

DOI: 10.22034/FR.2021.31663.1635

بررسی خواص شیمیایی و کیفی قرص فشرده تولیدشده از پودر گوجه‌فرنگی تحت شرایط مایکروویو- هوای گرم و بهینه‌سازی آن به روش سطح پاسخ

منوچهر رشیدی^۱، رضا امیری چایجان^{۲*}، احمد ارشادی^۳ و علی قاسمی^۴

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۱/۱

تاریخ پذیرش: ۹۸/۹/۱۱

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بیوسیستم، دانشگاه بوعلی‌سینا، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی بیوسیستم

^۲ دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه بوعلی‌سینا، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی بیوسیستم

^۳ دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشگاه بوعلی‌سینا، دانشکده کشاورزی، گروه علوم باغبانی

^۴ دانشجوی دکتری مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی بیوسیستم

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

چکیده

زمینه مطالعاتی: خشک‌کردن قرص‌های غذایی یکی از مراحل مهم فرآیند تولید قرص است که در حفظ مواد مغذی آنها نقش بسزایی دارد. هدف: در این پژوهش اثر شرایط مختلف خشک‌کردن مایکروویو- هوای گرم (دمای هوای ورودی، سرعت هوای ورودی و مدت زمان اعمال مایکروویو) بر روی خواص کیفی و شیمیایی قرص فشرده تولید شده از پودر گوجه‌فرنگی شامل محتوای لیکوپن، غلظت ویتامین ث، محتوای فنل کل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و شاخص‌های رنگی ΔL^* ، Δa^* و Δb^* مورد مطالعه قرار گرفت. روش کار: برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و بهینه‌سازی فرآیند از روش سطح پاسخ و طرح مرکب مرکزی استفاده شد. پارامترهای ورودی (مستقل) عبارتند از: دمای هوای ورودی، سرعت هوای ورودی و مدت زمان اعمال مایکروویو و پارامترهای وابسته (خروجی یا پاسخ) عبارتند از: محتوای لیکوپن، غلظت ویتامین ث، محتوای فنل کل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و شاخص‌های رنگی ΔL^* ، Δa^* و Δb^* . برای خشک‌کردن نمونه‌ها از پنج دمای هوا ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰°C، پنج سطح سرعت هوای ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲ و ۲/۵ m/s و پنج سطح مدت زمان اعمال مایکروویو ۰، ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ ثانیه در توان ثابت ۹۰ وات استفاده شد. **نتایج:** مقادیر محتوای لیکوپن، غلظت ویتامین ث، محتوای فنل کل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و شاخص‌های رنگی ΔL^* ، Δa^* و Δb^* به ترتیب ۸۶۵/۵ تا ۲۲۰۵/۶ mg.100gDM⁻¹، ۰ تا ۰/۳۶ تا ۸/۹ mg GAE/g DM، ۰/۸۸ تا ۰/۳۶ تا ۳۴/۹۵ درصد، ۱۲/۸۹ تا ۱۸/۹۸، ۵/۳۵ تا ۱۴/۶۰۹ و ۶/۷۸ تا ۱۳/۲۱ بدست آمدند. نقطه بهینه خشک‌کردن قرص فشرده تولیدشده از پودر گوجه‌فرنگی در دمای هوای ۵۰°C، سرعت هوای ۱/۰۷ m/s و مدت زمان اعمال مایکروویو ۴ ثانیه به دست آمد و مقادیر متغیرهای پاسخ در نقطه بهینه شامل محتوای لیکوپن، غلظت ویتامین ث، محتوای فنل کل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و شاخص‌های رنگی ΔL^* ، Δa^* و Δb^* به ترتیب ۴۳۴/۷ mg.100gDM⁻¹، ۰/۶۶ mg ascorbic/gDM، ۷/۷۸ mg GAE/g DM، ۵۰/۱۱ درصد، ۱۴/۷۶، ۸/۴۹ و ۷/۶۱ بدست آمدند. **نتیجه‌گیری نهایی:** نتایج نشان داد که خشک‌کردن تحت دمای پایین‌تر (۵۰°C) و مدت زمان کم (۴ ثانیه) اعمال توان ثابت مایکروویو (۹۰W) سبب حفظ بیشتر مواد مؤثره و افزایش شاخص مطلوبیت گردید.

واژگان کلیدی: گوجه‌فرنگی، قرص فشرده، خشک‌کردن، ویتامین ث، لیکوپن

مقدمه

گوجه‌فرنگی میوه‌ای با نام علمی *Lycopersicon esculentum*، غنی از مواد غذایی مرتبط با سلامت انسان است و منبع خوبی از کارتنوئیدها (به‌ویژه لیکوپن)، اسیدآسکوربیک (ویتامین C)، ویتامین E، بتاکاروتن، فولیک‌اسید (ویتامین B9)، فلاونوئیدها، ترکیبات فنلی، پتاسیم، پروتئین و فیبر غذایی است. لیکوپن عامل رنگ قرمز در میوه‌ها و سبزی‌ها از جمله گوجه‌فرنگی و فراوان‌ترین کارتنوئید در گوجه‌فرنگی می‌باشد (مارتی و همکاران ۲۰۱۸). ایران با تولید ۵/۹۷٪ از کل تولید گوجه‌فرنگی جهان، رتبه هفتم را در این زمینه به خود اختصاص داده است (فائو ۲۰۱۷).

انواع فرآورده‌های تولیدشده از گوجه‌فرنگی عبارتند از: آب(عصاره)، پوره(پالپ)، سس (کچاپ) و رب. با این حال، گوجه فرنگی تازه بسیار سریع فاسد می‌شود و منجر به تلفات و هدر رفتن و ایجاد زباله در طول دوره برداشت تا مصرف می‌شود (لیو و همکاران ۲۰۱۰). بنابراین باید یا سریعاً مصرف شود و یا برای مصارف بعدی تحت شرایط کنترل‌شده فرآوری و نگهداری شود. خشک‌کردن یکی از این روش‌های مطلوب فرآوری و نگهداری گوجه‌فرنگی است. در سال‌های اخیر گوجه‌فرنگی خشک‌شده از حاشیه سبد غذایی به بخش اصلی تولید و عمومی صنعت غذا راه یافته است (لتاپی و برت ۲۰۰۶).

در میان فرآورده‌های گوجه‌فرنگی خشک‌شده، پودر گوجه‌فرنگی بازار خاص را در اختیار دارد (لیو و همکاران ۲۰۱۰). تولید پودر، یک روش جایگزین برای گسترش عمر مفید مواد غذایی است که منجر به تولید محصولی با ارزش تجاری خوب و مدیریت، بسته‌بندی و حمل‌ونقل آسان می‌گردد (دوریگان و همکاران ۲۰۱۶). معمولاً پودر میوه خیلی خشک، رطوبت‌دوست (گیرنده‌ی رطوبت هوا یا نم‌گیر) است و حجم زیادی دارد. بنابراین در طول ذخیره‌سازی، حمل‌ونقل آن نیازمند مراقبت ویژه و بسته‌بندی خاصی است؛ که هزینه را افزایش می‌دهد. برای غلبه بر این مشکلات، تراکم پودر میوه به

شکل قرص، یک روش منحصر به فرد است. مرور مقالات چاپ‌شده، تحقیقات بسیار کمی را در این زمینه نشان می‌دهد. شکل‌گیری قرص از پودرهای پتایا، انبه و میوه گواوا توسط یوسف و همکاران (۲۰۱۲)، اونگ و همکاران (۲۰۱۴)، ضیا و همکاران (۲۰۱۳) گزارش شده است. همچنین آدیبا و همکاران (۲۰۱۱) نیز درباره قرص‌های غذایی حاوی پودرهای میوه‌های مختلف (خرما، اسپیرولینا و نارنگی) پژوهشی انجام دادند. فرآوری پودر مواد غذایی به شکل قرص با توجه به راحتی ذخیره‌سازی، حمل‌ونقل و مقرون به صرفه‌بودن استفاده، فناوری جدیدی است که به سرعت در صنعت مواد غذایی در حال توسعه است، که احتمال تخریب مواد مغذی را کاهش می‌دهد (عزیز و همکاران ۲۰۱۸). برای ذخیره‌سازی ایمن قرص، مطلوبست که محتوای رطوبتی آن به کمتر از ۱۲٪ بر مبنای تر کاهش یابد. این فرآیند، تولید قرص و دوام آن را بهبود می‌بخشد و هم‌چنین موجب عدم فروپاشی و شکستن قرص در هنگام جابجایی و حمل و نقل می‌شود (ماهاپاترا و همکاران ۲۰۱۸).

خشک‌کن هوای گرم با بیش از ۸۵ درصد کاربرد در صنعت فرآوری به علت سادگی، ظرفیت بالا و نرخ بالای خشک‌شدن، همواره به‌عنوان یکی از رایج‌ترین خشک‌کن‌ها شناخته می‌شود (موزس و همکاران ۲۰۱۴). امواج مایکروویو دارای فرکانس ۳۰۰-۳۰۰۰۰۰ مگاهرتز و طول موج ۰/۰۰۱ متر در هوا می‌باشند. این امواج در ماده‌غذایی نفوذ کرده و باعث گرمایش می‌شود. مواد غذایی دارای مولکول‌های قطبی مانند آب هستند. این مولکول‌ها عموماً دارای جهت‌گیری تصادفی می‌باشند. در گستره فرکانس مایکروویو، چرخش دو قطبی مولکول‌های آب بر اثرات حرارتی غالب است. تغییر قطبیت میدان الکتریکی موجب چرخش دو قطبی مولکول‌های آب می‌شود. این چرخش مولکول‌ها منجر به ایجاد اصطکاک با محیط اطراف و تولید گرما می‌شود (زرین‌نژاد و امیری‌چایجان ۱۳۹۵). در تمامی فرآیندهای صنعتی مقدار مصرف و بازده انرژی دارای اهمیت بالایی است، اما از آنجایی‌که فرآیند خشک‌کردن بین ۱۲ تا ۲۰ درصد از کل مصرف انرژی

تغییرات فیزیولوژیکی و شیمیایی در یخچال با دمای ۳ °C تا ۵ °C تا زمان انجام آزمایش‌ها نگهداری شدند.

تعیین محتوای رطوبتی اولیه گوجه‌فرنگی‌های تازه
به‌منظور تعیین رطوبت اولیه نمونه‌های گوجه‌فرنگی، حدود ۱۰ گرم نمونه در دستگاه آون (ممرت، مدل UNE 500، ساخت آلمان)، در دمای ۶۰ درجه سلسیوس به مدت حدود ۴۸ ساعت تا رسیدن به وزن ثابت قرار گرفت (مارفیل و همکاران ۲۰۰۸). نمونه‌ها پس از رسیدن به وزن ثابت با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ g توزین شدند، سپس محتوای رطوبت اولیه برابر با ۱۶۰۶/۵ d.b.٪ به دست آمد.

فرآیند خشک‌کردن و پودرکردن ورقه‌های گوجه‌فرنگی
ابتدا به منظور جداکردن لایه نازک پوست گوجه‌فرنگی‌های تازه، آنها را به مدت ۳۰ تا ۴۵ ثانیه در آب داغ غوطه‌ور کرده و سپس پوست گوجه‌فرنگی به راحتی از آن جدا شد (عملیات بلانچینگ). پس از جداکردن پوست گوجه‌فرنگی، به کمک یک تیغ تیز در ضخامت‌های ۳ mm برش خوردند. به منظور خشک‌کردن، ورقه‌های گوجه‌فرنگی روی فویل‌های آلومینیومی قرار گرفته و نمونه‌ها در خشک‌کن پیوسته نیمه‌صنعتی هوای داغ در دمای ۵۰ °C در سرعت هوای ۱ m/s خشک شدند. دمای مورد مطالعه باتوجه به این که تحت خشک‌شدن در محدوده دمایی ۵۰ تا ۶۰ °C محتوای ویتامین ث و لیکوپن گوجه‌فرنگی به صورت قابل قبولی حفظ می‌شود انتخاب شد (پورکاپاستا و همکاران ۲۰۱۳). فرآیند خشک‌کردن نمونه‌ها تا رسیدن محتوای رطوبتی نمونه‌ها به حدود ۱۰ درصد بر پایه خشک (رطوبت مناسب جهت جلوگیری از فساد محصول) ادامه یافت.

پس از اتمام فرآیند خشک‌کردن گوجه‌فرنگی‌های تازه، ابتدا ورقه‌های خشک گوجه‌فرنگی در داخل دستگاه آسیاب پاناسونیک (مدل MJ-M176P، ساخت مالزی) ریخته و به مدت یک دقیقه آسیاب و خرد شدند. پس از اتمام فرآیند آسیاب‌کردن، به‌منظور همگن‌سازی اندازه ذرات، پودر گوجه‌فرنگی‌های حاصله توسط الک (آزمون، ساخت ایران) با مش ۵۰ (اندازه ذرات کمتر از

صنعت فرآوری را به خود اختصاص می‌دهد، یافتن نقاط بهینه فرآیند با در نظر گرفتن انرژی مصرفی و همچنین حفظ مواد مؤثره حائز اهمیت است (موزس و همکاران ۲۰۱۴). برای به دست‌آوردن شرایط بهینه یک فرآیند، از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود. روشی که به‌طور گسترده در صنایع غذایی استفاده می‌شود روش سطح پاسخ^۱ است که به بررسی اثر متغیرهای مستقل بر روی شاخص‌های کیفی و بهینه‌سازی فرآیندها می‌پردازد. روش سطح پاسخ مجموعه‌ای از تکنیک‌ها و روش‌های آماری جمع‌آوری اطلاعات است که می‌تواند با مدل‌سازی‌های ریاضی و آماری، اثر عوامل مؤثر در یک فرآیند را بر متغیرهای پاسخ بهینه‌سازی نماید (شومیک و همکاران ۲۰۱۶).

با توجه به این‌که انتخاب بهترین حالت خشک‌کردن قرص باعث کمترین تأثیر منفی بر روی خواص کیفی و مواد مؤثره پودر آن خواهد شد، لذا با توجه به بررسی‌های انجام‌شده، تاکنون هیچ پژوهشی در مورد بهینه‌سازی دستگاه خشک‌کن مایکروویو- هوای گرم در فرآیند خشک‌کردن قرص فشرده تولیدشده از پودر گوجه‌فرنگی با در نظر گرفتن پارامترهای محتوای لیکوپن، غلظت ویتامین ث، محتوای فنل کل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و تغییر رنگ انجام نشده است. بنابراین، هدف این پژوهش تعیین شرایط بهینه خشک‌کردن قرص فشرده تولیدشده از پودر گوجه‌فرنگی با خشک‌کن ترکیبی مایکروویو- هوای گرم با استفاده از روش سطح پاسخ بود.

