

## Effect of operating parameters on the physical and flow properties of spray dried low-phenylalanine whole camel milk: A response surface methodology approach

Sanaz Kamali<sup>1</sup>, Mahdi Kashaninejad<sup>2\*</sup>, Seyed Mahdi Jafari<sup>2</sup>,  
Mohammad Ghorbani<sup>3</sup>

<sup>1</sup>PhD student, Department of Food Process Engineering, Faculty of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

<sup>2</sup>Professor, Department of Food Process Engineering, Faculty of Food Science & Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. Email: kashani@gau.ac.ir

<sup>3</sup>Associate Professor, Faculty of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

### Article Info

#### Article type:

Research Full Paper

#### Article history:

Received: 12-01-2023

Revised: 12-07-2023

Accepted: 19-07-2023

#### Keywords:

Low-phenylalanine  
whole camel milk  
powder  
Flowability  
Hassner's Ratio  
Carr Index  
color

### ABSTRACT

**Background and objectives:** Camel milk has many nutritional and therapeutic properties. Additionally, due to the absence of beta-lactoglobulin, it does not cause allergic reactions in children. Phenylketonuria is a hereditary metabolic disease that unable to metabolize the amino acid phenylalanine. The most severe clinical complication of this disease is irreversible mental retardation. Nowadays, using food sources without phenylalanine is the only way to cure. The aim of this research was to produce spray dried low-phenylalanine whole camel milk in a laboratory scale with optimum flow ability to be used in the diet of these patients.

**Materials and methods:** Fresh camel milk was prepared from dromedary camels (Golestan, Iran) and its amino acid phenylalanine (Phe) content was measured by HPLC method. Then, whole camel milk was hydrolyzed by using two types of protease (*Aspergillus oryzae* and papain) in three different ways. The optimum method for removing the amino acid phenylalanine from whole camel milk was determined by calculating and comparing the analysis of variance of the removal efficiency of phenylalanine. This low-Phe sample was dried in a spray dryer with three variables parameters of inlet temperature in three levels 120, 140 and 160°C and feed flow rate in three levels 400, 600 and 800 mL/min and air flow rate in three levels 15, 20 and 25 m<sup>3</sup>/h. The experimental design in the drying stage was response surface method (RSM) and Box-Benken experimental design.

**Results:** The results showed that by using the combined method of two enzymes of *Aspergillus oryzae* and papain with equal amount and using activated carbon of 0.9 gr/gr protein, a 99.33% decrease in the amino acid content of phenylalanine was observed in whole camel milk. The sample of hydrolyzed camel milk with the lowest amount of the was used in a spray dryer at three temperatures from 120 to 160°C and three feed flow rates from 400 to 800 mL/min and

---

three air flow rates from 15 to 25 m<sup>3</sup>/h. The results showed that the parameters used in spray dryer had significant effect on the flow ability characteristics of low-Phe whole camel milk powder produced in the research including bulk and tapped density, filling and emptying repose angles, dispensability, wettability, cohesiveness, Particle size distribution and color parameters.

**Conclusion:** Analysis of variance (ANOVA) of the results showed that the effect of inlet temperature parameters on bulk and tapped density of low-Phe camel milk powder was significant ( $p>0.05$ ). The highest bulk and tapped density related to the sample was dried at 120°C and the feed flow rate of 600 mL/min and the air flow rate of 25 m<sup>3</sup>/h (520 and 630 kg/m<sup>3</sup>, respectively) And the lowest of them was 172 and 340 kg/m<sup>3</sup> for the sample was dried at 140°C, feed flow rate of 800 mL/min and air flow rate of 15 m<sup>3</sup>/h. The Carr Index of low-Phe camel milk powder showed that the sample was dried at 160°C and a feed flow rate of 600 mL/min and an air flow rate of 20 m<sup>3</sup>/h had very good flowability. The same sample according to Hassner's Ratio was very good powder. The angle of repose of filling was directly related to the cohesiveness of powders, so that the angle of repose of filling increased with the increase of cohesiveness. The falling repose angle was also inversely related to the flowability of the samples, and by reducing the repose angle, their flowability was done more easily. Increasing the inlet temperature of the spray dryer also increased the size of powder particles and the amount of a\* and b\*, while the amount of L\* of the sample of whole camel milk powder decreased.

---

**Cite this article:** Kamali, S., Kashaninejad, M., Jafari, S.M., Ghorbani, M. 2023. Effect of operating parameters on the physical and flow properties of spray dried low-phenylalanine whole camel milk: A response surface methodology approach. *Food Processing and Preservation Journal*, 15(2), 103-124.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/FPPJ.2023.20968.1735

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

---

## بررسی اثر پارامترهای عملیاتی در خشک کن پاششی بر ویژگی‌های جریان پذیری شیر خشک شتر کامل کم فنیل آلانین به روش سطح پاسخ

ساناز کمالی<sup>۱</sup>، مهدی کاشانی نژاد<sup>۲\*</sup>، سیدمهدی جعفری<sup>۲</sup>، محمد قربانی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری، گروه مهندسی فرآیندهای غذایی، دانشکده علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران  
<sup>۲</sup> استاد، گروه مهندسی فرآیندهای غذایی، دانشکده علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران، رایانامه: kashani@gau.ac.ir  
<sup>۳</sup> دانشیار، دانشکده علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
<b>نوع مقاله:</b> مقاله کامل علمی-پژوهشی	<b>سابقه و هدف:</b> شیرشتر دارای خواص تغذیه‌ای و درمانی متعددی است. از جمله به دلیل عدم وجود بتالاکتوگلوبولین در شیرشتر، مصرف آن سبب بروز واکنش‌های حساسیتی به‌ویژه در کودکان نمی‌شود. فنیل‌کتونوریا بیماری متابولیک ارثی است که بیماران مبتلا به این عارضه قادر به متابولیزه کردن اسیدآمینه فنیل‌آلانین نیستند. شدیدترین عارضه بالینی این بیماری بروز عقب ماندگی ذهنی غیرقابل بازگشت می‌باشد. در حال حاضر استفاده از منابع غذایی بدون فنیل‌آلانین تنها راه درمان این بیماری می‌باشد. لذا هدف از این پژوهش، تولید شیرشتر کامل کم فنیل‌آلانین جهت استفاده در برنامه غذایی بیماران مبتلا به فنیل‌کتونوریا بود.
<b>واژه‌های کلیدی:</b> شیر خشک شتر کم فنیل‌آلانین جریان‌پذیری نسبت هاسنر شاخص کار رنگ	<b>مواد و روش‌ها:</b> شیرشتر مورد استفاده در این پژوهش از شترهای نژاد درومل-ریوس (تک کوهانه) بومی استان گلستان تهیه و در ابتدا میزان اسیدآمینه فنیل‌آلانین آن به روش HPLC اندازه‌گیری شد. سپس شیر کامل شتر با استفاده از دو نوع پروتئاز حاصل از اسپرژیلوس اوریزا و پاپایین به سه روش آنزیم‌زنی تحت هیدرولیز آنزیمی قرار گرفتند. روش بهینه حذف اسیدآمینه فنیل‌آلانین از شیرشتر کامل با محاسبه و مقایسه آنالیز واریانس و کارایی حذف فنیل-آلانین تعیین شد. این نمونه در خشک‌کن پاششی با سه متغیر دمای ورودی در سه سطح ۱۲۰، ۱۴۰ و ۱۶۰°C و دبی جریان خوراک در سه سطح ۴۰۰، ۶۰۰، ۸۰۰ mL/min و دبی جریان هوا در سه سطح ۱۵، ۲۰ و ۲۵ m <sup>3</sup> /h خشک گردید. برای اجرای تیمارها در مرحله خشک‌کردن از روش سطح پاسخ <sup>۱</sup> و آزمون باکس-بنکن <sup>۲</sup> استفاده شد.
	<b>یافته‌ها:</b> نتایج این پژوهش نشان داد با استفاده از روش ترکیب دو آنزیم اسپرژیلوس اوریزا و پاپایین با مقدار مساوی و استفاده از کربن فعال ۰/۹ گرم به ازای گرم پروتئین، کاهش ۹۹/۳۳ درصدی در محتوای اسیدآمینه فنیل‌آلانین در شیرشتر کامل مشاهده گردید. نمونه شیرشتر هیدرولیز شده با کمترین میزان فنیل‌آلانین در خشک‌کن پاششی در محدوده دمای ۱۲۰ تا ۱۶۰°C

<sup>1</sup> Response Surface Methodology (RSM)

<sup>2</sup> Box-Behnken

و سه دبی جریان خوراک ۴۰۰ تا ۸۰۰ mL/min و سه دبی جریان هوا ۱۵ تا ۲۵ m<sup>3</sup>/h خشک شد. نتایج نشان داد پارامترهای خشک کردن بر خصوصیات جریان پذیری شیرخشک شتر کامل کم فنیل آلانین تولید شده شامل دانسیته توده‌ای و ضربه‌ای، زاویه‌های ریپوز پر و تخلیه، پخش شونده‌گی، خیس شونده‌گی، پیوستگی، توزیع اندازه ذرات و پارامترهای رنگی تاثیر دارد.

**نتیجه‌گیری:** آنالیز واریانس نتایج نشان داد اثر دمای ورودی خشک‌کن پاششی بر دانسیته توده-ای و ضربه‌ای شیرخشک شتر کامل بدون فنیل آلانین معنی‌دار بود ( $p < 0.05$ ). به طوری که بیشترین دانسیته توده‌ای و ضربه‌ای مربوط به نمونه خشک شده در دمای ۱۲۰°C و دبی جریان خوراک ۶۰۰ mL/min و دبی جریان هوا ۲۵ m<sup>3</sup>/h و با مقدار ۵۲۰ kg/m<sup>3</sup> و ۶۳۰ kg/m<sup>3</sup> بود و کمترین مقدار به ترتیب با مقدار ۱۷۲ kg/m<sup>3</sup> و ۳۴۰ kg/m<sup>3</sup> مربوط به نمونه خشک شده در دمای ۱۴۰°C و دبی جریان خوراک ۸۰۰ mL/min و دبی جریان هوا ۱۵ m<sup>3</sup>/h اندازه‌گیری شد. جریان پذیری نمونه‌های شیرخشک شتر بدون فنیل آلانین با استفاده از شاخص کار نشان داد نمونه خشک شده در دمای ۱۶۰°C و دبی جریان خوراک ۶۰۰ mL/min و دبی جریان هوا ۲۰ m<sup>3</sup>/h از جریان پذیری خیلی خوبی برخوردار بود و پیوستگی همین نمونه بر اساس نسبت چسبندگی پودرها ارتباط مستقیم داشت به طوری که با افزایش چسبندگی پودرها زاویه ریپوز پر کردن افزایش یافت. زاویه ریپوز تخلیه نیز با جریان پذیری نمونه‌ها رابطه معکوس داشت و با کاهش زاویه ریپوز جریان پذیری محصول با سهولت بیشتری انجام شد. افزایش دمای ورودی خشک کن پاششی نیز سبب افزایش اندازه ذرات پودر، میزان a\* و b\* شد در حالی که از میزان L\* نمونه شیرخشک شتر کامل کم فنیل آلانین کاست.

**استناد:** کمالی، س.، کاشانی‌نژاد، م.، جعفری، س.م.، قربانی، م. (۱۴۰۲). بررسی اثر پارامترهای عملیاتی در خشک‌کن پاششی بر ویژگی‌های جریان پذیری شیرخشک شتر کامل کم فنیل آلانین به روش سطح پاسخ. فرآوری و نگهداری مواد غذایی، ۱۵ (۲)، ۱۲۴-۱۰۳.

