

اثر پیش تیمار و روش های مختلف خشک کردن بر روند خشک شدن، بافت، رنگ، مقدار و سرعت باز جذب آب ورقه های قارچ دکمه‌ای (*Agaricus bisporus*)

سمیرا شمائی^۱ - زهرا امام جمعه^{۲*}

تاریخ دریافت: ۸۸/۱۲/۲۰

تاریخ پذیرش: ۸۹/۹/۲۷

چکیده

در این پژوهش اثر سه پیش تیمار آنزیم بری با آب داغ، بخار آب و غوطه‌وری در محلول متابی سولفیت پتاسیم در روش خشک کردن هوای داغ، تحت خلاء و روش ترکیبی مایکروویو همراه با هوای داغ بر روی سینتیک خشک کردن، بافت، رنگ، ظرفیت و سرعت باز جذب آب ورقه های قارچ دکمه‌ای (*Agaricus bisporus*) مورد بررسی قرار گرفت. خصوصیات بافتی قارچ های دکمه‌ای در طول خشک کردن و باز جذب آب به کمک بافت سنج (Texture analyzer) اندازه‌گیری شد. تغییرات رنگ نمونه در طول خشک کردن و پس از باز جذب آب به کمک رنگ سنج هانتربل (Hunterlab colorimeter) ارزیابی شد. نتایج نشان داد در طول خشک کردن سختی نمونه‌های قارچ افزایش می‌یابد. پیش تیمار متابی سولفیت پتاسیم، ساختار و سرعت باز جذب آب نمونه‌های خشک شده را بهبود می‌دهد اما اثر متفاوتی بر روی رنگ دارد. انرژی مایکروویو زمان خشک کردن را کاهش می‌دهد و می‌تواند ساختار، رنگ و بافت نمونه نهایی را نیز متعادل کند. با توجه نوع پیش تیمار اعمال شده قبل از خشک کردن اثر تیمار مایکروویو بر رنگ متفاوت بود. نمونه‌های مایکروویو شده همچنین بالاترین سرعت باز جذب آب را در بین نمونه ها نشان داد.

واژه های کلیدی: قارچ، خشک کردن مایکروویو همراه با هوای داغ، تغییرات رنگ، خصوصیات بافتی، ظرفیت و سرعت باز جذب آب

مقدمه

قارچ های صدفی مورد استفاده قرار گرفته است و برای انجام این فرآیند از خشک کنه‌های مختلفی از قبیل خشک‌کن کابینتی هوای داغ، انجمادی، بستر سیال و خورشیدی استفاده شده است. ضمن خشک کردن میوه‌ها و سبزیجات فروپاشی سلولی^۳ اتفاق می‌افتد، که نتیجه آن انسداد بیشتر حفرات است که این پدیده فرآیند خشک کردن و به دنبال آن باز جذب آب را با مشکل مواجه می‌کند (Lozano et al., 1980).

در طول خشک کردن با هوای داغ مقدار فروپاشی سلولی با مقدار افت رطوبت در طول فرآیند متناسب است، (Zogzas et al., 1994; Singh et al., 2008). این فروپاشی روی آروما، ظرفیت و سرعت باز جذب آب نیز اثر منفی می‌گذارد (Karathanos and Saravacos, 1993; Krokida et al., 2003; Vadivambal and Jayas, 2007). برای حل این مشکل تکنیک‌های دیگر خشک کردن از قبیل خشک کردن انجمادی، پفکی و روش های ترکیبی مانند مایکروویو، مادون قرمز، میدان الکتریکی همراه با هوای داغ پیشنهاد شده‌اند که

استفاده از قارچ به عنوان یک ماده غذایی دارای قدمت زیادی است. در بین وارینه‌های متفاوت قارچ، کمتر از ۲۵ گونه به عنوان غذا پذیرفته شده‌است و تعداد کمی دارای اهمیت تجاری هستند (Angle and Tamhane, 1974; Kotwaliwale et al., 2007). قارچ دکمه‌ای (*Agaricus bisporus*) در بین انواع قارچ ها به طور گسترده‌تری در جهان کشت و مصرف می‌شود و سهمی در حدود ۴۰٪ از تولید قارچ های جهان را به خود اختصاص می‌دهد. قارچ ها شامل ۳۲/۷ پروتئین خام، ۲/۴ چربی خام، ۴۷/۷ کربوهیدرات کل هستند اما بسیار فسادپذیرند. بلافاصله پس از برداشت تغییر رنگ آن ها آغاز می‌شود لذا به دلیل گسترش زمان نگهداری، باید تحت فرآیند قرار بگیرند. خشک کردن یکی از معمولترین روش هایی است که برای

