Industrial Management Journal

Print ISSN: 2008-5885

Online ISSN: 2423-5369

Risk Assessment Based on Total Efficient Risk Priority Number Using Data Envelopment Analysis

Jafar Gheidar-Kheljani*

*Corresponding Author, Assistant Prof., Department of management and Industrial Engineering, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran. E-mail: kheljani@mut.ac.ir

Saeed Roshandel

Ph.D. Candidate, Department of Management and Industrial Engineering, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran. E-mail: roshandel.saeed@mut.ac.ir

Abstract

Objective: Risk management in organizations is a major process, one of the sub-processes of which is the risk assessment. The simplest assessment methods have introduced risk as a function of the probability of occurrence and the severity. Using this definition, various methods for risk assessment have been developed. The development of these methods has introduced an indicator called the total efficient risk priority number (TERPN) in which more effective factors were considered to determine the importance of the risks. In addition to its many advantages, this indicator has limitations that if they are handled, it can have better performance in terms of effectiveness and efficiency, and the present study aims to eliminate these limitations.

Methods: The proposed method is a step-by-step process consisting of 11 for risk assessment in which after identifying risk areas, risks, corrective and, preventive measures the process is performed using a combined method with data envelopment analysis.

Results: To validate the proposed method with a sample example, it was found that this method selects risks that, based on both the TERPN index and the proposed index, causes a further reduction in the level of intolerable risks by 3.8%. Regarding the cost of corrective and preventive measures, it can be seen that based on the prioritization of the proposed method, the cost will be reduced by about 26.8% compared to the former method.

Conclusion: In order to evaluate the risk, in addition to maintaining the positive features of the TERPN method, this research method eliminates the limitations and in the major implementation of the risk management process, it is possible to achieve a higher level of productivity (effectiveness and efficiency).

Keywords: Risk assessment, Risk Priority Number (RPN), Total Efficient Risk Priority Number (TERPN), Data Envelopment Analysis (DEA).

Citation: Gheidar-Kheljani, Jafar & Roshandel, Saeed (2021). Risk Assessment Based on Total Efficient Risk Priority Number Using Data Envelopment Analysis. *Industrial Management Journal*, 13(1), 131-154. (in Persian)

Industrial Management Journal, 2021, Vol. 13, No.1, pp. 131-154
DOI: 10.22059/IMJ.2021.310813.1007783
Received: September 27, 2020; Acceped: May 08, 2021
Article Type: Research-based
© Faculty of Management, University of Tehran

شاپا چاپی: ۲۰۰۸-۵۸۸۵
شاپا الکترونیکی: ۲۴۲۳-۵۳۶۹

مدیریت صنعتی

ارزیابی ریسک بر مبنای نمره اولویت ریسکِ کارای جامع با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها

جعفر قیدرخلجانی*

*نویسنده مسئول، استادیار، مجتمع دانشگاهی مدیریت و مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران. رایانامه: kheljani@mut.ac.ir

سعید روشندل

دانشجو دکتری، مجتمع دانشگاهی مدیریت و مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران. رایانامه: roshandel.saeed@mut.ac.ir

چکیده

هدف: یکی از فرآیندهای مدیریت ریسک، ارزیابی ریسک است. در اغلب روش‌های ارزیابی، ریسک به عنوان تابعی از احتمال رخداد و شدت اثر خطرات معرفی شده است. با بهره‌گیری از این تعریف روش‌های مختلف ارزیابی ریسک توسعه داده شده‌اند. در سیر تکامل این روش‌ها، شاخصی با عنوان نمره اولویت ریسکِ کارای جامع (TERPN) معرفی شده است. در این شاخص عوامل موثر بیشتری در راستای تعیین اهمیت ریسک‌ها، مد نظر قرار می‌گیرند. این شاخص علاوه بر دارا بودن مزایای متعدد، دارای محدودیت‌ها و اشکالاتی نیز هست که در صورت چیره شدن بر آن‌ها می‌توان عملکرد بهتری از منظر اثربخشی و کارایی داشت. پژوهش حاضر با هدف رفع این محدودیت‌ها و اشکالات صورت گرفته است.

روش: روش پیشنهادی این پژوهش یک فرایند شامل ۱۱ گام برای ارزیابی ریسک است. در این روش پس از مشخص شدن نواحی ریسک، ریسک‌ها و اقدامات اصلاحی و پیشگیرانه، ارزیابی ریسک با بکارگیری یک روش ترکیبی مبتنی بر تحلیل پوششی داده‌ها انجام می‌شود.

یافته‌ها: برای اعتبارسنجی روش پیشنهادی در یک مثال نمونه، مشخص شد این روش ریسک‌هایی را انتخاب می‌کند که بر مبنای هر دو شاخص TERPN و شاخص پیشنهادی این پژوهش باعث کاهش بیشتری در سطح ریسک‌های غیر قابل تحمل به میزان ۳/۸ درصد می‌شود. درباره هزینه انجام اقدامات اصلاحی و پیشگیرانه نیز مشاهده می‌شود که براساس اولویت‌بندی روش پیشنهادی مقدار هزینه کلیه اقدامات نسبت به روش معمول در حدود ۲۶/۸ درصد کاهش خواهد داشت.

نتیجه‌گیری: روش این پژوهش به منظور ارزیابی ریسک علاوه بر حفظ ویژگی‌های مثبت روش TERPN، محدودیت‌ها و اشکالات را برطرف نموده و در پیاده‌سازی فرایند مدیریت ریسک امکان دستیابی به سطح بهره‌وری (اثربخشی و کارایی) بالاتری را ایجاد می‌نماید.

کلیدواژه‌ها: ارزیابی ریسک، نمره اولویت ریسک کارای جامع، تحلیل پوششی داده‌ها، مدیریت ریسک

استناد: قیدر خلجانی، جعفر و روشندل، سعید (۱۴۰۰). ارزیابی ریسک بر مبنای نمره اولویت ریسکِ کارای جامع با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها. *مدیریت صنعتی*، ۱۳(۱)، ۱۳۱- ۱۵۴.

مدیریت صنعتی، ۱۴۰۰، دوره ۱۳، شماره ۱، صص. ۱۳۱ – ۱۵۴
DOI: 10.22059/IMJ.2021.310813.1007783
دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۰۶، پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۱۸
نوع مقاله: علمی پژوهشی
© دانشکده مدیریت دانشگاه تهران

مقدمه

ریسک از نظر تئوری، به معنای احتمال انحراف از نیل به هدف مطلوب است. در تئوری ریسک، اصطلاحاتی چون عدم قطعیت یا نامشخ صبودن وضعیت و بی اطمینانی از آینده نیز هم ارز با اصطلاح ریسک به کار می‌رود (آذر و همکاران، ۱۳۹۵). مدیریت ریسک فرایند شناسایی، تحلیل و پاسخ به عوامل خطرساز است. در یک تعریف، مدیریت ریسک فرآیندی سیستماتیک در شناسایی، تجزیه و تحلیل و واکنش در برابر ریسک‌ها به منظور بیشینه‌سازی نتایج و وقایع مثبت و کاهش احتمال یا اثرات وقوع پیامدهای ناگوار بر اهداف سازمان است. کاربرد مدیریت ریسک در برنامه‌ریزی و مدیریت عملکرد سازمان‌ها و همچنین پروژه‌ها کاملا مشهود بوده به طوری که مدل‌های مدیریت ریسک برای گستره متفاوتی از کاربردها و برای دامنه وسیعی از گرایش‌ها به کار برده شده‌اند که اغلب با عنوان کلی «مهندسی یا مدیریت ریسک» مطرح می‌شدند (عالم تبریز و همکاران، ۱۳۹۵). مدیریت ریسک می‌تواند روی زمان، هزینه، کیفیت، بهره‌وری و عملکرد تأثیر بگذارد (قبادی و همکاران، ۱۳۹۸). این دانش مدیریتی به عنوان یک کلان فرایند از زیرفرایندهای متعددی تشکیل شده است. یکی از این زیرفرایندها، فرایند ارزیابی ریسک می‌باشد. علی رغم این که سازمان‌ها و مدیران پروژه روش‌ها و ابزارهای متفاوتی را برای ارزیابی ریسک و همچنین افزایش قابلیت اطمینان و ایمنی سیستم‌ها تعریف کرده‌اند، اما دستیابی به یک ابزار یا روش فراگیر که بتواند ایمنی و قابلیت اطمینان را به طور کامل تضمین کند، بسیار دشوار است (بران و ساوینو[1]، ۲۰۱۸). به همین دلیل ادبیات موضوع شامل تنوع بالایی از انواع روش‌های ارزیابی ریسک می‌باشد. یکی از محبوب‌ترین و پرکاربردترین رویکردها برای ارزیابی ریسک، فرایند تجزیه و تحلیل حالات و اثرات شکست (FMEA[2]) می‌باشد. فرآیند FMEA یک رویکرد سیستماتیک برای شناسایی و جلوگیری از بروز مشکل در محصول و فرآیندهای آن است. این فرایند یک تکنیک تحلیلی مبتنی بر اصل «پیشگیری قبل از وقوع» است که برای شناسایی عوامل بالقوه شکست استفاده می‌شود (باقری و همکاران[3]، ۲۰۱۸). این مدل می‌تواند به عنوان رویکردی برای پیشگیری از شکست‌ها و بهبود فرایندها با هدف افزایش ایمنی و به عنوان یکی از روش‌های ارزیابی خطر آینده‌نگر به کار گرفته شود (ولی‌پور و قاسم‌نیا عربی، ۱۳۹۵). قابلیت بکارگیری از FMEA در سطح جهانی به اثبات رسیده و تا کنون در بسیاری از صنایع مختلف از جمله هوافضا، خودرو، پدافند، پزشکی، دریایی، هسته‌ای و غیره مورد استفاده قرار گرفته است. FMEA موجب ایجاد بهبود در هر یک از این حوزه‌ها شده است (بزداگ و همکاران[4]، ۲۰۱۵). این تکنیک و سایر توسعه‌هایی که بر آن داده شده است (مانند FMECA[5])، از معیار نمره اولویت ریسک (RPN[6]) برای رتبه‌بندی و ارزیابی ریسک‌ها استفاده می‌کند.

