مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران
سال پانزدهم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹، صفحات ۱۱۲-۱۰۱

تولید پودر موز سبز به روش خشک کردن فوم مت: تأثیر غلظت اوالبومین بر سینتیک خشک شدن و خواص فیزیکوشیمیایی محصول

رضا کمالی[۱]، سعید داداشی[۲]، جلال دهقان‌نیا[۳]، حسین غفاری[۴]

۱- دانش آموخته علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، ایران

۲- نویسنده مسئول: استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، ایران. پست الکترونیکی: Dadashis@tabrizu.ac.ir

۳- استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، ایران

۴- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۱/۵ تاریخ پذیرش: ۹۹/۲/۴

چکیده

سابقه و هدف: خشک‌کردن یکی از قدیمی‌ترین روش‌های نگهداری مواد غذایی بوده و یک فرآیند پیچیده شامل انتقال جرم و حرارت همزمان تحت شرایط ناپایا است، که می‌تواند باعث تغییرات قابل توجهی در ساختار و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی مواد غذایی شود. هدف از مطالعه حاضر بررسی تأثیر غلظت اوآلبومین در سه سطح ۱، ۲ و ۳ درصد بر سینتیک خشک شدن موز نارس و ویژگی‌های کمی و کیفی پودر تولید شده به روش خشک‌کردن کف‌پوشی بود.

مواد و روش‌ها: برای تهیه کف پوره موز نارس، متیل‌سلولز (۰/۵ درصد وزنی-وزنی) به عنوان پایدارکننده و پودر اوآلبومین به‌عنوان عامل کف‌ساز به کار گرفته شدند. در این پژوهش، تأثیر غلظت اوآلبومین در غلظت‌های ۱، ۲ و ۳ درصد وزنی-وزنی، در دمای ۷۰ درجه سلسیوس با ضخامت کف ۳ میلی‌متر بر روی سینتیک خشک‌کردن کف موز نارس و خواص فیزیکوشیمیایی پودر تولیدی از قبیل دانسیته توده‌ای، دمای انتقال شیشه‌ای، شاخص حلالیت در آب مورد بررسی قرار گرفت. برای آنالیز آماری از یک طرح کاملا تصادفی با ۳ تکرار استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال خطای ۵٪ انجام شد.

یافته‌ها: نتایج حاصل از این پژوهش نشان دادند که افزایش غلظت اوآلبومین سبب افزایش معنی‌دار ضریب انتشار مؤثر رطوبت شده و همچنین سبب کاهش دانسیته کف و افزایش میزان تخلخل، انبساط و پایداری کف گردید. دانسیته توده‌ای و شاخص جذب آب نیز با افزایش غلظت عامل کف‌ساز روند نزولی از خود نشان دادند. علاوه بر این، با افزایش غلظت اوآلبومین از ۱ به ۲ و از ۲ به ۳٪، شاخص کار و نسبت هوسنر به ترتیب افزایش و سپس کاهش پیدا کردند. پایین‌ترین دمای انتقال شیشه‌ای نیز در غلظت اوآلبومین ۲٪ بدست آمد.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج این پژوهش، بررسی خواص فیزیکوشیمیایی محصول نهایی نشان داد که پودرهای تولید شده در غلظت اوآلبومین ۱ درصد از بیشترین جریان‌پذیری برخوردار بودند. پودر پالپ موز نارس غنی از نشاسته مقاوم تولید شده به روش خشک‌کردن کف‌پوشی به عنوان یک محصول طبیعی غنی شده با پروتئین تخم‌مرغ و منبع فیبر عمدتاً در تولید محصولات فراسودمند می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

واژگان کلیدی: خشک کردن کف‌پوشی، موز نارس، سینتیک خشک شدن، دمای انتقال شیشه‌ای

• مقدمه

موز از جنس Musa، خانواده Musaceae یک میوه فرازگرا بوده و به طور گسترده در مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری تولید می‌شود. این میوه در حالت نارس حاوی مقادیر بالای نشاسته مقاوم به هضم، نشاسته در دسترس، فیبر رژیمی می‌باشد، از این رو مصرف این میوه مزایای تغذیه‌ای فراوانی داشته و می‌تواند به درمان و پیشگیری از ابتلا به بسیاری از بیماری‌ها از قبیل امراض قلبی عروقی، دیابت و... کمک شایانی کند. همچنین، این میوه یک محصول فساد پذیر و دارای عمر قفسه‌ای کوتاه بوده و بنابراین فرآوری و استفاده از آن در حالت نارس یکی از راه‌های کاهش ضایعات پس از برداشت این محصول می‌باشد (۲، ۱).

موز نارس غنی از نشاسته بوده و مقدار آن از ۷۰ تا ۸۰

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-02]

گرم بر ۱۰۰ گرم ماده خشک متغیر می‌باشد و بیشترین آن متعلق به نشاسته مقاوم نوع ۲ می‌باشد. نشاسته مقاوم به‌دلیل اثرات مثبت آن بر روده بزرگ و تضمین سلامت انسان مورد توجه قرار گرفته است (۱). برخی از اجزاء اصلی تشکیل‌دهنده آرد موز نارس نشاسته مقاوم، نشاسته در دسترس، فیبر رژیمی، ساکارز و قندهای احیاء کننده می‌باشد (۲). دلیل اصلی مفید بودن این نوع نشاسته این است که مانند فیبر محلول و قابل تخمیر عمل می‌نماید. نشاسته مقاوم به هضم بدون اینکه گوارش شود از معده و روده عبور می‌کند و در نهایت به روده بزرگ می‌رسد، و در آنجا توسط میکروفلورهای روده‌ای تخمیر و اسیدهای چرب کوتاه زنجیر بویژه استات، پروپیونات و بوتیرات تولید می‌کند، که این اسیدهای چرب اثر مثبتی بر افزایش سلامتی روده، افزایش جذب کلسیم و منیزیم، تکثیر سلول‌های اپی‌تلیال و غیره دارند؛ در بین اسیدهای چرب کوتاه زنجیر تولیدی، قابل توجه‌تر از همه، اسید چرب بوتیرات می‌باشد که بهترین سوخت برای سلول‌های مخاط روده (سلول‌های اپی‌تلیال) می‌باشد. کاهش سرعت هضم نشاسته و در نتیجه هیدرولیز کمتر آن در محصولات پختی که آرد موز نارس به آنها اضافه شده به کاهش قند خون کمک کرده و می‌تواند جایگزین تغذیه‌ای مناسب برای افراد دیابتی و چاق شود (۴، ۳).

خشک‌کردن یکی از روش‌های فرآوری سبزی‌ها و میوه‌ها می‌باشد و محصولات خشک شده به عنوان جایگزین غذاهای تازه دارای مزایایی از قبیل راحتی حمل و نقل، عمر انبارمانی طولانی و فضای کمتر برای انبار کردن می‌باشند (۵). به عبارت دیگر، فرآیند خشک‌کردن سبب کاهش فعالیت میکروبیولوژیکی در مواد غذایی می‌شود که در نتیجه آن، تغییرات فیزیکی و شیمیایی طی ذخیره سازی کاهش یافته و عمر انبارمانی افزایش می‌یابد (۶). نیاز بازار به محصولات خشک شده با کیفیت بهتر، نیاز به تکنولوژی‌های جدید خشک‌کردن را ایجاد کرده است (۷).

خشک‌کردن به روش کف‌پوشی اولین بار در سال ۱۹۵۹ توسط مورگان (۸) معرفی گردید. این روش نسبتاً آسان می‌باشد و می‌تواند با هزینه‌های پایین‌تر از خشک‌کردن پاششی و انجمادی انجام شود (۹). خشک‌کردن به روش کف‌پوشی، اخیراً توجه زیادی را به عنوان یک روش مؤثر به خود جلب کرده است؛ زیرا این روش، مشکلات عمده مرتبط با خشک‌کردن به روش‌های سنتی اعم از ویژگی‌های جذب آب پایین، ویژگی‌های نامطلوب حسی و زمان طولانی فرآیند را ندارد (۱۰). این روش برای نمونه‌های حساس به حرارت، چسبناک، و ویسکوز که نمی‌توانند با استفاده از روش‌های دیگر خشک شوند، مناسب می‌باشد (۱۱). فرآیند خشک کردن به روش کف‌پوشی نسبتاً ساده و ارزان بوده و نرخ خشک کردن در دمای پایین‌تر بالا می‌باشد (۱۳، ۱۲). در این روش، ماده مورد نظر در حضور عامل ایجاد کننده کف همزده می‌شود، که این کار باعث تلقیح هوا به داخل ماده شده و ساختار شبه جامد پایداری بدست می‌آید (۱۴، ۱۳).

