

*Research Article*

# Investigating the effects of convective drying conditions on some qualitative and bioactive characteristics of cantaloupe slices using the response surface method

Yousef Abbaspour-Gilandeh<sup>1\*</sup>, Mohammad Kaveh<sup>1</sup>

1. Department of Biosystems Engineering, University of Mohagheh Ardabili, Ardabil, Iran

(Received 12 December 2022, Received in revised form 22 January 2023, Accepted 5 February 2023)

**Introduction:** Drying is a common technology that provides a long post-harvest storage period for products such as cantaloupe. Hot air drying is a method that, if the conditions are optimized, gives the product better appearance and improved textural properties. In this study, drying time, specific energy consumption, energy efficiency, shrinkage, rehydration ratio, changes in total color, phenol and antioxidant content were modeled to optimize drying factors (air temperature and air velocity) using the response surface method.

**Materials and methods:** The drying processes of the samples were investigated at three temperature levels of 50, 60 and 70 °C and three velocity levels 0.5, 1 and 1.5 m/s. For optimization of the drying conditions (drying time, SEC, energy efficiency, shrinkage, RR, color changes, TPC and AC), the influences of two levels of independent variables including air temperature and air velocity were assessed by response surface method through a face-centered central composite design.

**Results and discussion:** The results showed that in the drying of cantaloupe using the hot air method by increasing the inlet air temperature and decreasing the air velocity, energy efficiency, rehydration ratio, total phenol content and antioxidant were increased, while drying time, specific energy consumption, shrinkage and color changes were reduced. The optimum point for drying cantaloupe samples was obtained at an air temperature of 70 °C and air velocity of 0.5 m/s. The results showed that drying at higher temperatures increases the desirability index of the model obtained from the response surface method.

**Conclusions:** The authors believe the outcomes of the present study can be used as a framework for choosing efficient drying parameters for drying cantaloupe or similar fruits in HAD systems

**Keywords:** *Cantaloupe, Drying, Antioxidant, Color, Energy*

**How to cite this article:**

Abbaspour-Gilandeh, Y., & Kaveh, M., (2023). Investigating the effects of convective drying conditions on some qualitative and bioactive characteristics of cantaloupe slices using the response surface method. *Innov. Food Technol.*, 10(2), 171-188.

\* Corresponding author: [abbaspour@uma.ac.ir](mailto:abbaspour@uma.ac.ir)

### مقاله پژوهشی

## بررسی اثرات شرایط خشک کردن هوای گرم بر برخی ویژگی‌های کیفی و زیست فعال برش‌های طالبی با استفاده از روش سطح پاسخ

یوسف عباسپور گیلانده<sup>۱\*</sup>، محمد کاوه<sup>۱</sup>

۱. گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

(تاریخ ارسال: ۱۴۰۱/۰۹/۲۱، تاریخ آخرین بازنگری: ۱۴۰۱/۱۱/۰۲، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۱۶)

### چکیده

خشک کردن یک فناوری متداول است که مدت نگهداری طولانی پس از برداشت را برای محصولاتمانند طالبی فراهم می‌کند. خشک کردن هوای گرم روشی است که در صورت بهینه‌شدن شرایط، ظاهر بهتر و خواص بافتی بهبودیافته را به محصول می‌دهد. در این مطالعه، تغییرات مدت خشک کردن، انرژی مصرفی ویژه، بازده انرژی، چروکیدگی، ضریب بازجذب، تغییرات رنگ کل، محتوای فنل و آنتی‌اکسیدان برای بهینه‌سازی عوامل خشک کردن (دما و سرعت هوا) با استفاده از روش سطح پاسخ مدل‌سازی شدند. فرآیند خشک کردن نمونه‌ها در سه سطح دمای ۵۰، ۶۰ و ۷۰ °C و سه سطح سرعت ۰/۵، ۱ و ۱/۵ m/s بررسی شد. نتایج نشان داد که در خشک کردن طالبی با استفاده از روش هوای گرم با افزایش دمای هوای ورودی و کاهش سرعت هوا، بازده انرژی، ضریب بازجذب، محتوای فنل کل و درصد آنتی‌اکسیدان افزایش یافت در حالی که مدت خشک کردن، انرژی مصرفی ویژه، چروکیدگی و تغییرات رنگ کاهش پیدا کرد. نقطه بهینه برای خشک کردن نمونه‌های طالبی در دمای هوای ۷۰ °C و سرعت هوای ۰/۵ m/s به دست آمد. نتایج نشان داد که خشک کردن در دماهای بالاتر سبب افزایش شاخص مطلوبیت مدل به دست آمده از روش سطح پاسخ می‌شود.

کلمات کلیدی: طالبی، خشک کردن، آنتی‌اکسیدان، رنگ، انرژی

\* نویسنده مسئول: [abbaspour@uma.ac.ir](mailto:abbaspour@uma.ac.ir)

## ۱. مقدمه

طالبی با نام علمی Cucumis melo گیاهی از خانواده ی کدوئیان (Cucurbitaceae) است و از مهم ترین گیاهان جالیزی می باشد. در کشورهای مختلفی از دنیا از جمله ایران کشت می شود. طالبی سرشار از مواد مغذی است که فواید زیادی را برای سلامتی ارائه می دهد [۱]. این میوه که دارای مقدار زیادی آب است، سرشار از انواع ویتامین A، C، ویتامین های گروه B و آنتی اکسیدان های مختلف است و در حفظ سلامت بدن بسیار مؤثر است [۲].

حفظ و نگهداری محصولات کشاورزی و مواد غذایی دغدغه ای است که همواره همراه بشر بوده است به گونه ای که از گذشته تا به امروز، روش های متعددی برای رفع این دغدغه به کار گرفته شده است. یکی از آسان ترین و ابتدایی ترین این روش ها، خشک کردن می باشد [۳]. خشک کردن یک روش فرآوری مواد غذایی است که قرن هاست برای نگهداری طولانی مدت میوه ها و سبزی ها به طور ایمن مورد استفاده قرار گرفته است. هدف روش های خشک کردن کاهش هزینه های حمل و نقل و حجم بسته بندی و همچنین افزایش پایداری و ماندگاری مواد غذایی با به حداقل رساندن میزان رطوبت، زوال شیمیایی و رشد میکروبی استفاده می شود [۴، ۵]. ویژگی های رنگ و مقادیر انقباض در فرآیند خشک کردن از جمله مهم ترین ویژگی های ظاهری هستند که تحت تأثیر شرایط فرآیند قرار می گیرند [۶]. ویژگی های حسی مانند تشکیل رنگ تیره، ظرفیت آبرسانی کم و مقدار سختی بالا در سبزی ها و میوه های خشک شده در هوای گرم گزارش شده است. علاوه بر این، اثرات مثبت عملیات حرارتی بر خواص عملکردی غذاهای حاوی بتاکاروتن و فلاونوئیدها گزارش شده است [۷]. در محصولات خشک بیشتر انتظار حفظ ظاهر، بافت و خواص عملکردی است. عواملی مانند تغییر در محصولات خشک شده از طریق فرآیند خشک کردن همرفتی و تقاضا برای انرژی سبز نیاز به استفاده از روش های مختلف خشک کردن را آشکار کرده است [۸].

خشک کردن معمولی با هوای گرم به دلیل دسترسی آسان و مقرون به صرفه بودن، پرکاربردترین روش خشک کردن در صنایع غذایی است. خشک کردن همرفتی یک روش مرسوم

مبتنی بر تبخیر رطوبت با عملیات حرارتی برای جلوگیری از رشد میکروارگانیسم ها است [۹]. بیش از ۸۵٪ خشک کن های صنعتی از هوای گرم همرفتی هستند [۱۰]. کاهش فعالیت آب ناشی از دست دادن رطوبت باعث افزایش تلفات قند، پروتئین، ماده رنگی و اجزای عملکردی حساس به گرما می شود [۱۱]. خشک کردن چندین میوه در روش هوای گرم از جمله سیب زمینی [۷]، برش های خرمالو [۱۲]، الو [۱۳]، کدوتنبل [۱۴]، پاپایا [۱۵]، زیتون [۱۶]، آناناس [۱۷]، پیاز [۱۸] و کدو تلخ [۱۹] قبلاً بررسی شده است. اگرچه خشک کردن در هوای گرم محصولات خشک بهداشتی و یکنواختی را فراهم می کند، اما می تواند منجر به تغییرات فیزیکی، شیمیایی، ساختاری و تغذیه ای شود که بر مقبولیت مصرف کننده و کیفیت کلی محصول خشک تأثیر می گذارد [۲۰]. بنابراین افزایش تقاضا برای سبزی ها و میوه های خشک با کیفیت بالا مستلزم طراحی، شبیه سازی و بهینه سازی بیشتر فرآیند خشک کردن برای ارزیابی کارایی فرآیند و کیفیت نهایی محصول است. پس لازم است شرایط فرآیند خشک کردن در هوای گرم مانند دمای خشک کردن و سرعت هوا بهینه شود تا با به حداقل رساندن این تغییرات نامطلوب، محصولات خشک شده با حداکثر کیفیت به دست آیند [۲۱]. روش های مختلفی مانند روش سطح پاسخ (RSM) برای به دست آوردن شرایط بهینه یک فرآیند استفاده می شود. این روش تأثیر متغیرهای مستقل را بر شاخص های کیفیت و بهینه سازی فرآیند بررسی می کند. RSM مجموعه ای از تکنیک ها و روش های آماری جمع آوری داده ها است که می تواند با مدل سازی ریاضی و آماری متغیرها، عوامل مؤثر در یک فرآیند را بر روی متغیرهای پاسخ بهینه کند. مطالعات متعددی برای تعریف شرایط بهینه خشک کردن بسیاری از میوه ها و سبزی ها مانند دانه هندوانه [۲۰]، زیتون [۱۶]، و گوجه فرنگی [۲۲]، برش های سیب [۱۰]، قارچ [۲۳] انجام شده است. علاوه بر این، اثر سرعت هوا، دمای هوا و ضخامت نمونه ها بر زمان خشک کردن، انرژی، رنگ، محتوای فنل کل، آنتی اکسیدان و ضریب بازجذب کرفس مشخص شده است [۲۴].

