

مطالعه سینتیک خشک کردن قارچ خوراکی پیش تیمار شده با آب‌گیری اسمزی

سمیرا اصل نژادی^۱ و سیده‌ادی پیغمبردوست^{۲*}

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۲. استاد، گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۲/۲۴ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۴/۱۹)

چکیده

خشک کردن از جمله رایج‌ترین روش‌های نگهداری قارچ دکمه‌ای است. اسلایس و پودر قارچ خشک‌شده در انواع مواد غذایی مانند سوپ‌ها و سس‌ها به مصرف می‌رسد. در این تحقیق اثر پیش تیمار آب‌گیری اسمزی بر سینتیک خشک کردن هوای داغ قارچ خوراکی بررسی شد. اسلایس‌های نازک قارچ در محلول اسمزی حاوی ۵ درصد کلرید سدیم و ۰/۵ درصد کلرور کلسیم در دمای ۴۰°C به مدت ۱۲۰ دقیقه غوطه‌ور شدند. سپس نمونه‌ها در جریان هوای داغ (با سرعت ۱/۸ متر بر ثانیه) در دمای ۵۰°C و ۶۰°C تا رسیدن به رطوبت نهایی مطلوب خشک شدند. ضریب انتشار مؤثر رطوبت، انرژی فعال‌سازی، مقدار چروکیدگی، جذب آب مجدد و شاخص‌های رنگی قارچ بعد از خشک کردن با هوای داغ اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که پیش تیمار اسمزی زمان خشک کردن نمونه‌ها را به‌طور معنی‌داری ($p < 0.05$) کاهش و سرعت خشک کردن را افزایش داد. ضریب انتشار مؤثر رطوبت در نمونه‌های پیش تیمار شده نسبت به نمونه کنترل افزایش یافت. با اعمال پیش تیمار آب‌گیری اسمزی انرژی فعال‌سازی در جریان خشک کردن قارچ به‌طور معنی‌داری ($p < 0.05$) کاهش یافت. اعمال پیش تیمار آب‌گیری اسمزی باعث کاهش مقدار چروکیدگی، نسبت جذب آب مجدد و شاخص روشنی (L) قارچ خشک شده گردید، اما تأثیر معنی‌داری ($p < 0.05$) بر تغییر رنگ کلی و شاخص‌های a و b نداشت.

واژه‌های کلیدی: سینتیک خشک کردن، آب‌گیری اسمزی، خشک کردن هوای داغ، قارچ دکمه‌ای

مقدمه

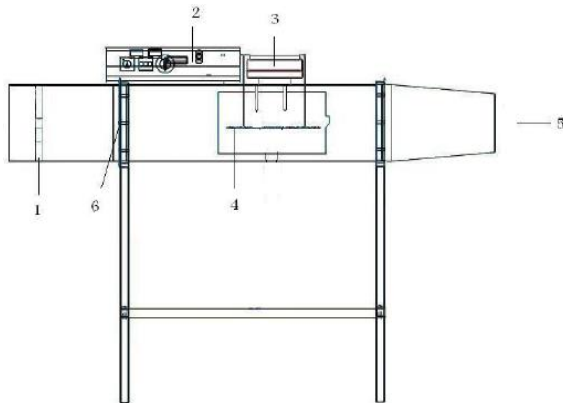
قارچ دکمه‌ای منبع خوبی از کربوهیدرات‌های غیر نشاسته‌ای، فیبر، پروتئین، مواد معدنی و ویتامین‌ها است. معمولاً پس از برداشت، کاهش رطوبت، چروکیدگی، تغییر رنگ و نرم شدن بافت در قارچ‌ها رخ می‌دهد. خشک کردن از جمله رایج‌ترین روش‌های نگهداری قارچ دکمه‌ای است. قارچ خشک‌شده در انواع سوپ‌ها و سس‌های سالاد به مصرف می‌رسد (Asghari Beiram & Bassiri, 2010). خشک کردن به دلیل کاهش آب فعال و کاهش واکنش‌های شیمیایی باعث افزایش ماندگاری محصول و سهولت در حمل و نقل می‌گردد. خشک کردن قارچ دکمه‌ای با هوای داغ شامل خشک کردن در محدوده دمایی ۵۰ تا ۷۰°C است. به دلیل زمان طولانی خشک کردن و حرارت دیدن بیش از حد سطح ماده غذایی، مشکلاتی نظیر تیره شدن رنگ، چروکیدگی، از دست رفتن عطر و طعم، کاهش ظرفیت جذب آب مجدد و کاهش ارزش غذایی رخ می‌دهد. بنابراین تلاش برای جایگزین کردن روش‌هایی که فاقد ایرادات فوق باشد،

صورت گرفته است (Kulshreshtha et al., 2009). یکی از روش‌های تولید مواد غذایی خشک‌شده با کیفیت مطلوب، استفاده از پیش تیمارهایی نظیر آب‌گیری اسمزی است که باعث صرفه‌جویی در مصرف انرژی، بهبود کیفیت محصول نهایی و کاهش زمان خشک کردن با هوای داغ می‌گردد. آب‌گیری اسمزی شامل حذف رطوبت از مواد غذایی توسط محلول‌های قندی یا نمکی است. در این فرآیند دیواره طبیعی سلول‌های ماده غذایی به عنوان یک غشا نیمه تراوا عمل می‌کند و به علت وجود اختلاف غلظت بین محلول اسمزی و مایعات داخل سلولی، نیروی محرکه لازم برای انتقال جرم ایجاد می‌شود (Soleimani et al., 2008).