بررسی مقالات و پژوهش‌های پیشین پیرامون موضوع پژوهش نشان می‌دهد که شاخص RPN و سایر معیارهای مشابهی که در فرایند ارزیابی ریسک مورد استفاده قرار می‌گیرند، دارای محدودیت‌ها و نقاط ضعف می‌باشند. به همین

[1] Brun & Savino
[2] Failure Mode and Effect Analysis
[3] Baghery et al.
[4] Bozdag et al.
[5] Failure Mode Effect and Criticality Analysis
[6] Risk Priority Number

دلیل پژوهشگران مختلف در پژوهش‌های خود پیشنهاداتی به منظور رفع اشکالات موجود در این شاخص‌ها ارائه کرده‌اند. به طور مثال برخی از محدودیت‌هایی که شاخص‌های مورد استفاده در پژوهش‌های گذشته داشته‌اند، کم توجهی به ریسک‌هایی دارای احتمال وقوع کم و شدت اثر زیاد، سلیقه‌ای بودن بخشی از ارزیابی، کامل نبودن معیارها، حساسیت نتایج به تغییرات کوچک در ورودی‌ها و وابستگی به ساختار معیارهای ارزیابی است (دیبونا و همکاران[1]، ۲۰۱۸). یکی از شاخص‌هایی که برای رفع محدودیت‌های روش‌های قبلی ارائه شده است، نمره اولویت ریسکِ کارای جامع (TERPN[2]) نام دارد. روش مبتنی بر TERPN توانسته است عوامل موثر بیشتری را در راستای تعیین اهمیت ریسک‌ها، مد نظر قرار دهد. معیارهای هزینه اقدامات اصلاحی و پیشگیرانه، قابلیت پیشگیری و اثربخشی اقدامات، مواردی می‌باشند که در این روش مورد استفاده قرار گرفته‌اند. علی رغم این موضوع، پژوهشگران این مقاله با نقد روش مبتنی بر TERPN و مقایسه آن با سایر روش‌های موجود در ارزیابی ریسک، به این نتیجه رسیده‌اند که شاخص TERPN نیز دارای محدودیت‌ها و اشکالاتی است که در صورت چیره شدن بر آن‌ها می‌تواند عملکرد بهتری از منظر اثربخشی (کاهش ریسک) و کارایی (کاهش هزینه) داشت. اولین اشکالی که در این روش شناسایی شده است، در نظر گرفتن وزن یکسان برای شاخص‌ها است. وزن یکسان برای شاخص‌ها به این معنی است که در فرایند ارزیابی میزان اهمیت هر شاخص با سایر شاخص‌ها برابر است. ممکن است این گزاره در برخی مسائلی صحیح باشد اما نمی‌توان آن را به تمامی مسائل تعمیم داد. مثال نقض آن تفاوت در میزان اهمیت شاخص شدت اثر در یک محیط بیمارستانی در برابر یک محیط صنعتی است چرا که در محیط‌های بیمارستانی اثرات جانی بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرند. اشکال دوم وجود همپوشانی در مفهوم دو شاخص هزینه اقدامات اصلاحی و شدت اثر می‌باشد. بخشی از اثرات، اثرات مالی هستند. زمانی که یک خرابی یا حالت شکست به وقوع بپیوندد، ممکن است هزینه‌ای بر سیستم تحمیل نماید که بخشی از این هزینه صرف اقدامات اصلاحی از جمله تعمیر و یا تعویض شود. در نتیجه دو مفهوم هزینه اقدامات اصلاحی و شدت اثر دارای همپوشانی مفهومی می‌باشند که در روش TERPN به این موضوع توجه نشده است. ایراد بعدی در این روش عدم تفکیک هزینه‌های اقدامات اصلاحی و پیشگیرانه در محاسبه مقدار شاخص‌ها است. عدم تفکیک این دو مورد از یکدیگر سبب شده است تا همپوشانی مفهومی میان شاخص‌های بکار گرفته شده به وجود آید. عدم نرمال‌سازی شاخص سطح ریسک کل نیز اشکال دیگری است که در این روش وجود دارد. نتیجه بروز این اشکال آن است که برای مقایسه سطح ریسک در طول زمان این روش کارایی خود را از دست می‌دهد. چرا که در طول زمان ریسک‌های جدیدی به وجود می‌آیند یا بر اثر اقدامات قبلی، بخشی از ریسک‌ها ممکن است دیگر مورد توجه قرار نگیرند. از این رو تعداد ریسک‌هایی که سیستم در مقاطع زمانی مختلف با آن مواجه است، ثابت نبوده و با توجه به اینکه عدم نرمالسازی شاخص‌ها باعث خواهد شد نتایج به تعداد وابسته باشند، مقایسه نتایج سطح ریسک در طول زمان در این روش دارای اشکال خواهد بود. این پژوهش در نظر دارد با بکارگیری تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها روشی جدید به منظور ارزیابی ریسک ارائه نماید که علاوه بر حفظ ویژگی‌های مثبت روش TERPN، محدودیت‌ها و اشکالات ذکر شده را برطرف نموده و در پیاده‌سازی فرایند مدیریت ریسک امکان دستیابی به سطح بهره‌وری (اثربخشی و کارایی) بالاتری را ایجاد نماید.

[1] Di Bona et al.
[2] Total Efficient Risk Priority Number

پیشینه پژوهش

مفهوم ریسک و ارزیابی ریسک سابقه‌ای طولانی دارند. بیش از ۲۴۰۰ سال پیش آتنی‌ها[1] از قابلیت ارزیابی ریسک قبل از انجام تصمیم‌گیری‌ها استفاده می‌کرده‌اند. با این حال، ارزیابی ریسک و مدیریت ریسک به عنوان یک زمینه علمی نسبتاً جدید مطرح می‌باشد و به طور تخصصی بیش از ۳۰ الی ۴۰ سال عمر ندارد. در این دوره نخستین مجلات علمی، مقالات و همایش‌های تخصصی شکل گرفت تا ایده‌ها و اصول اساسی در مورد چگونگی ارزیابی مناسب و مدیریت ریسک به وجود آیند (آنس و همکاران[2]، ۲۰۱۶). فرایند ارزیابی ریسک به عنوان یکی از زیرفرایندهای مدیریت ریسک بر رتبه‌بندی و تعیین اهمیت ریسک‌ها تمرکز دارد و برای این منظور از روش‌های مختلفی استفاده می‌کند. به طور عمومی روش‌های ارزیابی ریسک، این مفهوم را با تابعی از احتمال وقوع ارزیابی می‌کنند. به طور کلی بررسی‌های انجام شده در این پژوهش نشان می‌دهد روش‌های اولویت‌بندی ریسک که در مقالات علمی و مروری گذشته ارائه شده‌اند در دسته‌بندی‌های زیر قرار می‌گیرند:

- اولویت‌بندی ریسک‌ها با بکارگیری تکنیک‌های مبتنی بر RPN
- اولویت‌بندی ریسک‌ها با بکارگیری روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره
- اولویت‌بندی ریسک‌ها با بکارگیری برنامه‌ریزی ریاضی
- اولویت‌بندی ریسک‌ها با بکارگیری منطق فازی
- اولویت‌بندی ریسک‌ها با بکارگیری تحلیل سیستم‌ها
- اولویت‌بندی ریسک‌ها با بکارگیری ترکیبی از روش‌های فوق

در ادامه به معرفی هر یک از این دسته‌بندی‌ها پرداخته شده است.

اولویت‌بندی ریسک‌ها با بکارگیری تکنیک‌های مبتنی بر RPN

می‌توان گفت ساده‌ترین مدل‌های ارزیابی ریسک در این دسته‌بندی قرار می‌گیرند. تاریخچه شکل‌گیری و توسعه شاخص RPN به روشی تحت عنوان روش فارمر[3] برمی‌گردد. در روش فارمر از دو معیار احتمال وقوع (O) و شدت اثر (S) برای اولویت‌بندی ریسک‌ها استفاده می‌شد. رابطه محاسباتی سطح ریسک در این روش به صورت رابطه شماره ۱ بوده است:

$$R = S \times O$$ (رابطه ۱)

در این رابطه احتمال وقوع بین ۰ تا ۱ و شدت اثر در بازه ۱ تا ۴ مقیاس‌گذاری شده بود و از حاصلضرب این دو معیار میزان اهمیت هر ریسک محاسبه می‌شد (دیبونا و همکاران، ۲۰۱۸).

پس از آن با ظهور فرایند FMEA و گسترش کاربرد آن، معیار RPN معرفی گردید. تکنیک FMEA برای اولین بار در صنعت هوافضا در دهه ۶۰ میلادی مورد استفاده قرار گرفت. پس از آن به سرعت برای بهبود کیفیت و ایمنی در

[1] Athenians
[2] Anes et al.
[3] Farmer method

طراحی و ساخت توسط صنعت خودروسازی مورد پذیرش قرار گرفت. همانطور که پیشتر نیز ذکر گردید، FMEA به عنوان ابزاری قدرتمند برای ارزیابی ریسک و تحلیل قابلیت اطمینان در طیف گسترده‌ای از صنایع مورد استفاده قرار گرفته است (لیو و همکاران[1]، ۲۰۱۹). در محاسبه شاخص RPN علاوه بر دو معیار احتمال وقوع و شدت اثر، معیار جدیدی با عنوان احتمال کشف (D) بکارگرفته شد. بر همین اساس رابطه محاسباتی این شاخص به شکل رابطه شماره ۲ تغییر یافت.

$$RPN = S \times O \times D$$ رابطه ۲)

مقیاس‌گذاری معیارها در RPN بین اعداد ۱ تا ۱۰ تعریف گردید که در نتیجه آن میزان اهمیت هر ریسک بین ۱ تا ۱۰۰۰ قابل محاسبه بود.

روش RPN برای ارزیابی ریسک روشی محبوب در میان صاحبان صنعت و همچنین پژوهشگران این حوزه بوده است. اما به علت ضعف‌هایی که این شاخص دارد، معمولا در ترکیب با سایر روش‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. در سال ۲۰۰۳ مقاله‌ای در همین زمینه توسط بوول[2] (۲۰۰۳) ارائه شد. در این پژوهش نقدهایی بر روش رتبه‌بندی ریسک‌ها با بکارگیری RPN وارد شد که زمینه را برای بکارگیری روش‌های جدید مهیا نمود. از جمله موارد مهمی که در این پژوهش به آن اشاره شده است عدم توجه به ریسک‌های دارای شدت اثر زیاد و احتمال وقوع کم، قابلیت محاسبه ۱۲۰ حالت از ۱۰۰۰ حالت موجود در رتبه‌بندی ریسک‌ها و حساسیت نتایج نسبت به تغییرات کوچک است. در پژوهشی دیگری که از شاخص RPN استفاه نموده است، بران و ساوینو (۲۰۱۸) در مقاله‌ای روش معمول FMEA را با بکارگیری مقایسات زوجی در راستای تعیین اهمیت نسبی فاکتورهای ورودی در محاسبه RPN و زنجیره‌های مارکوف برای محاسبه توزیع ریسک در بلند مدت بهبود داده و مورد استفاده قرار دادند.

اولویت‌بندی ریسک‌ها با بکارگیری روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره

بکارگیری تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM[3]) در ارزیابی ریسک، یکی از دسته‌بندی‌هایی می‌باشد که تعداد زیادی از پژوهش‌های این حوزه را به خود اختصاص داده است. در یک مطالعه مروری توسط لیو و همکاران (۲۰۱۹) در بین سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۸ تعداد ۱۶۹ مقاله استخراج گردید که از MCDM برای اولویت‌بندی ریسک‌ها استفاده کرده بودند. علت زیاد بودن حجم مقالات در این حوزه آن است که از طرفی روش‌های MCDM از تنوع بالایی برخوردار می‌باشند و از طرف دیگر کاربرد این روش‌ها در موضوع رتبه‌بندی به طور قابل ملاحظه‌ای توسعه یافته است. عموم این روش‌ها از چند گام تشکیل شده‌اند که عبارتند از مشخص نمودن معیارهای رتبه‌بندی ریسک‌ها، تعیین اهمیت نسبی (وزن) معیارهای ارزیابی، تشکیل ماتریس تصمیم (نمرات ریسک‌ها در هر معیار) و محاسبه نمره و رتبه نهایی هر ریسک. در ادامه این بخش نمونه‌هایی از کاربرد این روش‌ها در موضوع ارزیابی ریسک ارائه شده است.