مواد و روش‌ها

تهیه محصول

به منظور انجام این طرح، گوجه‌فرنگی‌های تازه با قطر متوسط بین ۴ تا ۶ cm از میدان میوه و تره‌بار استان همدان تهیه گردید. پس از شست‌وشو و جداکردن گوجه‌فرنگی‌های ناسالم، گوجه‌فرنگی‌ها از نظر اندازه و شکل دسته‌بندی‌شده و تمامی نمونه‌ها جهت جلوگیری از

بخش اصلی شامل فک بالایی، فک پایینی از جنس آلومینیوم و یک پیستون از جنس فولاد تشکیل شده است. فک بالایی و پایینی توسط چهار پیچ نگهدارنده به یکدیگر متصل می‌شوند. طی فرآیند قرص‌سازی با این قالب، ابتدا مواد خام از طریق مجرای ورودی قرار گرفته در فک بالایی وارد قالب می‌شوند و قالب زیر دستگاه پرس هیدرولیک آزمایشگاهی قرار می‌گرفت. با حرکت جک به سمت پایین با سرعت ۶ mm/s و اعمال فشار توسط جک دستگاه پرس به پیستون (قطعه شماره ۳ در شکل)، مواد خام با عبور از قسمت مخروطی شکل فک پایینی قالب (بخش پیش‌تراکم) وارد دو نیم‌کره ایجادشده بین فک بالایی و پایینی (با قطر ۱۲ mm) می‌شدند و مواد در یک حجم بسته، فشرده شده و قرص فشرده تشکیل می‌شد. با رسیدن فشار جک به ۷۵ bar به مدت ۱۵ ثانیه جهت انجام فرآیند آسایش تنش، فشار روی مواد نگهداشته می‌شد (قاسمی و چایجان، ۲۰۱۸). سپس با حرکت پیستون به سمت بالا، فشار از روی مواد برداشته می‌شد. در انتهای فرآیند قرص‌سازی، پیچ‌های نگهدارنده باز می‌شد و دو فک بالایی و پایینی به آهستگی از هم جدا شده و قرص فشرده از درون قالب خارج می‌شد.

۵ mm) الک شدند. در نهایت پودر گوجه‌فرنگی تولیدشده داخل پلاستیک‌های مخصوص جمع‌آوری شده و برای انجام آزمایش‌ها نگهداری شدند. اندازه ذرات مواد مورد استفاده جهت قرص‌سازی کمتر از ۰/۵mm بودند.

آماده‌سازی پودر گوجه‌فرنگی قبل از فرآیند قرص‌سازی

قبل از انجام فرآیند قرص‌سازی به‌منظور افزایش نیروی چسبندگی بین ذرات نیاز است تا به گوجه‌فرنگی‌های پودر شده، رطوبت و ماده چسبان اضافه گردد. با توجه به پیش‌آزمایش‌های انجام‌شده، محتوای رطوبتی پودر گوجه‌فرنگی به ۲۳٪d.b. رسانیده شد. همچنین از شربت فروکتوز ۵۵ درصد به‌عنوان ماده چسبان استفاده شد. فروکتوز به‌عنوان ماده چسبان، حلالیت بالایی در آب دارد و دارای درصد بالایی از مونوساکارید (۵۵ درصد) است. وزن آب مورد نیاز جهت رساندن محتوای رطوبتی پودر گوجه‌فرنگی به ۲۳٪d.b. از رابطه (۱) تعیین شد. شربت فروکتوز به مقدار ۶ درصد وزنی (نسبت به وزن خام پودر گوجه‌فرنگی) در آب حل شد و محلول به‌دست‌آمده به پودر گوجه‌فرنگی اضافه و با آن مخلوط شد و سپس به‌منظور جذب کامل رطوبت، پودر گوجه‌فرنگی رطوبت داده شده به مدت ۷۲ ساعت در یخچال در دمای ۴ °C قرار گرفت.

$$W_w = \frac{W_i (M_f - M_i)}{100 - M_f} \quad (1)$$

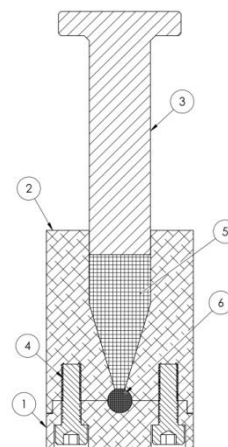
که W_w وزن آب اضافه‌شده به پودر (g)، W_i وزن اولیه پودر (g)، M_f رطوبت نهایی (d.b.) و M_i رطوبت اولیه (d.b.) هستند.

فرآیند قرص‌سازی

به‌منظور فشرده‌سازی مواد خام درون یک قالب ته‌بسته، از یک پرس هیدرولیک آزمایشگاهی برای انجام آزمایش‌های قرص‌سازی استفاده شد. شکل ۱ شماتیکی از قالب دستگاه پرس هیدرولیک ساخته‌شده به‌منظور انجام آزمایش‌های قرص‌سازی را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود این قالب از سه

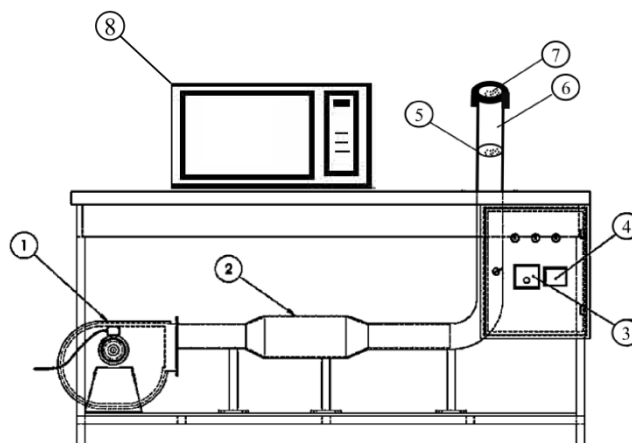
خشک‌کن قرص‌های گوجه‌فرنگی

آزمایش‌های خشک‌کردن بلافاصله پس از پایان فرآیند قرص‌سازی نمونه‌ها انجام شدند. جهت خشک‌کردن قرص‌های کروی فشرده تولیدشده از پودر گوجه‌فرنگی از دستگاه خشک‌کن مایکروویو- هوای گرم ساخته‌شده در آزمایشگاه مهندسی پس از برداشت گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه بوعلی سینا همدان استفاده شد (شکل ۲). خشک‌کن شامل یک دمنده شعاعی، المنت‌های حرارتی، المنت‌های گرم‌کننده هوا (پنج عدد المنت حرارتی که توان هرکدام 500 W در مجموع 2500 W ، اتاقک، اینورتر (کنترل‌کننده سرعت جریان هوا)، سیستم کنترل دما و توان مادون‌قرمز، توری مشبک، محفظه خشک‌کن و محل قرارگیری نمونه‌ها و دریچه خروجی هوا بود. برای پیش‌تیمار مایکروویو از دستگاه مایکروویو (شارپ، مدل R959SLMA، ساخت تایلند) استفاده شد. این مدل مایکروویو با حداکثر توان 900 W و قابلیت تنظیم توان مایکروویو بین درصد توان‌های 10% (90 W) تا 100% (900 W) را داشت. دستگاه برای مدت زمان روشن‌بودن در توان مایکروویو دلخواه، داری تفکیک زمانی یک ثانیه بود.



شکل ۱- نمای شماتیکی برش‌خورده از قالب تشکیل قرص- های کروی شکل (۱- فک پایینی (قالب تشکیل نیم‌کره پایینی)، ۲- فک بالایی (ورودی مواد خام، بخش پیش‌تراکم و قالب تشکیل نیم‌کره بالایی)، ۳- پیستون، ۴- پیچ نگهدارنده، ۵- مواد خام و ۶- قرص کروی تشکیل شده (قاسمی و چایجان ۲۰۱۸))

Figure 1- Schematic view cut from the mold to form spherical tablets (1- lower jaw (lower hemisphere forming mold), 2- upper jaw (raw material inlet, preconditioning section and upper hemisphere forming mold), 3- piston, 4- retaining screw, 5- raw material and 6 - Spherical Tablet Formed (ghasemi and Chayjan 2018))



شکل ۲- شماتیکی از دستگاه خشک‌کن مایکروویو- هوای گرم (۱- دمنده شعاعی، ۲- المنت‌های حرارتی، ۳- اتاقک، ۳- اینورتر (کنترل‌کننده سرعت جریان هوا)، ۴- سیستم کنترل دما و توان مادون‌قرمز، ۵- توری مشبک، ۶- محفظه خشک‌کن و محل قرار گیری نمونه‌ها، ۷- دریچه خروجی هوا و ۸- دستگاه مایکروویو)

Figure (2)- Schematic of microwave-hot air dryer (1- Radial blower, 2- Heat elements, 3- Chamber, 3- Inverter (air flow speed controller), 4- Infrared temperature and power control system, 5- Grid, 6- Drying chamber and location sampling, 7- Air outlet and 8- Microwave)

فرنگی، آزمایش‌های خشک‌کردن در پنج سطح دمایی 40 ، 50 ، 60 ، 70 و 80°C ، پنج سطح سرعت جریان هوای

به منظور بررسی اثر خشک‌کن هوای گرم- مایکروویو بر قرص‌های فشرده کروی تولیدشده از پودر گوجه-

تشخیص $g \ 0.001$ اندازه‌گیری و محتوای رطوبتی نمونه‌ها تعیین می‌شد. آزمایش‌ها تا رسیدن به محتوای رطوبتی $d.b. \ 10\%$ ادامه یافت.

تعیین خصوصیات شیمیایی و کیفی قرص‌های فشرده کروی

خواص شیمیایی، یک بار برای گوجه‌فرنگی تازه (قبل از فرآیند خشک‌شدن)، یک بار برای پودر گوجه‌فرنگی (بعد از فرآیند خشک‌شدن در خشک‌کن پیوسته نیمه‌صنعتی) و یک بار نیز برای قرص فشرده خشک‌شده بعد از فرآیند خشک‌کردن مایکروویو- هوای گرم تعیین شدند.

اندازه‌گیری محتوای لیکوپن

به منظور اندازه‌گیری مقدار محتوای لیکوپن، نمونه‌ها ابتدا محلول استخراج با ترکیب 5 ml اتانول 95% درصد، 5 ml استون خالص و 10 ml هگزان ساخته شد. سپس بین 0.4 تا 0.6 g نمونه گوجه‌فرنگی به ظرف حاوی محلول استخراج اضافه شد. محلول بدست آمده توسط یک شیکر با سرعت 180 rpm به مدت 15 min با یکدیگر ترکیب شدند تا مخلوط همگنی بدست آید. پس از آن 3 ml آب مقطر مجدداً به نمونه‌ها اضافه شد و 5 min با همان شرایط قبل روی شیکر قرار داده شد. سپس نمونه‌ها را از روی شیکر برداشته و به مدت 5 min در دمای آزمایشگاه قرار دادند تا فازها از هم جدا شوند. فاز هگزان (فاز بالایی که احتمالاً زرد رنگ است) نمونه با دقت برداشته شد و با دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل کری ۱۰۰، ساخت آمریکا) در طول موج 503 nm جذب نمونه قرائت شد (فیش ۲۰۰۲).

اندازه‌گیری غلظت ویتامین ث

غلظت ویتامین ث به روش تیتراسیون دومرحله‌ای مطابق با استاندارد ملی ایران شماره ۵۶۰۹ اندازه‌گیری شد. در این روش ابتدا مقدار 25 میلی‌لیتر اسید متافسفریک 6% درصد به 10 گرم نمونه گوجه‌فرنگی اضافه گردید (محلول استخراج)، سپس 5 میلی‌لیتر از این محلول با اسید متافسفریک 3% درصد در ارلن 50 سی‌سی به حجم رسانده شد و توسط کاغذ صافی فیلتر شد. پس از آن 10 میلی‌لیتر از نمونه صاف شده توسط $2-6$ دیکروفل‌این‌دوفنل (محلول آشکارساز) تیترا گردید.

ورودی $0.5/1$ ، $0.5/2$ و $0.5/2.5 \text{ m/s}$ در خشک‌کن هوای گرم و پنج سطح زمانی مایکروویو 4 ، 8 ، 12 و 16 s با توان ثابت 90 W انتخاب شدند. سطوح دمایی مورد مطالعه با توجه به حفظ ویتامین ث در دماهای پایین‌تر از 60°C و افزایش مقدار لیکوپن در دماهای بالاتر از 60°C انتخاب شدند. همچنین سطح توان مایکروویو و سطوح مدت زمان اعمال مایکروویو با توجه به پیش-آزمایش‌های انجام شده، انتخاب شدند. قبل از شروع آزمایش، دمنده روشن‌شده و سرعت هوا توسط سرعت‌سنج توربینی لوترون مدل YK80AM در داخل محفظه خشک‌کن و محل قرارگیری نمونه‌ها اندازه‌گیری شد و با تنظیم اینورتر به مقدار سرعت مورد نظر رسید. برای اندازه‌گیری و کنترل دما طی فرآیند خشک‌کردن از یک ترموستات (آتین، ساخت ایران) با درجه تفکیک 1°C که به یک حسگر دمای نقطه‌ای (ترموکوپل) نوع K، مجهز بود و روی دستگاه خشک‌کن نصب‌شده بود استفاده شد. رطوبت نسبی هوای ورودی به خشک‌کن با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج لوترون مدل YK-2005RH اندازه‌گیری شد که مقدار آن $26/1\%$ درصد به دست آمد. حدود 30 دقیقه به سیستم فرصت داده شد تا به شرایط دمایی پایدار برسد. هنگامی که دستگاه خشک‌کن به حالت پایدار می‌رسید، آزمایش‌ها آغاز می‌شد. هم چنین دستگاه مایکروویو روی توان 90 W تنظیم شده و روی زمان‌های مذکور تنظیم می‌شد. آزمایش‌ها بدین صورت بود که در هر آزمایش تعداد 17 عدد قرص فشرده کروی با وزنی در حدود 0.4 kg را در ظرف خشک‌کن قرار داده و آن را در محفظه مایکروویو گذاشته و طبق مدت زمان مربوط به هر آزمایش روشن شد. سپس نمونه‌ها در زمان‌های 3 ، 5 ، 10 ، 15 ، 20 ، 30 ، 35 ، 40 ، 45 ، 50 ، 55 ، 60 ، 80 ، 100 و 120 دقیقه و مابقی هر 30 دقیقه درون محفظه خشک‌کن هوای گرم قرار می‌گرفتند. طی مرحله خشک‌شدن در فواصل زمانی مشخص فوق، نمونه‌ها از خشک‌کن خارج و وزن آن‌ها قبل و بعد از مدت زمان قرارگیری در خشک‌کن و قبل و بعد از اعمال تیمار مایکروویو با استفاده از یک ترازوی دیجیتال (AND، مدل GF-600، ساخت ژاپن) با قدرت

$$RSC (\%) = \left(\frac{A_{blank} - A_{sample}}{A_{blank}} \right) \times 100 \quad (2)$$

که A_{sample} و A_{blank} به ترتیب میزان جذب شاهد و نمونه هستند.