آب‌گیری اسمزی در دمای پایین نیز مؤثر بوده و به دلیل عدم تغییر فاز و کاهش زمان خشک کردن نهایی باعث حفظ کیفیت محصول می‌گردد (Mandala et al., 2005). رنگ محصول فرآوری شده در کیفیت محصول و مشتری پسندی آن حائز اهمیت است. حضور ساکارز در محلول‌های اسمزی از قهوه‌ای شدن آنزیمی جلوگیری کرده و پایداری ترکیبات رنگی را در طی انبارداری بر ضد قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی افزایش

* نویسنده مسئول: peighambardoust@tabrizu.ac.ir

خشک کن دارای محفظه ورودی هوا (شامل فن و گرم کن‌های الکتریکی)، محفظه میانی (شامل قفسه‌های خشک کن و خطی سازهای جریان هوا)، محفظه خروجی و تابلو فرمان (کنترل دما و سرعت جریان هوا) بود (Seiiedlou *et al.*, 2010). حدود نیم ساعت قیل از خشک کردن، دستگاه روشن شده و دما و سرعت هوا در حد مورد نظر تنظیم شد تا خشک کن به حالت پایدار برسد. سپس نمونه‌ها روی سینی در فواصل مناسب و منظم چیده شدند. سینی مشبک مستقیماً به ترازوی با دقت ۰/۰۱ گرم متصل بود، طوری که تغییرات وزن نمونه‌ها در جریان خشک کردن در فواصل زمانی هر ۳ دقیقه یکبار به صورت برخط در کامپیوتر ثبت می‌شد؛ که این داده‌ها برای مطالعه سینتیک خشک شدن مورد استفاده قرار گرفت.



شکل ۱. شکل شماتیک خشک کن کابینی آزمایشگاهی: ۱- دمنده هوا؛ ۲- سیستم کنترل دما؛ ۳- ترازو؛ ۴- قفسه‌ها؛ ۵- خروجی هوا، ۶- گرم کن هوای داغ.

آماده‌سازی نمونه‌ها

مراحل آماده‌سازی اولیه نمونه‌ها شامل درجه‌بندی از لحاظ اندازه، شستشو و برش به ابعاد $9 \times 13 \times 13$ میلی‌متر انجام گرفت. نمونه‌های بریده شده با رعایت نسبت وزنی نمونه به محلول (۱:۲۰) در محلول اسمزی حاوی کلرید سدیم با غلظت ۵ درصد (وزنی-حجمی) و کلرید کلسیم ۰/۵ درصد (وزنی-حجمی) در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۲۰ دقیقه غوطه‌ور شدند. پس از اتمام آب‌گیری اسمزی، سطح نمونه‌ها توسط آب مقطر شستشو داده شد و رطوبت سطحی توسط دستمال کاغذی حذف گردید.

خشک کردن با هوای داغ

نمونه‌های پیش‌تیمار شده با آب‌گیری اسمزی و نمونه‌های بدون پیش‌تیمار (کنترل) به خشک کن کابینی منتقل شدند. دمای هوای داغ ورودی ۵۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد و سرعت آن $1/8$ متر بر ثانیه بود. نمونه‌ها تا رسیدن به رطوبت نهایی ۰/۲ گرم رطوبت بازا هر گرم ماده خشک محصول خشک شدند. سپس نمونه‌های خشک شده جهت ارزیابی‌های بعدی در بسته‌های

