

Journal Pre-proofs

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

Omidi, Sh.¹, Arabi Jeshvghani, A.^{2*}, Zaki Dizji, H³, Shahdadi, F⁴

DOI: <https://doi.org/10.22104/IFT.2024.6679.2165>

To appear in: Innovative Food Technologies (IFT)

Received Date: 14 January 2024

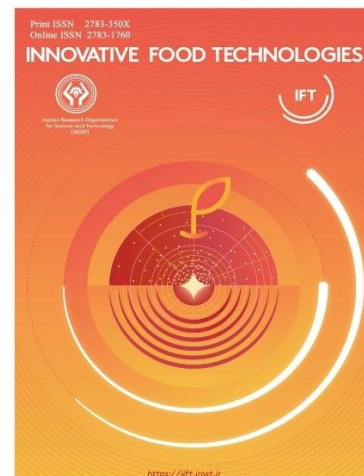
Revised Date: 3 February 2024

Accepted Date: 12 February 2024

Please cite this article as: Omidi, Sh¹, Arabi Jeshvghani, A.^{2*}, Zaki Dizji, H³, Shahdadi, F⁴, Producing beetroot powder by using foaming agent maltodextrin and milk protein concentrate in foam mat-microwave drying method, *Innovative Food Technologies* (2023), doi: <https://doi.org/10.22104/IFT.2024.6679.2165>

This is a PDF file of an article that has undergone enhancements after acceptance, such as the addition of a cover page and metadata, and formatting for readability, but it is not yet the definitive version of record. This version will undergo additional copyediting, typesetting and review before it is published in its final form, but we are providing this version to give early visibility of the article. Please note that, during the production process, errors may be discovered which could affect the content, and all legal disclaimers that apply to the journal pertain.

© 2023 The Author(s). Published by irost.org.



تولید پودر چغندر لبویی با استفاده از عوامل کف کننده مالتودکسترین و کنسانتره پروتئین شیر با روش خشک کردن کف پوشی در مایکروویو

شیرا امید¹، اعظم اعرابی جشوقانی^{2*}، حسن ذکی دیزجی³، فاطمه شهدادی⁴

1. گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرضا، شهرضا، ایران
2. گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، نجف آباد، ایران
3. گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
4. گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران

چکیده

در این تحقیق، برخی ویژگی‌های کیفی، عملکردی و حسی پودر چغندر لبویی به روش خشک کردن کف پوشی با مایکروویو مورد بررسی قرار گرفت. اثر سه متغیر مستقل غلظت مالتودکسترین (MD) و غلظت کنسانتره پروتئین شیر (MPC) به عنوان ماده کف زا در محدوده غلظت (0 تا 10 درصد) و شدت توان مایکروویو در محدوده (400-800) وات بر برخی ویژگی‌های فیزیکی فوم و پودر شامل پایداری، رنگ، تخلخل، میزان رطوبت، بازده، ترکیبات فنولی، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، بتالائین کل تعیین شدند. شرایط بهینه فرآیند 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 $L^*(12/21-21/482)$ و $b^*(4/753-10/44)$ متغیر بود. اما پارامتر تخلخل توده، روند کاهشی داشت ($P \leq 0.05$). مالتو دکسترین بر روی پایداری فوم بی اثر 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 رقت های 500 ppm با افزایش غلظت مالتو دکسترین کاهش و با افزایش غلظت MPC افزایش یافت ($P \leq 0.05$). اثر متغیرها بر بتالائین معنادار بود. محدوده تغییرات آن 217/676-86/333 بود. محتوای رطوبت در این ارزیابی رفتار معناداری از خود نشان نداد. بررسی نتایج نشان داد پودر دارای 10 درصد مالتودکسترین و 10 درصد MPC در توان 400 وات مایکروویو را می‌توان بعنوان نمونه بهینه معرفی نمود. تصاویر SEM نشان داد که نمونه بهینه دارای ذرات ریزتر و سطوح صاف، نرم تر و پوسته پوسته است. طیف FTIR از تیمار بهینه و کنترل شباهت های قابل توجهی نشان داد. تشدید و جابه‌جایی برخی پیک‌های جذبی الگوی طیف FTIR بر هم‌کنش گروه‌های عاملی آمید و کربونیل در نمونه کنترل را تأیید کرد، به طوری که کاهش تعداد گروه‌های آمیدی در نمونه شاهد بیشتر بود.

واژگان کلیدی: پودر چغندر لبویی، کنسانتره پروتئین شیر، مالتودکسترین، کف پوشی، مایکروویو.

میوه ها، سبزی ها و خشکبار نقش بسیار مهمی در تغذیه انسان ایفا کرده و تاثیر بسزایی در کاهش انواع سرطان ها، بیماری های قلبی و بسیاری از بیماری های مزمن دارند. ترکیبات فیتوشیمیایی به عنوان جزئی از اجزای میوه ها و سبزی ها، به عنوان آنتی اکسیدان قوی عمل نموده و قادر به تغییر فعالیت های متابولیکی و سم زدایی از مواد سرطان زا و یا حتی تغییر سلول های سرطانی می باشند [1]

چغندر قرمز با نام علمی (*Beta vulgaris L.*) به دلیل محتوای بالای ترکیبات فعال زیستی شامل بتالین ها، اسید آسکوربیک، کاروتنوئیدها، پلی فنول ها، فلاونوئیدها و ساپونین ها یکی از با ارزش ترین سبزیجات است [2]. مطالعات نشان داده است که مصرف چغندر قرمز سلامت قلب و عروق را افزایش، فشار خون سیستولیک روزانه را کاهش و عملکرد دویدن را بهبود می بخشد [3].

میوه ها و سبزی ها بدلیل محتوای آب زیاد و وجود ترکیبات مغذی در آنها فسادپذیر هستند و مدت زمان نگهداری آنها محدود است، بنابراین برای حفظ و نگهداری آنها لازم است که به محصولات پایدارتر تبدیل شده و زمان ذخیره سازی افزایش و ضایعات پس از برداشت کاهش یابد [4].

یکی از با ارزش ترین محصولات حاصل از چغندر قرمز پودر آن است که می تواند یک جزء مهم در نوشیدنی های فوری برای ورزشکاران، تقویت کننده رنگ طبیعی برای محصولات غذایی [5] یا جایگزین نیتريت در محصولات گوشتی باشد [6].

روش خشک کردن کفپوشی¹ روشی جدید است که نسبت به روش سنتی خشک کردن با هوای گرم در زمان کوتاهتر و سریع تر صورت می گیرد. این روش برای خشک کردن مواد غذایی مایع یا نیمه سیال مانند آب میوه و پوره میوه یا سبزی ها استفاده می شود. روش کفپوشی شامل دو مرحله تشکیل کف و خشک کردن آن است. علاوه بر این، فرآیند آسیاب محصول خشک را می توان به عنوان مرحله سوم عنوان کرد. در مرحله اول، کف با روش های همزدن، مخلوط کردن شدید یا روش تزریق گاز با افزودن یک تثبیت کننده کف و یا عامل کف کننده به مواد غذایی مایع یا نیمه مایع ایجاد می شود. در مرحله دوم، کف یا فوم با استفاده از روش های میکروویو، فر، سینی یا انجماد خشک می شود. در طول خشک شدن، رطوبت از کانال های موجود در فوم خارج می شود [7]. این روش برای خشک کردن زرشک [8]، انبه [9]، ماست [10، 11]، آووکادو [12]، تارو [13] و شیر نارگیل [14] استفاده شده است. گرمایش میکروویو شکلی از گرمایش دی الکتریک را نشان می دهد که بوسیله آن تولید گرما در مواد با رسانایی الکتریکی پایین توسط یک میدان الکتریکی با فرکانس بالا امکان پذیر است [4]. در صورتی که استفاده از انرژی میکروویو در فرآیند خشک کردن به طور مناسب صورت نگیرد، این روش منجر به تولید محصولات با کیفیت پایین خواهد شد [15] به طور مثال، استفاده از توان های بالای میکروویو در خشک کردن مواد غذایی باعث افزایش قابل توجه در سرعت انتقال جرم شده و به موجب آن آسیب های کیفی از جمله تغییرات نامطلوب در بافت محصول حاصل می گردد. همچنین، پخش غیریکنواخت میدان الکترومغناطیسی در داخل آن میکروویو سبب گرمایش غیریکنواخت محصول و ایجاد نقاط داغ بر روی آن می شود. این مشکل می تواند از طریق بکارگیری هدایت کننده موج و استفاده از سینی چرخان برطرف گردد [16]. گرمایش میکروویو مزایای قابل توجهی نسبت به گرمایش معمولی دارد، از جمله کاهش زمان گرمایش، گرمایش یکنواخت، کاهش افت کیفیت، عدم انتقال مواد حل شده در مواد غذایی، تجهیزات متنوع، ساده و جمع و جور و صرفه جویی 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 می کند. گرمایش میکروویو را می توان برای عملیات مختلف فرایند مواد غذایی، از جمله خشک کردن، پخت، بو دادن، بلانچ، پاستوریزاسیون اعمال کرد [17].