۱ و ۴ به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیار گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران
(Email: emamj@ut.ac.ir) * نویسنده مسئول:

پایلو خشک شدند. خشک کردن توسط هوای داغ با دمای 80°C که موازی ورقه های قارچ با سرعت ۱/۵ متر بر ثانیه در حرکت بود، انجام شد. به منظور به دست آوردن سینتیک خشک کردن افت رطوبت در فواصل زمانی ۵ دقیقه ای از ۳۰ دقیقه بعد از شروع فرآیند تا ۳۰ دقیقه قبل از اتمام آن و سپس در فواصل زمانی ۱۰ دقیقه ای تا اتمام از طریق وزن کردن توسط ترازوی دیجیتال محاسبه شد. خشک کردن تا رسیدن به محتویات رطوبت ۰/۲ کیلوگرم به کیلوگرم بر پایه خشک ادامه یافت.

خشک کردن تحت خلاء: در این خشک کن (Croydon, England, No. 0 80 20)، شرایط خلاء توسط یک پمپ خلاء و یک فشار سنج کنترل شد. نمونه‌ها در فواصل زمانی تنظیم شده از خشک کن خارج شدند و وزن آنها توسط یک ترازوی دیجیتال، با دقت $0/001$ گرم تعیین گردید. دمای خشک کن در 55°C و فشار محفظه آن در ۷۵ کیلو پاسکال تنظیم شد. خشک کردن تحت خلاء نیز همانند هوای داغ تا رسیدن به محتویات رطوبت ۰/۲ کیلوگرم به کیلوگرم بر پایه خشک ادامه یافت.

خشک کردن مایکروویوی همراه با هوای داغ: در این روش ابتدا نمونه‌ها توسط جریان هوای داغ تا رسیدن به محتویات رطوبت ۰/۳ کیلوگرم به کیلوگرم بر پایه خشک، خشک شده و سپس جریان مایکروویو جهت خشک کردن نهایی برقرار شد. به این منظور یک آون مایکروویو خانگی (بوتان، MR-1، ایران، با بیشینه توان قابل تنظیم ۱۰۰۰ وات در فرکانس ۲۴۵۰ مگاهرتز) استفاده شد. در آزمایشات اولیه مشخص شد که در ۸۰۰ وات و ۶۰۰ وات نمونه‌ها دچار سوختگی می‌شدند، بنابراین تنها توان ۴۰۰ وات و ۳۰۰ وات به ترتیب برای زمان های ۵، ۱۰ و ۱۵ ثانیه قابل استفاده بود.

در این کار نمونه‌ها در مرکز سینی چرخان در توان ۳۰۰ وات مایکروویو به مدت ۱۰ ثانیه قرار داده شدند، استفاده از سینی چرخان به دلیل رسیدن به حرارت یکنواخت روی نمونه‌ها و کاهش سطح توان مایکروویو بر مگنترون ضروری بود (Khrasheh et al., 1997; Vadivambal and Jayas, 2007). در این روش همه نمونه‌ها تا رسیدن به رطوبت ۰/۱۸ - ۰/۲ کیلوگرم به کیلوگرم بر پایه خشک شدند.

روش های اندازه گیری کمی و کیفی

اندازه‌گیری‌ها روی نمونه‌های تازه و خشک شده در ۳ تکرار انجام شد. محتویات رطوبت توسط آون تحت خلاء در 70°C به مدت ۲۴ ساعت تعیین شد.