می‌دهد (Pani *et al.*, 2008). آب‌گیری اسمزی موجب نرم‌تر شدن بافت گردیده و با جلوگیری از تخریب گسترده ساختار سلولی باعث کاهش چروکیدگی محصول خشک شده با هوای گرم می‌شود (Emam-Djomeh *et al.*, 2008). این فرایند باعث کاهش قابلیت جذب مجدد آب در ماده غذایی خشک‌شده با هوای گرم می‌شود. تأثیر منفی اسمز بر خصوصیات جذب آب مجدد به دلیل اشباع شدن سریع لایه زیرین سطح بافت غذایی با نمک و آب‌گیری کمتر لایه نمکی در مقایسه با بافت طبیعی ماده غذایی است (Fathi *et al.*, 2010). ضریب انتشار مؤثر رطوبت، جزء خواص ذاتی هر محصول است که کنترل کننده زمان لازم برای خشک کردن مواد غذایی است. دانستن ضریب انتشار مؤثر رطوبت برای طراحی و مدل‌سازی فرایندهای انتقال جرم مثل آب‌گیری و دفع رطوبت در طول انبارداری لازم است. ضریب انتشار مؤثر رطوبت به چندین عامل درونی و بیرونی بستگی دارد. عوامل بیرونی که با کنترل آن‌ها می‌توان ضریب انتشار را تغییر داد، دما و ضخامت محصول هستند. عوامل درونی مختص محصول است که از آن جمله می‌توان به نفوذ مولکولی، خاصیت موینگی لوله‌های موین درون بافتی، نفوذ مایع در بین خلل و فرج مواد غذایی و گرادیان غلظت حل شده‌ها در درون ماده اشاره کرد که در میزان ضریب انتشار رطوبت تأثیر دارند. از آنجایی که تفکیک تأثیرات هر عامل مشکل است، بنابراین آهنگ حرکت رطوبت بدون توجه به اینکه کدام مکانیسم در حرکت رطوبت دخالت دارد، با یک پارامتر مؤثر و متوسط بیان می‌گردد. این پارامتر با معلوم بودن نسبت رطوبت ماده (MR) به صورت تابع زمان و در طی فرآیند، قابل محاسبه است (Shulka & Singh, 2007). هدف این تحقیق بررسی سینتیک خشک کردن هوای داغ قارچ دکمه‌ای پیش‌تیمار شده با آب‌گیری اسمزی به منظور تعیین آثار پیش‌تیمار بر ضریب انتشار مؤثر رطوبت و خواص کیفی (رنگ، چروکیدگی بافتی و خصوصیات آب‌گیری مجدد) محصول بود.

مواد و روش‌ها

مواد قارچ خوراکی دکمه‌ای از شرکت کشت و تولید سادات تبریز تهیه گردید. نمونه‌های مورد استفاده دارای رطوبت اولیه 90 ± 1 درصد (بر مبنای وزن مرطوب) بودند. نمک طعام تصفیه شده از شرکت سپید دانه و کلرید کلسیم از شرکت مرک آلمان تهیه گردید.

تجهیزات

برای خشک کردن نمونه‌های آزمایشی از یک خشک کن آزمایشگاهی (شکل ۱) با مشخصات ذیل استفاده شد. این

تهیه شده گزارش گردید. برای توصیف تغییرات رنگ در طول خشک کردن از (اختلاف رنگ نمونه‌ها از قارچ‌های تازه) شاخص ΔE مطابق رابطه (۵) استفاده شد (Falade et al., 2010).

$$\Delta E = \sqrt{(L_0 - L_t)^2 + (a_0 - a_t)^2 + (b_0 - b_t)^2} \quad (\text{رابطه ۵})$$

در رابطه فوق اندیس های 0 و i به ترتیب بیانگر مشخصه‌های رنگ قارچ تازه و خشک شده هستند.

اندازه گیری چروکیدگی و نسبت جذب آب مجدد

حجم نمونه‌ها با استفاده از روش جابه‌جایی تولون و توسط پیکنومتر اندازه‌گیری شد. با معلوم بودن چگالی تولون و وزن متوسط پیکنومتر پر از تولون، حجم نمونه‌های موجود در پیکنومتر به دست آمد. بدین ترتیب حجم نمونه‌ها در دو مرحله قبل از خشک شدن و بعد از آن اندازه‌گیری شده و در نهایت مقدار چروکیدگی با استفاده از رابطه (۶) محاسبه (Shulka & Singh, 2007) و بر حسب درصد گزارش شد.

$$Sh = \left(1 - \frac{V_t}{V_0}\right) \times 100 \quad (\text{رابطه ۶})$$

در رابطه ۶، Sh درصد چروکیدگی نمونه، V_0 حجم نمونه (میلی لیتر) قبل از خشک شدن و V_t حجم نمونه (میلی لیتر) بعد از خشک شدن هستند.

تعیین نسبت جذب آب مجدد

برای اندازه‌گیری نسبت جذب مجدد آب، نمونه‌های خشک شده قارچ در یک بشر ۲۵۰ میلی‌لیتری که حاوی ۱۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد بود به مدت یک ساعت غوطه‌ور و در داخل بن ماری قرار داده شدند. پس از سپری شدن زمان مورد نظر، نمونه‌ها از آب بیرون آورده شده و پس از گرفتن آب سطحی آنها توزین شدند. نسبت جذب آب مجدد نیز از رابطه (۷) بر اساس روش (Shulka & Singh, 2007) محاسبه شد:

$$\text{Rehydration ratio} = \frac{W_t}{W_d} \quad (\text{رابطه ۷})$$

در رابطه ۷، W_t و W_d به ترتیب جرم نمونه‌ها قبل و بعد از آب‌گیری و بر حسب گرم است.

تجزیه و تحلیل آماری

آزمایش‌ها به کمک آزمون فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم افزار آماری SAS V 9.1 استفاده گردید. برای مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ استفاده شد.

مناسب ضد نفوذ رطوبت در یخچال نگهداری شدند.