DOI: 10.22069/FPPJ.2023.20968.1735



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

## مقدمه

تاکنون پروتئین‌های هیدرولیزشده به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان منبع نیتروژنی برای افرادی که نیازهای تغذیه‌ای یا فیزیولوژیک خاص دارند مورد استفاده قرار گرفته‌است. یکی از مهمترین دستاوردهای مهم در صنعت تولید مواد غذایی تولید پروتئینی عاری از اسیدآمینۀ فنیل‌آلانین برای مصرف بیماران مبتلا به فنیل‌کتونوریا می‌باشد. بیماری فنیل‌کتونوری یک نقص ژنتیکی نادر در بدن انسان است. اختلالات اصلی ایجادشده در این بیماری، به واسطه تجمع اسیدآمینۀ فنیل‌آلانین به دلیل عدم وجود آنزیم فنیل-آلانین هیدروکسیلاز برای تبدیل اسیدآمینۀ فنیل‌آلانین موجود در مواد غذایی به اسیدآمینۀ تیروزین در مایعات بدن و سیستم عصبی رخ می‌دهد. تجمع بیش از حد این اسیدآمینۀ در مغز باعث عقب ماندگی ذهنی غیرقابل بازگشت در کودکان می‌شود (۱ و ۲). یکی از منابع خوب پروتئینی جهت استفاده در رژیم غذایی شیرشتر می‌باشد. تحقیقات متعدد نشان داده‌است شیرشتر دارای خواص تغذیه‌ای و درمانی زیادی است. به طوری که شیرشتر با داشتن مقدار مناسبی از پروتئین‌های سیستم ایمنی از قبیل لاکتوفیرین، لاکتوپراکسیداز، ایمونوگلوبولین و لیزوزیم می‌تواند در پیشگیری و درمان بیماری‌ها موثر باشد از جمله گزارش شده‌است شیرشتر با دارا بودن ایمونوگلوبولین‌های سازگار با بدن انسان در درمان بیماری‌های مرتبط با سیستم ایمنی از قبیل اوتیسم موثر می‌باشد (۳ و ۴). نتایج تحقیقات انجام شده جهت بررسی تاثیر شیرشتر بر روی انواع سرطان نشان داد آلفالاکتوآلبومین موجود در آن با داشتن مقدار متفاوت از اسیدهای آمینۀ در زنجیره خود در پیشگیری و درمان تومور و سرطان کمک کننده می‌باشد (۵). از دیگر خواص درمانی شیرشتر می‌توان به ضدآلرژی بودن آن اشاره کرد. شیرشتر از نظر ترکیبات بیشترین شباهت را به شیر

انسان دارد و پروتئین‌های موجود در آن برای پیشگیری و درمان آلرژی‌های غذایی مناسب هستند. علت غیر آلرژیک بودن شیرشتر را به نداشتن بتا لاکتوگلوبولین و لاکتوکازئین دو ترکیب عمده ایجاد آلرژی در شیر گاو نسبت داده‌اند در نتیجه می‌توان از شیرشتر برای تغذیه نوزادان و کودکان به ویژه کودکان مبتلا به هایپرآلرژی استفاده کرد (۶). استفاده از خشک‌پاششی یکی از روشهای موثر در بالا بردن زمان نگهداری شیر می‌باشد. خشک کردن افشانه‌ای یا پاششی نوعی روش خشک کردن مواد غذایی می‌باشد که از اسپری کردن مواد غذایی و مجاورت آن‌ها با یک عامل گازی شکل داغ برای تهیه گرانول‌ها و یا ذرات ریزاستفاده می‌شود (۷ و ۸). خشک کردن با خشک‌کن پاششی پرکاربردترین روش تجاری خشک کردن مواد غذایی محسوب می‌شود زیرا در زمان بسیار کوتاه با تماس حرارتی و نرخ بالای تبخیر و نیز صرف هزینه کم محصولی با کیفیت بالا تولید می‌شود. استفاده از تکنولوژی خشک کن پاششی در فرآیند خشک کردن محصولات غذایی و دارویی با هدف ارتقاء کیفی محصول تولیدی، امروزه کاربرد زیادی در تحقیقات آزمایشگاهی و همچنین در عرصه صنعتی پیدا کرده‌است. بر اساس تحقیقات انجام شده می‌توان فرآیند خشک کردن توسط خشک‌کن پاششی را یکی از بهترین و تجاری‌ترین روش برای خشک کردن سیالات غذایی خصوصاً شیر دانست (۹). خشک‌کن پاششی در صنعت لبنی به منظور تولید محصولات مختلف از قبیل پودر پروتئین شیر، پودر کازئین، پودر شیرخشک مورد استفاده قرار می‌گیرد. عواملی که در تولید به روش خشک‌کن پاششی موثر می‌باشد شامل: دمای هوای ورودی، دمای هوای خروجی، فشار افشانه، ماده خشک کل، سرعت تغذیه، نوع و طراحی نازل می‌باشد (۱۰). دلیل عمده تولید شیرخشک افزایش عمر مفید و تسهیل نگهداری و جابجایی آن می‌باشد. به

۱۵۰ درجه سانتی‌گراد، دبی جریان هوا ۲۱۰۰۰، ۲۲۵۰۰ rpm و دبی جریان خوراک ۲/۳۰، ۲/۸۰ و ۳/۳۰ lit/h در خشک کن پاششی جهت خشک کردن نوپال موسیلاژ (یک کربوهیدرات با قدرت جذب آب بالا) نتایج نشان داد کاهش میزان دمای ورودی سبب کاهش دانسیته توده‌ای نمونه‌ها شد که احتمالاً به دلیل سرعت بالاتر خشک شدن در دمای بالاتر، ذرات خشک شده دارای سطح بیشتری می‌باشند که این خود سبب کاهش دانسته توده‌ای در ذرات تولید شده و همچنین سبب تشکیل لایه نفوذناپذیر بر روی سطح ذرات به دنبال تشکیل حباب‌های بخار و در نتیجه انبساط ذرات می‌شود (۱۴). هدف این پژوهش تولید شیرخشک شتر کامل کم فنیل‌آلانین به عنوان منبع پروتئینی برای بیماران فنیل‌کتونوریا در خشک‌کن پاششی با متغیرهای دمای ورودی، دبی جریان خوراک و دبی جریان هوا و بررسی تاثیر آنها بر خصوصیات موثر در میزان جریان‌پذیری پودر شامل دانسیته‌های توده‌ای و ضربه‌ای، زاویه ریوز پر و تخلیه، پخش-شوندگی، نسبت هاسنر، اندیس کار، خیس‌شوندگی، توزیع اندازه ذرات و رنگ پودر تولیدی بود.

### مواد و روش‌ها

**مواد اولیه:** شیرشتر کامل از مزرعه نگهداری و پرورش شتر در استان گلستان تهیه شد. پروتئاز اسپرژیلوس اوریزا (شماره کاتالوگ p6110) و پروتئاز پاپابین به دست آمده از شیر پاپایا (شماره کاتالوگ p4763) تولید شده در شرکت سیگما آمریکا از نمایندگی آن در ایران خریداری شد. در این پژوهش از دستگاه خشک‌کن پاششی درساتک ایران استفاده شد. دستگاه اندازه‌گیری دانسیته ضربه‌ای<sup>۱</sup> مورد استفاده نیز ساخت شرکت دارویی پارت کیمیا گلستان، ایران بود.

طوری که در شرایط نگهداری مناسب در محیط خشک و خنک، پودر شیر کامل ماندگاری ۱۲ ماه و شیر خشک بدون چربی بیش از ۲ سال قابل نگهداری می‌باشد. پودر شیر از نظر میکروبیولوژیکی پایدار و قابل قبول است. تغییرات فیزیکوشیمیایی، مانند کریستالیزاسیون لاکتوز، اکسیداسیون چربی، و واکنش-هایی نظیر واکنش مایلارد و آنزیمی در طول ذخیره‌سازی کمتر رخ می‌دهد و خواص فیزیکی و عملکردی مانند جریان‌پذیری، خواص بازسازی، پیوستگی خواص پودر نیز در این خشک کردن تغییر نمی‌کند (۱۰). در تحقیق انجام شده جهت مقایسه دانسیته توده‌ای شیر خشک گاو و شیر خشک شتر در شرایط یکسان در خشک‌کن پاششی (دمای ورودی ۱۴۰، ۱۷۰ و ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد و دبی خوراک ۶، ۷/۵ و ۹ مترمکعب بر دقیقه)، دانسیته شیر خشک گاو بالاتر از شیرخشک شتر تولیدی گزارش شد (۱۱). در تحقیق دیگر انجام شده جهت مقایسه خصوصیات فیزیکی شیرخشک شتر و شیرخشک گاو خشک شده در خشک‌کن پاششی در دماهای ورودی ۲۰۰ و ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد نتایج نشان داد افزایش دما ضریب حلالیت را در هر دو نوع شیر کاهش داد که دلیل این امر را به دناتوره شدن پروتئین‌ها نسبت دادند. جریان-پذیری پودر شیر شتر و نیز پودر شیرگاو در دمای زیر ۵۰ درجه سانتی‌گراد در دسته نسبتاً خوب قرار گرفت. رنگ پودر شیر شتر خشک شده تولید شده در این تحقیق زرد روشن‌تر نسبت به شیرگاو بود (۱۲). با بررسی تاثیر دمای هوای ورودی در خشک‌کن پاششی در فرآیند خشک کردن آب زنجبیل بر روی محتوای رطوبت محصول، اندازه ذرات، حلالیت و دانسیته توده‌ای پودر زنجبیل نتایج پژوهش نشان داد با افزایش دمای هوای ورودی، اندازه ذرات و حلالیت نمونه‌ها افزایش یافت (۱۳). در تحقیق انجام شده جهت بررسی تاثیر دمای ورودی ۱۲۰، ۱۳۰ و

<sup>1</sup> Tapped density apparatus

اسیدآمینه در شیرکامل شتر شد انتخاب و جهت تولید نمونه‌های مورد استفاده در خشک‌کن پاششی مورد استفاده قرار گرفت.

**تعیین کارایی حذف فنیل آلانین<sup>۱</sup>:** برای تعیین میزان کارایی حذف فنیل آلانین پس از سانتریفوژ نمونه‌های تیمار شده، محلول رویی از کاغذ صافی عبور داده شد و سپس ۱۰ میلی‌لیتر از مایع زیر صافی روی بن‌ماری تبخیر و به وسیله اسیدکلریدریک ۵/۷ مول بر لیتر در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت هیدرولیز شد. باقی‌مانده در ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل شد. pH با استفاده از محلول فسفات سدیم دی‌بازیک ۱ مول بر لیتر روی ۶ تنظیم شد. محتوای فنیل آلانین نمونه‌ها با کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا<sup>۲</sup> اندازه‌گیری شد (۱۵) و کارایی حذف فنیل آلانین با معادله ۱ محاسبه گردید:

$$\text{Phe Removal \%} = \frac{A-B}{A} \times 100 \quad \text{رابطه ۱.}$$

A: مقدار فنیل آلانین اولیه در شیرشتر قبل از هیدرولیز آنزیمی  
B: مقدار فنیل آلانین نهایی در شیرشتر بعد از تیمار با کربن فعال

روش آماری انجام آزمایش در مرحله خشک‌کردن شیرشترکامل کم فنیل آلانین: برای انجام آزمون‌ها در مرحله خشک‌کردن در خشک‌کن پاششی با توجه به داشتن سه متغیر دمای ورودی، دبی جریان خوراک و دبی جریان هوا در سه سطح از هر کدام (جدول ۱) از روش سطح پاسخ<sup>۳</sup> و آزمون باکس-بنکن<sup>۴</sup> در ۳ سطح و ۴ نقطه مرکزی با استفاده از نرم‌افزار دیزاین اکسپرت استفاده شد که در جدول ۲ قابل مشاهده می‌باشد.