عوامل کف‌ساز مواد فعال سطحی هستند که با کاهش کشش سطحی بین دو فاز مایع یا فاز مایع و جامد، تشکیل کف را تسهیل می‌کنند (۱۵، ۹). پروتئین‌ها یکی از عوامل ایجادکننده کف می‌باشند که برای تولید کف‌های با پایداری بالا به‌کار می‌روند (۱۶). ظرفیت ایجاد کف سفیده تخم‌مرغ در pH خنثی و اسیدی (به جز pH=1) قابل توجه می‌باشد. همچنین، میزان انبساط کف نیز در pH اسیدی حداکثر می‌باشد (۱۷). برخی مواقع پایداری کف‌هایی که فقط با سفیده تخم‌مرغ تهیه شده‌اند، کافی نیست؛ بنابراین، افزودن یک پایدارکننده (از قبیل صمغ گزانتان، صمغ عربی، متیل‌سلولز و کربوکسی‌متیل سلولز) برای ایجاد یک پایداری مطلوب ضروری می‌باشد (۱۸، ۱۳، ۹). همچنین، به منظور کارآمد بودن فرآیند خشک‌کردن به روش کف‌پوشی، استفاده از عواملی که ثبات کف را افزایش می‌دهند مهم می‌باشد، زیرا کف‌ها باید از لحاظ مکانیکی و ترمودینامیکی به منظور حفظ کارایی حذف آب و کیفیت محصول پایدار باقی بمانند (۱۹). پلی‌ساکاریدها عمدتاً به عنوان تثبیت کننده با ایجاد اثر قوام دهندگی در سطح مشترک فاز آبی، پایداری کف را افزایش می‌دهند (۲۰).

تولید پودر پوره طالبی با استفاده از روش خشک‌کردن کف‌پوشی و تأثیرات شرایط خشک‌کردن بر روی ریزساختار کف خشک شده و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی پودر توسط صلاحی و همکاران (۱۲) بررسی شد. بر اساس نتایج بدست آمده، با افزایش دمای خشک کردن از ۴۰ تا ۷۰ درجه سلسیوس مقدار رطوبت، فعالیت آبی، زمان حل شدن کاهش یافت و قابلیت جذب آب، دمای گذار شیشه‌ای، دمای چسبندگی افزایش یافتند. در مطالعه‌ای دیگر، ویژگی‌های فیزیکی و ریزساختار پودر انبه خشک شده به روش کف‌پوشی با استفاده از عوامل کف‌ساز مختلف در یک خشک‌کن بستر ثابت با دمای هوای ۸۰ درجه سلسیوس توسط چوکس‌گوتیرز و همکاران (۲۱) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده از مطالعه چوکس-گوتیرز و همکاران نشان داد که پودر انبه تولید شده با ترکیب اوآلبومین به عنوان عامل کف‌ساز دارای

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-02]

دمای گذار شیشه‌ای ۴/۲- درجه سلسیوس بود و منحنی‌های هم‌دمای جذب رطوبت پودر تولید شده با ترکیب اوآلبومین محتوای رطوبت تعادلی بالاتر را نسبت به پودرهای دیگر نشان داد.

تولید پودر با هزینه پایین و کیفیت مطلوب از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. بر اساس اطلاعات بررسی شده تاکنون مطالعه‌ای در زمینه تولید پودر پوره موز نارس به روش خشک کردن کف‌پوشی و تأثیر شرایط و پارامترهای فرآیند بر سینتیک خشک کردن و خواص کیفی محصول نهایی صورت نگرفته است. لذا هدف از این تحقیق ارزیابی تأثیر غلظت اوآلبومین بر سینتیک خشک کردن کف پوره موز نارس و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی محصول نهایی نظیر دانسیته توده‌ای و ضربه‌ای، شاخص حلالیت در آب و جریان‌پذیری پودر تولید شده می‌باشد. علاوه بر این، تأثیر غلظت عامل کف‌ساز بر خواص فیزیکی کف تولید شده (نظیر پایداری و دانسیته کف) نیز مورد بررسی قرار گرفت.

• مواد و روش‌ها

تهیه و آماده‌سازی نمونه‌ها: موز سبز از گونه Cavendish از بازار محلی در تبریز تهیه شده و برای جلوگیری از تغییرات ناخواسته در میوه، میوه‌ها بعد از خریداری سریعاً به آزمایشگاه منتقل شد. بعد از پوست‌کنی، میوه‌ها به برش‌های با ضخامت ۱ سانتی‌متر برش داده شده و سپس به نسبت ۱:۵ به آب مقطر درون بشر اضافه شده و در بن‌ماری با دمای ۶۰ درجه سلسیوس به مدت ۱۰ دقیقه عمل آنزیم‌بری صورت گرفت. برای تهیه پوره از مخلوط‌کن الکتریکی (Braun، ساخت Spain، MR 5550 M BC-HC) با سرعت بیشینه به مدت ۳ دقیقه استفاده شد. بعد از تهیه پوره یکنواخت، نمونه‌ها در بسته‌هایی از جنس پلی‌اتیلن متالیزه بسته‌بندی و در فریزر با دمای ۱۸- درجه سلسیوس نگهداری شدند (۲۲). بعد از انجماد زدایی پوره موز نارس منجمد، متیل‌سلولز (شرکت سیگما آلدریچ) با غلظت ۰/۵ درصد و پودر اوآلبومین (شرکت سیگما آلدریچ) در غلظت های ۱، ۲ و ۳ درصد وزنی/ وزنی برای تهیه کف به کار گرفته شدند. مخلوط بدست آمده توسط همزن الکتریکی (Moulinex، مدل HM-615) با حداکثر سرعت به مدت ۱۰ دقیقه تا رسیدن به کف پایدار همزده شد و کف حاصله در ضخامت ۳ میلی‌متر در پلیت‌های آلومینیومی گسترده شد (۱۳).

فرآیند خشک کردن: در این پژوهش، از یک خشک‌کن هوای داغ همرفتی با طول ۲۳۷ سانتی‌متر، عرض و ارتفاع ۳۴/۵ سانتی‌متر، دارای ۶ عدد هیتر ۵ کیلو وات، مجهز به سنسورهای ترموکوپل و رطوبت‌سنج در قسمت ورودی و خروجی با قابلیت تنظیم سرعت و دمای هوا استفاده شد. فرآیند خشک‌کردن در دمای ۷۰ درجه سلسیوس و سرعت هوای ۱ متر بر ثانیه انجام شد. محتوای رطوبت نمونه‌ها در فواصل زمانی ۱۰ دقیقه اندازه‌گیری شد و بعد از رسیدن به محتوای رطوبت ۰/۰۴ گرم آب بر گرم ماده خشک، فرآیند خشک‌کردن متوقف گردید (۲۲، ۱۰). نمونه‌های خشک شده ابتدا با استفاده از کاردک مخصوص از سطح پلیت‌ها جدا شده و بعد از پودر نمودن با استفاده از هاون چینی در کیسه‌های از جنس پلی‌اتیلن بسته‌بندی شده و برای انجام آنالیزهای بعدی در یخچال نگهداری شد (۱۲).

دانسیته کف: دانسیته کف با اندازه‌گیری نسبت وزن به حجم بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب محاسبه شد (۲۴، ۲۳).

تخلخل کف: تخلخل کف با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد. که در آن، ρ_f دانسیته کف (گرم بر سانتی‌متر مکعب) و ρ_l دانسیته پوره موز نارس (گرم بر سانتی‌متر مکعب) می‌باشد. (۲۴، ۲۳).

$$\varphi = 1 - \frac{\rho_f}{\rho_l} \qquad (۱)$$

میزان انبساط کف: این پارامتر با استفاده از معادله زیر قابل محاسبه می‌باشد که در آن، ρ_f دانسیته کف (گرم بر سانتی‌متر مکعب) و ρ_l دانسیته پوره موز نارس (گرم بر سانتی‌متر مکعب) می‌باشد (۲۴، ۲۳):

$$Overrun = \frac{\left(\frac{1}{\rho_f} - \frac{1}{\rho_l}\right)}{\frac{1}{\rho_l}} \times 100 \qquad (۲)$$

پایداری فیزیکی کف: حجم آب چکیده شده، با انتقال ۵۰ میلی‌لیتر کف به فیلتر بوخنر با قطر ۹۰ میلی‌متر (که با کاغذ صافی پوشش داده شده) و قرار دادن قیف در استوانه مدرج به مدت ۱۲۰ دقیقه در دمای محیط اندازه‌گیری شد. در نهایت، شاخص پایداری با استفاده از معادله (۳) محاسبه شد. در این معادله، v_{foam} بیانگر حجم نهایی کف به صورت تفاوت بین حجم اولیه کف و مایع چکیده شده (میلی‌لیتر) و $v_{0\ foam}$ حجم اولیه کف (میلی‌لیتر) می‌باشد (۲۴).

$$Stability = \frac{v_{foam}}{v_{0\,foam}} \times 100 \qquad (۳)$$

نسبت رطوبت: نسبت رطوبت با استفاده از معادله (۴) محاسبه شد. که در آن، M محتوای رطوبت بر مبنای خشک در زمان t (گرم آب بر گرم ماده خشک)، M_0 محتوای رطوبت اولیه بر مبنای خشک و M_e محتوای رطوبت تعادلی بر مبنای

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-02]

خشک می‌باشد که به علت ناچیز بودن مقدار آن در برابر M_0 و M، قابل صرف‌نظر کردن می‌باشد (۲۵، ۲۴).

