Research Article

Agricultural Engineering., 48(3) (2025) 343- 366

ISSN (P): 2588-526X

DOI: 10.22055/agen.2025.49113.1770

ISSN (E): 2588-5944

# Modeling and Optimization of Button Mushroom Compressed Tablet Production Equipment

R. Rahimzade [1], R. Amiri Chayjan[2*] and H. Sarikhani[3]

1. PhD Student, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.
2. Professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.
3. Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

Received: 24 February 2025 Accepted: 17 June 2025 *Corresponding Author: amirireza@basu.ac.ir

## Abstract

**Introduction:** Considering the serious challenges related to the waste of agricultural products and the limitations in the traditional storage and processing methods, the use of new technologies such as drying and tablet production seems to be necessary. Therefore, this research was done with the aim of optimizing the drying and tableting processes for edible button mushrooms as a valuable and perishable product.

**Materials and Methods:** Edible button mushrooms were purchased from the local market and after cleaning and washing, they were cut into pieces with thickness of 3 mm. Then, the samples were placed in the oven for 24 hours to obtain its initial moisture, and finally they were dried by two methods of drying in the shade and drying in a continuous dryer. Then the dried mushrooms were powdered and shaped into smooth round tablets. For this purpose, the tests were defined in the form of a central compound design in Design Expert software version 13. Independent variables (inputs) for Design Expert software in the continuous dryer were temperature (50, 60 and 70 °C) and air speed (1.5, 2.5 and 3.5 m/s) and dependent variables were total phenol, antioxidant property and color parameters. Regarding optimization of tableting process, the independent variables were including pressure ($50\times10^5$, $60\times10^5$, $70\times10^5$, $80\times10^5$ and $90\times10^5$ Pa), tension relaxation time (3, 8, 13, 18 and 22 s), and mold diameter (10, 14, 18, 22 and 26 mm); whereas the dependent variables were including penetration resistance, tension along the diameter, and density.

**Results and Discussion:** According to the findings, the air temperature had a greater effect on the response variables than the air speed. According to the results obtained from the optimization, the conditions in which the air temperature was 64.10 °C and the air speed was 2.49 m/s were selected as the optimal conditions with a desirability of 76.3%. The edible button mushroom sample dried in optimal conditions has a total phenol content of 10.7 mg of gallic acid in the weight of the dry sample, antioxidant property of 91.72%, brightness index (L*) 69.73, redness index (a*) was -23.44 and the jaundice index (b*) was 1.80. The shade-dried sample also has a total phenol content of 2.87 mg of gallic acid in the weight of the dry sample, antioxidant property of 91.27%, brightness index (L*) 72.54, redness index (a*) -9.09and the yellowness index (b*) was 6.74. According to the total phenol content and antioxidant property in the continuous drying method, this method was more favorable than the shade drying method. Among the factors affecting the mechanical properties of tablets prepared from dried mushroom powder by the continuous method and shade, the mold diameter variable was more effective than the other two variables. To optimize the tablet obtained from dried mushroom powder by continuous method, the conditions in which the pressure was equal to $72.74\times10^5$ Pa,

© 2025 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

the diameter of the mold was 14 mm, and the tension relaxation time was 8 seconds, were selected as optimum points with the desirability of 71.8%. For shadow-dried mushroom powder tablets, the conditions in which the pressure was equal to $80\times10^5$ Pa, the diameter of the mold was 18.70 mm, and the stress relaxation time was 18 seconds were selected as the optimal point with the desirability of 60.1%.

**Conclusion:** In general, it can be concluded that drying by the continuous dryer method can be a good option to replace drying by traditional method. Because the tablet obtained from mushroom powder dried by the continuous method had a higher density, penetration resistance and stress along the diameter compared to the shadow method.

***Keywords:*** ***Continuous drying, Edible button mushroom, Optimization, Compressed fruit tablet.***

مهندسی زراعی (مجله علمی کشاورزی) جلد ۴۸. شماره ۳، ۱۴۰۴

مقاله پژوهشی

# مدل‌سازی و بهینه‌سازی تجهیزات تولید قرص فشرده قارچ دکمه‌ای

رضا رحیم‌زاده[۱]، رضا امیری چایجان[۲]* و حسن ساریخانی[۳]

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

۲- استاد گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

۳- استاد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

**تاریخچه مقاله**

دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۰۶

پذیرش نهایی: ۱۴۰۴/۰۳/۲۷

***کلمات کلیدی:***

***خشک‌کردن به روش پیوسته،***

***قارچ دکمه‌ای خوراکی،***

***بهینه‌یابی،***

***قرص فشرده میوه***

* عهده دار مکاتبات

Email: amirireza@basu.ac.ir

**چکیده**

**با توجه به چالش‌های جدی مرتبط با ضایعات محصولات کشاورزی و محدودیت‌های موجود در روش‌های سنتی نگهداری و فرآوری، این تحقیق، با هدف بهینه‌سازی فرآیندهای خشک‌کردن و قرص‌سازی برای قارچ دکمه‌ای به کمک نرم افزار دیزاین اکسپرت انجام شد. متغیرهای مستقل در خشک‌کن پیوسته شامل دما (۵۰، ٦۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد) و سرعت هوا (۱/۵، ۲/۵ و ۳/۵ متر بر ثانیه) و متغیرهای وابسته برای خشک‌کردن نیز شامل فنل‌کل، خاصیت آنتی‌اکسیدانی و پارامترهای رنگی بود. در مورد بهینه‌سازی فرایند قرص‌سازی نیز متغیرهای مستقل شامل: فشار ($۱۰^{۵}\times$۵۰، $۱۰^{۵}\times$٦۰، $۱۰^{۵}\times$۷۰، $۱۰^{۵}\times$۸۰ و $۱۰^{۵}\times$۹۰ پاسکال)، زمان آسایش تنش( ۳، ۸، ۱۳، ۱۸ و ۲۲ ثانیه) و قطر قالب (۱۰، ١٤، ۱۸، ۲۲ و ۲٦ میلی‌متر) و متغیرهای وابسته نیز شامل مقاومت به نفوذ، تنش در راستای قطر و چگالی بودند. طبق نتایج بهینه‌یابی، شرایطی که در آن دمای هوا ٦٤/۱۰ درجه سانتی‌گراد و سرعت هوا ۲/٤۹ متر برثانیه بود با مطلوبیت ۷٦/۳ درصد به عنوان شرایط بهینه خشک‌کردن انتخاب شد. قارچ خشک شده در شرایط بهینه دارای محتوای فنل‌کل ۷/۱۰ میلی‌گرم اسید گالیک در وزن نمونه خشک، خاصیت آنتی‌اکسیدانی ۹۱/۷۲ درصد، شاخص روشنایی (*L) ٦۹/۷۳، شاخص قرمزی (*a) ۲۳/٤٤- و شاخص زردی (*b) ۱/۸۰ بود. نمونه خشک‌شده در سایه نیز دارای محتوای فنل‌کل ۲/۸۷ میلی‌گرم اسید گالیک در وزن نمونه خشک، خاصیت آنتی‌اکسیدانی ۹۱/۲۷درصد، شاخص روشنایی (*L) ۷۲/٥٤، شاخص قرمزی (*a) ۹/۰۹- و شاخص زردی (*b) ٦/۷٤ بود. برای بهینه‌یابی قرص حاصل از پودر قارچ خشک‌شده به روش پیوسته، شرایطی که در آن فشار برابر $۱۰^{۵}\times$۷٤/۷۲ پاسکال، قطر قالب ١٤ میلی‌متر و زمان آسایش تنش ۸ ثانیه بود، با مطلوبیت ۷۱/۸ درصد به عنوان نقطه بهینه انتخاب شد. برای قرص پودر قارچ خشک‌شده در سایه نیز شرایطی که در آن فشار برابر $۱۰^{۵}\times$۸۰ پاسکال، قطر قالب ۱۸/۷۰ میلی‌متر و زمان آسایش تنش ۱۸ ثانیه بود با مطلوبیت ٦۰/۱ درصد به عنوان نقطه بهینه انتخاب شد.**

## مقدمه

در گزارش‌های رسمی که توسط سازمان جهانی غذا و کشاورزی سازمان ملل متحد (فائو) منتشر شده است، ضایعات محصولات کشاورزی در ایران می‌تواند غذای حدود ۱۵میلیون نفر از مردم جهان را تأمین کند. براساس این گزارش میزان ضایعات ایران در محصولات کشاورزی ۲۵ برابر کشورهای پیشرفته است و ایران در بخش ضایعات میوه رتبه اول را دارد. می‌توان یکی از عمده دلایل این اتفاق را افزایش تولید محصولات کشاورزی و عدم ارتقا و رشد صنایع تبدیلی عنوان کرد (۵). بنابراین در دنیای امروز، کاهش ضایعات محصولات کشاورزی نه‌تنها به مدیریت پایدار منابع غذایی کمک می‌کند، بلکه از نظر اقتصادی و زیست‌محیطی نیز اهمیت دارد. توسعه فناوری‌های نوین برای فرآوری و بهینه‌سازی استفاده از محصولات فسادپذیر می‌تواند گامی مؤثر در جهت رفع چالش‌های مرتبط با امنیت غذایی باشد. قارچ دکمه‌ای خوراکی (*Agaricus bisporus*) یکی از محصولات زراعی است که امروزه مصرف آن به عنوان یک منبع غذایی، بسیار مورد توجه قرار گرفته است. قارچ‌های خوراکی منبع خوبی از ترکیبات نیتروژنتیک مانند پلی‌ساکاریدها (ب-گلوکان)، الیاف رژیمی ترپن‌ها، گلیکوپروتئین‌ها، الکل‌ها، عناصر معدنی، اسیدهای چرب اشباع نشده، اسیدهای لینولئیک و اولئیک، آنتی‌اکسیدان‌ها، ترکیبات فنلی، توکوفرول، اسید آسکوربیک ویتامین(C)، ویتامین B Complex و پیش‌ساز ویتامینD می‌باشند. قارچ‌ها همچنین دارای اثرات ضدقارچی، ضدالتهابی، ضدسرطانی، ضدویروسی و ضدباکتری هستند. قارچ‌ها پس از برداشت به دلیل رطوبت زیاد، سرعت تنفس بالا، عدم وجود کوتیکول و فعالیت آنزیمی شدید، دارای ماندگاری کمتری نسبت به سایر سبزی‌ها بوده و به سرعت فاسد شده و بلافاصله پس از برداشت تغییر رنگ آن‌ها آغاز می‌شود. جهت افزایش ماندگاری، قارچ‌های خوراکی باید تحت فرآیندهای فرآوری قرار گیرند، از این رو محققین روش‌های مختلفی را برای نگهداری و افزایش زمان ماندگاری قارچ مورد بررسی قرار داده‌اند. اما خشک‌کردن یکی از متداول‌ترین روش‌هایی است که برای قارچ‌های خوراکی مورد استفاده قرار گرفته است. این فرآیند باعث افزایش زمان ماندگاری آن از چند روز به چند ماه تا یک سال و سهولت حمل‌ونقل و نگهداری می‌شود. کاهش رطوبت محصول در فرآیند خشک‌کردن یکی از معمول‌ترین روش‌هایی است که برای قارچ‌های دکمه‌ای مورد استفاده قرار گرفته و برای انجام این فرآیند از خشک‌کن‌های مختلفی از قبیل خشک‌کن هوای داغ، انجمادی، بستر سیال و خورشیدی استفاده شده است. در کشور ایران امکان تولید قارچ دکمه‌ای به عنوان یک محصول با ارزش تغذیه‌ای بالا به مقدار زیاد وجود دارد. لذا در صورتی که به روش مناسب خشک شده و به پودر تبدیل شود، می‌تواند جهت غنی‌سازی محصولات مختلف غذایی از جمله انواع سوپ‌ها، کیک بیسکویت و ماکارونی مورد استفاده قرار گیرد (۱۱). فرآیند خشک‌کردن، نه‌تنها رطوبت محصول را کاهش می‌دهد و ماندگاری را افزایش می‌دهد، بلکه با کاهش حجم، هزینه‌های ذخیره‌سازی و حمل‌ونقل را نیز به حداقل می‌رساند (۱۸). با این حال، انتخاب روش مناسب خشک‌کردن، نظیر هوای گرم، مادون‌قرمز، انجمادی یا خلأ، اهمیت زیادی در حفظ کیفیت فیزیکی و شیمیایی محصولات دارد. تولید پودر یک روش جایگزین برای گسترش عمر مفید مواد غذایی است که منجر به تولید محصولی با ارزش تجاری خوب، مدیریت، بسته‌بندی و حمل‌ونقل آسان می‌گردد. معمولاً پودر میوه خیلی خشک، جاذب الرطوبه یا نم‌پذیر و پرحجم است. بنابراین در طول ذخیره‌سازی، حمل و نقل و اداره آن نیازمند مراقبت ویژه و بسته بندی سنگین است؛ که هزینه‌های نگهداری آن را افزایش می دهد. برای غلبه بر این مشکلات، تراکم پودر میوه به شکل قرص یک روش منحصر به فرد است. این روش به کاهش حجم و همچنین سطح آن کمک می کند و همچنین باعث کاهش میزان رطوبت‌پذیری می شود. متراکم‌کردن (فشرده‌سازی) پودر به شکل قرص معمولاً در صنعت داروسازی برای تولید دوزهای خوراکی جامد مورد استفاده قرار می‌گیرد. اما کاربرد مشابه این نوع تکنیک، در صنایع غذایی هنوز متداول نیست و یا در مراحل

