

ارزیابی پارامترهای کیفی و راندمان خشک کردن قارچ دکمه‌ای در خشک‌کن هیبریدی مایکروویو - جریان هوای گرم

امین عمری^۱، ناصر بهروزی خزاعی^{۲*}، فاروق شریفیان^۳

۱- فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

۲- استادیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

* نویسنده مسئول (nasserbehroozi@gmail.com & nbehroozi@uok.ac.ir)

۳- استادیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

چکیده

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۶/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۰۴

واژه‌های کلیدی

چگالی توان

ظرفیت بازجذبی

پارامترهای رنگ

زمان خشک کردن

در این پژوهش قارچ خوراکی دکمه‌ای به صورت کامل، با استفاده از خشک‌کن ترکیبی مایکروویو - جریان هوای گرم در دو حالت چگالی توان ثابت و متغیر با سطوح چگالی توان (۱/۵، ۲ و ۲/۵ وات بر گرم) و ۳ سطح دمای ۲۳ (محیط)، ۵۰ و ۷۰ درجه سلسیوس برای جریان هوای گرم ورودی خشک شد. سپس راندمان خشک کردن و کیفیت نهایی محصول خشک شده (رنگ و ظرفیت بازجذبی) مورد ارزیابی قرار گرفت. بیشترین مقدار راندمان خشک کردن در حالت چگالی توان ثابت ۱/۵ با دمای ۲۳ درجه سلسیوس، ۴۴/۴۴ درصد به دست آمد. نتایج ارزیابی پارامترهای رنگی نشان داد که محصول خشک شده در حالت چگالی توان ثابت کیفیت ظاهری (رنگ) بهتری نسبت به حالت متغیر داشت و افزایش سطوح چگالی توان و کاهش دما باعث کاهش کیفیت محصول از بابت رنگ شد. همچنین محصول خشک شده با چگالی توان ثابت در مقایسه با چگالی توان متغیر و استفاده از هوای گرم نسبت به هوای محیط باعث افزایش ظرفیت بازجذبی محصول شد.

مقدمه

که با محدود کردن رشد میکروارگانیسم‌ها و فعالیت‌های آنزیمی زمان ماندگاری این محصول را از چندروز به چندماه تا یکسال افزایش می‌دهد (خوش تقاضا و همکاران، ۱۳۹۵؛ Zhang et al., 2005). از میان روش‌های خشک کردن، در روش هیبریدی مایکروویو-هوای گرم، عملیات خشک کردن محصولات کشاورزی به صورت ترکیبی انجام می‌گیرد و انتقال حرارت به دو روش همرفتی به کمک جریان هوای گرم و گرمایش حجمی به کمک مایکروویو صورت می‌گیرد که منجر به آن می‌شود که خشک کردن محصولات با این روش ترکیبی مزایای هر دو روش خشک کردن به روش مایکروویو و جریان هوای گرم را

قارچ‌ها به دلیل سرعت تنفس، محتوای رطوبتی و فعالیت‌های آنزیمی بالا دارای دوره ماندگاری بسیار کم نسبت به سایر محصولات هستند و تقریباً بعد از برداشت، کاهش کیفیت آن شروع می‌شود. لذا باتوجه به ارزش تغذیه‌ای بالای قارچ و زمان ماندگاری پایین آن انجام اقداماتی جهت افزایش زمان ماندگاری با حفظ ارزش تغذیه‌ای آن حائز اهمیت است (Kotwaliwale et al., 2007; Argyropoulous et al., 2011). باتوجه به نقش عمده آب در فسادپذیری قارچ خوراکی که حدود ۹۰ درصد از این محصول را تشکیل می‌دهد، خشک کردن یکی از روش‌های مناسب است

خشک‌شدن و هم بر میزان انرژی مصرفی دستگاه خشک‌کن تأثیرگذار است.

نوع خشک‌کن و شرایط خشک‌کردن روی پارامترهای کیفی محصول خشک‌شده مانند رنگ، چروکیدگی، ظرفیت بازجذبی، بافت و ویتامین‌ها، میزان انرژی مصرفی و راندمان خشک‌کن بسیار تأثیرگذار است. Alibas (۲۰۰۷) برای خشک‌کردن کدوتنبیل از ۳ روش مایکروویو، جریان هوای گرم و روش ترکیبی جریان هوای گرم-مایکروویو استفاده نمود و مشاهده کرد مناسب‌ترین روش برای خشک‌کردن این محصول با در نظر گرفتن زمان، انرژی مصرفی و تغییرات رنگ روش ترکیبی جریان هوای گرم-مایکروویو است. مطلوب‌ترین شرایط در این روش خشک‌کردن با دمای هوای ۷۵ درجه سلسیوس و توان مایکروویو ۳۵۰ وات است که در این حالت زمان خشک‌شدن ۳۰ دقیقه و انرژی مصرفی ۰/۲۹ کیلووات ساعت بود. Prasad و Sharma (۲۰۰۶) از خشک‌کن ترکیبی جریان هوای گرم-مایکروویو برای خشک‌کردن پیازچه سیر استفاده کردند. در این تحقیق اثر توان مایکروویو، سرعت و دمای هوا را بر پارامترهای کیفی محصول خشک‌شده نظیر (رنگ، بو، ویتامین C و ضریب بازجذبی آب) و مقدار انرژی مخصوص مصرفی بررسی کردند. نتایج نشان داد که بهترین شرایط خشک‌کردن باتوجه به پارامترهای کیفی مورد نظر و همچنین کمترین میزان انرژی مصرفی، توان ۴۰ وات، دمای ۷۰ درجه سلسیوس و سرعت هوای ۱ متر بر ثانیه است. شریفیان (۱۳۹۱) به مدل‌سازی و بهینه‌سازی فرایند خشک‌کردن انجیر با استفاده از خشک‌کن مایکروویو پرداخت. نتایج حاصله نشان داد که با افزایش چگالی توان مایکروویو رنگ محصول نهایی روشن‌تر می‌شود و مقدار چروکیدگی کمتر می‌شود. ضمن اینکه مقدار انرژی مخصوص مصرفی نیز با افزایش چگالی توان کاهش می‌یابد. Kisselmina و همکاران (۲۰۱۳) در خشک‌کردن برگه گوجه‌فرنگی به روش ترکیبی مایکروویو-جریان هوای گرم در دو حالت چگالی توان ثابت و متغیر، سعی در بهبود کیفیت محصول خشک‌شده داشتند. نتایج حاصله نشان داد که در روش خشک‌کردن با چگالی

هم‌زمان دارا باشد (Zhang *et al.*, 2005). در واقع در خشک‌کردن به روش هوای گرم، خشک‌کردن از سطح محصول آغاز می‌شود و به تدریج به عمق نفوذ می‌کند. درحالی‌که در روش مایکروویو به دلیل عمقی‌بودن حرارت تولیدشده از نوسانات و برخورد مولکول‌های قطبی آب درون محصول، رطوبت محصول از درون محصول به سمت سطح حرکت می‌کند، جریان هوای گرم نیز در جذب آب آزاد موجود در سطح یا نزدیک سطح نقش مهم و مؤثری دارد (Andres *et al.*, 2004; Lee و Rhim, 2008). (Abbasi Souraki & Mowala, 2011) از این روش برای خشک‌کردن قارچ اسلایس‌شده و قارچ کامل استفاده کردند. همچنین Toringa و همکاران (۲۰۰۱) اثر پیش‌تیمار اسمزی و خشک‌کردن در خشک‌کن هیبریدی مایکروویو-هوای گرم بر نرخ خشک‌شدن و کیفیت اسلاید قارچ را بررسی کردند.