¹.Foam mat

خشک کردن با مایکروویو باعث پخش همگن گرما شده و امکان خشک شدن سریعتر را فراهم می کند که این موضوع باعث صرفه جویی در انرژی و کاهش زمان و هزینه خشک شدن می گردد [18]. خشک کردن کف پوشی با کمک مایکروویو (MFD) برای تولید پودر میوه های دارای رطوبت زیاد، ویسکوزیته بالا و حساس به حرارت مناسب است [19, 20].

هدف از انجام این تحقیق، تولید پودر چغندر لبویی با روش فوم مت به منظور بهبود ارزش تغذیه ای و افزایش زمان ماندگاری است. در این راستا، تاثیر غلظت های مختلف عوامل کف زا (MPC، MD) در توان های متفاوت مایکروویو (400، 600، 800) بر روی برخی ویژگیهای فیزیکی پودرهای تولید شده بررسی شد.

2- مواد و روش ها

مواد مورد استفاده در این تحقیق شامل پودر کنسانتره شیر از شرکت پگاه اصفهان، مالتودکسترین (MD) (DE=20) از شرکت گل شهد اصفهان، چغندر قرمز (*Beta vulgaris L*) از بازار محلی شهرستان جیرفت، معرف Folin-Ciocalteu (شرکت مرک، آلمان)، متانول، اتانول، تولون (Merck، آلمان)، کربنات سدیم (Merck، دارمشتات، آلمان)، اسید گالیک (Sigma-Aldrich، ایالات متحده آمریکا) و 2،2-دی فنیل-1-پیکریلیدرازیل سیگما آلدريج، ایالات متحده) خریداری شد.

2-1- تهیه و خشک کردن فوم چغندر قرمز

برای این منظور چغندر قرمز شسته و پوست گرفته به مکعب های کوچک خرد شد. 15 تیمار توسط نرم افزار Design Expert (نسخه 11)، با سطوح (0 تا 10 درصد وزنی / وزنی) مالتودکسترین (X_1) (MD) و (0-10 درصد وزنی/وزنی) کنسانتره پروتئین شیر (X_2) (MPC) برای به دست آوردن ساختار فوم تعیین شد جدول (1). 200 گرم چغندر قرمز خرد شده به مخلوط مالتودکسترین، MPC و آب اضافه شده و در میکسر (Panasonic: MJ-N376 D-100w) با سرعت 200 دور بر دقیقه و به مدت 10 دقیقه مخلوط گردید تا فوم تشکیل شود. فوم چغندر به ضخامت 1 سانتی متر در ظرف شیشه ای به قطر 20 سانتی متر ریخته و در مایکروویو در شدت توان (X_3) 400-800 وات خشک شد. پودر چغندر قرمز خشک شده با استفاده از آسیاب آزمایشگاهی (از شرکت پوما ژاپن) آسیاب شد. پودر در کیسه های پلی اتیلن زیپدار بسته بندی شد به عنوان BC برچسب گذاری شد و برای تجزیه و تحلیل بیشتر در یخچال نگهداری گردید (شکل 1). به منظور بررسی اثر مایکروویو نسبت به هوای داغ، تیماری که در شرایط بهینه تعریف شده بود با همان غلظت مالتودکسترین (10%)، MPC (10%) و توان مایکروویو (400 وات) در دمای 70 درجه سانتیگراد در آون با هوای داغ به مدت 2 ساعت خشک و بعنوان نمونه کنترل در نظر گرفته شد.

جدول (1)

Table(1)

2-2. ارزیابی خواص فوم چغندر لبویی قرمز

2-2-1- پایداری فوم

حجم آب خارج شده با قراردادن 50 میلی لیتر فوم در فیلتر بوخنر با قطر 90 میلی متر (پوشانده شده با فیلتر کاغذی) و سپس قرار دادن فیلتر روی استوانه مدرج به مدت 120 دقیقه در دمای محیط اندازه گیری و سپس پایداری فیزیکی فوم با استفاده از رابطه (1) تعیین شد [21]:

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

که در آن، V_{foam} حجم فوم که به صورت تفاوت بین حجم اولیه فوم و حجم مایع چکیده شده (میلی لیتر) و V_{foam} حجم اولیه فوم (میلی لیتر) می باشد. برای رسیدن به حجم اولیه 50 میلی لیتر از فوم، دانسیته فوم در مقدار 50 میلی لیتر ضرب شده و وزن مورد نیاز برای رسیدن به حجم 50 میلی لیتر توزین شد.

2-2-2- تخلخل فوم

تخلخل فوم با استفاده از رابطه (2) به دست آمد [22, 21]:

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

که در آن، ρ_f دانسیته فوم (گرم بر سانتی متر مکعب) و ρ_l دانسیته چغندر (گرم بر سانتی متر مکعب) می باشد. دانسیته چغندر با اندازه گیری وزن آن در حجم 100 میلی لیتر از استوانه مدرج بدست آمد.

2-2-3- اندازه گیری رنگ فوم

فوم تولیدی چغندر لبویی را برای تصویربرداری در پلیت ریخته و با یک رنگ سنج (TES-135A COLOR METER، تایوان) پارامترها رنگ شامل میزان روشنایی یا L^* از سیاه (0) تا سفید (100)، 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 [23].

2-3- ارزیابی خصوصیات پودر چغندر لبویی قرمز

2-3-1- اندازه گیری رطوبت

میزان رطوبت با توزین 2 گرم پودر چغندر و قرار دادن آن در آون با هوای گرم 70 درجه سانتی گراد تعیین شد. خشک کردن تا زمانی که کاهش وزن به سختی قابل توجه بود (در فواصل 2 ساعته) انجام گرفت. میزان رطوبت بر اساس رابطه (3) محاسبه شد [24, 21].

$$\text{Moistur content (\%)} = \frac{W_m}{W_d} \times 100 \quad (3)$$

2-3-2- اندازه گیری محتوای بتالائین

برای استخراج بتالائین از روش استخراج جامد-مایع با استخراج اتانولی (50 درصد اتیل الکل) استفاده گردید. یک گرم نمونه پودر خشک شده در 10 میلی لیتر اتانل 50 درصد حل گردید و به مدت 30 دقیقه جوشانده شد. سپس در یک ظرف سربسته در دمای محیط توسط شیکر الکترونیکی همزده و پس از فیلتراسیون عصاره از ماده جامد جدا شد، رنگدانه کل با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج های 535 و 476 نانومتر به ترتیب برای رنگدانه بتاسیانین و بتاگزانتین اندازه گیری و طبق رابطه (4) محاسبه شد. غلظت رنگدانه در عصاره چغندر قرمز از مجموع این دو رنگدانه بدست آمد [25].

$$BC \left(\frac{mg}{l} \right) = \left[(A \times DF \times MW \times 1000 / e \times I) \right] \quad (4)$$

در این رابطه A جذب، DF فاکتور رقیق سازی، I طول سل (4/5 سانتیمتر)، MW وزن مولکولی و e ضریب خاموشی (وزن مولکولی بتاسیانین و بتاگزانتین به ترتیب 339 و 550 گرم بر مول و ضریب خاموشی نیز 60000 و 48000 اعمال شد).

2-3-3- بازده

بازده محصول به عنوان نسبت جرم پودر جامد به دست آمده در پایان خشک کردن انجمادی به جرم اولیه محاسبه شد [26].

$$\text{بازده (\%)} = 100 \times \left(\frac{\text{Solids in powder}}{\text{total solid in foam or feeds solution}} \right) \quad (5)$$

2-3-4- تعیین محتوای کل فنول

محتوای کل فنلی (TPC) در پودرهای چغندر لبویی با استفاده از روش فولین سیوکالتو تعیین شد [27]. برای این منظور، میزان 20 میکرولیتر از عصاره تهیه شده با 1/16 میلی لیتر آب مقطر و 100 میکرولیتر معرف فولین به محلول فوق اضافه شد. پس از 5 دقیقه، 300 میکرولیتر محلول کربنات سدیم 20 درصد اضافه و نمونه همزده و به مدت 30 دقیقه در حمام آبجوش 40 درجه سانتیگراد قرار گرفت. سپس جذب نمونه ها با دستگاه اسپکتوفتومتر فرابنفش-مرئی در طول موج 760 نانومتر خوانده شد. منحنی اسید گالیک با غلظت های مختلف اسید گالیک رسم شد. نتایج برحسب میلی گرم اسید گالیک در گرم نمونه خشک محاسبه گردید [28, 29].