اندازه‌گیری رنگ و محاسبه تغییرات آن

به منظور اندازه‌گیری شاخص‌های رنگی از روش پردازش تصویر استفاده شد. بدین منظور از اسکنر اچ-پی مدل Scan Jet G4010 استفاده شد. ابتدا دستگاه اسکنر توسط کارت‌های سیاه و سفید استاندارد به نحوی که برحسب مقیاس رنگی RGB برای رنگ سیاه عددهای (۰،۰،۰) و برای رنگ سفید (۲۵۵، ۲۵۵، ۲۵۵) را نشان دهد کالیبره شد، سپس گوجه‌فرنگی تازه، پودر و قرص حاصل از آن با درجه تفکیک ۱۲۰۰ dpi اسکن شدند. عکس‌های به دست آمده توسط نرم‌افزار متلب نسخه ۲۰۱۷a پردازش گردید و مقادیر رنگی L^* ، a^* و b^* به دست آمده محاسبه شدند. در پایان با استفاده از روابط (۳) تا (۵)، تغییرات رنگ گوجه‌فرنگی تازه و پودر و قرص حاصل از آن پس از خشک‌شدن محاسبه گردید (چن و همکاران ۲۰۱۳؛ احمدی قویدلان و امیری چایجان ۱۳۹۵).

$$\Delta L^* = (L_0^* - L_1^*) \quad (3)$$

$$\Delta a^* = (a_0^* - a_1^*) \quad (4)$$

$$\Delta b^* = (b_0^* - b_1^*) \quad (5)$$

که مقدار L^* مقدار تیرگی (۰) تا روشنایی (۱۰۰)، a^* مقدار قرمزی (+۱۲۰) تا سبزی (-۱۲۰) و b^* مقدار زردی (+۱۲۰) تا آبی (-۱۲۰) هستند.

بهینه‌سازی

در این پژوهش برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و بهینه‌سازی فرآیند خشک‌کردن قرص فشرده کروی تولیدشده از پودر گوجه‌فرنگی با خشک‌کن مایکروویو- هوای گرم از روش سطح پاسخ استفاده شد. آزمایش‌ها در قالب طرح مرکب مرکزی در نرم‌افزار دیزاین اکسپرت نسخه ۱۰ تعریف شدند. متغیرهای مستقل (ورودی) به نرم‌افزار دیزاین اکسپرت در خشک‌کن مایکروویو- هوای گرم شامل مدت زمان اعمال مایکروویو، دمای هوای ورودی

در نقطه پایان آزمایش، محلول به رنگ صورتی کم‌رنگ درآمد که این رنگ به مدت ۱۵ ثانیه دوام داشت.

اندازه‌گیری محتوای فنل کل

برای اندازه‌گیری محتوای فنل کل از روش فولین سیکالتو استفاده شد. به طور خلاصه، ابتدا ۰/۵ گرم از بافت میوه با سه میلی‌لیتر متانول ۸۵ درصد عصاره گیری شد. سپس ۳۰۰ μl از عصاره به ۱۵۰۰ μl معرف فولین سیکالتو ۱۰٪ افزوده شد و به مدت پنج دقیقه در دمای آزمایشگاه قرار گرفت. سپس ۱۲۰۰ μl سدیم کربنات ۷ درصد همراه با ۶۰۰ μl آب مقطر به آن اضافه شد و به مدت ۹۰ دقیقه روی شیکر ۱۱۰ rpm در دمای اتاق به صورت تاریکی تکان داده شد. در نهایت میزان جذب نمونه گوجه‌فرنگی با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتر (مدل کری ۱۰۰، ساخت آمریکا) در طول موج ۷۶۵ nm اندازه‌گیری شد و پس از مقایسه با استاندارد اسیدگالیک، بر اساس میلی‌گرم اسیدگالیک در یک گرم بافت نمونه گوجه‌فرنگی بیان گردید (سینگلتونو همکاران ۱۹۶۵).

اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گوجه‌فرنگی از طریق توانایی خنثی‌کنندگی رایکال آزاد (RSC) DPPH (۲ و ۲) دی فنیل ۱- پیگریل هیدرازیل) به صورت درصد بازدارندگی محاسبه شد. در این روش ابتدا ۵۰۰ μl از عصاره تهیه شده برای فنل کل همراه با ۵۰۰ μl آب مقطر به مدت پنج دقیقه و با سرعت ۱۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس ۷۵ میکرولیتر از محلول حاصل به لوله‌های آزمایش منتقل شده و در نهایت ۲۹۲۵ μl محلول متانولی DPPH (با غلظت ۲/۴ میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر متانول ۸۵٪) به آن اضافه شد و پس از چند ثانیه ورتکس، جذب نوری نمونه محلول‌های بدست آمده و شاهد توسط اسپکتوفتومتر (مدل کری ۱۰۰، ساخت آمریکا) در طول موج ۵۱۵ nm قرائت شد. درصد RSC از رابطه (۲) محاسبه شد (برند و همکاران ۱۹۹۵)

و سرعت هوای ورودی بود. متغیرهای وابسته که مورد بررسی قرار گرفتند عبارتند از: محتوای لیکوپن، غلظت ویتامین ث، محتوای فنل کل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و شاخص‌های رنگی ΔL^* ، Δa^* و Δb^* که مورد بررسی قرار گرفتند.

در این پژوهش به دلیل اهمیت بالای کیفیت در فراوری گوجه‌فرنگی، برای پارامترهای شیمیایی لیکوپن و ویتامین ث بیشترین ضریب وزنی (۵)، برای ارزیابی رنگ ضریب وزنی متوسط (۳) و برای محتوای فنل کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی کمترین ضریب وزنی (۱) لحاظ گردید. برای مدل‌سازی رفتار سیستم‌های عاملی دو خطی و بررسی اثرهای متقابل از مدل (۶) استفاده شد (داپورتو و ناتولینو، ۲۰۱۸).

$$y = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_j + \sum_{i < j} \sum \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{j=1}^k \beta_{jj} x_j^2 \quad (6)$$

که در این رابطه، y متغیر پاسخ، x_j مقدار مستقل، X_i مقدار واقعی هر پارامتر، k تعداد متغیرها، β_j ضرایب متغیرها، β_{ij} ضرایب اثرهای متقابل متغیرها است. در برآورد کردن ضرایب متغیرها (β ها) برای یک مدل درجه دوم نمی‌توان به راحتی طرح چندعاملی دوسطحی با نقاط مرکزی و حقیقی استفاده کرد، زیرا تعداد β ها بیشتر از تعداد تیمارها می‌شود. از این‌رو با اضافه کردن نقاط محوری، محاسبه β ها و همچنین استفاده بهتر از مدل درجه دوم امکان پذیر است. متغیرهای مستقل و سطوح کدبندی شده آن‌ها و تعداد آزمایش‌ها برای خشک‌کن مایکروویو- هوای گرم به ترتیب درجدول‌های ۱ و ۲ آورده شده است.

جدول ۱- سطوح کدبندی شده بیشینه، متوسط و کمینه متغیرهای مستقل در خشک‌کن مایکروویو- هوای گرم

Table 1- Coded levels of maximum, mean and minimum independent variables in microwave-hot air dryer

Independent variables	Symbol	Coded levels of variables				
		-2	-1	0	1	2
Air temperatures (°C)	T	40	50	60	70	80
Air velocity (m/s)	V	0.5	1	1.5	2	2.5
Microwave exposure time (s)	T	0	4	8	12	16

جدول ۲- آزمایش‌های طراحی‌شده برای بررسی اثر متغیرهای پاسخ بر فرآیندهای قرص‌سازی از پودر گوجه‌فرنگی و خشک-

کردن آنها در خشک‌کن مایکروویو- هوای گرم با استفاده از نرم‌افزار دیزاین اکسپرت نسخه ۱۰

Table 2- Experiments designed to investigate the effect of response variables on tablets processes of tomato powder and drying them in microwave-hot air dryer using Design Expert 10

Test number	Levels of independent variables (coding value)			Number of repeats
	Air temperatures (°C)	Air velocity (m/s)	Microwave exposure time (s)	
1	60 (0)	1.5 (0)	8 (0)	6
2	50 (-1)	1 (-1)	4 (-1)	1
3	60 (0)	1.5 (0)	0 (-2)	1
4	80 (2)	1.5 (0)	8 (0)	1
5	50 (-1)	2 (1)	4 (-1)	1
6	70 (1)	1 (-1)	12 (1)	1
7	70 (1)	1 (-1)	4 (-1)	1
8	50 (-1)	1 (-1)	12 (1)	1
9	70 (1)	2 (1)	12 (1)	1
10	50 (-1)	2 (1)	12 (1)	1
11	60 (0)	1.5 (0)	16 (2)	1
12	70 (1)	2 (1)	4 (-1)	1
13	40 (-2)	1.5 (0)	8 (0)	1
14	60 (0)	2.5 (2)	8 (0)	1
15	60 (0)	0.5 (-2)	8 (0)	1

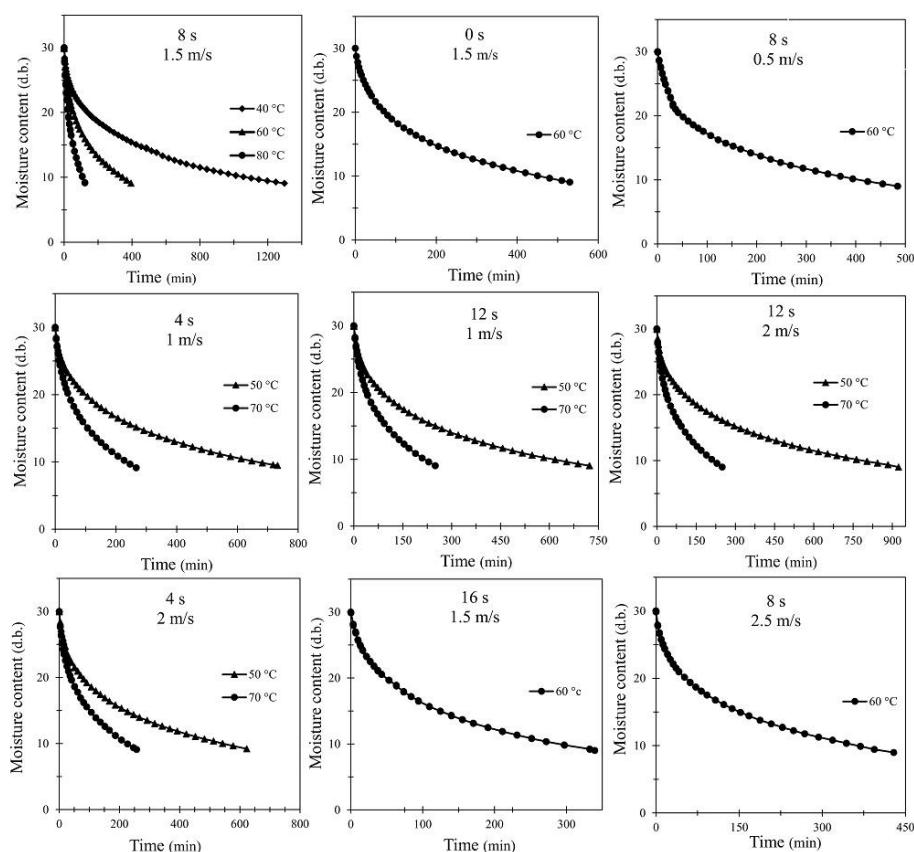
نتایج و بحث

سینتیک خشک‌شدن قرص فشرده تولیدشده از پودر

گوجه‌فرنگی در خشک‌کن مایکروویو- هوای گرم

شکل‌های ۳ و ۴، به ترتیب تغییرات محتوای رطوبتی قرص فشرده تولیدشده از پودر گوجه‌فرنگی و تغییر $\ln(MR)$ را در مقابل زمان خشک‌شدن برای خشک‌کن مایکروویو- هوای گرم نشان می‌دهد. مطابق شکل، زمان خشک‌شدن قرص فشرده تولیدشده از پودر گوجه‌فرنگی با خشک‌کن مایکروویو از ۱۲۲/۴ دقیقه

(دمای 80°C ، سرعت هوای $1/5\text{ m/s}$ و مدت زمان اعمال مایکروویو 8 s در توان ثابت 90 W) تا $1297/2$ دقیقه (دمای 40°C ، سرعت هوای $1/5\text{ m/s}$ و مدت زمان اعمال مایکروویو 8 s در توان ثابت 90 W) متغیر بود که هم‌زمان با افزایش دمای هوای ورودی، مدت زمان اعمال مایکروویو و سرعت هوای ورودی، نرخ تبخیر رطوبت بافت افزایش یافت که این مورد منجر به کاهش زمان خشک‌شدن قرص فشرده تولیدشده از پودر گوجه‌فرنگی با خشک‌کن مایکروویو- هوای گرم شد.

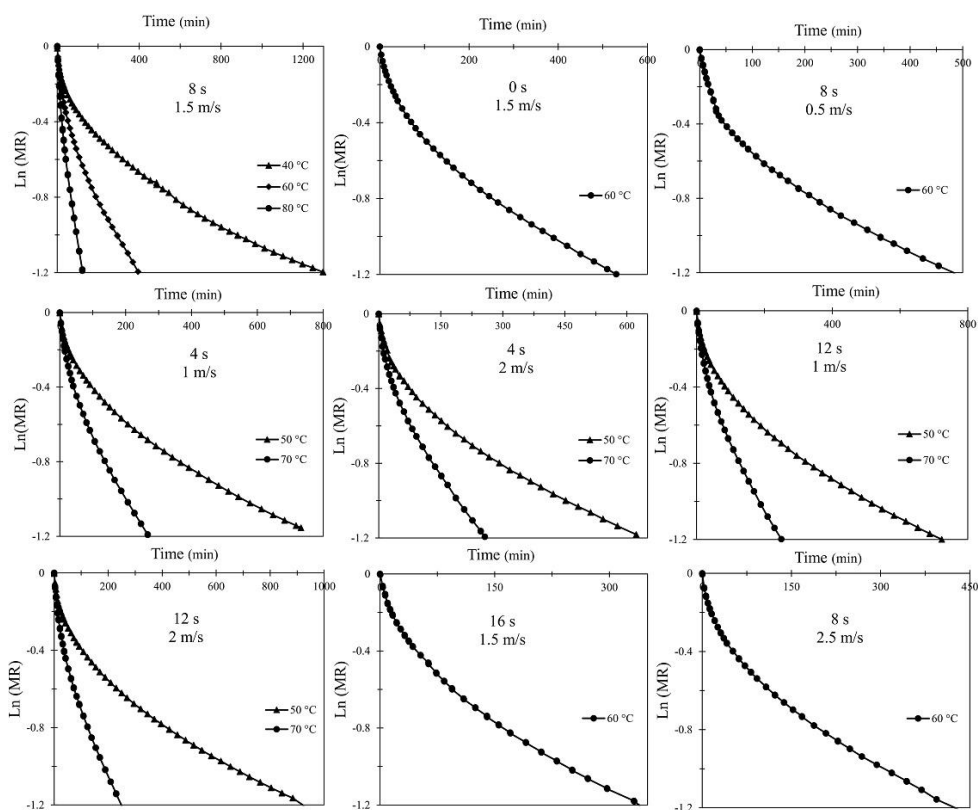


شکل ۳- سینتیک خشک‌کردن قرص فشرده تولیدشده از پودر گوجه‌فرنگی با خشک‌کن مایکروویو- هوای گرم در پنج سطح سرعت هوای ورودی، پنج سطح دمای هوای ورودی و پنج سطح مدت زمان اعمال مایکروویو

Figure 3- Kinetics of drying of compact tablets produced from tomato powder with microwave-hot air dryer at five levels of inlet air velocity, five levels of inlet air temperature and five levels of microwave exposure time

قدرت میدان الکترومغناطیسی و در نتیجه میزان خشک‌شدن دارد. این مهم‌ترین دلیل برای دوره خشک‌شدن نزولی در مرحله بعد خشک‌شدن است. نتایج پژوهش زرین‌نژاد و امیری چایجان (۱۳۹۵) در مورد فرآیند خشک‌کردن پسته در خشک‌کن مایکروویو بستر سیال و همچنین ورکنه و همکاران (۲۰۱۳) در مورد خشک‌کردن ورقه‌های نازک گوجه‌فرنگی با استفاده از ترکیب هوای گرم و امواج مایکروویو با تحقیق حاضر مطابقت دارد.