چگالی توان یکی از عوامل اصلی تأثیرگذار بر فرایند خشک‌شدن محصولات در خشک‌کن‌های مایکروویو است. در اغلب پژوهش‌های قبلی (Kisselmina *et al.*, 2013; Li *et al.*, 2011) ابتدای فرایند خشک‌کردن یک سطح توان به دستگاه اعمال‌شده و تا انتهای فرایند ثابت باقی‌می‌ماند. لذا در طول فرایند خشک‌کردن به دلیل کاهش محتوای رطوبتی محصول و ثابت‌بودن سطح توان دستگاه، چگالی توان (گرم/وات) به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا می‌کند و به چند برابر مقدار چگالی توان اولیه می‌رسد. افزایش چگالی توان باعث افزایش شدید و بی‌هدف دمای محصول در مراحل پایانی فرایند خشک‌شدن، ایجاد سوختگی در سطح محصول و آسیب جدی به بافت داخلی محصول و به‌طور کلی افت کیفیت محصول نهایی می‌شود. برای جلوگیری از کاهش کیفیت محصول، می‌توان توان ورودی به خشک‌کن در طول فرایند خشک‌کردن باتوجه به مقدار کاهش رطوبت محصول کم کرد تا چگالی توان در حین انجام فرایند تقریباً ثابت بماند (Kisselmina *et al.*, 2013). دما و سرعت هوای ورودی شاخص‌های مهمی در خشک‌کردن به روش جریان هوای گرم یا ترکیب این روش با سایر روش‌هاست که هم بر شدت

مواد و روش‌ها

محصول

در این پژوهش از قارچ دکمه‌ای استفاده شد و تا قبل از شروع آزمایش‌ها به‌منظور حفظ رنگ ظاهری، طراوت و تازگی در یخچال و در دمای 1 ± 4 درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. برای تعیین رطوبت اولیه محصول از استاندارد AOAC (۱۹۸۰) استفاده گردید. در این پژوهش نمونه‌های قارچ به‌صورت کامل روی سینی محفظه خشک‌کن قرار داده شد (شکل ۱-الف).



ب



الف

شکل ۱- الف) نمونه‌های قارچ روی سینی، ب) نمای از محفظه خشک‌کن

توان ثابت محصول خشک‌شده دارای بافت بهتر، میزان چروکیدگی کمتر و تغییرات رنگ کمتری نسبت به حالت چگالی توان متغیر است.

اکثر پژوهش‌های انجام‌گرفته با چگالی توان متغیر بوده است. در تحقیق حاضر آزمایش‌ها به دو حالت چگالی توان ثابت و متغیر با سطوح چگالی توان مختلف در دماهای مختلف هوای گرم روی قارچ دکمه‌ای انجام گرفت تا تأثیر این عوامل تأثیرگذار روی پارامترهای کیفی رنگ، ظرفیت بازجذبی، زمان خشک‌شدن و راندمان خشک‌کن ارزیابی گردد.

محفظه خشک‌کن به‌صورت یک مستطیل در ابعاد $22 \times 35 \times 38$ سانتی‌متر ساخته شده و از جنس ورقه گالوانیزه است (شکل ۱-ب). جریان هوای گرم که از قسمت پایین محفظه از یک صفحه فلزی مشبک وارد محفظه خشک‌کن می‌شود و پس از عبور از میان لایه محصول از یک کانال دیگر که در قسمت بالای محفظه تعبیه‌شده است همراه با بخار آب حاصل از خشک‌شدن محصول خارج می‌شود. برای اندازه‌گیری جرم محصول از یک نیروسنج خمشی (Sewhacnm، AB120، ساخت کره) با دقت ۱ گرم استفاده شد.

تیمارهای آزمایش

آزمایش‌ها براساس طرح آماری کاملاً تصادفی در قالب فاکتوریل بود. فاکتورهای مورد مطالعه در این تحقیق، شامل حالت چگالی توان در دو حالت متغیر (بدون تغییر توان ورودی، شکل ۲-الف) و ثابت (با تغییر توان ورودی، شکل ۲-ب)، ۳ سطح چگالی توان ۱/۵، ۲ و ۲/۵ وات بر گرم (شریفیان، ۱۳۹۱؛ محبی، ۱۳۹۳؛

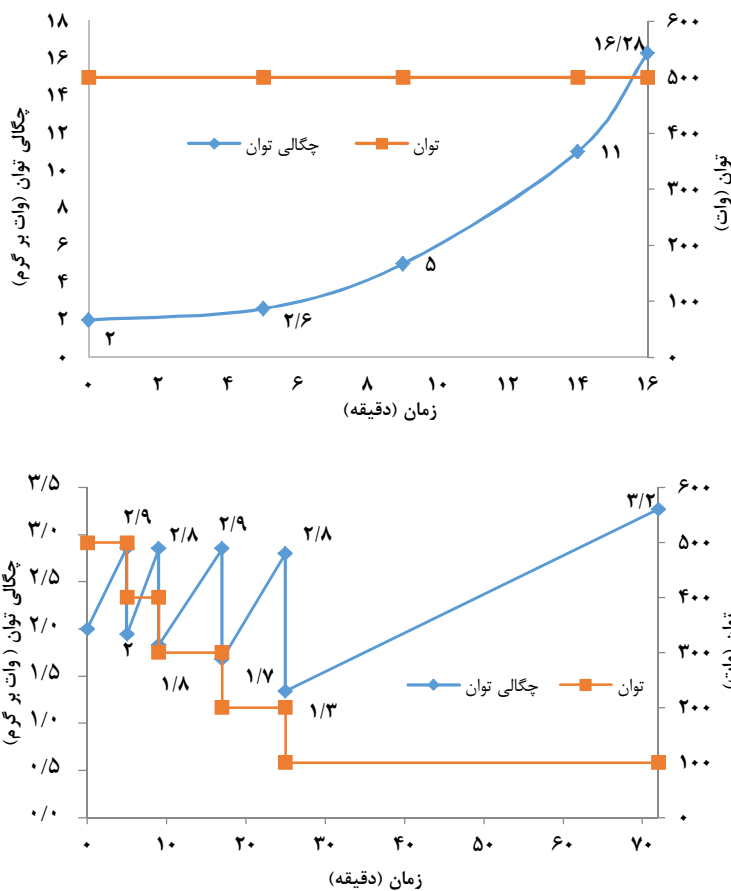
دستگاه خشک‌کن

برای انجام آزمایش‌ها از دستگاه خشک‌کن موجود در آزمایشگاه خواص گروه مهندسی بیوسیستم دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه که توسط حاضر وظیفه (۱۳۹۱) طراحی و ساخته‌شده بود، استفاده شد. خشک‌کن موردنظر یک خشک‌کن هیبریدی مایکروویو-جریان هوای گرم می‌باشد.