2-3-5- اندازه گیری مهار رادیکال آزاد

اساس عمل این روش کاهش محلول الکی DPPH در حضور آنتی اکسیدان های دهنده هیدروژن مخصوصا ترکیبات فنولی می باشد. برای دستیابی درصد حذف رادیکال آزاد نمونه ها، غلظت 500 پی پی ام از نمونه ها تهیه شد. 3 سی سی از آن با 1 سی سی از محلول DPPH (0/1 میلی مولار) مخلوط و 20 دقیقه در جای تاریک قرار گرفت. سپس جذب در طول موج 517 نانومتر خوانده و درصد مهار رادیکال آزاد DPPH مطابق رابطه (6) تعیین شد [30].

$$\text{DPPH مهار درصد} = \left(\frac{A_{dpph} - A_{sample}}{A_{dpph}} \right) \times 100 \quad (6)$$

2-3-6- آنالیز ویژگی های ریزساختاری و مورفولوژی ذرات پودر

بررسی ویژگی های ریزساختاری ذرات پودر چغندر لبویی به وسیله گرفتن تصاویر از طریق میکروسکوپ الکترونی روبشی (Model SEM-Quanta FEG 450, FEI-USA) انجام شد. ابتدا نمونه ها به صورت مجزا با استفاده از نوار چسب های دوسویه بر روی صفحه های آلومینیومی قرار گرفتند. سپس، عمل روکش دهی ذرات پودر با استفاده از لایه نازکی از طلا [31, 32] انجام گرفت. در نهایت نمونه های پوشش داده شده به دستگاه میکروسکوپ الکترونی نشر میدانی منتقل شده و ساختار سطحی ذرات پودر چغندر مورد بررسی قرار گرفت. از نمونه ها در ولتاژ 20 کیلووات و با بزرگنمایی 600 عکس برداری شد.

2-3-7- طیف سنجی FTIR

گروه های عاملی اجزای پودر با استفاده از طیف سنجی FT-IR مشاهده شدند و تخریب بالقوه آنها در طول فرآیندهای خشک کردن بررسی شد. برای این تجزیه و تحلیل، گلوله‌های حاوی پودر چغندر قرمز و برومید پتاسیم (1:50 w/w) تهیه و در طیف‌سنج FTIR قرار داده شد [33, 34]. طیف FTIR نمونه‌ها در حالت گذر بر روی طیف سنج PerkinElmer Spectrum FTIR (USA) 65 به دست آمد. طیف در دمای اتاق در محدوده عدد موج 400-4000 سانتی متر به دست آمد.

2-4- تجزیه و تحلیل آماری

در این پژوهش، آنالیز آماری تیمارها بر اساس طراحی آزمون سطح پاسخ و با روش DOE، به روش طرح مرکب مرکزی (CCD) با نرم افزار دیزاین اکسپرت نسخه 11 آنالیز شد. تمامی نمودارهای مکعبی و سطح پاسخ توسط همین نرم افزار ترسیم گردید.

3- نتایج و بحث

3-1- بررسی اثر متغیرها بر ویژگی های فیزیکی و شیمیایی پودر تولید شده با روش کفپوشی

با استفاده از نرم افزار دیزاین نسخه 11 و طراحی آزمایش و تیمارهای تعیین شده در روش سطح پاسخ در قالب طرح مرکب مرکزی CCD با پنج نقطه مرکزی (جدول 2)، 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 بتالانین، محتوای کل فنل و ظرفیت آنتی اکسیدانی پودر مورد بررسی قرار گرفت. پاسخ های به دست آمده از آزمون ها در نرم افزار مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت که بر اساس نتایج آنالیز واریانس و برازش مدل به دست آمده اثر متغیرها بر پاسخ ها مورد ارزیابی قرار گرفت و در قالب مدل های پیشنهادی و نمودارهای (مکعبی و سطح پاسخ) بررسی شد. نمونه شاهد و کنترل با نمونه بهینه مقایسه شد.

(جدول 3) یافته های تحلیل مدل، عدم تناسب و تحلیل R^2 را خلاصه می کند.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

3-2- 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 [35]. با توجه به جدول (2) محدوده تغییرات این پارامتر از 0/4047-0/0475 متغیر بود. مدل این پاسخ معنی دار بود ($P \leq 0.05$). ضریب رگرسیونی این مدل برابر با $R^2=0.9281$ بدست آمد. بر اساس جدول آنوا (2) تخلخل توده فوم چگندر لبویی قرمز (رابطه 7) بدست آمد. افزایش غلظت مالتو دکسترین باعث کاهش تخلخل توده فوم شد، در حالی که افزایش غلظت MPC تاثیر مثبتی بر روی تخلخل توده داشت. مقادیر بیشتر عامل کف کننده به حفظ ساختار کف در طول فرآیند با افزایش پایداری کف کمک می کند. در نتیجه، تخلخل توده افزایش می یابد [36, 37]. بر اساس جدول (2)، اثر خطی عامل کف کننده (X_2) (MPC) و اثر درجه دوم (X_2^2) (MPC) بر این پارامتر معنی دار بود ($P \leq 0.05$). همانطور که در (رابطه 7) مشاهده می شود ضریب منفی (X_2^2) نشان می دهد که افزایش MPC بر روی تخلخل فوم تاثیر منفی می گذارد، ولی همچنان با افزایش غلظت MPC، تخلخل توده فوم افزایش می یابد. (شکل 1- A). شرادا و همکاران خشک کردن گوجه فرنگی، گواوا و موز را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که با تشکیل کف مقدار زیادی هوا وارد ساختار کف شده و تخلخل افزایش می یابد که در نهایت منجر به کاهش زمان خشک شدن میشود. [38]

3-3- پایداری فوم

قابلیت تشکیل و پایداری کف یکی از مهمترین ویژگیهای کف محسوب میشود. طول 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 [39]. ساختار پایدار فوم برای خشک شدن سریع و سهولت حذف مواد خشک شده از سینی ها ضروری است. اگر ساختار فوم به شدت تخریب شود، زمان مورد نیاز برای خشک شدن افزایش یافته و کیفیت محصول به دست آمده کاهش می یابد [36]. بر اساس مدل پیش بینی شده پایداری فوم معنی دار شد ($P \leq 0.01$). خطای عدم تناسب و ضریب رگرسیونی این پارامتر برابر 0/9547-0/1983 بود. محدوده تغییرات آن طبق (جدول 2) از 70-100 متغیر است. با توجه به (جدول 3) آنوا مدل پیشنهادی پایداری فوم (رابطه 8) شد. پارامتر تاثیرگذار بر روی پایداری فوم اثر درجه دوم $MD(X_2^2)$ بود. که با افزایش این متغیر پایداری نیز افزایش یافت (شکل 1-B). دو نوع عامل فعال سطحی در شیر وجود دارد: لیپیدهای قطبی مولکولی کوچک مانند مونوگلیسریدها و دی گلیسریدها، اسیدهای چرب آزاد و فسفولیپیدها و پروتئین های مولکولی بزرگ. پروتئین های شیر به دلیل وجود گروه های آب دوست و آبگریز در ساختارشان سورفکتانت های بسیار خوبی هستند. پروتئین های شیر با انتشار و تمرکز روی سطح مشترک هوا و مایع به تشکیل کف کمک می کنند که منجر به کاهش کشش سطحی می شود. سپس پروتئین ها در سطح مشترک با گروه های آب دوست و آبگریز به ترتیب به سمت فاز مایع و هوا باز می شوند و لایه سطحی بسیار ویسکوالاستیک را برای تثبیت حباب های هوا تشکیل می دهند. گزارش شده است که افزایش محتوای پروتئین، در محدوده ای که پروتئین ها محلول باقی می مانند، باعث افزایش انبساط کف و بهبود پایداری کف می شود [40]. نتایج این تحقیق با نتایج مارینوا و همکاران که روی بررسی پایداری کف دو پروتئین شیر (کنسانتره پروتئین آب پنیر و کازئینات سدیم) مطابقت دارد. آنها گزارش کردند که با افزایش غلظت سفیده تخم مرغ، افزایش حجم و افزایش پایداری دیده شد [41]. در پژوهش مارتینز-پادریلا و همکاران نیز نتایج مشابهی بدست آمد که نشان داد افزایش غلظت محلول پروتئین ناپایداری و حجم زهکشی کف را کاهش میدهد که علت آن پایداری کف میباشد [8].

