Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Food Processing and Preservation Journal

Print ISSN: 2322 - 2069
Online ISSN: 2322 - 2794

Iranian Association of Food Scientists and Technologists

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) for identification of hazards and risk assessment in the malting process

Reza Rezaei[1], Seyed-Ahmad Shahidi[2*], Sohrab Abdollahzadeh[3], Azade Ghorbani-HasanSaraei[4], Shahram Naghizadeh Raeisi[5]

[1] Department of Food Science and Technology, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran
[2] Department of Food Science and Technology, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran
Email: sashahidy@yahoo.com
[3] Industrial Engineering, Faculty of Industrial Technologies, Urmia University of Technology, Urmia, Iran
[4] Department of Food Science and Technology, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran
[5] Department of Food Science and Technology, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 2022-07-28
Revised: 2022-09-12
Accepted: 2022-11-01

Keywords:
Malting process
Failure identification
Risk management
Severity
Occurrence
Detection

ABSTRACT

Background and purpose: Malt extract is widely used in baking industries, dairy factories, production of candy, malt, sauces, confectionery, infant formula or baby food, chocolate, pharmaceuticals. Risk management in malt production process plays an important role in improving product safety and factory efficiency. The failure mode and effect analysis method (FMEA) is a systematic and preventive tool in risk management that is used to define, identify, evaluate, prevent, eliminate or control the states, causes and effects of potential failures in a system. The aim of the current research is to use FMEA and Fuzzy Delphi as suitable tools to identify, refine and rank process failures in the malt production process from the receiving stage to packaging and provide preventive solutions to reduce important risks.

Materials and methods: First, unit operation in malt production were considered, that included: receiving and sifting barley, washing and steeping, germinating and clining, grinding and extracting, milling and mashing, filling and packaging. Then, with the aid of five experts of malt industry, as properly as the previous overall performance and documentation of the processes such as HSE and ISO information, the current situation and potential failures were determined separately for the production processes. Finally, the causes of failures and the effects of these failures on the customer were determined.

Findings: In the malt production process, a total of 86 potential failures were identified and ranked in 6 main malting processes. The scores of severity (S), occurrence (O) and detection (D) were assigned by experts using the Fuzzy Delphi method. According to the given scores, RPN (Risk Priority Number) of each failure mode was calculated. According to the RPN number and the numbers of the three components, the failures were categorized into three levels: normal, semi-critical and critical. " Receiving and cultivating" and "sprouting, drying and root separation"were the most risky steps , in addition to"milling and mashing" and "filling and packaging" being the low risk steps in malt production process. Finally, preventive solutions were provided by experts for critical failures.

Conclusion: In order to reduce or eliminate critical failures that had a RPN number above 120 and 2 components above 6 (6 critical failures), practical

solutions such as installing equipment in order to more accurately control pressure and humidity in processes, increasing control over equipment performance, sampling and checking out raw materials and semi-finished, were introduced.

Cite this article: Shahidi, A., Rezaei, R., Abdulzadeh, S., Ghorbani, A., Naqipour, Sh. 2022. Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) for identification of hazards and risk assessment in the malting process. *Food Processing and Preservation Journal*, 14 (4), 55-72.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/FPPJ.2022.20466.1711
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

فرآوری و نگهداری مواد غذایی
شاپا چاپی: ۳۵۴۴-۲۴۲۳
شاپا الکترونیکی: ۳۸۰۳-۲۴۲۳

تجزیه و تحلیل حالت و اثر شکست (FMEA) برای شناسایی خطرات و ارزیابی ریسک در فرآیند تولید مالت

رضا رضایی[۱]، سیداحمد شهیدی[۲*]، سهراب عبداله‌زاده[۳]، آزاده قربانی حسن سرایی[۴]، شهرام نقی زاده رئیسی[۵]

[۱] گروه علوم و صنایع غذایی، واحد آیت اله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران، رایانامه: shahidy@yahoo.com

[۲] گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد آیت اله آملی، آمل، ایران

[۳] مهندسی صنایع، دانشکده فناوری های صنعتی، دانشگاه صنعتی ارومیه

[۴] گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد آیت اله آملی، آمل، ایران

[۵] گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد آیت اله آملی، آمل، ایران

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی-پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۰۶
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۱/۰۶/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۱۰

واژه‌های کلیدی:
تولید مالت
شناسایی خطر
مدیریت ریسک
شدت اثر
وقوع
احتمال کشف

چکیده

سابقه و هدف: عصاره مالت در تولید آبنبات، مالشعیر، سس‌ها، صنایع پخت، قنادی، غذای کودک، شکلات، داروسازی و کارخانه‌های لبنی کاربرد گسترده‌ای دارد. مدیریت ریسک در فرآیند تولید مالت، نقش مهمی در ارتقای ایمنی محصولات و کارایی کارخانه‌ها دارد. روش تجزیه‌وتحلیل حالات و اثر شکست (FMEA) ابزاری نظام‌یافته و پیشگیرانه در مدیریت ریسک است که در تعریف، شناسایی، ارزیابی، پیشگیری یا کنترل حالات، علل و اثرات شکست‌های بالقوه در یک سیستم به کار گرفته می‌شود. هدف تحقیق جاری، به‌کارگیری FMEA و دلفی فازی به‌عنوان ابزارهای مناسب برای شناسایی، پالایش و رتبه‌بندی شکست‌ها در فرآیند تولید مالت از مرحله دریافت جو تا بسته‌بندی و ارائه راه‌کارهای پیشگیرانه جهت کاهش شکست‌های مهم بود.

مواد و روش‌ها: ابتدا عملیات واحد در تولید مالت در نظر گرفته شد که شامل: دریافت و بوجاری جو، شست‌وشو و مشروط سازی، جوانه‌زنی و خشک‌کردن، آسیاب و عصاره‌گیری، سرد کردن و فیلتر کردن، پر کردن و بسته‌بندی بود. سپس، توسط ۵ نفر از خبرگان این صنعت و همچنین عملکرد و مستندات گذشته فرآیندها، وضعیت موجود و شکست‌های بالقوه به تفکیک فرآیندهای تولید تعیین شدند. سپس، علل ایجادکننده شکست‌ها و اثرات ناشی از این شکست‌ها بر مشتری، تعیین شد.

یافته‌ها: در فرآیند تولید مالت، جمعاً ۸۶ شکست بالقوه در ۶ فرآیند اصلی شناسایی گردید. نمره‌های مؤلفه‌های شدت اثر (S)، وقوع (O) و احتمال کشف (D) توسط خبرگان به روش دلفی فازی اختصاص یافت. با توجه به نمرات داده‌شده، عدد اولویت ریسک (RPN) هر حالت شکست محاسبه گردید. با توجه به عدد RPN و اعداد سه مؤلفه، شکست‌ها در سه سطح عادی، نیمه بحرانی و بحرانی دسته‌بندی شدند. "دریافت و بوجاری" و "جوانه‌زنی،

خشک‌کردن و جداسازی ریشه"، مراحل پرخطر و "سرد کردن و فیلتر کردن" و "پر کردن و بسته‌بندی" مراحل کم خطر در فرآیند تولید مالت بودند. درنهایت، برای شکست‌های بحرانی توسط خبرگان راه‌کارهای پیشگیرانه ارائه شد.

نتیجه‌گیری: برای کاهش یا حذف شکست‌های بحرانی که عدد RPN بالای ۱۲۰ و دو مؤلفه بالای ٦ داشتند، راهکارهای عملی ازجمله نصب تجهیزات به‌منظور کنترل دقیق‌تر فشار و رطوبت در فرآیندها، افزایش کنترل بر عملکرد تجهیزات، نمونه‌برداری و آزمایش مواد اولیه و نیمه ساخته، ارائه شد.

استناد: شهیدی، ا.، رضایی، ر.، عبداله‌زاده، س.، قربانی، آ.، نقی‌پور، ش. (۱٤۰۱). تجزیه و تحلیل حالت و اثر شکست (FMEA) برای شناسایی خطرات و ارزیابی ریسک در فرآیند تولید مالت. *فرآوری و نگهداری مواد غذایی*، ۱٤ (٤)، ۷۲-۵۵.