آماده‌سازی نمونه شیرشتر کامل کم فنیل آلانین: جهت تهیه شیرشتر کم فنیل آلانین در این پژوهش از هیدرولیز آنزیمی شیرشتر توسط دو پروتئاز *آسپیرزیلوس اوریزا* و *پاپایین* به صورت جداگانه و روش ترکیب دو آنزیم استفاده شد. در ابتدا میزان فنیل آلانین شیرشتر با استفاده از ستون C18 کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (۱۵) و نیز درصد چربی و پروتئین نمونه‌های شیرشترکامل اندازه‌گیری شد. pH نمونه‌ها در محدوده ۶ تنظیم و سپس تحت حرارت اولیه ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب گرم قرار گرفتند. در ادامه دمای نمونه‌ها تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد کاهش داده شد. به نمونه‌های گروه اول پروتئاز *آسپیرزیلوس اوریزا* به نسبت ۱ به ۱۰۰ حجمی / حجمی (آنزیم / سوسترا) و به نمونه‌های گروه دوم پروتئاز *پاپایین* به نسبت ۱ به ۱۰۰ حجمی / حجمی (آنزیم / سوسترا) اضافه و جهت انجام فرآیند هیدرولیز، نمونه‌ها به مدت ۵ ساعت در گرمخانه با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. به نمونه‌های گروه سوم ابتدا پروتئاز *پاپایین* به نسبت ۰/۵ به ۱۰۰ حجمی / حجمی اضافه شد و در گرمخانه با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱ ساعت قرار داده شدند. سپس به نمونه‌ها پروتئاز *آسپیرزیلوس اوریزا* به نسبت ۰/۵ به ۱۰۰ حجمی / حجمی زده شد و مجدداً به مدت ۴ ساعت در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد گرمخانه‌گذاری شدند. پس از اتمام زمان هیدرولیز، به منظور توقف کامل واکنش هیدرولیز، نمونه‌ها در بن‌ماری ۹۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه قرار داده شدند و در پایان دمای نمونه‌ها تا ۲۰- درجه سانتی‌گراد پایین آورده شد. پس از اتمام فرآیند هیدرولیز آنزیمی شیرشتر جهت حذف فنیل آلانین آزاد شده، کربن فعال گرانولی با اندازه ذرات ۱ تا ۳ میلی‌متر به نسبت‌های ۰/۳، ۰/۹ و ۱/۵ گرم به ازای گرم سوسترا به نمونه‌های هیدرولیز شده اضافه گردید (۱۶). در پایان با اندازه‌گیری کارایی حذف فنیل آلانین، روشی که سبب بیشترین حذف این

<sup>1</sup> Phenylalanine Removal

<sup>2</sup> High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

<sup>3</sup> Response Surface Methodology (RSM)

<sup>4</sup> Box-Behnken

جدول ۱- سطوح متغیرهای مستقل مورد استفاده در فرآیند خشک کردن شیرشتر کامل کم فنیل آلانین

Table 1- Levels of independent variables used in the drying process of low-phenylalanine whole camel milk

سطوح کد بندی شده متغیر Variable encoded levels			نماد Code	متغیرهای مستقل Independent variables
-1	۰	+1		
15	20	25	X <sub>1</sub>	دبی جریان هوا (مترمکعب بر ساعت) Air flow rate (m <sup>3</sup> /h)
120	140	160	X <sub>2</sub>	دمای هوای ورودی به خشک کن پاششی (سانتی گراد) Inlet temperature (°C)
400	600	800	X <sub>3</sub>	دبی جریان خوراک (میلی لیتر بر دقیقه) Feed flow rate (mL/min)

جدول ۲- نحوه انجام آزمون های خشک کردن شیرشتر کامل کم فنیل آلانین به روش سطح پاسخ

Table 2- How to perform drying tests of whole camel milk low in phenylalanine by the response surface method

تیمار Run	دمای ورودی (°C) Inlet temperature	دبی جریان خوراک (mL/min) Feed flow rate	دبی جریان هوا (m <sup>3</sup> /h) Air flow rate
1	140	800	15
2	160	600	25
3	140	800	25
4	140	600	20
5	160	400	20
6	120	600	25
7	120	400	20
8	160	600	15
9	140	800	20
10	140	400	15
11	160	800	25
12	160	400	25
13	160	600	20
14	160	800	25
15	120	800	15
16	120	400	15

حساب  $g/cm^3$  به دست آمد ( معادله های ۳ و ۴ ) (۱۷). پس از به دست آوردن دانسیته توده ای، استوانه محتوی پودر را روی دستگاه اندازه گیری دانسیته ضربه ای قرارداداده و پس از ۱۰۰ ضربه حجم پودر خوانده شد و طبق رابطه ۴ دانسیته ضربه ای بر حسب  $g/cm^3$  محاسبه گردید (۱۸ و ۱۹).

$$\text{رابطه ۳: } \frac{M}{100} = \text{دانسیته توده ای}$$

$$\text{رابطه ۴: } \frac{M}{V} = \text{دانسیته ضربه ای}$$

M: جرم نمونه بر حسب g

V: حجم نمونه بر حسب  $cm^3$

اندازه گیری خصوصیات فیزیکی پودر شیرشتر کامل

کم فنیل آلانین

دانسیته توده ای<sup>۱</sup> و دانسیته ضربه ای<sup>۲</sup>: برای محاسبه دانسیته توده ای و ضربه ای پودر شیر خشک شتر تولید شده، ابتدا وزن استوانه مدرج ۱۰۰ میلی لیتری ثبت شد. سپس از محصول به آرامی در استوانه مدرج ریخته تا پر شد سپس وزن آن نیز ثبت گردید. جرم خوانده شده از ترازو بر حجم (که به طور مستقیم از استوانه خوانده می شود) تقسیم شد و دانسیته توده بر

<sup>1</sup> Bulk density

<sup>2</sup> Tapped density



اندازه‌گیری زاویه‌های ریپوز<sup>۱</sup> پرکردن و تخلیه: برای اندازه‌گیری زاویه ریپوز تخلیه، مقدار ۱۰ گرم از نمونه را وزن و از درون قیف در ارتفاع ثابت و با قطر مجرای خروجی ۱۲ میلی‌متر عبور داده تا بر یک سطح افقی صاف ریخته‌شده و تشکیل یک توده داد. زاویه ریپوز از طریق زاویه تشکیل‌شده به وسیله شیب توده محصول نسبت به سطح مبنا محاسبه شد (۲۰).

$$\theta_e = \tan^{-1} \left( \frac{h_2 - h_1}{x_2 - x_1} \right)$$

رابطه ۵. در این رابطه  $h_1$  و  $h_2$  اختلاف ارتفاع در دو نقطه و  $x_1$  و  $x_2$  فاصله افقی بین این دو نقطه می‌باشد.

برای تعیین زاویه ریپوز پرکردن یک سیلندر بدون سر و ته با قطر ۱۵ و ارتفاع ۲۵ سانتیمتر را در مرکز صفحه دایره‌ای به قطر ۳۵ سانتیمتر قرار داده و از نمونه پرشد. سپس استوانه به آرامی برداشته تا مخروطی تشکیل شد (۲۱). زاویه ریپوز پرکردن از معادله ۶ محاسبه گردید:

$$\theta_f = \tan^{-1} \left( \frac{2H}{D} \right)$$

رابطه ۶. که در این رابطه  $H$  ارتفاع بلندترین نقطه کوپه و  $D$  قطر کوپه مورد نظر می‌باشد.

اندازه‌گیری توانایی پخش شونددگی<sup>۲</sup>: ۲۵ گرم از شیر خشک تهیه‌شده به ۲۵۰ میلی‌لیتر آب در دمای ۲۵ °C اضافه شد و در طی حدود ۲۰ ثانیه همزده تا محلول تشکیل شود. سپس محلول از کاغذ صافی واتمن شماره ۱ عبور داده شد. با تعیین مقدار ماده خشک روی کاغذ صافی، میزان پودری که حل و پخش شده و از صافی عبور کرده مشخص شد و به صورت درصد به عنوان توانایی پخش شونددگی بیان شد (۲۲).

$$CI = \frac{\rho_{Tapped} - \rho_{Bulk}}{\rho_{Tapped}} \times 100$$

رابطه ۷.  $\rho_{Tapped}$ : دانسیته ضربه و  $\rho_{Bulk}$ : دانسیته توده می‌باشد.

اندازه‌گیری خیس شونددگی<sup>۵</sup>: ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر با دمای ۲۵ درجه سانتیگراد داخل ارلن ریخته، قیف مخصوص روی پایه توری نصب شد. سپس زمان نفوذ کامل ۰/۱ گرم پودر داخل آب اندازه‌گیری شد (۲۲).

اندازه‌گیری پیوستگی<sup>۶</sup>: پیوستگی با استفاده از نسبت هاسنر<sup>۷</sup> طبق معادله ۸ محاسبه شد (۲۲).

$$HR = \frac{\rho_{tapped}}{\rho_{bulk}}$$

رابطه ۸. اندازه‌گیری توزیع اندازه ذرات<sup>۸</sup>: برای تعیین توزیع اندازه ذرات از سیستم الک تایلور استفاده شد. این سیستم دارای ۶ الک با اندازه منافذ متفاوت بوده که این الکها روی دستگاه ارتعاش‌دهنده و گرداننده که جهت چرخش آن قابل تنظیم می‌باشد قرار داده شد. ابتدا الکها را وزن کرده و به میزان ۱۰۰ گرم پودر روی الک بالایی ریخته و سپس در اثر چرخش سیستم به مدت ۵ دقیقه، پودرها بر حسب اندازه جداسازی شد. پس از جداسازی، هر یک از الکها به همراه پودر وزن شد. سرانجام وزن پودر باقیمانده روی هر الک گزارش که بر وزن کل تقسیم و به صورت درصد بیان شد (۲۰).

<sup>3</sup> Flowability

<sup>4</sup> Carr index

<sup>5</sup> Wettability

<sup>6</sup> Cohesiveness

<sup>7</sup> Hausner Ratio

<sup>8</sup> Particle size distribution

<sup>1</sup> Repose Angle

<sup>2</sup> Dispersibility

گزینه‌های تبدیل به فضای رنگی  $L^*a^*b^*$  تنظیم شد. پس از تبدیل فضای رنگی، برای هر یک از کانال‌های جدا شده فضای رنگی  $L^*a^*b^*$ ، مقادیر میانگین پیکسل‌های تصویر محاسبه شد. برای این کار از منوی Analyse گزینه Measure انتخاب شد. بدین ترتیب، مقادیر  $L^*$  (روشنایی)،  $a^*$  (قرمزی) و  $b^*$  (زردی) هر یک از تصاویر مربوط به نمونه‌ها در ۵ نقطه از تصویر محاسبه و میانگین آنها گزارش شد (۲۳).

### نتایج و بحث

**بهبه‌یابی شرایط تولید شیرشتر کامل هیدرولیزشده با کمترین میزان فنیل آلانین:** با استفاده از آنالیز واریانس نتایج حاصل از محاسبه کارایی حذف فنیل-آلانین بهترین روش حذف بیشترین مقدار اسیدآمینه فنیل آلانین از شیرکامل شتر تعیین شد. همانطور که در جدول ۳ قابل مشاهده است استفاده همزمان پروتئاز پاپابین و آسپرتریلوس اوریزا و سپس استفاده از کربن فعال به میزان ۰/۹ گرم به ازای گرم سوستر (H3) نسبت به استفاده از پروتئاز آسپرتریلوس اوریزا به تنهایی (H1) و پاپابین به تنهایی (H2) بیشترین تاثیر را در حذف فنیل آلانین داشت. در نتیجه از این نمونه در خشک‌کن پاششی استفاده شد.

