رساله‌ی دکتری: سعیده هاشمیان، ۱۴۰۴

به کارگیری فرآیند اکستروژن در تولید و فرمولاسیون پودر پوره فوری فراسودمند بر پایه آرد کامپوزیت (جودوسر و فرآورده های جانبی صنایع تبدیلی)

در این پژوهش، به‌منظور تولید پودر پوره فوری، از فرایند اکستروژن بر پایه آرد کامپوزیت حاوی جودوسر و برخی از فرآورده‌های جانبی صنایع تبدیلی (سبوس گندم، برنج نیم‌دانه و تفاله سیب) استفاده شد. در فاز نخست، بهینه‌سازی فرایند اکستروژن با بهره‌گیری از روش سطح پاسخ (RSM) و طرح مرکب مرکزی (CCD) انجام گرفت. سه متغیر مستقل شامل نسبت تفاله سیب به سبوس گندم (25:75، 50:50 و 75:25)، سرعت مارپیچ (120، 160، 200 rpm) و درصد رطوبت خوراک (14، 18 و 22 %) مورد بررسی قرار گرفت. در مجموع، 20 فرمولاسیون با استفاده از دستگاه اکسترودر دومارپیچ و در دمای ثابت 120 درجه سانتی‌گراد تولید شدند.

نتایج نشان داد که رطوبت خوراک و نسبت تفاله سیب اثر معناداری بر رطوبت و فعالیت آبی محصولات اکسترود شده داشتند. نسبت انبساط با افزایش هر سه متغیر مستقل کاهش یافت، در حالی که افزایش تفاله سیب منجر به افزایش معنادار دانسیته فرآورده گردید. اثر درجه دوم سرعت مارپیچ بر سختی محصول نیز معنادار بود. افزایش تفاله سیب و رطوبت خوراک موجب افزایش مؤلفه L* (روشنایی) و کاهش مؤلفه‌های a* (قرمزی) و b* (زردی) شد، در حالی که افزایش سرعت مارپیچ اثر معکوسی بر این مؤلفه‌های رنگی داشت. همچنین، تفاله سیب و رطوبت خوراک، شاخص حلالیت در آب (WSI) را به‌طور معناداری بهبود بخشید. شاخص جذب روغن (OAI) و شاخص جذب آب (WAI) نیز با افزایش تفاله سیب افزایش یافتند، اما WAI با افزایش سرعت مارپیچ و رطوبت خوراک کاهش نشان داد. میزان ترکیبات فنلی کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی تا سرعت مارپیچ 160 rpm افزایش یافت و سپس کاهش نشان داد. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) نشان دادند که در سطوح بالاتر تفاله سیب، ساختاری لانه‌زنبوری با سلول‌های داخلی کوچک‌تر و دیواره‌های ضخیم‌تر و ناهموارتر ایجاد شد. انرژی مکانیکی ویژه (SME) در محدوده 51/235-07/135 Wh/Kg اندازه‌گیری گردید. بهینه‌سازی فرایند با استفاده از تابع مطلوبیت، بر پایه بیشینه شدن WAI و نسبت انبساط، و کمینه شدن دانسیته و سختی انجام گرفت. نمونه بهینه (حاوی 53/37 % تفاله سیب، 15/45 % رطوبت خوراک و سرعت مارپیچ 120rpm) امتیاز مطلوبیت 0/77 را به¬دست آورد و سطوح بالاتری از فیبر محلول، ترکیبات فنلی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی را نسبت به نمونه شاهد غیر اکسترود شده نشان داد. اعتبارسنجی مدل با آزمون t تک‌نمونه‌ای بین مقادیر پیش‌بینی‌شده و داده¬های تجربی انجام شد.

در فاز دوم، نمونه بهینه اکسترود شده آسیاب و به پودر تبدیل گردید و به‌منظور بررسی اثر اکستروژن بر ویژگی¬های پودر فوری، با پودر اولیه (پیش از اکستروژن) مقایسه شد. فرایند اکستروژن موجب بهبود زمان و میزان خیس‌شوندگی، پخش‌پذیری، جریان‌پذیری، جذب آب، حلالیت و ظرفیت تورم شد، در حالی که مقادیر رطوبت، زاویه ریپوز، پیوستگی، هیگروسکوپی، درجه کلوخه‌شدن و روشنایی کاهش یافتند. پودر

حاصل به‌عنوان محصول فوری با جریان‌پذیری متوسط تا خوب، حلالیت بالا، رفتار غیرهیگروسکوپیک و بدون تمایل به کلوخه‌شدن ارزیابی شد.

در مرحله پایانی، به‌منظور تعیین فرمولاسیون نهایی پودر پوره فوری، از طراحی مخلوط به روش D-optimal استفاده گردید. پودر بافت‌داده¬شده (45، 55 و 65 %)، شکر (20، 25 و 30 %) و مالتودکسترین (4، 6 و 8 %) در مجموع 93 درصد از کل ترکیب را تشکیل دادند. کلیه فرمول‌ها دارای 0/5 % طعم‌دهنده سیب، 1/5 % تری‌کلسیم فسفات و 5 % صمغ عربی بودند. از میان فرمول‌های تولیدشده، فرمولی با ترکیب 59 % پودر بافت‌دار، 26 % شکر، 8 % مالتودکسترین، 0/5 % طعم‌دهنده سیب، 1/5 % تری‌کلسیم فسفات و 5 درصد صمغ عربی -پس از بازسازی با 80 گرم آب به ازای 20 گرم پودر- بالاترین امتیازهای حسی و بافتی را کسب کرد.

