

بهینه‌سازی فرآیند تولید پودر هندوانه در یک خشک‌کن پاششی

زهرا حیدری^۱، رضا امیری چایجان^{۲*}، محمود اثنی‌عشری^۳ و محمدعلی زلفی‌گل^۴

تاریخ دریافت: ۹۶/۹/۲۹ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۱/۲۶

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

^۲ دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

^۳ استاد گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

^۴ استاد گروه شیمی آلی، دانشکده شیمی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

*مسئول مکاتبه: Email: amirireza@basu.ac.ir

چکیده

تولید پودر از برخی محصولات کشاورزی که سطح تولید گسترده‌ای دارند، برای جلوگیری از اتلاف آنها در فصل برداشت و تبدیل مواد اولیه به مواد غذایی با ارزش با ماندگاری طولانی حائز اهمیت است. هدف از انجام این پژوهش بهینه‌سازی فرآیند خشک‌کردن آب هندوانه در یک خشک‌کن پاششی تابشی با روش سطح پاسخ بود. آزمایش‌ها در سه سطح دمایی ۶۰، ۷۵ و ۹۰°C و سه سطح غلظت ماده کمکی مالتودکسترین ۵، ۷ و ۱۰٪ (w/v) به‌عنوان متغیرهای مستقل و مقادیر لیکوپن، تغییر رنگ، حلالیت، رطوبت و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی به‌عنوان متغیرهای وابسته انجام شد. ضریب تبیین مدل‌های پیش‌بینی متغیرهای مقدار لیکوپن، تغییر رنگ، حلالیت، رطوبت و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بترتیب ۹۸/۷۰، ۹۴/۱۹، ۹۶/۲۷، ۹۸/۵۰ و ۹۸/۷۱ به دست آمد. با توجه به شرایط مطلوب در این پژوهش (کمترین تغییر رنگ و بیشترین مقدار لیکوپن، حلالیت و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی) در بهینه‌سازی خشک‌کن پاششی با روش سطح پاسخ، دمای بهینه محفظه خشک‌کن، غلظت ماده کمکی مالتودکسترین، مقدار لیکوپن، تغییر رنگ، حلالیت، رطوبت و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی به ترتیب ۷۹/۶۷ °C، ۵٪ (w/v)، ۲۴/۸۴ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم، ۳۷/۸۶، ۳۵/۱۲٪، ۲۶/۵۸٪ برمبنای وزن خشک و ۲۵/۰۵٪ پیشنهاد شد.

واژگان کلیدی: لیکوپن، آنتی‌اکسیدان، رنگ و روش سطح پاسخ

مقدمه

یک محصول در شرایط بهینه موردتوجه است (هسو و همکاران ۲۰۰۳). در بین محصولات کشاورزی، مصرف محصولات جالیزی مانند میوه‌ها و سبزی‌ها در سلامتی انسان نقش بسزایی دارد. بنابراین برای افزایش عمر ماندگاری میوه‌هایی که به‌راحتی فاسد می‌شوند، آنها را باید به‌گونه‌ای ذخیره‌سازی کرد که در طی دوره ذخیره‌سازی در طولانی‌مدت ارزش غذایی آنها تا زمان

امروزه با توجه به اهمیت محصولات کشاورزی در حفظ و ارتقاء سلامتی جامعه و همچنین جایگاه ویژه آن در زمینه‌های اقتصادی و سیاسی، تولید و فرآوری این محصولات همراه با افزایش ماندگاری و حفظ کیفیت محصول، نیازمند نوآوری در فرآوری و بهینه‌کردن شرایط مربوطه است. بنابراین آگاهی از روند فرآوری

عرضه به بازار حفظ شود (احمدی‌راد و همکاران ۱۳۹۵). این محصولات به دلیل خواص آنتی‌اکسیدانی که دارند، با جذب رادیکال‌های آزاد در بدن انسان تا حد زیادی فرد را از ابتلا به بیماری‌ها از جمله سرطان ایمن می‌کنند. هندوانه نیز یکی از این محصولات جالیزی است. طبق آمار سازمان خواروبار جهانی در سال ۲۰۱۴، در مجموع ۱۰۵ میلیون تن هندوانه تولید شده است که کشورهای چین، ترکیه و ایران به ترتیب در رتبه‌های اول تا سوم تولیدکننده این محصول در جهان قرار دارند. همچنین بر اساس آمارنامه زراعی سال ۹۴-۱۳۹۳ وزارت جهاد کشاورزی کشور، حدود ۱۰۰ هزار هکتار از اراضی زراعی کشور به کشت انواع واریته‌های هندوانه اختصاص داشته است که از این سطح کشت، حدود ۲۳۰۰۰۰۰ تن هندوانه برداشت شده است (فائو ۲۰۱۵).

سهم زیاد کشت هندوانه در بین محصولات جالیزی کشور و رتبه ایران در رده‌های نخستین تولیدکننده جهانی این محصول، اهمیت فراوری و افزایش ماندگاری هندوانه را دوچندان می‌نماید. یکی از راه‌های فراوری که امروزه در صنعت مورد توجه است، تولید پودر با خشک‌کن پاششی است. مزایای استفاده از عصاره خشک (پودر) بیش از شکل متعارف (مایع) آن است، چرا که هزینه‌های ذخیره‌سازی پایین‌تر، غلظت بالاتر و ثبات مواد فعال بیشتر است. همچنین حمل و نقل آسان، کاربرد در صنایع غذایی و مکمل‌ها، سهولت مصرف در شرایط زمانی و مکانی مختلف این امکان را فراهم می‌کند که علاوه بر افزایش ماندگاری و تنوع در کاربرد، شرایط برای صادرات آسان‌تر محصول مهیا می‌گردد (کریشنایا و همکاران ۲۰۱۴).

خشک‌کن پاششی یکی از مهم‌ترین خشک‌کن‌های مورد استفاده در صنایع مختلف است که امروزه نیز از این خشک‌کن برای تولید پودر آب‌میوه‌ها استفاده می‌شود (هانسن ۲۰۰۱). این خشک‌کن، عمل خشک‌کردن را درحالی‌که ذرات در هوا معلق هستند، انجام می‌دهد.

کیفیت پودر حاصل از این خشک‌کن‌ها تا حد زیادی به نحوه پاشش مایع، انتقال جرم و حرارت بین مایع پاشیده شده و هوای گرم درون محفظه بستگی دارد (کریشنایا و همکاران ۲۰۱۴). عملیات خشک‌کن پاششی از سه مرحله اصلی تشکیل شده است: (۱) ذره‌سازی خوراک مایع، (۲) خشک‌کردن قطرات و (۳) حرکت قطرات (شابده و هو ۲۰۰۷).