DOI: 10.22069/FPPJ.2022.20466.1711

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

در طول دهه‌های گذشته، تعدادی از بحران‌های غذایی مهم مانند آنسفالوپاتی اسفنجی گاوی، بیماری جنون گاوی، دیوکسین موجود در غذای مرغ و بیماری‌های خطرناک دیگری رخ‌داده که قابلیت اطمینان صنایع غذایی را تحت تأثیر قرار داده است. درنتیجه، گرایش به‌کارگیری روش‌های علمی مختلف ارزیابی ریسک در ایمنی مواد غذایی، در سطح علمی و عملی بیشتر موردتوجه قرارگرفته است (۱). ناکامی صنایع غذایی در برنامه‌ریزی، طراحی و اجرای یک سیستم مدیریت ایمنی، در بیشتر موارد به خطر افتادن ایمنی مواد غذایی و متعاقب آن شیوع بیماری‌های ناشی از غذا را در پی دارد. اگرچه احتمال وجود این پدیده در بیشتر صنایع غذایی جهان دور از انتظار نیست؛ اما در کارخانه‌های متوسط و کوچک فرآوری مواد غذایی شیوع بسیار بالاتری دارد (۲).

مدیریت ریسک، سیستمی است که سازمان ضمن شناسایی و تحلیل ریسک‌ها، مجموعه فنون و استراتژی‌هایی را برای رویارویی با آن‌ها اتخاذ می‌کند و میزان موفقیت مدیریت ریسک به میزان توانمندی در ارزیابی ریسک‌ها، به‌کارگیری ترکیب بهینه از استراتژی و وجود یک بازخور مناسب بستگی دارد (۳). شناسایی ریسک اولین و حیاتی‌ترین مرحله در مدیریت ریسک است. روش‌های مختلفی جهت ارزیابی و مدیریت ریسک وجود دارد که ازجمله آن‌ها می‌توان به روش مطالعات عملیاتی و مخاطرات[1] (HAZOP)، تجزیه‌وتحلیل درخت خطا[2] (FTA)، تجزیه‌وتحلیل حالات و اثر شکست[3] (FMEA) و موارد مشابه اشاره کرد.

FMEA ابزاری نظام‌یافته و پیشگیرانه در مدیریت ریسک است که به شناسایی و تصحیح مشکلات احتمالی در مراحل طراحی و تولید محصول پرداخته و از تولید محصولات معیوب و نامطلوب می‌کند (٤). هدف این روش، شناسایی ریسک‌های بالقوه سیستم، اولویت‌بندی ریسک‌ها و اختصاص منابع محدود به ریسک‌های جدی‌تر است (۵).

FMEA به‌طور رسمی در اواخر دهه ۱۹٤۰ توسط نیروهای نظامی ایالات‌متحده معرفی شد. در دهه ۱۹٦۰ توسط صنعت هوافضا به‌عنوان یک روش طراحی، باقابلیت اطمینان و الزامات ایمنی آشکار مورداستفاده قرار گرفت. در اواخر دهه ۱۹۷۰، شرکت فورد موتور FMEA را به‌منظور بررسی ایمنی و نظارتی به صنعت خودرو معرفی کرده و بعداً از آن برای بهبود تولید و طراحی استفاده شد. این روش در حال حاضر به‌طور گسترده در صنایع مختلفی ازجمله پردازش نیمه‌هادی‌ها، خدمات مواد غذایی، پلاستیک، نرم‌افزار نیروگاه‌ها و مراقبت‌های بهداشتی استفاده می‌شود. یکی از پژوهش‌های مهم در زمینه FMEA توسط شارما[4] و سیرواستوا[5] در سال ۲۰۱۸ انجام شد که کلیه مفاهیم، رویکردها و کاربردهای مختلف FMEA را که از سال ۱۹٤۰ توسعه‌یافته بود را معرفی کردند (٦).

اوزیلگن و اوزیلگن[6] (۲۰۱٦) با جمع‌آوری و پردازش داده‌های خطرات مرتبط با پردازش غلات، میوه‌ها و سبزی‌ها، فرآورده‌های شیر و فرآورده‌های گوشتی و تعیین عوامل مشترک، یک الگوی عمومی FMEA را ارائه کردند (۷). شیرانی (۲۰۱۵) به تجزیه‌وتحلیل‌های ساختاریافته با شناسایی نقاط ضعف در زنجیره تأمین مواد غذایی با استفاده از

1. Hazard and operability study
2. Fault Tree analysis
3. Failure mode and effects analysis
4. Sharma
5. Srivastava
6. Özilgen

FMEA پرداخت. نتایج تحقیقات او نشان داد مراحل فرآیندی که در ابتدا مهم به نظر نمی‌رسید، از اهمیت زیادی برخوردار هستند (۸). مطالعه شکست و توسعه استراتژی‌های بهبود سیستم زنجیره سرد با FMEA، توانست به‌طور مؤثر شکست‌ها را پس از اتخاذ برنامه‌های بهبود، کاهش دهد (۹). همچنین، FMEA با یک مدل بهبودیافته و برای تجزیه‌وتحلیل ریسک فرآیند توزیع لجستیک زنجیره سرد استفاده شد (۱۰).

FMEA قادر به افزایش ایمنی برای کارکنان نیز می‌باشد. این روش توانست هفت عامل خطر نیازمند بهبود مرتبط با کارگران تولید نان را شناسایی کند تا با رفع آن‌ها، دچار حوادث نشوند (۱۱). با افزودن عامل جدیدی با عنوان "هزینه" بر مهم‌ترین نقص‌های FMEA غلبه شد (۱۲).

اغلب مطالعات بر پایه FMEA، از تأثیرات رویدادهایی که در محیط‌های تجاری داخلی و خارجی سازمان‌ها در عملیات شرکت‌ها رخ می‌دهند، غفلت کرده‌اند. در صورتی که باید تأثیر عوامل محیطی با ادغام تجزیه‌وتحلیل SWOT درروش FMEA در نظر گرفته شود تا از ارزیابی تلاش‌های بهبود مبتنی بر ریسک رقیب حمایت شود (۱۳). یکی از نوآوری‌ها در زمینه FMEA، ادغام آن با سایر روش‌های تصمیم‌گیری و افزایش کارایی آن است. به‌عنوان نمونه، رویکردی مبتنی بر تاپسیس[1] (TOPSIS) فازی و FMEA برای برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات به‌منظور کاهش هزینه‌های شرکت‌های تولیدی ارائه‌شده که می‌تواند به‌طور مؤثر و کارآمد در عمل مورداستفاده قرار گیرد (١٤).

ادغام FMEA در فرآیند تأیید سیستم تجزیه‌وتحلیل خطر و کنترل نقاط بحرانی[2] (HACCP)، می‌تواند ابزار مناسبی برای تضمین ایمنی بهتر مواد غذایی به وجود آورد (۱۵). FMEA را برای ارزیابی ریسک و به‌منظور تجزیه‌وتحلیل نقاط کنترل بحرانی[3] (CCPs) فرآیند تولید چیپس سیب‌زمینی و فرآوری و بسته‌بندی ماهی قزل‌آلا استفاده‌شده است (١٦) و (۱۷). امکان ارزیابی دقیق‌تر عملکرد سیستم در عمل با ادغام روش FMEA با حسابرسی سیستم HACCP، فراهم شده است (۱۸).