در این میان روش های ترکیبی گسترش زیادی پیدا کرده‌اند (Maskan, 2001; Ulrich and Helmar, 2001; Bazhal et al., 2002; Askari et al., 2006) زیرا تولیدات حاصل از خشک کن های انجمادی ساختاری بسیار متخلخل می‌یابند و به این دلیل این محصولات مستعد واکنشهای اکسیداتیو می‌شوند. به علاوه خشک کردن انجمادی، روشی نسبتاً گرانبه است که برای هر ماده غذایی قابل استفاده نمی‌باشد. همچنین، گزارش شده که پیش تیمارهای متفاوت روی قارچ، مانند شستن با آب، غوطه‌وری در متابی سولفیت پتاسیم، قند و نمک به تنهایی یا در ترکیب با هم قبل از خشک کردن، می‌تواند به پایداری رنگ، افزایش نگهداری طعم و حفظ خصوصیات بافتی آن کمک کند (Walde et al., 2001).

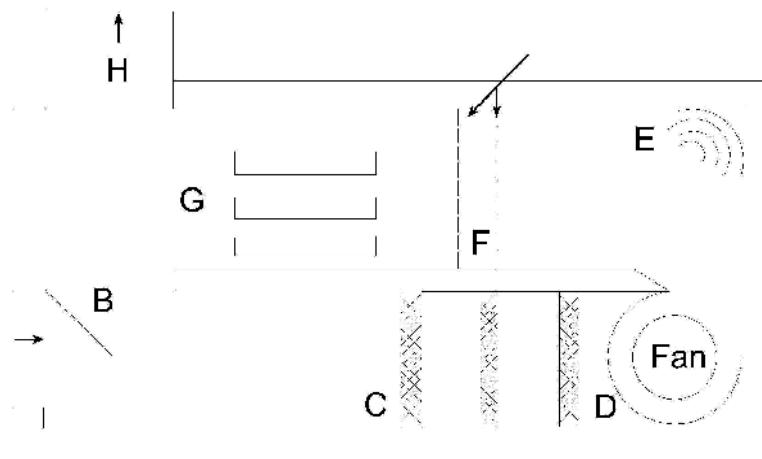
تحقیقات انجام شده در مورد خشک کردن قارچ بیشتر در مورد محاسبه سرعت و زمان مناسب خشک شدن متمرکز بودند، لذا در این پژوهش بهبود خصوصیات ساختاری و ظاهری ورقه های قارچ خشک شده به وسیله اعمال پیش تیمارهای آنزیم بری با آب داغ و بخار و غوطه‌وری در محلول متابی سولفیت پتاسیم مورد توجه واقع شد. در ضمن عملیات خشک کردن در این تحقیق با استفاده از روش ترکیبی مایکروویو همراه با هوای داغ انجام شد.

مواد و روش‌ها

قارچهای دکمه‌ای تازه (*A. bisporus*) با محتویات رطوبت ۱۵٪ بر اساس وزن خشک از شرکت ملارد خریداری شدند. مقدار ۵۰ گرم قارچ دکمه‌ای از ساقه‌هایشان جدا شده، با آب شسته و آب سطحی آنها توسط دستمال گرفته شد. سپس با یک چاقوی تیز به طور عمودی به ورقه های ۱ میلی متر به منظور افزایش سطح خشک کردن بریده شدند سطح نمونه‌ها حدوداً بین ۱۳ تا ۱۷ سانتی متر مربع بود. نمونه‌های حاصل بلافاصله پس از برش تحت پیش تیمارهای متفاوتی از جمله آنزیم بری با آب داغ ($95 \pm 2^{\circ}\text{C}$) به مدت ۴ دقیقه و بخار آب به مدت ۳ دقیقه و غوطه‌وری در محلول متابی سولفیت پتاسیم (۱ وزن-وزنی) به مدت ۱۵ دقیقه و به دنبال آن آنزیم بری با آب داغ 95°C به مدت ۴ دقیقه قرار گرفتند (Kotwaliwale et al., 2007). در هر سه مورد پس از اعمال پیش تیمار نمونه‌ها با آب سرد شسته شده و سپس آب سطحی آنها با دستمال گرفته شد. این موارد در سه تکرار انجام گرفت.