در خشک‌کن مایکروویو- هوای گرم با افزایش دمای هوا و مدت زمان اعمال مایکروویو، انرژی بیشتری برای انتقال رطوبت به سطح محصول بکار رفت و همچنین سرعت هوای ورودی در ابتدای فرآیند، به علت افزایش ضریب جابجایی و کاهش فشار بخار و دورکردن رطوبت از اطراف نمونه‌ها، باعث کاهش زمان خشک‌کردن شد. در خشک‌کن مایکروویو، نرخ خشک‌شدن در مراحل اولیه خشک‌شدن بسیار بالاست، و سپس شروع به کاهش می‌کند. کاهش میزان رطوبت، اثر منفی بر



شکل ۴- $\ln(MR)$ قرص فشرده تولیدشده از پودر گوجه‌فرنگی در مقابل زمان برای خشک‌کن مایکروویو- هوای گرم در پنج سطح سرعت هوای ورودی، پنج سطح دمای هوای ورودی و پنج سطح مدت زمان اعمال مایکروویو

Figure 4- $\ln(MR)$ compact tablet produced from tomato powder versus time for microwave-hot air dryer at five levels of inlet air velocity, five levels of inlet air temperature, and five levels of microwave exposure time

ارائه شده در جدول ۳ مشاهده می‌شود که مقدار ضریب تبیین (R^2) برای تمامی مدل‌های ارائه شده بالاتر از ۰/۹۱ و ضریب تغییرات برای تمامی مدل‌ها کمتر از ۸/۰۹ بود. بنابراین مقادیر پایین ضریب تغییرات (≈ 8) برای همه مدل‌های پیشنهادی در جدول ۳ نشان‌دهنده تکرار-پذیری خوب این مدل‌ها می‌باشد (قاسمی و همکاران ۲۰۱۸). همچنین با توجه به معنی‌دار نشدن فاکتور عدم برازش برای همه متغیرهای مورد بررسی، می‌توان گفت که مدل‌های ارائه‌شده به روش سطح پاسخ به خوبی توانسته‌اند مقدار تغییرات متغیرهای وابسته را پیش‌بینی کنند.

تأثیر تیمارهای مورد مطالعه بر پارامترهای شیمیایی، فیزیکی، مکانیکی و حرارتی قرص گوجه‌فرنگی

ضرایب معادله رگرسیون حاصل از طرح مرکب مرکزی روش سطح پاسخ و اطلاعات آماری به‌دست‌آمده برای متغیرهای پاسخ مورد بررسی شامل محتوای لیکوپن (LC)، غلظت ویتامین ث (CVC)، محتوای فنل کل (TFC)، فعالیت آنتی‌اکسیدانی (AA)، شاخص‌های رنگ (ΔL^* ، Δa^* و Δb^*) برای قرص‌های فشرده تولیدشده از پودر گوجه‌فرنگی خشک‌شده با خشک‌کن مایکروویو- هوای گرم در جدول ۳ آورده شده است.

ضرایب معادله رگرسیونی حاصل از روش سطح پاسخ و اطلاعات آماری به‌دست‌آمده برای متغیرهای پاسخ در جدول ۳ آورده شده است. با توجه به مقادیر آماری

جدول ۳- ضرایب مدل برازش شده به معادله رگرسیونی درجه دوم برای متغیرهای پاسخ خشک‌کردن قرص فشرده تولیدشده از پودر گوجه‌فرنگی با خشک‌کن مایکروویو- هوای گرم (X_1 دمای هوای محفظه خشک‌کن، X_2 سرعت هوا ورودی و X_3 مدت زمان اعمال مایکروویو توان ثابت ۹۰ W)

Table 3- Model coefficients fitted to the quadratic regression equation for the drying response variables of compact tablets produced from tomato powders with microwave-hot air dryer (X_1 air dryer chamber temperature, X_2 inlet air velocity, and X_3 microwave constant W time 90)

Source of variance	Model coefficients						
	CVC (mg.g _{DM} ⁻¹)	LC (mg.100g _{DM} ⁻¹)	TFC (mgGAE. 100g _{DM} ⁻¹)	AA (%)	ΔL^*	Δb^*	Δb^*
y-intercept							
(b ₀)	+0.42	+536.67	+3.46	+59.78	+15.76	+8.98	+8.82
Linear expression							
(b ₁) X_1	-0.22 ^a	+127.34 ^a	-1.96 ^a	+14.34 ^a	+1.53 ^a	+2.28 ^a	+1.69 ^a
(b ₂) X_2	+0.008 ^{ns}	-7.77 ^{ns}	+0.057 ^{ns}	+2.77 ^a	+0.016 ^{ns}	+0.12 ^{ns}	+0.21 ^{ns}
(b ₃) X_3	-0.056 ^a	+15.53 ^b	-0.78 ^a	-0.72 ^{ns}	+0.17 ^{ns}	-0.35 ^b	+0.17 ^{ns}
interaction							
(b ₁₂) X_1X_2	-0.025 ^a	+43.24 ^a	-0.012 ^{ns}	+2.62 ^b	0.2 ^{ns}	+0.37 ^c	-0.59 ^b
(b ₁₃) X_1X_3	0.022 ^a	-1.69 ^{ns}	+0.24 ^b	+1.85 ^c	+0.4 ^b	+0.50 ^b	+0.27 ^{ns}
(b ₂₃) X_2X_3	-0.012 ^{ns}	-8.21 ^{ns}	0.053 ^{ns}	+2.3 ^b	-0.16 ^{ns}	+0.16 ^{ns}	-0.054 ^{ns}
Quadratic expression							
(b ₁₁) X_1^2	+0.002 ^{ns}	-12.59 ^c	+0.18 ^a	+1.55 ^b	+0.049 ^a	+0.25 ^b	+0.33 ^b
(b ₂₂) X_2^2	-0.012 ^b	-1.89 ^{ns}	+0.22 ^a	-1.07 ^c	+0.12 ^b	0.20 ^{ns}	-0.029 ^{ns}
(b ₃₃) X_3^2	-0.012 ^b	-7.05 ^{ns}	0.021 ^{ns}	-0.50 ^{ns}	-0.22 ^a	-0.15 ^{ns}	-0.06 ^{ns}
Lack of Fit (P-value)	0.79 ^{ns}	0.36 ^{ns}	0.39 ^{ns}	0.36 ^{ns}	0.96 ^{ns}	0.21 ^{ns}	0.42 ^{ns}
Model (P-value)	0.0001	0.0001 ^a	0.0001 ^a	0.0001 ^a	0.0001 ^a	0.0001 ^a	0.0004 ^a
R ²	0.99	0.96	0.99	0.98	0.96	0.96	0.91
Adj. R ²	0.98	0.93	0.98	0.96	0.92	0.93	0.82
Predicted. R ²	0.96	0.81	0.95	0.91	0.90	0.8	0.53
C.V. (%)	6.89	5.83	6.26	4.15	2.67	6.06	8.09
Std. Dev.	0.028	31.85	0.24	2.48	0.42	0.56	0.73

a indicates significant difference at 0.1% probability level, b significant at 1%, c significant at 5% and ns no significant difference (LC lycopene content, CVC vitamin C concentration, TFC total phenol content, AA Antioxidant activity and ΔL^* , Δa^* and Δb^* colorants)

غلظت ویتامین ث

مقدار متوسط غلظت ویتامین ث (CVC) اولیه گوجه‌فرنگی تازه برای کل گوجه‌فرنگی‌ها برابر با $4/95 \pm 0/5$ mg_{ascorbic}/g_{DM} به دست آمد که معادل $29/7 \pm 2/5$ میلی‌گرم اسیدآسکوربیک به صد گرم گوجه-فرنگی تازه است. درحالی‌که بعد از انجام عملیات بلانچینگ در آب‌نمک با دمای حدود ۵۰ °C مقدار

محتوای ویتامین ث به مقدار ۴/۳±۰/۵ mg_{ascorbic}/g_{DM}

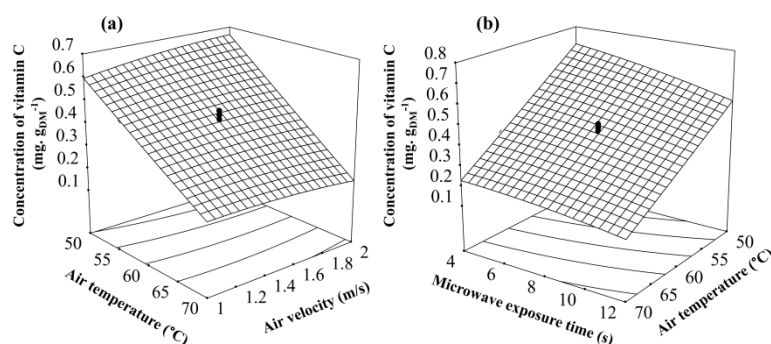
کاهش پیدا کرد. همچنین بعد از انجام فرآیند خشک-کردن ورقه‌های گوجه‌فرنگی با دمای ۵۰ °C و آسیاب‌کردن ورقه‌ها و سپس تولید پودر، مقدار محتوای ویتامین ث به مقدار $2/77 \pm 0/5$ mg_{ascorbic}/g_{DM} که معادل $16/65 \pm 1/12$ میلی‌گرم اسیدآسکوربیک به صد گرم گوجه‌فرنگی تازه کاهش پیدا کرد. این مقدار

کاهش (۴۳/۹۷ درصد) در ویتامین ث به علت قرار گرفتن گوجه‌فرنگی در معرض حرارت و اکسیژن (اکسیداسیون) در دمای 50°C است.

مقدار غلظت ویتامین ث قرص فشرده گوجه‌فرنگی خشک‌شده بین ۴۰/۳۴ تا ۱۰۰ درصد کاهش پیدا کرد. نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که تأثیر خطی متغیرهای دمای هوای ورودی و مدت زمان اعمال میکروویو در توان ثابت ۹۰ وات، اثر متقابل دمای هوای ورودی به خشک‌کن و سرعت هوای ورودی و اثر متقابل دمای هوای ورودی به خشک‌کن و مدت زمان اعمال میکروویو در توان ثابت ۹۰ وات و هم چنین عبارت درجه دوم سرعت هوای ورودی و مدت زمان اعمال میکروویو در توان ثابت ۹۰ وات بر غلظت ویتامین ث قرص فشرده گوجه‌فرنگی معنی‌دار بودند، درحالی که اثر خطی سرعت هوای ورودی و اثر متقابل سرعت هوای ورودی و مدت زمان اعمال میکروویو در توان ثابت ۹۰ وات و عبارت درجه دوم دمای هوای ورودی بر غلظت ویتامین ث قرص فشرده گوجه‌فرنگی در یک سطح احتمال مشخص معنی‌دار نبودند. ضرایب منفی دمای هوای ورودی و مدت زمان اعمال میکروویو در مدل برازش‌شده به داده‌های آزمایش با استفاده از روش سطح پاسخ دلالت بر اثر منفی این دو متغیر بر غلظت ویتامین ث دارد. به‌نحوی که بیشترین غلظت ویتامین ث در کمترین سطح از دمای خشک‌کردن و مدت زمان اعمال میکروویو برابر با $0/88 \text{ mg.gDM}^{-1}$ به دست آمد.

در شکل ۵ (الف) و (ب) به ترتیب اثر متقابل دمای هوای ورودی به خشک‌کن و سرعت هوای ورودی و اثر متقابل دمای هوای ورودی به خشک‌کن و مدت زمان اعمال میکروویو بر غلظت نهایی ویتامین ث (پس از انجام فرآیند خشک‌کردن تا سطح محتوای رطوبتی ایمن) ارائه شده است. همان‌طور که از نتایج این شکل‌ها قابل مشاهده است، با افزایش هم‌زمان دمای هوا و مدت زمان اعمال میکروویو، غلظت ویتامین ث کاهش یافت. کاهش مقدار اسیدآسکوربیک مشاهده شده در طول

خشک‌کردن میکروویو ممکن است ناشی از تخریب ویتامین C توسط امواج الکترومغناطیسی از قدرت میکروویو در نمونه‌های خشک شده باشد. علت این پدیده آسیب‌های حرارتی و واکنش‌های اکسیدکننده غیرقابل برگشت است که دو عامل اصلی تخریب اسیدآسکوربیک در طی خشک‌شدن هستند که به عنوان یک نتیجه از زمان خشک‌شدن طولانی می‌باشد. بنابراین، تخریب در محتوای ویتامین ث، ممکن است آسیب‌های حرارتی ناشی از انرژی میکروویو باشد که در سطح گوجه‌فرنگی تأثیر می‌گذارد (هیل ۲۰۱۳). کمترین تخریب ویتامین ث در شرایط قرص‌سازی از پودر گوجه با محتوای رطوبتی $23\% \text{ d.b.}$ و خشک‌کردن در دمای 40°C و سرعت هوای $1/5 \text{ m/s}$ و مدت زمان اعمال میکروویو 8 s به دست آمد. تحت این شرایط، غلظت ویتامین ث از $2/05 \text{ mg.gDM}^{-1}$ در ابتدای فرآیند خشک‌کردن به مقدار $0/88 \text{ g.gDM}^{-1}$ در انتهای فرآیند خشک‌کردن رسید یعنی $40/34\%$ درصد کاهش یافت. بیشترین نرخ تخریب ویتامین ث در شرایط قرص‌سازی از پودر گوجه‌فرنگی با محتوای رطوبتی $23\% \text{ d.b.}$ و خشک‌کردن آن در دمای 80°C و سرعت هوای $1/5 \text{ m/s}$ و مدت زمان اعمال میکروویو 8 s به دست آمد که در این شرایط غلظت ویتامین ث در ابتدای فرآیند خشک‌کردن $2/05 \text{ mg.gDM}^{-1}$ بود که در انتهای فرآیند خشک‌کردن به صفر رسید یعنی به مقدار 100% درصد کاهش یافت. هیل (۲۰۱۳) طی تحقیقی با عنوان اثر خشک‌کردن میکروویو- خلاء روی زمان خشک‌شدن، محتوای لیکوپن و اسید آسکوربیک ورقه‌های گوجه‌فرنگی گزارش کردند که غلظت ویتامین ث ورقه‌های گوجه-فرنگی در بهترین حالت ۳۲ و در بدترین حالت ۶۶٪ کاهش یافت. همچنین نتایج پژوهش با نتایج به‌دست‌آمده از طرف ایشیوو چارلس و همکاران (۲۰۱۴) و گوموسای و همکاران (۲۰۱۵) روی خواص آنتی‌اکسیدانی گوجه-فرنگی مطابقت دارد.