در پژوهش‌هایی که بر روی انواع آب‌میوه‌های خشک‌شده انجام گرفته، معمولاً مهم‌ترین مشکل در تولید پودر آن‌ها، چسبندگی ذرات به هم و به دیواره خشک‌کن و سیکلون است. این مطالعات نشان داده‌اند که تقریباً تمام آب‌میوه‌ها برای خشک‌شدن نیازمند به ماده افزودنی هستند (ابدیو و همکاران ۲۰۰۴؛ تونن و همکاران ۲۰۰۹؛ یوسفی ۲۰۱۱) و مالتودکسترین با دکستروز هم‌ارز پایین، پرکاربردترین افزودنی است که نتایج بسیار خوبی از آن حاصل شده است (مسترز ۱۹۸۵؛ بهندری و همکاران ۱۹۹۳). به‌طور کلی خواص فیزیکوشیمیایی پودر تولید شده توسط خشک‌کن پاششی به برخی از متغیرهای فرآیند مانند ویژگی‌های مایع خوراک (ویسکوزیته، اندازه ذرات و نرخ جریان)، هوای خشک‌کردن (دما و فشار) و همچنین نوع دستگاه ذره‌ساز بستگی دارد؛ بنابراین، بهینه‌سازی فرآیند خشک‌کردن، به‌منظور به دست آوردن محصولات با ویژگی‌های بهتر تغذیه‌ای، حسی و عملکرد فرآیند مهم است (تونن و همکاران ۲۰۰۸).

با توجه به بررسی منابع، پژوهشی راجع به بهینه‌سازی فرآیند تولید پودر هندوانه در یک خشک‌کن پاششی تابشی انجام نشده است. لذا در این پژوهش پودر آب هندوانه به وسیله خشک‌کن پاششی تابشی تولید و تأثیر شرایط مختلف خشک‌کن پاششی بر مقدار لیکوپن، رنگ، حلالیت، رطوبت و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی پودر تولید شده صورت گرفت. بهینه‌سازی خشک‌کن و پارامترهای اندازه‌گیری شده با روش سطح پاسخ انجام شد.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی نمونه‌ها

هندوانه‌ها از مزرعه‌ای واقع در استان لرستان و شهرستان بروجرد خریداری گردید. هندوانه‌هایی با پوست سالم انتخاب و قبل از آبیگری شسته شد. هندوانه‌ها برش داده شد و با توجه به اینکه مواد هندوانه از کنار پوست داخلی تا مرکز، دارای شیب تغییرات هستند، بنابراین از تمام قسمت‌های هندوانه که دارای رنگ و طعم قابل‌قبول بودند، برای تهیه آب‌هندوانه استفاده شد.

فرآیند آبیگری با استفاده از آب‌میوه‌گیری (پارس خزر، مدل JW) انجام شد. در سه مرحله، جداسازی تفاله از آب‌میوه صورت گرفت. برای این منظور از صافی‌های پارچه‌ای که اندازه روزنه‌های آن‌ها در مرحله اول ۴۰ میکرومتر، مرحله دوم ۱۵ میکرومتر و در مرحله آخر ۱۰ میکرومتر بود، استفاده شد. آب هندوانه تهیه‌شده، در ظروف یک‌بارمصرف بسته‌بندی و تا زمان ورود به دستگاه خشک‌کن پاششی در فریزر 20°C - نگهداری شد. نمونه‌های آزمایشی ۲۴ ساعت قبل از استفاده در دستگاه خشک‌کن، در یخچال قرار گرفت. آب هندوانه‌ها پس از ذوب‌شدن باهدف تغلیظ، در ظروف استوانه‌ای با حجم ۱ و ۱/۵ لیتر ریخته شد و مجدداً درون یخچال قرار گرفت. بعد از گذشت ۱۲ ساعت آب هندوانه دو فاز تشکیل شد که فاز بالایی توسط پمپ آب جدا شد.

خشک‌کن پاششی

برای انجام آزمایش‌ها یک دستگاه خشک‌کن پاششی از نوع تابشی در گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه بوعلی سینا همدان ساخته شد (شکل ۱). در این خشک‌کن از ذره‌ساز، محفظه خشک‌کن فلزی، سیستم تابش و سیستم جداسازی سیکلون استفاده شد. هوای لازم برای ذره‌سازی مایع، در فشار ثابت ابتدا وارد یک حمام روغن داغ شد و با عبور از این مسیر، گرم شده و به دستگاه ذره‌ساز هوایی منتقل شد. خوراک (آب هندوانه) نیز از مخزنی که در بالای دستگاه اتمیزه قرار داشت، بر

اساس نیروی گرانش به آن وارد شد. با بازکردن منفذ دستگاه، خوراک توسط فشار هوا به ذرات ریز تبدیل شد. ذرات آب‌هندوانه با ورود به محفظه خشک‌کن و در معرض قرار گرفتن تابش لامپ‌ها به دلیل افزایش سطح تبخیر، به سرعت رطوبت خود را از دست داده و به ذرات پودر با اندازه بسیار ریز تبدیل شدند. پودر تولیدشده توسط سیستم مکش در سیکلون ذخیره شد.

تعیین غلظت لیکوپن با اسپکتروفتومتر

۰/۲۵ گرم از نمونه پودر تولیدشده درون یک ارلن مایر توزین شد. ۰/۴ میلی‌لیتر آب مقطر به آن افزوده و به مدت یک دقیقه بر روی یک همزن مغناطیسی هم زده شد. سپس ۵ میلی‌لیتر حلال (هگزان / استون / اتانول مطلق با نسبت ۱/۱/۲) به آن افزوده و به مدت ۱۰ دقیقه بر روی همزن مغناطیسی هم زده شد. مجدداً پس از افزودن ۰/۷۵ میلی‌لیتر آب مقطر به مدت ۵ دقیقه دیگر هم زده شد. پس از آن ارلن را ثابت قرار داده تا دولایه از هم تفکیک شوند. در این حالت از لایه زرد رنگ بالایی که حاوی لیکوپن بود با دقت حدود یک میلی‌لیتر برداشته و ۱۰ برابر آن را با هگزان رقیق کرده و جذب آن در ۵۰۳ نانومتر به وسیله اسپکتروفتومتر (مدل S 2100 SUV، ساخت آمریکا) خوانده شد (عالمی و همکاران، ۱۳۹۱).

با قرار دادن مقدار جذب در معادله رگرسیونی (رابطه ۱) غلظت لیکوپن در نمونه مجهول محاسبه شد. این معادله از منحنی کالیبراسیون لیکوپن استاندارد حاصل از آزمایش‌های اولسون و کرینسکی (۱۹۹۵) به دست آمد.

$$Y = 0.3296x + 0.0007 \quad R^2 = 0.9999 \quad (1)$$

که Y مقدار جذب قرائت شده و x غلظت لیکوپن در نمونه مجهول است.

تغییرات کلی رنگ نیز از رابطه زیر محاسبه شد (رودی و همکاران ۲۰۱۵):

$$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L_t^*)^2 + (a_0^* - a_t^*)^2 + (b_0^* - b_t^*)^2} \quad (5)$$

که در آن ΔE تغییرات کلی رنگ و L_0^* ، a_0^* و b_0^* پارامترهای رنگی آب هندوانه (در شرایط خشک کردن با آون در دمای 30°C) و L^* ، a^* و b^* پارامترهای رنگی پودر هندوانه است.