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} \qquad (۴)$$

نرخ خشک کردن: جهت محاسبه نرخ خشک‌کردن از رابطه (۵) استفاده شد. که در آن، $M_{t+\Delta t}$ محتوای رطوبت (گرم آب بر گرم ماده خشک) در زمان $t+\Delta t$، t زمان بر حسب دقیقه و Δt تفاوت زمانی بر حسب دقیقه می‌باشد (۲۵، ۲۴).

$$DR = \frac{M_{t+\Delta t} - M_t}{\Delta t} \qquad (۵)$$

محاسبه ضریب انتشار مؤثر رطوبت: با توجه به اینکه انتشار تنها مکانیزم انتقال رطوبت از مرکز به سطح کف طی خشک‌کردن در نظر گرفته می‌شود، میزان دفع رطوبت محصول بر اساس قانون دوم فیک، طبق رابطه (۶) که معادله کرنک نامیده می‌شود، محاسبه شد. که در آن، MR نسبت رطوبت، M_t مقدار رطوبت در لحظه t بر پایه خشک (گرم آب بر گرم ماده خشک)، M_0 و M_e به ترتیب رطوبت اولیه و رطوبت تعادلی نمونه بر پایه خشک (گرم آب بر گرم ماده خشک)، D_{eff} ضریب انتشار مؤثر رطوبت (متر مربع بر ثانیه) و L ضخامت لایه کف (متر) و t زمان فرآیند خشک‌کردن (ثانیه) می‌باشد (۲۵، ۲۴).

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} = \frac{8}{\pi^2}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{(2n+1)^2}\exp\left(\frac{-(2n+1)^2\pi^2 D_{eff}}{4L^2}\right)t \qquad (۶)$$

برای زمان‌های طولانی‌تر فرآیند خشک‌کردن، فقط اولین جمله این سری در نظر گرفته می‌شود و معادله (۶) به صورت زیر ساده می‌شود (۲۵، ۲۴).

$$MR = \frac{M_t}{M_0} = \frac{8}{\pi^2}\exp\left(-\frac{\pi^2 D_{eff}}{4L^2}t\right) \qquad (۷)$$

با لگاریتم‌گیری از طرفین معادله (۷) و محاسبه شیب خط لگاریتم طبیعی نسبت رطوبت در مقابل زمان فرآیند خشک‌کردن، مقدار ضریب انتشار مؤثر رطوبت به‌دست می‌آید (۲۴).

$$\ln(MR) = \ln\left(\frac{8}{\pi^2}\right) + \left(-\frac{\pi^2 D_{eff}}{4L^2}\right)t \qquad (۸)$$

$$Slope = \frac{\pi^2 D_{eff}}{4L^2} \qquad (۹)$$

$$D_{eff} = \frac{Slope \times 4L^2}{\pi^2} \qquad (۱۰)$$

دانسیته توده‌ای و ضربه‌ای پودرها: دانسیته توده‌ای با اندازه‌گیری حجم اشغال شده توسط ۲ گرم از پودر در استوانه مدرج ۱۰ میلی‌لیتری، بدون ضربه زدن به آن محاسبه شد. دانسیته ضربه‌ای نیز با ضربه زدن به استوانه حاوی پودر (۱۰ بار ضربه تا ارتفاع ۱۵ سانتی‌متری به یک حصیر پارچه‌ای تا رسیدن به حجم ثابت از پودر) انجام شده و حجم نهایی بدست آمد. دانسیته توده‌ای و ضربه‌ای از طریق معادله‌های زیر محاسبه شدند (۲۴، ۹).

$$Bulk\ Density(\rho_B) = \frac{Mass\ of\ powder\ (g)}{Volume\ of\ powder\ (cm^3)} \qquad (۱۱)$$

$$Tap\ Density(\rho_T) = \frac{Mass\ of\ powder\ (g)}{Final\ tapped\ volume\ (cm^3)} \qquad (۱۲)$$

قابلیت جریان یافتن پودرها: قابلیت جریان یافتن با استفاده از دو پارامتر شاخص کار و نسبت هوسنر بیان می‌شود. جدول ۱ طبقه‌بندی جریان‌پذیری پودرها براساس محدوده شاخص کار و نسبت هوسنر را نشان می‌دهد (۲۶، ۹).

جدول ۱. طبقه‌بندی قابلیت جریان یافتن پودرها بر اساس شاخص کار و نسبت هوسنر (۹)

قابلیت جریان یافتن	شاخص کار (٪)	نسبت هوسنر
عالی	۱۰-۰	۱ - ۱/۱۱
خوب	۱۵-۱۱	۱/۱۲ – ۱/۱۸
نسبتاً خوب	۲۰-۱۶	۱/۱۹ – ۱/۲۵
قابل قبول	۲۵-۲۱	۱/۲۶ – ۱/۳۴
ضعیف	۳۱-۲۶	۱/۳۵ – ۱/۴۵
بسیار ضعیف	۳۷-۳۲	۱/۴۶ – ۱/۵۹
بیش از حد ضعیف	>۳۸	>۱/۶۰

جریان‌پذیری پودر با استفاده از شاخص کار و نسبت هوسنر به صورت زیر محاسبه شد. در معادلات (۱۳) و (۱۴)، ρ_B دانسیته توده‌ای (گرم بر سانتی‌متر مکعب) و ρ_T دانسیته ضربه‌ای (گرم بر سانتی‌متر مکعب) می‌باشند (۲۴، ۹):

$$Carr\ index\ (CI) = \frac{\rho_T - \rho_B}{\rho_T} \times 100 \qquad (۱۳)$$

$$Hausner\ ratio\ (HR) = \frac{\rho_T}{\rho_B} \qquad (۱۴)$$

شاخص حلالیت در آب و شاخص جذب آب: از روش توصیف شده توسط دهقان‌نیا و همکاران (۲۴) برای اندازه‌گیری شاخص حلالیت در آب و جذب آب استفاده شد. شاخص حلالیت در آب (٪) به صورت نسبت وزن مواد جامد موجود در سوپرناتانت خشک شده بعد از سانتریفوژ به وزن خشک نمونه اولیه محاسبه شد. بعلاوه، شاخص جذب آب (ظرفیت نگهداری آب) به صورت نسبت وزن ماده جامد مرطوب باقی مانده بعد از سانتریفوژ به وزن خشک نمونه اولیه محاسبه شد (۲۴، ۹).

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-02]

$$WSI = \frac{Wheight\ of\ dry\ solids\ after\ centrifugation}{Wheight\ of\ initial\ dry\ sample} \times 100 \quad (۱۹)$$

$$WAI = \frac{Wheight\ of\ wet\ solid\ remaining\ after\ centrifugation}{Wheight\ of\ initial\ dry\ sample} \quad (۲۰)$$

محتوای رطوبت پودر بر مبنای خشک: محتوای رطوبت پودرها با روش آون گذاری و با استفاده از رابطه (۲۱) محاسبه شد. که در آن، MC محتوای رطوبت بر مبنای خشک، W_m جرم آب نمونه (گرم) و W_d جرم ماده خشک نمونه (گرم) می‌باشد (۲۴، ۱۰).

$$MC(db) = \frac{W_m}{W_d} \times 100 \quad (۲۱)$$

ارزیابی ویژگی‌های حرارتی به روش گرماسنجی روبشی تفاضلی (DSC): دستگاه گرماسنج روبشی افتراقی (DSC، مدل 400/CI، شرکت Sanaf، ساخت ایران)، برای اندازه‌گیری دمای انتقال شیشه‌ای (T_g) پودر موز نارس مورد استفاده قرار گرفت. برای انجام آزمون حدود ۱۲ میلی‌گرم از پودر به پن آلومینیومی مخصوص نمونه منتقل شد. از پن خالی نیز به عنوان مرجع استفاده شد. تمامی اندازه‌گیری‌ها در نرخ حرارت‌دهی نمونه ۱۰ درجه سلسیوس بر دقیقه از دمای محیط تا دمای ۱۵۰ درجه سلسیوس انجام شد (۱۲).

آنالیز آماری: برای آنالیز آماری از یک طرح کاملا تصادفی با ۳ تکرار استفاده شد. تأثیر غلظت اوآلبومین در سه سطح ۱، ۲ و ۳٪ بر روی ویژگی‌های کمی و کیفی شامل میزان محتوای رطوبت، نسبت رطوبت، نرخ خشک کردن، ضریب انتشار مؤثر رطوبت، پایداری کف، دانسیته کف، انبساط کف، تخلخل کف، دانسیته توده‌ای و ضربه‌ای، جریان‌پذیری پودر، شاخص حلالیت در آب و جذب آب، دمای انتقال شیشه‌ای بررسی شد. مقایسه میانگین ها بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام شد. تجزیه و تحلیل‌های آماری با نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۲) صورت گرفت.