آزمون‌ها

محاسبه ضریب انتشار مؤثر رطوبت

برای تعیین ضریب انتشار مؤثر رطوبت، از داده‌های خشک کردن نمونه‌ها (نسبت رطوبت در مقابل زمان) استفاده شد. مقدار نسبت رطوبت با استفاده از حل تحلیلی قانون فیک توسط کرنک در مختصات دکارتی از رابطه ۱ قابل محاسبه است.

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(-\frac{(2n+1)^2 \pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \quad (\text{رابطه ۱})$$

در این معادله MR مقدار رطوبت بدون بعد، D_{eff} ضریب انتشار مؤثر رطوبت (مترمربع بر ثانیه) و L نصف ضخامت نمونه‌ها (متر)، t زمان خشک شدن بر حسب ثانیه و n شمارنده سری است (Park et al., 2002). در این رابطه، با انتخاب $n=0$ معادله ساده سازی شده و خطای اعمالی قابل اغماض است که رابطه ۲ به دست می‌آید.

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \quad (\text{رابطه ۲})$$

$$F(t) = \left(-\frac{\pi^2 t}{4L^2}\right) \quad (\text{رابطه ۳})$$

با استفاده از لگاریتم طبیعی این معادله، ترسیم خط Ln (MR) در برابر F(t) و محاسبه شیب این خط، ضریب انتشار مؤثر رطوبت (D_{eff}) به دست آمد (Shulka & Singh, 2007).

$$D_{eff} = D_0 \exp\left(\frac{-E_a}{RT}\right) \quad (\text{رابطه ۴})$$

محاسبه انرژی فعال سازی

انرژی فعال سازی (E_a) از طریق رسم نمودار $\ln(D_{eff})$ در مقابل عکس دمای مطلق (کلوین) محاسبه شد (Park et al., 2002). در رابطه ۴: D_0 : فاکتور پیش نمایی (مترمربع بر ثانیه)، E_a : انرژی فعال سازی (ژول بر مول)، R: ثابت عمومی گازها و T: دمای مطلق هوا (کلوین) است. دما در رابطه ۴، دمای مورد استفاده برای هوای گرم است.

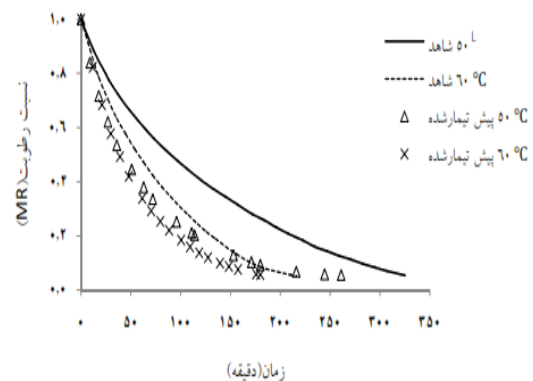
اندازه‌گیری شاخص‌های رنگ

ΔE رنگ نمونه‌ها قبل و بعد از خشک کردن به صورت شاخص‌های L (میزان روشنی)، a (قرمز-سبزی)، b (زردی-آبی) توسط نرم افزار Matlab R.7 از روی عکس‌های دیجیتالی

نتایج و بحث

تأثیر دما بر سینتیک خشک کردن

تغییرات نسبت رطوبت نمونه‌های کنترل و پیش تیمار شده به صورت تابعی از زمان در دماهای مختلف در شکل ۲ نشان داده شده است. مطابق این شکل و همچنین جدول ۱، با افزایش دمای هوای ورودی به خشک‌کن، زمان خشک شدن تمام نمونه‌ها کاهش یافت؛ به طوری که همواره کوتاه‌ترین زمان خشک شدن در دمای 60°C مشاهده گردید. کاهش در زمان خشک شدن را می‌توان به افزایش اختلاف دما بین نمونه و هوای گرم و نیز افزایش گرادیان فشار بخار بین هوای خشک کننده و محصول نسبت داد که در نهایت منجر به افزایش انتقال حرارت و افزایش سرعت خشک شدن می‌گردد (Mohammadi & Goltapeh *et al.*, 2001).



شکل ۲- زمان خشک شدن نمونه‌ها در دمای ۵۰ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد

تأثیر پیش تیمار اسمزی بر سینتیک خشک کردن

مطابق شکل ۲ با انجام پیش تیمار اسمزی متوسط زمان خشک شدن در مقایسه با نمونه شاهد، کاهش یافته است. قابل ذکر است این کاهش مطابق جدول ۱ از لحاظ آماری معنی‌دار بود ($P < 0.05$). یعنی زمان رسیدن رطوبت اولیه محصول به رطوبت نهایی مورد نظر (0.2 گرم آب بر گرم ماده خشک) در نمونه‌های پیش تیمار شده با فرایند اسمز نسبت به نمونه کنترل کوتاه‌تر بود. احتمالاً به دلیل رطوبت اولیه کمتر نمونه‌های پیش تیمار شده و نیز تغییر در روزه‌های ساختار سلولی در اثر آب‌گیری اسمزی و افزایش انتشار رطوبت، زمان خشک کردن کاهش یافته است. این نتایج با یافته‌های Aminzadeh *et al.* (2011) و Fernande *et al.* (2006) و Torringa *et al.* (2001) مطابقت دارد.