اولیه توسعه است. مرور مقالات چاپ شده، تحقیقات بسیار کمی در این زمینه را نشان می دهد. شکل‌گیری قرص از پودرهای پیتایا، انبه و میوه گواوا توسط یوسف و همکاران[1] (۲۰۱۲)، اونگ و همکاران[2] (۲۰۱۴) و ضیا و همکاران[3] (۲۰۱۳) گزارش شده است(۲۶، ۱۵، ۲۷). همچنین آدیبا و همکاران[4] (۲۰۱۱) نیز درباره قرص‌های غذایی حاوی پودر میوه‌های مختلف (خرما، اسپیرولینا و نارنگی) مورد بررسی قرار دادند(۱). سان و همکاران[5] (۲۰۲۰) نیز قرص‌های غذایی حاوی پودر میوه انبه، کاکتوس و جلبک کلرلا را مورد بررسی قرار دادند(۲۴). ما و همکاران[6] (۲۰۲۳) نیز بهینه‌سازی فرآیند قرص‌های جوشان پودر میوه خولان دریایی را مورد بررسی قرار دادند(۱۳). رشیدی و همکاران[7] (۲۰۲۱) نیز قرص-های غذایی حاوی پودر گوجه‌فرنگی را مورد بررسی قرار دادند(۱۹). بنابراین تبدیل پودرها به قرص‌های فشرده به عنوان فناوری جدیدی در صنایع غذایی مطرح است. قرص‌های غذایی، علاوه بر سهولت در ذخیره‌سازی و حمل‌ونقل، می‌توانند به عنوان مکمل‌های تغذیه‌ای با ارزش افزوده بالا در صنایع مختلف استفاده شوند (۱۸). از اینرو با توجه به چالش‌های جدی مرتبط با ضایعات محصولات کشاورزی و محدودیت‌های موجود در روش‌های سنتی نگهداری و فرآوری، استفاده از فناوری‌های نوین مانند خشک‌کردن و تولید قرص، ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین این تحقیق، با هدف بهینه‌سازی فرآیندهای خشک‌کردن و قرص‌سازی برای محصول کشاورزی فسادپذیری نظیر قارچ دکمه‌ای خوراکی تلاش دارد تا راه‌حل های علمی و عملی برای کاهش ضایعات و افزایش ارزش افزوده این محصول ارائه دهد.

1- Yusof *et al.*
2- Ong *et al.*
3- Zea *et al.*
4- Adiba *et al.*
5- Sun *et al.*
6- Ma *et al.*
7- Rashidi *et al.*

## مواد و روش ها

### آماده سازی نمونه

قارچ خوراکی دکمه‌ای از بازار محلی تهیه شده و بعد از پاک‌کردن و شستشو به صورت قطعات با ضخامت سه میلی‌متر برش خوردند. سپس نمونه‌ها را در آون به مدت ۲۴ ساعت قرار داده تا رطوبت اولیه آن بدست آید، و در نهایت به دو روش خشک‌کردن در سایه و خشک‌کردن به روش پیوسته خشک شدند.

### خشک‌کردن قارچ خوراکی دکمه‌ای به روش پیوسته

برای خشک‌کردن قارچ خوراکی دکمه‌ای به روش پیوسته با استفاده از طراحی آزمایشات به روش سطح پاسخ از دماهای مختلف (۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد) و جریان هوای گرم با سرعت کنترل‌شده (۱/۵، ۲/۵ و ۳/۵ متر بر ثانیه ) به‌منظور دستیابی به بالاترین محتوای فنل، خاصیت آنتی اکسیدانی و ویژگی‌های رنگی مطلوب استفاده شد.

### خشک کردن قارچ خوراکی دکمه‌ای در سایه

برای خشک‌کردن قارچ خوراکی دکمه‌ای در سایه نمونه‌ها در دمای اتاق (۲±۲۲ درجه سانتی‌گراد) و دور از نور مستقیم خورشید قرار گرفتند. این روش به‌عنوان کنترل برای بررسی تغییرات فیزیکوشیمیایی نمونه‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

### فرایند پودرکردن و تهیه قرص قارچ خوراکی دکمه‌ای

پس از اتمام فرآیند خشک‌کردن قارچ‌های خوراکی دکمه‌ای، نمونه بهینه بدست آمده طی فرایند خشک‌کردن به روش سطح پاسخ و همچنین نمونه خشک‌شده در سایه به عنوان نمونه کنترل، برای تهیه قرص استفاده شدند، بنابراین ابتدا ورقه‌های خشک قارچ خوراکی دکمه‌ای در داخل دستگاه آسیاب پاناسونیک (مدل MJ-M176P، ساخت مالزی) ریخته و به مدت یک دقیقه آسیاب و خرد شدند. پس از اتمام فرآیند آسیاب‌کردن، به منظور همگن‌سازی اندازه ذرات، پودر قارچ خوراکی دکمه‌ای حاصله توسط الک (آزمون، ساخت ایران) با مش ۱۴ الک شدند. در نهایت پودر بدست آمده برای تهیه قرص استفاده شد. سپس برای تهیه قرص قارچ خوراکی دکمه-

ای، پودر حاصله تحت پرس هیدرولیک با اعمال فشارهای مختلف ($۵۰\times۱۰^۵$، $۶۰\times۱۰^۵$، $۷۰\times۱۰^۵$، $۸۰\times۱۰^۵$ و $۹۰\times۱۰^۵$ پاسکال)، زمان آسایش تنش (۳، ۸، ۱۳، ۱۸ و ۲۲ ثانیه) و قطر قالب (۱۰، ۱۴، ۱۸، ۲۲ و ۲۶ میلی‌متر) فشرده شدند. پودر قارچ دکمه‌ای به شکل قرص گرد صاف درآمد. سپس آزمون‌های مقاومت به نفوذ، تنش در راستای قطر و چگالی برروی قرص-های بدست آمده انجام شد.

## اندازه‌گیری محتوای فنل کل

برای اندازه‌گیری محتوای فنل کل از روش فولین سیکالتو استفاده شد. به طور خلاصه، ابتدا ۰/۵ گرم از بافت قارچ خوراکی دکمه‌ای با ۳ میلی‌لیتر متانول ۸۵ درصد عصاره‌گیری شد. سپس ۳۰۰ میکرولیتر از عصاره به ۱۵۰۰ میکرولیتر معرف فولین سیکالتو ۱۰ درصد افزوده شد و به مدت ۵ دقیقه در دمای آزمایشگاه قرار گرفت. سپس ۱۲۰۰ میکرولیتر سدیم کربنات ۷ درصد همراه با ۶۰۰ میکرولیتر آب مقطر به آن اضافه شد و به مدت ۹۰ دقیقه روی شیکر ۱۱۰rpm در دمای اتاق به صورت تاریکی تکان داده شد. در نهایت میزان جذب نمونه قارچ خوراکی دکمه‌ای با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتر (مدل کری ۱۰۰، ساخت کشور آمریکا) در طول موج ۷۶۵ nm اندازه‌گیری شد و پس از مقایسه با استاندارد اسیدگالیک، بر اساس میلی‌گرم اسیدگالیک در یک گرم بافت نمونه قارچ خوراکی دکمه‌ای بیان گردید(۲۲).

## ظرفیت آنتی‌اکسیدانی

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی قارچ خوراکی دکمه‌ای از طریق توانایی خنثی‌کنندگی رایکال آزاد DPPH (۲ و ۲دی فنیل ۱-پیکریل هیدرازیل) به صورت درصد بازدارندگی محاسبه شد. در این روش ابتدا ۵۰۰ میکرولیتر از عصاره تهیه‌شده برای فنل کل همراه با ۵۰۰ میکرولیتر آب مقطر به مدت پنج دقیقه و با سرعت ۱۰۰۰دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس ۷۵میکرولیتر از محلول حاصل به لوله‌های آزمایش منتقل شده و در نهایت ۲۹۲۵ میکرولیتر محلول متانولی DPPH (با غلظت ۲/۴میلی-گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر متانول ۸۵ درصد) به آن اضافه شد و پس از چند ثانیه ورتکس، جذب نوری نمونه محلول‌های بدست آمده و شاهد توسط اسپکتوفتومتر (مدل کری ۱۰۰، ساخت آمریکا) در طول موج ۵۱۵ نانو متر قرائت شد. درصد بازدارندگی رادیکال آزاد DPPH از رابطه (۱) محاسبه شد(۴).

رابطه(۱)

$$\text{٪فعالیت مهار رادیکال DPPH} = \left(\frac{A0-A}{A0}\right) \times 100$$

$A_0$: جذب محلول نمونه شاهد

A: جذب نمونه

## اندازه‌گیری شاخص های رنگی

به منظور اندازه‌گیری شاخص‌های رنگی از روش پردازش تصویر استفاده شد. بدین منظور از اسکنر اچ -پی مدل Scan Jet G4010 استفاده شد. ابتدا دستگاه اسکنر توسط کارت‌های سیاه و سفید استاندارد به نحوی که برحسب مقیاس رنگی RGB برای رنگ سیاه عددهای (۰،۰،۰) برای رنگ سفید ( ۲۵۵، ۲۵۵، ۲۵۵) را نشان دهد، کالیبره شد. سپس نمونه‌های خشک قارچ خوراکی دکمه‌ای با درجه تفکیک ۱۲۰۰ dpi اسکن شدند. عکس‌های به دست آمده توسط نرم افزار متلب نسخه ۲۰۱۷ پردازش گردید و مقادیر رنگی $a^*$، $L^*$ و $b^*$ به دست آمده محاسبه شدند (۶).

## چگالی واحد قرص قارچ خوراکی دکمه‌ای

چگالی واحد هر قرص به وسیله اندازه‌گیری حجم و جرم قرص تعیین شد. چگالی واحد قرص قارچ خوراکی دکمه‌ای بر اساس رابطه (۲) محاسبه شد.

رابطه(۲)

$$\rho=\frac{M}{V}$$

ρ: چگالی برحسب گرم بر میلی متر مکعب

M: وزن برحسب گرم

V: حجم بر حسب میلی متر مکعب

## مقاومت به نفوذ قرص قارچ خوراکی دکمه‌ای

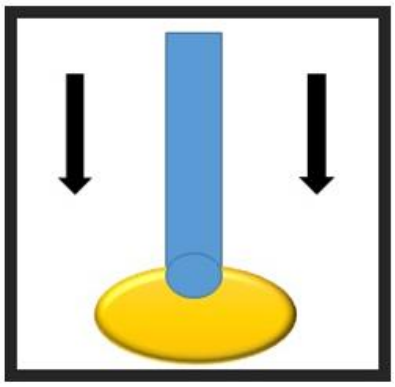
بدین منظور، یک پروب با قطر ۵ میلی‌متر با سرعت ۱۰ میلی‌متر در دقیقه به قرص قارچ خوراکی دکمه‌ای نفوذ می-کرد. در این آزمایش حداکثر نیرو به عنوان مقاومت به نفوذ (شاخص سفتی بافت) توسط دستگاه تست محوری مدل TM-S0250 ساخت شرکت همدان آزمون کاوشگر ثبت شد(۹). شماتیک نحوه قرار گیری نمونه‌ها زیر پروب در شکل ۱ نشان داده شده است.

## تنش در راستای قطر

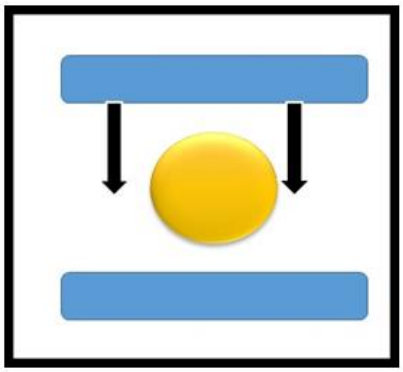
برای بدست‌آوردن تنش در راستای قطر، قرص‌ها بین دو صفحه صلب قرار گرفتند و یکی از آن‌ها با سرعت ثابت ۰/۲ میلی‌متر بر ثانیه به سمت پایین حرکت کرد. در این شرایط، تنش کششی قرص به سمت بیرون در امتداد محور عمودی عمل می‌کرد. نیرویی که قرص را در امتداد محور مرکزی خود می‌شکند به عنوان حداکثر نیروی شکست شناخته می‌شود. در نتیجه تنش کششی قرص با رابطه (۳) محاسبه شد(۲۴).