[1] Liu et al.
[2] Bowles
[3] Multi Criteria Decision Making

آگویار و همکاران[1] (۲۰۱۰) در پژوهشی که از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه استفاده نموده است، معیارهای موجود در مدل معمول RPN را با بکارگیری روش AHP وزن‌دهی نمودند. در این پژوهش رتبه‌بندی ریسک‌ها با بکارگیری میانگین وزن‌دار شده مقادیر معیارها انجام شد. این روش نسبت به پژوهش‌های مشابه در همین دسته‌بندی از سهولت محاسباتی بیشتری برخودار بوده است. چن و وو[2] (۲۰۱۳) به ارائه گزارشی از نتایج یک پروژه عملی در زمینه ارزیابی ریسک زنجیره تامین در ارتباط با مسأله انتخاب تامین‌کننده پرداختند. روش این پژوهش برای ارزیابی ریسک ترکیبی از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (AHP) و روش معمول FMEA است. نتیجه پژوهش نشان می‌دهد که سازمان مورد مطالعه می‌تواند تأمین‌کنندگان خود را به طور مؤثری طبقه‌بندی نموده و در عین حال شرکای کم خطرتری در زنجیره تأمین انتخاب نماید. زاموری و گابریلی[3] (۲۰۱۳) برای تجزیه و تحلیل عوامل و معیارهای اثرگذار بر رتبه‌بندی ریسک، از روش ANP استفاده کرده‌اند. معیارهای اصلی این پژوهش معیارهای روش معمول RPN هستند. ژانگ و همکاران[4] (۲۰۱۳) نیز روشی مشابه زاموری و گابریلی (۲۰۱۳) اتخاذ نموده و مشابه بسیاری از پژوهش های قبلی دسته‌بندی اصلی معیارهای ارزیابی، شاخص‌های بکار رفته در RPN بوده است. در روش این پژوهش شاخص‌های ارزیابی با بکارگیری یک روش توسعه یافته مبتنی بر AHP وزن‌دهی شده است. لیو و همکاران (۲۰۱۵) پژوهشی ارائه نمودند که در آن برای مواجه با حالت عدم قطعیت و شرایط ابهام ناشی از تصمیم‌گیری‌های ذهنی یا سلیقه‌ای در فرایند ارزیابی ریسک، یک رویکرد جدید در راستای FMEA بر اساس وزن ترکیبی و روش VIKOR فازی ارائه شده است. این پژوهشگران برای نشان دادن کاربردهای بالقوه مدل خود، روش جدید FMEA فازی خود را برای تجزیه و تحلیل ریسک در فرآیند بیهوشی عمومی استفاده نموده‌اند. آنس و همکاران (۲۰۱۶) از یک مدل دو مرحله‌ای برای ارزیابی و اولیت‌بندی ریسک‌ها استفاده کرده‌اند. در گام یکم با معرفی تابعی با عنوان Isosurface پژوهشگران اقدام به وزن‌دهی ۳ معیار ارزیابی ریسک پرداخته و در گام دوم ارزیابی ریسک با استفاده وزن‌های بدست آمده از گام یکم انجام شده است. بیان و همکاران[5] (۲۰۱۸) نیز برای ارزیابی ریسک از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده کرده‌اند. اولویت‌بندی ریسک‌ها با بکارگیری مدل ترکیبی تاپسیس و روشی با عنوان D-number انجام شده است. روش ارائه شده مرجح بودن هر یکی از حالت‌های شکست را از نظر عوامل ریسک رتبه‌بندی می‌کند. همچنین در این پژوهش یک مطالعه موردی در ارتباط با حالت‌های خرابی تیغه‌های روتور یک توربین هواپیما برای نشان دادن کارایی روش پیشنهادی ارائه شده است. امین‌طهماسبی و زارع‌پور (۱۳۹۸) با بکارگیری ادبیات مروری، تنظیم چک لیست و نظرات خبرگان و کارشناسان، ریسک‌های موجود در پروژه‌های آب و فاضلاب روستایی را با بکارگیری روش‌های تاپسیس فازی و AHP فازی رتبه‌بندی نمودند. شاخص‌های رتبه‌بندی در این پژوهش به دو بخش شاخص‌های اولیه و تکمیلی تقسیم شده بود.

[1] Aguiar et al.
[2] Chen & Wu
[3] Zammori & Gabbrielli
[4] Zhang et al.
[5] Bian et al.

- **اولویت‌بندی ریسک‌ها با بکارگیری برنامه‌ریزی ریاضی**

بکارگیری برنامه‌ریزی ریاضی در موضوع ارزیابی ریسک را می‌توان در پژوهش گارسیا و شیرو[1] (۲۰۰۵) ملاحظه نمود. در این پژوهش از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها (DEA[2]) فازی برای اولویت‌بندی ریسک‌ها استفاده شده است. تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها اولین بار توسط چارنز و همکاران[3] (۱۹۷۸) معرفی شد. این تکنیک یک روش غیر پارامتریک برای تجزیه و تحلیل کارایی جهت مقایسه گزینه‌ها نسبت به بهترین گزینه موجود (مرز کارآمد) است. با توجه به این که مدل پیشنهادی پژوهش حاضر مبتنی بر همین تکنیک خواهد بود، ساختار و فرموله‌بندی مدل DEA در بخش مدل پیشنهادی پژوهش به طور کامل ارائه می‌گردد. چین و همکاران[4] (۲۰۰۹) در پژوهش خود یک روش مبتنی بر تحلیل پوششی داده‌ها برای ارزیابی ریسک ارائه نموده‌اند. روش پیشنهادی این پژوهش کمینه و بیشینه ریسک هر یک از حالات شکست را اندازه‌گیری نموده و با میانگین‌گیری از این دو مقدار، سطح کلی ریسک را مشخص می‌نماید. در این مدل اولویت هر ریسک با مقایسه مقادیر کمینه و بیشینه ریسک تعیین می‌شود. باقری و همکاران (۲۰۱۸) با بیان این که شاخص RPN دارای نقاط ضعف قابل توجهی می‌باشد، اقدام به ارائه یکی روش ترکیبی برای ارزیابی ریسک نموده است. در روش این پژوهش نخست داده‌های مورد نیاز برای ارزیابی ریسک در قالب اعداد بازه‌ای دریافت شده و با بکارگیری تحلیل رابطه خاکستری و DEA بازه‌ای، ریسک‌ها اولیت‌بندی شده‌اند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد روش پیشنهادی به تصمیم‌گیرندگان این حوزه امکان دستیابی به سطح بهتری از اثربخشی (کاهش ریسک) را داده است. کارپیتلا و همکاران[5] (۲۰۱۸) رویکردی ارائه نمودند که ترکیبی از تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان و روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (تاپسیس و AHP) برای بهینه‌سازی فعالیت‌های نگهداری سیستم‌های پیچیده است. رویکرد این پژوهش بر روی یک مطالعه موردی در دنیای واقعی پیاده‌سازی شده است. قوامی و همکاران (۲۰۲۰) به گزارش نتایج یک پروژه عملی در زمینه ارزیابی ریسک فاضلاب شهری پرداخته‌اند. داده‌های مورد نیاز برای ارزیابی ریسک با بکارگیری داده‌های GIS جمع‌آوری شده و با روش ترکیبی AHP-DEA مورد ارزیابی قرار گرفته است.

گام‌های پیاده‌سازی تحلیل پوششی داده‌ها برای ارزیابی ریسک تقریبا مشابه گام‌های یاد شده با بکارگیری MCDM می‌باشد با این تفاوت که در این تکنیک گام وزن‌دهی و تعیین اهمیت نسبی معیارهای ارزیابی توسط مدل ریاضی انجام می‌شود.

- **اولویت‌بندی ریسک‌ها با بکارگیری منطق فازی**

منطق فازی در هر شرایطی که با عدم قطعیت در تصمیم‌گیری مواجه باشیم، کارایی خواهد داشت. تئوری فازی می‌تواند در زمینه ارزیابی ریسک در دو نوع ظاهر شود. در نوع اول زمانی که داده‌ها یا روابط ارزیابی ریسک دارای عدم قطعیت باشد، این تئوری به کمک سایر روش‌های اولویت‌بندی خواهد آمد و شاهد استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره

[1] Garcia & Schirru
[2] Data Envelopment Analysis
[3] Charnes et al.
[4] Chin et al.
[5] Carpitella

و تحلیل پوششی داده‌ها در محیط فازی خواهیم بود. نمونه‌هایی از این نوع کاربرد در پایان این بخش آورده شده است. اما نوع دوم کاربرد این تئوری استفاده از روش اولویت‌بندی فازی[1] در ارزیابی ریسک است که نمونه آن در پژوهش بزداگ و همکاران (۲۰۱۵) مشاهده می‌شود. در این پژوهش از مجموعه‌های فازی نوع دوم بازه‌ای برای تجمیع نظر ارزیابان و اولویت‌بندی ریسک‌ها استفاده شده است. در مدل این پژوهش از اعداد فازی نوع دوم بازه‌ای[2] و روش رتبه‌بندی فازی استفاده شده است. کاربرد و اثربخشی رویکرد پیشنهادی این پژوهش به وسیله یک مطالعه موردی نشان داده شده است. مقایسه نتایج این پژوهش با نتایج حاصل از روش‌های قطعی نشان می‌دهد که رویکرد پیشنهادی انعطاف‌پذیری بیشتری را برای متخصصان در تصمیم‌گیری فراهم می‌کند و الگویی بهتر از عدم اطمینان را ارائه می‌دهد. رضایی و همکاران (۲۰۲۰) با انجام وزن‌دهی در شاخص‌های احتمال وقوع، احتمال کشف و شدت اثر، ریسک‌های بالقوه را شناسایی نموده و ارزیابی ریسک را با بکارگیری متغیرهای زبانی و ترکیب روش تحلیل پوششی داده‌های فازی و سیستم استنتاج فازی انجام دادند. خروجی نتایج سیستم استنتاج فازی به عنوان پارامترهای ورودی تحلیل پوششی داده‌های فازی مورد استفاده قرار گرفته است. کرمی و محمدی تمری (۱۳۹۶) پژوهشی با هدف شناسایی و رتبه‌بندی مخاطره‌های زنجیره تامین شرکت شهرک‌های کشاورزی در استان مازندران صورت داده و برای این منظور با بکارگیری نظرات خبرگان از رویکرد دلفی فازی استفاده نمودند. سپس در این پژوهش به منظور رتبه‌بندی مخاطره‌های شناسایی شده از تحلیل سلسله مراتبی فازی بهره گیری شده است.

- **اولویت‌بندی ریسک‌ها با بکارگیری تحلیل سیستم‌ها**

در اوایل دهه شصت میلادی فارستر[3] مفهومی با عنوان پویایی‌شناسی سیستم[4] مطرح نمود که بر شناسایی و تحلیل سیستم‌ها از طریق فرموله نمودن روابط علی و معلولی میان آن‌ها متمرکز بود. این مفهوم در زمینه‌های مختلفی مورد استفاده قرار گرفته است و کارایی آن به اثبات رسیده است. در زمینه ارزیابی ریسک پژوهشگران کمتری از این روش نسبت به سایر روش‌ها استفاده نموده‌اند. گاربولینو و همکاران[5] (۲۰۱۶) پژوهشی در این زمینه ارائه نموده‌اند که از پویایی‌شناسی سیستم‌ها برای اولویت‌بندی ریسک‌ها در محیط صنعت استفاده نموده است. روش این پژوهش به توسعه یک چارچوب ارزیابی ریسک با رویکرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها اختصاص داده شده که می‌تواند فعالیت‌های صنعتی پشتیبانی را پشتیبانی کند. این روش شامل ۱۰ گام است که به دو فاز اصلی تقسیم می شوند؛ مدل سازی پویای سیستم و تجزیه و تحلیل ریسک. این تجزیه و تحلیل ریسک که به صورت سیستم‌های پویا مدلسازی شده برای یک مطالعه موردی در حوزه صنایع دارویی استفاده شده است.

در ادامه پژوهش به مقایسه مقالات مرور شده از نظر روش رتبه‌بندی ریسک‌ها پرداخته شده است. جدول شماره ۱ نشان دهنده این موضوع می‌باشد.