3-4- 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، رسیده بودن آن، و تأثیر روش‌های خشک کردن [42]. نتایج پارامترهای رنگ فوم در جدول (2) نشان داده شده است. محدوده تغییرات مقدار L^* از 21/482-12/21 بود. (جدول 3) آنوا مدل توسعه یافته برای L^* را نشان می‌دهد. (رابطه 9) برای مدل بدست آمد بر اساس جدول آنوا، پارامترهای رنگ L^* ، b^* ، معنی دار 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 کف را تأثیر مثبتی بر روی این پارامتر داشتند (شکل C-1).

در ارتباط با پارامتر رنگ b^* با توجه به جدول آنوا (3)، رابطه (10) برای این مدل حاصل شد. جدول آنوا معناداری b^* را نشان می‌دهد ($p \leq 0.05$). محدوده تغییرات b^* با توجه به جدول (2) از 4/753-10/44 متغیر شد. اثر درجه دوم MPC (X_2^2) تأثیر معناداری بر روی b^* نشان داد. در (شکل D-1) این تغییرات قابل مشاهده است. با توجه به نتایج بدست آمده میتوان این گونه بیان کرد که در هنگام تولید کف هوای بیشتری در بین مولکولهای پروتئینی محبوس میشود و حجم فوم افزایش می‌یابد و رنگدانه ها در ساختار فوم گسترده می‌شوند و روشنایی فوم بیشتر میشود.

جدول (2)

Table(2)

شکل (1)

Figure (1)

3-5- بتالائین پودر

بتالائین ها رنگدانه های گیاهی هستند که به راسته کاربوفیلال ها تعلق دارند. عمده ترین محصول بتالائین که به صورت تجاری مورد بهره برداری 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 عبارتند از: چغندر قرمز، تاج خروس، گلایبی خاردار و بیتاهایای قرمز. علاوه بر ارتباط آنها به عنوان رنگ، بتالین ها به دلیل فعالیت های دارویی مانند آنتی اکسیدان، ضد سرطان، ضد چربی خون و ضد میکروبی نقش مهمی در سلامت انسان دارند [43].

با توجه به (جدول 2) محدوده تغییرات بتالائین 86/333-217/676 شد. بر اساس مدل پیش بینی شده برای بتالائین ضریب همبستگی 0/9182 و عدم برازش 0/6906 بدست آمد. این پارامتر در سطح 0/05 درصد معنادار شد. مدل پیشنهادی برای محتوای بتالائین به عنوان (رابطه 12) به دست آمد. همانطور که در (شکل A-2) مشاهده می‌شود بالاترین مقدار بتالائین تحت شرایط MD و MPC در سطوح صفر و توان میکروویو 400 وات، دیده شد. تحقیقات قبلی گزارش کردند که در روش استخراج بتالائین، افزایش تعداد رنگدانه ها با افزایش قدرت میکروویو مشاهده شد [44, 45] طبق گفته شوفینیتا و همکاران، افزایش قدرت میکروویو می‌تواند باعث کاهش رطوبت پودر چغندر قرمز شود و در عین حال پارامترهای رنگ L^* ، a^* و شاخص قهوه ای شدن را افزایش دهد. با توجه به پلاریزاسیون با فرکانس بالا مولکول آب دوقطبی، انرژی در طی خشک کردن میکروویو تولید می‌شود و در سطوح بالای MPC و MD، تخریب بتالائین به دلیل افزایش واکنش میلارد در سطوح کم رطوبت مشاهده شد. [46]

3-6- 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 [24] محدوده تغییرات برای این پارامتر بر اساس جدول پاسخ (2) از 0/0711-0/3566 درصد متغیر بود. و بر اساس نتایج ANOVA، تفاوت معنی داری ($P > 0.05$) در میزان رطوبت پودرها وجود نداشت. با توجه به اینکه مالتودکسترین و MPC ماهیت جاذب الرطوبه دارند و علیرغم اینکه مقادیرشون 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 [37, 47] اگرچه تأثیر متغیرها بر میزان رطوبت از نظر آماری معنی‌دار نبود، اما یافته‌های مطالعه (جدول 2) نشان می‌دهد که کمترین میزان رطوبت در تیمارهایی با کمترین میزان MD (تیمارهای 6 و 7) مشاهده شد. با توجه به (شکل 2-C) بیشترین میزان رطوبت در تیمارهای با سطوح متوسط MD و MPC مشخص شد.

3-7- 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 می‌باشد. بازده تولید پودر معیار ارزیابی کارایی و اقتصادی بودن فرآیند خشک کردن است [48] در جدول (2) بازده 15 تیمار را مشاهده می‌کنید. محدوده تغییرات آن از 12/5-33 درصد متغیر بود. این پاسخ رفتار معناداری را از خود نشان داد ($p \leq 0.01$). نتایج بدست آمده از ANOVA (جدول 3) و مدل برازش تجربی داده‌ها $R^2 = 0.9613$ ، طبق (معادله 13)، توان مایکروویو، اثر تعاملی مالتودکسترین و توان مایکروویو، اثر درجه دوم مایکروویو تأثیر معناداری را بر این پارامتر داشتند. همانطور که در (شکل 2-B) افزایش توان مایکروویو و اثر بر همکنش ($X_1 X_3$) 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 [49, 50]. پیغمبردوست و سرابندی (1394) تأثیر شرایط خشک کردن پاششی بر خواص فیزیکی شیمیایی، 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 [51].

3-8- 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 آنتی اکسیدان‌های فیتوشیمیایی موجود در میوه‌ها و سبزیجات قادر به خنثی کردن رادیکال‌های آزاد هستند و ممکن است نقش عمده‌ای در پیشگیری از برخی بیماری‌ها داشته باشند [52] 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 [36]. در سال‌های اخیر، ترکیبات فنلی به دلایل متعددی توجه زیادی را در صنایع غذایی و دارویی به خود جلب کرده‌اند [53, 54]. ترکیبات فنلی می‌توانند به عنوان عوامل کاهنده در برابر گونه‌های فعال اکسیژن/نیتروژن که برای ایجاد آسیب اکسیداتیو در بافت بدن پیشنهاد شده‌اند عمل کنند [28]. 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 [48]. در ارزیابی به عمل آمده (جدول 3) آنوا نشان داد که محتوای کل فنول بسیار معنادار بود ($P \leq 0.01$). مقادیر آن از 11/165-29/185 متغیر است (جدول 2). بر پایه آنالیز واریانس و ضرایب رگرسیونی مدل درجه دوم برازش شده، اثر خطی مالتودکسترین (X_1)، اثر بر همکنش MPC و توان مایکروویو ($X_2 X_3$)، مالتودکسترین و MPC ($X_1 X_2$)، اثر درجه دوم مالتو دکسترین (X_1^2) و MPC (X_2^2) تأثیرگذارترین پارامترها بر روی محتوای فنل کل بودند. طبق معادله بدست آمده از مدل پیشنهادی (14) و نتایج بدست آمده از (جدول 2)، 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 برهم کنش مالتودکسترین و MPC، درجه دوم MPC سبب کاهش معنی داری در محتوای فنل کل شد (شکل 2-C). در مطالعه‌ای غانم و

همکاران (2012) بررسی اثر کم آبی مایکروویو (100، 180، 300، 450 و 600 وات) بر خواص فیزیکوشیمیایی (چروکیدگی، کل فنل‌ها و رنگ) و فن‌آوری (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 لایه برداری برای خشک کردن قدرت مایکروویو بالاتر از 450 وات حفظ شد [55]. در پژوهشی دیگر تأثیر فرآیندهای خشک کردن مایکروویو و فر بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی، فنل کل و ترکیبات فنلی میوه های کیوی و پپینو که توسط ازگان و همکاران انجام شد. نتایج نشان داد به طور کلی بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی و محتوای فنلی در نمونه های خشک شده در مایکروویو و پس از آن نمونه های خشک شده در آون و میوه های تازه گزارش شده است. یافته های بهرگر و همکاران (1390) و کوماری و همکاران (2009) با نتایج این پژوهش مطابقت دارد [56، 57].

