



## مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: [www.fsct.modares.ac.ir](http://www.fsct.modares.ac.ir)

### مقاله علمی-پژوهشی

بررسی تأثیر متغیرهای زمان استراحت و اختلاط فوم بر پودر پاپریکا تولید شده با روش خشک کردن فوم به کمک مایکروویو

سمیه سنجری<sup>۱</sup>، نفیسه جهانبخشیان<sup>۲\*</sup>، صدیقه سلیمانی فرد<sup>۳</sup>، مریم خاکباز حشمتی<sup>۴</sup>، زهرا بیگ محمدی<sup>۱</sup>

۱- گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، واحد شهرکرد، دانشگاه آزاد اسلامی، شهرکرد، ایران

۳- گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۴- گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

### چکیده

### اطلاعات مقاله

در این پژوهش، برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و کیفی پودر پاپریکا به روش خشک کردن فوم مت با مایکروویو تحت تأثیر دو متغیر مستقل زمان استراحت در محدوده (۲۰ تا ۲۰ دقیقه) و اختلاط فوم (۱۰ تا ۱۰ دقیقه) مورد بررسی قرار گرفت. در این ارزیابی خصوصیات فوم حاصل از ۱۰ درصد مالتو دکسترین و ۱۰ درصد کنسانتره پروتئین شیر و پودر (تعیین تخلخل، انبساط و رنگ) و بهینه سازی فرآیند با استفاده از روش سطح پاسخ تعیین گردید. نتایج بررسی نشان داد که میزان تخلخل فوم با کاهش زمان استراحت و افزایش زمان اختلاط در محدوده (۰/۰۵۸-۰/۰۹۰) افزایش معناداری را نشان داد ( $p \leq 0.05$ ). این پاسخ بصورت خطی تحت تأثیر متغیرهای مستقل قرار گرفت و ضریب تبیین ( $R^2$ ) مدل برابر ۰/۹۷ شد. در حالی که میزان انبساط فوم (۲/۲۲-۱۳/۸۴) بصورت خطی تحت تأثیر زمان اختلاط قرار گرفت و کاهش یافت. مقدار ضریب تبیین ( $R^2$ ) برای این پارامتر ۰/۵۷ حاصل شد که معناداری را در سطح ۰/۰۵ درصد نشان داد ( $p \leq 0.05$ ). بر اساس نتایج حاصل برای پودر، تخلخل پودر با محدوده تغییرات (۰/۱۲-۰/۰۱) و مقادیر پارامترهای رنگی  $L^*$ ،  $a^*$ ،  $b^*$  و  $BI$  و کروما به ترتیب (۲۷/۳۳-۱۶/۴۸)، (۲۷/۱۹-۹/۵۳)، (۱۳/۸۷-۵/۳۱)، (۷۹/۵۳-۱۳۴/۴۶) و (۱۱/۱۵-۳۰/۳۴) شد که با کاهش زمان استراحت و افزایش زمان اختلاط افزایش یافتند. از آنجایی که مدل‌ها به طور رضایت‌بخشی به داده‌های تجربی برازش می‌کنند، می‌توان از آنها برای اهداف پیش‌بینی استفاده کرد. بررسی نتایج نشان داد که اثرات خطی و متقابل متغیرهای مستقل بر  $L^*$ ،  $a^*$ ،  $b^*$  و  $BI$  و کروما، معنی‌دار شد ( $p \leq 0.05$ ). ولی اثرات خطی و متقابل متغیرهای مستقل بر زاویه هیو غیرمعنی‌داری را نشان داد ( $p \geq 0.05$ ). بر اساس مدل‌های پیشنهادی، زمان اختلاط بیشترین تأثیر را بر تمامی پاسخ‌ها به استثناء زاویه هیو دارد که بیشترین ضریب را در مدل پیشنهادی دارد.

### تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۲۳

تاریخ داوری: ۱۴۰۴/۰۴/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۲۴

### کلمات کلیدی:

پودر پاپریکا،  
کنسانتره پروتئین شیر،  
مالتو دکسترین،  
فوم مت،  
مایکروویو.

DOI: 10.48311/fsct.2026.83999.0

\* مسئول مکاتبات:

njahanbakhshian@iau.ac.ir

## ۱-مقدمه

این تکنیک، غذا در حضور عوامل کف‌کننده و تثبیت کننده‌ها به یک کف پایدار تبدیل می‌شود. فوم در نتیجه انتقال حرارت و جرم باعث افزایش سطح محصول می‌شود و زمان و دمای خشک شدن را کاهش می‌دهد [۹-۱۰].