شد تا دمای آنها با دمای محیط به تعادل برسد. در تمام آزمایش‌ها سعی شد ضخامت برش‌های طالبی از مقدار mm ۳ تجاوز نکند.

### ۱.۲. خشک‌کن هوای گرم

یک خشک‌کن ترکیبی همرفتی به‌منظور انجام آزمایش در شرایط مختلف بر روی نمونه‌های طالبی، در مقیاس آزمایشگاهی (گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه محقق اردبیل) طراحی و ساخته شد [۲۶]. هوای ورودی این خشک‌کن توسط یک فن گریز از مرکز (1 hp/3,000 rpm) با قابلیت تنظیم سرعت با استفاده از یک اینورتور (LS, Korea) تأمین گردید. سرعت هوای ورودی با تغییر سرعت دمنده با استفاده از یک سرعت‌سنج باد (YK, 80AM, Taiwan) با حسگر گرمایی با دقت  $\pm 0.3$  m/s تنظیم شد. بخش گرمایشی خشک‌کن از سه گرم‌کن (المنت) تشکیل شد که توان آنها با استفاده از یک کنترلر PID به‌منظور تنظیم دمای هوای ورودی در سطوح مختلف، کنترل شد. دما و رطوبت نسبی محیط آزمایشگاه با استفاده از (-YK Lutron 2005RH, Taiwan) اندازه‌گیری گردید.

### ۲.۲. انرژی مصرفی ویژه و بازده انرژی

انرژی مصرفی ویژه SEC معادل با نسبت کل انرژی مصرفی خشک‌کردن برش‌های طالبی به ازدست‌دادن آب در طول فرآیند خشک‌کردن و بازده انرژی معادل انرژی گرمایی برای گرم‌کردن و تبخیر رطوبت نمونه به کل انرژی مصرفی در طول فرآیند خشک‌کردن می‌باشد. معادله‌ها برای محاسبه انرژی مصرفی ویژه و بازده انرژی در خشک‌کن هوای گرم در جدول (۱) آورده شده است.

با توجه به خواص فراوان طالبی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین پرمصرف‌ترین میوه‌های تولیدی در کشور و حائز اهمیت در اقتصاد ایران، و از آنجایی که خشک‌کردن یکی از روش‌های افزایش ماندگاری میوه‌ها محسوب می‌گردد بنابراین، اهداف این پژوهش عبارت‌اند از: بررسی تأثیر متغیرهای مستقل (دمای هوای ورودی، سرعت هوای ورودی) بر روی متغیرهای پاسخ (زمان خشک‌کردن، انرژی مصرفی ویژه، بازده انرژی، چروکیدگی، رنگ، ضریب باز جذب، محتوا فنل کل و آنتی-اکسیدان) در طی فرآیند خشک‌کردن طالبی به روش هوای گرم و ارائه مدل‌های تجربی برای پیش‌بینی متغیرهای پاسخ و تعیین شرایط خشک‌کردن بهینه برای طالبی با خشک‌کن هوای گرم با استفاده از RSM.

### ۲. مواد و روش‌ها

میوه طالبی از یک بازار محلی در شهر اردبیل ( اردبیل- ایران) خریداری شد. قبل از انجام آزمایش نمونه‌های طالبی در اندازه‌های  $10 \pm 20$  g در پاکت‌های پلاستیکی بسته‌بندی و به‌منظور تعادل رطوبت نسبی در یخچال در دمای  $4-5^\circ\text{C}$  به مدت ۲۴ ساعت نگهداری شدند. رطوبت اولیه نمونه‌های طالبی با روش خشک‌کردن در آون در دمای  $70^\circ\text{C}$  به مدت ۲۴ h در محدوده  $(1 \pm 17/94)$  رطوبت بر پایه خشک (kg water/kg dry matter) به دست آمد [۲۵،۲]. برای تمام آزمایش‌های انجام‌شده رطوبت تا مقدار  $(1 \pm 0.12)$  رطوبت بر پایه خشک (kg water/kg dry matter) کاهش داده شد. آزمون خشک‌کردن طالبی در خشک‌کن همرفتی در سه سطح دما (۵۰، ۶۰ و  $70^\circ\text{C}$ ) و سه سطح سرعت هوا (۰/۵، ۱ و  $1/5\text{m/s}$ ) در سه تکرار انجام پذیرفت. قبل از انجام هر آزمایش نمونه‌ها از یخچال خارج و به مدت ۴ h اجازه داده

جدول (۱) معادلات مورد نیاز برای محاسبه انرژی مصرفی ویژه و بازده انرژی در خشک‌کن هوای گرم

Table 1. Equations needed to calculate specific energy consumption and energy efficiency in hot air dryer

Number of equation	Equation	Reference
(1)	$EU_{ter} = A \cdot v \cdot \rho_a \cdot C_a \cdot \Delta T \cdot t$	[27]
(2)	$EU_{mec} = \Delta P \cdot M_{air} \cdot t$	[28]
(3)	$EU_{Con} = EU_{ter} + EU_{mec}$	[29]
(4)	$S.E.C = \left( \frac{EU_{Con}}{M_w} \right)$	[30]
(5)	$\eta_e = \frac{Q_s}{EU_{Con}} \times 100$	[31]

### ۵.۲. نسبت باز جذب

نسبت باز جذب آب، معیاری برای میزان آسیب به بافت ماده در نظر گرفته می شود. برای این منظور ۵g نمونه خشک شده را به مدت یک ساعت در آب مقطر (۱۰۰ml، ۲۰ °C) غوطه ور شدند و سپس از آب خارج شده و در ادامه آب اضافی نمونه های طالبی توسط کاغذ رطوبت گیر از بین رفت. میزان نسبت باز جذب آب از رابطه (۸) محاسبه شد [۳۴].

$$RR = \frac{W_r}{W_d} \quad (8)$$

که در آن RR نسبت جذب آب،  $W_r$  وزن نهایی پس از جذب آب (g)،  $W_d$  وزن نمونه نهایی قبل از جذب آب (g).

### ۶.۲. آنتی اکسیدانی

فعالیت آنتی اکسیدانی از روش اندازه گیری قدرت مهارکنندگی رادیکال های آزاد DPPH انجام شد. در این روش ۲ ml از عصاره با ۲ ml از محلول متانولی DPPH ترکیب شد و در مکان تاریک به مدت ۳۰ min عمل شیکر انجام شد. جذب مخلوط توسط اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۲۰ nm انجام شد. رابطه (۹) درصد مهار رادیکال های آزاد (A) را نشان می دهد [۳۵].

$$AC = \left[ 1 - \frac{A_s}{A_c} \right] \times 100 \quad (9)$$

که در آن AC میزان به دام انداختن رادیکال DPPH،  $A_s$  عدد جذب نمونه شاهد و  $A_c$  عدد جذب نمونه مورد آزمایش خوانده شده با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر می باشد.

### ۷.۲. محتوای فنل کل (TPC)

محتوای فنل با استفاده از معرف فولین-سیوکالتو و به صورت اسید گالیک اندازه گیری شد و نتایج به صورت اسید گالیک معادل بیان شد. در این روش ۰/۴ ml از عصاره با ۳ معرف فولین-سیوکالتو که برای تهیه به نسبت ۱ به ۱۰ با آب مقطر رقیق شد، مخلوط شد. پس از استراحت در دمای اتاق به مدت ۵ min به مقدار ۳ ml بی کرنات سدیم ۷٪ به آن اضافه شد. در ادامه ۹۰min در دمای اتاق ۲۲ °C

که در آن  $EU_{ter}$  انرژی مصرفی حرارتی (kWh/kg)، A سطح سینی ( $m^2$ )،  $v$  سرعت هوای ورودی (m/s)،  $C_{pa}$  حرارت مخصوص ( $kJ/kgC$ )،  $\rho_a$  تراکم هوا ( $kg/m^3$ )،  $\Delta T$  اختلاف دما ( $^{\circ}C$ )،  $t$  زمان خشک کردن (h)،  $EU_{mec}$  انرژی مصرفی مکانیکی ( $kJ/kg$ )،  $\Delta P$  اختلاف فشار (mbar)، SEC انرژی مصرفی ویژه ( $kJ/kg$ )، MW کاهش وزن ( $kg$ )،  $\eta_e$  بازده انرژی (%).

### ۳.۲. تغییرات رنگ

برای بررسی تغییرات کلی رنگ طالبی از یک رنگ سنج مدل (Portable colorimeter, HP-200, China) استفاده گردید. شاخص های رنگی در فضای رنگی ( $L^* a^* b^*$ ) نشان داده شد. میزان روشنایی یا  $L^*$  از رنگ سیاه (۰) تا سفید (۱۰۰) میزان قرمزی یا  $a^*$  از سبز (-۶۰) تا قرمز (+۶۰) و میزان زردی یا  $b^*$  از آبی (-۶۰) تا زرد (+۶۰) متغیر هستند [۳۲]. در نهایت تغییرات رنگ کل ( $\Delta E$ ) نسبت به نمونه تازه با استفاده از رابطه (۶) محاسبه گردید [۱۴].

$$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L_t^*)^2 + (a_0^* - a_t^*)^2 + (b_0^* - b_t^*)^2} \quad (6)$$

در این رابطه، تغییرات کلی رنگ است و  $L_0$ ،  $a_0$  و  $b_0$  میزان روشنایی، قرمزی و زردی تصویر اولیه (نمونه های تازه به عنوان شاهد) و  $L_t$  و  $a_t$  و  $b_t$  پارامترهای رنگ هستند.