افزایش حجم تولید محصولات غذایی مستلزم به‌کارگیری سیستم‌های تضمین کیفیت، ارزیابی و کنترل کیفیت، کنترل فرآیند، ایجاد اتوماسیون[4] و شبیه‌سازی[5] برای سیستم‌های تصمیم‌گیرنده پشتیبان شده است. طراحی این الگوریتم‌ها در کنترل فرآیندهای غذایی و ارزیابی حسی این محصولات و ارائه سیستم‌های بهبودیافته مدیریت و تضمین کیفیت انجام‌شده است. این کار باهدف سودآوری بهتر، بازدهی تولید بالاتر، کارآمدی بیشتر فرآیند، تلاش برای ایمنی و در نهایت کیفیت بیشتر محصول غذایی انجام می‌گیرد. نیاز به مدیریت ارزیابی کیفی و کنترل در صنعت غذا به دلایلی ازجمله ۱) پیش‌بینی و حذف وظایف تکراری و خسته‌کننده، ۲) کنترل و تضمین کیفیت بهتر به دلیل الزامات قانونی و مرزهای کیفی بسیار حساس، ۳) حذف یا کاهش حداکثری کنترل کیفیت خارج از خط تولید به دلیل نیاز به اصلاح سریع‌تر در صورت انحراف از فرآیند، استانداردها و مشخصات کیفی و ٤) تشخیص مواد خارجی و آلودگی در مواد غذایی حین تولید، اهمیت دارد. بهبود ارزیابی کیفی فرآیند به‌منظور دستیابی به مفهوم مدیریت کیفیت جامع[6] (TQM) و سیستم‌های مدیریت

1. Technique for order preference by similarity to ideal solution
2. Hazard analysis critical control point
3. Critical control points
4. Automation
5. Simulation
6. Total quality management

مدیریت کیفیت[1] (QMS) بسیار مهم است (۱۹) و (۲۰).

یک رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها را برای تعیین شاخص‌های رتبه‌بندی در میان حالت‌های شکست ارائه‌شده که در آن پارامترهای FMEA به‌عنوان مجموعه‌های فازی مدل‌سازی می‌شوند (۲۱). نتایج مطالعه نشان داد که رویکرد مبتنی بر منطق فازی محدودیت‌های مرتبط با روش سنتی برای ارزیابی RPN را برطرف می‌کند (۲۲). ایوانچان[2] و لیسجاک[3] (۲۰۲۱) روش جدید کمّی ریسک FMEA فازی را در واحدهای پالایشگاهی پیشنهاد دادند که ریسک‌ها را بهتر اولویت‌بندی کرد و به اشکالات روش مرسوم FMEA پرداخت (۲۳).

روش دلفی[4] یک روش ساختاریافته و دارای چارچوب برای ارتباط گروهی میان خبرگان است تا بتوانند به کمک آن، تصمیم‌گیری و تحلیل در شرایط ابهام را با حداقل خطای ممکن انجام دهند. این روش ابتدا برای تحلیل و آینده‌پژوهی در صنایع نظامی آمریکا به کار گرفته‌شده و سپس به‌تدریج فراگیرتر شد و پا به دنیای مدیریت و کسب‌وکار گذاشت. از این روش برای پالایش ریسک‌های بالقوه در FMEA استفاده شده است (۲٤).

مالت منبع مناسبی از کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌های تجزیه‌شده، انواع ویتامین‌های گروه ب، املاح معدنی و همچنین مقدار قابل‌توجهی آنزیم‌های تجزیه‌کننده نشاسته است؛ بنابراین، یک صنعت مهم در صنایع غذایی محسوب می‌گردد (۲۵). نقص در تجهیزات و فناوری و همچنین اشتباهات کارکنان در خطاهای فرآیندهای تولیدی، عوارض ناگواری به دنبال دارد (۲٦). شناسایی و به حداقل رساندن خطاهای فرآیند تولید مالت نقش مهمی در ارتقای ایمنی محصولات غذایی و کارایی کارخانه‌ها دارد. شناسایی ریسک‌های هر مرحله از تولید، چه در تأمین، حین تولید و پس از بسته‌بندی و توزیع، می‌تواند منجر به انجام اقدامات پیشگیرانه شده و بازدارنده عوارض بعدی برای افراد جامعه باشد. مطالعه روی منابع معتبر نشان داد که مطالعات چندانی در زمینه ارزیابی ریسک در فرآیند تولید مالت صورت نگرفته است. بنابراین، مطالعه حاضر با شناسایی و رتبه‌بندی شکست‌های فرآیند تولید مالت با استفاده از FMEA و دلفی فازی، مطالعه‌ای نوآورانه هست.

در پژوهش جاری، با استفاده از FMEA و دلفی فازی، ریسک‌های موجود در فرآیند تولید مالت به تفکیک مراحل تولید در یک شرکت ایرانی شناسایی و رتبه‌بندی شده و برنامه‌های بهبود برای ریسک‌های اولویت‌دار ارائه‌شده است. اهداف این پژوهش عبارت‌اند از: تعریف فرآیندهای تولید مالت، شناسایی خطاهای فرآیندهای تولید مالت به تفکیک هر مرحله، پالایش اولیه ریسک‌ها با دلفی فازی، رتبه‌بندی ریسک‌ها با رویکرد FMEA و ارائه راهکارهای کاهش یا حذف ریسک‌های اولویت‌دار.

مواد و روش‌ها

تجزیه‌وتحلیل حالت و اثر شکست: اولین گام در FMEA، لیست کردن تمام حالت‌های احتمالی خرابی یک محصول یا سیستم خاص از طریق جلسه طوفان فکری است. پس‌ازآن، مقدار عدد اولویت ریسک (RPN) که حاصل‌ضرب سه عدد شدت اثر[5] (S) وقوع[6] (O) و احتمال کشف[7] (D) است، مطابق رابطه

1. Quality management system
2. Ivančan
3. Lisjak
4. Delphi
5. Severity
6. Occurrence
7. Detection

(۱) محاسبه می‌شود. این مقادیر هرکدام می‌توانند امتیازی از ۱ تا ۱۰ بگیرند.

$$RPN= S \times O \times D \quad (۱)$$

RPN در محاسبه PRN باید توجه داشت که تعیین اعداد وقوع، شدت و احتمال کشف می‌بایست بر اساس نوع فعالیت سازمان تعیین شود. عددی بین ۱ و ۱۰۰۰ خواهد بود. برای اعداد ریسک بالا، کارگروهی باید جهت پائین آوردن این عدد از طریق اقدام اصلاحی صورت پذیرد. مراحل FMEA عبارت‌اند از:

۱. جمع‌آوری اطلاعات مربوط به فرایند. ۲. تعیین خطرات بالقوه. گام ۳. بررسی اثرات هر خطر. ٤. تعیین علل خطر. ۵. بررسی کردن فرایندهای کنترل. ٦. تعیین شدت: برای شدت، شاخص‌های کمی وجود دارد که برحسب مقیاس ۱ تا ۱۰ مطابق جدول ۱ بیان می‌گردد.۷. وقوع: احتمال وقوع بر مبنای ۱ تا ۱۰ مطابق جدول ۲ سنجیده می‌شود. ۸. نرخ احتمال کشف خطر: احتمال کشف توانایی پی بردن به خطر قبل از وقوع آن است که مطابق جدول ۳ بیان می‌شود. **۹. محاسبه** مقدار عدد RPN (حاصل‌ضرب سه عدد شدت، رخداد و احتمال کشف) و تعیین اقدامات پیشگیرانه برای هر یک از فرآیندهایی که عدد ریسک بالایی دارند. سطوح بحرانی عبارت‌اند از: ۱) سطح عادی که در آن عدد هر سه عدد کمتر از ٦ هستند و نیاز به اقدامات پیشگیرانه احساس نمی‌شود. سطح ۲: سطح نیمه بحرانی که در آن حداکثر یک عدد بالاتر از ٦ است ولی RPN پایین است. در این صورت اقدامات پیشگیرانه ضروری است. سطح ۳) سطح بحرانی است که در آن حداقل دو عدد بالاتر از ٦ هستند و عدد RPN نیز بالا است. این سطح، نیاز به اقدامات پیشگیرانه فوری وجود دارد (۲۷).

