



بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی پودر گوجه‌فرنگی در فرآیند پودرسازی منوچهر رشیدی^۱، رضا امیری چایجان^۲، علی قاسمی^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بیوسیستم، دانشگاه بوعلی‌سینا، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی بیوسیستم، manochehr.5679@gmail.com
^۲ دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه بوعلی‌سینا، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی بیوسیستم، amirreza@basu.ac.ir
^۳ دانشجوی دکتری مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی بیوسیستم، alighasemi10@gmail.com

چکیده

گوجه‌فرنگی یکی از باارزش‌ترین منابع تأمین مواد معدنی و ویتامین‌ها در رژیم غذایی انسان است. به دلیل ویژگی‌های فیزیولوژیکی گوجه‌فرنگی، حجم زیادی از ضایعات در عملیات پس از برداشت این محصول به خصوص طی حمل و نقل و انبارمانی برجای می‌ماند. یکی از روش‌های توصیه شده به منظور کاهش ضایعات و افزایش مدت ماندگاری این محصول پرارزش، فرآیند تولید پودر است. هدف از انجام این تحقیق، ارزیابی اثر فرآیند پودرسازی گوجه‌فرنگی‌های تازه بر خواص فیزیکی شامل چگالی توده‌ای (سست و فشرده)، شاخص‌های کر و هاسنر، زاویه‌های ریپوز و اسلاید و مقایسه ویژگی‌های شیمیایی شامل مقدار لیکوپن، ویتامین ث، فنل کل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و شاخص‌های رنگی L^* ، a^* و b^* قبل از فرآیند خشک‌کردن و بعد از فرآیند پودرسازی گوجه‌فرنگی بود. در این پژوهش، ابتدا گوجه‌فرنگی‌های تازه تحت عملیات بلانچینگ قرار گرفته و پوست آنها گرفته شدند. سپس نمونه‌ها به صورت ورقه‌ورقه برش زده شدند و توسط یک خشک‌کن پیوسته نیمه صنعتی در دمای 50°C به روش همرفتی هوای داغ خشک شدند. در نهایت ورقه‌های خشک‌شده با استفاده از یک دستگاه آسیاب به پودر تبدیل شدند. نتایج این بررسی نشان داد که اختلاف معنی‌داری ($p < 0.01$) بین میزان لیکوپن، ویتامین ث و فنل کل گوجه‌فرنگی تازه و پودر تولیدشده از آن وجود داشت. همچنین نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین فعالیت آنتی‌اکسیدانی گوجه‌فرنگی تازه قبل از خشک‌شدن و پودر تولیدشده بعد از خشک‌شدن وجود نداشت. در نهایت نتایج ارزیابی فیزیکی پودر گوجه‌فرنگی نشان داد که جریان‌پذیری پودر گوجه‌فرنگی در سطح خوب قرار داشت. **کلمات کلیدی:** خشک‌کردن گوجه‌فرنگی، پودر گوجه‌فرنگی، جریان‌پذیری، لیکوپن، ویتامین ث.

Physical and Chemical Characteristics of Tomato Powder Undergoing Powder production Process

Manoocher Rashidi¹, Reza Amiri Chayjan², Ali Ghasemi³

¹MSc Student, Department of Biosystems Engineering, Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran, manochehr.5679@gmail.com

²Associate Prof., Department of Biosystems Engineering, Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran, amirreza@basu.ac.ir

³PhD Student, Department of Biosystems Engineering, Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran, alighasemi10@gmail.com

ABSTRACT

Tomato is one of the most valuable sources of supplying minerals and vitamins in the human diet. Because of the physiological characteristics of tomatoes, a large amount of waste is lost during post-harvest operations, especially during transportation and storage. One of the recommended methods to reduce waste and increase the shelf life of this valuable product is the powder production process. The purpose of this study was to evaluate the effect of fresh tomato powder processing on physical properties, including mass density (loose and compact), carr and Hausner indices, rupture and slide angles, and comparison of chemical properties including lycopene, vitamin E, total phenol, antioxidant activity and colorimetric indices of L^* , a^* and b^* before drying process and after the powder production process of tomato. In this research, fresh tomatoes were subjected to blanching operations firstly and then their skin was taken. The samples were then cut into sheets and dried by a continuous semi-industrial drying agent at a temperature of 50°C using a hot air convection method. Finally, the dried sheets were turned into powder using a milling machine. The



results of this study showed that there was a significant difference ($p < 0.01$) between the amount of lycopene, vitamin C and total phenol of fresh tomato and powder produced from it. Also, the results of the analysis of variance showed that there was no significant difference between the antioxidant activity of fresh tomatoes before drying and the powder produced after drying. Finally, the results of the physical evaluation of tomato powder showed that the flowability of the powder was in a good level.

Keywords: Tomato drying, Tomato powder, Flowability, Lycopene, Ascorbic acid

مقدمه

گوجه‌فرنگی یکی از باارزش‌ترین منابع تأمین مواد معدنی و ویتامین‌ها در رژیم غذایی انسان است. طبق آمار سازمان خواروبار جهانی (FAO)، حدود ۴/۸ میلیون هکتار از اراضی کشاورزی دنیا به کشت این محصول اختصاص دارد و سالانه حدود ۱۶۲ میلیون تن گوجه‌فرنگی در سراسر دنیا تولید می‌گردد (FAO, ۲۰۱۴). گوجه‌فرنگی گیاهی با نام علمی *Lycopersicon esculentum* یکی از بیشترین سبزی‌های مصرفی در سراسر جهان است. گوجه‌فرنگی 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 فراوان‌ترین کارتنوئید در گوجه‌فرنگی، عامل رنگ قرمز در میوه‌ها و سبزی‌ها است. مصرف منظم گوجه‌فرنگی منجر به کاهش خطر ابتلا به انواع مختلف سرطان (به‌ویژه سرطان پروستات) و بیماری‌های قلبی و عروقی می‌شود (Marti et al., 2018).