رابطه (۳) $$\sigma t = \frac{2F_{max}}{\pi DH}$$

که $\sigma_t$ و $F_{max}$ به ترتیب تنش کششی (MPa) و نیروی شکست (N)، D قطر و H عرض نمونه بود. $F_{max}$ توسط دستگاه تست محوری مدل TM-S0250 ساخت شرکت همدان آزمون کاوشگر ثبت و گزارش شد.



**شکل(۱) شماتیک نحوه قرارگیری نمونه‌ها زیر پروب**
**Figure (1) Schematic of how samples are placed under the probe.**



**شکل(۲) شماتیک نحوه قرارگیری نمونه‌ها زیر پروب**
**Figure (2) Schematic of how samples are placed under the probe.**

## تجزیه و تحلیل داده‌ها و بهینه سازی

در این پژوهش برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و بهینه‌سازی فرآیند خشک‌کردن با خشک‌کن پیوسته و تهیه قرص فشرده کروی تولید شده از پودر قارچ خوراکی دکمه‌ای بهینه حاصل از خشک کن پیوسته و سایه از روش سطح پاسخ استفاده شد. آزمایش‌ها در قالب طرح مرکب مرکزی در نرم‌افزار دیزاین اکسپرت نسخه ۱۳ تعریف شدند. متغیرهای مستقل (ورودی) به نرم افزار دیزاین اکسپرت در خشک‌کن پیوسته شامل دما (۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد) و سرعت هوا (۱/۵، ۲/۵ و ۳/۵ متر بر ثانیه) و متغیرهای وابسته برای خشک‌کردن نیز شامل فنل کل، خاصیت آنتی‌اکسیدانی و پارامترهای رنگی بود. در مورد بهینه-سازی فرایند قرص‌سازی با پرس هیدرولیک نیز متغیر-های مستقل شامل: فشار فشارهای مختلف ($۵۰\times۱۰^۵$، $۶۰\times۱۰^۵$، $۷۰\times۱۰^۵$، $۸۰\times۱۰^۵$ و $۹۰\times۱۰^۵$ پاسکال)، زمان آسایش تنش ( ۳، ۸، ۱۳، ۱۸ و ۲۲ ثانیه) و قطر قالب (۱۰، ۱۴، ۱۸، ۲۲ و ۲۶ میلی‌متر) و متغیرهای وابسته نیز شامل مقاومت به نفوذ، تنش در راستای قطر و چگالی بودند. تعیین مدل و بهینه‌کردن عددی با نرم افزار دیزاین اکسپرت انجام گرفت. برای تحلیل متغیرهای وابسته، مدل چندجمله‌ای درجه دوم در نرم افزار، بکار گرفته شد.

$$Y=\beta_0+\beta_1X_1+\beta_2X_2+\beta_3X_3+\beta_{12}X_1X_2+\beta_{13}X_1X_3 +\beta_{23}X_2X_3+\beta_1^2X_1^2+\beta_2^2X_2^2+\beta_3^2X_3^2$$

در این معادله Y متغیر پاسخ می‌باشد و عبارت است از متغیر تابع یا پاسخ $X_1$، $X_2$ و $X_3$ به ترتیب شامل دما و سرعت هوا برای فرایند خشک‌کردن و همچنین برای قرص‌سازی به ترتیب شامل فشار، قطر قالب و زمان آسایش تنش بود. مقادیر $\beta_1$، $\beta_2$ و $\beta_3$ به ترتیب اثرات خطی دما و سرعت هوا برای فرایند خشک‌کردن و اثرات خطی فشار، قطر قالب و زمان آسایش تنش قرص‌سازی با پرس هیدرولیک، مقادیر $\beta_1^2$، $\beta_2^2$ و $\beta_3^2$ ضرایب اثرات درجه دوم دما و

سرعت هوا برای فرایند خشک‌کردن و اثرات درجه دوم فشار، قطر قالب و زمان آسایش تنش قرص‌سازی با پرس هیدرولیک، و مقادیر $\beta_{12}$، $\beta_{13}$ و $\beta_{23}$ به ترتیب ضریب اثر متقابل دما و سرعت هوا برای خشک‌کردن و اثر متقابل فشار و قطر قالب، فشار و زمان، قطر قالب و زمان برای قرص‌سازی می‌باشند. با استفاده از جدول آنالیز واریانس (ANOVA) معنی‌داربودن اثرات خطی، درجه دوم و متقابل ضرایب مدل رگرسیون برای هر پاسخ در سطح ۰/۰۵ بررسی گردید. در جدول‌های ۱ و ۲ تعداد آزمایشات طرح‌شده برای بهینه‌سازی فرایند خشک‌کردن و قرص‌سازی نشان داده شده است.

## نتایج و بحث

ضرایب معادله رگرسیونی حاصل از روش سطح پاسخ و اطلاعات آماری به دست آمده برای متغیرهای پاسخ در جداول ۳، ۴ و ۵ آورده شده است. با توجه به مقادیر آماری ارائه‌شده در جداول ۳، ۴ و ۵ مشاهده می‌شود که مقدار ضریب تبیین ($R^2$) برای تمامی مدل‌های ارائه‌شده بجزخاصیت آنتی‌اکسیدانی در شرایط خشک‌کن

پیوسته و ویژگی‌های چگالی و تنش در راستای قطر قرص حاصل از پودر قارچ خوراکی دکمه‌ای خشک‌شده به روش سایه بالاتر از ۰/۸۶ بود. همچنین با توجه به معنی‌دارنشدن فاکتور عدم برازش برای همه متغیرهای مورد مطالعه، می‌توان گفت که مدل‌های ارائه شده به خوبی توانسته‌اند مقدار تغییرات متغیرهای وابسته را پیش‌بینی کنند.

### محتوای فنل کل

نتایج تجزیه واریانس متغیرهای پاسخ در فرایند خشک‌کردن پیوسته در جدول ۳ نشان داده شده است. طبق نتایج اثر خطی و درجه دوم دما و اثر درجه دوم سرعت هوا در خشک‌کن پیوسته بر محتوای فنل کل قارچ خوراکی دکمه‌ای معنی‌دار بود ($p<۰/۰۵$). اما اثر خطی سرعت هوا و برهمکنش سرعت فن و دمای خشک‌کن پیوسته بر محتوای فنل کل معنی‌دار نبود ($p>۰/۰۵$). ضریب منفی اثر درجه دوم سرعت هوا در مدل برازش شده به داده‌های آزمایش با استفاده از روش سطح پاسخ دلالت بر اثر منفی این متغیر بر محتوای فنل کل دارد؛ به عبارت دیگر با افزایش سرعت هوا، محتوای فنل کل قارچ خوراکی دکمه‌ای کاهش یافت. همانطور که از نتایج شکل ۳ قابل مشاهده است، با افزایش دما، محتوای فنل کل قارچ دکمه‌ای خوراکی افزایش یافت. این می‌تواند به دلیل وجود ترکیبات فنلی با وزن مولکول بالا و متصل به دیواره سلولی گیاه باشد که ممکن است باعث افزایش فنل کل بافت از طریق اثر دما شود(۲). علت این افزایش این است که فراوری حرارتی ممکن است اسید فنولیک بیشتری را از تجزیه اجزای سلولی آزاد کند. از طرفی اثر درجه دوم سرعت هوا نیز نشان داد که افزایش سرعت هوا ابتدا باعث افزایش محتوای فنل کل شد اما بعد از رسیدن به نقطه اوج، روند کاهشی نشان داد. در راستای این پژوهش، چاین و همکاران[1] (۲۰۱۵) ویژگی‌های خشک‌شدن و کیفیت محصول برش‌های کیوی خشک‌شده با هوای گرم را مورد بررسی قرار دادند. خشک‌کردن برش‌های کیوی در هوای گرم در دمای خشک شدن بین ۴۰ تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد. نتایج نشان داد که خشک‌کردن برش‌های کیوی در دمای خشک‌شدن بالاتر، سرعت خشک‌شدن را تحریک می‌کند که منجر به کوتاه‌شدن زمان خشک‌شدن کل مورد نیاز می‌شود. ازنظر آنالیز کیفیت، برش‌های کیوی خشک‌شده در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد با سریع‌ترین سرعت خشک‌کردن، بیشتر محتوای فنلی کل را در نمونه خشک‌شده حفظ کردند. به عبارتی دیگر، با افزایش سرعت خشک‌کردن که منجر به کاهش زمان خشک‌کردن شد، مقدار بیشتری از محتوای فنلی کل حفظ شد(۷). این مطالعه یافته‌های بدست‌آمده در پژوهش حاضر را تائید می‌نماید.

1- Chin *et al.*

**جدول(۱) آزمایش‌های انجام‌شده برای بررسی اثر متغیرهای پاسخ بر فرایند خشک‌کردن به روش سطح پاسخ**

**Table (1) Experiments conducted to investigate the effect of response variables on the drying process using the response surface method**

| شماره آزمایش Test No. | متغیرهای مستقل Independent variables | |
|---|---|---|
| | فاکتور اول Factor 1 | فاکتور دوم Factor 2 |
| | دمای هوا (درجه سانتی گراد) A: Air temperature (˚C) | سرعت هوا (متر برثانیه) B: Air velocity (m/s) |
| 1 | 50 | 2.5 |
| 2 | 60 | 2.5 |
| 3 | 70 | 3.5 |
| 4 | 60 | 2.5 |
| 5 | 60 | 3.5 |
| 6 | 50 | 1.5 |
| 7 | 60 | 2.5 |
| 8 | 60 | 1.5 |
| 9 | 70 | 2.5 |
| 10 | 70 | 1.5 |
| 11 | 50 | 3.5 |

**جدول(۲) آزمایش‌های انجام‌شده برای بررسی اثر متغیرهای پاسخ بر فرایند قرص‌سازی به روش سطح پاسخ**

**Table (2) Experiments conducted to investigate the effect of response variables on the tableting process using the response surface method**

| شماره آزمایش Test No. | متغیرهای مستقل Independent variables | | |
|---|---|---|---|
| | فاکتور اول Factor 1 | فاکتور دوم Factor 2 | فاکتور سوم Factor 3 |
| | فشار×۱۰$^5$ (پاسکال) A: Pressure ×$10^5$ (Pa) | قطر قالب (میلی متر) B: Die diameter (mm) | زمان آسایش تنش (ثانیه) C: Relaxation time (s) |
| 1 | 70 | 18 | 13 |
| 2 | 60 | 14 | 8 |
| 3 | 80 | 22 | 8 |
| 4 | 80 | 14 | 18 |
| 5 | 60 | 22 | 8 |
| 6 | 80 | 22 | 18 |
| 7 | 60 | 14 | 18 |
| 8 | 70 | 26 | 13 |
| 9 | 60 | 22 | 18 |
| 10 | 70 | 18 | 13 |
| 11 | 70 | 18 | 13 |
| 12 | 80 | 14 | 8 |
| 13 | 70 | 18 | 23 |
| 14 | 50 | 18 | 13 |
| 15 | 90 | 18 | 13 |
| 16 | 70 | 10 | 13 |
| 17 | 70 | 18 | 3 |

**جدول(۳) ضرایب مدل برازش داده شده به معادله رگرسیونی درجه دوم برای متغیرهای پاسخ در فرایند خشک‌کردن قارچ**
**Table (3) Coefficients of the model fitted to the quadratic regression equation for the response variables in the drying process of mushroom**

| ضرایب مدل Model coefficients | متغیر پاسخ Response variable | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | شاخص رنگ روشنایی L* | شاخص رنگ قرمزی-سبزی a* | شاخص رنگ زرد -آبی b* | خاصیت آنتی‌اکسیدانی Antioxidant property (%) | فنل کل Total phenol (mgGAE/gDM) |
| β0 | 70.19 | -24.11 | 1.18 | 91.51 | 6.59 |
| β1 | -0.5567 $^{ns}$ | -1.48 $^{ns}$ | -0.2650 $^{ns}$ | $^{*}$0.5142 | $^{*}$0.8375 |
| β2 | -0.1600 $^{ns}$ | 1.46 $^{ns}$ | -0.0617 $^{ns}$ | 0.0000 $^{ns}$ | -0.2338 $^{ns}$ |
| β12 | 0.5325 $^{ns}$ | -2.27 $^{ns}$ | -0.1175 $^{ns}$ | - | 0.3147 $^{ns}$ |
| $\beta1^2$ | $^{*}$-1.35 | $^{*}$7.80 | $^{*}$4.31 | - | $^{*}$1.01 |
| $\beta2^2$ | $^{*}$-2.33 | $^{*}$9.63 | $^{*}$1.06 | - | $^{*}$-2.23 |
| P-value of model | 0.0041 | 0.0015 | 0.0008 | 0.0020 | 0.0061 |
| $R^2$ | 0.9422 | 0.9613 | 0.9700 | 0.7891 | 0.9318 |
| Adjusted-$R^2$ | 0.8843 | 0.9225 | 0.9400 | 0.7364 | 0.8635 |
| Predicted $R^2$ | 0.5813 | 0.7569 | 0.7893 | 0.7030 | 0.3588 |
| P-value of Lack of fit | 0.2695 | 0.1826 | 0.0836 | 0.7852 | 0.1833 |

*نشان دهنده اختلاف معنی دار و ns نشان دهنده اختلاف غیر معنی دار در سطح ۰/۰۵ می‌باشد.