جدول ۱- وزن دهی شدت خطر

Table 1- The weighting of risk severity

رتبه Rank	شدت اثر Severity	شرح Explanation
10	خطرناک ـ بدون هشدار Dangerous - no warning	شدت تأسف‌بار است مثل خطر مرگ ، تخریب کامل Deterioration is unfortunate, like the risk of death, complete destruction
9	خطرناک ـ با هشدار Dangerous - with warning	شدت تأسف‌بار است اما همراه با هشدار است The deterioration is unfortunate but comes with a warning
8	خیلی زیاد Very high	شدت جبران‌ناپذیر است– عدم توانایی انجام‌وظیفه اصلی مثل از دست دادن یک عضو بدن Impairment is irreversible - the inability to perform a primary function, such as the loss of a body part
7	زیاد High	شدت زیاد است همانند آتش گرفتن تجهیزات سوختگی بدن There is a lot of damage, such as equipment catching fire or body burns
6	متوسط Average	شدت کم است مانند ضرب‌دیدگی ،مسمومیت خفیف غذایی Aggravation is low, such as bruises, mild food poisoning
5	کم Low	شدت خیلی کم است مانند ضرب‌دیدگی مسمومیت خفیف غذایی Aggravation is low, such as bruises, mild food poisoning
4	خیلی کم Very low	شدت خیلی کم است ولی بیشتر افراد آن را احساس می‌کنند مثل: نشت جزئی گاز The deterioration is very small, but most people feel it, for example: a slight gas leak
3	اثرات جزئی Slight effects	اثر جزئی بر جا می‌گذارد مثل خراش دست به هنگام تراشکاری It leaves a slight effect, like a scratch on the hand during turning
2	خیلی جزئی Very slight	اثر خیلی جزئی دارد It has a very slight effect
1	هیچ No effect	بدون اثر No effect

جدول ۲- وزن دهی وقوع

Table 2- The weighting of occurrence probability

رتبه Rank	نرخ‌های احتمالی خطر Occurrence rate	احتمال وقوع خطر The probability of a risk occurrence
10 9	۱در ۲ یا بیش از آن ۱در ۳ 1 in 2 or more 1 in 3	بسیار زیاد – خطر تقریباً اجتناب‌ناپذیر است Very high – the risk is almost unavoidable
8 7	۱در ۸ ۱در ۲۰ 1 in 8 1 in 20	زیاد- خطرهای تکراری High-repetitive risks
6 5 4	۱در ۸۰ ۱در ٤۰۰ ۱ در ۲۰۰۰ 1 in 80 1 in 400 1 in 2000	متوسط- خطرهای موردی Medium - case risks
3 2	۱ در ۱۵۰۰۰ ۱در ۱۵۰۰۰۰۰ 1 in 15000 1 in 1500000	کم- خطرهای نسبتاً نادر Low- relatively rare risks
1	کمتر از ۱ در ۱۵۰۰۰۰۰۰ Less than 1 in 15000000	بعید- خطر نامحتمل است Unlikely - the risk is unlikely

جدول ۳- وزن دهی احتمال کشف خطر

Table 3- The weighting of risk detection probability

رتبه Rank	قابلیت کشف Detection	معیار : احتمال کشف خطر Criterion: the detection probability of the risk
10	مطلقاً هیچ Absolutely not	هیچ کنترلی وجود ندارد و یا در صورت وجود قادر به کشف خطر بالقوه نیست There is no control or, if there is, it is unable to detect the potential hazard
9	خیلی ناچیز Very insignificant	احتمال خیلی ناچیزی دارد که با کنترل‌های موجود خطر ردیابی و آشکار شود There is a very small chance that the risk will be detected and detected with the existing controls
8	ناچیز Insignificant	احتمال ناچیزی دارد که با کنترل‌های موجود خطر ردیابی و آشکار شود There is an insignificant chance that the risk will be detected and detected with existing controls
7	خیلی کم Very low	احتمالی خیلی کمی دارد که با کنترل‌های موجود خطر ردیابی و آشکار شود There is very small chance that the risk will be detected and exposed with existing controls
6	کم Low	احتمال کمی دارد که با کنترل‌های موجود خطر ردیابی و آشکار شود It is unlikely that the hazard will be detected and detected with existing controls
5	متوسط Average	در نیمی از موارد محتمل است که با کنترل موجود خطر بالقوه ردیابی و آشکار شود In half of the cases, it is likely that the potential hazard will be detected and revealed by existing controls
4	نسبتاً زیاد Relatively high	احتمال نسبتاً زیادی وجود دارد که با کنترل موجود خطر بالقوه ردیابی و آشکار شود There is a relatively high probability that the potential hazard will be detected and detected by existing controls
3	زیاد High	احتمال زیادی وجود دارد که با کنترل موجود خطر بالقوه ردیابی و آشکار شود There is a high probability that the potential risk will be detected and revealed by existing controls
2	خیلی زیاد Very high	احتمال خیلی زیاد وجود دارد There is a very high probability
1	تقریباً حتمی Almost certain	تقریباً به‌طور حتم با کنترل‌های موجود خطر بالقوه ردیابی و آشکار می‌شود. The potential hazard will almost certainly be detected and detected with the existing controls

روش دلفی فازی: در روش دلفی، نظرات خبرگان در قالب اعداد قطعی بیان می‌شود، درحالی‌که افراد خبره از شایستگی‌های ذهنی خود برای بیان نظر استفاده می‌کنند و این نشان‌دهنده احتمالی بودن و عدم قطعیت حاکم بر این شرایط است. بنابراین، بهتر است داده‌ها در قالب زبانی از خبرگان اخذ و با استفاده از مجموعه‌های فازی مورد تحلیل قرار گیرند (۲۸). بدین منظور، پیشنهاد ادغام روش دلفی با تئوری فازی تحت عنوان روش دلفی فازی ارائه شد (۲۹). به‌منظور فازی سازی نظرات خبرگان از اعداد فازی استفاده می‌شود. در پژوهش جاری از عدد فازی مثلثی استفاده‌شده است که با سه عدد حقیقی به‌صورت M = (l, m, u) نمایش داده می‌شود. کران بالا (u) بیشینه مقادیر، کران پایین (l) کمینه مقادیر و (m) محتمل‌ترین مقدار عدد فازی M است. تابع عضویت یک عدد فازی مثلثی به‌صورت رابطه (۲) است:

$$u_M(x) = \begin{cases} \dfrac{x-l}{m-l} & l \le x \le m \\ \dfrac{u-x}{u-m} & m \le x \le u \\ 0 \text{otherwise} & \end{cases} \qquad (۲)$$

مراحل اجرای روش دلفی فازی به شرح زیر می‌باشد (۳۰):

گام اول: گردآوری نظرات خبرگان؛ در مرحله اول دلفی فازی، پرسشنامه‌ها بر اساس نتایج مرحله اول پژوهش، طراحی‌شده و از خبرگان درخواست شد تا با استفاده از متغیرهای لفظی خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد میزان اهمیت هر یک از مراحل شناسایی‌شده را مشخص نمایند.

گام دوم: تبدیل متغیرهای لفظی به اعدا فازی مثلثی؛ در این مرحله متغیرهای لفظی با توجه به جدول (٤) به‌صورت اعداد فازی مثلثی تعریف شدند.