برای ایجاد جریان هوا با سرعت‌های مختلف از یک دمنده محوری و یک دیمر استفاده شده است. هوا قبل از وارد شدن به محفظه خشک‌کن برای گرم کردن از میان ۶ المنت حرارتی عبور می‌کند و برای کنترل دمای هوای گرم ورودی به محفظه خشک‌کن از یک حسگر دما (مدل PT100، ساخت چین) در مسیر جریان هوای گرم، ترموستات و کنتاکتور استفاده شد. همچنین برای تولید امواج مایکروویو از یک لامپ مگنترون با توان ۱/۳ کیلووات و فرکانس ۲/۴۵ مگاهرتز استفاده شد.

درصد بر پایه تَر ادامه داشت و تمام آزمایش‌ها در ۳ تکرار انجام گرفت. برای ثابت نگه‌داشتن چگالی توان، توان ورودی دستگاه باتوجه به میزان کاهش جرم محصول کاهش داده شد تا میزان چگالی توان در طول آزمایش تقریباً ثابت بماند. البته باتوجه به محدودیت دستگاه و وجود ۵ سطح توانی ۵۰۰، ۴۰۰، ۳۰۰، ۲۰۰ و ۱۰۰ وات در طی آزمایش‌ها، فقط ۴ مرحله کاهش توان را می‌توان اعمال کرد (شکل ۲-ب).

(Kisselmina *et al.*, 2013) در ابتدای فرایند و دمای هوای ورودی در ۳ سطح به ترتیب ۲۳ (دمای محیط)، ۵۰ و ۷۰ درجه سلسیوس بود (حاضر وظیفه، ۱۳۹۱؛ محبی، ۱۳۹۳). چگالی توان (وات بر گرم) میکروویو عبارت است از تقسیم میزان توان مصرفی توسط لامپ مگنترون نسبت به وزن محصول. همچنین سرعت هوای ورودی در تمام تیمارها مقدار ثابت ۰/۲۵ متر بر ثانیه و خشک کردن تا رسیدن به محتوای رطوبتی ۱۰



شکل ۲ - تغییرات توان و چگالی توان با زمان (الف) چگالی توان متغیر، (ب) چگالی توان تقریباً ثابت (دمای هوا ۷۰ درجه سلسیوس و چگالی توان ۲ وات بر گرم)

اندازه‌گیری پارامترهای کیفی به منظور ارزیابی کیفیت محصول خشک‌شده، تغییرات رنگ محصول و ظرفیت بازجذبی محصول در تیمارهای مختلف مورد مطالعه قرار گرفت. جهت مطالعه تغییرات رنگ محصول خشک‌شده از یک سامانه بینایی ماشین که متشکل از یک محفظه تصویربرداری، سیستم روشنایی با استفاده از ۴ لامپ هالوژن و یک دوربین تصویربرداری (Cybershot

اندازه‌گیری پارامترهای کیفی به همراه الگوریتم ساده پردازش تصویر برای اندازه‌گیری تغییرات رنگ در فضای $L^*a^*b^*$ قبل و بعد از خشک‌شدن استفاده شد (Sharifian *et al.*, 2013). الگوریتم پردازش تصویر مورد نظر در نرم‌افزار Matlab نسخه ۲۰۱۵ نوشته شد و برای تبدیل تصاویر RGB گرفته‌شده توسط دوربین به فضای رنگی $L^*a^*b^*$ از دستور `rgb2lab` استفاده شد. برای این منظور در هر تیمار آزمایش، ۳ نمونه از

اندازه‌گیری پارامترهای کیفی به همراه الگوریتم ساده پردازش تصویر برای اندازه‌گیری تغییرات رنگ در فضای $L^*a^*b^*$ قبل و بعد از خشک‌شدن استفاده شد (Sharifian *et al.*, 2013). الگوریتم پردازش تصویر مورد نظر در نرم‌افزار Matlab نسخه ۲۰۱۵ نوشته شد و برای تبدیل تصاویر RGB گرفته‌شده توسط دوربین به فضای رنگی $L^*a^*b^*$ از دستور `rgb2lab` استفاده شد. برای این منظور در هر تیمار آزمایش، ۳ نمونه از

راندمان انرژی خشک کردن

جریان برق ورودی به مدار تغذیه لامپ مگنترون و همچنین جریان برق مورد استفاده در قسمت جریان هوای گرم، ابتدا از یک انرژی سنج عبور داده شد و سپس وارد مدار تغذیه گردید. روی صفحه نمایش این انرژی سنج، ولتاژ، جریان عبوری، توان مصرفی و همچنین کل انرژی مصرفی در زمان کارکرد دستگاه نمایش داده می‌شود. راندمان انرژی خشک کردن از طریق رابطه (۶) محاسبه شد (Hazervazifeh *et al.*, 2016; Horuz *et al.*, 2016).

رابطه (۶)

$$\eta = \frac{W_{eva} \times \lambda}{E_1 + E_2} \times 100$$

در رابطه (۶)، پارامترها عبارتند از E_1 : انرژی کل مصرفی در طول فرایند برای تولید جریان هوای گرم (کیلوژول)، E_2 : انرژی کل مصرفی در طول فرایند برای تولید امواج میکروویو (کیلوژول)، W_{eva} : جرم رطوبت خارج شده از محصول (گرم) و λ برابر با گرمای نهان تبخیر آب (۲۲۶۰ کیلوژول) می‌باشد.

آنالیز آماری

برای تحلیل نتایج این تحقیق باتوجه به تأثیر هم‌زمان چندین عامل در فرایند خشک کردن محصول، تیمارهای مختلف آزمایش براساس طرح کاملاً تصادفی در قالب فاکتوریل انجام شد. تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها برای بررسی تأثیر متغیرهای مستقل و اثرات متقابل میانگین‌ها با نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۹ انجام شد. علاوه بر این از آزمون توکی برای مقایسه میانگین‌ها در سطح ۵ درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

مقدار رطوبت اولیه محصول بر پایه تَر ۸۹/۶۵ درصد به دست آمد. نتایج حاصل از تجزیه واریانس زمان خشک کردن (جدول ۱) نشان‌دهنده آن است که اثر فاکتورهای سطوح چگالی توان، حالت چگالی توان، دما و اثر متقابل دما و حالت چگالی توان روی زمان خشک کردن در سطح ۱ درصد معنی‌دار است ولی اثر متقابل سایر فاکتورها معنی‌دار نیست.

