

Research Article



DOI: 10.22034/ijche.2022.329279.1179



DOR: 20.1001.1.17355400.1402.22.127.3.4



This journal is an open access journal licensed under an Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International license (CC BY-NC-ND 4.0).

## Drying of Shitake Mushrooms Using a Combination of Convective-Infrared Dryer

M. Delangiz<sup>1</sup>, M. Shahiri Tabarestani<sup>2</sup>, K. Movagharnejad<sup>3\*</sup>

1- M. Sc. Student of Chemical Engineering, Babol Noshirvani University of Technology

2- Assistant Professor of Agricultural Engineering, Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran

3- Professor of Chemical Engineering, Babol Noshirvani University of Technology

Email: movagharnejad@yahoo.com

### Abstract

*In this study, a convective-infrared combined dryer was used to investigate the dehumidification process of Shitake edible-medicinal mushrooms. The effect of input variables including temperature, inlet air velocity and power in the combined hot-infrared air dryer on the drying time of the samples to reach the final humidity of 10% based on fresh weight, energy consumption, color changes, amount of antioxidants and phosphorus extracted were investigated. Design Expert software using central composite method has been used. After examining the effect of variables on process responses, it was found that with increasing temperature, speed and power, the amount of antioxidants increases. Increasing the temperature had a significant effect on the color and increased the amount of color changes on the surface of the samples. With increasing temperature, the speed and power of drying time decreased. The process was optimized to achieve the minimum amount of energy consumption, drying time of the samples and color changes of the surface of the samples and the maximum amount of antioxidants and phosphorus of dried shiitake mushroom extract. Optimal operating conditions were obtained at temperature, inlet air velocity and power of 54.88 °C, 0.53 m/s and 1183 w, respectively. In these conditions, the amount of energy consumption, time, color change, antioxidant and phosphorus predicted amount are equal to 1.05 kWh, 40.94 minutes, 32.24, 90.42 mg/ml, 82%, respectively.*

Received: 11 February 2022

Accepted: 19 May 2022

Page Number: 39-54

### Keywords:

Shitake Mushroom,  
Antioxidant,  
Phosphorus,  
Color,  
ANOVA,  
Design Expert

### Please Cite this Article Using:

Delangiz, M., Shahiri Tabarestani, M., Movagharnejad, K., "Drying of Shitake Mushrooms Using a Combination of Convective-Infrared Dryer", Iranian Chemical Engineering Journal, Vol. 22, No. 127, pp. 39-54, In Persian, (2023).



## خشک کردن قارچ شیتاکه با استفاده از خشک کن ترکیبی هوای گرم - فروسرخ

مطهره دل انگیز<sup>۱</sup>، مائده شهیری طبرستانی<sup>۲</sup>، کامیار موقرنژاد<sup>۳\*</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

۲- استادیار مهندسی کشاورزی، گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

۳- استاد مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

پیام نگار: [movagharnejad@yahoo.com](mailto:movagharnejad@yahoo.com)

### چکیده

در طرح پیش رو برای بررسی فرایند رطوبت زدایی از قارچ خوراکی - دارویی شیتاکه، از خشک کن ترکیبی هوای گرم - فروسرخ استفاده شده است. تأثیر متغیرهای ورودی را که شامل دما، سرعت هوای ورودی و توان در خشک کن ترکیبی هوای گرم - فروسرخ است، بر زمان خشک شدن نمونه ها تا رسیدن به رطوبت نهایی ۱۰ درصد بر مبنای وزن تر، میزان انرژی مصرفی، تغییرات رنگ سطحی نمونه ها، میزان آنتی اکسیدان و فسفر استخراجی از عصاره قارچ خوراکی - دارویی شیتاکه خشک بررسی شد. از نرم افزار طراحی آزمایش به روش سنترال کامپوزیت استفاده شده است. پس از بررسی نحوه تأثیر متغیرها بر پاسخ های فرایند، مشخص شد که با افزایش دما، سرعت و توان میزان آنتی اکسیدان افزایش می یابد و مقدار  $R^2$  ۰/۹۱۶۳ به دست آمد. افزایش دما تأثیر چشم گیری روی رنگ داشت و میزان تغییرات رنگ سطح نمونه ها را افزایش داد که مقدار  $R^2$  ۰/۹۰۴۱ به دست آمد. با افزایش دما، سرعت و توان زمان خشک شدن، کاهش پیدا کرد و مقدار  $R^2$  ۰/۹۹۶۹ به دست آمد. برای دست یابی به کمینه میزان انرژی مصرفی، زمان خشک شدن نمونه ها و تغییرات رنگ سطح نمونه ها و بیشینه میزان آنتی اکسیدان و فسفر عصاره قارچ شیتاکه خشک، فرایند بهینه سازی شد. شرایط عملیاتی بهینه به ترتیب در دما، سرعت هوای ورودی و توان ۵۴/۸۸ درجه سلسیوس، ۰/۵۳ متر بر ثانیه و ۱۱۸۳ وات به دست آمد. در این شرایط میزان انرژی مصرفی، زمان، تغییر رنگ، میزان آنتی اکسیدان و فسفر پیش بینی شده به ترتیب برابر ۱/۰۵ کیلووات ساعت، ۴۰/۹۴ دقیقه، ۳۲/۲۴، ۹۰/۴۲ میلی گرم بر میلی لیتر، ۸۲ درصد، به دست آمد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۲۹

شماره صفحات: ۳۹ تا ۵۴

### کلیدواژه ها:

قارچ شیتاکه،

خشک کن ترکیبی،

انرژی مصرفی،

آنتی اکسیدان،

فسفر،

رنگ،

طراحی آزمایش

\* بابل، دانشگاه صنعتی نوشیروانی، گروه مهندسی شیمی

### استناد به مقاله:

دل انگیز، م.، شهیری طبرستانی، م.، موقرنژاد، ک.، "خشک کردن قارچ شیتاکه با استفاده از خشک کن ترکیبی هوای گرم - فروسرخ"، نشریه مهندسی شیمی ایران، سال بیست و دوم، شماره ۱۲۷، صص. ۳۹-۵۴، (۱۴۰۲).

قارچ‌ها به‌دلایلی چون لطافت بافت و ارزش غذایی و دارویی، در رژیم غذایی انسان جلب توجه کرده‌اند [۱]. در دهه ۱۹۸۰ و اوایل دهه ۱۹۹۰ تولید تجاری و مصرف قارچ به‌دلایل گفته‌شده افزایش نمایانی یافت [۲]. این محصول بسیار زود فساد می‌پذیرد و زمان ماندگاری آن‌ها در دمای اتاق تنها ۱ تا ۳ روز است [۳]. قارچ‌ها به‌دلیل نداشتن کوتیکول در معرض شدید صدمات فیزیکی، میکروبی‌شناسی و یا از دست‌دادن آب‌اند و نسبت به دیگر مواد غذایی حتی زودتر فاسد می‌شوند [۴]. بازار مصرف امروزی نیاز فراوانی به درست‌کردن غذاهای آسان، سریع و سالم دارد. سوپ‌های فوری، چاشنی‌های میان‌وعده، چاشنی‌سالا، غذاهای گوشتی و برنجی از جمله کاربردهای سبزی‌های خشک‌شده مانند قارچ است. قارچ خشک دارای مقادیر زیادی از مواد معدنی، پلی‌فنول‌ها و فیبر است که برای سلامتی بسیار مفیداند؛ مثلاً پلی‌فنول‌ها موجب تقویت سیستم ایمنی بدن می‌شوند [۵]. حذف باکتری‌ها از ساختار قارچ‌ها برای افزایش زمان ماندگاری این محصول غذایی ضروری است؛ فرایند خشک‌کردن موجب حذف باکتری‌ها می‌شود [۶]. قارچ شیتاکه از دیرباز در تاریخ طب سنتی چین ماده‌ی دارویی و غذایی پرخاصیت محسوب می‌شود [۷]. کشت و تولید این قارچ به‌دلیل محتوای مواد معدنی فراوان در جهان به‌طور چشم‌گیری افزایش یافته است [۸].

