ضریب همبستگی و ضریب همبستگی تنظیم‌شده برای مدل خطی و به ترتیب برابر ۸۳/۷۸ درصد و ۷۹/۷۲ درصد بود. مقدار P برای آزمون عدم برازش، برابر ۰/۷۰۵۲ بود. معادله (۷) اثرات متغیرهای مستقل دمای ورودی خشک کن و غلظت مالتودکسترین بر روی حلالیت پودر را نشان می‌دهد.

معادله (۷)

$$S = +27/36848 + 0/017889 \times T + 0/15227 \times MD$$

S: حلالیت

T: دما

MD: غلظت مالتودکسترین

با توجه به شکل ۳ حلالیت پودرها با افزایش دمای ورودی افزایش می‌یابد؛ زیرا افزایش دما باعث افزایش اندازه ذرات شده و ذرات درشت راحت‌تر از ذرات ریز در آب حل می‌شوند، به عبارتی آب راحت‌تر در آن‌ها نفوذ می‌کند، اما ذرات ریز روی آب شناور باقی می‌مانند [۴۷].

است [۴۱]. همان‌طور که در شکل بالا ملاحظه می‌شود مقدار رطوبت پودر با افزایش دمای ورودی خشک کن کاهش می‌یابد. اختلاف حرارت زیاد بین میانگین خشک کردن و ذرات، نرخ انتقال حرارت به ذرات را بالا خواهد برد که یک نیروی محرکه‌ای را برای حذف رطوبت فراهم می‌کند. زمانی که خشک کردن توسط هوا انجام می‌شود دما یک نقش مهم ثانویه را ایفا می‌کند. این روند باید طی شود و رطوبت یک فضای اشباعی را در سطح ذرات ایجاد. این شرایط نرخ حذف آب را کند می‌کند. هوای داغ‌تر رطوبت بیشتری را قبل از رسیدن به حالت اشباع در خود نگه می‌دارد [۴۲]. نتایج مشابهی در کاهش رطوبت با افزایش دمای ورودی خشک کن توسط کوک (Quek) و همکاران (۲۰۰۷)، رتاییس و اولیویرا (Rattes & Oliveira) (۲۰۰۷) و گرابووسکی (Grabowski) و همکاران (۲۰۰۶) که به ترتیب بر روی پودر آب هندوانه، سدیم دیکلوفناک^۱ و سیب‌زمینی شیرین کار کرده‌اند مشاهده شده است [۴۳-۴۵]. با توجه به شکل ۲ با افزایش غلظت مالتودکسترین مقدار رطوبت کاهش می‌یابد. این کاهش ممکن است به این دلیل باشد که با افزایش غلظت حامل مقدار مواد جامد کل خوراک افزایش یافته که باعث کاهش رطوبت کل برای تبخیر می‌شود. نتایج مشابهی توسط کوروزاوا (Kurozawa) و همکاران (۲۰۰۹)، فضائلی (Fazaeli) و همکاران (۲۰۱۲) و خا (Kha) و همکاران (۲۰۱۰) که به ترتیب با پودر هیدرولیز شده گوشت، پودر آب توت سیاه و پودر دانه گاک^۲ کار کرده‌اند مشاهده شده است [۳۰ و ۳۶ و ۴۶]. اما گولا و آداموپولوس (Adamopoulos & Goula) (۲۰۱۰)، نشان دادند که با افزایش غلظت مالتودکسترین، رطوبت پودر آب پرتقال افزایش می‌یابد. دلیل آن‌ها بر این بود که برای مولکول‌های آب بسیار دشوار است که از مولکول‌های بزرگ مالتودکسترین عبور کنند و خارج شوند [۴۲].

¹ Sodium Diclofenac

² Gac

(وزنی/وزنی) و ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد، ۵۰ درصد (وزنی/وزنی) بود. بیش‌ترین مقدار ضریب همبستگی و ضریب همبستگی تنظیم‌شده برای مدل دوفاکتوره و به ترتیب برابر ۱۲/۸۸ درصد، ۱۲/۴۵-درصد بود. مقدار P برای آزمون عدم برازش، برابر ۰/۲۵۹۵ بود. معادله (۸) اثرات متغیرهای مستقل دمای ورودی خشک کن و غلظت مالتودکسترین بر روی جذب رطوبت پودر را نشان می‌دهد.

معادله (۸)

$$H = +31/59712 - 0/028611 \times T - 0/094933 \times MD + 3/7333 \times 10^4 \times T \times MD$$

H: جذب رطوبت

T: دما

MD: غلظت مالتودکسترین

قابلیت جذب رطوبت توانایی یک ماده به جذب رطوبت در محیط با رطوبت نسبی بالا تعریف می‌شود. به طور کلی پودر با جذب رطوبت پایین، مقدار رطوبت، درجه کیک شدن و حلالیت بالا به عنوان یک پودر مطلوب در نظر گرفته می‌شود [۵۲].

با توجه به شکل ۴ جذب رطوبت پودرها با افزایش غلظت مالتودکسترین کاهش می‌یابد. مقادیر جذب رطوبت در بیشتر پودرهای آب میوه‌جات خشک‌شده با خشک کن پاششی به هم نزدیک‌اند. این مقادیر به ترتیب برای پودر آب میوه آمل و پودر آب گلابی که با خشک کن پاششی خشک‌شده‌اند برابر ۴۶/۰۳ تا ۵۶/۳۲ درصد و ۳۶/۳۰ تا ۴۸/۹۳ درصد است [۵۳ و ۵۴].

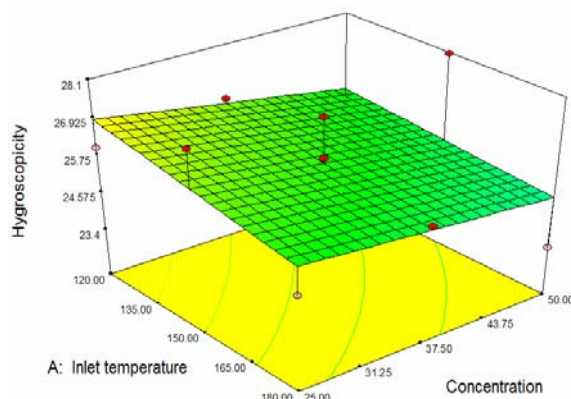


Fig 4 Three-dimensional graphs the effect of inlet temperature and maltodextrin concentration variables on the hygroscopicity

