مستخرج از پایان نامه

فصلنامه انسان و محیط زیست، شماره ۶۳، زمستان ۱۴۰۱ (۱۷۷- ۱۶۵)

ارزیابی ریسک واحدهای آمونیاک و اوره با استفاده از رویکرد ترکیبی آنتروپی شانون و WASPAS مبتنی بر منطق فازی

فرخنده عبادزاده [۱]

سید مسعود منوری [۲*]

s.m_monavari@yahoo.com

سید علی جوزی [۳]

مریم رباطی [٤]

راضیه رحیمی [٥]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۲/۲۱ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۶/۲۵**

چکیده

زمینه و هدف: پیشرفت و توسعه صنایع، با وجود منافع اقتصادی که برای انسان به همراه داشته است، منشا بسیاری از مخاطرات و اثرات ناسازگار بر محیطزیست بوده است. در این میان صنعت پتروشیمی با توجه به گستردگی و حجم فعالیتها، توانایی بالایی در ایجاد خطر برای انسان و محیطزیست را دارد. این مقاله با هدف ارزیابی و رتبه بندی ریسک های محیطزیستی، ایمنی و بهداشتی ناشی از فرایند تولید آمونیاک و اوره انجام شده است.

روش بررسی: به منظور ارزیابی کیفی و غربال نمودن ریسکهای شناسایی شده در مرحله پیگیری، از روش آنالیز مقدماتی خطر(PHA) استفاده شد. به این ترتیب که شدت و احتمال وقوع عوامل مخاطره آمیز با استفاده از جداول PHA محاسبه شده و سطح ریسک ها تعیین گردید. سپس جهت رتبهبندی ریسک های نهایی، ابتدا معیارهای شدت، احتمال وقوع، احتمال کشف و گستره‌ی آلودگی برای جنبه های محیط زیستی و معیارهای شدت، احتمال وقوع، احتمال کشف و میزان مواجهه برای ریسک های ایمنی و بهداشتی، با روش انتروپی شانون فازی وزن دهی شدند. در ادامه، هر یک از ریسک ها بر اساس معیارهای نامبرده و با استفاده از تکنیک واسپاس فازی الویتبندی گردیدند.

۱- دانشجوی دکترای محیط زیست،گروه علوم محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، ایران.

۲- دانشیار، گروه علوم محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، ایران. *(مسوول مکاتبات)

۳- استاد گروه محیط زیست،دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، ایران.

۴- استادیار،گروه علوم محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، ایران.

۵- استادیار، گروه محیط زیست، پژوهشکده امنیت غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران.

یافته ها: بر اساس نتایج به دست آمده، در میان ۲۴ جنبه محیط زیستی، انتشار CO_2 از برج دفع با ارزش ۰/۷۰۲ و درمیان ۳۶ ریسک ایمنی و بهداشتی، سقوط از ارتفاع با ارزش ۰/۷۱۳ بالاترین امتیاز را کسب کرده اند

بحث و نتیجه گیری: با توجه به ریسک های شناسایی شده در پتروشیمی مورد مطالعه، پیشنهاداتی جهت اصلاح و کاهش ریسک های با سطح بالا ارائه شد. همچنین نتایج پژوهش نشان داد که استفاده از تکنیک تصمیم گیری چندمعیاره در محیط فازی باعث افزایش دقت مطالعه می شود و دسترسی به دانش افراد خبره را تسهیل می کند.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی ریسک، تکنیک واسپاس فازی، آنتروپی شانون فازی، پتروشیمی.

Human and Environment, No. 63, Winter 2023

Assessing the Health, Safety and Environmental Risk of Ammonia and Urea Units Using the Integration of Shannon Entropy and WASPAS Based on Fuzzy Logic

Farkhondeh Ebadzadeh[1]
Seyed Masoud Monavari [2*]
s.m_monavari@yahoo.com
Seyed Ali Jozi [3]
Maryam Robati [4]
Razieh Rahimi[5]

Admission Date: September 16, 2022 Date Received: May 11, 2022

Abstract

Background and Objective: Due to the scope and volume of activities, the petrochemical industry has a high potential risk to humans and the environment. This study aimed to evaluate and rank the health, safety and environmental risks caused by the ammonia and urea production process.