تأثیر دما بر آهنگ خشک کردن

شکل ۳ آهنگ خشک شدن نمونه‌های پیش تیمار شده با فرایند اسمز و نمونه کنترل (بدون فرایند اسمز) را نشان می‌دهد. در

این شکل، منحنی آهنگ خشک شدن در همه نمونه‌ها دارای دو دوره نزولی است. بیشترین مقدار افت رطوبت در دوره اول رخ داده است و سرعت خشک شدن در ابتدای فرایند بیشتر از مراحل پایانی بود. در این منحنی‌ها مرحله ثابت خشک کردن مشاهده نشد. در ابتدای فرایند به دلیل رطوبت بالاتر نمونه‌ها، سرعت خشک کردن بیشتر بوده ولی با ادامه فرایند و با کاهش محتوای رطوبتی به دلیل کاهش آب آزاد و کاهش تخلخل، سرعت خشک کردن کاهش یافت (Kulshreshtha *et al.*, 2009). در بررسی اثر دما نیز باید گفت که در دمای بالاتر منحنی از شیب بیشتری برخوردار بود، زیرا در دمای بالاتر اختلاف دمای نمونه و هوای گرم بیشتر بوده در نتیجه منجر به افزایش انتقال حرارت و افزایش سرعت خشک کردن گردید (Shulka & Singh, 2007).

تأثیر پیش تیمار اسمزی بر آهنگ خشک کردن

همان‌طور که در شکل ۳ ملاحظه می‌شود تا محتوای رطوبتی بالاتر از ۲ (گرم آب بر گرم ماده خشک)، سرعت خشک شدن نمونه‌های پیش تیمار شده با فرایند اسمز بیشتر است ولی در محتوای رطوبتی کمتر از ۲ (گرم آب بر گرم ماده خشک) به دلیل کاهش مقدار رطوبت آزاد و مقاومت داخلی بیشتر در مقابل انتقال جرم در محتوای رطوبتی کمتر، تفاوت چندانی در سرعت خشک شدن نمونه‌های پیش تیمار شده و کنترل مشاهده نشد. Park *et al.* (2002) گزارش کردند که در محتوای رطوبتی بالاتر از ۱ (گرم آب بر گرم ماده خشک) سرعت خشک شدن برش‌های گلایی پیش تیمار شده با آب‌گیری اسمزی، بیشتر از نمونه‌های شاهد بود که به دلیل کاهش چروکیدگی و سخت شدن سطحی نمونه‌ها در سرعت بالای هوا (۲ متر بر ثانیه) در اثر آب‌گیری اسمزی است. یعنی به دلیل از بین رفتن ساختار سلولی سطح ماده غذایی در اثر آب‌گیری اسمزی و افزایش انتشار رطوبت، سرعت خشک شدن با هوای گرم در نمونه‌های پیش تیمار شده بیشتر است (Pani *et al.*, 2008; Garcia *et al.*, 2007).

تأثیر دما بر ضریب انتشار مؤثر رطوبت

مطابق جدول ۱ با افزایش دمای هوای ورودی به خشک‌کن، میزان ضریب انتشار مؤثر رطوبت به طور معنی‌داری افزایش یافته است ($P < 0.05$) که نشان دهنده تاثیر بارز دما در ایجاد جنبش مولکولی و مکش سطحی بیشتر و در نتیجه افزایش ضریب انتشار رطوبت است. این نتیجه با سایر تحقیقات انجام یافته مطابقت دارد (Amirnejat *et al.*, 2011; Tulek *et al.*, 2001).

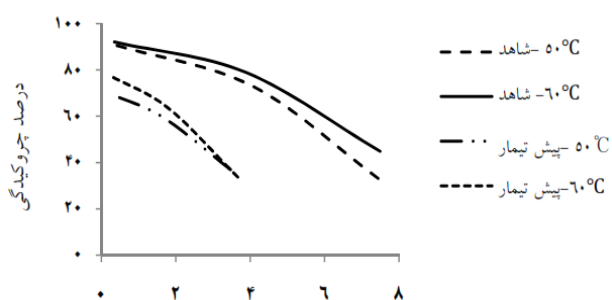
جدول ۱. تجزیه واریانس تأثیر دما و پیش تیمار اسمزی بر زمان خشک کردن، ضریب انتشار رطوبت، درصد چروکیدگی و نسبت جذب آب مجدد

منابع تغییرات	درجه آزادی	زمان خشک شدن	D_{eff}	چروکیدگی	آب گیری مجدد
		میانگین مربعات	میانگین مربعات	میانگین مربعات	میانگین مربعات
دما	۱	۵۶۱۸*	۸۸/۸۴*	۶/۱۹ ^{ns}	۰/۰۰۵ ^{ns}
پیش تیمار	۱	۱۷۶۷۳**	۱/۸۸ ^{ns}	۵۳۸/۳۴**	۰/۵۴*
پیش تیمار X دما	۱	۱۶۸۲ ^{ns}	۲/۵۵ ^{ns}	۰/۵۱ ^{ns}	۰/۰۸ ^{ns}
خطا	۴	۴۹۹/۳۳	۴/۴۵	۱۵/۵۶	۰/۰۱

** بیانگر وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱٪، ° بیانگر وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵٪ و ns بیانگر عدم وجود اختلاف معنی دار.