شکل ۵- (الف) و (ب) به ترتیب اثر متقابل دمای هوای ورودی به خشک‌کن و سرعت هوای ورودی و اثر متقابل دمای هوای ورودی به خشک‌کن و مدت زمان اعمال مایکروویو بر غلظت ویتامین ث قرص‌های فشرده تولید شده از پودر گوجه‌فرنگی با خشک‌کن مایکروویو- هوای گرم

Figure 5 - (a) and (b), respectively the interaction of inlet air temperature to the dryer and air velocity input and interaction inlet air temperature to the dryer and the microwave exposure time on the concentration of vitamin C tablets compressed production of tomato powder with Microwave - hot air dryer

محتوای لیکوپن

مقدار متوسط محتوای لیکوپن (LC) اولیه گوجه‌فرنگی تازه برای کل گوجه‌فرنگی‌ها برابر با 100gDM^{-1} $66/05 \pm 9/5$ به دست آمد که معادل با $1100/7 \pm 150/5^1$ میلی‌گرم به صد گرم گوجه‌فرنگی تازه است. همچنین بعد از انجام فرآیند خشک‌کردن ورقه‌های گوجه‌فرنگی با دمای 50°C و آسیاب‌کردن ورقه‌ها و سپس تولید پودر، مقدار محتوای لیکوپن به مقدار $97/39 \pm 13/5$ میلی‌گرم به صد گرم گوجه‌فرنگی تازه (100gDM^{-1}) $1623/31 \pm 250/5^1$ افزایش پیدا کرد. این مقدار افزایش (۴۷/۴۸ درصد) در لیکوپن به این علت است که کارتنوئیدها به ویژه لیکوپن به صورت کمپلکس در ماتریکس سلولی میوه و سبزیجات وجود دارند و فرآیندهایی همچون خردکردن، پختن و حرارت‌دیدن موجب آزاد شدن لیکوپن از ماتریکس سلولی گوجه‌فرنگی می‌شود. به طوری که پختن و جوشاندن، اثر بسیار اندکی در کاهش لیکوپن اولیه دارد و قابلیت جذب لیکوپن موجود در گوجه‌فرنگی را بالا می‌برد، ولی سرخ‌کردن موجب از بین رفتن بیش از نیمی از لیکوپن اولیه موجود در واریته‌های مختلف گوجه‌فرنگی می‌شود (حجتی و رضایی ۱۳۹۰).

مقدار لیکوپن قرص فشرده گوجه‌فرنگی خشک‌شده بین $51/14$ تا $85/33$ درصد کاهش پیدا کرد. با توجه به نتایج حاصل از مدل برازش‌شده به داده‌های آزمایش

(جدول ۳) مشاهده شد که تأثیر خطی متغیر دمای هوای ورودی و مدت زمان اعمال مایکروویو، اثر متقابل دمای هوای ورودی و سرعت هوای ورودی و همچنین عبارت درجه دوم دما بر مقدار لیکوپن قرص فشرده گوجه‌فرنگی معنی‌دار بود، درحالی‌که اثرات خطی سرعت هوای ورودی، اثر متقابل و درجه دوم سرعت هوای ورودی و مدت زمان اعمال مایکروویو بر میزان لیکوپن قرص فشرده گوجه‌فرنگی در یک سطح احتمال مشخص معنی‌دار نبودند. ضرایب مثبت دمای هوای ورودی و مدت زمان اعمال مایکروویو در مدل برازش‌شده به داده‌های آزمایش با استفاده از روش سطح پاسخ دلالت بر اثر مثبت این متغیرها (به ویژه دما) بر میزان لیکوپن دارد. به نحوی که بیشترین میزان لیکوپن در بیشترین سطح از دمای خشک‌کردن (80°C)، سرعت هوای $1/5\text{ m/s}$ و مدت زمان اعمال مایکروویو 8 s برابر با $2205/6\text{ mg.100gDM}^{-1}$ به دست آمد. همچنین کمترین میزان لیکوپن در کمترین سطح از دمای خشک‌کردن (40°C)، سرعت هوای $1/5\text{ m/s}$ و مدت زمان اعمال مایکروویو 8 s برابر با $865/5\text{ mg.100gDM}^{-1}$ به دست آمد.

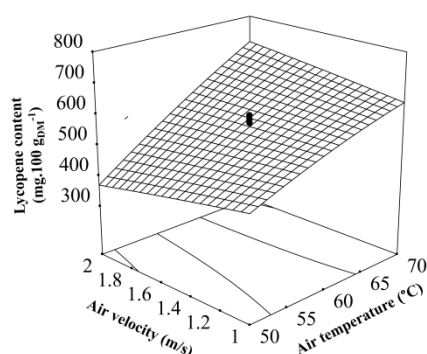
در شکل ۶ اثر متقابل دمای هوای ورودی به محفظه خشک‌کن و سرعت هوای ورودی بر میزان لیکوپن (پس از انجام فرآیند خشک‌کردن تا سطح محتوای رطوبتی ایمن) ارائه شده است. مطابق شکل با افزایش دمای هوا،

محتوای فنل کل

مقدار متوسط محتوای فنل کل (TFC) اولیه گوجه‌فرنگی تازه برای کل گوجه‌فرنگی‌ها برابر با $mg\ GAE/g\ DM$ $4/22 \pm 0/9$ به دست آمد که معادل با $mg\ GAE/100g$ $4/22 \pm 0/9$ FW است. همچنین بعد از انجام فرآیند خشک‌کردن ورقه‌های گوجه‌فرنگی با دمای $50^{\circ}C$ و آسیاب‌کردن ورقه‌ها و سپس تولید پودر، مقدار متوسط محتوای فنل کل به مقدار $mg\ GAE/g\ DM$ $9/74 \pm 1/32$ افزایش پیدا کرد. علت این افزایش این است که پردازش حرارتی ممکن است اسید فنولیک بیشتری را از تجزیه اجزای سلولی آزاد کند. اگرچه اختلال در دیواره سلولی باعث آزادشدن آنزیم‌های اکسیدکننده و هیدرولیتی نیز می‌شود که می‌توانند آنتی‌اکسیدان‌ها را در میوه‌ها و سبزیجات نابود کنند، اما پردازش حرارتی در دماهای پایین، این آنزیم‌ها را غیرفعال می‌کند تا از تخریب و از دست‌دادن اسید فنولیک جلوگیری شود (تور و ساوج ۲۰۰۶). این مقدار افزایش ($130/78$ درصد) در محتوای فنل کل به علت قرارگرفتن گوجه‌فرنگی در معرض حرارت و اکسیژن (اکسیداسیون) در دمای $50^{\circ}C$ است.

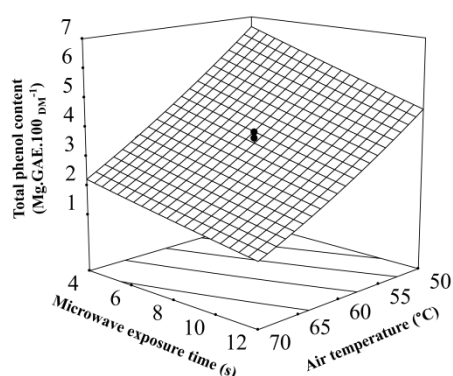
محتوای فنل کل قرص فشرده گوجه‌فرنگی خشک‌شده بین $8/13$ تا $93/24$ درصد کاهش پیدا کرد. نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که تأثیر خطی متغیر دمای هوای ورودی و مدت زمان اعمال مایکروویو، اثر متقابل دمای هوای ورودی و مدت زمان اعمال مایکروویو و عبارت درجه دوم متغیرهای مستقل شامل دمای هوای ورودی، سرعت هوای ورودی بر محتوای فنل کل قرص فشرده گوجه‌فرنگی معنی‌دار ($P < 0.0001$) بودند. ضرایب منفی دمای هوای ورودی و مدت زمان اعمال مایکروویو در مدل برازش‌شده به داده‌های آزمایش با استفاده از روش سطح پاسخ دلالت بر اثر منفی این دو متغیر (به ویژه دما) بر محتوای فنل کل دارد. به نحوی که کمترین تخریب محتوای فنل کل در شرایط قرص-سازی از پودر گوجه با محتوای رطوبتی $23\% d.b$ و خشک‌کردن در دمای $40^{\circ}C$ و سرعت هوای $1/5\ m/s$ و مدت زمان اعمال مایکروویو $8\ s$ به دست آمد. تحت

میزان لیکوپن افزایش یافت. گزارش شده است که در گوجه‌فرنگی، تخریب محتوای لیکوپن بستگی به عوامل بسیاری، از جمله درجه حرارت فرآوری، یعنی انرژی گرمایی از قدرت مایکروویو دارد. لیکوپن گوجه‌فرنگی تازه می‌تواند از طریق ایزامریزاسیون از فرم ترانس (trans-form) به سیس لیکوپن (cis-lycopene) به عنوان یک نتیجه از تیمار حرارتی و یا تجزیه به شکل بی‌رنگ تبدیل شود. بسیاری از مطالعات اخیر نشان دادند که تیمار حرارتی متداول محصولات گوجه‌فرنگی منجر به تغییر در توزیع (انتقال) ایزومرهای سیس-لیکوپن نمی‌شود. بنابراین، کاهش مقدار لیکوپن گزارش-شده در این مطالعه از تیمار حرارتی مایکروویو ممکن است به علت تغییر تصاعدی از تمام ترانس لیکوپن (all-trans) به یک فرم به شدت بی‌رنگ و جذب به شدت کمتر سیس لیکوپن (cis-lycopene)، که باعث تخریب واقعی لیکوپن می‌شود. مقادیر پایین‌تر محتوای لیکوپن ثبت‌شده در این مطالعه به دلیل امواج الکترومغناطیسی در مایکروویو می‌باشد که تأثیر منفی بر لیکوپن گوجه-فرنگی دارد (هیل ۲۰۱۳). آبانو و همکاران (۲۰۱۱)، هیل (۲۰۱۳) و دمیرای و همکاران (۲۰۱۳) و گوموسای و همکاران (۲۰۱۵) در مورد گوجه‌فرنگی به نتایج مشابهی دست یافتند.



شکل ۶- اثر متقابل دمای هوای ورودی و سرعت هوای ورودی بر محتوای لیکوپن قرص‌های فشرده تولید شده از پودر گوجه‌فرنگی با خشک‌کن مایکروویو- هوای گرم
Figure 6- Interaction of inlet air temperature and inlet air velocity on the lycopene content of compact tablets product from tomato powder with microwave-hot air dryer

توان‌های مختلف خشک‌کردن، بیشتر به دلیل مدت زمان قرارگیری نمونه‌ها در معرض دما است (ماریا الن و همکاران ۲۰۱۲). علت افزایش ترکیبات فنولی با افزایش دما در محدوده 50°C را می‌توان به نرم‌شدن بافت برگه کیوی، ضعیف‌شدن بهمکنش ترکیبات فنولی با پروتئین‌ها و پلی‌ساکاریدها و نیز به دلیل غیرفعال‌شدن آنزیم تجزیه‌کننده ترکیبات فنلی مانند آنزیم پلی‌فنل اکسیداز در این دما دانست (ماریا الن و همکاران، ۲۰۱۲).



شکل ۷- اثر متقابل دمای هوای ورودی به محفظه خشک‌کن و مدت زمان اعمال مایکروویو بر محتوای فنل کل قرص- های فشرده تولیدشده از پودر گوجه‌فرنگی با خشک‌کن مایکروویو- هوای گرم

Figure 7 -Interaction of air temperature on the drying chamber and the microwave exposure time on the total phenol content of tablets compressed production of tomato powder with Microwave - hot air dryer

فعالیت آنتی‌اکسیدانی

مقدار متوسط فعالیت آنتی اکسیدانی (AA) اولیه گوجه‌فرنگی تازه برای کل گوجه‌فرنگی‌ها برابر با $77 \pm 8/9$ درصد به دست آمد. همچنین بعد از انجام فرآیند خشک‌کردن ورقه‌های گوجه‌فرنگی با دمای 50°C و آسیاب‌کردن ورقه‌ها و سپس تولید پودر، مقدار متوسط فعالیت آنتی‌اکسیدانی به مقدار $74/52 \pm 5/32$ درصد کاهش پیدا کرد. این مقدار کاهش (۳/۳٪) در فعالیت آنتی‌اکسیدانی به علت قرار گرفتن گوجه‌فرنگی در معرض حرارت و اکسیژن (اکسیداسیون) در دمای 50°C است. طبق گزارش تور و ساوج (۲۰۰۶) فعالیت

این شرایط محتوای فنل کل از $9/74 \text{ mg GAE/g DM}$ در ابتدای فرآیند خشک‌کردن به $8/9 \text{ mg GAE/g DM}$ در انتهای فرآیند خشک‌کردن رسید که به مقدار $8/13$ درصد کاهش یافت. بیشترین نرخ تخریب محتوای فنل کل در شرایط قرص‌سازی از پودر گوجه‌فرنگی با محتوای رطوبتی ۲۳٪ d.b. و خشک‌کردن آن در دمای 80°C و سرعت هوای $1/5 \text{ m/s}$ و مدت زمان اعمال مایکروویو ۸ s به دست آمد که در این شرایط محتوای فنل کل در ابتدای فرآیند خشک‌کردن $9/74 \text{ mg GAE/g DM}$ بود که در انتهای فرآیند خشک‌کردن به $9/74 \text{ mg AE/g DM}$ رسید، یعنی به مقدار ۹۳ درصد کاهش یافت.

در شکل ۷ اثر متقابل دمای هوای ورودی به محفظه خشک‌کن و مدت زمان اعمال مایکروویو بر محتوای فنل کل (پس از انجام فرآیند خشک‌کردن تا سطح محتوای رطوبتی ایمن) ارائه شده است. همان‌طور که از نتایج این شکل قابل مشاهده است با افزایش همزمان دمای هوای ورودی به محفظه‌ی خشک‌کن و مدت زمان اعمال مایکروویو محتوای فنل کل قرص فشرده تولید شده از پودر گوجه‌فرنگی کاهش یافت.