خشک‌کردن یکی از فرایندهای به‌کار رنده در صنایع غذایی برای صرفه‌جویی در زمان و انرژی است [۹]. محصولات کشاورزی برای افزایش زمان انبارداری، کاهش تلفات و هزینه‌های حمل‌ونقل خشک می‌شوند [۱۰ و ۱۱]. خشک‌کن هوای گرم تا به امروز پرکاربردترین دستگاه خشک‌کن در صنایع غذایی بوده؛ اما این خشک‌کن کاستی‌هایی مانند بازده انرژی پایین و زمان خشک‌شدن طولانی دارد [۱۲ و ۱۳]. تحقیقات در زمینه خشک‌کردن قارچ نشان داد که خشک‌کردن با خشک‌کن هوای گرم یا قرارگرفتن درازمدت در معرض دمای بالا، باعث از دست‌دادن میزان زیادی از ویژگی‌های کیفی مانند رنگ، مواد مغذی، طعم، بافت و هم‌چنین چروکیدگی شدید، کاهش چگالی ظاهری و ظرفیت آب‌رسانی مجدد می‌شود [۱۴]. خشک‌کردن با خشک‌کن ریزموج (مایکروویو) از جمله روش‌های رایج برای بهبود کیفیت غذاهای خشک در سال‌های اخیر

است. اختلاف فشار بخار آب بین مناطق داخلی و سطحی، نیروی محرکه‌ای برای انتقال رطوبت ایجاد می‌کند [۱۵ و ۱۶]. خشک‌کن فروسرخ از جمله خشک‌کن‌های دیگری است که به‌تازگی رواج یافته و نسبت به روش‌های خشک‌کردن سنتی برتری‌های زیادی دارد؛ از جمله: تطبیق‌پذیری، سادگی تجهیزات، ادغام آسان گرمایش فروسرخ با گرمایش همرفتی و مایکروویو و صرفه‌جویی در مصرف انرژی [۱۷ و ۱۸]. خشک‌کن ترکیبی هوای گرم-فروسرخ اثر هم‌افزایی را فراهم می‌کند و در نتیجه کارایی فرایند خشک‌کردن را افزایش می‌دهد. هنگامی که ماده در معرض تابش فروسرخ قرار می‌گیرد، به سطح ماده برخورد و در آن نفوذ می‌کند. افزایش ارتعاشات مولکولی ناشی از جذب تشعشعات باعث ایجاد گرما در مواد، هم در لایه‌های سطحی و هم در لایه‌های داخلی به‌طور هم‌زمان می‌شود. در اثر گرم‌شدن سریع مواد، سرعت حرکت رطوبت به‌سمت سطح افزایش می‌یابد. جریان همرفتی هوا علاوه بر کاهش دمای سطح، رطوبت را از سطح خارج می‌کند که منجر به افزایش انتقال جرم می‌شود [۱۹ و ۲۰]. از این رو می‌توان نتیجه گرفت که خشک‌کن ترکیبی برتری‌های چشم‌گیری نسبت به سایر خشک‌کن‌ها دارد.

در این پژوهش از روش سطح پاسخ استفاده شده است. روش سطح پاسخ مجموعه‌ای از ابزارهای ریاضی و آماری برای مدل‌سازی و تحلیل مسائل است که در آن متغیرهای مستقل متعددی بر متغیر پاسخ تأثیر می‌گذارند. هدف در اینجا بهبود متغیرهای پاسخ است [۲۱ و ۲۲].

هدف از این مطالعه یافتن بهترین شرایط خشک‌کردن قارچ شیتاکه است. تا کنون، تنها مطالعه‌ی اندکی بر روی بهترین ترکیبات کنترل‌کننده برای بهترین پاسخ به خشک‌کردن ترکیبی (هوای گرم و مادون قرمز) انجام شده است. در نتیجه، هدف کلی این تحقیق بهبود شرایط خشک‌کردن برش‌های قارچ شیتاکه با استفاده از مفهوم عمل‌کرد مطلوبیت به‌عنوان یک روش بهینه‌سازی است. این رویکرد مقدار آنتی‌اکسیدان، فسفر، رنگ، زمان خشک‌شدن ایده‌آل و مصرف انرژی را در محدوده‌ی عناصر کنترلی مانند دمای هوا، سرعت هوا، توان با استفاده از روش سطح پاسخ، پیش‌بینی می‌کند.

جدول ۱. مطالعات در مورد قارچ شیتاکه در خشک‌کن‌های مختلف.

Table 1. Studies on Shitake mushrooms with various dryers.

Dryer Type	Benefits	Defects
Convective	Increasing of the B12 Concentration	Longer drying time
Microwave	Shorter drying time and less color change	Higher Energy Consumption
Vacuum-Infrared	Shorter drying time, better quality and less color change	Higher Energy Consumption
Infrared	Shorter drying time in comparison to convective dryer	Longer drying time in comparison to Vacuum-infrared dryers
Vacuum	Better product quality in lower temperatures	Structural damage in temperatures higher than 80°C

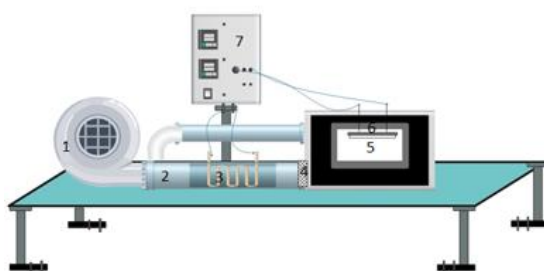
## ۲-۲ خشک‌کن ترکیبی همرفتی - فرورسرخ

در این تحقیق خشک‌کردن نمونه‌ها با استفاده از خشک‌کن ترکیبی همرفتی-فرورسرخ انجام شد که شماتیک آن در شکل (۱) نشان داده شده است. برش‌های نمونه در پنج سطح دمای هوای ورودی مختلف ۴۰، ۴۴، ۵۰، ۵۶ و ۶۰ درجه سلسیوس و پنج سرعت هوای ورودی ۰/۵، ۰/۷، ۱، ۱/۳ و ۱/۵ متر بر ثانیه در خشک‌کن همرفتی در معرض هوای گرم قرار گرفتند. برای تأمین توان‌های مختلف ۵۰۰، ۷۰۲، ۱۰۰۰، ۱۲۹۷ و ۱۵۰۰ وات نیز از یک لامپ فرورسرخ ۱۵۰۰ وات، ۲۴۰ ولت Victory ساخت آلمان مجهز به دیمر استفاده شد. فواصل بین لامپ مادون قرمز و نمونه را می‌توان از راه سیم در این سامانه تغییر داد که ما در این مطالعه فاصله را ثابت و ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفتیم. بعد از روشن‌شدن و تنظیم دستگاه با گذشت ۳۰ دقیقه دستگاه به حالت پایدار خود می‌رسد.

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۲-۱ مواد

قارچ‌های شیتاکه تازه از گلخانه‌ای واقع در شهرستان آبیگ از توابع استان قزوین در ایران به صورت دستی برداشت و سپس به آزمایشگاه منتقل شد. برای این که قارچ‌های تازه در طی آزمایش به همان شکل اولیه خود باقی بمانند در پاکت‌های مخصوص نگهداری شدند. رطوبت اولیه نمونه‌ها با دستگاه رطوبت‌سنج مدل MX-50 AND اندازه‌گیری شد. میزان رطوبت ابتدایی نمونه‌ها تقریباً  $2 \pm 90\%$  درصد بر پایه وزن تر به دست آمد. برای هر آزمایش ۴۰ گرم قارچ تازه با ترازوی دیجیتال مدل AND EK-6000i اندازه‌گیری و به شکل‌های یکسان برش و در سینی مخصوص قرار داده شد و در آخر سینی در دستگاه خشک‌کن قرار گرفت. پس از آن، کاهش وزن برش‌ها با یک ترازوی الکترونیکی هر ۲ دقیقه یک بار تا رسیدن به محتوای رطوبت ۱۰٪ بر پایه وزن تر اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها با استفاده از آسیاب مکانیکی به پودر تبدیل شدند.



شکل ۱. شماتیک و خشک‌کن ترکیبی همرفتی-فرورسرخ استفاده شده. ۱- فن مکند ۲-لوله های انتقال هوا ۳-المنت‌های حرارتی ۴-توزیع کننده هوا ۵-محفظه خشک‌کن ۶-لامپ فرورسرخ ۷-صفحه نمایش و تابلوی برق

Figure 1. Schematic and convective-infrared combination dryer used. 1- Suction fan 2- Air transmission pipes 3- Heating elements 4- Air distributor 5- Dryer compartment 6- Infrared lamp 7- Power display and panel.