---

[1] Fuzzy ranking method
[2] Intetval fuzzy type 2
[3] Forrester
[4] System dynamics
[5] Garbolino

جدول ۱. مقایسه مقالات مرور شده از منظر نوع روش رتبه‌بندی ریسک‌ها

ردیف	مقاله	RPN	MCDM	برنامه‌ریزی ریاضی	منطق فازی	تحلیل سیستم
۱	بوول (۲۰۰۳)	✓				
۲	گارسیا و شیرو (۲۰۰۵)	✓		✓	✓	
۳	چین و همکاران (۲۰۰۹)			✓		
۴	آگویار و همکاران (۲۰۱۰)	✓	✓			
۵	چن و وو (۲۰۱۳)	✓	✓			
۶	زاموری و گابریلی (۲۰۱۳)	✓	✓			
۷	ژانگ و همکاران (۲۰۱۳)	✓	✓			
۸	بزداگ و همکاران (۲۰۱۵)				✓	
۹	لیو و همکاران (۲۰۱۵)	✓	✓		✓	
۱۰	آنس و همکاران (۲۰۱۶)	✓				
۱۱	گاربولینو و همکاران (۲۰۱۶)					✓
۱۲	دیبونا و همکاران (۲۰۱۸)	✓				
۱۳	باقری و همکاران (۲۰۱۸)		✓	✓		
۱۴	بیان و همکاران (۲۰۱۸)		✓			
۱۵	بران و ساوینو (۲۰۱۸)	✓	✓			
۱۶	کارپیتلا و همکاران (۲۰۱۸)		✓			
۱۷	رضایی و همکاران (۲۰۲۰)			✓	✓	
۱۸	قوامی و همکاران (۲۰۲۰)		✓	✓		
۱۹	کرمی و محمدی تمری (۱۳۹۶)		✓		✓	
۲۰	امین‌طهماسبی و زارع‌پور (۱۳۹۸)		✓		✓	

بررسی مقالات پیشین که با موضوع پژوهش مرتبط می‌باشند، نشان می‌دهد که در این پژوهش‌ها از سه شاخص احتمال کشف، احتمال وقوع و شدت اثر به عنوان مبنای اصلی رتبه‌بندی ریسک‌ها استفاده شده است. با توجه به محدودیت‌هایی که شاخص RPN در موضوع ارزیابی ریسک دارد، این پژوهش با بکارگیری راهکارهای متفاوتی نسبت به رفع نواقص این روش تلاش کرده‌اند. در یکی از این پژوهش‌ها که توسط دیبونا و همکاران (۲۰۱۸) انجام شد، شاخص توسعه یافته‌ای با عنوان TERPN معرفی شد که علاوه بر سه معیار مذکور، از شاخص‌های قابلیت پیشگیری، اثربخشی و هزینه اقدامات اصلاحی استفاده نمودند. استفاده از این شاخص‌ها به همراه نکات دیگری از جمله استفاده از معیارهای کمی و کیفی به طور همزمان و روش بکارگرفته شده جهت اعتبارسنجی مدل، از دیگر نقاط برجسته این پژوهش می‌باشند. با این حال بررسی‌های انجام شده توسط نویسندگان این مقاله نشان می‌دهد شاخص TERPN نیز دارای نقیصه‌هایی است که می‌توان با چیره شدن بر آن‌ها به سطح بالاتری از اثربخشی و کارایی دست یافت. این نقاط ضعف عبارت هستند از اینکه در این روش شناسایی شده است در نظر گرفتن وزن یکسان برای شاخص‌های، وجود همپوشانی در مفهوم دو شاخص هزینه اقدامات اصلاحی و شدت اثر، عدم تفکیک هزینه‌های اقدامات اصلاحی و پیشگیرانه در محاسبه مقدار شاخص‌ها، عدم نرمال سازی شاخص سطح ریسک کل و در نتیجه بروز اشکال برای مقایسه سطح ریسک در طول زمان می‌باشد.

در این پژوهش با اصلاح این شاخص سهم هزینه‌های مربوط به اقدامات اصلاحی از سهم این هزینه‌ها در اقدامات پیشگیرانه جدا شده تا میان دو شاخص هزینه و شدت اثر از نظر تعریف همپوشانی وجود نداشته باشد. همچنین از یک روش نرمالسازی برای از بین بردن اثر متفاوت بودن تعداد ریسک‌ها در دوره‌های زمانی مختلف استفاده شده است. موضوع دیگری که در این پژوهش مورد توجه قرار گرفته است، استفاده از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها در محاسبه شاخص کارایی بدون نیاز به وزن‌دهی قبلی می‌باشد. در روش مرسوم محاسبه شاخص $TERPN$ متفاوت بودن اهمیت نسبی شاخص‌ها در نظر گرفته نشده که در مدل پیشنهادی در پژوهش حاضر، این نقطه ضعف برطرف می‌شود.

روش‌شناسی پژوهش

در این بخش از پژوهش، به طراحی مدل مفهومی پژوهش پرداخته خواهد شد. در بخش اول مبانی نظری مربوط به روش ارزیابی ریسک مبتنی بر نمره اولویت ریسکِ کارای جامع شرح داده خواهد شد و پس از آن، روش پیشنهادی این پژوهش برای اولویت‌بندی ریسک‌ها ارائه می‌گردد.

- **ارزیابی ریسک مبتنی بر $TERPN$**

همانگونه که در بخش‌های قبلی پژوهش اشاره شد، دیبونا و همکاران (۲۰۱۸) روشی برای ارزیابی ریسک پیشنهاد نمودند که در آن ریسک‌های سیستم بر مبنای یک شاخص جدید با عنوان $TERPN$ اولویت‌بندی می‌شوند. در این روش با اشاره به این که یکی از موضوعات حساس در فرایند ارزیابی ریسک انتخاب مناسب شاخص‌های ارزیابی می‌باشد، اقدام به استفاده از معیارهای جدیدی علاوه بر معیارهای مرسوم در RPN برای ارزیابی ریسک نمودند. نقاط برجسته‌ای که در این روش وجود دارد عبارتند از:

- سهولت در پیاده‌سازی
- در نظر گرفتن کلیه عوامل موثر بر اهمیت ریسک
- دقت در ارزیابی ریسک.

دیبونا و همکاران (۲۰۱۸) ادعا نمودند که مهمترین جنبه در پیاده‌سازی $FMECA$، انتخاب اقدامات اصلاحی مناسب برای کاهش سطح ریسک با تمرکز بر ریسک‌های دارای بالاترین مقادیر RPN است که بر اساس RPN، این موضوع بدون توجه به هزینه و اثربخشی اقدامات اتخاذ شده و سایر عوامل مهم دیگر انجام می‌شود. در این روش ارزیابی ریسک بر اساس گام‌های زیر انجام می‌شود:

۱- نواحی ریسک را مشخص کنید. مانند: فعالیت‌ها، ماشین آلات، محصولات و ...

۲- ریسک‌های موجود در هر ناحیه ریسک را شناسایی کنید. مانند: ریسک‌های مربوط به سلامت کارکنان، ریسک‌های مربوط به ایمنی کارکنان، ریسک‌های مربوط به جنبه‌های مدیریتی سازمان و ریسک‌های مربوط به کیفیت محصولات

۳- در هر یک از نواحی ریسک احتمال وقوع، احتمال کشف و شدت اثر را برای هر ریسک محاسبه کنید. مقیاس نمره‌دهی این شاخص‌ها به این صورت است:

- $1 \leq O_{Tasks} \leq 10, \quad 1 \leq S_{Tasks} \leq 10, \quad 1 \leq S_{Tasks} \leq 10$
- $1 \leq O_{Machines} \leq 10, \quad 1 \leq S_{Machines} \leq 10, \quad 1 \leq S_{Machines} \leq 10$
- $1 \leq O_{Products} \leq 10, \quad 1 \leq S_{Products} \leq 10, \quad 1 \leq S_{Products} \leq 10$
- $\ldots$

در این عبارات O پارامتر نشان دهنده احتمال رخداد، S شدت اثر و D احتمال کشف می‌باشد.

۴- برای هر ریسک مقدار RPN را محاسبه کنید.

$$RPN_i = O_i \times S_i \times D_i$$

رابطه ۳)

۵- مقدار شاخص قابلیت پیشگیری (P) را برای هر ریسک محاسبه کنید.

برای محاسبه P از جدول مقیاس‌بندی (جدول شماره ۲) استفاده شود.

۶- مقدار شاخص اثربخشی (E) را برای هر ریسک محاسبه کنید.

برای محاسبه E از چک لیست ارائه شده در جدول شماره ۳ استفاده شود.

جدول ۲. مقیاس‌بندی شاخص P

مقیاس	تعریف	مقدار P
بسیار کم	هیچ اقدام پیشگیرانه‌ای ممکن نیست	۱
کم	تعداد بسیار کمی اقدام پیشگیرانه ممکن می‌باشد	۲/۵
متوسط	تعداد کمی اقدام پیشگیرانه ممکن می‌باشد	۵
زیاد	تعداد زیادی اقدام پیشگیرانه ممکن می‌باشد	۷/۵
بسیار زیاد	تعداد بسیار زیادی اقدام پیشگیرانه ممکن می‌باشد	۱۰

در چک لیست جدول شماره ۳ هر پاسخ «بلی» معادل یک نمره است. در نتیجه مقدار شاخص E بین ۰ تا ۱۰ می‌باشد.۷- مقدار شاخص هزینه اقدامات اصلاحی (C) را برای هر ریسک محاسبه کنید.

این شاخص عبارتست از درصد هزینه اقدام اصلاحی از کلیه هزینه‌هایی که سازمان بابت پیاده‌سازی استراتژی‌های مدیریت ریسک انجام می‌دهد و بر اساس جدول مقیاس‌بندی (جدول شماره ۴) محاسبه می‌شود.

جدول ۳. چک لیست محاسبه شاخص اثربخشی

سوال	پاسخ بلی / خیر
۱. آیا ریسک به طور کامل در سازمان درک شده است؟	
۲. آیا استراتژی‌های پیشگیرانه یا حفاظتی، تمامی اطلاعات موجود در مورد ریسک را در نظر گرفته است؟	
۳. آیا استراتژی‌های پیشگیرانه یا حفاظتی در ارتباط با این ریسک هم راستا با اهداف سازمان می‌باشد؟	
۴. آیا استراتژی‌های پیشگیرانه یا حفاظتی در ارتباط با این ریسک هم راستا با فرایندهای جاری در سازمان می‌باشد؟	
۵. آیا استراتژی‌های پیشگیرانه یا حفاظتی در ارتباط با این ریسک نیاز به حفاظت از اموال، افراد و محیط زیست را تامین می‌کند؟	
۶. آیا پیاده‌سازی استراتژی‌های پیشگیرانه یا حفاظتی در ارتباط با این ریسک در مدت زمان مناسبی ممکن است؟	
۷. آیا توان مدیریتی کافی برای پیاده‌سازی استراتژی‌های پیشگیرانه یا حفاظتی در ارتباط با این ریسک در سازمان	

سوال	پاسخ بلی / خیر
وجود دارد؟	
۸. آیا فرد یا گروه مسئول در ارتباط با پیاده‌سازی استراتژی‌های پیشگیرانه یا حفاظتی در ارتباط با این ریسک به طور صریح در سازمان مشخص می‌باشد؟	
۹. آیا ریسک‌های دیگری که به علت پیاده‌سازی پیاده‌سازی استراتژی‌های پیشگیرانه یا حفاظتی در ارتباط با این ریسک ممکن اس به وجود آیند، در نظر گرفته شده است؟	
۱۰. آیا استراتژی‌های پیشگیرانه یا حفاظتی در ارتباط با این ریسک به راحتی توسط مدیران سازمان قابل فهم می‌باشند؟	
مقدار شاخص E (تعداد مواردی که پاسخ آن‌ها «بلی» می‌باشد)	

جدول ٤. مقیاس‌بندی محاسبه شاخص C

درصدی از هزینه‌هایی که سازمان بابت پیاده‌سازی استراتژی‌های مدیریت ریسک باید بپردازد	مقدار C	درصدی از هزینه‌هایی که سازمان بابت پیاده‌سازی استراتژی‌های مدیریت ریسک باید بپردازد	مقدار C
۱ تا ۱۰ درصد	۱	۵۱ تا ۶۰ درصد	۶
۱۱ تا ۲۰ درصد	۲	۶۱ تا ۷۰ درصد	۷
۲۱ تا ۳۰ درصد	۳	۷۱ تا ۸۰ درصد	۸
۳۱ تا ۴۰ درصد	۴	۱ تا ۹۰ درصد	۹
۴۱ تا ۵۰ درصد	۵	۹۱ تا ۱۰۰ درصد	۱۰

۸- برای هر ریسک مقدار ERPN[1] را محاسبه کنید.