محصول به صورت تصادفی انتخاب و شماره‌گذاری شدند. قبل و بعد از خشک شدن از هریک از نمونه‌ها تصویربرداری شد و علاوه بر شاخص‌های رنگ L^* ، a^* و b^* ، تغییر کلی رنگ (ΔE)، کروما یا شاخص اشباع (C) و شاخص قهوه‌ای شدن محصول (Bi) با استفاده از رابطه‌های (۱) تا (۴) محاسبه شدند (شریفیان، ۱۳۹۱؛ محبی، ۱۳۹۳):

رابطه (۱)

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

رابطه (۲)

$$C = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

رابطه (۳)

$$BI = \frac{[100(x-0.31)]}{0.17}$$

رابطه (۴)

$$x = \frac{(a^* + 1.75L^*)}{(5.64L^* + a^* - 3.012b^*)}$$

در رابطه‌های (۱)، (۲)، (۳) و (۴)، میانگین مقادیر اولیه پارامترهای رنگی $L_0^* = 69/41$ ، $a_0^* = 3/11$ و $b_0^* = 11/21$ به دست آمد.

برای اندازه‌گیری ظرفیت بازجذبی نمونه‌ها از روش غوطه‌ورسازی در آب مقطر استفاده شد. از نمونه‌های خشک شده هر تکرار، ۳ نمونه انتخاب شده و پس از توزین به ۲۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شدند و به مدت ۲ ساعت در دمای اتاق (23 ± 2 درجه سانتی‌گراد) نگهداری شدند (محبی، ۱۳۹۳). بعد از آن نمونه‌ها از آب مقطر خارج و رطوبت سطحی آنها با دستمال نرم گرفته شد و نمونه دوباره توزین شدند. ظرفیت بازجذبی با استفاده از رابطه (۵) محاسبه شد (محبی، ۱۳۹۳).

رابطه (۵)

$$Rr = \frac{W_r}{W_d}$$

در رابطه (۵)، پارامترها به ترتیب عبارتند از Rr : ظرفیت بازجذبی، W_r : جرم نمونه بعد از آب‌گیری مجدد بر حسب گرم و W_d : جرم نمونه خشک شده بر حسب گرم است.

جدول ۱ - نتایج آنالیز واریانس زمان خشک کردن، ظرفیت با جذب و راندمان خشک کردن

راندمان	میانگین مربعات		درجه آزادی	منابع تغییرات
	ظرفیت با جذب	زمان		
۱۰۵/۵**	۰/۰۳۷*	۵۸۳۶/۷۴**	۲	سطوح چگالی توان
۸۵۱/۳**	۰/۳۹۷**	۳۰۲۸/۹**	۲	دما
۳۶۴/۳۶**	۰/۶۸۳**	۱۳۸۰/۱**	۱	حالت چگالی توان
۱۱/۹۶**	۰/۰۱ ^{ns}	۳۷/۱۸ ^{ns}	۴	سطوح چگالی توان × دما
۲/۳۱**	۰/۰۱۱ ^{ns}	۶/۲۳ ^{ns}	۲	سطوح چگالی توان × حالت چگالی توان
۱۷۱/۶**	۰/۰۵۹**	۱۲۶۶۰/۱**	۲	دما × حالت چگالی توان
۷/۹۴**	۰/۰۰۸ ^{ns}	۱۰/۲۳ ^{ns}	۴	سطوح چگالی توان × حالت چگالی توان × دما
۰/۰۲۴	۰/۰۱	۲۴/۶۱	۳۶	خطای آزمایش
			۵۳	کل

** معنی دار در سطح ۱ درصد، * معنی دار در سطح ۵ درصد و ^{ns} عدم وجود اختلاف معنی دار

جدول ۲ - مقایسه میانگین های زمان خشک کردن

سطوح چگالی توان			دما	حالت چگالی توان
۱/۵	۲	۲/۵		
۳۵ ^{hi}	۵۲ ^{fg}	۸۱ ^{cd}	۲۳	متغیر
۲۴ ^{ij}	۴۲ ^{gh}	۵۶ ^{fg}	۵۰	
۱۶ ⁱ	۳۳/۳ ^{hi}	۵۲ ^{fg}	۷۰	
۸۳/۳۳ ^{cd}	۱۰۲/۶۶ ^b	۱۲۷/۳۳ ^a	۲۳	ثابت
۶۵/۴ ^{ef}	۸۴ ^{cd}	۹۶ ^{bc}	۵۰	
۵۸ ^{ef}	۷۱ ^{de}	۹۰ ^{bc}	۷۰	

حروف غیرمشابه نشان دهنده اختلاف معنی دار میانگین ها در سطح احتمال ۵ درصد در آزمون توکی است.

نتایج آنالیز واریانس پارامترهای رنگ نشان دهنده آن بود (جدول ۳) اثر فاکتور دما و حالت چگالی توان روی هر ۶ شاخص معنی دار بوده و نیز اثر فاکتور سطح چگالی توان به جزء شاخص ^a روی سایر شاخص ها معنی دار است. در مورد اثر متقابل فاکتور نیز مشاهده شد که به جزء اثر متقابل فاکتور دما-حالت چگالی توان که روی شاخص ^a معنی دار شد اثر متقابل هیچ فاکتور دیگری روی شاخص های رنگی معنی دار نیست. نتایج مقایسه میانگین ها (جدول ۴) نشان دهنده آن است که کمترین مقدار ^{L*} (روشنایی) برابر ۵۲/۱۴ می باشد، یعنی بیشترین تغییرات نسبت به مقدار اولیه ^{L*} مربوط به تیماری با حالت چگالی توان متغیر ۲/۵ وات بر گرم و دمای ۲۳ درجه سلسیوس است. یعنی تیره تر شدن محصول خشک شده، که این تیمار دارای بیشترین مقدار برای ^a (قرمزی - سبزی) و ^b (زردی

همچنین نتایج مقایسه میانگین ها (جدول ۲)

نشان می دهد که بیشترین زمان خشک کردن ۱۲۷/۳۲ دقیقه مربوط به تیماری با حالت چگالی توان ثابت ۱/۵ وات بر گرم و دمای ۲۳ درجه سلسیوس (دمای محیط) و کمترین زمان خشک شدن نیز ۱۶ دقیقه مربوط به چگالی توان متغیر ۲/۵ وات بر گرم و دمای ۷۰ درجه سلسیوس می باشد. با افزایش دمای هوای گرم و چگالی توان زمان خشک کردن کاهش می یابد. همچنین ثابت نگهداشتن چگالی توان باعث افزایش زمان خشک کردن به نسبت قابل توجهی نسبت به حالت چگالی توان متغیر شده است.

