Journal of Occupational Hygiene Engineering Volume 7, Issue 1, Spring 2020, Pages: 1-10

Original Article

doi: 10.52547/johe.7.1.1

Risk Assessment and Ranking through Integration Failure Mode and Effects Analysis and Multiple-Criteria Decision-Making in an Interval Valued Fuzzy Environment: A Case Study in Hydraulic Pump Industry

Ahmad Kamali[1], Ali Bozorgi-Amiri[2,*], Hossein Shakibaei[3]

[1] *Ph.D. in Industrial Engineering, Faculty of Industrial Engineering, Alborz Campus, University Of Tehran, Tehran, Iran*
[2] *Associate Professor, School of Industrial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran*
[3] *B.Sc. Student of Industrial Engineering, Department of Industrial Engineering, Faculty of Industrial Engineering, University Of Tehran, Tehran, Iran*

**** Corresponding Author:*** *Ali Bozorgi-Amiri, School of Industrial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: alibozorgi@ut.ac.ir*

Received: 16/12/2019
Accepted: 03/03/2020

How to Cite this Article:
Kamali A, Bozorgi-Amiri A, Shakibaei H. Risk Assessment and Ranking through Integration Failure Mode and Effects Analysis and Multiple-Criteria Decision-Making in an Interval Valued Fuzzy Environment: A Case Study in Hydraulic Pump Industry. *J Occup Hyg Eng*. 2020; 7(1): 1-10. DOI: 10.52547/johe.7.1.1

Abstract

Background and Objective: Nowadays with the increase of global competition, companies apply several scientific methods to identify, assess, and remove potential failures in the production process. In this regard, the present study aimed to identify and analyze the potential failure modes in a hydraulic pump manufacturing company by using a combination of interval valued fuzzy analytic network process (IVF-ANP), interval valued fuzzy failure mode effect and analysts (IVF-FMEA), and interval valued fuzzy TOPSIS (IVF-TOPSIS).

Materials and Methods: For the purposes of the study, first, the potential failure modes of the production process were identified using the opinion of experts. Then, the failure modes were prioritized based on the proposed method. The proposed approach applied the IVF-ANP to determine the weight of each risk assessment factor and a combination of IVF-FMEA and IVF-TOPSIS to rank the potential failure modes.

Results: In total, 30 failure modes were identified in the present study. The highest-ranking failure mode was inappropriate feed rate with a relative closeness of 0.83. On the other hand, the lowest-ranking failure mode was the large size of the bush with a relative closeness of 0.015.

Conclusion: The results showed that the proposed approach is applicable for the assessment and ranking of failure modes. In addition, consideration of some issues like the cost, interdependence of risk assessment factors, and also modeling the method under the condition of interval valued fuzzy uncertainty, affected the final ranking of failure modes.

Keywords: ANP; FMEA; Interval Valued Fuzzy Uncertainty; Risk Assessment; TOPSIS

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.52547/johe.7.1.1]

Copyright © 2020 Journal of Occupational Hygiene Engineering. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cite

مقاله پژوهشی

doi: 10.52547/johe.7.1.1

ارزیابی و رتبه‌بندی ریسک با استفاده از رویکرد تلفیقی تجزیه و تحلیل حالات شکست و آثار آن و تصمیم‌گیری چند شاخصه در محیط فازی بازه‌ای: مطالعه موردی در صنعت تولید پمپ هیدرولیک

احمد کمالی [۱]، علی بزرگی امیری [۲،*]، حسین شکیبائی [۳]

[۱] دکتری، مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، پردیس البرز، دانشگاه تهران، تهران، ایران

[۲] دانشیار، دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

[۳] دانشجوی کارشناسی مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه تهران، تهران، ایران

* **نویسنده مسئول:** علی بزرگی امیری، دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. ایمیل: alibozorgi@ut.ac.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۹/۲۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۱۲/۱۳

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی همدان محفوظ است.

چکیده

سابقه و هدف: امروزه با افزایش رقابت‌های جهانی، شرکت‌ها برای حفظ مزیت رقابتی از روش‌های علمی مختلفی جهت شناسایی، ارزیابی و حذف حالات بالقوه شکست در فرایند تولید استفاده می‌نمایند. در این ارتباط، مطالعه حاضر با هدف شناسایی و تجزیه و تحلیل حالات شکست در فرایند تولید یک شرکت تولیدکننده پمپ هیدرولیک با استفاده از ترکیب روش‌های FMEA (Failure Modes and Effects Analysis)، ANP (Analytic Network Process)، تاپسیس و منطق فازی بازه‌ای انجام شد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه ابتدا حالات بالقوه شکست در فرایند تولید با استفاده از نظر کارشناسان شرکت شناسایی شد. سپس با استفاده از روش پیشنهادی، رتبه‌بندی حالات شکست برای اقدامات اصلاحی صورت پذیرفت. در روش پیشنهادی، ابتدا وزن معیارها با استفاده از روش ANP فازی بازه‌ای با توجه به اثر متقابل آن‌ها محاسبه گردید و سپس شکست‌های بالقوه با در نظر گرفتن درجه اهمیت به دست آمده در مرحله قبل و با استفاده از ترکیب FMEA فازی بازه‌ای و تاپسیس فازی بازه‌ای رتبه‌بندی شدند.

یافته‌ها: با استفاده از مدل پیشنهادی، ۳۰ مورد از حالات شکست شناسایی و بررسی شدند که اولین اولویت، نرخ تغذیه نامناسب با مقدار نزدیکی نسبی ۰،۰۸۳ و آخرین اولویت، بزرگ بودن بوش با مقدار نزدیکی نسبی ۰،۰۱۵ بود.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل بیانگر کاربردی بودن مدل پیشنهادی در ارزیابی ریسک و رتبه‌بندی حالات بالقوه شکست بودند. نتایج حاکی از آن بودند که در نظر گرفتن موضوعاتی از قبیل اثر متقابل بین شاخص‌های ارزیابی ریسک، شاخص هزینه و همچنین مدل‌سازی تحت شرایط عدم قطعیت فازی بازه‌ای بر رتبه‌بندی نهایی حالات شکست تأثیرگذار است.

واژگان کلیدی: ارزیابی ریسک؛ تاپسیس؛ عدم قطعیت فازی بازه‌ای؛ ANP؛ FMEA

مقدمه

در یک فرایند تولید، ریسک یا حالات شکست را می‌توان پیامدهای منفی ناشی از یک فعالیت تولیدی در نظر گرفت که باید ارزیابی و رتبه‌بندی شوند. از آنجایی که حذف تمامی حالات شکست عملاً امکان‌پذیر و مقرون به صرفه نمی‌باشد، با استفاده از یک روش ارزیابی ریسک مناسب می‌توان شکست‌ها را به درستی اولویت‌بندی نمود تا با استفاده از کم‌هزینه‌ترین روش‌های کنترل، آن‌ها را به یک سطح قابل قبول کاهش داد [۱]. یکی از معروف‌ترین روش‌های ارزیابی ریسک، روش تجزیه و تحلیل حالات و اثرات شکست (FMEA) است [۲]. FMEA می‌کوشد تا حد ممکن خطرات بالقوه موجود و نیز علل و اثرات مرتبط با آن را در محدوده‌ای که ارزیابی ریسک انجام می‌شود، شناسایی و امتیازدهی کند [۳]. مهم‌ترین ویژگی FMEA سادگی فهم و اجرای آن می‌باشد؛ اما با وجود سادگی و کارایی مناسب دارای مشکلاتی از جمله در نظر نگرفتن شاخص و عوامل مهمی نظیر هزینه، امتیازدهی دقیق و مستقیم عددی توسط کارشناسان و همچنین عدم توجه به اثرات متقابل بین شاخص‌ها می‌باشد که

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.52547/johe.7.1.1]