### ۴.۲. چروکیدگی

برای به دست آوردن چروکیدگی نمونه های طالبی، ابتدا حجم اولیه ( $V_0$ ) نمونه ها قبل از خشک کردن و حجم نمونه ها بعد از خشک کردن ( $V_t$ ) با استفاده از تولون توسط پیکنومتر اندازه گیری شد [۳۳] و سپس از نسبت اختلاف حجم اولیه و نمونه خشک شده به حجم اولیه، میزان چروکیدگی به دست آمد. تغییر حجم طالبی خشک شده نسبت به محصول تازه قبل از خشک شدن با شاخص انقباض به دست آمده از رابطه (۷) تعیین شد [۶].

$$S_a = \left( 1 - \frac{V_t}{V_0} \right) \times 100 \quad (7)$$

رابطه رگرسیونی (۱۰) انجام شد [۲۴].

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_i \sum_j \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \varepsilon \quad (10)$$

نگهداری شد و نمونه‌ها در اسپکتروفتومتری در ۷۲۵ nm نانومتر جذب گردید [۳۶].

## ۸.۲. روش سطح پاسخ

در رابطه بالا  $\beta$ ،  $\beta_i$ ،  $\beta_{ii}$  و  $\beta_{ij}$  پارامترهای مربوط به ضرایب رگرسیون می‌باشد و  $x_i$  و  $x_j$  متغیرهای مستقل،  $k$  تعداد متغیرها و  $\varepsilon$  خطا را نمایان می‌کند. سطوح کدبندی شده متغیرهای مستقل و طراحی آزمایش به همراه دمای هوای ورودی و سرعت هوای ورودی را بر روی متغیرهای پاسخ (زمان خشک کردن، انرژی مصرفی ویژه، بازده انرژی، چروکیدگی، رنگ، ضریب بازجذب، محتوا فنل کل و آنتی-اکسیدان) در سطوح مختلف متغیرهای مستقل به ترتیب در جدول (۲ و ۳) آورده شد.

به منظور یافتن بهترین شرایط تولید نمونه‌های خشک شده از طالبی با خشک کن هوای گرم از روش سطح پاسخ و نرم افزار Design Expert 10 انجام شد. در این پژوهش از طرح مرکب مرکزی (CCD) و با دو متغیر مستقل (دمای هوا و سرعت هوا) در سه سطح (جدول ۲) و تأثیر آن بر روی متغیرهای وابسته بررسی شد. در روش سطح پاسخ، هدف بهینه کردن متغیر پاسخ است که تحت تأثیر متغیرهای بسیاری قرار دارد. به دست آوردن مقدار بهینه (Y) با حل

جدول (۲) سطوح کدبندی شده متغیرهای مستقل و مقادیر واقعی مربوط به کدها

Table 2. Coded levels of independent variables and actual values corresponding to the codes

Dependable Variable	symbol	Coded levels of variables		
		-1	0	+1
Drying temperature (°C)	A	50	60	70
Air Velocity (m/s)	B	0.5	1	1.5

جدول (۳) طراحی آزمایش و مقدار متغیرهای وابسته در سطوح مختلف متغیرهای مستقل

Table 3. Experiment design and value of dependent variables at different levels of independent variables

آزمایش	temperature	Air Velocity	Drying time	SEC	$\eta_e$	shrinkage	color	RR	TPC	AC
1	70	1.5	170	103.802	2.74	43.25	32.11	6.16	32.24	75.85
2	50	1.5	350	163.07	0.78	55.57	42.11	4.49	20.22	54.11
3	60	1	225	138.239	2.18	45.59	32.14	5.99	33.21	75.65
4	70	0.5	140	85.4842	4.11	37.59	25.65	7.89	38.2	87.89
5	70	1	155	94.6432	3.37	40.12	28.69	7.05	34.2	84.59
6	60	1	220	132.25	2.05	42.25	30.30	6.05	32.29	70.57
7	60	1	215	141.25	1.89	44.54	31.35	6.25	34.14	73.35
8	50	1	325	151.423	1.25	50.15	35.05	5.23	25.35	69.21
9	60	1.5	245	150.527	1.35	48.59	35.56	5.09	27.24	67.51
10	50	0.5	310	139.775	1.94	44.59	31.25	5.69	32.24	81.89
11	60	1	230	145.45	2.22	46.96	29.95	5.55	29.98	77.78
12	60	1	235	135.65	2.36	47.11	28.29	5.79	31.66	79.25
13	60	0.5	200	122.879	2.48	40.29	27.22	6.55	35.35	84.58

مصرفی ویژه، زمان خشک کردن، چروکیدگی و رنگ در نظر گرفته شد.

برای ایجاد شرایط بهینه مطابق اهداف این مطالعه مقدار حداکثر برای بازده انرژی، نسبت بازجذب آب، محتوای فنل کل، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و مقدار حداقل برای انرژی

## ۳. نتایج و بحث

## ۱.۳. زمان خشک کردن

حالی که اثر متقابل دمای هوا و سرعت هوا از نظر آماری معنی دار نبودند. با توجه به مقادیر  $C.V.$  (۲/۶۲)،  $R^2$  (۰/۹۹۳۱) و  $Adj R^2$  (۰/۹۹۰۸)،  $Pre-R^2$  (۰/۹۸۷۷) برای زمان خشک کردن، نشان دهنده این بود که مدل پیش بینی شده توسط روش سطح پاسخ به خوبی داده های تجربی زمان خشک کردن را برازش می کند (جدول ۵).

جدول (۴) آنالیز واریانس برای زمان خشک کردن را نشان می دهد با توجه به این جدول عبارت خطی دمای هوا ( $p < 0.0001$ ) و سرعت هوا ( $p < 0.0001$ ) و توان دوم دمای هوا ( $p < 0.001$ ) برای پاسخ زمان خشک کردن معنی دار شد. در

جدول (۴) آنالیز واریانس برای زمان خشک کردن در خشک کردن طالبی تحت شرایط مختلف دما و سرعت هوا

Table 4. Analysis of variance for drying time in cantaloupe drying under different conditions of temperature and air velocity

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	48246.84	3	16082.28	433.45	< 0.0001	significant
A-Temperature	45066.67	1	45066.6	1214.63	< 0.0001	
B-Velocity	2204.17	1	2204.17	59.41	< 0.0001	
A <sup>2</sup>	976.01	1	976.01	26.31	0.0006	
Residual	333.93	9	37.10			
Lack of Fit	83.93	5	16.79	0.2686	0.9091	not significant
Pure Error	250	4	62.50			
Cor Total	48580.77	12				
C.V. %	2.62					

جدول (۵) مدل های پیشنهادی توسط روش سطح پاسخ به همراه مقادیر  $Pre-R^2$ ،  $Adj R^2$  و  $R^2$  برای خشک کردن طالبی تحت شرایط مختلف دما و

سرعت هوای خشک کردن

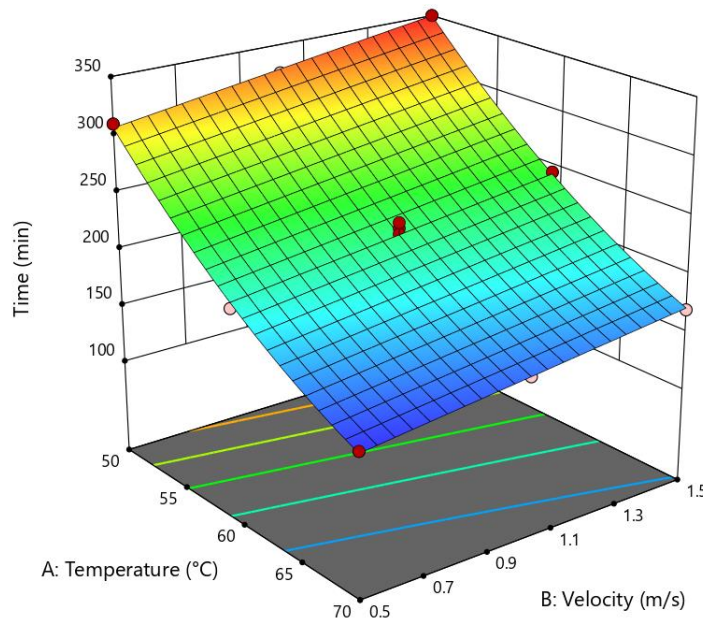
Table 5. Proposed models by RSM along with  $Pre-R^2$ ،  $Adj R^2$  and  $R^2$  values for cantaloupe drying under different conditions of temperature and drying air velocity

	Equation	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	Pred R <sup>2</sup>	Model Suggested
Drying time	1331.66-29.52A+38.33B+0.17A <sup>2</sup>	0.9931	0.9908	0.9877	Quadratic
SEC	-254.77+15.16A+23.09B-0.15A <sup>2</sup>	0.9800	0.9733	0.9666	Quadratic
EE	+7.46-0.24A-1.22B+0.002A <sup>2</sup>	0.9755	0.9673	0.9569	Quadratic
Shrinkage	66.15-0.48A+8.31B	0.9107	0.8928	0.8483	Linear
Color	+44.91-0.36A+8.55B	0.8757	0.8508	0.7619	Quadratic
RR	+1.75+0.94A-0.73B	0.9451	0.9341	0.9114	Linear
TPC	+13.12+0.44A-8.69B	0.8863	0.8635	0.7894	Linear
AntiOx	+98.61-0.06A+66.18B+0.78AB	0.9407	0.9210	0.9058	2FI

می کند؛ و در نهایت باعث کاهش زمان خشک کردن می شود [۳۷]. نتایج مشابهی در خشک کردن سیب زمینی [۷]، الو [۱۳]، برش های کدوتنبیل [۱۴] و دانه هندوانه [۲۰] حاصل شده است. همچنین در شکل (۱) تأثیر سرعت هوا بر روی زمان خشک کردن را نشان می دهد. که با توجه به آن، استفاده از سرعت هوای بالاتر، سبب افزایش زمان خشک کردن می شود. دلیل آن به این خاطر است که افزایش سرعت هوا می تواند گرمای داخل لایه مواد را از بین ببرد و از افزایش دما جلوگیری کند (به دلیل خنک شدن سطح برش

شکل (۱) اثر دمای هوا و سرعت هوا بر زمان خشک کردن را نشان می دهد. طولانی ترین زمان خشک کردن در دمای هوای ۵۰ °C، سرعت هوای ۱/۵ m/s، برابر ۳۵۰ min و کوتاه ترین زمان خشک کردن در دمای هوای ۷۰ °C، سرعت هوای ۱/۵ m/s، برابر ۱۴۰ min حاصل شد. با توجه به این شکل (۱) با افزایش دمای هوا زمان خشک کردن کاهش می یابد، این شرایط به دلیل افزایش حرکت مولکول های آب در محصول منجر به افزایش میزان تبخیر آب نمونه ها می شود و جریان انتقال حرارت را در نمونه ها بالا می برد و تبخیر را تسریع

نمونه‌ها). همچنین سرعت بالای هوا باعث می‌شود گرمای بیشتری توسط خشک‌کن به بیرون منتقل شود [۳۸]. متولی و همکاران (۲۰۱۴) و ال-مسری و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۲۲) نتایج مشابهی را گزارش نمودند [۲۹، ۳۱].