در حالت چگالی توان متغیر سطوح توانی ورودی به دستگاه در طول فرایند ثابت می ماند، در نتیجه مقدار چگالی توان در طول فرایند بسیار افزایش می یابد و تقریباً ۸/۲ برابر می شود. برای مثال چگالی توان متغیر ۲ وات بر گرم در ابتدای فرایند این مقدار به ۱۶/۴ وات بر گرم در پایان فرایند می رسد که این باعث کاهش چشم گیری در زمان فرایند نسبت به حالت چگالی توان ثابت می شود که در پایان فرایند مقدار آن تقریباً ۳/۲۷ وات بر گرم می رسد. محققین دیگر نیز در خشک کردن با چگالی توان ثابت و متغیر به نتایج مشابهی دست یافتند (Kisselmina et al., 2012; Botha et al. 2013). شریفیان (۱۳۹۱) در خشک کردن انجیر با چگالی توان متغیر به نتایج مشابهی دست یافت.

- آبی) که به ترتیب ۱۶/۲۸ و ۴۵/۹۹ (بیشترین مقدار تغییرات نسبت به مقدار اولیه a^* و b^*) است که تمایل

به قرمزی و زردی محصول را نشان می‌دهد.

جدول ۳ - نتایج آنالیز واریانس پارامترهای رنگی در خشک کردن قارچ

C	میانگین مربعات					درجه آزادی	منابع تغییرات
	Bi	ΔE	b^*	a^*	L^*		
۳۴۵/۶**	۸۹۱۴/۸**	۴۱۴/۹۸**	۳۴۸/۵۶**	۸/۱۹ ^{ns}	۷۲/۸۳**	۲	سطوح چگالی توان
۵۹۳/۳**	۱۶۳۰۴/۹**	۸۱۷/۱۵**	۵۱۶/۷۳**	۷۷/۹۵**	۲۶۵/۷۸**	۲	دما
۷۶۴/۰۱**	۱۹۳۸۹/۹**	۹۶۰/۷۸**	۶۱۹/۲۹**	۶۸/۲**	۲۸۸/۳۱**	۱	حالت چگالی توان
۸/۹ ^{ns}	۳۶۶/۴ ^{ns}	۶/۷ ^{ns}	۱۰/۹۸ ^{ns}	۱/۸۴ ^{ns}	۰/۳۷۶ ^{ns}	۴	سطوح چگالی توان × دما
۳۹/۵ ^{ns}	۲۱۵۵/۴ ^{ns}	۴۹/۷ ^{ns}	۵۰/۰۳ ^{ns}	۲/۲۴ ^{ns}	۱۲/۲ ^{ns}	۲	سطوح چگالی توان × حالت چگالی توان
۴۷/۱ ^{ns}	۱۳۵۴/۲ ^{ns}	۵۳/۲ ^{ns}	۴۷/۸۶ ^{ns}	۸/۴*	۱۰/۹۱ ^{ns}	۲	دما × حالت چگالی توان
۱۲/۹۹ ^{ns}	۱۴۸ ^{ns}	۱۴/۳۴ ^{ns}	۱۱/۵۲ ^{ns}	۱/۸۹ ^{ns}	۱/۵۳ ^{ns}	۴	سطوح چگالی توان × حالت چگالی توان × دما
۳۵/۵۴	۸۸۴/۵۸	۳۴/۴	۳۹/۷	۲/۵۶	۹/۵۳	۳۶	خطای آزمایش
						۵۳	کل

** معنی‌دار در سطح ۱ درصد، * معنی‌دار در سطح ۵ درصد و ^{ns} عدم وجود اختلاف معنی‌دار

جدول ۴ - مقایسه میانگین‌های پارامترهای رنگی در خشک کردن قارچ

C	میانگین مربعات					سطح چگالی توان	دما	حالت چگالی توان
	Bi	ΔE	b^*	a^*	L^*			
۳۹/۹۴ ^{ab}	۱۱۸/۵ ^{abc}	۳۱/۵ ^{abcd}	۳۶/۷۲ ^{abc}	۱۵/۶ ^{ab}	۵۶/۵۸ ^{cde}	۱/۵		
۴۲/۹۲ ^{ab}	۱۴۰ ^{ab}	۳۵/۲۵ ^{ab}	۳۹/۹۸ ^{ab}	۱۵/۶۷ ^{ab}	۵۴/۳۶ ^{de}	۲	۲۳	
۴۸/۶ ^a	۱۹۷/۱ ^a	۴۱/۰۸ ^a	۴۵/۹۹ ^a	۱۶/۲۸ ^a	۵۲/۱۴ ^e	۲/۵		
۲۹/۳۸ ^{bc}	۶۶/۹۲ ^{bc}	۱۸/۸۲ ^{bcde}	۲۷/۲۳ ^{abc}	۱۰/۹۲ ^{bc}	۶۳/۹۱ ^{abc}	۱/۵		
۳۲/۳۸ ^{abc}	۸۰/۸۱ ^{bc}	۲۲/۴۳ ^{bcde}	۳۰/۲۷ ^{abc}	۱۱/۱۲ ^{bc}	۶۲/۰۴ ^{abcd}	۲	۵۰	متغیر
۳۹/۶ ^{abc}	۱۱۱/۹۶ ^{abc}	۳۰/۲۹ ^{abcd}	۳۷/۹۱ ^{abc}	۱۱/۴۱ ^{abc}	۵۸/۵۴ ^{abcde}	۲/۵		
۲۵/۷۴ ^{bc}	۵۶/۶ ^{bc}	۱۵/۲۱ ^{cde}	۲۲/۳۵ ^{bc}	۱۰/۸۲ ^{bc}	۶۴/۸۹ ^{abc}	۱/۵		
۳۶/۳ ^{abc}	۹۷/۲ ^{bc}	۲۶/۱۴ ^{abcde}	۳۴/۴۳ ^{abc}	۱۱/۳۴ ^{bc}	۶۱/۲۸ ^{abcde}	۲	۷۰	
۴۱/۸۲ ^{ab}	۱۲۹/۸۵ ^{abc}	۳۲/۷۷ ^{abc}	۳۹/۹۷ ^{ab}	۱۱/۶۴ ^{abc}	۵۷/۷۴ ^{bcde}	۲/۵		
۳۲/۹۵ ^{abc}	۸۴ ^{bc}	۲۳/۵ ^{abcd}	۳۱/۴ ^{abc}	۱۰/۶ ^c	۶۰/۴۷ ^{abcde}	۱/۵		
۳۵/۸ ^{abc}	۹۷/۵ ^{bc}	۲۶/۸ ^{abcd}	۳۳/۵ ^{abc}	۱۱/۹۶ ^{sbc}	۵۸/۹۹ ^{abcde}	۲	۲۳	
۳۸/۳۴ ^{abc}	۱۱۱/۷ ^{abc}	۳۱/۳۷ ^{abcd}	۳۵/۸ ^{abc}	۱۴/۵۴ ^{abc}	۵۷/۸۵ ^{abcde}	۲/۵		
۲۶/۲۳ ^{bc}	۵۷/۰۳ ^{bc}	۱۵/۳۷ ^{cde}	۲۴/۴۷ ^{bc}	۹/۳۹ ^c	۶۵/۳۶ ^{abc}	۱/۵		
۳۰/۳۷ ^{abc}	۷۱/۲۹ ^{bc}	۱۹/۹۵ ^{bcde}	۲۸/۵۱ ^{abc}	۱۰/۲۱ ^c	۶۳/۵۸ ^{abcd}	۲	۵۰	ثابت
۳۱/۶۹ ^{abc}	۷۴/۸ ^{bc}	۲۱/۶۳ ^{bcde}	۲۹/۷۵ ^{abc}	۱۰/۸۷ ^{bc}	۶۲/۵۶ ^{abcd}	۲/۵		
۲۰/۹۴ ^c	۴۲/۳۲ ^c	۱۰/۱ ^e	۱۸/۸۸ ^c	۹/۰۴ ^c	۶۷/۴۳ ^a	۱/۵		
۲۴/۹۸ ^{bc}	۵۲/۴۱ ^{bc}	۱۳/۸۸ ^{de}	۲۳/۲۱ ^{bc}	۹/۲۳ ^c	۶۶/۵۶ ^{ab}	۲	۷۰	
۲۵/۴۷ ^{bc}	۵۴/۶۱ ^{bc}	۱۴/۹۷ ^{cde}	۲۳/۶۵ ^{bc}	۹/۲۷ ^c	۶۵/۶۶ ^{abc}	۲/۵		