داده و آن را در کوره در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس به مدت ۴ ساعت حرارت دادیم. خاکستر حاصل را با آب مقطر کمی خیس و ۱۰ میلی‌لیتر اسید هیدروکلریک ۲ مولار به آن اضافه کردیم. بعد از اتمام فعل و انفعالات محتویات، بوت‌چینی را با استفاده از کاغذ صافی به داخل بالن ژوژه ۱۰۰ میلی‌لیتر صاف کردیم. عصاره نهایی به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد.

### ۲-۵-۳ ارزیابی رنگ

در این پژوهش رنگ نمونه‌ها با تهیه یک تصویر دیجیتالی با دستگاه IMG-Pardazesh Cam- System XI با کمک برنامه اختصاصی رنگ‌سنجی مشخص و بررسی شد.

مقادیر کروما<sup>۱</sup> (C)، اختلاف رنگ کل ( $\Delta E$ ) و زاویه هیو<sup>۲</sup> را می‌توان با معادلات ۳ تا ۵ تعیین کرد.

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

$$\text{Chroma} = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (3)$$

$$\text{Hue} = \tan^{-1} \left( \frac{b^*}{a^*} \right) \quad \text{when } a > 0 \text{ and } b > 0 \quad (4)$$

در معادلات بالا  $L_0^*$ ،  $a_0^*$  و  $b_0^*$  مشخصه نمونه‌های تازه هستند. لازم به ذکر است که مشخصه زاویه هیو نشان‌دهنده تن رنگ است (یعنی قرمز-بنفش: ۰ درجه، سبز مایل به آبی: ۱۸۰ درجه، زرد: ۹۰ درجه، و آبی: ۲۷۰ درجه). هم‌چنین، مشخصه کروما به‌عنوان استاندارد برای اشباع یا خلوص رنگ استفاده می‌شود [۲۳].

### ۲-۶ تحلیل آماری

تأثیر عوامل متعددی مانند دما و سرعت هوای ورودی و توان مادون قرمز بر فرایند خشک‌کردن قارچ شیتاکه با استفاده از نرم‌افزار طراحی آزمایش نسخه ۷<sup>۳</sup> به روش سطح پاسخ<sup>۴</sup> و سنترال کامپوزیت<sup>۵</sup> بررسی و در نهایت نیز فرایند بهینه‌سازی شد. جدول (۲) مشخصه‌های مستقل و ورودی فرایند و سطوح تجربی مورد استفاده

1. Chroma
2. Hue
3. Design Expert (7)
4. Response Surface Methodology
5. Central Composite

### ۲-۳ نحوه محاسبه زمان خشک‌شدن

پس از قراردادن نمونه‌ها در محفظه خشک‌کن، با کرومومتر هر دو دقیقه وزن نمونه‌ها با ترازوی دیجیتالی اندازه‌گیری شد تا به رطوبت نهایی ۱۰ درصد برسد و در نهایت زمان‌ها با هم جمع شدند و زمان نهایی خشک‌شدن حساب شد.

### ۲-۴ نحوه محاسبه انرژی

برای محاسبه انرژی مصرفی، زمان خشک‌شدن را در توان مادون قرمز ضرب کردیم و در نهایت میزان انرژی مصرفی هر آزمایش به کیلو وات حساب شد.

### ۲-۵ ارزیابی کیفی قارچ‌های خشک‌شده

#### ۲-۵-۱ تعیین فعالیت آنتی‌اکسیدانی

رادیکال پایدار دی فنیل پیکریل هیدرازیل DPPH برای اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل استفاده شد. در این روش یک میلی‌لیتر از عصاره با یک میلی‌لیتر محلول رادیکال 10 DPPH میکرومولار، مخلوط و به مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی انکوبه شد. میزان جذب نور نمونه‌ها در طول موج ۵۱۷ نانومتر در مقابل شاهد خوانده شد. نمونه‌ای حاوی ۱ میلی‌لیتر متانول و ۱ میلی‌لیتر محلول DPPH به‌عنوان نمونه شاهد استفاده شد. درصد حذف رادیکال‌های آزاد با استفاده از معادله (۱) حساب شد.

$$\%IP = (A_{\text{control}} - A_{\text{sample}} / A_{\text{control}}) \times 100 \quad (1)$$

در معادله (۱) %IP،  $A_{\text{control}}$  و  $A_{\text{sample}}$  به ترتیب نشان‌دهنده درصد مهار رادیکال‌های آزاد (درصد بازداري آنتی‌اکسیدان در برابر رادیکال‌های آزاد)، جذب شاهد (که حاوی ۱ میلی‌لیتر از متانول در ۱ میلی‌لیتر DPPH است) و جذب نمونه (که حاوی حجم‌های مختلفی از عصاره گیاه آنتی‌اکسیدان، متانول و محلول DPPH است) هستند.

#### ۲-۵-۲ تعیین میزان فسفر

میزان فسفر به روش کالریمتری اندازه‌گیری شد. برای عصاره‌گیری، ۲ گرم نمونه خشک‌شده را با دقت ۰/۰۰۱ گرم در بوت‌چینی قرار

نرم افزار طراحی شد. آزمایش های طراحی شده و همچنین نتایج آن ها در شکل (۲) نشان داده شده است.

آن ها را در این مطالعه نشان می دهد. زمان خشک شدن، میزان مصرف انرژی، استخراج آنتی اکسیدانی، استخراج فسفر و تفاوت رنگ سطحی به عنوان پاسخ های فرایند در نظر گرفته شد. به منظور بررسی اثر مشخصه های ورودی بر روی پاسخ های فرایند ۲۰ آزمایش با

جدول ۲. مقادیر متغیر مستقل فرایند و بازه و سطوح مربوط به آن ها.

Table 2. Values of independent process variables and their associated intervals and levels.

Input generation	unit	interval	Axial Below (- $\alpha$ *)	Factorial Below (-1)	Central (0)	Factorial Above (+1)	Axial Above (+ $\alpha$ )
Temperature	(°C)	40-60	40	43	50	57	60
Velocity	(m/s)	0.5-1.5	0.5	0.6	1	1.4	1.5
Power	(W)	500-1500	500	646	1000	1354	1500

\*  $\alpha=1.4$

جدول ۳. جدول کامل طراحی آزمایش مربوط به خشک کن ترکیبی هوای گرم - فرورسرخ.

Table 3. Complete test design table for combined hot-infrared air dryer.

Run	Infrared power (w)	Air temperature (°C)	Air velocity (m/s)	Time (min)	Energy (kwh)	Phosphorus %	Color $\Delta E$	Antioxidant Mg/ml
1	1000	52	1	17	1.58	0.84	33.1	90.16
2	702.69	47.24	1.29	58	2.82	0.48	32.2	94.72
3	1000	44	1	54	1.15	0.67	37.57	90.83
4	1297.3	56.57	0.70	44	0.95	0.63	31.6	90.16
5	1297.3	47.24	0.70	42	0.91	0.21	34.71	89.04
6	702.69	56.57	0.70	56	0.65	0.79	38.4	90.91
7	1000	52	0.5	36	0.82	0.68	32.02	89.01
8	1000	52	1	20	1.23	0.71	30.95	90.1
9	1000	52	1	21.5	1.57	0.81	31.01	90.21
10	500	52	1	84	0.72	0.15	34.12	90.97
11	1297.3	47.24	1.29	28	0.69	0.61	33.32	89.19
12	702.69	47.24	0.70	74	0.32	0.25	34.14	91.91
13	1000	60	1	40	0.64	0.55	37.01	88.67
14	1000	52	1	19	1.29	0.78	30.95	89.1
15	1000	52	1	22	1.94	0.54	30.74	90.21
16	1000	52	1.5	50	0.83	0.68	32.54	90.14
17	1297.3	56.75	1.29	38	0.82	0.65	32.45	88.01
18	1000	52	1	21	1.95	0.91	28.45	90.21
19	702.69	56.75	1.29	70	0.81	0.31	35.99	91.81
20	1500	52	1	16	0.65	0.35	33.1	89.58

### ۳. نتایج و بحث

#### ۳-۱ تأثیر میزان سرعت، دما و توان بر زمان خشک شدن

باتوجه به جدول (۴) زمان خشک شدن قارچ شیتاکه به طور معنی داری تحت تأثیر توان بود؛ چون با بالا رفتن توان، میزان گرمای منتقل شده به نمونه‌ها افزایش و زمان خشک شدن کاهش می‌یابد. با توجه به جدول (۳) مشاهده شد که حداکثر زمان خشک شدن نمونه‌ها ۸۴ دقیقه بود که کمتر از مطالعات قبلی مانند کینگفا وان و همکاران است که حد اکثر زمان را ۲۰۰ دقیقه به دست آوردند.