شکل (۱) اثر سرعت هوا و دمای هوا بر زمان خشک‌کردن طالبی در خشک‌کن هوای گرم  
Fig 1. Effect of air speed and air temperature on drying time of cantaloupe in hot air dryer

آب آزاد محصول سریع‌تر تبخیر شده و زمان خشک‌کردن را به‌طور قابل توجهی کاهش داده است و در نهایت منجر به کاهش انرژی مصرفی ویژه شد [۳۱]. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده سرعت هوا رابطه مستقیم با SEC دارد به عبارت دیگر افزایش سرعت هوا میزان SEC را افزایش داده است، در مقابل افزایش دمای هوا موجب کاهش SEC شد، در سرعت هوای پایین به دلیل افزایش تماس مؤثر بین هوا و نمونه‌های طالبی و افزایش سرعت تبخیر رطوبت به دلیل گرمایش حاصل از افزایش دما، انرژی مصرفی کاهش یافت اما افزایش انرژی مصرفی ویژه با افزایش سرعت هوا را می‌توان به خنک‌سازی سطح نمونه‌ها نسبت داد که میزان تبخیر رطوبت را کاهش می‌دهد و زمان خشک‌شدن را افزایش می‌دهد [۲۹، ۳۰]. ال-مسری و همکاران (۲۰۲۳) در فرآیند خشک‌کردن انگور با خشک‌کن هوای گرم به جریان هوای عمودی و افقی به این نتیجه رسیده‌اند که با افزایش دما و کاهش سرعت جریان هوا در همه شرایط سبب کاهش انرژی

### ۲.۳. انرژی مصرفی ویژه

جدول (۶) آنالیز واریانس برای پاسخ SEC را نشان می‌دهد؛ با توجه به جدول (۷) اثر مستقل دمای هوا و سرعت هوا با متغیر وابسته SEC معنی‌دار ( $p < 0.0001$ ) می‌باشد و نیز توان دوم دمای هوا با پاسخ SEC معنی‌دار ( $p < 0.0001$ ) حاصل شد. همچنین نرم‌افزار مدل کوادراتیک را برای انرژی مصرفی ویژه پیشنهاد داد. با توجه به مقادیر  $C.V.$  (۲/۹۰)،  $R^2$  (۰/۹۶۶۶)،  $Pre-R^2$  (۰/۹۷۳۳)،  $Adj R^2$  (۰/۹۸۰۰) و مدل پیش‌بینی‌شده توسط روش سطح پاسخ به‌خوبی داده‌های تجربی انرژی را برازش می‌کند (جدول ۵).

شکل (۲) اثر دمای هوا و سرعت هوا را بر روی پاسخ SEC نشان می‌دهد که افزایش دمای هوا از  $50^\circ C$  تا  $70^\circ C$  در سطح پایین سرعت هوا ( $0.5 \text{ m/s}$ ) نسبت به سطح بالای آن ( $1.5 \text{ m/s}$ ) را با شیب بیشتری کاهش داده است

با این حال افزایش سرعت هوا باعث افزایش SEC شد. دلیل آن می‌توانست این باشد که در دمای بالا و سرعت هوا پایین

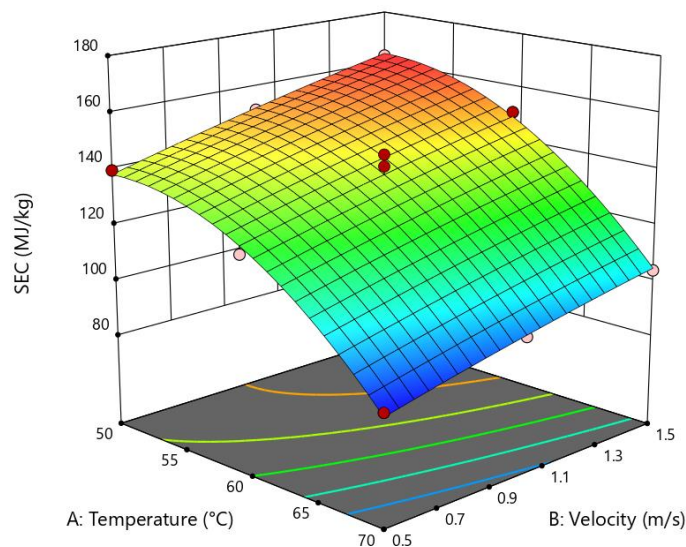


مصرفی ویژه شد [۳۹].

جدول (۶) آنالیز واریانس برای پاسخ انرژی با استفاده از RSM

Table 6. Analysis of variance for energy using RSM.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	6362.74	3	2120.91	146.95	< 0.0001	significant
A-Temperature	4835.95	1	4835.95	335.06	< 0.0001	
B-Velocity	799.72	1	799.72	55.41	< 0.0001	
A <sup>2</sup>	727.06	1	727.06	50.37	< 0.0001	
Residual	129.90	9	14.43			
Lack of Fit	26.80	5	5.36	0.2079	0.9423	not significant
Pure Error	103.10	4	25.78			
Cor Total	6492.63	12				
C.V.	2.90					



شکل (۲) اثر دمای و سرعت هوا بر انرژی مصرفی ویژه

Fig 2. Effect of air temperature and air velocity on specific energy consumption

### ۳.۳. بازده انرژی

افزایش یافت. افزایش سرعت هوا موجب می شود تا سرعت انتقال حرارت از داخل محفظه خشک کن به محیط افزایش یافته، دمای محفظه و به تبع آن نرخ خشک شدن نمونه ها کم و انرژی مصرفی زیاد و در نتیجه بازده انرژی کاهش پیدا کند. افزایش دمای هوا، سرعت خروج رطوبت را از محصول بالا برده، آب آزاد محصول سریع تر تبخیر شده و زمان خشک شدن به طور قابل ملاحظه ای کاهش می یابد و در اثر کاهش زمان خشک شدن، انرژی مصرفی کل کاهش یافته در نتیجه بازده انرژی افزایش می یابد [۲۹]. کومار

جدول (۷) آنالیز واریانس برای پاسخ بازده انرژی را نشان می دهد؛ با توجه به جدول (۷) رابطه کوادراتیک دمای هوا و سرعت هوا با متغیر بازده انرژی معنی دار ( $p < 0.0001$ ) می باشد و نیز توان دوم دمای هوا با پاسخ بازده انرژی معنی دار ( $p < 0.0001$ ) حاصل شد. همچنین نرم افزار مدل کوادراتیک را برای بازده انرژی پیشنهاد داد.

در شکل (۳) اثر سرعت هوا و دمای هوای برای مقدار بازده انرژی را نشان می دهد. مطابق این شکل با افزایش دما و کاهش سرعت هوا مقدار بازده انرژی از ۰/۷۸٪ تا ۴/۱۱٪<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۲۱) و لموس- مونداکا<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۲۱)

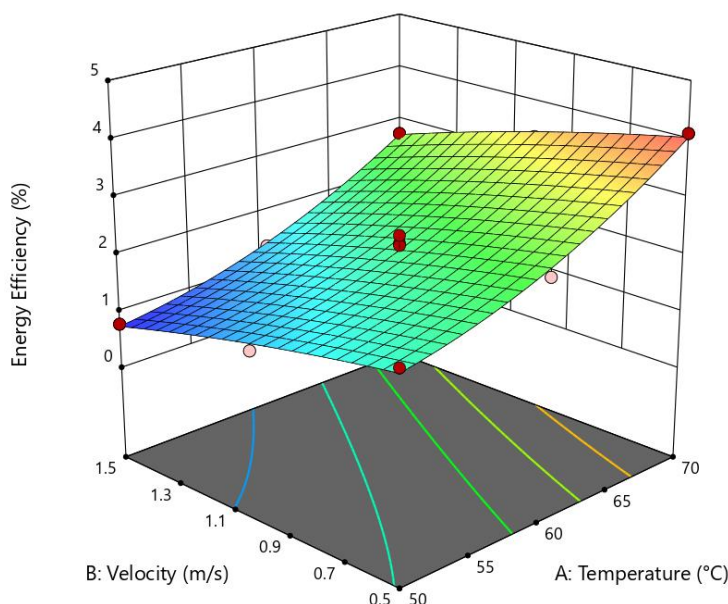
1. Kumar

2. Lemus-Mondaca

به ترتیب برای خشک کردن موز و برگ‌های استویا با استفاده از دمای ۲۷، ۲۸ می‌گردد. افزایش بازده انرژی می‌گردد از دماهای مختلف نشان دادند که افزایش دمای هوا سبب

جدول (۷) آنالیز واریانس برای پاسخ بازده انرژی با استفاده از RSM.  
Table 7. Analysis of variance for energy efficiency using RSM.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-Value	p-value Prob > F	
Model	9.0100	3	3.00	119.38	< 0.0001	significant
A-Temperature	6.5100	1	6.51	258.69	< 0.0001	
B-Velocity	2.2300	1	2.23	88.71	< 0.0001	
A <sup>2</sup>	0.2704	1	0.2704	10.74	0.0096	
Residual	0.2265	9	0.2265			
Lack of Fit	0.0995	5	0.0199	0.6268	0.6928	not significant
Pure Error	0.1270	4	0.0318			
Cor Total	9.2400	12				
C.V.	7.18					