روش‌های خشک کردن

خشک کردن با هوای داغ: ورقه‌های قارچ در یک خشک کن کابینتی هوای داغ (Tray dryer, Armfield, England) در سطح



شکل ۴ - نمای ساده خشک کن کابینتی (B) ورود هوای تازه، (C) کوپل های گرم کننده، (F) تورها، (G) سینی ها، (H) خروج هوا

برای حصول آن از روش سوراخ کردن^۴ استفاده شد (Thompson *et al.*, 1982). تنش در بیشینه نیرو با سختی ورقه های قارچ مرتبط است. برای انجام اندازه گیری ها از بافت سنج (Hounsfield, UK) و Texture analyzer (Model H5ks) با پروب استوانه ای با قطر ۶/۴ میلی متر و سرعت ثابت ۲۰ میلی متر بر دقیقه استفاده شد. سختی نمونه های قارچ توسط روش سوراخ کردن ارزیابی شد. میزان تنش بر حسب مگا پاسکال از معادله زیر به دست آمد:

$$\sigma = \frac{F}{A} \times 10^6 \quad (4)$$

در فرمول فوق σ میزان تنش (مگاپاسکال)، F نیرو (نیوتن) و A (متر مربع) را نشان می دهد.

باز جذب آب

نمونه های خشک در ۳ دمای متفاوت ۸۰، ۷۰، و ۹۰ °C در آب قرار داده شده سپس در فواصل زمانی مختلف ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۵ دقیقه از آب خارج و وزن شدند. نسبت نمونه ها به محلول بر اساس وزنی $\frac{1}{10}$ بود. محتویات رطوبت نمونه هایی که آب جذب کردند بر طبق AOAC 1980 مورد بررسی قرار گرفت. محتویات رطوبت بعد از باز جذب آب به صورت محتویات رطوبت نرمال شده^۵ (NMC) بیان شد که برای محاسبه آن معادله زیر مورد استفاده گرفت:

$$NMC = \frac{x_t}{x_0} \quad (5)$$

x_0 و x_t به ترتیب نشان دهنده محتویات رطوبت در زمان t و در

ارزیابی رنگ

رنگ نمونه ها قبل و بعد از خشک کردن بوسیله هانتر لیب (DP-900USA) اندازه گیری شد و مقادیر رنگ به صورت L^* (میزان روشنی)^۱، a^* (میزان قرمزی)^۲ و b^* (میزان زردی)^۳ اظهار شدند. برای توصیف تغییرات رنگ در طول خشک کردن از شاخص ΔE (اختلاف رنگ کل نمونه ها از قارچ های تازه) استفاده شد که این شاخص به صورت زیر تعریف می شود:

$$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2} \quad (1)$$

مربوط به رنگ خوانده شده از قارچ تازه و L_0 ، a_0 و b_0 اندیس های به ترتیب میزان روشنی، قرمزی و زردی نمونه های L^* ، a^* و b^* خشک است. در واقع قارچ تازه به عنوان شاهد استفاده شد، مقدار نشان دهنده تغییر رنگ بیشتر نسبت به ماده شاهد است ΔE زیاد (Maskan, 2001).

شاخص قهوه ای شدن (BI) که خلوص رنگ قهوه ای را نشان می دهد و به عنوان یک عامل مهم مربوط به قهوه ای شدن در نظر گرفته شده به صورت زیر محاسبه شد (Askari *et al.*, 2006):

$$BI = \frac{[100 - (x - 0/31)]}{0/17} \quad (2)$$

$$X = \frac{(a + 1/75L)}{(5/645L + a - 3/012b)} \quad (3)$$

ارزیابی بافت

نمونه ها ابتدا به مدت ۱۵ دقیقه آبیگری مجدد شده سپس بافت نمونه ها بوسیله اندازه گیری میزان تنش در بیشینه نیرو، ارزیابی شد که

4- puncture test

5- Normalized Moisture Content

1- Whiteness/darkness
2- Redness/greenness
3- Yellowness/blueness

زمان اولیه هستند.

تجزیه و تحلیل آماری

آزمایش‌ها هر یک ۳ بار تکرار شد و ارزیابی واریانس نتایج (ANOVA) به کمک نرم‌افزار MSTATC انجام گرفت. میانگین‌های به دست آمده از هر سری از داده‌ها با استفاده از مقایسه میانگین دانکن به صورت تصادفی (در سطح احتمال ۰/۰۱) مقایسه و گروه‌بندی شدند.