*indicates a significant difference and $^{ns}$ indicates a non-significant difference at 0.05 level.

## خاصیت آنتی اکسیدانی

نتایج تجزیه واریانس متغیرهای پاسخ در فرایند خشک کردن پیوسته در جدول ۳ نشان داده شده است. طبق نتایج، تنها اثر خطی دمای خشک‌کن پیوسته بر محتوای فنل کل قارچ خوراکی دکمه‌ای معنی‌دار بود ($p<۰/۰۵$). ضریب مثبت اثر خطی دما در مدل برازش‌شده به داده‌های آزمایش با استفاده از روش سطح پاسخ دلالت بر اثر مثبت این متغیر بر خاصیت آنتی‌اکسیدانی دارد. همانطور که در شکل ۳ قابل مشاهده است با افزایش دمای هوا، خاصیت آنتی‌اکسیدانی قارچ خوراکی دکمه‌ای خشک‌شده افزایش یافت. باتوجه به یافته‌های بدست-آمده از محتوای فنل کل این یافته‌ها قابل پیش‌بینی بود، زیرا در متغیر پاسخ محتوای فنلی نیز، افزایش دما باعث افزایش محتوای فنل کل شد. از طرفی هرچه محتوای فنل کل یک ماده بیشتر باشد، خاصیت آنتی‌اکسیدانی آن بیشتر است. اگرچه اختلال در دیواره سلولی باعث آزادشدن آنزیم‌های اکسیدکننده و هیدرولیتی نیز می‌شود که می‌توانند آنتی‌اکسیدان‌ها را در میوه-ها و سبزیجات نابود کنند.

اما فرآیند حرارتی در دماهای پایین، این آنزیم‌ها را غیرفعال می‌کند تا از تخریب و ازدست‌دادن اسید فنولیک جلوگیری شود، ولی با افزایش دما، آنزیم‌ها فعال‌شده و منجر به از دست-دادن اسید فنولیک می‌شود و در نتیجه ظرفیت آنتی‌اکسیدانی افزایش پیدا می‌کند(۲۵). رشیدی و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای که برای بهینه‌سازی عملکرد خشک‌کن خلایی-مادون‌قرمز در فرآیند تولید قرص فشرده گوجه‌فرنگی انجام دادند، گزارش کردند که افزایش دمای خشک‌کن باعث افزایش خاصیت آنتی‌اکسیدانی پودر گوجه‌فرنگی شد (۱۷). این گزارش با یافته‌های بدست‌آمده در پژوهش حاضر مشابهت دارد.

## شاخص های رنگی (L*,a*, b*)

نتایج مربوط به تجزیه واریانس شاخص‌های رنگی در جدول ۳ نشان داده شده است. همانطور که از نتایج ملاحظه شد، از اثر فاکتورهای مستقل خشک‌کردن بر شاخص‌های روشنایی (*L*)، قرمزی (*a*) و زردی (*b*) تنها اثر درجه دوم دما و سرعت هوا معنی‌دار بود(p<۰/۰۵). همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده است با افزایش دما و سرعت هوا، شاخص روشنایی (*L*) ابتدا افزایش و سپس کاهش یافته است. کاهش شاخص روشنایی (*L*) به دلیل افزایش نرخ واکنش‌های قهوه‌ای‌شدن و واکنش‌های کاراملیزاسیون می‌باشد که منجر به افزایش مقدار تیرگی محصول شده است. علاوه براین طبق آنچه در شکل ۴ مشاهده شد، با افزایش دما و سرعت هوا، شاخص‌های قرمزی (*a*) و زردی (*b*) ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت. که علت آن می‌تواند انجام واکنش‌های شیمیایی در محصول و تجزیه رنگ دانه‌های نمونه باشد. رشیدی و همکاران (۲۰۲۱) نیز در مطالعه‌ای که روی ویژگی‌های شیمیایی و کیفی قرص فشرده تولیدشده از پودر گوجه‌فرنگی تحت شرایط مایکروویو- هوای گرم و بهینه‌سازی آن به روش سطح پاسخ انجام دادند، گزارش نمودند که با افزایش دما شاخص روشنایی کاهش و شاخص قرمزی و زردی محصول افزایش یافت و علت آن را به واکنش-های قهوه‌ای شدن و کاراملیزاسیون نسبت دادند(۱۹). رشیدی و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه ی دیگری که برروی بهینه‌سازی عملکرد خشک‌کن خلایی-مادون قرمز در فرآیند تولید قرص فشرده گوجه‌فرنگی انجام دادند، گزارش کردند که افزایش دمای خشک‌کن باعث افزایش شاخص قرمزی و زردی و کاهش شاخص روشنایی شد(۱۷). این گزارش‌ها با یافته‌های بدست‌آمده در پژوهش حاضر همخوانی دارد.

**جدول (٤) ضرایب مدل برازش داده شده به معادله رگرسیونی درجه دوم برای متغیرهای پاسخ در فرایند قرص‌سازی از پودر قارچ خشک‌شده به روش پیوسته**

**Table (4) Coefficients of the model fitted to quadratic regression equation for the response variables in process of tablets making from the dried mushroom powder using a continuous method**

| ضرایب مدل<br>Model coefficients | متغیر پاسخ<br>Response variable<br>چگالی (گرم بر مترمکعب)<br>Density (g/m$^3$) | مقاومت به نفوذ (نیوتون)<br>Resistance to penetration (N) | تنش در راستای قطر (مگاپاسکال)<br>Tension along the diameter (MPa) |
|---|---|---|---|
| β0 | 0.0012 | 956.42 | 44.97 |
| β1 | 0.0000$^{ns}$ | -17.02$^{ns}$ | $^{*}$5.84 |
| β2 | $^{*}$-0.0001 | 2.35$^{ns}$ | $^{*}$-5.58 |
| β3 | -4.935E-06$^{ns}$ | 22.24$^{ns}$ | $^{*}$4.84 |
| β12 | -0.0000$^{ns}$ | $^{*}$74.42 | $^{*}$4.69 |
| β13 | -0.0000$^{ns}$ | -84.61$^{*}$ | -0.0913$^{ns}$ |
| β23 | $^{*}$0.0001 | -10.07$^{ns}$ | 1.75$^{ns}$ |
| $\beta1^2$ | - | -161.37$^{*}$ | $^{*}$-1.05 |
| $\beta2^2$ | - | -3.77$^{ns}$ | -3.17$^{ns}$ |
| $\beta3^2$ | - | -3.47$^{ns}$ | 1.72$^{ns}$ |
| P-value of model | 0.0023 | < 0.0001 | 0.0030 |
| $R^2$ | 0.8291 | 0.9785 | 0.9282 |
| Adjusted-$R^2$ | 0.7265 | 0.9509 | 0.8360 |
| Predicted $R^2$ | 0.3962 | 0.8428 | 0.5113 |
| P-value of Lack of fit | 0.5024 | 0.2487 | 0.4425 |

*نشان دهنده اختلاف معنی دار و ns نشان دهنده اختلاف غیر معنی دار در سطح ۰/۰۵ می‌باشد.

*Indicates a significant difference and $^{ns}$ indicates a non-significant difference at 0.05 level.

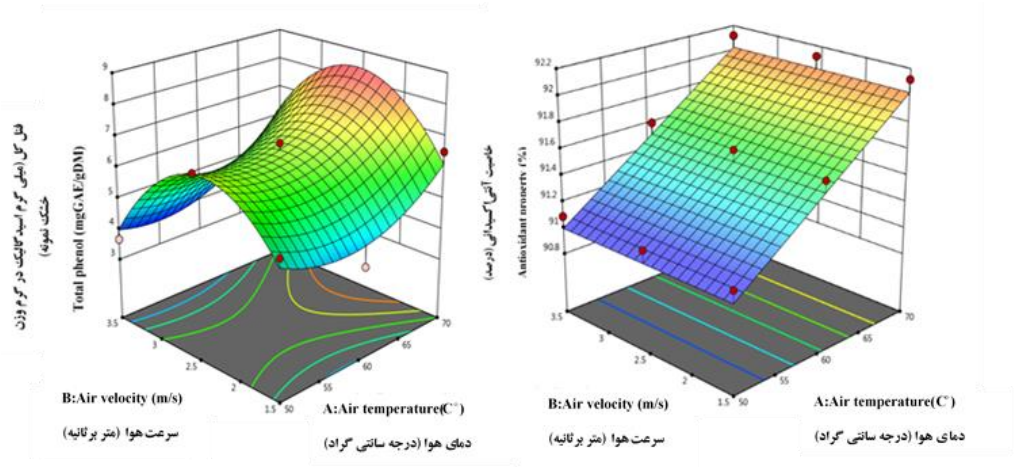
**جدول(۵) ضرایب مدل برازش داده‌شده به معادله رگرسیونی درجه دوم برای متغیرهای پاسخ در فرایند قرص‌سازی از پودر قارچ خشک‌شده به روش سایه**

**Table (5) Coefficients of the model fitted to the quadratic regression equation for the response variables in the tableting process of mushroom powder dried by the shade method.**

| ضرایب مدل Model coefficients | متغیر پاسخ response variable | | |
|---|---|---|---|
| | دانسیته (گرم بر مترمکعب) Density ($g/m^3$) | مقاومت به نفوذ (نیوتون) Resistance to penetration (N) | تنش در راستای قطر (مگاپاسکال) tension along the diameter (MPa) |
| β0 | 0.0012 | 508.14 | 334.35 |
| β1 | $0.0000^{ns}$ | $121.97^{*}$ | $42.64^{*}$ |
| β2 | $-0.0001^{*}$ | $-140.37^{*}$ | $37.30^{*}$ |
| β3 | $2.784E-06^{ns}$ | $43.06^{ns}$ | $13.98^{ns}$ |
| β12 | - | $92.21^{*}$ | - |
| β13 | - | $61.41^{ns}$ | - |
| β23 | - | $155.53^{*}$ | - |
| $β1^2$ | - | - | - |
| $β2^2$ | - | - | - |
| $β3^2$ | - | - | - |
| P-value of model | 0.0155 | 0.0007 | 0.0099 |
| $R^2$ | 0.5383 | 0.8686 | 0.5707 |
| Adjusted-$R^2$ | 0.4318 | 0.7898 | 0.4716 |
| Predicted $R^2$ | 0.1868 | 0.1784 | 0.3048 |
| P-value of Lack of fit | 0.3175 | 0.1942 | 0.2346 |

*نشان دهنده اختلاف معنی دار و $^{ns}$ نشان‌دهنده اختلاف غیرمعنی‌دار در سطح ۰/۰۵ می‌باشد.

*Indicates a significant difference and $^{ns}$ indicates a non-significant difference at 0.05 level.