مقادیر حلالیت به دست آمده در این پژوهش در مقایسه با پودر آب آناناس که در حدود ۸۱/۵۶ درصد بود بسیار کمتر است [۴۸]. البته سوسا (de Sousa) و همکاران (۲۰۰۸)، مقدار حلالیت پودر گوجه‌فرنگی را ۱۷/۶۵ تا ۲۶/۷۳ درصد به دست آوردند [۴۹]؛ بنابراین، این مقادیر کم حلالیت پودر گوجه‌فرنگی به دلیل مقادیر پایین قند در مقایسه با بیشتر آب میوه‌ها است و همچنین به علت وجود کاروتنوئیدها که ترکیبات هیدروفوبی هستند. حلالیت عکس مقدار رطوبت است به طوری که پودرهای دارای کمترین مقدار رطوبت دارای بیش‌ترین میزان حلالیت هستند [۲۷]. نتایج مشابهی توسط آل اشه (Al-Asheh) و همکاران (۲۰۰۳) و گولا و آداموپولوس (Goula & Adamopoulos) (۲۰۰۵) که بر روی پودر گوجه‌فرنگی کار کرده‌اند مشاهده شده است [۵۰ و ۵۱].

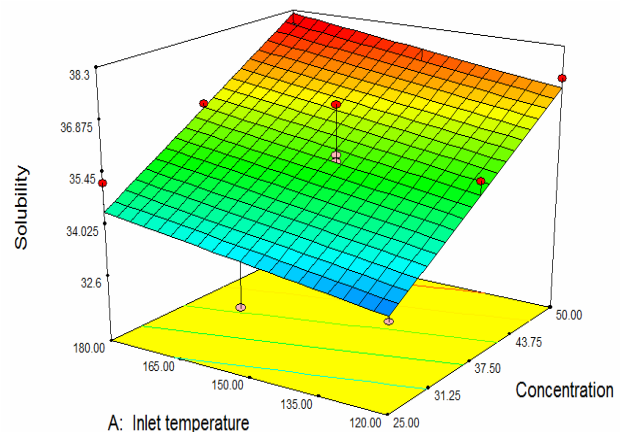


Fig 3 Three-dimensional graphs the effect of inlet temperature and maltodextrin concentration variables on the solubility

با افزایش غلظت مالتودکسترین، میزان حلالیت نیز افزایش می‌یابد. این افزایش به علت حلالیت بالای حامل در آب است و عمدتاً از مالتودکسترین به علت حلالیت بالای آن در آب در خشک کردن پاششی مواد غذایی به عنوان حامل استفاده می‌شود [۲۲ و ۴۵].

۳-۱-۴- جذب رطوبت پودر

بررسی نتایج آنالیز واریانس مقدار جذب رطوبت پودر نشان داد که اثر سطوح پارامترهای عملیاتی دمای ورودی خشک کن و غلظت مالتودکسترین بر جذب رطوبت در سطح اطمینان ۹۵ درصد غیر معنی‌دار بود. بیش‌ترین و کمترین مقدار جذب رطوبت مربوط به تیمارهای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد، ۵۰ درصد

$$L^* = +64/42652 - 0/094889 \times T + 0/37000 \times MD \quad (9)$$

L^* : پارامتر رنگی

T: دما

MD: غلظت مالتودکسترین

رنگ یکی از مهم‌ترین خصوصیات کیفی است و آن را به عنوان نشان‌دهنده جذابیت های حسی و کیفیت پودرها می‌دانند [۴۳] و [۵۸]. شکل ۵ نشان می‌دهد که L^* پودرها با افزایش در مقدار مالتودکسترین افزایش می‌یابد. این افزایش ممکن است به دلیل خاصیت ذاتی رنگ و افزایش در مقدار مالتودکسترین باشد. نتایج مشابهی به ترتیب توسط خا (Kha) و همکاران (۲۰۱۲)، تز (Tze) و همکاران (۲۰۱۲) و فضائی (Fazaeli) و همکاران (۲۰۱۳) که با پودر دانه گک^۱، پودر آب میوه پیتایا^۲ و پودر آب شاتوت سیاه کارکرده‌اند مشاهده شده است [۳۰ و ۴۶ و ۵۹].

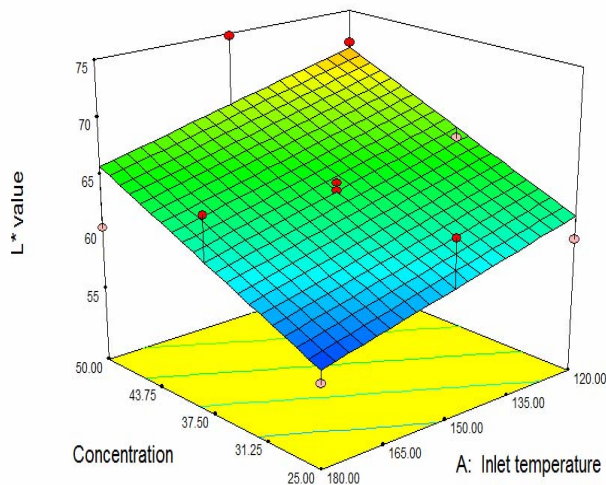


Fig 5 Three-dimensional graphs the effect of inlet temperature and maltodextrin concentration variables on the L^* value

شکل ۵ نشان می‌دهد که با افزایش دمای ورودی خشک‌کن L^* پودرها کاهش می‌یابد. این کاهش به دلیل باقی ماندن پودرها به مدت طولانی بر دیواره محفظه خشک‌کن در دمای بالا می‌باشد. این نتایج با نتایج سوسا (de Sousa) و همکاران (۲۰۰۸) که بر

جذب رطوبت پودرهای غذایی دارای شکر بالا به دمای انتقال شیشه‌ای آن‌ها مربوط می‌شود [۵۵]. با بالا رفتن مقدار دمای انتقال شیشه‌ای پودر، قابلیت جذب رطوبت آن کم می‌شود؛ بنابراین افزایش در مقدار حامل‌ها ممکن است سبب افزایش دمای انتقال شیشه‌ای و در نتیجه کاهش جذب رطوبت پودرها در هر سطحی شود. علاوه بر این، مالتودکسترین، صمغ عربی و پروتئین آب پنیر به دلیل وزن مولکولی بالا جذب رطوبت کمی دارند، در نتیجه جذب رطوبت پودر نهایی کم می‌شود. نتایج مشابهی توسط گالو (Gallo) و همکاران (۲۰۱۱)، تونون (Tonon) و همکاران (۲۰۰۸) و کای و کرک (Cai & Corke) (۲۰۰۰) که به ترتیب با عصاره راموس پورشیانا^۱، آب میوه آکایی و بتاسیانین آماراتوس کارکرده‌اند مشاهده شده است [۱۷ و ۲۸ و ۵۶].