مقدار شاخص ERPN بر اساس رابطه ۴ محاسبه می‌شود:

رابطه ۴)
$$ERPN = \frac{S \times O \times D \times P \times E}{C} = \frac{RPN \times P \times E}{C}$$

۹- مقدار شاخص TERPN را برای هر محدوده ریسک از طریق جمع مقادیر ERPN بدست آورید.

رابطه ۵)
$$TERPN_j = \sum_i ERPN_i$$

در این رابطه اندیس i برای ریسک‌ها و اندیس j برای نواحی ریسک بکار رفته است.

۱۰- سطح ریسک کل را با بکارگیری مجموع مقادیر $TERPN_j$ بدست آورید.

رابطه ۶)
$$TERPN_{global} = \sum_j TERPN_j$$

روش پیشنهادی این پژوهش برای ارزیابی ریسک، روشی توسعه یافته بر مبنای TERPN است. در ادامه روش پیشنهادی پژوهش تشریح شده است. پیش از ارائه گام‌های روش، نقاط ضعف و محدودیت‌های روش TERPN بررسی شده و راهکار چیره شدن بر آن‌ها تعیین می‌شود.

اولین نکته‌ای که در بررسی انجام شده توسط پژوهشگران مشخص شده، همپوشانی مفهوم شدت اثر (S) و هزینه اقدامات اصلاحی (C) می‌باشد. ریسک به عنوان یک پیشامد دارای اثراتی متفاوتی می‌باشد. این اثرات می‌توانند از انواع

[1] Efficient Risk Priority Number

اثرات جانی (صدمه بدنی، شکستگی، جراحت و ...)، اثرات معنوی (از دست دادن اطلاعات با ارزش) و یا اثرات مالی (خرابی ماشین آلات، از بین رفتن قطعات و ...) باشند. پس از آن که اثرات مالی ریسک پدیدار شود، برای رفع آن نیاز به اقدامات اصلاحی خواهد بود. مثلا در صورتی که یک قطعه به خصوص در یکی از ماشین آلات دچار خرابی شود، باید نسبت به تعمیر یا جایگزینی اقدام نمود. انجام تعمیر و یا جایگزینی این قطعه یک اقدام اصلاحی محسوب می‌شود که مستلزم صرف هزینه است. در نتیجه دو شاخص S و C دارای همپوشانی از نظر مفهوم می‌باشند.

از طرف دیگر با ثابت فرض کردن سایر شاخص‌ها، هر چه شدت اثر و هزینه اقدام اصلاحی یک ریسک بیشتر باشد، آن ریسک از اولویت بیشتری برخوردار است. در نتیجه برخلاف آنچه که در شاخص TERPN داده می‌شود، شاخص C نباید در مخرج کسر قرار بگیرد. در این پژوهش هزینه انجام اقدامات اصلاحی (C^c) و هزینه انجام اقدامات پیشگیرانه (C^p) مستقل از یکدیگر فرض می‌شوند. هزینه انجام اقدامات اصلاحی بخشی از معیار شدت اثر است و هزینه انجام اقدامات پیشگیرانه، معیاری است که باید در مخرج این کسر قرار بگیرد. به این دلیل که با ثابت فرض کردن سایر شاخص‌ها، هرچه برای یک ریسک هزینه کمتری برای انجام اقدامات پیشگیرانه مورد نیاز باشد، آن ریسک باید در اولویت بالاتری قرار بگیرد.

محدودیت دیگری که در روش معمول TERPN وجود دارد و رفع آن دارای اهمیت است، عدم اختصاص وزن به معیارهای ارزیابی می‌باشد. در واقع اهمیت معیارهای ارزیابی ریسک در این روش یکسان در نظر گرفته می‌شوند. می‌توان با تخصیص وزن به این معیارها و اصلاح رابطه محاسبه ERPN، روش مذکور را توسعه داد. بر این اساس رابطه جدیدی برای محاسبه ERPN به صورت رابطه ۷ تعریف می‌شود:

$$ERPN^{re} = \frac{w_s \times S + w_O \times O + w_D \times D + w_P \times P + w_E \times E}{w_C \times C^p}$$ رابطه ۷)

در رابطه ۷، $ERPN^{re}$ شاخص اصلاح شده $ERPN$ می‌باشد و مقادیر w_i وزن هر یک از معیارها می‌باشند که مجموع آن‌ها برای معیارهای صورت کسر و مخرج برابر یک خواهد بود. با توجه به اینکه فقط یک معیار در مخرج کسر وجود دارد در نتیجه $w_C = 1$ است.

$$w_s + w_O + w_D + w_P + w_E = 1$$ رابطه ۸)

برای معیار C^p هم با توجه به اینکه تنها یک معیار در مخرج کسر می‌باشد، $w_{C^p} = 1$ خواهد بود.

روش‌های مختلفی برای تعیین اهمیت نسبی معیارهای ارزیابی وجود دارد. یکی از این روش‌ها، تحلیل پوششی داده‌ها می‌باشد. تحلیل پوششی داده‌ها به عنوان ابزاری محبوب برای رتبه‌بندی تلقی می‌شود. این ابزار، از زمان پیدایش آن در سال ۱۹۷۰ رشد مداوم و توأمانی در مطالعات نظری و تجربی داشته است، از این رو هم از بعد ذاتی غنی شده و هم در ابعاد تجربی و عملیاتی، پژوهش‌های کاربردی فراوانی را صورت داده است (کاظمی و فائضی‌راد، ۱۳۹۷). این تکنیک یک روش غیر پارامتریک برای تجزیه و تحلیل کارایی جهت مقایسه گزینه‌ها (واحدها) نسبت به بهترین گزینه موجود (مرز کارآمد) است. از لحاظ ریاضی، DEA یک روش مبتنی بر برنامه‌ریزی ریاضی برای ارزیابی کارایی نسبی مجموعه‌ای از واحدهای تصمیم‌گیری با چند ورودی و چند خروجی است. تابع هدف مدل پایه‌ای تحلیل پوششی داده‌ها

ماکزیمم‌سازی کارایی هر گزینه است. در این روش وزن معیارها توسط مدل به گونه‌ای تعیین می‌شود که مقدار کارایی تمامی گزینه‌ها از مقدار واحد بیشتر نباشد. در نتیجه نیازی به وزن‌دهی توسط افراد و انجام محاسبات زمان‌بر پیچیده در این زمینه وجود ندارد. همچنین بکارگیری این روش می‌تواند از بروز اختلاف در ارتباط با وزن معیارها جلوگیری نموده و اهمیت نسبی معیارها را تحت تاثیر قضاوت‌های شخصی قرار ندهد.

$$max \frac{\sum_{r=1}^{s} u_r y_{ro}}{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{io}}$$ رابطه ۹)

$$\frac{\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}} \leq 1 \qquad \forall j$$ رابطه ۱۰)

$$u_r, v_i \geq 0 \qquad \forall r, i$$ رابطه ۱۱)

در روابط ۹، ۱۰ و ۱۱ مقدار کسر $\frac{\sum_{r=1}^{s} u_r y_{ro}}{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{io}}$ معادل کارایی گزینه‌ی o می‌باشد. s تعداد معیارهای خروجی، m تعداد معیارهای ورودی، u_r متغیر نشان دهنده وزن معیار خروجی rام، y_{ro} مقدار معیار خروجی rام برای گزینه o، v_i متغیر نشان دهنده وزن معیار ورودی iام و x_{io} مقدار معیار ورودی rام برای گزینه o است.

همانگونه که در شاخص $ERPN^{re}$ مشاهده می‌شود، مخرج این شاخص فاقد متغیر w_i می‌باشد. در چنین شرایطی می‌توان از مدل‌های تحلیل پوششی بدون ورودی‌های صریح (DEA-WEI[1]) الگو گرفت. در پژوهشی که در سال ۲۰۱۱ توسط لیو و همکاران[2] انجام شد، توسعه‌ای بر روش DEA صورت گرفت که بدون تقسیم کردن معیارها به دو دسته ورودی و خروجی به حل مسأله پرداخته می‌شود. همانطور که بیان شد این مدل با نام تحلیل پوششی داده‌ها بدون ورودی صریح شناخته شده است. در این مدل به جای استفاده از عبارت کارایی از مفهوم مطلوبیت برای رتبه‌بندی واحدهای تصمیم گیرنده استفاده می‌شود. در واقع در این مدل تمام معیارها از جنس خروجی در نظر گرفته می‌شوند و مجموع مقادیر حاصلضرب هر معیار در وزن آن، به عنوان مطلوبیت هر واحد تصمیم‌گیرنده در نظر گرفته می‌شود. در پژوهش دیگری که توسط یانگ و همکاران[3] (۲۰۱۷) صورت گرفته به توسعه مدل ارائه شده توسط لیو و همکاران (۲۰۱۱) پرداخته شده است. این نویسندگان مدلی جهت بدست آوردن بیشینه مطلوبیت هر واحد تصمیم‌گیرنده با بکارگیری یک بردار وزنی ارائه نمودند. مدل این پژوهش به گونه‌ای طراحی شده است که با یک مرتبه اجرا، مطلوبیت را برای تمامی واحدهای تصمیم‌گیرنده محاسبه می‌نماید. در واقع در این مدل بیشینه مقدار اختلاف با بهترین مقدار مطلوبیت برای مجموعه‌ی واحدهای تصمیم‌گیرنده ($minmax$)، کمینه خواهد شد و بدین ترتیب با بدست آوردن یک بردار وزن واحد برای تمامی واحدهای تصمیم‌گیرنده، بهترین مقادیر مطلوبیت بدست می‌آید. در روابط شماره ۱۲ تا ۱۶ نحوه مدلسازی آن نشان داده شده است.

$$\min \theta$$ رابطه ۱۲)

$$d_j \leq \theta \qquad \forall j$$ رابطه ۱۳)

[1] DEA-Without Explicit Input
[2] Liu et al
[3] Yang

$$\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} + d_j = 1 \qquad \forall j$$ رابطه ۱۴)

$$\sum_{r=1}^{s} u_r = 1$$ رابطه ۱۵)

$$u_r \geq \varepsilon \qquad \forall r$$ رابطه ۱۶)

در این مدل $\boldsymbol{d_j}$ نشان دهنده مقدار اختلاف مطلوبیت واحد با بیشینه مطلوبیت قابل دستیابی است. $\boldsymbol{\theta}$ متغیر کمکی برای خطی‌سازی مدل است. با توجه به این توضیحات مدل پیشنهادی این پژوهش ارائه می‌گردد.

یافته‌های پژوهش

گام‌های ارزیابی ریسک با بکارگیری روش پیشنهادی به صورتی که در ادامه آورده شده می‌باشد.

۱- نواحی ریسک را مشخص کنید.

۲- ریسک‌های موجود در هر ناحیه ریسک را شناسایی کنید.

۳- برای هر ریسک احتمال وقوع و احتمال کشف را بر اساس مقیاس‌بندی ۱ تا ۱۰ تعیین کنید.