شکل (۳) اثر دمای و سرعت هوا بر بازده انرژی  
Fig 3. Effect of air temperature and air velocity on energy efficiency

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل واریانس جهت بررسی اثر دمای هوا و سرعت هوا بر مقدار چروکیدگی نمونه‌های طالبی خشک شده با خشک کن هوای گرم در جدول (۸) ارائه شده است. نتایج نشان داد رابطه خطی دمای هوا و سرعت هوا با پاسخ چروکیدگی در سطح معنی داری ( $p < 0.0001$ ) برقرار است و آن گونه که قابل مشاهده است اثر متقابل دمای هوا و سرعت هوا و نیز اثر توان دوم سرعت هوا و دمای هوا بر روی پاسخ چروکیدگی معنی دار نمی‌باشد. همچنین مقدار  $91/07$

### ۴.۳. چروکیدگی

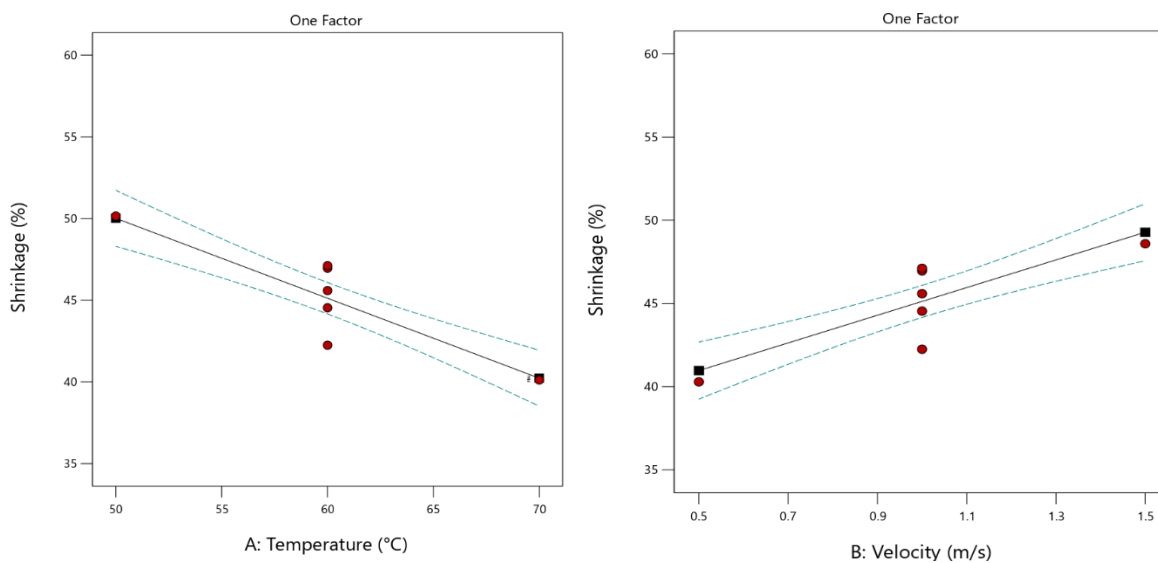
به دست آمده، مقدار چروکیدگی با دمای هوا نسبت عکس و با سرعت هوا نسبت مستقیم داشت. شکل (۴) اثر هر یک از متغیرهای مستقل بر چروکیدگی را نشان می‌دهد و با توجه به شکل (۴) افزایش سرعت هوا و کاهش دمای هوا میزان چروکیدگی کاهش یافته است؛ به این دلیل که استفاده از گرمایش طولانی مدت باعث خارج شدن رطوبت زیادی در طول فرآیند خشک شدن و از طرفی منجر به ایجاد تنش‌های

حرارتی در نمونه ها می شود و به دنبال آن میزان چروکیدگی را در نمونه ها افزایش می دهد [۴۰].

جدول (۸) آنالیز واریانس برای پاسخ چروکیدگی با استفاده از RSM

Table 8. Analysis of variance for shrinkage using RSM.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	247.24	2	123.62	50.97	< 0.0001	significant
A-Temperature	143.57	1	143.57	59.19	< 0.0001	
B-Velocity	103.67	1	103.67	42.74	< 0.0001	
Residual	24.25	10	2.43			
Lack of Fit	8.26	6	1.38	0.34	0.8824	not significant
Pure Error	16	4	4			
Cor Total	271.49	12				
C.V.	3.45					



شکل (۴) نمودار دوبعدی اثر دمای هوا و سرعت هوا بر تغییرات چروکیدگی

Fig 4. Two-dimensional diagram of the effect of air temperature and air velocity on shrinkage

نمی باشد. شکل (۵) تأثیر هر یک از متغیرهای مستقل بر روی میزان RR را به تنهایی نشان می دهد، با توجه به آن افزایش دما (از ۵۰ تا ۷۰ °C) و کاهش سرعت هوا (از ۱/۵ تا ۰/۵ m/s) میزان RR روند صعودی دارد. به این دلیل که افزایش دمای هوا با کاهش زمان خشک شدن از تخریب بافت جلوگیری می کند و چروکیدگی محصول را کاهش می دهد. زمانی که واپاشی یاخته ای و ساختمانی مانند چروکیدگی در کمترین اندازه باشد، نسبت بازجذب آب آن بالاترین اندازه را خواهد داشت [۳۵]. در مطالعه ای که بر روی اثر دما و سرعت هوا خشک کن بر خواص

### ۵.۳. نسبت بازجذب آب

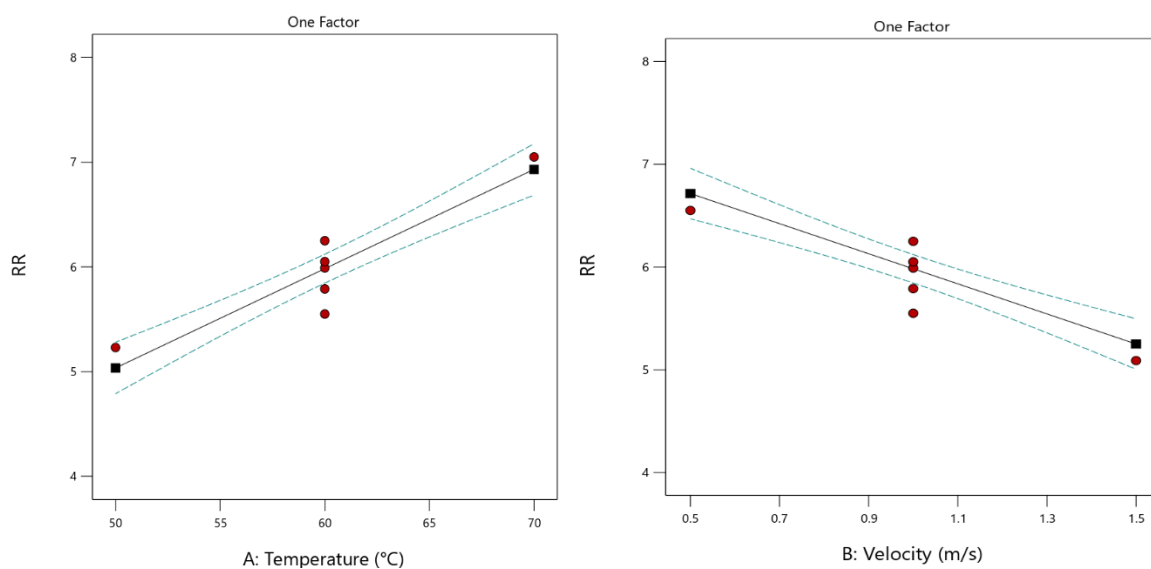
نسبت بازجذب آب یکی از مهم ترین ویژگی های کیفی محصولات خشک شده است و بیشتر به تغییرات ساختاری بستگی دارد که در طول خشک شدن در سلول های محصول غذایی ایجاد می شود [۱۹]. بالاترین نسبت بازجذب آب (RR) در دمای هوا ۷۰ °C، سرعت هوا ۰/۵ m/s و پایین ترین میزان RR در دمای هوا ۵۰ °C، سرعت هوا ۱/۵ m/s به ترتیب برابر ۷/۸۹ و ۴/۴۹ می باشد. جدول (۹) آنالیز واریانس برای پاسخ RR را نشان می دهد با توجه به آن رابطه خطی دمای هوا و سرعت هوا با پاسخ RR در سطح معنی داری ( $p < 0.0001$ ) برقرار است و اثر متقابل دمای هوا و سرعت هوا نیز معنی دار

فیزیکوشیمیایی قارچ مطالعه‌ای را انجام شد، پژوهشگران به ضریب باز جذب افزایش پیدا می‌کند [۴۱]. این نتیجه رسیدند که هر چه قدر دمای هوا افزایش یابد

جدول (۹) آنالیز واریانس برای پاسخ ضریب باز جذب با استفاده از RSM

Table 9. Analysis of variance for rehydration ratio using RSM

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	8.61	2	4.30	86.11	< 0.0001	significant
A-Temperature	5.40	1	5.40	107.95	< 0.0001	
B-Velocity	3.21	1	3.21	64.26	< 0.0001	
Residual	0.4998	10	0.050			
Lack of Fit	0.2155	6	0.0359	0.5054	0.7830	not significant
Pure Error	0.2843	4	0.0711			
Cor Total	9.11	12				
C.V.	3.74					



شکل (۵) نمودار دو بعدی اثر دمای هوا و سرعت هوا بر تغییرات نسبت باز جذب

Fig 5. Two-dimensional diagram of the effect of air temperature and air velocity on rehydration ratio

