مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران
سال پانزدهم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹، صفحات ۱۲۲-۱۱۵

بهینه‌سازی راندمان تولید پودر آب پنیر با استفاده از خشک‌کن پاششی و ارزیابی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آن

بهروز علیزاده بهبهانی[۱]، حسین جوینده[۲]، فرشته فلاح[۳]، علیرضا وسیعی[۴]

۱- نویسنده مسئول: استادیار گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده علوم دامی و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران
پست الکترونیکی: B.alizadeh@asnrukh.ac.ir
۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده علوم دامی و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران
۳- دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۴- دکتری گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۹۹/۱/۲۷ تاریخ پذیرش: ۹۹/۵/۴

چکیده

سابقه و هدف: پودر آب پنیر محصول به‌دست آمده از فرآیند خشک کردن آب جدا شده از دلمه طی فرآیند تولید پنیر است. آب پنیر به عنوان پسماند آلی تولید پنیر محسوب می‌شود و با توجه به ویژگی‌های مناسب و درصد بالای لاکتوز آن، کاربرد ویژه ای در صنعت غذا به‌ویژه صنایع لبنی و تخمیری دارد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش، شرایط خشک کردن با توجه به دو پارامتر درصد ماده خشک آب پنیر (۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد) و دمای خشک‌کن (۱۵۰°C، ۲۰۰ و ۲۵۰) با استفاده از روش سطح پاسخ (RSM) بهینه‌یابی و برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی پودر حاصل به عنوان پاسخ اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد با افزایش غلظت ماده خشک محلول خوراک ورودی، دانسیته و راندمان تولید پودر افزایش یافت ولی رطوبت پودر تغییر معنی‌داری نکرد ($p<0/05$). میزان حلالیت پودر با توجه به غلظت آب پنیر (تا میزان ۴۰ درصد مواد جامد) ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. با افزایش دمای ورودی خشک‌کن، راندمان تولید و میزان حلالیت پودر افزایش و میزان رطوبت و دانسیته توده‌ای کاهش یافت. شرایط بهینه تولید پودر آب پنیر به منظور دستیابی به بیشترین راندمان تولید، حلالیت و کمترین مقدار رطوبت و دانسیته توده پودر براساس ۳۹/۳۷ درصد ماده خشک و دمای ورودی خشک‌کن ۲۵۰°C، تعیین شد.

نتیجه‌گیری: با توجه به مشخصات پودر آب پنیر می‌توان از آن به عنوان ماده اولیه در فرآیندهای مختلف تخمیر و انواع کشت‌ها استفاده کرد. همچنین با تولید پودر آب پنیر می‌توان آلودگی زیست محیطی ایجاد شده توسط کارخانجات لبنی را کاهش داد.

واژگان کلیدی: آب پنیر، لبنیات، روش سطح پاسخ، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی

• مقدمه

خطر کاهش مواد غذایی موجود در طبیعت و افزایش روز افزون جمعیت و آلودگی‌های زیست محیطی ایجاد شده توسط پساب کارخانجات مختلف (به ویژه کارخانه‌های تولید کننده محصولات لبنی)، توجه بسیاری از پژوهشگران کشورهای جهان را به استفاده از روش‌های بیوتکنولوژی در زمینه صنایع مواد غذایی به خود معطوف کرده است. استفاده از ضایعات صنعت غذا و کشاورزی می‌تواند در بسیاری از موارد، راهگشای حل مشکلات کمبود مواد غذایی و کاهش آلودگی‌های موجود در طبیعت باشد. به این ترتیب علاوه بر کاهش هزینه‌های تولید، از ایجاد ضایعات و آلودگی محیط زیست کاسته و از به هدر رفتن منابع مغذی جلوگیری می‌نماید (۱).

تمامی واحدهای صنایع شیر ایران جهت کاهش آلودگی زیست محیطی برای تصفیه فاضلاب صنعتی اقداماتی را انجام داده‌اند، فاضلاب صنعتی کارخانجات لبنی متشکل از پساب شیر حاوی چربی، پروتئین و کربوهیدرات بوده که پس از کارخانه‌های گوشت و فراورده‌های گوشتی آلوده‌ترین پساب

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-10-06]

صنعتی به شمار می‌رود و میزان آلودگی آن نیز ۱۰ برابر فاضلاب شهری است. برخی از مهمترین روش‌های تصفیه بیولوژیک که در صنایع لبنی استفاده می‌شود شامل سیستم لجن فعال متعارف، سیستم لجن فعال به روش هوادهی گسترده، روش‌های هضم به صورت هوازی، بی هوازی و هوادهی می‌باشد (۲).