۴- برای هر ریسک مقدار شدت اثر را تعیین کنید. در تعیین مقدار شدت اثر یک ریسک، اثرات جانی، مالی و معنوی مدنظر قرار گیرد.

۵- مقدار شاخص قابلیت پیشگیری (P) را برای هر ریسک بر اساس مقیاس جدول شماره ۲ تعیین کنید.

۶- مقدار شاخص اثربخشی (E) را برای هر ریسک برا اساس چک لیست جدول ۳ تعیین کنید.

۷- مقدار شاخص هزینه انجام اقدامات پیشگیرانه (C^p) را برای هر ریسک بر اساس مقیاس‌بندی جدول شماره ۵ تعیین کنید.

جدول ۵. مقیاس‌بندی مقدار شاخص C^p

درصدی از هزینه‌هایی که سازمان بابت پیاده‌سازی استراتژی‌های مدیریت ریسک پرداخت می‌کند	۱-۱٪	۲۰-۱۱٪	۳۰-۲۱٪	۴۰-۳۱٪	۵۰-۴۱٪	۶۰-۵۱٪	۷۰-۶۱٪	۸۰-۷۱٪	۹۰-۸۱٪	۱۰۰-۹۱٪
مقدار C^p	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰

۸- وزن معیارها را با بکارگیری مدل تحلیل پوششی داده‌ها (رابطه شماره ۱۷ تا ۲۱)تعیین کنید.

$$\min \theta$$ رابطه ۱۷)

$$d_j \leq \theta \qquad \forall j$$ رابطه ۱۸)

$$w_s \times S + w_O \times O + w_D \times D + w_P \times P + w_E \times E + d_j = 1 \qquad \forall j$$ رابطه ۱۹)

$$w_s + w_O + w_D + w_P + w_E = 1$$ رابطه ۲۰)

$$w_i \geq \varepsilon \qquad \forall r$$ رابطه ۲۱)

در این مدل j بیانگر اندیس مربوط به هر ریسک و $i \in \{S, O, D, P, E\}$ است

۹- مقدار شاخص $ERPN^{re}$ را براساس رابطه شماره ۲۲ برای هر ریسک محاسبه کنید.

$$ERPN_j^{re} = \frac{w_s \times S + w_O \times O + w_D \times D + w_P \times P + w_E \times E}{C^p}$$ رابطه ۲۲)

۱۰- مقدار شاخص $TERPN^{re}$ را به عنوان سطح ریسک کل از طریق جمع مقادیر $ERPN^{re}$ بدست آورید.

$$TERPN_{global}^{re} = \sum_j ERPN_j^{re}$$ رابطه ۲۳)

۱۱- برای مقایسه سطح ریسک کل در شرایط مختلف (بازه‌های زمانی مختلف، قبل و بعد از انجام اقدامات پیشگیرانه، قبل و بعد از انجام اقدامات اصلاحی و ...) از رابطه ۲۴ استفاده کنید. شاخص $IRPN$[1] نشان دهنده میزان تغییرات در سطح ریسک کل سازمان است که به صورت درصد گزارش می‌شود.

$$IRPN = \frac{{}^{1}/_{J^*}\ TERPN_{global}^{re*} - {}^{1}/_{J}\ TERPN_{global}^{re}}{{}^{1}/_{J}\ TERPN_{global}^{re}}$$ رابطه ۲۴)

در این رابطه J بیانگر تعداد ریسک‌ها در حالت یکم و J^* بیانگر تعداد ریسک‌ها در حالت دوم است.

جدول ٦. مقدار معیارهای مربوط به ارزیابی ریسک‌ها

ردیف	ناحیه ریسک	عنوان ریسک	S	O	D	P	E	C^p
۱	فعالیت‌ها	عملکرد نادرست سرکارگر	۲	۲	۲/۴	۵	۷	۳
۲		عملکرد نادرست مکانیک فنی	۲	۳/۲	۱/۱۱	۲/۵	۵	۱
۳		عملکرد نادرست مسئول آموزش	۱	۳/۵	۲/۳۷	۵	۶	۱۰
۴		عملکرد نادرست مسئول فناوری اطلاعات	۳	۲	۱/۸۲	۵	۷	۶
۵		عملکرد نادرست مسئول کنترل کیفیت	۱	۳/۱	۱/۹۴	۲/۵	۷	۳
۶		عملکرد نادرست نگهبان	۱	۱/۵	۶/۲	۲/۵	۸	۳
۷	ماشین آلات	وقوع اشکال در بدنه ماشین بافندگی	۲/۵	۳	۴/۵۶	۵	۶	۲
۸		وقوع اشکال در ابزار اندازه‌گیری	۳/۴	۲	۴/۵۶	۲/۵	۴	۸
۹		وقوع اشکال در دستگاه روکش	۱/۵	۴	۲/۲۵	۵	۶	۳
۱۰		وقوع اشکال در حوضچه رنگ	۱	۲	۶/۳	۵	۷	۲
۱۱	کیفیت محصولات	مشکل در عملکرد دستگاه بافندگی	۲/۲	۳/۲	۱/۵۲	۵	۵	۳
۱۲		مشکل در عملکرد دستگاه خشکشویی محصولات	۲	۴	۱	۲/۵	۶	۲
۱۳		مشکل در عملکرد دستگاه پرداخت پارچه	۲/۲	۳/۵	۱/۳۹	۵	۵	۵

- **اعتبارسنجی روش ارزیابی**

برای اینکه بتوان نتایج بدست آمده از روش پیشنهادی این پژوهش را با روش معمول TERPN مقایسه نمود، به منظور بررسی اعتبار روش پیشنهادی از داده‌های ارائه شده در مثال نمونه پژوهش دیبونا و همکاران (۲۰۱۸) استفاده شده است. داده‌های بکار رفته در این مثال از یک شرکت نساجی بدست آمده است. در این شرکت ریسک‌ها در سه ناحیه ریسک های مربوط به فعالیت‌های سازمان، ریسک‌های مربوط به ماشین‌آلات و ریسک‌های مربوط به کیفیت محصولات تولیدی دسته‌بندی شده‌اند. اطلاعات مربوط به مقادیر معیارها در جدول شماره ۶ نشان داده شده است.

[1] Improved Risk Priority Number

پس از انجام ارزیابی، ریسک‌ها در سه دسته قابل قبول[1]، قابل تحمل[2] و غیرقابل تحمل[3] تقسیم می‌شوند. این تقسیم‌بندی براساس مقیاس‌های ارائه شده در جدول شماره ۷ انجام می‌شود.

جدول ۷. مقیاس دسته‌بندی ریسک‌ها بر اساس سطح ریسک

نوع ریسک	سطح ریسک
قابل قبول	۲۰ درصد ریسک‌های دارای کمترین سطح ریسک
قابل تحمل	۵۰ درصد میانی ریسک‌ها از نظر سطح ریسک
غیرقابل تحمل	۳۰ درصد ریسک‌های دارای بیشترین سطح ریسک

سپس برای ریسک‌هایی که در سطح غیرقابل تحمل قرار داشته باشند، اقدام اصلاحی و یا اقدام پیشگیرانه در نظر گرفته می‌شود. هر یک از این اقدامات از یک طرف مستلزم صرف هزینه و از طرف دیگر موجب کاهش سطح ریسک خواهد شد. از این موضوع برای بررسی اعتبار مدل پیشنهادی و مقایسه آن با روش متداول TERPN استفاده شده است. میزان هزینه و اثرگذاری بر سطح ریسک هر اقدام، در جدول شماره ۸ گزارش شده است. اعداد مربوط به مقدار هزینه انجام اقدام اصلاحی یا پیشگیرانه در پژوهش دیبونا و همکاران (۲۰۱۸) وجود داشته و از این منبع برداشت شده است. همچنین میزان تاثیر بر کاهش معیارهای شدت اثر، احتمال کشف و احتمال رخداد در پیوست‌های این پژوهش وجود دارد و برای محاسبه RPN پس از اعمال روش‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. درباره دو شاخص قابلیت پیشگیری و اثربخشی و همچنین شاخص هزینه اقدامات اصلاحی، که شاخص جدید پیشنهادی این پژوهش می‌باشد، از سه نفر خبره کمک گرفته شده است. دو نفر از این افراد از متخصصین حوزه صنعت بوده که یک نفر در صنعت نساجی فعالیت داشته است. نفر سوم از خبرگان دانشگاهی بوده است. در انتخاب این افراد سعی شده تا نظرات دریافتی تلفیقی از دانش تجربی و آکادمیک را فراهم نماید. سپس مقادیر مورد نظر ایشان میانگین‌گیری و گزارش شده است.

جدول ۸. تاثیر انجام اقدامات اصلاحی و پیشگیرانه بر معیارها و میزان هزینه انجام هر کدام

ناحیه ریسک	عنوان ریسک	اقدام اصلاحی یا پیشگیرانه مناسب	مقدار هزینه	میزان تاثیر بر کاهش معیار					
				S	O	D	P	E	C^p
فعالیت‌ها	عملکرد نادرست سرکارگر	آموزش کارکنان (A_1)	۲۰۰۰	31%	18%	0%	41%	10%	39%
	عملکرد نادرست مکانیک فنی	جایگزینی افراد و یا قطعات (A_2)	۱۰۰۰	58%	60%	49%	39%	45%	38%
	عملکرد نادرست مسئول آموزش	نصب علائم و دستورالعمل‌ها در واحد تولید (A_4)	۲۲۰۰	11%	0%	42%	21%	20%	35%
	عملکرد نادرست مسئول فناوری اطلاعات	آموزش کارکنان (A_1)	۱۰۰۰۰	30%	7%	29%	17%	47%	19%
	عملکرد نادرست مسئول	نصب علائم و	۳۵۰۰	4%	11%	10%	14%	38%	19%

[1] Acceptable
[2] Tolerable
[3] Unacceptable

ناحیه ریسک	عنوان ریسک	اقدام اصلاحی یا پیشگیرانه مناسب	مقدار هزینه	میزان تاثیر بر کاهش معیار					
				S	O	D	P	E	C^p
	کنترل کیفیت	دستورالعمل‌ها در محیط عمومی (A_3)							
	عملکرد نادرست نگهبان	نصب علائم و دستورالعمل‌ها در محیط عمومی (A_3)	۳۰۰۰	16%	49%	45%	19%	8%	2%
ماشین آلات	وقوع اشکال در بدنه ماشین بافندگی	جایگزینی افراد و یا قطعات (A_2)	۲۳۰۰	0%	0%	34%	0%	16%	0%
	وقوع اشکال در ابزار اندازه‌گیری	نصب علائم و دستورالعمل‌ها در محیط عمومی (A_3)	۷۰۰۰	12%	32%	1%	28%	9%	48%
	وقوع اشکال در دستگاه روکش	آموزش کارکنان (A_1)	۳۰۰۰	15%	5%	10%	0%	15%	18%
	وقوع اشکال در حوضچه رنگ	آموزش کارکنان (A_1)	۲۰۰۰	14%	0%	8%	13%	0%	10%
کیفیت محصولات	مشکل در عملکرد دستگاه بافندگی	آموزش کارکنان (A_1)	۲۰۰۰	0%	13%	49%	38%	12%	0%
	مشکل در عملکرد دستگاه خشکشویی محصولات	جایگزینی افراد و یا قطعات (A_2)	۱۵۰۰	44%	0%	35%	26%	0%	21%
	مشکل در عملکرد دستگاه پرداخت پارچه	نصب علائم و دستورالعمل‌ها در محیط عمومی (A_3)	۳۵۰۰	0%	36%	36%	5%	0%	19%

پیاده‌سازی دو روش $TERPN$ (روش معمول) و $TERPN^{re}$ (روش پیشنهادی این پژوهش) منجر به اولویت‌بندی‌های متفاوتی برای ریسک‌های مطرح شده در جدول شماره ۶ شده است. تفاوت در رتبه‌بندی ریسک‌ها را می‌توان در جدول شماره ۹ مشاهده نمود.