متغیرهای مستقل بر روی متغیر پاسخ رنگ را نشان می‌دهد، با توجه به شکل (۶) با افزایش دمای هوا و کاهش سرعت هوا میزان تغییر شاخص رنگ روند نزولی دارد و در جدول (۱۰) آنالیز واریانس نیز مطرح شده است. به‌طور کلی تغییر رنگ اساساً نتیجه مستقیم تخریب رنگدانه است. بیشترین تغییر رنگ را در دمای هوای  $50^{\circ}\text{C}$  و سرعت هوا  $1/5\text{ m/s}$  نشان می‌دهد با افزایش دمای هوا و کاهش سرعت هوا میزان رنگ کاهش می‌یابد. یکی از دلایل آن این است که در دمای پایین به دلیل طولانی شدن زمان خشک کردن خواص مواد مغذی تحت تأثیر قرار می‌گیرد و تخریب رنگدانه‌ها اغلب موارد در

### ۶.۳. تغییرات کلی رنگ

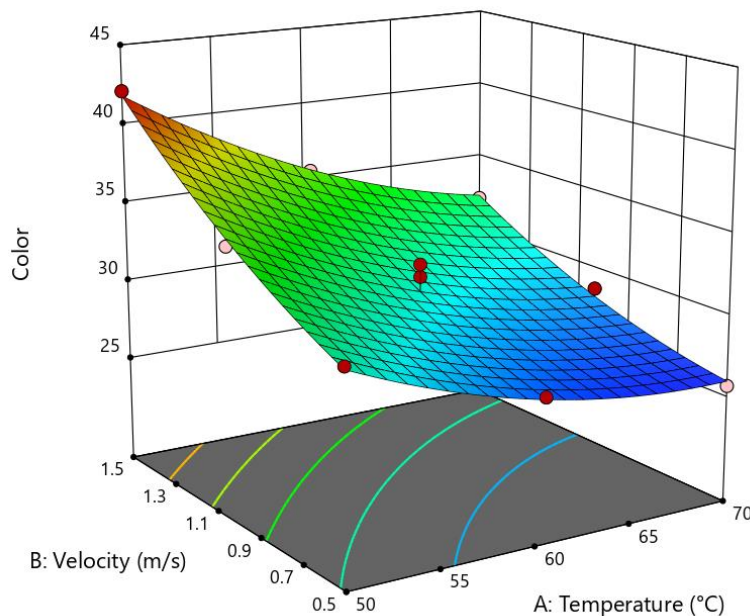
با توجه به جدول (۱۰) آنالیز واریانس برای پاسخ تغییرات کلی رنگ اثر مستقل دمای هوا و سرعت هوا با پاسخ تغییرات کلی رنگ معنی‌دار ( $p < 0.0001$ ) می‌باشد. رنگ عامل مؤثر در جلب نظر و انتخاب ماده غذایی است و وجود آن در تشخیص سریع پذیرش نهایی هر فراورده غذایی مؤثر می‌باشد، زیرا رنگ باعث جذابیت ماده غذایی می‌گردد [۴۲]. بیشترین تغییر رنگ نمونه‌های طالبی برابر  $42/11\text{ m/s}$  و دمای هوای  $50^{\circ}\text{C}$  و کمترین مقدار آن برابر  $25/65$  و دمای هوای  $70^{\circ}\text{C}$  و  $0/5\text{ m/s}$  حاصل شد. شکل (۶) اثر

دماهای پایین تر رخ می دهد همچنین با افزایش سرعت هوا، حرارت کمتری در داخل نمونه ها نفوذ می کند و زیرا منجر به کاهش دمای خشک کن به دلیل خنک کاری آن می شود؛ به این ترتیب واکنش های قهوه ای شدن آنزیمی، غیرآنزیمی، سوختگی و سیاه شدن سطح نمونه ها افزایش یافت و در نهایت منجر به افزایش تغییر رنگ نمونه ها شد [۴۳].

جدول (۱۰) آنالیز واریانس برای پاسخ تغییرات رنگ با استفاده از RSM

Table 10. Analysis of variance for color change using RSM.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	190.11	2	95.06	35.21	< 0.0001	significant
A-Temperature	80.37	1	80.37	29.78	< 0.0001	
B-Velocity	109.74	1	109.74	40.65	< 0.0001	
Residual	26.99	10	2.69			
Lack of Fit	18.40	6	3.07	1.43	0.3809	not significant
Pure Error	8.59	4	2.15			
Cor Total	217.11	12				
C.V.	5.21					



شکل (۶) نمودار دو بعدی اثر دمای هوا و سرعت هوا بر تغییرات رنگ

Fig 6. Two-dimensional diagram of the effect of air temperature and air velocity on color change

سرعت هوای خشک کن بر میزان ترکیبات فنلی کل، اثر مستقل دما و سرعت هوای خشک کن ( $P < 0.0001$ ) و اثر متقابل آنها بر میزان آنتی اکسیدان معنی دار بودند ( $P < 0.05$ ). محتوای فنل کل بالا در  $70^\circ\text{C}$  و  $0.5\text{ m/s}$  برابر  $38/20\text{ mg GA}/100\text{g dw}$  و مقدار پایین آن در  $50^\circ\text{C}$  و  $1/5\text{ m/s}$  برابر  $20/22\text{ mg GA}/100\text{g dw}$  حاصل شد. شکل (۷) اثر پارامترهای مستقل بر روی پاسخ فنل کل را نشان می دهد؛ با افزایش دمای هوا میزان فنل کل افزایش می یابد

### ۷.۳. محتوای فنل کل و آنتی اکسیدان

نتایج نشان داد مدل مناسب برای پیش بینی محتوای فنل کل و آنتی اکسیدان در اثر متغیرهای مورد بررسی (دما و سرعت هوای خشک کن) به ترتیب مدل خطی و 2FI می باشد. ضرایب معادلات مدل های به دست آمده و آنالیز واریانس آنها در جدول (۵) نشان داده شده است. با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول ۱۱ و ۱۲) اثر مستقل دما و

آزاد شدن آنزیم‌های اکسیدکننده و هیدرولیتی می‌شود که می‌توانند عامل نابودی آنتی‌اکسیدان‌ها در میوه‌ها و سبزی‌ها باشند؛ با این حال فرآیند حرارتی در دماهای پایین، این آنزیم‌ها را غیرفعال می‌کند و مانع از دست رفتن اسیدفنولیک می‌شود اما با افزایش دما و فعال شدن آنزیم‌ها، اسیدفنولیک از بین رفته و در نتیجه ظرفیت آنتی‌اکسیدانی افزایش می‌یابد. بنابراین افزایش آنتی‌اکسیدان ممکن است به این دلیل که فرآیند حرارتی اسیدفنولیک بیشتری را از تجزیه اجزای سلولی آزاد می‌کند، باشد [۱۶]. بسیاری از محققان دیگر نیز گزارش کردند که با افزایش دما و کاهش سرعت هوا میزان فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی افزایش می‌یابد [۱۳، ۱۴، ۴۲].

در مقابل افزایش سرعت هوا سبب کاهش محتوای فنل شد. کاهش TPC در طول خشک‌شدن را می‌توان به وقوع واکنش‌های اکسیداتیو برگشت‌ناپذیر و تجزیه حرارتی که در طول گرم‌کردن طولانی مدت رخ می‌دهد، نسبت داد [۱۳]. بیشترین و کمترین مقدار آنتی‌اکسیدان در نمونه‌های طالبی به ترتیب برابر ۸۷/۸۹٪ (در ۷۰ °C و ۰/۵ m/s) و ۵۴/۴۴٪ (در ۵۰ °C و ۱/۵ m/s) به دست آمد. شکل (۸) اثر متقابل دمای هوا و سرعت هوا را بر روی ظرفیت آنتی‌اکسیدانی نشان می‌دهد با توجه به آن با افزایش دمای هوا، میزان آنتی‌اکسیدان روند افزایشی دارد با این حال با کاهش سرعت هوا این روند را طی کرده است که می‌تواند به دلیل تشکیل واکنش میلارد باشد [۲۴]. اختلال در دیواره سلولی باعث

جدول (۱۱) آنالیز واریانس برای پاسخ محتوای فنل با استفاده از RSM

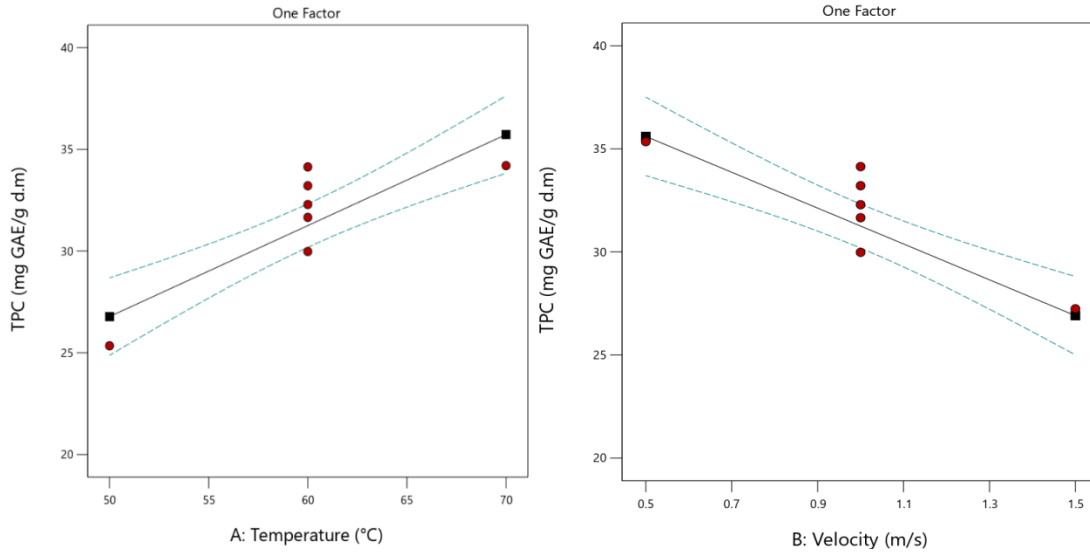
Table 11. Analysis of variance for total phenol response using RSM.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	233.42	2	116.71	38.96	< 0.0001	significant
A-Temperature	119.97	1	119.97	40.05	< 0.0001	
B-Velocity	113.45	1	113.45	37.87	< 0.0001	
Residual	29.96	10	3			
Lack of Fit	19.96	6	3.33	1.33	0.4080	not significant
Pure Error	10	4	2.50			
Cor Total	263.38	12				
C.V.	5.54					