Material and Methodology: The Preliminary Hazard Analysis (PHA) method was used for qualitative risk analysis and screening of the health, safety and environmental risks identified in the follow-up phase. The severity and probability of occurrence of risk factors were calculated using PHA tables, and the level of risks was determined. To rank the final risks, the criteria "severity," "probability of occurrence," "probability of detection," and the "extent of contamination" for environmental aspects and the criteria "severity," "probability of occurrence," "probability of detection," and the "exposure" were first weighed by the fuzzy Shannon entropy method. Then, each risk was prioritized based on the mentioned criteria and using fuzzy Weighted Aggregated Sum Product Assessment (WASPAS).

Findings: According to the results, among 24 environmental aspects, CO2 emissions from the disposal tower with a value of 0.702 and among the 36 safety and health risks, falling from a height with a value of 0.713 have the highest score.

Discussion and Conclusion: Finally, suggestions were made to correct and mitigate the high-level risks. Also, the research results showed that using the multi-criteria decision-making technique in the fuzzy environment increases the study's accuracy and facilitates access to the knowledge of experts.

Key words: Risk assessment, Fuzzy WASPAS Technique, Fuzzy Shannon Entropy, Petrochemical.

1- PH.D Candidate, Department of Environmental Science, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2- Associate Prof., Department of Environmental Science, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.* (*Corresponding Author*)
3- Professor of Department of Environment, Faculty of Marine Science and Technology, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
4- Assistant prof., Department of Environmental Science, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
5- Assistant prof., Department of Environment, Food Security Research Institute, Islamic Azad University, Arak, Iran.

مقدمه

توسعه روز افزون صنعت پتروشیمی و چالش‌های محیط زیستی فراروی آن باعث شده است تا ارزیابی پیامدها و ریسک های ناشی از فعالیت‌های پتروشیمی بر محیط‌زیست بیش از هر زمان دیگری مورد توجه قرار گیرد. ارزیابی اثرات محیط‌زیستی نقش مهمی در شناسایی مخاطرات و پیش بینی اثرات ناشی از اجرای این پروژه‌ها دارد. اما عدم قطعیت ذاتی در پیش‌بینی‌های ارزیابی اثرات محیط-زیستی، اجتناب ناپذیر است. به‌گونه‌ای که اثرات واقعی پروژه‌ها اغلب با اثرات پیش‌بینی شده متفاوت است (۱). از این رو، ارزیابی ریسک می‌تواند به عنوان بخشی از فرایند ارزیابی اثرات محیط زیستی نقش مهمی در مدیریت عدم قطعیت داشته باشد. با توجه به اینکه توسعه و بهره‌برداری از صنایع فرایندی نظیر پتروشیمی به علت کار با طیف وسیعی از مواد شیمیایی آلاینده و خطرناک، منجر به بروز حوادث و تخریب غیرقابل جبران محیط‌زیست می-گردد، به همین دلیل انجام ارزیابی ریسک در صنعت پتروشیمی اهمیت خاصی پیدا کرده است(۲). در زمینه ارزیابی ریسک صنایع فرایندی، مطالعات زیادی در سال‌های اخیر انجام شده است، که در بیش‌تر این مطالعات از روش‌های سنتی به‌منظور شناسایی و رتبه‌بندی ریسک‌ها استفاده گردیده است. روش‌های سنتی دارای مزایا و محدودیت‌های مختلفی می‌باشند. مزایای این روش‌ها سادگی و سرعت بالای محاسبات است. از محدودیت‌های این روش‌ها، می‌توان به محاسبه شدت آسیب به محیط‌زیست و احتمال وقوع آن با استفاده از مقیاس‌های قطعی و در نظر نگرفتن عدم قطعیت در نظرات کارشناسان اشاره کرد (۳). با توجه به گسترش روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) در دهه-های اخیر، ترکیب تکنیک‌های تصمیم‌گیری با روش‌های ارزیابی ریسک، می‌تواند نتایج دقیق‌تر و با قابلیت اعتماد بالاتری را به دنبال داشته باشد. همچنین استفاده از روش‌های MCDM در محیط فازی کارایی تصمیم‌گیری را بهبود می‌بخشد. Mete در سال ۲۰۱۹ از روش FMEA مبتنی بر رویکرد یکپارچه AHP-MOORA تحت مجموعه فازی مثلثی برای ارزیابی ریسک‌های شغلی در پروژه خط لوله گاز استفاده کرد (۴). Song و همکارانش نیز در پژوهش خود از تلفیق FMEA و تاپسیس فازی استفاده کردند. این امر به دلیل محدودیت FMEA سنتی در مقیاس اندازه‌گیری، محاسبه اعداد اولویت خطر(RPN)، وزن عوامل خطر انجام گرفته است (۵). در ایران نیز، جوهری و همکاران در پژوهشی با استفاده از روش‌های ANP و TOPSIS، به ارزیابی ریسک‌های محیط‌زیستی پتروشیمی ایلام پرداختند (۶). در مطالعه‌ای دیگر، خدادادی و شیرویه زاد روش FMEA را به‌عنوان ابزاری جهت شناسایی ریسک‌ها به کار برده و با استفاده از تاپسیس فازی خطاها و عوامل ریسک ناشی از حفاری را الویت بندی کردند (۷). غریبی و همکاران نیز، مخاطرات محیط‌زیستی پساب‌های ناشی از حفاری چاه گاز را با روش‌های EFMEA و ANP ارزیابی کردند (۸).