در صورت برطرف نمودن آن‌ها، کارایی این روش افزایش می‌یابد [۴]. روش FMEA سنتی بر مبنای عدد اولویت ریسک (RPN: Risk Priority Number) بوده و از حاصل ضرب سه عامل شدت اثر ریسک (S)، احتمال وقوع ریسک (O) و احتمال کشف ریسک (D) به دست می‌آید و با توجه به سطح ریسک‌ها به ارزیابی نقص‌های بالقوه سیستم می‌پردازد [۵]. در حالی که اگر با توجه به FMEA سنتی و بر مبنای RPN اقدام به حذف شکست‌ها شود ممکن است برخی از شکست‌ها به دلیل کم بودن مقدار RPN در اولویت پایین‌تری جهت اصلاح و حذف قرار گیرند. در این صورت ممکن است وقوع این شکست‌ها در عمل منجر به تحمیل هزینه‌های بسیاری (شامل هزینه‌هایی از جمله ضایعات تولید و نیروی کار نگهداری و تعمیرات) به سیستم گردد که این موضوع ناشی از نادیده گرفتن هزینه شکست در FMEA می‌باشد. این در حالی است که یکی از اهداف FMEA، افزایش کارایی و کاهش هزینه می‌باشد؛ بنابراین در نظر گرفتن عامل هزینه علاوه بر سه عامل فوق منجر به رفع این نقص موجود در FMEA می‌شود.

یکی از روش‌های تصمیم‌گیری، تصمیم‌گیری چند شاخصه (MADM: Multi Attribute Decision Making) است که در آن براساس چندین شاخص به جای استفاده از یک شاخص، تصمیم‌گیری صورت می‌پذیرد. یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه، روش فرایند تحلیل شبکه‌ای ANP است. این روش با در نظر گرفتن اثر متقابل بین شاخص‌ها به ارزیابی آن‌ها می‌پردازد [۶]. روش FMEA سنتی وجود وابستگی متقابل بین عوامل ارزیابی ریسک را در نظر نمی‌گیرد [۵]. با این وجود، در عمل بین عوامل و شاخص‌های ارزیابی ریسک حاضر در این روش ارتباط متقابلی وجود دارد؛ به عنوان مثال معیار هزینه با معیار شدت می‌تواند رابطه داشته باشد؛ زیرا اگر شدت اثر وقوع شکستی بیشتر باشد، به احتمال بسیار زیاد هزینه این شکست نیز زیاد خواهد بود؛ بنابراین ترکیب ANP با روش FMEA منجر به افزایش کارایی و دقت نتایج ارزیابی ریسک خواهد شد.

روش تاپسیس (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) یا روش اولویت‌بندی ترجیحات بر مبنای نزدیکی به گزینه ایده‌آل از جمله روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه است. این روش بر مبنای نزدیکی گزینه‌ها به گزینه ایده‌آل به ارزیابی و رتبه‌بندی شاخص‌ها می‌پردازد [۶]؛ بنابراین ترکیب این روش با دو روش قبل می‌تواند در رسیدن به رتبه‌بندی آرمانی از شاخص‌های ریسک تأثیرگذار باشد. همچنین در مواردی که شاخص‌های ارزیابی بسیار زیاد باشد، برای استفاده از روش ANP نیازمند انجام مقایسات زوجی بسیار زیادی توسط خبرگان هستیم که این امر خود منجر به کاهش کارایی این روش می‌شود؛ از این رو ترکیب این روش با روش تاپسیس منجر به کاهش تعداد مقایسات زوجی و افزایش کارایی مدل می‌شود. در FMEA سنتی به منظور ارزیابی شکست‌ها، کارشناسان می‌بایست از اعداد صحیحی که از قبل تعیین شده‌اند برای امتیازدهی به هریک از معیارهای ارزیابی استفاده نمایند؛ بنابراین یکی از نقاط ضعف این روش، استفاده از اعداد دقیق توسط کارشناسان برای ارزیابی شکست‌های سیستم است. از سوی دیگر، در بسیاری از موارد بیان عقاید و نظرات به صورت اعداد دقیق توسط کارشناسان دشوار می‌باشد [۷]؛ بنابراین استفاده از رویکرد عدم قطعیت در مدل‌سازی این نوع مسأله می‌تواند مفید باشد و باعث افزایش دقت مدل شود. برای غلبه بر عدم قطعیت متغیرهای زبانی در بسیاری از مطالعات از مجموعه‌های فازی استفاده شده است. برخی از نویسندگان بر این باور هستند که اعداد فازی توانایی غلبه بر عدم قطعیت متغیرهای زبانی را ندارند. از آنجایی که درجه تعلق مجموعه‌های فازی به صورت اعداد دقیق می‌باشد، تعیین این درجه تعلق به صورت دقیق در برخی از موارد برای کارشناسان دشوار است. در مجموعه‌های فازی بازه‌ای این درجه تعلق به صورت یک بازه می‌باشد؛ بنابراین می‌تواند منجر به ایجاد نتایج دقیق‌تر شود.

مدل‌های مختلفی از ترکیب روش FMEA و روش‌های دیگر از جمله روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه ارائه شده است؛ به عنوان مثال Du و همکاران در پژوهش خود روش FMEA فازی مبتنی بر روش ER (Reasoning Evidential) و TOPSIS را به کار گرفتند [۸]. چن و وو نیز در زمینه انتخاب تأمین‌کنندگان در شرایط ریسک، یک مدل تصمیم‌گیری چند شاخصه مبتنی بر FMEA و AHP (Analytic Hierarchy Process) را ارائه دادند [۵]. همچنین کوتلو و الکشمیر از ترکیب روش‌های FMEA، AHP فازی و تاپسیس برای ارزیابی ریسک استفاده کردند. در این روش وزن سه شاخص S، O و D با استفاده از روش AHP فازی محاسبه شده و رتبه‌بندی نهایی حالات شکست توسط روش تاپسیس صورت می‌گیرد [۹]. از سوی دیگر، هسو و همکاران از ترکیبی از روش ANP و FMEA برای رتبه‌بندی مواد بحرانی در شرکت فناوری لیت وان (Lite-one) در تایلند استفاده کردند. در این روش وزن حالات شکست با استفاده از روش ANP محاسبه شده و عدد اولویت ریسک برای رتبه‌بندی نهایی مواد مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۰]. وحدانی و همکاران نیز ترکیبی از روش‌های FMEA و تاپسیس مبتنی بر تصمیم‌گیری گروهی فازی را برای ارزیابی ریسک‌ها ارائه کردند [۱]. همچنین رضوی حاجی آقایی و همکاران ترکیبی از روش‌های ویکور فازی و FMEA فازی مبتنی بر تصمیم‌گیری گروهی را برای رتبه‌بندی علل وقفه در متروی تهران بیان نمودند [۱۱]. خسروی راد و همکاران نیز با استفاده از ترکیب روش‌های FTA (Fault Tree Analysis) و FMEA در یک ایستگاه تقلیل فشار گاز، یکی از محدودیت‌های مطالعه خود را کمبود داده‌های نرخ نقص برای برخی از رویدادهای پایه‌ای (BE: Basic Event) و همچنین نبود قطعیت در این داده‌ها بیان نمودند [۱۲]. علاوه‌براین، Tsai و همکاران در زمینه حل مسائل فرایند تولید از ترکیب FMEA و

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.52547/johe.7.1.1]