با توجه به شکل ۴ جذب رطوبت پودرها با افزایش دمای ورودی خشک‌کن کاهش می‌یابد. افزایش در دمای هوای ورودی منجر به افزایش در دمای انتقال شیشه‌ای شده و در نتیجه جذب رطوبت کاهش می‌یابد [۴۲]. این نتایج با گزارش‌های سایر محققان مطابقت دارد [۵۷ و ۵۸].

۳-۱-۵- پارامتر رنگی L^*

بررسی نتایج آنالیز واریانس پارامتر رنگی L^* پودر نشان داد که اثر سطوح پارامترهای عملیاتی دمای ورودی خشک‌کن و غلظت مالتودکسترین بر L^* پودر در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار بود. بیش‌ترین و کمترین L^* مربوط به تیمارهای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد، ۵۰ درصد (وزنی/وزنی) و ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد، ۲۵ درصد (وزنی/وزنی) بود. بیش‌ترین مقدار ضریب همبستگی و ضریب همبستگی تنظیم‌شده برای مدل خطی و به ترتیب برابر ۵۵/۳۳ درصد، ۴۴/۱۷ درصد بود. مقدار P برای آزمون عدم برازش، برابر ۰/۴۶۸۶ بود. معادله (۹) اثرات متغیرهای مستقل دمای ورودی خشک‌کن و غلظت مالتودکسترین بر روی L^* پودر را نشان می‌دهد.

2. Gac
3. Pitaya

1. Rhamnus Purshiana

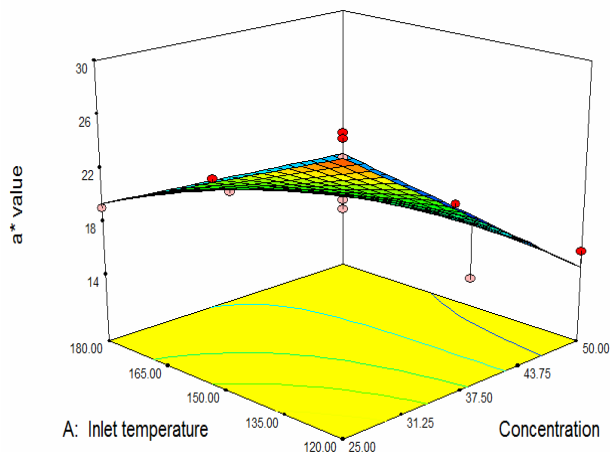


Fig 6 Three-dimensional graphs the effect of inlet temperature and maltodextrin concentration variables on the a* value

۳-۱-۷- پارامتر رنگی chroma*

بررسی نتایج آنالیز واریانس chroma* پودر نشان داد که اثر سطوح پارامترهای عملیاتی دمای ورودی خشک کن و غلظت مالتودکسترین بر chroma* پودر در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی دار بود. بیشترین و کمترین chroma* پودر مربوط به تیمارهای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد، ۲۵ درصد (وزنی/وزنی) و ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد، ۵۰ درصد (وزنی/وزنی) بود. بیشترین مقدار ضریب همبستگی و ضریب همبستگی تنظیم‌شده برای مدل دوفاکتوره و به ترتیب برابر ۸۰/۳ درصد و ۷۱/۸۵ درصد بود. مقدار P برای آزمون عدم برازش، برابر ۰/۹۱۰۸ بود. معادله (۱۱) اثرات متغیرهای مستقل دمای ورودی خشک کن و غلظت مالتودکسترین بر روی chroma* پودر را نشان می‌دهد.

معادله ۱۱

$$chroma^* = +148/51235 - 0/53869 \times T - 2/52713 \times MD + 0/013553 \times T \times MD$$

chroma*: پارامتر رنگی

T: دما

MD: غلظت مالتودکسترین

محور گسترش رنگ (خالص یا اشباع) از مقدار (روشنایی) به سمت محور رنگ^۱ خالص است [۶۱]. شدت رنگ یا کروما شدت یا اشباعیت رنگ را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۸

روی پودر گوجه‌فرنگی کارکرده‌اند همخوانی دارد [۵۱]. مقادیر L* شی (Shi) و همکاران (۱۹۹۹) و سوسا و همکاران (۲۰۰۸) که به ترتیب بر روی گوجه‌فرنگی خشک‌شده و پودر گوجه‌فرنگی کارکرده‌اند برابر ۳۸ تا ۴۰ و ۳۷/۵۶ تا ۷۸/۷۶ بود که نسبت به مقادیر ما در این پژوهش کمتر است [۴۹ و ۵۰].

۳-۱-۶- پارامتر رنگی a*

بررسی نتایج آنالیز واریانس پارامتر رنگی a* پودر نشان داد که اثر سطوح پارامترهای عملیاتی دمای ورودی خشک کن و غلظت مالتودکسترین بر a* پودر در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی دار بود. بیشترین و کمترین میزان روشنایی مربوط به تیمارهای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد، ۲۵ درصد (وزنی/وزنی) و ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد، ۵۰ درصد (وزنی/وزنی) بود. بیشترین مقدار ضریب همبستگی و ضریب همبستگی تنظیم‌شده برای مدل دوفاکتوره و به ترتیب برابر ۷۲/۰۹ درصد، ۶۰/۱۳ درصد بود. مقدار P برای آزمون عدم برازش، برابر ۰/۷۲۶۸ بود. معادله (۱۰) اثرات متغیرهای مستقل دمای ورودی خشک کن و غلظت مالتودکسترین بر روی a* پودر را نشان می‌دهد.

معادله ۱۰

$$a^* = +82/17136 - 0/34183 \times T - 1/50160 \times MD + 8/08000 \times 10^3 \times T \times MD$$

a*: پارامتر رنگی

T: دما

MD: غلظت مالتودکسترین

با توجه به شکل ۶ مشاهده می‌شود که با افزایش غلظت مالتودکسترین a* پودر کاهش می‌یابد که این امر به دلیل رنگ ذاتی مالتودکسترین می‌باشد و طبیعی است که با افزایش مقدار آن‌ها و کاهش میزان رب در خوراک ورودی به خشک کن پاششی از a* آن کاسته شود. از سویی دیگر با افزایش دما a* پودرها کاهش می‌یابد.