خاکباز حشمتی و سیفی (۱۳۹۶) طی بررسی سینتیک متناوب مایکروویو هوای گرم بر خواص کیفی و تغذیه‌ای برگه‌های کیوی خشک‌شده گزارش کردند که کمترین میزان ترکیبات فنلی مربوط به تیمار شاهد و بیشترین میزان استخراج ترکیبات فنلی از نمونه‌های خشک‌شده توسط آون هوای گرم 50°C بود. در نمونه‌های خشک‌شده به روش ترکیبی نیز، تیمار ترکیبی مایکروویو ۹۰ وات و آون 60°C بیشترین میزان استخراج ترکیبات فنلی را داشت. در حالت ترکیبی با افزایش دمای آون، میزان استخراج ترکیبات فنلی افزایش یافت. اثر اصلی مایکروویو بر میزان استخراج ترکیبات فنولی نشان می‌دهد که تیمارهای مایکروویو شده نسبت به تیمارهای مایکروویو نشده میزان ترکیبات فنولی کمتری داشته و در روشی که فقط از مایکروویو استفاده شده بود کمترین استخراج نسبت به روش آون و روش ترکیبی مشاهده شد. اختلاف مقدار ترکیبات فنلی در دماها و

آنتی‌اکسیدانی گوجه‌فرنگی تازه نسبت به گوجه‌فرنگی- های نیمه‌خشک ۲۸ تا ۳۸٪ کاهش یافت. فعالیت آنتی‌اکسیدانی قرص فشرده گوجه‌فرنگی خشک- شده بین ۳۴/۹۵ تا ۹۹/۰۲ درصد متغیر بود. با توجه به نتایج حاصل از مدل برازش‌شده به داده‌های آزمایش (جدول ۳)، مشاهده شد که تأثیر خطی متغیرهای دمای هوای ورودی به محفظه خشک‌کن و سرعت هوای ورودی و همچنین اثر متقابل دمای هوای ورودی و سرعت هوای ورودی، اثر متقابل دمای هوای ورودی و مدت زمان اعمال مایکروویو و اثر متقابل سرعت هوای ورودی و مدت زمان اعمال مایکروویو و عبارت درجه دوم دمای هوای ورودی، سرعت هوای ورودی و مدت زمان اعمال مایکروویو بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی قرص فشرده گوجه‌فرنگی معنی‌دار ($P < 0.0001$) و ($P < 0.001$) بود. ضرایب مثبت دمای هوای ورودی و سرعت هوای ورودی در مدل برازش‌شده به داده‌های آزمایش با استفاده از روش سطح پاسخ دلالت بر اثر مثبت این دو متغیر بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی دارد. همچنین مدت زمان اعمال مایکروویو تأثیر منفی بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی داشت. به عبارت دیگر با افزایش دمای هوای ورودی به محفظه خشک‌کن و سرعت هوای ورودی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی قرص فشرده تولیدشده از پودر گوجه‌فرنگی افزایش یافت. به نحوی که کمترین مقدار فعالیت آنتی‌اکسیدانی در شرایط قرص‌سازی از پودر گوجه‌فرنگی با محتوای رطوبتی d.b. ۲۳٪ و خشک‌کردن در دمای 40°C ، سرعت هوای $1/5\text{ m/s}$ و مدت زمان اعمال مایکروویو ۸ s به دست آمد. تحت این شرایط، فعالیت آنتی‌اکسیدانی از ۷۴/۵۲ درصد در ابتدای فرآیند خشک‌کردن، به مقدار ۳۴/۹۵ درصد در انتهای فرآیند خشک‌کردن رسید و در مجموع ۳۹ درصد کاهش یافت. بیشترین مقدار فعالیت آنتی- اکسیدانی در شرایط قرص‌سازی از پودر گوجه‌فرنگی با محتوای رطوبتی d.b. ۲۳٪ و خشک‌کردن آن در دمای 80°C ، سرعت هوای $1/5\text{ m/s}$ و مدت زمان اعمال مایکروویو ۸ s به دست آمد که در این شرایط فعالیت آنتی‌اکسیدانی از ۷۴/۵۲

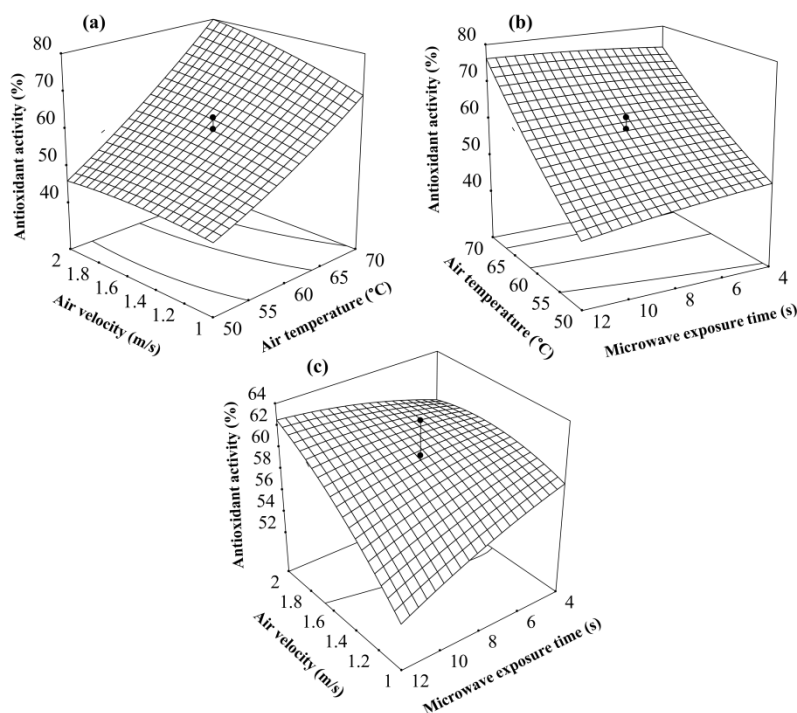
درصد در ابتدای فرآیند خشک‌کردن، به ۹۹/۰۲ درصد در انتهای فرآیند خشک‌کردن رسید، یعنی به مقدار ۲۴ درصد افزایش یافت. در شکل ۸ (الف)، (ب) و (ج) به ترتیب اثرات متقابل دمای هوای ورودی و سرعت هوای ورودی، دمای هوای ورودی و مدت زمان اعمال مایکروویو بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی (پس از انجام فرآیند خشک‌کردن تا سطح محتوای رطوبتی ایمن) ارائه شده است. همان‌طور که از نتایج این شکل قابل مشاهده است با افزایش هم‌زمان دمای هوای ورودی و سرعت هوای ورودی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی افزایش و با افزایش مدت زمان اعمال مایکروویو کاهش یافت. دلیل این افزایش این است که در حالی که گرمایش، علت اصلی تخریب آنتی‌اکسیدان‌ها مانند اسیداسکوربیک است، اما گرما می‌تواند تشکیل ترکیباتی مانند ملانوئیدها را در واکنش مایلارد ایجاد کند و این ترکیبات می‌توانند اثرات آنتی‌اکسیدانی داشته باشند که منجر به افزایش آنتی‌اکسیدان می‌شود (تور و ساوج ۲۰۰۶). همچنین دلیل کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدانی با افزایش مدت زمان اعمال مایکروویو ممکن است آسیب‌های حرارتی ناشی از انرژی مایکروویو باشد (فیگل ۲۰۱۰).

شاخص‌های رنگ نهایی ΔL^* ، Δa^* و Δb^*

مقدار متوسط شاخص‌های رنگ ΔL^* ، Δa^* و Δb^* گوجه‌فرنگی تازه به ترتیب برابر ۴۹/۸۱، ۲۷/۴۰ و ۲۸/۳۱ بدست آمد. همچنین بعد از انجام فرآیند خشک- کردن ورقه‌های گوجه‌فرنگی با دمای 50°C و آسیاب‌کردن ورقه‌ها و سپس تولید پودر، مقدار متوسط شاخص‌های رنگ ΔL^* ، Δa^* و Δb^* به ترتیب به مقدارهای جدید ۶۳/۰۵، ۳۴/۷۹ و ۵۴/۱۶ افزایش پیدا کردند. این مقدار افزایش در ΔL^* به دلیل افزایش نرخ واکنش‌های قهوه‌ای‌شدن و واکنش‌های کاراملیزاسیون می‌باشد که منجر به افزایش مقدار تیرگی محصول شده است. علت افزایش Δa^* و Δb^* را می‌توان انجام واکنش‌های شیمیایی دانست که منجر به تجزیه رنگ- دانه‌های محصول می‌گردند. مقادیر بالاتر شاخص-

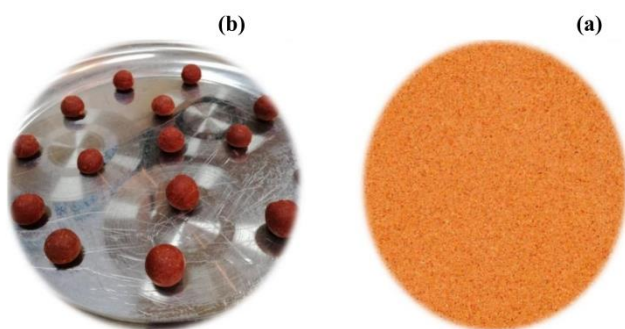
ورقه های خشک شده گوجه فرنگی و قرص تولید شده از آن را نشان می دهد.

های L^* و b^* و مقادیر پایین تر شاخص a^* نشان دهنده بالاتر بودن کیفیت محصول خشک شده است. شکل ۹ (الف) و (ب) به ترتیب پودر گوجه فرنگی تولید شده از



شکل ۸- (الف)، (ب) و (ج) به ترتیب اثرات متقابل دمای هوای ورودی و سرعت هوای ورودی، دمای هوای ورودی و مدت زمان اعمال مایکروویو و سرعت هوای ورودی و مدت زمان اعمال مایکروویو بر فعالیت آنتی اکسیدانی قرص های فشرده تولید شده از پودر گوجه فرنگی با خشکن مایکروویو- هوای گرم

Figure 8-(a), (b) and (c) respectively, of the interaction effects of inlet air temperature and inlet air velocity, inlet air temperature and microwave exposure time and inlet air velocity and microwave exposure time on the antioxidant activity of tablets compressed production of tomato powder with microwave - hot air dryer



شکل ۹- (الف) پودر گوجه فرنگی حاصل از گوجه فرنگی های خشک شده در دمای 50°C مورد استفاده برای فرآیند قرص سازی با اندازه ذرات کمتر از 0.5 mm و (ب)- قرص های فشرده تشکیل شده از پودر گوجه فرنگی در شرایط بهینه محتوای رطوبتی $23\% \text{ d.b.}$ خشک شده در دمای 50°C و سرعت هوای 1 m/s و مدت زمان اعمال مایکروویو 4 s ثانیه

Figure 9- (a) Tomato powder from tomatoe slices dried at 50°C used for tableting process with particle size less than 0.5 mm , (b) compact tablets made of tomato powder under optimum conditions moisture content $23\% \text{ d.b.}$ dried at 50°C and air velocity 1 m/s and microwave exposure time 4 s

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که اثر خطی دمای هوای ورودی، اثر متقابل دمای هوای ورودی و مدت زمان اعمال مایکروویو و عبارت درجه دوم توان مایکروویو بر شاخص رنگی ΔL^* معنی دار ($P < 0.0001$) بودند. همچنین نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر خطی دمای هوای ورودی و مدت زمان اعمال مایکروویو، اثر متقابل دمای هوای ورودی و سرعت هوای ورودی و اثر متقابل دمای هوای ورودی و مدت زمان اعمال مایکروویو و همچنین عبارت درجه دوم دمای هوای ورودی بر شاخص رنگی Δa^* معنی دار بودند. همچنین نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که اثر خطی دمای هوای ورودی، اثر متقابل دمای هوای ورودی و سرعت هوای ورودی و همچنین عبارت درجه دوم دمای هوای ورودی بر شاخص رنگی Δb^* معنی دار بودند.

مقدار تغییرات ΔL^* در محدوده‌ی ۱۸/۹۸ (دمای 80°C ، سرعت ۱/۵ m/s و مدت زمان اعمال مایکروویو ۸ s) و ۱۲/۸۹ (دمای 40°C ، سرعت ۱/۵ m/s و مدت زمان اعمال مایکروویو ۸ s) بود. شاخص رنگی L^* قرص فشرده گوجه‌فرنگی نسبت به گوجه‌فرنگی تازه در بهترین حالت ۳۰ درصد و در بدترین حالت ۳۷ درصد کاهش پیدا کرد.

مقدار تغییرات Δa^* در محدوده‌ی ۵/۳۵ (دمای 40°C ، سرعت ۱/۵ m/s و مدت زمان اعمال مایکروویو ۸ s) و ۱۴/۶۰۹ (دمای 80°C ، سرعت ۱/۵ m/s و مدت زمان اعمال مایکروویو ۸ s) بود. شاخص رنگی a^* قرص فشرده گوجه‌فرنگی نسبت به گوجه‌فرنگی تازه در بهترین حالت ۲۶/۹۳ درصد و در بدترین حالت ۵۲/۵۱ درصد کاهش پیدا کرد.