خشک کردن سبزیجات به عنوان روشی به منظور افزایش زمان ماندگاری از قرن‌ها پیش متداول بوده است. حمل‌ونقل محصولات خشک‌شده به دلیل وزن توده کم به آسانی و با هزینه کم انجام می‌شود. همچنین خشک کردن سبب کاهش قابل توجه در حجم محصول شده و سبب کاهش فضای مورد نیاز جهت نگهداری می‌گردد (Mokhtarian et al., 2012). از آنجایی که گوجه‌فرنگی دارای رطوبت بالایی است، فسادپذیر است و باید یا سریعاً مصرف شود و یا تحت شرایط کنترل‌شده فرآوری و نگهداری شود. در کشورهای درحال توسعه، یکی از اهداف خشک کردن گوجه‌فرنگی، کاهش ضایعات پس از برداشت است. درحالی‌که در کشورهای توسعه‌یافته، گوجه‌فرنگی خشک‌شده محصولی با ارزش افزوده بالا جهت تولید سس گوجه‌فرنگی و اسانس می‌باشد. در سال‌های اخیر گوجه‌فرنگی خشک‌شده از حاشیه سبب غذایی به بخش اصلی تولید و عمومی صنعت غذا راه یافته است (And & Barrett, 2006). فرآورده‌های گوجه‌فرنگی خشک شده (ورقه‌های گوجه‌فرنگی و پودر گوجه‌فرنگی) با توجه به خواص کیفی مطلوبی که دارند، در مقایسه با گوجه‌فرنگی تازه و فرآوری شده دارای مصرف بیشتری هستند. پودر گوجه‌فرنگی مزایای فراوانی از جمله ارزش تجاری بالا، بسته‌بندی و حمل‌ونقل آسان، ترکیب‌شدن با سایر مواد و عدم چسبیدن آن به تجهیزات طی فرآوری آن دارد. علاوه بر این، پودر گوجه‌فرنگی از سوی تولیدکنندگان مواد غذایی به عنوان ماده‌ی افزودنی به سوپ و سس مورد توجه قرار گرفته است (Liu et al., 2010).

طی فرآیند تولید پودر گوجه‌فرنگی، عوامل متعددی بر خصوصیات فیزیکی و غذایی آن اثرگذارند. شرایط فرآوری (دمای خشک کردن، زمان خشک کردن و فرآیند پودر کردن) بر خصوصیات کیفی پودر شامل مقدار لیکوپن، ویتامین C، انتی‌اکسیدان، ترکیبات فنلی و پارامترهای رنگ اثرگذارند. رطوبت نهایی پودر فرآوری شده خصوصیات فیزیکی آن مانند چگالی توده‌ای سست و فشرده، شاخص کار و هاسنر، جریان‌پذیری (زاویه استاتیک ریپوز و اسلاید)، شاخص تراکم‌پذیری و حلالیت را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. جریان‌پذیری یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی پودرها است و تحت شرایط معینی، شمار زیادی از کاربردهای صنعتی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. شرایط محیطی در طول فرآوری و یا حمل و نقل، از جمله دما، رطوبت، بار الکترواستاتیک و زمان می‌توانند به شدت جریان‌پذیری پودرها را تحت تأثیر قرار دهند. ریپوز (انباشتگی) یک معیار تجربی برای تعیین میزان سیالیت مواد گرانوله است. این ویژگی به عواملی مانند مقدار رطوبت، اندازه ذرات و مدت نگهداری بستگی دارد. از آنجایی که محصول پس از ریختن بر سطح مایع به صورت توده یا کپه‌ای ظاهر می‌شود، بنابراین جریان‌پذیری بر کیفیت مصرف می‌تواند تأثیر بگذارد (Sarabandi & Peighambardoust, 2015).

پژوهش‌های متعددی در رابطه با خشک کردن محصولات پودری انجام گرفته است. طی تحقیقی خشک کردن پالپ گوجه‌فرنگی به روش پاششی بررسی و تأثیر شرایط خشک کردن (دمای هوا و سرعت جریان هوا) بر محتوای رطوبت نهایی پودر، چگالی توده و حلالیت مورد مطالعه قرار گرفت (Goula & Adamopoulos, 2005). نتایج نشان داد که مقدار رطوبت نهایی پودر با افزایش دما و سرعت هوای ورودی به خشک‌کن افزایش یافت. همچنین چگالی توده با کاهش دما و سرعت جریان هوای خشک‌کن افزایش یافت. حلالیت نیز با افزایش دمای هوای ورودی افزایش یافت. باتوجه به اهمیت فرآوری گوجه‌فرنگی، هدف از انجام این تحقیق ارزیابی اثر فرآیند خشک‌شدن گوجه‌فرنگی‌های تازه بر خصوصیات فیزیکی و کیفی شامل چگالی توده‌ای (سست و فشرده)، شاخص‌های کار، هاسنر، زاویه ریپوز و اسلاید، مقدار لیکوپن، ویتامین C، فنل کل، فعالیت آنتی-اکسیدانی و شاخص‌های رنگی L^* ، a^* و b^* قبل و بعد از فرآیند پودر سازی گوجه‌فرنگی طی فرآیند خشک کردن به روش همرفتی هوای داغ بود.