مدل‌های DEMATEL (Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory) استفاده کردند که در آن DEMATEL تعیین فاکتورهای علت و معلولی را تسهیل می‌کند [۱۳]. انوری‌پور و همکاران نیز با ترکیب روش‌های HAZOP (Hazard and Operability Analysis) و FMEA تمام رویدادهای نامطلوب یعنی همان رویدادهای اصلی (Top TE: Event) ممکن را شناسایی نمودند. به گونه‌ای که از پیامدهای مطالعات HAZOP، اثرات نقایص در مطالعات FMEA و نظرات خبرگان برای شناسایی رویدادهای نامطلوب ممکن استفاده کردند [۱۴]. از سوی دیگر، Peeters و همکاران به منظور بهبود بهره‌وری آنالیزهای شکست از ترکیب روش‌های FMEA و FTA با رفتار بازگشتی استفاده کردند [۱۵]. با وجود تلاش‌های صورت‌گرفته در این تحقیقات، همچنان مشکل استفاده از اعداد دقیق در FMEA وجود داشت. در این ارتباط، Carpitella و همکاران از ترکیب FMECA (Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis) و MCDM (Multiple-Criteria Decision-Making) برای بهینه ساختن فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات استفاده نمودند؛ به طوری که در نهایت از روش‌های FTOPSIS و MCDM-AHP برای اولویت‌بندی شکست استفاده کردند [۱۶]. Faiella و همکاران نیز از ترکیب تجزیه و تحلیل حالات و اثرات شکست در بهداشت و درمان (HFMEA: Healthcare Failure Mode and Effects Analysis)، تجزیه و تحلیل خطای انسانی (SHERPA: Systematic Human Error Reduction Prediction Approach) و تجزیه و تحلیل تئوریک سیستم‌ها (STAMP-STPA: Systems Theoretic Accident Model and Processes - System Theoretic Process Analysis) استفاده کردند تا بتوانند روش HFMEA را توسعه دهند [۱۷]. از سوی دیگر، مرادی و نادرشاهی از ترکیب روش‌های FMEA، FAHP (Fuzzy Analytical Hierarchy Process) و FTOPSIS برای ارزیابی ریسک چند معیاره فازی براساس روش ماتریس تصمیم استفاده نمودند. به این صورت که در رویکرد روش ماتریسی به ارزیابی دو عامل از FMEA یعنی احتمال خطر و شدت آن هنگام وقوع پرداخته می‌شود و این دو پارامتر با استفاده از فرایند تحلیل سلسه‌مراتبی فازی (FAHP) وزن‌دار می‌گردند و سپس ترتیب اولویت خطرات مختلف با استفاده از روش تاپسیس فازی (FTOPSIS) تعیین می‌شود [۱۸]. شاکر و همکاران برای بهبود FMEA با استفاده از یک رویکرد یکپارچه، از توسعه QFD (Quality Function Deployment) دو فازی استفاده کردند [۱۹]. لیجوی و همکاران نیز به استفاده از FMEA در کل هیسترکتومی لاپاراسکوپی در شرایط خوش‌خیم پرداختند [۲۰]. همچنین لی و همکاران به منظور جلوگیری از استفاده از RPN سنتی، با ادغام ساختار اعتقادی فازی و روش پیش‌بینی رابطه خاکستری، یک روش جدید FMEA را به وجود آوردند [۲۱].

با مرور مقالات فوق درمی‌یابیم که شاخص هزینه در مطالعات انجام شده در زمینه FMEA فازی بازه‌ای در نظر گرفته نشده است. این در حالی است که در عمل، وقوع حالات شکست و شکست ممکن است منجر به تحمیل هزینه‌های زیادی از جمله هزینه نیروی انسانی نگهداری و تعمیرات، استفاده از قطعات یدکی، ایجاد ضایعات و تولید محصولات نامنطبق به سیستم گردد؛ بنابراین با توجه به اینکه هدف FMEA افزایش کارایی و کاهش هزینه است، در نظر گرفتن عامل هزینه (C) علاوه بر سه عامل S، O و D منجر به رفع این نقص می‌شود.

استفاده از اعداد فازی بازه‌ای در مدل‌سازی مسائل تصمیم‌گیری منجر به ایجاد نتایج دقیق‌تری نسبت به مدل‌سازی مسأله در فضاهای قطعی و عدم قطعیت فازی می‌شود؛ به همین دلیل در این مقاله از ترکیب روش‌های FMEA، ANP، تاپسیس و منطق فازی بازه‌ای برای ارزیابی ریسک‌های بالقوه یک شرکت تولیدکننده پمپ‌های هیدرولیک استفاده گردید.

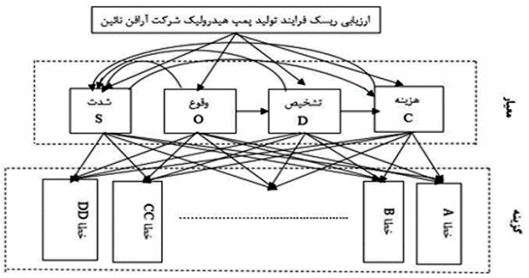
مواد و روش‌ها

روش استفاده شده در مطالعه حاضر شامل چهار مرحله بود که در ادامه به تشریح مراحل پرداخته می‌شود: الف. تشکیل تیم FMEA در شرکت: اساس و مبنای کار FMEA براساس گروه استوار می‌باشد. از آنجایی که در این روش جنبه‌های مختلف یک محصول یا فرایند مورد بررسی قرار می‌گیرند، تخصص‌های مختلفی شامل: مهندسی تضمین کیفیت، کارشناسی و سرشیفتی تولید، کارشناسی تعمیر و نگهداری، کارشناس بازرگانی و کارشناس ایمنی صنعتی در گروه مورد استفاده قرار گرفتند؛ ب. شناسایی شکست‌های بالقوه فرایند تولید پمپ هیدرولیک: در این مرحله ابتدا به منظور آشنایی کلیه اعضای گروه با فرایند تولید پمپ هیدرولیک، تشریح فرایند تولید براساس نمودار فرایند عملیات برای اعضا صورت گرفت. پس از آن طی تشکیل جلسات متعدد طوفان ذهنی، شکست‌های بالقوه فرایند تولید، شناسایی شد و لیست آن‌ها به تفکیک هریک از فرایندهای تولید تهیه گردید؛ ج. محاسبه نمودن وزن چهار شاخص S، O، D و C با استفاده از روش فرایند تحلیل شبکه‌ای فازی بازه‌ای (IVF-ANP (Interval Value Fuzzy)): روش ANP یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه است که برای رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها، علاوه بر ساختار سلسله‌مراتبی موجود بین معیارها، وابستگی‌های متقابل بین آن‌ها را نیز در نظر می‌گیرد؛ از این رو برای اینکه بتوان هنگام تعیین وزن هریک از چهار شاخص مورد استفاده در رتبه‌بندی شکست‌ها، رابطه بین این شاخص‌ها را نیز در نظر گرفت از روش ANP استفاده می‌شود. از آنجایی که نظرات افراد و خبرگان گروه به عنوان مقادیر ورودی مدل در نظر گرفته می‌شوند، مقادیر ورودی از نوع متغیرهای زبانی می‌باشند؛ به همین دلیل برای تبدیل متغیرهای زبانی به اعداد از اعداد فازی بازه‌ای استفاده می‌شود. مراحل انجام این فرایند در ادامه تشریح شده است.

ج-الف. ساخت مدل و تبدیل مسأله به ساختار شبکه‌ای: پس از تعیین مهم‌ترین فاکتورها، از طریق نظرسنجی از کارشناسان و

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.52547/johe.7.1.1]



شکل ۱: مدل شبکه‌ای ارزیابی ریسک فرایند تولید پمپ هیدرولیک

استفاده از روش مصاحبه و طوفان فکری، مدل شبکه‌ای برای ارزیابی ریسک فرایند تولید پمپ هیدرولیک تعیین گردید. این مدل شبکه‌ای در شکل ۱ ارائه شده است.

ج-ب. تشکیل ماتریس مقایسات زوجی و تعیین بردار وزنی: در این مرحله می‌بایست تعدادی مقایسات زوجی دیگر با توجه به ساختار شبکه‌ای و سلسله‌مراتبی بین معیارها توسط خبرگان صورت گیرد.