^۱ Hue

اثرات متغیرهای مستقل دمای ورودی خشک کن و غلظت مالتودکسترین بر روی مقدار لیکوپن پودر را نشان می‌دهد.

$$Lycopene = -1487/6236 + 15/57467 \times T + 105/59787 \times MD - 0/62037 \times T \times MD$$

Lycopene: مقدار لیکوپن پودر

T: دما

MD: غلظت مالتودکسترین

با توجه به شکل ۸ مقدار لیکوپن پودر تولیدی با افزایش غلظت مالتودکسترین، افزایش و با افزایش دمای هوای ورودی خشک کن کاهش می‌یابد. مقدار لیکوپن در رب گوجه‌فرنگی با بریکس ۳۸۵۸/۵۱ میکروگرم بر گرم مواد جامد کل بود، درحالی‌که در پودر رب گوجه‌فرنگی تولیدشده با مالتودکسترین از ۱۰۰۵/۱۵ تا ۱۹۵۶/۳۹ میکروگرم بر گرم مواد جامد کل متغیر بود. مقادیر کاهش لیکوپن متناسب با افزایش دمای هوای ورودی بود.

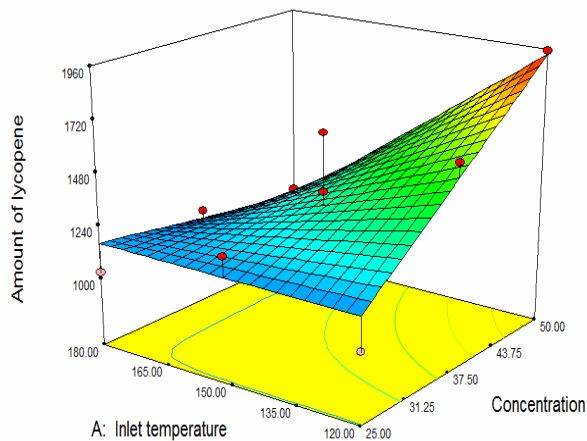


Fig 8 Three-dimensional graphs the effect of inlet temperature and maltodextrin concentration variables on the amount of lycopene

میزان واکنش تخریب در مواد غذایی طی خشک کردن عمدتاً توسط دما کنترل می‌شود. برای تمام انواع واکنش، ثابت سرعت تابعی از دما است چون توسط انرژی فعال‌سازی کنترل می‌شود. سرعت تخریب نه تنها تحت تأثیر دما است بلکه توسط رطوبت و در نتیجه فعالیت آبی مواد غذایی، نور و اکسیژن محلول کنترل می‌شود. عموماً مقادیر ثابت سرعت واکنش های تخریب تحت خلأ و در محیط تاریک کمترین و در معرض هوا و نور بیش‌ترین

شدت رنگ با افزایش در مقدار مالتودکسترین، کاهش می‌یابد که نتیجه آن کاهش در خلوص رنگ پودر است. نتایج مشابهی توسط کاپارینو (Caparino) همکاران (۲۰۱۲) و خا (Kha) و همکاران (۲۰۱۰) که به ترتیب بر روی پودر آب انبه و پودر دانه گگ کار کرده‌اند مشاهده شده است [۲۳ و ۴۶].

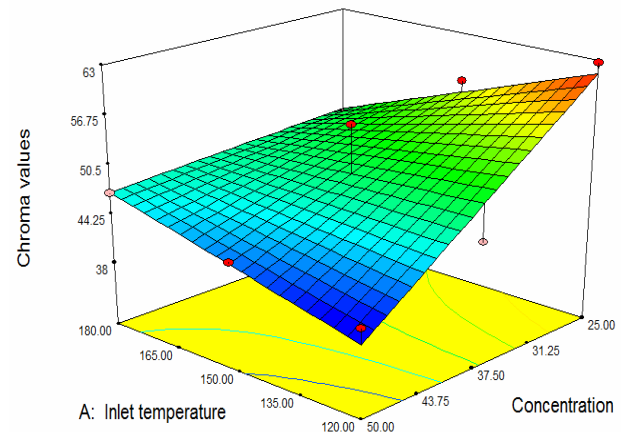


Fig 7 Three-dimensional graphs the effect of inlet temperature and maltodextrin concentration variables on the chroma value

با توجه به شکل ۷ با افزایش دمای ورودی خشک کن شدت رنگ افزایش می‌یابد که این بدان معناست که پودرهای تولیدشده در دماهای بالاتر تیره‌تر می‌شوند. این تیره شدن به دلیل قندهای موجود در رب گوجه‌فرنگی است که در دماهای بالا به قهوه‌ای شدن پودر کمک می‌کند [۴۳]. نتایج مشابهی توسط کوک (Quek) و همکاران (۲۰۰۷) که بر روی پودر آب هندوانه مطالعه نموده‌اند مشاهده شد. [۴۳].

۳-۱-۸- مقدار لیکوپن پودر

بررسی نتایج آنالیز واریانس مقدار لیکوپن پودر نشان داد که اثر سطوح پارامترهای عملیاتی دمای ورودی خشک کن و غلظت مالتودکسترین بر مقدار لیکوپن پودر در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار بود. بیش‌ترین و کمترین مقدار لیکوپن به ترتیب مربوط به تیمارهای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد، ۵۰ درصد (وزنی/وزنی) و ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد، ۲۵ درصد (وزنی/وزنی) بود. بیش‌ترین مقدار ضریب همبستگی و ضریب همبستگی تنظیم‌شده برای مدل دوفاکتوره و به ترتیب برابر ۷۵/۶۷ درصد و ۶۵/۲۴ درصد بود. مقدار P برای آزمون عدم برازش، برابر ۰/۵۹۸۸ بود. معادله (۱۲)

گولا و آداموپولوس (Goula & Adamopoulos) (۲۰۰۵a) که به ترتیب بر روی خشک کردن قطعه‌های گوجه‌فرنگی، آب گوجه‌فرنگی، پالپ گوجه‌فرنگی، نمونه‌های گوجه‌فرنگی، محصولات گوجه‌فرنگی و پودر گوجه‌فرنگی کار کرده‌اند مشاهده شده است [۹ و ۵۱ و ۶۴ و ۶۹-۷۱]. با افزایش غلظت مالتودکسترین طبیعی است که به دلیل نقش محافظتی و تشکیل دیواره در اطراف لیکوپن درصد تخریب لیکوپن کاهش یابد.

۳-۱-۱ - ۳-۱-۳ - ساختار و شکل پودر

در طول چند دهه گذشته با توجه به اینکه تعداد زیادی از پدیده‌های مهم کنترل خواص پودرها در زیر مقیاس ۱۰۰ میکرون اتفاق می‌افتد ساختار ریز پودرها به طور گسترده مطالعه شده است [۷۲].