• یافته‌ها

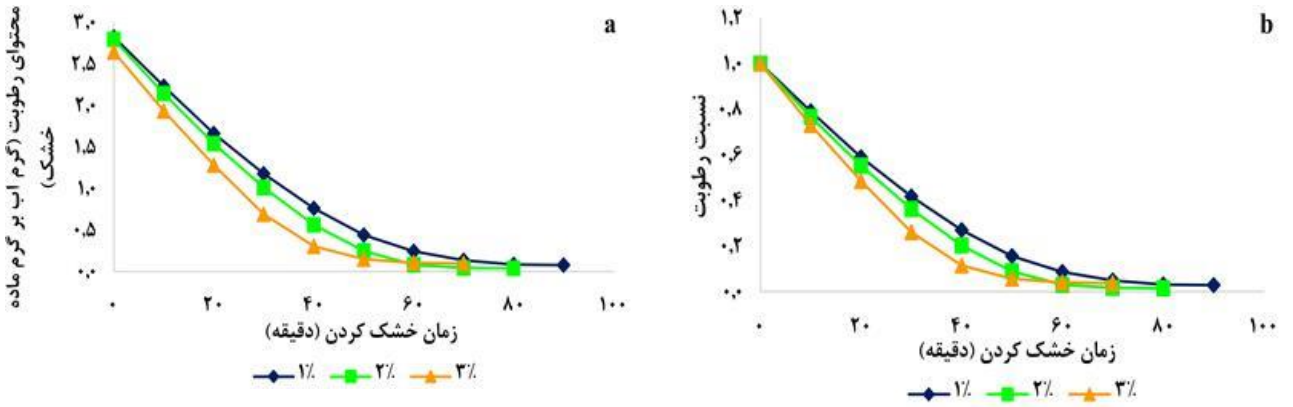
ویژگی‌های کیفی کف (دانسیته، انبساط، تخلخل و پایداری کف): نتایج بدست آمده از مطالعه تأثیر غلظت‌های مختلف اوآلبومین بر خواص کیفی کف از قبیل دانسیته، انبساط، تخلخل و پایداری کف در جدول ۲ آورده شده است. مطابق این جدول مشخص شد که با افزایش غلظت اوآلبومین از ۱ به ۳ ٪ به دلیل افزایش تعداد حباب‌ها در کف تولید شده و در نتیجه افزایش حجم آن، دانسیته کف یک روند نزولی معنی‌دار از خود نشان داد. همچنین، همانطور که در جدول ۲ نشان داده شده است، با افزایش غلظت عامل کف‌ساز از ۱ به ۳٪ میزان انبساط، تخلخل و پایداری کف یک روند افزایشی از خود نشان دادند. این تغییرات در انبساط، تخلخل و پایداری کف از نظر آماری در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود.

منحنی‌های خشک کردن: شکل ۱ منحنی‌های سینتیک خشک کردن و نسبت رطوبت نمونه‌ها در طی فرآیند خشک کردن در غلظت‌های مختلف اوآلبومین را نشان می‌دهد. مطابق این شکل محتوای رطوبت نمونه‌های کف پوره موز نارس در طی فرآیند خشک کردن به صورت نمایی و پیوسته کاهش پیدا می‌کند. بر اساس شکل a-۱ محتوای رطوبت اولیه کف در نمونه‌های با درصد اوآلبومین بیش‌تر، کم‌تر بود که علت این امر به محتوای رطوبت اولیه پایین‌تر پودر اوآلبومین نسبت داده می‌شود. همچنین، جدول ۳، مقادیر میانگین محتوای رطوبت و نسبت رطوبت در غلظت‌های مختلف اوآلبومین حین خشک کردن را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول، مقادیر میانگین محتوای رطوبت و نسبت رطوبت با افزایش غلظت اوآلبومین از ۱ به ۳٪ روند کاهشی از خود نشان دادند. با این حال، این تفاوت از نظر آماری نامحسوس بود.

جدول ۲. تأثیر غلظت اوآلبومین بر خواص کیفی کف

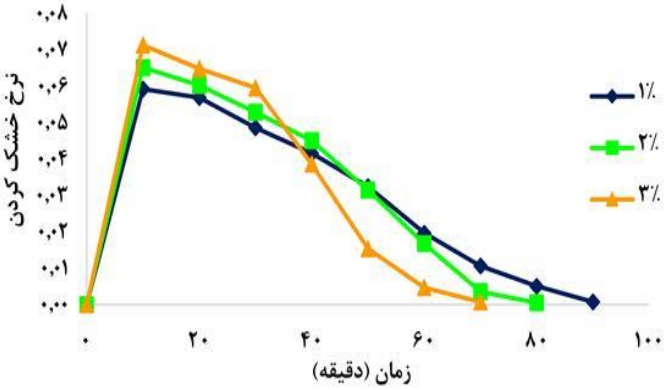
خواص کیفی کف	غلظت اوآلبومین (٪)		
	۱	۲	۳
دانسیته (g/cm^3)	۰/۴۲۶۵^{a} ± ۰/۰۰۲۱	۰/۳۳۴۸^{b} ± ۰/۰۰۹۸	۰/۲۹۷۷^{c} ± ۰/۰۰۳۶
انبساط کف (٪)	۱۶۱/۷۰۵۴^{a} ± ۱/۵۴۵۸	۲۳۳/۶۵۶۷^{b} ± ۹/۸۷۷۷	۲۷۴/۸۲۴۵^{c} ± ۴/۳۵۰۰
تخلخل کف	۰/۶۱۷۴^{a} ± ۰/۰۰۱۹	۰/۶۹۹۷^{b} ± ۰/۰۰۸۸	۰/۷۳۳۰^{c} ± ۰/۰۰۳۲
پایداری کف (٪)	۹۹/۴۸۸۸^{a} ± ۰/۱۱۶۶	۹۹/۶۸۸۸^{b} ± ۰/۰۷۸۱	۹۹/۸۴۴۴^{c} ± ۰/۰۵۲۷

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-02]



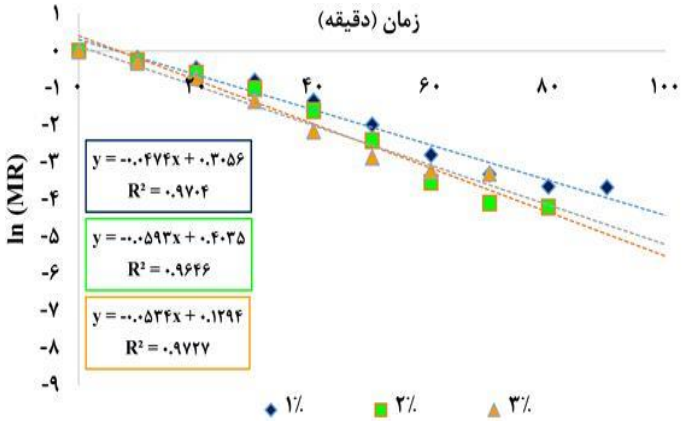
شکل ۱. تأثیر غلظت اوآلبومین بر منحنی‌های خشک کردن کف پوره موز نارس (محتوای رطوبت و نسبت رطوبت) در دمای ۷۰ درجه سلسیوس و ضخامت ۳ میلی‌متر

نرخ خشک شدن: با توجه به نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، نرخ خشک شدن کف پوره موز نارس در اوایل مرحله خشک کردن افزایش و سپس با ورود به دوره نزولی خشک‌کردن این مقدار کاهش پیدا کرد (شکل ۲). علاوه بر این، در جدول ۳ مقادیر میانگین نرخ خشک‌شدن در غلظت‌های مختلف اوآلبومین آورده شده است که مطابق آن با افزایش غلظت عامل کف‌ساز از ۱ به ۳٪، مقادیر میانگین نرخ خشک‌شدن افزایش نامحسوسی از نظر آماری نشان داد.



شکل ۲. تأثیر غلظت اوآلبومین بر نرخ خشک کردن در دمای ۷۰ درجه سلسیوس و ضخامت ۳ میلی‌متر

ضریب انتشار مؤثر رطوبت: مطابق شکل ۳، تفاوت معنی‌داری در روند کاهشی لگاریتم طبیعی نسبت رطوبت در مقابل زمان فرآیند خشک کردن در غلظت‌های ۲ و ۳ درصد اوآلبومین وجود ندارد و شیب خط در غلظت‌های ذکر شده تقریباً یکسان می‌باشد. نتایج بدست آمده از جدول ۳ نشان می‌دهد که این ضریب با افزایش غلظت اوآلبومین از ۱ به ۲٪ افزایش و از ۲ به ۳٪ کاهش پیدا کرد. این تغییرات از ۱ به ۲٪ از نظر آماری معنی‌دار و محسوس بودند.



شکل ۳. تأثیر غلظت اوآلبومین بر ضریب انتشار مؤثر رطوبت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس و ضخامت ۳ میلی‌متر

دانسیته توده‌ای و ضربه‌ای پودرها: در این پژوهش، با افزایش غلظت اوآلبومین از ۱ به ۳٪ دانسیته توده‌ای به میزان ۲/۶۵ درصد و ضربه‌ای به میزان ۱/۵۲ درصد کاهش پیدا کردند (جدول ۴). اما آنالیز آماری داده‌ها نشان داد که تأثیر هر ۳ غلظت عامل کف‌ساز مورد بررسی از نظر آماری بر دانسیته توده‌ای و ضربه‌ای پودر تولید شده معنی‌دار نبود ($p>۰/۰۵$).