جدول ٤- اعداد فازی متناظر با متغیرهای لفظی

Table 4- Fuzzy numbers corresponding to verbal variables

متغیرهای لفظی Verbal variables	عدد فازی مثلثی (l, m, u) Equivalent triangular fuzzy Number
خیلی زیاد (VH)	(۰/۷۵ ،۱ ،۱)
زیاد (H)	(۰/۵ ،۰/۷۵ ،۱)
متوسط (M)	(۰/۲۵ ،۰/۵ ،۰/۷۵)
کم (L)	(۰ ،۰/۲۵ ،۰/۵)
خیلی کم (VL)	(۰ ، ۰ ، ۰/۲۵)

بدین‌صورت که اعداد فازی مثلثی به نظر هر یک از خبرگان داده شد و مجموعه اعداد فازی مثلثی برای هر خبره با استفاده از رابطه (۳) به دست آمد. که در آن $\tilde{A}^{(i)}$ بیانگر دیدگاه خبره iام و $(a_1^{(i)}, a_2^{(i)}, a_3^{(i)})$ **اعداد فازی مثلثی متناظر با دیدگاه** خبره iام است.

$$\tilde{A}^{(i)} = (a_1^{(i)}, a_2^{(i)}, a_3^{(i)}) \quad i = 1,2,3,\ldots,n \qquad (۳)$$

گام سوم: در این مرحله میانگین دیدگاه‌های خبرگان $\tilde{A}_m^{(i)}$ از تمامی مجموعه‌ها $\tilde{A}^{(i)}$ و از طریق رابطه (٤) محاسبه شد

$$\tilde{A}_m = (a_{m1}, a_{m2}, a_{m3}) = \left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} a_1^i, \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} a_2^i, \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} a_3^i\right) \qquad (٤)$$

سپس برای هر خبره، مقدار اختلاف از میانگین با استفاده از رابطه (۵) محاسبه شد

$$(a_{m1} - a_1^{(i)}, a_{m2} - a_2^{(i)}, a_{m3} - a_3^{(i)}) = \left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} a_1^{(i)} - a_1^{(i)}, \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} a_2^{(i)} - a_2^{(i)}, \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} a_3^{(i)} - a_3^{(i)}\right) \qquad (۵)$$

در مرحله دوم به‌منظور بررسی میزان توافق بین خبرگان، پرسشنامه مرحله اول بعد از اعمال تغییرات لازم به همراه میانگین نظرات خبرگان و اختلاف‌نظر قبلی هر یک از آن‌ها با میانگین مجدداً برای خبرگان

ارسال و از آن‌ها درخواست شد تا پاسخ‌ها را مرور نموده و در صورت نیاز در نظرات و قضاوت‌های خود تجدیدنظر کنند.

گام چهارم: بعدازاین که بازخورد اولیه به خبرگان داده شد و مرحله دوم دلفی انجام گرفت، نظرات اصلاح‌شده خبرگان در قالب اعداد فازی مثلثی به‌صورت رابطه (٦) درآمد. که در آن $\tilde{B}^{(i)}$ بیانگر دیدگاه اصلاح‌شده خبره iام و $(b_1^{(i)}, b_2^{(i)}, b_3^{(i)})$ **اعداد فازی مثلثی متناظر با دیدگاه اصلاح‌شده** خبره iام است.

$$\tilde{B}^{(i)} = (b_1^{(i)}, b_2^{(i)}, b_3^{(i)}) \quad i = 1, 2, 3, ..., n \qquad (٦)$$

در این مرحله نیز همانند گام دوم، میانگین نظرات اصلاح‌شده خبرگان $\tilde{B}_m^{(i)}$ در مرحله دوم دلفی از طریق رابطه (٤) محاسبه شد.

گام پنجم: فازی زدایی کردن؛ روش‌های مختلفی برای فازی زدایی مقادیر نهایی هر یک از شاخص‌ها وجود دارد. در پژوهش جاری از روش ساده مرکز ثقل بر اساس رابطه (٧) برای فازی زدایی مقادیر هر یک از مراحل دلفی استفاده شد (٣١).

$$S_j = \frac{u_j - m_j - l_j}{3} \qquad (٧)$$

گام ششم: محاسبه میزان اختلاف‌نظر خبرگان در دو مرحله؛ میزان اختلاف‌نظر خبرگان در دو مرحله دلفی از طریق رابطه (٨) محاسبه شد. بر اساس روابط حاکم بر اعداد فازی مثلثی، اختلاف‌نظر میانگین دیدگاه‌های خبرگان در دو مرحله محاسبه و بر ٣ تقسیم می‌گردد. ضمناً به دلیل این‌که ممکن است میانگین نظر خبرگان در هر مرحله به‌صورت افزایشی یا کاهشی اصلاح‌شده باشد، درنتیجه قدر مطلق اختلاف‌نظر خبرگان در محاسبات وارد می‌گردد.

$$S(\tilde{B}_m - \tilde{A}_m) = \left| \frac{1}{3}[(b_{m1}, b_{m2}, b_{m3})] - [(a_{m1}, a_{m2}, a_{m3})] \right| \qquad (٨)$$

تکرار مراحل دلفی تا آنجا پیش رفت که اختلاف‌نظر خبرگان بین دو مرحله نظرسنجی به کمتر از حد آستانه خیلی کم ٠/٢ برسد.

رویکرد پیشنهادی پژوهش: با توجه به روش‌های ارائه‌شده فوق، گام‌های رویکرد پیشنهادی پژوهش جاری به شرح ذیل تعیین‌شده است:

گام اول) جمع‌آوری اطلاعات مربوط به فرایند.

گام دوم) تعیین خطرات بالقوه، بررسی اثرات هر خطر، تعیین علل خطر.

گام سوم) تعیین خطرات نهایی فرآیندها به روش دلفی فازی با نرم‌افزار Borland Delphi v7-0

گام چهارم) تعیین شدت، وقوع و احتمال کشف خطر توسط خبرگان و مستندات عملکرد فرآیندها.

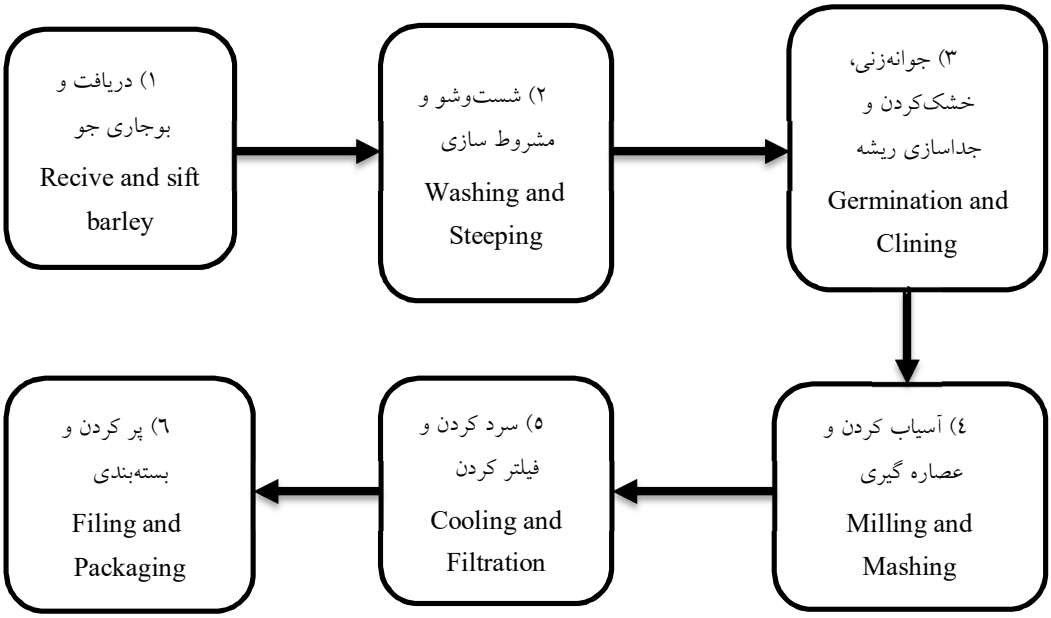
گام پنجم) محاسبه مقدار عدد RPN و اولویت‌بندی ریسک‌ها.

گام ششم) تعیین اقدامات پیشگیرانه برای فرآیندهای بحرانی و با عدد ریسک بالا.

نتایج و بحث

جمع‌آوری اطلاعات فرآیند مالت سازی: مراحل مختلف فرآیند تولید مالت عبارت‌اند از: دریافت و بوجاری جو، شست‌وشو و مشروط سازی، جوانه‌زنی و خشک‌کنی، آسیاب و پخت، سرد کردن و فیلتر کردن، پر کردن و بسته‌بندی. این مراحل در شکل شماره ١ نشان داده‌شده است. منابع معتبر علمی مراحل مختلف فرآیند تولید مالت را به‌این‌ترتیب معرفی کرده‌اند با این تفاوت که در فرآیند تولید آبجو[1]، دو مرحله تخمیر[2] وجود دارد (٣٢) که در تحقیق جاری موضوعیت نداشت.