از جمله ضایعات بسیار مرسوم در صنایع لبنیات آب پنیر می‌باشد. آب پنیر به عنوان یک محصول فرعی حاصل از تولید پنیرهای سخت، نیمه سخت، نرم و کازئین تهیه شده به وسیله آنزیم رنت (Rennet) محسوب می‌شود. آب پنیر یا پلاسمای شیر، مایعی است که بعد از لخته شدن شیر و تحت فشار قرار گرفتن لخته از آن خارج می‌گردد. آب پنیر شیرین در طی ساخت انواع پنیر سخت مثل چدار (Cheddar) یا پنیر سوئیسی به دست می‌آید آب پنیر اسیدی (معروف به آب پنیر ترش) در طی تولید پنیرهای اسیدی مثل پنیر کاتج (Cottage) تولید می‌گردد. این ماده غیر شفاف و رنگ آن زرد مایل به سبز بوده و دارای pH برابر ۳/۶ -۹/۵ می‌باشد. از آنجایی که آب پنیر دارای BOD (Biological Oxygen Demand) بالایی است و جاری سازی آن بر زمین‌های زراعی و آهکی امکان پذیر نمی‌باشد و از طرفی منبع بسیار مغذی از انواع پروتئین‌ها، کربوهیدرات و انواع متعددی املاح است، لذا تکنولوژی و فراوری بازیافت آن امری ضروری می‌باشد (۳).

بیشترین نحوه استفاده از آب پنیر، خشک کردن آن به صورت پودر آب پنیر می‌باشد به عبارت دیگر پودر آب پنیر مهمترین شکل محصولی است که از آب پنیر استحصال می‌شود. از جمله مصارف بسیار عمده پودر تهیه شده کاربرد آن در تهیه شیر خشک نوزاد است. در کنار این صنعت استفاده از آب پنیر در صنایعی همانند پفک‌سازی، نوشابه-سازی صنعت نانوایی مرسوم و رایج است. در حال حاضر سودآورترین راه حل مشکل زیست محیطی فراوری ضایعات آب پنیر به محصولات غذایی و دارویی است. همچنین به دلیل ماهیت بیوشیمیایی مناسب، امکان استفاده از این ترکیب به عنوان سوبسترا در کشت‌های تخمیری نیز وجود دارد (۴).

بشر از دیرباز به خشک کردن محصولات کشاورزی و غذایی توجه داشته است. نگهداری آسان، ماندگاری در شرایط معمولی و حفظ ارزش غذایی محصولات خشک شده و عدم نیاز به شرایط ویژه برای انبارداری از جمله مواردی است که اهمیت خشک کردن محصولات غذایی را بیش از پیش مشخص می‌کند. خشک‌کردن عبارت است از خارج ساختن یا کاهش رطوبت از مواد مرطوب تا به تعادل رسیدن رطوبت ماده یا محصول با رطوبت محیط. عواملی که در سرعت کاهش رطوبت هر محصول خاص در حین فرایند خشک کردن مؤثر هستند، شامل دما؛ سرعت جریان هوا، کاهش رطوبت نسبی هوای خشک کن و ضخامت لایه محصول است. در بین روش-ها و خشک کن‌هایی که برای خشک کردن مایعات و تولید پودر آن‌ها مورد استفاده قرارگرفته می توان خشک‌کن‌های پاششی (Spray Dryer)، انجمادی (Freeze Dryer) و غلتکی دوار (Rotary Roller) را نام برد. در میان تعدادی از روش‌های خشک کردن، خشک کردن پاششی یکی از روش‌های معمولی است که دارای گستره بیشتری برای تولید پودرهای خشک شده با کیفیت بالا و مطلوب می‌باشد (۵).

خشک‌کن‌های پاششی دارای فرایندی مداوم و پیوسته بوده و فرایند خشک کردن توسط خشک‌کن پاششی عبارت است از تبدیل محصول از حالت محلول به ذرات خشک جامد به وسیله اسپری کردن آن در محیطی که دمای لازم برای خشک کردن با استفاده از هوای گرم تأمین شده است. مهم ترین ویژگی پودر به دست آمده، یکنواختی ذرات آن است که باعث به وجود آمدن ویژگی‌هایی نظیر روان بودن، حل شدن سریع، آسانی در مخلوط شدن با مواد دیگر و همچنین سهولت انجام عملیات بعدی روی آن می‌شود. به طور کلی در سیستم خشک‌کن پاششی چهار مرحله اسپری کردن خوراک، تماس بین فاز هوای داغ و مایع اسپری شده، خشک شدن قطرات اسپری شده، جداسازی محصول خشک شده از هوا صورت می‌گیرد (۶).

در پژوهش حاضر پس از تهیه نمونه‌های آب پنیر از شرکت پگاه خوزستان و آماده سازی آن‌ها در غلظت های مختلف و رساندن به ماده خشک ۴۰،۳۰ و ۵۰ درصد وزنی حجمی، با کمک خشک کن پاششی با سه دمای ورودی ۱۵۰°C، ۲۰۰ و ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد عمل اسپری و خشک کردن بهینه‌سازی تولید صورت گرفت و ویژگی‌های فیزیکو شیمیایی نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفت.

• مواد و روش‌ها

ابتدا از چند نمونه بچ تولیدی پگاه خوزستان آب پنیر محلول تهیه شد و پس از آماده‌سازی، با استفاده از خشک‌کن پاششی، فرایند خشک کردن صورت گرفت. تمامی مواد آزمایشگاهی از شرکت مرک آلمان تهیه شد.

