



بررسی روش‌های کاهش اتلاف مواد اولیه (پودر) در خطوط بسته‌بندی محصولات پودری 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

EFAB01583124

شماره مقاله

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی عوامل ایجاد اتلاف مواد اولیه در خطوط بسته‌بندی محصولات پودری لبنی و ارائه راهکارهای کاربردی جهت کاهش ضایعات انجام شده است. با توجه به ماهیت ریزدانه، حساس به رطوبت، و دارای خاصیت جریان‌پذیری متغیر محصولات پودری مانند پودر آب‌پنیر، پودر پنیر و پرمیت، خطوط بسته‌بندی یکی از اصلی‌ترین نقاط ایجاد ضایعات محسوب می‌شوند. این مقاله به صورت تحلیلی-کاربردی، با مطالعه تجربیات صنعتی گسترده، بررسی فنی دقیق تجهیزات مرتبط و تحلیل عوامل فیزیکی و محیطی اثرگذار بر ضایعات، مجموعه‌ای از روش‌ها و پیشنهادات بهینه‌سازی جامع را ارائه می‌دهد. نتایج حاصل از این مطالعه میدانی و تحلیلی نشان می‌دهد که با اعمال مجموعه‌ای از اقدامات مدیریتی، فنی و عملیاتی کم‌هزینه و اصلاحات ساختاری در فرآیند، می‌توان مقدار ضایعات مواد اولیه را به طور میانگین بین ۸ تا ۱۵ درصد کاهش داد و بهره‌وری کلی خط تولید را به شکل محسوس افزایش داد.

کلید واژه‌ها: اتلاف پودر، بسته‌بندی، محصولات لبنی پودری، بهینه‌سازی، کاهش ضایعات، مهندسی فرآیند

اتلاف پودر در خطوط بسته‌بندی محصولات لبنی یک پدیده چندعاملی است که نتیجه تعامل پیچیده عوامل فیزیکی ذاتی پودر، شرایط محیطی متغیر و عملکرد تجهیزات است. برای دستیابی به بهره‌وری حداکثری، تمرکز باید بر دو حوزه اصلی باشد: کنترل جریان خروجی پودر در بخش پرکن و بهینه‌سازی سیستم جمع‌آوری غبار. اجرای راهکارهای پیشنهادی، به‌ویژه در بخش نازل‌ها و کالیبراسیون توزین، می‌تواند میانگین اتلاف را به طور قابل توجهی بین ۸ تا ۱۵ درصد کاهش دهد. این کاهش علاوه بر اثرات اقتصادی مثبت مستقیم (کاهش هزینه‌های مواد اولیه)، موجب ارتقای ایمنی و بهداشت محیط کار (کاهش گردوغبار قابل تنفس) نیز می‌شود. نظارت مستمر بر عملکرد تجهیزات و به‌روزرسانی پروتکل‌های عملیاتی SOP برای حفظ این دستاوردها و دستیابی به عملکرد پایدار، امری ضروری است.

صنایع تولید محصولات لبنی پودری، از جمله پودر آب‌پنیر، پودر پنیر، پودر شیر و پرمیت، به دلیل تقاضای روزافزون در صنایع غذایی، دام‌پروری و دارویی، اهمیت اقتصادی و استراتژیک بالایی دارند. این محصولات، اغلب با ارزش افزوده بالا، نیازمند فرآیندهای تولید و بسته‌بندی دقیقی هستند. با این حال، ماهیت فیزیکی پودرها، به ویژه اندازه‌ی بسیار ریز ذرات، چگالی پایین و تمایل به ایجاد گردوغبار، چالش‌های بزرگی را در مرحله نهایی تولید یعنی بسته‌بندی ایجاد می‌کند.

اتلاف مواد اولیه در خطوط بسته‌بندی، که شامل پودر ریخته شده روی زمین، باقی‌مانده در دستگاه‌ها، یا آلودگی محیط کار است؛ تأثیر مستقیمی بر حاشیه سود شرکت دارد. با توجه به قیمت نسبتاً بالای مواد اولیه و هزینه‌های جاری مرتبط با دفع مواد ضایعاتی، کاهش این اتلاف‌ها به یک اولویت مدیریتی و فنی تبدیل شده است. این مقاله بر آن است تا با رویکردی ساختاریافته، تمامی منابع اصلی اتلاف پودر را شناسایی و راهکارهای عملیاتی مبتنی بر اصول مهندسی مواد غذایی و کنترل فرآیند را ارائه نماید.