جدول ۹. مقدار معیارهای مربوط به ارزیابی ریسک‌ها

j	ناحیه ریسک	عنوان ریسک	$TERPN$			$TERPN^{re}$		
			$ERPN_j \times 10^{-2}$	رتبه	سطح ریسک	$ERPN_j^{re}$	رتبه	سطح ریسک
۱	فعالیت‌ها	عملکرد نادرست سرکارگر	۱/۱۲۰۰	۴	غیرقابل تحمل	۱/۱۶۸۷	۶	قابل تحمل
۲		عملکرد نادرست مکانیک فنی	۰/۸۸۸۰	۶	قابل تحمل	۲/۸۰۲۷	۱	غیرقابل تحمل
۳		عملکرد نادرست مسئول آموزش	۰/۲۴۸۹	۱۳	قابل قبول	۰/۲۶۰۵	۱۳	قابل قبول
۴		عملکرد نادرست مسئول فناوری اطلاعات	۰/۶۳۷۰	۷	قابل تحمل	۰/۶۸۴۴	۱۰	قابل تحمل
۵		عملکرد نادرست مسئول کنترل	۰/۳۵۰۸	۱۲	قابل قبول	۰/۸۸۴۷	۹	قابل تحمل

j	ناحیه ریسک	عنوان ریسک	$ERPN_j \times 10^{-2}$	رتبه	سطح ریسک	$ERPN_j^{re}$	رتبه	سطح ریسک
			$TERPN$			$TERPN^{re}$		
		کیفیت						
۶		عملکرد نادرست نگهبان	۰/۶۲۰۰	۸	قابل تحمل	۱/۲۴۶۰	۵	قابل تحمل
۷	ماشین آلات	وقوع اشکال در بدنه ماشین بافندگی	۵/۱۳۰۰	۱	غیرقابل تحمل	۲/۰۷۶۵	۲	غیرقابل تحمل
۸		وقوع اشکال در ابزار اندازه‌گیری	۰/۳۸۷۶	۱۱	قابل قبول	۰/۵۴۱۹	۱۲	قابل قبول
۹		وقوع اشکال در دستگاه روکش	۱/۳۵۰۰	۳	غیرقابل تحمل	۰/۹۸۳۸	۸	قابل تحمل
۱۰		وقوع اشکال در حوضچه رنگ	۲/۲۰۵۰	۲	غیرقابل تحمل	۱/۸۰۹۸	۳	غیرقابل تحمل
۱۱	کیفیت محصولات	مشکل در عملکرد دستگاه بافندگی	۰/۸۹۱۷	۵	قابل تحمل	۱/۰۲۸۶	۷	قابل تحمل
۱۲		مشکل در عملکرد دستگاه خشکشویی محصولات	۰/۶۰۰۰	۹	قابل تحمل	۱/۴۹۷۵	۴	غیرقابل تحمل
۱۳		مشکل در عملکرد دستگاه پرداخت پارچه	۰/۵۳۵۲	۱۰	قابل تحمل	۰/۶۱۲۸	۱۱	قابل قبول

تفاوت در رتبه‌بندی ریسک‌ها در دو روش سبب شده است تا ریسک‌هایی که در محدوده «غیر قابل تحمل» قرار می‌گیرند، در هر دو روش با هم متفاوت باشند. در نتیجه اقدامات اصلاحی و پیشگیرانه‌ای که برای هر کدام از این دو حالت باید اتخاد گردد، با دیگری متفاوت است. برای اینکه از درستی نتایج روش پیشنهادی اطمینان حاصل نمود، دو نوع مقایسه میان نتایج بدست آمده از روش پیشنهادی و روش معمول TERPN انجام شده است. در این دو مقایسه، یک بار از شاخص $TERPN$ و بار دیگر از شاخص $TERPN^{re}$ برای محاسبه سطح ریسک قبل و بعد از انجام اقدامات استفاده شده است. بر اساس این اولویت‌بندی‌ها، اقدامات اصلاحی، پیشگیرانه و هزینه هر کدام از آن‌ها به همراه میزان تاثیرگذاری آن بر پارامترها در جدول شماره ۱۰ گزارش شده است.

تفاوت در رتبه‌بندی ریسک‌ها در دو روش سبب شده است تا ریسک‌هایی که در محدوده «غیر قابل تحمل» قرار می‌گیرند، در هر دو روش با هم متفاوت باشند. در نتیجه اقدامات اصلاحی و پیشگیرانه‌ای که برای هر کدام از این دو حالت باید اتخاد گردد، با دیگری متفاوت است. برای اینکه از درستی نتایج روش پیشنهادی اطمینان حاصل نمود، دو نوع مقایسه میان نتایج بدست آمده از روش پیشنهادی و روش معمول TERPN انجام شده است. در این دو مقایسه، یک بار از شاخص $TERPN$ و بار دیگر از شاخص $TERPN^{re}$ برای محاسبه سطح ریسک قبل و بعد از انجام اقدامات استفاده شده است. بر اساس این اولویت‌بندی‌ها، اقدامات اصلاحی، پیشگیرانه و هزینه هر کدام از آن‌ها به همراه میزان تاثیرگذاری آن بر پارامترها در جدول شماره ۱۰ گزارش شده است.

جدول ۱۰. مقایسه نتایج دو روش

اولویت‌بندی بر اساس $TERPN$						اولویت‌بندی بر اساس $TERPN^{re}$					
شماره ریسک‌های غیر قابل تحمل	نوع اقدام	مقدار هزینه	سطح ریسک قبل از اقدام		سطح ریسک پس از اقدام		شماره ریسک‌های غیر قابل تحمل	نوع اقدام	مقدار هزینه	سطح ریسک قبل از اقدام		سطح ریسک پس از اقدام	
			$ERPN_j^{re}$	$ERPN_j \times 10^{-2}$	$ERPN_j^{re}$	$ERPN_j \times 10^{-2}$				$ERPN_j^{re}$	$ERPN_j \times 10^{-2}$	$ERPN_j^{re}$	$ERPN_j \times 10^{-2}$
۱	A_1	۲۰۰۰	۱/۱۲۰۰	۱/۱۶۸۷	۰/۶۱۲۹	۱/۴۳۵۴	۲	A_2	۱۰۰۰	۰/۸۸۸۰	۰/۸۰۲۷	۰/۰۴۱۲	۱/۹۶۸۸
۷	A_2	۲۳۰۰	۵/۱۳۰۰	۵/۱۳۰۰	۱/۳۷۰۶	۱/۷۰۵۶	۷	A_2	۲۳۰۰	۵/۱۳۰۰	۲/۰۷۶۵	۱/۳۷۰۶	۱/۷۰۵۶
۹	A_1	۳۰۰۰	۱/۳۵۰۰	۰/۹۸۳۸	۱/۰۱۷۰	۰/۹۱۲۳	۱۰	A_1	۲۰۰۰	۲/۲۰۵۰	۱/۸۰۹۸	۱/۶۸۶۴	۱/۳۳۷۳
۱۰	A_1	۲۰۰۰	۲/۲۰۵۰	۱/۸۰۹۸	۱/۶۸۶۴	۱/۳۳۷۳	۱۲	A_2	۱۵۰۰	۰/۶۰۰۰	۱/۴۹۷۵	۰/۲۰۴۶	۰/۹۵۵۷
مجموع		۹۳۰۰	۹/۸۰۵	۹/۰۹۲۳	۴/۶۸۶۹	۵/۵۹۰۶	مجموع		۶۸۰۰	۸/۸۲۳	۸/۱۸۶۵	۳/۳۰۲۸	۴/۷۲۷۴

بررسی اعداد جدول ۱۰ نشان می‌دهد در صورتی که بر اساس اولویت‌بندی روش TERPN عمل کنیم، بر مبنای شاخص ERPN سطح ریسک‌های غیر قابل تحمل از ۹/۸۰۵ به ۴/۶۸۶۹ (۵۲/۲ درصد) کاهش می‌یابد. همچنین چنانچه مبنا شاخص $ERPN^{re}$ باشد سطح این ریسک‌ها از ۹/۰۹۲۳ به ۵/۵۹۰۶ (۳۸/۵ درصد) کاهش می‌یابد.

در صورتی که بر اساس اولویت‌بندی روش $TERPN^{re}$ عمل شود، بر مبنای شاخص ERPN سطح ریسک‌های غیر قابل تحمل از ۸/۸۲۳ به ۳/۳۰۲۸ (۶۲/۶ درصد) کاهش می‌یابد. همچنین چنانچه مبنا شاخص $ERPN^{re}$ باشد سطح این ریسک‌ها از ۸/۱۸۶۵ به ۴/۷۲۷۴ (۴۲/۳ درصد) کاهش می‌یابد.

مقایسه این نتایج نشان می‌دهد که رتبه‌بندی بر اساس اولویت‌بندی ارائه شده در روش پیشنهادی این پژوهش، ریسک‌هایی را انتخاب می‌کند که بر مبنای هر دو شاخص ERPN و $ERPN^{re}$ باعث کاهش بیشتری در سطح ریسک‌های غیر قابل تحمل می‌شود. به بیان دیگر از اولویت‌بندی ریسک‌ها بر اساس روش پیشنهادی این پژوهش استفاده شود بر مبنای شاخص ERPN سطح ریسک‌های مد نظر به مقدار ۶۲/۶ درصد کاهش خواهد یافت در حالی که این عدد برای روش معمول TERPN، ۵۲/۵ درصد است (۱۰/۱ درصد کاهش بیشتر در سطح ریسک‌های غیر قابل تحمل). همچنین در صورتی که شاخص $ERPN^{re}$ مبنا باشد، روش معمول ۳۸/۵ درصد کاهش ریسک را گزارش می‌کند درحالی که در روش پیشنهادی کاهش ریسک به مقدار ۴۲/۳ درصد است (۳/۸ درصد کاهش بیشتر در سطح ریسک‌های غیر قابل تحمل).

درباره هزینه انجام اقدامات اصلاحی و پیشگیرانه نیز مشاهده می‌شود که براساس اولویت‌بندی روش پیشنهادی مقدار هزینه کلیه اقدامات برابر ۶۸۰۰ واحد بوده که در روش معمول این مقدار برابر ۹۳۰۰ واحد است (۲۶/۸ ٪ کاهش هزینه).

در مجموع می‌توان یه این صورت نتیجه‌گیری کرد که روش پیشنهادی این پژوهش در مقایسه با روش معمول TERPN توانسته است با چیره شدن بر محدودیت‌ها و اشکلات این روش، به طور همزمان میزان بیشتری از کاهش ریسک (اثربخشی) و کاهش هزینه (کارایی) را به همراه داشته باشد که نشان دهنده درستی و اعتبار روش پیشنهادی است.