جریان‌پذیری پودرها: در پژوهش حاضر، با افزایش غلظت اوآلبومین از ۱ به ۲٪ و ۱ به ۳٪، شاخص کار و نسبت هوسنر روند افزایشی از خود نشان دادند؛ این بدین معنی است که افزایش غلظت عامل کف‌ساز تأثیر منفی روی قابلیت جریان یافتن پودر پوره موز نارس داشت. اما در حالت کلی با توجه به نتایج حاصل از این مطالعه، مقادیر بدست آمده برای شاخص کار و نسبت هوسنر در غلظت‌های مختلف اوآلبومین (۱، ۲ و ۳٪) در جدول ۱ در محدود و دامنه خوب قرار داشتند.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-02]

جدول ۳. مقایسه مقادیر میانگین پارامترهای مختلف بدست آمده برای کف موز نارس حین خشک کردن در غلظت‌های مختلف اوآلبومین

غلظت اوآلبومین (٪)	محتوای رطوبت	نسبت رطوبت	نرخ خشک کردن	ضریب انتشار مؤثر رطوبت ($\times 10^{-9}$)
۱	۰/۹۶۵۵^{a} ± ۰/۰۰۵۸	۰/۳۴۱۶^{a} ± ۰/۰۰۲۰	۰/۰۲۷۴^{a} ± ۰/۰۰۱۸	۲/۸۸۴^{a} ±۰/۳۰۹۸
۲	۰/۹۴۲۵^{a} ± ۰/۰۴۱۴	۰/۳۳۶۹^{a} ± ۰/۰۱۴۸	۰/۰۳۰۶^{a} ± ۰/۰۰۲۲	۳/۶۰۸^{b} ±۰/۵۳۵۹
۳	۰/۹۰۲۱^{a} ± ۰/۰۲۵۰	۰/۳۳۰۷^{a} ± ۰/۰۰۹۴	۰/۰۳۱۸^{a} ± ۰/۰۰۲۶	۳/۲۴۹^{b} ±۰/۳۴۲۹

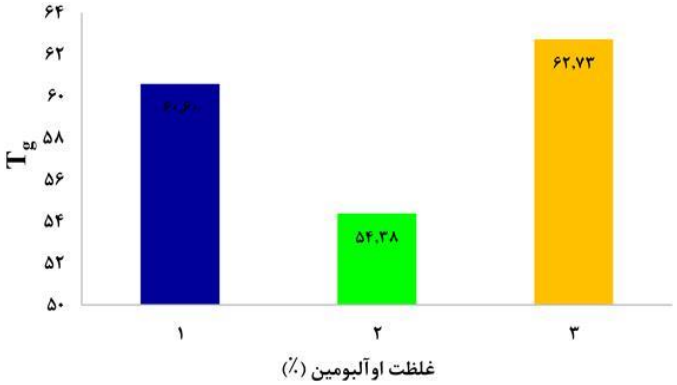
جدول ۴. تأثیر غلظت اوآلبومین بر ویژگی‌های کیفی پودر موز نارس

خواص کیفی پودر	غلظت اوآلبومین (٪)		
	۱	۲	۳
دانسیته توده‌ای (g/cm^3)	۰/۵۴۶۵^{a} ± ۰/۰۰۸۲	۰/۵۴۵^{a} ± ۰/۰۰۷۷	۰/۵۳۲^{a} ± ۰/۰۱۱۱
دانسیته ضربه‌ای (g/cm^3)	۰/۶۲۴۳^{a} ± ۰/۰۰۴۹	۰/۶۴۰۳^{b} ± ۰/۰۰۵۱	۰/۶۱۴۸^{a} ± ۰/۰۱۰۷
شاخص کار (٪)	۱۲/۴۶۷۹^{a} ± ۰/۹۶۹۹	۱۴/۸۸۵۱^{b} ± ۱/۳۲۱۰	۱۳/۴۸۰۱^{a} ± ۰/۴۳۸۲
نسبت هوسنر	۱/۱۴۲۴^{a} ± ۰/۰۱۲۵	۱/۱۷۵۰^{b} ± ۰/۰۱۸۲	۱/۱۵۵۷^{a} ± ۰/۰۰۵۸
شاخص حلالیت در آب	۱۰/۱۵۰۰^{a} ± ۰/۳۵۰۰	۱۲/۳۳۳۳^{b} ± ۰/۴۰۷۲	۱۳/۸۶۶۷^{c} ± ۰/۲۷۵۴
شاخص جذب آب	۲/۵۰۹۵^{a} ± ۰/۰۴۸۵	۲/۴۸۸۶^{a} ± ۰/۰۲۸۵	۲/۴۲۷۸^{a} ± ۰/۰۶۵۰
محتوای رطوبت (٪)	۶/۲۵۲۳^{a} ± ۰/۲۹۹۳	۵/۸۲۸۰^{b} ± ۰/۱۲۴۷	۵/۴۹۷۰^{b} ± ۰/۱۶۶۲

شاخص حلالیت در آب و شاخص جذب آب: در حالت کلی، تغییرات شاخص حلالیت در آب و شاخص جذب آب به‌ترتیب در بازه ۱۰/۱۵۰ تا ۱۳/۸۶۶ و ۲/۴۲۷ تا ۲/۵۰۹ می‌باشد. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، با افزایش غلظت اوآلبومین شاخص حلالیت در آب افزایش یافت و این تفاوت از نظر آماری در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود ($p<0/05$)، که این را می‌توان به کاهش زمان فرآیند با افزایش غلظت عامل کف‌ساز و در نتیجه کاهش دناتوراسیون پروتئین‌ها در محصول حین فرآیند نسبت داد، زیرا با کاهش زمان فرآیند محصول مدت زمان کمتری را تحت تأثیر شرایط فرآیند قرار می‌گیرد و این امر از ایجاد تغییرات نامطلوب در ترکیب محصول جلوگیری می‌کند. از سوی دیگر، با افزایش غلظت اوآلبومین مقادیر شاخص جذب آب کاهش پیدا کرد، اما این تغییرات در شاخص جذب آب در غلظت‌های مختلف اوآلبومین نامحسوس بود.

محتوای رطوبت پودر بر مبنای ماده خشک: همان طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود محتوای رطوبت پودر تولید شده با افزایش غلظت اوآلبومین از ۱ به ۳٪ به میزان ۱۲/۰۸٪ کاهش پیدا کرد و این روند از نظر آماری محسوس و معنی‌دار بود که این را می‌توان به محتوای رطوبت پایین‌تر پودر اوآلبومین و کاهش خاصیت جاذبه الرطوبه بودن پودر تولید شده در غلظت‌های بالاتر اوآلبومین نسبت داد.

دمای انتقال شیشه‌ای (T_g): به منظور بررسی دمای گذار شیشه‌ای پودرهای تولید شده در غلظت‌های مختلف عامل کف‌ساز، روش گرماسنجی روبشی تفاضلی (DSC) مورد استفاده قرار گرفت. مطابق شکل ۴، دمای انتقال شیشه‌ای پودر پوره موز نارس تولید شده در غلظت‌های مختلف اوآلبومین، با افزایش غلظت اوآلبومین از ۱ به ۲٪ کاهش و از ۲ به ۳٪ روند افزایشی از خود نشان داد.



شکل ۴. دمای انتقال شیشه‌ای (T_g) پودر پوره موز نارس بدست آمده در غلظت‌های مختلف اوآلبومین

• بحث

خواص کیفی کف (دانسیته، انبساط، تخلخل و پایداری کف): دانسیته کف به دلیل تأثیر آن روی کارایی و پایداری خشک‌کردن از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد (۱۵). دانسیته پایین کف، نشان‌دهنده هوای محبوس شده بیشتر در ساختار کف می‌باشد. معمولاً، دانسیته کف برای ارزیابی ویژگی‌های هم‌زنی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۳). در تطابق با نتایج حاصل از این پژوهش، ویدیاستوتی و همکاران (۲۷) و عباسی و عزیزپور (۱۳) نیز گزارش نمودند که افزایش غلظت اوآلبومین به دلیل افزایش تعداد حباب‌ها در کف، و بدنبال آن افزایش حجم، سبب کاهش دانسیته کف می‌گردد.

یکی از شاخص‌های اصلی مورد مطالعه جهت ارزیابی کارایی

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-02]

روش تهیه کف، میزان انبساط کف می‌باشد، که بر پایه حجم ایجاد شده کف تحت شرایط ثابت تعریف می‌شود. میزان انبساط کف با جزء حجمی هوا در داخل کف (تخلخل کف) ارتباط مستقیم دارد (۱۵). در تطابق با نتایج حاصل از این پژوهش، ویدیاستوتی و همکاران (۲۷)، دهقان‌نیا و همکاران (۲۴) نیز گزارش نمودند که افزایش غلظت اوآلبومین باعث افزایش در میزان انبساط کف شد.

