

## ارزیابی ریسک در صنایع غذایی با رویکرد ترکیبی FMEA و BWM در شرایط فازی شهودی (مطالعه موردی: کارخانه لبنیات تاشال قوچان)

فاطمه رحمتی نژاد<sup>۱</sup>، محمد زارعی محمودآبادی<sup>۲\*</sup>، حسین صیادی تورانلو<sup>۳</sup>

۱. کارشناس ارشد مدیریت صنعتی، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه میبد، میبد، ایران

۲. دانشیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه میبد، میبد، ایران

۳. دانشیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه میبد، میبد، ایران

### خلاصه

شیر و فرآورده‌های آن به دلیل داشتن تنوع و تعدد ترکیبات موجود از ارزش غذایی بالایی برخوردار هستند. در فرآیند تهیه و تولید این محصولات با ارزش همواره خطرات زیادی وجود داشته است. به منظور تولید سالم این محصول و همچنین جلوگیری از هزینه‌های اضافی که در مراحل مختلف تولید ممکن است به مجموعه تولیدی تحمیل شود، شناسایی ریسک‌های موجود الزامی است. بدین منظور یک رویکرد ترکیبی جدید ارائه شده است و در مطالعه موردی به کار گرفته شده است. در این پژوهش به منظور گردآوری داده‌ها از سه روش مصاحبه، پرسشنامه، اسناد و مدارک کتابخانه‌ای استفاده شده است. ابتدا از طریق مصاحبه با خبرگان، عوامل ریسک شناسایی شدند. سپس پرسشنامه روش بهترین-بدترین و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی شهودی توزیع شده است. در ادامه با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده، اوزان فازی شهودی فاکتورها و عوامل محاسبه شد. در پایان ماتریس تصمیم تشکیل شد و با استفاده از روش مجموع ساده وزین به اولویت‌بندی عوامل ریسک پرداخته شد که عوامل «عدم انجام صحیح هواگیری»، «بالا رفتن بار میکروبی شیر» و «نرسیدن فشار هموژنایزر به ۱۲۰ بار» اولویت‌های اول تا سوم را به خود اختصاص دادند. همچنین به منظور کنترل و کاهش عوامل ریسک شناسایی شده اقدامات اصلاحی ارائه شده است.

### اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت ۱۴۰۱/۱۱/۱۳

پذیرش ۱۴۰۲/۳/۲۹

(مقاله پژوهشی)

کلمات کلیدی:

ارزیابی ریسک

تجزیه و تحلیل حالات شکست

و اثرات آن (FMEA)

روش بهترین-بدترین (BWM)

رویکرد فازی شهودی

### ۱. مقدمه

صنعت غذا به‌طور کامل یک صنعت نیست بلکه مجموعه‌ای از چندین نوع صنعت است که طیف متنوعی از محصولات غذایی را تولید می‌کند. صنایع غذایی شامل کشاورزی، فرآوری مواد غذایی، توزیع، مقررات، خدمات مالی، تحقیق و توسعه، بازاریابی، نگهداری، بسته‌بندی و تهیه است [۱]. خطرات ایمنی مواد غذایی در تمام دنیا بسیار مورد توجه قرار گرفته است [۲]. اطمینان از ایمنی مواد غذایی برای کشورهای پیشرفته و در حال پیشرفت یک چالش است و به تلاش‌های مشترک دولت، نهادهای نظارتی، دانشگاهیان، مصرف‌کنندگان، تولیدکنندگان

و تأمین‌کنندگان غذا بستگی دارد [۳]. در چرخه تأمین غذا از محل تولید اولیه (مزرعه) تا هنگام مصرف غذا همیشه با خطرات زیادی روبه‌رو خواهد شد که مشکلات زیادی را برای فرآیندهای بعدی و مصرف‌کنندگان نهایی به دنبال خواهد داشت. مسأله موفقیت در عرضه محصول جدید برای مدیران بسیار مهم است [۴-۵]. فرآیند تجزیه و تحلیل ریسک فرآیندی مبتنی بر علم و تجزیه و تحلیل جامع ریسک است. در صورتی که این فرآیند به‌صورت کامل اجرا شود منجر به توسعه سیستم تخصصی شده و مهارت‌ها را در زمینه مدیریت و ایمنی غذا گسترش می‌دهد [۶، ۲]. در خصوص ایمنی مواد غذایی، تجزیه و تحلیل

\* نویسنده مسئول: محمد زارعی محمودآبادی

تلفن: ۰۳۵-۳۳۲۱۲۶۰۰؛ پست الکترونیکی: [zareei.m@meybod.ac.ir](mailto:zareei.m@meybod.ac.ir)

خاکستری استفاده کردند. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که استفاده از تئوری خاکستری در تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن، می‌تواند قابلیت اطمینان محصول و ثبات فرآیند را با کشف مشکلات بالقوه در طول مراحل طراحی محصول و برنامه‌ریزی فرآیند در مقایسه با تکنیک تجزیه و تحلیل شکست سنتی افزایش دهد [۱۲]. در پژوهشی دیگر براگلیا<sup>۵</sup> و همکاران در سال ۲۰۰۳ به ارائه مدلی که از ترکیب تکنیک تجزیه و تحلیل بحرانی حالت شکست و اثرات آن<sup>۶</sup> و تکنیک تاپسیس با استفاده از نظریه فازی تشکیل می‌شد، پرداختند. نتایج نشان داد که در صورت وجود داده‌های مبهم و کیفی استفاده از نظریه فازی مؤثرتر و کارآمدتر خواهد بود [۱۳].

در ادامه نظریه فازی، مجموعه فازی شهودی<sup>۷</sup> با سه خصوصیت درجه عضویت، درجه عدم عضویت و درجه تردید توسط آتاناسوف<sup>۸</sup> در سال ۱۹۸۳ مطرح شد که به شکل کامل‌تری ابهام را در مقایسه با مجموعه‌های فازی کلاسیک نشان می‌دهد [۱۴-۱۵]. همچنین می‌توان به دلیل ارزیابی عوامل ریسک از روش بهترین-بدترین<sup>۹</sup> (BWM) که توسط رضایی در سال ۲۰۱۵ ارائه شد به منظور استخراج وزن معیارها استفاده کرد. روش بهترین-بدترین علاوه بر اینکه وزن‌ها را استخراج می‌کند، می‌تواند با سایر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره ترکیب شود [۱۶].

هدف اصلی پژوهش حاضر ارزیابی ریسک در صنایع غذایی با رویکرد ترکیبی تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن و روش بهترین-بدترین در شرایط فازی شهودی در کارخانه لبنیات تاشال قوچان است. در بخش بعدی به پژوهش‌های انجام شده مرتبط با موضوع پژوهش حاضر پرداخته می‌شود.

## ۲. پیشینه پژوهش

همان‌طور که در قسمت مقدمه توضیح داده شد، ارزیابی ریسک در صنایع غذایی از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است به طوری که تاکنون به منظور انجام این مهم، فعالیت‌ها و پژوهش‌های زیادی انجام شده است. روش تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن یکی از روش‌هایی است که به منظور ارزیابی ریسک بسیار استفاده شده است. در ادامه به برخی از پژوهش‌های انجام شده در ارتباط با ارزیابی ریسک در صنایع غذایی و ارزیابی ریسک با رویکرد تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن پرداخته شده است.

آقابراری و همکاران در سال ۱۴۰۱ در پژوهشی به ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار در شرکت تولید محصولات لبنی شادشیر پرداخته‌اند. برای این منظور، ابتدا معیارهای پایداری زنجیره تأمین با استفاده از مطالعه پژوهش‌های پیشین شناسایی شده و در ادامه، تیم تصمیم‌گیری میزان اهمیت و مرتبط بودن هر یک از معیارها را نسبت به یکدیگر تعیین کردند. برای تعیین وزن معیارها از روش دیمتل فازی

ریسک باید به طور مداوم، شفاف و با شواهد علمی معتبر انجام شود. در صورت به دست آوردن اطلاعات و انجام تحقیقات جدید، تجزیه و تحلیل باید دوباره بررسی و ارزیابی شود [۲].

فرآیند ارزیابی ریسک بر مبنای تجزیه و تحلیل ریسک با در نظر گرفتن عوامل اجتماعی، اقتصادی و جنبه‌های محیطی انجام می‌شود. فرآیند ارزیابی ریسک متشکل از مجموعه فرآیند تجزیه و تحلیل ریسک و سنجش ریسک است. در فرآیند ارزیابی ریسک به شناسایی حوادث، تهدیدات، خطرات احتمالی و ارزیابی و سنجش اقدامات کنترل و کاهش ریسک (مدیریت ریسک) پرداخته می‌شود [۷].

تاکنون تکنیک‌ها و روش‌های مختلفی توسط محققان به منظور شناسایی و ارزیابی ریسک ارائه شده است. تکنیک تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن<sup>۱</sup> (FMEA) یکی از این شیوه‌ها است که نخستین بار برای تجزیه و تحلیل حالات شکست در صنعت هوانوردی استفاده شده است. اصلی‌ترین هدف این تکنیک شناسایی و اولویت‌بندی حالات شکست است. عدد اولویت ریسک از حاصل ضرب سه مفهوم احتمال وقوع<sup>۲</sup> (O)، شدت تأثیر<sup>۳</sup> (S) و قابلیت کشف<sup>۴</sup> (D) به دست می‌آید [۸]. وقوع به عنوان احتمال وقوع یک علت تعریف می‌شود، شدت، به میزان اثر بالقوه شکست بر روی قطعه و یا زیرسیستم بعدی و یا مشتری اشاره دارد، قابلیت کشف، به توانایی کشف علت بالقوه شکست قبل از رویداد حالت شکست اشاره می‌کند [۹]. فاکتورهای ریسک (احتمال وقوع، شدت تأثیر و قابلیت تشخیص) برای هر عامل توسط خبرگان با استفاده از مقیاس مطرح شده ارزیابی می‌شود. در محاسبه عدد اولویت ریسک شدت تأثیر و احتمال وقوع به صورت مستقیم و قابلیت تشخیص به صورت معکوس آورده می‌شود. بنابراین اگر مقدار قابلیت تشخیص زیاد (ریسک مورد نظر به راحتی شناسایی نشود) ارزیابی شد، مفهوم آن این است که باید به عامل شکست مربوطه توجه بیشتری شود. بنابراین تکنیک معرفی شده قابلیت کم کردن احتمال وقوع این شکست را تعیین می‌کند [۱۰]. ولی محققان این تکنیک را به علت نقص‌هایی که در آن وجود دارد مورد انتقاد قرار داده‌اند. ممکن است ترکیبات مختلفی از احتمال وقوع، شدت تأثیر و قابلیت تشخیص دقیقاً مقدار عدد اولویت ریسک مشابهی را ایجاد کند. در حالی که ممکن است کاملاً متفاوت باشند. اهمیت نسبی احتمال وقوع، شدت تأثیر و قابلیت تشخیص مدنظر قرار نمی‌گیرد. به گونه‌ای که فرض می‌شود هر سه فاکتور ریسک اهمیت یکسانی دارند [۱۱-۱۳]. عدد اولویت ریسک در تکنیک تجزیه و تحلیل حالات شکست سنتی از ضرب سه فاکتور تعیین می‌شود. که از ارزیابی ذهنی به دست می‌آیند و اهمیت نسبی عوامل در نظر گرفته نمی‌شود. پژوهش‌های زیادی برای برطرف کردن نقاط ضعفی که بیان شد، انجام شده است. برای مثال چانگ و همکاران در سال ۲۰۰۱ پژوهشی را انجام دادند که در آن، به منظور بهبود اثربخشی این تکنیک از تئوری

6. Failure Modes, Effects and Criticality Analysis

7. Intuitionistic Fuzzy Set

8. Atanassov

9. Best-Worst Method (BWM)

1. Failure Modes and Effects Analysis (FMEA)

2. Occurrence (O)

3. Severity (S)

4. Detection (D)

5. Braglia

اولویت‌بندی و پیش‌بینی ریسک ضایعات در فرآیند تولید با استفاده از تکنیک تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن، سیستم استنتاج فازی<sup>۳</sup> و شبکه‌های عصبی مصنوعی<sup>۴</sup> پژوهشی را انجام داده است. در این پژوهش جهت بهبود تکنیک ارزیابی ریسک تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن پارامترهای ورودی عوامل عدد اولویت ریسک به‌عنوان متغیرهای ورودی استنتاج فازی در سیستم‌های فرعی استنتاج بررسی شده است و در راستای بررسی احتمال وقوع از تکنیک شبکه عصبی مصنوعی در زیر فرآیندهای ضایعات‌ساز با پیاده‌سازی ۱۴ مدل شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه استفاده شده است و در راستای بهبود تکنیک تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن و جهت رفع نقص یکسان بودن رتبه وقوع، شدت و قابلیت کشف با روش تحلیل سلسله مراتب فازی<sup>۵</sup> اقدام به تعیین وزن این عوامل ریسک شد و در نهایت عدد اولویت ریسک براساس محاسبات فازی و وزن‌های تخصیص‌یافته با عنوان عدد اولویت ریسک فازی موزون محاسبه شد [۲۱].