تغلیظ محلول خوراک ورودی: برای تولید خوراک ورودی به خشک‌کن پاششی، محلول آب پنیر تهیه شده قبل از ورود به خشک‌کن پاششی تا دمای ۷۰ °C حرارت دیده و تغلیظ شدند. سیستم تغلیظ کننده معمولا شامل اجزاء مختلف می-

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-10-06]

باشد که عبارتند از پیش‌گرمکن‌ها، عملیات حرارتی، سیستم هلدینگ (Holding)، تغلیظ کننده‌ها، جداکننده‌های بخار- مایع، پمپ‌های انتقال، فلاش تانک و کندانسور تغلیظ کننده ها از نوع فیلم ریزشی هستند که مجهز به سیستم توزیع خوراک مناسب بوده و عملیات تغلیظ را تحت شرایط خلاء انجام می دهند، تغلیظ کننده‌ها برحسب ظرفیت واحد از یک تا چند مرحله‌ای ساخته می‌شوند و افزایش تعداد مراحل راندمان حرارتی سیستم را افزایش می‌دهد، میزان خوراک، میزان خلاء، دمای مراحل تغلیظ و فشار بخار مصرفی با استفاده از سیستم‌های تمام اتوماتیک کنترل می‌شود (۷).

تولید پودر آب پنیر: برای تولید پودر، خوراک‌های تغلیظ شده به خشک‌کن پاششی افشانه‌ای نیمه صنعتی two flow nozzle, counter-current سروش صنعت- نیشابور منتقل شدند. همچنین خشک‌کن به یک کمپرسور هوای فشرده متصل بوده که فشار هوای خروجی از آن حدود ۲ bar بود. بخشی از هوای فشرده خروجی از کمپرسور به محفظه خوراک وارد شده و در آنجا نیروی مورد نیاز جهت انتقال سیال به بالای برج خشک‌کن را تأمین می‌کرد (۹، ۸). در این سیستم با بهره‌گیری از تکنولوژی اتمایزر (Atomiser)، کنسانتره که توسط مبدل حرارتی به دمای مناسب رسیده است به ذرات بسیار ریز تبدیل می‌شود و در تماس با هوای داغ قرار گرفته، هوا توسط سیستم گرمکن تا دمای مورد نظر گرم شده و وارد سیستم می‌شود، در محفظه خشک‌کن پس از تماس قطرات کنسانتره و هوای داغ تبخیر صورت می‌گیرد و پودر حاصل به انتهای محفظه می‌ریزد، بخشی از پودر که همراه با هوا از محفظه خشک‌کن خارج می‌شود توسط سیکلون‌ها از هوا خارج می‌شود (۱۰).

آزمون‌های پودر آب پنیر

راندمان تولید پودر: راندمان تولید پودر یکی از شاخص‌های اصلی عملکرد خشک‌کن پاششی است. راندمان کلی پودر خشک شده طبق معادله ۱، محاسبه شد (۱۱).

معادله ۱:

۱۰۰×(مواد جامد کل خوراک/وزن کل پودر تولیدی بر پایه خشک)=درصد راندمان پودر

درصد رطوبت پودر: برای اندازه‌گیری میزان رطوبت، g ۵ از پودرها در آون با دمای $^{\circ}C$ ۱۰۵ قرارگرفته و در زمان‌های مختلف توزین شد تا زمانی که تغییر وزن مشاهده نگردید در نهایت با داشتن وزن اولیه و وزن خشک نمونه‌ها، مقدار رطوبت طبق معادله ۲، مشخص شد (۱۲).

معادله ۲:

۱۰۰ × وزن اولیه / (وزن خشک - وزن اولیه)= درصد رطوبت پودر بر پایه مرطوب

دانسیته توده پودر: برای محاسبه دانسیته توده‌های پودرها، g ۲ از آن‌ها توزین شده و در استوانه مدرج mL ۱۰ ریخته شد و حجم معادل پودر توسط ارتفاعی که در استوانه مدرج بالا آمده بود، محاسبه گردیده و مقدار دانسیته توده‌ای به صورت معادله ۳، محاسبه شد (۱۳).

معادله ۳:

حجم وزن مشخص از آن پودر (cm^3) /وزن پودر (g) = دانسیته توده (g/cm^3)

حلالیت پودر: mL ۵۰ آب مقطر به یک بشر mL ۲۰۰ انتقال داده شد و g ۵ پودر به ظرف اضافه شد و سپس روی همزن با سرعت rpm ۸۰۰ برای مدت min ۵ در دمای اتاق ($^{\circ}C$ ۲۵) قرار گرفت. مخلوط به دست آمده با سرعت rpm ۳۰۰۰ برای مدت min ۵ دقیقه سانتریفوژ شد. سپس mL ۲۵ از محلول شناور رویی (سوپرناتانت) به یک پتری دیش از قبل وزن شده انتقال یافت و در آون با دمای $^{\circ}C$ ۱۰۵ تا رسیدن به وزن ثابت قرار گرفت. میزان حلالیت بر اساس وزن سوپرناتانت خشک شده در برابر وزن پودر اولیه مطابق با معادله ۴، تعیین شد (۱۴).