یکی‌دیگر از ویژگی‌های فیزیکی کف‌ها، تخلخل یا جزء حجمی هوا می‌باشد و بیانگر مقدار گازی است که در داخل آن‌ها محبوس شده است، و به عنوان یکی از پارامترهای کیفی کف شناخته می‌شود (۱۵). هرچقدر جزء حجمی هوا بیش‌تر باشد، اندازه حباب‌های هوا ریزتر بوده و نسبت سطح به حجم افزایش یافته و سطح بیشتری در معرض هوا قرار می‌گیرد (۲۸). در این پژوهش همانطور که گزارش شد با افزایش غلظت عامل کف‌ساز حباب‌های هوای بیشتری در داخل کف به دام افتاده و در نتیجه تخلخل روند افزایشی از خود نشان داد. کف‌های با تخلخل بالاتر، پایدارتر بوده و در این موارد آب‌اندازی به تأخیر افتاده و پایداری فیزیکی کف افزایش می‌یابد.

پایداری کف به توانایی آن در نگه داشتن هوا برای مدت زمان مشخصی اطلاق می‌شود. برای تعیین پایداری کف از فاکتورهای متعددی نظیر، اندازه‌گیری حجم آب‌اندازی، تغییرات در دانسیته، تغییرات اندازه حباب‌ها می‌توان استفاده کرد. پایداری نهایی کف با کاهش حجم آب‌اندازی، افزایش پیدا می‌کند (۲۹). برخلاف سادگی روش خشک‌کردن به روش کف‌پوشی، ناپایداری کف‌های تهیه شده یک مشکل مهم قبل از خشک‌کردن آن‌ها می‌باشد. با ناپایداری بیشتر و آب‌اندازی بالا، زمان خشک کردن افزایش یافته و کیفیت محصول نهایی کاهش پیدا می‌کند. در این رابطه کف‌هایی که حداقل به مدت ۱ ساعت دچار از هم گسیختگی ساختار نشوند، از نظر حرارتی و مکانیکی در کل دوره خشک کردن پایدار به حساب می‌آیند (۱۹، ۱۸، ۱۰). در تطابق با نتایج حاصل از این پژوهش، دهقان‌نیا و همکاران (۲۴) نیز گزارش کردند که با افزایش غلظت عامل ایجاد کننده کف، پایداری کف افزایش پیدا می‌کند.

منحنی‌های خشک کردن: در طی فرآیند خشک کردن به روش کف‌پوشی پوره موز نارس روند خروج رطوبت مطابق شکل ۱ می‌باشد. در تطابق با نتایج این پژوهش، دهقان‌نیا و همکاران (۲۴) و کادام و بالاسوبرمانیان (۳۰) نیز گزارش کردند که در غلظت‌های بالاتر اوآلبومین (عامل کف‌ساز) روند کاهشی در محتوای رطوبت مشاهده شد، که علت این را می‌توان به محتوای رطوبت پایین‌تر پودر اوآلبومین نسبت داد.

نرخ خشک شدن: نرخ خشک شدن، با کاهش محتوای رطوبت (برپایه خشک) کاهش پیدا می‌کند. همچنین، رطوبت نسبی بالا می‌تواند اختلاف مقدار رطوبت بین نمونه و هوای خشک‌کن را کاهش دهد، که در نتیجه آن نرخ خشک کردن کاهش پیدا می‌کند (۲۵). به طورکلی، نرخ خشک‌کردن مواد به صورت کف بیش‌تر از مواد به صورت غیرکف می‌باشد. همان‌طور که گفته شد، با افزایش غلظت عامل کف‌ساز تخلخل کف بیش‌تر و اندازه حباب‌های هوا ریزتر شده و در نتیجه نسبت سطح به حجم افزایش یافته و سطح بیشتری در معرض هوا قرار گرفته و نرخ خشک کردن افزایش پیدا می‌کند (۲۴). نرخ خشک‌کردن در ابتدای فرآیند بالاست و با شروع دوره نزولی خشک کردن و کاهش محتوای رطوبت، اثر سرمایش تبخیری نیز ناچیز شده و نرخ خشک کردن کاهش یافته و دمای محصول بالاتر می‌رود و از دمای حباب مرطوب به دمای حباب خشک می‌رسد و روند خشک‌کردن کامل در دوره نرخ نزولی خشک‌کردن اتفاق می‌افتد (۲۵).

ضریب انتشار مؤثر رطوبت: اندازه‌گیری ضریب انتشار مؤثر رطوبت به عنوان یک ویژگی انتقال مهم در ارزیابی و بهینه‌سازی فرآیندهایی که در آن‌ها انتشار داخلی رطوبت وجود دارد، ضروری می‌باشد (۳۱). در این پژوهش افزایش غلظت اوآلبومین از ۱ به ۳ درصد تأثیر فزاینده بر ضریب انتشار مؤثر رطوبت داشته که علت این امر را می‌توان به افزایش نسبت سطح به حجم در غلظت های بالاتر اوآلبومین نسبت داد که منجر به تسریع در حذف رطوبت از نمونه‌ها حین فرآیند می‌شود. این ضریب تأثیر مهمی بر روی سینتیک خشک‌کردن دارد و باید برای استفاده در معادلات محاسبه شود؛ زیرا این پارامتر فاکتور مهمی برای کنترل فرآیند خشک‌کردن بوده و مقادیر بالای این پارامتر نشان‌دهنده نرخ بالاتر خشک‌کردن می‌باشد. لازم به ذکر است که این پارامتر برای نمونه‌های به شکل کف بیشتر از نمونه‌های غیرکف می‌باشد؛ زیرا افزایش حباب‌های هوا، باعث افزایش نسبت سطح به حجم شده و در نتیجه سبب تسریع حذف رطوبت در این نمونه‌ها و افزایش ضریب انتشار مؤثر رطوبت می‌شود (۹). در پژوهش انجام شده توسط کادام و بالاسوبرامانیان بر روی خشک‌کردن به روش کف‌پوشی آب گوجه‌فرنگی (۳۰) گزارش شد که تأثیر آلبومین تخم‌مرغ به‌عنوان عامل کف‌ساز در غلظت‌های مختلف (۰، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد وزنی-وزنی) بر ضریب انتشار مؤثر رطوبت نامحسوس می‌باشد.

دانسیته توده‌ای و ضربه‌ای پودرها: دانسیته یکی از

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-02]

پارامترهای اساسی می‌باشد که بر خواص عملکردی پودرها اثر می‌گذارد (۹). در پژوهش حاضر با افزایش غلظت اوآلبومین از ۱ به ۳ درصد دانسیته توده‌ای روند نزولی از خود نشان داد، زیرا در غلظت‌های بالاتر اوآلبومین به‌دلیل تخلخل بالاتر کف و ورود هوای بیشتر به ساختار کف، هوای به دام افتاده در بین ذرات پودر بیشتر بوده که این سبب افزایش حجم توده‌ای پودر و در نتیجه کاهش دانسیته توده‌ای پودر تولیدی می‌شود. علاوه‌براین، دانسیته ضربه‌ای نیز با افزایش غلظت اوآلبومین از ۱ به ۳ و از ۲ به ۳ کاهش پیدا کرد. دانسیته توده‌ای و ضربه‌ای پودرها با محتوای رطوبت، ساختار و اندازه ذرات مرتبط می‌باشند. با افزایش میزان رطوبت پودر، تمایل آنها برای به هم چسبیدن افزایش یافته و فضای خالی بیشتری بین آنها وجود خواهد داشت که همین امر سبب افزایش حجم توده‌ای پودر خواهد شد (۱۴). پودرهایی با دانسیته توده‌ای بالاتر نسبت به محصولات با دانسیته پایین به‌دلیل فضای خالی کم‌تر بین ذرات پودر و تراکم بالاتر، قابلیت بسته‌بندی در بسته‌های کوچک‌تر و بدنبال آن کاهش هزینه انبار و حمل‌ونقل را بدنبال خواهند داشت (۳۲، ۲۶، ۹). دانسیته توده‌ای رایج برای محصولات خشک شده به روش کف‌پوشی ۰/۶-۰/۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد (۲۲).

جریان‌پذیری پودرها: رفتار جریانی پودر به صورت حرکت نسبی ذرات توده‌ای در میان ذرات مجاور یا در امتداد سطح دیواره‌ء ظرف بیان می‌شود. همچنین، جریان‌پذیری یک ویژگی مهم پودرها می‌باشد که توسط توزیع اندازه ذرات، زاویه ریپوز و محتوای رطوبت پودر کنترل می‌شود. با استفاده از دو پارامتر شاخص کار و نسبت هوسنر می‌توان جریان‌پذیری پودرها را بررسی کرد. شاخص کار برای نشان دادن تراکم‌پذیری پودر مورد استفاده قرار می‌گیرد و مقادیر بالاتر آن نشان‌دهنده جریان‌پذیری ضعیف و تراکم‌پذیری بالا می‌باشد. علاوه بر این، نسبت هوسنر برای طبقه‌بندی چسبندگی پودر بکار می‌رود که مقیاس خوبی از جریان‌پذیری پودر می‌باشد. هر چه قدر چسبندگی پودر کمتر باشد، جریان‌پذیری پودر بیشتر می‌شود (۲۴، ۱۰). در این پژوهش با افزایش غلظت اوآلبومین از ۱ به ۲ و ۱ به ۳٪ شاخص کار و نسبت هوسنر افزایش و در نتیجه جریان‌پذیری کاهش پیدا کرد. به عبارت دیگر پودر تولید شده در غلظت اوآلبومین ۱ درصد دارای بالاترین جریان‌پذیری بود. در تطابق با نتایج حاصل از این پژوهش، دهقان‌نیا و همکاران (۲۴) گزارش کردند که با افزایش غلظت اوآلبومین از ۲ به ۴٪ میزان شاخص کار و نسبت هوسنر افزایش یافت؛ با این حال، تغییرات ذکر شده در سطح احتمال ۵٪ از نظر آماری معنی‌دار نبودند.