۲۱]. صیادی تورانلو و آیت‌الله در سال ۱۳۹۸ در پژوهشی به ارائه مدلی جهت ارزیابی عوامل شکست با رویکرد تلفیقی آنتروپی و تاپسیس در محیط فازی شهودی پرداخته‌اند. اجرای مدل ارائه شده در این پژوهش مستلزم پیاده‌سازی و اجرای گام‌هایی است که در این پژوهش با عنوان ارزیابی عوامل شکست بیان شده است. پژوهشگران ابتدا به محاسبه اوزان خبرگان و معیارها با استفاده از روش آنتروپی فازی شهودی پرداخته، سپس با استفاده از این اوزان ماتریس‌های تجمیع و موزون نظرات خبرگان تشکیل و در نهایت باتوجه به نزدیکی هر عامل شکست از ایده‌آل مثبت و به تبع آن، دوری آن از ایده‌آل منفی و محاسبه شاخص ضریب نزدیکی و باتوجه به اینکه عاملی که از ضریب نزدیکی بیشتری برخوردار است، در رتبه بالاتری قرار می‌گیرد، عوامل شکست را به‌صورت نزولی اولویت‌بندی کرده‌اند [۲۲].

از دیگر پژوهش‌های انجام شده در این رابطه می‌توان به پژوهش هی<sup>۶</sup> و همکاران در سال ۲۰۲۲ اشاره کرد. آن‌ها باتوجه به رفتار روان‌شناختی کارشناسان و معناشناسی اصطلاحات زبان‌شناختی در فرآیند رتبه‌بندی ریسک، یک تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن بهبودیافته براساس اطلاعات احتمالی و روش تودیم<sup>۷</sup> (به زبان پرتغالی تصمیم‌گیری تعاملی و چندمعیاره) برای شناسایی ریسک‌ها در سیستم‌های توربین بادی ایجاد کردند. برای وزن‌دهی فاکتورهای ریسک از روش بهترین-بدترین استفاده کردند. علاوه بر این، برای نشان دادن کاربرد مدل پیشنهادی، از آن در یک سیستم توربین بادی دریایی شناور استفاده شد. اثربخشی و اعتبار مدل نیز با مقایسه با روش‌های دیگر تأیید شد [۲۳]. همچنین لیو<sup>۸</sup> و همکاران در سال ۲۰۲۲ نیز ابتدا سیستم تجزیه و تحلیل و طبقه‌بندی عوامل انسانی<sup>۹</sup> را برای برشمردن حالت‌های شکست عملکرد اتوبوس بین شهری اعمال کردند. سپس

استفاده شده است و با استفاده از روش ویکور فازی، تأمین‌کنندگان ارزیابی و رتبه‌بندی شده‌اند؛ در نهایت تحلیل حساسیت بر روی پارامترهای مهم مسئله انجام شده است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که معیارهای اقتصادی و اجتماعی دارای تأثیرگذاری بیشتری در انتخاب تأمین‌کنندگان در این زنجیره تأمین هستند [۱۷].

فلاح باغمورتینی در سال ۱۴۰۱ در پژوهشی به شناسایی، ارزیابی و اولویت‌بندی ریسک‌های عملیاتی موجود در شبکه هوایی توزیع برق پرداخته و راهکارهایی را در این جهت ارائه کرده است. با بررسی ادبیات پژوهش، حوادث ثبت شده در سامانه ۱۲۱ و با مصاحبه، ۲۱ ریسک عملیاتی شناسایی شده است. برای رفع محدودیت‌های روش تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن، از روش بهترین-بدترین (به‌منظور ارزیابی و اولویت‌بندی) استفاده کرده است و به‌منظور ارائه ریسک‌های پراهمیت و با تأثیر بالا و بررسی ارتباطات متقابل ریسک‌ها، روش نقشه‌شناختی فازی<sup>۱</sup> مورد استفاده قرار گرفته است [۱۸].

خوئی نیز در پژوهشی دیگر در سال ۱۴۰۰ با عنوان چارچوب مدیریت ترکیبی برای مدیریت ریسک پروژه، به ارائه رویکردی جامع مبتنی بر رویکردهای چابک و سنتی جهت پاسخ به ریسک‌های موجود در پروژه‌های ساختمان‌سازی لوکس پرداخته است. ابتدا ریسک‌ها شناسایی شده است سپس ریسک‌های شناسایی شده با رویکرد تجزیه و تحلیل حالات و اثرات شکست فازی، وزن‌دهی شده و در گام بعد با تحلیل علل ریشه‌ای هر ریسک، راهکارهایی مبتنی بر رویکردهای چابک و سنتی جهت مقابله با آن‌ها ارائه کرد. در مرحله‌ی بعد گام‌های پروژه متناسب با اهمیت آن‌ها به جهت پیاده‌سازی مدیریت ریسک در آن‌ها با رویکرد بهترین-بدترین فازی رتبه‌بندی شده است. ایشان در نهایت چارچوبی جهت پیاده‌سازی مدل پیشنهادی که راهکارهای چابک و سنتی را پیاده‌سازی کند ارائه کرده است [۱۹].

حسینی در سال ۱۳۹۹ در پژوهشی توزیع‌کنندگان شرکت کاله را از منظر ریسک مورد ارزیابی قرار داده و پس از شناسایی ریسک‌ها باتوجه به پیشینه پژوهش به تعیین ریسک‌های مؤثر پرداخته است، سپس با استفاده از روش بهترین-بدترین فاصله‌ای اوزان را محاسبه کرده است. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد مهم‌ترین معیار، سهم بازار و سپس قوانین و مقررات است و سپس معیارهای دیگر در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند. پس از رتبه‌بندی توزیع‌کنندگان با روش مجموع ساده وزین<sup>۲</sup> و محاسبه میزان امتیاز هر توزیع‌کننده به رتبه‌بندی توزیع‌کنندگان پرداخته شده است و مدل‌سازی ریاضی را با دو هدف و محدودیت‌های عرضه و تقاضا فرموله کرده و به کمک روش معیار جامع به حل مسئله پرداخته است. با توجه به نتایج پژوهش مشخص شد که توزیع‌کننده دوم از امتیاز بیشتری برخوردار بوده است [۲۰].

همچنین صفایی میاندشتی در سال ۱۳۹۸ نیز با هدف شناسایی،

6. He  
7. TODIM  
8. Liou  
9. Human Factors Analysis and Classification System

1. Fuzzy Cognitive Map Method  
2. Simple Additive Weighting (SAW) Method  
3. Fuzzy Inference System  
4. Artificial Neural Networks  
5. Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP) Method

از عدد اولویت ریسک می‌توان حالات بالقوه مشکلات ایمنی مواد غذایی را به صورت کمی ارزیابی کرد و به اولویت‌بندی اقدامات پیشگیرانه و اصلاحی پرداخت. نتایج به دست آمده منجر به تدوین برخی نتیجه گیری‌ها و توصیه‌ها برای بهبود و گسترش کاربرد تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن در سیستم‌های مدیریت ایمنی مواد غذایی شد [۲۸].

در پژوهشی دیگر وانگ و سان<sup>۱</sup> در سال ۲۰۱۲ مکانیسم قرارداد مدیریت انرژی و وضعیت اجرای پروژه‌های مهندسی انرژی در شرکت‌های چین را شرح داده‌اند، آن‌ها پروژه‌های قرارداد مدیریت انرژی را به عنوان موضوع مورد مطالعه در نظر گرفته‌اند و ریسک‌های پروژه‌ها را به طور نظام‌مند تجزیه و تحلیل کرده‌اند. این ریسک‌ها شامل ریسک سیاست، ریسک مالی، ریسک عملیاتی، ریسک کارایی و ریسک بازار است. بر این اساس، پژوهشگران سیستم شاخص ارزیابی ریسک پروژه قرارداد مدیریت انرژی را مورد بحث قرار داده‌اند و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و مجموعه‌های فازی شهودی را برای ارزیابی ریسک‌های پروژه قرارداد مدیریت انرژی پیشنهاد کرده، سپس یک روش کمی برای شرکت‌های قرارداد مدیریت انرژی ارائه کرده‌اند [۲۹].

با مطالعه پژوهش‌های انجام شده مشاهده می‌شود که به منظور ارزیابی ریسک از ترکیب تکنیک تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن با روش‌های مختلفی استفاده شده است. همچنین ارزیابی ریسک در صنایع غذایی گوناگونی انجام شده است. اما می‌توان نوآوری این پژوهش را بدین صورت خلاصه کرد که در روش تجزیه و تحلیل حالات شکست سنتی اهمیت نسبی احتمال وقوع، شدت تأثیر و قابلیت تشخیص مدنظر قرار نمی‌گیرد به طوری که فرض می‌شود هر سه فاکتور اهمیت یکسانی دارند. علاوه بر این وزن عوامل ریسک نیز در اولویت‌بندی در نظر گرفته نمی‌شود. همچنین اولویت‌بندی در محیط قطعی باعث می‌شود ابهامات موجود در قضاوت‌های ذهنی خبرگان از بین نرود. با استفاده از رویکرد پیشنهادی ارائه شده در پژوهش حاضر، محدودیت‌های روش تجزیه و تحلیل حالات شکست سنتی کاهش یافته است. به طوری که به جای محاسبه عدد اولویت ریسک، وزن فاکتورها (با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی شهودی) و وزن عوامل ریسک (با استفاده از روش بهترین-بدترین فازی شهودی) فاصله‌ای محاسبه شده و در اولویت‌بندی عوامل ریسک دخالت داشته‌اند. باتوجه به اینکه اوزان محاسبه شده در شرایط فازی شهودی (عدم قطعیت) انجام شده است بنابراین ابهامات موجود در قضاوت‌های ذهنی خبرگان از بین رفته و اولویت‌بندی عوامل ریسک به طور مؤثرتر و کارآمدتر انجام شده است.

همچنین نوآوری این پژوهش را می‌توان ارزیابی ریسک در صنعت لبنیات؛ فرآیند تولید شیر پاستوریزه کم چرب دانست به طوری که ابتدا

روش بهترین-بدترین مبتنی بر عدد Z<sup>۱</sup> را برای تعیین وزن عوامل خطر بر اساس حالت شکست و نتایج تحلیل اثرات استفاده کردند. برای محاسبه حاصل جمع ارزیابی درجه ریسک حالت‌های شکست و اولویت‌های بهبود از عدد Z استفاده شده است [۲۴].