شکل ۹ (الف، ب، ج) تصاویر پودرهای رب گوجه‌فرنگی گرفته شده توسط میکروسکوپ الکترونی با مالتودکسترین ۲۵ درصد در دماهای مختلف را با بزرگنمایی $\times 1000$ نشان می‌دهد.

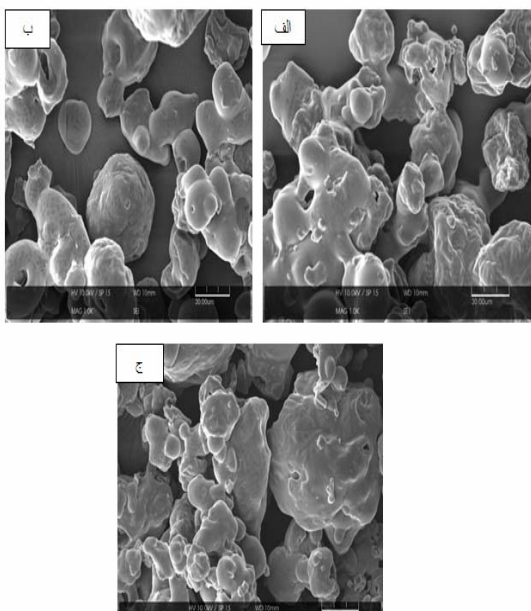


Fig 9 SEM images of powder, a: carrier agent concentration of 25% and inlet temperature of 120 °C, b: carrier agent concentration of 25% and inlet temperature of 150 °C, c: carrier agent concentration of 25% and inlet temperature of 180 °C

هستند و این تأییدکننده اثرات سوء نور و اکسیژن است [۹]. اثر فعالیت آبی مهم اما به اندازه کافی قابل درک است. به طور کلی، واکنش‌های شیمیایی کندتر می‌شوند چون فعالیت آبی کاهش می‌یابد [۶۲]. همان طور که در طی خشک کردن محصول دما افزایش، درحالی‌که فعالیت آبی کاهش می‌یابد، ثابت سرعت ممکن است ابتدا زمانی که اثر دما غالب است افزایش یابد، درحالی‌که ممکن است بعداً در زمانی که اثر کاهش فعالیت آبی فاکتور غالب می‌شود کاهش یابد [۶۳].

تخریب لیکوپن در محصولات گوجه‌فرنگی طی تیمارهای حرارتی به حضور اکسیژن، نور، مقدار رطوبت و درجه حرارت محصول وابسته است و میزان این وابستگی به شدت تحت تأثیر شکل محصول است [۸].

علت اصلی تخریب لیکوپن ایزومریزاسیون^۱ و اکسیداسیون^۲ است. پیشنهاد شده است که مرحله اول تخریب برگشت‌پذیر بوده و ایزومریزاسیون لیکوپن تمام ترانس^۳ به کمرنگی و اکسیداسیون ایزومرهای سیس^۴ رخ می‌دهد [۶۴].

خود اکسایش^۵ لیکوپن تمام ترانس و ایزومرهای سیس به صورت ایزومریزاسیون موازی ترانس به سیس اتفاق می‌افتد و سبب جدایی مولکول‌های لیکوپن از هم و تبدیل آن به قطعه‌های کوچک از قبیل کتون‌ها^۶ و آلدئیدهای^۷ فرار بدون طعم می‌شود [۶۵ و ۶۶]. فاکتورهای محیطی از قبیل هوا، نور و دما ممکن است برای ایزومریزاسیون و اکسیداسیون لیکوپن محصولات گوجه‌فرنگی باشد [۶۷].

شو (Shu) همکاران (۲۰۰۶)، بیان کردند که کاهش مقدار لیکوپن حالتی است که دمای ورودی بالا می‌تواند تعادل بین سرعت تشکیل ذرات و تبخیر را بر هم بزند [۶۸].

نتایج مشابهی توسط زانونی (Zanoni) و همکاران (۱۹۹۹)، میکی و آکاتسو (Miki & Akatsu) (۱۹۷۰)، کول و کاپور (Sharma & Le) (& Kapur Cole) (۱۹۵۷)، شرما و ماگوئر (Maguer) (۱۹۹۶)، بوسکوویچ (BOŠKOVIĆ) (۱۹۷۹) و

- 1 Isomerization
- 2 Oxidation
- 3 All-Trans-Lycopene
- 4 Cis Isomers
- 5 Autoxidation
- 6 Ketones
- 7 Aldehydes

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش تولید پودر رب گوجه‌فرنگی با استفاده از خشک‌کن پاششی نیمه‌صنعتی باهدف بیش‌ترین راندمان تولید و حداقل تغییر در خصوصیات فیزیکی‌شیمیایی و مقدار لیکوپن آن با در نظر گرفتن صرفه اقتصادی انجام گرفت. اثرات پارامترهای عملیاتی دمای ورودی خشک‌کن و غلظت مالتودکسترین بر میزان راندمان، مقدار لیکوپن و خصوصیات فیزیکی‌شیمیایی پودر تولیدی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آنالیزها نشان داد که با افزایش دمای هوای ورودی راندمان تولید، شدت رنگ، حلالیت، تعداد ذرات، چروکیدگی و ترک‌خوردگی پودر افزایش و مقدار رطوبت، مقدار لیکوپن و جذب رطوبت کاهش پیدا کرد. از طرفی با افزایش غلظت راندمان تولید، مقدار لیکوپن، حلالیت، افزایش و شدت رنگ، مقدار رطوبت و جذب رطوبت کاهش پیدا کرد. شرایط بهینه عملیات در دمای ورودی ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد و غلظت مالتودکسترین ۳۷/۵ درصد (وزنی/وزنی) حصول گردید.

۵- منابع

- [1] Mujumdar, A. S. (Ed). (1987). *Advances in drying* (Vol. 2). CRC Press.
- [2] Hayashi, T. (1989). Xyloglucans in the primary cell wall. *Annual review of plant biology*, 40(1), 139-168.
- [3] Maltini, E., Torreggiani, D., & Bertolo, G. (1984). Nuove tecniche per la valorizzazione delle percoche. La deidrocongelazione e la concentrazione osmotica. *Atti dell'Istituto Sperimentale per la Valorizzazione Tecnologica dei Prodotti Agricoli, Milano*.
- [4] Sagar, V. R., & Kumar, P. S. (2010). Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 47(1), 15-26.
- [5] Perkins Veazie, P., Collins, J. K., Pair, S. D., & Roberts, W. (2001). Lycopene content differs among red-fleshed watermelon cultivars. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(10), 983-987.
- [6] Perkins-Veazie, P., & Collins, J. K. (2004). Flesh quality and lycopene stability of fresh-cut watermelon. *Postharvest Biology and Technology*, 31(2), 159-166.