تهیه محصول

به منظور انجام این طرح گوجه‌فرنگی‌های تازه با قطر متوسط بین ۴ تا ۶cm از میدان میوه و تره‌بار استان همدان تهیه گردید. پس از تمیز کردن و جداکردن گوجه‌فرنگی‌های سالم، آنها از نظر اندازه و شکل دسته‌بندی شده و تمامی نمونه‌ها جهت جلوگیری از تغییرات فیزیولوژیکی و شیمیایی در یخچال با دمای ۴ تا ۵ °C تا زمان انجام آزمایش‌ها نگهداری شدند.

تعیین محتوای رطوبت اولیه

به منظور تعیین رطوبت اولیه نمونه‌های گوجه‌فرنگی، حدود ۱۰ گرم نمونه در دستگاه آون (Memmert UNE 500 ساخت آلمان)، در دمای ۶۰°C به مدت حدود ۴۸ ساعت تا رسیدن به وزن ثابت قرار گرفت (Marfil, Santos, & Telis, 2008)، نمونه‌ها پس از سیدن به وزن ثابت با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ g توزین شدند، سپس محتوای رطوبت اولیه آنها توسط رابطه (۱) محاسبه گردید. محتوای رطوبت اولیه برابر با ۱۶۰۶/۵d.b.٪ به دست آمد.

$$MC_{d.b.} = \frac{M_i - M_f}{M_f} \quad (1)$$

در این رابطه $MC_{d.b.}$ رطوبت اولیه محصول بر پایه خشک، M_i وزن اولیه و M_f وزن نهایی نمونه بر حسب گرم می‌باشند.

آماده‌سازی و خشک کردن 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 خشک کردن، ورقه‌های گوجه‌فرنگی‌ها روی فویل‌های آلومینیومی قرار گرفته و نمونه‌ها در خشک‌کن هوای داغ پیوسته (شکل ۱) در دمای ۵۰°C در سرعت هوای ۱ ms⁻¹ خشک شدند. دمای مورد آزمایش با توجه به این که خشک شدن در محدوده دمایی ۵۰ تا ۶۰ °C برای حفظ بیشتر ویتامین‌ها و لیکوپین گزارش شده بود، انتخاب شد (Purkayastha, Nath, Deka, & Mahanta, 2013). طی فرآیند خشک کردن، دمای هوای ورودی به خشک‌کن به صورت پیوسته اندازه‌گیری می‌شد و ثابت نگه‌داشته می‌شد. فرآیند خشک کردن نمونه‌ها تا رسیدن محتوای رطوبتی نمونه‌ها به زیر ۱۰ درصد بر پایه خشک (رطوبت مناسب جهت جلوگیری از فساد محصول) ادامه یافت. به منظور بررسی سینتیک کاهش رطوبت، نمونه‌ها در زمان‌های مشخصی (۳، ۶، ۱۰، ۱۵، ۲۵ و پس از آن هر ۳۰ دقیقه یک بار) از خشک‌کن خارج و پس از اندازه‌گیری وزن آنها توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ g، محتوای رطوبتی آنها محاسبه و نمودار سینتیک رطوبت رسم شدند.



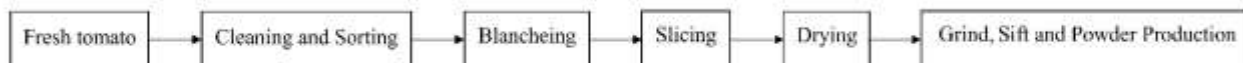
Figure 1- Semi-industrial continuous dryers used to dry tomato slices: 1) drying chamber, 2) conveyors, 3) heating elements, 4) radial fan, 5) electrical panel system for controlling temperature and air velocity, 6) thermostat, 7) Inverter.

شکل ۱- خشک‌کن پیوسته نیمه‌صنعتی مورد استفاده به منظور خشک کردن ورقه‌های گوجه‌فرنگی: (۱) محفظه خشک‌کن، (۲) تسمه نقاله، (۳) المنت‌های حرارتی، (۴) دمنده، (۵) سیستم تابلو برق کنترل دما و سرعت هوا، (۶) ترموستات، (۷) اینورتر.



فرآیند پودر کردن ورقه‌های گوجه‌فرنگی

ابتدا ورقه‌های خشک گوجه‌فرنگی در داخل دستگاه آسیاب پاناسونیک (مدل MJ-M176P، ساخت مالزی) به مدت یک دقیقه آسیاب شدند، سپس از الک (آزمون، ساخت ایران) با مش ۵۰ (اندازه ذرات کمتر از ۰/۵ mm) غربال شد و داخل پلاستیک‌های مخصوص جمع‌آوری شده و برای انجام آزمایش‌ها نگهداری شدند. همچنین پس از هر بار استفاده از دستگاه آسیاب و الک، آنها برای نمونه بعدی به خوبی تمیز شدند. شکل ۲ نمودار روندنمای فرآیند تولید پودر گوجه‌فرنگی را نشان می‌دهد.