3-9- فعالیت آنتی‌اکسیدانی پودر

پتانسیل آنتی‌اکسیدان ها برای اتصال با رادیکال های آزاد، فعالیت مهارى نمونه را تعیین می کند. بنابراین، فعالیت مهارى بالاتر منجر به ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بالاتر ماده می شود. واکنش میلارد مسئول تخریب پلی فنل ها است و از این رو فعالیت آنتی‌اکسیدانی را کاهش می دهد. [58] فعالیت مهار DPPH نمونه‌های پودرچغندر لبویی قرمز بر اساس (جدول 2) بین 55/101-27/944 درصد متغیر بود. بر اساس نتایج بدست آمده در (جدول 3) آنووا، فعالیت آنتی‌اکسیدانی معنادار شد ($P \leq 0.05$). خطای عدم تناسب و ضریب رگرسیونی مدل پیش بینی شده این پارامتر مقادیر $R^2=0.7874$ و Lack of fit=0.1537 شد. مطابق جدول آنووا (رابطه 15) برای این مدل حاصل شد. تغییر در روند با توجه به توان مایکروویو و غلظت مشاهده شد. (شکل 2-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 پایین تر منجر به کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدانی می شود، نتایج مشابهی توسط [59] گزارش شده است. در پژوهشی اوزگان و همکاران (2020) تأثیر فرآیندهای خشک کردن مایکروویو و فر بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی، فنل کل و ترکیبات فنلی میوه های کیوی و پپینو انجام دادند. نتایج این تحقیق نشان داد به طور کلی بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی و محتوای فنلی در نمونه های خشک شده در مایکروویو و پس از آن نمونه های خشک شده در آون و میوه های تازه گزارش شده است. بطور کلی خشک کردن با مایکروویو می تواند در خشک کردن میوه مفیدتر از خشک کردن معمولی باشد. علاوه بر این، میوه های خشک کیوی و پپینو حاوی مقادیر قابل توجهی از ترکیبات فنلی با فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالا در مقایسه با میوه های تازه هستند و از این رو به عنوان غذای سالم محسوب می شوند [60]. در مطالعه دیگری اوزگان و همکاران (2018) که بر روی کامکوات‌های برش‌شده با استفاده از سه روش خشک‌کردن مختلف، مایکروویو، هوای گرم و خلاء انجام دادند به این نتیجه رسیدند که نمونه های خشک شده در مایکروویو بالاترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی را داشتند. این مطالعه نشان داد که خشک کردن در مایکروویو و خشک کردن خلاء در دمای 70 درجه سانتی‌گراد تا 100 میلی‌بار قادر به تولید برش‌های کامکوات با کیفیت بالا بود [61].

جدول(2)

Table(2)

جدول(3)

Table(3)

شکل(2)

Figure (2)

10-3- معرفی بهینه

پاسخ های به دست آمده از خشک کردن کف چغندر قرمز با استفاده از مایکروویو بهینه شد. استفاده از نرم افزار Design Expert برای مشاهده حداکثر بازده، بتالانین و محتوای فنل کل در محدوده تعریف شده و سایر پاسخ ها در محدوده پاسخ های تجربی تنظیم شد (شکل 3). مطلوبیت متغیرها مبنای انتخاب بهترین شرایط بود. پارامترهای بهینه برای متغیرها و مقادیر پیش بینی پاسخ ها به شرح زیر بود: MD 10 درصد، غلظت MPC 10 درصد و توان مایکروویو 400 وات با مطلوبیت کلی 0/99 و MD 10 درصد، MPC 10 درصد و توان 400 وات مایکروویو بود (جدول 5). برای 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 [62]. به منظور بررسی صحت همبستگی ها در مدل ریاضی، از شرایط بهینه مدل در آزمون های تجربی استفاده شد روابط (16 و 17).

$$\text{درصد خطا} = \frac{\text{مقدار تجربی} - \text{مقدار بینی پیش}}{\text{مقدار بینی پیش}} \times 100 \quad (16)$$

$$\text{خطا} - 100 = \text{صحت} \quad (17)$$

شکل (3)

Figure (3)

جدول (5)

Table (5)

11-3- ارزیابی و مقایسه ویژگی های پودر نمونه بهینه و شاهد

نمونه بهینه بر اساس پاسخ ها و با استفاده از نرم افزار دیزاین مشخص شد. در ادامه نمونه بهینه و شاهد بر اساس پارامترهایی که در (جدول 4) مشاهده می کنید از نظر رنگ، بازده، محتوای فنل کل، فعالیت آنتی اکسیدانی و بتالانین مورد مقایسه قرار گرفتند. نمونه بهینه در تمامی شاخص های اندازه گیری شده بهترین عملکرد را نشان داده است. از نتایج این جدول می توان نتیجه گرفت که غلظت های بالای مالتودکسترین و پودر کنسانتره شیر در توان 400 مایکروویو بهترین تأثیر را بر روی نمونه بهینه داشت.

جدول (4)

Table(4)

12-3- تصویربرداری ریزساختار (SEM)

به منظور بررسی تغییر ریزساختار پودر چغندر قرمز کف شده در طول مایکروویو و خشک کن هوای گرم، تصاویر SEM از نمونه های بهینه و شاهد توسط دستگاه SEM (مدل SEM-Quanta FEG 450، FEI-USA) گرفته شد. مقایسه دو تیمار پودر (بهینه و شاهد) (شکل 4) نشان می دهد که ساختار پودر در فرآیند خشک کردن با هوای گرم یکنواخت نبوده و در نتیجه حفره های بزرگ و غیریکنواختی در نمونه به دلیل آسیب قابل توجه دیواره سلولی ایجاد می شود. ممکن است به دلیل ادغام هوا در فوم باشد - حفره ها و منافذ بزرگ به دلیل خروج بخار ایجاد شده اند. انرژی مایکروویو همچنین می تواند باعث تخریب و تأثیر بر غشای سلولی و در نهایت تبخیر آب شود. در این فرآیند به دلیل انرژی تولید شده توسط مگنترون که بر روی مولکول های قطبی اثر می گذارد، تبخیر آب بهبود می یابد و از طریق شوک مکانیکی و متلاشی شدن داخلی سلول، زمان خشک شدن کاهش می یابد. تصاویر نشان می دهد که نمونه بهینه دارای ذرات ریزتر و سطوح صاف، نرم و پوسته پوسته است. سوراخ های پوسته پوسته و کوچکتر را می توان به همگنی مواد در حین خشک شدن مربوط کرد. در طی فرآیند مایکروویو به دلیل نفوذ یکنواخت انرژی و یکنواختی تبخیر، ساختار فوم از همگنی بالاتری برخوردار است و با کاهش زمان تبخیر، ساختاری یکنواخت و پوسته پوسته با سطوح نرمتر به دست می آید. در مطالعات فرانکو و همکاران. و کانا و همکاران برای پودر آب یاکون و آنتوسیانین سیوس برنج سیاه، به ترتیب، مورفولوژی یکسانی نیز مشاهده شد [63]. [64].

شکل(4)

Figure(4)

13-3-تبدیل فوریه طیف سنجی 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، می تواند از نتایج مطالعه برای ارزیابی برهمکنش های بالقوه بین پودر MD و MPC در تولید فوم و خشک کردن با استفاده از مایکروویو و هوای داغ حمایت کند. روش های خشک کردن، تجزیه و تحلیل طیف FTIR انجام شد. با تغییرات کم در شدت پیک و جابجایی، طیف FTIR پیک جذب بهینه و کنترل شباهت های قابل توجهی را نشان داد. (شکل 5). پیک های جذب برجسته عبارتند از امید 1 در 1628 cm^{-1} ، امید 2 در 1525 cm^{-1} ، و امید 3 در 1228 cm^{-1} و در محدوده $3500-3000 \text{ cm}^{-1}$ ، نوار وسیعی از طیف های کربونیل آزاد نشان می دهد. که اوج نشان می دهد که گروه های امید کمتر در واکنش های شیمیایی و برهمکنش با مالتودکسترین درگیر هستند. در نمونه شاهد به دلیل وجود حرارت و زمان زیاد در فرآیند خشک کردن، برهمکنش قند و پروتئین افزایش یافته و منجر به تشدید واکنش میلارد و تشکیل رنگدانه های ملانوییدین می شود. این پدیده منجر به کاهش تعداد گروه های امید شد. این تغییرات را می توان در مقایسه شاخص قهوه ای شدن دو نمونه مشاهده کرد که مقدار این پاسخ برای نمونه شاهد بیشتر است. در مورد هر دو عامل کف کننده، کاهش پیک جذب امید II (1525 cm^{-1}) و امید III (1228 cm^{-1}) مشاهده شد. این ممکن است ناشی از تغییر ساختار ثانویه پروتئین پس از حرارت دادن به 70 درجه سانتیگراد باشد. این نتایج با نتایج Tomczynska و همکارانش مطابقت داشت، که تغییرات مشابهی را در ساختار ثانویه نشان دادند که ایزوله پروتئین آب پنیر در دمای 80 درجه سانتیگراد تیمار شد [65].