خواجه<sup>۲</sup> و همکاران در سال ۲۰۲۰ در پژوهشی از یک رویکرد ترکیبی چندمعیاره فازی به منظور ارائه مدل تصمیم‌گیری برای ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار استفاده کرده‌اند. در گام اول با بررسی تحقیقات قبلی، شاخص‌های مؤثر انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار در نظر گرفته شده، سپس با استفاده از روش دلفی فازی، شاخص‌ها از دیدگاه کارشناسان غربال شدند. در مرحله بعد، با کمک روش فازی شهودی بهترین-بدترین، وزن هر شاخص استخراج شد. در ادامه، رویکرد ویکور<sup>۳</sup> فازی شهودی برای ارزیابی تأمین‌کنندگان موجود استفاده شد. به منظور بررسی قابلیت مدل پیشنهادی، یک مطالعه واقعی در صنعت تولید باتری‌های سرب اسیدی انجام شده است. در نهایت با تحلیل حساسیت و مقایسه نتایج مدل با رویکرد تاپسیس<sup>۴</sup> فازی شهودی، کارایی رویکرد پیشنهادی مورد ارزیابی قرار گرفته است [۲۵].

در پژوهشی دیگر یوکسان<sup>۵</sup> در سال ۲۰۲۰ مدل تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن را با روش بهترین-بدترین و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی نوتروسوفیک<sup>۶</sup> ترکیب کرده و مدلی یکپارچه برای پروژه تأسیسات مکانیکی پیشنهاد داده است. اوزان پارامترهای وقوع، شدت و قابلیت کشف در تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن با روش بهترین-بدترین محاسبه شده است. سپس ۹ حالت خرابی برحسب پارامترهای وقوع، شدت و قابلیت کشف توسط روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی نوتروسوفیک ارزیابی و همچنین شاخص‌های اولویت ریسک برای تعیین اولویت‌های ریسک حالت‌های شکست محاسبه شده است. در نهایت، اقدامات پیشگیرانه برای حالت‌های شکست شناسایی شده، پیشنهاد شده است [۲۶]. رمضان<sup>۷</sup> و همکاران در سال ۲۰۱۹ نیز طی پژوهشی به کاربرد تکنیک تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن برای ارزیابی ریسک در نانوایی پرداخته‌اند. روش نمونه‌گیری هدفمند بوده و به منظور جمع‌آوری اطلاعات از برگه مشاهده، برگه مصاحبه و کاربرد تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن به عنوان ابزار پژوهش استفاده کردند. نتایج نشان داد که ۲۳ خطر بالقوه در ۸ فرآیند تولید وجود دارد. بالاترین خطر، خطر لغزش با عدد اولویت ریسک ۱۴۰ و کمترین خطر، خطر انفجار با عدد اولویت ریسک ۱۰ است [۲۷]. همچنین پاپ<sup>۸</sup> و همکاران در سال ۲۰۱۹ نیز در پژوهشی به بررسی کاربرد روش تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن در یک سیستم مدیریت ایمنی مواد غذایی پرداختند. برای هر دسته از خطرات احتمالی شناسایی شده (فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی) در تمام مراحل جریان فناوری عدد اولویت ریسک تعیین کردند. با استفاده

6. Neutrosophic Analytic Hierarchy Process

7. Ramadhan

8. Pop

9. Wang & Sun

1. Z- Number

2. Khajeh

3. VIKOR

4. TOPSIS

5. Yucesan

( $0.7 \leq \alpha < 0.8$ ) برخوردار هستند. باتوجه به اینکه ابتدا از نظر خبرگان برای شناسایی عوامل ریسک استفاده شده و آن‌ها نظرات خود را اعلام کردند، بنابراین عوامل شناسایی شده مورد تأیید است و پرسشنامه‌ها از روایی قابل‌قبولی نیز برخوردار هستند. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزارهای SPSS، Excel و Lingo 11 استفاده شده است.

رویکرد پیشنهادی پژوهش به شرح ذیل است:

گام ۱: شناسایی عوامل ریسک؛

در این گام با استفاده از تکنیک تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن به شناسایی عوامل ریسک پرداخته می‌شود. این تکنیک برای اولین بار در اواسط دهه ۱۹۶۰ در صنعت هوافضا مورد استفاده قرار گرفت [۳۱]. در آن زمان این تکنیک به‌طور خاص بر روی مسائل ایمنی متمرکز شد و طولی نکشید که به یک ابزار کلیدی برای بهبود ایمنی، به‌ویژه در صنایع فرآیند شیمیایی مطرح شد [۳۲]. این تکنیک یک "ابزار قابلیت اطمینان" مهندسی است که به تعریف، شناسایی، اولویت‌بندی و حذف شکست‌های احتمالی سیستم، طراحی یا فرآیند ساخت قبل از اینکه به‌دست مشتری برسد، کمک می‌کند. هدف آن از بین بردن حالت‌های شکست یا کاهش خطرات آن‌هاست [۳۳].

در این تکنیک با استفاده از عدد اولویت ریسک حالت‌های شکست اولویت‌بندی می‌شوند. به این صورت که ابتدا تمام حالت‌های شکست محصول یا سیستم توسط یک جلسه طوفان فکری نظام‌مند شناسایی می‌شود. سپس تجزیه و تحلیل بر روی حالت‌های شکست با در نظر گرفتن فاکتورهای ریسک (احتمال وقوع، شدت تأثیر و قابلیت تشخیص) انجام می‌شود و در نهایت از حاصل ضرب سه فاکتور وقوع (O) (احتمال وقوع یک علت)، شدت (S) (میزان اثر بالقوه شکست بر روی قطعه و یا زیرسیستم بعدی و یا مشتری) و قابلیت تشخیص (D) (توانایی کشف علت بالقوه شکست قبل از رویداد حالت شکست) عدد اولویت ریسک به‌دست آمده و حالت‌های شکست اولویت‌بندی می‌شوند [۳۴].

$$RPN = O \times S \times D \quad (1)$$

در این تکنیک پس از اینکه عوامل ریسک شناسایی، ارزیابی و اولویت‌بندی می‌شوند، اقدامات اصلاحی توصیه می‌شود. اقدامات اصلاحی به‌منظور کاهش حالت‌های شکست یا از بین بردن علل احتمالی شکست ارائه می‌شود. برای ارائه اقدامات اصلاحی، باید کنترل‌های موجود، اهمیت نسبی موضوع، هزینه و اثربخشی اقدام اصلاحی در نظر گرفته شود [۳۵].

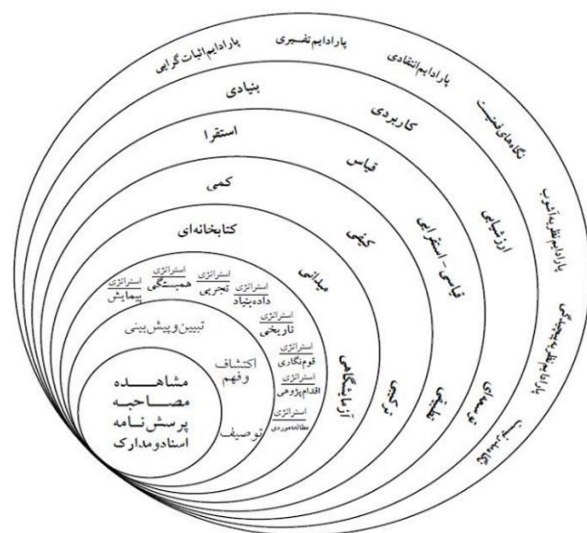
در این گام از پژوهش باید به‌منظور شناسایی عوامل ریسک ابتدا با خبرگان مصاحبه‌ای انجام شود. پس از اینکه عوامل ریسک شناسایی شدند باتوجه به هر فاکتور بهترین و بدترین عامل باید مشخص شود. یعنی از بین عوامل شناسایی شده باتوجه به فاکتور احتمال وقوع عاملی را که بیشترین احتمال وقوع (بهترین عامل در فاکتور احتمال وقوع) و کمترین احتمال وقوع (بدترین عامل در فاکتور احتمال وقوع) را دارند باید مشخص شود. همچنین از بین عواملی که شناسایی شده‌اند باتوجه

عوامل ریسک با استفاده از روش تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن شناسایی شده، سپس وزن فاکتورهای ریسک با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی شهودی و وزن عوامل ریسک با روش بهترین-بدترین فازی شهودی فاصله‌ای محاسبه شده که محاسبه وزن عوامل به‌صورت فاصله‌ای [حد پایین-حد بالا] باعث بالا رفتن دقت و از بین بردن ابهامات بیشتر شده و در نهایت با استفاده از روش مجموع ساده وزن، عوامل ریسک اولویت‌بندی می‌شوند. همچنین به‌منظور کنترل و مدیریت ریسک‌های شناسایی شده اقدامات اصلاحی ارائه می‌شود.

### ۳. روش پژوهش

تاکنون پژوهشگران نحوه انجام پژوهش را به‌شیوه‌های گوناگون طبقه‌بندی کرده‌اند. دانایی‌فرد و همکاران در سال ۱۳۹۳ با اندکی تغییر در مدلی که ساندروز و همکاران در سال ۲۰۰۹ ارائه کردند، الگوی پیاز فرآیند پژوهش را به‌صورت شکل (۱) ارائه کرده‌اند. در این شکل به‌ترتیب لایه‌ها از بیرون به درون عبارت است از: فلسفه پژوهش، جهت‌گیری پژوهش، رویکردهای پژوهش، صبغه پژوهش، روش گردآوری داده‌ها، راهبرد پژوهش، اهداف پژوهش و ابزار گردآوری داده‌ها [۳۰].

با توجه به شکل (۱) روش‌شناسی پژوهش حاضر به‌شرح زیر است: فلسفه پژوهش حاضر از نوع اثبات‌گرایی، جهت‌گیری پژوهش از نوع کاربردی، رویکرد پژوهش از نوع استقرایی، صبغه پژوهش از نوع ترکیبی، روش جمع‌آوری داده‌ها میدانی-کتابخانه‌ای، راهبرد پژوهش از نوع پیمایشی، هدف پژوهش توصیفی و روش گردآوری داده‌ها مصاحبه، پرسشنامه، اسناد و مدارک کتابخانه‌ای است.



شکل (۱). پیاز پژوهش [۳۰]

جامعه مورد مطالعه این پژوهش کارخانه لبنیات تاشال قوچان است. پایایی پرسشنامه‌ها با استفاده از روش آلفای کرونباخ محاسبه شده است. نتایج حاکی از آن است که پرسشنامه‌ها از پایایی قابل‌قبولی

ارزیابی انجام می‌شود. ابهام‌های تصمیم‌گیرندگان از طریق اعداد فازی شهودی مثلثی  $(\bar{a}_{ij})$  نشان داده می‌شوند. عدد فازی شهودی مثلثی به شکل  $(l_{ij}, m_{ij}, n_{ij})$  نشان داده می‌شود. براین اساس ماتریس مقایسات زوجی به شکل زیر است:

$$\bar{A} = \begin{bmatrix} 1 & \bar{a}_{12} & \dots & \bar{a}_{1n} \\ \bar{a}_{21} & 1 & \dots & \bar{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{a}_{n2} & \bar{a}_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix}; \quad \bar{a}_{ij} = \frac{1}{\bar{a}_{ji}}$$

مرحله ۳: محاسبه شاخص سازگاری<sup>۱</sup>: شاخص سازگاری در روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، هرگونه ناسازگاری در بین قضاوت‌ها در ماتریس مقایسه را اندازه‌گیری می‌کند. همچنین برای تمام سلسله مراتب می‌توان انجام داد. در روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی با استفاده از شاخص سازگاری و نرخ سازگاری<sup>۲</sup> می‌توان به تشخیص هرگونه ناسازگاری در ماتریس قضاوت‌های فازی پرداخت. آستانه نرخ سازگاری کمتر از ۱۰٪ دارای نتایج قابل قبول است. در این روش محاسبه نرخ سازگاری براساس اعداد قطعی و همانند روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی کلاسیک انجام می‌شود.