جدول (۱۲) آنالیز واریانس برای پاسخ آنتی‌اکسیدان با استفاده از RSM

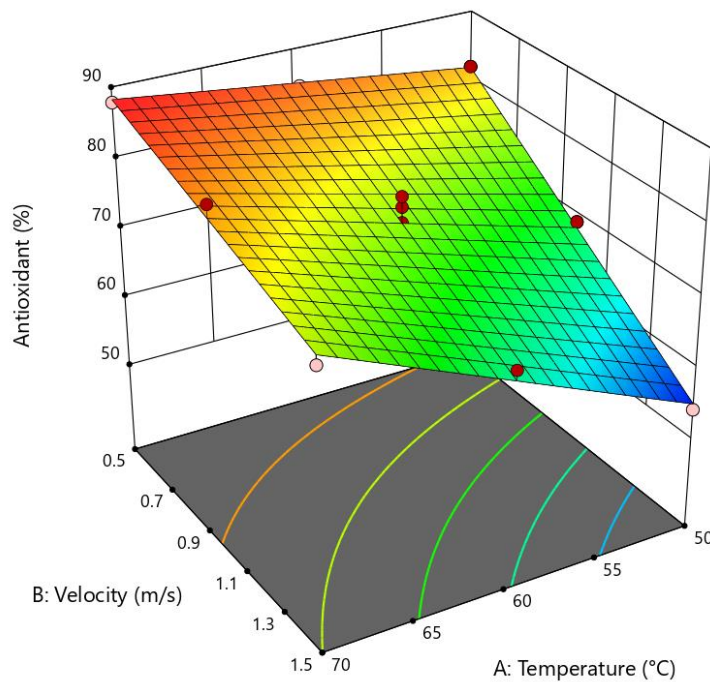
Table 12. Analysis of variance for antioxidant response using RSM.

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	911.24	3	303.75	47.62	< 0.0001	significant
A-Temperature	309.89	1	309.89	48.58	< 0.0001	
B-Velocity	539.41	1	539.41	84.56	< 0.0001	
AB	61.94	1	61.94	9.71	0.0124	
Residual	57.41	9	6.38			
Lack of Fit	9.36	5	1.87	0.155	0.9668	not significant
Pure Error	48.05	4	12.01			
Cor Total	968.65	12				
C.V.	3.34					



شکل (۷) نمودار دو بعدی اثر دمایی هوا و سرعت هوا بر محتوای فنل کل

Fig 7. Two-dimensional diagram of the effect of air temperature and air velocity on total phenol content



شکل (۸) اثر دمایی هوا و سرعت هوا بر درصد آنتی اکسیدان

Fig 8. Effect of air temperature and air velocity on antioxidant

### ۸.۳. بهینه سازی

پارامترهای زمان خشک کردن، انرژی مصرفی ویژه، چروکیدگی و رنگ نمونه ها و حداکثر کردن نسبت بازجذب آب، ترکیبات فنل کل، ظرفیت آنتی اکسیدانی آنها بود. جدول (۱۳) مقادیر پیش بینی و بهینه سازی شده متغیرهای مستقل و وابسته طی خشک کردن برش های طالبی با خشک کن

شرایط عملیاتی بهینه با استفاده از تکنیک بهینه سازی عددی برای خشک کردن هوای گرم برش های طالبی، جستجو شد. در این مطالعه، هدف از بهینه سازی مطابق آنچه در جدول (۱۳) آورده شده است، به حداقل رساندن

محتوای فنل کل و آنتی‌اکسیدان به ترتیب مقادیر min ۳۶/۰۷ ، ۲۳/۵۷ ، ۴/۰۱ ، ۸۳/۰۹ MJ/kg ، دقیقه، ۱۳۵/۸۳ ، ۷/۶۶ ، ۴۰/۰۷ Mg GA/100 gdw و ۸۸/۲۸٪ با قابلیت اطمینان نزدیک به ۰/۹۸۷ حاصل شد.

هوای گرم با اهداف بهینه‌سازی تعریف شده، می‌باشد. با توجه به این شکل شرایط بهینه خشک کردن برای متغیرهای مستقل دمای هوای گرم و سرعت هوا به ترتیب برابر  $70^{\circ}\text{C}$  و  $0.5\text{ m/s}$  و برای متغیرهای وابسته زمان خشک کردن، انرژی مصرفی ویژه، بازده انرژی، رنگ، چروکیدگی، بازجذب،

جدول (۱۳) نتایج بهینه‌سازی بر اساس تابع مطلوب RSM

Table 13. Results of optimization by desirable function of RSM.

Number	Temperature	Velocity	Time	SEC	EE	Shrinkage	Color	RR	TPC	Antioxidant	Desirability
1	70.0	0.5	135.83	83.09	4.01	36.07	23.57	7.66	40.07	88.28	0.987

تحت شرایط بهینه حاصل از روش سطح داده‌های آزمایشی پاسخ‌ها برای متغیرهای وابسته زمان خشک کردن، انرژی مصرفی ویژه، بازده انرژی، رنگ، چروکیدگی، نسبت بازجذب، محتوای فنل کل و آنتی‌اکسیدان به ترتیب مقادیر min ۳۶/۰۷ ، ۲۳/۵۷ ، ۴/۰۱ ، ۸۳/۰۹ MJ/kg ، ۱۳۵/۸۳ ، ۷/۶۶ ، ۴۰/۰۷ Mg GA/100 gdw و ۸۸/۲۸٪ تعیین شد که نشان‌دهنده انطباق و نزدیکی داده‌های پیش‌بینی شده با معادلات روش سطح پاسخ با داده‌های آزمایشی بود. امروزه، توسعه رویکردهای بازرسی کیفیت پس از برداشت، به‌ویژه با هدف بهینه‌سازی آنها و استفاده از تکنیک‌های جدید، که سبب کاهش زمان پردازش می‌شوند، باعث کاهش ضایعات شده و به استانداردسازی در محصولات خود دست می‌یابد.

#### تشکر و قدردانی

از دانشگاه محقق اردبیلی (حوزه معاونت پژوهشی)، در تأمین بودجه برای اجرای طرح با عنوان «بررسی تأثیر روش‌های مختلف خشک کردن بر زمان خشک کردن، انرژی، خواص کیفی، بیواکتیو و ویتامین ث طالبی» با شماره ۱۴۰۰/۵/۹/۹۷۳۴ مورخ ۱۴۰۰/۰۵/۱۷ تشکر و قدردانی می‌شود.

#### ۴. نتیجه‌گیری

در این پژوهش به بررسی بهینه‌سازی زمان خشک کردن، انرژی مصرفی ویژه، بازده انرژی، رنگ، چروکیدگی، نسبت بازجذب، ترکیبات فنلی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه طالبی در خشک‌کن هوای گرم به کمک روش سطح پاسخ پرداخته شد. متغیرهای مستقل شامل دما و سرعت هوا و متغیرهای وابسته شامل (زمان خشک کردن، انرژی مصرفی ویژه، رنگ، چروکیدگی، بازجذب، محتوای فنل کل و آنتی‌اکسیدان) بود. بررسی نتایج نشان داد که پارامترهای مستقل دما و سرعت هوا اثر معنی‌داری ( $p < 0.0001$ ) همه پارامترهای محاسبه شده نمونه‌های طالبی داشت. همچنین افزایش دما و کاهش سرعت هوا سبب افزایش بازده انرژی، ضریب بازجذب، محتوای فنل کل و آنتی‌اکسیدان شد درحالی که افزایش دما و کاهش سرعت هوا باعث کاهش زمان خشک کردن، انرژی مصرفی ویژه، چروکیدگی و رنگ گردید. نتایج به‌دست آمده حاکی از آن بودند که مدل‌های ارائه شده با روش سطح پاسخ، کارایی مناسبی برای پیش‌بینی، بهینه‌بازی و اصلاح پارامترهای مورد ارزیابی در شرایط خشک کردن طالبی در خشک‌کن هوای گرم را داشتند. دما و سرعت هوای خشک‌کن، به ترتیب  $70^{\circ}\text{C}$  و  $0.5\text{ m/s}$  با میزان مطلوبیت ۰/۹۹۳ به‌عنوان بیشترین مطلوبیت ممکن انتخاب شد. در حالی که

#### منابع

[1] Chang, A., Zheng, X., Xiao, H., Yao, X., Liu, D., Li, X., & Li, Y. (2022). Short- and medium-wave infrared drying of cantaloupe (cucumis melon l.)

slices: drying kinetics and process parameter optimization. *Processes*, 10, 114.