شکل(5)

Figure (5)

4- نتیجه‌گیری

در این مطالعه، پودر چغندر قرمز تحت تاثیر (مالتودکسترین و MPC) به روش کف پوشی با استفاده از مایکروویو خشک شد. برخی ویژگیهای فیزیکی و موفولوژی پودر چغندر قرمز به طور چشمگیری تحت تاثیر متغیرهای فرآیند قرار گرفتند. افزایش MPC تاثیر مطلوبی را بر تخلخل و پایداری فوم و همچنین شاخص های رنگ پودر، میزان بتاگزانترین داشت. با بالا رفتن قدرت مایکروویو، بازده نیز افزایش یافت در صورتیکه میزان بتالائین در کمترین غلظت‌های عوامل کفزا و توان 400 مایکروویو مشاهده شد. با کاهش زمان تبخیر، ساختاری یکنواخت و پوسته پوسته با سطوح نرمتر به دست آمد. اثرات این پدیده را می توان در افزایش حلالیت پودر و تخلخل آن مشاهده کرد. با توجه به بررسی های صورت گرفته و بهینه سازی پارامترها، بهترین عملکرد در 10% مالتودکسترین و 10% MPC و توان 400 وات مایکروویو حاصل شد.

تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله مراتب تشکر و سپاس خود را از گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه آزاد شهرضا و دانشکده کشاورزی و صنایع غذایی دانشگاه جیرفت به دلیل در اختیار قرار دادن امکانات لازم جهت انجام این پژوهش اعلام میدارند.

- [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. *Food chemistry*., 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. *Journal of Food Processing and Preservation*., 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. *Food chemistry*., 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. *Innovative Food Technologies*., 8(2): p. 253-272.
- [9] Wilson, R.A., Kadam, DM., Chadha, S., Grewal, MK., & Sharma, M. (2014). Evaluation of Physical and Chemical Properties of Foam-Mat Dried Mango (*Mangifera indica*) Powder during Storage. *Journal of Food Processing and Preservation*., 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. *International Journal of Dairy Technology*., 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. *Journal of Food Science and Technology*., 58(7): p. 2834-2841. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05035-2>.
- [12] Gã¼h, Å., & 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). *Journal of Food Process Engineering*., 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. *Journal of Food Processing and Preservation*., 46(11): p .e17122. <https://doi.org/10.1111/jfpp.17122>.
- [15] Ali-Hãimoud, 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/gida.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, AJ., Jurina, T., & Kljusurić, JG. (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. *International Journal of Thermal Sciences.*, 135: p. 30-43. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2018.07.023>.
- [22] Franco, T.S., Perussello CA., & Ellendersen, LN. (2016). Effects of foam mat drying on physicochemical and microstructural properties of yacon juice powder. *LWT-Food Science and Technology.*, 66: p. 503-513. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.11.009>.
- [23] Najafian, N., Aarabi, A., & Nezamzadeh-Ejhieh, A. (2022). Evaluation of physicomechanical properties of gluten-based film incorporated with Persian gum and Guar gum. *International Journal of Biological Macromolecules.*, 223: p. 1257-1267 <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.11.056>.
- [24] Qadri, O.S., & Srivastava, A.K. (2017). Microwave-assisted foam mat drying of guava pulp: Drying kinetics and effect on quality attributes. *Journal of food process engineering.*, 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. *Journal of Agricultural and food Chemistry.*, 61(49): p. 11995-12004. <https://doi.org/10.1021/jf401705h>.
- [26] Darniadi, 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. *Food and Bioprocess Technology.*, 13: p. 988-997. <https://doi.org/10.1007/s11947-020-02445-6>.
- [27] Ifie, I., Marshall, LJ., & Ho, P (2016). Hibiscus sabdariffa (Roselle) extracts and wine .Phytochemical profile, physicochemical properties, and carbohydrase inhibition. *Journal of agricultural and food chemistr.*, 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. *Innovative Food Technologies.*, 9(2): p. 149-165 <https://doi.org/10.22104/jift.2021.5253.2073>.
- [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. *Preparative Biochemistry & Biotechnology.*, 49(9): p. 876-883. <https://doi.org/10.1080/10826068.2019.1633667>.

- [31] Caparino, O., Tang, J., Nindo, CI., & Sablani, SS. (2012). Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine 'Carabao' var.) powder. *Journal of food engineering.*, 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. *Journal of Aquatic Food Product Technology.*, 28(7): p. 794-805. <https://doi.org/10.1080/10498850.2019.1640817>.
- [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). *Food and Bioprocess Technology.*, 14(4): p. 665-678. <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02598-y>.
- [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. *Food and bioprocess technology*, 8, 2012-2026.
- [36] Abbasi, E. & Azizpour, M. (2016). Evaluation of physicochemical properties of foam mat dried sour cherry powder. *LWT-Food Science and Technology.*, 68: p. 105-110 <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.12.004>.
- [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. *Innovative food science & emerging technologies.*, 34: p. 122-126. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.01.002>.
- [38] Sharada, S. (2013). Studies on effect of various operating parameters & foaming agents-Drying of fruits and vegetables. *International Journal of Modern Engineering 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. *International Dairy Journal.*, 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. *Journal of Food processing and Preservation.*, 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-Food Science and Technology.*, (2)64 :p. 645-649. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.06.052>.
- [44] Slavov, A., Karagyozov, V., Denev, P., Kratchanova, M., & Kratchanov, C. (2013). Antioxidant activity of red beet juices obtained after microwave and thermal pretreatments. *Czech Journal of Food Sciences.*, 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. *Food research international.*, 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. *Journal of Food Engineering.*, 238: p. 164-177 <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.06.014>.
- [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. *Innovation in food science and technology.*, 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-Food Science and Technology.*, 41(2): p. 270-277. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.03.004>.
- [51] Pieganbar Doost, S.H., & Sarabandi, KH. (2017). Effect of spray drying conditions on physicochemical, functional and production efficiency of malt extract powder. *Food Industry Research.*, 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. *Journal of Nuclear Technology in applied science.*, 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 Reviews in food science and nutrition.*, 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. *Journal of Food Biochemistry.*, 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. *Industrial Crops and Products.*, 40: p. 167-177. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.03.009>.
- [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. *Radiation Physics and Chemistry.*, 80(9): p. 963-967. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2011.04.016>.
- [57] Kumari, N., Kumar, P., Mitra, D., Prasad, B., Tiwary, BN., & Varshney, L. (2009). Effects of ionizing radiation on microbial decontamination, phenolic contents, and antioxidant properties of triphala. *Journal of food science.*, 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. *International journal of fruit science.*, 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, IAM., Uslu, N., Babiker, EE., & Ghafoor, K. (2020). Effect of microwave and oven drying processes on antioxidant activity, total phenol and phenolic compounds of kiwi and pepino fruits. *Journal of food science and technology.*, 57: p. 233-242 <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04052-6>.
- [61] Ozcan-Sinir, G., Ozkan-Karabacak, A., Tamer, CE., & Copur, OU. (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*). *Food Science and Technology*., 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>.
- [63] Franco, T.S., Ellenderson, LN., Fattori, D., Granato, D., & Masson, ML. (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: 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 Journal of Food Sciences*., 32(1): p. 82-89 <https://doi.org/10.17221/326/2012-CJFS>.