مرحله ۴: محاسبه اوزان معیارها و گزینه‌ها: محاسبه اوزان اولویت مجموعه فازی شهودی باید برای سلسله مراتب زیرمعیارها و گزینه‌ها باتوجه به تمام معیارها انجام شود. بدین منظور می‌توان از روش میانگین هندسی برای محاسبه اوزان اولویت فازی شهودی استفاده کرد. میانگین هندسی  $\bar{P}_i$  برای هر سطر با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\bar{P}_i = (\bar{P}_{i1} \otimes \dots \otimes \bar{P}_{in})^{\frac{1}{n}} \quad (2)$$

وزن فازی شهودی بعد از نرمالایز شدن با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\bar{w}_i = \bar{P}_i \otimes (\bar{P}_1 \oplus \dots \oplus \bar{P}_n)^{-1} \quad (3)$$

گام ۳: تعیین اوزان فازی شهودی فاصله‌ای عوامل ریسک با رویکرد بهترین-بدترین:

روش بهترین-بدترین برای اولین بار توسط جعفر رضایی در سال ۲۰۱۵ مطرح شد. این روش بر مبنای مقایسه زوجی بنا شده است. در روش بهترین-بدترین، تصمیم‌گیرنده بهترین و بدترین شاخص را مشخص می‌کند و بین این دو شاخص (بهترین و بدترین) و سایر شاخص‌ها مقایسه زوجی انجام می‌دهد. سپس یک مسأله (رابطه (۴)) به منظور مشخص کردن وزن شاخص‌های مختلف فرموله کرده و محاسبه می‌کند.

Min  $\varepsilon$

s. t:

$$W_B - a_{Bj} * W_j \leq \varepsilon$$

$$W_j - a_{jw} * W_w \leq \varepsilon \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^n W_j = 1$$

$$W_j \geq 0; \quad \forall j$$

به فاکتور شدت تأثیر عاملی را که بیشترین شدت تأثیر (بهترین عامل در فاکتور شدت تأثیر) و کمترین شدت تأثیر (بدترین عامل در فاکتور شدت تأثیر) را دارند، باید مشخص شود و همچنین از بین عواملی که شناسایی شده‌اند باتوجه به فاکتور قابلیت تشخیص عاملی را که بیشترین قابلیت تشخیص (بدترین عامل در فاکتور قابلیت تشخیص) و کمترین قابلیت تشخیص (بهترین عامل در فاکتور قابلیت تشخیص) را دارند، باید مشخص شود (باتوجه به اینکه هرچه قابلیت تشخیص عاملی کمتر باشد باید به آن عامل بیشتر توجه شود پس عاملی که کمترین قابلیت تشخیص را داشته باشد باید به‌عنوان بهترین عامل و عاملی که بیشترین قابلیت تشخیص را داشته باشد باید به‌عنوان بدترین عامل در نظر گرفته شود).

گام ۲: تعیین اوزان فاکتورهای ریسک با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی شهودی [۳۶]:

در این گام، ابتدا پرسشنامه فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی شهودی بین خبرگان توزیع شده و از آن‌ها خواسته می‌شود تا با استفاده از عبارات کلامی به مقایسه بین فاکتورهای ریسک باتوجه به میزان اهمیت‌شان نسبت به یکدیگر بپردازند (این پرسشنامه در واقع ماتریس مقایسات زوجی است که فاکتورهای ریسک سطرها و ستون‌های آن را تشکیل می‌دهند). سپس عبارات کلامی را با اعداد فازی شهودی تطبیق داده و عدد متناظر برای مقایسات لحاظ می‌شود. در نهایت با استفاده از اعداد حاصل از مقایسه انجام شده، وزن فاکتورهای ریسک (احتمال وقوع، شدت تأثیر و قابلیت کشف) محاسبه می‌شود. جدول (۱) عبارات کلامی و اعداد فازی شهودی متناظر با آن‌ها را که در این پژوهش برای ارزیابی فاکتورهای ریسک استفاده شده است، نشان می‌دهد. به‌منظور انجام این گام طی کردن مراحل زیر الزامیست.

#### جدول (۱). عبارات کلامی و اعداد فازی شهودی متناظر با آن [۳۰]

| میزان اهمیت      | اعداد فازی شهودی | معکوس اعداد فازی شهودی         |
|------------------|------------------|--------------------------------|
|                  | مثلثی            | مثلثی                          |
| اهمیت برابر      | (۱،۱،۱؛۱،۱،۱)    | (۱،۱،۱؛۱،۱،۱)                  |
| اهمیت ضعیف       | (۲،۳،۴؛۱،۳،۵)    | (۱/۴، ۱/۳، ۱/۲؛ ۱/۵، ۱/۳، ۱)   |
| اهمیت نسبتاً قوی | (۴،۵،۶؛۳،۵،۷)    | (۱/۶، ۱/۵، ۱/۴؛ ۱/۷، ۱/۵، ۱/۳) |
| اهمیت خیلی قوی   | (۶،۷،۸؛۵،۷،۹)    | (۱/۸، ۱/۷، ۱/۶؛ ۱/۹، ۱/۷، ۱/۵) |
| اهمیت مطلق       | (۸،۹،۹؛۷،۹،۹)    | (۱/۹، ۱/۹، ۱/۸؛ ۱/۹، ۱/۹، ۱/۷) |

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی شهودی به شرح زیر است [۳۶]:

مرحله ۱: تعیین ساختار سلسله مراتبی: در این گام باتوجه به سطوح مختلف مسأله، ساختار سلسله مراتبی مدل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی تعیین می‌شود. این ساختار مبنای انجام مقایسات زوجی قرار می‌گیرد.

مرحله ۲: بسط و توسعه ماتریس مقایسات فازی شهودی  $\bar{A}$ . ماتریس قضاوت‌های فازی شهودی  $\bar{A}$  با استفاده از مقایسات زوجی در طول

است (برای مثال، مدل زیر برای فاکتور S نوشته شده است):

$$\begin{aligned} & \text{Min } \varepsilon_S \\ & \text{s. t:} \\ & W_{BS} - a_{BJS} * W_{JS} \leq \varepsilon_S \\ & W_{JS} - a_{jws} * W_{WS} \leq \varepsilon_S \quad (9) \\ & \sum_{j=1}^n W_{JS} = 1 \\ & W_{JS} \geq 0; \quad \forall j \end{aligned}$$

باتوجه به اینکه مقایسات  $a_{Bj}$  و  $a_{jw}$  در شرایط فازی شهودی انجام می‌شود، مدل به صورت زیر تغییر خواهد کرد:

$$\begin{aligned} & \text{Min } \varepsilon_S \\ & \text{s. t:} \\ & W_{BS} - (a_{BJS}^1, a_{BJS}^2, a_{BJS}^3; a_{BJS}^1, a_{BJS}^2, a_{BJS}^3) * W_{JS} \leq \varepsilon_S \\ & W_{JS} - (a_{jws}^1, a_{jws}^2, a_{jws}^3; a_{jws}^1, a_{jws}^2, a_{jws}^3) * W_{WS} \leq \varepsilon_S \quad (10) \\ & \sum_{j=1}^n W_{JS} = 1 \\ & W_{JS} \geq 0; \quad \forall j \end{aligned}$$

به منظور محاسبه فاصله مورد انتظار  $a_{Bj}$  و  $a_{jw}$  که به صورت بازه‌ای [حد پایین-حد بالا] به دست می‌آید از رابطه (۸) استفاده می‌شود. بنابراین، مدل به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\begin{aligned} & \text{Min } \varepsilon_S \\ & \text{s. t:} \\ & W_{BS} - \left[ \frac{a_{BJS}^1 + 2a_{BJS}^2 + a_{BJS}^3}{4}, \frac{a_{BJS}^3 + 2a_{BJS}^2 + a_{BJS}^1}{4} \right] * W_{JS} \leq \varepsilon_S \\ & W_{JS} - \left[ \frac{a_{jws}^1 + 2a_{jws}^2 + a_{jws}^3}{4}, \frac{a_{jws}^3 + 2a_{jws}^2 + a_{jws}^1}{4} \right] * W_{WS} \leq \varepsilon_S \quad (11) \\ & \sum_{j=1}^n W_{JS} = 1 \\ & W_{JS} \geq 0; \quad \forall j \end{aligned}$$

با محاسبه فاصله مورد انتظار، برای هر عامل در هر فاکتور، ۲ وزن (وزن اول از مقایسه بین بهترین عامل با عامل مورد نظر و وزن دوم از مقایسه بین عامل مورد نظر با بدترین عامل) به صورت بازه‌ای [حد پایین-حد بالا] به دست می‌آید.

پس از کدنویسی مدل برنامه‌ریزی خطی روش بهترین-بدترین در نرم‌افزار لینگو، دو به دو حدها را به عنوان داده وارد نرم‌افزار کرده (حد پایین مقایسه بین بهترین عامل با سایر عوامل با حد پایین مقایسه بین سایر عوامل با بدترین عامل، حد پایین مقایسه بین بهترین عامل با سایر عوامل با حد بالا مقایسه بین سایر عوامل با بدترین عامل، حد بالا مقایسه بین بهترین عامل با سایر عوامل با حد پایین مقایسه بین سایر عوامل با بدترین عامل، حد بالا مقایسه بین سایر عوامل با بدترین عامل) در نهایت برای هر عامل ریسک در هر فاکتور چهار وزن به دست می‌آید که کمترین مقدار به عنوان حد پایین و بیشترین مقدار به عنوان حد بالا برای هر عامل در هر فاکتور در نظر گرفته می‌شود.

گام ۴: در این گام ابتدا با استفاده از اوزان فازی شهودی فاکتورها و اوزان فازی شهودی فاصله‌ای عوامل به تشکیل ماتریس تصمیم اولویت‌بندی عوامل ریسک اقدام می‌شود. ماتریس به شرح زیر است:

مراحل روش بهترین-بدترین به شرح زیر است:

- مرحله ۱: تعیین مجموعه معیارهای تصمیم‌گیری؛
- مرحله ۲: تعیین بهترین معیار (مهم‌ترین، مطلوب‌ترین) و بدترین معیار (کم اهمیت‌ترین، کمترین مطلوبیت)؛
- مرحله ۳: مشخص کردن ارجحیت بهترین معیار نسبت به سایر معیارها؛
- مرحله ۴: تعیین ارجحیت همه معیارها نسبت به بدترین معیار؛
- مرحله ۵: محاسبه مقادیر بهینه وزن‌ها [۱۶].

اعداد فازی شهودی نوع خاصی از مجموعه‌های فازی شهودی هستند که در بسیاری از مسائل تصمیم‌گیری کاربرد فراوانی دارند. با درک مفهوم مجموعه فازی شهودی به سادگی می‌توان به شناخت مفهوم عدد فازی شهودی دست یافت. انواع رایجی از اعداد فازی و به دنبال آن اعداد فازی شهودی توسط محققان مطرح شده است. اعداد  $\mu_A(x)$ ,  $v_A(x)$  و  $\pi_A(x)$  به ترتیب نشان‌دهنده درجه عضویت، عدم عضویت و درجه تردید عنصر  $x$  در مجموعه  $A$  است [۳۶].