مقدار تغییرات Δb^* در محدوده‌ی ۶/۷۸ (دمای 40°C ، سرعت ۱ m/s و مدت زمان اعمال مایکروویو ۸ s) و ۱۳/۲۱ (دمای 80°C ، سرعت ۱/۵ m/s و مدت زمان اعمال مایکروویو ۸ s) بود. شاخص رنگی b^* قرص فشرده گوجه‌فرنگی نسبت به گوجه‌فرنگی تازه در مناسب‌ترین شرایط ۳۹/۸ درصد و در نامناسب‌ترین شرایط ۵۴/۵ درصد کاهش پیدا کرد. مقدار این ضرایب،

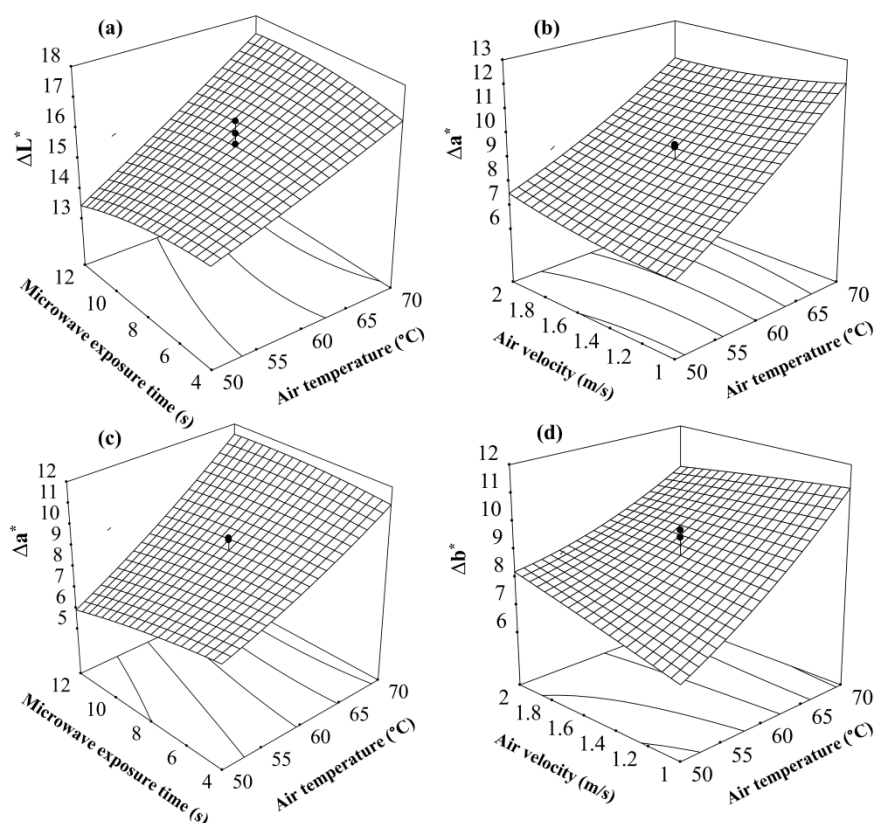
نشان‌دهنده‌ی این بود که پارامتر دما بیشترین تأثیر را بر تغییرات شاخص رنگی ΔL^* ، Δa^* و Δb^* داشت. علامت مثبت بیانگر این بود که با افزایش دما، تغییرات شاخص رنگی ΔL^* ، Δa^* و Δb^* افزایش یافت.

شکل ۱۰ (الف) تا (د) به ترتیب اثر متقابل دمای هوای ورودی و مدت زمان اعمال مایکروویو بر شاخص‌های رنگی قرص‌های فشرده شده گوجه‌فرنگی برای شاخص رنگ ΔL^* و همچنین اثر متقابل دمای هوای ورودی و سرعت هوای ورودی و اثر متقابل دمای هوای ورودی و مدت زمان اعمال مایکروویو بر شاخص رنگی Δa^* و اثر متقابل دمای هوای ورودی و سرعت هوای ورودی بر شاخص رنگی Δb^* (پس از انجام فرآیند خشک‌کردن تا سطح محتوای رطوبتی ایمن) را به ترتیب برای تفاوت شاخص‌های رنگ L^* ، a^* و b^* نسبت به شاخص‌های رنگ گوجه‌فرنگی تازه نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، افزایش دما سبب افزایش اختلاف بیشتر بین شاخص‌های رنگ L^* و a^* قرص فشرده گوجه‌فرنگی نسبت به گوجه‌فرنگی تازه شده است به‌نحوی که افزایش دما سبب تیرگی بیشتر (کاهش شاخص L^*) و کاهش مقدار قرمزی (کاهش شاخص a^*) قرص فشرده گوجه‌فرنگی شد. یعنی نمونه‌ها نسبت به حالت اول تیره‌تر شدند، که به دلیل تشکیل رنگ‌دانه‌ی قهوه‌ای از طریق واکنش مایلارد بود (هیل ۲۰۱۳). با توجه به نتایج شکل ۱۰ (ج) مشاهده می‌شود که در محتوای رطوبتی d.b. ۲۳٪، افزایش دما سبب کاهش اختلاف شاخص رنگ b^* بین قرص فشرده گوجه‌فرنگی با گوجه‌فرنگی تازه شد. این تغییر رنگ در نمونه‌های خشک‌شده می‌تواند به علت واکنش‌های قهوه‌ای شدن مایلارد در طول فرآیند خشک‌شدن و تشکیل رنگ‌دانه‌های قهوه‌ای باشد (هیل ۲۰۱۳). به‌طورکلی شاخص‌های رنگ در دماهای پایین به مقادیر نمونه‌های گوجه‌فرنگی‌های تازه نزدیک‌تر بودند.

ورکنه و همکاران (۲۰۱۳) طی خشک‌کردن ورقه‌های نازک گوجه‌فرنگی با استفاده از ترکیب هوای گرم و امواج مایکروویو در سه سطح چگالی توان

۱/۱۳ و ۲/۰۸ وات بر گرم کیفیت رنگ بهتری را سبب شد.

مایکروویو ۱/۱۳، ۲/۰۸ و ۳/۱۱ وات بر گرم و سه سطح جریان هوای گرم با دماهای ۴۰، ۵۰، ۷۰ و ۸۰ °C گزارش کردند که خشک کردن با امواج مایکروویو در



شکل ۱۰- اثرهای متقابل دمای هوای ورودی، سرعت هوای ورودی و مدت زمان اعمال مایکروویو بر شاخص‌های رنگی قرص-های فشرده شده گوجه‌فرنگی

Figure 10- Interaction effects of inlet air temperature, inlet air velocity and microwave exposure time on the color indices of tablets compressed tomatoes

بیشترین مقدار متغیرهای پاسخ مورد مطالعه که از داده‌های آزمایشگاهی فرآیندهای قرص‌سازی و خشک کردن به دست آمده بودند و شاخص مطلوبیت مناسب به دست آمده از روش سطح پاسخ، شرایط بهینه فرآیندهای قرص‌سازی از پودر گوجه‌فرنگی و خشک کردن آنها برای خشک‌کن مایکروویو- هوای گرم تعیین شد (جدول ۵). با استفاده از روش سطح پاسخ و تابع مطلوبیت، ۱۱ راه حل (جدول ۵) برای تعیین شرایط بهینه با مقدار شاخص مطلوبیت بین ۰/۸۱۹ تا ۰/۸۱۸ به دست آمدند. نتایج به دست آمده از جدول ۵ نشان می‌دهند که مقادیر بهینه به دست آمده تا حدود بسیار زیادی به یکدیگر نزدیک بودند که مطلوب‌ترین حالت

شرایط بهینه عملیات خشک کردن قرص فشرده

بهینه‌سازی فرآیندهای قرص‌سازی و خشک کردن یک مرحله مهم به منظور دستیابی به محصولی با کیفیت مطلوب از لحاظ ارزش غذایی، بازارپسندی، دوام و اقتصادی می‌باشد. روش سطح پاسخ و تابع مطلوبیت به منظور بهینه‌سازی هم‌زمان متغیرهای پاسخ استفاده شد. محدوده کمترین و بیشترین مقدار متغیرهای پاسخ (ویژگی‌های کیفی و شیمیایی) و ضریب اهمیت آنها جهت بهینه‌سازی فرآیندهای قرص‌سازی از پودر گوجه‌فرنگی و خشک کردن با خشک‌کن مایکروویو- هوای گرم به روش سطح پاسخ به صورت هم‌زمان در جدول ۴ نشان داده شده است. با توجه به کمترین و

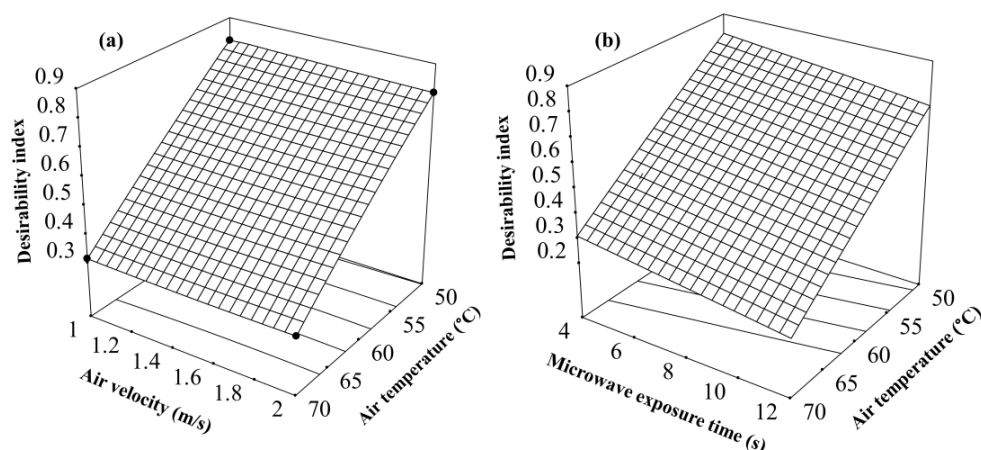
دست آمدند. نتایج نشان داد که خشک‌کردن تحت شرایط ملایم‌تر (دمای پایین‌تر و مدت زمان کم اعمال توان ثابت مایکروویو ۹۰W) سبب افزایش شاخص مطلوبیت گردید. پورکایاستا و همکاران (۲۰۱۳) طی خشک‌کردن لایه نازک از ورقه‌های گوجه‌فرنگی با خشک‌کن هوای گرم در چهار سطح دمایی (۵۰، ۶۰، ۶۵ و ۷۰ °C) به این نتیجه رسیدند که خشک‌کردن ورقه‌ها در ۵۰ °C بهینه بود که باعث حفظ و احتباس ویتامین ث شد. همچنین ورقه‌های خشک‌شده در ۵۰ و ۶۰ °C بالاترین مقدار قندهای کل، محتوای لیکوپن، نسبت قند به اسید، و شاخص‌های رنگی را داشت.

برای قرص‌های فشرده شده متشکل از پودر گوجه‌فرنگی با محتوای رطوبتی ۲۳٪ d.b. که در خشک‌کن مایکروویو- هوای گرم در دمای ۵۰ °C، سرعت هوای ورودی ۱ m/s و مدت زمان اعمال مایکروویو- هوای گرم ۴ s خشک‌شده بودند به دست آمد. تحت این شرایط شاخص مطلوبیت ۰/۸۱۹ حاصل شد و مقدار بهینه متغیرهای مستقل شامل محتوای لیکوپن، غلظت ویتامین ث، محتوای فنل کل، فعالیت آنتی اکسیدانی، شاخص‌های رنگ ΔL^* ، Δa^* و Δb^* (اختلاف شاخص‌های رنگی با گوجه‌فرنگی تازه)، به ترتیب برابر با $۴۳۴/۷۷ \text{ mg.100gDM}^{-1}$ ، $۰/۶۶ \text{ g.mgDM}^{-1}$ ، $۶/۷۸ \text{ GAE/g DM}$ ، $۵۰/۱۱\%$ ، $۱۴/۷۶$ ، $۷/۶۱$ ، $۶/۷۳$ به

جدول ۴- کمترین و بیشترین مقدار متغیرهای پاسخ و ضریب اهمیت آنها جهت بهینه‌سازی فرآیندهای قرص‌سازی از پودر گوجه‌فرنگی و خشک‌کردن با خشک‌کن مایکروویو- هوای گرم به روش سطح پاسخ

Table 4- Minimum and maximum values of response variables and coefficient of importance them to optimize processes tableting of tomato powder and drying with microwave-hot air dryer using response surface methodology

Response variables	Purpose	Minimum value	Maximum value	Important factor
Concentration of vitamin C (g.mgDM^{-1})	maximum	0	0.88	4
Lycopene content (mg.100gDM^{-1})	maximum	238.1	793	4
Total phenol content (mg GAE/g DM)	maximum	0.36	8.09	2
Antioxidant activity (%)	maximum	36.95	93.02	2
Color index ΔL^*	Minimum	12.88	18.98	3
Color index Δa^*	Minimum	5.35	14.6	3
Color index Δb^*	Minimum	6.73	13.2	3



شکل ۱۱- (الف) اثر متقابل دمای هوای ورودی و سرعت هوای ورودی بر شاخص مطلوبیت، (ب)- اثر متقابل دمای هوای ورودی و مدت زمان اعمال مایکروویو بر شاخص مطلوبیت

Figure 11- (a) The interaction inlet air temperature and air velocity input on desirability index, (b) the interaction of microwave inlet air temperature and the microwave exposure time on desirability index

جدول ۵- مقادیر پیش‌بینی‌شده متغیرهای وابسته و مستقل به روش سطح پاسخ در شرایط بهینه فرآیندهای خشک‌کردن و فرص‌سازی از پودر گوجفرنگی در خشک‌کن مایکروویو - هوای گرم

Table 5. Predicted values of dependent and independent variables by response surface methodology under optimal conditions of drying and tableting processes of tomato powder in microwave dryer-hot air

Issue	Temperature (°C)	Air velocity (m/s)	Microwave exposure time (s)	Concentration of vitamin C (g.mg ⁻¹)	Lycopene content (mg.100g ⁻¹)	Total phenol content (mg GAE/g DM)	Antioxidant activity (%)	ΔL*	Δa*	Δb*	Desirability index
1	50	1.07	4	0.66	434.7	6.78	50.11	14.76	8.49	7.61	0.819
2	50	1.06	4	0.66	453.1	6.78	50.12	14.76	8.49	7.61	0.819
3	50	1.08	4	0.66	434	6.77	50.11	14.76	8.47	7.6	0.819
4	50	1.07	4	0.66	453.1	6.77	50.09	14.76	8.45	7.6	0.819
5	50	1.06	4	0.65	435.6	6.79	50.12	14.77	8.49	7.61	0.819
6	50	1.09	4	0.66	433.3	7.77	50.1	14.75	8.51	7.6	0.819
7	50	1.05	4	0.65	436.3	7.79	50.12	14.77	8.49	7.61	0.819
8	50	1.1	4	0.66	431.9	6.75	50.09	14.75	8.43	7.6	0.819
9	50	1.11	4	0.66	431.4	7.75	50.08	14.75	8.39	7.6	0.818
10	50	1	4	0.65	437.2	6.8	50.13	14.77	8.3	7.62	0.818
11	50	1.12	4	0.66	430.6	6.74	50.07	14.74	8.39	7.6	0.818

شکل ۱۱ اثر متقابل متغیرهای مستقل مورد مطالعه را بر شاخص مطلوبیت نشان می‌دهد، نتایج نشان داد که خشک‌کردن تحت شرایط ملایم‌تر (دمای پایین‌تر و مدت زمان کم اعمال توان ثابت مایکروویو (۹۰W)) سبب افزایش شاخص مطلوبیت گردید. هیل (۲۰۱۳) و پورکایستا و همکاران (۲۰۱۳) به نتایج مشابهی دست یافتند.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش تأثیر دمای هوای ورودی، سرعت هوای ورودی و مدت زمان اعمال مایکروویو در خشک‌کردن قرص فشرده تولید شده از پودر گوجه‌فرنگی با خشک‌کن مایکروویو- هوای گرم مورد مطالعه قرار گرفت. همچنین شرایط بهینه فرآیندها با استفاده از