تکنیک فوم‌مت، پودرها را با کیفیت خوب ارائه کرد از جمله پودر یاکون [۱۱]، مخلوط میوه [۱۲]، کیوی [۱۳]، پودر آناناس [۱۴]، پودر سیب زمینی [۱۵]، آب لیمو [۱۶ و ۱۷]، و به [۱۸]، که می‌توان در فرمولاسیون‌های مختلف غذایی استفاده کرد. نتایج نشان داد که خواص فوم و پودر به طور قابل توجهی تحت تأثیر غلظت عامل کف‌کننده قرار می‌گیرد. فوم‌هایی با غلظت عامل کف‌ساز بالاتر، مطلوب‌ترین خواص را نشان دادند. همچنین ضخامت فوم بر زمان فرآیند و ویژگی‌های پودر تأثیر می‌گذارد. ضخامت کف کمتر زمان خشک شدن را کاهش می‌دهد. دهقانیا و همکاران [۱۸] نشان داد که افزایش ضخامت فوم باعث کاهش شاخص حلالیت در آب و افزایش شاخص جذب آب می‌شود. فوم مت همچنین پودرهای پایدار حاوی ترکیبات فنلی و آنتوسیانین تولید می‌کند [۱۹].

در این راستا هدف از این پژوهش تولید پودر پاپریکا به روش فوم مت به کمک مایکروویو تحت تأثیر دو متغیر مستقل (زمان استراحت و اختلاط فوم). همچنین بر اساس اطلاعات موجود، تاکنون هیچ پژوهشی در ارتباط با تولید پودر پاپریکا به روش فوم مت با مایکروویو تحت تأثیر دو متغیر مستقل زمان استراحت و اختلاط فوم صورت نگرفته است و این نوآوری پژوهش را در بر می‌گیرد.

پاپریکا میوه خشک شده و آسیاب شده انواع خاصی از فلفل قرمز (*Capsicum annum L*) است و به طور گسترده به عنوان رنگ خوراکی در سوپ، خورش، سوسیس، پنیر، تنقلات، سس سالاد، سس، پیتزا و محصولات قنادی استفاده شده و منبع خوبی از رنگدانه‌های کاروتنوئیدی به طور عمده کپسانتین و کپسوروبین است [۱-۲]. قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی یکی از دلایل تخریب رنگ پاپریکا است و با توجه به اینکه پاپریکا به فساد قارچی و آلودگی به مایکوتوکسین حساس است، از روش‌های مختلف خشک کردن برای فرآوری آن استفاده شده است. [۳].

نیاز به توسعه روش‌های مناسب برای خشک کردن فلفل قرمز وجود دارد که کاهش کیفیت در طول فرآوری را به حداقل برساند. خشک کردن با هوای گرم قدیمی‌ترین روش خشک کردن است اما دارای معایبی مانند زمان طولانی فرآیند و در برخی موارد دماهای بالا است که ویژگی‌های کیفی مواد غذایی از جمله مواد مغذی، رنگ، بافت و غیره را از بین می‌برد [۴]. خشک کردن مایکروویو در مقایسه با خشک کردن معمولی مزایایی دارد. اثر انرژی مایکروویو به خواص دی الکتریک مواد بستگی دارد که می‌تواند توزیع گرما را کنترل کند. زمان فرآیند را کاهش می‌دهد و خواص کیفی محصول را بهبود می‌بخشد [۵]. به طور کلی، خشک کردن به کمک مایکروویو جایگزین بسیار سریع‌تری برای خشک کردن انجمادی بود، خواص بهتری نسبت به خشک کردن انجمادی نشان داد، و در طول ذخیره سازی دچار تغییرات نامطلوب نشد [۶]. علاوه بر این، خشک کردن مایکروویو بالاترین سرعت خشک کردن و کمترین زمان خشک کردن و مصرف انرژی را در مقایسه با خشک کردن با هوای گرم گزارش کرده است [۷]. خشک کردن با فوم روش مناسبی برای خشک کردن مواد غذایی حساس به حرارت و چسبنده با درصد قند بالا است که با روش‌های دیگر نمی‌توان آنها را خشک کرد [۸]. در

از انجام آزمایشات برای جلوگیری از تغییرات فیزیولوژی به پالپ تبدیل شده و در دمای ۱۸- درجه سلسیوس نگهداری شد. نمونه‌ها قبل از فرآیند برای یخ‌زدایی<sup>۱</sup> طبیعی به دمای اتاق رسانده شدند و ۲ ساعت در این دما باقی ماندند. جهت ارزیابی اثر زمان استراحت در محدوده (۲۰-۱۰ دقیقه) و زمان اختلاط مواد کف‌زا در محدوده (۱۰-۱ دقیقه) جدول (۱) در ویژگی‌های فوم و پودر تولیدی از روش سطح پاسخ و نرم-افزار دیزاین اکسپرت (نسخه ۱۱) استفاده شد [۲۲-۲۰].

