اولین همایش ملی بهینه سازی و بهره وری مصرف انرژی در صنایع غذایی و کشاورزی
۲۶ و ۲۷ بهمن ۱۴۰۴ هتل المپیک – تهران
برگزار کننده: پژوهشگاه استاندارد
ISC

بهینه‌سازی مصرف انرژی در فرآیند خشک‌کردن شیر با استفاده از فناوری اسپری درایر در صنایع لبنی

مهتاب میرزاباقریان [۱]، معصومه اتحادی[۲]، رضا کیخایی[۳]

۱- کارشناس ارشد علوم و مهندسی صنایع غذایی، کارشناس تحقیق و توسعه شرکت سالم پودران سپاهان، اصفهان

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و مهندسی صنایع غذایی، مسئول تحقیق و توسعه شرکت سالم پودران سپاهان، اصفهان

۳- کارشناس علوم و مهندسی صنایع غذایی، مدیر کنترل کیفی شرکت سالم پودران سپاهان، اصفهان

ایمیل نویسنده مسئول: mahtabmirzabagherian@gmail.com

شماره مقاله EFAB01583120

چکیده

خشک‌کردن پاششی یکی از مهم‌ترین فناوری‌های مورد استفاده در صنایع لبنی برای تولید پودر شیر پایدار است. هدف اصلی این روش حذف سریع آب از شیر و کنسانتره شیر به منظور افزایش پایداری، سهولت ذخیره و حمل، و دستیابی به ویژگی‌های فیزیکی و عملکردی مطلوب است. فرآیند اسپری‌درایینگ شامل اتمیزاسیون شیر، تماس قطرات با هوای گرم، انتقال همزمان حرارت و جرم و جداسازی پودر است. بازده حرارتی و مصرف انرژی در خشک‌کن‌های پاششی تحت تأثیر پارامترهایی نظیر غلظت خوراک، دمای خوراک و هوای ورودی و خروجی، نوع و اندازه اتمایزر و رطوبت نهایی محصول قرار دارد. بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که مصرف انرژی حرارتی بخش عمده‌ای از هزینه‌ها را تشکیل می‌دهد و بهینه‌سازی آن با استفاده از کنترل دما، انتخاب اتمایزر مناسب، افزایش غلظت خوراک و بازیابی حرارت هدررفته امکان‌پذیر است. علاوه بر این، مصرف انرژی الکتریکی خشک‌کن، که عمدتاً مربوط به فن‌ها، پمپ‌ها و سیستم‌های جمع‌آوری پودر است، می‌تواند با به‌کارگیری موتورهای با بازده بالا، اینورترها و طراحی مناسب مسیر هوا و انتقال پنوماتیک کاهش یابد. این مطالعه راهکارهای عملی و مؤثر برای بهینه‌سازی مصرف انرژی در خشک‌کن‌های پاششی صنعتی ارائه می‌دهد.