شکل ۲- نمودار روند نمای فرآیند تولید پودر گوجه‌فرنگی

Figure 2- Flowchart of tomato powder production process

تعیین خواص فیزیکی پودر گوجه‌فرنگی

چگالی توده ای (سست و فشرده)

چگالی توده یک معیار برای بررسی خصوصیات فشرده‌شدن مواد جامد ذره‌ای است. برای تعیین چگالی توده سست پودر، دو گرم از پودر به طور آزادانه در داخل یک استوانه‌ی شیشه‌ای درجه‌بندی شده تا ۱۰ mL (قابل خواندن تا ۰/۵ میلی‌لیتر) ریخته و سپس حجم اشغال شده ثبت گردید و چگالی سست از رابطه (۲) بدست آمد.

$$\rho_L = \frac{m}{V_L} \quad (2)$$

در رابطه (۲)، ρ_L چگالی توده‌ی سست (g mL^{-1})، m جرم پودر (g) و V_L حجم قبل از تکان (ضربه) (mL) است. به منظور تعیین چگالی توده فشرده پودر، دو گرم از آن در استوانه ۱۰ میلی‌لیتری درجه‌بندی شده (قابل خواندن تا ۰/۵ میلی‌لیتر) ریخته شد و پس از تکان دادن و فشردن پودر داخل استوانه‌ی شیشه‌ای به صورت دستی، با بلند کردن و انداختن استوانه در فاصله‌ی عمودی $15 \pm 2 \text{ mm}$ (تازمانی که تفاوت قابل چشم‌پوشی بین اندازه‌گیری‌های پیاپی مشاهده شود)، حجم اشغال شده ثبت گردید و چگالی توده فشرده از رابطه (۳) بدست آمد. اندازه‌گیری‌ها در سه تکرار انجام و میانگین آن‌ها ثبت شد.

$$\rho_T = \frac{m}{V_T} \quad (3)$$

در رابطه (۳)، ρ_T چگالی توده‌ی فشرده (g mL^{-1})، m جرم پودر (g) و V_T حجم بعد از تکان (ضربه) (mL) است.

شاخص کار و نسبت هاسنر

شاخص کار^۱ و نسبت هاسنر^۲ جریان‌پذیری پودر را می‌سنجند و هر دو براساس چگالی توده‌ای سست و فشرده‌ی پودر اندازه‌گیری می‌شوند. شاخص کار و نسبت هاسنر از روابط (۴) و (۵) محاسبه گردید (Muzaffar, Dar, & Kumar, 2017).

$$CI = \frac{\rho_T - \rho_L}{\rho_L} \times 100 \quad (4)$$

$$HR = \frac{\rho_T}{\rho_L} \quad (5)$$

در رابطه (۴) و (۵)، CI شاخص کار (%) و HR نسبت هاسنر (بی‌بعد) هستند.

¹Carr index

²Hausner ratio



یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



جریان پذیری (زاویه استاتیک ریپوز و اسلاید)

برای محاسبه زاویه استاتیک ریپوز پودر، مقدار ۱۰g پودر گوجه فرنگی وزن شد و از درون یک قیف از ارتفاع ثابت و با قطر مجرای خروجی ۱۲mm عبور داده شد تا بر یک سطح افقی صاف ریخته شود و تشکیل یک توده دهد. زاویه ریپوز از طریق زاویه تشکیل شده به وسیله شیب توده محصول نسبت به سطح مینا، از رابطه (۶) محاسبه گردید

$$\theta = \tan^{-1} \frac{H}{R} \quad (6)$$

در رابطه (۶)، R قطر کپه (m)، H ارتفاع کپه (m) و θ زاویه ریپوز (درجه) هستند.

برای محاسبه زاویه اسلاید (برش) پودر گوجه فرنگی، حدود ۵g از آنرا وزن کرده و به طور جداگانه در یک صفحه شیشه‌ای مستطیلی به طول ۱۳۰mm ریخته شد. سپس صفحه‌ی شیشه‌ای را به تدریج بلند کرده تا سطح پودر گوجه فرنگی شروع به حرکت کند و برش‌هایی در سطح آن ایجاد گردد. زاویه اسلاید از رابطه (۷) محاسبه شد (Zhang *et al.*, 2012)

$$\alpha = \sin^{-1} \frac{H}{L} \quad (7)$$

H فاصله عمودی (mm) از بالای صفحه شیشه‌ای نسبت به سطح مینا، L طول شیشه (mm) و α زاویه اسلاید است. در جدول ۱ ارتباط بین قابلیت رندگی با نسبت هاسنر، شاخص کار، زاویه ریپوز و اسلاید آورده شده است (Muzaffar, Sarabandi & Peighambaroust, 2015; Dar, & Kumar, 2017).

جدول ۱- ارزیابی جریان پذیری پودر

Table1. Evaluation of powder flowability

Carr index(%)	Hausner ratio	angle of repose(°)	Flowability	Adhesion capability
0-10	1.00-1.11	25-30	Excellent	Flowing freely
11-15	1.12-1.18	31-35	Good	Flowing freely
16-20	1.19-1.25	36-40	Fair	Relatively sticky
21-25	1.26-1.34	41-45	Passable	Relatively sticky
26-31	1.35-1.45	46-55	Poor	Sticky
32-37	1.46-1.59	56-65	Very poor	Very Sticky
>38	>1.60	more than 65	Very, very poor	Very Sticky

خواص شیمیایی

خواص شیمیایی یک بار برای گوجه فرنگی تازه (قبل از فرآیند خشک شدن) و یک بار نیز برای پودر گوجه فرنگی (بعد از فرآیند خشک شدن) تعیین شدند.