**شکل(۳) اثر فاکتور دما و سرعت فن بر محتوی فنل کل و خاصیت آنتی اکسیدانی قارچ خوراکی دکمه‌ای**

**Figure (3) Effect of air temperature and air velocity on the total phenol content and antioxidant properties of edible button mushroom**

## بهینه‌یابی نمونه قارچ خوراکی خشک‌شده به روش خشک‌کن پیوسته و مقایسه آن با نمونه خشک‌شده در سایه

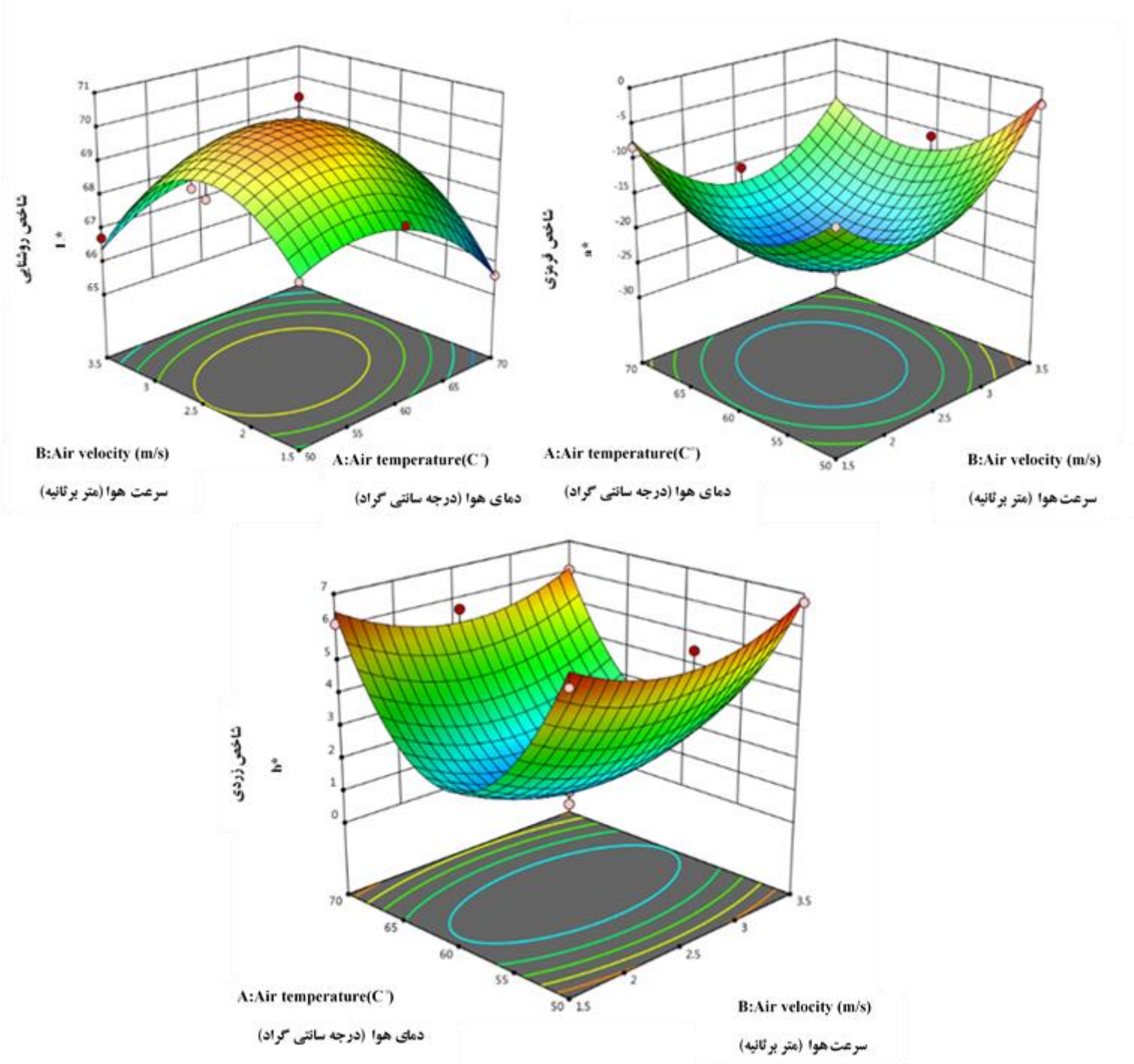
به منظور بهینه‌سازی هم‌زمان متغیرهای پاسخ، از روش سطح پاسخ و تابع مطلوبیت استفاده شد. محدوده کمترین و بیشترین مقدار متغیرهای پاسخ جهت بهینه‌سازی فرایند خشک‌کردن استفاده شد. برای بهینه‌یابی عددی از شرایطی استفاده شد که میزان فنل کل و خاصیت آنتی‌اکسیدانی و شاخص رنگ روشنایی در محدوده بیشینه و شاخص رنگ قرمزی و زردی در محدوده کمینه بود. نتایج مربوط به بهینه‌یابی در شکل ۵ نشان داده شده است. طبق یافته‌های بدست‌آمده از بهینه‌یابی، شرایطی که در آن دما ۶۴/۱۰ درجه سانتی‌گراد و سرعت هوا ۲/۴۹ متر برثانیه بود با مطلوبیت ۷۶/۳ درصد به عنوان شرایط بهینه انتخاب شد. نمونه قارچ خوراکی دکمه‌ای خشک‌شده در شرایط بهینه دارای محتوای فنل کل ۷/۱۰ میلی‌گرم اسیدگالیک در وزن نمونه خشک، خاصیت آنتی‌اکسیدانی ۹۱/۷۲ درصد، شاخص روشنایی ($L^*$) ۶۹/۷۳، شاخص قرمزی ($a^*$) ۲۳/۴۴- و شاخص زردی ($b^*$) ۱/۸۰ بود. نمونه خشک‌شده در سایه نیز دارای محتوای فنل کل ۲/۸۷ میلی‌گرم اسیدگالیک در وزن نمونه خشک، خاصیت آنتی‌اکسیدانی ۹۱/۲۷ درصد، شاخص روشنایی ($L^*$) ۷۲/۵۴، شاخص قرمزی ($a^*$) ۹/۰۹- و شاخص زردی ($b^*$) ۶/۷۴ بود. از روی یافته‌های مربوط به قارچ خشک‌شده با خشک‌کن پیوسته و در سایه می‌توان دریافت که محتوای فنل کل و خاصیت آنتی‌اکسیدانی در روش خشک‌کن پیوسته بالاتر از روش سایه خشک بود. علت آن می‌تواند به دلیل تخریب بیشتر دیواره سلولی و آزادسازی محتوای فنل بیشتر باشد. از لحاظ ویژگی‌های رنگی، نمونه خشک‌شده به روش خشک‌کن پیوسته روشنایی کمتری دارد اما از لحاظ ویژگی رنگ قرمزی و زردی مطلوب‌تر از روش سایه‌خشک بود. علت تیره بودن هم به سبب واکنش‌های شیمیایی در دمای بالای خشک‌کن پیوسته می‌باشد. در حالت کلی، نمونه خشک‌شده به روش پیوسته به دلیل محتوای فنلی و خاصیت آنتی‌اکسیدانی بالاتر و ویژگی‌های رنگی بهتر، مطلوب‌تر از نمونه خشک‌شده به روش سایه بود.

## قرص‌سازی از پودر قارچ خشک‌شده به روش خشک‌کن پیوسته و سایه

### چگالی

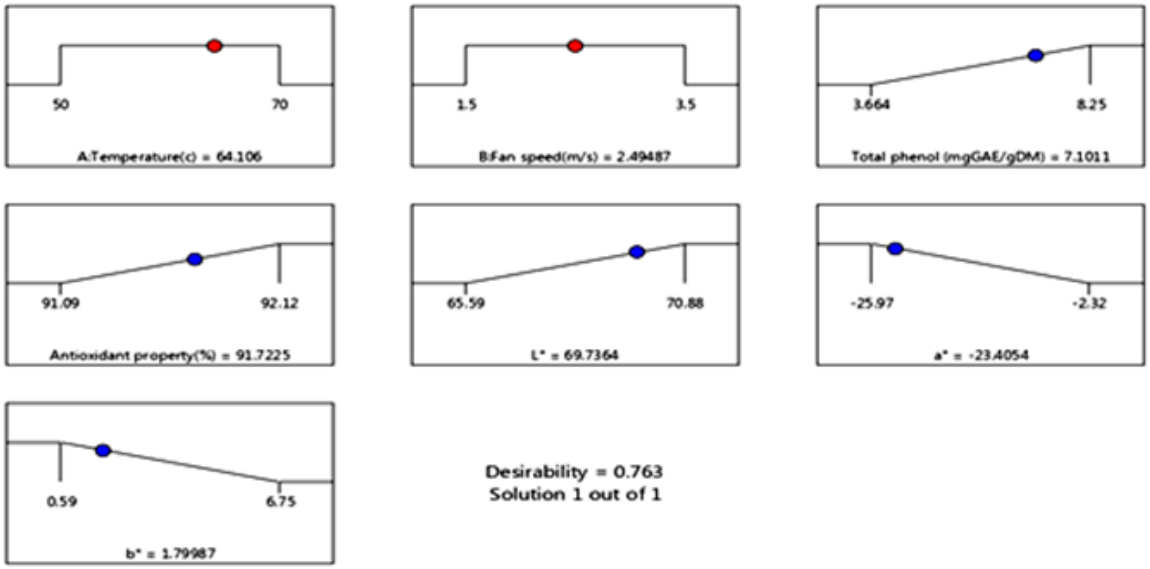
نتایج مربوط به تجزیه واریانس متغیرهای پاسخ قرص تهیه‌شده از پودر نمونه بهینه حاصل از خشک‌کن پیوسته در جدول ۴ نشان داده شده است. طبق نتایج بدست‌آمده، تنها اثر خطی فاکتور قطر و برهمکنش فاکتور قطر و زمان آسایش تنش بر روی چگالی قرص معنی‌دار بود($p<۰/۰۵$). باتوجه به ضریب منفی قطر قالب، بین چگالی و قطر رابطه معکوس وجود دارد. طبق شکل ۶با افزایش قطر قالب، چگالی نمونه کاهش یافت. برهمکنش زمان آسایش تنش و قطر نیز نشان می‌دهد با افزایش همزمان هر دو، چگالی کاهش یافت. افزایش زمان آسایش تنش، باعث افزایش تخلخل بیشتر قرص و درنتیجه چگالی کمتر قرص شد. مقایسه خواص قرص معمولا براساس چگالی نهایی یا تخلخل نسبی انجام می‌شود. به عنوان مثال چگالی نسبی ۰/۹ معمولا برای مقایسه استحکام قرص‌ها در داروسازی استفاده می‌شود(۲۳). در راستای همین پژوهش زیا و همکاران (۲۰۱۳) نتایج مشابهی را برای قرص های مخلوط میوه گزارش کردند(۲۷). سیف الله و همکاران[1] (۲۰۱۶) نیز همین نتایج را برای پودر میوه‌های پیتایا، آناناس، انبه و گواوا گزارش کردند (۲۰). نتایج مربوط به تجزیه واریانس متغیرهای پاسخ قرص تهیه‌شده از پودر نمونه قارچ خشک‌شده به روش سایه در جدول ۵ نشان داده شده است. طبق نتایج بدست آمده تنها اثر خطی قطر قالب برروی چگالی قرص حاصل از پودر قارچ خشک‌شده به روش سایه معنی‌دار بود ($p<۰/۰۵$). باتوجه به ضریب منفی قطر قالب، افزایش قطر قالب باعث کاهش چگالی قرص قارچ خوراکی شد. از طرفی طبق آنچه در شکل ۷ مشاهده می‌شود با افزایش قطر قالب، چگالی قرص با شیب تندی کاهش یافت. این یافته‌ها نشان می‌دهد که قطر قالب مهم‌ترین پارامتر تاثیرگذار بر چگالی قرص قارچ می‌باشد.

1- Saifullah *et al.*



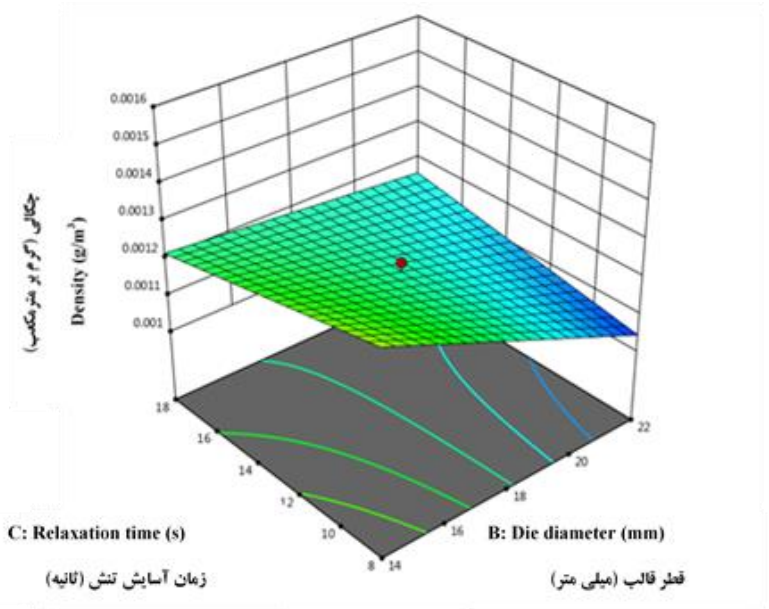

**شکل(٤) اثر دما و سرعت هوا بر شاخص‌های رنگی (L*,a*, b*) قارچ خوراکی دکمه‌ای**

**Figure (4) Effect of temperature and air velocity on the color indicators (L*, a*, b*) of edible button mushroom.**



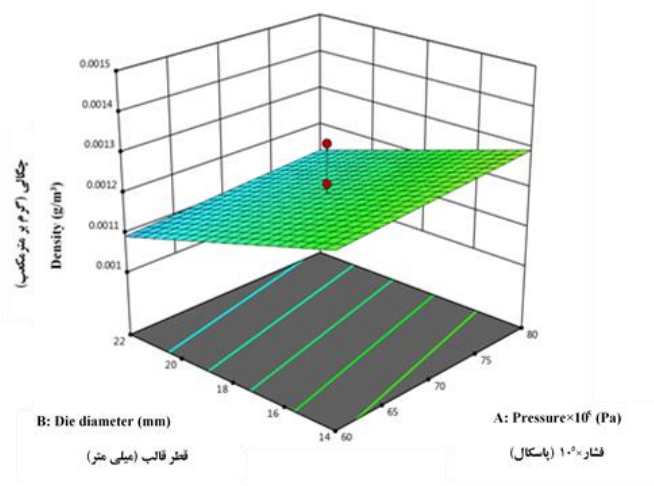

**شکل(۵) نتایج بدست آمده از بهینه یابی عددی برای قارچ خشک شده به روش پیوسته**

**Figure (5) The results obtained from numerical optimization for dried mushrooms by continuous method**




**شکل(٦) اثر برهمکنش فاکتور قطر قالب و زمان آسایش تنش بر چگالی قرص حاصل از پودر قارچ خشک‌شده به روش پیوسته**

**Figure (6) Interaction effect of die diameter and stress relaxation time on tablet density obtained from mushroom powder dried by the continuous method**.