کلمات کلیدی: بهینه‌سازی انرژی، اسپری درایر، شیر خشک، صنایع لبنی، بهره‌وری انرژی

مقدمه

به‌عنوان یکی از منابع اصلی تغذیه، ده‌ها میلیون نفر در سراسر جهان هر روز از شیر خشک استفاده می‌کنند. با رشد جمعیت و افزایش درآمد، تقاضای بازار برای شیر خشک همچنان رو به افزایش است که این امر نه‌تنها موجب ارتقای ظرفیت تولید می‌شود، بلکه مصرف انرژی و میزان انتشار آلاینده‌ها را در کل چرخه عمر تولید شیر خشک و تجهیزات مرتبط با آن افزایش می‌دهد. در نتیجه، مسائل زیست‌محیطی ناشی از این فرآیند روزبه‌روز جدی‌تر می‌شوند. خشک‌کردن پاششی پرمصرف‌ترین مرحله از نظر انرژی در فرآیند تولید شیر خشک است. در نتیجه، ارتقای کارایی زیست‌محیطی سیستم خشک‌کردن پاششی شیر خشک در حالی‌که کیفیت مطلوب محصول و هزینه‌ی تولید در سطح مناسبی حفظ شود، نقشی اساسی در پیشبرد توسعه‌ی پایدار صنعت لبنی دارد. دتعداد فزاینده‌ای از پژوهشگران با بهینه‌سازی عملکرد تجهیزات، به توسعه‌ی پایدار صنعت کمک می‌کنند. Al-Ahmed و همکاران (۲۰۲۰) یک ماده‌ی ذخیره‌کننده‌ی حرارت آلی را که در ساختمان‌های هوشمند و سبز به کار می‌رود، برای بهبود ظرفیت ذخیره‌سازی انرژی و رسانایی حرارتی بهینه‌سازی کردند. Haque و همکاران (۲۰۱۷) آند پیل سوختی زیستی مبتنی بر گلوکز را بهبود داده و امکان به‌کارگیری این ماده را در دستگاه‌های تأمین انرژی تجهیزات الکترونیکی بررسی کردند. Perveen و همکاران (۲۰۱۸) نیز یک پیل سوختی زیستی آنزیمی را بهینه کرده و بیشینه‌ی چگالی جریان دستگاه را تعیین نمودند. مطالعات متعددی با هدف بهینه‌سازی عملکرد زیست‌محیطی تجهیزات تولید شیر خشک انجام شده است. Walmsley و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از روش یکپارچه‌سازی حرارتی در کل سایت، عملکرد زیست‌محیطی کارخانه تولید شیر خشک را بهبود دادند. نتایج این مطالعه نشان داد که بازیافت حرارت اتلافی از خشک‌کن‌های پاششی می‌تواند مصرف انرژی حرارتی و الکتریکی را به ترتیب ۵/۵۱ ٪ و ۱۹ ٪ در مقایسه با کارخانه‌های مدرن کاهش دهد. در پژوهشی دیگر، Atuonwu و Stapley (2017) با تولید قطرات یکنواخت در فرآیند خشک‌کردن پاششی شیر بدون چربی، موفق شدند مصرف انرژی را کاهش دهند؛ به‌طوری‌که این روش در مقایسه با سیستم‌های سنتی موجب صرفه‌جویی ۹۰ درصدی در مصرف انرژی شد. همچنین Singh و همکاران (۲۰۲۱) تبخیرکننده سه‌مرحله‌ای را از دیدگاه ترمودینامیکی و زیست‌محیطی بهینه‌سازی کردند و دریافتند که اجرای برنامه‌ی جدید می‌تواند سالانه ۶۷۰/۱۷ تُن از انتشار دی‌اکسیدکربن بکاهد. در همین راستا، Atkinsو همکاران (۲۰۱۱) با بهینه‌سازی مصرف انرژی حرارتی در خشک‌کن پاششی نشان دادند که تطبیق جریان‌های خروجی با آب داغ می‌تواند مصرف حرارت را ۲۱ درصد کاهش دهد. علاوه بر این، Walmsley و همکاران (۲۰۱۵) نیز سیستم بازیافت حرارت خشک‌کن‌های پاششی شیر خشک را از دیدگاه ترمواقتصادی مورد بررسی و بهبود قرار دادند. چند پژوهشگر نیز به بهینه‌سازی فرآیند خشک‌کردن پاششی با هدف ارتقای کیفیت شیر خشک پرداخته‌اند. Habtegebriel و همکاران (۲۰۲۱) کیفیت شیر خشک کامل را از نظر چربی سطحی، بازده و شاخص نامحلول بودن بهینه کردند؛ در این مطالعه، دمای هوای ورودی، نرخ جریان خوراک و فشار اتمیزاسیون به‌عنوان متغیرهای بهینه‌سازی بررسی شدند. Amiri-Rigi و همکاران (۲۰۱۲) با تغییر دمای هوای ورودی و نرخ جریان خوراک، حلالیت شیر خشک بدون چربی را بهبود بخشیدند. Hamedi و همکاران (۲۰۲۱) کیفیت شیر خشک بدون چربی را در زمینه پراکندگی، اندازه ذرات و چگالی بهینه کردند. Erbay و همکاران (۲۰۱۵) با بهینه‌سازی دمای هوای ورودی و فشار اتمیزاسیون، بهترین مقادیر چگالی فله، شاخص قهوه‌ای شدن و حلالیت شیر خشک را به دست آوردند. Chitra و همکاران (۲۰۱۵) فرآیند تولید شیر خشک کامل را بهبود دادند و توانستند بهترین میزان چربی آزاد، کلسترول، روشنایی و شاخص حلالیت را کسب کنند. با وجود پیشرفت‌های قابل توجه در بهینه‌سازی فرآیند خشک‌کردن پاششی، همچنان نیاز به راهکارهای مؤثرتر برای کاهش مصرف انرژی بدون افت کیفیت محصول احساس می‌شود. ازاین‌رو، هدف این پژوهش بررسی راهکارهای نوین بهینه‌سازی مصرف انرژی در فرآیند خشک‌کردن شیر با اسپری‌درایر است.