رطوبت پودر

رطوبت پودر گوجه فرنگی به روش آون تعیین گردید. بدین منظور ۵g از نمونه‌ها با دقت ± 0.001 در ظرف مخصوص توزین شد و در آون با دمای 105°C قرار گرفت، در فواصل زمانی مختلف نمونه‌ها از آون خارج و سپس توزین می‌شدند. پس از گذشت دو ساعت نمونه‌ها به وزن ثابت رسیدند و در نهایت محتوای رطوبتی آنها از رابطه (۱) بدست آمدند. محتوای رطوبت پودر گوجه فرنگی برابر با ۸/۱۶۵d.b.٪ به دست آمد.

ارزیابی رنگ

برای محاسبه میزان تغییر رنگ پودر گوجه فرنگی تولیدشده در شرایط مختلف از روش اسکن کردن که یکی از روش‌های متداول رنگ سنجی مواد غذایی خشک شده است، استفاده شد. برای این منظور، تصاویر رنگی از پودر تولیدشده با استفاده از یک دستگاه اسکنر HP G4050 ساخت کشور چین) که روی درجه وضوح ۱۲۰۰ تنظیم شده بود، تهیه شد و شاخص رنگ نمونه‌ها قبل و بعد از خشک کردن از روی تصاویر گرفته شده با

¹The angle of repose and slide



یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



استفاده از نرم افزار متلب تعیین شد. هر آزمایش در سه تکرار انجام شد و میانگین آنها گزارش شد و در نهایت با داده های مربوط به نمونه های گوجه فرنگی تازه به عنوان نمونه شاهد مقایسه شدند. پارامتر L^* طیف سفید تا مشکی با محدوده ۰-۱۰۰، a^* طیف سبز تا قرمز با محدوده ۱۰۰- تا ۱۰۰+ و b^* طیف آبی تا زرد با محدوده ۱۰۰- تا ۱۰۰+ را نشان می دهند.

اندازه گیری لیکوپین

به منظور اندازه گیری مقدار لیکوپین نمونه ها ابتدا محلول استخراج با ترکیب ۵mL اتانول ۹۵ درصد، ۵ mL استون خالص و ۱۰ mL هگزان ساخته شد. سپس بین ۰/۴ تا ۰/۶ g نمونه گوجه فرنگی به ظرف حاوی محلول استخراج اضافه شد. سپس محلول بدست آمده توسط یک شیکر با سرعت ۱۸۰ rpm به مدت ۱۵ min با یکدیگر ترکیب شدند تا مخلوط همگنی بدست آید سپس ۳mL آب مقطر مجدداً به نمونه ها اضافه شد و ۵min با همان شرایط قبل روی شیکر قرار داده شد. سپس نمونه ها را از روی شیکر برداشته و به مدت ۵ min در دمای آزمایشگاه قرار داده شدند تا فازها از هم جدا شوند. پس از آن فاز هگزان (فاز بالای که احتمالاً زرد رنگ است) نمونه با دقت برداشته شد و با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۰۳ nm جذب نمونه قرائت شد (Fish et al., 2002).

اندازه گیری ویتامین ث

غلظت ویتامین ث به روش تیتراسیون دو مرحله ای مطابق با استاندارد ملی ایران شماره ۵۶۰۹ اندازه گیری شد. در این روش ابتدا مقدار mL ۲۵ اسید متافسفریک ۶ درصد به ۱۰g نمونه گوجه فرنگی اضافه گردید (محلول استخراج)، سپس ۵ mL از این محلول با اسید متافسفریک ۳ درصد در ارلن ۵۰ cc به حجم رسانده شد و توسط کاغذ صافی فیلتر شد. پس از آن ۱۰ mL از نمونه صاف شده توسط ۲-۶ دیکلروفلن ایندوفنل (محلول آشکارساز) تیترا گردید. در نقطه پایان آزمایش محلول به رنگ صورتی کم رنگ درآمد که این رنگ به مدت ۱۵ ثانیه دوام داشت.

اندازه گیری فنل کل

برای اندازه گیری فنل کل از روش فولین سیکالتو استفاده شد. به طور خلاصه، ابتدا ۰/۵ گرم از بافت میوه با ۳ میلی لیتر متانول ۸۵ درصد عصاره گیری شد. سپس ۳۰۰L μ از عصاره به ۱۵۰۰L μ معرف فولین سیکالتو ۱۰ درصد افزوده شد و به مدت ۵ دقیقه در دمای آزمایشگاه قرار گرفت. سپس ۱۲۰۰L μ سدیم کربنات ۷ درصد همراه با ۶۰۰L μ 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 گوجه فرنگی با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل کری ۱۰۰، ساخت آمریکا) در طول موج ۷۶۵ nm اندازه گیری شد و پس از مقایسه با استاندارد اسید گالیک، بر اساس میلی گرم اسید گالیک در یک گرم بافت نمونه گوجه - فرنگی بیان گردید (Ghorbani et al., 2014).

اندازه گیری فعالیت آنتی اکسیدانی

ظرفیت آنتی اکسیدانی گوجه فرنگی از طریق توانایی خنثی کنندگی رایکال آزاد DPPH(RSC) (۲ و ۲ دی فنیل ۱- پیگریل هیدرازیل) به صورت درصد بازدارندگی محاسبه شد. در این روش ابتدا ۵۰۰ μ L از عصاره تهیه شده برای فنل کل همراه با ۵۰۰ μ L آب مقطر به مدت ۵ دقیقه و با سرعت ۱۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس ۷۵ μ L از محلول حاصل به لوله های آزمایش منتقل شده و در نهایت ۲۹۲۵ μ L محلول DPPH (با غلظت ۲/۴ میلی گرم در ۱۰۰ میلی لیتر متانول ۸۵٪) به آن اضافه شد و پس از چند ثانیه ورتکس، جذب نوری نمونه محلول - های بدست آمده و شاهد توسط اسپکتروفتومتر (مدل کری ۱۰۰، ساخت آمریکا) در طول موج ۵۱۵ nm قرائت شد. درصد RSC از رابطه (۸) محاسبه شد.

$$RSC(\%) = \left(\frac{A_{blank} - A_{sample}}{A_{blank}} \right) \times 100 \quad (8)$$

که در رابطه (۸)، A_{sample} و A_{banke} به ترتیب میزان جذب شاهد و نمونه هستند.