حروف غیرمشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد در آزمون توکی است.

کمترین مقدار برای a^* و b^* (کمترین مقدار تغییرات نسبت به مقدار اولیه a^* و b^*) می‌باشد.

درمورد اثر سطوح چگالی توان همان‌طورکه مشاهده می‌شود در هر دو حالت چگالی توان ثابت و

بیشترین مقدار L^* برابر ۶۷/۴۳ یعنی کمترین تغییرات نسبت به مقدار اولیه L^* مربوط به تیماری با چگالی توان ثابت ۱/۵ وات بر گرم و دمای ۷۰ درجه سلسیوس است، ضمن اینکه همین تیمار دارای

سانتی‌گراد معنی‌دار نیست. همچنین در هر دو حالت چگالی توان ثابت و متغیر با افزایش چگالی توان میزان ظرفیت بازجذب آب افزایش می‌یابد هرچند در اکثر تیمارها این افزایش معنی‌دار نمی‌باشد. محبی (۱۳۹۳) نیز در خشک‌کردن گوجه‌فرنگی با حالت ترکیبی میکروویو جریان هوای گرم به نتایج مشابهی دست‌یافت. ولی تغییر حالت چگالی توان کاملاً اثر معنی‌داری از خود نشان می‌دهد و همچنین تغییر حالت نیز از چگالی توان متغیر به ثابت به‌غیر از دمای ۲۳ درجه سانتی‌گراد نیز باعث افزایش این شاخص کیفی می‌شود. دلیل آن این است که در حالت چگالی توان متغیر به‌خاطر اینکه محصول در زمان بسیار کوتاهی حجم زیادی از رطوبت خود را از دست می‌دهد و از طرف دیگر مقدار چگالی توان در مراحل پایانی خشک‌شدن بسیار بالا می‌رود و تقریباً ۸/۲ برابر مقدار اولیه شده و باعث تخریب بافت و کاهش ظرفیت بازجذبی محصول می‌شود، ولی در حالت چگالی توان ثابت سعی شده با کاهش سطوح توانی دستگاه در طول فرایند خشک‌کردن مقدار چگالی توان تقریباً ثابت نگاه‌داشته شود و از افزایش چگالی توان که باعث تخریب بافت و کاهش ظرفیت بازجذبی محصول می‌شود، جلوگیری گردد.

جدول ۵ - مقایسه میانگین‌های ظرفیت بازجذب خشک‌کردن قارچ

سطوح چگالی توان			حالت چگالی توان
۲/۵	۲	۱/۵	
۲/۲۰۳ ^b	۲/۱۶۳ ^{bc}	۲/۱۳ ^{bc}	۲۳ متغیر
۲/۱۸۲ ^b	۲/۱۲ ^{bed}	۲/۱۵ ^{bc}	۵۰
۲/۱۹۶ ^b	۲/۱۸۴ ^b	۲/۱۷ ^{bc}	۷۰
۱/۸۷۳ ^{cde}	۱/۸۳۳ ^{de}	۱/۷۹ ^e	۲۳ ثابت
۲/۳۴ ^{ab}	۲/۲۸ ^{ab}	۲/۲۶۶ ^{ab}	۵۰
۲/۵۱ ^a	۲/۳۰ ^{ab}	۲/۲۷۵ ^{ab}	۷۰

حروف غیرمشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد در آزمون توکی است.

Dondee و همکاران (۲۰۱۱) در خشک‌کردن دانه‌های سویا در حالت ثابت نگاه‌داشتن توان با کنترل دما به نتایج مشابهی دست‌یافت و نشان دادند که در این حالت به‌دلیل کنترل توان محصول نهایی

متغیر و در هر ۳ سطح دما با افزایش مقدار چگالی توان مقدار تغییرات L^* ، a^* و b^* نیز بیشتر شده و محصول رنگ تیره‌تری به‌خودگرفته و تمایل به قرمز و زردی نیز در محصول زیاد می‌شود. Li و همکاران (۲۰۱۰) در خشک‌کردن سیب در خشک‌کن میکروویو، نوری و همکاران (۱۳۹۱) در خشک‌کردن جعفری در خشک‌کن میکروویو-هوای گرم و شریفیان (۱۳۹۱) در خشک‌کردن انجیر در خشک‌کن میکروویو به نتایج مشابهی دست‌یافت.

تغییرات رنگ کلی محصول تابع ۳ مؤلفه L^* ، a^* و b^* است. بیشترین مقدار ΔE برابر ۴۱/۰۸ است که مربوط به تیماری با چگالی توان متغیر ۲/۵ وات بر گرم و دمای ۲۳ درجه سلسیوس است. شاخص قهوه‌ای‌شدن دیگر پارامتر رنگی است که در نتیجه فعالیت‌های آنزیمی و غیرآنزیمی است. بیشترین مقدار این شاخص نیز در همین تیمار اتفاق افتاد و مقدار آن ۱۹۷/۱ بود که آن هم به‌دلیل حالت چگالی توان متغیر و به طبع آن بالا رفتن دمای محصول بخصوص در انتهای فرایند خشک‌کردن و تغییرات زیاد مقادیر L^* ، a^* و b^* اتفاق می‌افتاد. فرایند جذب مجدد آب محصولات خشک‌شده بستگی به تغییرات ساختار در بافت‌های گیاهی و سلول‌های مواد غذایی دارد. نتایج آنالیز واریانس نشان‌دهنده آن است (جدول ۱) که اثر فاکتور دما، حالت چگالی توان و اثر متقابل دما و حالت چگالی توان در مقدار ظرفیت بازجذبی در سطح ۱ درصد معنی‌دار و اثر سطوح چگالی توان در سطح ۵ درصد معنی‌دار است، ولی اثر سایر فاکتورها معنی‌دار نبود. جدول (۵) نتایج مقایسه میانگین‌های تغییرات ظرفیت بازجذبی آب را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود بیشترین مقدار ظرفیت بازجذب آب ۲/۵۱ است که مربوط به تیمار با چگالی توان ثابت ۲/۵ وات بر گرم و دمای ۷۰ درجه سلسیوس است و کمترین مقدار آن نیز ۱/۷۹ مربوط به تیمار با چگالی توان ثابت ۱/۵ با حالت ثابت و دمای ۲۳ درجه سلسیوس است.