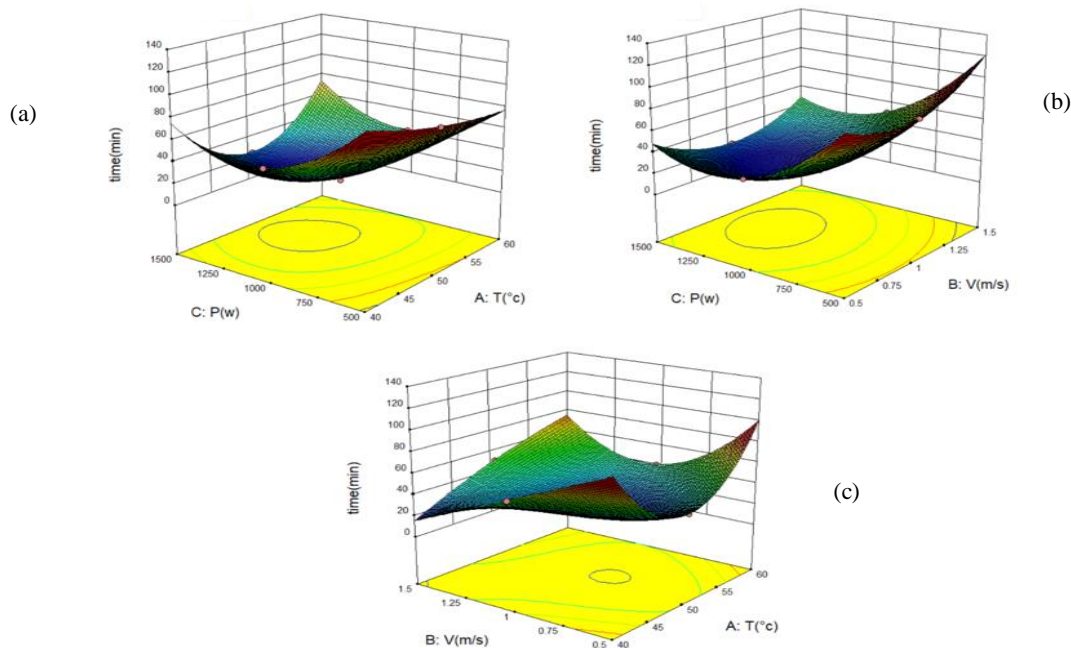
بر اساس نتایج ANOVA، مقدار  $R^2$  برابر با ۰/۹۹۶۹ است.

$$\begin{aligned}
 \text{Time} = & ۲۰/۱۹ - ۴/۱۶ \times (\text{temperature}) + ۴/۱۶ \times (\text{velocity}) \\
 & - ۱۷/۸۳ \times (\text{power}) + ۴/۷۴ \times (\text{temperature}) (\text{velocity}) + \\
 & ۲/۲۴ \times (\text{temperature}) (\text{power}) - ۲/۲۵ \times (\text{velocity}) (\text{power}) \\
 & + ۹/۷۸ \times (\text{temperature})^2 + ۸/۳۷ \times (\text{velocity})^2 + ۱۲/۲۶ \times \\
 & (\text{power})^2 - ۲/۵۷ \times (\text{temperature}) (\text{velocity}) (\text{power}) \\
 & ۶/۹۱ \times (\text{temperature})^2 (\text{velocity}) + ۴/۵۸ \times (\text{temperature})^2 (\text{power}) + \\
 & ۴/۹۱ \times (\text{temperature}) (\text{velocity})^2 \quad (۵)
 \end{aligned}$$

#### جدول ۴. نتایج تحلیل واریانس زمان خشک شدن.

Table 4. Results of analysis of variance of drying time.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	P-value
A: Air temperature (°C)	98	1	98	24.80	0.00
B: Air velocity (m/s)	98	1	98	24.80	0.00
C: Infrared power (w)	1800	1	1800	455.33	0.00<
AB	180.50	1	180.50	45.67	0.00
AC	40.50	1	40.50	10.25	0.01
BC	40.50	1	40.50	10.25	0.01
A <sup>2</sup>	1380.72	1	1380.72	349.34	0.00<
B <sup>2</sup>	1010.56	1	1010.56	255.69	0.00<
C <sup>2</sup>	2167.20	1	2167.20	548.33	0.00<
ABC	60.50	1	60.50	15.31	0.00
A <sup>2</sup> B	158.33	1	158.33	40.06	0.00
A <sup>2</sup> C	69.76	1	69.76	17.65	0.00
AB <sup>2</sup>	79.96	1	79.96	20.23	0.00
Model	7621.52	13	586.27	148.34	148.34
Error	15.88	5	3.18		



شکل ۲. نمودارهای سه بعدی طراحی آزمایش برای پاسخ زمان خشک شدن: (a) تأثیر دمای هوای ورودی و توان فرسرخ در سرعت هوای ورودی 1 m/s، (b) تأثیر سرعت هوای ورودی و توان مادون قرمز در دمای (50 °C)، (c) تأثیر دما و سرعت هوای ورودی در توان (w) 1000.

Figure 2. Three-dimensional graphs of test design for drying time response: (a) Influence of inlet air temperature and infrared power on inlet air velocity 1 m/s, (b) Influence of inlet air velocity and infrared power on temperature (50 °C), (c) Impact Inlet air temperature and speed at power 1000(w).

میزان آنتی اکسیدان نمونه‌ها ۹۴/۷۲ میلی گرم بر میلی لیتر بود که حدوداً نزدیک به مطالعه‌های پیشین مانند نینگ ژانگ و همکاران در سال ۲۰۱۹ بود. بر اساس نتایج ANOVA، مقدار  $R^2$  برابر با ۰/۹۱۶۳ است.

۲-۳ تأثیر میزان سرعت، دما و توان بر فعالیت آنتی اکسیدانی باتوجه به جدول (۳) میزان فعالیت آنتی اکسیدانی در قارچ شیتاکه تحت تأثیر دما بود که به دلیل حساس بودن این مواد به دمای خشک شدن است. با توجه به جدول (۴) مشاهده شد که بیشترین

جدول ۵. نتایج تحلیل واریانس میزان آنتی اکسیدان.

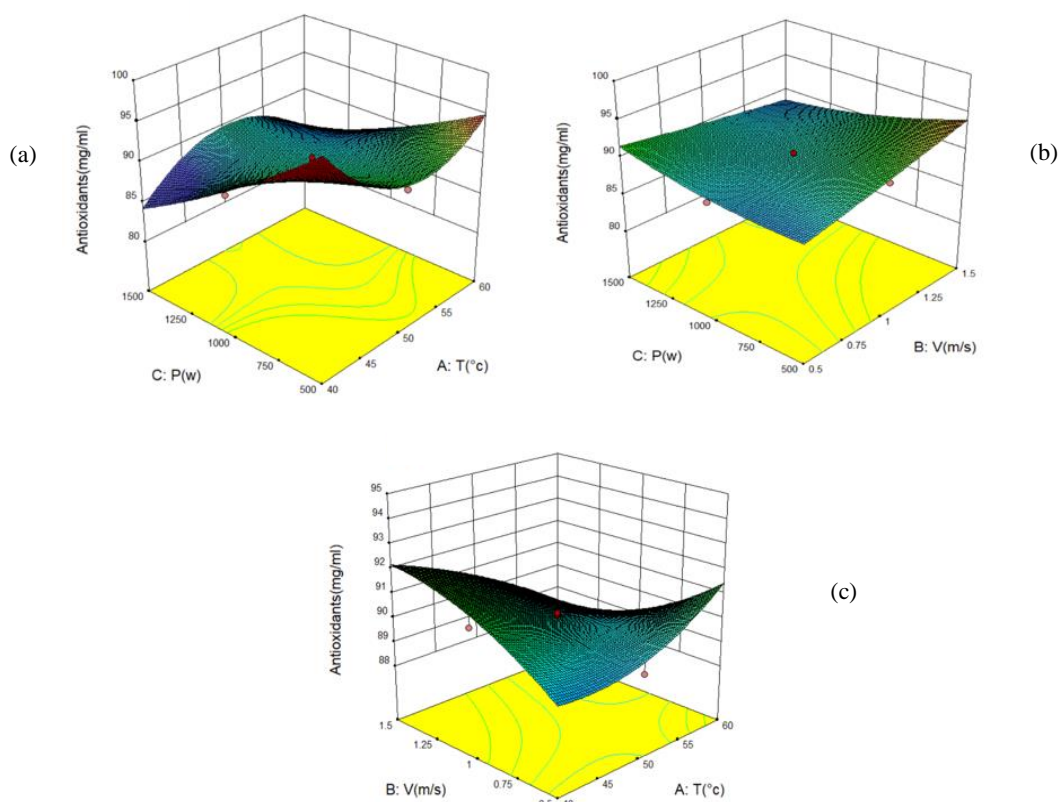
Table 5. Results of analysis of variance of antioxidant levels.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-value	P-value
A: Air temperature (°C)	2.33	1	2.33	4.19	0.08
B: Air velocity (m/s)	0.64	1	0.64	1.15	0.32
C: Infrared power (w)	0.97	1	0.97	1.74	0.23
AB	2.22	1	2.22	3.98	0.09
AC	1.85	1	1.85	3.33	0.11
BC	4.08	1	4.08	7.32	0.03
A <sup>2</sup>	0.13	1	0.13	0.32	0.65
B <sup>2</sup>	0.01	1	0.015	0.02	0.87



Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-value	P-value
C <sup>2</sup>	1.12	1	1.12	20.2	0.20
ABC	0.01	1	0.01	0.03	0.85
A <sup>2</sup> B	0.04	1	0.04	0.08	0.77
A <sup>2</sup> C	4.82	1	4.82	8.65	0.02
AB <sup>2</sup>	0.07	1	0.07	0.13	0.73
Model	38.59	13	2.81	5.08	0.02
Error	0.98	5	0.20		

$$\begin{aligned}
 \text{Antioxidants} = & +89/97 \cdot 0/642 \times (\text{temperature}) + 0/335 \times (\text{velocity}) - 0/413 \times (\text{power}) - 0/526 \times (\text{temperature}) (\text{velocity}) + 0/481 \times \\
 & (\text{temperature}) (\text{power}) - 0/713 \times (\text{velocity}) (\text{power}) + 0/093 \times (\text{temperature})^2 + 0/031 \times (\text{velocity})^2 + 0/279 \times (\text{power})^2 - 0/048 \times \\
 & (\text{temperature}) (\text{velocity}) (\text{power}) - 0/122 \times (\text{temperature})^2 (\text{velocity}) - 1/20 \cdot \Delta \times (\text{temperature})^2 (\text{power}) + 0/145 \times (\text{temperature}) \\
 & (\text{velocity})^2 \quad (6)
 \end{aligned}$$



شکل ۳. نمودارهای سه بعدی طراحی آزمایش برای پاسخ میزان آنتی اکسیدان: (a) تأثیر دمای هوای ورودی و توان فرسرخ در سرعت هوای ورودی ۱ m/s، (b) تأثیر سرعت هوای ورودی و توان مادون قرمز در دمای (۵۰ °C)، (c) تأثیر دما و سرعت هوای ورودی در توان (w) ۱۰۰۰.

Figure 3. Three-dimensional diagrams of test design for antioxidant response: (a) Influence of incoming air temperature and infrared power on incoming air velocity 1 m / s, (b) Influence of incoming air velocity and infrared power at temperature (50 °C), (c) Impact Inlet air temperature and speed at power 1000 (w)

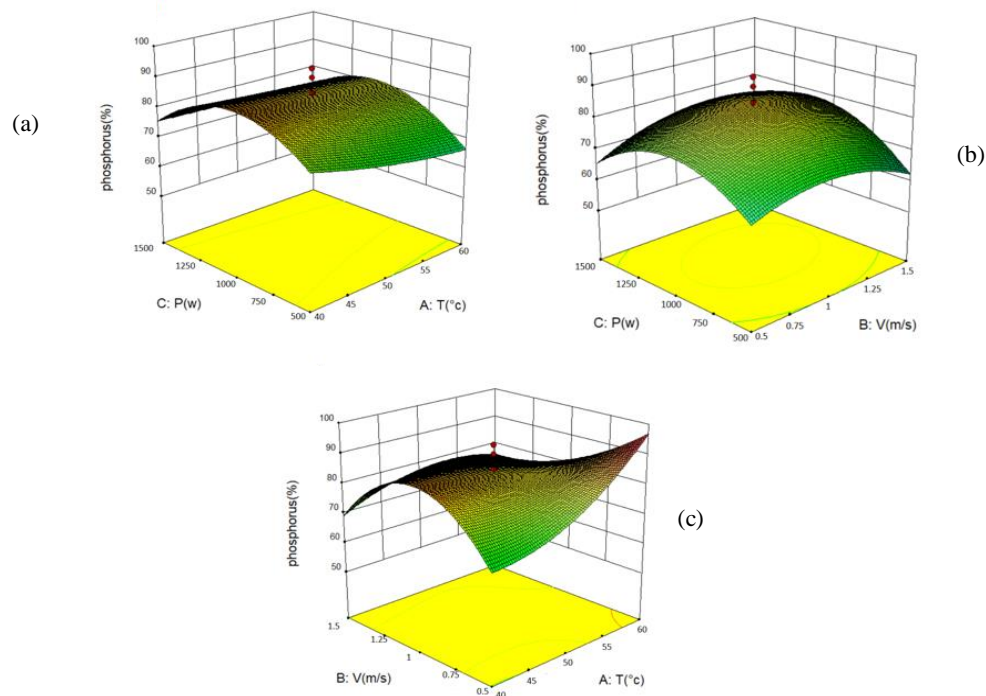
۳-۳ تأثیر میزان سرعت، دما و توان بر میزان فسفر  
 بر اساس نتایج ANOVA، مقدار  $R^2$  برابر با ۰/۹۱۱۶ است.  
 باتوجه به جدول (۵) تأثیر متغیرهای ورودی بر میزان فسفر کم بود.

جدول ۶. نتایج تحلیل واریانس میزان فسفر.

Table 6. Results of analysis of variance of phosphorus content.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-value	P-value
A: Air temperature (°C)	50	1	50	0.95	0.36
B: Air velocity (m/s)	4.50	1	4.50	0.086	0.77
C: Infrared power (w)	32	1	32	0.61	0.46
AB	210.12	1	210.12	4.01	0.09
AC	36.13	1	36.13	0.69	0.43
BC	45.13	1	45.13	0.86	0.38
A <sup>2</sup>	5.17	1	5.17	0.09	0.76
B <sup>2</sup>	571.14	1	571.14	10.89	0.01
C <sup>2</sup>	1765.5	1	1765.5	33.66	0.00
ABC	78.13	1	78.13	1.49	0.26
A <sup>2</sup> B	119.97	1	119.97	2.29	0.18
A <sup>2</sup> C	1.88	1	1.88	0.03	0.85
AB <sup>2</sup>	445.74	1	445.74	8.50	0.02
Model	3509.81	13	269.99	50.15	0.02
Error	285.50	5	57.10		

$$\begin{aligned} \text{Phosphorus} = & +0/765 - 0/035 \times (\text{temperature}) + 0/059 \times (\text{power}) - 0/136 \times (\text{temperature}) (\text{velocity}) + 0/011 \times (\text{temperature}) \\ & (\text{power}) + 0/083 \times (\text{velocity}) (\text{power}) - 0/056 \times (\text{temperature})^2 - 0/031 \times (\text{velocity})^2 - 0/183 \times (\text{power})^2 + 0/041 \times (\text{temperature}) \\ & (\text{velocity}) (\text{power}) + 0/021 * (\text{temperature})^2 (\text{velocity}) - 0/025 \times (\text{temperature})^2 (\text{power}) + 0/139 \times (\text{temperature}) (\text{velocity})^2 \end{aligned} \quad (7)$$



شکل ۴. نمودارهای سه بعدی طراحی آزمایش برای پاسخ میزان آنتی اکسیدان: (a) تأثیر دمای هوای ورودی و توان فرورسرخ در سرعت هوای ورودی ۱ m/s، (b) تأثیر سرعت هوای ورودی و توان مادون قرمز در دمای (۵۰ °C)، (c) تأثیر دما و سرعت هوای ورودی در توان ۱۰۰۰ w.