بحث و نتیجه‌گیری

فرایند مدیریت ریسک در سازمان‌ها از اجزا متفاوتی تشکیل شده است. یکی از این اجزا، ارزیابی ریسک می‌باشد. در بسیاری از سازمان‌ها و پروژه‌ها، روش‌های متفاوتی برای ارزیابی ریسک و همچنین افزایش قابلیت اطمینان و ایمنی سیستم‌ها تعریف شده است، اما دستیابی به یک ابزار یا روش فراگیر که بتواند ایمنی و قابلیت اطمینان را به طور کامل تضمین کند بسیار دشوار است (بران و ساوینو، ۲۰۱۸). تدوین روش‌های ارزیابی ریسک یکی از موضوعات محبوب در میان پژوهشگران حوزه مدیریت ریسک می‌باشد. بررسی‌های انجام شده توسط پژوهش مقاله حاضر نشان می‌دهد که ساده‌ترین روش‌ها، ارزیابی ریسک را به عنوان تابعی از احتمال رخداد و شدت اثر خطرات معرفی کرده‌اند. بهره‌گیری از این تعریف باعث شده است که روش‌های مختلفی برای ارزیابی ریسک را توسعه داده شود. سیر تکامل این روش‌ها، شاخصی با عنوان TERPN را معرفی نموده که در آن عوامل موثر بیشتری در راستای تعیین اهمیت ریسک‌ها، مد نظر قرار گرفته است. این معیارها عبارتند از هزینه اقدامات اصلاحی و پیشگیرانه، قابلیت پیشگیری و اثربخشی اقدامات. علی رغم این موضوع، بررسی انجام شده توسط نویسندگان این مقاله و نقد این روش نشان داده است که شاخص TERPN نیز دارای محدودیت‌ها و اشکالاتی بوده است که در صورت چیره شدن بر آن‌ها می‌توان عملکرد بهتری از منظر اثربخشی (کاهش ریسک) و کارایی (کاهش هزینه) داشت. این اشکالات شامل در نظر گرفتن وزن یکسان برای شاخص‌ها، وجود همپوشانی در مفهوم دو شاخص هزینه اقدامات اصلاحی و شدت اثر، عدم تفکیک هزینه‌های اقدامات اصلاحی و پیشگیرانه در محاسبه مقدار شاخص‌ها، عدم نرمال سازی شاخص سطح ریسک کل و در نتیجه بروز اشکال برای مقایسه سطح ریسک در طول زمان می‌باشد. این پژوهش توانسته است با بکارگیری تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها روشی جدید به منظور ارزیابی ریسک ارائه نماید که علاوه بر حفظ ویژگی‌های مثبت روش TERPN، محدودیت‌ها و اشکالات ذکر شده را برطرف نموده و در پیاده‌سازی کلان فرایند مدیریت ریسک، امکان دستیابی به سطح بهره‌وری (اثربخشی و کارایی) بالاتری را ایجاد نماید. برای اعتبارسنجی این روش از مقایسه نتایج آن با نتایج یکی از مثال‌های نمونه موجود در مقالات علمی معتبر استفاده شده است. این مثال با شاخص TERPN و شاخص این پژوهش ($TERPN^{re}$) حل و مقایسه شد. این مقایسه نشان می‌دهد روش پیشنهادی این پژوهش، ریسک‌هایی را انتخاب می‌کند که بر مبنای هر دو شاخص TERPN و $TERPN^{re}$ باعث کاهش بیشتری در سطح ریسک‌های غیر قابل تحمل می‌شود. همچنین روش پیشنهادی این پژوهش بر مبنای شاخص ERPN سطح ریسک‌های مد نظر را ۱۰/۱ درصد کاهش بیشتر نسبت به روش معمول TERPN کاهش خواهد داد. همچنین در صورتی که شاخص $ERPN^{re}$ مبنا باشد، روش پیشنهادی نسبت به روش معمول ۳/۸ درصد کاهش بیشتر در سطح ریسک‌های غیر قابل تحمل بدست خواهد آورد. درباره هزینه انجام اقدامات اصلاحی و پیشگیرانه نیز مشاهده می‌شود که براساس اولویت‌بندی روش پیشنهادی مقدار هزینه کلیه اقدامات برابر ۶۸۰۰ واحد بوده که در روش معمول این مقدار برابر ۹۳۰۰ واحد است (۲۶/۸ درصد کاهش هزینه). در نتیجه می‌توان ادعا نمود روش این پژوهش با اصلاح نقایص یاد شده در روش معمول TERPN، موفق شده است تا با صرف هزینه کمتر، سطح ریسک راه کاهش دهد.

در استفاده از نتایج این پژوهش ملاحظه‌ای وجود دارد که مربوط به نحوه جمع‌آوری داده‌های لازم برای اعتبارسنجی روش پیشنهادی است. برای انجام محاسبات مربوط به روش پیشنهادی نیاز بوده تا بخشی از داده‌های جدید از خبرگان صنعت دریافت شود. مشخصا حالت مطلوب آن است که داده‌های جدید نیز از همان منابع قبلی دریافت شوند. اما با توجه به عدم دسترسی به آن منابع، نویسندگان این مقاله ناچار به استفاده از روشی بوده‌اند که بیشترین قرابت را با حالت مطلوب داشته باشد. به همین منظور از خبرگانی در دریافت داده‌های جدید استفاده نموده‌اند که نسبت به صنعت مربوطه از دانش و تجربه کافی برخوردار باشند. ارائه این توضیح نیز لازم است که مقدار معیارهای ارزیابی کاملا وابسته به مورد مطالعه بوده و مستقل از مورد مطالعه قابل اندازه‌گیری نمی‌باشند، اما می‌توان درصد کاهش مقدار معیارها را متاثر از انجام اقدامات اصلاحی یا پیشگیرانه با رعایت ملاحظات مربوط به شروط خبرگی و استفاده از دانش و تجربه خبرگان در یک صنعت خاص، برآورد نمود و به فعالیت‌های مشابه همان صنعت در حد قابل قبولی تعمیم داد. به منظور انجام پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌شود پژوهشگران روش ارائه شده در این پژوهش را در یک مطالعه موردی بکارگیری نموده و نتایج آن را گزارش نمایند.

منابع

آذر عادل، قیدرخلجانی جعفر، هاشمی مجومرد سید مجتبی، (۱۳۹۵)، طراحی و انتخاب طرح بهینه از دیدگاه ریسک‌های موجود در توسعهٔ محصول جدید، *مدیریت صنعتی*، ۸(۱)، ۱-۲۲.

امین‌طهماسبی حمزه, زارع‌پور مهدی (۱۳۹۸)، شناسایی و اولویت بندی ریسک های پروژه های آب و فاضلاب روستایی روش های تصمیم گیری چندشاخصه در محیط فازی (مطالعه موردی: آبفار گیلان)، *آب و فاضلاب*، ۳۰(۶)، ۳۵-۵۰.

کرمی آیت اله, محمدی تمری ذکریا، (۱۳۹۶)، شناسایی و اولویت بندی ریسک های زنجیره تامین در شرکت شهرک های کشاورزی استان مازندران، *اقتصاد کشاورزی*، ۱۱(۳)، ۱-۲۴.

قبادی جواد, رضائیان جواد, حاجی آقایی کشتلی مصطفی، (۱۳۹۸)، شناسایی و اولویت بندی ریسک های پروژه های ساختمانی سبز مبتنی بر تلفیق روش های FDEMATEL) و: (FANP (مطالعه موردی: شهرستان سوادکوه)، *مهندسی عمران امیرکبیر (امیرکبیر)*، ۵۱(۳)، ۵۹۹-۶۱۶.

عالم تبریز اکبر, خالدیان فرنوش, مهدی پور مصطفی، (۱۳۹۵)، پیش بینی زمان پروژه از طریق طول زمان کسب شده و مدیریت ریسک، *مدیریت صنعتی*، ۸(۲)، ۲۱۷-۲۱۴.

کاظمی مصطفی، فائضی‌راد محمدعلی، (۱۳۹۷)، پیش‌بینی کارایی به کمک تأثیرپذیری غیرخطی از تأخیرهای زمانی در تحلیل پوششی داده‌ها با شبکههای عصبی مصنوعی، *مدیریت صنعتی*، ۱۰(۱)، ۱۷-۳۴.

ولی پور خطیر محمد، قاسم نیا عربی نرجس، (۱۳۹۵)، مدل‌سازی سیستم استنتاج فازی برای ارزیابی ریسک‌های بالقوه در تجهیزات پزشکی، *مدیریت صنعتی*، ۸(۴)، ۵۳۳-۵۵۴.

References

Aguiar, D. C., Souza, H. J. C., & Salomon, V. A. (2010). AHP Application to Evaluate Scoring Criteria for Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). *International Journal of Analytic Hierarchy Process*, 2, 3-13.

Alamtabriz, A., Khaledian, F., Mehdipour, M. (2016). Forecasting project duration by Earned Duration Management and Risk Management. *Industrial Management Journal*, 8(2), 217-240. (*in persian*)

Amin-Tahmasbi, H., Zarepour, M. (2020). Identification and Prioritizing Risk of Rural Water and Wastewater Projects Using Multi-Attribute Decision Making Methods in Fuzzy Environment (Case Study: Rural Water and Sewage Projects in Guilan). *Journal of Water and Wastewater; Ab va Fazilab*, 30(6), 35-50. (*in persian*)

Anes, V., Henriques, E., Freitas, M., & Reis, L. (2018). A new risk prioritization model for failure mode and effects analysis. *Quality and Reliability Engineering International*, 34(4), 516-528.

Azar, A., Ghaidar kheljani, J., Hashemi Majoumerd, S. (2016). Designing and selecting the optimal design in terms of risks in new product development. *Industrial Management Journal*, 8(1), 1-22. (*in persian*)

Baghery, M., Yousefi, S., & Rezaee, M. J. (2018). Risk measurement and prioritization of auto parts manufacturing processes based on process failure analysis, interval data envelopment analysis and grey relational analysis. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 29(8), 1803-1825.

Bian, T., Zheng, H., Yin, L., & Deng, Y. (2018). Failure mode and effects analysis based on D numbers and TOPSIS. *Quality and Reliability Engineering International*, 34(4), 501-515.

Bowles, J. B. (2003, January). An assessment of RPN prioritization in a failure modes effects and criticality analysis. *In Annual Reliability and Maintainability Symposium*, 2003. (pp. 380-386). IEEE.

Bozdag, E., Asan, U., Soyer, A., & Serdarasan, S. (2015). Risk prioritization in Failure Mode and Effects Analysis using interval type-2 fuzzy sets. *Expert Systems with Applications*, 42(8), 4000-4015.

Brun, A., & Savino, M. M. (2018). Assessing risk through composite FMEA with pairwise matrix and Markov chains. *International Journal of Quality & Reliability Management*.

Carpitella, S., Certa, A., Izquierdo, J., & La Fata, C. M. (2018). A combined multi-criteria approach to support FMECA analyses: a real-world case. *Reliability Engineering & System Safety*, 169, 394-402.

Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision-making units. *European journal of operational research*, 2(6), 429-444.

Ghaobadi, J., Rezaeian, J., Haji Aghaei Keshteli, M. (2019). Identification and Prioritization the Risks of Green Building Projects Based on the Combination of FANP and FDEMATEL: (Case study: Savadkooh County). *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, 51(3), 599-616. (*in persian*)

Karami, A., Mohammadi Tamari, Z. (2017). Identifying and Prioritizing Supply Chain's Risks in Agricultural Farms in Mazandaran Province. *Agricultural Economics*, 11(3), 1-24. (*in persian*)

Kazemi, M., Faezirad, M. (2018). Efficiency Estimation using Nonlinear Influences of Time Lags in DEA Using Artificial Neural Networks. *Industrial Management Journal*, 10(1), 17-34. (*in persian*)

Liu, W. B., Zhang, D. Q., Meng, W., Li, X. X., & Xu, F. (2011). A study of DEA models without explicit inputs. *Omega*, 39(5), 472-480.

Valipour khatir, M., Ghasemnia Arabi, N. (2017). Fuzzy Inference System modeling to assess the potential risks in the medical equipment. *Industrial Management Journal*, 8(4), 533-554. (*in persian*)

Yang, G. L., Yang, J. B., Xu, D. L., & Khoveyni, M. (2017). A three-stage hybrid approach for weight assignment in MADM. *Omega*, 71, 93-105.