**شکل(۷) اثر فاکتور قطر قالب بر چگالی قرص حاصل از پودر قارچ خشک‌شده در سایه**

**Figure (7) The effect of diameter factor on the density of tablets obtained from mushroom powder dried in the shade**

## مقاومت به نفوذ و تنش در راستای قطر

نتایج مربوط به تجزیه واریانس مقاومت به نفوذ و تنش در راستای قطر قرص حاصل از پودر قارچ خشک‌شده به روش پیوسته در جدول ۴ نشان داده شده است. طبق نتایج اثر درجه دوم فشار، برهمکنش فشار و قطر قالب و برهمکنش فشار و زمان آسایش برروی مقاومت به نفوذ قرص معنی‌دار بود($p<۰/۰۵$). همانطور که در شکل ۸ نشان داده شده است. برهمکنش فشار و قطر و برهمکنش فشار و زمان آسایش نشان داد که با افزایش همزمان متغیرها، مقاومت به نفوذ قرص تهیه شده، ابتدا روند افزایشی و سپس روند کاهشی نشان داده است. اثر درجه دوم فشار نیز نشان داد که با افزایش فشار، مقاومت به نفوذ ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. قرص‌های قارچ خوراکی دکمه‌ای باید دارای استحکام و مقاومت کافی در برابر شکستگی و ترک‌خوردن باشند تا اثرات فشار و تنش را در حین تولید، بسته‌بندی و حمل و نقل تحمل کنند(۱۴). بسیم و همکاران[1] (۲۰۱۹) نیز نتایج بدست‌آمده در این پژوهش را تائید می نمایند(۳). نتایج مربوط به تنش در راستای قطر نیز نشان داد که اثر خطی فشار، قطر قالب و زمان آسایش تنش و همچنین برهمکنش فشار و قطر قالب و اثر درجه دوم قطر بر تنش در راستای قطر قرص حاصل از پودر قارچ خشک‌شده به روش پیوسته معنی‌دار بود($p<۰/۰۵$). همانطور که در شکل ۹ نشان داده شده است، با افزایش فشار و زمان آسایش تنش، تنش در راستای قطر افزایش یافت، اما با افزایش قطر، تنش در راستای قطر به صورت سهمی کاهش پیدا کرد. قابلیت تشکیل قرص معمولا به عنوان رابطه بین نیروی فشاری و تنش در راستای قطر تعریف می‌شود؛ و به طورکلی به عنوان یک نمودار گرافیکی از تنش در راستای قطر قرص در مقابل نیروی فشاری گزارش شده است(۱۲). همچسبی‌های ثانویه که در هنگام تغییر شکل پودرهای حجیم ظاهر می‌شوند نیز ممکن است برروی تنش در راستای قطر قرص‌ها اثر بگذارد. هورابیک و همکاران[2] (۲۰۱۹) و دادات و همکاران[3] (۲۰۱۷) گزارش دادند که تنش کششی با افزایش نیروی فشاری افزایش می‌یابد(۱۰، ۸). برخی از محققان دیگر مثل پاور و همکاران[4] (۲۰۱۶)، خورشید و همکاران[5] (۲۰۱۹) و شاه

1- Basim *et al.*

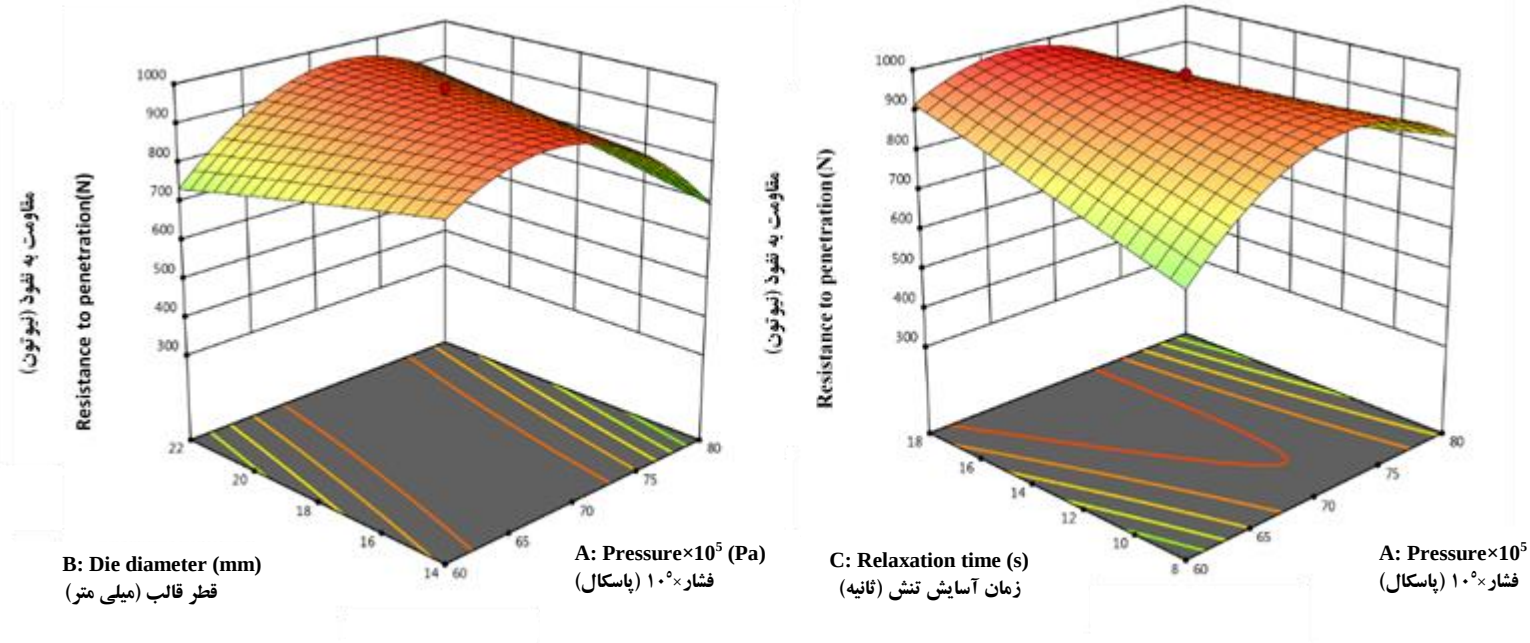
2- Horabik *et al.*
3- Dudhat
4- Pawar
5- Khorsheed

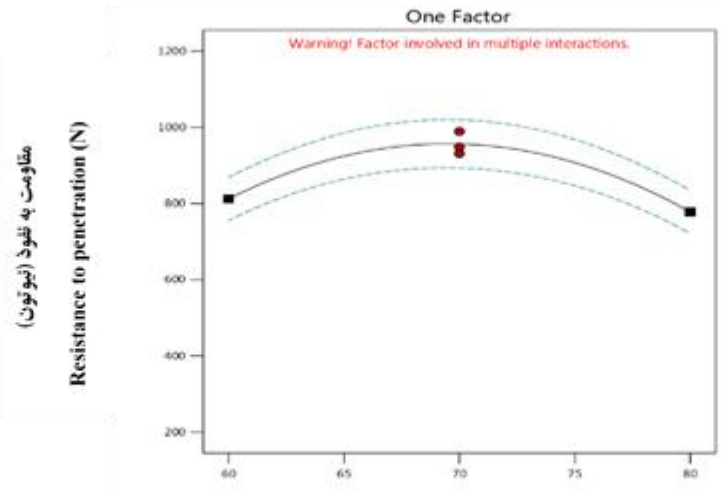
و همکاران[1] (۲۰۱۹) نتایج مشابهی با این مطالعه را گزارش کرده‌اند(۱۶، ۱۲، ۲۱). نتایج مربوط به تجزیه واریانس مقاومت به نفوذ و تنش در راستای قطر، قرص حاصل از پودر قارچ خشک‌شده در سایه در جدول ۵ نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود اثر فاکتور خطی فشار و قطر قالب، اثر متقابل فشار و قطر قالب و همچنین اثر متقابل قطر قالب و زمان آسایش تنش برروی مقاومت به نفوذ قرص حاصل از پودر قارچ خشک‌شده در سایه معنی‌دار بود ($p<۰/۰۵$). طبق نتایج بدست آمده از شکل ۱۰ با افزایش فشار مقاومت به نفوذ افزایش یافت، اما با افزایش قطر قالب مقاومت به نفوذ قرص کاهش یافت. ضرایب مثبت برهمکنش قطر و فشار نشان می‌دهد که با افزایش همزمان هر دو، مقاومت به نفوذ افزایش یافت. ضریب مثبت برهمکنش زمان آسایش تنش و قطر قالب نیز نشان می‌دهد که با افزایش همزمان هر دو متغیر، مقاومت به نفوذ روند افزایشی دارد. نتایج تجزیه واریانس مربوط به تنش در راستای قطر نیز در جدول ۵ نشان داده شده است. طبق یافته‌ها تنها اثر خطی فشار و قطر قالب بروی تنش در راستای قطر معنی‌دار شد. باتوجه به ضرایب مثبت قطر و فشار بین این فاکتورها و تنش در راستای قطر رابطه مستقیم وجود دارد، به عبارتی با افزایش هر کدام از این متغیرها تنش در راستای قطر روند افزایشی داشت. همانطور که در شکل ۱۱ نیز مشاهده می‌شود با افزایش قطر قالب و فشار تنش در راستای قطر افزایش یافت. این نتایج با یافته‌های بدست‌آمده از تنش در راستای قطر قرص حاصل از پودر قارچ حاصل از خشک کن پیوسته همخوانی دارد. از طرفی طبق یافته‌ها می‌توان نتیجه گیری نمود که اثر متغیرهای مستقل برروی پارامترهای مقاومت به نفوذ و تنش در راستای قطر برای هر دو نوع پودر در یک راستا بوده است.