Std	Run	Factor1	Factor2	Factor3
		A:Maltodextrin(g)	B:MPC(g)	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

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

(جدول 1) تیمارهای طراحی شده به روش سطح پاسخ برای فاز اول

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

(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*)

جدول (2) طراحی تیمارها با RSM برای متغیرهای مستقل و مقادیر تجربی متغیرهای پاسخ برای قوم چغندر قرمز (MD؛ مالتودکسترین، MPC؛ کنسانتره پروتئین شیر، پایداری فوم، تخلخل فوم، L*, a*, b*)

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

(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

(ادامه جدول 2) طراحی تیمارها با RSM برای متغیرهای مستقل و مقادیر تجربی متغیرهای پاسخ برای پودر چغندر قرمز تولید شده توسط خشک کردن مایکروویو کفپوشی (MD؛ مالتودکسترین، MPC؛ کنسانتره پروتئین شیر، محتوای رطوبت، Beta lain، محتوای فنل کل، ظرفیت آنتی اکسیدانی و بازده

factor	Coefficient							
	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.R2	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**

(Table 3) Analysis of variance for determination of model fitting, regression coefficient (β), coefficient of determination (adj. R2), and F-test value of the Predicted second order polynomial models for the responses

(جدول 3) تجزیه و تحلیل واریانس برای تعیین برازش مدل، ضریب رگرسیون (β)، ضریب تعیین (adj. R2)، و مقدار آزمون F مدل های چند جمله ای مرتبه دوم پیش بینی شده برای پاسخ ها

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

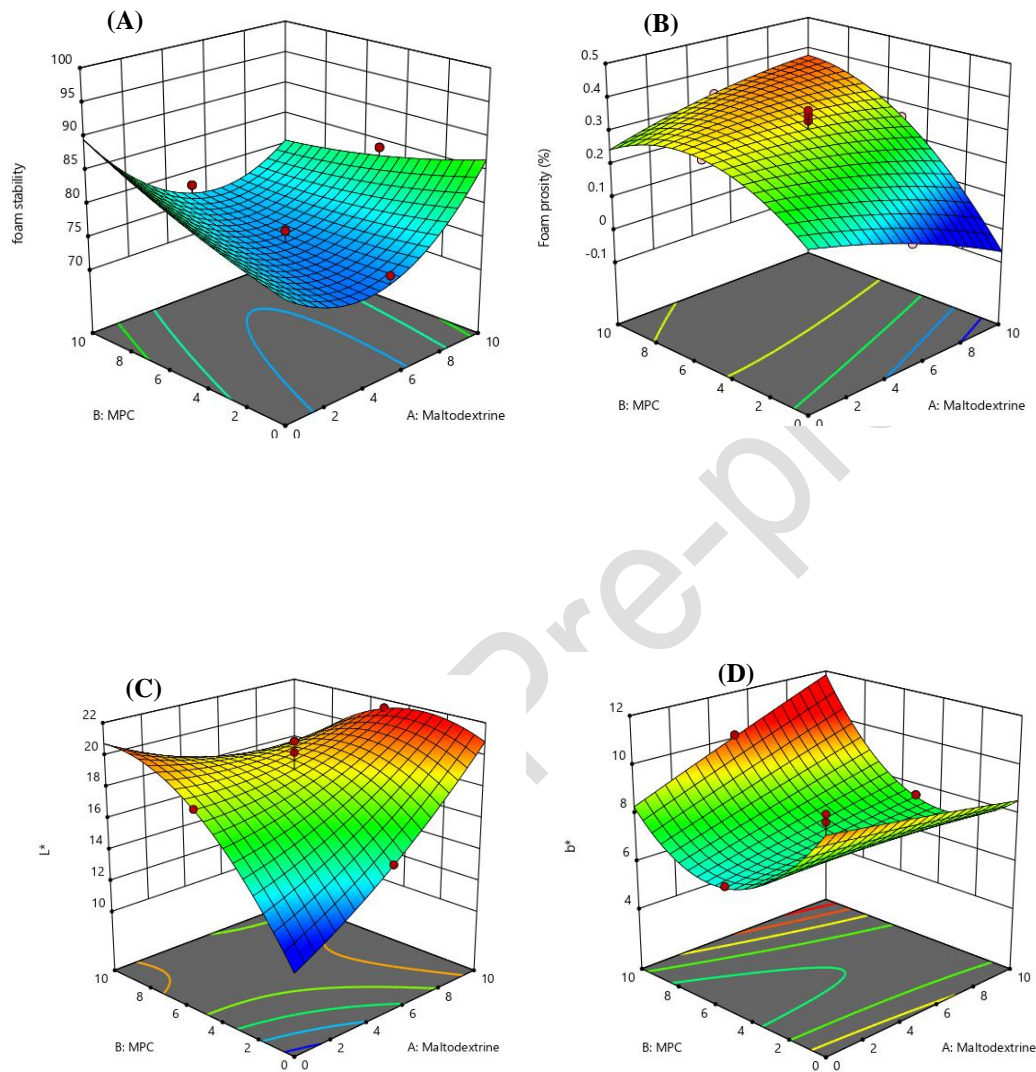
(Table4) Properties of optimal and control samples

(جدول 4) ویژگیهای نمونه بهینه و شاهد

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

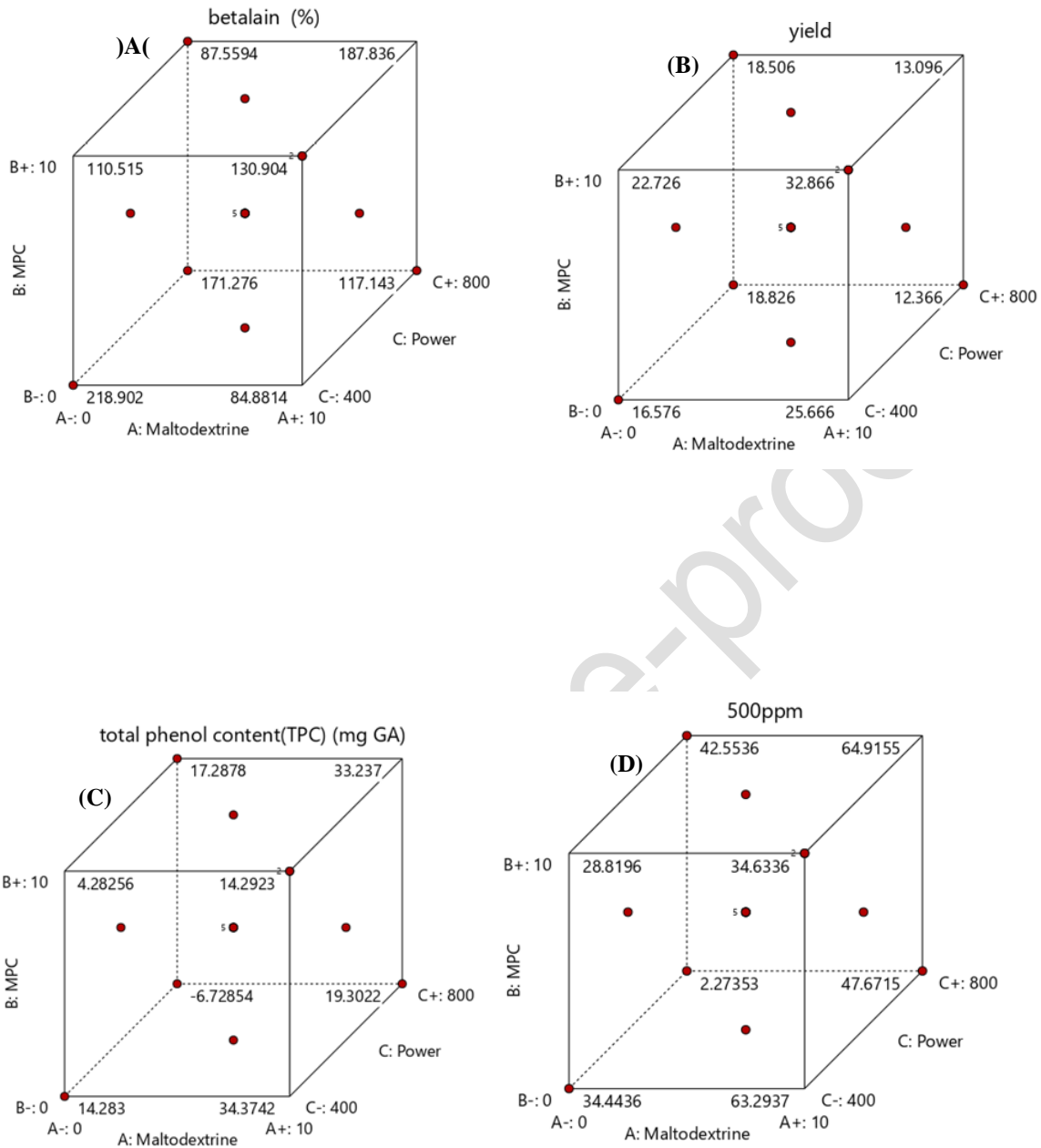
(Table5) Validation of optimal treatment