1. Beer
2. Fermentation



شکل ۱- فرآیند تولید عصاره مالت

Figure 1- Production steps of malt extract

تعیین شکست‌ها، بررسی اثرات و تعیین علل شکست‌ها: شکست‌های هر مرحله از فرآیند تولید مالت اعم از شکست ماشین‌آلات و خطاهای انسانی از مستندات عملکردی فرآیندها در کارخانه و نظر خبرگان این صنعت شناسایی شد. عوامل بالقوه مؤثر در ایجاد خطر، تمام خطرات محیطی، تجهیزاتی، مواد، انسانی و موارد مشابه که ایمنی را تهدید می‌کند، در نظر گرفته شد. همچنین، حالات هر خطر را نیز مورد تجزیه‌وتحلیل قراردادند.

برای تعیین شکست‌های بالقوه، چک لیست واحد HSE و استاندارد ISO 22000 کارخانه طی ۱۰ سال گذشته (۱۳۹۰ تا ۱٤۰۰) موردبررسی قرار گرفت. در FMEA روش‌های مختلفی ازجمله نقشه فرآیند[3] (IDEF) برای مستندسازی فرآیندها و تشخیص شکست‌های بالقوه مورداستفاده قرار می‌گیرد (۳۳). با جمع‌بندی منابع مکتوب و نظر خبرگان، در مرحله اول ۱٦ شکست، مرحله دوم ۱۳ شکست، مرحله سوم ۱٤ شکست، مرحله چهارم ۱۱ شکست، مرحله پنجم ۱۷ شکست و مرحله ششم ۳۵ شکست و درمجموع ۱۰۵ شکست شناسایی شد.

تعیین شکست‌های نهایی به روش دلفی فازی: با استفاده از روش دلفی فازی خطرات کم‌اهمیت پالایش و حذف شدند. دلفی فازی در دو مرحله اجرا شد که اختلاف‌نظر خبرگان در پایان دور دوم به کمتر از حد آستانه (۰/۲) رسید که به معنای همگرایی نظرات خبرگان بود. از دلفی فازی برای پالایش خطرات بالقوه در FMEA استفاده‌شده است (۲٤). نتایج نرم-افزار Borland Delphi v7-0 برای انتخاب شکست-های نهایی مرحله اول فرآیند تولید مالت به شرح جدول ۵ بود. درنهایت، از مرحله اول ۳ شکست، مرحله دوم ۲ شکست، مرحله سوم ۳ شکست، مرحله چهارم ۲ شکست، مرحله پنجم ۳ شکست و مرحله ششم ۵ شکست و جمعاً ۱۹ شکست، تائید نشد. درنتیجه، جمعاً ۸٦ شکست برای تمام مراحل فرآیند تولید مالت شناسایی شد که به تفکیک هر مرحله، در جدول ٦ آورده شده است. بیش‌ترین تعداد شکست

1. Integration DEFinition

مربوط بـه مرحلـه "پـر کـردن و بسـته‌بنـدی" بـا ۳۰ "آسیاب و عصاره‌گیری" با تعداد ۹ شکست بود. شکست و کمترین تعداد شکست مربـوط بـه مرحلـه

جدول ۵- نتایج دلفی فازی برای انتخاب شکست‌های مرحله اول

Table 5- Fuzzy Delphi results to select the failures of the first stage

شماره سؤال question number	متغیرهای لفظی Verbal variables				مقدار فازی Fuzzy value			مقدار غیر فازی De-fuzzified value	نتیجه Result	درصد اجماع Consensus percentage
	VL	L	M	H	VH	L	M	U			
1				3	2	4	4.373448296	5	4.436724148	Approval	60
2				4	1	4	4.18255821	5	4.341279105	Approval	80
3				4	1	4	4.18255821	5	4.341279105	Approval	80
4				4	1	4	4.18255821	5	4.341279105	Approval	80
5			3	1	1	3	3.519482029	5	3.759741014	Disapproval	60
6					5	5	5	5	5	Approval	100
7				4	1	4	4.18255821	5	4.341279105	Approval	80
8			1	3	1	3	3.948700972	5	3.974350486	Disapproval	60
9				3	2	4	4.373448296	5	4.436724148	Approval	60
10				4	1	4	4.18255821	5	4.341279105	Approval	80
11		2	2	1		2	2.701920077	4	2.850960039	Disapproval	40
12				4	1	4	4.18255821	5	4.341279105	Approval	80
13				4	1	4	4.18255821	5	4.341279105	Approval	80
14				5		4	4	4	4	Approval	100
15				2	3	4	4.573050519	5	4.53652526	Approval	60
16				3	2	4	4.373448296	5	4.436724148	Approval	60

جدول ۰۶- خطاهای صنعت نوشیدنی به تفکیک مراحل آماده‌سازی

Table 6- Failures of the beverage industry separated based on preparation stages

شماره ریسک Risk Number	نام ریسک Risk Name	شماره ریسک Risk Number	نام ریسک Risk Name
F1,1	خطای نمونه‌بردار Sampler Error	F5,1	ذخیره‌سازی نامناسب Improper storage
F1,2	خطای ابزار نمونه‌برداری Sampling tool error	F5,2	دمای نامناسب الکل Improper temperature of alcohol
F1,3	نمونه‌برداری غلط Incorrect sampling	F5,3	خطای اپراتور ذخیره‌سازی Storage operator error
F1,4	دریافت جو بی‌کیفیت Get low quality barley	F5,4	مشکل مخازن The problem of tanks
F1,5	خطای اپراتور آزمایش رده‌بندی Classification operator error	F5,5	فیلتراسیون نامناسب Improper filtration
F1,6	خطای ابزار آزمایشگاهی رده‌بندی Laboratory classification tool error	F5,6	خطای اپراتور فیلتراسیون Filtration operator error
F1,7	آزمایش رده‌بندی غلط Wrong classification experiment	F5,7	خطای دستگاه فیلتراسیون Filtration device error
F1,8	خطای ابزار آزمایش جوانه‌زنی Germination test tool error	F5,8	مشکل خاک صافی The problem of filter soil
F1,9	خطای اپراتور آزمایش جوانه‌زنی Germination test operator error	F5,9	آماده‌سازی غلط Wrong preparation
F1,10	آزمایش اشتباه جوانه‌زنی Wrong germination test	F5,10	خطای مواد افزودنی Additive's error
F1,11	خطای دستگاه بوجاری	F5,11	خطای دستگاه‌های آماده‌سازی