Figure 4. Three-dimensional diagrams of test design for antioxidant response: (a) Influence of incoming air temperature and infrared power on incoming air velocity 1 m/s, (b) Influence of incoming air velocity and infrared power on temperature (50 °C), (c) The effect of inlet temperature and velocity on power 1000(w).

۳-۴ تأثیر میزان سرعت، دما و توان بر رنگ سطح قارچ شیتاکه  
 سطح نمونه های قارچ شیتاکه داشتند که در مقایسه با مطالعات قبلی، کینگفا وان و همکاران ۲۰۱۸ تغییرات رنگ بیشتر بوده است. بر اساس نتایج ANOVA، مقدار  $R^2$  برابر با ۰/۹۰۴۱ است. باتوجه به جدول (۷) متغیرهای ورودی تأثیر کمی بر میزان رنگ

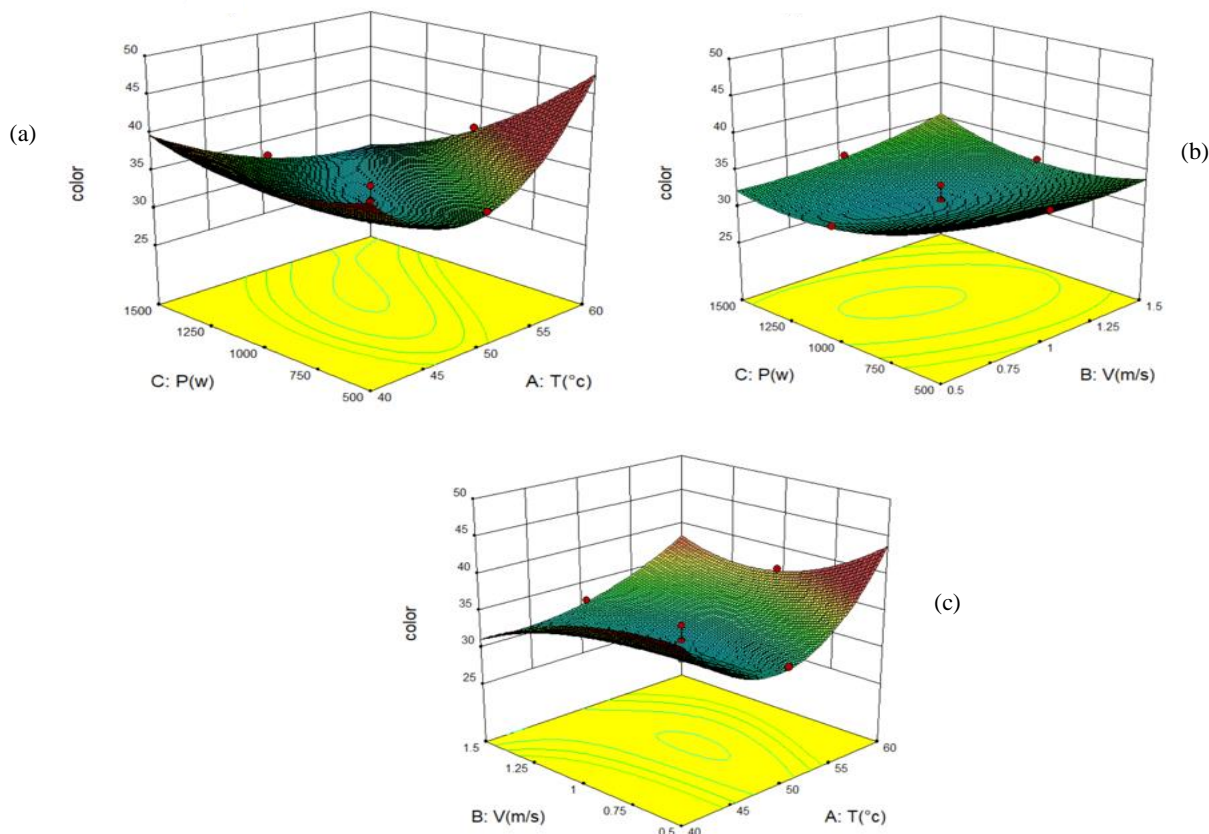
جدول ۷. نتایج تحلیل واریانس میزان رنگ سطح نمونه.

Table 7. Results of analysis of variance of the sample surface color.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	P-value
A: Air temperature (°C)	0.16	1	0.16	0.08	0.78
B: Air velocity (m/s)	0.14	1	0.14	0.06	0.80
C: Infrared power (w)	0.52	1	0.52	0.27	0.62
AB	0.39	1	0.39	0.20	0.66
AC	18.09	1	18.09	9.28	0.02
BC	1.81	1	1.81	0.93	0.37
A <sup>2</sup>	67.50	1	67.50	34.63	0.00
B <sup>2</sup>	2.22	1	2.22	1.14	0.32
C <sup>2</sup>	10.74	1	10.74	5.51	0.05
ABC	0.92	1	0.92	0.47	0.51
A <sup>2</sup> B	1.94	1	1.94	1	0.35
A <sup>2</sup> C	2.01	1	2.01	1.03	0.34
AB <sup>2</sup>	1.51	1	1.51	0.78	0.41
Model	۱۱۰/۲۶	13	8.48	4.35	0.04
Error	۱۰/۸۸	5	2.18		

$$\begin{aligned} \text{Color} = & + 30/111 - 0/166 \times (\text{temperature}) + 0/154 \times (\text{velocity}) - 0/303 \times (\text{power}) + 0/221 \times (\text{temperature}) (\text{velocity}) - 1/503 \times \\ & (\text{temperature}) (\text{power}) + 0/476 \times (\text{velocity}) (\text{power}) + 2/164 \times (\text{temperature})^2 + 0/392 \times (\text{velocity})^2 + 0/161 \times (\text{power})^2 + \\ & 0/338 \times (\text{temperature}) (\text{velocity}) (\text{power}) - 0/765 \times (\text{temperature})^2 (\text{velocity}) - 0/778 \times (\text{temperature})^2 (\text{power}) \end{aligned} \quad (8)$$

چنان که در شکل (۵) پیداست افزایش همزمان دما، توان و سرعت، بر میزان تغییر رنگ سطحی تأثیرگذار بود.



شکل ۵. نمودارهای سه بعدی طراحی آزمایش برای پاسخ رنگ سطحی: (a) تأثیر دمای هوای ورودی و توان فرسرخ در سرعت هوای ورودی ۱ m/s، (b) تأثیر سرعت هوای ورودی و توان مادون قرمز در دمای (°C) ۵۰، (c) تأثیر دما و سرعت هوای ورودی در توان (w) ۱۰۰۰.

Figure 5. Three-dimensional diagrams of test design for surface color response: (a) Influence of inlet air temperature and infrared power on inlet air velocity 1 m / s, (b) Influence of inlet air velocity and infrared power at temperature (50 °C), (c) The effect of inlet temperature and velocity on power 1000(w).

خشک شدن رابطه مستقیم دارد، در زمان های کوتاه تر میزان انرژی مصرفی کاهش می یابد. بر اساس نتایج ANOVA، مقدار  $R^2$  برابر با ۰/۹۰۲۹ است.