اندازه‌گیری پارامترهای رنگی: به منظور بررسی و آنالیز خصوصیات رنگی شیرخشک شتر کامل کم فنیل آلانین از فضای رنگ  $L^*a^*b^*$  استفاده شد. مولفه  $L^*$  نشان‌دهنده میزان روشنی نمونه می‌باشد و دامنه آن از صفر (سیاه خالص) تا ۱۰۰ (سفید خالص) متغیر است. مقادیر مولفه  $a^*$  بین منفی ۱۲۰ تا مثبت ۱۲۰ قرار دارد که مقادیر مثبت معادل رنگ قرمز و مقادیر منفی معادل رنگ سبز می‌باشد. مقادیر  $b^*$  نیز مانند مولفه  $a^*$  می‌باشد و مقادیر منفی معادل رنگ آبی و مقادیر مثبت معادل رنگ زرد است. به منظور بررسی خصوصیات رنگی پودر شیرخشک شتر هیدرولیزشده پس از انجام فرآیند خشک‌کردن، نمونه‌ها درون دسیکاتور خنک شدند. سپس پودر تولیدشده به صورت یکنواخت درون یک پلیت کاملاً شفاف قرار داده شد و از آن‌ها با دوربین کانن مدل EOS 700D Kit STM 18-55mm IS عکس‌برداری شد. تمامی عکس‌ها با فرمت JPEG و کیفیت بالا ذخیره شدند. سپس توسط نرم‌افزار ImageJ به وسیله برنامه افزودنی که جداگانه نصب و به برنامه اضافه شد با عنوان Color Space Converter تصاویر به فضای  $L^*a^*b^*$  تبدیل گردید. برای این منظور پس از باز نمودن عکس در فضای برنامه ImageJ از منو گزینه plugin گزینه Color Space Converter را انتخاب نموده،

جدول ۳- کارایی حذف اسیدآمینه فنیل آلانین در شیرشتر کامل هیدرولیزشده با پروتئاز و کربن فعال

Table 3- Phenylalanine Removal of hydrolyzed whole camel milk by proteases and activated carbon

درصد حذف فنیل آلانین (%)	مقدار نهایی فنیل آلانین (mg در ۱۰۰ mg پروتئین)	هیدرولیز آنزیمی
Removal Phenylalanine (%)	The final amount of phenylalanine (mg/100mg protein)	Enzymatic hydrolysis
94.68 <sup>a</sup> ±1.69	0.007±0.07	H1
86.51 <sup>b</sup> ±4.11	0.02±0.05	H2
99.33 <sup>c</sup> ±0.21	0.0011±0.01	H3

\* کلیه اعداد، میانگین ± SD حاصل از سه تکرار می‌باشند.

\* All numbers are the mean ± SD of three replicates

\* مقادیر دارای حروف متفاوت، با یکدیگر اختلاف معنی دار دارند (P < ۰/۰۵).

\*Values with different letters are significantly different from each other (P<0.05)



جدول ۴- آنالیز کیفی نمونه‌های شیر کامل شتر هیدرولیز شده با پروتاز

Table 4- Qualitative analysis of hydrolyzed whole camel milk with proteases

پروتئین کل (%)	ماده خشک (%)	pH	نوع تیمار
Total protein (%)	Dry matter (%)		
0.14±0.005	5.74±0.007	6.07±0.001	H1
1.62±0.008	6.94±0.002	6.04±0.004	H2
0.5±0.001	6.4±0.004	5.91±0.001	H3

\* کلیه اعداد، میانگین ± SD حاصل از سه تکرار می‌باشند.

\* All numbers are the mean ± SD of three replicates

شده در دمای ۱۶۰°C می‌توان نسبت داد که از میزان تخلخل داخل ذرات پودر حاصل کاسته شده در نتیجه دانسیته توده‌ای نمونه‌های تولید شده در دمای ۱۶۰°C نسبت به نمونه‌های تولید شده در دمای ۱۴۰°C بیشتر بود. گلوله‌های چربی موجود در شیر معمولاً از نظر قطر بزرگتر از میسل‌های کازئین هستند که خود سبب ایجاد تفاوت در تراکم شیر بدون چربی و شیر کامل می‌شود. تحقیقات نشان داده‌است تراکم شیر بدون چربی که تحت تاثیر میسل‌های کازئین است، بیشتر از تراکم شیر کامل می‌باشد. قطرات شیر شتر بدون چربی حاوی مواد جامد (و بنابراین جرم) بیشتری در هر حجم می‌باشد. در نتیجه، پودرهای شیر شتر بدون چربی دانسیته توده‌ای بالاتری نسبت به پودرهای شیر کامل دارد. به طور کلی افزایش محتوای کل مواد جامد شیر باعث افزایش دانسیته توده‌ای پودر نهایی می‌شود (۲۴).

در تحقیق مشابه انجام شده بر تاثیر پارامترهای دمای ورودی ۱۴۰، ۱۷۰ و ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد و ۴ سطح دبی جریان هوا در محدوده ۶ تا ۹ m<sup>3</sup>/min بر دانسیته توده‌ای شیرشتر و شیر گاو نتایج نشان داد تاثیر پارامتر دمای ورودی بر دانسیته توده‌ای هر دو نوع پودر تولیدی معنی‌دار بود. ارتباط محتوای چربی نمونه‌ها با دماهای مختلف ورودی در خشک‌کن پاششی می‌تواند مربوط به تغییر اندازه قطرات شیر باشد که در طی اتمایز شدن در نتیجه حذف چربی ایجاد می‌شود (۲۵). زمانی که دمای خشک‌کردن از دمای بحرانی بالاتر می‌رود به

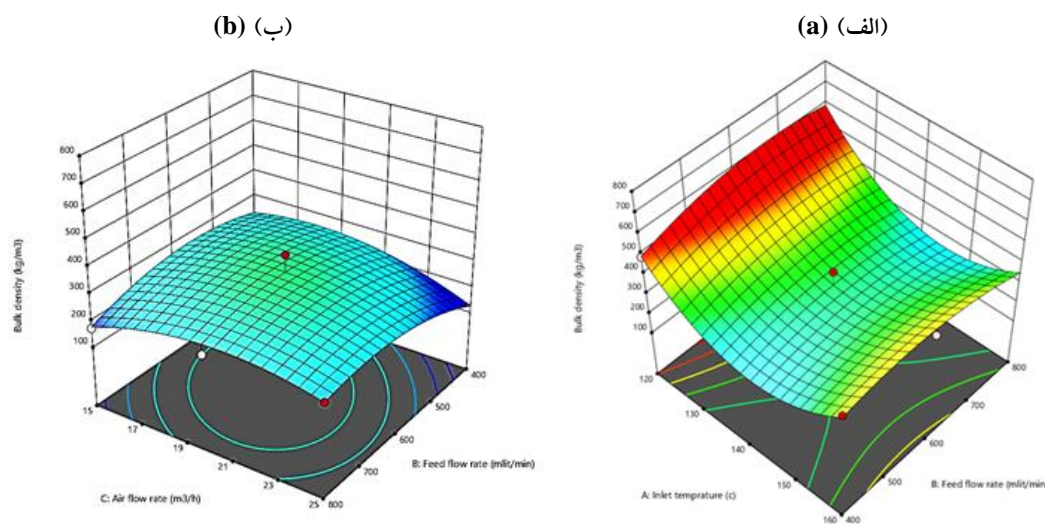
آنالیز کیفی نمونه‌های شیرشتر هیدرولیز شده با پروتاز: نتایج آزمون کیفی نمونه‌های شیرشتر هیدرولیز شده تولید شده در شرایط بهینه (H3) و دو روش دیگر مورد استفاده در پژوهش (H1 و H2) در جدول ۴ قابل مشاهده می‌باشد.

مقدار دانسیته توده‌ای شیر خشک شتر کامل کم فنیل آلانین: آنالیز واریانس نتایج پژوهش نشان داد اثر دمای ورودی بر دانسیته توده‌ای شیر خشک شتر هیدرولیز شده معنی‌دار بود (p < ۰/۰۵). در حالی که تاثیر پارامترهای دبی جریان خوراک و دبی جریان هوا مورد استفاده در پژوهش و نیز اثر متقابل آنها بر مقدار دانسیته توده‌ای شیر خشک شتر هیدرولیز شده معنی‌دار نبود (p ≥ ۰/۰۵). همانطور که در شکل ۱ قابل مشاهده می‌باشد بیشترین دانسیته توده‌ای شیر خشک شتر هیدرولیز شده به دست آمده در این پژوهش

۵۲۰ kg/m<sup>3</sup> بود که مربوط به نمونه شیر خشک شتر هیدرولیز شده در دمای ۱۲۰°C و دبی جریان خوراک ۶۰۰ mL/min و دبی جریان هوا ۲۵ m<sup>3</sup>/h می‌باشد و کمترین میزان به دست آمده آن ۱۷۲ kg/m<sup>3</sup> بود که مربوط به نمونه تولید شده در دمای ۱۴۰°C و دبی جریان خوراک ۸۰۰ mL/min و دبی جریان هوا ۱۵ m<sup>3</sup>/h می‌باشد. با توجه به اینکه دانسیته توده‌ای پودر شیر به طور مستقیم با ترکیب و توزیع اندازه ذرات آن مرتبط است دلیل این امر را به وجود لایه چربی بر روی ذرات شیرشتر کامل مورد استفاده در پژوهش و عدم خروج رطوبت از نمونه‌های تولید

در نتیجه ادامه این روند، دانسیته توده‌ای پودر شیرشتر و شیرگاو کاهش می‌یابد (۱۹).

دلیل افزایش نیروهای تنش داخلی، سطح ذرات شکسته شده و تبخیر آب افزایش می‌یابد که سبب افزایش حجم آزاد درون ذرات پودر شیر شده و



شکل ۱. اثر متقابل دمای هوای ورودی ( $^{\circ}\text{C}$ ) و دبی جریان خوراک (mL/min) (الف) و اثر متقابل دبی جریان خوراک (mL/min) و دبی جریان هوا ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) (ب) در خشک‌کن پاششی بر مقدار دانسیته توده‌ای شیرخشک شتر کامل کم فنیل‌آلانین

Figure 1. The interaction effect of inlet air temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) and feed flow rate (mL/min) (a) and the interaction effect of feed flow rate (mL/min) and air flow rate ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) (b) in spray dryer on the bulk density of low-phenylalanine whole camel milk powder

است بیشترین مقدار دانسیته ضربه‌ای اندازه‌گیری شده در این پژوهش  $630 \text{ kg/m}^3$  بود که مربوط به نمونه شیرخشک شتر هیدرولیزشده تولیدی در دمای  $120$  درجه سانتی‌گراد و دبی جریان خوراک  $600 \text{ mL/min}$  و دبی جریان هوا  $25 \text{ m}^3/\text{h}$  بود و کمترین میزان آن  $340 \text{ kg/m}^3$  اندازه‌گیری شد که مربوط به نمونه‌های تولیدشده در دمای  $140$  درجه سانتی‌گراد و دبی جریان خوراک  $800 \text{ mL/min}$  و دبی جریان هوا  $25 \text{ m}^3/\text{h}$  بود.