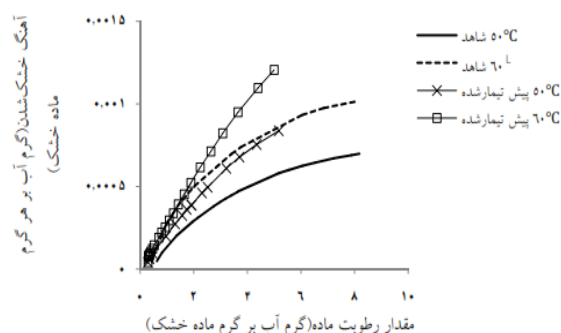
تأثیر پیش تیمار اسمزی بر میزان چروکیدگی و جذب آب مجدد محصول

تغییرات میزان چروکیدگی در طول خشک کردن در تیمارهای مختلف در شکل ۴ و جدول ۲ آمده است.



شکل ۴. اثر دماهای خشک کردن بر درصد چروکیدگی نمونه‌های شاهد و فرایند شده با پیش تیمار اسمزی

مطابق شکل ۴ تغییرات میزان چروکیدگی در مراحل اولیه خشک کردن در تمام تیمارها بیشتر از مراحل پایانی بوده و تفاوت چندانی در میزان چروکیدگی نمونه‌ها در سطوح مختلف دمایی مشاهده نشد. همچنین میزان چروکیدگی در نمونه‌های پیش تیمار شده با فرایند اسمز کمتر از نمونه‌های شاهد بود. مطابق جدول ۱ کاهش میزان چروکیدگی از نظر آماری معنی دار است ($P < 0.01$). جدول ۲ نشان می‌دهد که با انجام پیش تیمار اسمزی میزان چروکیدگی در نمونه‌های خشک شده با هوای داغ کاهش یافته است یعنی پیش تیمار اسمزی نمونه‌ها قبل از خشک کردن با هوای داغ میزان چروکیدگی را به دلیل حجم اشغال شده توسط نمک ورودی به بافت و نیز کاهش زمان خشک شدن نهایی به دلیل خروج بخشی از رطوبت در آب گیری اسمزی، کاهش داده است. Emam-Djomeh et al. (2008) با بررسی ویژگی‌های بافتی گوجه‌فرنگی پیش تیمار شده با اسمز توسط میکروسکوپ الکترونی عنوان کردند که اعمال آب گیری اسمزی با جلوگیری از تخریب گسترده ساختار سلولی باعث کاهش چروکیدگی محصول خشک شده گردید.



شکل ۳- آهنگ خشک شدن در دماهای ۵۰ و ۶۰ درجه سانتی گراد

تأثیر پیش تیمار اسمزی بر ضریب انتشار مؤثر رطوبت

مقادیر ضریب انتشار مؤثر رطوبت در نمونه‌های پیش تیمار شده و شاهد به ترتیب $18/473 \times 10^{-11}$ و $17/502 \times 10^{-11}$ مترمربع بر ثانیه بود که در نمونه‌های پیش تیمار شده با آب گیری اسمزی اندکی بیشتر از نمونه‌های بدون پیش تیمار بود. به دلیل کاهش چروکیدگی و سخت شدن سریع سطحی در سرعت بالای هوا در اثر آب گیری اسمزی مقدار ضریب انتشار مؤثر رطوبت پیش تیمار شده با آب گیری اسمزی، بیشتر از نمونه شاهد بود. همچنین آب گیری اسمزی سبب کاهش تدریجی حالت دیواره سلولی شده و به دلیل تغییر در روزه‌های ساختار سلولی سبب افزایش انتشار رطوبت گردید (Park et al., 2002).

تأثیر پیش تیمار اسمزی بر انرژی فعال سازی

مقادیر انرژی فعال سازی به دست آمده در این تحقیق در محدوده ۶۰-۱۰ kJ/mole بود که برای اغلب مواد غذایی گزارش شده است (Park et al., 2002). مقدار انرژی فعال سازی برای نمونه های پیش تیمار شده با آب گیری اسمزی kJ/mole ۲۷/۷۴۹ و برای نمونه شاهد kJ/mole ۵۱/۱۰۵ به دست آمد. خشک کردن نمونه‌های پیش تیمار شده با فرایند اسمزی به انرژی فعال سازی کمتری در مقایسه با نمونه‌های بدون پیش تیمار نیاز محتوای رطوبتی اولیه بالاتر به انرژی بیشتری برای حذف مقادیر بالاتر آب نیاز دارند. نتایج حاصل از این پژوهش با یافته‌های Singh & Gupta (2007) مطابقت دارد.