معادله ۴:

۱۰۰ × وزن پودر اولیه (g ۵) / وزن سوپرناتانت خشک شده = درصد حلالیت

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها: پس از انجام پیش‌تیمارهای اولیه و به‌دست آوردن دامنه مناسب متغیرهای مستقل، روش سطح پاسخ در قالب طرح مرکب مرکزی (Central Composite Design)، برای پیش‌بینی تأثیر متغیرهای تولید پودر شا مل دمای هوای ورودی خشک‌کن $^{\circ}C$ ۱۵۰، ۲۰۰ و ۲۵۰ و ماده خشک اولیه ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد بر راندمان تولید، حلالیت، رطوبت و دانسیته توده تیمارها بررسی شد. پژوهش شامل ۳ تکرار در طرح CCD با سه نقطه مرکزی در ۲۱ آزمایش تعیین شد. آنالیز داده‌ها و رسم نمودارها، به کمک نرم افزار Design-Expert نسخه ۸،۰،۰ انجام گرفت (۱۶، ۱۵).

• یافته‌ها

بررسی اثرات متغیرها توسط روش سطح پاسخ: آنالیز واریانس برای ارزیابی اثرات معنی‌داری متغیرهای فرآیند روی هر یک از پاسخ‌ها انجام شد. توابع پاسخ در مورد پارامترهای

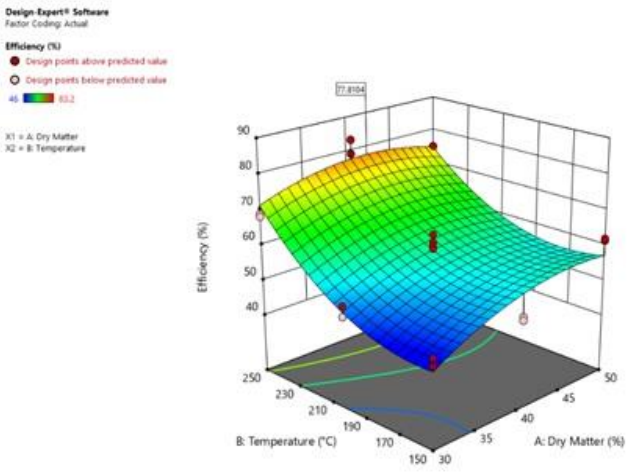
[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-10-06]

اندازه‌گیری شده با استفاده از مدل‌های مختلف (خطی، دوفاکتوره و درجه دوم) بر اساس ضریب همبستگی و ضریب همبستگی تنظیم‌شده مقایسه گردید. به‌صورتی که مدلی که دارای بیش‌ترین مقادیر این فاکتورها باشد دارای قدرت پیش-بینی بالا و دقت بیشتری خواهد بود. آنالیز واریانس برای تعیین عدم برازش و معنی‌دار بودن اثرات خطی و درجه دوم و برهمکنش متغیرهای مستقل بر متغیرهای وابسته صورت گرفت. اگر مقدار P value برای آزمون عدم برازش در ANOVA بزرگتر مساوی ۰/۰۵ باشد، به معنای کافی بودن مدل برای پیش‌بینی پاسخ مورد نظر می‌باشد (۱۷).

جدول ۱. تیمارهای طراحی شده توسط طرح مرکب مرکزی

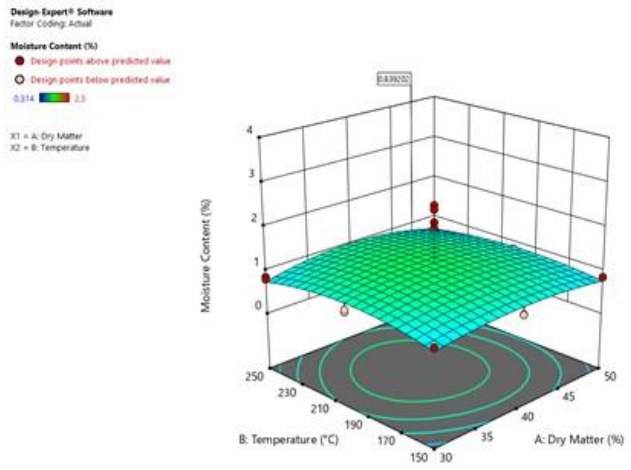
شماره	دما (درجه سانتی‌گراد)	ماده خشک (درصد)
۱	۲۰۰	۴۰
۲	۲۰۰	۵۰
۳	۱۵۰	۵۰
۴	۱۵۰	۵۰
۵	۲۰۰	۳۰
۶	۲۵۰	۵۰
۷	۲۵۰	۳۰
۸	۱۵۰	۳۰
۹	۲۰۰	۴۰
۱۰	۲۰۰	۴۰
۱۱	۲۵۰	۴۰
۱۲	۱۵۰	۳۰
۱۳	۲۰۰	۵۰
۱۴	۲۰۰	۳۰
۱۵	۲۵۰	۵۰
۱۶	۱۵۰	۴۰
۱۷	۱۵۰	۴۰
۱۸	۲۵۰	۴۰
۱۹	۲۰۰	۴۰
۲۰	۲۵۰	۳۰
۲۱	۲۰۰	۴۰