با توجه به شکل‌ها مشاهده شد که تعداد ذرات در یک مقدار معین پودر با افزایش در دمای ورودی افزایش یافت. نتایج مشابهی توسط تونون (Tonon) و همکاران (۲۰۰۸)، گزارش شده است [۱۷]. پودرهایی که در دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد تولید شده‌اند دارای سطح صاف‌تر و شکل‌های کروی بیشتری هستند. نتایج مشابهی توسط سالوا (Solval) و همکاران (۲۰۱۲) که بر روی پودر آب‌طالبی کار کرده‌اند مشاهده شده است [۱۹]. چروکیدگی بالایی در پودرهایی که در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد تولید شده بودند مشاهده شد. این اتفاق ممکن است در ارتباط با انتقال رطوبت در طی دوره کاهش سرعت باشد [۴۷]. در سرعت ثابت، سرعت نفوذ آب از داخل به سطح ذره برابر سرعت تبخیر سطح است. زمانی که قطرات به مقدار رطوبت بحرانی می‌رسند، یک پوسته خشکی در سطح ماده غذایی ایجاد شده و سرعت خشک‌کردن به سرعت کاهش می‌یابد. این ذرات تمایل به متورم شدن دارند و زمانی که تبخیر در دماهای بالا طی دوره کاهش سرعت اتفاق می‌افتد می‌شکنند [۷۳-۷۵].

آبن (Obón) و همکاران (۲۰۰۹) و کریشنان (Krishnan) و همکاران (۲۰۰۵)، گزارش کردند که پودرهای آب‌میوه‌ها در دمای ۱۸۰ و ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد یک پوسته چروکیده دارند [۷۶ و ۷۷].

۳-۲- بهینه‌سازی

شرایط بهینه تولید پودر رب گوجه‌فرنگی توسط خشک‌کن پاششی برای دستیابی به حداقل رطوبت، جذب رطوبت و حداکثر راندمان تولید، مقدار لیکوپن، حلالیت و پارامترهای رنگی L^* ، a^* ، $chroma^*$ مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق محدوده دمای ورودی (۱۸۰-۱۲۰ درجه سانتی‌گراد) و غلظت مالتودکسترین (۵۰ - ۲۵ درصد) انتخاب شدند. در نقطه بهینه دمای هوای ورودی ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد و غلظت حامل ۳۷/۵ درصد بود. در این نقطه راندمان تولید، مقدار رطوبت، جذب رطوبت، حلالیت، مقدار لیکوپن و پارامترهای رنگی L^* ، a^* ، $chroma^*$ پودر به ترتیب برابر ۳۷/۵۳ درصد، ۵/۰۳ درصد، ۲۶/۳۱ درصد، ۳۵/۱۳ درصد، ۱۵۳۰/۷۲ میکروگرم بر گرم و ۶۶/۶۹، ۲۱/۵۲، ۵۰/۶۳ بودند.

- spray drying. *Journal of Food Engineering*, 88(3), 411-418.
- [18] Marques, G. R., Borges, S. V., de Mendonça, K. S., de Barros Fernandes, R. V., & Menezes, E. G. T. (2014). Application of maltodextrin in green corn extract powder production. *Powder Technology*, 263, 89-95.
- [19] Solval, K. M., Sundararajan, S., Alfaro, L., & Sathivel, S. (2012). Development of cantaloupe (*Cucumis melo*) juice powders using spray drying technology. *LWT-Food Science and Technology*, 46(1), 287-293.
- [20] Kaushik, V., & Roos, Y. H. (2007). Limonene encapsulation in freeze-drying of gum Arabic-sucrose-gelatin systems. *LWT-Food Science and Technology*, 40(8), 1381-1391.
- [21] AOAC International, (2005). Official Methods of Analysis of AOAC. AOAC International, Gaithersberg, MD
- [22] Cano-Chauca, M., Stringheta, P. C., Ramos, A. M., & 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(4), 420-428.
- [23] Caparino, O. A., Tang, J., Nindo, C. I., Sablani, S. S., Powers, J. R., & Fellman, J. K. (2012). Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine 'Carabao' var.) powder. *Journal of Food Engineering*, 111(1), 135-148.
- [24] Bhusari, S. N., Muzaffar, K., & Kumar, P. (2014). Effect of carrier agents on physical and microstructural properties of spray dried tamarind pulp powder. *Powder Technology*, 266, 354-364.
- [25] Gould, W. A., & Gould, R. W. (1988). Physical evaluation of color. *Total quality assurance for the food industries*, CTI Publications, Maryland, Baltimore, 231-233.
- [26] Goula, A. M., & Adamopoulos, K. G. (2005b). Stability of lycopene during spray drying of tomato pulp. *LWT-Food Science and Technology*, 38(5), 479-487.
- [27] Papadakis, S. E., Gardeli, C., & Tzia, C. (2006). Spray drying of raisin juice concentrate. *Drying Technology*, 24(2), 173-180.
- [7] Fuhrman, B., Volkova, N., Rosenblat, M., & Aviram, M. (2000). Lycopene synergistically inhibits LDL oxidation in combination with vitamin E, glabridin, rosmarinic acid, carnosic acid, or garlic. *Antioxidants and Redox Signaling*, 2(3), 491-506.
- [8] Goula, A. M., Adamopoulos, K. G., Chatzitakis, P. C., & Nikas, V. A. (2006). Prediction of lycopene degradation during a drying process of tomato pulp. *Journal of Food Engineering*, 74(1), 37-46.
- [9] Sharma, S. K., & Le Maguer, M. (1996). Kinetics of lycopene degradation in tomato pulp solids under different processing and storage conditions. *Food Research International*, 29(3), 309-315.
- [10] Greensmith, M. (1998). *Practical dehydration*. Woodhead Publishing.
- [11] Bhandari, B. R., Datta, N., & Howes, T. (1997). Problems associated with spray drying of sugar-rich foods. *Drying technology*, 15(2), 671-684.
- [12] Jayasundera, M., Adhikari, B., Aldred, P., & Ghandi, A. (2009). Surface modification of spray dried food and emulsion powders with surface-active proteins: a review. *Journal of Food Engineering*, 93(3), 266-277.
- [13] Goula, A. M., Adamopoulos, K. G., & Kazakis, N. A. (2004). Influence of spray drying conditions on tomato powder properties. *Drying Technology*, 22(5), 1129-1151.
- [14] López-Rubio, A., & Lagaron, J. M. (2011). Improved incorporation and stabilisation of β -carotene in hydrocolloids using glycerol. *Food chemistry*, 125(3), 997-1004.
- [15] Xie, Y. L., Zhou, H. M., Liang, X. H., He, B. S., & Han, X. X. (2010). Study on the morphology, particle size and thermal properties of vitamin A microencapsulated by starch octenylsuccinate. *Agricultural Sciences in China*, 9(7), 1058-1064.
- [16] Erbay, Z., Koca, N., Kaymak-Ertekin, F., & Ucuncu, M. (2015). Optimization of spray drying process in cheese powder production. *Food and Bioproducts Processing*, 93, 156-165.
- [17] Tonon, R. V., Brabet, C., & Hubinger, M. D. (2008). Influence of process conditions on the physicochemical properties of acai (*Euterpe oleracea* Mart.) powder produced by