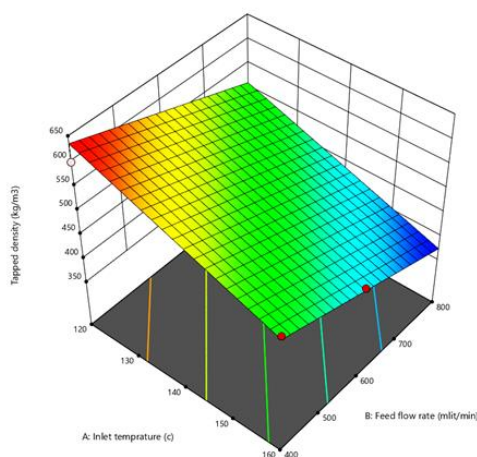
یکی از عوامل موثر در دانسیته ضربه‌ای، اندازه ذره تولید شده می‌باشد، به این ترتیب که اگر درصد ذرات درشت موجود در پودر بیشتر باشد در اثر ضربه، حجم تغییر زیادی پیدا نمی‌کند، بنابراین دانسیته ضربه‌ای نمونه کوچک‌تر می‌باشد. اما اگر علاوه بر ذرات درشت، ذرات ریز هم با نسبت مشابه در پودر

تحقیقات نشان داده است که پودرهای شیرشتر دانسیته توده‌ای بالاتری نسبت به پودر شیر گاو دارند. که ممکن است به دلیل تغییر در اندازه و توزیع اندازه کروی شکل چربی باشد (۲۶). در بررسی دیگر انجام شده بر روی تاثیر دمای ورودی در خشک‌کن پاششی بر خشک کردن شیر خر هندی، بررسی‌ها نشان داد پارامتر دمای ورودی در خشک‌کن پاششی تاثیر معنی‌داری بر دانسیته توده‌ای محصول نهایی داشت (۱۷).

مقدار دانسیته ضربه‌ای شیرخشک شتر کامل کم فنیل‌آلانین: آنالیز واریانس نتایج حاصل نشان داد تاثیر پارامترهای دمای ورودی و دبی جریان خوراک بر دانسیته ضربه‌ای معنی‌دار بود ( $p < 0.05$ ), در حالی که تاثیر پارامتر دبی جریان هوای مورد استفاده در پژوهش و نیز اثر همزمان و متقابل پارامترها معنی‌دار نبود ( $p \geq 0.05$ ). همانطور که در شکل ۲ قابل مشاهده

پایین تر بیشتر است و نیز در دمای بالاتر پوسته بر روی ذرات با سرعت بیشتری شکل می گیرد در نتیجه چروکیدگی در ذرات کمتر ایجاد می شود و ساختار متخلخل پیدا می کنند. این امر سبب افزایش اندازه ذرات در درجه حرارت بالاتر خشک کردن می شود (۲۷).

وجود داشته باشد در اثر ضربه، ذرات ریز فضای بین ذرات درشت را اشغال کرده و در نتیجه تغییر حجم زیادی اتفاق می افتد و دانسیته ضربه ای پودر تولیدی بیشتر می شود. تحقیقات نشان داده است با افزایش درجه حرارت خشک کردن، تخلخل پودرهای تولید شده نسبت به پودرهای تولید شده در دمای



شکل ۲. اثر متقابل دمای هوای ورودی (°C) و دبی جریان خوراک (mL/min)

در خشک کن پاششی بر دانسیته ضربه ای شیر خشک شتر کامل کم فنیل آلانین

Figure 2. The interaction effect of inlet air temperature (°C) and feed flow rate (mL/min) in a spray dryer on the tapped density of low-phenylalanine whole camel milk powder.

جهت تسهیل در جابجایی، فرآیند کردن و کاربرد نهایی فرآورده اهمیت زیادی دارد. قابلیت جریان پذیری معمولاً به خصوصیت فیزیکی پودرها نظیر اندازه ذرات، شکل ذرات، ساختار سطحی، دانسیته ذره، دانسیته توده ای، میزان رطوبت، درجه حرارت و میزان چربی ماده بستگی دارد. قابلیت جریان پذیری پودر با شاخص کار که این شاخص با قابلیت جریان رابطه معکوس دارد سنجیده می شود، به طوری که هرچه شاخص کار پودر افزایش یابد قابلیت جریان پذیری پودر ضعیف تر می شود (۲۸).

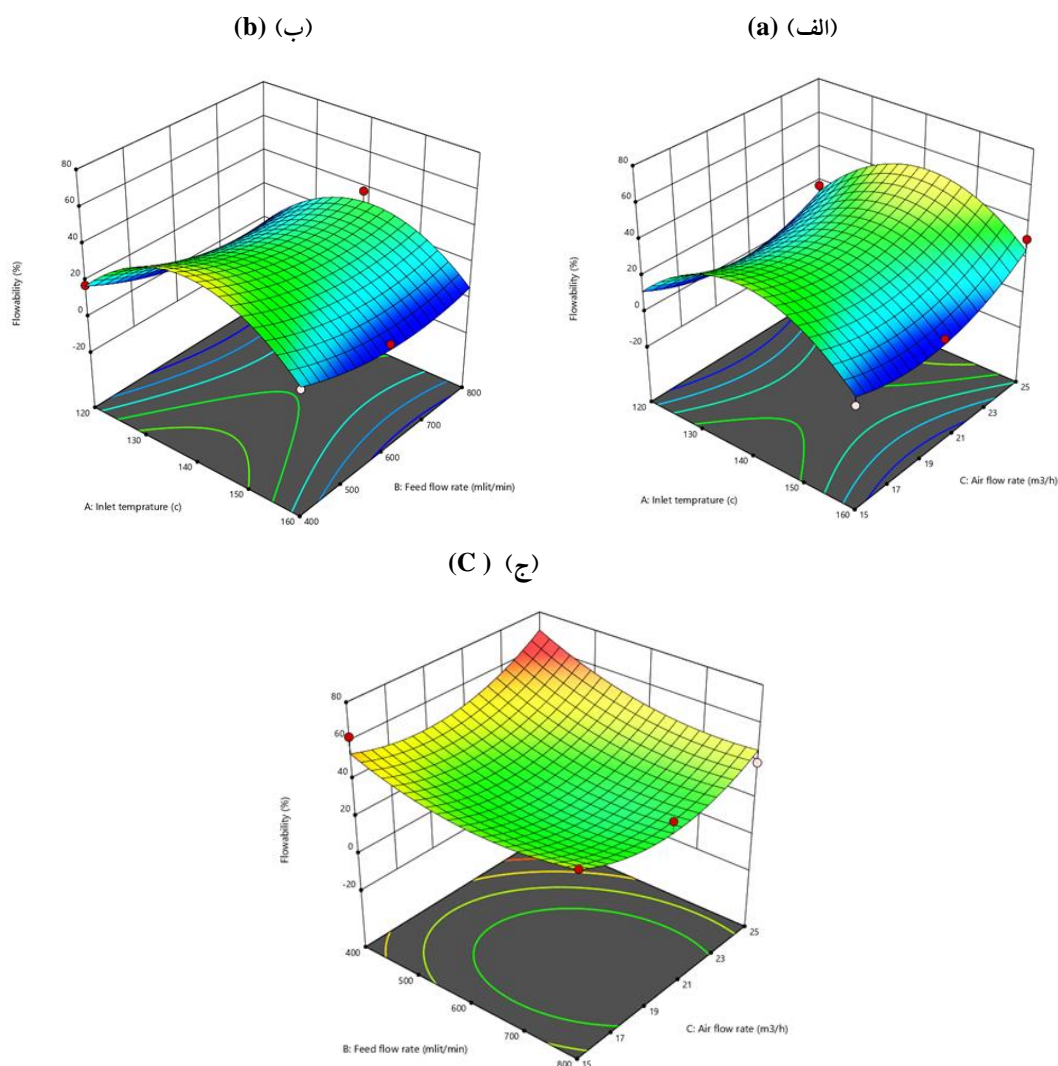
جدول ۵ طبقه بندی جریان پذیری پودرها را بر اساس شاخص کار نشان می دهد. بر اساس این طبقه بندی نمونه شیر خشک شتر کامل کم فنیل آلانین تولیدی در دمای ۱۶۰°C و دبی جریان خوراک ۶۰۰ mL/min و دبی جریان هوا ۲۰ m<sup>3</sup>/h با داشتن

مقدار جریان پذیری<sup>۱</sup> شیر خشک شتر کامل کم فنیل آلانین: بررسی آنالیز واریانس نتایج به دست آمده از مقدار جریان پذیری شیر خشک شتر کامل کم فنیل آلانین محاسبه شده بر اساس شاخص کار نشان داد اثر سطوح پارامتر دبی جریان خوراک استفاده شده در این پژوهش بر میزان جریان پذیری نمونه ها معنی دار بود ( $p < 0.05$ ). در حالی که تاثیر پارامتر دمای ورودی و دبی جریان هوا مورد استفاده در پژوهش به تنهایی و نیز اثر همزمان و متقابل آنها بر جریان پذیری نمونه ها معنادار نبود ( $p \geq 0.05$ ). همانطور که در شکل ۳ قابل مشاهده است با افزایش دمای ورودی در خشک کن پاششی شاخص کار کاهش یافت در نتیجه جریان پذیری نمونه ها افزایش پیدا کرد. جریان پذیری پودرها

<sup>1</sup> Flowability

شاخص کار آن ۴۶/۱ بود می‌باشد که طبق جدول ۵ جزو دسته پودرهای با جریان‌پذیری خیلی بد محسوب می‌شود.

درصد شاخص کار ۶/۳۶ جریان‌پذیری خیلی خوبی داشت. کمترین میزان جریان‌پذیری مربوط به نمونه‌های خشک تولید شده در دمای  $140^{\circ}\text{C}$  و دبی جریان خوراک  $800\text{ mL/min}$  و دبی جریان هوا  $15\text{ m}^3/\text{h}$  که



شکل ۳- تاثیر اثر متقابل دمای هوای ورودی ( $^{\circ}\text{C}$ ) و دبی جریان خوراک ( $\text{mL/min}$ ) (الف)، تاثیر اثر متقابل دمای هوای ورودی ( $^{\circ}\text{C}$ ) و دبی جریان هوا ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) (ب) و تاثیر دبی جریان خوراک ( $\text{mL/min}$ ) و دبی جریان هوا ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) درخشک‌کن پاششی بر جریان‌پذیری شیرخشک شتر کامل کم فنیل‌آلانین (ج)

Figure 3. The interaction effect of inlet air temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) and feed flow rate ( $\text{mL/min}$ ) (a), the interaction effect of inlet air temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) and air flow rate ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) (b) and the effect of feed flow rate ( $\text{mL/min}$ ) and air flow rate ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) (c) in spray dryer on the flowability of low-phenylalanine whole camel milk powder

جدول ۵- طبقه‌بندی جریان‌پذیری پودرها بر اساس شاخص کار (CI) (۲۹)

Table 5- Classification of flowability of powders based on Carr index (CI)

CI%	جریان پذیری Flowability
<15	خیلی خوب Very good
15 -20	خوب Good
20 -35	نسبتاً خوب Fair good
35 -45	بد Bad
>45	خیلی بد Very bad

### مقدار پیوستگی شیرخشک شتر کامل کم فنیل آلانین:

بررسی نتایج حاصل از آنالیز واریانس مقادیر محاسبه شده پیوستگی شیرخشک شتر کامل کم فنیل آلانین تولیدشده در این پژوهش بر اساس ضریب هاسنر نشان داد اثر سطوح پارامترهای دمای ورودی، دبی جریان خوراک و دبی جریان هوا مورد استفاده در پژوهش به تنهایی و نیز اثر همزمان و متقابل آنها بر میزان چسبندگی پودرهای تولید شده معنادار نبود ( $p \geq 0.05$ ). همانطور که در شکل ۴ قابل مشاهده است مقادیر چسبندگی نمونه‌ها از ۱۲۰ تا ۱۴۰°C روند افزایشی و سپس با افزایش دما تا ۱۶۰°C کاهش یافت. احتمالاً این افزایش به دلیل استفاده از شیرشتر کامل در پژوهش می‌باشد. تحقیقات نشان داده‌است میزان چربی تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر پیوستگی پودر تولید شده در خشک‌کن پاششی دارد. این پدیده مخصوصاً در درجه حرارت‌های بالاتر به دلیل مایع شدن بیشتر چربی و تشکیل پل مایع شدیدتر می‌باشد. به همین دلیل پیوستگی پودر شیر کامل نسبت به پودر شیر بدون چربی بیشتر است (۳۰).