ج-ج. تعیین وزن نهایی شاخص‌ها به صورت فازی بازه‌ای: پس از به دست آوردن کلیه مقایسات زوجی بین شاخص‌ها و هدف و همچنین شاخص‌ها با یکدیگر (براساس ساختار شبکه‌ای شکل ۱)، برای تعیین وزن نهایی شاخص‌ها می‌بایست تمامی بردارهای وزنی محلی به دست آمده از مقایسات زوجی در یک سوپرماتریس قرار داده شود. سپس سوپرماتریس به دست آمده باید وزنی شود. برای به دست آوردن سوپرماتریس وزنی لازم است هریک از عناصر خوشه‌های ستونی سوپرماتریس ناموزون در بردار اهمیت نسبی آن خوشه ضرب شود. سوپرماتریس موزون به دست آمده تصادفی/احتمالی است؛ بدین‌معنا که جمع عناصر ستونی آن ۱ می‌باشد. در این مرحله بردارهای وزنی مربوط به هریک از شاخص‌های چهارگانه ریسک به دست می‌آید که بیانگر وزن نهایی شاخص‌ها با توجه به اثر متقابل بین آن‌ها می‌باشد [۲۲].

د. رتبه‌بندی فاکتورهای ریسک: در این مرحله شاخص‌های ریسک با استفاده از ترکیبی از روش FMEA فازی بازه‌ای و روش تاپسیس فازی بازه‌ای رتبه‌بندی می‌شوند. آشتیانی و همکاران برای اولین بار روش تاپسیس را با استفاده از اعداد فازی بازه‌ای توسعه دادند (IVF-TOPSIS) [۷]. با ترکیب دو روش، رتبه‌بندی آرمانی از شاخص‌های ریسک بر مبنای سطح ریسک‌ها ارائه می‌شود. گام‌های این مرحله به شرح زیر می‌باشند:

د-الف. تعیین امتیاز چهار عامل (C، D، O، S) برای هریک از فاکتورهای ریسک: در FMEA چهار عامل وجود دارد که سطح ریسک را تعیین می‌کنند [۲۳]. امتیاز این چهار فاکتور با استفاده از نظر خبرگان به صورت متغیرهای زبانی تعیین می‌شود. اولین فاکتور درجه شدت ریسک (S) است که اگر شدت اثر ریسک بسیار کم باشد با VL (Very Low) و اگر بسیار زیاد باشد با VH (Very High) نشان داده می‌شود. دومین عامل نشان‌دهنده احتمال وقوع ریسک است (O). همچنین عامل سوم نشان‌دهنده نرخ احتمال کشف ریسک (D) بوده و عامل چهارم نشان‌دهنده هزینه (C) می‌باشد. از آنجایی که اطلاعات مربوط به این چهار فاکتور توسط خبرگان و به صورت متغیرهای زبانی جمع‌آوری می‌شوند، در روش پیشنهادی جهت غلبه بر ابهامات موجود در متغیرهای زبانی و ایجاد نتایج دقیق‌تر، استفاده از اعداد فازی بازه‌ای مثلثی پیشنهاد شده است.

د-ب. تشکیل ماتریس تصمیم: در رویکرد پیشنهادی، ماتریس تصمیم‌گیری بر مبنای گام قبل تشکیل می‌شود. سطرهای این ماتریس، حالات شکست و ستون‌های آن چهار عامل (C، D، O، S) است که در گام قبل، مقادیر آن‌ها به صورت اعداد فازی بازه‌ای برای هریک از حالات شکست مشخص شد.

د-ج. نرمال‌سازی ماتریس تصمیم و محاسبه ماتریس تصمیم نرمال وزنی: ماتریس تصمیم به دست آمده در گام قبلی می‌بایست نرمال‌سازی شود. اعداد فازی بازه‌ای در ماتریس تصمیم به صورت $\tilde{X}_{ij}=[(a_{ij},a'_{ij});b_{ij};(c'_{ij},c_{ij})]$ زیر نرمال‌سازی می‌شوند:

$$r_{ij}=[(\frac{a^-_j}{a_{ij}},\frac{a^-_j}{a'_{ij}});\frac{a^-_j}{b_{ij}};(\frac{a^-_j}{c'_{ij}},\frac{a^-_j}{c_{ij}})] \quad (۱)$$

$$c^+_j=\underset{i}{Max}\, c_{ij},\quad j\in\Omega_b$$

$$a^-_j=Min\, b_{ij},\quad j\in\Omega_c$$

پس از آن با استفاده از وزن شاخص‌های ریسک به دست آمده از روش ANP فازی بازه‌ای و ضرب آن در ماتریس تصمیم نرمال، ماتریس تصمیم نرمال وزنی به دست می‌آید. نکته مهم در این ماتریس آن است که وزن هریک از چهار شاخص S، O، D و C برابر نبوده و هریک از آن‌ها دارای وزن منحصر به خود می‌باشند.

د-د. تعیین نزدیکی نسبی گزینه‌ها به راه‌حل ایده‌آل و رتبه‌بندی نهایی فاکتورهای ریسک: در این گام ابتدا با استفاده از روش تاپسیس فازی، نزدیکی نسبی گزینه‌ها به راه‌حل ایده‌آل برای هریک از فاکتورهای ریسک به دست می‌آید. در این مرحله از مقدار ایده‌آل فازی مثبت و منفی معرفی شده توسط چن استفاده می‌گردد [۲۴]. در انتها نیز رتبه نهایی هریک از فاکتورهای شکست براساس مقدار نزدیکی نسبی آن‌ها محاسبه می‌شود.

یافته‌ها

لیست شکست‌های شناسایی شده برای فرایند تولید پمپ هیدورلیک پس از تشکیل تیم و برگزاری جلسات طوفان ذهنی به شرح جدول ۱ می‌باشد.

در این جدول شکست‌ها به تفکیک هریک از فرایندهای تولید، شناسایی و لیست شده‌اند. جهت سهولت کار در مراحل

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-02]
[DOI: 10.52547/johe.7.1.1]

جدول ۱: لیست شکست‌های شناسایی شده

نام فرایند	حالات شکست	اثرات شکست	علت‌های شکست	کد شکست
کف تراشی	مخروطی شدن لبه	سستی در مونتاژ	نرخ تغذیه نامناسب	A
	بیرون زدن خارها	مشکل در فیت شدن	فرسودگی چرخ	B
	خارج شدن طول از حد مجاز	عدم مونتاژ	حرکت در جهت مثبت	C
	قطر نامدور	عدم فیت شدن یاتاقان	مشکل تلرانس	D
	خراش سطحی	فرسودگی زیاد	فرسودگی صفحه راهنما	E
		کاهش تماس	کافی نبودن فشار	F
	موج‌دار شدن سطح	ایجاد اصطکاک زیاد	سرعت پایین تراشکاری	G
			جنس نامناسب تیغه	H
دور تراشی	خارج شدن قطر از حد مجاز	عدم مونتاژ	باربرداری اشتباه	I
	صاف نشدن سطح	خوردگی زیاد	سرعت نامناسب باربرداری	J
	طول ناهمگن	شکستن زود هنگام	تنظیم نبودن صفحه راهنما	K
			محکم نبودن قطعه در سه نظام	L
داخل تراشی	ترک سطحی	شکستن قطعه	کند بودن تیغه	M
	ناصافی قطر داخلی	عدم مونتاژ	تنظیم نبودن مرغک	N
	کاهش قطر داخلی	فیت نشدن پین	باربرداری زیاد	O
سوراخکاری	سوراخ خارج از اندازه	فیت نشدن پین یا عدم مونتاژ	سایش تسمه	P
			خرابی یا پاره شدن تسمه	Q
	عدم صافی سطح	خورده شدن یاتاقان‌ها	شل بودن پولی	R
			شل بودن خار نگهدارنده	S
	کامل نشدن سوراخ	جا نرفتن پین	سایش یاتاقان‌های اسپیندل	T
			خط افتادن یاتاقان‌ها	U
فرزکاری	باربرداری نامناسب	اخلال در حرکت دنده‌ها	لنگی تیغه فرز	V
		عدم مونتاژ	تنظیم نبودن دور ماشین	W
			کند بودن تیغه فرز	X
	خارج از حد بودن گام دنده	فرسودگی چرخ‌دنده	تنظیم نبودن صفحه تقسیم	Y
پرداخت‌کاری	خارج شدن از تلرانس	لق شدن خار	بیش از حد بودن بار دستگاه	Z
عملیات حرارتی	عدم توانایی براده‌برداری	اسقاط شدن اورینگ	حرارت بیش از حد مجاز	AA
حدیده‌کاری	صاف شدن دنده‌ها	محکم نشدن مهره	عدم روغن‌کاری در حین فرایند	BB
مونتاژ	ایجاد فاصله بین اورینگ و درپوش	بیرون آمدن فیلتر از محل خود	محکم نشدن پیچ	CC
			بزرگ بودن بوش	DD