تعریف ۱.  $\tilde{A}^I$  یک عدد فازی شهودی است اگر [۳۷]:

$$\forall x_0 \in X: \mu_{\tilde{A}^I}(x_0) = 1, v_{\tilde{A}^I}(x_0) = 0 \quad (5)$$

۲.  $\mu_{\tilde{A}^I}(x)$  محدب باشد. یعنی:

$$\mu_{\tilde{A}^I}(\lambda x_1 + (1 - \lambda)x_2) \min\{\mu_{\tilde{A}^I}(x_1), \mu_{\tilde{A}^I}(x_2)\}, \quad (6)$$

$$\forall x_1, x_2 \in X, \lambda \in [0, 1]$$

۳.  $v_{\tilde{A}^I}(x)$  مقعر باشد. یعنی:

$$v_{\tilde{A}^I}(\lambda x_1 + (1 - \lambda)x_2) \max\{v_{\tilde{A}^I}(x_1), v_{\tilde{A}^I}(x_2)\}, \quad (7)$$

$$\forall x_1, x_2 \in X, \lambda \in [0, 1]$$

فاصله مورد انتظار یک عدد فازی شهودی به این صورت تعریف

می‌شود که اگر  $\tilde{A}^I = (a^1, a^2, a^3; a^1, a^2, a^3)$  یک عدد فازی شهودی مثلثی باشد، آنگاه فاصله مورد انتظار برابر است با [۳۸]:

$$EI(\tilde{A}^I) = \left[ \frac{a^1 + 2a^2 + a^3}{4}, \frac{a^3 + 2a^2 + a^1}{4} \right] \quad (8)$$

پس از توزیع پرسشنامه بهترین-بدترین فازی شهودی (این پرسشنامه در واقع ماتریس مقایسه زوجی بین بهترین عامل با سایر عوامل و سایر عوامل با بدترین عامل در هر فاکتور است؛ برای مثال در فاکتور احتمال وقوع ارجحیت بهترین عامل (عاملی که بیشترین احتمال وقوع را دارد) نسبت به سایر عوامل و ارجحیت سایر عوامل نسبت به بدترین عامل (عاملی که کمترین احتمال وقوع را دارد) با استفاده از عبارات کلامی انجام می‌شود. برای دو فاکتور دیگر نیز به همین صورت مقایسات انجام می‌شود) بین خبرگان، از آن‌ها خواسته می‌شود تا با استفاده از عبارات کلامی، به مقایسه بین بهترین عامل با سایر عوامل و مقایسه بین سایر عوامل با بدترین عامل، بپردازند. پس از مطابقت عبارات کلامی با اعداد فازی شهودی متناظر با آن‌ها، داده‌ها وارد نرم‌افزار اکسل می‌شوند و سپس با استفاده از میانگین هندسی، ماتریس تجمیع نظرات خبرگان به دست می‌آید. در ادامه با استفاده از ماتریس تجمیع نظرات خبرگان، اوزان عوامل ریسک محاسبه می‌شود. مدل برنامه‌ریزی خطی روش بهترین-بدترین قطعی به شرح زیر

جدول (۲). ماتریس تصمیم اولویت‌بندی عوامل ریسک

| $FM_i$  | $FM_1$   | $FM_i$   | $FM_{26}$  | -     |
|---------|--|--|--|-------|
| $O$     | $[W_{10}^L, W_{10}^U]$   | $[W_{i0}^L, W_{i0}^U]$   | $[W_{260}^L, W_{260}^U]$   | $W_O$ |
| $S$     | $[W_{1S}^L, W_{1S}^U]$   | $[W_{iS}^L, W_{iS}^U]$   | $[W_{26S}^L, W_{26S}^U]$   | $W_S$ |
| $D$     | $[W_{1D}^L, W_{1D}^U]$   | $[W_{iD}^L, W_{iD}^U]$   | $[W_{26D}^L, W_{26D}^U]$   | $W_D$ |
| Average | $[\frac{\sum_{j=0}^D W_{1j}^L * W_j}{3}, \frac{\sum_{j=0}^D W_{1j}^U * W_j}{3}]$ | $[\frac{\sum_{j=0}^D W_{ij}^L * W_j}{3}, \frac{\sum_{j=0}^D W_{ij}^U * W_j}{3}]$ | $[\frac{\sum_{j=0}^D W_{26j}^L * W_j}{3}, \frac{\sum_{j=0}^D W_{26j}^U * W_j}{3}]$ | -     |
| SAW     | $\frac{(\sum_{j=0}^D W_{1j}^L * W_j + \sum_{j=0}^D W_{1j}^U * W_j)}{6}$          | $\frac{(\sum_{j=0}^D W_{ij}^L * W_j + \sum_{j=0}^D W_{ij}^U * W_j)}{6}$          | $\frac{(\sum_{j=0}^D W_{26j}^L * W_j + \sum_{j=0}^D W_{26j}^U * W_j)}{6}$          | -     |

ذهنی خبرگان از بین رفته و اولویت‌بندی عوامل ریسک به‌طور مؤثرتر و کارآمدتر انجام شده است.

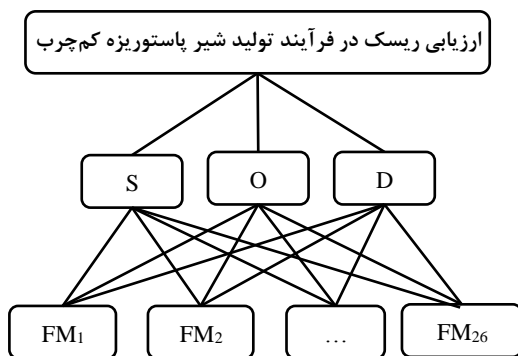
۴. یافته‌ها

گام ۱: پژوهش حاضر در کارخانه لبنیات تاشال قوچان بخش تولید شیر پاستوریزه کم‌چرب انجام شده است. بنابراین ابتدا با مصاحبه با ۱۲ نفر از خبرگان (مدیران، کارشناسان و کارکنان خط تولید) ۲۶ عامل ریسک در ۱۰ فرآیند شناسایی شدند. که به‌صورت خواسته شد تا بهترین و بدترین عامل را با توجه به هر فاکتور (احتمال وقوع، شدت تأثیر و قابلیت تشخیص) مشخص کنند.

بهترین و بدترین عامل با توجه به هر فاکتور به‌شرح ذیل است: در فاکتور احتمال وقوع بهترین عامل "بالا رفتن بار میکروبی شیر" و بدترین عامل "نشستی لوله‌های انتقال شیر از تانکر حمل شیر به مخازن" است.

در فاکتور شدت تأثیر بهترین عامل "بار میکروبی از خروجی پاستور مثبت شود" و بدترین عامل "خرابی پمپ" است. در فاکتور قابلیت تشخیص بهترین عامل "عدم انجام صحیح هواگیری" و بدترین عامل "بار میکروبی از خروجی پاستور مثبت شود" است.

در جدول (۳) عوامل ریسک تشریح و طبقه‌بندی شده است. گام ۲: در این گام اوزان فازی شهودی فاکتورهای ریسک در فرآیند تولید شیر پاستوریزه کم‌چرب با روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی شهودی تعیین می‌شود. درخت سلسله مراتبی مسأله به شکل زیر است.



شکل (۲). درخت سلسله مراتبی

سپس اولویت‌بندی عوامل ریسک براساس روش مجموع ساده وزین (SAW) انجام می‌شود.

روش مجموع ساده وزین یکی از قدیمی‌ترین روش‌های مورد استفاده در تصمیم‌گیری چندشاخصه است به‌طوری‌که با مفروض بودن اوزان اهمیت شاخص‌ها، مناسب‌ترین گزینه به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$A^* = \{A_i | \text{Max}_i \frac{\sum_j w_j r_{ij}}{\sum_j w_j}\} \tag{12}$$

اگر  $\sum_j w_j = 1$  باشد، آن‌گاه:

$$A^* = \{A_i | \text{Max}_i \sum_j w_j r_{ij}\} \tag{13}$$

این روش نیاز به مقیاس‌های مشابه و یا اندازه‌گیری‌های «بی‌مقیاس شده» دارد تا بتوان آن‌ها را با یکدیگر مقایسه کرد [۳۹].

باتوجه به رابطه (۱۲) و میانگین اوزان عوامل ریسک، رابطه فوق به‌منظور اولویت‌بندی عوامل ریسک به‌صورت زیر تغییر می‌کند.

$$A^* = \{A_i | \text{Max}_{i=1}^{26} \frac{\sum_{j=0}^D W_{ij}^L * W_j + \sum_{j=0}^D W_{ij}^U * W_j}{6}\} \tag{14}$$

گام ۵. ارائه اقدامات اصلاحی و مدیریت ریسک: در این گام پس از اینکه ریسک‌های موجود شناسایی و اولویت‌بندی شدند، برای مقابله با ریسک و کاهش میزان اثرات آن، اقدامات اصلاحی پیشنهاد می‌شود. اقدامات اصلاحی باید به‌ترتیب اولویت عوامل ریسک ارائه شود.

در روش تجزیه و تحلیل حالات شکست سنتی اهمیت نسبی احتمال وقوع، شدت تأثیر و قابلیت تشخیص مدنظر قرار نمی‌گیرد به‌طوری‌که فرض می‌شود هر سه فاکتور اهمیت یکسانی دارند. علاوه بر این وزن عوامل ریسک نیز در اولویت‌بندی در نظر گرفته نمی‌شود. همچنین اولویت‌بندی در محیط قطعی باعث می‌شود ابهامات موجود در قضاوت‌های ذهنی خبرگان از بین نرود.

با استفاده از رویکرد پیشنهادی ارائه شده در پژوهش حاضر، محدودیت‌های روش تجزیه و تحلیل حالات شکست سنتی کاهش یافته است. به‌طوری‌که به‌جای محاسبه عدد اولویت ریسک، وزن فاکتورها (با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی شهودی) و وزن عوامل ریسک (با استفاده از روش بهترین-بدترین فازی شهودی فاصله‌ای) محاسبه شده و در اولویت‌بندی عوامل ریسک دخالت داشته‌اند. باتوجه به اینکه اوزان محاسبه شده در شرایط فازی شهودی (عدم قطعیت) انجام شده است بنابراین ابهامات موجود در قضاوت‌های



## جدول (۳). تشریح و طبقه‌بندی عوامل ریسک

| شرح عوامل ریسک  | عوامل ریسک | فرآیند                     |
|---|------------|----------------------------|
| بالا رفتن بار میکروبی شیر   | FM1        | حمل‌ونقل از دامداری‌ها به  |
| ورود میکروب‌های بیماری‌زا به شیر  | FM2        | کارخانه                    |
| عدم تشخیص میکروب‌های موجود در شیر   | FM3        | نمونه‌برداری و کنترل کیفیت |
| عدم نمونه‌برداری صحیح از تانکر ذخیره شیر  | FM4        |                            |
| عدم ارزیابی صحیح خواص ارگانولپتیکی  | FM5        |                            |
| خرابی پمپ   | FM6        | دریافت شیر و ذخیره‌سازی    |
| نشستی لوله‌های انتقال شیر از تانکر حمل شیر به مخازن   | FM7        |                            |
| عدم شستشوی صحیح مخازن یا CIP  | FM8        |                            |
| عدم انجام صحیح هواگیری  | FM9        |                            |
| نرسیدن دمای شیر به ۴۵-۴۰ درجه سانتی‌گراد قبل از ورود به سپراتور   | FM10       | حرارت مقدماتی              |
| کاهش سرعت سپراتور   | FM11       | جداسازی (چربی از شیر)      |
| سر و صدای زیاد سپراتور  | FM12       |                            |
| شیر در هموژنایزر در محدوده ۸۰-۶۵ درجه سانتی‌گراد قرار نداشته باشد   | FM13       | هموژنیزاسیون               |
| نرسیدن فشار هموژنایزر به ۱۲۰ بار  | FM14       |                            |
| خرابی قطعات هموژنایزر   | FM15       |                            |
| عدم حرارت‌دهی شیر به مدت ۱۵-۲۰ ثانیه در دمای ۷۲-۷۵ درجه سانتی‌گراد  | FM16       | پاستوریزاسیون              |
| بار میکروبی از خروجی پاستور مثبت شود  | FM17       |                            |
| پس از پاستوریزاسیون دمای شیر به ۴ درجه سانتی‌گراد نرسد  | FM18       |                            |
| دستگاه متوقف شود (دستگاه Pre-Pak رول را برای بسته‌بندی ندهد، ریل تحویل به خوبی کار نکند، دستگاه پُرکن به خوبی کار نکند و ...) | FM19       | بسته‌بندی                  |
| دستگاه تاریخ مصرف اشتباه درج کند یا تاریخ درج نکند  | FM20       | نگهداری در انبار           |
| چیدمان نادرست در انبار  | FM21       |                            |
| عدم خروج محصولات با تاریخ انقضای نزدیک  | FM22       |                            |
| عدم مدیریت درست بر محصولات بازگشتی از بازار   | FM23       |                            |
| تنظیم نادرست دمای انبار   | FM24       | حمل‌ونقل                   |
| آسیب‌دیدگی بسته‌ها (شامل پارگی پاکت‌ها در هنگام حمل به انبار و از انبار به ماشین‌های حمل)                                     | FM25       |                            |
| بالا بودن دمای سردخانه ماشین حمل  | FM26       |                            |

قابلیت تشخیص به‌ترتیب وزن‌های ۰/۳۴۶۳۰۴، ۰/۳۲۷۳۷ و ۰/۳۲۶۳۲۶ را به‌خود اختصاص دادند.