نام ریسک Risk Name	شماره ریسک Risk Number	نام ریسک Risk Name	شماره ریسک Risk Number
Preparation device error		Sifting machine error	
فشار گاز CO_2 Improper CO_2 pressure	F5,12	خطای اپراتور بوجاری Sifting operator error	F1,12
خطای اپراتور آماده‌سازی Preparation operator error	F5,13	بوجاری اشتباه Wrong sifting	F1,13
دربندی نامناسب Improper capping	F6,1	شست‌وشو و ضدعفونی غلط Improper washing and disinfection	F2,1
خطای اپراتور دربندی Capping operator error	F6,2	مواد ضدعفونی بی‌کیفیت Low quality disinfectants	F2,2
خطای دستگاه دربندی Capping machine error	F6,3	مخازن نامناسب Improper tanks	F2,3
کیفیت پایین ظرف دربندی Low quality container	F6,4	کیفیت و میزان آب Inadequate quality and quantity of water	F2,4
کیفیت نامناسب درب Inadequate quality of the cap	F6,5	خطای اپراتور شست‌وشو Washing operator error	F2,5
پاستور نامناسب Improper pasteurization	F6,6	فشار هوادهی غلط Wrong aeration pressure	F2,6
خطای دستگاه پاستور Pasteurizing device error	F6,7	عدم مشروط سازی مناسب Improper conditioning	F2,7
بخار نامناسب Inadequate steam	F6,8	خطای اپراتور مشروط سازی Conditioning operator error	F2,8
دمای نامناسب Improper temperature	F6,9	کیفیت نامناسب آب Inadequate water quality	F2,9
پر کردن نامناسب Improper filling	F6,10	خطای دستگاه مشروط سازی Conditioning machine error	F2,10
بالا بودن دمای مایع Liquid high temperature	F6,11	خطا در مرحله جوانه‌زنی Error in the germination stage	F3,1
خطای اپراتور پر کردن Filling operator error	F6,12	جو نامناسب Low quality barley	F3,2
کیفیت نامناسب ظرف Inadequate container quality	F6,13	دمای نامناسب Improper temperature	F3,3
میزان گاز CO_2 Inadequate amount of CO2	F6,14	خطای دستگاه جوانه‌زنی Germination device error	F3,4
خطای دستگاه پر کردن Filling machine error	F6,15	هوادهی غلط Wrong aeration	F3,5
خطای برچسب‌زنی Labeling error	F6,16	عدم رعایت زمان Failure to observe the right time	F3,6
چسب نامناسب Improper glue	F6,17	خطا در مرحله خشک‌کنی Error in drying step	F3,7
کیفیت ظرف نامناسب Inadequate container quality	F6,18	سرعت جریان هوای نامناسب Improper airflow speed	F3,8
خطای اپراتور برچسب‌زنی Labeling operator error	F6,19	دمای کوره نامناسب Improper furnace temperature	F3,9
خطای دستگاه برچسب‌زنی Labeling machine error	F6,20	رطوبت مالت Moisture content of malt	F3,10
برچسب بی‌کیفیت Low quality labels	F6,21	خطای ابزار خشک‌کنی Drying tool error	F3,11
بسته‌بندی شرینگ نامناسب Improper shrink pack	F6,22	خطای اپراتور بخش آسیاب Mill section operator error	F4,1

شماره ریسک Risk Number	نام ریسک Risk Name	شماره ریسک Risk Number	نام ریسک Risk Name
F4,2	خطای دستگاه آسیاب Milling machine error	F6,23	نایلون نامناسب Improper nylon
F4,3	آسیاب نادرست Incorrect grinding	F6,24	خطای اپراتور بسته‌بندی Packing operator error
F4,4	عدم پخت مناسب Lack of proper brewing	F6,25	خطای دستگاه بسته‌بندی Packing machine error
F4,5	خطای اپراتور پخت brewing operator error	F6,26	انبار نامناسب Improper storage in warehouse
F4,6	استفاده از آنزیم نامناسب و مواد افزودنی نامناسب Use of inappropriate enzymes and additives	F6,27	خطای اپراتور انبار Warehouse operator Error
F4,7	مرحله همزن گردابی نامناسب Improper whirlpool stage	F6,28	خطای دستگاه انبار کردن Warehouse device error
F4,8	مرحله صافی غلط Incorrect filtering step	F6,29	خطای پالت Pallet error
F4,9	گرمای پخت نامناسب Inadequate brewing heat	F6,30	خطای استریج Stretch error

محاسبه مقدار عدد RPN و اولویت‌بندی ریسک‌ها: تیم خبرگان، مقادیر شدت، وقوع و احتمال کشف شکست‌ها را تعیین کردند و عدد RPN با FMEA محاسبه شد. به روش کیم[4]، سطح‌بندی خطرات انجام گرفت (۲۷). نتایج پژوهش جاری نشان داد که از مجموع ۸۶ شکست شناسایی‌شده، تعداد ۲۵ شکست عادی وجود دارد که برای آن‌ها اقدامات پیشگیرانه نیاز نیست. همچنین تعداد ۵۵ شکست نیمه بحرانی هستند که اقدامات پیشگیرانه برای آن‌ها ضروری است. تعداد ٦ شکست هم بحرانی بوده که اقدامات پیشگیرانه فوری نیاز دارند.

مراحل "جوانه‌زنی و خشک‌کنی" و "دریافت و بوجاری" هرکدام با داشتن ۲ شکست بحرانی، مراحل پرخطر در فرآیند تولید مالت محسوب شدند. دلیل این امر، وجود عوامل متعدد ازجمله کنترل کیفی جو در مرحله دریافت و نیز کنترل دما و رطوبت در مرحله جوانه‌زنی است. مطالعات ژوسته[5] و همکاران (۲۰۱۱) مرحله "جوانه‌زنی و خشک‌کنی" را مهم‌ترین مرحله فرآیند تولید مالت معرفی کرده‌اند که با نتایج پژوهش جاری همسویی دارد (۳٤). مراحل "آسیاب و عصاره‌گیری" و "شست‌وشو و مشروط سازی" هر یک با تعداد ۱ شکست بحرانی، در رتبه بعدی قرار دارند. مراحل "سرد و فیلتر کردن" و " پر کردن و بسته‌بندی" بدون شکست بحرانی و جزو مراحل کم‌خطر محسوب شدند.

تعیین اقدامات پیشگیرانه برای فرآیندهای بحرانی: در آخرین گام، اقدامات پیشگیرانه برای شکست‌های سطح بحرانی فرآیند تولید مالت تعیین شد. به این منظور، شکست‌های بحرانی شناسایی‌شده مجدداً توسط خبرگان با دقت بیشتری موردبررسی و تحلیل قرار گرفت. بیشتر اقدامات پیشگیرانه از نوع کنترل، نصب تجهیزات کنترلی، دقت بیشتر در آزمایش‌ها و تنظیمات دقیق بود. راهکارهای بهبود عملی ازجمله نصب تجهیزات به‌منظور کنترل دقیق‌تر فشار و رطوبت در فرآیندها، افزایش کنترل بر عملکرد تجهیزات، نمونه‌برداری و آزمایش مواد اولیه و نیمه ساخته، ارائه شد. اقدامات پیشگیرانه کاهش

4.Kim
5.Justé

شکست‌های بحرانی در فرآیند تولید مالت به شرح جدول ۷ تدوین و ارائه‌شده است.

جدول ۷- اقدامات پیشگیرانه کاهش شکست در عملیات بحرانی فرآیند تولید مالت

Table 7- Preventive measures to reduce failure in critical operations of malting process

شماره ریسک Risk Number	نام ریسک Risk Name	احتمال کشف D	احتمال وقوع O	شدت اثر S	RPN	اقدام پیشگیرانه Preventive measure
F3,10	رطوبت مالت Moisture content of malt	3	7	8	168	کنترل حرارت کوره خشک‌کنی Drying oven temperature control نمونه‌برداری و آزمایش دقیق میزان رطوبت مالت Sampling and accurate testing of malt moisture content
F1,8	خطای اپراتور آزمایش جوانه‌زنی Germination test operator error	6	3	8	144	انجام آزمایش‌ها کنترلی مانند آزمون ید در مرحله پخت Conducting control tests such as iodine test in the brewing stage
F1,7	آزمایش رده‌بندی غلط Wrong classification experiment	7	3	7	147	کالیبره کردن دستگاه رده‌بندی Calibrating the grading machine
F3,1	خطا در مرحله جوانه‌زنی Error in the germination stage	3	6	7	126	بررسی روزانه مراحل جوانه‌زنی و کنترل هوادهی و رطوبت و دمای سالن جوانه‌زنی Daily monitoring of germination stages and control of aeration, humidity and temperature of the germination hall
F4,2	خطای دستگاه آسیاب Milling machine error	3	6	7	126	فیلیر گیری و کنترل فاصله سنگ‌های آسیاب و کنترل کیفیت خرد کردن مالت Controlling the distance between grinding stones and controlling the quality of crushing malt
F2,9	کیفیت نامناسب آب Inadequate water quality	3	6	7	126	کلرزدایی آب با استفاده از زغال اکتیو فیلتر شنی و رزینی برای کنترل سختی آب Dechlorination of water using activated charcoal Sand and resin filter to control water hardness

نتیجه‌گیری

در پژوهش جاری برای اولین بار با تلفیق FMEA و دلفی فازی، تعداد ۸٦ شکست در تمام مراحل اصلی فرآیند تولید مالت از تولید تا بسته‌بندی شناسایی‌شده و بر اساس عدد RPN رتبه‌بندی شد. تعداد ۲۵ شکست در سطوح عادی، تعداد ۵۵ شکست نیمه بحرانی و تعداد ٦ شکست بحرانی بود. برای شکست‌های بحرانی، اقدامات پیشگیرانه فوری ضروری داشت؛ با نظر خبرگان و سوابق عملیاتی فرآیندها، برای شکست‌های بحرانی اقدامات پیشگیرانه پیشنهاد شد. نتایج پژوهش نشان داد که مراحل "دریافت و بوجاری" و " جوانه‌زنی، خشک‌کردن و جداسازی ریشه" جزو مراحل پرخطر در فرآیند تولید مالت به شمار می‌آید.