۳-۵ تأثیر میزان سرعت، دما و توان بر میزان انرژی مصرفی باتوجه به جدول (۸) دمای هوای ورودی تأثیر بیشتری بر میزان انرژی مصرفی داشت. با توجه به این که میزان انرژی مصرفی با زمان

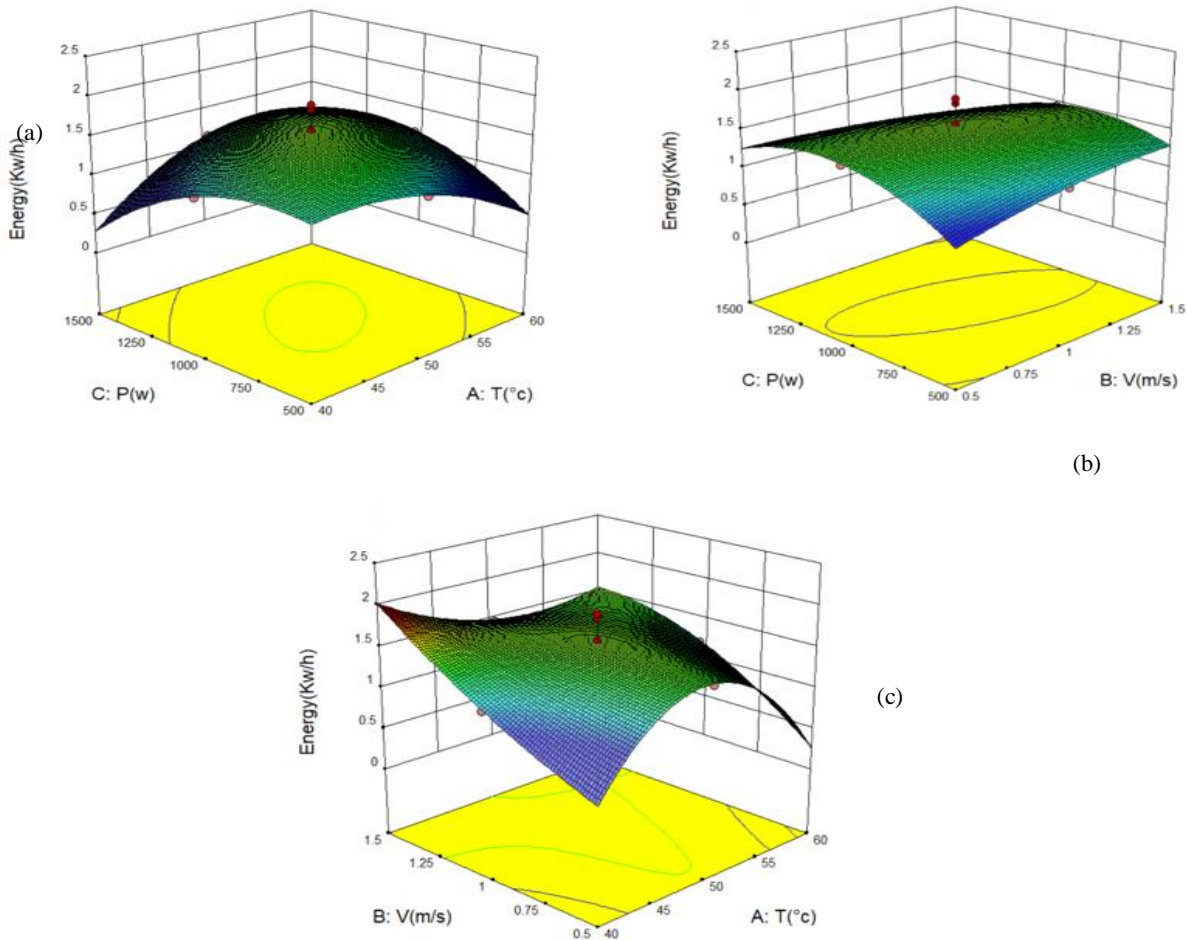
جدول ۸. نتایج تحلیل واریانس میزان انرژی مصرفی.

Table 8. Results of analysis of variance of energy consumption.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	P-value
A: Air temperature (°C)	0.13	1	0.13	1.18	0.31
B: Air velocity (m/s)	$5 \times 10^{-5}$	1	$5 \times 10^{-5}$	$4.545 \times 10^{-4}$	0.98
C: Infrared power (w)	$2.45 \times 10^{-3}$	1	$2.45 \times 10^{-3}$	0.022	0.88
AB	0.63	1	0.63	5.75	0.05
AC	0.43	1	0.43	3.89	0.09
BC	1.13	1	1.13	10.29	0.01
A <sup>2</sup>	0.55	1	0.55	5.02	0.06
B <sup>2</sup>	0.70	1	0.70	6.37	0.04
C <sup>2</sup>	1.05	1	1.05	9.55	0.02
ABC	0.74	1	0.74	6.76	0.04
A <sup>2</sup> B	0.27	1	0.27	2.46	0.16
A <sup>2</sup> C	0.05	1	0.05	0.53	0.49
AB <sup>2</sup>	$4.567 \times 10^{-3}$	1	$4.56 \times 10^{-3}$	0.042	0.84
Model	6.14	13	0.47	4.29	0.04
Error	0.47	5	0.09		

$$\begin{aligned}
 \text{Energy} = & + 1/585 - 0/151 \times (\text{temperature}) + 2/973 \times (\text{velocity}) - 0/02 \times (\text{power}) - 0/281 \times (\text{temperature}) (\text{velocity}) + 0/231 \times \\
 & (\text{temperature}) (\text{power}) \cdot / \times (\text{temperature}) (\text{velocity}) (\text{power}) + 0/285 \times - (\text{velocity}) (\text{temperature})^2 - 0/132 \times (\text{temperature})^2 \\
 & (\text{power}) - 0/037 \times (\text{temperature}) (\text{velocity})^2 \quad (10)
 \end{aligned}$$

با توجه به شکل (۶) افزایش دما و سرعت به طور همزمان بیشترین انرژی مصرفی افزایش یافته است. تأثیر را بر انرژی مصرفی داشتند؛ با افزایش سرعت میزان



شکل ۶. نمودارهای سه بعدی طراحی آزمایش برای پاسخ میزان انرژی مصرفی: (a) تأثیر دمای هوای ورودی و توان فرسرخ در سرعت هوای ورودی ۱ m/s، (b) تأثیر سرعت هوای ورودی و توان مادون قرمز در دمای (°C) ۵۰، (c) تأثیر دما و سرعت هوای ورودی در توان (w) ۱۰۰۰.

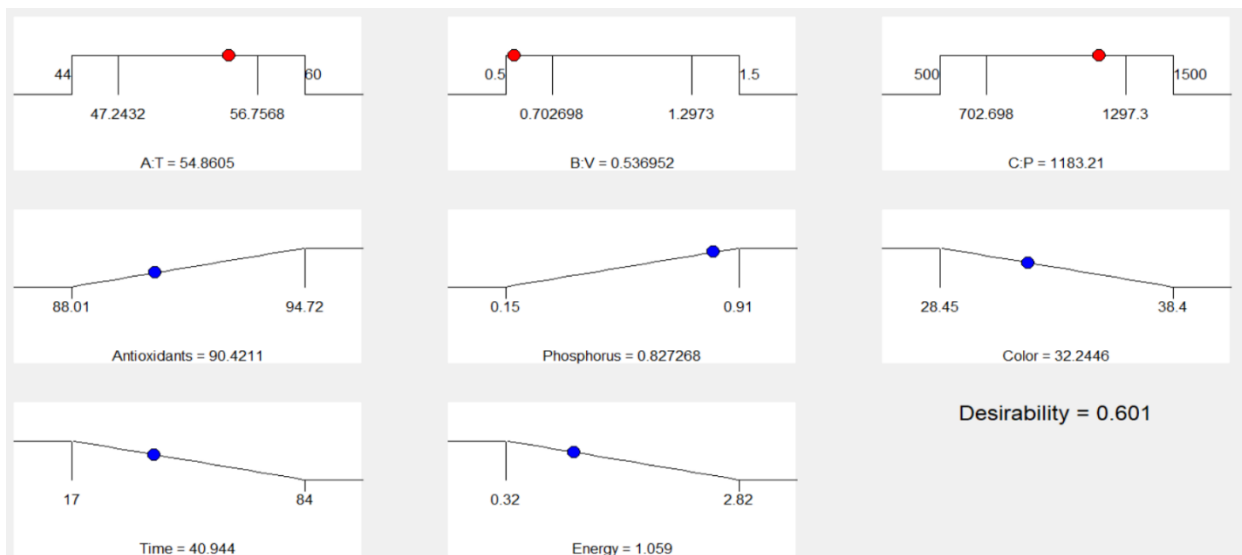
Figure 6. Three-dimensional diagrams of test design to respond to the amount of energy consumed: (a) The effect of inlet air temperature and infrared power on the inlet air velocity 1 m/s, (b) The effect of inlet air velocity and infrared power at a temperature of (°C) 50, (c) The effect of inlet temperature and velocity on power 1000(w).

هرچه میزان این مشخصه به ۱ نزدیک تر باشد نشان می دهد که بهینه سازی به شکل مطلوبی انجام شده است. برای اطمینان از درست بودن مقادیر پیش بینی شده از نرم افزار، آزمایش اطمینان در نقطه بهینه انجام و نتایج در جدول (۹) آورده شد. چنان که پیداست میزان خطا اندک بوده که نشان دهنده درستی مقادیر پیش بینی شده است.