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- آماده‌سازی نمونه‌ها

مواد مورد استفاده در این تحقیق شامل پودر کنسانتره شیر از شرکت پگاه اصفهان، مالتودکسترین با درجه دکستروز ۲۰ درصد از شرکت گل شهد اصفهان، فلفل دلمه‌ای قرمز از بازار محلی شهرستان جیرفت، معرف فولین سیوکالتو متانول، اتانول، تولوئن، کربنات سدیم اسید گالیک و ۲،۲-دی فنیل-۱-پیکریل هیدرازیل می‌باشد. میوه پاپریکا پس از تهیه از بازار محلی، به آزمایشگاه منتقل و قبل

Table 1. Treatment test design

Run	A: Curing Time	B: Mixing Time	Porosity (%)	Extensibility (%)
1	0	10	0.0875	5.4808
2	20	1	0.0594	6.6364
3	20	5.5	0.0585	5.5358
4	10	5.5	0.0675	7.5999
5	10	10	0.0584	2.2215
6	20	10	0.0598	2.3766
7	0	5.5	0.0899	9.1781
8	10	1	0.0589	13.8439
9	10	5.5	0.0607	2.3768
10	0	1	0.0908	8.1286

گردید. پس از اتمام فرآیند خشک‌کردن، نمونه‌های به دست آمده آسیاب و الک شد و پودر پاپریکا به دست آمد.

### ۳- ارزیابی خصوصیات فوم و پودر پاپریکا

۱-۳- اندازه‌گیری تخلخل فوم (جزء حجمی هوا)

تخلخل فوم با استفاده از رابطه ۱ به دست آمد [۲۳]:

$$Foam\ prosity(\varphi) = 1 - \frac{\rho_f}{\rho_l} \quad (1)$$

که در آن،  $\rho_f$  دانسیته فوم ( $g/cm^3$ ) و  $\rho_l$  دانسیته پاپریکا

### ۲-۲- خشک کردن پاپریکا با روش فوم‌مت

#### و با استفاده از دستگاه مایکروویو

پالپ پاپریکا با مقادیر ۱۰ درصد کنسانتره پروتئین شیر<sup>۲</sup> و ۱۰ درصد مالتودکسترین<sup>۳</sup>، زمان استراحت در محدوده ۱ الی ۲۰ دقیقه و زمان اختلاط ۰ تا ۱۰ دقیقه در میکسر آزمایشگاهی مخلوط شد و در ضخامت ۵ میلی‌متر در کف پلیت گسترده شد. فوم حاصل از نظر ویژگی‌های کیفی بررسی، سپس در دستگاه مایکروویو با توان تعریف شده (۴۰۰ وات) خشک

3. Maltodextrin

1. Thawing

2. Milk protein concentrate

می‌باشند.

#### ۴-۳- تخلخل توده‌ای (داخل گرانولی) پودر

تخلخل توده‌ای از نسبت دانسیته توده‌ای به دانسیته ذره‌ای

طبق رابطه ۷ به دست آمد [۲۳]:

$$\varepsilon = 1 -$$

(7)

در این رابطه،  $\rho_b$  دانسیته توده‌ای پودر ( $\text{g/cm}^3$ ) و  $\rho_p$  دانسیته ذره‌ای پودر ( $\text{g/cm}^3$ ) می‌باشد.

#### ۴- تجزیه و تحلیل آماری

در این پژوهش، آنالیز آماری تیمارها بر اساس طراحی آزمون سطح پاسخ، به روش طرح مرکب مرکزی (CCD) با نرم افزار دیزاین اکسپرت نسخه ۱۱ آنالیز شد [۲۲-۲۵]:

#### ۵- نتایج و بحث

۵-۱- ارزیابی اثر زمان استراحت و زمان اختلاط مواد

کف‌زا با پاپریکا

در مجموع ۱۰ تیمار فوم در نقطه مرکزی به منظور تعیین خطای خالص و تکرارپذیری همه داده‌ها، بر اساس طرح مرکب مرکزی به دست آمد. کمیت متغیرهای مستقل و وابسته و داده‌های تجربی به دست آمده از متغیرهای پاسخ در جدول (۲) نشان داده شده است. مدل‌هایی برای همه پاسخ‌ها بر اساس روش ANOVA توسعه یافته‌اند (جدول ۳). پارامترهای مختلفی شامل F value، ضریب تبیین ( $R^2$ )، عدم برازش مدل (Lack of fit) و P-value برای ارزیابی کفایت مدل استفاده شد. نوع مدل و عدم برازش مدل در سطح معناداری ۰/۰۵ ارزیابی شد و سپس معادله نهایی برای مدل برازش شده پیشنهاد شد. همه اصطلاحات غیرمعنادار با  $p > 0.05$  حذف شدند و معادلات رگرسیون نهایی توسعه یافتند (معادلات ۹-۱).

( $\text{g/cm}^3$ ) می‌باشد. دانسیته با اندازه‌گیری وزن در حجم ۱۰۰

میلی‌لیتر از استوانه مدرج بدست آمد.

۳-۲- انبساط فوم

میزان انبساط فوم با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد [۲۳]:

$$\text{Foam extensibility} = \frac{\left(\frac{1}{\rho_f} - \frac{1}{\rho_l}\right)}{\frac{1}{\rho_f}} \times 100 \quad (2)$$

که در آن،  $\rho_f$  دانسیته فوم و  $\rho_l$  دانسیته پالپ پاپریکا بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب است.