بررسی راندمان تولید پودر: بررسی نتایج آنالیز واریانس نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار راندمان به ترتیب مربوط به ۲۵۰ $^{\circ}C$ و ۴۰ درصد ماده خشک در سطح اطمینان ۹۵ درصد بود. همان طور که در شکل ۱، نشان داده شده است، اثر متغیرهای مستقل بر راندمان تولید نشان می‌دهد با افزایش دمای ورودی و درصد ماده خشک بازدهی تولید افزایش پیدا کرد.



شکل ۱. نمودار سه بعدی اثر متغیرهای دمای ورودی و غلظت ماده خشک بر راندمان تولید پودر آب پنیر

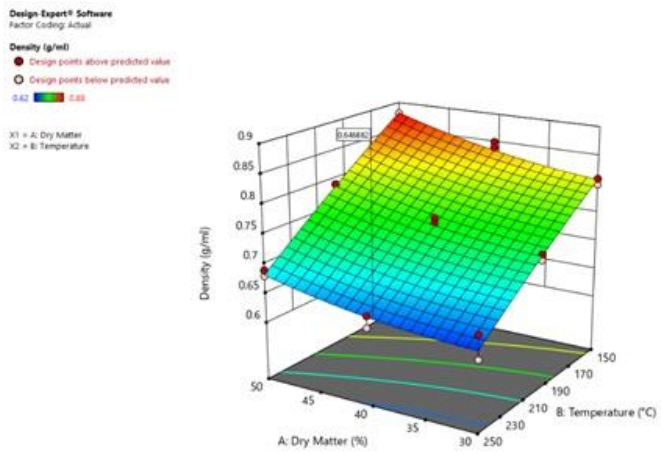
بررسی رطوبت پودر: بررسی نتایج آنالیز واریانس داد اثر سطوح پارامترهای عملیاتی دمای ورودی خشک کن و غلظت ماده خشک بر مقدار رطوبت در سطح اطمینان ۹۵ درصد در شکل ۲، نشان داده شده است. بیشترین مقدار رطوبت مربوط به تیمارهای ۲۰۰ $^{\circ}C$ و ۴۰ درصد ماده خشک بود.



شکل ۲. نمودار سه بعدی اثر متغیرهای دمای ورودی و غلظت ماده خشک بر رطوبت پودر آب پنیر

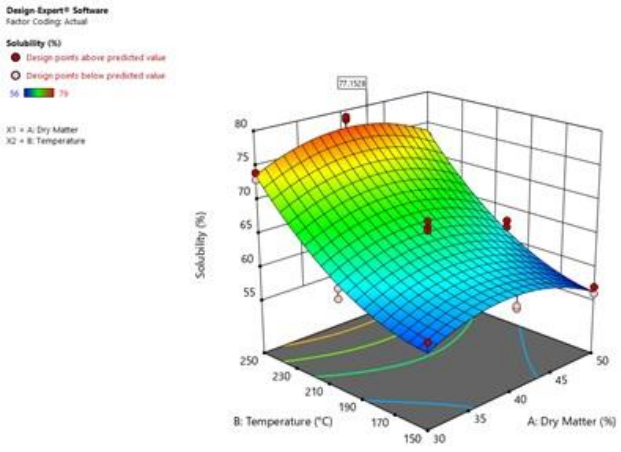
مقدار دانسیته توده‌ای: دانسیته توده، تراکمی از ماده است زمانی که آن ماده بسته‌بندی شده یا به صورت فله‌ای انباشته شده باشد. همان طورکه در شکل ۴، مشخص است با افزایش دمای ورودی خشک‌کن دانسیته توده کاهش یافت.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-10-06]



شکل ۳. نمودار سه بعدی اثر متغیرهای دمای ورودی و غلظت ماده خشک بر دانسیته توده ای پودر آب پنیر

بررسی حلالیت پودر: بررسی نتایج آنالیز واریانس نشان داد که اثر سطوح پارامترهای عملیاتی دمای ورودی خشک‌کن و غلظت ماده خشک بر حلالیت پودر در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار بود. همانطور که در شکل ۴، مشاهده می‌شود حلالیت پودرها با افزایش دمای ورودی افزایش می‌یابد.



شکل ۴. نمودار سه بعدی اثر درجه حرارت ورودی و غلظت ماده خشک بر حلالیت پودر آب پنیر

بهینه‌سازی: شرایط بهینه تولید پودر آب پنیر توسط خشک‌کن پاششی برای دستیابی به حداقل رطوبت، دانسیته توده و حداکثر راندمان تولید و حلالیت مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد تیمار بهینه ماده خشک ۳۹/۳۷ درصد و دمای ورودی ۲۵۰ °C خشک‌کن، بوده و در نقطه بهینه، راندمان تولید ۷۷/۵۳ درصد، مقدار رطوبت ۰/۹۲ درصد، دانسیته توده ۰/۶۴ g/mL و حلالیت ۷۷/۳۳ درصد بود.