### ۳-۶ بهینه سازی فرایند

نتایج بهینه سازی فرایند در خشک کن ترکیبی هوای گرم- فرسرخ در محدوده دما و سرعت هوای ورودی مورد آزمایش در شکل (۷) آورده شده است. میزان مشخصه مطلوبیت برابر ۰/۶۰۱ به دست آمد. این مشخصه در نرم افزار طراحی آزمایش، یک تابع هدف است که محدوده آن می تواند از ۰ تا ۱ متغیر باشد. بهینه سازی عددی فرایند به شکلی پیش می رود که این مشخصه را حد اکثر کند.

#### 1. Desirability



شکل ۷. مقادیر بهینه متغیرهای فرایند برای رسیدن به کمینه زمان خشک‌کردن، میزان مصرف انرژی و تغییرات رنگ و بیشینه مقدار آنتی‌اکسیدان و فسفر استخراجی در خشک‌کن ترکیبی هوای گرم- فرسرخ.

Figure 7. Optimal values of process variables to achieve minimum drying time, energy consumption and color changes, and maximum amount of antioxidants and extracted phosphorus in the combined hot-infrared air dryer.

جدول ۹. پاسخ‌های بهینه فرایند و آزمایش اطمینان.

Table 9. Optimal process responses and reliability testing.

	Phosphorus content (%)	Antioxidant content (mg/ml)	Color changes	Energy consumption (Kw/h)	Drying time (min)	Operational conditions
Predicted	0.82	90.42	32.24	1.05	40.94	Temperature 54.86 (°C) Velocity 0.53 (m/s) Power 1183 (W)
Experimental	0.81	90.38	33.11	1.07	40.52	Temperature 54.86 (°C) Velocity 0.53 (m/s) Power 1183 (W)
Error	1.21	0.04	2.68	1.9	1.02	

#### ۴. نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر با هدف بررسی تأثیر دمای هوای ورودی، سرعت هوا و توان لامپ فرسرخ در خشک‌کن ترکیبی هوای گرم-فرسرخ بر ویژگی‌های قارچ خوراکی- دارویی شیتاکه انجام شد. نتایج نشان داد که زمان خشک‌کردن بیشتر تحت تأثیر توان ورودی است تا دما و سرعت ورودی با افزایش توان ورودی زمان خشک‌شدن به‌طور چشم‌گیری کاهش می‌یابد. نتایج نشان داد که کاهش انرژی مصرفی در دماهای بالاتر به دلیل کاهش زمان خشک‌شدن است. هم‌چنین

افزایش تغییرات رنگ با دمای هوای ورودی زیاد است و کاهش این تغییرات در دماهای پایین‌تر اتفاق می‌افتد. نتایج نشان داد که بیشترین تأثیر روی آنتی‌اکسیدان و فسفر، دمای هوای ورودی بود که به دلیل حساس بودن این ترکیبات به دما است.

#### ۵. سپاسگزاری

بدین‌وسیله از یاری خانم دکتر سارا ناناوکناری در انجام این پروژه تشکر و قدردانی می‌شود.



## ۶. اطلاع رسانی

این پروژه با حمایت دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل طی گرنت شماره BNUT/370675/99 انجام گرفته است.

## مراجع

- [11] Feng, H., Tang, J., "Microwave finish drying of diced apples in a spouted bed. *Journal of Food Science*", 63(4), pp. 679-683, (1998).
- [12] Wang, J., Xiong, Y. S., Yu, Y., "Microwave drying characteristics of potato and the effect of different microwave powers on the dried quality of potato. *European Food Research and Technology*", 219(5), pp. 500-506, (2004).
- [13] Mudgett, R. E., "Microwave food processing. *Food technology (Chicago)*", 43(1), pp. 117-126, (1989).
- [14] Giese, J., "Advances in microwave food processing. *Food Technology (Chicago)*", 46(9), pp. 118-123, (1992).
- [15] Das, I., Das, S. K., Bal, S., "Drying performance of a batch type vibration aided infrared dryer", *Journal of Food Engineering*, 64(1), pp. 129-133, (2004).
- [16] Sandu, C., "Infrared radiative drying in food engineering: a process analysis. *Biotechnology progress*", 2(3), pp. 109-119, (1986).
- [17] El-Mesery, H. S., Mwithiga, G., "Performance of a convective, infrared and combined infrared-convective heated conveyor-belt dryer. *Journal of food science and technology*", 52(5), pp. 2721-2730, (2015).
- [18] Wanyo, P., Siriamornpun, S., Meeso, N., "Improvement of quality and antioxidant properties of dried mulberry leaves with combined far-infrared radiation and air convection in Thai tea process. *Food and bioproducts processing*", 89(1), pp. 22-30, (2011).
- [19] Tian, Y., Zhao, Y., Huang, J., Zeng, H., Zheng, B., "Effects of different drying methods on the product quality and volatile compounds of whole shiitake mushrooms. *Food Chemistry*", 197, pp. 714-722, (2016).
- [20] García-Segovia, P., Andrés-Bello, A., Martínez-Monzó, J., "Rehydration of air-dried Shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) caps: Comparison of conventional and vacuum water immersion processes", *LWT-Food Science and Technology*, 44(2), pp. 480-488, (2011).
- [21] Qi, L. L., Zhang, M., Mujumdar, A. S., Meng, X. Y., Chen, H. Z., "Comparison of drying characteristics and quality of shiitake mushrooms (*Lentinus edodes*) using different drying methods", *Drying technology*, 32(15), pp. 1751-1761, (2014).
- [22] Wang, Q., Li, S., Han, X., Ni, Y., Zhao, D., Hao, J., "Quality evaluation and drying kinetics of shiitake mushrooms dried by hot air, infrared and intermittent microwave-assisted drying methods", *Lwt*, 107, pp. 236-242, (2019).
- [23] Salehi, F., Kashaninejad, M., "Effect of different drying methods on rheological and textural properties of Balangu seed gum", *Drying Technology* 32, No. 6, pp. 720-727, (2014).
- [1] Argyropoulos, D., Heindl, A., Müller, J., "Assessment of convection, hot-air combined with microwave-vacuum and freeze-drying methods for mushrooms with regard to product quality", *International journal of food science technology*, 46(2), pp. 333-342, (2011).
- [2] Giri, S. K., Prasad, S., "Drying kinetics and rehydration characteristics of microwave-vacuum and convective hot-air dried mushrooms", *Journal of food engineering*, 78(2), pp. 512-521, (2007).
- [3] Singh, P., Langowski, H. C., Wani, A. A., Saengerlaub, S., "Recent advances in extending the shelf life of fresh *Agaricus* mushrooms: a review", *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(9), pp. 1393-1402, (2010).
- [4] Brennan, M., Le Port, G., Gormley, R., "Post-harvest treatment with citric acid or hydrogen peroxide to extend the shelf life of fresh sliced mushrooms. *LWT-Food Science and Technology*", 33(4), pp. 285-289, (2000).
- [5] Torringa, E., Esveld, E., Scheewe, I., Van den Berg, R., Bartels, P., "Osmotic dehydration as a pre-treatment before combined microwave-hot-air drying of mushrooms", *Journal of food engineering*, 49(2-3), pp. 185-191, (2001).
- [6] Wang, Q., Li, S., Han, X., Ni, Y., Zhao, D., Hao, J., "Quality evaluation and drying kinetics of shiitake mushrooms dried by hot air, infrared and intermittent microwave-assisted drying methods", *Lwt*, 107, pp. 236-242, (2019).
- [7] Kassem, A. S., Shokr, A. Z., El-Mahdy, A. R., Aboukarima, A. M., Hamed, E. Y., "Comparison of drying characteristics of Thompson seedless grapes using combined microwave oven and hot air drying. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*", 10(1), pp. 33-40, (2011).
- [8] Purohit, P., Kumar, A., Kandpal, T. C., "Solar drying vs. open sun drying: A framework for financial evaluation. *Solar energy*", 80(12), pp. 1568-1579, (2006).
- [9] Leon, M. A., Kumar, S., Bhattacharya, S. C., "A comprehensive procedure for performance evaluation of solar food dryers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*", 6(4), pp. 367-393, (2002).
- [10] Maskan, M., "Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of food engineering*", 48(2), pp. 177-182, (2001).