۳-۳- اندازه‌گیری رنگ پودر

تصویربرداری پودر پاپریکا با استفاده از دوربین دیجیتال، پارامترهای رنگ در نرم‌افزار Adobe photoshop محاسبه شد. این پارامترها شامل میزان روشنایی یا  $L^*$  از سیاه (۰) تا سفید (۱۰۰)، میزان قرمزی یا  $a^*$  از سبز (مقادیر منفی) تا قرمز (مقادیر مثبت)، میزان زردی یا  $b^*$  از آبی (مقادیر منفی) تا زرد (مقادیر مثبت) می‌باشند. همچنین شاخص‌های قهوه‌ای شدن، تغییر رنگ کلی ( $\Delta E$ )، کروما (شفافیت و کدورت) و زاویه هیو طبق رابطه ۳، ۴، ۵ و ۶ محاسبه شدند [۲۳-۲۴]:

$$\Delta E = ((L^*_0 - L^*_t)^2 + (a^*_0 - a^*_t)^2 + (b^*_0 - b^*_t)^2)^{0.5} \quad (3)$$

$$\text{Chroma} = (a^*_t^2 + b^*_t^2)^{0.5} \quad (4)$$

$$\text{Hue Angle} = \tan^{-1} \left( \frac{b^*_t}{a^*_t} \right) \quad (5)$$

$$\text{BI} = \frac{x - 0.31}{0.17} \times 100 \quad (6)$$

زاویه ۰ و ۳۶۰ درجه نشان‌دهنده رنگ قرمز و زاویه‌های ۹۰،

۱۸۰ و ۲۷۰ درجه به ترتیب بیان‌گر رنگ زرد، سبز و آبی

Table 2. The presented models are obtained through the response surface for the responses of porosity, extensibility, foam, powder color, and porosity.

Run	A:Curing Time	B:Mixing Time	Porosity (%)	Extensibility (%)
1	0	10	0.0875	5.4808
2	20	1	0.0594	6.6364

3	20	5.5	0.0585	5.5358
4	10	5.5	0.0675	7.5999
5	10	10	0.0584	2.2215
6	20	10	0.0598	2.3766
7	0	5.5	0.0899	9.1781
8	10	1	0.0589	13.8439
9	10	5.5	0.0607	2.3768
10	0	1	0.0908	8.1286

Table 3. values of independent and dependent variables of powder

Run	A:Curing Time	B:Mixing Time	L*	a*	b*	BI	Hue angle	Chroma	Porosity
1	0	10	27.33	25.91	13.872	131.041	49.1559	29.3898	0.1161
2	20	1	17.66	11.86	6.622	92.2609	50.9229	13.5834	0.0138
3	20	5.5	21.12	16.24	8.92	105.819	50.2276	18.5284	0.1213
4	10	5.5	23.83	18.295	9.94	104.869	49.7698	20.8209	0.1221
5	10	10	26.67	27.19	13.48	134.465	46.0258	30.348	0.1123
6	20	10	26.71	25.37	12.442	123.541	45.5956	28.2566	0.1213
7	0	5.5	22.54	17.44	9.258	104.151	48.8021	19.7449	0.1165
8	10	1	16.48	9.535	5.782	82.7526	54.511	11.1511	0.0232
9	10	5.5	24.74	18.987	9.37	98.5545	49.3496	21.1731	0.1197
10	0	1	16.81	10.29	5.31	79.5339	47.6393	11.5793	0.0946

خطی، متقابل و درجه دوم و به طور معنی داری تحت تأثیر تغییر غلظت متغیرهای مستقل قرار گرفت ( $p < 0.05$ ). همچنین بر اساس مدل پیشنهادی (معادله ۱)، ضریب مثبت برای اثر درجه دوم  $X_1^2$  تأثیر قوی زمان استراحت را بر این پاسخ تأیید می‌کند. در صورتی که اثر خطی زمان اختلاط تأثیر منفی بر این پاسخ داشت.

#### ۱-۱-۵- تخلخل فوم

تخلخل فوم با کاهش زمان استراحت و با افزایش زمان اختلاط افزایش یافت. مقادیر کلی تخلخل فوم  $0.090$  -  $0.058$  درصد می‌باشد (جدول ۳). نتایج ANOVA (جدول ۴) نشان داد که ضریب تبیین ( $R^2$ ) مدل  $0.97$  بود که نشان می‌دهد داده‌های تجربی را می‌توان به طور قابل پیش‌بینی با داده‌های مدل برای تخلخل برازش داد و این پاسخ به صورت

$$\text{Foam porosity: } y = +0.0734 - 0.0143x_1 - 0.0006x_2 + 0.0005x_1x_2 + 0.00033x_1^2 - 0.0028x_2^2 \quad \text{Eq.1}$$