بعدی، برای هریک از شکست‌ها یک کد منحصر به فرد در نظر گرفته شد.

به منظور تعیین وزن چهار شاخص S، O، D و C با استفاده از روش تحلیل شبکه‌ای فازی، با استفاده از جدول ۲ نظرات خبرگان گروه که به صورت متغیرهای زبانی است به اعداد فازی بازه‌ای مثلثی تبدیل می‌شوند.

بنابراین نتیجه مقایسه زوجی چهار شاخص نسبت به هدف که براساس نظرات اعضای تیم خبرگان به دست آمده و در جدول ۳ قابل مشاهده هستند، با استفاده از جدول ۲ به اعداد فازی تبدیل می‌شوند.

جدول ۲: مقیاس فازی بازه‌ای جهت تبدیل متغیرهای زبانی به اعداد

متغیر زبانی	مقیاس فازی بازه‌ای
اهمیت برابر (VL)	[(۰,۰ ۰,۰۵);(۰,۰۵ ,۰,۱۵); (۰,۲ ,۰,۲۵)]
اهمیت متوسط (MI)	[(۰,۱ ,۰,۰۵);۰,۱۵;(۰,۳ ,۰,۴)]
اهمیت زیاد (SI)	[(۰,۲ ,۰,۰۵);۰,۳۵;(۰,۵ ,۰,۶)]
اهمیت بسیار زیاد (VSI)	[(۰,۴ ,۰,۳);۰,۵۵;(۰,۷۰,۸)]
اهمیت فوق‌العاده زیاد (EI)	[(۰,۶ ,۰,۵);۰,۷۵;(۰,۸۵,۱)]

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.52547/johe.7.1.1]

جدول ۴: وزن شاخص‌های ارزیابی شکست‌ها

شاخص	S	O	D	C
وزن	[(۰,۰۰۳,۰,۰۰۹);۰,۰۲۷; (۰,۰۵۵, ۰,۱۱۴)]	[(۰,۰۹۶,۰,۱۲۳); ۰,۱۷۴; (۰,۲۶۶,۴۶۲)]	[(۰,۱۲۵,۰,۱۹);۰,۶۶۷; (۱,۲۷۵,۴,۹۲۷)]	[(۰,۰۰۷,۰,۰۱۶);۰,۰۴; (۰,۰۹۲,۰,۲۳)]

جدول ۵: مقیاس تبدیل متغیرهای زبانی به اعداد فازی بازه‌ای در روش FMEA

اعداد فازی بازه‌ای	شدت اثر ریسک
[(۰,۰);۰; (۱,۱,۵)]	بسیار کم (VL)
[(۰,۰,۵);۱; (۲,۵, ۳,۵)]	کم (L)
[(۰,۱,۵);۳; (۴,۵, ۵,۵)]	نسبتاً کم (ML)
[(۲,۵,۳,۵);۵; (۶,۵,۷,۵)]	متوسط (M)
[(۴,۵,۵,۵);۷; (۸,۹,۵)]	نسبتاً زیاد (MH)
[(۵,۵,۷,۵);۹; (۹,۵,۱۰)]	زیاد (H)
[(۸,۵,۹,۵);۱۰; (۱۰,۱۰)]	بسیار زیاد (VH)

در صورتی که نظر فازی شده هریک از اعضا به شکل $\tilde{x} = \left[(x_1, x_1');x_2;(x_3', x_3)\right]$ نمایش داده شود، آنگاه امتیاز نهایی شاخص i ام نسبت به شاخص j ام با استفاده از رابطه $\tilde{x}_{ij} = \frac{1}{k}[\tilde{x}_{ij}^1 + \tilde{x}_{ij}^2 + ... + \tilde{x}_{ij}^k]$ به دست می‌آید که در اینجا K نشان‌دهنده اعضای گروه است. به منظور دستیابی به سایر مقایسات زوجی مورد نیاز براساس شکل ۱ می‌بایست همانند مقایسه زوجی شاخص‌ها نسبت به هدف، ابتدا همانند جدول ۳ نظرات خبرگان به صورت متغیرهای زبانی به دست آمده و سپس با استفاده از جدول ۲ تبدیل به اعداد فازی شوند. پس از تعیین کلیه مقایسات زوجی بین شاخص‌ها و هدف و همچنین بین شاخص‌ها با یکدیگر، با تشکیل سوپر ماتریس موزون، وزن نهایی شاخص‌ها به گونه‌ای که در جدول ۴ نشان داده شده است، به دست آمد.

همان گونه که در جدول ۴ مشاهده می‌گردد، وزن شاخص‌ها با استفاده از روش ANP و به صورت فازی بازه‌ای به دست آمده‌اند. پس از تعیین وزن شاخص‌ها در مرحله بعد برای رتبه‌بندی فاکتورهای ریسک و پس از انجام مقایسات زوجی، به منظور تبدیل متغیرهای زبانی به اعداد فازی بازه‌ای از جدول ۵ استفاده شد.

پس از تبدیل متغیرهای زبانی به اعداد فازی بازه‌ای در مقایسات زوجی مربوط به رتبه‌بندی فاکتورهای ریسک، ماتریس تصمیم به صورت جدول ۶ تشکیل شد.

این جدول امتیازات هریک از ۳۰ فاکتور ریسک برای شاخص‌های چهارگانه را که از مجموع نظرات اعضای گروه به دست آمده است، به صورت اعداد فازی مثلثی نشان می‌دهد. در مرحله بعد پس از نرمال‌سازی ماتریس تصمیم و محاسبه ماتریس تصمیم نرمال وزنی، مقدار نزدیکی نسبی برای هریک از فاکتورهای ریسک به شرح جدول ۷ به دست آمد. باید بیان نمود که به منظور محاسبه نزدیکی نسبی هریک از فاکتورها ابتدا می‌بایست فاصله گزینه‌ها از ایده‌آل مثبت و منفی محاسبه گردد. در جدول ۷ $[D_{i1}^-, D_{i2}^-]$ و $[D_{i1}^+, D_{i2}^+]$ به ترتیب نشان‌دهنده مقیاس فاصله اولیه و ثانویه می‌باشند.

در انتها نیز رتبه نهایی هریک از فاکتورهای شکست براساس مقدار نزدیکی نسبی آن‌ها به شرح جدول ۸ به دست آمد.

همان گونه که در جدول ۸ مشاهده می‌شود، ۳۰ علت شکست برای فرایند تولید پمپ هیدرولیک شناسایی شد و مورد ارزیابی قرار گرفت. یافته‌ها حاکی از آن بودند که فاکتورهای A، J و L به ترتیب دارای اولویت‌های اول تا سوم هستند؛ بنابراین مدیران شرکت می‌بایست به این نوع ریسک‌ها توجه ویژه‌ای داشته باشند و اقدامات لازم جهت کاهش آن‌ها را به کار گیرند. در این مطالعه برای اعتبارسنجی مدل مورد استفاده، روش زیر به کار گرفته شد.