در هر دو حالت چگالی توان ثابت و متغیر با افزایش دما میزان ظرفیت بازجذب آب افزایش می‌یابد. هرچند این افزایش از دمای ۵۰ به دمای ۷۰ درجه

جدول ۶ - مقایسه میانگین‌های راندمان خشک کردن

حالت چگالی توان	سطوح چگالی توان		
	۲/۵	۲	۱/۵
متغیر	۳۷/۶۷ ^{abc}	۳۱/۷۲ ^{ab}	۳۰/۸۶ ^b
	۲۴/۵۳ ^{bcde}	۱۹/۲۵ ^{bcd}	۱۷/۸۲ ^{bc}
	۲۶/۹۶ ^a	۱۶/۴۰ ^b	۱۵/۶۵ ^{bcd}
ثابت	۳۶/۸۳ ^{cde}	۴۱/۴۵ ^{de}	۴۴/۴۴ ^e
	۱۲/۹۱ ^{abc}	۱۳/۰۵ ^{abc}	۱۴/۲۲ ^{ab}
	۱۰/۷۹ ^a	۱۰/۱۴ ^{abe}	۹/۷۷ ^{ab}

حروف غیرمشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد در آزمون توکی است.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان‌دهنده آن بود که تغییر حالت چگالی توان از ثابت به متغیر، افزایش سطوح چگالی توان و افزایش دما باعث کاهش زمان فرایند خشک‌شدن محصول می‌شود. همچنین در حالت چگالی توان ثابت با دمای هوای ۵۰ و ۷۰ درجه سلسیوس دارای کمترین راندمان خشک‌کردن بود، که به دلیل استفاده از جریان هوای گرم در این دو سطح دماست و با ثابت‌بودن مقدار چگالی توان، زمان فرایند افزایش می‌یابد که باعث کاهش راندمان خشک‌کردن می‌شود. از نظر کیفیت محصول خشک‌شده با چگالی توان ثابت دارای کیفیت ظاهر (رنگ) بهتر نسبت به حالت چگالی توان متغیر است و افزایش سطوح چگالی توان باعث افزایش تغییرات رنگ، شاخص قهوه‌ای‌شدن و کروما و در نتیجه کاهش کیفیت ظاهری می‌شود و برعکس رنگ، افزایش چگالی توان و دما باعث افزایش مقدار ظرفیت بازجذبی محصول خشک‌شده می‌شود. در نهایت با توجه به راندمان و پارامترهای کیفی، خشک‌کردن با چگالی توان ثابت ۱/۵ در دمای ۲۳ درجه سلسیوس توصیه می‌شود.

خشک‌شده آسیب‌های بافتی کمتری می‌بیند و مقدار بازجذبی آن نیز افزایش می‌یابد. Li و همکاران (۲۰۱۱) نیز نشان دادند که محصول خشک‌شده به این روش دارای کیفیت رنگ بهتر نسبت به روش بدون کنترل دماست، چون در این روش از افزایش دمای محصول در طول فرایند جلوگیری و در نهایت محصول آسیب بافتی کمتری می‌بیند. Kisselmina و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که محصول خشک‌شده در حالت ترکیبی مایکروویو-جریان هوای گرم دارای بافت بهتر نسبت به چگالی توان متغیر بدون کنترل توان است.

نتایج آنالیز واریانس نشان‌دهنده آن است (جدول ۱) که اثر فاکتور دما، حالت چگالی توان و اثرات متقابل آنها روی راندمان خشک‌کردن در سطح ۱ درصد معنی‌دار است. جدول (۶) نتایج مقایسه میانگین راندمان خشک‌کردن را نشان می‌دهد. این نتایج نشان‌دهنده آن است که استفاده از دمای هوای محیط بیشترین راندمان را دارد. خشک‌کردن با دمای محیط و چگالی توان ثابت ۱/۵ بیشترین راندمان خشک‌کردن (۴۴/۴۴ درصد) و دمای ۷۰ و چگالی توان ثابت ۱/۵ کمترین راندمان خشک‌کردن (۹/۷۷ درصد) را دارد. نتایج این تحقیق با نتایج Horuz و همکاران (۲۰۱۸) که نشان داده‌اند بازده خشک‌کن مایکروویو با هوای گرم با دمای ۵۰ تا ۷۰ درجه سلسیوس در محدوده ۲۰-۱۰ درصد قرار دارد، همخوانی دارد. استفاده از هوای گرم به جای هوای محیط به شدت راندمان خشک‌کردن را کاهش می‌دهد. همچنین راندمان خشک‌کردن با هوای گرم و چگالی توان ثابت نسبت به هوای گرم با چگالی متغیر به خاطر بالا بودن زمان خشک‌کردن کم است.

منابع

- حاضر وظیفه، ا. (۱۳۹۱). طراحی، ساخت و ارزیابی خشک‌کن ترکیبی مایکروویو-هوای گرم. (پایان‌نامه کارشناسی ارشد)، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه.
- خوش تقاضا، م. ه.، حسین‌زاده سامانی، ب.، فیاضی، ا. و امیرنجات، ح. (۱۳۹۵). پیش‌بینی محتوی رطوبت خشک‌شدن لایه نازک قارچ خوراکی به کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی پس‌انتشار. فصلنامه علوم و صنایع غذایی، ۱۳ (۵۰)، ۱۷۱-۱۸۲.