حالات

۱۰۰ میلی‌گرم از نمونه پودر را وزن و در یک لوله آزمایش کوچک ریخته و دو میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه کرده و توسط همزن آلتراسونیک (مدل DSA100-SK2-4L، ساخت کشور هند) کاملاً حل شد. برای جدا شدن بخش نامحلول محلول تولیدی به مدت ۱۵ دقیقه در سانتریفیوژی (مدل TDL80-2B، ساخت کشور چین) با سرعت ۳۰۰۰ دور بر دقیقه قرار گرفت. بعد از آن ۱/۸ میلی‌لیتر از بخش شفاف رویی برداشته شد و به مدت ۱ ساعت در آون با دمای 105°C درجه سلیسیوس قرار گرفت (احمدی‌راد و همکاران ۱۳۹۵).

$$S = \frac{m_2 - m_1}{0.18} \times 100 \quad (6)$$

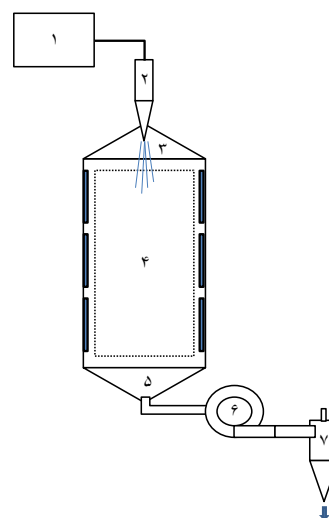
S درصد حلالیت، m_1 و m_2 به ترتیب وزن خالی ظرف و وزن ظرف و نمونه بعد از خارج کردن از آون بر حسب گرم است.

رطوبت محصول

برای اندازه‌گیری رطوبت نمونه‌ها، پودر هندوانه حدود ۱۸ ساعت در دمای 105°C آون حرارتی قرار گرفتند (کوئک و همکاران ۲۰۰۷). سپس تغییری در وزن نمونه‌ها مشاهده نشد.

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی

ابتدا برای تهیه عصاره از پودر هندوانه، ۰/۱ گرم از آن در یک میلی‌لیتر متانول ۸۵٪ حل شد (گیورسکو بدرگ و همکاران ۲۰۱۴). سپس ۵۰۰ میکرولیتر از عصاره با ۵۰۰ میکرولیتر آب مقطر مخلوط شد و ۵ دقیقه در یک دستگاه سانتریفیوژی با سرعت ۱۰۰۰۰ دور بر دقیقه



شکل ۱- نمای شماتیک خشک‌کن پاششی ساخته شده

(۱- مخزن، پمپ و همزن، ۲- انژکتور، ۳- دیفیوزر ورودی، ۴- محفظه خشک‌کن، ۵- دیفیوزر خروجی، ۶- مکند، ۷- سیکلون)

پارامترهای رنگی

برای محاسبه میزان تغییر رنگ پودرهای هندوانه تولیدشده در شرایط مختلف، روش اسکن کردن که یکی از روش‌های رنگ‌سنجی مواد غذایی خشک‌شده است (سرورالدین و همکاران ۲۰۱۵)، به کار گرفته شد. برای این منظور، پودرها به صورت قرص‌های فشرده درآمدند و از لحاظ رنگی اسکن شدند. این عمل با اسکنر رومیزی سطح تخت (HP G4050) که روی درجه وضوح ۱۲۰۰ تنظیم‌شده بود، انجام شد. عکس‌های اسکن شده توسط نرم‌افزار فتوشاپ CS6 فراخوانی و پارامترهای رنگی (L^* ، a^* و b^*) برای هر نمونه به دست آمد. این پارامترها، پارامترهای استاندارد برای توصیف تغییر رنگ نبود و با استفاده از رابطه‌های زیر به پارامترهای استاندارد تبدیل شدند (چن و همکاران ۲۰۱۳).

$$L^* = \frac{L}{255} \times 100 \quad (2)$$

$$a^* = \frac{240a}{255} - 120 \quad (3)$$

$$b^* = \frac{240b}{255} - 120 \quad (4)$$

بر مقدار لیکوپن پودر هندوانه حاصل از خشک‌کن پاششی نشان داد که اثر متغیر مستقل غلظت ماده کمکی و اثر متقابل دمای محفظه و غلظت ماده کمکی در سطح ۱٪ بر مقدار لیکوپن معنادار بود (جدول ۲).

نتایج بررسی اثر دما و غلظت مالتودکستریز بر مقدار لیکوپن محاسبه شده از رابطه (۱)، نشان داد که در یک غلظت ثابت از مالتودکستریز، با افزایش دما، مقدار لیکوپن افزایش پیدا کرد. همچنین در یک دمای ثابت، مقدار لیکوپن با کاهش غلظت مالتودکستریز، افزایش یافت (شکل ۲).

بیشترین مقدار لیکوپن ($27/14 \text{ mg}/100\text{gr}$) در دمای 90°C و غلظت مالتودکستریز (w/v) ۵٪ و کمترین مقدار آن ($18/79 \text{ mg}/100\text{gr}$) در دمای 90°C و غلظت مالتودکستریز (w/v) ۱۰٪ به دست آمد. علت این امر را می‌توان پاره‌شدن دیواره سلولی در دمای بالا و مختل‌شدن غشاء بیان کرد که در نتیجه، لیکوپن آزاد شده و مقدار آن در پودر هندوانه بیشتر از آب هندوانه بود. از طرفی با حرارت‌دیدن آب هندوانه و تبخیر آب، غلظت لیکوپن افزایش یافت. این عوامل سبب شد که مقدار لیکوپن در پودر هندوانه افزایش پیدا کند.

جدول ۱- متغیرهای مستقل فرآیند و مقادیر مربوطه

متغیرهای مستقل	نماد ریاضی	کد و سطوح مربوطه		
		-۱	۰	+۱
دمای محفظه ($^\circ\text{C}$)	T	۶۰	۷۵	۹۰
غلظت مالتودکستریز (%)	C	۵	۷	۱۰

نتایج مشابهی برای لیکوپن در تحقیقات سایر محققان مشاهده شد. کوئک و همکاران (۲۰۰۷) تولید پودر هندوانه را در خشک‌کن پاششی هوای داغ مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها مقدار لیکوپن موجود در پودر را تقریباً ۲۰ تا ۲۶ برابر مقدار آن در آب هندوانه گزارش کردند.

قرار گرفت. سپس ۷۵ میکرولیتر از فاز رویی برداشته و با ۲۹۲۵ میکرولیتر ۲ و ۲-دی فنیل ۱- پیکریل هیدرازیل (DPPH) ترکیب شد. مقدار جذب شاهد و محلول در زمان‌های صفر و ۳۰ دقیقه به وسیله دستگاه اسپکتوفتومتر (دقت ۰/۰۰۱، مدل S2100 SUV، کشور آمریکا) در طول موج ۵۱۵ نانومتر آن قرائت شد (برند- ویلیامز و همکاران، ۱۹۹۵). با این روش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی پودر هندوانه از طریق توانایی فرونشاندن رادیکال آزاد (RSC) ۲ و ۲-دی فنیل ۱- پیکریل هیدرازیل ارزیابی شد.

$$RSC(\%) = 100 \times \left(\frac{A_{\text{blank}} - A_{\text{sample}}}{A_{\text{blank}}} \right) \quad (7)$$

A_{sample} و A_{blank} به ترتیب جذب شاهد و نمونه بود.

بهینه‌سازی

در خشک‌کن پاششی مورد مطالعه، دمای محفظه خشک‌کن (T) و غلظت ماده کمکی (C) به عنوان متغیرهای مستقل (جدول ۱) و تغییرات غلظت لیکوپن (MD)، تغییرات پارامترهای رنگی (Δa^* ، Δb^* و ΔL^*)، تغییرات pH، حلالیت (S)، رطوبت محصول (MR)، چگالی توده‌ای (ρ_b) و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (TAA) به عنوان متغیرهای وابسته (متغیرهای پاسخ) تعریف شدند. شرایط مطلوب در این پژوهش کمترین تغییر رنگ و رطوبت و بیشترین مقدار لیکوپن، حلالیت و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در بهینه‌سازی خشک‌کن پاششی با روش سطح پاسخ تعریف شد.