شاخص حلالیت در آب و شاخص جذب آب: حلالیت، یکی از شاخص‌های مهم در ارزیابی توانایی پودر برای تولید یک مخلوط هموژن و پایدار در داخل آب می‌باشد. این پارامتر میزان مواد محلول آزاد شده از نمونه را اندازه‌گیری می‌کند (۳۲). در این پژوهش با افزایش غلظت عامل کف‌ساز حلالیت پودر تولیدی افزایش پیدا کرد. شاخص جذب آب نیز از نظر توانایی بازسازی پودر در یک محیط مایع دارای اهمیت زیادی می‌باشد. هم‌چنین، شاخص جذب آب به توانایی یک ماده خشک شده در میزان جذب آب مربوط می‌شود، که مستقیماً با ظرفیت هیدراسیون آن در ارتباط می‌باشد و در پژوهش حاضر با افزایش غلظت اوآلبومین این ویژگی از پودر تولیدی روند نزولی از خود نشان داد. به طورکلی، پودر ایده‌آل و مناسب پودری می‌باشد که سریعاً و به طور کامل خیس شود؛ به جای شناور شدن، غرق شود و بدون تشکیل کلوخه و توده حل یا پخش شود (۳۲، ۹). باز جذب آب شامل چند مرحله است که به صورت موازی رخ می‌دهد. جذب آب در پودر، انتقال آن از طریق شبکه متخلخل و توزیع مجدد آب در ماتریکس و نشت مواد جامد محلول به محیط آبی به ترتیب در هنگام بازجذب آب رخ می‌دهند. از این رو، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نظیر محتوای رطوبت، تخلخل، محتوای کل مواد جامد و بافت پودر بازجذب آب را تحت تأثیر قرار می‌دهند (۲۴). در تطابق با نتایج حاصل از این پژوهش ویلسون و همکاران (۳۳) گزارش کردند که افزایش غلظت اوآلبومین از ۳ تا ۷ درصد سبب کاهش شاخص جذب آب پودر پوره انبه خشک شده به روش کف‌پوشی شد. نوع عامل ایجاد کننده کف مهم‌ترین فاکتور در میزان انحلال پودر به شمار می‌رود (۳۲).

محتوای رطوبت پودر بر مبنای ماده خشک: محتوای رطوبت پودر از نظر انبارمانی محصول و فعالیت میکروبی و شیمیایی آن حائز اهمیت می‌باشد. کاهش در محتوای رطوبت به کمتر از یک سطح معین می‌تواند فساد میکروبی مواد غذایی خشک شده را پایین آورده و عمر انبارمانی محصول را افزایش دهد (۳۴). با نگهداری و انبار کردن طولانی مدت پودر، افزایش اندکی در محتوای رطوبت پودر مشاهده می‌شود که می‌تواند رشد باکتری‌ها در نمونه را تحت تأثیر قرار دهد (۳۳). نتایج بدست آمده از این پژوهش نشان داد که محتوای رطوبت پودر تولید شده با افزایش غلظت اوآلبومین کاهش پیدا کرد (جدول ۴)، که این را می‌توان به محتوای رطوبت پایین‌تر پودر اوآلبومین و کاهش خاصیت جاذبه الرطوبه بودن پودر تولید

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-02]

شده در غلظت‌های بالاتر اوآلبومین نسبت داد (۲۱). با کاهش محتوای رطوبت پودر، محصول نهایی خاصیت چسبندگی کمتری خواهد داشت که این امر سبب افزایش سطح در دسترس جهت بازجذب آب خواهد شد (۱۲). در تطابق با نتایج حاصل از این پژوهش ویدیاستوتی و همکاران (۲۷) نتایج مشابهی را در غلظت‌های ۱۰ و ۱۵٪ اوآلبومین گزارش کردند. در این پژوهش، محتوای رطوبت پودر با افزایش غلظت اوآلبومین از ۱۰ به ۱۵٪ روند کاهشی نامحسوسی را از خود نشان داد.

دمای انتقال شیشه‌ای (T_g): محققان مواد غذایی در طول سال‌های اخیر تمایل بیشتری به یافتن تکنیک‌هایی که می‌توانند تغییرات در کیفیت خواص تغذیه‌ای و ویژگی‌های ترموفیزیکی نظیر دمای انتقال شیشه‌ای محصولات غذایی در طی فرآوری و نگهداری را تخمین بزنند، نشان دادند. ویژگی‌های ترموفیزیکی مواد غذایی و نوشیدنی همانند گرمای ویژه، دمای انتقال شیشه‌ای و غیره برای برآورد زمان فرآیند در سرد کردن، منجمد کردن، حرارت دادن و خشک کردن مواد غذایی و نوشیدنی دارای اهمیت بسیار زیادی می‌باشند (۳۵). در پژوهش حاضر، دمای انتقال شیشه‌ای پودر پوره موز نارس تولید شده به روش کف‌پوشی در غلظت‌های مختلف عامل کف‌ساز، با افزایش غلظت اوآلبومین از ۱ به ۲٪ کاهش و از ۲ به ۳٪ روند افزایشی از خود نشان داد. پودرها نسبت به دماها و رطوبت محیط نگهداری بسیار حساس بوده و ساختار آنها می‌تواند از حالت شیشه‌ای به لاستیکی تغییر کند، که این باعث تغییراتی در دمای گذار شیشه‌ای می‌شود. هم‌چنین، محتوای رطوبت بالاتر باعث کاهش دمای انتقال شیشه‌ای و تولید پودر با چسبناکی بالا می‌شود (۳۶). نگهداری مواد غذایی خشک شده در بالاتر از دمای انتقال شیشه‌ای آنها به‌دلیل افزایش جنبش داخلی واکنش دهنده‌ها منجر به افزایش تغییرات و واکنش‌های شیمیایی مختلف در آنها شده و در نتیجه از پایداری و عمر انبارمانی کمتری برخوردار خواهند بود. از این رو، مطالعه و بررسی دمای انتقال شیشه‌ای در فرآوری و نگهداری مواد غذایی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد و با اندازه‌گیری دمای انتقال شیشه‌ای می‌توان شرایط مناسب برای نگهداری پودر تولید شده را مشخص کرد (۳۷). به طورکلی، دمای انتقال شیشه‌ای (T_g) و دمای چسبناکی (T_s) که اندازه‌گیری می‌شوند، تابعی از محتوای رطوبت نمونه می‌باشند (۱۲).

کاربردهای خوراکی و تکنولوژیکی پودر موز نارس: پودر پالپ موز نارس غنی از نشاسته مقاوم تولید شده به روش خشک‌کردن کف‌پوشی به عنوان یک محصول طبیعی غنی شده با پروتئین تخم‌مرغ و منبع فیبر عمدتاً در تولید پاستا، محصولات نانوایی از قبیل نان، کیک، غلات صبحانه فراسودمند و غیره می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

• References

1. Zhang P, Whistler RL, BeMiller JN, Hamaker BR. Banana starch: production, physicochemical properties, and digestibility—a review. Carbohydr. Polym. 2005 Mar 15;59(4):443-458.
2. Menezes EW, Tadini CC, Tribess TB, Zuleta A, Binaghi J, Pak N, Vera G, Dan MC, Bertolini AC, Cordenunsi BR, Lajolo FM. Chemical composition and nutritional value of unripe banana flour (Musa acuminata, var. Nanicão). Plant foods for human nutrition. 2011 Sep 1;66(3):231-7.
3. Agama-Acevedo E, Islas-Hernández JJ, Pacheco-Vargas G, Osorio-Díaz P, Bello-Pérez LA. Starch digestibility and glycemic index of cookies partially substituted with unripe banana flour. LWT-FOOD SCI TECHNOL. 2012 Apr 1;46(1):177-182.
4. Sajilata MG, Singhal RS, Kulkarni PR. Resistant starch–a review. Compr. Rev. Food Sci. Food Saf. 2006 Jan;5(1):1-7.
5. Ghanbarian D, Dastjerdi MB, Torki-Harchegani M. Mass transfer characteristics of bisporus mushroom (Agaricus bisporus) slices during convective hot air drying. Heat and Mass Transfer. 2016 May 1;52(5):1081-8.
6. Koc B, Eren I, Ertekin FK. Modelling bulk density, porosity and shrinkage of quince during drying: The effect of drying method. J Food Eng. 2008 Apr 1;85(3):340-349.
7. Zhang M, Chen H, Mujumdar AS, Tang J, Miao S, Wang Y. Recent developments in high-quality drying of vegetables, fruits, and aquatic products. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 2017 Apr 13;57(6):1239-55.
8. Lewicki PP. Design of hot air drying for better foods. Trends Food Sci. Technol. 2006 Apr 1;17(4):153-63.
9. Asokapandian S, Venkatachalam S, Swamy GJ, Kuppusamy K. Optimization of foaming properties and foam mat drying of muskmelon using soy protein. J. Food Process Eng. 2016 Dec;39(6):692-701.
10. Azizpour M, Mohebbi M, Khodaparast MH. Effects of foam-mat drying temperature on physico-chemical and microstructural properties of shrimp powder. Innov. Food Sci. Emerg. Technol. 2016 Apr 1;34:122-6.
11. Kandasamy P, Varadharaju N, Kalemullah S, Maladhi D. Optimization of process parameters for foam-mat drying of papaya pulp. J. Food Sci. Technol. 2014 Oct 1;51(10):2526-2534.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-02]

12. Salahi MR, Mohebbi M, Taghizadeh M. Development of cantaloupe (Cucumis melo) pulp powder using foam-mat drying method: Effects of drying conditions on microstructural of mat and physicochemical properties of powder. Dry technol. 2017 Nov 18;35(15):1897-1908.