جدول ۶: ماتریس تصمیم‌گیری

	C	D	O	S		C	D	O	S
A	L, L, ML	L, L, ML	ML, ML, ML	ML,ML,L	**P**	M, MH, MH	L, L, L	L, L, ML	H, H, VH
B	ML, ML, M	ML, ML, M	M, M, M	M, M, MH	**Q**	M, ML, M	M, M, M	MH, H, MH	M, MH, M
C	VH, H, H	VH, H, H	H, MH, MH	L, L, L	**R**	M, M, ML	MH, M, MH	M, M, MH	H, VH, H
D	H, H, VH	H, H, VH	H, H, MH	L, L ML	**S**	M, M, ML	M, M, M	L, L, ML	M, M, MH
E	H, VH, VH	H, VH, VH	L, L, ML	L, L, L	**T**	H, MH, H	L, ML, M	L, L, ML	H, MH, MH
F	L, L, L	L, L, L	MH, MH, H	H, MH, H	**U**	MH, MH, M	M, M, MH	M, M, ML	M, MH, MH
G	H, MH, MH	H, MH, MH	H, H, MH	M, M, ML	**V**	H, H, H	L, L, ML	M, M, ML	H, MH, MH
H	H, MH, M	H, MH, M	M, ML, M	M, MH, M	**W**	H, H, VH	L, M, M	ML, ML, M	M, M, M
I	L, L, ML	L, L, ML	M, M, MH	M, M, M	**X**	M, M, M	ML, ML, L	L, L, ML	M, M, ML
J	MH, MH, M	MH, MH, M	M, M, ML	VL, VL, L	**Y**	VH, VH, H	L, ML, ML	L, ML, L	L, L, L
K	H, H, H	H, H, H	L, ML, ML	M, M, MH	**Z**	VH, VH, H	L, ML, ML	L, L, ML	H, H, MH
L	VH, H, H	VH, H, H	H, H, H	VL, L, L	**AA**	H, H, MH	ML, M, M	M, ML, ML	H, H, MH
M	ML, ML, ML	ML, ML, ML	H, H, H	H, H, MH	**BB**	M, ML, ML	M, ML, ML	VH, VH, MH	M, M, M
N	L, L, ML	L, L, ML	M, M, M	H,MH, H	**CC**	M,M,MH	M, M,M	VH,VH,H	M, MH, ML
O	MH, MH, M	MH, MH, M	M, M, M	L,ML,ML	**DD**	M, M, M	VH, H, H	VH, H, H	MH, MH, MH

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.52547/johe.7.1.1]

جدول ۷: نزدیکی نسبی فاکتورهای ریسک

	$[D_{i1}^{+}, D_{i2}^{+}]$	$[D_{i1}^{-}, D_{i2}^{-}]$	بازه نزدیکی نسبی	مقدار نهایی نزدیکی نسبی		$[D_{i1}^{+}, D_{i2}^{+}]$	$[D_{i1}^{-}, D_{i2}^{-}]$	بازه نزدیکی نسبی	مقدار نهایی نزدیکی نسبی
A	[۳,۸۴, ۳,۵۱]	[۰,۲۰۵,۰,۴۴]	[۰,۰۵,۰,۱۱۲]	۰,۰۸۲	**P**	[۳,۹,۳,۶۳]	[۰,۱۱۹۰,۲۲۸]	[۰,۰۲۹۰,۰۵۹]	۰,۰۴۴
B	[۳,۹۳,۳,۷]	[۰,۰۷,۰,۱۶۴]	[۰,۰۱۷۰,۰۴۲]	۰,۰۳	**Q**	[۳,۹۶,۳,۷]	[۰,۰۴۱۰,۰۸۲]	[۰,۰۱,۰,۰۲۱]	۰,۰۱۶
C	[۳,۹۱, ۳,۶۷]	[۰,۰۹۹,۰,۱۸]	[۰,۰۲۴۰,۰۴۷]	۰,۰۳۶	**R**	[۳,۹۶,۳,۷۴]	[۰,۰۳۸,۰,۰۸۴]	[۰,۰۰۹,۰,۰۲۲]	۰,۰۱۶
D	[۳,۹۴, ۳,۷]	[۰,۰۷۱,۰,۱۴]	[۰,۰۱۷۰,۰۳۸]	۰,۰۲۸	**S**	[۳,۹۲,۳,۶۸]	[۰,۰۸,۰,۱۶]	[۰,۰۲, ۰,۰۴]	۰,۰۳۱
E	[۳,۶۳, ۳,۹]	[۰,۱۲۴,۰,۲۲]	[۰,۰۳۱۰,۰۳۸]	۰,۰۴۵	**T**	[۳,۹۱,۳,۶۷]	[۰,۱۰۵,۰,۱۷]	[۰,۰۲۶,۰,۰۴۵]	۰,۰۳۶
F	[۳,۹۵, ۳,۷۴]	[۰,۰۵,۰,۰۹۸]	[۰,۰۱۳۰,۰۲۵]	۰,۰۱۹	**U**	[۳,۹۵,۳,۷۳]	[۰,۰۴۸,۰,۱۰۲]	[۰,۰۱۲,۰,۰۲۶]	۰,۰۱۹
G	[۳,۹۶,۳,۷۳]	[۰,۰۴۵,۰,۰۹۹]	[۰,۰۱۱۰,۰۲۵]	۰,۰۱۸	**V**	[۳,۹۳,۳,۶۹]	[۰,۰۷,۰,۱۴۲]	[۰,۰۱۷,۰,۰۳۷]	۰,۰۲۷
H	[۳,۹۵, ۳,۷۴]	[۰,۰۵,۰,۰۹۶]	[۰,۰۱۳۰,۰۲۵]	۰,۰۱۹	**W**	[۳,۹۲,۳,۶۸]	[۰,۰۸۱۰,۱۵۶]	[۰,۰۲,۰,۰۴]	۰,۰۳۱
I	[۳,۹۴, ۳,۷۳]	[۰,۰۵۵,۰,۱۱]	[۰,۰۱۴۰,۰۲۸]	۰,۰۲۱	**X**	[۳,۹۲,۳,۶۶]	[۰,۰۹۲,۰,۱۸۳]	[۰,۰۲۲,۰,۰۴۷]	۰,۰۳۵
J	[۳,۸۲, ۳,۵۵]	[۰,۳۵, ۰,۲۴]	[۰,۰۵۹۰,۰۸۹]	۰,۰۷۵	**Y**	[۳,۹۲,۳,۶۵]	[۰,۰۹۷۰,۱۸۸]	[۰,۰۲۴,۰,۰۴۹]	۰,۰۳۷
K	[۳,۹۵, ۳,۷۲]	[۰,۰۵۶,۰,۱۱]	[۰,۰۱۴,۰,۰۳]	۰,۰۲۲	**Z**	[۳,۹۲,۳,۶۶]	[۰,۰۸۹۰,۱۷۸]	[۰,۰۲۲,۰,۰۴۶]	۰,۰۳۴
L	[۳,۸۹, ۳,۶۳]	[۰,۱۳,۰,۲۲۶]	[۰,۰۳,۰,۰۵۸]	۰,۰۴۵	**AA**	[۳,۹۳,۳,۷۲]	[۰,۰۶۲۰,۱۱۵]	[۰,۰۱۵,۰,۰۳]	۰,۲۳
M	[۳,۹۶, ۳,۷۵]	[۰,۰۴۱,۰,۰۸۶]	[۰,۰۱,۰,۰۲۲]	۰,۰۱۶	**BB**	[۳,۹۴,۳,۷۴]	[۰,۰۶۲۰,۰۹۴]	[۰,۰۱۵,۰,۰۲۴]	۰,۰۲
N	[۳,۹۵, ۳,۷۴]	[۰,۰۴۹,۰,۰۹۵]	[۰,۰۱۲,۰,۰۲]	۰,۰۱۹	**CC**	[۳,۹۶,۳,۷۵]	[۰,۰۴۱۰,۰۸۴]	[۰,۰۱, ۰,۰۲۲]	۰,۰۱۶
O	[۳,۹, ۳,۷]	[۰,۰۶۴,۰,۱۴]	[۰,۰۱۶,۰,۰۳]	۰,۰۲۶	**DD**	[۳,۹۷,۳,۷۶]	[۰,۰۳۵۰,۰۷۹]	[۰,۰۰۸, ۰,۰۲]	۰,۰۱۵