در این پژوهش پس از مشخص‌شدن متغیرهای مستقل، ۱۳ آزمون تعیین شد که شامل چهار نقطه اصلی، چهار نقطه محوری و نقطه مرکزی با پنج تکرار بود. تعداد نقاط مرکزی بسته به تعداد متغیرهای مستقل توسط نرم‌افزار Design Expert تعیین شد.

نتایج و بحث

ارزیابی لیکوپن

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر دمای محفظه خشک‌کن پاششی و غلظت ماده کمکی (مالتودکستریز)

معادله نهایی بر مبنای متغیرهای مستقل واقعی برای پیش بینی مقدار لیکوپن با $R^2 = ۹۸/۷۰$ به صورت زیر بدست آمد:

$$(Lycopene)^{-3} = +3.50 \times 10^{-4} - 2.66 \times 10^{-6} T - 5.70 \times 10^{-5} C + 5.17 \times 10^{-7} TC - 7.16 \times 10^{-9} T^2 + 2.08 \times 10^{-6} C^2 \quad (۱)$$

که T دمای محفظه خشک‌کن ($^{\circ}C$) و C غلظت ماده کمکی مالتودکسترین (%) است.

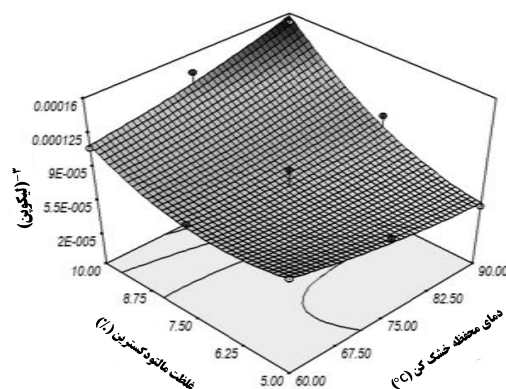
ابروی و سوگی (۲۰۱۵) در بررسی اثر روش خشک‌کردن و غلظت ماده کمکی مالتودکسترین بر محتوای رنگ‌دانه پودر آب هندوانه به این نتیجه رسیدند که لیکوپن در خشک‌کن پاششی تحت تأثیر دمای خشک‌کردن است و مقدار آن در آب هندوانه تازه در پودر حاصل از خشک‌کن پاششی و $۵۶/۴ \text{ mg}/100\text{gr}$ تا $۶/۵۳ \text{ mg}/100\text{gr}$ در پودر هندوانه تولیدشده در خشک‌کن انجمادی افزایش یافت.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس مقدار لیکوپن موجود در پودر هندوانه تولیدی با خشک‌کن پاششی

منابع تغییرات	مجموع مربعات	میانگین مربعات	p-value
مدل	$۸/۳۱۱ \times 10^{-۱۰}$	$۱/۶۶۲ \times 10^{-۱۰}$	$< ۰/۰۰۰۱$
(دمای محفظه خشک‌کن) T	$۲/۷۲۳ \times 10^{-۱۰}$	$۲/۷۲۳ \times 10^{-۱۰}$	$۰/۲۲۸۲$
(غلظت ماده کمکی) C	$۶/۲۷۱ \times 10^{-۱۰}$	$۶/۲۷۱ \times 10^{-۱۰}$	$< ۰/۰۰۰۱$
$T \times C$	$۱/۵۰۶ \times 10^{-۱۰}$	$۱/۵۰۶ \times 10^{-۱۰}$	$< ۰/۰۰۰۱$
T^2	$۷/۱۶۴ \times 10^{-۱۰}$	$۷/۱۶۴ \times 10^{-۱۰}$	$۰/۵۲۰۰$
C^2	$۴/۶۶۱ \times 10^{-۱۰}$	$۴/۶۶۱ \times 10^{-۱۰}$	$۰/۰۰۰۹$
باقیمانده	$۱/۰۹۲ \times 10^{-۱۰}$	$۱/۰۹۲ \times 10^{-۱۰}$	$۱/۵۶۲ \times 10^{-۱۰}$
عامل عدم برازش	$۱/۰۹۳ \times 10^{-۱۰}$	$۳/۶۴۲ \times 10^{-۱۰}$	$< ۰/۰۰۰۱$
کل	$۸/۴۲۱ \times 10^{-۱۰}$		

خشک‌کن و غلظت ماده کمکی مالتودکسترین در سطح ۱٪ و اثر متقابل آن‌ها در سطح ۵٪ معنادار است (جدول ۳). نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش دما در یک غلظت ثابت ماده کمکی مالتودکسترین، تغییرات رنگ افزایش یافت. همچنین با افزایش غلظت ماده کمکی مالتودکسترین در یک دمای ثابت، تغییرات رنگ افزایش یافت.

بیشترین مقدار تغییر رنگ در دمای $۹۰^{\circ}C$ و غلظت مالتودکسترین $(w/v) ۱۰\%$ و کمترین مقدار آن در دمای $۶۰^{\circ}C$ و غلظت مالتودکسترین $(w/v) ۵\%$ مشاهده شد. می‌توان اظهار کرد که افزایش دما و غلظت ماده کمکی مالتودکسترین به ترتیب سبب تغییر رنگ رنگ‌دانه‌ها و



شکل ۲- اثر متقابل دما و غلظت مالتودکسترین بر لیکوپن موجود در پودر هندوانه تولیدی با خشک‌کن پاششی ارزیابی رنگ

از مشاهده جدول تجزیه واریانس داده‌های رنگ استنباط می‌شود که متغیرهای مستقل دمای محفظه

در خشک‌کن پاششی در غلظت ۱۰٪ و بیشتر مالتودکستترین، رنگ جذاب قرمز- نارنجی خود را از دست می‌دهند. اسلام و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای روی خواص فیزیکوشیمیایی و آنتی اکسیدانی پودر آب پرتغال حاصل از خشک‌کن پاششی خلاء و آسیاب پالپ آن نیز اظهار کردند که مقادیر رنگی قرمز و نارنجی پودر نسبت به حالت آب‌میوه کاهش پیدا می‌کند.

کاهش حجم آن‌ها در ذرات پودر هندوانه شد. شکل ۳ اثر متقابل دما و غلظت مالتودکستترین را بر میزان تغییر رنگ پودر هندوانه نشان می‌دهد. با بررسی سایر پژوهش‌ها، نتایج مشابهی مشاهده شد. گرابوسکی و همکاران (۲۰۰۶) نشان دادند که در سیب‌زمینی شیرین با افزایش غلظت مالتودکستترین، قرمزی کاهش و زاویه رنگ افزایش می‌یابد. کیوک و همکاران (۲۰۰۷) بیان کردند که پودر هندوانه تولیدشده

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس میزان تغییر رنگ پودر هندوانه تولید شده در خشک‌کن پاششی