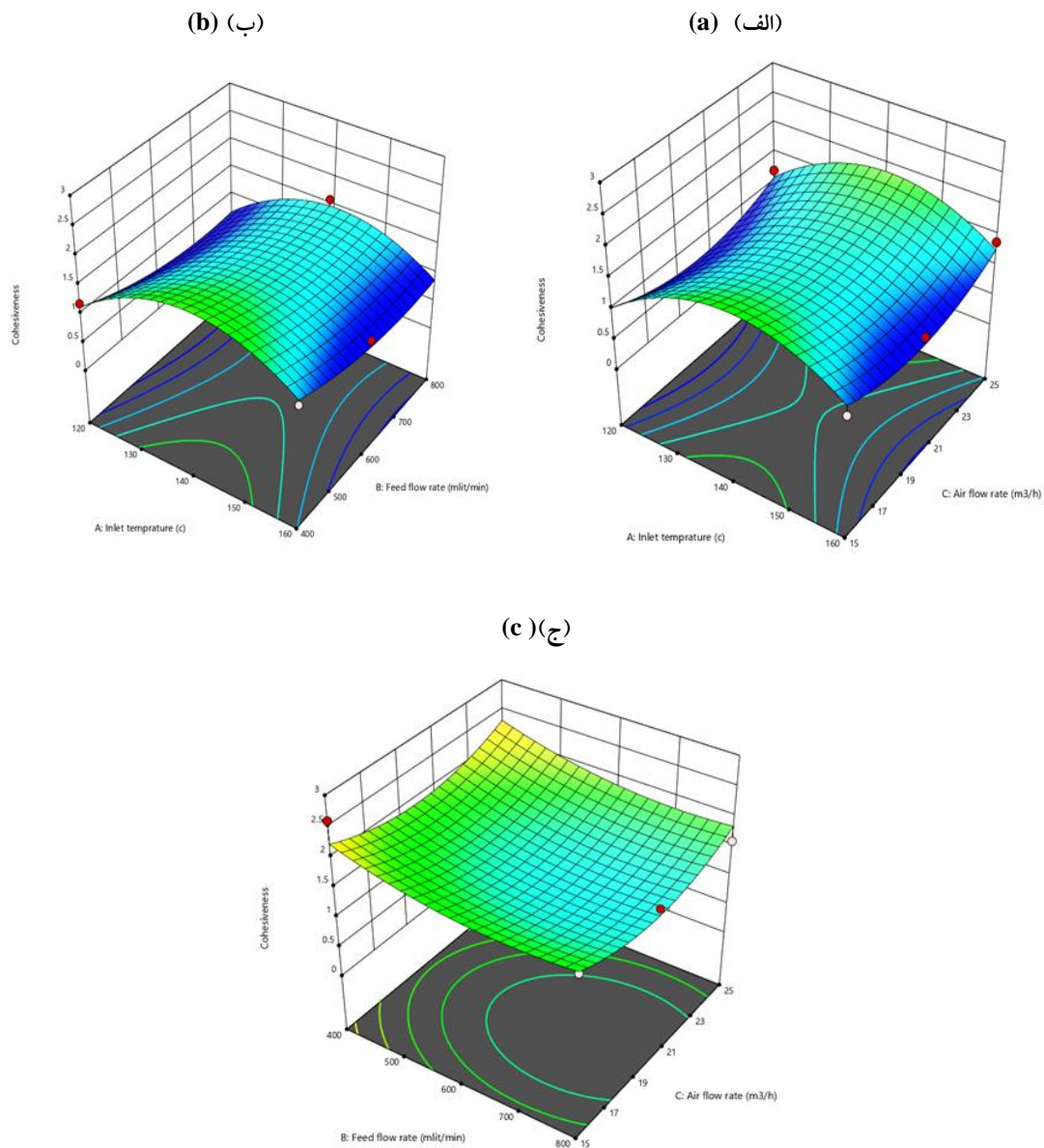
باید اشاره کرد تحقیقات نشان داده است که در محصولات لبنی میزان چربی بر میزان پیوستگی پودر

یکی از عوامل موثر در پیوستگی پودر تولید شده در زمان خشک کردن، سطح تماس بین ذرات می‌باشد. با توجه به اینکه با افزایش دمای ورودی در فرآیند خشک کردن ذرات با اندازه بزرگتر تشکیل می‌شوند در نتیجه سطح تماس کمتری بین آنها به وجود می‌آید این امر سبب کاهش میزان پیوستگی پودر تولید شده می‌شود. از دیگر دلایل کاهش پیوستگی پودرها با افزایش دما ورودی خشک‌کن می‌توان به کاهش رطوبت نمونه‌ها اشاره کرد که این امر سبب کاهش ایجاد پل مایع بین ذرات و کاهش چسبندگی پودر تولیدی می‌شود (۳۱).

برطبق جدول ۶ طبقه‌بندی پیوستگی پودر شیرخشک شتر کامل کم فنیل آلانین تولیدشده در این پژوهش در دمای ۱۶۰°C، دبی جریان خوراک ۶۰۰ mL/min و دبی جریان هوا ۲۰ m<sup>3</sup>/h با نسبت هاسنر معادل ۱ نمونه خیلی خوب محسوب می‌شود. همانطور که در جدول ۷ قابل مشاهده است پیوستگی نمونه تولید شده در دمای ۱۴۰°C و دبی جریان خوراک ۸۰۰ mL/min و دبی جریان هوا ۱۵ m<sup>3</sup>/h با نسبت هاسنر ۱/۸ در طبقه پودرها با پیوستگی خیلی خیلی بد قرار می‌گیرد.

تاثیر قابل ملاحظه‌ای می‌گذارد. به طوری که انتظار می‌رود با افزایش میزان چربی آزاد، پیوستگی نیز





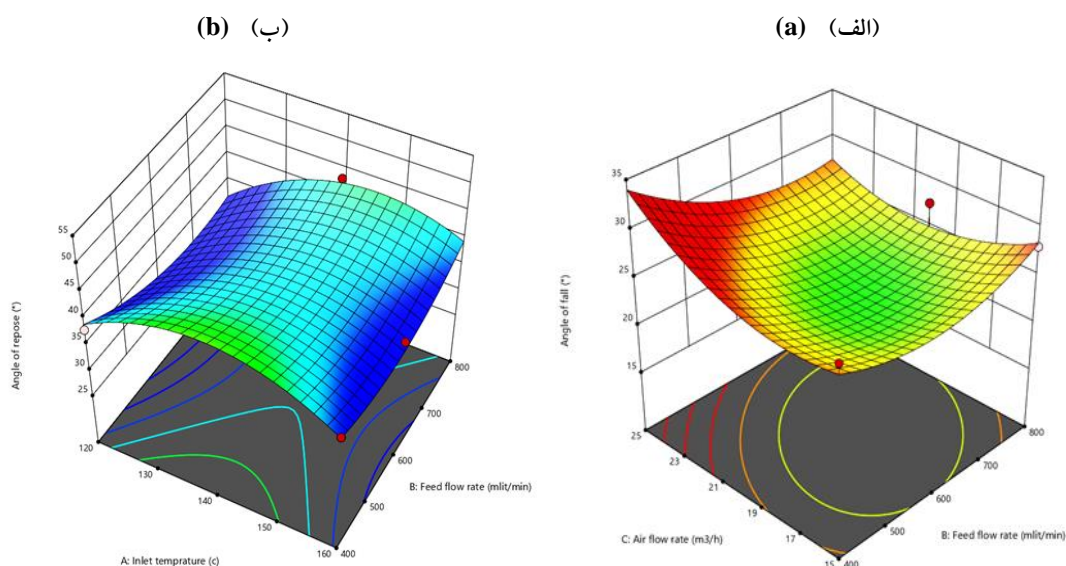
شکل ۴. اثر متقابل دمای هوای ورودی ( $^{\circ}\text{C}$ ) و دبی جریان هوا ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) (الف)، اثر متقابل دمای هوای ورودی ( $^{\circ}\text{C}$ ) و دبی جریان خوراک ( $\text{mL}/\text{min}$ ) (ب) و تاثیر متقابل دبی جریان خوراک ( $\text{mL}/\text{min}$ ) و دبی جریان هوا ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) (ج) در خشک‌کن پاششی بر پیوستگی شیرخشک شتر کامل کم فنیل آلانین

Figure 4. Interaction effect of inlet air temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) and air flow rate ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) (a), the interaction effect of inlet air temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) and flow rate Feed ( $\text{mL}/\text{min}$ ) (b) and the interaction of feed flow rate ( $\text{mL}/\text{min}$ ) and air flow rate ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) (c) in spray dryer on cohesiveness of low-phenylalanine whole camel milk powder.

جدول ۶- طبقه‌بندی پیوستگی پودر بر اساس نسبت هاسنر (HR) (۲۴)

Table 6. Classification of powder cohesion based on Hasner's ratio

HR	پیوستگی Cohesiveness
1-1.11	خیلی خوب Very good
1.12-1.18	خوب Good
1.19-1.25	نسبتاً خوب Fair good
1.26-1.34	متوسط Fair bad
1.35-1.45	بد Bad
1.46-1.59	خیلی بد Very bad
<1.60	خیلی خیلی بد Very very bad



شکل ۵- اثر متقابل دبی جریان هوا (  $m^3/h$  ) و دبی جریان خوراک ( mL/min ) بر اندازه زاویه ریپوز تخلیه (الف) و اثر متقابل دمای

هوای ورودی (°C) و دبی جریان خوراک ( mL/min ) بر اندازه زاویه ریپوز پرکردن (ب) شیرخشک شتر کامل کم فنیل آلانین

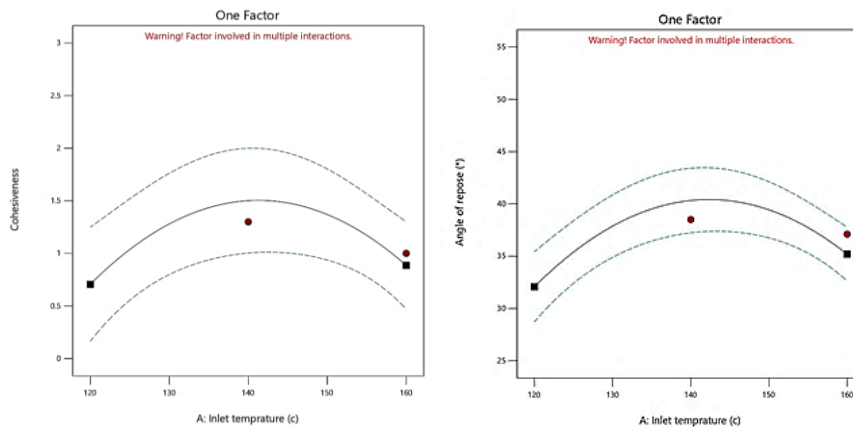
Figure 5. The interaction effect of air flow rate ( $m^3/h$ ) and feed flow rate (mL/min) on the falling repose angle (a) and the interaction effect of the inlet air temperature ( $^{\circ}C$ ) and the feed flow rate (mL/min) on the filling repose angle (b) of low-phenylalanine whole camel milk powder

معنی‌دار بود ( $p < 0.05$ ) (شکل ۵). زاویه ریپوز پر کردن با میزان چسبندگی پودرها ارتباط مستقیم دارد (۳۱)، به طوری که هرچه زاویه ریپوز پرکردن نمونه‌های شیرخشک شتر کامل کم فنیل آلانین بیشتر بود پودر تولیدشده چسبندگی بیشتری داشت (شکل ۶)، در

مقدار زاویه ریپوز پرکردن و تخلیه شیرخشک شتر کامل کم فنیل آلانین: آنالیز واریانس نتایج اندازه‌گیری زوایای ریپوز نمونه‌های شیرخشک شتر کامل کم فنیل آلانین نشان داد تاثیر سطوح پارامتر دمای ورودی و دبی جریان هوا بر روی زوایای ریپوز نمونه‌ها

کوچکتر بود جریان‌پذیری محصول با سهولت بیشتری انجام شد.