گام ۳: در این گام اوزان فازی شهودی فاصله‌ای عوامل ریسک در فرآیند تولید شیر پاستوریزه کم‌چرب با روش بهترین-بدترین تعیین می‌شود. بدین منظور پرسشنامه روش بهترین-بدترین طراحی شده و بین خبرگان توزیع شده است. پس از جمع‌آوری پرسشنامه‌ها با مطابقت مقایسات انجام شده با اعداد فازی شهودی مثلثی، داده‌ها وارد نرم‌افزار اکسل شدند. سپس با استفاده از میانگین هندسی، ماتریس جمع نظرات خبرگان محاسبه شد. در ادامه با استفاده از رابطه (۸) فاصله مورد انتظار محاسبه شده است. با محاسبه فاصله مورد انتظار برای هر عامل دو وزن (وزن اول از مقایسه بین بهترین عامل با عامل موردنظر

ابتدا پرسشنامه فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی شهودی (ماتریس مقایسات زوجی) طراحی و بین خبرگان، توزیع شد. از خبرگان خواسته شد، باتوجه به میزان اهمیت، فاکتورها را نسبت به یکدیگر بسنجند. پس از جمع‌آوری پرسشنامه، با مطابقت مقایسات انجام شده با اعداد فازی شهودی مثلثی متناظر با آن، داده‌ها وارد نرم‌افزار اکسل شدند.

نرخ ناسازگاری ماتریس مقایسات زوجی محاسبه شده و نتایج نشان داد که مقایسات انجام شده از سازگاری قابل قبول برخوردار بوده است.

سپس با استفاده از روابط (۲) و (۳) اوزان فازی شهودی فاکتورهای ریسک محاسبه شده است. فاکتورهای شدت تأثیر، احتمال وقوع و

پایین و بیشترین مقدار به‌عنوان حد بالا برای هر عامل در هر فاکتور در نظر گرفته می‌شود.

گام ۴: اولویت‌بندی عوامل ریسک با رویکرد SAW؛

ابتدا به تشکیل ماتریس تصمیم اولویت‌بندی عوامل ریسک پرداخته شده است و سپس اولویت عوامل ریسک انجام شده است. اولویت‌ها به شرح جدول (۴) است.

گام ۵: ارائه اقدامات اصلاحی و مدیریت ریسک: در این گام اقداماتی در جهت کاهش و کنترل ریسک‌های شناسایی شده براساس اولویت‌بندی انجام شده در قالب جدول (۵) آورده شده است. در این جدول به راهبردهای مقابله با ریسک‌ها نیز اشاره شده است.

و وزن دوم از مقایسه بین عامل موردنظر با بدترین عامل) که هر کدام دارای دو حد بالا و دو حد پایین بود، به‌دست آمد. پس از کدنویسی مدل برنامه‌ریزی خطی روش بهترین-بدترین در نرم‌افزار لینگو، حدها را دو به دو (حد پایین مقایسه بین بهترین عامل با سایر عوامل با حد پایین مقایسه بین سایر عوامل با بدترین عامل، حد پایین مقایسه بین بهترین عامل با سایر عوامل با حد بالای مقایسه بین سایر عوامل با بدترین عامل، حد بالای مقایسه بین بهترین عامل با سایر عوامل با حد پایین مقایسه بین سایر عوامل با بدترین عامل، حد بالای مقایسه بین سایر عوامل با حد پایین مقایسه بین سایر عوامل با بدترین عامل) وارد نرم‌افزار کرده، درنهایت برای هر عامل ریسک در هر فاکتور چهار وزن به‌دست می‌آید که کمترین مقدار به‌عنوان حد

جدول (۴). ماتریس تصمیم اولویت‌بندی عوامل ریسک

| اولویت | SAW    | میانگین          | احتمال کشف       | شدت تأثیر        | احتمال وقوع        | عوامل ریسک (FM <sub>i</sub> ) |
|--------|--------|------------------|------------------|------------------|--------------------|-------------------------------|
| ۲      | ۰/۰۲۱۷ | [۰/۰۱۹۳، ۰/۰۲۴۱] | [۰/۰۲۵۳، ۰/۰۲۵۷] | [۰/۰۲۵۶، ۰/۰۳۶۱] | [۰/۱۲۴۷۹، ۰/۱۵۷۳۲] | FM <sub>1</sub>               |
| ۸      | ۰/۰۱۲۰ | [۰/۰۱۰۷، ۰/۰۱۳۳] | [۰/۰۲۵۳، ۰/۰۲۵۷] | [۰/۰۱۶۷، ۰/۰۱۹۱] | [۰/۰۵۵۹، ۰/۰۷۶۰]   | FM <sub>2</sub>               |
| ۱۴     | ۰/۰۰۸۹ | [۰/۰۰۸۵، ۰/۰۰۹۳] | [۰/۰۳۴۱، ۰/۰۳۷۸] | [۰/۰۱۶۷، ۰/۰۱۹۱] | [۰/۰۲۷۰، ۰/۰۲۷۳]   | FM <sub>3</sub>               |
| ۱۰     | ۰/۰۱۰۴ | [۰/۰۰۹۶، ۰/۰۱۱۲] | [۰/۰۳۴۱، ۰/۰۳۷۸] | [۰/۰۲۵۶، ۰/۰۳۶۱] | [۰/۰۲۷۰، ۰/۰۲۷۳]   | FM <sub>4</sub>               |
| ۱۰     | ۰/۰۱۰۴ | [۰/۰۰۹۶، ۰/۰۱۱۲] | [۰/۰۳۴۱، ۰/۰۳۷۸] | [۰/۰۲۵۶، ۰/۰۳۶۱] | [۰/۰۲۷۰، ۰/۰۲۷۳]   | FM <sub>5</sub>               |
| ۱۷     | ۰/۰۰۷۹ | [۰/۰۰۷۵، ۰/۰۰۸۲] | [۰/۰۱۹۴، ۰/۰۲۱۸] | [۰/۰۰۹۸، ۰/۰۱۰۷] | [۰/۰۳۶۴، ۰/۰۴۰۲۶]  | FM <sub>6</sub>               |
| ۱۷     | ۰/۰۰۷۹ | [۰/۰۰۷۵، ۰/۰۰۸۲] | [۰/۰۱۹۴، ۰/۰۲۱۸] | [۰/۰۱۲۴، ۰/۰۱۳۰] | [۰/۰۳۶۴، ۰/۰۴۰۲۶]  | FM <sub>7</sub>               |
| ۹      | ۰/۰۱۱۶ | [۰/۰۱۰۶، ۰/۰۱۲۶] | [۰/۰۳۴۱، ۰/۰۳۷۸] | [۰/۰۲۵۶، ۰/۰۳۶۱] | [۰/۰۳۶۴، ۰/۰۴۰۲۶]  | FM <sub>8</sub>               |
| ۱      | ۰/۰۲۷۱ | [۰/۰۲۴۴، ۰/۰۲۹۹] | [۰/۱۶۰۸، ۰/۱۹۶۲] | [۰/۰۲۵۶، ۰/۰۳۶۱] | [۰/۰۳۶۴، ۰/۰۴۰۲۶]  | FM <sub>9</sub>               |
| ۴      | ۰/۰۱۶۰ | [۰/۰۱۵۰، ۰/۰۱۶۹] | [۰/۰۲۵۳، ۰/۰۲۵۷] | [۰/۰۸۱۲، ۰/۰۹۶۴] | [۰/۰۲۷۰، ۰/۰۲۷۳]   | FM <sub>10</sub>              |
| ۷      | ۰/۰۱۲۹ | [۰/۰۱۱۶، ۰/۰۱۴۳] | [۰/۰۵۲۳، ۰/۰۷۱۴] | [۰/۰۱۶۷، ۰/۰۱۹۱] | [۰/۰۳۶۴، ۰/۰۴۰۲۶]  | FM <sub>11</sub>              |
| ۱۱     | ۰/۰۱۰۱ | [۰/۰۰۹۶، ۰/۰۱۰۷] | [۰/۰۳۴۱، ۰/۰۳۷۸] | [۰/۰۱۶۷، ۰/۰۱۹۱] | [۰/۰۳۶۴، ۰/۰۴۰۲۶]  | FM <sub>12</sub>              |
| ۴      | ۰/۰۱۶۰ | [۰/۰۱۵۰، ۰/۰۱۶۹] | [۰/۰۲۵۳، ۰/۰۲۵۷] | [۰/۰۸۱۲، ۰/۰۹۶۴] | [۰/۰۲۷۰، ۰/۰۲۷۳]   | FM <sub>13</sub>              |
| ۳      | ۰/۰۱۷۱ | [۰/۰۱۶۰، ۰/۰۱۸۲] | [۰/۰۳۴۱، ۰/۰۳۷۸] | [۰/۰۸۱۲، ۰/۰۹۶۴] | [۰/۰۲۷۰، ۰/۰۲۷۳]   | FM <sub>14</sub>              |
| ۱۶     | ۰/۰۰۸۳ | [۰/۰۰۷۸، ۰/۰۰۸۸] | [۰/۰۳۴۱، ۰/۰۳۷۸] | [۰/۰۱۶۷، ۰/۰۱۹۱] | [۰/۰۲۰۵، ۰/۰۲۳۴]   | FM <sub>15</sub>              |
| ۵      | ۰/۰۱۵۴ | [۰/۰۱۴۳، ۰/۰۱۶۴] | [۰/۰۲۵۳، ۰/۰۲۵۷] | [۰/۰۸۱۲، ۰/۰۹۶۴] | [۰/۰۲۰۵، ۰/۰۲۳۴]   | FM <sub>16</sub>              |
| ۶      | ۰/۰۱۴۹ | [۰/۰۱۳۷، ۰/۰۱۶۰] | [۰/۰۱۹۴، ۰/۰۲۱۸] | [۰/۰۸۱۲، ۰/۰۹۶۴] | [۰/۰۲۰۵، ۰/۰۲۳۴]   | FM <sub>17</sub>              |
| ۱۲     | ۰/۰۰۹۳ | [۰/۰۰۸۶، ۰/۰۰۹۹] | [۰/۰۲۵۳، ۰/۰۲۵۷] | [۰/۰۲۵۶، ۰/۰۳۶۱] | [۰/۰۲۷۰، ۰/۰۲۷۳]   | FM <sub>18</sub>              |
| ۲۱     | ۰/۰۰۶۶ | [۰/۰۰۶۵، ۰/۰۰۶۸] | [۰/۰۱۹۴، ۰/۰۲۱۸] | [۰/۰۱۲۴، ۰/۰۱۳۰] | [۰/۰۲۷۰، ۰/۰۲۷۳]   | FM <sub>19</sub>              |
| ۱۸     | ۰/۰۰۷۸ | [۰/۰۰۷۶، ۰/۰۰۷۹] | [۰/۰۲۵۳، ۰/۰۲۵۷] | [۰/۰۱۶۷، ۰/۰۱۹۱] | [۰/۰۲۷۰، ۰/۰۲۷۳]   | FM <sub>20</sub>              |
| ۲۱     | ۰/۰۰۶۶ | [۰/۰۰۶۵، ۰/۰۰۶۸] | [۰/۰۱۹۴، ۰/۰۲۱۸] | [۰/۰۱۲۴، ۰/۰۱۳۰] | [۰/۰۲۷۰، ۰/۰۲۷۳]   | FM <sub>21</sub>              |
| ۲۰     | ۰/۰۰۶۷ | [۰/۰۰۶۳، ۰/۰۰۷۱] | [۰/۰۱۹۴، ۰/۰۲۱۸] | [۰/۰۱۶۷، ۰/۰۱۹۱] | [۰/۰۲۰۵، ۰/۰۲۳۴]   | FM <sub>22</sub>              |
| ۱۸     | ۰/۰۰۷۸ | [۰/۰۰۷۶، ۰/۰۰۷۹] | [۰/۰۲۵۳، ۰/۰۲۵۷] | [۰/۰۱۶۷، ۰/۰۱۹۱] | [۰/۰۲۷۰، ۰/۰۲۷۳]   | FM <sub>23</sub>              |
| ۱۵     | ۰/۰۰۸۷ | [۰/۰۰۷۹، ۰/۰۰۹۵] | [۰/۰۲۵۳، ۰/۰۲۵۷] | [۰/۰۲۵۶، ۰/۰۳۶۱] | [۰/۰۲۰۵، ۰/۰۲۳۴]   | FM <sub>24</sub>              |
| ۱۹     | ۰/۰۰۷۲ | [۰/۰۰۷۱، ۰/۰۰۷۲] | [۰/۰۲۵۳، ۰/۰۲۵۷] | [۰/۰۱۲۴، ۰/۰۱۳۰] | [۰/۰۲۷۰، ۰/۰۲۷۳]   | FM <sub>25</sub>              |
| ۱۳     | ۰/۰۰۹۲ | [۰/۰۰۸۸، ۰/۰۰۹۷] | [۰/۰۳۴۱، ۰/۰۳۷۸] | [۰/۰۲۱۴، ۰/۰۱۳۰] | [۰/۰۳۶۴، ۰/۰۴۰۲۶]  | FM <sub>26</sub>              |
| -      | -      | -                | ۰/۳۲۶۳۲۶         | ۰/۳۴۶۳۰۴         | ۰/۳۲۷۳۷            | وزن                           |