• بحث

راندمان تولید پودر یکی از شاخص های اصلی عملکرد خشک‌کن پاششی است. این امر می‌تواند به دلیل شارش بالاتر فرآیندهای انتقال حرارت و جرم و کاهش احتمالی برخورد ذرات خشک‌شده به دیواره خشک‌کن باشد (۱۸). طبق پژوهش Chae و همکاران (۲۰۲۰)، کاهش شیب راندمان تولید پودر به دلیل مشکلات چسبندگی بوده و به این معنی است که دمای خشک کردن بالاتر از دمای انتقال شیشه‌ای (Glass Transfer Temperature) آن است (۱۹). نتایج مشابهی در افزایش راندمان پودر با افزایش دمای هوای ورودی توسط Banat و همکاران (۲۰۰۲) و Tonon و همکاران (۲۰۰۸)، بر پودر رب گوجه فرنگی، آب توت سیاه و آکایی مشاهده شد. راندمان پودر آب پنیر با افزایش غلظت ماده خشک اولیه نیز افزایش یافت. این افزایش راندمان تولید پودر را می‌توان ناشی از کاهش چسبندگی و رسوبات ذرات پودر بر دیواره محفظه خشک‌کن مرتبط دانست (۲۰، ۱۲). یکی دیگر از عوامل ممکن است به دلیل افزایش برآیند دمای انتقال شیشه‌ای خوراک با افزایش غلظت خوراک باشد. دمای انتقال شیشه‌ای پروتئین آب پنیر ۱۵۳°C می‌باشد. نتایج مشابهی به وسیله Fang و همکاران (۲۰۱۲)، که بر خشک کردن پاششی آبمیوه بلوبری با استفاده از پروتئین آب‌پنیر و مالتودکسترین کارکرده‌اند مشاهده شده است. تا حد زیادی راندمان پودر با پروتئین افزایش یافته است که ممکن است به دلیل مهاجرت پروتئین در میان آب و هوا و تشکیل یک لایه پروتئینی قوی باشد که زمانی که در معرض هوای گرم و خشک قرار گیرد، تبدیل به یک سطح شیشه‌ای می‌شود. پوست تشکیل شده قادر است بر به هم پیوستن قطرات و انعقاد آن‌ها و همچنین بر فعل و انفعالات چسبندگی ذرات در محفظه خشک‌کن غلبه کند. این فیلم تشکیل شده ممکن است نسبتاً دمای انتقال شیشه‌ای بالاتری داشته باشد که می‌تواند برای غلبه بر ذرات چسبنده در حالت شیشه‌ای باقی بماند (۲۲، ۲۱، ۱۷).

مقدار رطوبت یک ویژگی ضروری برای تعیین پایداری بوده و در دماهای پایین رطوبت به خوبی گرفته نمی‌شود. این امر به دلیل کاهش سرعت انتقال حرارت و جرم است (۲۳). همانطور که در شکل ۳، مشخص است مقدار رطوبت پودر با افزایش دمای ورودی خشک‌کن کاهش می‌یابد. اختلاف حرارت زیاد بین محیط خشک کردن و ذرات، آهنگ انتقال حرارت به ذرات را بالا خواهد برد که یک نیروی محرکه‌ای برای حذف رطوبت فراهم می‌نماید. زمانی که خشک کردن توسط هوا انجام می‌شود دما یک نقش مهم ثانویه را ایفا می-

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-10-06]

کند. رطوبت در این حالت یک فضای اشباعی را در سطح ذرات ایجاد کرده که نرخ حذف آب را کند می‌کند. هوای داغ-تر رطوبت بیشتری را قبل از رسیدن به حالت اشباع در خود نگه می‌دارد. نتایج مشابهی در کاهش رطوبت با افزایش دمای ورودی خشک‌کن توسط Bazaria و همکاران (۲۰۱۶) (۱۴)، Rattes و همکاران (۲۰۰۷) (۹)، Gharsallaoui و همکاران (۲۰۰۶) (۵) و Fang و همکاران (۲۰۱۲) (۲۱)، که روی محصولات غذایی مختلف مطالعه کرده بودند مشاهده شد. با توجه به شکل ۳، مشخص شد با افزایش غلظت ماده خشک مقدار رطوبت با شیب ملایمی افزایش می‌یابد. این کاهش ممکن است به این دلیل باشد که با افزایش مقدار مواد جامد کل خوراک رطوبت کل برای تبخیر افزایش می‌یابد. دلیل آن این است که برای مولکول‌های آب بسیار دشوار است که از مولکول‌های بزرگ ماده خشک عبور کنند و خارج شوند.