منابع تغییرات	مجموع مربعات	میانگین مربعات	p-value
مدل	$2/561 \times 10^9$	$5/123 \times 10^8$	۰/۰۰۰۳
دمای محفظه خشک‌کن (T)	$1/103 \times 10^9$	$1/103 \times 10^9$	۰/۰۰۰۲
غلظت ماده کمکی (C)	$1/063 \times 10^9$	$1/063 \times 10^9$	۰/۰۰۰۲
T×C	$1/398 \times 10^8$	$1/398 \times 10^8$	۰/۰۴۱۷
T ²	$1/086 \times 10^7$	$1/086 \times 10^7$	۰/۵۱۰۲
C ²	$1/740 \times 10^8$	$1/740 \times 10^8$	۰/۰۲۴۷
باقیمانده	$1/579 \times 10^8$	$2/256 \times 10^7$	
عامل عدم برازش	۳/۱۶	۱/۰۵	۰/۵۱۴۵
کل	$2/719 \times 10^9$		

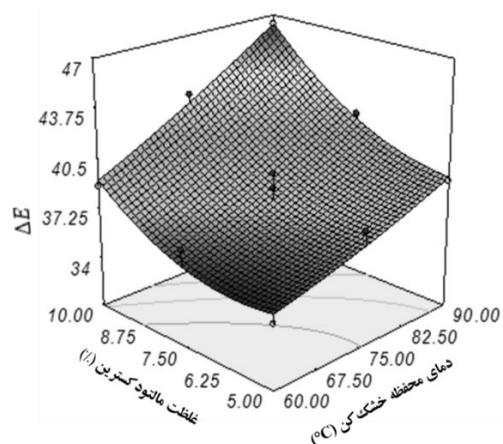
تغییر رنگ پودر هندوانه تولید شده در خشک‌کن پاششی ارزیابی حالیت

جدول ۴ نشان‌دهنده نتایج تجزیه واریانس داده‌ها است. طبق این جدول اثر متغیرهای مستقل دمای محفظه خشک‌کن پاششی و غلظت ماده کمکی مالتودکستترین در سطح ۱٪ معنادار است.

نتایج ارزیابی میزان حالیت پودر هندوانه تولید شده، تحت تأثیر متغیرهای مستقل پژوهش در شکل ۴ نشان داده شده است. طبق این نتایج با کاهش دما و غلظت ماده کمکی مالتودکستترین، درصد حالیت افزایش یافت. بیشترین مقدار حالیت (۴۱٪/۱۲) در دمای ۶۰°C و غلظت مالتودکستترین (W/V) ۵٪ و کمترین مقدار آن (۲۳٪/۲۸) در دمای ۹۰°C و غلظت مالتودکستترین (W/V) ۱۰٪ به دست آمد. از آنجا که در دمای ورودی کمتر، محصول دارای رطوبت بیشتری است، در نتیجه زمان

معادله نهایی بر مبنای متغیرهای مستقل واقعی برای پیش‌بینی مقدار تغییر رنگ (ΔE) با $R^2 = 94/19\%$ به صورت زیر بدست آمد:

$$\Delta E^3 = +1.58 \times 10^5 - 1600.02 T - 25547.88 C + 157.64 TC + 8.81T^2 + 1269.99 C^2 \quad (2)$$



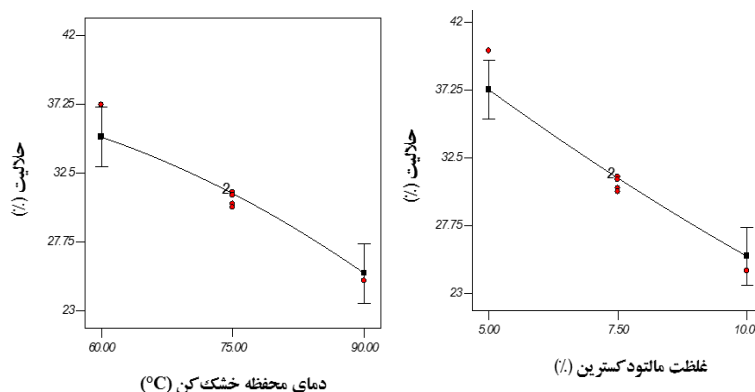
شکل ۳- اثر متقابل دما و غلظت مالتودکستترین بر میزان

به عبارت دیگر کاهش دما سبب افزایش حلالیت شد. همچنین افزودن ماده کمکی مالتودکستری به دلیل ساختار ترکیب آن باعث کاهش حلالیت شد.

بازسازی آن در آب کمتر است اما در دماهای ورودی بیشتر که محصول خشک‌تر و امکان تشکیل لایه سخت بر روی آن وجود دارد، زمان بازسازی افزایش یافت.

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس حلالیت پودر هندوانه تولیدی با خشک‌کن پاششی

منابع تغییرات	مجموع مربعات	میانگین مربعات	p-value
مدل	$4/446 \times 10^{-9}$	$9/182 \times 10^{-10}$	$< 0/0001$
(دمای محفظه خشک‌کن) T	$1/689 \times 10^{-9}$	$1/689 \times 10^{-9}$	$< 0/0001$
(غلظت ماده کمکی) C	$2/608 \times 10^{-9}$	$2/608 \times 10^{-9}$	$< 0/0001$
T×C	$4/663 \times 10^{-12}$	$4/663 \times 10^{-12}$	$0/6811$
T ²	$8/849 \times 10^{-11}$	$8/849 \times 10^{-11}$	$0/1041$
C ²	$9/101 \times 10^{-11}$	$9/101 \times 10^{-11}$	$0/1001$
باقیمانده	$1/776 \times 10^{-10}$	$2/038 \times 10^{-11}$	
عامل عدم برازش	۲۰/۳۲	۶/۷۷	$0/0034$
کل	$4/796 \times 10^{-9}$		



شکل ۴- اثر مستقل دما و غلظت مالتودکستری بر حلالیت پودر هندوانه تولیدی با خشک‌کن پاششی

به دلیل ویژگی‌های ساختاری میوه مورد استفاده تحت تأثیر شرایط خشک‌کن قرار نگرفت.

معادله نهایی بر مبنای متغیرهای مستقل واقعی برای بیان حلالیت پودر هندوانه در خشک‌کن پاششی با $R^2 = 96\%/27$ عبارت است از:

$$(\text{Solubility})^{-3} = +9.78 \times 10^{-5} - 2.87 \times 10^{-6} T - 7.59 \times 10^{-7} C + 2.88 \times 10^{-8} TC + 2.52 \times 10^{-8} T^2 + 9.19 \times 10^{-7} C^2 \quad (3)$$

کوئک و همکاران (۲۰۰۷) و ابروی و سوگی (۲۰۱۵) در مورد پودر هندوانه در خشک‌کن پاششی هوای داغ و خشک‌کن انجمادی به نتایج مشابهی رسیدند. آن‌ها مشاهده کردند که با افزایش غلظت ماده کمکی مالتودکستری، زمان بازسازی افزایش و در نتیجه حلالیت کاهش یافت. خا و همکاران (۲۰۱۰) نیز با مطالعه بر روی پودر به دست آمده از میوه آریل در خشک‌کن پاششی دریافتند که اینکده محدوده حلالیت پودر ۲۵/۳۸٪-۹۱/۳۶ به دست آمد اما حلالیت این پودر