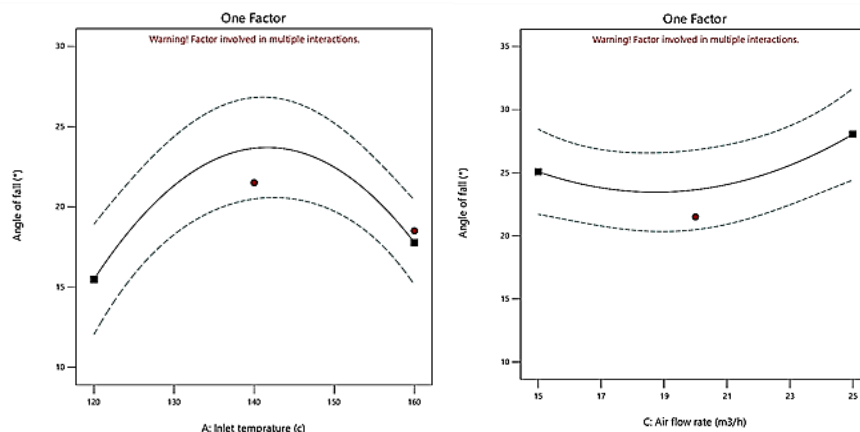
حالی که زاویه ریپوز تخلیه به جریان‌پذیری نمونه‌ها وابسته می‌باشد (۳۱). همانطور که در شکل ۷ قابل مشاهده می‌باشد هرچه زاویه ریپوز تخلیه در نمونه‌ها



شکل ۶- تغییرات اندازه زاویه ریپوز پرکردن (سمت راست) و میزان چسبندگی (سمت چپ)

نمونه‌های شیرخشک شتر کامل کم فنیل آلانین

Figure 6. Changes in the filling repose angle (right side) and the amount of cohesiveness (left side) of low-phenylalanine whole camel milk powder



شکل ۷. تغییرات اندازه زاویه ریپوزتخلیه (سمت راست) و میزان جریان‌پذیری (سمت چپ)

نمونه‌های شیرخشک شتر کامل کم فنیل آلانین

Figure 7. Changes of the falling repose angle (right side) and the amount of flowability (left side) of Low-phenylalanine whole camel milk powder

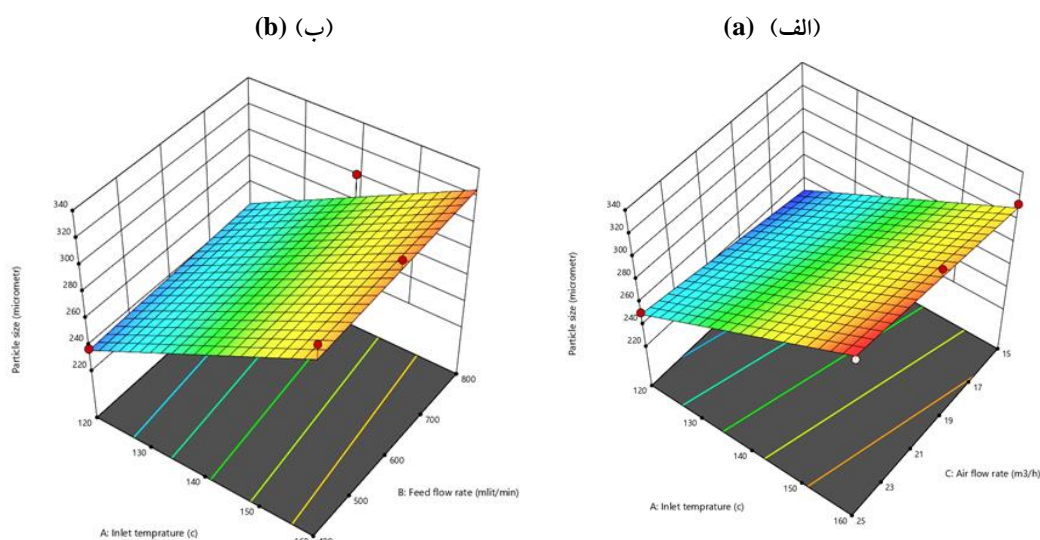
شتر هیدرولیز شده نشان داد تاثیر پارامترهای دمایی ورودی و دبی جریان هوا بر قطر ذرات معنی‌دار بود ( $p < 0.05$ )، در حالی که اثر پارامتر دبی جریان خوراک به تنهایی و تاثیر همزمان و متقابل پارامترها بر اندازه ذرات معنادار نبود ( $p \geq 0.05$ ). همان‌طور که در شکل

توزیع اندازه ذرات شیرخشک شتر کامل کم فنیل-آلانین: اندازه ذرات یکی از مهمترین ویژگی‌های پودرهای غذایی محسوب می‌شود که جریان‌پذیری پودرها را تحت تاثیر قرار می‌دهد. آنالیز واریانس نتایج حاصل از محاسبه میانگین قطر ذرات شیرخشک

شده در دماهای پایین‌تر، کوچکتر بوده و ظاهری چروکیده‌تری دارند (۳۳).

در تحقیق انجام شده بر روی شیر خشک شتر تولید شده توسط خشک‌کن پاششی در دماهای ورودی ۱۶۰، ۱۸۰ و ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد نتایج مشابه حاصل شد به طوری که در دمای بالاتر خشک کردن ذرات بزرگتری تشکیل شد (۱۹). در تحقیق مشابه دیگر انجام شده بر روی شیر گاو خشک شده در دماهای ورودی ۷۷، ۱۰۷، ۱۵۵ و ۱۷۸ درجه سانتی-گراد نیز اندازه ذرات در دمای بالاتر خشک کردن بزرگتر بود (۳۴).

۸ قابل مشاهده می‌باشد با افزایش دما اندازه ذرات بزرگتر شد. تحقیقات نشان داده‌است افزایش دمای هوا موجب افزایش اندازه ذرات، تخلخل بیشتر، ایجاد اشکال منظم‌تر کروی با پوسته‌ای صاف در پودرهای تولید شده می‌شود. علت آن را اینگونه توضیح داده‌اند که در دماهای بالاتر به دلیل اینکه پوسته سریعتر تشکیل شده، فرصت کافی برای چروکیدگی و کوچک شدن ذرات وجود ندارد، بنابراین با افزایش دمای هوای ورودی خشک‌کن، اندازه ذرات بزرگتر، شکل آنها کروی و صاف‌تر بوده درحالی که ذرات خشک



شکل ۸. اثر متقابل دمای ورودی (°C) و دبی جریان هوا (m<sup>3</sup>/h) (الف) و اثر متقابل دمای ورودی (°C) و

دبی جریان خوراک (mL/min) (ب) در خشک‌کن پاششی بر میانگین قطر ذرات شیرخشک شتر کامل کم فنیل‌آلانین

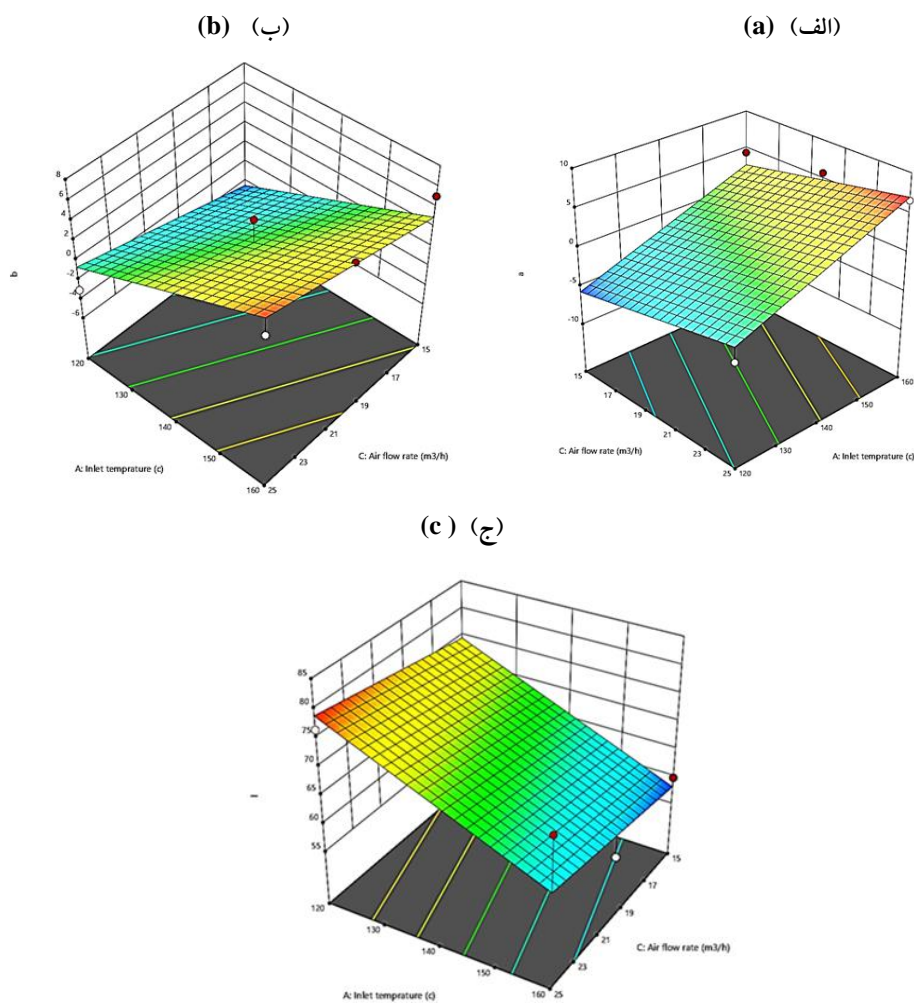
**Figure 8.** Interaction effect of inlet temperature (°C) and air flow rate (m<sup>3</sup>/h) (a) and interaction effect of inlet temperature (°C) and feed flow rate (mL/min) (b) in the spray dryer on the average particle diameter of low-phenylalanine whole camel milk powder

می‌باشد با افزایش دمای ورودی خشک‌کن پاششی، مقدار a\* مثبت‌تر شد. که این نشان دهنده کاهش شدت رنگ سبز در پودرهای شیرخشک شتر هیدرولیز شده و افزایش شدت رنگ قرمز در نمونه‌های تولیدی در دمای بالاتر می‌باشد. در حالی که با افزایش دمای ورودی شدت رنگ زرد نمونه‌ها بیشتر

پارامترهای رنگی شیرخشک شتر کامل کم فنیل-آلانین: آنالیز واریانس اندازه‌گیری میزان L\* و a\* و b\* نمونه‌های شیرخشک شتر کامل بدون فنیل‌آلانین شده با نرم افزار ایمپج جی نشان داد تاثیر پارامتر دمای ورودی بر هر سه فاکتور رنگ سنجی معنی‌دار بود (p < 0/05). همانطور که در شکل ۹ قابل مشاهده

قرمزی پودر در هر دونوع شیر شد (۱۲). نتایج آنالیز داده‌ها در نمونه‌های شیرخشک شتر هیدرولیز شده در خصوص فاکتور  $L^*$  نشان داد با افزایش دما از میزان روشنایی نمونه‌ها کاسته شد.