1- Shah

## بهینه‌یابی شرایط قرص‌سازی از پودر قارچ خشک‌شده به روش پیوسته و روش سایه

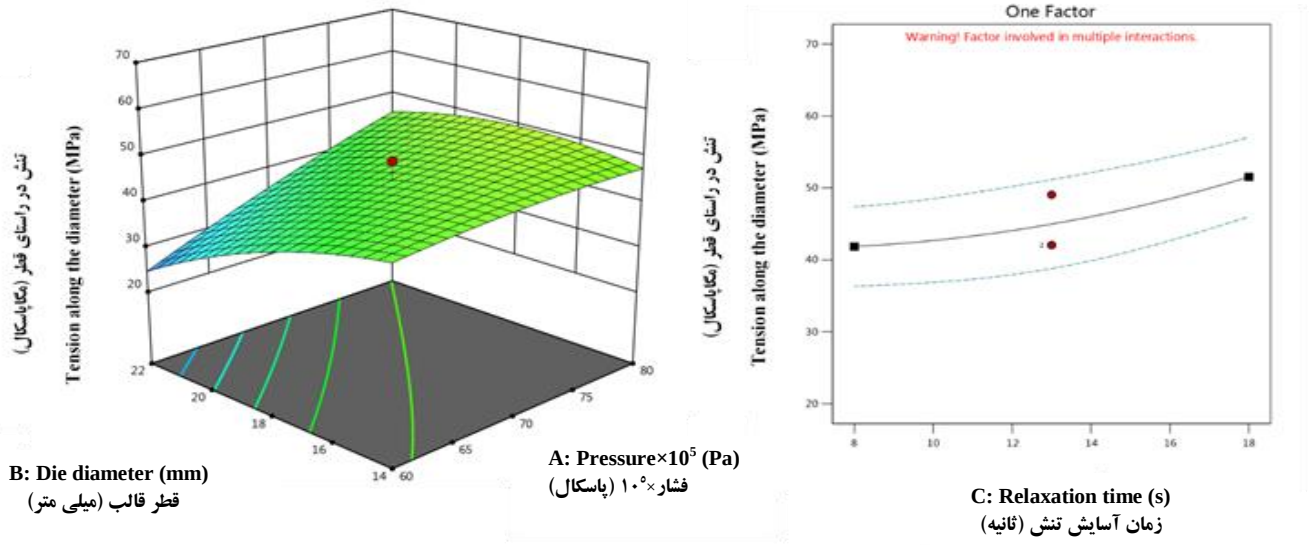
به منظور بهینه سازی هم زمان متغیرهای پاسخ از بهینه یابی عددی به روش سطح پاسخ و تابع مطلوبیت استفاده شد. برای یافتن شرایط بهینه مقدار چگالی، مقاومت به نفوذ و تنش در راستای قطر در حالت بیشینه قرار داده شد. طبق یافته‌های بدست آمده از بهینه یابی عددی توسط نرم افزار دیزاین اکسپرت شکل ۱۲، شرایطی که در آن فشار برابر $۱۰^{۵}\times$ ۷۴/۷۲ پاسکال، قطر قالب ۱۴ میلی متر و زمان آسایش تنش ۸ ثانیه بود با مطلوبیت ۷۱/۸ درصد به عنوان نقطه بهینه انتخاب شد. در این شرایط مقدار دانسیته قرص قارچ خوراکی ۰/۰۰۱۳۹ گرم بر مترمکعب، مقاومت به نفوذ ۸۷۵/۲۹ نیوتون، تنش در راستای قطر ۴۶/۳۶ مگاپاسکال بود. طبق یافته‌های بدست‌آمده از بهینه‌یابی عددی قرص تهیه شده از پودر خشک شده توسط نرم افزار دیزاین اکسپرت شکل ۱۳، شرایطی که در آن فشار برابر $۱۰^{۵}\times$۸۰ پاسکال، قطر قالب ۱۸/۷۰ میلی‌متر و زمان آسایش تنش ۱۸ ثانیه بود با مطلوبیت ۶۰/۱ درصد به عنوان نقطه بهینه انتخاب شد. در این شرایط مقدار دانسیته قرص قارچ خوراکی ۰/۰۰۱۲۰ گرم بر مترمکعب، مقاومت به نفوذ ۷۵۳/۴۶ نیوتون و تنش در راستای قطر ۳۹۷/۵۲ مگاپاسکال بود. از مقایسه شرایط بهینه بدست آمده از بهینه یابی برای دو پودر خشک شده به روش سایه و پیوسته می‌توان عنوان کرد که نمونه قرص بهینه بدست آمده از پودر قارچ خشک شده به روش پیوسته مطلوبیت بیشتری نسبت به قرص بهینه بدست آمده از پودر قارچ خشک شده در سایه داشت. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که خشک کردن به روش خشک کن پیوسته می‌تواند گزینه مناسبی برای جایگزینی خشک کردن به روش سنتی باشد. زیرا قرص بدست آمده از پودر قارچ خشک شده به روش پیوسته در مقایسه با روش سایه دارای چگالی، مقاومت به نفوذ و تنش در راستای قطر بالاتری بود.



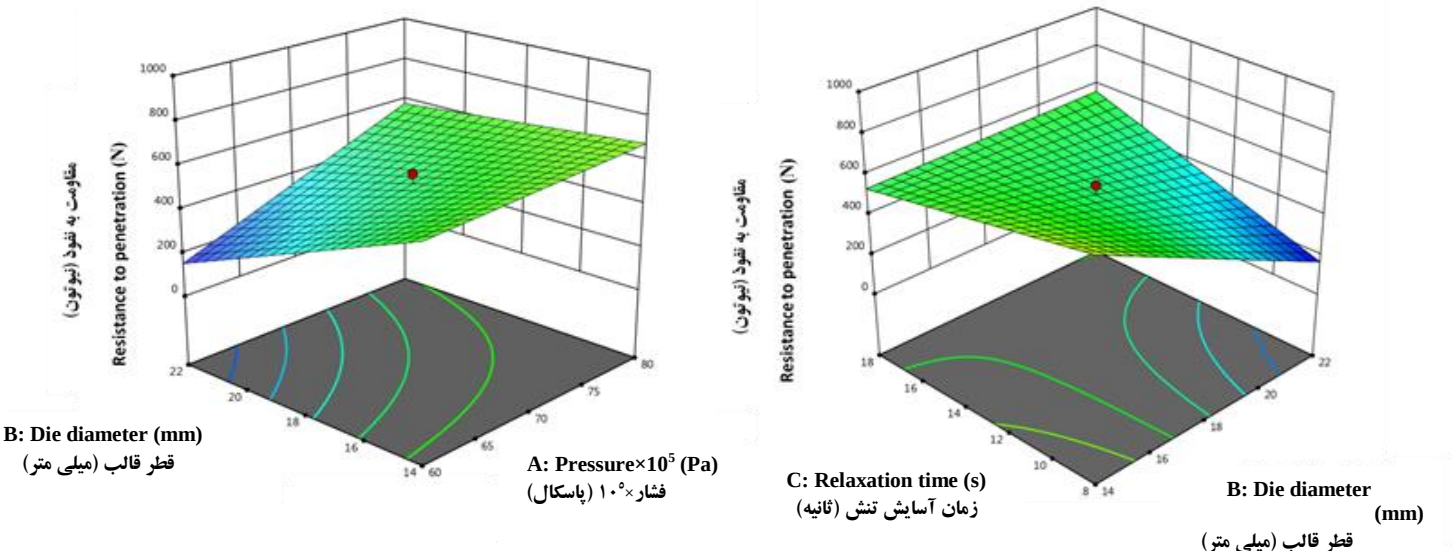

**شکل(۸) اثر برهمکنش متغیر فشار و زمان آسایش تنش، برهمکنش فشار و قطر و اثر درجه دوم فشار بر مقاومت به نفوذ قرص حاصل از پودر قارچ خشک شده به روش پیوسته**

**Figure (8) The interaction effect of the pressure factor and stress relaxation time, the interaction of pressure and die diameter, and the quadratic effect of pressure on the penetration resistance of tablets obtained from mushroom powder dried by a continuous method**



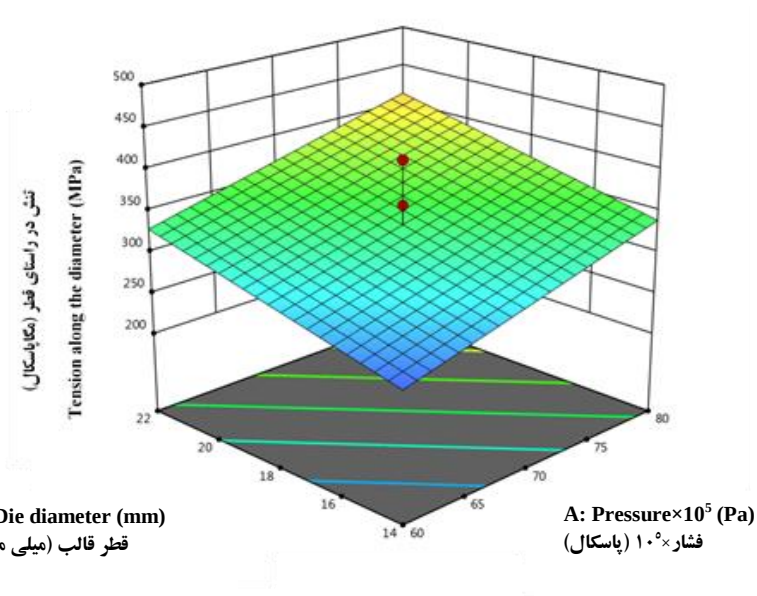

**شکل(۹) اثر فاکتورهای فشار، قطر و زمان آسایش تنش برروی تنش در راستای قطر قرص حاصل از پودر قارچ خشک شده به روش پیوسته**

**Figure (9) The effect of pressure, diameter and relaxation time factors on the stress along the diameter of the tablet obtained from dried mushroom powder in continuous method**



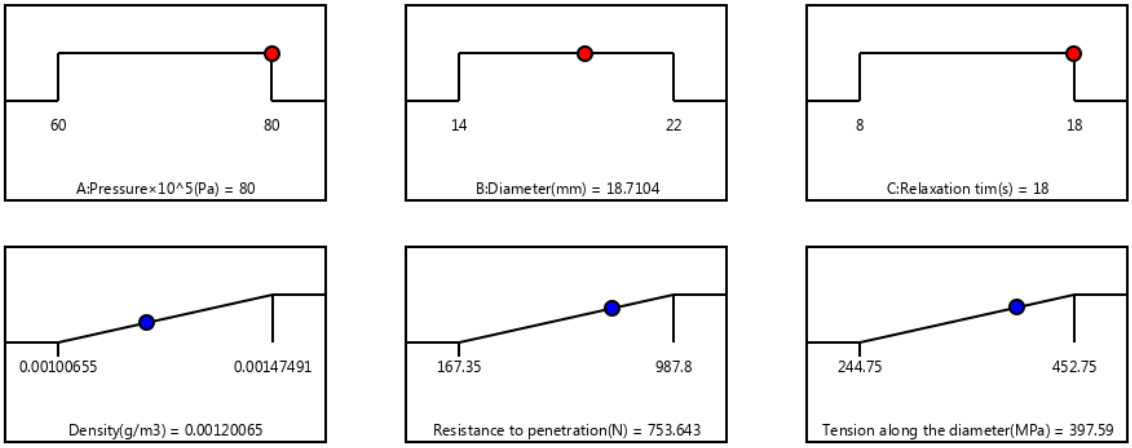

**شکل(۱۰) اثر متقابل متغیرهای فشارو قطر قالب و اثر متقابل فاکتور قطر قالب و زمان آسایش تنش بر مقاومت به نفوذ قرص حاصل از پودر قارچ خشک‌شده در سایه**

**Figure (10) The interaction effect of pressure and diameter factors and the interaction effect of diameter factor and stress relaxation time on the penetration resistance of tablets obtained from shade-dried mushroom powder**




**شکل(۱۱) اثر قطر قالب و فشار بر تنش در راستای قطر پودر قارچ خشک‌شده در سایه**

**Figure (11) The effect of mold diameter and pressure on the stress along the diameter of shade-dried mushroom powder**

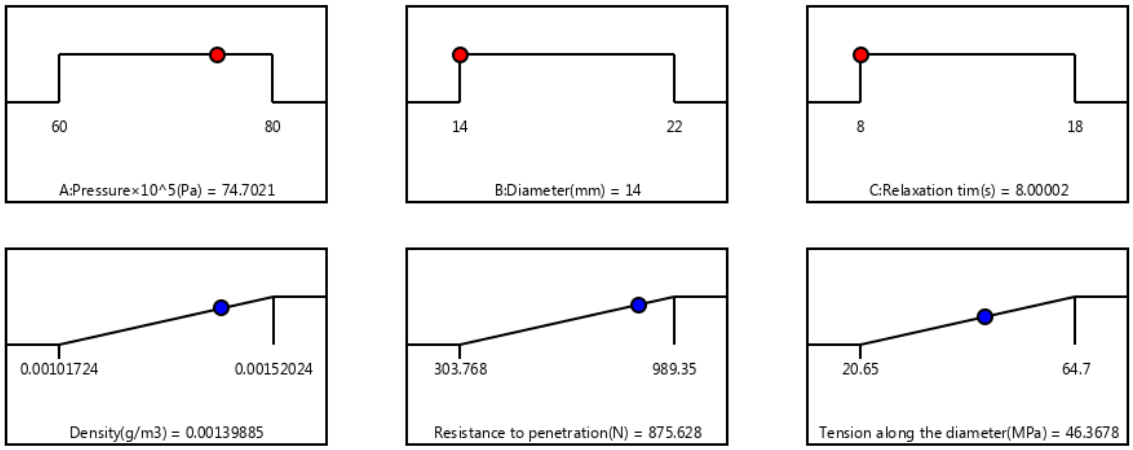



Desirability = 0.601
Solution 1 out of 63

Desirability = 0.718
Solution 1 out of 61

**شکل(۱۲) نتایج بدست آمده از بهینه یابی عددی برای شرایط قرص سازی از پودر قارچ خشک شده به روش پیوسته**

**Figure (12) The results obtained from numerical optimization for tableting conditions from dried mushroom powder by continuous method**