ارزیابی رطوبت محصول

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که متغیرهای مستقل دمای محفظه و غلظت مالتودکستری در سطح ۱٪ بر میزان رطوبت محصول معنادار هستند و اثر متقابل آنها نیز در سطح ۵٪ معنادار است (جدول ۵). که T دمای محفظه خشک‌کن ($^{\circ}\text{C}$) و C غلظت ماده کمکی مالتودکستری (%) است. شکل ۵ اثر متقابل دما و غلظت مالتودکستری بر رطوبت پودر هندوانه تولیدی با خشک‌کن پاششی را نشان می‌دهد. طبق شکل ۵، افزایش دمای محفظه خشک‌کن پاششی از ۶۰ به 90°C و غلظت ماده کمکی مالتودکستری از ۵ به ۱۰٪، سبب کاهش رطوبت محصول از ۰/۳۱۵ به ۰/۰۲۷ بر مبنای وزن

خشک شد. به‌طور کلی در فرآیند خشک‌کردن با افزایش دمای خشک‌کن، نرخ انتقال حرارت به ذرات افزایش پیدا کرده و منجر به حذف سریع‌تر آب و در نتیجه کاهش بیشتر رطوبت محصول شد. در خشک‌کن پاششی نیز با توجه به اینکه عمل اتمیزه‌کردن خوراک باعث افزایش نسبت سطح به حجم ذرات شد، افزایش دمای محفظه خشک‌کن نیز سبب خروج هرچه سریع‌تر آب از محصول شده و عمل خشک‌کردن با سرعت بیشتری اتفاق افتاد. همچنین با افزایش غلظت ماده کمکی مالتودکستری، درصد ماده جامد خوراک زیاد شده و رطوبت نهایی محصول کاهش یافت.

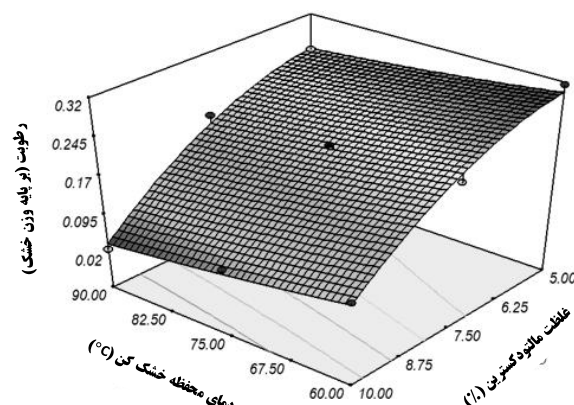
جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس میزان رطوبت پودر هندوانه تولیدی با خشک‌کن پاششی

p-value	میانگین مربعات	مجموع مربعات	منابع تغییرات
< 0.0001	$1/661 \times 10^{-3}$	$8/303 \times 10^{-3}$	مدل
0.0007	$5/970 \times 10^{-4}$	$5/970 \times 10^{-4}$	(دمای محفظه خشک‌کن) T
< 0.0001	$7/467 \times 10^{-3}$	$7/467 \times 10^{-3}$	(غلظت ماده کمکی) C
0.0204	$1/612 \times 10^{-4}$	$1/612 \times 10^{-4}$	$T \times C$
0.2018	$3/595 \times 10^{-5}$	$3/595 \times 10^{-5}$	T^2
0.0933	$6/829 \times 10^{-5}$	$6/829 \times 10^{-5}$	C^2
	$8/920 \times 10^{-12}$	$1/268 \times 10^{-4}$	باقیمانده
0.0035	$3/519 \times 10^{-4}$	$1/056 \times 10^{-3}$	عامل عدم برازش
		$8/430 \times 10^{-3}$	کل

با بررسی پژوهش‌های قبلی در مورد محتوای رطوبت پودر، نتایج مشابهی مشاهده شد. ابروی و سوگی (۲۰۱۵) با مطالعه اثر مالتودکستری بر روی پودر آب هندوانه، مشاهده کردند که با افزایش غلظت مالتودکستری از ۳ تا ۱۰٪، رطوبت بر مبنای وزن خشک از ۳/۳۹ تا ۲/۲۴٪ کاهش یافت. کونیت و همکاران (۲۰۱۶) با مقایسه رطوبت پودر نیشکر حاصل از ماده کمکی مالتودکستری و صمغ عربی بیان کردند که پودر نیشکر با مالتودکستری دارای رطوبت کمتری است.

و غلظت مالتودکسترین (W/V) ۵٪ و کمترین مقدار آن (۱۰٪/۲۸) در دمای ۶۰°C و غلظت مالتودکسترین (W/V) ۱۰٪ به دست آمد. در یک غلظت ثابت از ماده کمکی، افزایش دما سبب افزایش غلظت آنتی اکسیدان در حجم مشخص شد و افزایش غلظت مالتودکسترین در یک دمای ثابت باعث کاهش غلظت آنتی اکسیدان در حجم مشخص شد.

شکل ۶ اثر مستقل دما و غلظت مالتودکسترین بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی پودر هندوانه تولیدی با خشک‌کن پاششی را نشان می‌دهد. نتیجه به‌دست‌آمده مطابق با نتیجه مطالعات میشر و همکاران (۲۰۱۵) که اثر غلظت مالتودکسترین و دمای هوای خشک‌کن پاششی را بر روی خواص فیزیکی و آنتی‌اکسیدانی پودر آب‌میوه املا (Amla juice) بررسی کردند، است. این نتیجه در تضاد با نتیجه مطالعات خا و همکاران (۲۰۱۰) بر روی پودر میوه آریل است. شاید بتوان بیان کرد که تفاوت مقاومت آنتی‌اکسیدان میوه‌های مختلف در برابر افزایش دما و غلظت ماده کمکی باعث به دست آمدن نتایج مختلف شد.



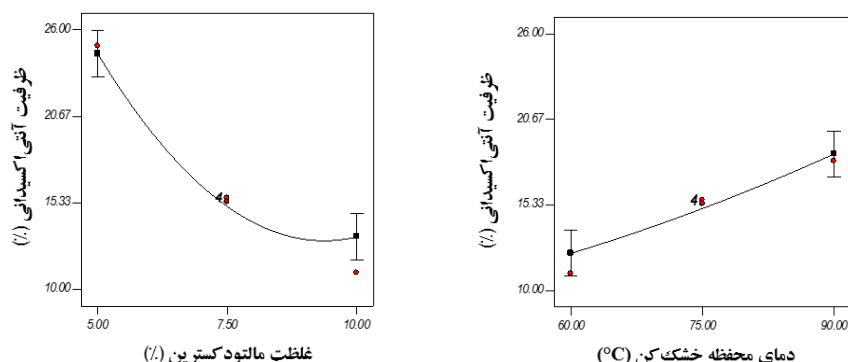
شکل ۵- اثر متقابل دما و غلظت مالتودکسترین بر رطوبت پودر هندوانه تولیدی با خشک‌کن پاششی

ارزیابی ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل

در جدول ۶ تأثیر پارامترهای مستقل و اثر متقابل آن‌ها بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، اثر متغیرهای مستقل در سطح ۱٪ معنادار است و اثر متقابل متغیرهای مستقل معنادار نیست. نتایج این پژوهش نشان داد که در یک دمای ثابت با کاهش غلظت ماده کمکی، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی افزایش یافت. بیشترین مقدار (۲۵٪/۹۹) در دمای ۹۰°C