نتایج و بحث

سینتیک‌های باز جذب آب: شکل ۱، یک مثال از منحنی‌های سرعت باز جذب آب تحت شرایط فرآیندی مشخص را نشان می‌دهد. واضح است که رفتار سینتیک‌های باز جذب آب وابسته به روش خشک کردن می‌باشد. همان‌طور که در شکل نشان داده شده نمونه‌هایی که با متابی سولفیت پتاسیم تیمار شده و سپس توسط مایکروویو خشک شدند در مقایسه با بقیه تیمارها به سطح بالاتری از باز جذب آب دست یافتند. نتایج نشان داد که روش‌های متفاوت خشک کردن اثر معنی‌داری بر سرعت باز جذب آب دارند.

کاربرد مایکروویو سرعت باز جذب آب را به طور معنی‌داری افزایش می‌دهد که علت آن افزایش خلل و فرج در طول مرحله خشک کردن است (Askari et al., 2006). انرژی مایکروویو در بخش‌های میانی نمونه‌ها به سرعت به حرارت تبدیل می‌شود و این خود ایجاد یک فشار درونی را در پی دارد که به طور عمده‌ای بر روی نمونه‌های اثر می‌گذارد و در نهایت منجر به ایجاد بافت پف کرده سلولی در طول تیمار مایکروویو می‌شود. اما دیواره سلولی نمی‌تواند تغییر حجم ایجاد شده را نگه دارد و در نهایت ساختار سلولی به حالت ابتدایی نزدیک می‌شود ولی به هر حال در مقایسه با خشک کردن با هوای داغ ساختار نمونه‌های خشک شده توسط مایکروویو دارای خلل و فرج بیشتری است (Askari et al., 2006).

خشک کردن تحت خلاء نیز سرعت باز جذب آب قابل رقابتی را با روش مایکروویو همراه با هوای داغ نشان می‌دهد، که این موضوع قبلاً توسط (Giri and Prasad, 2007) گزارش شده بود. نتایج نشان می‌دهد که سرعت باز جذب آب به وسیله کاهش فشار فرآیند خشک کردن، افزایش می‌یابد. همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود روشی که برای تیمار نمونه‌ها قبل از خشک کردن استفاده می‌شود به طور معنی‌داری روی سرعت باز جذب آب اثر می‌گذارد. پیش تیمار آنزیم بری با بخار، ما را به سطح بیشتری از باز جذب آب در مقایسه با پیش تیمارهای دیگر دست می‌یابیم اما این پیش تیمار خود منجر به تغییر رنگ (واکنش قهوه‌ای شدن) در نمونه‌های خشک شده می‌شود.

بافت

بافت قارچ در طول فرآیند باز جذب آب تغییر می‌کند. جدول ۱ بیشینه نیروی (سختی) قارچ‌ها را برای پیش تیمارهای مختلف (قبل از خشک کردن) در دماهای متفاوت باز جذب آب، مقایسه می‌کند. این واضح است که سختی قارچ‌ها در طول فرآیند باز جذب آب، کاهش می‌یابد. کاهش سختی به دلیل نرم شدن فیبرها و بافت به خاطر جذب آب می‌باشد. ارزیابی‌های آماری نشان داد که سختی قارچ‌هایی که آب جذب کردند در دماهای مختلف به طور معنی‌داری متفاوت است. پیش تیمارها نیز اثر معنی‌داری روی سختی قارچ‌هایی که آب جذب کردند، دارند به طوری که سختی نمونه‌هایی که در متابی سولفیت پتاسیم غوطه‌ور شدند، به طور معنی‌داری با نمونه‌های بلانچ شده با آب داغ و بخار متفاوت است. این نتایج با نتایجی که توسط (Kotwaliwale et al., 2007) به دست آمده بود مطابقت دارد.

مقایسه روش‌های خشک کردن نشان داد که نمونه‌های خشک شده با هوای داغ سختی بیشتری را نسبت به دیگر نمونه‌ها نشان دادند (شکل ۲). حداقل سختی مربوط به نمونه‌های خشک شده با مایکروویو همراه با هوای داغ بود که این موضوع به دلیل تخلخل بالایی است که توسط مایکروویو در ساختار نمونه ایجاد می‌شود. این نتایج مشابه نتایج حاصل در مورد سرعت باز جذب آب است؛ یعنی ساختار سخت تر سرعت جذب آب کمتری دارد.