- [38] Fang, Z., & Bhandari, B. (2012). Comparing the efficiency of protein and maltodextrin on spray drying of bayberry juice. *Food Research International*, 48(2), 478-483.
- [39] Adhikari, B., Howes, T., Bhandari, B. R., & Troung, 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(1), 53-68.
- [40] Phisut, N. (2012). Spray drying technique of fruit juice powder: some factors influencing the properties of product. *International Food Research Journal*, 19(4), 1297-1306.
- [41] JU, C., Stout, L. E., & Busche, R. M. (1951). Spray drying of santomerse. *Chemical Engineering Progress*, 47(1), 29-38.
- [42] Goula, A. M., & Adamopoulos, K. G. (2010). A new technique for spray drying orange juice concentrate. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 11(2), 342-351.
- [43] Quek, S. Y., Chok, N. K., & Swedlund, P. (2007). The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 46(5), 386-392.
- [44] Rattes, A. L. R., & Oliveira, W. P. (2007). Spray drying conditions and encapsulating composition effects on formation and properties of sodium diclofenac microparticles. *Powder Technology*, 171(1), 7-14.
- [45] Grabowski, J. A., Truong, V. D., & Daubert, C. R. (2006). Spray Drying of Amylase Hydrolyzed Sweetpotato Puree and Physicochemical Properties of Powder. *Journal of food science*, 71(5), E209-E217.
- [46] Kha, T. C., Nguyen, M. H., & Roach, P. D. (2011). Effects of pre-treatments and air drying temperatures on colour and antioxidant properties of Gac fruit powder. *International Journal of Food Engineering*, 7(3).
- [47] Walton, D. E. (2000). The morphology of spray-dried particles a qualitative view. *Drying Technology*, 18(9), 1943-1986.
- [48] Abadio, F. D. B., Domingues, A. M., Borges, S. V., & Oliveira, V. M. (2004). Physical properties of powdered pineapple (Ananas comosus) juice—effect of malt
- [28] Cai, Y. Z., & Corke, H. (2000). Production and properties of spray-dried Amaranthus betacyanin pigments. *JOURNAL OF FOOD SCIENCE-CHICAGO-*, 65(7), 1248-1252.
- [29] Banat, F., Jumah, R., Al-Asheh, S., & Hammad, S. (2002). Effect of operating parameters on the spray drying of tomato paste. *Engineering in life sciences*, 2(12), 403-407.
- [30] Fazaeli, M., Emam-Djomeh, Z., Ashtari, A. K., & Omid, M. (2012). Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. *Food and bioproducts processing*, 90(4), 667-675.
- [31] Boonyai, P., Bhandari, B., & Howes, T. (2004). Stickiness measurement techniques for food powders: a review. *Powder Technology*, 145(1), 34-46.
- [32] Nurhadi, B., Andoyo, R., & Indiarito, R. (2012). Study the properties of honey powder produced from spray drying and vacuum drying method. *International Food Research Journal*, 19(3), 907-912.
- [33] Peng, Z., Li, J., Guan, Y., & Zhao, G. (2013). Effect of carriers on physicochemical properties, antioxidant activities and biological components of spray-dried purple sweet potato flours. *LWT-Food Science and Technology*, 51(1), 348-355.
- [34] Karaaslan, İ., & Dalgıç, A. C. (2014). Spray drying of liquorice (Glycyrrhiza glabra) extract. *Journal of Food Science and Technology*, 51(11), 3014-3025.
- [35] Phoungchandang, S., & Sertwasana, A. (2010). Spray-drying of ginger juice and physicochemical properties of ginger powders. *Science Asia*, 36, 40-45.
- [36] Kurozawa, L. E., Park, K. J., & Hubinger, M. D. (2009). Effect of carrier agents on the physicochemical properties of a spray dried chicken meat protein hydrolysate. *Journal of Food Engineering*, 94(3), 326-333.
- [37] Shrestha, A. K., Ua-Arak, T., Adhikari, B. P., Howes, T., & Bhandari, B. R. (2007). Glass transition behavior of spray dried orange juice powder measured by differential scanning calorimetry (DSC) and thermal mechanical compression test (TMCT). *International Journal of Food Properties*, 10(3), 661-673