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس ظرفیت آنتی‌اکسیدانی پودر هندوانه تولیدی با خشک‌کن پاششی

p-value	میانگین مربعات	مجموع مربعات	منابع تغییرات
< ۰/۰۰۰۱	$7/144 \times 10^{-7}$	$3/572 \times 10^{-8}$	مدل
۰/۰۰۰۱	$3/993 \times 10^{-7}$	$3/993 \times 10^{-7}$	T (دمای محفظه خشک‌کن)
< ۰/۰۰۰۱	$2/196 \times 10^{-8}$	$2/196 \times 10^{-8}$	C (غلظت ماده کمکی)
۰/۷۰۸۹	$1/۰۱۲ \times 10^{-8}$	$1/۰۱۲ \times 10^{-8}$	T×C
۰/۳۹۶۲	$5/462 \times 10^{-8}$	$5/462 \times 10^{-8}$	T ²
< ۰/۰۰۰۱	$7/787 \times 10^{-7}$	$7/787 \times 10^{-7}$	C ²
	$6/687 \times 10^{-8}$	$4/681 \times 10^{-6}$	باقیمانده
< ۰/۰۰۰۱	۳/۴۳	۱۰/۳۰	عامل عدم برازش
		$3/619 \times 10^{-8}$	کل



شکل ۶- اثر مستقل دما و غلظت مالتودکسترین بر ظرفیت آنتی اکسیدانی پودر هندوانه تولیدی با خشک‌کن پاششی

بهینه‌سازی با روش سطح پاسخ

برای بهینه‌سازی با روش سطح پاسخ از نرم-افزار Design expert 7.0.0 استفاده شد. این نرم افزار نقاط بهینه را بر اساس کمترین تغییر رنگ و رطوبت و بیشترین مقدار لیکوپن، حالیت و ظرفیت آنتی اکسیدانی و همچنین ضریب وزنی در نظر گرفته شده برای آنها در نرم افزار، پیشنهاد کرد (جدول ۷).

معادله حاصله بر مبنای متغیرهای مستقل واقعی برای پیش‌بینی ظرفیت آنتی اکسیدانی محصول (TAA) با $R^2 = 98\%/71$ عبارت است از:

$$(TAA)^3 = +70085.80 - 156.29T - 15481.32C + 4.24TC + 1.98T^2 + 849.55C^2 \quad (5)$$

جدول ۷- نتایج بهینه‌سازی فرآیند تولید پودر آب هندوانه با خشک‌کن پاششی به روش سطح پاسخ

شماره	دما	ماده	لیکوپن	تغییر	حالیت	رطوبت	ظرفیت آنتی	غلظت
جواب	(°C)	کمکی	(mg/100gr)	رنگ	(%)	(%)	اکسیدانی (%)	(w/v)
۱	۷۹/۶۷	۵/۰۰	۲۴/۸۴	۳۷/۸۶	۳۵/۱۲	۰/۲۶۵۸	۲۵/۰۵	
۲	۸۰/۴۵	۵/۰۰	۲۴/۹۶	۳۷/۹۷	۳۴/۷۵	۰/۲۶۴۷	۲۵/۱۴	
۳	۷۸/۸۹	۵/۰۰	۲۴/۷۲	۳۵/۷۵	۳۵/۴۹	۰/۲۶۷۰	۲۴/۹۶	

که مشاهده می‌شود طبق نتایج به دست آمده، پارامترهای مستقل، تأثیر بسزایی بر روی سایر پارامترهای وابسته دارند. با توجه به اینکه ضریب وزنی پارامترهای وابسته‌ای چون لیکوپن، میزان تغییرات رنگ و رطوبت محصول نسبت به دیگر پارامترهای وابسته بیشتر است، نرم‌افزار با انتخاب مقادیر مناسب برای دمای محفظه و غلظت ماده کمکی، تمام قیدهای اعمالی برای بهینه‌سازی را در نظر گرفت.

با توجه به نتایج به دست آمده در خشک‌کن پاششی، اولین پاسخ بهینه برای تولید پودر آب هندوانه در دمای بهینه محفظه خشک‌کن $79/67^\circ\text{C}$ و غلظت ماده کمکی مالتودکسترین ۵٪ با شاخص مطلوبیت ۰/۵۴۹۴ به دست آمد. در این نقطه بهینه، مقدار پاسخ‌های لیکوپن ۲۴/۸۴ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم، تغییر رنگ ۳۷/۸۶، حالیت ۳۵/۱۲٪، رطوبت ۰/۲۶۵۸ بر مبنای وزن خشک و ظرفیت آنتی اکسیدانی ۲۵/۰۵٪ حاصل شد. همان طور

در دمای هوای ورودی 160°C ، مقدار ماده کمکی مالتودکسترین ۱۵٪ و نرخ تغذیه ۴۰۰ میلی‌لیتر بر ساعت پیشنهاد شد. با توجه به نتایج به دست آمده، نقطه بهینه پیشنهادی با توجه به قیدهای مسئله (کمترین تغییر رنگ و رطوبت و بیشترین مقدار لیکوپن، حالیت و ظرفیت آنتی اکسیدانی) در دمای محفظه خشک‌کن 75°C ، تغییر رنگ ۳۷/۸۲، مقدار لیکوپن ۲۴/۸۷ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم، حالیت ۳۴/۹۷٪ و ظرفیت آنتی اکسیدانی ۲۵/۱۵ به دست آمد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش تأثیر دمای هوا و غلظت مالتودکسترین بر مقادیر لیکوپن، تغییر رنگ، حالیت، رطوبت و ظرفیت آنتی اکسیدانی در تولید پودر هندوانه در یک خشک‌کن پاششی مورد مطالعه قرار گرفت. همچنین شرایط بهینه فرآیندها با استفاده از روش سطح پاسخ تعیین شد. در این نقطه دمای محفظه خشک‌کن، غلظت مالتودکسترین، مقدار لیکوپن، تغییر رنگ، حالیت، رطوبت و ظرفیت آنتی اکسیدانی به ترتیب $79/67^{\circ}\text{C}$ ، ۵٪، ۲۴/۸۴ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم، ۳۷/۸۶، ۳۵/۱۲٪، ۰/۲۶۵۸ برمبنای وزن خشک و ۲۵/۰۵٪ پیشنهاد شد.

سومیک و همکاران (۲۰۱۶) مدل‌سازی و بهینه‌سازی توت قرمز در خشک‌کن خلائی را با روش سطح پاسخ انجام دادند. در این پژوهش، سطوح آزمایش ۴۸ تا ۷۸ درجه سلسیوس و فشار خلاء ۳۰ تا ۳۳۰ میلی بار تعریف شد. روش سطح پاسخ، دمای هوای $70/02^{\circ}\text{C}$ و فشار خلاء ۳۹ میلی بار را پیشنهاد کرد. وانی و همکاران (۲۰۱۵) در بهینه‌سازی فعالیت آنتی اکسیدانی و پلی فنل کل عصاره خشک میوه زردآلو با روش سطح پاسخ، غلظت متانول ۳۵٪، نسبت حلال به نمونه ۱۵ حجم بر وزن، دمای 30°C و زمان ۳۰ دقیقه و برای فعالیت آنتی اکسیدانی و فنل کل به ترتیب مقادیر ۹۱/۱۶۵ درصد و $10/702$ میلی‌گرم بر گرم را پیشنهاد کردند. محدوده سطوح آزمایشی ۲۰ تا ۸۰ درصد متانول، ۱۰ تا ۳۰ نسبت حلال به نمونه حجم بر وزن، دمای ۲۰ تا 60°C و زمان ۲۰ تا ۶۰ دقیقه متغیرهای مستقل را مورد بررسی قرار دادند. بازاریا و کومار (۲۰۱۶) بهینه‌سازی پارامترهای خشک‌کن پاششی را برای پودر آب چغندر با روش سطح پاسخ انجام دادند. پارامترهای خشک‌کن به کار گرفته شده شامل دمای هوای ورودی (۱۶۰ تا 180°C)، مقدار افزودن مالتودکسترین (۵ تا ۱۵٪) و نرخ تغذیه (۴۰۰ تا ۶۰۰ میلی لیتر بر ساعت) بود. شرایط بهینه با استفاده از شاخص مطلوبیت روش سطح پاسخ،