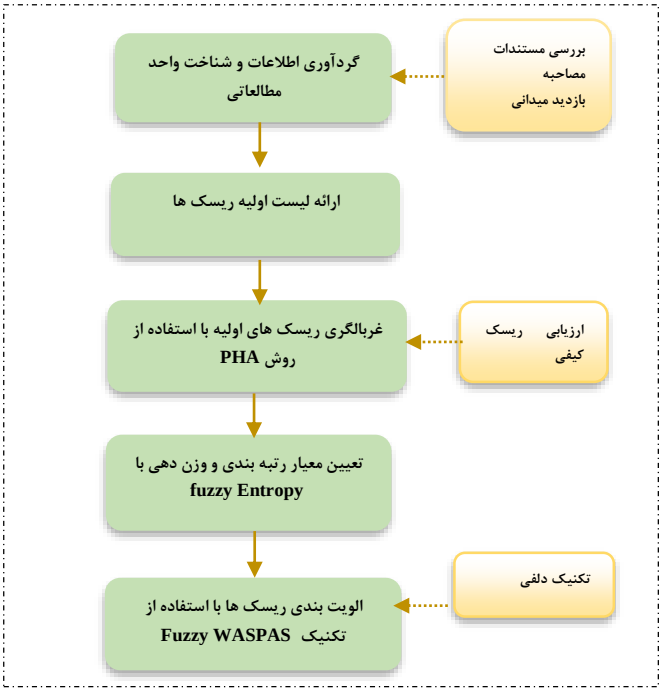
هدف از انجام این مقاله، ارزیابی و رتبه‌بندی ریسک‌های ناشی از فعالیت‌ها و فرآیندهای تولید آمونیاک و اوره با استفاده از روش PHA و رویکرد ترکیبی آنتروپی شانون فازی و واسپاس فازی می‌باشد.

روش بررسی

مطالعه حاضر با هدف ارزیابی و الویت بندی ریسک‌های محیط-زیستی، ایمنی و بهداشتی ناشی از فرایند تولید آمونیاک و اوره به عنوان بخشی از مطالعات پسا ارزیابی در پتروشیمی واقع در جنوب غرب ایران انجام شده است. به منظور شناسایی مخاطرات پروژه در فاز بهره‌برداری، ابتدا از طریق بررسی مقالات و پژوهش های مشابه، بازدید میدانی از واحدها و با استفاده از نقشه‌های نمودار جریان محیط‌زیستی (EFD)، نمودار جریان فرایند (PFD) و نمودار تجهیزات و ابزار دقیق(P&ID) عوامل ایجاد کننده ریسک در واحدهای آمونیاک و اوره مورد مطالعه شناسایی شدند. سپس با استفاده از مستندات مجتمع، بهره‌گیری از تجارب کارشناسان و متخصصان در قالب مصاحبه و برگزاری جلسات طوفان ذهنی، فهرست اولیه مخاطرات محیط‌زیستی، ایمنی و بهداشتی(PHL) تهیه گردید. به منظور انجام ارزیابی کیفی و غربال نمودن ریسک های شناسایی شده از روش آنالیز مقدماتی خطر(PHA) استفاده شد. رتبه بندی ریسک‌ها، بخش کلیدی فرایند ارزیابی ریسک را تشکیل می‌دهد که این امکان را فراهم می‌آورد تا در فرایند برخورد با ریسک‌ها، اولویت هر ریسک را تعیین کرده و در نتیجه

منابع لازم را جهت حذف یا کاهش آن‌ها، اختصاص داد (۹). در راستای رتبه‌بندی مخاطرات نهایی، معیارهای تصمیم‌گیری با روش انتروپی شانون فازی وزن‌دهی شدند. سپس هر یک از مخاطرات با استفاده از تکنیک واسپاس فازی الویت‌بندی گردیدند.