(جدول 5) صحت سنجی تیمار بهینه



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

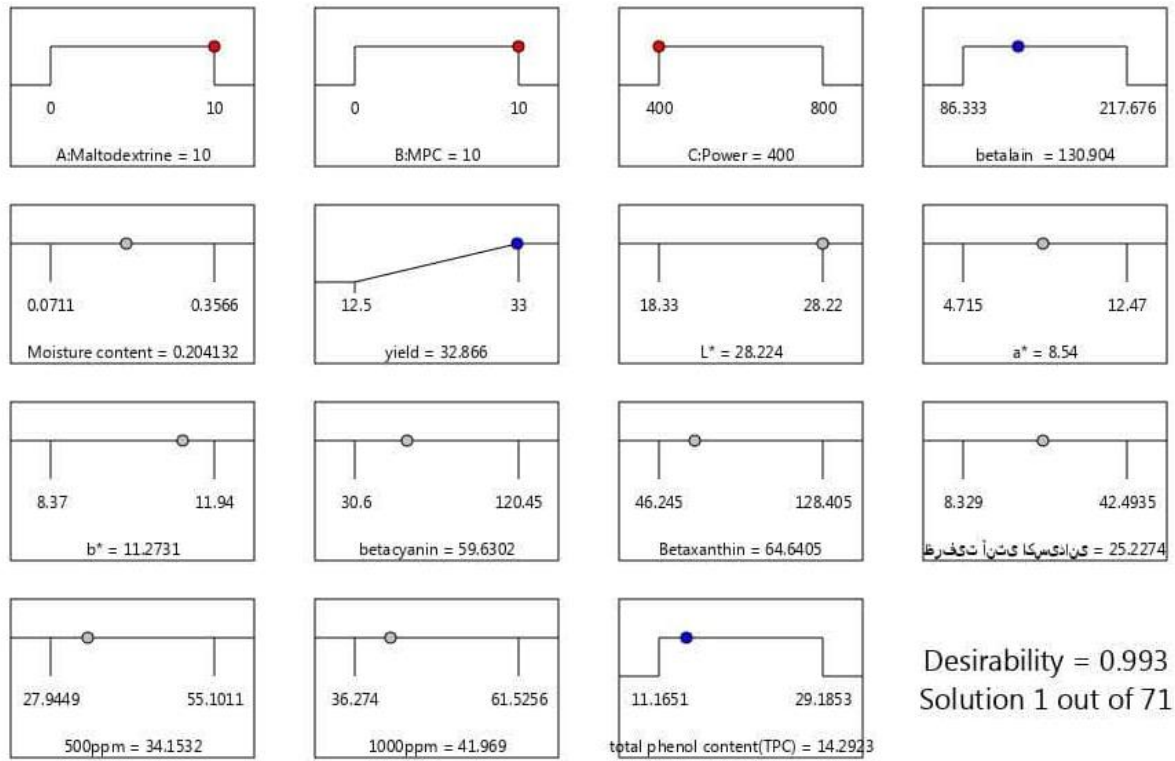
(شکل 1) نمودار های سطح پاسخ که اثرات متقابل متغیرهای فرآیند را بر پایداری (A)، تخلخل (B)، L^* (C) و b^* (D)



(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)

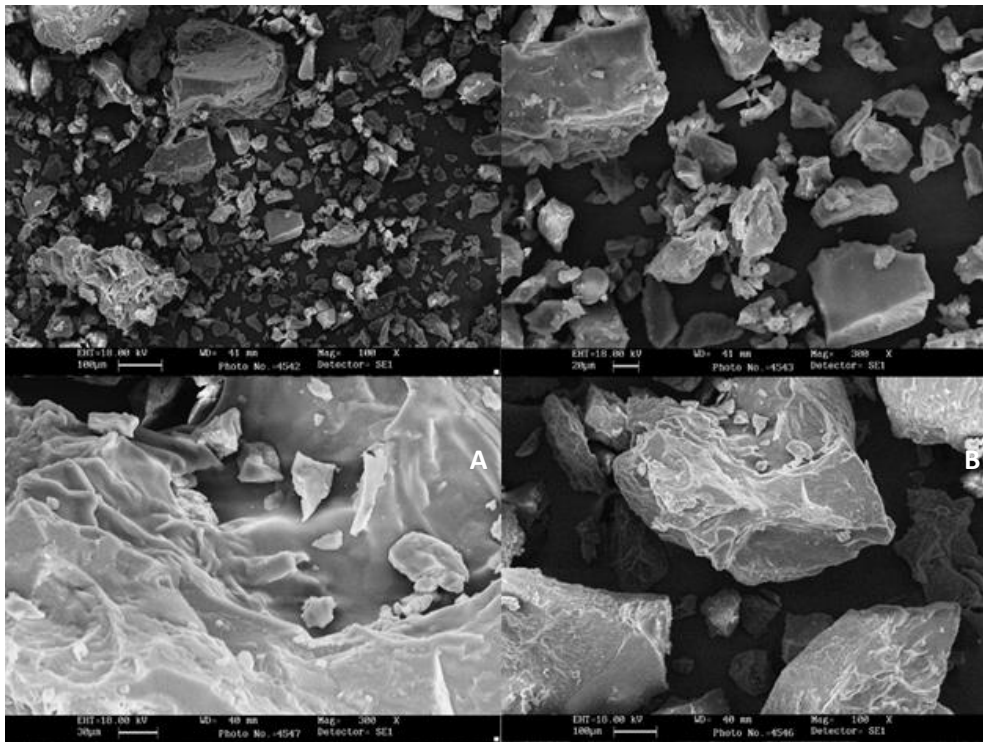
(شکل 2) نمودار های مکعبی که اثرات متقابل متغیرهای فرآیند را بر

بتالانین (A)، محتوای مرطوب (B)، بازده (C)، TPC (D)، ظرفیت آنتی اکسیدانی (E)



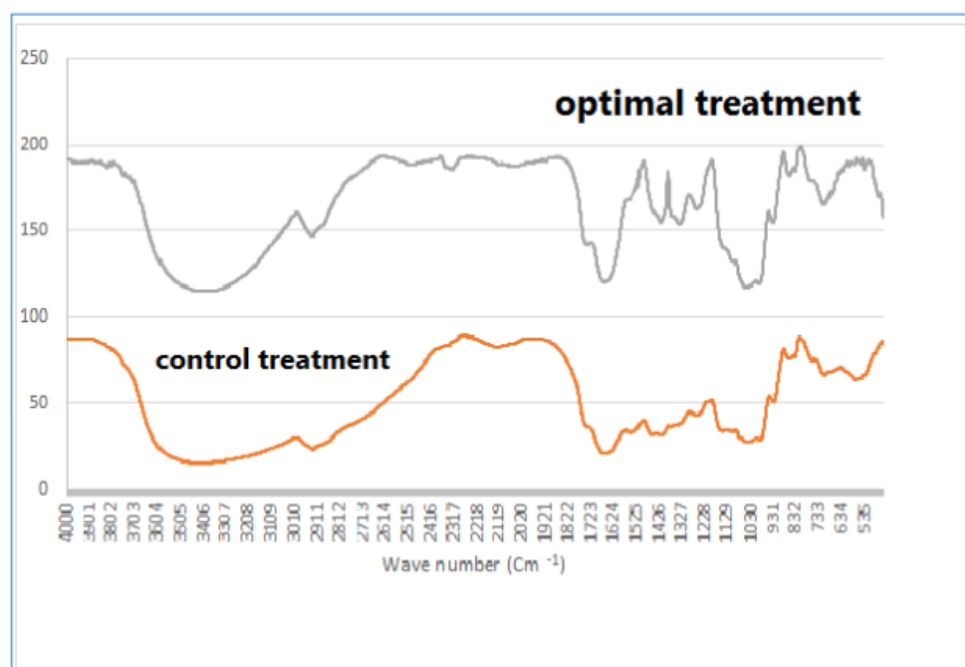
(Figure 3) Optimum parameters for variables and predictive values of responses

(شکل 3) پارامترهای بهینه برای متغیرها و مقادیر پیش‌بینی پاسخ‌ها



(Fig4) 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

(شکل 4) مورفولوژی پودرهای چغندر قرمز خشک شده با کف تولید شده در خشک کردن کف مایکروویو (A و B)، خشک کن همرفتی هوای گرم (C و D) هر میکروگراف پودرها را تحت SEM با بزرگنمایی 100 و 300 نشان می دهد.



(Fig 5) FTIR spectra of optimal and control sample of foam mat dried redbeet powder

(شکل 5) FT-IR نمونه بهینه و شاهد پودر چغندر قرمز خشک شده با کف پوشی

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

Shima Omid¹, Aazam Aarabi Jeshvghani^{2*}, Hassan Zaki Dizji³, Fatemeh Shahdadi⁴

1 Ph.D. Student, Department of Food Science and Technology, Shahreza 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

*aarabi@pmt.iaun.ac.ir

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 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.

Journal Pre-proofs