**شکل(۱۳) نتایج بدست آمده از بهینه یابی عددی برای شرایط قرص سازی از پودر قارچ خشک شده در سایه**

**Figure (13) The results obtained from the numerical optimization for the tableting conditions of shade-dried mushroom powder**

## نتیجه گیری

این پژوهش با هدف بهینه‌سازی فرآیندهای خشک-کردن به روش پیوسته و قرص‌سازی برای محصول با ارزش و فسادپذیری نظیر قارچ دکمه‌ای خوراکی با استفاده از نرم افزار دیزاین اکسپرت و به روش سطح پاسخ انجام شد. طبق یافته‌ها در بین متغیرهای مستقل دما و سرعت هوا برای بهینه‌سازی خشک‌کردن قارچ خوراکی به روش پیوسته، متغیر دما برروی متغیرهای پاسخ تاثیر بیشتری نسبت به متغیر سرعت دمنده داشت، به طوری که با افزایش دمای خشک‌کن، محتوای فنل کل و خاصیت آنتی‌اکسیدانی قارچ خشک‌شده افزایش یافت، اما افزایش دما تاثیر منفی برروی متغیرهای رنگی داشت. طبق نتایج بدست‌امده از بهینه‌یابی نیز شرایطی که در آن دما ۶۴/۱۰ درجه سانتی‌گراد و سرعت هوا ۲/۴۹ متر برثانیه بود با مطلوبیت ۷۶/۳ درصد به عنوان شرایط بهینه انتخاب شد. نمونه قارچ خوراکی دکمه‌ای خشک‌شده در شرایط بهینه دارای محتوای فنل کل ۷/۱۰ میلی‌گرم اسیدگالیک در وزن نمونه خشک، خاصیت آنتی‌اکسیدانی ۹۱/۷۲ درصد، شاخص روشنایی $(L^*)$ ۶۹/۷۳، شاخص قرمزی $(a^*)$ ۲۳/۴۴- و شاخص زردی $(b^*)$ ۱/۸۰ بود. نمونه خشک-شده در سایه نیز دارای محتوای فنل کل ۲/۸۷ میلی گرم اسید گالیک در وزن نمونه خشک، خاصیت آنتی-اکسیدانی ۹۱/۲۷ درصد، شاخص روشنایی $(L^*)$ ۷۲/۵۴، شاخص قرمزی $(a^*)$ ۹/۰۹- و شاخص زردی $(b^*)$ ۶/۷۴ بود. از روی داده‌های بدست‌آمده عنوان شد که باتوجه به بالابودن محتوای فنل کل و خاصیت آنتی‌اکسیدانی در روش خشک‌کن پیوسته، این روش مطلوب‌تر از روش سایه‌خشک بود. در میان فاکتورهای موثر بر خواص مکانیکی قرص‌های تهیه‌شده از پودر قارچ خشک‌شده به روش پیوسته و سایه نیز متغیر قطر قالب موثرتر از دو متغیر دیگر بود. برای بهینه‌یابی قرص حاصل از پودر قارچ خشک‌شده به روش پیوسته، شرایطی که در آن فشار برابر $۷۴/۷۲\times۱۰^{۵}$ پاسکال، قطر قالب ۱۴ میلی‌متر و زمان آسایش تنش ۸ ثانیه بود، با مطلوبیت ۷۱/۸ درصد به عنوان نقطه بهینه انتخاب شد. در این شرایط مقدار دانسیته قرص قارچ خوراکی ۰/۰۰۱۳۹ گرم بر مترمکعب، مقاومت به

نفوذ ۸۷۵/۲۹ نیوتون و تنش در راستای قطر ۴۶/۳۶ مگاپاسکال بود. برای بهینه‌یابی قرص پودر قارچ خشک-شده در سایه نیز شرایطی که در آن فشار برابر $۸۰\times۱۰^{۵}$ پاسکال، قطر قالب ۱۸/۷۰ میلی‌متر و زمان آسایش تنش ۱۸ ثانیه بود، با مطلوبیت ۶۰/۱ درصد به عنوان نقطه بهینه انتخاب شد. در این شرایط مقدار دانسیته قرص قارچ خوراکی ۰/۰۰۱۲۰ گرم بر مترمکعب، مقاومت به نفوذ ۷۵۳/۴۶ نیوتون و تنش در راستای قطر ۳۹۷/۵۲مگاپاسکال بود. از مقایسه شرایط بهینه بدست آمده از بهینه یابی برای دو پودر خشک شده به روش سایه و پیوسته می‌توان عنوان کرد که نمونه قرص بهینه بدست آمده از پودر قارچ خشک شده به روش پیوسته مطلوبیت بیشتری نسبت به قرص بهینه بدست آمده از پودر قارچ خشک شده در سایه داشت. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که خشک کردن به روش خشک کن پیوسته می‌تواند گزینه مناسبی برای جایگزینی خشک کردن به روش سنتی باشد. زیرا قرص بدست آمده از پودر قارچ خشک شده به روش پیوسته در مقایسه با روش سایه دارای چگالی، مقاومت به نفوذ و تنش در راستای قطر بالاتری بود.

**References**

1. Adiba, B. D., Salem, B., Nabil, S., and Abdelhakim, M. 2011. Preliminary characterization of food tablets from date (Phoenix dactylifera L.) and spirulina (Spirulina sp.) powders. Powder Technology, 208(3), 725-730 .https://doi.org/10.1016/j.powtec.2011.01.016

2. Alwazeer, D., and Örs, B. 2019. Reducing atmosphere drying as a novel drying technique for preserving the sensorial and nutritional notes of foods. Journal of Food Science and Technology, 56(8), 3790-3800 . https://doi.org/10.1007/s13197-019-03850-2.

3. Basim, P., Haware, R. V., and Dave, R. H. 2019. Tablet capping predictions of model materials using multivariate approach. International Journal of Pharmaceutics, 569, 118548 . https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2019.118548.

4. Brand-Williams, W., Cuvelier, M.-E., and Berset, C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. Food Science and Technology, 28(1), 25 .https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5.

5. Canton, H. 2021. Food and agriculture organization of the United Nations—FAO The Europa directory of international organizations 2021 (pp. 297-305): Routledge. https://doi.org/10.4324/9781003179900.

6. Chen, J., Zhou, Y., Fang, S., Meng, Y., Kang, X., Xu, X., and Zuo, X. 2013. Mathematical modeling of hot air drying kinetics of Momordica charantia slices and its color change. Advance Journal of Food Science and Technology, 5(9), 1214-1219 .https://doi.org/10.19026/ajfst.5.3085.

7. Chin, S., Siew, E., and Soon, W. 2015. Drying Characteristics and quality evaluation of kiwi slices under hot air natural convective drying method. International Food Research Journal, 226. https://doi.org/10.2015/ifrj.22.6.2188.

8. Dudhat, S. M., Kettler, C. N., and Dave, R. H. 2017. To study capping or lamination tendency of tablets through evaluation of powder rheological properties and tablet mechanical properties of directly compressible blends. Aaps Pharmscitech, 18(4), 1177-1189 .https://doi.org/10.1208/s12249-016-0576-1.

9. Gholami, R., Ahmadi, E., and Ahmadi, S. 2020. Investigating the effect of chitosan, nanopackaging, and modified atmosphere packaging on physical, chemical, and mechanical properties of button mushroom during storage. Food Science and Nutrition, 8(1), 224-236 .https://doi.org/10.1002/fsn3.1294.

10. Horabik, J., Wiącek, J., Parafiniuk, P., Stasiak, M., Bańda, M., and Molenda, M. 2019. Tensile strength of pressure-agglomerated potato starch determined via diametral compression test: Discrete element method simulations and experiments. Biosystems Engineering, *183*, 95-109 . https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.04.019.

11. Jafarizadegan, M., Amiri Chayjan, R.,and Karamian, R. 2010. Optimization of a combination dryer (Vacuum-Infrared) operation in production process of edible button mushroom powder. Agricultural Engineering, 43(2), 141-161 .https://doi.org/ 10.22055/agen.2020.31903.1528.

12. Khorsheed, B., Gabbott, I., Reynolds, G. K., Taylor, S. C., Roberts, R. J., and Salman, A. D. 2019. Twin-screw granulation: Understanding the mechanical properties from powder to tablets. Powder Technology, 341, 104-115 .https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.05.013.

13. Ma, Y., Lian, Y., Meng, X., Xu, M., Zhang, T., Zou, H., and Yang, H. 2023. Process optimization of sea buckthorn fruit powder effervescent tablets by random centroid methodology combined with fuzzy mathematical sensory evaluation. Processes, 11(9), 2639 . https://doi.org/10.3390/pr11092639.

14. Naji-Tabasi, S., Emadzadeh, B., Shahidi-Noghabi, M., Abbaspour, M., and Akbari, E. 2021. Physico-chemical properties of powder and compressed tablets based on barberry fruit pulp. Journal of Food Measurement and Characterization, 15(3), 2469-2480 .https://doi.org/10.1007/s11694-021-00834-9.

15. Ong, M., Yusof, Y., Aziz, M., Chin, N., and Amin, N. M.2014. Characterisation of fast dispersible fruit tablets made from green and ripe mango fruit powders. Journal of Food Engineering, 125, 17-23 . https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.10.014.

16. Pawar, P., Joo, H., Callegari, G., Drazer, G., Cuitino, A. M., and Muzzio, F. J. 2016. The effect of mechanical strain on properties of lubricated tablets compacted at different pressures. Powder Technology, 301, 657-664 .https://doi.org/10.1016/j.powtec.2016.05.058.

17. Rashidi, M., Amiri Chaijan, R ,.Ershadi, A., and Ghasemi, A. 2020. Modeling and optimization of vacuum-infrared dryer performance in production process of tomato compressed tablet: Chemical properties. Iranian Journal of Biosystems Engineering, 51(3), 571-584 .https://doi.org/ 10.22059/ijbse.2020.292861.665245.

18. Rashidi, M., Chayjan, R .A., Ghasemi, A., and Ershadi, A. 2021. Tomato tablet drying enhancement by intervention of infrared-A response surface strategy for experimental design and optimization. Biosystems Engineering, 208, 199-212 .https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2021.06.003.

19. Rashidi, M., Ershadi, A., and Ghasemi, A. 2021. Investigation of chemical and qualitative properties of compressed tablet production from tomato powder under microwave-hot air condition and process optimization using response surface method. Food Research Journal, 30(4), 83-80 .https://doi.org/ 10.22034/fr.2021.31663.1635.

20. Saifullah, M., Yusof ,Y., Chin, N., and Aziz, M. 2016. Physicochemical and flow properties of fruit powder and their effect on the dissolution of fast dissolving fruit powder tablets. Powder Technology, 301, 396-404 .https://doi.org/10.1016/j.powtec.2016.06.035.

21. Shah, H. G., Dugar, R. P., Li, H., Dave, V. S., and Dave, R .H. 2019. Influence of punch geometry (head-flat diameter) and tooling type (‘B’or ‘D’) on the physical–mechanical properties of formulation tablets. Drug Development and Industrial Pharmacy, 45(1), 117-123 . https://doi.org/10.1080/03639045.2018.1525395.

22. Singleton, V. L., and Rossi, J. A. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. American Journal of Enology and Viticulture, 16(3), 144-158 . https://doi.org/10.5344/ajev.1965.16.3.144

23. Sun, C. C. 2005. Quantifying errors in tableting data analysis using the Ryshkewitch equation due to inaccurate true density. Journal of Pharmaceutical Sciences, 94(9), 2061-2068 . https://doi.org/10.1002/jps.20421.

24. Sun, H., Wang, X., Wang, J., Shi, G., and Chen, L. 2020. Influence of the formula on the properties of a fast dispersible fruit tablet made from mango, Chlorella, and cactus powder. Food Science and Nutrition, 8(1), 479-488 .https://doi.org/10.1002/fsn3.1330.

25. Toor, R. K., and Savage, G. P. 2006. Effect of semi-drying on the antioxidant components of tomatoes. Food Chemistry, 94(1), 90-97. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.10.054.

26. Yusof, Y., Mohd Salleh, F., Chin, N., and Talib, R. 2012. The drying and tabletting of pitaya powder. Journal of Food Process Engineering, 35(5), 763-771. https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2010.00625.x.

27. Zea, L. P., Yusof, Y. A., Aziz, M. G., Ling, C. N., and Amin, N. A. M. 2013. Compressibility and dissolution characteristics of mixed fruit tablets made from guava and pitaya fruit powders. Powder Technology, 247, 112-119. https://doi.org/10.1016/j.powtec.2013.06.032.