کمتر از نمونه‌های شاهد بود، به طوری که نمونه‌های پیش تیمارشده پس از جذب آب مجدد، افزایش وزن کمتری داشتند.

تغییر رنگ کلی نداشت. با افزایش دما تغییر رنگ کلی نمونه‌ها افزایش یافته و بیشترین تغییر رنگ در دمای ۶۰ °C مشاهده شد. نتایج حاصل از پردازش تصویر حاکی از آن بود که انجام پیش تیمار اسمزی تأثیر معنی‌داری بر میزان تغییرات رنگ کلی (ΔE) و شاخص‌های a و b نداشت. اما شاخص L (میزان روشنی) در نمونه‌های پیش تیمارشده به طور معنی‌داری کمتر از نمونه‌های شاهد بود ($P < 0.05$). علت کاهش شاخص L را می‌توان به حضور نمک در لایه سطحی بافت و در نتیجه غیرشفاف شدن سطح محصول نسبت داد (Pani et al., 2008). همچنین با افزایش دما تغییر رنگ کلی نمونه‌ها و میزان شاخص a افزایش یافته است. افزایش شاخص a به دلیل تشکیل رنگدانه‌های قهوه‌ای طی خشک کردن با هوای داغ است.

نتایج تجزیه واریانس تأثیر دما و پیش تیمار اسمزی بر نسبت آب‌گیری مجدد معنی‌دار بود ($P < 0.05$). یعنی میزان جذب آب مجدد در نمونه‌های پیش تیمار شده با فرایند اسمز

جدول ۲. مقایسه میانگین اثر پیش تیمار بر زمان خشک شدن، درصد

نمونه	زمان خشک شدن	چروکیدگی و نسبت جذب آب مجدد	
		درصد چروکیدگی	آبگیری مجدد
پیش تیمار شده با آب‌گیری اسمزی	۱۹۰ ^a	۷۲/۶۳ ^a	۲/۱۷ ^a
شاهد	۲۷۷ ^b	۸۹/۰۳ ^b	۲/۶۹ ^b

حروف غیرمشابه لاتین نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار ($p < 0.05$) بر اساس آزمون دانکن است. تأثیر پیش تیمار اسمزی بر شاخص‌های رنگ

نتایج تجزیه واریانس تأثیر دما و پیش تیمار بر شاخص‌های رنگ در جداول ۳ و ۴ آورده شده است. تأثیر دما بر تغییر رنگ کلی (ΔE) در سطح ۱٪ معنی‌دار بوده است. اما انجام پیش تیمار و اثرات متقابل فاکتورها تأثیر معنی‌داری بر میزان

جدول ۳. تجزیه واریانس تأثیر دما و پیش تیمار بر مؤلفه‌های رنگی

منابع تغییرات	درجه آزادی	ΔE	L	a	b
دما	۱	**۲۶۴/۴۶	*۲۵۵/۴۱	*۱۰/۲۰	ns ۰/۱۱
پیش تیمار	۱	ns ۰/۵۰	*۲۸/۹۶	ns ۰/۰۰۰۱	ns ۰/۴۷
دما × پیش تیمار	۱	ns ۱/۰۶	ns ۲/۷۲	ns ۱/۰۶	ns ۱۱/۰۶
خطا	۴	۰/۸۴	۳/۳۸	۰/۸۲	۱۲/۰۶
کل	۷				

** بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪، ° بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ns بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر دما بر زمان خشک شدن، ضریب انتشار مؤثر رطوبت و مؤلفه‌های رنگی

دما (درجه سانتی‌گراد)	زمان خشک شدن	D_{eff}	ΔE	L	a
۵۰	۲۵۶/۵ ^b	1.0^{-10} a	۱۴/۶۵	۳۷/۷۳ ^b	-۷/۱۶ ^a
۶۰	۲۰۳/۵ ^a	1.0^{-10} b	۲۱/۳	۲۶/۴۳ ^a	-۴/۹ ^b

حروف غیرمشابه لاتین نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار ($p < 0.05$) بر اساس آزمون دانکن است.

نمونه‌های بدون پیش تیمار بود. خشک کردن قارچ‌های پیش تیمارشده با آب‌گیری اسمزی به انرژی فعال‌سازی کمتری در مقایسه با نمونه‌های شاهد نیاز داشت. انجام پیش تیمار اسمزی باعث کاهش میزان چروکیدگی، نسبت جذب آب مجدد و شاخص L شد. اما این پیش تیمار تأثیر معنی‌داری بر میزان تغییرات رنگ کلی و شاخص‌های a و b نداشت.