نتیجه‌گیری

مقدمه

منابع

متن اصلی

- Ho TM, Bansal N, Bhandari B. Spray-dried dairy product categories. In: Drying in the Dairy Industry. 2020.
- Oliveira MN de. Handbook of functional dairy products. Rev Bras Ciências Farm. 2004;
- Tetra Pak. Dairy Processing Handbook. Tetra Pak Process Syst. 1995;
- Porras-Saavedra J, Palacios-González E, Yáñez-Fernández J, Mazzobre MF, Buera MP, Alamilla-Beltrán L. Caking process and microstructural changes of wall materials used in spray-drying process. In: Food Engineering Series. 2015.
- Suhag R, Kellil A, Razem M. Factors Influencing Food Powder Flowability. Powders. 2024;
- Mehos G, Morgan D. Hopper design principles. Chem Eng (United States). 2016;
- Pisecky J. Handbook of milk powder manufacture. GEA Process Engineering A/S (GEA Niro). 2012.
- Ilhan I, Turan D, Gibson I, ten Klooster R. Understanding the factors affecting the seal integrity in heat sealed flexible food packages: A review. Packaging Technology and Science. 2021.
- Fitzpatrick JJ, Barringer SA, Iqbal T. Flow property measurement of food powders and sensitivity of Jenike's hopper design methodology to the measured values. J Food Eng. 2004;
- Okuyama K. Editor's Preface: On editorial policy of KONA powder and particle journal. KONA Powder and Particle Journal. 2020.
- Rhodes M. Introduction to Particle Technology, SECOND EDITION. Introduction to Particle Technology, SECOND EDITION. 2008.
- Harris S. Powder technology. Polymers Paint Colour Journal. 2004.
- Fries L, Antonyuk S, Heinrich S, Palzer S. DEM-CFD modeling of a fluidized bed spray granulator. Chem Eng Sci. 2011;
- Fitzpatrick JJ, Iqbal T, Delaney C, Twomey T, Keogh MK. Effect of powder properties and storage conditions on the flowability of milk powders with different fat contents. J Food Eng. 2004;
- Marcus RD, Leung LS, Klinzing GE, Rizk F. Pneumatic Conveying of Solids: A Theoretical and Practical Approach. Dry Technol. 1993;
- Evolution of powder testers - Key challenges and opportunities. In: Particle Technology Forum 2017 - Core Programming Area at the 2017 AIChE Annual Meeting. 2017.
- Van Calster B, McLernon DJ, Van Smeden M, Wynants L, Steyerberg EW, Bossuyt P, et al. Calibration: The Achilles heel of predictive analytics. BMC Med. 2019;
- Baserinia R, Sinka IC. Powder die filling under gravity and suction fill mechanisms. Int J Pharm. 2019;
- Zhong WZ, Zakhvatayeva A, Zhang L, Wu CY. Powder flow during linear and rotary die filling. Int J Pharm. 2021;
- Nath Pattanaik R, Gandhi Proutyogiki Vishwavidyalaya R. Hazards & Safety Measures in Dairy Industry - A Review. Int J Eng Res Technol. 2018;
- Schmidt J, Peukert W. Dry powder coating in additive manufacturing. Frontiers in Chemical Engineering. 2022.

ویژگی‌های فیزیکی پودرهای لبنی و اتلاف: اندازه ذرات، چگالی ظاهری و چسبندگی جریان پودر را پیچیده می‌کند. رطوبت باعث توده‌شدن و افزایش چسبندگی شده و دقت پرکن را کاهش می‌دهد. اتلاف معمولاً از قیف ورودی و سیستم انتقال شروع می‌شود (پل‌زدن، فریز شدن، نشی). در دستگاه پرکن: تخلیه پس از توقف، خطای نازل و عدم هم‌راستایی با دهانه بسته مشکل‌ساز است. در بسته‌بندی منعطف: ضعف دوخت و آب‌بندی در نتیجه نشت از شکاف‌های میکروسکوپی و هدررفت محصول.

عوامل مؤثر بر اتلاف پودر در خطوط بسته‌بندی، به‌ویژه در صنایع غذایی مانند بسته‌بندی محصولات پودری آب‌پنیر، بسیار پیچیده بوده و نیازمند یک رویکرد سیستمی برای شناسایی و کنترل هستند. اتلاف پودر نه تنها منجر به زیان اقتصادی مستقیم می‌شود، بلکه می‌تواند بر کیفیت محصول نهایی، ایمنی و بهداشت محیط کار نیز تأثیر منفی بگذارد. شناخت دقیق این عوامل نقش مهمی در کاهش ضایعات و افزایش بهره‌وری خطوط بسته‌بندی دارد.

عوامل مؤثر بر اتلاف پودر را می‌توان به سه دسته اصلی تقسیم کرد: عوامل فیزیکی (مرتبط با ماهیت خود پودر)، عوامل محیطی (مرتبط با شرایط محیطی محل نگهداری و فرآوری) و عوامل عملیاتی/تجهیزاتی (مرتبط با نحوه عملکرد و نگهداری ماشین‌آلات)

راهکارها باید بر اساس رویکرد «پیشگیری بهتر از درمان» طراحی شوند. این رویکرد شامل سه محور اصلی است: بهینه‌سازی مکانیکی (تمرکز بر طراحی و ارگونومی تجهیزات)، کنترل فرآیند (مدیریت دقیق پارامترهای عملیاتی) و مدیریت محیطی (کنترل رطوبت و گردوغبار).

بر اساس تجربیات صنعتی و ارزیابی‌های انجام شده، تأثیر اقدامات اصلاحی بر کاهش اتلاف پودر (که پیش از اصلاح در محدوده ۱۰ تا ۲۰ درصد در نظر گرفته شده است) به صورت زیر برآورد می‌شود: اقدام اصلاحی محدوده کاهش اتلاف تخمینی توضیحات نازل ضدچکه و اصلاح جریان پرکن ۳ تا ۵ درصد کنترل مستقیم بر ریزش هنگام توقف دوزکالیبراسیون دقیق سنسورهای وزنی ۱.۵ تا ۳ درصد کاهش اتلاف ناشی از بیش‌پرکنی و نوسان دوزاصلاح سیستم غبارگیر (افزایش کارایی بازیابی) ۲.۵ تا ۴ درصد بازیابی پودر معلق در هوا قبل از خروج کنترل رطوبت و ۰.۱ تا ۰.۲ درصد جلوگیری از تجمع و کلوخه شدن ثانویه استانداردسازی اپراتور و ۱.۵ تا ۵ درصد کاهش خطای انسانی در عملیات‌های حساس. مجموع کاهش تخمینی اتلاف: با اجرای همزمان و مؤثر تمامی این راهکارها، می‌توان به کاهش کلی بین ۸.۵ تا ۱۵.۵ درصد در میزان اتلاف کل پودر دست یافت.