در مجموع، فرمولاسیون نهایی پودر پوره فوری از نظر ویژگی‌های تغذیه‌ای، حسی و ساختاری، عملکرد مطلوبی نشان داد و به¬عنوان گزینه‌ای مناسب برای تولید محصول فراسودمند نیمه‌جامد (پوره)، غنی از فیبر و پتانسیل آنتی‌اکسیدانی قابل توجه معرفی گردید.

کلیدواژه‌ها: فراورده اکسترود شده، اکستروژن، پودر پوره فوری، جودوسر، برنج نیمه، سبوس گندم، تفاله سیب، روش سطح پاسخ

شماره‌ی پایان‌نامه: ۱۲۷۴۸۰۰۶۸۷۸۸۹۲۴۱۳۹۷۱۷۷۳۵۳
تاریخ دفاع: ۱۴۰۴/۰۶/۳۱
رشته‌ی تحصیلی: علوم و صنایع غذایی - تکنولوژی مواد غذایی
دانشکده: کشاورزی و دامپزشکی
استادان راهنما: دکتر امیرحسین الهامی‌راد و دکتر الناز میلانی
استادان مشاور: دکتر مسعود شفافی زنوزیان و دکتر محمد آرمین

Ph.D. Dissertation:

Application of extrusion technology for the production and formulation of functional instant porridge powder based on composite flour (Oat and food by-products)

In this study, an extrusion process utilizing composite flour made from oats and selected by-products of agricultural and food processing industries (wheat bran, broken rice, and apple pomace) was employed to develop an instant porridge powder. In the first phase, the extrusion process was optimized using Response Surface Methodology (RSM) with a Central Composite Design (CCD). Three independent variables were examined: the apple pomace-to-wheat bran ratio (25:75, 50:50, and 75:25), screw speed (120, 160, and 200 rpm), and feed moisture content (14, 18, and 22%). A total of 20 formulations were

produced using a twin-screw extruder at a constant temperature of 120?°C. The results showed that both feed moisture and the apple pomace ratio significantly affected the humidity and water activity of the extruded products. The expansion ratio decreased with increases in all three independent variables, while the addition of apple pomace significantly increased bulk density. The quadratic effect of screw speed on hardness was also statistically significant. The Increase in apple pomace and feed moisture content raised the L* (lightness) value and reduced a* (redness) and b* (yellowness), whereas screw speed exerted the opposite effect on these color parameters. Both apple pomace and moisture content significantly enhanced the Water Solubility Index (WSI). The Oil Absorption Index (OAI) and Water Absorption Index (WAI) increased with higher levels of apple pomace, while, WAI decreased at higher screw speeds and moisture levels. Total phenolic content (TPC) and antioxidant activity (AA) increased up to 160 rpm and then declined. Scanning Electron Microscopy (SEM) revealed a honeycomb-like structure with smaller internal cells and thicker, rougher walls at higher apple pomace concentrations. Specific Mechanical Energy (SME) ranged from 135.07 to 235.51 Wh/kg. Process optimization using RSM and a desirability function aimed to maximize WAI and expansion ratio while minimizing bulk density and hardness. The optimized samplecomprising 53.37% apple pomace, 15.45% feed moisture, and a screw speed of 120 rpmachieved a desirability score of 0.77 and exhibited higher levels of soluble fiber, phenolic compounds, and antioxidant activity compared to the non-extruded control. Model validation was performed using one-sample t-tests comparing predicted and experimental values. In the second phase, the optimized extrudate was milled into powder and compared with the pre-extruded powder to evaluate the effects of extrusion on the properties of the instant powder. The extrusion process improved wetting time, wettability, dispersibility, flowability, water absorption, solubility, and swelling capacity, while reducing moisture content, angle of repose, cohesiveness, hygroscopicity, caking tendency, and lightness. The resulting powder was classified as an instant product with moderate to good flowability, high solubility, non-hygroscopic behavior, and no tendency to cake. In the final phase, a D-optimal mixture design was employed to determine the final formulation of the instant porridge powder. Texturized powder (45%, 55%, and 65%), sugar (20%, 25%, and 30%), and maltodextrin (4%, 6%, and 8%) together accounted for 93% of the total composition. All formulations contained 0.5% apple flavor, 1.5% tricalcium phosphate, and 5% gum arabic. Among the developed formulations, the one consisting of 59% texturized powder, 26% sugar, 8% maltodextrin, 0.5% apple flavor, 1.5% tricalcium phosphate, and 5% gum Arabic- reconstituted with 80 g of water per 20 g of powder- achieved the highest sensory and textural scores. Overall, the final formulation of the instant porridge powder demonstrated excellent nutritional, sensory, and structural characteristics, indicating its potential as a functional semi-solid food product with high dietary fiber content and significant antioxidant capacity.