رنگ

سنجش رنگ توسط اختلاف رنگ کل (ΔE) و شاخص قهوه‌ای شدن (BI) بیان شد که برای همه‌ی روش‌های خشک کردن و پیش تیمارها در شکل ۳ می‌توان آن را مشاهده کرد. پارامترهای رنگ تحت تأثیر روش‌های خشک کردن هستند، و همچنین پیش تیمارهای انجام شده قبل از خشک کردن نیز بر رنگ نمونه‌ها اثر معنی‌داری دارند. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود در بین پیش تیمارهای متفاوت آنزیم بری باعث تولید پیگمان‌های قهوه‌ای می‌شود. پیش تیمار متابی سولفیت پتاسیم نمی‌تواند تغییرات رنگ در طول خشک کردن را مینیمم کند. بخار دادن باعث افزایش شاخص قهوه‌ای شدن و تغییر رنگ در طول فرآیند خشک کردن به دلیل کاربرد دمای بالا می‌شود.

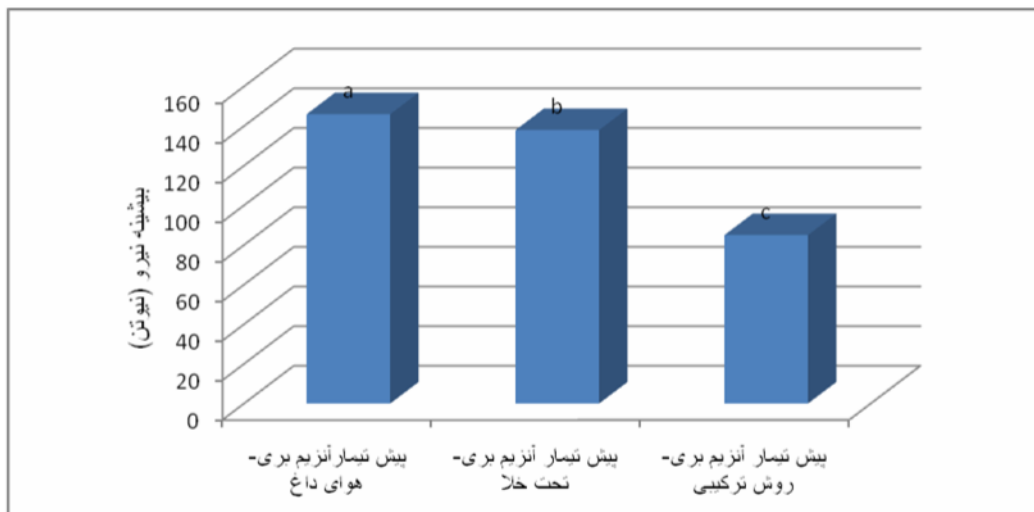
هرچه زمان خشک کردن طولانی‌تر باشد شاخص قهوه‌ای شدن بیشتر می‌شود لذا شاخص قهوه‌ای شدن برای خشک کردن با هوای داغ نسبت به دیگر روش‌ها بیشتر است زیرا در زمان طولانی تری اتفاق می‌افتد. همچنین حداقل تغییر رنگ (ΔE) برای فرآیند خشک کردن با مایکروویو دیده شد.