References

1. Wang, X.C., and Wang, Q. 2015. Formulation and implementation of meat product HACCP plan based on FMEA. Advance Journal of Food Science and Technology, 7(8), 579-583

2. Lee, J.C., Daraba, A., Voidarou, C., Rozos, G., Enshasy, H.A.E., and Varzakas, T. 2021. Implementation of food safety management systems along with other management tools (HAZOP, FMEA, Ishikawa, Pareto). The case study of listeria monocytogenes and correlation with microbiological criteria. Foods, 10(9), 2169.
3. Aloini, D., Dulmin, R., and Mininno, V. 2007. Risk management in ERP project introduction: Review of the literature. Information & Management, 44(6), 547–567.
4. Carlson, C.S. 2014. Understanding and applying the fundamentals of FMEAs," in Annual Reliability and Maintainability Symposium. 10.1–35.
5. Rezaee, M.J., Yousefi, S., Eshkevari, M., Valipour, M. and Saberi, M. 2020. Risk analysis of health, safety and environment in chemical industry integrating linguistic FMEA, fuzzy inference system and fuzzy DEA. Stoch. Environ. Res. Risk Assess. 34:1.201–218.
6. Sharma, K.D., and Srivastava, S. 2018. Failure mode and effect analysis (FMEA) implementation: a literature review. J Adv Res Aeronaut Space Sci, 5, 1-17.
7. Özilgen, S., and Özilgen, M. 2016. General template for the FMEA applications in primary food processing. Measurement, Modeling and Automation in Advanced Food Processing, 29-69.
8. Shirani, M., and Demichela, M. 2015. Integration of FMEA and human factor in the food chain risk assessment. International Journal of Economics and Management Engineering, 9(12), 4247-4250.
9. Wu, J.Y., and Hsiao, H.I. 2021. Food quality and safety risk diagnosis in the food cold chain through failure mode and effect analysis. Food Control, 120, 107501.
10. Liu, H., & Liu, R., 2018. Risk analysis of cold-chain logistics distribution based on an improved FMEA method. Storage and Process, 18(4), 119-125.
11. Fithri, P., Rafi, M., Pawenary, P., and Prabuwono, A.S. 2021. Risk analysis of production process for food SMEs using FMEA method: a case study. In E3S Web of Conferences (Vol. 331, p. 02010). EDP Sciences.
12. Di Nardo, M., Murino, T., Osteria, G., and Santillo, L.C. 2022. A New Hybrid Dynamic FMECA with Decision-Making Methodology: A Case Study in.
13. Sutrisno, A., Kwon, H., Gunawan, I., Eldridge, S., and Lee, T. 2016. Integrating SWOT analysis into the FMEA methodology to improve corrective action decision making.
14. Selim, H., Yunusoglu, M.G., and Yılmaz Balaman, Ş. 2016. A dynamic maintenance planning framework based on fuzzy TOPSIS and FMEA: application in an international food company. Quality and Reliability Engineering International, 32(3), 795-804.
15. Scipioni, A., Saccarola, G., Centazzo, A., and Arena, F. 2002. FMEA methodology design, implementation and integration with HACCP system in a food company. Food control, 13(8), 495-501.
16. Arvanitoyannis, I.S., and Varzakas, T.H. 2007. Application of failure mode and effect analysis (FMEA), cause and effect analysis and Pareto diagram in conjunction with HACCP to a potato chips manufacturing plant. International journal of food science & technology, 42(12), 1424-1442.
17. Arvanitoyannis, I.S., and Varzakas, T.H. 2008. Application of ISO 22000 and failure mode and effect analysis (FMEA) for industrial processing of salmon: a case study. Critical reviews in food science and nutrition, 48(5), 411-429.
18. Trafialek, J., and Kolanowski, W. 2014. Application of failure mode and effect analysis (FMEA) for audit of HACCP system. Food Control, 44, 35-44.
19. Sabbaghi, H., Ziaiifar, A.M., and Kashaninejad, M. 2019. Design of fuzzy system for sensory evaluation of dried apple slices using infrared radiation. Iranian Journal of Biosystems Engineering, 50(1), 77-89.
20. Sabbaghi, H., Ziaiifar, A.M., an Kashani-Nejad, M. 2021. Simulation of temperature fuzzy controller during infrared dry blanching and dehydration of apple slices by intermittent heating method. Iranian Food Science and Technology Research Journal, 16(6), 133-150.
21. Garcia, P.A., and Schirru, R. 2005. A fuzzy data envelopment analysis approach for FMEA. Progress in Nuclear Energy, 46(3-4), 359-373.

22. Sharma, R.K., Kumar, D., and Kumar, P. 2005. Systematic failure mode effect analysis (FMEA) using fuzzy linguistic modelling. International journal of quality & reliability management.
23. Ivančan, J., and Lisjak, D. 2021. New FMEA Risks Ranking Approach Utilizing Four Fuzzy Logic Systems. Machines, 9(11), 292.
24. Ebrahimi, S., Vachal, K., and Szmerekovsky, J. 2022. A Delphi-FMEA model to assess county-level speeding crash risk in North Dakota," Transp. Res. Interdiscip. Perspect., vol. 16, p. 100688.
25. Surono, I.S. 2016. "Ethnic fermented foods and beverages of Indonesia." Ethnic fermented foods and alcoholic beverages of Asia. Springer, New Delhi,. 341-382.
26. Weerakkody, R.A. 2013. Surgical technology and operating-room safety failures: a systematic review of quantitative studies. BMJ Qual. Saf. 22:9.710–718.
27. Kim, K.O. and Zuo, M.J. 2018. General model for the risk priority number in failure mode and effects analysis, Reliab. Eng. Syst. Saf., vol. 169, pp. 321–329.
28. Azar, A. and Faraji, H. 2010. Fuzzy management science. Institute Mehraban book publisher, Tehran.
29. Murray, T.J., Pipino, L.L. and Van Gigch, J.P. 1985. A pilot study of fuzzy set modification of Delphi, Hum. Syst. Manag., 5(1) 76–80.
30. Kuo, Y.-F. and Chen, P.-C. 2008. Constructing performance appraisal indicators for mobility of the service industries using Fuzzy Delphi Method, Expert Syst. Appl., vol. 35, no. 4, pp. 1930–1939.
31. Cheng, C.-H. and Lin, Y. 2002. Evaluating the best main battle tank using fuzzy decision theory with linguistic criteria evaluation, Eur. J. Oper. Res., vol. 142, no. 1, pp. 174–186.
32. Karlović, A., Jurić, A., Ćorić, N., Habschied, K., Krstanović, V. and Mastanjević, K. 2020. By-products in the malting and brewing industries—re-usage possibilities, Fermentation,. 6(3): 82.
33. Neghab, A.P., Siadat, A., Tavakkoli-Moghaddam, R. and Jolai, F. 2011. An integrated approach for risk-assessment analysis in a manufacturing process using FMEA and DES, in 2011 IEEE International Conference on Quality and Reliability, pp. 366–370.
34. Justé A. et al. 2011. Microflora during malting of barley: Overview and impact on malt quality, Brew. Sci, 64: 22–31.