13. Abbasi E, Azizpour M. Evaluation of physicochemical properties of foam mat dried sour cherry powder. LWT - Food Sci Technol. 2016 May 1;68:105-110.

14. Jakubczyka E, Gondeka E, Tamborb K. Characteristics of selected functional properties of apple powders obtained by the foam-mat drying method. InICEF 11 International Congress on Engineering and Food 2011 May 22. Athens: International Association of Engineering and Food.

15. Franco TS, Ellendersen LN, Fattori D, Granato D, Masson ML. Influence of the addition of Ovalbumin and emulsifier on the physical properties and stability of Yacon (Smallanthus sonchifolius) juice foams prepared for foam mat drying process. Food Bioproc Tech. 2015 Oct 1;8(10):2012-2026.

16. Hardy Z, Jideani VA. Foam-mat drying technology: A review. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 2017 Aug 13;57(12):2560-2572.

17. Lomakina K, Mikova K. A study of the factors affecting the foaming properties of egg white–a review. Czech J. Food Sci. 2006 Jan 1;24(3):110-118.

18. Salahi MR, Mohebbi M, Taghizadeh M. Foam-Mat Drying of Cantaloupe (C ucumis melo): Optimization of Foaming Parameters and Investigating Drying Characteristics. J. Food Process. Preserv. 2015 Dec;39(6):1798-1808.

19. Bag SK, Srivastav PP, Mishra HN. Optimization of process parameters for foaming of bael (Aegle marmelos L.) fruit pulp. Food Bioproc Tech. 2011 Nov 1;4(8):1450-1458.

20. Azizpour M, Mohebbi M, Hossein Haddad Khodaparast M, Varidi M. Optimization of foaming parameters and investigating the effects of drying temperature on the foam-mat drying of shrimp (Penaeus indicus). Dry Technol. 2014 Feb 12;32(4):374-384.

21. Chaux-Gutiérrez AM, Pérez-Monterroza EJ, Telis VR, Mauro MA. The Physical and Morphological Characteristics of Mango Powder (Mangifera indica L. cv Tommy Atkins) Produced by Foam Mat Drying. Food biophys. 2017 Mar 1;12(1):69-77.

22. Qadri OS, Srivastava AK. Microwave-Assisted Foam Mat Drying of Guava Pulp: Drying Kinetics and Effect on Quality Attributes. J. Food Process Eng. 2017 Feb;40(1):e12295.

23. Franco TS, Perussello CA, Ellendersen LN, Masson ML. Effect of process parameters on foam mat drying kinetics of yacon (Smallanthus sonchifolius) and thin-layer drying modeling of experimental data. J. Food Process Eng. 2017 Feb;40(1):e12264.

24. Dehghannya J, Pourahmad M, Ghanbarzadeh B, Ghaffari H. Heat and mass transfer modeling during foam-mat drying of lime juice as affected by different ovalbumin concentrations. J. Food Eng. 2018 Dec 1;238:164-177.

25. Ju HY, Law CL, Fang XM, Xiao HW, Liu YH, Gao ZJ. Drying kinetics and evolution of the sample's core temperature and moisture distribution of yam slices (Dioscorea alata L.) during convective hot-air drying. Dry technol. 2016 Aug 17;34(11):1297-1306.

26. Seerangurayar T, Manickavasagan A, Al-Ismaili AM, Al-Mulla YA. Effect of carrier agents on flowability and microstructural properties of foam-mat freeze dried date powder. J. Food Eng. 2017 Dec 1;215:33-43.

27. Widyastuti TE, Srianta I. Development of functional drink based on foam-mat dried papaya (Carica papaya L.): Optimisation of foam-mat drying process and its formulation. Int J Food Saf Nutr Publ Health. 2011;4(2):167-176.

28. Arzhavitina A, Steckel H. Foams for pharmaceutical and cosmetic application. Int. J. Pharm. 2010 Jul 15;394(1-2):1-17.

29. Sangamithra A, Venkatachalam S, John SG, Kuppuswamy K. Foam mat drying of food materials: A review. J. Food Process. Preserv. 2015 Dec 4;6(39):3165-3174.

30. Kadam DM, Balasubramanian S. Foam mat drying of tomato juice. J. Food Process. Preserv. 2011 Aug;35(4):488-495.

31. Franco TS, Perussello CA, Ellendersen LD, Masson ML. Foam mat drying of yacon juice: Experimental analysis and computer simulation. J. Food Eng. 2015 Aug 1;158: 48-57.

32. Franco TS, Perussello CA, Ellendersen LN, Masson ML. Effects of foam mat drying on physicochemical and microstructural properties of yacon juice powder. LWT - Food Sci Technol. 2016 Mar 1;66: 503-513.

33. Wilson RA, Kadam DM, Chadha S, Grewal MK, Sharma M. Evaluation of Physical and Chemical Properties of Foam-Mat Dried Mango (M angifera indica) Powder during Storage. J. Food Process. Preserv. 2014 Aug;38(4):1866-1874.

34. Seremet L, Botez E, Nistor OV, Andronoiu DG, Mocanu GD. Effect of different drying methods on moisture ratio and rehydration of pumpkin slices. Food Chem. 2016 Mar 15;195:104-109.

35. Parniakov O, Bals O, Barba FJ, Mykhailyk V, Lebovka N, Vorobiev E. Application of differential scanning calorimetry to estimate quality and nutritional properties of food products. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 2018 Feb 11;58(3):362-385.

36. Tze NL, Han CP, Yusof YA, Ling CN, Talib RA, Taip FS, Aziz MG. Physicochemical and nutritional properties of spray-dried pitaya fruit powder as natural colorant. Food Sci. Biotechnol. 2012 Jun 1;21(3):675-82.

37. Bhandari BR, Howes T. Implication of glass transition for the drying and stability of dried foods. J. Food Eng. 1999 May 1;40(1-2):71-79.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-02]

Production of Green Banana Powder Using Foam-Mat Drying Method: Effects of Ovalbumin Concentration on Drying Kinetics and Physicochemical Properties of the Product

Kamali R[1], Dadashi S[2,], Dehghannya J[3], Ghaffari H[4]*

1- MSc Graduate of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran

*2- *Corresponding author: Assistant Prof, Dept. of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran. Email: Dadashis@tabrizu.ac.ir*

3- Professor, Dept. of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran

4- Assistant Prof, Dept. of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran

Received 4 Feb, 2020 **Accepted 23 Apr, 2020**

Background and Objectives: Drying, one of the traditional food preservation technique, is a complex process defined as a simultaneous heat and mass transfer steps under transient conditions, which leads to significant changes in physicochemical properties of the foodstuffs. The objective of the present study was to assess effects of ovalbumin concentration (as a foaming agent) at three levels of 1, 2 and 3% on green banana drying kinetics and qualitative and quantitative properties of the produced powder using foam-mat drying method.

Materials and Methods: Ovalbumin, as a foaming agent, and 0.5% (w/w) methyl cellulose, as a stabilizer, were used for the preparation of foams. In this study, effects of ovalbumin concentration (1, 2 and 3% w/w) at 70 °C with foams of 3-mm thickness were assessed on drying kinetics of immature banana pulp and physicochemical properties of the produced powder like bulk density, glass transition temperature and water solubility index. Statistical analysis was carried out using completely randomized design with three replications. Means were compared using Duncan's multiple range test at 5% levels.

Results: Results showed that increases in ovalbumin concentration caused significant increases in effective moisture diffusion coefficient, decreased the foam density and increased the porosity, expansion and stability of the foam. Bulk density and water absorption index decreased with increasing concentration of the foaming agent. Moreover, Carr index and Hausner ratio respectively increased and decreased by increasing ovalbumin concentration from 1 to 2 and 2 to 3%. The lowest glass transition temperature was achieved at 2% ovalbumin concentrations.

Conclusion: Study of physicochemical properties of the final product showed that the powder produced at 1% ovalbumin concentrations included the highest flowability. Unripe banana pulp powder rich in resistant starch produced by foam-mat drying can be used as a natural product enriched with egg white protein and fiber source, mainly in production of functional products.

Keywords: Foam-mat drying, Immature banana, Drying kinetics, Glass transition temperature

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-02]