## جدول (۵). اقدامات اصلاحی و راهبرد مقابله با ریسک

| اولویت | عوامل ریسک       | شرح عوامل ریسک  | اقدامات اصلاحی  | راهبرد مقابله با ریسک |
|--------|------------------|---|---|-----------------------|
| ۱      | FM <sub>۹</sub>  | عدم انجام صحیح هواگیری  | انجام آزمایش شیر در حین فرآیند، انجام تست کارایی دستگاه هواگیر به صورت دوره‌ای،                               | کاهش                  |
| ۲      | FM <sub>۱۱</sub> | بالا رفتن بار میکروبی شیر   | انجام شستشوی مناسب و صحیح تانکر حمل شیر   | قبول                  |
| ۳      | FM <sub>۱۴</sub> | نرسیدن فشار هموژنایزر به ۱۲۰ بار  | انجام کالیبراسیون گیج هموژنایزر از لحاظ فشار، بازرسی چشمی، انجام تست کارایی دستگاه هموژنایزر به صورت دوره‌ای، | کاهش                  |
|        | FM <sub>۱۰</sub> | نرسیدن دمای شیر به ۴۵-۴۰ درجه سانتی‌گراد قبل از ورود به سپراتور   | انجام کالیبراسیون گیج سپراتور از لحاظ دما، بازرسی چشمی  | کاهش                  |
| ۴      | FM <sub>۱۳</sub> | شیر در هموژنایزر در محدوده ۸۰-۶۵ درجه سانتی‌گراد قرار نداشته باشد   | انجام کالیبراسیون گیج هموژنایزر از لحاظ دما، بازرسی چشمی  | کاهش                  |
| ۶      | FM <sub>۱۶</sub> | عدم حرارت‌دهی شیر به مدت ۱۵-۲۰ ثانیه در دمای ۷۲-۷۵ درجه سانتی‌گراد  | انجام کالیبراسیون گیج پاستور از لحاظ دما و زمان، بازرسی چشمی  | کاهش                  |
| ۷      | FM <sub>۱۷</sub> | بار میکروبی از خروجی پاستور مثبت شود  | اطمینان از کارایی صحیح دستگاه، انجام آزمایش تست فسفاتاز قلیایی  | انتقال                |
| ۸      | FM <sub>۱۱</sub> | کاهش سرعت سپراتور   | تعمیرات دوره‌ای، بازرسی چشمی  | کاهش                  |
| ۹      | FM <sub>۲</sub>  | ورود میکروب‌های بیماری‌زا به شیر  | انجام شستشوی مناسب و صحیح تانکر حمل شیر، انجام تست کارایی تانکر حمل شیر به صورت دوره‌ای                       | کاهش                  |
| ۱۰     | FM <sub>۸</sub>  | عدم شستشوی صحیح مخازن یا CIP  | آموزش صحیح به کارکنان   | کاهش                  |
|        | FM <sub>۴</sub>  | عدم نمونه‌برداری صحیح از تانکر حمل شیر  | انجام تست کارایی وسایل آزمایشگاهی   | کاهش                  |
| ۱۱     | FM <sub>۵</sub>  | عدم ارزیابی صحیح خواص ارگانولپتیکی  | انجام تست کارایی وسایل آزمایشگاهی   | کاهش                  |
| ۱۳     | FM <sub>۱۲</sub> | سر و صدای زیاد سپراتور  | بازرسی چشمی، انجام تست کارایی دستگاه سپراتور به صورت دوره‌ای، تعمیرات دوره‌ای                                 | کاهش                  |
| ۱۴     | FM <sub>۱۸</sub> | پس از پاستوریزاسیون دمای شیر به ۴ درجه نرسد   | انجام کالیبراسیون گیج، انجام تست کارایی دستگاه  | کاهش                  |
| ۱۵     | FM <sub>۲۶</sub> | بالا بودن دمای سردخانه ماشین حمل  | بازرسی چشمی، انجام تعمیرات دوره‌ای  | کاهش                  |
| ۱۶     | FM <sub>۲</sub>  | عدم تشخیص میکروب‌های موجود در شیر   | انجام آزمایش شیر در حین فرآیند، انجام تست کارایی وسایل آزمایشگاهی   | کاهش                  |
| ۱۷     | FM <sub>۲۴</sub> | تنظیم نادرست دمای انبار   | بازرسی چشمی به صورت روزانه  | کاهش                  |
| ۱۸     | FM <sub>۱۵</sub> | خرابی قطعات هموژنایزر   | انجام تعمیرات دوره‌ای   | کاهش                  |
|        | FM <sub>۶</sub>  | خرابی پمپ   | انجام تعمیرات دوره‌ای، بازرسی چشمی  | کاهش                  |
| ۱۹     | FM <sub>۷</sub>  | نشئی لوله‌های انتقال شیر از تانکر حمل شیر به مخازن  | بازرسی چشمی، تعویض لوله‌های انتقال در صورت فرسودگی  | کاهش                  |
|        | FM <sub>۲۰</sub> | دستگاه تاریخ مصرف اشتباه درج کند یا تاریخ درج نکند  | بازرسی چشمی، انجام تعمیرات دوره‌ای، تعویض دستگاه در صورت کهنگی  | کاهش                  |
| ۲۱     | FM <sub>۲۳</sub> | عدم مدیریت درست بر محصولات بازگشتی از بازار   | آموزش صحیح به کارکنان توسط انباردار، پیدا کردن بازار فروش، نظارت دقیق توسط انباردار                           | کاهش                  |
| ۲۳     | FM <sub>۲۵</sub> | آسیب‌دیدگی بسته‌ها (شامل پارگی پاکت‌ها در هنگام حمل به انبار و از انبار به ماشین‌های حمل)                                     | آموزش صحیح به کارکنان   | کاهش                  |
| ۲۴     | FM <sub>۲۲</sub> | عدم خروج محصولات با تاریخ انقضای نزدیک  | نظارت دقیق توسط انباردار، آموزش صحیح به کارکنان   | کاهش                  |
| ۲۵     | FM <sub>۱۹</sub> | دستگاه متوقف شود (دستگاه Pre-Pak رول را برای بسته‌بندی ندهد، ریل تحویل به خوبی کار نکند، دستگاه پُرکن به خوبی کار نکند و ...) | بازرسی چشمی، انجام تعمیرات دوره‌ای، تعویض دستگاه در صورت کهنگی  | کاهش                  |
|        | FM <sub>۲۱</sub> | چیدمان نادرست در انبار  | آموزش صحیح به کارکنان   | کاهش                  |

## ۶. بحث و نتیجه‌گیری

رویکرد پیشنهادی پژوهش حاضر از ترکیب تکنیک تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن با روش‌های فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، بهترین-بدترین و مجموع ساده وزن در شرایط فازی شهودی و راهکارهایی در جهت کاهش و کنترل عوامل ریسک ارائه شده است و از این رویکرد در خط تولید شیر پاستوریزه کم‌چرب در کارخانه لبنیات تاشال استفاده شد.

رویکرد پیشنهادی ارائه شده، محدودیت‌های روش تجزیه و تحلیل حالات و اثرات شکست سنتی را کاهش داده است. در این پژوهش ابتدا ریسک‌های موجود شناسایی شدند و در گام بعد وزن فاکتورهای ریسک (احتمال وقوع، شدت تأثیر و قابلیت تشخیص) در شرایط فازی شهودی با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی محاسبه شد. سپس وزن عوامل ریسک در شرایط فازی شهودی و به صورت فاصله‌ای با استفاده از روش بهترین-بدترین به دست آمد. در نهایت با استفاده از روش مجموع ساده وزن رتبه‌بندی عوامل ریسک صورت پذیرفت و به منظور کنترل و کاهش ریسک‌های شناسایی شده، اقدامات اصلاحی در قالب جدولی آورده شد.

در خط تولید شیر پاستوریزه کم‌چرب ۲۶ عامل ریسک در ۱۰ فرآیند شناسایی شدند. فاکتورهای شدت تأثیر، احتمال وقوع و قابلیت کشف به ترتیب وزن‌های ۰/۳۴۶۳۰۴، ۰/۳۲۷۳۷ و ۰/۳۲۶۳۲۶ را به خود اختصاص دادند. فاکتور شدت تأثیر بیشترین وزن را دارد، بنابراین فاکتور شدت تأثیر در اولویت‌بندی عوامل بیشترین تأثیر را دارد.

در فاکتور احتمال وقوع بهترین عامل (عاملی که بیشترین احتمال وقوع را دارد) "بالا رفتن بار میکروبی شیر" و بدترین عامل (عاملی که کمترین احتمال وقوع را دارد) "نشستی لوله‌های انتقال شیر از تانکر حمل شیر به مخازن" است. در فاکتور شدت تأثیر بهترین عامل (عاملی که بیشترین شدت تأثیر را دارد) "بار میکروبی از خروجی پاستور مثبت شود" و بدترین عامل (عاملی که کمترین شدت تأثیر را دارد) "خرابی پمپ" است. در فاکتور قابلیت تشخیص بهترین عامل (عاملی که شناسایی آن به راحتی انجام نمی‌شود) "عدم انجام صحیح هواگیری" و بدترین عامل "بار میکروبی از خروجی پاستور مثبت شود" (عاملی که شناسایی آن به راحتی انجام می‌شود) است.

باتوجه به جدول (۴) وزن هر عامل در هر فاکتور به صورت فاصله‌ای (به منظور بالا بردن دقت و کاهش ابهامات) به دست آمده است. ریسک‌هایی که بیشترین وزن را دارند برای کاهش و کنترل باید در اولویت قرار گیرند.

جدول (۵) اقدامات اصلاحی به منظور کنترل و کاهش عوامل ریسک را نشان می‌دهد. اقدامات اصلاحی آورده شده به طور کلی به آموزش صحیح کارکنان، تعمیرات دوره‌ای و انجام تست کارایی ابزار و دستگاه‌ها اشاره می‌کند. در جدول (۵) علاوه بر اقدامات اصلاحی، به راهبردهای مقابله با ریسک نیز اشاره شده است.