متن اصلی

هدف اصلی اسپری‌درایینگ شیر، حذف سریع آب از شیر یا کنسانتره شیر است تا محصول پایدار شود؛ امکان ذخیره و حمل آسان فراهم شود و پودر با ویژگی‌های فیزیکی و عملکردی مطلوب به دست آید. شیر معمولاً قبل از اسپری‌درایینگ غلیظ می‌شود تا مقدار آب کمتری برای تبخیر باقی بماند (۱۲).

خشک‌کردن پاششی یکی از مهم‌ترین فناوری‌های مورد استفاده در صنایع لبنی برای تبدیل شیر و مشتقات آن به پودر پایدار است. این روش بر اساس اتمیزه‌کردن شیر مایع به قطرات بسیار ریز و تماس این قطرات با هوای گرم با دمای بالا عمل می‌کند (۱۳).

در طی فرآیند، انتقال حرارت و جرم به طور همزمان رخ می دهد:

- انتقال حرارت بین هوای داغ و قطره های شیر
- انتقال جرم در قالب خروج بخار از سطح قطره

مراحل اصلی شامل اتمیزاسیون، تماس با هوا، خشک‌شدن سریع، و جداسازی پودر است. کنترل مناسب اندازه قطرات، دمای ورودی و خروجی، و رطوبت هوا در کیفیت پودر و راندمان انرژی نقش اساسی دارد (۱۴).

خشک‌کردن پاششی یکی از انواع فناوری‌های خشک‌کردن است که برای فرآوری محلول‌ها، سوسپانسیون‌ها و مواد خمیری‌شکل مناسب می‌باشد. بر اساس روش اتمیزه‌کردن مایع، نازل‌ها به سه نوع فشاری، گریز از مرکز و جریان هوا تقسیم می‌شوند. مایع تغذیه‌شونده می‌تواند به قطرات مه‌مانند با ابعاد میکرونی تبدیل شود و سپس این قطرات در مدت ۵ تا ۳۰ ثانیه توسط هوای داغ، به‌سرعت به ذراتی با قطر حدود ۳۰ تا ۵۰۰ میکرومتر خشک می‌شوند. خشک‌کردن پاششی به‌دلیل عملیات پیوسته و خودکار، خشک‌کردن فوری، شدت کار کم و محیط کاری مناسب، به‌طور گسترده در صنایع شیمیایی، زیستی و غذایی، تولیدات دارویی و سایر حوزه‌ها به کار می‌رود. با این حال، خشک‌کردن پاششی نوعی عملیات واحد با مصرف انرژی بالا و بازده انرژی نسبتاً پایین است. در خشک‌کن پاششی، هوای داغ به‌عنوان محیط خشک‌کننده استفاده می‌شود. گزارش‌ها نشان می‌دهد که بازده حرارتی خشک‌کن پاششی حدود ۲۵ تا ۶۰ درصد است و در برخی موارد حتی به کمتر از ۲۰ درصد می‌رسد (۱۶). این نتایج بیانگر آن است که مصرف حرارتی در خشک‌کردن پاششی بخش عمده‌ای از هزینه‌ها را تشکیل می‌دهد؛ به‌طور کلی، مصرف حرارت حدود ۶۰ درصد از کل هزینه را شامل می‌شود. مطالعات اخیر نشان داده‌اند که حدود ۴۲ درصد از انرژی هوای داغ قابل استفاده نیست (۱۷)، که نشان‌دهنده اتلاف قابل توجه انرژی است.

نتیجه گیری

فرآیند اسپری‌درایینگ شیر با توجه به نیاز به خشک‌کردن سریع و تولید پودر با کیفیت، مصرف انرژی بالایی دارد که بخش عمده آن مربوط به انرژی حرارتی و درصد قابل توجهی مربوط به انرژی الکتریکی است. بازده حرارتی فرآیند تحت تأثیر دمای ورودی و خروجی هوا، دمای خوراک، غلظت ماده خشک و نوع اتمایزر قرار دارد. بهینه‌سازی این پارامترها می‌تواند منجر به کاهش مصرف انرژی تا حد قابل توجهی شود. بازیابی حرارت هدررفته و استفاده از فناوری‌های نوین مانند مبدل حرارتی لوله‌ای و پمپ حرارتی، فرصت‌های مهمی برای صرفه‌جویی انرژی ارائه می‌دهد. در مصرف برق، استفاده از موتورهای با بازده بالا، اینورترها و طراحی بهینه سیستم‌های فن، پمپ و انتقال پنوماتیک می‌تواند مصرف انرژی را ۱۰ تا ۲۰ درصد کاهش دهد. به طور کلی، مدیریت همزمان پارامترهای فرآیندی و بهره‌گیری از تکنولوژی‌های بهینه‌سازی انرژی، کلید کاهش هزینه‌ها و بهبود کارایی در تولید پودر شیر با روش اسپری‌درایینگ است.