جدول ۴ تغییرات بافت قارچ در طول باز جذب آب

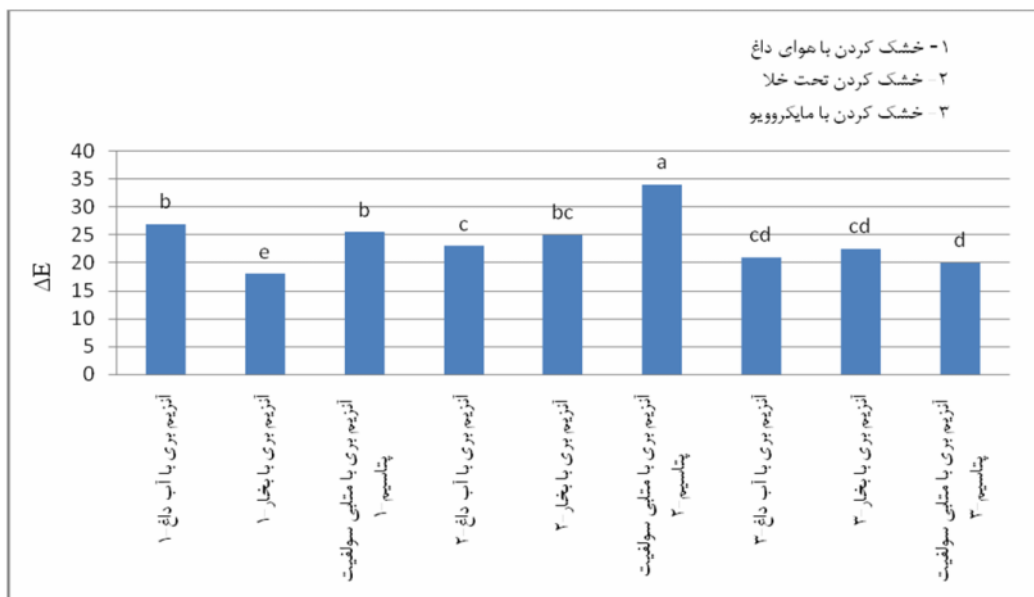
پیش تیمار	دمای جذب آب (°C)	بیشینه نیرو قبل از جذب آب (N)	بیشینه نیرو بعد از جذب آب (N)
آب داغ	۷۰		2.39±0.16
	۸۰	154.6±0.03	2.65±0.09
	۹۰		3.54±0.23
بخار	۷۰		2.95±0.32
	۸۰	140.8±1.09	2.79±0.24
	۹۰		2.55±0.33
متابی سولفیت پتاسیم	۷۰		2.52±0.42
	۸۰	54.9±4.2	2.44±0.32
	۹۰		2.88±0.29

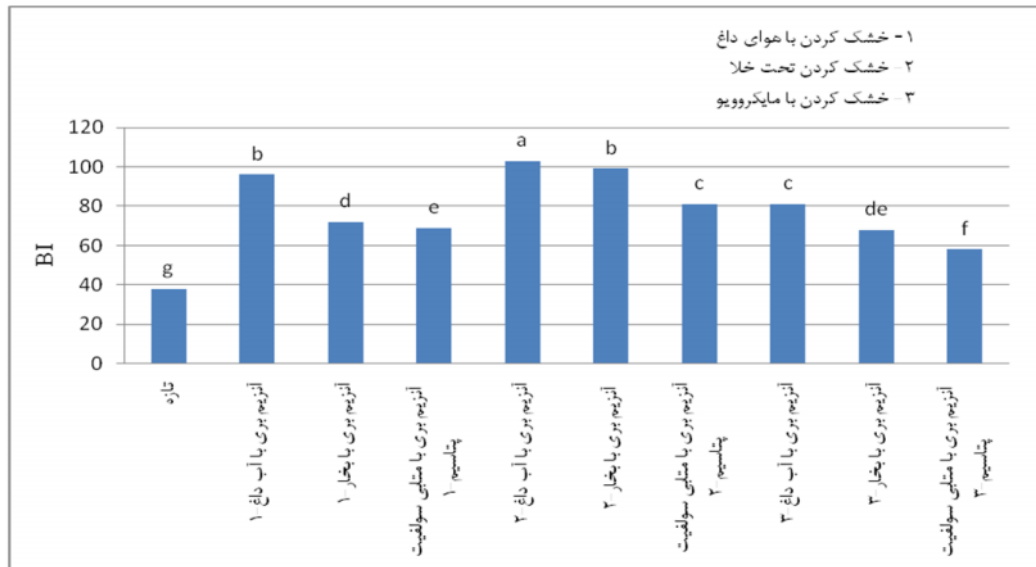


شکل ۴ سینتیک های باز جذب آب در دمای ۷۰ °C قارچ های خشک شده توسط پیش تیمارها و روش های مختلف خشک کردن



شکل ۴ بیشینه نیروی اندازه‌گیری نمونه‌های خشک‌شده با روش‌های متفاوت





شکل ۴ شاخص قهوه ای شدن (BI) و تغییرات رنگ (ΔE) اندازه گیری شده نمونه های مختلف

شد. پیش تیمار متابی سولفیت پتاسیم خصوصیات ساختاری و سرعت باز جذب آب نمونه های خشک شده را بهبود می دهد. اما اثر متفاوتی بر روی رنگ دارد. انرژی مایکروویو زمان خشک کردن را کاهش می دهد و می تواند ساختار، رنگ و بافت تولید نهایی را متعادل کند.