احتمال وقوع اغلب ریسک‌ها را می‌توان با انجام اقدامات اصلاحی

به حداقل رساند بنابراین راهبرد مقابله با آن‌ها از نوع کاهش است. اما باتوجه به اینکه شیرخام یک محیط کشت ایده‌آل برای میکروارگانیسم‌ها است و دوشش آن در خارج از حیطه کنترل مدیران و کارشناسان کارخانه انجام می‌شود، با انجام اقدامات اصلاحی باز هم امکان "افزایش بار میکروبی شیر" و "ورود میکروب‌های بیماری‌زا به شیر" وجود دارد بنابراین راهبرد مقابله با آن از نوع قبول ریسک است. باتوجه به اینکه بیشتر اقدامات اصلاحی شامل تعمیرات دوره‌ای و انجام تست کارایی ابزار و دستگاه‌ها است، بنابراین به مدیران و کارشناسان خط تولید شیر پیشنهاد می‌شود به منظور جلوگیری از وقوع اغلب ریسک‌های شناسایی شده، تعمیرات دوره‌ای و انجام تست کارایی ابزار و دستگاه‌ها را در اولویت قرار دهند.

همچنین پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی رویکرد پیشنهادی به گونه‌ای توسعه یابد که اقدامات اصلاحی متناسب با هر عامل نیز در شرایط فازی شهودی مشخص و ارزیابی شود. از رویکرد پیشنهادی پژوهش حاضر به منظور شناسایی و اولویت‌بندی عوامل ریسک در سایر صنایع تولیدی و خدماتی نیز می‌توان استفاده کرد.

## مراجع

- [1] Sadiku, M. N., Ashaolu, T. J., Musa, S. M., (2019). Food Technology: A Tutorial. Food Technology 3(6).
- [2] Samimi, A., Samimi, M., (2020). Investigation of Risk Management in Food Industry. International Journal of Advanced Studies in Humanities and Social Science 9, 195-204. (10.22034/ijashss.2020.253984.1016)
- [3] Ariseto-Bragotto, A.P., Feltes, M.M.C., Block, J.M., (2017). Food quality and safety progress in the Brazilian food and beverage industry: chemical hazards. Food Quality and Safety 1, 117-129. (10.1093/fqsafe/fyx009)
- [4] Trujillo-Ponce, A., Samaniego-Medina, R., Cardone-Riportella, C., (2014). Examining what best explains corporate credit risk: accounting-based versus market-based models. Journal of Business Economics and Management 15, 253-276. (10.3846/16111699.2012.720598)
- [5] Mohammadnazar, D., Samimi, A., (2019). Necessities of studying HSE management position and role in Iran oil industry. Journal of Chemical Reviews 1, 252-259. (10.33945/SAMI/JCR.2019.4.1)
- [6] Osinovskaya, I., (2015). Prinyatie upravlencheskih reshenij v usloviyah riska [Management decision-making under risk]. Economy and Entrepreneurship 8, 767-770.
- [7] Rausand, M., 2013. Risk assessment: theory, methods, and applications. John Wiley & Sons.
- [8] Segismundo, A., Augusto Cauchick Miguel, P., (2008). Failure mode and effects analysis (FMEA) in the context of risk management in new product development: A case study in an automotive company. International Journal of Quality & Reliability Management 25, 899-912. (10.1108/02656710810908061)
- [9] Press, D., (2003). Guidelines for failure mode and effects analysis (FMEA), for automotive, aerospace, and general manufacturing industries. CRC Press.
- [10] McDermott, R., Mikulak, R.J., Beauregard, M., (1996). The basics of FMEA. Steiner Books.
- [11] Pillay, A., Wang, J., (2003). Modified failure mode and effects analysis using approximate reasoning. Reliability Engineering & System Safety 79, 69-85. (10.1016/S0951-8320(02)00179-5)

- Intelligent Systems 8, 2451-2470. (10.1007/s40747-022-00657-1)
- [25] Khajeh, M., et al. (2020). Assessing and Selecting Sustainable Suppliers in Intuitionistic Fuzzy Set with Hybrid Multi-Criteria Best-Worst and VIKOR Approach. *Journal of Operational Research and Its Applications* 17(1): 25-48. (20.1001.1.22517286.2020.17.1.6.2 )
- [26] YÜCESAN, M., (2020). FMEA analysis in mechanical installation project based on best worst and neutrosophic AHP integrated model. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi* 19, 363-382. (10.17755/esosder.569291)
- [27] Ramadhan, R.F., Widowati, E., Mardiana, M., (2019). Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Application for Safety Risk Assessment Design of "X" Bakery. *Unnes Journal of Public Health* 8, 38-44. (10.15294/ujph.v8i1.22534)
- [28] Pop, C., Frunză, G., Ciobanu, M., (2019). Study regarding application of the FMEA method within a food safety management system. *Scientific Papers-Animal Science Series* 71, 189-196.
- [29] Wang, J. and Y. Sun (2012). The intuitionistic fuzzy sets on evaluation of risks in projects of energy management contract. *Systems Engineering Procedia* 3: 30-35. (10.1016/j.sepro.2011.11.004)
- [۳۰] دانایی‌فرد؛ حسن، الوانی؛ سیدمهدی، آذر؛ عادل. (۱۳۹۳). روش‌شناسی پژوهش کمی در مدیریت: رویکردی جامع. تهران: انتشارات صفار، چاپ نهم.
- [31] Carlson, C., (2012). *Effective FMEAs: achieving safe, reliable, and economical products and processes using failure mode and effects analysis*. John Wiley & Sons.
- [32] McDermott, R.E., Mikulak, R.J., Beauregard, M.R., (2009). *FMEA*. New York: Taylor & Francis Group.
- [33] Stamatis, D.H., 2019. *Risk Management Using Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*. Quality Press.
- [34] Liu, H.-C., (2016). *FMEA using uncertainty theories and MCDM methods*, FMEA using uncertainty theories and MCDM methods, Springer, pp. 13-27.
- [35] Carlson, C., (2012). *Effective FMEAs: achieving safe, reliable, and economical products and processes using failure mode and effects analysis*. John Wiley & Sons.
- [۳۶] صیادی تورانلو، حسین، آیت‌الله، آرزو السادات. (۱۳۹۷). نظریه مجموعه فازی شهودی و کاربرد آن در مدیریت. رفسنجان: انتشارات دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان.
- [37] Mahapatra, G., Roy, T., (2009). Reliability evaluation using triangular intuitionistic fuzzy numbers arithmetic operations. *World Academy of Science, Engineering and Technology* 50, 574-581.
- [38] Grzegorzewski, P., (2003). Distances and orderings in a family of intuitionistic fuzzy numbers, *EUSFLAT Conf.*, Citeseer, pp. 223-227.
- [۳۹] اصغریور، محمدجواد. (۱۳۹۳). *تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره*، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- [12] Chang, C.L., Liu, P.H., Wei, C.C., (2001). Failure mode and effects analysis using grey theory. *Integrated Manufacturing Systems* 12, 211-216. (10.1108/09576060110391174)
- [13] Braglia, M., Frosolini, M., Montanari, R., (2003). Fuzzy TOPSIS approach for failure mode, effects and criticality analysis. *Quality and reliability engineering international* 19, 425-443. (10.1002/qre.528)
- [14] Szmidi, E., Kacprzyk, J., (1996). Intuitionistic fuzzy sets in-group decision making. *Notes on IFS* 2.
- [15] Zhang, X., Liu, P., (2010). Method for aggregating triangular fuzzy intuitionistic fuzzy information and its application to decision making. *Technological and economic development of economy* 16, 280-290. (10.3846/tede.2010.18)
- [16] Rezaei, J., 2015. Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega* 53, 49-57. (10.1016/j.omega.2014.11.009)
- [۱۷] آقاباری کاظمی، سحر. اسدی گنگرچ، ابراهیم. دیوسالار، علی. (۱۴۰۱). انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار در زنجیره تأمین صنایع لبنی با استفاده از روش ترکیبی دیمتل فازی و ویکور فازی؛ مطالعه موردی. نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید. سال دهم. شماره بیست‌ویکم. صفحه ۱۸۵-۱۷۱. (10.22084/ier.2023.27191.2107)
- [۱۸] فلاح باغ‌مورتینی، الهام. (۱۴۰۱). رویکرد تلفیقی FCM، FMEA و BWM برای مدیریت ریسک عملیاتی زنجیره تأمین شبکه توزیع برق (مطالعه موردی: شرکت توزیع برق استان یزد). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه یزد.
- [۱۹] خوئی، محمدمین. (۱۴۰۰). چارچوب مدیریت ترکیبی برای مدیریت ریسک پروژه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- [۲۰] حسینی، سیده خدیجه. (۱۳۹۹). ارزیابی ریسک توزیع‌کنندگان در صنایع غذایی با استفاده از توابع خطی قطعه‌ای و تخصیص سفارش به آن‌ها. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه مازندران.
- [۲۱] صفایی میان‌دشتی، معصومه. (۱۳۹۸). شناسایی، اولویت‌بندی و پیش‌بینی ریسک ضایعات با استفاده از رویکرد FMEA فازی و شبکه عصبی مصنوعی (مورد مطالعه: شرکت لبنی ویژه). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شاهد.
- [۲۲] صیادی تورانلو، حسین، آیت‌الله، آرزو السادات. (۱۳۹۸). طراحی مدل تجزیه و تحلیل شکست و آثار آن (FMEA) در محیط فازی شهودی. چهارمین کنفرانس بین‌المللی مدیریت صنعتی.
- [23] He, S., Wang, Y., Peng, J., Wang, J., (2022). Risk ranking of wind turbine systems through an improved FMEA based on probabilistic linguistic information and the TODIM method. *Journal of the Operational Research Society* 73, 467-480. (10.1080/01605682.2020.1854629)
- [24] Liou, J.J., Liu, P.C., Luo, S.-S., Lo, H.-W., Wu, Y.-Z., (2022). A hybrid model integrating FMEA and HFACS to assess the risk of inter-city bus accidents. *Complex &*



DOI: 10.22084/IER.2023.5426

## Risk Assessment in the Food Industry with the Combined Approach of FMEA and BWM in Intuitionistic Fuzzy Conditions (Case Study: Tashal Quchan Dairy Factory)

F. Rahmatinezhad<sup>1</sup>, M. Zarei Mahmoudabadi<sup>2\*</sup>, H. Sayyadi Tooranloo<sup>3</sup>

<sup>1</sup> MAin Industrial Management, Department of Industrial Management, Meybod University, Meybod, Iran

<sup>2</sup> Associate Professor Department of Industrial Management, Meybod University, Meybod, Iran

<sup>3</sup> Associate Professor Department of Industrial Management, Meybod University, Meybod, Iran

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received: 2023/2/2

Accepted: 2023/6/19

#### Keywords:

Risk Assessment  
Failure Modes and Effects  
Analysis (FMEA)  
Best-Worst Method (BWM)  
Intuitionistic Fuzzy Approach

### ABSTRACT

Milk and its products have a high nutritional value due to the variety and abundance of available compounds. There have always been many risks in the process of preparing and producing these valuable products. In order to produce this product in a healthy way and to prevent additional costs that may be imposed on the production complex at different stages of production, it is necessary to identify the existing risks. For this purpose, a new hybrid approach has been presented and used in a case study. In this research, in order to collect data, three methods of interview, questionnaire, documents, and library documents were used. First, risk items were identified through interviews with experts. Then, the Best-Worst Method and Analytic Hierarchy Process fuzzy questionnaires were distributed. Next, using the collected data, intuitive fuzzy weights of factors and items were calculated. Ultimately, the decision matrix was formed and the risk items were prioritized using the Simple Additive Weighting method. Items “not performing proper ventilation and vacuum”, “increasing the microbial load of milk” and “the pressure of the homogenizer not reaching 120 bar” were assigned the first to third priority. In addition, in order to control and reduce the identified risk items, corrective actions have been presented.

\* Corresponding author. M. Zarei Mahmoudabadi  
Tel.: 035-33212600; E-mail address: zarei.m@meybod.ac.ir