جدول ۸: رتبه‌بندی فاکتورهای ریسک

رتبه‌بندی از نظر خبرگان	رتبه‌بندی بدون در نظر گرفتن شاخص هزینه و حالت شبکه‌ای	رتبه‌بندی فازی	رتبه‌بندی فازی بازه‌ای	شکست	رتبه‌بندی از نظر خبرگان	رتبه‌بندی بدون در نظر گرفتن شاخص هزینه و حالت شبکه‌ای	رتبه‌بندی فازی	رتبه‌بندی فازی بازه‌ای	شکست	رتبه‌بندی از نظر خبرگان	رتبه‌بندی بدون در نظر گرفتن شاخص هزینه و حالت شبکه‌ای	رتبه‌بندی فازی	رتبه‌بندی فازی بازه‌ای	شکست
۲۱	۲۱	۲۱	۲۱	U	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸	K	۱	۲	۲	۱	A
۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	V	۳	۳	۴	۳	L	۱۳	۱۳	۱۳	۱۳	B
۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	W	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	M	۷	۷	۸	۷	C
۹	۹	۹	۹	X	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	N	۱۴	۱۴	۱۴	۱۴	D
۶	۵	۶	۶	Y	۱۶	۱۶	۱۶	۱۶	O	۴	۴	۵	۳	E
۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	Z	۵	۵	۵	۵	P	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	F
۱۷	۱۷	۱۷	۱۷	AA	۲۹	۲۹	۲۹	۲۹	Q	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵	G
۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	BB	۲۸	۲۸	۲۸	۲۸	R	۲۳	۲۳	۲۳	۲۳	H
۲۷	۲۷	۲۷	۲۷	CC	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱	S	۱۹	۱۹	۱۹	۱۹	I
۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	DD	۸	۸	۷	۸	T	۲	۱	۱	۲	J

نظرسنجی از خبرگان: نتایج حاصل از روش در اختیار چند تن از کارشناسان خبره گذاشته شد و از آن‌ها درخواست گردید که در مورد رتبه‌بندی توافق نموده و پیشنهاد ارائه دهند (جدول ۸). از آنجایی که خبرگان رتبه‌بندی یکسانی را در مقایسه با نتایج مدل ارائه کردند، نتایج حاصل از اجرای مدل قابل قبول بوده و برای تأیید آن می‌بایست نتایج با سایر مدل‌ها مقایسه گردد. نتایج حاصل از اجرای مدل در سایر حالات در جدول ۸ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود، اجرای مدل در محیط فازی بازه‌ای، رتبه‌بندی متفاوتی را نشان می‌دهد. از مقایسه نتایج حالات مختلف با نتایج حاصل از نظرسنجی خبرگان مشخص شد که اجرای مدل در محیط فازی بازه‌ای، رتبه‌بندی بهتری را ارائه می‌کند.

بحث

در این مطالعه براساس نظرات خبرگان، حالات مختلف شکست و علت‌های آن شناسایی شد. سپس برای ارزیابی و اولویت بندی آن‌ها علاوه بر سه شاخص سنتی مورد استفاده در FMEA (شدت اثر، احتمال وقوع و احتمال کشف) از شاخص هزینه نیز استفاده گردید. جهت جلوگیری از یکسان در نظر گرفته شدن وزن چهار شاخص مورد استفاده در ارزیابی ریسک‌ها از روش ANP فازی استفاده گردید. با استفاده از روش ANP فازی علاوه بر این که وزن شاخص‌ها به دست می‌آید، تأثیر شاخص‌ها بر یکدیگر نیز در نظر گرفته می‌شود. همچنین به دلیل استفاده از مقادیر فازی می‌توان از قضاوت‌های غیر کمی خبرگان استفاده نمود. برای امتیازدهی شاخص‌های چهارگانه برای هریک از عوامل شکست از مقادیر فازی استفاده می‌گردد که این موضوع باعث در نظر گرفته شدن قضاوت‌های ذهنی و غیر عددی خبرگان در محاسبات ارزیابی ریسک می‌شود. در پایان نیز جهت تعیین امتیاز نهایی هریک از عوامل ریسک از روش تاپسیس فازی استفاده می‌گردد که این کار علاوه بر حفظ سادگی روش FMEA منجر به امکان استفاده از اعداد فازی در محاسبات این روش می‌شود. با استفاده از رویکرد تلفیقی، کارایی FMEA که روش مورد علاقه شرکت‌ها و سازمان‌ها می‌باشد، افزایش یافته و با اطمینان بیشتری نسبت به گذشته می‌توان از این روش استفاده نمود. از

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.52547/johe.7.1.1]

جمله تفاوت‌های اصلی پژوهش حاضر با سایر مطالعات مربوطه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

الف. ارائه یک رویکرد ترکیبی شامل: روش‌های ANP، FMEA و TOPSISتحت عدم قطعیت در ارزیابی ریسک

ب. استفاده از عدم قطعیت فازی بازه‌ای در ارزیابی ریسک

ج. افزودن شاخص هزینه به مدل‌های FMEA ارائه شده در زمینه فازی بازه‌ای

د. در نظر گرفتن اثر متقابل بین چهار شاخص هزینه، شدت اثر شکست، احتمال کشف و احتمال وقوع ریسک

باید خاطر نشان نمود که هرچند تبدیل متغیرهای زبانی به اعداد منجر به افزایش دقت روش FMEA می‌شود؛ اما در صورتی که جدول تبدیل متغیرهای زبانی به اعداد فازی بازه‌ای از دقت کافی برخوردار نباشد، منجر به کاهش کیفیت نتایج مدل خواهد شد؛ بنابراین استفاده از افراد خبره و آشنا به مبحث اعداد فازی و همچنین آموزش اعضای تیم می‌بایست مورد توجه قرار گیرد.

باید توجه نمود که این مدل می‌تواند در سایر قسمت‌های شرکت پیاده‌سازی شود؛ به طوری که به عنوان الگویی جامع برای شناسایی، ارزیابی و رتبه‌بندی ریسک‌ها در سطح شرکت مورد استفاده قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

هدف از پژوهش حاضر ارائه رویکردی به منظور شناسایی، ارزیابی و اولویت‌بندی ریسک‌های فرایند تولید با استفاده از روش‌های FMEA و تصمیم‌گیری چند شاخصه فازی بازه‌ای بود. در رویکرد پیشنهادی، تمرکز اصلی بر حفظ سادگی روش FMEA و افزایش کارایی آن از طریق برطرف نمودن نقاط ضعف این روش بود. در این مقاله از مدل ترکیبی IVF-FMEA، IVF-ANP و IVF-TOPSIS برای ارزیابی و رتبه‌بندی حالات شکست در فرایند تولید پمپ هیدرولیک استفاده شد. پس از اجرای مدل مشخص شد که نرخ تغذیه نامناسب، سرعت نامناسب براده‌برداری و محکم نبودن قطعه در سه نظام، سه فاکتور اصلی ریسک در فرایند تولید پمپ هیدرولیک می‌باشند که می‌بایست در اولویت کنترل قرار گیرند. برای انجام تحقیقات آتی پیشنهاد می‌گردد ارزیابی ریسک‌های شناسایی شده با استفاده از چهار شاخص ارائه شده در این پژوهش به همراه سایر روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه انجام شده و نتایج آن با یکدیگر مقایسه گردد تا بتوان روش مناسبی را از نظر کیفیت نتایج و سرعت اجرای مدل به دست آورد.