منابع مورد استفاده

- احمدی راد م، امام جمعه ز و اسدی ح، (۱۳۹۵). بهینه‌سازی فرآیند خشک‌کن پاششی آب زغال اخته با استفاده از روش سطح پاسخ، فصلنامه علوم و صنایع غذایی، (۵۰) ۱۳: ۶۷-۷۸.
- عالمی الف، امام جمعه ز و میرزایی ح، ۱۳۹۱. اثر فشار و تغلیظ دما بر برخی خصوصیات کیفی آب هندوانه، فصلنامه علوم و صنایع غذایی، (۳۴) ۹: ۳۷-۴۴.
- Abadio FDB, Domingues AM, Borges SV and Oliveira VM, 2004. Physical properties of powdered pineapple (Ananas comosus) juice effect of malt dextrin concentration and atomization speed. Journal of Food Engineering 64(3): 285-287.
- Bazaria B and Kumar P, 2016. Optimization of spray drying parameters for beetroot juice powder using response surface methodology (RSM). Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, Available online at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jssas.2016.09.007>.
- Bhandari BR, Senoussi A, Dumoulin ED and Lebert A, 1993. Spray drying of concentrated fruit juices. Drying Technology 11(5): 1081-1092.
- Brand-williams W, Cuvelier E and Berest C, 1995. Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. Journal lebensm-wissutechnol 28: 25-30.

- Chen J, Zhou Y, Fang S, Meng Y, Kang X, Xu X, and Zuo X, 2013. Mathematical modeling of hot air drying kinetics of momordica charantia slices and its color change. *Advance Journal of Food Science and Technology* 5(9): 1214-1219.
- FAO. (2015). "*Food and Agriculture Organisation of United Nation*". Available at: <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>. Assessed Dec 2014
- Giurescu Bedreag CF, Trifan A, Adriana Bucur L, Arcus M, Tebrencu C, Miron A and Costache II, 2014. Chemical and antioxidant studies on *Crataegus pentagyna* leaves and flowers. *Romanian Biotechnological Letters* 19(6): 9859-9867.
- Hansen O, 2001. Method of spray drying. U S patent, 6: 253-463.
- Hsu C, Chen W, Weng Y and Tseng C, 2003. Chemical composition, physical properties, and antioxidant activities of yam flours as affected by different drying methods. *Food Chemistry* 83: 85-92.
- Kha TC, Nguyen MH, and Roach PD, 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(3): 385-392.
- Khuenpet K, Charoenjarasrerk N, Jaijit S, Arayapoonpong S and Jittanit W, 2016. Investigation of suitable spray drying conditions for sugarcane juice powder production with an energy consumption study. *Agriculture and Natural Resources* 50: 139-145.
- Krishnaiah D, Nithyanandam R and Sarbatly R, 2014. A Critical review on the spray drying of fruit extract: Effect of additives on physicochemical properties. *Food Science and Nutrition* 54: 449-473.
- Masters K, 1991. *Spray drying handbook*. 5th ed, John Wiley and sons, London, New York.
- Mishra P, Mishra S and Mahanta CL, 2014. Effect of maltodextrin concentration and inlet temperature during spray drying on physicochemical and antioxidant properties of amla (*Embolica officinalis*) juice powder. *Food and Bioproducts Processing* 92(3): 252-258.
- Oberoi DPS and Sogi DS, 2015. Effect of drying methods and maltodextrin concentration on pigment content of watermelon juice powder. *Journal of Food Engineering* 165: 172-178.
- Olson JA and Krinsky NI, 1995. Introduction: The colorful, fascinating world of the carotenoids: important physiologic modulators. *The FASEB Journal* 9(15): 1547-1550.
- Quek SY, Chok NK and Swedlund P, 2007. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powder". *Chemical Engineering Process* 46(5): 386-392.
- Rudy S, Dziki D, Krzykowski A, Gawlik-Dziki U, Polak R, Rozyto R and Kulig R, 2015. Influence of pre-treatments and freeze-drying temperature on the process kinetics and selected physico-chemical properties of cranberries (*Vaccinium macrocarpon* Ait.). *LWT - Food Science and Technology* 63(1): 497-503.
- Shabde VS and Hoo KA, 2007. Optimum controller design for a spray drying process. *Control Engineering* 16: 541-552.
- Sorouraddin MH, Saadati M and Mirabi F, 2015. Simultaneous determination of some common food dyes in commercial products by digital image analysis. *Journal of Food and Drug Analysis* 23(3): 447-452.
- Šumić Z, Vakula A, Tepić A, Čakarević J, Vitas J and Pavlić B, 2016. Modeling and optimization of red currants vacuum drying process by response surface methodology (RSM). *Food Chemistry* 203: 465-475.
- Tonon RV, Brabet C and Hubinger MD, 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.
- Wani SM, Jan N, Wani TA, Ahmad A, Masoodi FA and Gani A, 2015. Optimization of antioxidant activity and total polyphenols of dried apricot fruit extracts (*Prunus armeniaca* L.) using response surface methodology. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jssas.2015.03.006>.
- Yousefi S, Emam-Djomeh Z and Mousavi S, 2011. Effect of carrier type and spray drying on the physicochemical properties of powdered and reconstituted pomegranate juice (*Punica Granatum* L.). *Journal of Food Science and Technology* 48(6): 677-684.

Optimization of watermelon powder production in a spray dryer

Z Heydari¹, R Amiri Chayjan^{2*}, M Esna Ashari³ and MA Zolfigol⁴

Received: December 20, 2017

Accepted: February 15, 2018

¹ MSc Student, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

² Associate Professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

³ Professor, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

⁴ Professor, Department of Organic Chemistry, Faculty of Chemistry, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

*Corresponding author: E mail: amirireza@basu.ac.ir

Abstract

Powder production from agricultural products that cultivated in large area is important to prevent losses in harvesting time and changing harvested material to valuable product with longer shelf life. The aim of this study was to optimize the drying of watermelon juice in a radiant spray dryer using response surface methodology (RSM). Experiments were conducted in three levels of air temperatures (60, 75 and 90 °C) and three levels of maltodextrin concentration (5, 7.5 and 10% w/v) as an additive material. Dependent parameters were lycopene value, color change, pH, solubility, moisture content, bulk density and antioxidant capacity. Coefficient of determination for prediction of lycopene value, color change, solubility, moisture content and antioxidant capacity were derived 98.70, 94.19, 96.27, 98.50 and 98.71, respectively. With respect to the desired conditions in this research (the lowest change in color and the highest value for lycopene, solubility and antioxidant capacity), the optimized condition with RSM for air temperature, maltodextrin concentration, lycopene value, color change, solubility, moisture content and antioxidant capacity were 79.67 °C, 5% (w/v), 24.84 mg/100g, 37.86, 35.12%, 26.58% (d.b.) and 25.05%, respectively.

Key words: Lycopene, Antioxidant, Color, Response surface method