- [2] Zadhosein, S., Abbaspour-Gilandeh, Y., Kaveh M., Kalantari, D., & Khalife, E. (2022) Comparison of two artificial intelligence methods (ANNs and ANFIS) for estimating the energy and exergy of drying cantaloupe in a hybrid infrared-convective dryer. *J Food Process Preserv.* 2022;00:e16836
- [3] Mirzaei, S., Ameri, M., & Ziafroughi, A. (2021). Energy-exergy analysis of an infrared dryer equipped with a photovoltaic thermal collector in glazed and unglazed modes. *Renew Energy.* 169, 541-556
- [4] Cunha, R. M. C. D., Brandão, S. C. R., da Medeiros, R. A. B., da Silva Júnior, E. V., da Silva, J. H. F., & Azoubel, P.M. (2020). Effect of ethanol pretreatment on melon convective drying. *Food Chem.* 333, 127502
- [5] Abdullah, R. S. S., Khatri, P., Kumar, L., Kumar, A. & Mujumdar, A. S. (2022). Role of drying technology in probiotic encapsulation and impact on food safety. *Drying Technol.* DOI: 10.1080/07373937.2022.2044844 (In Press).
- [6] Reis, F.R., Marques, C., de Moraes, A. C. S., & Masson M. L. (2022). Trends in quality assessment and drying methods used for fruits and vegetables. *Food Control*, 142, 109254
- [7] Savas, E. (2022). The modelling of convective drying variables' effects on the functional properties of sliced sweet potatoes. *Foods.* 11, 741.
- [8] Kian-pour, N. Fundamental drying techniques applied in food science and technology. *IJFER* 2020, 6, 35–63
- [9] Miranda, M., Vega-Galvez, A., Lopez, J., Parada, G., Sanders, M., Aranda, M., Uribe, E., & Di Scala, K. (2010). Impact of air-drying temperature on nutritional properties, total phenolic content and antioxidant capacity of quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Wild). *Ind. Crop. Prod.*, 32, 258–263
- [10] Aghilinategh, N., Rafiee, S., Hosseinpour, S., Omid, M., & Mohtasebi, S. S. (2015). Optimization of intermittent microwave-convective drying using response surface methodology. *Food Sci Nutri.* 3(4), 331–341.
- [11] Karaman, S., Toker, O. S., Çam, M., Hayta, M., Dogan, M., & Kayacier, A. (2014). Bioactive and physicochemical properties of persimmon as affected by drying methods. *Dry. Technol.* 32, 258–267.
- [12] Senadeera, W., Adiletta, G., Önal, B., Matteo M. D., & Russo, P. (2020). Influence of Different Hot Air Drying Temperatures on Drying Kinetics, Shrinkage, and Colour of Persimmon Slices. *Foods*, 9, 101.
- [13] Hassan, A. M. A., Zannou, O., Pashazadeh H., Redha, A. A., & Koca, I. (2022). Drying date plum (*Diospyros lotus* L.) fruit: Assessing rehydration properties, antioxidant activity, and phenolic compounds. *J. Food Sci.*, 1–22
- [14] Chikpah, S. K., Korese, J. K., Sturm, B., & Hensel, O. (2022). Colour change kinetics of pumpkin (*Cucurbita moschata*) slices during convective air drying and bioactive compounds of the dried products. *J Agri Food Res.* 10, 100409
- [15] Monteiro, S. S., da Silva, W. P., Monteiro, S. S., Gomes, J. P., Pereira E. M., & de Lima Ferreir, J. P., (2022). Probiotic coating applied to papaya slices for high quality snack production by convective drying. *J Food Process Preserv.* 46(1), e16183
- [16] Zannou, O., Pashazadeh, H., Ghellam, M., Hassan, A. M. A., & Koca, I. (2021). Optimization of drying temperature for the assessment of functional and physical characteristics of autumn olive berries. *J Food Process Preserv.* 45(9), e15658
- [17] Zzaman, W., Biswas, R., & Hossain, M.A., (2020). Application of immersion pre-treatments and drying temperatures to improve the comprehensive quality of pineapple (*Ananas comosus*) slices. *Heliyon*, 6, e05882
- [18] Roman, M. C., Fabani, M. P., Luna, L. C., Feresin, G. E., Mazza, G., & Rodriguez, R. (2020). Convective drying of yellow discarded onion (Angaco INTA): Modelling of moisture loss kinetics and effect on phenolic compounds. *Inform Process Agr.* 7(2), 333-341
- [19] Zahoor, I., & Khan M. A., (2019). Microwave assisted convective drying of bitter melon: drying kinetics and effect on ascorbic acid, total phenolics and antioxidant activity. *Food Measure.* 13, 2481–2490.
- [20] Nakilcioğlu-Taş, E., Coşan, G., & Ötleş, S. (2021). Optimization of process conditions to improve the quality properties of healthy watermelon snacks developed by hot-air drying. *Food Measure.* 15, 2146–2160.
- [21] Inyang, U. E., Oboh, I. O., & Etuk B.R. (2018). Kinetic Models for Drying Techniques—Food Materials. *Advances Chem Eng Sci.* 8, 27–48
- [22] Rashidi, M., Amiri Chayjan, R., Ghasemi, A., & Ershadi, A. (2021). Tomato tablet drying enhancement by intervention of infrared - A response surface strategy for experimental design and optimization. *Biosystems Eng.* 208, 199- 212
- [23] Li, X., Liu, J, Cai, J., Xue, L., Wei, H., Zhao, M., & Yang, Y. (2021). Drying characteristics and processing optimization of combined microwave drying and hot air drying of *Termitomyces albuminosus* mushroom. *J Food Process Preserv.* 45(12), e16022.
- [24] Nurkhoeriyati, T., Kulig, B., Sturm, B., & Hensel, O. (2021). The effect of pre-drying treatment and drying conditions on quality and energy consumption of hot air-dried celeriac slices: Optimisation. *Foods*, 10, 1758.

- [25] Chayjan, R. A., Agha-Alizade, H. H., Barikloo, H., & Soleymani, B. (2012). Modeling some drying characteristics of cantaloupe slices. *Cercetări agronomice în Moldova*, 2, 5–14.
- [26] Kaveh, M. & Abbaspour-Gilandeh, Y. (2022). Drying characteristics, specific energy consumption, qualitative properties, total phenol compounds, and antioxidant activity during hybrid hot air-microwave-rotary drum drying of green pea. *Iran. J. Chem. Chem. Eng.* 40, 655–672
- [27] Lemus-Mondaca R., Zura-Bravo, L., Ah-Hen, K., & Di Scala, K. (2021). Effect of drying methods on drying kinetics, energy features, thermophysical and microstructural properties of Stevia rebaudiana leaves. *J Sci Food Agr.* 101 (15), 6484-6495
- [28] Kumar, R., Pandey, O.P., Dhiman, S. K., & Kumar, P. (2021). Influence of blanching and drying air temperature on drying kinetics of banana slices. *J Biosystems Eng.* 45, 375–385
- [29] Motevali, A., Minaei, S., Banakar, A., Ghobadian, B., & Khoshtaghaza, M. H. (2014). Comparison of energy parameters in various dryers. *Energy ConverManag.*, 87, 711–725.
- [30] Kaveh, M., Abbaspour-Gilandeh, Y., Nowacka, M. (2021). Comparison of different drying techniques and their carbon emissions in green peas. *Chem Eng Process: Process Int*, 160, 108274
- [31] El-Mesery, H. S., Kamel, R. M., & Alshaer W. G. (2022). Thin-layer drying characteristics, modeling and quality attributes of tomato slices dried with infrared radiation heating. *Biosci J*, 38, e38049
- [32] Zhang, Y., Zielinska, M., Vidyarthi, S.K., Zhao J-H, Peia Y-P, Lib, G., Zheng Z-A, Wu, M., Gao, Z.J., & Xia H-W. (2020). Pulsed pressure pickling enhances acetic acid transfer, thiosulfinates degradation, color and ultrastructure changes of “Laba” garlic. *Innov Food Sci Emerg Technol.* 65, 102438.
- [33] Dehghannya J., Kadkhodaei, S., Heshmati, MK., & Ghanbarzadeh B (2019). Ultrasound-assisted intensification of a hybrid intermittent microwave – hot air drying process of potato: Quality aspects and energy consumption. *Ultrason*, 96, 104–122
- [34] Liu, J., Liu, Y., Li, X., Zhu, J., Wang, X., & Ma, L. (2023). Drying characteristics, quality changes, parameters optimization and flavor analysis for microwave vacuum drying of garlic (*Allium sativum* L.) slices. *LWT*, 173, 114372.
- [35] Bao, X., Min, R., Zhou, K., Traffano-Schiffo, M.V., Dong, Q., & Luo W (2023). Effects of vacuum drying assisted with condensation on drying characteristics and quality of apple slices. *J Food Eng.* 340, 111286.
- [36] Rybak, K., Wiktor, A., Witrowa-Rajchert, D., Parniakov O., & Nowacka M (2021). The Quality of Red Bell Pepper Subjected to Freeze-Drying Preceded by Traditional and Novel Pretreatment. *Foods*, 10, 1943.
- [37] Chasiotis V., Nikas, K-S., & Filios, A. (2022). Modeling and optimization of non-isothermal convective drying process of Lavandula allardii. *Information Process Agr.* <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2022.06.001> (In Press).
- [38] Yuan, L., Zheng, X., & Shen, L. (2022). Continuous microwave drying of germinated red adzuki bean: Effect of various drying conditions on drying behavior and quality attributes. *J Food Process Preserv.* <https://doi.org/10.1111/jfpp.17090> (In Press)
- [39] EL-Mesery, H. S., Tolba, N. M., & Kamel, R. M. (2023). Mathematical modelling and performance analysis of airflow distribution systems inside convection hot-air dryers. *Alexandria Eng J.* 62, 237-256.
- [40] Ghavidelan M. A., & Chayjan R. A. (2017). Application of response surface methodology for optimization of hazelnut drying under infrared fluidized bed. *J Food Res.* 26(4), 639-65
- [41] Xu, Y., Liu, W., Li, L., Cao, W., Zhao, M., Dong, J., Ren, G., Bhandari, B., & Duan, X (2022). Dynamic changes of non-volatile compounds and evaluation on umami during infrared assisted spouted bed drying of shiitake mushrooms. *Food Control*, 142, 109245.
- [42] Xu, Y., Xiao, Y., Lagnika, C., Li, D., Liu, C., Jiang, N., Song, J., & Zhang, M. (2020). A comparative evaluation of nutritional properties, antioxidant capacity and physical characteristics of cabbage (*Brassica oleracea* var. capitata Var L.) subjected to different drying methods. *Food Chem.* 30, 124935
- [43] Zahoor, I., & Khan, M. A. (2021). Microwave assisted fluidized bed drying of red bell pepper: Drying kinetics and optimization of process conditions using statistical models and response surface methodology. *Sci Horticulturae* 286, 110209