شکل(۱) روند کلی ارزیابی ریسک‌های پتروشیمی مورد استفاده در این پژوهش را نشان می‌دهد.



شکل ۱- روند اجرای ارزیابی ریسک پتروشیمی

Figure 1. Petrochemical risk assessment implementation process

- **ارزیابی ریسک های محیط زیستی و ایمنی**

در این پژوهش پس از بررسی مستندات و گردآوری داده‌ها، تعداد ۴۰ جنبه محیط‌زیستی و ۸۶ ریسک ایمنی و بهداشتی در واحدهای مورد مطالعه شناسایی و ثبت گردید. مخاطرات شناسایی شده با استفاده از روش آنالیز مقدماتی خطر(PHA) و براساس دو متغیر شدت و احتمال وقوع خطرات بررسی شده و سطح ریسک آنها بر اساس جدول ۱ به سه سطح ریسک بالا (High Risk)، متوسط (Medium) و پایین (Low Risk) تقسیم گردیدند. در ادامه، مخاطرات با سطح پایین حذف و ریسک‌ها غربال شدند. سپس، ارزیابی و رتبه بندی ریسک ها با روش تصمیم گیری چند معیاره در محیط فازی صورت گرفت. به این منظور از روش آنتروپی شانون فازی برای وزن‌دهی به شاخص‌ها و از تکنیک Fuzzy WASPAS جهت الویت‌بندی ریسک‌ها استفاده گردید.

جدول ۱- معیارهای مدیریت ریسک به روش PHA (۱۰)

Table 1. Risk management criteria by PHA method

رتبه ریسک	سطح ریسک	معیار تصمیم‌گیری
1A/1B/1C/2A/2B/3A	Hi	غیر قابل قبول- فوراً باید اقدامات اصلاحی صورت پذیرد.
3C/3B/2D/2C/1D	M	نامطلوب- اقدامات اصلاحی باید انجام شود تا احتمال وقوع این ریسک کم شود.
1E/2E/3D/3E/4B/4A	L	قابل قبول- در شرایط فعلی نیاز به اقدام اصلاحی ندارد.
4D/4E/4C	L	قابل قبول-بدون نیاز به تجدید نظر

- **سنجش اهمیت و وزن معیارها با ا ستفاده از روش آنتروپی شانون فازی**

در پژوهش حاضر، به علت استفاده از تکنیک واسپاس فازی، روش وزن‌دهی آنتروپی نیز به صورت فازی مورد استفاده قرار گرفته است. گام‌های تکنیک آنتروپی فازی مشابه آنتروپی شانون بوده و تنها تفاوت آن تبدیل اعداد قطعی به طیف فازی می باشد (۱۱ و ۱۲). فرایند وزن دهی به روش آنتروپی فازی به شرح زیر است؛

۱- تشکیل ماتریس تصمیم

ماتریس تصمیم که سطرهای آن شامل گزینه‌های پژوهش (ریسک ها) و ستون‌های آن شامل معیارهای پژوهش (معیارهای تصمیم گیری) می‌باشد، تشکیل شده و وزن معیارها محاسبه گردید. معیارهای تصمیم گیری برای جنبه های محیط زیستی شامل شدت، احتمال وقوع، احتمال کشف و گستره آلودگی بوده و پارامترهای شدت، احتمال وقوع، احتمال کشف و میزان مواجهه به‌عنوان معیارهای تصمیم‌گیری جهت الویت‌بندی ریسک‌های ایمنی و بهداشتی انتخاب شدند.

۲-تبدیل ماتریس تصمیم فازی به ماتریس فاصله‌ای

بر اساس رابطه ۱ با استفاده از مقادیر α که بین صفر و یک می‌باشد ماتریس فازی به ماتریس فاصله‌ای تبدیل شد.

$$(A)_\alpha=[a_x^L,a_x^U]=[(m-l)\alpha+l, -(u-m)\alpha+u] \qquad (۱)$$

۳- نرمال‌سازی ماتریس تصمیم (رابطه ۲؛ تقسیم حدهای پایین و بالا بر مجموع حدهای بالا)

$$p_{ij}^l=\frac{x_{ij}^l}{\sum_{j=1}^m x_{ij}^u} \quad , \quad p_{ij}^l=\frac{x_{ij}^u}{\sum_{j=1}^m x_{ij}^u} \quad , j=1,...,m \quad i=1,...n \qquad (۲)$$