شد (افزایش مقدار  $b^*$  با افزایش دما نشان‌دهنده افزایش رنگ زرد در نمونه‌ها می‌باشد). در تحقیق مشابه انجام شده بر روی نمونه‌های شیرگاو و شیرشتر خشک شده در خشک‌کن پاششی نشان داد دمای بالاتر خشک‌کن پاششی سبب افزایش رنگ



شکل ۹- اثر متقابل دمای ورودی (°C) و دبی جریان هوا (  $m^3/h$  ) بر میزان  $a^*$  (الف)، اثر متقابل دمای ورودی (°C) و دبی جریان هوا (  $m^3/h$  ) بر میزان  $b^*$  (ب) و تاثیر اثر متقابل دمای ورودی (°C) و دبی جریان هوا (  $m^3/h$  ) بر میزان  $L^*$  (ج) شیرخشک شتر کامل کم فنیل آلانین

Figure 9. The interaction effect of inlet temperature (°C) and air flow rate ( $m^3/h$ ) on the amount of  $a^*$  (a), the interaction effect of inlet temperature (°C) and air flow rate ( $m^3/h$ ) on the amount of  $b^*$  (b) and the effect of interaction of inlet temperature (°C) and air flow rate ( $m^3/h$ ) on  $L^*$  (c) of Low-phenylalanine whole camel milk powder

هیدرولیز شیرشتر کامل جهت تولید شیرکامل شتر کم فنیل آلانین موثر می‌باشد. پارامترهای مورد استفاده در پژوهش در خصوصیات جریان‌پذیری نمونه شیرخشک

### نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد استفاده همزمان از پروتئاز آسپرژیلوس اوریزا و پاپائین در

درحالی که میزان پخش‌شوندگی نمونه‌ها با افزایش دما تا دمای  $140^{\circ}\text{C}$  افزایش و پس از آن با افزایش دما از سرعت افزایش آن کاسته شد. زاویه ریپوز پر کردن با میزان چسبندگی پودرها ارتباط مستقیم داشت به طوری که با افزایش چسبندگی پودرها زاویه ریپوز پر کردن افزایش یافت. زاویه ریپوز تخلیه نیز با جریان-پذیری نمونه‌ها رابطه معکوس داشت و با کاهش زاویه ریپوز جریان‌پذیری محصول با سهولت بیشتری انجام شد. افزایش دمای ورودی خشک کن پاششی نیز سبب افزایش اندازه ذرات پودر، میزان  $a^*$  و  $b^*$  شد در حالی که از میزان  $L^*$  نمونه شیرخشک شتر کامل کم فنیل آلانین کاست

شتر کامل کم فنیل آلانین موثر بودند به طوری که افزایش دمای ورودی بر دانسیته توده‌ای و ضربه‌ای شیرخشک شتر بدون فنیل آلانین تاثیر معنی‌داری داشت ( $p < 0/05$ ). جریان‌پذیری نمونه‌های شیرخشک شتر کامل کم فنیل آلانین تولیدشده در این پژوهش در دمای  $160^{\circ}\text{C}$  و دبی جریان خوراک  $600\text{ mL/min}$  و دبی جریان هوا  $20\text{ m}^3/\text{h}$  از جریان‌پذیری خیلی خوبی برخوردار بود و پیوستگی همین نمونه بر اساس نسبت هاسنر نیز در طبقه پودر با پیوستگی خیلی خوب قرار داشت. مقدار زمان خیس‌شوندگی نمونه‌های خشک شده با افزایش دمای ورودی با توجه به افزایش اندازه ذرات در دمای بالاتر کاهش یافت،

## References

1. Keskin, F.N. Şahin, T. Capasso, ÖR. & Ağagündüz, D. 2022. Protein substitutions as new-generation pharmanutrition approach to managing phenylketonuria. *Clinical and Experimental Pediatrics*.
2. Romani, C., Olson, A., Aitkenhead, L., Baker, L., Patel, D. & Van Spronsen, F. et al. 2022. Meta-analyses of cognitive functions in early-treated adults with phenylketonuria. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. 104925.
3. Al-Ayadhi, L., Alhowikan, R. & El-Ansary, A. 2022. Comparative study on the ameliorating effects of camel milk as a dairy product on inflammatory response in autism spectrum disorders. *Neurochemical Journal*. 16: 99-108.
4. Al Kanhal, H.A. 2010. Compositional, technological and nutritional aspects of dromedary camel milk. *International Dairy Journal*. 20: 811-821.
5. Manohar Lal, K., Mahala, N., Runthala, A., Dubey, U., Biological & Sciences, C. 2020. Camel milk  $\alpha$ -lactalbumin as a potential anticancer molecule: A Bioinformatics analysis. 11: 38-52.
6. Shabo, Y. Barzel, R., Margoulis, M. & Yagil, R. 2005. Camel milk for food allergies in children. *Imaj-Ramat gan*. 7: 796.
7. Santos, L.C.D., Condotta, R. & Ferreira, M.D.C. 2018. Flow properties of coarse and fine sugar powders. *Journal of Food Process Engineering*. 41: 12-48.
8. Deeth, H. & Hartanto, C. 2009. Chemistry of milk—role of constituents in evaporation and drying. 1-27.
9. Amiri- Rigi, A., Emam- Djomeh, Z., Mohammadifar, M.A. & Mohammadi, M.. 2012. Spray drying of low- phenylalanine skim milk: optimisation of process conditions for improving solubility and particle size. *International journal of food science & technology*. 47: 495-503.
10. Chegini, G. & Taheri, M.J. 2013. Whey powder: process technology and physical properties: a review. 13: 1377-1387.
11. Habtegebriel, H., Wawire, M., & Sila, D. 2018. The effect of pretreatment (Spray Drying) on the yield and selected nutritional components of whole camel milk powder. *Journal of food science*. 83: 2983-2991.
12. Sulieman, A.M.E., Elamin, O.M., Elkhalfifa, E.A. & Laleye, L. 2014. Comparison of physicochemical properties of spray-dried camel's milk and cow's milk powder. *International Journal of Food Science and Nutrition Engineering*. 4: 15-19.
13. Phoungchandang, S. & Sertwasana, A. 2010. Spray-drying of ginger juice and physicochemical properties of ginger powders. *Science Asia*. 36: 40-45.

14. León-Martínez, F., Mendez-Lagunas, L.L. & Rodríguez-Ramírez, J. 2010. Spray drying of nopal mucilage (*Opuntia ficus-indica*): Effects on powder properties and characterization. *Carbohydrate Polymers*. 81: 864-870.
15. Soma, Y., Izumi, Y., Shimohira, T., Takahashi, Y., Imado, S. & Tominaga, M. et al. 2022. In-Needle Pre-Column Derivatization for Amino Acid Quantification (iPDAQ) Using HPLC. *Metabolites*. 12, 807.
16. Shehata, A.E., El-Magdoub, M.N., Kamal, T.M. & Mohamed, H.A. 2008. enzymatic Preparation of low-Phenylalanine Formula Derived from Skim Milk Hydrolysate for Phenyl ketonuric Patients. 9:51-71.
17. Nayak, C.M., Ramachandra, C., Nidoni, U., Hiregoudar, S., Ram, J. & Naik, N.M. 2022. Influence of processing conditions on quality of Indian small grey donkey milk powder by spray drying. *Journal of Food Science and Technology*. 1-8.
18. De Oliveira, A.H., Mata, M., Fortes, M., Duarte, M., Pasquali, E.M. & Lisboa, H.M. 2021. Influence of spray drying conditions on the properties of whole goat milk. *Drying Technology*. 39: 726-737.
19. Zouari, A., Lajnaf, R., Lopez, C., Schuck, P., Attia, H. & Ayadi, M.A. 2021. Physicochemical, techno- functional, and fat melting properties of spray- dried camel and bovine milk powders. *Journal of food science*. 86: 103-111.
20. Sarabandi, KH. & Peighambaroust, H. 2015. Effect of some production parameters and storage time on the flow ability characteristics of Spray-dried Malt Extract Powder. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*. Vol. 10, No. 1. (In Persian)
21. Razavi, S.M., Amini, A.M., Rafe, A. & Emadzadeh, B. 2007. The physical properties of pistachio nut and its kernel as a function of moisture content and variety. Part III: Frictional properties. *Journal of Food Engineering*. 81: 226-235.
22. Milani, E., Hashemi, N., Mortazavi, SA., Tabatabai Yazdi, F. & Gazerani, S. 2018. Optimization of Instant Drink Powder Formulation Based on Almond Meal-Corn Textured Flour. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*. Vol. 13, No. 2. (In Persian)
23. Chung, H.S., Kim, K.D., Moon & Youn, K.S. 2014. Changes in color parameters of corn kernels during roasting. *Food Science and Biotechnology* 23: 1829-1835.
24. Reddy, R.S., Ramachandra, C., Hiregoudar, S., Nidoni, U., Ram, J. & Kammar, M. 2014. Influence of processing conditions on functional and reconstitution properties of milk powder made from Osmanabadi goat milk by spray drying. *Small Ruminant Research*. 119: 130-137.
25. Habtegebriel, H., Edward, D., Wawire, D., Sila, M., Seifu, E.J.F. & Processing, B. 2018. Effect of operating parameters on the surface and physico-chemical properties of spray-dried camel milk powders. 112: 137-149.
26. Karray, N., Lopez, C., Ollivon, M. & Attia, H. 2005. La matière grasse du lait de dromadaire: composition, microstructure et polymorphisme. Une revue. *Oléagineux, Corps gras, Lipides*. 12: 439-446.
27. Goula, A.M. & Adamopoulos, K.G. 2005. Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II. The effect on powder properties. *Journal of food engineering* 66: 35-42.
28. Kim, E.H.J., Chen, X.D. & Pearce, D. 2002. Surface characterization of four industrial spray-dried dairy powders in relation to chemical composition, structure and wetting property. *Colloids and surfaces B: Biointerfaces*. 26: 197-212.
29. Lebrun, P., Krier, J., Mantanus, H., Grohganz, M., Yang, E. & Rozet, et al. 2012. Design space approach in the optimization of the spray-drying process. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*. 80: 226-234.
30. Fitzpatrick, J., Barry, K., Delaney, C. & Keogh, K. 2005. Assessment of the flowability of spray-dried milk powders for chocolate manufacture. *Le Lait*. 85: 269-277.
31. Emery, E.J., Oliver, T., Pugsley, J., Sharma, J. & Zhou. 2009. Flowability of moist pharmaceutical powders. *Powder Technology*. 189: 409-415.
32. Fitzpatrick, J. 2013. Powder properties in food production systems. *Handbook of food powders*. Elsevier. p. 285-308.
33. Shittu, T. & Lawal, M. 2007. Factors affecting instant properties of powdered cocoa beverages. *Food Chemistry* 100: 91-98.

34. Fang, Y., Rogers, S., Selomulya, C., & Chen, X.D. 2012. Functionality of milk protein concentrate: Effect of spray drying temperature. *Biochemical Engineering Journal*. 62: 101-105.