روش سطح پاسخ تعیین شد. در شرایط بهینه، دمای هوای ورودی ۵۰ درجه سلسیوس، سرعت هوای ۱/۰۷ متر بر ثانیه و مدت زمان اعمال مایکروویو ۴ ثانیه، مقادیر بهینه محتوای لیکوپن، غلظت ویتامین ث، محتوای فنل کل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و شاخص‌های رنگی ΔL^* ، Δa^* و Δb^* به ترتیب $434/7 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g DM}^{-1}$ ، $50/11$ ، $7/78 \text{ mg GAE/g DM}$ ، $0/66 \text{ mg ascorbic/g DM}$ درصد، $14/76$ ، $8/49$ و $7/61$ بدست آمدند.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از دانشگاه بوعلی سینا به جهت تأمین مالی هزینه‌های این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

- احمدی قویدلان م، امیری چایجان ر، ۱۳۹۵. استفاده از روش سطح پاسخ جهت بهینه‌سازی خشک‌کردن فندق در بسترسیال مادون‌قرمز. نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی، ۲۶(۴)، ۶۳۹-۶۵۷.
- حجتی م، رضوی س ه. ۱۳۹۰. مروری بر ویژگیهای لیکوپن و نقش میکروارگانیزم‌ها در تولید آن. علوم و صنایع غذایی ایران، ۲۹(۸)، ۱۱-۲۵.
- خاکباز حشمتی م، سیفی مقدم ا. ۱۳۹۶. بررسی تکنیک متناوب مایکروویو- هوای گرم بر خواص کیفی و تغذیه‌ای برگه‌های کیوی خشک شده. پژوهش‌های صنایع غذایی، ۲۷(۱)، ۱۱۱-۱۲۶.
- زرین‌نژاد م، امیری چایجان ر. ۱۳۹۵. تعیین شرایط بهینه فرآیند خشک کردن پسته در خشک‌کن مایکروویو بستر سیال. مجله علوم و صنایع غذایی، ۱۳(۵۷)، ۱۳-۲۴.
- Abano E, Ma, H, and Qu W, 2011. Influence of air temperature on the drying kinetics and quality of tomato slices. *Journal of Food Processing and Technology* 2(5): 1-9.
- Adiba BD, Salem B, Nabil S and Abdelhakim M, 2011. Preliminary characterization of food tablets from date (*Phoenix dactylifera* L.) and spirulina (*Spirulina* sp.) powders. *Powder Technology* 208(3): 725-730.
- And GL and Barrett DM, 2006. Influence of Pre-drying Treatments on Quality and Safety of Sun-dried Tomatoes. Part I: Use of Steam Blanching, Boiling Brine Blanching, and Dips in Salt or Sodium Metabisulfite. *Journal of Food Science* 71(1): S24-S31.
- Aziz M, Yusof Y, Blanchard C, Saifullah M, Farahnaky A and Scheiling G, 2018. Material Properties and Tableting of Fruit Powders. *Food Engineering Reviews* 1-15 .
- Brand-Williams W, Cuvelier ME and Berset C, 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Science and Technology* 28(1): 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. *Adv J Food Sci Tech*, 5, 1214-1219.
- Da Porto C and Natolino A, 2018. Optimization of the extraction of phenolic compounds from red grape marc (*Vitis vinifera* L.) using response surface methodology. *Journal of Wine Research* 29(1): 26-36.
- Demiray E, Tulek Y and Yilmaz Y, 2013. Degradation kinetics of lycopene, β -carotene and ascorbic acid in tomatoes during hot air drying. *LWT-Food Science and Technology* 50(1): 172-176.

- Durigon A, de Souza PG, Carciofi BAM and Laurindo JB, 2016. Cast-tape drying of tomato juice for the production of powdered tomato. *Food and Bioproducts Processing* 100: 145-155.
- FAO, 2017. FAOSTAT: Data-crops. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy
- Figiel A, 2010. Drying kinetics and quality of beetroots dehydrated by combination of convective and vacuum-microwave methods. *Journal of Food Engineering* 98(4): 461-470.
- Fish WW, Perkins-Veazie P and Collins JK, 2002. A quantitative assay for lycopene that utilizes reduced volumes of organic solvents. *Journal of Food composition and Analysis* 15(3): 309-317.
- Ghasemi A and Chayjan RA, 2018. Optimization of Pelleting and Infrared-Convection Drying Processes of Food and Agricultural Waste Using Response Surface Methodology (RSM). *Waste and Biomass Valorization* 1-19.
- Ghasemi A, Chayjan RA and Najafabadi HJ, 2018. Optimization of granular waste production based on mechanical properties. *Waste Management*.
- Gümüşay ÖA, Borazan AA, Ercal N and Demirkol O, 2015. Drying effects on the antioxidant properties of tomatoes and ginger. *Food chemistry* 173: 156-162 .
- Haile M, 2013. Microwave-vacuum drying effect on drying kinetics, lycopene and ascorbic acid content of tomato slices. *Journal of Stored Products and Postharvest Research* 4(1): 11-22 .
- Ishiwu Charles N, Iwouno JO, Obiegbuna James E and Ezike Tochukwu C, 2014. Effect of thermal processing on lycopene, beta-carotene and Vitamin C content of tomato [Var. UC82B]. *Journal of Food and Nutrition Sciences* 2(3): 87-92.
- Latapi G, Barrett DM, 2006. Influence of Pre - drying Treatments on Quality and Safety of Sun - dried Tomatoes. Part I: Use of Steam Blanching, Boiling Brine Blanching, and Dips in Salt or Sodium Metabisulfite. *Journal of food science* 71(1).
- Liu F, Cao X, Wang H and Liao X, 2010. Changes of tomato powder qualities during storage. *Powder Technology* 204(1): 159-166
- Mahapatra A, Harris D, Durham D, Lucas S, Terrill T, Kouakou B and Kannan G. (2010). Effects of moisture change on the physical and thermal properties of sericea lespedeza pellets. *International Agricultural Engineering Journal* 19(3): 23-29.
- Marfil P, Santos E and Telis V, 2008. Ascorbic acid degradation kinetics in tomatoes at different drying conditions. *LWT-Food Science and Technology* 41(9): 1642-1647.
- Maria Elena HR, Armando Quintero R, Alejandro AD, John B, Ricardo Talamas A, Jose Vinicio Torres A and Erica Salas M, 2012. Effect of blanching and drying Temperature on polyphenolic compounds ability and antioxidant capacity of apple Pomace. *Food Bioprocess Technol* 5: 2201-2210.
- Martí R, Leiva-Brondo M, Lahoz I, Campillo C, Cebolla-Cornejo J and Roselló S, 2018. Polyphenol and l-ascorbic acid content in tomato as influenced by high lycopene genotypes and organic farming at different environments. *Food chemistry* 239: 148-156.
- Moses JA, Norton T, Alagusundaram, K and Tiwari BK, 2014. Novel drying techniques for the food industry. *Food Engineering Reviews* 6(3): 43-55.
- Ong M, Yusof Y, Aziz M, Chin N and Amin, NM, (2014). Characterisation of fast dispersible fruit tablets made from green and ripe mango fruit powders. *Journal of Food Engineering* 125: 17-23.
- Purkayastha MD, Nath A, Deka BC and Mahanta CL, 2013. Thin layer drying of tomato slices. *Journal of food science and technology* 50(4): 642-653.
- Singleton VL and Rossi JA, 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American journal of Enology and Viticulture* 16(3): 144-158.
- 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 .
- Toor RK and Savage GP, 2006. Effect of semi-drying on the antioxidant components of tomatoes. *Food chemistry* 94(1): 90-97 .
- Workneh TS and Oke MO, 2013. Thin layer modelling of microwave-convective drying of tomato slices. *International journal of food engineering* 9(1): 75-90 .

- Yusof Y, Mohd Salleh F, Chin N and Talib R, 2012. The drying and tableting of pitaya powder. *Journal of Food Process Engineering* 35(5): 763-771
- Zea LP, Yusof YA, Aziz MG, Ling CN and Amin NAM, 2013. Compressibility and dissolution characteristics of mixed fruit tablets made from guava and pitaya fruit powders. *Powder Technology* 247: 112-119.

Journal of Food Research/vol.30 No.4/ 2021/pp 53-80
<https://foodresearch.tabrizu.ac.ir>
DOI: 10.22034/FR.2021.31663.1635

Investigation of chemical and qualitative properties of compressed tablet production from tomato powder under microwave-hot air condition and process optimization using response surface method

M Rashidi¹, R Amiri Chayjan^{2*}, A Ershadi³ and A Ghasemi⁴

Received: January 21, 2019

Accepted: December 2, 2019

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

²Associate Prof., Department of Biosystems Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

³Associate Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

⁴PhD Student, Department of Biosystems Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

*Corresponding author: Email: amirireza@basu.ac.ir

Introduction: Tomato is one of the most valuable sources of minerals and vitamins supply in the human diet. Low shelf life of tomato and its short shelf life with inadequate processing facilities lead to heavy financial losses. Therefore, preserving and processing tomatoes is of the commercial importance (Liu et al., 2010). Drying is one of the preferred methods for keeping tomatoes (And and Barrett, 2006). Dried tomato products including half tomatoes, tomato slices and tomato powder, have a lot of consumption, compared with other tomato products. Among dried tomato products, tomato powder has a particular market. Powder production is an alternative method to extend the shelf life of foods (Liu et al., 2010). Usually the fruit powder is very dry, humidity absorber and has a lot of volumes. Therefore, during storage, transportation and administration, it requires special care and heavy packaging that will increase the cost. To overcome these problems, compression of the fruit powder in tablet form is a unique way. Tablet making of fruit powder has gained much popularity due to its ease of use, storage, transportation and product formulation (Aziz et al., 2018). After the tablet making process, the tablets contain high moisture content. They are not suitable for transportation and storage. So, in order to prevent the tablets corruption and maintain their quality, tablet drying is one of the important steps after the tablet making process. The drying process is an important operation that affects the quality and final price of the product (Mahapatra et al., 2018). Different drying methods play an important role in protecting foodstuffs. However, the effect of different drying methods on the quality of some foodstuffs is not clear. The purpose of this study was to drying process optimization of compressed tablet produced from tomato powder undergoing microwave - hot air conditions.

Material and methods: First to remove the thin layer of fresh tomato peel, they were immersed in hot water for 30 to 45 seconds and then the tomato peel was easily separated. After the tomato peel was removed, cut with a sharp razor to 3 mm thick. For drying, the tomato sheets were placed on aluminum foil and the samples were dried in a semi-industrial continuous hot air dryer at 50 °C at 1 m / s. After the drying process of the fresh tomatoes, the dried tomato slices were first poured into the mill and grinded for a minute. After the grinding process, tomatoes were sieved with a 50 mesh sieve (particle size less than 0.5 mm) to homogenize the particle size. Prior to performing the pelletizing process, to increase the adhesion force between the particles, it is necessary to add the tomatoes, moisture and adhesives. According to pre-tests, moisture content of tomato powder was increased to d.b.23%. 55% fructose syrup was also used as adhesive. The fructose syrup was dissolved in water by 6% by weight (by weight of tomato powder) and the resulting solution was

added to the tomato powder and mixed with it. Refrigerate for 72 hours at 4 °C. In order to compress the raw materials into a closed mold, a laboratory hydraulic press was used to perform tablet making experiments. Drying experiments were performed immediately after the tableting process was completed. Microwave-hot air dryer was used to dry compact spherical pellets produced from tomato powder. In this research, the effect of different conditions of microwave-hot air drying (air temperature, inlet air velocity and microwave exposure time) on the qualitative and chemical properties of the compressed tablet produced from tomato powder containing lycopene content, concentration of vitamin C, total phenol content, antioxidant activity and color indices of ΔL^* , Δa^* and Δb^* were studied. To analyze the data and optimize the process, the response surface method and central composite design were used. Input parameters (independent) were: inlet air temperature, inlet air velocity and microwave exposure time. Dependent parameters (responses) were: lycopene content, concentration of vitamin C, total phenol content, antioxidant activity and color indices of ΔL^* , Δa^* and Δb^* . For drying samples, five levels of air temperatures (40, 50, 60, 70 and 80 °C), air velocity (0.5, 1, 1.5, 2, and 2.5 m/s) and microwave exposure time (0, 4, 8, 12 and 16 seconds) were applied.

Results and discussion: The amounts of lycopene content, concentration of vitamin C, total phenol content, antioxidant activity, ΔL^* , Δa^* and Δb^* were achieved between 865 to 2205.6 mg/100g_{DM}⁻¹, 0 to 0.88 mg_{ascorbic}/g_{DM}, 0.36 to 8.9 mg GAE/g DM, 34.95 to 99.02%, 12.89 to 18.98, 5.35 to 14.609 and 6.78 to 13.21, respectively. The optimum drying point of the at air temperature of 50 °C, air velocity of 1.07 m/s and microwave exposure time of 4 seconds were obtained and the response variable values in the optimal point containing lycopene content, concentration of vitamin C, total phenol content, antioxidant activity and color indices of ΔL^* , Δa^* and Δb^* were obtained 434.7 mg/100g_{DM}, 0.66 mg_{ascorbic}/g_{DM}, 7.78 mg GAE/g DM, %50.11, 14.76, 8.49 and 7.61, respectively. The results showed that the with simultaneous increase air temperature and the microwave exposure time, concentration of vitamin C decreased. The decrease in ascorbic acid observed during microwave drying may be due to the degradation of vitamin C by electromagnetic waves from microwave power in dried samples. also with increasing temperature, the amount of lycopene Increased. This increase in lycopene is due to the fact that carotenoids, especially lycopene, are complexed in the cellular matrix of fruits and vegetables, and processes such as crushing, cooking, and heating cause the release of lycopene from the tomato cellular matrix. As the temperature of the inlet air into the drying chamber increased and the microwave duration increased, the total phenol content of the compacted tablet produced from tomato powder decreased. The reason for this decrease is that heat treatment may release more phenolic acid from the breakdown of cellular components. Although disruption of the cell wall also releases oxidizing and hydrolytic enzymes that can destroy antioxidants in fruits and vegetables, but low temperature heat treatment disables these enzymes to prevent acid degradation and loss of acidity. The phenolics are reduced. With a simultaneous increase in intake air temperature and air velocity input, the antioxidant activity of tomatoes tablets increased with increased microwave exposure time antioxidant activity of tomatoes fell tablets. The reason for this increase is that while heating is the main cause of the degradation of antioxidants such as ascorbic acid, but heat can trigger the formation of compounds such as melanoids in the myard reaction, and these compounds can have antioxidant effects that lead to increased It becomes antioxidant. The results showed that increasing the temperature caused a greater difference between the color indices L^* and a^* and a decrease in the color index b^* compacted tomato tablets compared to fresh tomatoes. The increase in temperature caused more darkening (decrease in L^* index) and decrease in redness (decrease in a^* index) in tomato compacted tomato. That is, the specimens became darker than the former, due to the formation of a brown grain through the Mayard reaction. Generally, the color indices at lower temperatures were closer to the values of fresh tomato samples.

Conclusion: Results indicated that the drying under lower temperature (50°C) and lower exposure time of microwave radiation (4 seconds) with fixed power (90 W) caused to further ingredient materials preservation and increasing in desirability index.

Key words: Tomato, Compressed tablet, Drying, Vitamin C, Lycopene