نتیجه گیری

اثر پیش تیمارها در ترکیب با روش های خشک کردن هوای داغ، خلاء و مایکروویو همراه با هوای داغ بر روی پیشرفت فرآیند خشک کردن، بافت، رنگ و سرعت باز جذب آب بر ورقه های قارچ رسیدگی

منابع

- 1- Angle, R. Y. and Tamhane, D. V. 1974. Mushrooms: An exotic source of nutritious and palatable food. Indian Food Packer. 28(5), 22-28.
- 2- Askari, G. R., Emam-Djomeh, Z. and Mousavi, S. M. 2006. Effects of combined coating and microwave assisted hot-air drying on the texture, microstructure and rehydration characteristics of apple Slices. Food Science and Technology International. 12(1), 39-46.
- 3- Associated of official Analytical chemist Official Methods of Analysis. Washington DC: AOAC. 1980.
- 4- Bazhal, M. I., Ngadi, M. O. and Rahgavan, V. G. S. 2002. Textural change in apple tissue during combined pressure and pulsed electrical field treatment, the proceedings of AIC 2002 Meeting CSAE/SCGR Program Saskatoon. Saskatchewan, Canada. 134-141.
- 5- Giri, S. K. and Prasad, S. 2007. Drying kinetics and rehydration characteristics of microwave-vacuum and convective hot-air dried mushroom. Food Engineering. 78, 512-521.
- 6- Karathanos, V. T. and Saravacos, G. D. 1993. Porosity and pore size distribution of starch materials. Food Engineering. 18, 259-280.
- 7- Khraisheh, M. A.M., Cooper, T.J. R. and Magee T.R.A. 1997. Shrinkage characteristics of potatoes dehydrated under combined microwave and convective air conditions. Drying Technology International. 15, 1003-1022.
- 8- Kotwaliwale, N., Bakane, P. and Verma A. 2007. Changes in textural and optical properties of Oyster mushroom during hot air drying. Food Engineering. 78, 1207-1211.
- 9- Krokida, M.K., Karathanos, V.T., Maroulis, Z.B. and Marinos-Kouris, D. 2003. Drying kinetics of some vegetables. Food Engineering. 59, 391-403.
- 10- Lozano J. E., Rotestein, E. and Urbican, M. J. 1980. Total porosity and open-pore porosity in the drying of fruits. Food Science. 45, 1403-1407.
- 11- Maskan, M. 2001. Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot-air and Microwave drying. Food Engineering. 48, 177-182.
- 12- Singh, U.; Jain, S.; Doshi, A.; Jain, H. and Chahar, V. 2008. Effects of Pretreatments on Drying Characteristics of Button Mushroom. International Journal of Food Engineering. 4, 4, Article 5.
- 13- Thompson, R. L., Fleming, H. P., Hamann, D. D. and Monroe R. J. 1982. Method for determination of firmness of

- cucumber slices. *Texture Studies*. 13, 311-324.
- 14- Ulrich, E. and Helmar, S. 2001. Combined Osmotic and Microwave-vacuum dehydration of apples and strawberries. *Food Engineering*. 49, 193-199.
- 15- Vadivambal, R. and Jayas, D.S. 2007. Changes in quality of microwave-treated agricultural products-a review. *Biosystem Engineering*. 98, 1 – 16.
- 16- Walde, S. G., Velu, V., Jyothirmayi, T. and Math, R. G. 2001. Effects of pretreatments and drying methods on dehydration of mushroom. *Food Engineering*. 74, 108-115.
- 17- Zogzas, N. P., Maroulis, Z. B., and Marinou-kouris, D. 1994. Densities, shrinkages and porosity of some vegetable during hot-air drying. *Drying Technology*. 12, 1653-1666.