این اثر ممکن است به این دلیل باشد که افزایش ماده خشک چسبیدن ذرات ترموپلاستیکی را به حداقل می‌رساند. علاوه بر این، ممکن است حجم هوای محبوس شده در ذرات افزایش یابد، چون در سطح ذرات تشکیل یک لایه را می‌دهد. ذراتی که روی آن‌ها لایه تشکیل شده است اغلب حاوی حباب های هوا بوده، که می‌تواند به علت وجود هوا در خوراک اولیه باشد یا در طول پاشش جذب شده باشد. عموماً، افزایش حجم هوای محبوس شده سبب کاهش دانسیته ظاهری ذرات شده و این دانسیته ظاهری در درجه اول تعیین کننده دانسیته توده پودر است. نتایج مشابهی در ارتباط با پودر آب توت سیاه، پودر آب انار، پودر رب گوجه فرنگی و پودر پالپ تمبر هندی نیز گزارش شده است (۲۵، ۲۴، ۱۷). دانسیته توده با افزایش دمای هوای ورودی خشک کن کاهش می‌یابد. این امر به دلیل آن است که آهنگ تبخیر سریعتر شده و ذرات خشک شده ساختار متخلخل به خود می‌گیرند. پژوهش‌های مختلف نشان می‌دهد که با افزایش در دمای ورودی معمولاً یک کاهشی را در دانسیته ذره‌ها سبب می‌شود و تمایل زیادی برای ذراتی که به شکل توخالی درآیند وجود دارد (۲۵).

افزایش دما باعث افزایش اندازه ذرات شده و ذرات درشت با تخلخل بالا سریع‌تر در آب حل می‌شوند، به عبارتی آب راحت‌تر در آن‌ها نفوذ می‌کند، اما ذرات ریز روی آب شناور باقی می‌مانند. مقادیر حلالیت به‌دست آمده در این پژوهش در مقایسه با سایر پژوهش‌های صورت گرفته کمتر بود. این عمل به دلیل مقادیر پایین قند در مقایسه با بیشتر آب میوه‌ها است. با افزایش غلظت ماده خشک، میزان حلالیت ابتدا افزایش سپس کاهش می‌یابد. این افزایش به علت حلالیت بالای ماده خشک در آب است و پس از غلظت مشخصی به دلیل بار سطحی ذرات این حلالیت کاهش می‌یابد (۲۶، ۲۰).

نتیجه‌گیری

در این پژوهش تولید پودر آب پنیر با استفاده از خشک‌کن پاششی نیمه صنعتی با هدف بیشترین راندمان تولید و حداقل تغییر در ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی با در نظر گرفتن صرفه اقتصادی انجام گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش دمای هوای ورودی راندمان تولید، حلالیت، پودر افزایش و مقدار رطوبت، دانسیته توده کاهش پیدا کرد. از طرفی با افزایش غلظت ماده خشک راندمان تولید پودر، حلالیت، افزایش و مقدار رطوبت و دانسیته توده کاهش پیدا کرد. با توجه به شرایط مناسب تولید این ترکیب و همچنین اثرات سلامتی بخش ثابت شده آن، امکان استفاده به عنوان مکمل‌های غذایی و دارویی و یا استفاده به عنوان ماده اولیه ارزان قیمت در کشت‌های تخمیری وجود دارد.

سپاسگزاری

مقاله حاضر بخشی از نتایج طرح پژوهشی کاربردی با شماره ۱/۴۱۱/۴۳۳ می‌باشد، لذا نویسندگان مقاله بر خود لازم می-دانند از معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان به دلیل حمایت‌های مادی و معنوی صمیمانه تشکر و قدردانی کنند.

• References

1. Anandharamakrishnan C, Rielly C, Stapley A. Effects of process variables on the denaturation of whey proteins during spray drying. Dry Tech 2007; 25(5): 799-807.
2. Anandharamakrishnan C, Rielly CD, Stapley AG. Loss of solubility of α-lactalbumin and β-lactoglobulin during the spray drying of whey proteins. LWT-Food Sci Tech 2008; 41(2): 270-7.
3. Fang Y, Rogers S, Selomulya C, Chen XD. Functionality of milk protein concentrate: Effect of spray drying temperature. B Biochem Eng J 2012; 62: 101-5.
4. Boonyai P, Bhandari B, Howes T. Stickiness measurement techniques for food powders: a review. Powder Tech 2004; 145(1): 34-46.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-10-06]

5. Gharsallaoui A, Roudaut G, Chambin O, Voilley A, Saurel R. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. Food Res Int 2007; 40(9): 1107-21.

6. Cai Y-Z, Corke H. Production and properties of spray- dried Amaranthus betacyanin pigments. J Food Sci 2000; 65(7): 1248-52.

7. Miki N, Akastu A. Effects of heating sterilization on color of tomato juice. Nippon Shok Kog Gakkaishi 1970; 17: 175-81.

8. Zanoni B, Peri C, Nani R, Lavelli V. Oxidative heat damage of tomato halves as affected by drying. Food Res Int 1998; 31(5): 395-401.

9. Rattes ALR, Oliveira WP. Spray drying conditions and encapsulating composition effects on formation and properties of sodium diclofenac microparticles. Powder Tech 2007; 171(1): 7-14.

10. Peng Z, Li J, Guan Y, Zhao G. Effect of carriers on physicochemical properties, antioxidant activities and biological components of spray-dried purple sweet potato flours. LWT-Food Sci Tech 2013; 51(1): 348-55.