- شریفیان، ف. (۱۳۹۱). مدل‌سازی و بهینه‌سازی فرایند خشک‌کردن انجیر با استفاده از خشک‌کن مایکروویو. (پایان‌نامه دکتري)، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه.
- محبی، ص. (۱۳۹۳). ارزیابی پارامترهای کیفی گوجه‌فرنگی در فرایند خشک‌کردن با روش‌های مختلف. (پایان‌نامه کارشناسی ارشد)، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه.
- نوری، م.، کاشانی‌نژاد، م.، دارایی گرمه‌خانی، ا. و بلندی، م. (۱۳۹۱). بهینه‌سازی فرایند خشک‌کردن جعفری با استفاده از روش ترکیبی هوای داغ-مایکروویو. نشریه فرآوری و نگهداری مواد غذایی، ۲(۴)، ۲۲-۱۰۳.
- Abbasi Souraki, B., & Mowla, D. (2008). Experimental and theoretical investigation of drying behavior of garlic in an inert medium fluidized bed assisted by microwave. *Journal of Food Engineering*, 88(4), 438-449. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.12.034>
- Alibas, I. (2007). Microwave, air and combined microwave-air drying parameters of pumpkin slices. *LWT-Food Science and Technology*, 40(80), 1445-1451. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2006.09.002>
- Andres, A., Bilbao, C., & Fito, P. (2004). Drying kinetics of apple cylinders under combined hot air-microwave dehydration. *Journal of Food Engineering*, 63(1), 71-78. doi:[https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00284-X](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00284-X)
- AOAC. (1980). *Official method of analysis*. (13th ed). Association of Official Analytical Chemists, Washington DC.
- Argyropoulos, D., Heindl, A., & Muller, J. (2011). Assessment of convection, Hot-air combined with microwavevacuum and freeze-drying methods for mushrooms with regard to product quality. *International Journal of Food Science and Technology*, 46(2), 333-342. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02500.x>
- Botha, G.E., Oliveira, J.C., & Ahrne, L. (2012). Microwave assisted air drying of osmotically treated pineapple with variable power programmes. *Journal of Food Engineering*, 108(2), 304-311. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.08.009>
- Dondee, S., Meeso, N., Soponronnarit, S., & Siriamornpun, S. (2011). Reducing cracking and breakage of soybean grains under combined near-infrared radiation and fluidized-bed drying. *Journal of Food Engineering*, 104(1), 6-13. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.11.018>
- Hazervazifeh, A. (2012). *Designing, manufacturing and evaluating microwave-hot air combination drier*. (Unpublished master's thesis), Agriculture College, Urmia University. (in Persian)
- Hazervazifeh, A., Moghaddam, P.A., & Nikbakht, A.M. (2016). Microwave dehydration of apple fruit: Investigation of drying efficiency and energy costs. *Journal of Food Process Engineering*, 40(3), e12463. doi:<https://doi.org/10.1111/jfpe.12463>
- Horuz, H., Bozkurt, H., Karataş, H., & Maskan, M. (2018). Simultaneous application of microwave energy and hot air to whole drying process of apple slices: drying kinetics, modeling, temperature profile and energy aspect. *Heat and Mass Transfer*, 54(2), 425-436. doi:<https://doi.org/10.1007/s00231-017-2152-y>
- Khoshtaghaza, M.H., Hosseinzadeh, B., Fayyazi, E., & Amirnejat, H. (2016). Prediction of thin layer drying of edible mushroom moisture content by feed forward artificial neural networks method. *Iranian Journal of Food Science and Technology*, 13(50), 171-182. (in Persian)
- Kisselmina, Y.K., Druon, C., Gnimpieba, E.Z., Delmotte, M., Duquenoy, A., & Laguerre, J.C. (2013). Power density control in microwave assisted air drying to improve quality of food. *Journal of Food Engineering*, 119(4), 750-757. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.06.044>
- Kotwaliwale, N., Bakane, P., & Verma, A. (2007). Change in textural and optical properties of oyster mushroom during hot air drying. *Journal of Food Engineering*, 78(4), 1207-1211. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.12.033>
- Li, Z., Raghavan, G. S. V., & Orsat, V. (2010). Temperature and power control in microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 97(4), 478-483. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.11.004>

- Li, Z., Raghavan, G.S.V., Wang, N., & Vigneault, C. (2011). Drying rate control in the middle stage of microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 104(2), 234-238. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.12.014>
- Mohebbi, S. (2013). *Evaluation of tomato quality parameters with different drying method*. (Unpublished master's thesis), Agriculture College, Urmia University. (in Persian)
- Noori, M., Kashaninejad, M., Daraei Garne Khani, A., & Bolandi, M. 2012. Optimization of drying process of parsley using the combination of hot air and microwave methods. *Electrical Journal of Food Processing and Preservation*, 4(2), 103-122. (in Persian)
- Rhim, J.W., & Lee, J.H. (2011). Drying kinetics of whole and sliced shiitake mushrooms (*lentinus edodes*). *Food Science and Biotechnology*, 20(2), 419-427. doi:<https://doi.org/10.1007/s10068-011-0059-9>
- Sharifian, F. (2012). *Modeling and optimizing of Fig drying process using microwave dryer*. (Unpublished doctoral dissertation), Agriculture College, Urmia University. (in Persian)
- Sharifian, F., Modarres-Motlagh, A., Komarizade, M.H., & Nikbakht, A.M. (2013). Colour change analysis of fig fruit during microwave drying. *International Journal of Food Engineering*, 9(1), 107-114. doi:<https://doi.org/10.1515/ijfe-2012-0211>
- Sharma, G.P., & Prasad, S. (2006). Optimization of process parameters for microwave drying of garlic cloves. *Journal of Food Engineering*, 75(4), 441-446. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.04.029>
- Torrington, E., Esveld, E., Scheewe, I., Berg, R.V.D., & Bartels, P. (2001). Osmotic dehydration as a pre-treatment before combined microwave-hot-air drying mushrooms. *Journal of Food Engineering*, 49(2-3), 185-191. doi:[https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00212-0](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00212-0)
- Zhang, M., Li, C.L., & Ding, X.L. (2005). Effects of heating conditions on the thermal denaturation of white mushroom suitable for dehydration. *Drying Technology*, 23(5), 1119-1125. doi:<https://doi.org/10.1081/DRT-200059145>

The Evaluation of Quality Parameters and Drying Efficiency of Button Mushroom in Hybrid Microwave-Hot Air Dryer

Amin Omari¹, Nasser Behroozi-Khazaei^{2*}, Faroogh Sharifian³

1- Department of Biosystems Engineering, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

2- Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

* Corresponding author (nasserbehroozi@gmail.com & nbehroozi@uok.ac.ir)

3- Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Urmia University, Urmia, Iran

Abstract

In this study, the button mushroom (*agaricus bisporus*) as a whole in a combined microwave-hot air dryer in two status of power density: fixed and variable, three levels of initial power density (1.5, 2 and 2.5 W/g) and three levels of hot air temperature (23, 50 and 70 °C) were dried. Drying efficiency and the final dried product quality (color and rehydration ratio) were evaluated. The highest drying efficiency (44.44%) was obtained with 1.5 fixed power density and 23 °C. The results of color parameters showed that the dried product in constant power density status had better appearance (color) than the variable mode and also increased power density levels and reduced the air temperature increased the color changes and decreased final products quality. Also the dried product with constant power density in compared with variable power density and using the hot air in compared with environmental air had higher rehydration ratio.

Keywords: Color Parameters, Drying Time, Power Density, Rehydration Capacity