Table 4. Analysis of Variance (ANOVA) to determine model fit, regression coefficient ( $\beta$ ), coefficient of determination (adj.  $R^2$ ), and F value of predicted second-order polynomial models for foam porosity responses

Factor	Coefficient ( $\beta$ ) Porosity
Intercept	0.0734
<b>Linear</b>	
$X_1$ : Curing time (min)	-0.0143*
$X_2$ : Mixing time (min)	-0.0006
<b>Interaction</b>	
$X_1X_2$	0.0005
<b>Quadratic</b>	
$X_1^2$	0.00033*
$X_2^2$	-0.0028
$R^2$	0.9767
Adj. $R^2$	0.9475

<b>F-value (model)</b>	33.47
<b>F-value (lack of fit)</b>	0.8441
<b>P-value (model)</b>	0.0023*

Significance at the 95%level (p<0.05)

## ۲-۱-۵-انبساط فوم

متغیرهای مستقل باعث کاهش انبساط فوم شدند. مقادیر کلی انبساط فوم ۱۳/۸۴-۲/۲۲ درصد می‌باشد. بیشترین انبساط در ۱۰ دقیقه استراحت و ۱ دقیقه اختلاط مشاهده شد (run= ۸) (جدول ۲). جدول (۵) نشان می‌دهد که  $R^2$  مدل ۰/۵۷ بود که نشان می‌دهد داده‌های تجربی را نمی‌توان به طور قابل پیش‌بینی با داده‌های مدل برای انبساط فوم برازش داد و این پاسخ به صورت خطی تحت‌تأثیر متغیرهای مستقل قرار گرفت ( $p < 0.05$ ). مدل پیشنهادی برای این پاسخ در معادله (۲) نشان داده شده است. ضرایب مدل پیشنهادی برای انبساط نشان می‌دهد که متغیرهای مستقل تأثیر منفی بر این پاسخ داشتند.

$$\text{Extensibility: } y = +7.37 - 0.6866x_1 - 3.43x_2 \quad \text{Eq.2}$$

Table 5. Analysis of Variance (ANOVA) to determine model fit, regression coefficient ( $\beta$ ), coefficient of determination (adj.  $R^2$ ) and F value of predicted second-order polynomial models for foam expansion responses

Factor	Coefficient ( $\beta$ )
	Extensibility
Intercept	7.37
<b>Linear</b>	
X <sub>1</sub> : Curing time (min)	-0.6866
X <sub>2</sub> : Mixing time (min)	-3.43*
<b>Interaction</b>	
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	-
<b>Quadratic</b>	
X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	-
X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	-
R <sup>2</sup>	0.5760
Adj. R <sup>2</sup>	0.4548
F-value (model)	4.75
F-value (lack of fit)	0.8134
P-value (model)	0.0496*

**Significance at the 95% level (p < 0.05)**

خوبی با داده‌های آزمایشی سازگار شده‌اند و می‌توانند برای اهداف پیش‌بینی استفاده شوند (Franco et al., 2016). مقادیر R<sup>2</sup> مدل ۰/۹۳ بود که نشان می‌دهد داده‌های تجربی را می‌توان به‌طور قابل پیش‌بینی با داده‌های مدل برازش داد. تخلخل تحت اثرات خطی، متقابل و درجه دوم متغیرهای مستقل قرار گرفت. همانطور که در معادله (۳) مشاهده می‌شود، ضریب مثبت برای X<sub>1</sub><sup>2</sup> تأثیر قوی زمان استراحت را بر این پاسخ تأیید می‌کند.

**۳-۱-۵-تخلخل ظاهری پودر**

تخلخل ظاهری با کاهش زمان استراحت و افزایش زمان اختلاط افزایش یافت. مقادیر کلی تخلخل پودرها ۰/۱۲- ۰/۰۱ درصد می‌باشد (جدول ۶). مدل برازش شده مربوط به این پاسخ معنی‌دار و عدم برازش غیرمعنی‌دار است (p < 0.05). عدم برازش غیرمعنی‌دار نشان می‌دهد مدل‌ها به

$$\text{Porosity: } y = +0.1200 - 0.0120x_1 + 0.0386x_2 + 0.0119x_1x_2 + 0.0025x_1^2 - 0.0510x_2^2 \quad \text{Eq.3}$$

Table 6. Analysis of Variance (ANOVA) to determine model fit, regression coefficient (b), coefficient determination (adj. R<sup>2</sup>) and F value of predicted second-order polynomial models for powder responses

Factor	Coefficient (β)						
	L*	a*	b*	BI	Hue angle	Chroma	Porosity
Intercept	+21.94	+17.26	9.09	+102.63	+49.24	+19.53	0.1200
<b>Linear</b>							
X <sub>1</sub> : Curing time (min)	-0.0992	-0.0142	0.0001	0.5745	0.1908	-0.0288	-0.0120
X <sub>2</sub> : Mixing time (min)	5.51*	8.66*	4.47*	24.91*	-1.33	9.57*	0.0386*
<b>Interaction</b>							
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	-	-	-0.3807	-	-0.9505	-	0.0119
<b>Quadratic</b>							
X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	-	-	-	-	-	-	0.0025
X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	-	-	-	-	-	-	-0.0510
R <sup>2</sup>	0.9295	0.9742	0.9915	0.9348	0.6375	0.9763	0.9327
Adj. R <sup>2</sup>	0.9094	0.9668	0.9873	0.9161	0.4562	0.9695	0.8486
F-value (model)	46.17	131.93	234.47	50.15	3.52	143.94	11.09
F-value (lack of fit)	0.3516	0.2901	0.7227	0.5411	47.61	0.1414	0.0665
P-value (model)	0.0165*	0.0001*	0.0001*	0.0001*	0.0888*	0.0001*	0.0185*

## Significance at the 95% level (p &lt; 0.05)

برای همه پاسخها معنی دار نبود (p > 0.05) که نشان می دهد از آنجایی که مدلها به طور رضایت بخشی به داده های تجربی برازش می کنند، می توان از آنها برای اهداف پیش بینی استفاده کرد.

جدول ANOVA نشان داد که اثر خطی متغیرهای مستقل بر L\*, a\*, BI و کروما، معنادار شد بعلاوه اثرات خطی و متقابل متغیرهای مستقل بر b\* نیز معنی دار بود (p < 0.05) ولی اثرات خطی و برهمکنش متغیرهای مستقل بر زاویه هیو اثری نداشت (p > 0.05) (جدول ۶). بر اساس مدل های پیشنهادی (معادله ۴-۹)، زمان اختلاط بیشترین تأثیر را بر تمامی پاسخها به استثناء زاویه هیو دارد که بیشترین ضریب را در مدل پیشنهادی دارد.

$$L: y = +21.94 - 0.0992x_1 + 5.51x_2$$

$$a*: y = +17.26 - 0.0142x_1 + 8.66x_2$$

$$b*: y = +9.09 + 0.0001x_1 + 4.47x_2 - 0.3807x_1x_2$$

$$BI: y = +102.63 + 0.5745x_1 + 24.91x_2$$

$$Chroma: y = +19.53 - 0.0288x_1 + 9.57x_2$$

$$Hue: y = +49.24 + 0.1908x_1 - 1.33x_2 - 0.9505x_1x_2$$

استراحت و زمان اختلاط با استفاده از مایکروویو خشک شد.

برخی ویژگی های فیزیکی و ریزساختاری پودر پاپریکا تحت تأثیر متغیرهای فرآیند قرار گرفتند. افزایش زمان هم زدن و استراحت تأثیر مطلوبی را بر تخلخل و انبساط فوم و همچنین

## ۴-۱-۵- شاخص های رنگ

مقادیر L\*, a\*, BI و کروما با کاهش زمان استراحت و افزایش زمان اختلاط افزایش یافت. مقادیر پارامترهای رنگی به ترتیب ۲۷/۳۳-۱۶/۴۸، ۲۷/۱۹-۹/۵۳ و ۱۳/۸۷-۵/۳۱ می باشد. مقادیر پارامترهای BI، زاویه هیو و کروما به ترتیب ۱۳۴/۴۶-۷۹/۵۳، ۴۵/۵۹-۵۴/۵۱ و ۱۱/۱۵-۳۰/۳۴ می باشد (جدول ۶).

مقادیر R<sup>2</sup> برای کلیه پارامترهای رنگی بجز پاسخ BI، نشان می دهد سایر داده های تجربی را می توان به طور قابل پیش بینی با داده های مدل برازش داد و می توانند بیش از ۹۰ درصد از تغییرپذیری پاسخها را تشکیل دهند (جدول ۶). عدم برازش

Eq.4

Eq.5

Eq.6

Eq.7

Eq.8

Eq.9

## ۶- نتیجه گیری

در این مطالعه، پودر پاپریکا حاصل از عوامل کفزا (مالتودکسترین و MPC) تحت تأثیر دو متغیر زمان

### تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌کنند که هیچ‌گونه تعارض منافع ندارند.

### بیانیه دسترسی‌ها

داده‌های پژوهش به اشتراک گذاشته نمی‌شوند.

شاخص‌های رنگ پودر داشت. بطوریکه بیشترین تاثیر از اثر خطی دو متغیر حاصل شد. با توجه به بررسی‌های انجام شده و بهینه‌سازی پارامترها، می‌توان نتیجه گرفت که پودر پاپریکا در زمان ۵ دقیقه استراحت و ۵/۵ دقیقه اختلاط و توان ۴۰۰ میکروویو بهترین کیفیت را دارا بود.

### رضایت‌نامه کتبی

رضایت‌نامه کتبی و آگاهانه از تمامی شرکت‌کنندگان در مطالعه اخذ شد.

### ۵-منابع

- [1] Ferrando, B. O., Baenas, N., & Periago, M. J. (2024). Changes in Carotenoids and Quality Parameters of Sweet Paprika (*Capsicum annuum*) After an Accelerated Heat Treatment. *Antioxidants*, 13(12), 1492.
- [2] Faliarizao, N. T., Siddiq, M., & Dolan, K. D. (2025). Total phenolics, antioxidant, and physical properties of red chili peppers (*Capsicum annum L.*) as affected by drying methods. *International Journal of Food Properties*, 28(1), 2492823.
- [3] Adebo, O. A., Molelekoa, T., Makhuvele, R., Adebiyi, J. A., Oyedeji, A. B., Gbashi, S., ... & Njobeh, P. B. (2021). A review on novel non-thermal food processing techniques for mycotoxin reduction. *International Journal of Food Science and Technology*, 56(1), 13-27.
- [4] Thibault, B., Aghajanzadeh, S., Sultana, A., Ratti, C., & Khalloufi, S. (2024). Characteristics of open and closed pores, their measurement techniques and exploitation in dehydrated food products. *Food Engineering Reviews*, 16(3), 323-355.
- [5] Serowik, M., Figiel, A., Nejman, M., Pudlo, A., Chorazyk, D., Kopec, W., ... & Rychlicka, J. (2018). Drying characteristics and properties of microwave-assisted spouted bed dried semi-refined carrageenan. *Journal of Food Engineering*, 221, 20-28.
- [6] Ozcelik, M., Ambros, S., Morais, S. F., & Kulozik, U. (2020). Storage stability of dried raspberry foam as a snack product: Effect of foam structure and microwave-assisted freeze drying on the stability of plant bioactives and ascorbic acid. *Journal of Food Engineering*, 270, 109779.
- [7] Mierzwa, D., & PAWŁOWSKI, A. (2017). Convective drying of potatoes assisted by microwave and infrared radiation-process kinetics and quality aspects. *Journal of Food & Nutrition Research*, 56(4).
- [8] Hardy, Z., & Jideani, V. A. (2017). Foam-mat drying technology: A review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 57(12), 2560-2572.
- [9] Cardoso, C. E. D. F., Lobo, F. A. T. F., & Teodoro, A. J. (2024). Influence of foam mat drying on the nutritional and technological potential of fruits—a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(17), 5896-5910.
- [10] Çelebi, Y., Koç, G. Ç., Süfer, Ö., Tekgül barut, Y., Şahin Ercan, S., Yüksel, A. N., ... & Pandiselvam, R. (2024). Impact of ozone treatment on lipid oxidation in foods: a critical review. *Ozone: Science & Engineering*, 46(5), 430-454.
- [11] Franco, T. S., Ellendersen, L. N., Fattori, D., Granato, D., & Masson, M. L. (2015). Influence of the addition of ovalbumin and emulsifier on the physical properties and stability of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) juice foams prepared for foam mat drying process. *Food and bioprocess technology*, 8, 2012-2026.
- [12] Silva, J. M., da Silva Crozatti, T. T., Saqueti, B. H. F., Chiavelli, L. U. R., Matioli, G., & Santos, O. O. (2024). Optimization of foam mat drying using Central Composite Design to produce mixed juice powder: A process and characterization study. *Food and Bioproducts Processing*, 146, 58-68.
- [13] Bogusz, R., Nowacka, M., Rybak, K., Witrowa-Rajchert, D., & Gondek, E. (2024). Foam-Mat freeze drying of kiwiberry (*Actinidia arguta*) pulp: drying kinetics, main properties and microstructure. *Applied Sciences*, 14(13), 5629.
- [14] Shaari, N. A., Sulaiman, R., Rahman, R. A., & Bakar, J. (2018). Production of pineapple fruit (*Ananas comosus*) powder using foam mat drying: Effect of whipping time and egg albumen concentration. *Journal of Food processing and Preservation*, 42(2), e13467.
- [15] Tepe, F. B. (2025). Novel Approaches for Potato Drying: Intermittent Microwave Drying with

Pretreatments (Ethanol, Hot Water Blanching, and Citric Acid), Drying and Quality Properties, and Energy Consumption. *Potato Research*, 1-30.

[16] Dehghannya, J., Pourahmad, M., Ghanbarzadeh, B., & Ghaffari, H. (2018). Heat and mass transfer modeling during foam-mat drying of lime juice as affected by different ovalbumin concentrations. *Journal of Food Engineering*, 238, 164-177.

[17] Dehghannya, J., Pourahmad, M., Ghanbarzadeh, B., & Ghaffari, H. (2019). Heat and mass transfer enhancement during foam-mat drying process of lime juice: Impact of convective hot air temperature. *International Journal of Thermal Sciences*, 135, 30-43.

[18] Dehghannya, J., Hosseinlar, S. H., & Heshmati, M. K. (2018). Multi-stage continuous and intermittent microwave drying of quince fruit coupled with osmotic dehydration and low temperature hot air drying. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 45, 132-151.

[19] Faliarizao, N. T., Siddiq, M., & Dolan, K. D. (2025). Total phenolics, antioxidant, and physical properties of red chili peppers (*Capsicum annum* L.) as affected by drying methods. *International Journal of Food Properties*, 28(1), 2492823.

[20] Silva, J. M., da Silva Crozatti, T. T., Saqueti, B. H. F., Chiavelli, L. U. R., Matioli, G., & Santos, O. O. (2024). Optimization of foam mat drying using Central Composite Design to produce mixed juice powder: A process and characterization study. *Food and Bioproducts Processing*, 146, 58-68.

[21] Toliaty, G., BeigMohammadi, Z., Labbeiki, G. (2022). Feasibility study on dairy dessert production with *Spirulina platensis* and stevioside and investigation of its sensory and physicochemical properties. *Journal of Food Science and Technology*, 19(127), 47-60.

[22] Afshani, E., BeigMohammadi, Z., Mirmajidi Hashtjin, A. (2019). Optimization of Functional Peach Beverage Formulation and Study of Its Sensorial and Physicochemical Properties. *Journal of Food Science and Technology*, 16 (91), 129-144

[23] Dehghannya, J., Pourahmad, M., Ghanbarzadeh, B., Ghaffari, H. (2019a), Heat and mass transfer enhancement during foam-mat drying process of lime juice: Impact of convective hot air temperature. *International Journal of Thermal Sciences*, 135: 30-43

[24] Khoshtinat K, Beigmohammadi Z, Komeili Fanood R, Abedi A, Kazemzadeh M, Zand Rajabi H, et al. (2019). Monitoring Risk Factors in Industrial and Guild Fried Products of the Country. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*, 14 (3):97-108.

[25] Hashemi, F., BeigMohammadi, Z., Hashemi, H. (2024). Study the functional nanophytosome based on tannic acid and vitamin D3. *Future Foods*. 10: 100391. Doi: 10.1016/j.fufo.2024.100391.



## Scientific Research

## Investigating the Effect of Resting Time and Foam Mixing Variables on Paprika Powder Produced by Microwave-Assisted Foam Drying

Somayeh Sanjari<sup>1</sup>, Nafiseh Jahanbakhshian<sup>2</sup>, Sediqeh Soleimanifard<sup>3</sup>, Maryam Khakbaz Heshmati<sup>4</sup>, Zahra Beig Mohammadi<sup>1</sup>

1. Department of Food Science and Technology, NT.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran
2. Department of Food Science and Technology, ShK.C., Islamic Azad University, Shahrekord, Iran
3. Department of Food Science and Technology, University of Zabol, Zabol, Iran
4. Department of Food Science and Technology, University of Tabriz, Tabriz, Iran

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><b>Article History:</b></p> <p>Received: 2025/04/12</p> <p>Review: 2025/07/14</p> <p>Accepted: 2025/07/15</p> <hr/> <p><b>Keywords:</b></p> <p>Paprika powder, Milk concentrate, Maltodextrin, Foam mat, Microwave</p> <hr/> <p><b>DOI:</b> 10.48311/fsct.2026.83997.0</p> <p>*Corresponding Author E- njahanbakhshian@iau.ac.ir</p>	<p>In this study, the physicochemical and qualitative properties of paprika powder were investigated using microwave foam drying, influenced by two independent variables: resting time (0–20 minutes) and foam mixing time (1–10 minutes). The foam was prepared with 10% maltodextrin and 10% milk protein concentrate, and the resulting powder was evaluated in terms of porosity, expansion, and color characteristics. Process optimization was performed using response surface methodology (RSM). The results indicated that foam porosity significantly increased (<math>p \leq 0.05</math>) with decreasing resting time and increasing mixing time, ranging from 0.058 to 0.090. This response exhibited a linear relationship with the independent variables, with a high coefficient of determination (<math>R^2 = 0.97</math>). Conversely, foam expansion (ranging from 13.84 to 2.22) showed a significant linear decrease with increasing mixing time, with an <math>R^2</math> value of 0.57 (<math>p \leq 0.05</math>). For the resulting powder, porosity ranged from 0.01 to 0.12, and the values of the color parameters <math>L^*</math>, <math>a^*</math>, <math>b^*</math>, browning index (BI), and chroma ranged from 16.48–27.33, 9.53–27.90, 13.31–87.13, 46.79–53.13, and 15.11–34.30, respectively. These parameters increased with decreasing resting time and increasing mixing time. The fitted models adequately represented the experimental data and can be used for predictive purposes. Significant (<math>p \leq 0.05</math>) linear and interaction effects of the independent variables were observed for <math>L^*</math>, <math>a^*</math>, <math>b^*</math>, BI, and chroma. However, the effects on the Hue angle were not statistically significant (<math>p \geq 0.05</math>). Among all responses, mixing time had the most pronounced effect, except for the Hue angle, which showed the highest coefficient in its respective model.</p>