۴- تعیین آنتروپی هر شاخص (روابط ۳ و ۴)

در روابط زیر $h_0=\frac{1}{\ln(m)}$ می‌باشد که m تعداد گزینه‌های پژوهش است.

$$h_i^l=\min\{-h_0\sum_{j=1}^m p_{ij}^l.\ln p_{ij}^l, -h_0\sum_{j=1}^m p_{ij}^u.\ln p_{ij}^u\} \qquad (۳)$$

$$h_i^u=\max\{-h_0\sum_{j=1}^m p_{ij}^l.\ln p_{ij}^l, -h_0\sum_{j=1}^m p_{ij}^u.\ln p_{ij}^u\} \qquad (۴)$$

۵- تعیین درجه انحراف هر شاخص (رابطه ۵)

$$d_i^l=1-h_i^u, \quad d_i^u=1-h_i^l \qquad (۵)$$

۶- تعیین وزن معیارها W_j (رابطه ۶)

$$w_i^l=\frac{d_i^l}{\sum_{s=1}^n d_s^u}, \quad w_i^u=\frac{d_i^u}{\sum_{s=1}^n d_s^l} \qquad (۶)$$

- **تکنیک واسپاس فازی**

تکنیک وا سپاس فازی نیز م شابه روش وا سپاس می‌با شد، با این تفاوت که در محیط فازی اجرا شـــده اســـت. به این منظور، پر سشنامه‌ای براساس گزینه‌ها و معیارهای موردنظر طراحی شد و با اســـتفاده از تکنیک دلفی در اختیار ۱۰ نفر از اســـاتید، متخصصان محیط‌زیست، ایمنی، بهداشت محیط، شیمی فرایند و پرســنل شــاغل در پتروشــیمی قرار گرفت. این پرســشــنامه با اســـتفاده از طیف لیکرت (۵-۱) تکمیل گردید. ســـپس از نظرات کار شنا سان میانگین گرفته شده و بدین ترتیب پر سشنامه‌ها با یکدیگر تلفیق گردید. پس از ت شکیل ماتریس ت صمیم، برا ساس عبارت های کلامی و اعداد فازی مندرج در جدول ۲، ارزش‌های نهایی تبدیل به بازه اعداد فازی مثلثی شده و ماتریس تصمیم به ماتریس تصمیم فازی تبدیل شد.

جدول ۲- عبارات کلامی و اعداد فازی جهت رتبه‌بندی گزینه‌ها (۱۳)

Table 2. Verbal expressions and fuzzy numbers for ranking the alternatives

کد	اولویت ها	معادل فازی اولویت ها		
		حد پایین (L)	حد متوسط (m)	حد بالا (u)
۱	خیلی کم	۱	۱	۳
۲	کم	۱	۳	۵
۳	متوسط	۳	۵	۷
۴	زیاد	۵	۷	۹
۵	خیلی زیاد	۷	۹	۱۱

در ادامه گام های تکنیک واسپاس فازی به شرح زیر می باشد؛

۱- نرمال کردن ماتریس تصمیم فازی (رابطه ۷)

$$\bar{x}_{ij}=\begin{cases}\dfrac{\tilde{x}_{ij}}{\max\limits_i \tilde{x}_{ij}} & if\ \max\limits_i \tilde{x}_{ij}\ \text{is preferable,}\\ \dfrac{\min\limits_i \tilde{x}_{ij}}{\tilde{x}_{ij}} & if\ \min\limits_i \tilde{x}_{ij}\ is\ preferable;\ \ i=\overline{1,m},\ \ j=\overline{1,n}\end{cases} \qquad (۷)$$

۲- تعیین مقادیر جمع وزنی و ضرب وزنی :

در این مرحله به ازای هر گزینه، مقادیر ماتریس q که همان ماتریس WSM (مدل مجموع وزنی) است با هم جمع (رابطه ۸) و مقادیر ماتریسp که همان ماتریس WPM (مدل ضرب وزنی) است در هم ضرب (رابطه ۹) شد.

$$Q_i=\sum_{j=1}^{n}\tilde{\bar{x}}_{ij}\tilde{w}_j \qquad (۸)$$

$$P_i=\prod_{j=1}^{n}\left(\tilde{\bar{x}}_{ij}\right)^{\tilde{w}_j} \qquad (۹)$$

۳- فازی زدایی (*Defuzzification*) اعداد به دست آمده:

مقادیر Q_i و P_i با استفاده از روابط زیر دیفازی شد

$$Q_i=\frac{1}{3}(Q_{i\alpha},Q_{i\beta},Q_{i\gamma}) \qquad (۱۰)$$

$$P_i=\frac{1}{3}(P_{i\alpha},P_{i\beta},P_{i\gamma}) \qquad (۱۱)$$

۴- محاسبه ارزش هر گزینه:

در این گام بر اساس رابطه ۱۲مقدار k هر گزینه محاسبه و گزینه‌ها رتبه بندی شدند (۱۴).