منابع

1. ZhaZ, Zhang J, Tian W, Li Y, Song Y, Zhang P. Multi-objective optimization of milk powder spray drying system considering environmental impact, economy and product quality. J Clean Prod. 2022;
2. Atuonwu JC, Stapley AGF. Reducing energy consumption in spray drying by monodisperse droplet generation: Modelling and simulation. In: Energy Procedia. 2017.
3. Haque SU, Inamuddin, Nasar A, Rajender B, Khan A, Asiri AM, et al. Optimization of Glucose Powered Biofuel Cell Anode Developed by Polyaniline-Silver as Electron Transfer Enhancer and Ferritin as Biocompatible Redox Mediator. Sci Rep. 2017;
4. Walmsley TG, Atkins MJ, Walmsley MRW, Philipp M, Peesel RH. Process and utility systems integration and optimisation for ultra-low energy milk powder production. Energy. 2018;
5. Atkins MJ, Walmsley MRW, Neale JR. Integrating heat recovery from milk powder spray dryer exhausts in the dairy industry. Appl Therm Eng. 2011;
6. Habtegebriel H, Edward D, Wawire M, Seifu E, Gaukel V. Surface fat and insolubility of whole camel milk powders as affected by spray drying operating parameters. Food Bioprod Process. 2021;
7. Amiri-Rigi A, Emam-Djomeh Z, Mohammadifar MA, Mohammadi M. Spray drying of low-phenylalanine skim milk: Optimisation of process conditions for improving solubility and particle size. Int J Food Sci Technol. 2012;
8. Hamedi S, Afsahi MM, Nematollahi MH, Akhavan HR. Spouted bed drying of skimmed milk: Multivariable optimization of the conditions to improve physicochemical properties of the dried milk. LWT. 2021;
9. Erbay Z, Koca N, Kaymak-Ertekin F, Ucuncu M. Optimization of spray drying process in cheese powder production. Food Bioprod Process. 2015;
10. Chitra J, Deb S, Mishra HN. Selective fractionation of cholesterol from whole milk powder: Optimisation of supercritical process conditions. Int J Food Sci Technol. 2015;
11. Jakkamsetty C, Subramanian P, Rashidinejad A. Spray drying of milk and milk products. In: Spray Drying for the Food Industry: Unit Operations and Processing Equipment in the Food Industry. 2023.
12. Smith C. Milk and Milk Products. In: Britain's Food Supplies in Peace and War. 2021.
13. Johansen Crosby E. SPRAY DRYING HANDBOOK. Dry Technol. 1989;
14. Filková I, Huang LX, Mujumdar AS. Industrial spray drying systems. In: Handbook of Industrial Drying, Fourth Edition. 2014.
15. Schuck P. Milk and Milk Products: Microbiology of Dried Milk Products. In: Encyclopedia of Food Microbiology: Second Edition. 2014.
16. Charan R, Prasad S. Energy conservation in milk spray-drying plant. J Food Eng. 1993;
17. Deng W, Yu L, Chen Y, Chen G, Zhou P, Tian F, et al. Sludge preheating and viscosity reduction by waste heat from the exhaust gas of sludge paddle dryer. Dry Technol. 2022;
18. Kaviani A, Aslani A, Zahedi R, Ahmadi H, Malekli MR. A new approach for energy optimization in dairy industry. Clean Eng Technol. 2022;
19. Kessler HG. HEAT CONSERVATION IN CONCENTRATION AND SPRAY-DRYING OF MILK PRODUCTS. In: IEE Conference Publication. 1980.
20. Nandiyanto ABD, Okuyama K. Progress in developing spray-drying methods for the production of controlled morphology particles: From the nanometer to submicrometer size ranges. Adv Powder Technol. 2011;
21. Ali M, Mahmud T, Heggs PJ, Ghadiri M. Zonal modelling of a counter-current spray drying tower. Chem Eng Res Des. 2020;
22. Cheng F, Zhou X, Liu Y. Methods for Improvement of the Thermal Efficiency during Spray Drying. In: E3S Web of Conferences. 2018.
23. Hall CW. HANDBOOK OF INDUSTRIAL DRYING. Dry Technol. 1988;
24. Truong V, Bhandari BR, Howes T. Optimization of cocurrent spray drying process for sugar-rich foods. Part II-Optimization of spray drying process based on glass transition concept. J Food Eng. 2005;