11. Chegini G, Ghobadian B. Effect of spray-drying conditions on physical properties of orange juice powder. Dry Tech 2005; 23(3): 657-68.

12. Banat F, Jumah R, Al- Asheh S, Hammad S. Effect of operating parameters on the spray drying of tomato paste. Eng Life Sci 2002; 2(12): 403-7.

13. Bhandari BR, Datta N, Howes T. Problems associated with spray drying of sugar-rich foods. Dry Tech 1997; 15(2): 671-84.

14. Bazaria B, Kumar P. Effect of whey protein concentrate as drying aid and drying parameters on physicochemical and functional properties of spray dried beetroot juice concentrate. Food Bio. 2016; 14: 21-7.

15. Arpagaus C. A novel laboratory-scale spray dryer to produce nanoparticles. Dry Tech 2012; 30(10): 1113-21.

16. Adhikari B, Howes T, Bhandari B, Troung V. Effect of addition of maltodextrin on drying kinetics and stickiness of sugar and acid-rich foods during convective drying: experiments and modelling. J Food Eng 2004; 62(1): 53-68.

17. Karaaslan İ, Dalgıç AC. Spray drying of liquorice (Glycyrrhiza glabra) extract. J Food Sci Tech 2014; 51(11): 3014-25.

18. Toro-Sierra J, Schumann J, Kulozik U. Impact of spray-drying conditions on the particle size of microparticulated whey protein fractions. Dairy Sci Tech 2013; 93: 487-503.

19. Chae S, Choi SH, Kim N, Sung J, Cho J. Integration of graphite and silicon anodes for the commercialization of high- energy lithium- ion batteries. Ang Chem Int Edi 2020; 59(1): 110-35.

20. Tonon RV, Brabet C, Hubinger MD. Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (Euterpe oleraceae Mart.) powder produced by spray drying. J Food Eng 2008; 88(3): 411-8.

21. Fang Z, Bhandari B. Comparing the efficiency of protein and maltodextrin on spray drying of bayberry juice. Food Res Int 2012; 48(2): 478-83.

22. Abadio F, Domingues A, Borges S, Oliveira V. Physical properties of powdered pineapple (Ananas comosus) juice–effect of malt dextrin concentration and atomization speed. J Food Eng 2004; 64(3): 285-7.

23. Barrios QAJ, Perez MJA, Telotte J. A comprehensive analysis of critical variables used to design a spray dryer of whey protein concentrates. Chem Ind Chem Eng Quarter 2020: 26(2): 191-202.

24. Obón J, Castellar M, Alacid M, Fernández-López J. Production of a red–purple food colorant from Opuntia stricta fruits by spray drying and its application in food model systems. J Food Eng 2009; 90(4): 471-9.

25. Tonon RV, Brabet C, Hubinger MD. Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (Euterpe oleraceae Mart.) powder produced by spray drying. J Food Eng 2008; 88(3):411-8.

26. Sharma SK, Le Maguer M. Kinetics of lycopene degradation in tomato pulp solids under different processing and storage conditions. Food Res Int 1996; 29: 309-15.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-10-06]

Optimization of Whey Powder Production Yield Using Spray Dryer and Assessment of Physicochemical Characteristics of the Whey Powder

Alizadeh Behbahani B[1], Jooyandeh H[2], Falah F[3], Vasiee A[4]*

1. **Corresponding author: Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Animal Science and Food Technology, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran.*
   Email: B.alizadeh@asnrukh.ac.ir
2. *Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Animal Science and Food Technology, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran*
3. *PhD student, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran*
4. *PhD, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran*

Received 15 Apr, 2020 **Accepted 25 Jul, 2020**

Background and Objectives: Whey powder is a product of water drying process separated from the curd during cheese making processes. Furthermore, whey is an organic waste of cheese production, including significant uses in food industries, particularly in dairy and fermentation stages because of its special characteristics and high quantities of lactose.

Materials & Methods: In the present study, two spray drying parameters including dry matter contents of whey (30, 40 and 50% T.S.) and dryer temperatures (150, 200 and 250 °C) were optimized using response surface methodology and then physicochemical characteristics of the powder were assessed as responses.

Results: Results showed that by increasing dry matter contents of input feed solutions, whey powder density and production yield increased but changes in moisture contents were not significant ($p > 0.05$). As the whey concentration increased (up to 40% T.S.), the powder solubility was enhanced and then decreased. As the dryer inlet temperature increased, the production yield and solubility of the powder increased and the powder moisture content and bulk density decreased. The optimum conditions for whey powder production to achieve the highest production yield and solubility and the lowest moisture content and bulk density of the powder were reported as 39.37% dry matter content of whey and 250 °C dryer inlet temperature.

Conclusion: Based on the characteristics of whey powder, it can be used as a raw material in various fermentation processes and cultures. Moreover, environmental pollutions by dairy plants decrease by production of whey powder.

Keywords: Whey, Dairy product, Response surface methodology, Physicochemical characteristics

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-10-06]