تشکر و قدردانی

پژوهش حاضر با حمایت و پشتیبانی شرکت آرافن نایین انجام شده است. بدین‌وسیله از همکاری کلیه کارکنان این شرکت تشکر و قدردانی می‌گردد.

تضاد منافع

پژوهش حاضر هیچ‌گونه تضاد منافعی برای نویسندگان نداشته است.

ملاحظات اخلاقی

اهداف مطالعه برای شرکت‌کنندگان در مطالعه تشریح شد و تمامی افراد با آگاهی و رضایت کامل در مطالعه مشارکت نمودند و امکان ترک آن برای افراد در هر مرحله از مطالعه وجود داشت.

سهم نویسندگان

احمد کمالی و علی بزرگی امیری در طراحی مطالعه و تجزیه و تحلیل نتایج و علی شکیبایی در جمع‌آوری اطلاعات و نوشتن مقاله مشارکت داشتند.

حمایت مالی

پژوهش حاضر تحت حمایت مالی هیچ سازمانی نبوده است.

REFERENCES

1. Vahdani B, Salimi M, Charkhchian M. A new FMEA method by integrating fuzzy belief structure and TOPSIS to improve risk evaluation process. *Int J Adv Manufact Technol*. 2015;**77**(1-4):357-68. DOI: 10.1007/s00170-014-6466-3
2. Ardeshir A, Amiri M, Mohajeri M. Safety risk assessment in mass housing projects using combination of fuzzy FMEA. Fuzzy FTA and AHP-DEA. *Iran Occup Health*. 2013; **10**(6):78-91. [Persian]
3. Sharma RK, Kumar K, Kumar P. Systematic failure mode effect analysis (FMEA) using fuzzy linguistic modeling. *Int J Qual Reliabil Manag*. 2005;**22**(9):986-1004. DOI: 10.1108/02656710510625248
4. Braglin M, Frosolin M. Fuzzy Criticality assessment model for failure mode effects and analysis. *Int J Qual Reliabil Manag*. 2000;**17**(4):503-24.
5. Chen PS, Wu MT. A modified failure mode and effects analysis method for supplier selection problems in the supply chain risk environment: a case study. *Comp Indust Eng*. 2013;**66**(4):634-42. DOI: 10.1016/j.cie.2013.09.018
6. Onüt K, Kara S, Isik E. Long term supplier selection using a combined fuzzy MCDM approach: A case study for a telecommunication company. *Exp Syst Appl*. 2009;**36**(2): 3887-96. DOI: 10.1016/j.eswa.2008.02.045
7. Ashtiani B, Haghighirad F, Makui A, Montazer G. Extension of fuzzy TOPSIS method based on interval-valued fuzzy sets. *Appl Soft Comp*. 2009;**9**(2):457-61. DOI: 10.1016/j.asoc.2008.05.005
8. Du Y, Mo H, Deng X, Sadiq R, Deng Y. A new method in failure mode and effects analysis based on evidential reasoning. *Int J Syst Assurance Eng Manag*. 2014;**5**(1):1-10. DOI: 10.1007/s13198-014-0218-5
9. Kutlu AC, Ekmekçioglu M. Fuzzy failure modes and effects analysis by using fuzzy TOPSIS-based fuzzy AHP. *Exp Syst Appl*. 2012;**39**(1):61-7. DOI: 10.1016/j.eswa.2011.06.044
10. Hsu CW, Lee WH, Chao WC. Materiality analysis model in sustainability reporting: a case study at lite-on technology corporation. *J Clean Product*. 2013;**57**:142-51. DOI: 10.1016/j.jclepro.2013.05.040
11. Hajiagha SH, Hashemi SS, Mohammadi Y, Zavadskas EK. Fuzzy belief structure based VIKOR method: an application for ranking delay causes of Tehran metro system by FMEA criteria. *Transport*. 2016;**31**(1):108-18. DOI: 10.3846/16484142.2016.1133454
12. Khosravirad F, Zarei E, Mohammadfam I, Shoja E, Majidi

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.52547/johe.7.1.1]

Daryani M. Explosion risk analysis on Town Border Stations (TBS) of natural gas using Failure Mode & Effect Analysis (FMEA) and Fault Tree Analyses (FTA) methods. *Iran Occup Health*. 2016;**12**(6):16-27. [Persian]
13. Tsai SB, Zhou J, Gao Y, Wang J, Li G, Zheng Y, et al. Combining FMEA with DEMATEL models to solve production process problems. *PLoS One*. 2017;**12**(8): e0183634. PMID: 28837663 DOI: 10.1371/journal.pone.0183634
14. Bakbaki A, Nabhani N, Anvaripour B, Shirali G. Probabilistic risk assessment using fuzzy fault tree analysis based on two types of failure possibility distributions in process industries. *J Occup Hyg Eng*. 2017;**4**(2):41-52. [Persian] DOI: 10.21859/johe.4.2.41
15. Peeters JF, Basten RJ, Tinga T. Improving failure analysis efficiency by combining FTA and FMEA in a recursive manner. *Reliabil Engin Syst Saf*. 2018;**172**:36-44. DOI: 10.1016/j.ress.2017.11.024
16. Carpitella S, Certa A, Izquierdo J, La Fata CM. A combined multi-criteria approach to support FMECA analyses: a real-world case. *Reliabil Eng Syst Saf*. 2018;**169**:394-402. DOI: 10.1016/j.ress.2017.09.017
17. Faiella G, Parand A, Franklin BD, Chana P, Cesarelli M, Stanton NA, et al. Expanding healthcare failure mode and effect analysis: a composite proactive risk analysis approach. *Reliabil Eng Syst Saf*. 2018;**169**:117-26. DOI: 10.1016/j.ress.2017.08.003
18. Moradi A, Nadershahi M. A fuzzy multi-criteria risk assessment based on decision matrix technique: a case study in one of the steel industries. *J Occup Hyg Eng*. 2019;**6**(2):9-18. [Persian] DOI: 10.29252/johe.6.2.2
19. Shaker F, Shahin A, Jahanyan S. Developing a two-phase QFD for improving FMEA: an integrative approach. *Int J Qual Reliabil Manag*. 2019;**36**(8):1454-74. DOI: 10.1108/IJQRM-07-2018-0195
20. Lijoi D, Farina M, Puppo A, Novelli A, Ferrero S. Application of failure mode and effect analysis in total laparoscopic hysterectomy in benign conditions. *Minerva Ginecol*. 2019;**71**(4):272-80. PMID: 30938115 DOI: 10.23736/S0026-4784.19.04227-8
21. Li Z, Chen L. A novel evidential FMEA method by integrating fuzzy belief structure and grey relational projection method. *Eng Appl Artif Intellig*. 2019;**77**:136-47. DOI: 10.1016/j.engappai.2018.10.005
22. Vahdani B, Hadipour H, Tavakkoli-Moghaddam R. Soft computing based on interval valued fuzzy ANP-A novel methodology. *J Intellig Manufact*. 2012;**23**(5):1529-44. DOI: 10.1007/s10845-010-0457-5
23. Sankar NR, Prabhu BS. Modified approach for prioritization of failures in a system failure mode and effects analysis. *Int J Qual Reliabil Manag*. 2001;**18**(3):324-36. DOI: 10.1108/02656710110383737
24. Chen CT. Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. *Fuzzy Sets Syst*. 2000; **114**(1):1-9.

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-02]

[DOI: 10.52547/johe.7.1.1]