- [58] Kumar, P. (2004). *Mango soy fortified yoghurt powder: formulation, processing and storage* (Doctoral dissertation, PhD Thesis, IIT, Kharagpur, India).
- [59] Tze, N. L., Han, C. P., Yusof, Y. A., Ling, C. N., Talib, R. A., Taip, F. S., & Aziz, M. G. (2012). Physicochemical and nutritional properties of spray-dried pitaya fruit powder as natural colorant. *Food Science and Biotechnology*, 21(3), 675-682.
- [60] Shi, J., Le Maguer, M., Kakuda, Y., Liptay, A., & Niekamp, F. (1999). Lycopene degradation and isomerization in tomato dehydration. *Food Research International*, 32(1), 15-21.
- [61] Sahin, S., & Sumnu, S. G. (2006). *Physical properties of foods*. Springer Science & Business Media. Science Publishers. pp. 281-295.
- [62] Karel, M. (1979). Prediction of nutrient losses and optimization of processing conditions. In *Nutritional and safety aspects of food processing* (pp. 233-263). Marcel Dekker New York.
- [63] Downey, W. K. (1977). Food quality and nutrition, London: Applied Science Publishers. pp. 281-295.
- [64] BOŠKOVIĆ, M. A. (1979). Fate of lycopene in dehydrated tomato products: carotenoid isomerization in food system. *Journal of Food Science*, 44(1), 84-86.
- [65] Lovrić, T., Sablek, Z., & Bošković, M. (1970). Cis trans isomerisation of lycopene and colour stability of foam mat dried tomato powder during storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 21(12), 641-647.
- [66] Schierle, J., Bretzel, W., Bühler, I., Faccin, N., Hess, D., Steiner, K., & Schüep, W. (1997). Content and isomeric ratio of lycopene in food and human blood plasma. *Food Chemistry*, 59(3), 459-465.
- [67] Angelova, T., & Warthesen, J. (2000). Lycopene stability in tomato powders. *Journal of Food Science*, 65(1), 67-70.
- [68] Shu, B., Yu, W., Zhao, Y., & Liu, X. (2006). Study on microencapsulation of lycopene by spray-drying. *Journal of Food Engineering*, 76(4), 664-669.
- [69] Zanoni, B., Peri, C., Nani, R., & Lavelli, V. (1998). Oxidative heat damage of tomato dextrin concentration and atomization speed. *Journal of Food Engineering*, 64(3), 285-287.
- [49] de Sousa, A. S., Borges, S. V., Magalhães, N. F., Ricardo, H. V., & Azevedo, A. D. (2008). Spray-dried tomato powder: reconstitution properties and colour. *Braz. Arch. Biol. Tech*, 51(4), 807-814.
- [50] Al-Asheh, S., Jumah, R., Banat, F., & Hammad, S. (2003). The use of experimental factorial design for analysing the effect of spray dryer operating variables on the production of tomato powder. *Food and Bioproducts processing*, 81(2), 81-88.
- [51] Goula, A. M., & Adamopoulos, K. G. (2005a). Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II. The effect on powder properties. *Journal of Food Engineering*, 66(1), 35-42.
- [52] Bakar, J., Ee, S. C., Muhammad, K., Hashim, D. M., & Adzahan, N. (2013). Spray-drying optimization for red pitaya peel (*Hylocereus polyrhizus*). *Food and Bioprocess Technology*, 6(5), 1332-1342.
- [53] Mishra, P., Mishra, S., & Mahanta, C. L. (2014). Effect of maltodextrin concentration and inlet temperature during spray drying on physicochemical and antioxidant properties of amla (*Embllica officinalis*) juice powder. *Food and Bioproducts Processing*, 92(3), 252-258.
- [54] Rodríguez-Hernández, G. R., González-García, R., Grajales-Lagunes, A., Ruiz-Cabrera*, M. A., & Abud-Archila, M. (2005). Spray-drying of cactus pear juice (*Opuntia streptacantha*): effect on the physicochemical properties of powder and reconstituted product. *Drying Technology*, 23(4), 955-973.
- [55] Roos, Y., & Karel, M. (1991). Phase transitions of amorphous sucrose and frozen sucrose solutions. *Journal of Food Science*, 56(1), 266-267.
- [56] Gallo, L., Llabot, J. M., Allemandi, D., Bucalá, V., & Piña, J. (2011). Influence of spray-drying operating conditions on *Rhamnus purshiana* (Cáscara sagrada) extract powder physical properties. *Powder Technology*, 208(1), 205-214.
- [57] Jaya, S., & Das, H. (2004). Effect of maltodextrin, glycerol monostearate and tricalcium phosphate on vacuum dried mango powder properties. *Journal of Food Engineering*, 63(2), 125-134.

- [74] Oakley, D. E. (1997). Produce uniform particles by spray-drying. *Chemical engineering progress*, 93(10), 48-54.
- [75] Rosenberg, M., Talmon, Y., & Kopelman, I. J. (1988). The microstructure of spray-dried microcapsules. *Food Structure*, 7(1), 14.
- [76] Obón, J. M., Castellar, M. R., Alacid, M., & Fernández-López, J. A. (2009). Production of a red-purple food colorant from *Opuntia stricta* fruits by spray drying and its application in food model systems. *Journal of Food Engineering*, 90(4), 471-479.
- [77] Krishnan, S., Kshirsagar, A. C., & Singhal, R. S. (2005). The use of gum arabic and modified starch in the microencapsulation of a food flavoring agent. *Carbohydrate Polymers*, 62(4), 309-315.
- halves as affected by drying. *Food Research International*, 31(5), 395-401.
- [70] Miki, N., & Akatsu, K. (1970). Effect of heat sterilization on the color of tomato juice. *Nihon Shokuhin Kogyo Gakkai*, 17, 175-181
- [71] Cole, E. R., & Kapur, N. S. (1957). The stability of lycopene. II.—Oxidation during heating of tomato pulps. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 8(6), 366-368.
- [72] Aguilera, J. M. (2005). Why food microstructure?. *Journal of Food Engineering*, 67(1), 3-11
- [73] Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A., & Saurel, R. (2007). Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Research International*, 40(9), 1107-1121.

Optimization of spray drying process of tomato paste by using response surface methodology

dezyani, A. ¹, Jafari, S. M. ^{2*}, Ziyaeifar, A. M. ³, Ghorbani, M. ²,
Sadeghi Mahoonak, A. R. ²

1. M. Sc., Faculty of Food Science & Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
2. Associate Professor, Faculty of Food Science & Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
3. Assistant Professor, Faculty of Food Science & Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

(Received: 2015/12/26 Accepted: 2016/04/25)

The aim of this study is produce of tomato paste powder by using spray dryer and the effect of drying condition on the properties of produced powder in order to increase maintenance, ease of packing and transportation. In this study, effect of inlet air temperature (120-180 °C) and maltodextrin concentration as a carrier agent (25-50%w/w) on powder recovery, moisture content, hygroscopicity, L* value, a* value, chroma* value and amount of lycopene of pilot spray dried tomato paste powders were investigated. our results revealed that the powder recovery, solubility and chroma* value were increased with increased higher inlet air temperatures of dryer; however, at these conditions moisture content, L* value, a* value, hygroscopicity and amount of lycopene in the powder were decreased. Higher concentrations of maltodextrin increased the powder recovery, solubility, L* value and amount of lycopene in the powder; however, moisture content, hygroscopicity, a* value and chroma* value of powder were decreased. Optimization carried out using response surface methodology and optimum conditions were inlet air temperature of 120 °C and maltodextrin concentration of 37.5% (w/w).

Keywords: Tomato paste, Spray drying, Response surface methodology, Maltodextrin

* Corresponding Author E-Mail Address: jafarism@hotmail.com