¹Folin ciocalteu

²Radical Scavenging Capacity



تجزیه و تحلیل آماری

اطلاعات بدست آمده به روش طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار می‌باشد. تیمار مورد آزمایش خشک کردن در دمای 50°C در خشک کن پیوسته نیمه صنعتی بود. پارامترهای مورد اندازه‌گیری جهت تعیین خواص فیزیکی و شیمیایی گوجه‌فرنگی تازه قبل از خشک کردن و پودر تولید شده بعد از خشک کردن گوجه‌فرنگی شامل میزان لیکوپن، ویتامین ث، ترکیبات فنلی کل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و شاخص‌های رنگ L^* ، a^* و b^* بودند. به منظور مقایسه داده‌های بدست آمده از آزمایش‌های قبل از خشک کردن و بعد از پودرسازی از روش آماری T Test وابسته زوجی (Paired-Samples T Test) و از نرم‌افزار 16.0 Spss جهت مقایسه میانگین‌ها استفاده شد. ضمناً نمونه‌ها به وسیله نرم‌افزار 2013 Excel رسم شدند.

نتایج و بحث

سینتیک خشک شدن ورقه‌های گوجه‌فرنگی

شکل ۳ تغییرات محتوای رطوبتی بر حسب زمان را برای خشک کردن ورقه‌های گوجه‌فرنگی به شیوه همرفت هوای داغ تحت دمای 50°C را نشان می‌دهد.

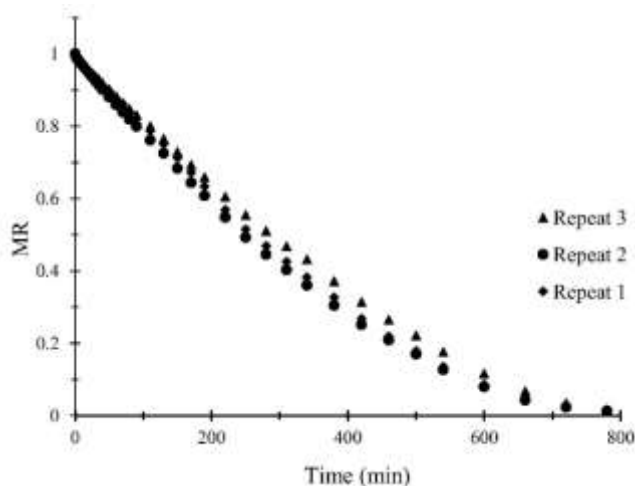


Figure 3- Changes in the moisture ratio of tomato slices in terms of time during the drying process by hot air convection method at 50°C

شکل ۳- تغییرات محتوای رطوبتی ورقه‌های گوجه‌فرنگی بر حسب زمان طی فرآیند خشک شدن به شیوه همرفتی هوای داغ در دمای 50°C

چگالی توده‌ای سست و فشرده

چگالی توده‌ای یکی از ویژگی‌های مهم برای طراحی بسته بندی و حمل و نقل می‌باشد. بعد از تولید پودر گوجه‌فرنگی، مقادیر چگالی توده‌ای سست و فشرده، در سه تکرار اندازه‌گیری شدند و در نهایت مقادیر آن‌ها به ترتیب 0.1178 و 0.204 g mL^{-1} بدست آمدند.

شاخص کار و نسبت هاسنر

بعد از تولید پودر گوجه‌فرنگی، مقادیر شاخص کار و نسبت هاسنر، در سه تکرار اندازه‌گیری شدند و در نهایت مقادیر آن‌ها به ترتیب $1.12/74$ و $1/14$ بدست آمدند. از آنجایی که مقادیر شاخص کار بین مقادیر ۱۱ تا ۱۵ درصد و نسبت هاسنر بین $1/12$ تا $1/18$ بدست آمدند، جریان پذیری پودر گوجه‌فرنگی خوب گزارش شد (جدول ۲). Sarabandi & Peighamardoust, 2015 برای پودر مالت به نتایج مشابهی دست یافته و نسبت هاسنر را برای پودر مالت با توجه به شرایط خشک شدن بین $1/06$ تا $1/24$ بدست آوردند.

زاویه ریپوز و اسلاید

بعد از تولید پودر گوجه‌فرنگی، مقادیر زاویه ریپوز و اسلاید، در سه تکرار اندازه‌گیری شدند و در نهایت مقادیر آن‌ها به ترتیب $32/56$ و $36/91$ درجه بدست آمدند. از آنجایی که مقادیر زاویه ریپوز بین مقادیر ۳۱ تا ۳۵ درجه بدست آمد، جریان پذیری پودر گوجه‌فرنگی خوب گزارش شد. Zhang et al. (2012) برای پودر قارچ مقدار زاویه ریپوز و اسلاید را به ترتیب $41/88$ و $38/23$ درجه بدست آوردند.



یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



ارزیابی لیکوپن

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اختلاف معنی داری ($p < 0.01$) بین میزان لیکوپن گوجه‌فرنگی تازه قبل از خشک‌شدن و پودر تولید شده بعد از خشک‌شدن وجود داشت (جدول ۲). میزان لیکوپن در قسمت‌های مختلف گوجه‌فرنگی متفاوت است. به طوری که میزان لیکوپن در پوست گوجه‌فرنگی به مراتب بیشتر از پالپ و هسته‌اش می‌باشد. کارتنوئیدها به ویژه لیکوپن به صورت کمپلکس در ماتریکس سلولی میوه و سبزیجات وجود دارند و فرآیندهایی همچون خردکردن و پختن موجب آزاد شدن لیکوپن از ماتریکس 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 (Hojjati & Razavi, 2011). (Abano *et al.*, 2011) گزارش کردند که سطح لیکوپن گوجه‌فرنگی‌های تازه به طور قابل توجهی ($p = 0.05$) از مقدار اولیه $2/96 \text{ mg}/100\text{g}$ به $61/23 \text{ mg}/100\text{g}$ ، $59/10 \text{ mg}/100\text{g}$ و $60/78 \text{ mg}/100\text{g}$ به ترتیب هنگام خشک‌شدن در خشک‌کن کابینتی هوای داغ در دماهای 50 ، 60 ، 70 و 80 °C افزایش یافت.

ارزیابی ویتامین ث

مقدار متوسط غلظت ویتامین ث اولیه گوجه‌فرنگی تازه برای کل گوجه‌فرنگی‌ها برابر با $27/81 \pm 2/5 \text{ mg}/100 \text{ g Fresh tomato}$ به دست آمد. درحالی‌که بعد از انجام فرآیند خشک‌کردن ورقه‌های گوجه‌فرنگی با دمای 50 °C و تولید پودر، مقدار محتوای ویتامین ث به مقدار $20.02 \pm 1.32 \text{ mg}/100 \text{ g Fresh tomato}$ کاهش پیدا کرد. این مقدار کاهش در ویتامین ث به علت قرار گرفتن گوجه‌فرنگی در معرض حرارت و اکسیژن (اکسیداسیون) در دمای 50 °C است. نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اختلاف معنی داری ($p < 0.01$) بین میزان ویتامین ث گوجه‌فرنگی تازه قبل از خشک‌شدن و پودر گوجه‌فرنگی بعد از خشک‌شدن وجود داشت (جدول ۲). درجه حرارت بالا و مدت زمان طولانی برای خشک‌شدن به صورت هوای گرم می‌تواند منفی باشد و کیفیت محصول نهایی را تحت تاثیر قرار دهد. از سوی دیگر معمولاً مشاهده می‌شود، اگر اسیدآسکوربیک به خوبی حفظ شود دیگر مواد مغذی نیز خوب حفظ می‌شود. از این رو اسیدآسکوربیک را می‌توان به عنوان یک شاخص برای کیفیت‌سنجی مواد غذایی استفاده کرد. همانطور که قبلاً ذکر شد، اسید آسکوربیک به راحتی می‌تواند بر اساس چندین متغیر تخریب شود. گزارش شده است که سینتیک تخریب به طور قابل توجهی با بسیاری از عوامل محیطی مانند pH، دما، نور و حضور آنزیم‌ها، اکسیژن و کاتالیزورهای فلزی تحت تاثیر قرار گرفته است (Santos & Silva, 2008). طبق گزارش (Toor & Savage, 2006) مقدار اسید اسکوربیک در گوجه فرنگی تازه 284 DM پس از خشک شدن به $223 \text{ mg}/100\text{g DM}$ کاهش یافت.

ارزیابی فنل کل

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اختلاف معنی داری ($p < 0.01$) بین میزان محتوای فنل کل گوجه‌فرنگی تازه قبل از خشک‌شدن و پودر تولید شده بعد از خشک‌شدن وجود داشت (جدول ۲). طبق گزارش (Toor & Savage, 2006) میانگین فنل کل در نمونه‌های نیمه خشک گوجه فرنگی برابر $300 \text{ mg GAE}/100\text{g DM}$ بود. درحالی‌که این مقدار به طور قابل ملاحظه‌ای پایین‌تر از گوجه‌فرنگی‌های تازه $404 \text{ mg GAE}/100\text{g DM}$ بود.

ارزیابی فعالیت آنتی‌اکسیدانی

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اختلاف معنی داری بین فعالیت آنتی‌اکسیدانی گوجه‌فرنگی تازه قبل از خشک‌شدن و پودر تولیدشده بعد از خشک‌شدن وجود نداشت (جدول ۲). طبق گزارش (Toor & Savage, 2006) فعالیت آنتی‌اکسیدانی گوجه‌فرنگی تازه نسبت به گوجه‌فرنگی‌های نیمه خشک 28 تا 38% کاهش یافت.

ارزیابی شاخص‌های رنگ L^* ، a^* و b^*

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اختلاف معنی داری ($p < 0.01$) بین شاخص‌های رنگ گوجه‌فرنگی تازه قبل از خشک‌شدن و پودر تولیدشده بعد از خشک‌شدن وجود داشت (جدول ۲). شکل ۴ پودر گوجه‌فرنگی تولیدشده را نشان می‌دهد. (Purkayastha *et al.*, 2013) نشان دادند که ورقه‌های خشک‌شده در 50 و 60 °C در خشک‌کن هوای گرم بالاترین مقدار پارامتر رنگ هانتر L^* و a^* را بین نمونه‌های خشک‌شده در چهار دمای مختلف 50 ، 60 ، 65 و 70 °C داشتند.



یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



Figure4- Tomato powder produced from the drying of tomato slices

شکل ۴- پودر گوجه فرنگی تولید شده از خشک کردن ورقه های گوجه فرنگی

جدول ۲- مقایسه خواص فیزیکی و شیمیایی گوجه فرنگی تازه و پودر گوجه فرنگی

Table 2- Comparison of the physical and chemical properties of fresh tomatoes and tomato powder

Quality parameters	Average		df	درصد کاهش یا افزایش	Th amount of T
	Fresh tomatoes	Tomato powder			
Lycopene (mg/kg tissue)	65.43±1.21	973.9±1.66	5	+۱۳۸۸/۴۶	18.78**
Ascorbic acid (mg/100 g)	27.81±2.5	20.02± 1.32	5	-۲۸/۱۱	14.58**
Total phenol (mgGAE/100 g DM)	0.06±0.02	0.19± 0.10	5	+۲۱۶/۶۷	11.53**
Antioxidant activity (%)	77.83±1.11	74.52±0.9	5	-۴/۲۵	1.27 ^{ns}
L*	49.81± 0.64	63.05± 0.25	5	+۳۲/۶۰	6.66**
a*	27.40± 2.41	34.79± 1.38	5	+۲۶/۹۷	4.74**
b*	28.31± 3.00	54.16± 2.67	5	+۹۱/۳۱	11.44**

** Significant at p<0.01

^{ns} not Significant

نتیجه گیری

در مجموع نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که پودر سازی گوجه فرنگی خشک شده در دمای ۵۰ °C باعث کاهش مقادیر ویتامین ث و فعالیت آنتی اکسیدانی بترتیب به مقدار ۲۸/۱۱٪ و ۴/۲۵٪ و همچنین باعث افزایش عناصر مغذی شامل لیکوپن، فنل کل و پارامترهای رنگی L*، a* و b* به ترتیب با مقادیر ۱۳۸۸/۴۶٪، ۲۱۶/۶۷٪، ۳۲/۶۰٪، ۲۶/۹۷٪ و ۹۱/۳۱٪ شد. نتایج این بررسی نشان داد که اختلاف معنی داری (p<0.01) بین میزان لیکوپن، ویتامین ث و فنل کل گوجه فرنگی تازه و پودر تولید شده از آن وجود داشت. همچنین نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اختلاف معنی داری بین فعالیت آنتی اکسیدانی گوجه فرنگی تازه قبل از خشک شدن و پودر تولید شده بعد از خشک شدن وجود نداشت.

مراجع

- Abano, E., Ma, H., & 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
- And, G. L., & Barrett, D. M. (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.
- Ghorbani, P., Sarikhani, H., Gholami, M., & Ahmadi, E. (2014). Effect of Alkaline Treatment on Color, Phenolic Composition and Antioxidant Property of Raisin. *Journal of Crop production and processing*, 4(12), 63-72.(Persian).
- FAOSTAT (2014). Global tomato production in 2012. Rome, FAO.
- Fish, W. W., Perkins-Veazie, P., & Collins, J. K. (2002). A quantitative assay for lycopene that utilizes reduced volumes of organic solvents. *Journal of food composition and analysis*, 15(3), 309-317.
- Goula, A. M., & Adamopoulos, K. G. (2005). Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II. The effect on powder properties. *Journal of Food Engineering*, 66(1), 35-42.
- Liu, F., Cao, X., Wang, H., & Liao, X. (2010). Changes of tomato powder qualities during storage. *Powder Technology*, 204(1), 159-166.



یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



انجمن مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران



Buali Sina University

- Hojjati, M., & Razavi, S. (2011). Review on lycopene characteristics and role of microorganisms on its production
- Marfil, P., Santos, E., Telis, V. 2008. Ascorbic acid degradation kinetics in tomatoes at different drying conditions. *LWT-Food Science and Technology*, 41(9), 1642-1647
- Martí, R., Leiva-Brondo, M., Lahoz, I., Campillo, C., Cebolla-Cornejo, J., & 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.
- Mokhtarian, M., Koushki, F., Bakhshabadi, H., Rashidzadeh, S.H. (2012). The effect of type of packaging on physical and chemical properties of tomato powder during storage. *Science and Technology Package*, 2(8). (Persian).
- Muzaffar, K., Dar, B., & Kumar, P. (2017). Assessment of nutritional, physicochemical, antioxidant, structural and rheological properties of spray dried tamarind pulp powder. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11(2), 746-757.
- Purkayastha, M. D., Nath, A., Deka, B. C., & Mahanta, C. L. (2013). Thin layer drying of tomato slices. *Journal of food science and technology*, 50(4), 642-653.
- Santos, P., & Silva, M. (2008). Retention of vitamin C in drying processes of fruits and vegetables—A review. *Drying Technology*, 26(12), 1421-1437.
- Sarabandi, K., & Peighambaroust, S. H. (2015). Effect of Some Production Parameters and Storage Time on the Flowability Characteristics of Spray-dried Malt Extract Powder. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*, 10(1), 51-60. (Persian).
- Toor, R. K., & Savage, G. P. (2006). Effect of semi-drying on the antioxidant components of tomatoes. *Food chemistry*, 94(1), 90-97
- Zhang, Z., Song, H., Peng, Z., Luo, Q., Ming, J., & Zhao, G. (2012). Characterization of stipe and cap powders of mushroom (*Lentinusedodes*) prepared by different grinding methods. *Journal of Food Engineering*, 109(3), 406-413.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران