

Research Article

Producing beetroot powder by using foaming agent maltodextrin and milk protein concentration in foam mat-microwave drying method

Shima Omidi¹, Aazam Aarabi Jeshvghani^{2*}, Hassan Zaki Dizji³, Fatemeh Shahdadi⁴

1. P.h.D student, Department of Food Science and Technology, Shaheza Branch, Islamic Azad University, Shahreza, Iran

2. Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

3. Associate Professor, Department of Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

4. Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Jiroft, Iran

(Received 14 January 2024, Received in revised form 3 February 2024, Accepted 12 February 2024)

Introduction: Beetroot (*Beta vulgaris* L.) is a good source of dietary fibers, minerals, vitamins, antioxidants, betalains and phenolic compounds. Fruits and vegetables are perishable due to their high water content and the presence of nutritious compounds in them, and their storage time is limited. Therefore, in order to preserve them, it is necessary to convert them into more stable products and increase the storage time and also reduce the waste after harvest. It is one of the most valuable products obtained from red beetroot powder, which can be an important component in instant drinks for athletes, a natural color enhancer for nitrite food products or other color substitutes in meat products. Drying is one of the oldest ways to preserve food and increase its shelf life. Drying with normal methods causes a lot of damage to the flavor and nutrients due to the long time of the drying process and high temperature. Drying with microwave can significantly remove these disadvantages. The use of microwaves in drying significantly reduces the process time and improves the reabsorption and shrinkage characteristics of the product. Microwave drying causes homogeneous distribution of heat and enables faster drying, which saves energy and reduces drying time and cost. Microwave assisted floor drying (MFD) for the production of fruit powder. It has high humidity, high viscosity and is sensitive to suitable heat. Foam mat drying is a new method that takes place in a shorter and faster time than the traditional method of drying with hot air. This method is used to dry liquid or semi-liquid food such as fruit juice and fruit puree or vegetables. The subject of this research is to produce beetroot powder using the foam mat method in order to improve the nutritional value and increase the shelf life.

Materials and methods: For this purpose, red beets were washed, peeled, and cut into small cubes. 15 treatments were determined by Design Expert software (version 11), with levels (0-10% w/w) of maltodextrin (MD) and (0-10%) of milk

* Corresponding author: aarabi@pmt.iaun.a.ir

protein concentrate (MPC) to obtain a foam structure. 200 grams of chopped red beets were added to the mixture of malt dextrin, MPC and water. Then, they were mixed completely in a mixer at a speed of 200 rpm for 10 minutes until foam was formed. The beetroot foam was dried in a wide glass container and in a microwave at a power intensity of 400-800 watts. Dried red beetroot powder was ground using a laboratory mill. The powder was packed in zipped polyethylene bags and kept in the refrigerator for further analysis. Based on the achieved responses from the physicochemical tests of the resulting powder, and determining the optimal conditions in terms of the malt dextrin concentration level, MPC and microwave power, the optimal sample was obtained by the response surface method (RSM) and the central composite design (CCD). To prepare control sample, a hot air flasher was installed and dried at a temperature of 70 degrees Celsius.

Results and discussion: By increasing the amount of maltodextrin in the foam, the L^* , b^* index increased ($P \leq 0.05$). The range of L^* was 21.482-12.21 and the range of b^* was 10.44-4.735. By increasing maltodextrin, the mass porosity had a decreasing trend ($P \leq 0.05$). Maltodextrin was ineffective on the stability. If the concentration of MPC in the foam increased, the stability, mass porosity, color parameters L^* , b^* were accordingly increased. The results of the powder evaluation showed that with the increase in the concentration of maltodextrin and MPC, the yield and total phenolic content increased ($P \leq 0.01$). Antioxidant capacity in 500 ppm concentration decreased with the increase in the maltodextrin levels and increased with the increase in the concentration of MPC ($P \leq 0.05$). The studied treatments had a significant effect on total betalain and its range was 217.676-333.86. The moisture content did not show significant behavior in this research. These two independent variables (MD, MPC) and 400W microwave power had a significant effect on the stability, L^* , b^* color indexes, porosity, yield, phenolic compounds, and antioxidant capacity of powder. The results showed that the powder with 9.92% maltodextrin and 10% MPC in 400W microwave power can be introduced as the optimal sample. SEM images indicated that the optimal sample has finer particles and smooth, softer and scaly surfaces. FTIR spectrum of optimum and control showed significant similarities. The intensification and displacement of some absorption peaks of the FTIR spectrum pattern confirmed the interaction of the functional groups of amide and carbonyl groups in the control sample, so that the decrease in the number of amide groups was more in the control sample.

Conclusion: In the present research, red beetroot powder was obtained using foam mat drying and microwave. Physical properties and microstructure of powder were significantly affected by the influential variables (i.e. MD, MPC and microwave power). Based on the obtained results, the optimal conditions were 10% MD and 10% MPC and microwave power 400 w. The increase in the concentration of MPC led to the enhancement of the apparent porosity and stability of the foam. Also, the increase in MD, MPC and power had a significant effect on color indexes, yield, total phenolic content and antioxidant properties. Betalain showed the best performance in the lowest amount of MD, MPC and power.

Keywords: Beetroot powder, Milk protein concentrate, Malt dextrin, Foam mat, Microwave

How to cite this article:

Omidi, Sh., Aarabi Jeshyghani, A., Zaki Dizji, H., & Shahdadi, F., (2024)., Producing beetroot powder by using foaming agent maltodextrin and milk protein concentration in foam mat-microwave drying method., *Innov. Food Technol.*, 11(2), 114-139. DOI: <http://dx.doi.org/10.22104/IFT.2024.6679.2165>

مقاله پژوهشی

تولید پودر چغندر لبویی

با استفاده از عوامل کف‌کننده مالتودکسترین و کنسانتره پروتئین شیر با روش خشک کردن کف‌پوشی در مایکروویو

شیما امیدی^۱، اعظم اعرابی جشوقانی^{۲*}، حسن ذکی دیزجی^۳، فاطمه شهدادی^۴

۱. دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرضا، شهرضا، ایران

۲. استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد، نجف‌آباد، ایران

۳. دانشیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۴. دانشیار، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران

(تاریخ ارسال: ۱۴۰۲/۱۰/۲۴، تاریخ آخرین بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۱۴، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۲۳)

چکیده

در این تحقیق، برخی ویژگی‌های کیفی، عملکردی و حسی پودر چغندر لبویی، به روش خشک کردن کف‌پوشی با مایکروویو مطالعه و بررسی شد. اثر سه متغیر مستقل غلظت مالتودکسترین (MD) و غلظت کنسانتره پروتئین شیر (MPC)، به‌عنوان ماده کف‌زا در محدوده غلظت (تا ۱۰٪) و شدت توان مایکروویو در محدوده (۴۰۰-۸۰۰ W) بر روی برخی ویژگی‌های فیزیکی فوم و پودر، شامل پایداری، رنگ، تخلخل، میزان رطوبت، بازده، ترکیبات فنولی، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، بتالائین کل تعیین شدند. شرایط بهینه فرایند، با استفاده از روش سطح پاسخ (RSM) تعیین شد. با افزایش مالتودکسترین در فوم، شاخص b^*L ($P \leq 0.05$) افزایش یافت. محدوده تغییرات L^* (۱۲/۲۱-۲۱/۴۸۲) و b^* (۴/۷۵۳-۱۰/۴۴) متغیر بود؛ اما پارامتر تخلخل توده، روند کاهشی داشت ($P \leq 0.05$). مالتو دکسترین بر روی پایداری فوم بی‌اثر شد؛ در صورتی که با افزایش غلظت MPC در فوم، پایداری، تخلخل توده، پارامترهای رنگ b^*L افزایش یافتند. نتایج حاصل از ارزیابی پودر نشان داد که با افزایش غلظت مالتودکسترین و MPC، بازده و محتوای فنل کل افزایش ($P \leq 0.01$) و همچنین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در رقت‌های ۵۰۰ ppm، با افزایش غلظت مالتو دکسترین کاهش و با افزایش غلظت MPC افزایش یافت ($P \leq 0.05$). اثر متغیرها بر بتالائین معنادار و محدوده تغییرات آن ۲۱۷/۶۷۶-۸۶/۳۳۳ بود. محتوای رطوبت در این ارزیابی، رفتار معناداری از خود نشان نداد. بررسی نتایج نشان داد پودر دارای ۱۰٪ مالتودکسترین و ۱۰٪ MPC در توان ۴۰۰ W مایکروویو را می‌توان به‌عنوان نمونه بهینه معرفی کرد. تصاویر SEM نشان داد که نمونه بهینه دارای ذرات ریزتر و سطوح صاف، نرم‌تر و پوسته‌پوسته است. طیف FTIR از تیمار بهینه و کنترل نیز شباهت‌های قابل توجهی نشان داد. تشدید و جابه‌جایی برخی پیک‌های جذبی الگوی طیف FTIR برهم‌کنش گروه‌های عاملی آمید و کربونیل در نمونه کنترل را تأیید کرد، به‌طوری‌که کاهش تعداد گروه‌های آمیدی در نمونه شاهد بیشتر بود.

کلیدواژه‌ها: پودر چغندر لبویی، کنسانتره پروتئین شیر، مالتودکسترین، کف‌پوشی، مایکروویو



۱. مقدمه

گروه غذایی میوه‌ها، سبزی‌ها و خشکبار، نقش بسزایی در تغذیه انسان ایفا می‌کنند و در کاهش انواع سرطان‌ها، مشکلات قلبی و بسیاری از بیماری‌های مزمن مؤثر هستند. ترکیبات فیتوشیمیایی، به‌عنوان جزئی از اجزای میوه‌ها و سبزی‌ها، با عملکرد آنتی‌اکسیدان قوی، از توانایی تغییر فعالیت‌های متابولیکی و سم‌زدایی از مواد سرطان‌زا و یا حتی تغییر سلول‌های سرطانی برخوردارند [۱].

چغندر قرمز با نام علمی (*Beta vulgaris L.*)، به‌دلیل محتوای بالای ترکیبات فعال زیستی، شامل بتالین‌ها، اسیدآسکوربیک، کاروتنوئیدها، پلی‌فنول‌ها، فلاونوئیدها و ساپونین‌ها یکی از باارزش‌ترین سبزیجات است [۲]. مطالعات نشان داده است که مصرف چغندر قرمز سلامت قلب‌وعروق را افزایش، فشارخون سیستولیک روزانه را کاهش می‌دهد و عملکرد دویدن را بهبود می‌بخشد [۳].

میوه‌ها و سبزی‌ها، به‌دلیل برخورداری از ذخایر کافی آب و ترکیبات مغذی، فسادپذیر هستند و زمان ماندگاری آنها نیز محدود است، بنابراین برای حفظ و ذخیره آنها لازم است به محصولات پایدارتر تبدیل شوند تا زمان ذخیره‌سازی افزایش و ضایعات پس از برداشت نیز کاهش یابد [۴].

یکی از باارزش‌ترین محصولات حاصل از چغندر قرمز، پودر آن است که می‌تواند جزء مهمی از نوشیدنی‌های فوری ورزشکاران، تقویت‌کننده رنگ طبیعی برای محصولات غذایی [۵] یا جایگزین نیتريت در محصولات گوشتی باشد [۶].

روش خشک کردن کف‌پوشی^۱ روشی جدید است که نسبت به روش سنتی خشک کردن با هوای گرم در زمان کوتاه‌تر و سریع‌تر صورت می‌گیرد. این روش برای خشک کردن مواد غذایی مایع یا نیمه‌سیال، مانند آب‌میوه و پوره میوه یا سبزی‌ها استفاده می‌شود. روش کف‌پوشی، شامل دو مرحله تشکیل کف و خشک کردن آن است. علاوه‌براین، فرایند آسیاب محصول خشک را می‌توان به‌عنوان مرحله سوم عنوان کرد. در مرحله اول، کف با روش‌های هم‌زدن، مخلوط کردن شدید یا روش تزریق گاز با افزودن یک تثبیت‌کننده کف و یا عامل

کف‌کننده به مواد غذایی مایع یا نیمه‌مایع ایجاد می‌شود. در مرحله دوم، کف یا فوم با استفاده از روش‌های مایکروویو، فر، سینی یا انجماد خشک می‌شود. در طول خشک شدن، رطوبت از کانال‌های موجود در فوم خارج می‌شود [۷]. این روش برای خشک کردن زرشک [۸]، انبه [۹]، ماست [۱۰]، [۱۱]، آووکادو [۱۲]، تارو [۱۳] و شیر نارگیل [۱۴] استفاده شده است. گرمایش مایکروویو، شکلی از گرمایش دی الکتریک را نشان می‌دهد که به‌وسیله آن، تولید گرما در مواد با رسانایی الکتریکی پایین، توسط یک میدان الکتریکی با فرکانس بالا امکان‌پذیر است [۴]. در صورتی که استفاده از انرژی مایکروویو در فرایند خشک کردن به‌طور مناسب صورت نگیرد، این روش منجر به تولید محصولات بی‌کیفیت خواهد شد [۱۵]؛ مانند استفاده از توان‌های بالای مایکروویو در خشک کردن مواد غذایی که باعث افزایش چشمگیر سرعت انتقال جرم و منجر به آسیب‌های کیفی، ازجمله تغییرات نامطلوب در بافت محصول می‌شود. همچنین، پخش غیریکنواخت میدان الکترومغناطیسی در داخل آن مایکروویو سبب گرمایش غیریکنواخت محصول و ایجاد نقاط داغ بر روی آن می‌شود. این مشکل می‌تواند از طریق به‌کارگیری هدایت‌کننده موج و استفاده از سینی چرخان برطرف گردد [۱۶]. گرمایش مایکروویو مزایای قابل توجهی نسبت به گرمایش معمولی دارد، ازجمله کاهش زمان گرمایش، گرمایش یکنواخت، کاهش افت کیفیت، عدم انتقال مواد حل‌شده در مواد غذایی، تجهیزات متنوع، ساده و جمع‌وجور و صرفه‌جویی قابل توجه در مصرف انرژی؛ اما این روش دارای کمبود برجسته نفوذ در عمق کم است که آن را برای گرم کردن مواد غذایی بزرگ یا ضخیم نامناسب می‌کند. گرمایش مایکروویو را می‌توان برای عملیات مختلف فرایند مواد غذایی، ازجمله خشک کردن، پخت، بودادن، بلانچ، پاستوریزاسیون اعمال کرد [۱۷].

خشک کردن با مایکروویو، باعث پخش همگن گرما می‌شود و امکان خشک شدن سریع‌تر را فراهم می‌کند که این موضوع باعث صرفه‌جویی در انرژی و کاهش زمان و هزینه خشک شدن می‌شود [۱۸]. خشک کردن کف‌پوشی با کمک مایکروویو

^۱ Foam mat

۱.۲ تهیه و خشک کردن فوم چغندر قرمز

برای این منظور چغندر قرمز بعد از شست‌وشو و پوست‌گیری، به شکل مکعب‌های کوچک خرد شد. ۱۵ تیمار توسط نرم‌افزار Design Expert (نسخه ۱۱)، با سطوح (۰-۱۰۰٪ w/w) مالتودکسترین (X₁) (MD) و (۰-۱۰۰٪ w/w) کنسانتره پروتئین شیر (X₂) (MPC) برای به‌دست‌آوردن ساختار فوم تعیین شد جدول (۱). ۲۰۰ گرم چغندر قرمز خردشده به مخلوط مالتودکسترین، MPC و آب اضافه شد و در میکسر (Panasonic MJ-N376 D-100w) با سرعت ۲۰۰ دور بر دقیقه، به‌مدت ۱۰ دقیقه مخلوط گردید تا فوم تشکیل شود. فوم چغندر به ضخامت ۱ cm در ظرف شیشه‌ای به قطر ۲۰ cm ریخته شد تا در مایکروویو، در شدت توان (X₃) ۴۰۰-۸۰۰ w خشک شود. چغندر قرمز خشک‌شده با استفاده از آسیاب آزمایشگاهی (از شرکت پوما ژاپن) آسیاب و سپس در کیسه‌های پلی‌اتیلن زیپ‌دار بسته‌بندی شد. بعد از برچسب‌گذاری با عنوان BC، برای تجزیه و تحلیل بیشتر در یخچال نگهداری شد (شکل ۱). به منظور بررسی اثر مایکروویو نسبت به هوای داغ، تیماری که در شرایط بهینه تعریف شده بود، با همان غلظت مالتودکسترین (۱۰٪)، (۱۰٪ MPC) و توان مایکروویو (۴۰۰ w) در دمای ۷۰ °C در آون با هوای داغ، به‌مدت ۲ ساعت خشک و به‌عنوان نمونه کنترل در نظر گرفته شد.

(MFD) برای تولید پودر میوه‌های دارای رطوبت زیاد، ویسکوزیته بالا و حساس به حرارت مناسب است [۱۹، ۲۰]. هدف از انجام این تحقیق، تولید پودر چغندر لبویی با روش فوم مت، به‌منظور بهبود ارزش تغذیه‌ای و افزایش زمان ماندگاری است. در این راستا، تأثیر غلظت‌های مختلف عوامل کفزا (MPC، MD) در توان‌های متفاوت مایکروویو (۴۰۰، ۶۰۰، ۸۰۰) بر روی ویژگی‌های فیزیکی پودرهای تولیدشده بررسی شد.

۲. مواد و روش‌ها

مواد به‌کاررفته در این تحقیق، شامل پودر کنسانتره شیر از شرکت پگاه اصفهان، مالتودکسترین (MD) (DE=20) از شرکت گل‌شهد اصفهان، چغندر قرمز (*Beta vulgaris L*) از بازار محلی شهرستان جیرفت، معرف Folin-Ciocalteu (شرکت مرک، آلمان)، متانول، اتانول، تولوئن (Merck، آلمان)، کربنات سدیم (Merck، دارمشتات، آلمان)، اسیدگالیک (Sigma-Aldrich، ایالات متحده آمریکا) و ۲،۲-دی فنیل-۱-picrylhydrazyl سیگما آلدریچ، ایالات متحده) خریداری شد.

جدول (۱) تیمارهای طراحی شده به روش سطح پاسخ برای فاز اول

Table 1. Treatments designed by the response level method for the first phase

Std	Run	Factor1 A:Maltodextrin(g)	Factor2 B:MPC(g)	Factor3 C:Power(W)
1	1	0	5	600
2	2	10	0	800
3	3	5	5	600
4	4	10	5	600
5	5	5	0	600
6	6	0	0	400
7	7	0	10	800
8	8	5	5	600
9	9	5	10	600
10	10	5	5	600
11	11	5	5	600
12	12	5	5	800
13	13	5	5	400
14	14	10	10	400
15	15	5	5	600

۲.۲ ارزیابی خواص فوم چغندر لبویی قرمز

۱.۲.۲ پایداری فوم

حجم آب خارج شده طی مراحل تعیین شد: با قراردادن ۵۰ ml فوم در فیلتر بوختر با قطر ۹۰ ml (پوشانده شده با فیلتر کاغذی) و سپس قراردادن فیلتر روی استوانه مدرج به مدت ۱۲۰ دقیقه در دمای محیط اندازه گیری و سپس پایداری فیزیکی فوم با استفاده از رابطه (۱) [۲۱]:

$$Stability = \frac{V_{foam}}{V_{0foam}} \times 100 \quad (1)$$

که در آن، V_{foam} حجم فوم که به صورت تفاوت بین حجم اولیه فوم و حجم مایع چکیده شده (ml) و V_{0foam} حجم اولیه فوم (ml) است. برای رسیدن به حجم اولیه ۵۰ ml از فوم، دانسیته فوم در مقدار ۵۰ ml ضرب شده و وزن مورد نیاز برای رسیدن به حجم ۵۰ ml توزین شد.

۲.۲.۲ تخلخل فوم

تخلخل فوم با استفاده از رابطه (۲) به دست آمد [۲۱، ۲۲]:

$$\varphi = 1 - \frac{\rho_f}{\rho_l} \quad (2)$$

که در آن، ρ_f دانسیته فوم (گرم بر سانتی متر مکعب) و ρ_l دانسیته چغندر (گرم بر سانتی متر مکعب) است. دانسیته چغندر با اندازه گیری وزن آن در حجم ۱۰۰ ml از استوانه مدرج به دست آمد.

۳.۲.۲ اندازه گیری رنگ فوم

فوم تولیدی چغندر لبویی را برای تصویربرداری در پلیت ریخته و با یک رنگ سنج (TES-135A COLOR METER، تابوان) پارامترها رنگ، 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) اندازه گیری شد [۲۳].

۳.۲ ارزیابی خصوصیات پودر چغندر لبویی قرمز

۱.۳.۲ اندازه‌گیری رطوبت

میزان رطوبت با توزین ۲ گرم پودر چغندر و قراردادن آن در آون با هوای گرم ۷۰ °C تعیین شد. خشک‌کردن تا زمانی که کاهش وزن به‌سختی قابل توجه بود (در فواصل ۲ ساعته) انجام گرفت. میزان رطوبت براساس رابطه (۳) محاسبه شد [۲۴، ۲۱].

(۳)

$$\text{Moistur content (\%)} = W_m / W_d \times 100$$

۲.۳.۲ اندازه‌گیری محتوای بتالائین

برای استخراج بتالائین، از روش استخراج جامد-مایع با استخراج اتانولی (۵۰٪ اتیل الکل) استفاده شد. یک گرم نمونه پودر خشک‌شده در ۱۰ ml اتانل ۵۰٪ حل و به‌مدت ۳۰ دقیقه جوشانده و سپس در یک ظرف سر بسته در دمای محیط توسط شیکر الکترونیکی همزده و پس از فیلتراسیون عصاره از ماده جامد جدا شد، رنگ‌دانه کل با

(۵)

۴.۳.۲ تعیین محتوای کل فنول

محتوای کل فنلی (TPC) در پودرهای چغندر لبویی با استفاده از روش فولین سیوکالتو تعیین شد [۲۷]. برای این منظور، میزان ۲۰ μ از عصاره تهیه‌شده با ۱/۱۶ ml آب‌مقطر و ۱۰۰ μ معرف فولین به محلول فوق اضافه شد. پس از ۵ دقیقه، ۳۰۰ μ محلول کربنات سدیم ۲۰٪ اضافه شد و نمونه هم زده و به‌مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب جوش ۴۰°C قرار گرفت. سپس جذب نمونه‌ها با دستگاه اسپکتوفتومتر فرابنفش- مرئی در طول موج ۷۶۰ نانومتر خوانده شد. منحنی اسیدگالیک با غلظت‌های مختلف

(۶)

استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۵۳۵ و ۴۷۶ نانومتر به‌ترتیب برای رنگ‌دانه بتاسیانین و بتاگزانتین اندازه‌گیری و طبق رابطه (۴) محاسبه گردید. غلظت رنگ‌دانه در عصاره چغندر قرمز از مجموع این دو رنگ‌دانه به‌دست آمد [۲۵].

(۴)

$$BC \left(\frac{mg}{l} \right) = [(A \times DF \times MW \times 1000 / e \times I)]$$

در این رابطه A جذب، DF فاکتور رقیق‌سازی، I طول سل (۴/۵ cm)، MW وزن مولکولی و e ضریب خاموشی (وزن مولکولی بتاسیانین و بتاگزانتین به‌ترتیب ۵۵۰ و ۳۳۹ گرم بر مول و ضریب خاموشی نیز ۶۰۰۰۰ و ۴۸۰۰۰ اعمال شد).

۳.۳.۲ بازده

بازده محصول به‌عنوان نسبت جرم پودر جامد به‌دست‌آمده در پایان خشک‌کردن انجمادی به جرم اولیه محاسبه شد [۲۶].

$$\text{بازده (\%)} = 100 \times \left(\frac{\text{Solids in powder}}{\text{total solid in foam or feeds solution}} \right)$$

اسیدگالیک رسم شد. نتایج برحسب میلی‌گرم اسیدگالیک در گرم‌نمونه خشک محاسبه گردید [۲۸، ۲۹].

۵.۳.۲ اندازه‌گیری مهار رادیکال آزاد

اساس عمل این روش کاهش محلول الکی DPPH در حضور آنتی‌اکسیدان‌های دهنده هیدروژن مخصوصاً ترکیبات فنولی است. برای دستیابی درصد حذف رادیکال آزاد نمونه‌ها، غلظت ۵۰۰ ppm از نمونه‌ها تهیه شد. ۳ cc از آن با ۱ cc از محلول DPPH (۰/۱ mM) مخلوط و ۲۰ دقیقه در جای تاریک قرار گرفت. سپس جذب در طول موج ۵۱۷ نانومتر خوانده و درصد مهار رادیکال آزاد DPPH مطابق رابطه (۶) تعیین شد [۳۰].

$$\text{DPPH مهار درصد} = \left(\frac{A_{dpph} - A_{sample}}{A_{dpph}} \right) \times 100$$



۲.۴ تجزیه و تحلیل آماری

در این پژوهش، آنالیز آماری تیمارها براساس طراحی آزمون سطح پاسخ و با روش DOE، به روش طرح مرکب مرکزی (CCD) با نرم افزار دیزاین اکسپرت نسخه ۱۱ انجام شد. تمامی نمودارهای مکعبی و سطح پاسخ توسط همین نرم افزار ترسیم گردید.

۳. نتایج و بحث

۱.۳ بررسی اثر متغیرها بر ویژگی‌های فیزیکی و

شیمیایی پودر تولیدشده با روش کف پوشی

با استفاده از نرم افزار دیزاین نسخه ۱۱ و طراحی آزمایش و تیمارهای تعیین شده در روش سطح پاسخ در قالب طرح مرکب مرکزی CCD با پنج نقطه مرکزی (جدول ۲)، تأثیر متغیرهای: غلظت مالتودکسترین (MD)، MPC و قدرت مایکروویو (MP) بر پایداری فوم، تخلخل توده فوم، رنگ سنجی و شاخص قهوه‌ای شدن فوم، بازده، محتوای رطوبت، محتوای بتالاتین، محتوای کل فنل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی پودر مورد بررسی قرار گرفت. پاسخ‌های به دست آمده از آزمون‌ها در نرم افزار مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت که براساس نتایج آنالیز واریانس و برازش مدل به دست آمده، اثر متغیرها بر پاسخ‌ها ارزیابی شد و در قالب مدل‌های پیشنهادی و نمودارهای (مکعبی و سطح پاسخ) بررسی شد. نمونه شاهد و کنترل با نمونه بهینه مقایسه گردید. (جدول ۳) یافته‌های تحلیل مدل، عدم تناسب و تحلیل R^2 را خلاصه می‌کند.

۶.۳.۲ آنالیز ویژگی‌های ریزساختاری و مورفولوژی

ذرات پودر

بررسی ویژگی‌های ریزساختاری ذرات پودر چغندر لبویی با گرفتن تصاویر از طریق میکروسکوپ الکترونی روبشی (Model SEM-Quanta FEG 450, FEI-USA) انجام شد. ابتدا نمونه‌ها به صورت مجزا با استفاده از نوارچسب‌های دوسویه بر روی صفحه‌های آلومینیومی قرار گرفتند. سپس، عمل روکش‌دهی ذرات پودر با استفاده از لایه نازکی از طلا [۳۱، ۳۲] انجام گرفت. در نهایت نمونه‌های پوشش داده شده به دستگاه میکروسکوپ الکترونی نشر میدانی منتقل شدند و ساختار سطحی ذرات پودر چغندر مورد بررسی قرار گرفت. از نمونه‌ها در ولتاژ ۲۰ kw و با بزرگ‌نمایی ۶۰۰ عکس برداری شد.

۷.۳.۲ طیف‌سنجی FTIR

گروه‌های عاملی اجزای پودر با استفاده از طیف‌سنجی FT-IR مشاهده شدند و تخریب بالقوه آنها در طول فرایندهای خشک کردن بررسی شد. برای این تجزیه و تحلیل، گلوله‌ای حاوی پودر چغندر قرمز و برومید پتاسیم (1:50 w/w) تهیه و در طیف‌سنج FTIR قرار داده شد [۳۳، ۳۴]. طیف FTIR نمونه‌ها در حالت گذر بر روی طیف‌سنج PerkinElmer Spectrum 65 FTIR (USA) به دست آمد. طیف در دمای اتاق در محدوده عدد موج cm⁻¹ ۴۰۰-۴۰۰۰ حاصل شد.

$$\text{Foam Prosiy as } (y) = 0.3076 + 0.1304x_2 - 0.1055x_2^2 \quad (7)$$

$$\text{Foam Stability as } (y) = 74.24 + 8.47x_1^2 \quad (8)$$

$$L * \text{ foam as } (y) = 19.14 - 3.40x_1x_2 - 2.56x_2^2 \quad (9)$$

$$b * \text{ foam as } (y) = 6.98 + 2.68x_2^2 \quad (10)$$

$$\text{Betaxanthin as } (y) = 68.69 + 31.62x_1x_2 + 19.70x_2^2 \quad (11)$$

$$\text{Betalaien as } (y) = 117.77 + 38.60x_1x_2 + 47.27x_2^2 \quad (12)$$

$$\text{Yield as } (y) = 15.82 - 4.38x_3 - 3.89x_1x_3 + 2.57 \quad (13)$$

$$\text{otal Phenol Content as } (y) = 17.57 + 9.91x_1 - 2.52x_1x_2 + 8.50x_2x_3 + 2.39x_1^2 - 2.60x_2^2 - 1.07x_3^2 \quad (14)$$

$$\text{Antioxidant Capcity as } (y) = 49.46 + 7.03x_1 + 8.55x_1x_3 - 8.00x_2x_3 - 6.18x_3^2 \quad (15)$$

۲.۳ تخلخل توده‌ای فوم

جزء حجمی هوا با دانسیته فوم رابطه عکس دارد؛ مقدار بالای هوای ورودی به فوم حین هم‌زدن، باعث دانسیته کمتر شده و دانسیته کم، یعنی جزء حجمی هوای بالاتر در فوم و انبساط بیشتر فوم [۳۵]. با توجه به جدول (۲) محدوده تغییرات این پارامتر از $0.475-0.47$ متغیر بود. مدل این پاسخ معنی دار بود ($P \leq 0.05$). ضریب رگرسیونی این مدل، برابر با $R^2=0.9281$ به دست آمد. براساس جدول آنووا (۲) تخلخل توده فوم چغندر لبویی قرمز (رابطه ۷) به دست آمد. افزایش غلظت مالتو دکسترین باعث کاهش تخلخل توده فوم شد، در حالی که افزایش غلظت MPC تأثیر مثبتی بر روی تخلخل توده داشت. مقادیر بیشتر عامل کف‌کننده به حفظ ساختار کف در طول فرایند با افزایش پایداری کف کمک می‌کند. در نتیجه، تخلخل توده افزایش می‌یابد [۳۶، ۳۷]. براساس جدول (۲)، اثر خطی عامل کف‌کننده $(MPC)(X_2)$ و اثر درجه دوم $(MPC)(X_2^2)$ بر این پارامتر معنی‌دار بود ($P \leq 0.05$). همان‌طور که در (رابطه ۷) مشاهده می‌شود، ضریب منفی (X_2^2) نشان می‌دهد که افزایش MPC بر روی تخلخل فوم تأثیر منفی می‌گذارد، ولی همچنان با افزایش غلظت MPC، تخلخل توده فوم افزایش می‌یابد (شکل ۱-۱). شرادا و همکاران خشک‌کردن گوجه‌فرنگی، گواوا و موز را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که با تشکیل کف مقدار زیادی هوا وارد ساختار کف‌شده و تخلخل افزایش می‌یابد که در نهایت منجر به کاهش زمان خشک‌شدن می‌شود [۳۸].

۳.۳ پایداری فوم

قابلیت تشکیل و پایداری کف یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های کف محسوب می‌شود. مدت زمانی که ساختار کف می‌تواند حجم مشخصی گاز را نگه دارد، پایداری کف نامیده می‌شود. این مقاومت کف، در مقابل ترکیدن بستگی به مقاومت دیواره کف (لاملا) دارد [۳۹]. ساختار پایدار فوم برای خشک‌شدن سریع و سهولت حذف مواد خشک‌شده از سینی‌ها ضروری است. اگر ساختار فوم به شدت تخریب شود، زمان مورد نیاز برای خشک‌شدن افزایش یافته و

کیفیت محصول به دست‌آمده کاهش می‌یابد [۳۶]. براساس مدل پیش‌بینی‌شده، پایداری فوم معنی‌دار شد ($P \leq 0.01$) خطای عدم تناسب و ضریب رگرسیونی این پارامتر، برابر $0.1983-0.9547$ بود. محدوده تغییرات آن طبق (جدول ۲) از $70-100$ متغیر است. با توجه به (جدول ۳) آنووا مدل پیشنهادی پایداری فوم (رابطه ۸) شد. پارامتر تأثیرگذار بر روی پایداری فوم اثر درجه دوم $MD(X_2^2)$ بود که با افزایش این متغیر پایداری نیز افزایش یافت (شکل ۱-۱). دو نوع عامل فعال سطحی در شیر وجود دارد: لیپیدهای قطبی مولکولی کوچک، مانند مونوگلیسریدها و دی‌گلیسریدها، اسیدهای چرب آزاد و فسفولیپیدها و پروتئین‌های مولکولی بزرگ. پروتئین‌های شیر به دلیل وجود گروه‌های آب‌دوست و آب‌گریز در ساختارشان سورفکتانت‌های بسیار خوبی هستند. پروتئین‌های شیر با انتشار و تمرکز روی سطح مشترک هوا و مایع به تشکیل کف کمک می‌کنند که منجر به کاهش کشش سطحی می‌شود. سپس پروتئین‌ها در سطح مشترک با گروه‌های آب‌دوست و آب‌گریز به ترتیب به سمت فاز مایع و هوا باز می‌شوند و لایه سطحی بسیار ویسکوالاستیک را برای تثبیت حباب‌های هوا تشکیل می‌دهند. گزارش شده است که افزایش محتوای پروتئین، در محدوده‌ای که پروتئین‌ها محلول باقی می‌مانند، باعث افزایش انبساط کف و بهبود پایداری کف می‌شود [۴۰]. نتایج این تحقیق با نتایج مارینوا و همکاران که روی بررسی پایداری کف دو پروتئین شیر (کنسانتره پروتئین آب پنیر و کازینات سدیم) مطابقت دارد. آنها گزارش کردند که با افزایش غلظت سفیده تخم‌مرغ، افزایش حجم و افزایش پایداری دیده شد [۴۱]. در پژوهش مارتینز-پادیللا و همکاران نیز نتایج مشابهی به دست آمد که نشان داد افزایش غلظت محلول پروتئین ناپایداری و حجم زه‌کشی کف را کاهش می‌دهد که علت آن پایداری کف است [۸].



۴.۳ پارامتر رنگ فوم

رنگ یکی از مهم‌ترین پارامترهای کیفی در مواد است. تأثیر زیادی در میزان مطلوبیت و قیمت نهایی آن دارد. عوامل زیادی بر رنگ محصولات نهایی تأثیر می‌گذارند، مانند تنوع میوه، رسیده‌بودن آن و تأثیر روش‌های خشک‌کردن [۴۲]. نتایج پارامترهای رنگ فوم در جدول (۲) نشان داده شده است. محدوده تغییرات مقدار L^* از ۲۱/۴۸۲-۱۲/۲۱ بود. (جدول ۳) آنووا مدل توسعه‌یافته برای L^* را نشان می‌دهد. (رابطه ۹) برای مدل به‌دست آمد. براساس جدول آنووا، پارامترهای رنگ L^* ، b^* معنی‌دار شدن ($P \leq 0.05$). تعامل (MPC)، مالتو دکسترین (MD) (X_1X_2) و اثر درجه دوم MPC (X_2^2)، بر

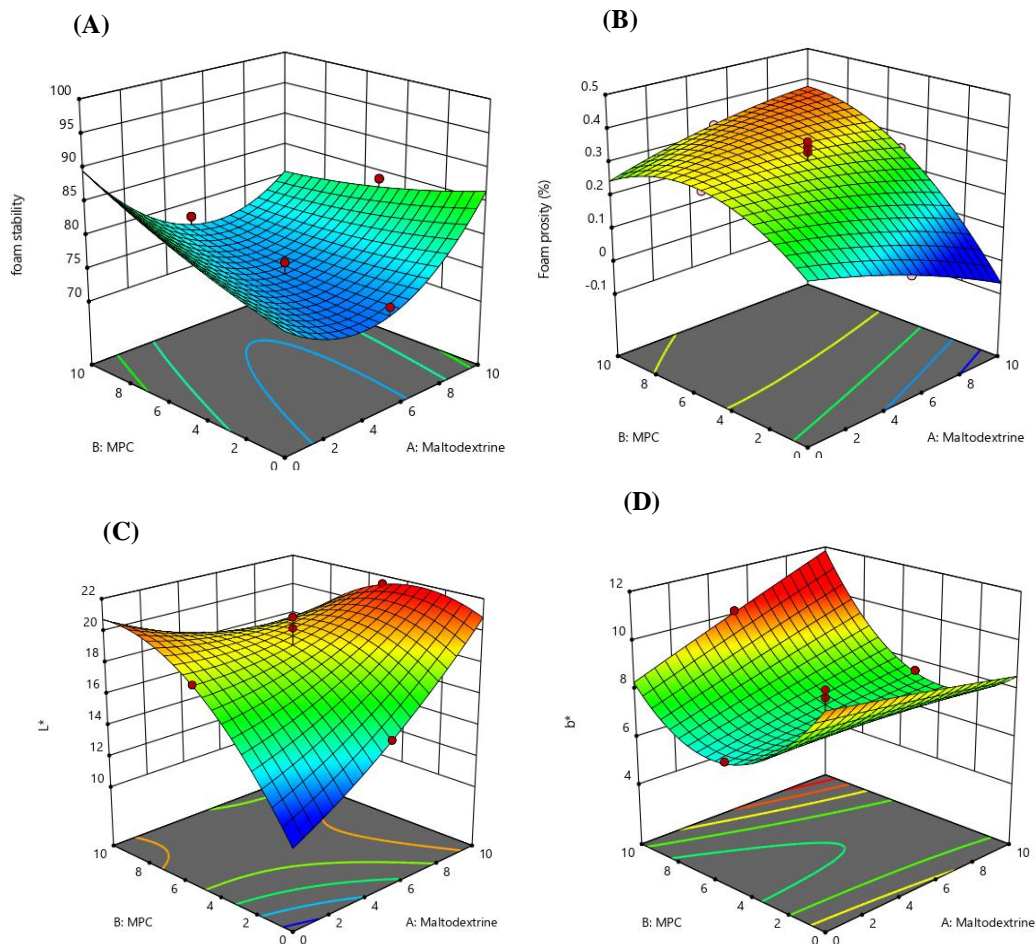
روی L^* تأثیر داشتند افزایش عوامل کف‌زا تأثیر مثبتی بر روی این پارامتر داشتند (شکل ۱-C). در ارتباط با پارامتر رنگ b^* با توجه به جدول آنووا (۳)، رابطه (۱۰) برای این مدل حاصل شد. جدول آنووا معناداری b^* را نشان می‌دهد ($p \leq 0.05$). محدوده تغییرات b^* با توجه به جدول (۲) از ۴/۷۵۳-۱۰/۴۴ متغیر شد. اثر درجه دوم MPC (X_2^2) تأثیر معناداری بر روی b^* نشان داد. در (شکل ۱-D) این تغییرات قابل مشاهده است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، می‌توان این‌گونه بیان کرد که در هنگام تولید کف هوای بیشتری در بین مولکول‌های پروتئینی محبوس می‌شود و حجم فوم افزایش می‌یابد و رنگ‌دانه‌ها در ساختار فوم گسترده می‌شوند و روشنایی فوم بیشتر می‌شود.

جدول (۲) طراحی تیمارها با RSM برای متغیرهای مستقل و مقادیر تجربی متغیرهای پاسخ برای فوم چغندر قرمز (MD؛ مالتودکسترین، MPC؛ کنسانتره

پروتئین شیر، پایداری فوم، تخلخل فوم، L^* , a^* , b^*

Table 2. RSM design non coded for the independent variables and experimental values of the response variables for the red beet root powder produced by foam mat microwave drying (MD; Maltodextrin, MPC; milk protein concentrate, Foam stability, Foam porosity, L^* , a^* , b^*

Run	MD (%W/V)	MPC (%W/V)	Power	Foam Porosity (Dimensionless)	L^* (foam)	a^* (foam)	b^* (foam)	Foam Stability (%)
1	0	5	600	0.3115	18.52	4.258	6.45	84
2	10	0	800	0.0475	16.287	3.603	6.082	76
3	5	5	600	0.2497	19.1	9.877	6.252	72
4	10	5	600	0.2597	21.482	5.06	7.591	84
5	5	0	600	0.0703	15.204	8.551	9.3	75
6	0	0	400	0.1056	12.21	3.62	10.44	100
7	0	10	800	0.3302	16.981	4.18	6.112	92
8	5	5	600	0.348	20.195	5.687	7.673	70
9	5	10	600	0.3312	18.06	2.87	10.184	78
10	5	5	600	0.3634	20.87	3.056	8.012	72
11	5	5	600	0.2502	18.529	2.648	6.421	76
12	5	5	800	0.4047	15.07	4.14	4.753	72
13	5	5	400	0.2508	21.218	5.092	4.906	88
14	10	10	400	0.3312	19.751	2.063	6.82	82
15	5	5	600	0.3324	16.82	3.322	6.248	76



شکل (۱) نمودارهای سطح پاسخ که اثرات متقابل متغیرهای فرایند را بر پایداری (A)، تخلخل (B)، (C) L^* و (D) b^*

Fig 1. Cube graph showing the interaction effects of process variables on Stability (A), porosity (B), L^* (C), b^* (D),

چغندر قرمز، تاج خروس، گلایی خاردار و پیتاهایای قرمز. علاوه بر ارتباط آنها به عنوان رنگ، بتالین‌ها به دلیل فعالیت‌های دارویی مانند آنتی‌اکسیدان، ضدسرطان، ضدچربی خون و ضد میکروبی نقش مهمی در سلامت انسان دارند [۴۳].

با توجه به (جدول ۲) محدوده تغییرات بتالین ۲۱۷/۶۷۶-۸۶/۳۳۳ شد. براساس مدل پیش‌بینی شده برای بتالین ضریب همبستگی ۰/۹۱۸۲ و عدم برازش ۰/۶۹۰۶

۵.۳ بتالین پودر

بتالین‌ها رنگ‌دانه‌های گیاهی هستند که به راسته کاربوفیلال‌ها تعلق دارند. عمده‌ترین محصول بتالین که به صورت تجاری مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد، چغندر قرمز است (*B. vulgaris*) که حاوی دو رنگ‌دانه اصلی، یعنی بتانین (یک بتاسیانین قرمز) و ولگاگزانتین (یک بتاگزانتین زرد) است. چهار منبع اصلی بتالین عبارت‌اند از:

توجه به (شکل ۲-۲) بیشترین میزان رطوبت در تیمارهای با سطوح متوسط MD و MPC مشخص شد.

۷.۳ بازده پودر

اولین و مهم‌ترین شاخص کاربردی و صنعتی، در صنعت تبدیل مواد غذایی و تولید پودر از محلول‌های مختلف راندمان تولید پودر از محلولی با درصد ماده خشک معین است. بازده تولید پودر معیار ارزیابی کارایی و اقتصادی بودن فرایند خشک کردن است [۴۸] در جدول (۲) بازده ۱۵ تیمار را مشاهده می‌کنید. محدوده تغییرات آن از ۱۲/۵-۳۳٪ متغیر بود. این پاسخ رفتار معناداری را از خود نشان داد ($p \leq 0.01$). نتایج به دست آمده از ANOVA (جدول ۳) و مدل برازش تجربی داده‌ها $R^2=0.9613$ ، طبق (معادله ۱۳)، توان مایکروویو، اثر تعاملی مالتودکسترین و توان مایکروویو، اثر درجه دوم مایکروویو تأثیر معناداری را بر این پارامتر داشتند. همان‌طور که در (شکل ۲-۲) باعث افزایش توان مایکروویو و اثر برهم‌کنش (X_1X_3) باعث کاهش بازده شد؛ در صورتی که اثر درجه دوم توان مایکروویو سطح بازده را افزایش داد. دمای مایکروویو به مراتب دارای تأثیر بیشتری نسبت به دو تیمار دیگر داشت. این موضوع در مطالعات سایر محققین نیز نشان داده شده است [۴۹، ۵۰]. پیغمبردوست و سرابندی (۱۳۹۴) تأثیر شرایط خشک کردن پاششی بر خواص فیزیکوشیمیایی، عملکردی و بازده تولید پودر عصاره مالت را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این مطالعه نشان داد که با افزایش دمای هوای ورودی و غلظت مالتودکسترین، بازده تولید پودر افزایش یافت [۵۱].

۸.۳ محتوای فنل کل پودر

ترکیبات فنلی شامل بسیاری از مواد آلی است که همگی دارای یک حلقه معطر با یک یا چند گروه هیدروکسیل جایگزین و یک زنجیره جانبی کاربردی هستند فنولیک و سایر آنتی‌اکسیدان‌های فیتوشیمیایی موجود در میوه‌ها و سبزیجات قادر به خنثی کردن رادیکال‌های آزاد هستند و ممکن است نقش عمده‌ای در پیشگیری از برخی بیماری‌ها

به دست آمد. این پارامتر در سطح ۰/۰۵٪ معنادار شد. مدل پیشنهادی برای محتوای بتالائین به عنوان (رابطه ۱۲) به دست آمد. همان‌طور که در (شکل ۲-۲) مشاهده می‌شود بالاترین مقدار بتالائین تحت شرایط MD و MPC در سطوح صفر و توان مایکروویو ۴۰۰ w دیده شد. تحقیقات قبلی گزارش کردند که در روش استخراج بتالائین، افزایش تعداد رنگ‌دانه‌ها با افزایش قدرت مایکروویو مشاهده شد [۴۴، ۴۵] طبق گفته شوفینیتا و همکاران، افزایش قدرت مایکروویو می‌تواند باعث کاهش رطوبت پودر چغندر قرمز شود و در عین حال پارامترهای رنگ a^* ، L^* و شاخص قهوه‌ای شدن را افزایش دهد. با توجه به پلاریزاسیون با فرکانس بالا مولکول آب دوقطبی، انرژی در طی خشک کردن مایکروویو تولید می‌شود و در سطوح بالای MPC و MD، تخریب بتالائین به دلیل افزایش واکنش میلارد در سطوح کم رطوبت مشاهده شد [۴۶].

۶.۳ محتوای رطوبت پودر

میزان آب موجود در ماده غذایی را محتوای رطوبت می‌نامند. کاهش محتوای رطوبت در محصول باعث افزایش انبار مانی و کاهش فساد میکروبی می‌شود [۲۴] محدوده تغییرات برای این پارامتر بر اساس جدول پاسخ (۲) از ۰/۰۷۱۱-۰/۳۵۶۶٪ متغیر بود و بر اساس نتایج ANOVA، تفاوت معنی‌داری ($P > 0.05$) در میزان رطوبت پودرها وجود نداشت. با توجه به ماهیت جاذب بودن مالتودکسترین و MPC و با وجود این که مقادیر آن‌ها در تیمارها متفاوت بود، ولی چون در مایکروویو به نقطه نهایی خشک کردن رسیدند تفاوت معناداری مشاهده نشد. این یافته‌ها با نتایج دهقانیا و عزیزپور که به ترتیب آلبیمو و پودر میگو را با روش فوم مت ارزیابی کردند، مطابقت داشت [۳۷، ۴۷] اگرچه تأثیر متغیرها بر میزان رطوبت از نظر آماری معنی‌دار نبود، اما یافته‌های مطالعه (جدول ۲) نشان می‌دهد که کمترین میزان رطوبت در تیمارهایی با کمترین میزان MD (تیمارهای ۶ و ۷) مشاهده شد. با

شد [۵۵]. در پژوهشی دیگر، تأثیر فرایندهای خشک کردن مایکروویو و فر بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی، فنل کل و ترکیبات فنلی کیوی و پپینو، توسط ازگان و همکاران انجام شد. نتایج نشان داد که بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی و محتوای فنلی در نمونه‌های خشک شده در مایکروویو و پس از آن نمونه‌های خشک شده در آون و میوه‌های تازه گزارش شده است. یافته‌های بهرگر و همکاران (۱۳۹۰) و کوماری و همکاران (۲۰۰۹) با نتایج این پژوهش مطابقت دارد [۵۶، ۵۷].

۹.۳ فعالیت آنتی‌اکسیدانی پودر

پتانسیل آنتی‌اکسیدان‌ها برای اتصال با رادیکال‌های آزاد، فعالیت مهاری نمونه را تعیین می‌کند؛ بنابراین، فعالیت مهاری بالاتر منجر به ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بالاتر ماده می‌شود. واکنش میلارد مسئول تخریب پلی‌فنل‌ها است و از این رو فعالیت آنتی‌اکسیدانی را کاهش می‌دهد [۵۸]. فعالیت مهار DPPH نمونه‌های پودر چغندر لبویی قرمز براساس (جدول ۲) بین ۲۷/۹۴۴-۵۵/۱۰۱٪ متغیر بود. براساس نتایج به‌دست‌آمده در (جدول ۳) آنوا، فعالیت آنتی‌اکسیدانی معنادار شد ($P \leq 0.05$). خطای عدم تناسب و ضریب رگرسیونی مدل پیش‌بینی شده این پارامتر مقادیر $R^2=0.7874$ و $Lack\ of\ fit=0.1537$ شد. مطابق جدول آنوا (رابطه ۱۵) برای این مدل حاصل شد. تغییر در روند با توجه به توان مایکروویو و غلظت مشاهده شد. (شکل ۲- D). همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود، افزایش مالتودکسترین، برهم‌کنش MPC و توان مایکروویو، همچنین اثر درجه دوم توان مایکروویو تأثیر منفی بر فعالیت مهار DPPH داشت. با توجه به نتایج، خشک کردن طولانی مدت در دماهای پایین‌تر منجر به کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدانی می‌شود، نتایج مشابهی گزارش شده است [۵۹]. در پژوهشی اوزگان و همکاران (۲۰۲۰) تأثیر فرایندهای خشک کردن مایکروویو و فر بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی، فنل کل و ترکیبات فنلی میوه‌های کیوی و پپینو انجام دادند. در مجموع، نتایج این تحقیق نشان داد که بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی و محتوای فنلی در

داشته باشند [۵۲] ترکیبات فنلی متابولیت‌های ثانویه موجود در بافت‌های گیاهی هستند که از تنوع ساختاری، از مولکول‌های ساده، مانند اسیدهای فنولیک، تا پلی‌فنول‌هایی مانند فلاونوئیدها که از چندین گروه تشکیل شده‌اند، متغیر است [۳۶]. در سال‌های اخیر، ترکیبات فنلی به دلایل متعددی توجه زیادی را در صنایع غذایی و دارویی به خود جلب کرده‌اند [۵۳، ۵۴]. این ترکیبات می‌توانند به‌عنوان عوامل کاهنده در برابر گونه‌های فعال اکسیژن/نیترژن که برای ایجاد آسیب اکسیداتیو در بافت بدن پیشنهاد شده‌اند عمل کنند [۲۸]. بنابراین، آنها طیف وسیعی از خواص بیولوژیکی مانند ضد میکروبی، ضد ویروسی، ضد التهابی، ضد حساسیت، ضد ترومبوتیک، محافظت از قلب، و اثرات گشادکننده عروق را نشان می‌دهند [۴۸]. در ارزیابی به‌عمل‌آمده (جدول ۳)، آنوا نشان داد که محتوای کل فنول بسیار معنادار بود ($P \leq 0.01$). مقادیر آن از ۱۱/۱۶۵-۲۹/۱۸۵ متغیر است (جدول ۲). بر پایه آنالیز واریانس و ضرایب رگرسیونی مدل درجه دوم برازش شده، اثر خطی مالتودکسترین (X_1)، اثر برهم‌کنش MPC و توان مایکروویو (X_2X_3)، مالتودکسترین و MPC (X_1X_2)، اثر درجه دوم مالتو دکسترین (X_1^2) و MPC (X_2^2) تأثیرگذارترین پارامترها بر روی محتوای فنل کل بودند. طبق معادله به‌دست‌آمده از مدل پیشنهادی (۱۴) و نتایج حاصل از جدول ۲، افزایش غلظت مالتودکسترین بیشترین تأثیر را روی این پارامتر گذاشت. علاوه بر این، رفتار تعاملی MPC و توان مایکروویو و درجه دوم مالتودکسترین از موادی بودند که تأثیر مثبت بر روی این پاسخ داشتند؛ اما برهم‌کنش مالتودکسترین و MPC، درجه دوم MPC سبب کاهش معنی‌داری در محتوای فنل کل شد (شکل ۲ C). در مطالعه‌ای غانم و همکاران (۲۰۱۲) بررسی اثر کم‌آبی مایکروویو (w ۱۰۰، ۱۸۰، ۳۰۰، ۴۵۰ و ۶۰۰) بر خواص فیزیکوشیمیایی (چروکیدگی، کل فنل‌ها و رنگ) و فناوری (ظرفیت‌های نگه‌داری آب و روغن) و رفتار خشک کردن سه رقم پوست مرکبات (تامپسون ناول، ماندارین و لیمو) را انجام دادند که نتایج نشان داد حداکثر محتویات فنلی لایه‌برداری برای خشک کردن قدرت مایکروویو بالاتر از ۴۵۰ w حفظ

روی کامکوات‌های برش‌شده با استفاده از سه روش خشک‌کردن مختلف، مایکروویو، هوای گرم و خلاء انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که نمونه‌های خشک‌شده در مایکروویو بالاترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی را داشتند. این مطالعه نشان داد که خشک‌کردن در مایکروویو و خشک‌کردن خلاء در دمای 70°C mBar تا 100°C قادر به تولید برش‌های کامکوات با کیفیت بالا بود [۶۱].

نمونه‌های خشک‌شده در مایکروویو و پس از آن نمونه‌های خشک‌شده در آون و میوه‌های تازه گزارش شده است. به‌طور کلی خشک‌کردن میوه با مایکروویو می‌تواند مفیدتر از خشک‌کردن معمولی باشد. علاوه بر این، میوه‌های خشک کیوی و پینو حاوی مقادیر قابل توجهی از ترکیبات فنلی با فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالا در مقایسه با میوه‌های تازه هستند و از این رو به‌عنوان غذای سالم محسوب می‌شوند [۶۰]. در مطالعه دیگری اوزگان و همکاران (۲۰۱۸) که بر

ادامه جدول (۲) طراحی تیمارها با RSM برای متغیرهای مستقل و مقادیر تجربی متغیرهای پاسخ برای پودر چغندر قرمز تولیدشده توسط خشک‌کردن مایکروویو کف‌پوشی (MD؛ مالتودکسترین، MPC؛ کنسانتره پروتئین شیر، محتوای رطوبت، Beta lain، محتوای فنل کل، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و بازده

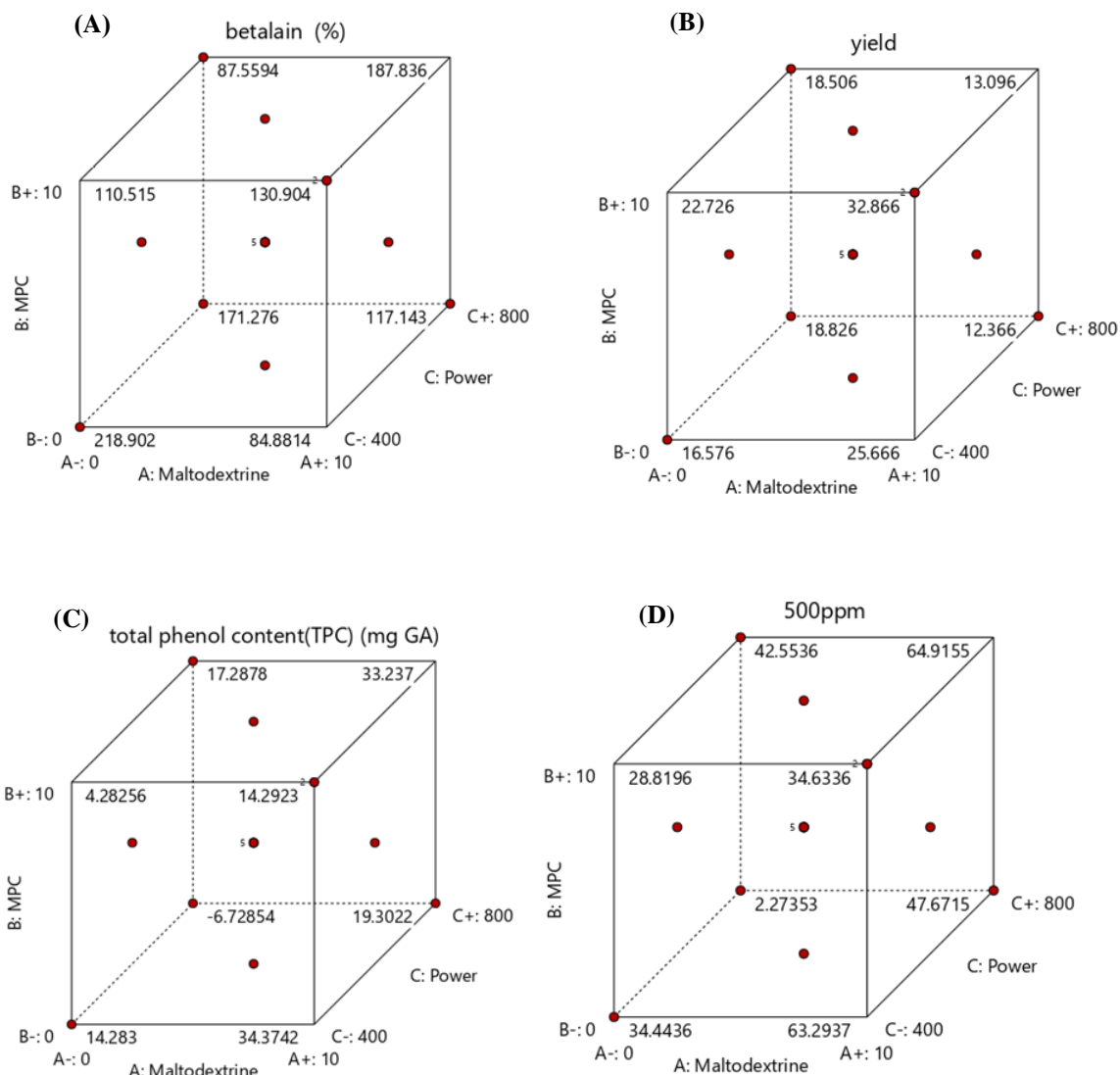
continue Table 2. RSM design non coded for the independent variables and experimental values of the response variables for the red beet root powder produced by foam mat microwave drying (MD; Maltodextrin, MPC; milk protein concentrate, Moisture content, Yield, Beta lain, Total phenol Content, Antioxidant Capacity and yield

Run	MD (%W/V)	MPC (%W/V)	Power	Moisture Content (%)	Yield	Beta lain (%)	Total phenol Content (mg GA)	Antioxidant Capacity
1	0	5	600	0.1727	15.69	115.316	11.1651	30.17
2	10	0	800	0.2098	12.5	115.917	19.195	46.1079
3	5	5	600	0.1977	14.4	113.216	16.168	38.22
4	10	5	600	0.184	17.53	98.444	29.1853	55.776
5	5	0	600	0.2118	14.46	176.908	14.1978	32.12
6	0	0	400	0.0718	16.71	217.676	14.1758	32.88
7	0	10	800	0.0711	18.64	86.333	17.1806	40.99
8	5	5	600	0.3566	18.46	114.417	17.1857	41.35
9	5	10	600	0.2694	17.9	158.061	16.165	37.93
10	5	5	600	0.2447	14.3	93.266	17.1923	41.33
11	5	5	600	0.2242	17	144.404	17.2203	42.1
12	5	5	800	0.2538	13.74	109.48	16.203	39.17
13	5	5	400	0.2432	22.5	104.827	17.2364	40.1141
14	10	10	400	0.2034	33	129.678	14.1851	33.07
15	5	5	600	0.2792	16	113.716	19.2316	46.056

جدول (۳) تجزیه و تحلیل واریانس برای تعیین برازش مدل، ضریب رگرسیون (β)، ضریب تعیین ($adj. R^2$) و مقدار آزمون F مدل‌های چندجمله‌ای مرتبه دوم پیش‌بینی‌شده برای پاسخ‌ها

Table 3. Analysis of variance for determination of model fitting, regression coefficient (β), coefficient of determination ($adj. R^2$), and F-test value of the Predicted second order polynomial models for the responses

factor	Coefficont							
	Foam Porosity	Foam Stability	L*	b*	Yield	Beta lain	Antioxidant Capacity	TPC
Intercept	0.3076	74.12	19.14	6.98	15.82	177.77	39.83	17.57
Linear								
X ₁ (Maltodextrin)	-0.0259	0.000	1.48	0.5705	0.9200	-8.44	12.80**	9.01***
X ₂ (Mpc)	0.1304*	1.50	1.43	0.4420	1.72	-9.42	2.91	0.9836
X ₃ (power)	0.0769	-8.00*	-3.07*	-0.0765	-4.38*	2.33	-0.47	-0.5167
interaction								
X ₁ X ₂	0.0917	-4.50	-3.40*	1.19	0.2625	38.60*	-5.76	-2.52
X ₁ X ₃	0.0034	2.00	-0.6308	1.34	-3.89*	19.97	4.14	1.48
X ₂ X ₃	-0.0116	8.50*	-0.2308	1.48	-1.62	6.17	11.48**	8.50**
Quadratic								
X ₁ ²	-0.0207	8.47**	0.805	-0.0370	1.06	-13.34		2.39*
X ₂ ²	-0.1055*	0.9706	-2.56*	2.68*	0.6303	47.27**		-2.60**
X ₃ ²	0.0215	4.47	-1.05	-2.23*	2.57*	-13.07		-1.07
Adj.R ²	0.9281	0.9547	0.8967	0.9288	0.9613	0.9184	0.7874	0.9750
F-Value(Model)	7.17	11.70	4.82	7.24	13.82	6.26	4.94	21.64
P-Value(Lack of fit)	0.9400	0.1983	0.9211	0.7908	0.6536	0.6906	0.1537	0.5733
P-Value(Model)	0.0215*	0.0073**	0.0490*	0.0210*	0.0050**	0.0287*	0.0211*	0.0017**



شکل (۲) نمودارهای مکعبی که اثرات متقابل متغیرهای فرایند را بر بتالائین (A)، محتوای مرطوب (B)، بازده (C)، TPC (D)، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (E) نشان می‌دهد

Fig 2. Cube graph showing the interaction effects of process variables Betaxanthin(A), Betalain(B), Moistuer Content(C), Yield(D), TPC(E), Antioxidant Capacity(F)

در محدوده پاسخ‌های تجربی تنظیم شد (شکل ۳). مطلوبیت متغیرها مبنای انتخاب بهترین شرایط بود. پارامترهای بهینه برای متغیرها و مقادیر پیش‌بینی پاسخ‌ها به شرح زیر بود: ۱۰ MD/، غلظت ۱۰ MPC/ و توان میکروویو ۴۰۰ w با مطلوبیت کلی ۰/۹۹ و ۱۰ MD/، برای ۱۰ MPC/ و توان ۴۰۰ w میکروویو بود (جدول ۵).

۱۰.۳ معرفی بهینه

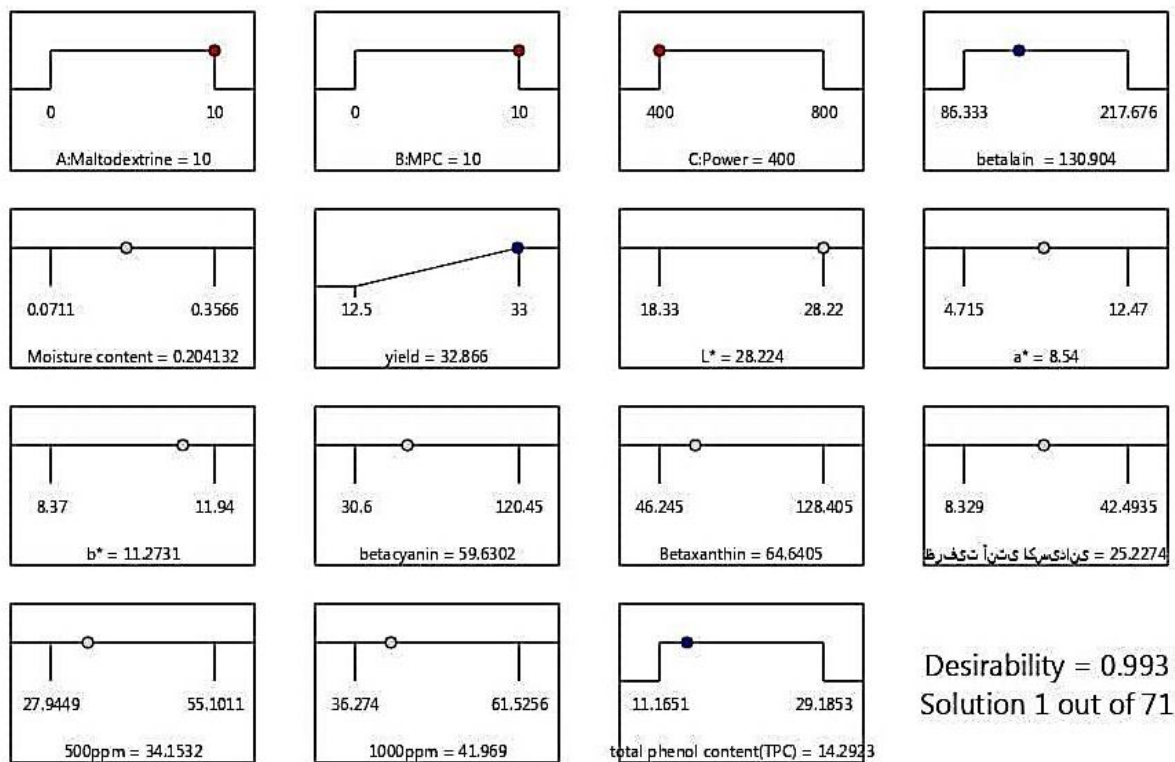
پاسخ‌های به‌دست‌آمده از خشک‌کردن کف چغندر قرمز با استفاده از مایکروویو بهینه شد. استفاده از نرم‌افزار Design Expert برای مشاهده حداکثر بازده، بتالائین و محتوای فنل کل در محدوده تعریف شده و سایر پاسخ‌ها

[۶۲]. به منظور بررسی صحت همبستگی‌ها در مدل ریاضی، از شرایط بهینه مدل در آزمون‌های تجربی استفاده شد؛ روابط (۱۶ و ۱۷).

آزمایش مناسب بودن مدل، باید برخی از نمودارهای تشخیصی و تأثیرگذار در نظر گرفته شود که بحث مفصلی در مورد این موضوعات در منابع مختلف ارائه شده است

$$(۱۶) \quad \text{مقدار تجربی} - \text{مقدار بینی پیش} \\ \text{درصد خطا} = \frac{\text{مقدار بینی پیش}}{\text{مقدار تجربی}} \times 100$$

$$(۱۷) \quad \text{خطا} = 100 - \text{صحت}$$



شکل (۳) پارامترهای بهینه برای متغیرها و مقادیر پیش‌بینی پاسخ‌ها
 Fig 3. Optimum parameters for variables and predictive values of responses

جدول (۵) صحت‌سنجی تیمار بهینه
Table 5. Validation of optimal treatment

500ppm	TPC	b*	L*	بازده	بتالائین	Power	MPC	MD		پاسخ متغیر
33/07	14/185	11.12	28.22	33	129.67	(W)400	%10	%10	مقدار واقعی	بهینه 1
34/153	14/293	11.26	28.22	32.85	130.92	400	%10	%10	مقدار بیش بینی شده	
96/82	99/24	98/75	100	100/45	99/046					صحت سنجی

مورد مقایسه قرار گرفتند. نمونه بهینه در تمامی شاخص‌های اندازه‌گیری شده بهترین عملکرد را نشان داده است. از نتایج این جدول می‌توان نتیجه گرفت که غلظت‌های بالای مالتودکستروزین و پودر کنسانتره شیر، در توان ۴۰۰ میکروویو بهترین تأثیر را بر روی نمونه بهینه داشت.

۳.۱۱ ارزیابی و مقایسه ویژگی‌های پودر نمونه بهینه و شاهد

نمونه بهینه براساس پاسخ‌ها و با استفاده از نرم‌افزار دیزاین مشخص شد. در ادامه، نمونه بهینه و شاهد براساس پارامترهایی که در (جدول ۴) مشاهده می‌کنید، از نظر رنگ، بازده، محتوای فنل کل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و بتالائین



جدول (۴) ویژگی‌های نمونه بهینه و شاهد

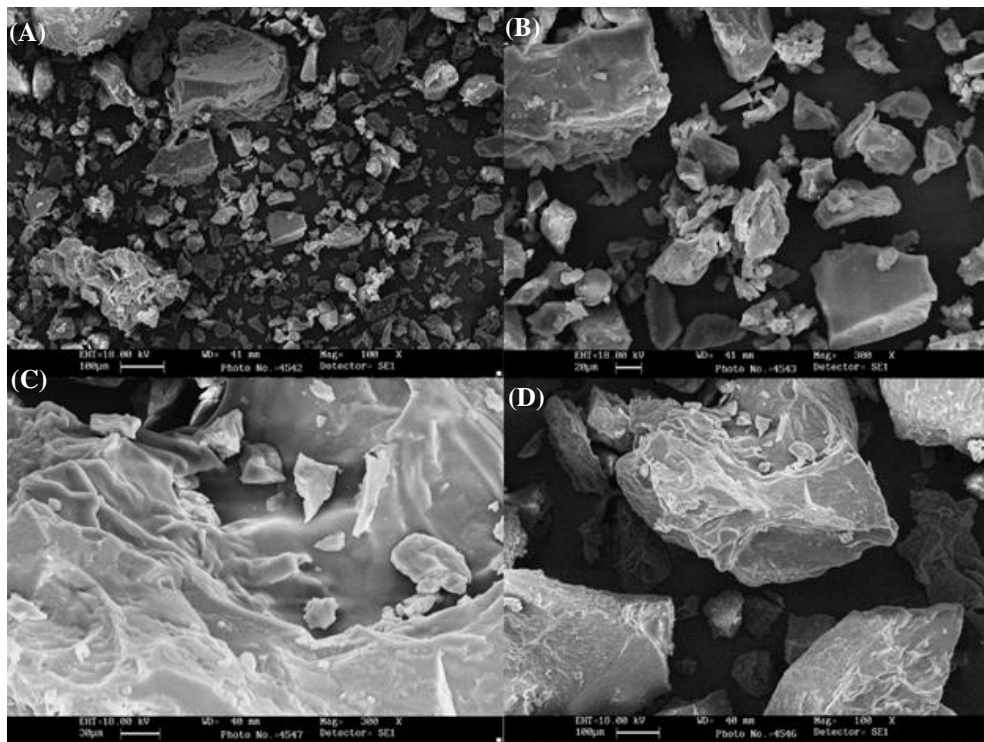
Table 4. Properties of optimal and control samples

Treatment	L*	a*	b*	BI	Chroma	Hue Angle	Betalain	Yield	Antioxidant Capacity	Total Phenol Content
Optimal Sample	28.22	6.93	11.12	67.176	13.102	58.068	129.678	33	33.07	14.185
Control Sample	10.73	-4.07	8.608	98.529	9.523	-64.667	67.65	14.24	28.864	9.28

مولکول‌های قطبی اثر می‌گذارد، تبخیر آب بهبود می‌یابد و از طریق شوک مکانیکی و متلاشی‌شدن داخلی سلول، زمان خشک‌شدن کاهش می‌یابد. تصاویر نشان می‌دهد که نمونه بهینه دارای ذرات ریزتر و سطوح صاف، نرم و پوسته‌پوسته است. سوراخ‌های پوسته‌پوسته و کوچک‌تر را می‌توان به همگنی مواد در حین خشک‌شدن مربوط کرد. در طی فرایند مایکروویو به دلیل نفوذ یکنواخت انرژی و یکنواختی تبخیر، ساختار فوم از همگنی بالاتری برخوردار است و با کاهش زمان تبخیر، ساختاری یکنواخت و پوسته‌پوسته با سطوح نرمتر به دست می‌آید. در مطالعات فرانکو و همکاران و کانها و همکاران، برای پودر آب یاکون و آنتوسیانین سبوس برنج سیاه، به ترتیب، مورفولوژی یکسانی نیز مشاهده شد [۶۳، ۶۴].

۳.۱۲ تصویربرداری ریزساختار (SEM)

به منظور بررسی تغییر ریزساختار پودر چغندر قرمز کف‌شده در طول مایکروویو و خشک‌کن هوای گرم، تصاویر SEM از نمونه‌های بهینه و شاهد توسط دستگاه SEM (مدل FEI-USA، SEM-Quanta FEG 450) گرفته شد. مقایسه دو تیمار پودر (بهینه و شاهد) (شکل ۴) نشان می‌دهد که ساختار پودر در فرایند خشک‌کردن با هوای گرم یکنواخت نبوده و در نتیجه حفره‌های بزرگ و غیریکنواختی در نمونه به دلیل آسیب قابل توجه دیواره سلولی ایجاد می‌شود. ممکن است به دلیل ادغام هوا در فوم باشد - حفره‌ها و منافذ بزرگ به دلیل خروج بخار ایجاد شده‌اند. انرژی مایکروویو همچنین می‌تواند باعث تخریب و تأثیر بر غشای سلولی و در نهایت تبخیر آب شود. در این فرایند به دلیل انرژی تولیدشده توسط مگنترون که بر روی



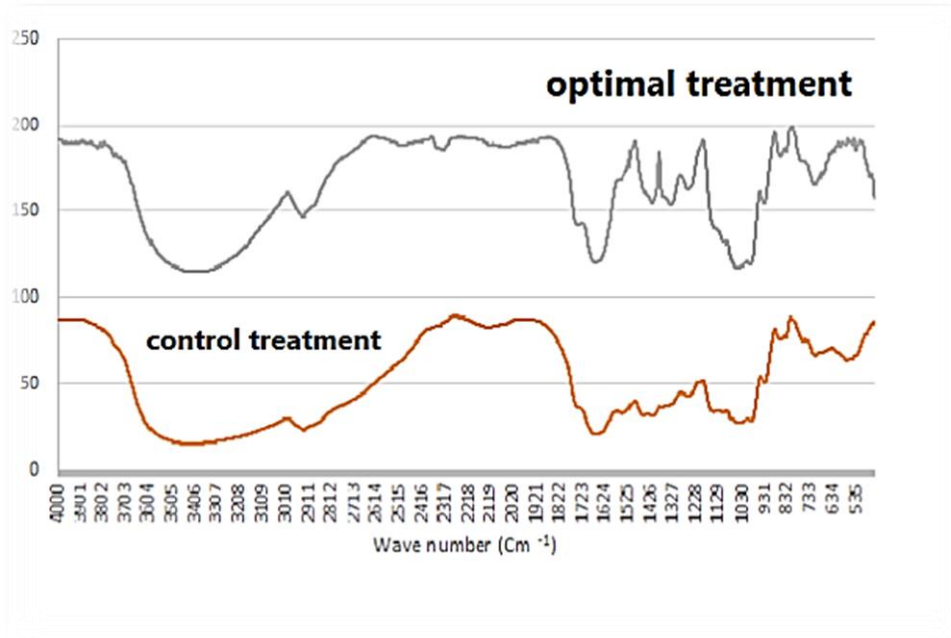
شکل (۴) مورفولوژی پودرهای چغندر قرمز خشک‌شده با کف تولیدشده در خشک‌کردن کف مایکروویو (A و B)، خشک‌کن همرفتی هوای گرم (C و D) هر میکروگراف پودرها را تحت SEM با بزرگ‌نمایی ۱۰۰ و ۳۰۰ نشان می‌دهد.

Fig 4. Powder morphology of foam mat-dried red beet root powders produced at microwave foam mat drying (A and B), hot air convection dryer (C and D) Each micrograph shows the powders under SEM at 100 and 300 magnification

و برهم‌کنش با مالتودکسترین درگیر هستند. در نمونه شاهد به‌دلیل وجود حرارت و زمان زیاد در فرایند خشک‌کردن، برهم‌کنش قند و پروتئین افزایش یافته و منجر به تشدید واکنش میلارد و تشکیل رنگ‌دانه‌های ملانوئیدین می‌شود. این پدیده منجر به کاهش تعداد گروه‌های آمید شد. این تغییرات را می‌توان در مقایسه شاخص قهوه‌ای شدن دو نمونه مشاهده کرد که مقدار این پاسخ برای نمونه شاهد بیشتر است. در مورد هر دو عامل کف‌کننده، کاهش پیک جذب آمید II (1525 cm^{-1}) و آمید III (1228 cm^{-1}) مشاهده شد. این ممکن است ناشی از تغییر ساختار ثانویه پروتئین پس از حرارت‌دادن به 70°C باشد. این برآورد، با نتایج Tomczynska و همکارانش مطابقت داشت، که تغییرات مشابهی را در ساختار ثانویه نشان دادند که ایزوله پروتئین آب پنیر در دمای 80°C تیمار شد [۶۵].

۳.۱۳ تبدیل فوریه طیف‌سنجی مادون قرمز (FT-IR)

تجزیه و تحلیل طیف FT-IR که بر روی نمونه بهینه و شاهد برای ارزیابی اثر پردازش بر ترکیب پودر انجام شد، می‌تواند از نتایج مطالعه برای ارزیابی برهم‌کنش‌های بالقوه بین پودر MD و MPC در تولید فوم و خشک‌کردن با استفاده از مایکروویو و هوای داغ حمایت کند. روش‌های خشک‌کردن، تجزیه و تحلیل طیف FTIR انجام شد. با تغییرات کم در شدت پیک و جابه‌جایی، طیف FTIR پیک جذب بهینه و کنترل شباهت‌های قابل توجهی را نشان داد (شکل ۵). پیک‌های جذب برجسته عبارت‌اند از آمید I در 1628 cm^{-1} ، آمید در 1525 cm^{-1} و آمید III در 1228 cm^{-1} و در محدوده $3000-3500 \text{ cm}^{-1}$ نوار وسیعی از طیف‌های کربونیل آزاد نشان می‌دهد که اوج گروه‌های آمید کمتر در واکنش‌های شیمیایی



شکل (۵) FT-IR نمونه بهینه و شاهد پودر چغندر قرمز خشک شده با کف پوشی
 Fig 5. FTIR spectra of optimal and control sample of foam mat dried redbeet powder

۴. نتیجه گیری

در این مطالعه، پودر چغندر قرمز تحت تأثیر (مالتودکسترین و MPC) به روش کف پوشی با استفاده از مایکروویو خشک شد. برخی ویژگی‌های فیزیکی و موفولوژی پودر چغندر قرمز به حد چشمگیری تحت تأثیر متغیرهای فرایند قرار گرفتند. افزایش MPC تأثیر مطلوبی را بر تخلخل و پایداری فوم و همچنین شاخص‌های رنگ پودر، میزان بتاگزانترین داشت. با بالا رفتن قدرت مایکروویو، بازده نیز افزایش یافت در صورتی که میزان بتالائین در کمترین غلظت‌های عوامل کفزا و توان ۴۰۰ مایکروویو مشاهده شد. با کاهش زمان تبخیر، ساختاری یکنواخت و پوسته پوسته با سطوح نرم‌تر به دست آمد. اثرات این پدیده را می‌توان در افزایش حلالیت پودر و تخلخل آن مشاهده کرد. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته و بهینه‌سازی

پارامترها، بهترین عملکرد در ۱۰٪ مالتودکسترین و ۱۰٪ MPC و توان ۴۰۰ w مایکروویو حاصل شد.

تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافی توسط نویسندگان بیان نشده است.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این نوشتار، از گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه آزاد شهرضا و دانشکده کشاورزی و صنایع غذایی دانشگاه جیرفت که امکانات لازم برای انجام این پژوهش را فراهم آوردند، تشکر و قدردانی می‌کنند.

منابع

- [1] Yahia, E.M., Maldonado Celis, M.E., & Svendsen, M. (2017). The contribution of fruit and vegetable consumption to human health. *Fruit and Vegetable Phytochemicals: Chemistry and Human Health*. (2nd Edition). p. 1-52. <https://doi.org/10.1002/9781119158042.ch1>.
- [2] Chhikara, N., Kushwaha, K., Sharma, P. Gat, Y., & Panghal, A. (2019). Bioactive compounds of beetroot and utilization in food processing industry: A critical review. *F. chemi.*, 272: p. 192-200. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.022>.
- [3] Akan, S., Tuna Gunes, N., & Erkan, M. (2021). Red beetroot: Health benefits, production techniques, and quality maintaining for food industry. *J. of F. Proce. & Preser.*, 45(10): p. e15781. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15781>.
- [4] Seremet, L., Nistor, OV., Andronoiu, DG., & Mocanu, GD. (2020). Development of several hybrid drying methods used to obtain red beetroot powder. *F. chemi.*, 310: p. 125637 <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125637>.
- [5] Ng, M.L., & Sulaiman, R. (2018). Development of beetroot (*Beta vulgaris*) powder using foam mat drying. *Lwt.*, 88: p. 80-86. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.08.032>.
- [6] Sucu, C., & Turp, G.Y. (2018). The investigation of the use of beetroot powder in Turkish fermented beef sausage (sucuk) as nitrite alternative. *Meat Science.*, 140: p. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.03.012> . 166-158.
- [7] Caliskan, G., & Dirim, S.N. (2016). The effect of different drying processes and the amounts of maltodextrin addition on the powder properties of sumac extract powders. *Powder technology.*, 287: p. 308-314 <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2015.10.019>.
- [8] Hosseini, S.K. (2021). Preparation of barberry powder produced by foam mat method and the effect of dryer temperature on its properties. *Inno. F. Tech.*, 8(2): p. 253-272. [In persian]
- [9] Wilson, R.A., Kadam, DM., Chadha, S., Grewal, MK., & Sharma, M. (2014). Evaluation of Physical and Chemical Properties of Foam-Mat Dried Mango (*M angifera indica*) Powder during Storage. *J. of F. Proces & Preser.*, 38(4): p. 1866-1874. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12158>.
- [10] Malik, M., & Sharma, A. (2019). Optimisation of foam-mat drying of yoghurt and properties of powdered yoghurt. *Inter. J. of Dairy Techno*, 72(3): p. 381-387. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12594>.
- [11] Yüksel, A.N. (2021). Development of yoghurt powder using microwave-assisted foam-mat drying. *J. of F. Sc.i & Techno.*, 58(7): p. 2834-2841. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05035-2>.
- [12] Gã¼h, Ã., & Yã¼ksel, A.N. (2020). THE FAOM-MAT CONVECTIVE AND MICROWAVE DRIED AVOCADO POWDER: PHYSICAL, FUNCTIONAL, AND POWDER PROPERTIES: FOAM-MAT CONVECTIVE AND MICROWAVE DRIED AVOCADO POWDER. *Latin American Applied Research-An international journal*. 50(4) :p. 291-297. <https://doi.org/10.52292/j.laar.2020.486>.
- [13] Çalıřkan Koç, G., Yüksel, AN., & Bař, E., & Erdoęan, SL. (2020). *J of F Pro Eng.*, 43(11): p. e13516 <https://doi.org/10.1111/jfpe.13516>.
- [14] Shameena Beegum, P., Manikantan, MR., Anju, KB., Vinija, V., Pandiselvam, R., & Jayashekhar., S. (2022). Foam mat drying technique in coconut milk: Effect of additives on foaming and powder properties and its economic analysis. *J. of F. Proce. & Preser.*, 46(11): p. e17122. <https://doi.org/10.1111/jfpp.17122>.
- [15] Ali-Haïmoud, Y. & Kamionkowski., M. (2017). Cosmic microwave background limits on accreting primordial black holes. *Physical Review D.*, 95(4): p. 043534. <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.95.043534>.
- [16] Gye, M.C. & Park., C.J. (2012). Effect of electromagnetic field exposure on the reproductive system. *Clinical and experimental reproductive medicine.*, 39(1): p. 1. <https://doi.org/10.5653%2Fcerm.2012.39.1.1>.
- [17] Norambuena-Contreras, J. & Gonzalez-Torre., I. (2017). Influence of the microwave heating time on the self-healing properties of asphalt mixtures. *Applied Sciences.*, 7(10): p. 176. <https://doi.org/10.3390/app7101076>
- [18] Yüksel, A.N. (2020). MODELING FOAM-MAT DRYING CHARACTERISTICS OF BANANA UNDER MICROWAVE CONDITIONS. *Gıda.*, 45(6): p. 1134-1142. <https://doi.org/10.15237/gıda.GD20088>.
- [19] Sun, Y., Zhang, Y., Xu, W., & Zheng., X. (2020). Analysis of the anthocyanin degradation in blue honeysuckle berry under microwave assisted foam-mat drying. *Foods.*, 9(4): p. 397 <https://doi.org/10.3390/foods9040397>.

- [20] Benković, M., Pižeta, M., Tušek, A.J., Jurina, T., & Kljusurić, J.G. (2019). Optimization of the foam mat drying process for production of cocoa powder enriched with peppermint extract. *LWT*, 115: p. 108440. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108440>.
- [21] Dehghannya, J., Pourahmad, M., & Ghanbarzadeh, B. (2019). Heat and mass transfer enhancement during foam-mat drying process of lime juice: Impact of convective hot air temperature. *Inter. J. of Ther. Sci.*, 135: p. 30-43. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2018.07.023>. [In persion]
- [22] Franco, T.S., Perussello CA., & Ellendersen, L.N. (2016). Effects of foam mat drying on physicochemical and microstructural properties of yacon juice powder. *LWT-F. Sci & Techno.*, 66: p. 503-513. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.11.009>.
- [23] Najafian, N., Aarabi, A., & Nezamzadeh-Ejehieh, A. (2022). Evaluation of physicochemical properties of gluten-based film incorporated with Persian gum and Guar gum. *Inter. J. of Bio. Macro.*, 223: p. 1257-1267 <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.11.056>. [In persion]
- [24] Qadri, O.S., & Srivastava, A.K. (2017). Microwave-assisted foam mat drying of guava pulp: Drying kinetics and effect on quality attributes. *J. of pro. engi.*, 40(1) : p. e12295. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12295>.
- [25] Sanchez-Gonzalez, N., & Jaime-Fonseca, MR. (2013). Extraction, stability, and separation of betalains from *Opuntia joconostle* cv. using response surface methodology. *J. of Agri. & f. Chemi.*, 61(49): p. 11995-12004. <https://doi.org/10.1021/jf401705h>.
- [26] Damiadi, S., Ifie, I., Luna, P., Ho, P., & Murray, BS. (2020). Foam-mat freeze-drying of blueberry juice by using trehalose- β -lactoglobulin and trehalose-bovine serum albumin as matrices. *F & Bio Tech.*, 13: p. 988-997. <https://doi.org/10.1007/s11947-020-02445-6>.
- [27] Ifie, I., Marshall, L.J., & Ho, P (2016). Hibiscus sabdariffa (Roselle) extracts and wine :Phytochemical profile, physicochemical properties, and carbohydrase inhibition. *J. of agri & f. chemi.*, 64(24): p. 4921-4931. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b01246>.
- [28] Haji Ali Asghari, M. & Sharifi, A. (2022). Effect of carrier agents on physicochemical properties of foam-mat freeze-dried *Echium amoenum* powder. *Inno F Tech.*, 9(2): p. 149-165 <https://doi.org/10.22104/jift.2021.5253.2073>. [In persion]
- [29] Seerangurayar, T., & Manickavasagan, A. (2018). Effect of carrier agents on physicochemical properties of foam-mat freeze-dried date powder. *Drying Technology.*, 36(11): p. 1292-1303. <https://doi.org/10.1080/07373937.2017.1400557>.
- [30] Abd El-Salam, E.A. & Morsy, N.F. (2019). Optimization of the extraction of polyphenols and antioxidant activity from *Malva parviflora* L. leaves using Box–Behnken design. *Pre. Bioch. & Biotech.*, 49(9): p. 876-883. <https://doi.org/10.1080/10826068.2019.1633667>.
- [31] Caparino, O., Tang, J., Nindo, C.I., & Sablani, S.S. (2012). Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine 'Carabao' var.) powder. *J & f Eng.*, 111(1): p. 135-148. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.01.010>.
- [32] Chaux-Gutiérrez, A.M., Santos, AB., Granda-Restrepo, DM., & Mauro, MA. (2017). Foam mat drying of mango: Effect of processing parameters on the drying kinetic and product quality. *Drying Technology.*, 35(5): p. 631-641. <https://doi.org/10.1080/07373937.2016.1201486>.
- [33] Hamzeh, S., Motamedzadegan, A., Shahidi, SA., Ahmadi, M., & Regenstein, JM. (2019). Effects of drying condition on physico-chemical properties of foam-mat dried shrimp powder. *J. of Aquatic F. Pro. Techno.*, 28(7): p. 794-805. <https://doi.org/10.1080/10498850.2019.1640817>. [In persion]
- [34] Khashayary, S. & Aarabi, A. (2021). Evaluation of physico-mechanical and antifungal properties of gluten-based film incorporated with vanillin, salicylic acid, and montmorillonite (Cloisite 15A). *F. & Bio Techno.*, 14(4): p. 665-678. <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02598-y>. [In pertion]
- [35] 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. *F. & bio. techno.*, 8, 2012-2026.
- [36] Abbasi, E. & Azizpour, M. (2016). Evaluation of physicochemical properties of foam mat dried sour cherry powder. *LWT-F. Sci. & Techno.*, 68: p. 105-110 <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.12.004>. [In persion]

- [37] Azizpour, M., Mohebbi, M. & Khodaparast M.H.H. (2016). Effects of foam-mat drying temperature on physico-chemical and microstructural properties of shrimp powder. *Inno. f. sci. & emer. tech.*, 34: p. 122-126. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.01.002>. [In persian]
- [38] Sharada, S. (2013). Studies on effect of various operating parameters & foaming agents-Drying of fruits and vegetables. *Inter.l J. of Modern En. Research*, 3(3), 1512-1519.
- [39] Schaczenski, J., & Michels, H. (2010). National Sustainable Agriculture Information Service.
- [40] Xiong, X., Ho, MT., Bhandari, B., & Bansal, N. (2020). Foaming properties of milk protein dispersions at different protein content and casein to whey protein ratios. *Inter. Dairy J.*, 109: p. 104758 <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104758>.
- [41] Marinova, K. G., Basheva, E. S., Nenova, B., Temelska, M., Mirarefi, A. Y., Campbell, B., & Ivanov, I. B. (2009). Physico-chemical factors controlling the foamability and foam stability of milk proteins: Sodium caseinate and whey protein concentrates. *Food Hydrocolloids*, 23(7), 1864-1876.
- [42] Shaari, N.A., Sulaiman, R., Rahman, RA., & Bakar, J. (2018). Production of pineapple fruit (*Ananas comosus*) powder using foam mat drying: Effect of whipping time and egg albumen concentration. *J. of F. pro & Pres.*, 42(2): p. e13467. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13467>.
- [43] Gengatharan, A., Dykes, G.A. & Choo, W.S. (2015). Betalains: Natural plant pigments with potential application in functional foods. *LWT-F. Sci & Techno.*, (2)64 :p. 645-649. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.06.052>.
- [44] Slavov, A., Karagyozev, V., Denev, P., Kratchanova, M., & Kratchanov, C. (2013). Antioxidant activity of red beet juices obtained after microwave and thermal pretreatments. *Czech J. of F. Sci.*, 31(2): p. 139-147. <https://doi.org/10.17221/61/2012-CJFS>.
- [45] Ravichandran, K., Saw, NMMT., Mohdaly, AAA. (2013). Impact of processing of red beet on betalain content and antioxidant activity. *F. res. inter.*, 50(2): p. 670-675. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.07.002>.
- [46] Shofinita, D., Fawwaz, M., & Achmadi, A.B. (2023). Betalain extracts: Drying techniques, encapsulation, and application in food industry. *Food Frontiers.*, <https://doi.org/10.1002/fft2.227>.
- [47] Dehghannya, J., Pourahmad, M., & Ghanbarzadeh, B. (2018). Heat and mass transfer modeling during foam-mat drying of lime juice as affected by different ovalbumin concentrations. *J. of F. Eng.*, 238: p. 164-177 <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.06.014>. [In persian].
- [48] Alami, M., Shirmohammadi, M., Maqsoodlou, Y., & Khameri, M. (2022). The effect of spray drying conditions on the physical, functional and production efficiency of our water powder. *In. in f. sci & techno.*, 14(2): p. 93-108. <https://doi.org/10.30495/jfst.2020.1867058.1509>[In Persian].
- [49] Anandharamakrishnan, C., Rielly, C., & Stapley, A. (2007). Effects of process variables on the denaturation of whey proteins during spray drying. *Drying technology.*, 25(5): p. 799-807. <https://doi.org/10.1080/07373930701370175>.
- [50] Anandharamakrishnan, C., Rielly, C.D., & Stapley, A.G. (2008). Loss of solubility of α -lactalbumin and β -lactoglobulin during the spray drying of whey proteins. *LWT-F. Sci & Tech.*, 41(2): p. 270-277. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.03.004>.
- [51] Piegambar Doost, S.H., & Sarabandi, KH. (2017). Effect of spray drying conditions on physicochemical, functional and production efficiency of malt extract powder. *F. Ind. Res.*, 27(2): p. 75-90.[In Persian].
- [52] Elshiemy, S., Soliman, IA., Abdelaleem, MA., & Elbassiony, KRA. (2019). Antioxidant and Antibacterial Activity of Gamma Irradiated Red Beet (*Beta Vulgaris* L.) Leaves and Roots. *J. of Nuclear Tech. in appl. sci.*, 7: p. 33-50. <https://www.researchgate.net/publication/330181081>.
- [53] Dias, R., Oliveira, H., Fernandes, I., Simal-Gandara, J., & Perez-Gregorio, R. (2021). Recent advances in extracting phenolic compounds from food and their use in disease prevention and as cosmetics. *Critical Revi. in f. sci. and nutr.*, 61(7): p. 1130-1151. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1754162>.
- [54] Zeb, A. (2020). Concept, mechanism, and applications of phenolic antioxidants in foods. *J. F. Bio.*, 44(9): p. e13394. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13394>.
- [55] Ghanem, N., Mihoubi, D., & Kechaou, N. (2012). Microwave dehydration of three citrus peel cultivars: Effect on water and oil retention capacities, color, shrinkage and total phenols content. *Indu. Cro. & Pro.*, 40: p. 167-177. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.03.009>. [In persian]

- [56] Behgar, M., Ghasemi, S., Naserian, A., & Borzoie, A. (2011). Gamma radiation effects on phenolics, antioxidants activity and in vitro digestion of pistachio (*Pistachia vera*) hull. *Radi. Physics & Chem.*, 80(9): p. 963-967. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2011.04.016>. [In persian]
- [57] Kumari, N., Kumar, P., Mitra, D., Prasad, B., Tiwary, B.N., & Varshney, L. (2009). Effects of ionizing radiation on microbial decontamination, phenolic contents, and antioxidant properties of triphala. *J. of f. sci.*, 74(3): p. M109-M113. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01079.x>.
- [58] Brar, A.S., Kaur, P., Kaur, G., & Subramanian, J. (2020). Optimization of process parameters for foam-mat drying of peaches. *Inter. j. of fruit sci.*, 20(sup3): p. S1495-S1518 <https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1812017>.
- [59] Garau, M.C., Simal, S., Rossello, C., & Femenia, A. (2007). Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties of dietary fibre and antioxidant capacity of orange (*Citrus aurantium v. Canoneta*) by-products. *Food chemistry.*, 104(3): p. 1014-1024. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.04.066>.
- [60] Özcan, M.M., Al Juhaimi, F., Ahmed, I.A.M., Uslu, N., Babiker, E.E., & Ghafoor, K. (2020). Effect of microwave and oven drying processes on antioxidant activity, total phenol and phenolic compounds of kiwi and pepino fruits. *J. f. of sci & techno.*, 57: p. 233-242 <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04052-6>.
- [61] Ozcan-Sinir, G., Ozkan-Karabacak, A., Tamer, C.E., & Copur, O.U. (2018) The effect of hot air, vacuum and microwave drying on drying characteristics, rehydration capacity, color, total phenolic content and antioxidant capacity of Kumquat (*Citrus japonica*). *F. Sci. & Techno.*, 39: p. 475-484. <https://doi.org/10.1590/fst.34417>.
- [62] Azizpour, M., Mohebbi, M., Hossein Haddad Khodaparast, M., & Varidi, M. (2014). Optimization of foaming parameters and investigating the effects of drying temperature on the foam-mat drying of shrimp (*Penaeus indicus*). *Drying Technology.*, 32(4): p. 374-384 <https://doi.org/10.1080/07373937.2013.794829>. [In persian].
- [63] 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. *F & bio techno.*, 8: p. 2012-2026. DOI 10.1007/s11947-015-1553-5.
- [64] Kanha, N., Regenstein, J.M. & Laokuldilok, T. (2022). Optimization of process parameters for foam mat drying of black rice bran anthocyanin and comparison with spray-and freeze-dried powders. *Drying Technology.*, 40(3): p. 581-594. <https://doi.org/10.1080/07373937.2020.1819824>.
- [65] Tomczyńska-Mleko, M., Kamysz, E., Sikorska, E., Puchalski, C., Mleko, S., Ozimek, L., & Kowaluk, G. (2014). Changes of secondary structure and surface tension of whey protein isolate dispersions upon pH and temperature. *Czech J. of F. Sci.*, 32(1): p. 82-89 <https://doi.org/10.17221/326/2012-CJFS>.