نتیجه گیری

انجام پیش تیمار اسمزی قبل از خشک کردن با هوای داغ باعث کاهش زمان خشک کردن تکمیلی نمونه‌ها گردید. با افزایش دمای هوای ورودی زمان خشک کردن کاهش یافته و میزان ضریب انتشار مؤثر رطوبت افزایش یافت. مقدار این ضریب در نمونه‌های پیش تیمارشده با آب‌گیری اسمزی اندکی بیشتر از

REFERENCES

- Aminzadeh, R. Sargolzaei, J. and Abarzani, M. (2011) Preserving melons by osmotic dehydration in a ternary system followed by air drying. Food Bioprocess Technology, 10, 432-440.
- Amirnejat, H. Khoshtaghaza, M.H. and Pahlavanzadeh, H. (2011) Determining kinetic of thin layer drying of edible mushroom with infrared. Journal of Biosystem Engineering, 42(1), 53-61. In Farsi

- Asghari Beiram, Z. and Bassiri, A.R. (2010) Optimization of osmo-convective drying of edible button mushroom using Response Surface Methodology. *Journal of Food Technology and Nutrition* 7, 39-50. In Farsi.
- Emam-Djomeh, Z. Tahmasebi, M. Pirouzifard, M. KH. and Asghari, G. (2008) Effect of osmotic pretreatment on texture properties and microstructure of air-dried tomato. *Journal of Biosystem Engineering*, 39(1), 133-139. In Farsi.
- Fernandes, F.A.N. Rodrigues, S. Gaspareto, C.P. and Oliveira, O. (2006) Optimization of osmotic dehydration of banana followed by air-drying. *Journal of Food Engineering*, 77, 188-193.
- Falade, K.O. and Oyedele, O.O. (2010) Effect of osmotic pretreatment on air drying characteristics and colour of pepper (*Capsicum* spp). *Journal of Food Science and Technology*, 47, 488-495.
- Fathi, M. Mohebbi, M. and Razavi, S. (2010) Effect of osmotic dehydration and air drying on physicochemical properties of dried kiwifruit and modeling of dehydration process using neural network and genetic algoritm. *Food Bioprocess Technology*, 86, 105-112.
- Garcia, C.C. Mauro, M.A. and Kimura, M. (2007) Kinetics of osmotic dehydration and air-drying of pumpkins (*Cucurbita moschata*). *Journal of Food Engineering*, 82, 284-291.
- Kulshreshtha, M. Singh, A. and Ripul, D. (2009). Effect of drying condition on mushroom quality. *Journal of Engineering, Science and Technology*, 4, 90-98.
- Lewicki, P.P. Le, H.V. and Lazuka, W.P.L. (2002) Effect of pretreatment on convective drying of tomatoes. *Journal of Food Engineering*, 54, 141-146.
- Mandala, I.G. Anagnostaras, E.F. and Oikonomou, C.K. (2005) Influence of osmotic dehydration condition on apple air-drying kinetics and their quality characteristics. *Journal of Food Engineering*, 69, 307-316.
- Mohammadi Goltapeh, E. Ebady, Z. and Bsire, A. (2001) Determining drying time and rate curves of dried button mushrooms (*Agaricus bisporus*) by kiln drier. *Journal of Agriculture Science and Nature Resource*, 8(3), 135-150. In Farsi.
- Pani, P. Leva, A. Riva, M. Maestrelli, A. and Torreggiani, D. (2008) Influence of an osmotic pretreatment on structure property relationships of air-dehydrated tomato slices. *Journal of Food Engineering*, 86, 105-112.
- Park, K.J. Bin, A. and Brod, F.P. (2002) Drying of pear/Anjou with and without osmotic dehydration. *Journal of Food Engineering*, 56, 97-103.
- Seiiedlou, S., Ghasemzadeh, H.R., Hamdami, N., Alati, F.T., and Moghaddam, M. (2010). Convective drying of apple: mathematical modeling and determination of some quality parameters. *International Journal of Agriculture and Biology*, 12,171-178.
- Shulka, B.D. and Singh, S.P. (2007) Osmo-convective drying of cauliflower, mushroom and green pea. *Journal of Food Engineering*, 80, 741-747.
- Singh, B. and Gupta, A. K. (2007). Mass transfer kinetics and determination of effective diffusivity during convective dehydration of pre-osmosed carrot cubes. *Journal of Food Engineering*, 79: 459-470.
- Soleimani, J. Emam-Djomeh, Z. and Ghasemzadeh, H.R. (2008) Osmotic dehydration pretreatment for air-dried carrot. *Journal of Research and Construction*, 78, 101-109. In Farsi.
- Torreggiani, D. (1993). Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. *Food Research International*, 26, 59-68.
- Torringa, E. Esveld, E. Schewe, I. Berg, R.V.D. and Bartels, P. (2001) Osmotic dehydration as a pretreatment before combined microwave-hot air-drying of mushroom. *Journal of Food Engineering*, 49, 185-191.
- Tulek, Y. (2011) Drying kinetics of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) in a convective hot air dryer. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 13, 655-664.