(۱۲)

$$K_i=\lambda Q_i+(1-\lambda)P_i=\lambda\sum_{j=1}^{n}\bar{x}_{ij}w_j+(1-\lambda)\prod_{j=1}^{n}\left(\bar{x}_{ij}\right)^{w_j}$$

در تکنیک واسپاس، مقادیر مختلف λ تعیین کننده مقادیر شاخص Qi است. به گونه ای که اگر λ=0 باشد مدل واسپاس تبدیل به مدل WPM می‌شود، و اگر λ=1 شود مدل واسپاس به مدل WSM تبدیل می‌شود. برای مسائل تصمیم‌گیری مقدار بهینه λ از رابطه ۱۳ محاسبه می‌شود (۱۵ و ۱۶).

$$\lambda=\frac{\sum_{i=1}^{m}P_i}{\sum_{i=1}^{m}P_i+\sum_{i=1}^{m}Q_i} \qquad (۱۳)$$

۱-یافته ها

با توجه به اطلاعات به دست آمده در این مرحله ۴۰ جنبه محیط-زیستی و ۸۶ ریسک ایمنی و بهداشتی در مجموع واحدهای اوره و آمونیاک شناسایی شد. پس از شناسایی مخاطرات، با استفاده از روش PHA و جداول آن، نسبت به تعیین احتمال وقوع رویداد، شدت پیامد حاصل از آن و سطوح ریسک اقدام گردید.

این امر باعث غربالگری ریسک‌های با سطح بالا و متوسط از مجموع کل ریسک‌ها شد.

- **اولویت‌بندی ریسک ها با استفاده از Fuzzy WASPAS**

پس از تعیین سطوح ریسک و غربال نمودن مخاطرات توسط روش PHA در گام پیشین، ۲۴ جنبه محیط زیستی و ۳۶ ریسک ایمنی و بهداشتی (جدول ۳) به عنوان ریسک های دارای اهمیت تعیین‌شدند.

جدول ۳- ریسک های حائز اهمیت در واحدهای آمونیاک و اوره به دست آمده از غربالگری با PHA

Table 3. Significant risks in ammonia and urea units obtained from screening with the PHA method

ردیف	شرح ریسک	پیامد	ردیف	شرح ریسک	پیامد
۱	انتشار گاز H_2S به محیط (گوگردزدایی گاز طبیعی)	آلودگی هوا	۱۳	ورود ذرات معلق به منابع آب‌زیک واش فیلترهای شنی	آلودگی آب
۲	تولید پسماند ناشی از گوگردزدایی گاز طبیعی	آلودگی خاک	۱۴	انتشار گاز آمونیاک ناشی از جداسازی آمونیاک از گاز برج	آلودگی هوا
۳	انتشار CO_2 در اثر جداسازی CO_2 از گاز سنتز	آلودگی هوا / مصرف منابع	۱۵	تخلیه پساب برج های خنک کننده به محیط	آلودگی آب / مصرف منابع
۴	نشت MDEA در اثر جداسازی CO_2 از گاز سنتز	آلودگی آب	۱۶	تخلیه CO_2 همراه آب از بخش خوراک واحد اوره	آلودگی آب
۵	تولید گازهای احتراقی (نظیر SO_x، NO_x، CO_2، CO)	آلودگی هوا	۱۷	نشت آمونیاک و CO_2 در بخش سنتز اوره	آلودگی هوا/ مصرف منابع
۶	ریخت‌وپاش کاتالیست در محیط	آلودگی آب / آلودگی خاک	۱۸	نشت آمونیاک، CO_2 و اوره از شیرهای اطمینان در سنتز اوره	آلودگی هوا
۷	انتشار آمونیاک، هیدروژن و متان ناشی از فرایند احیای کاتالیست	آلودگی هوا / مصرف منابع	۱۹	نشت اوره، کاربامات، CO_2، NH_3	آلودگی آب / مصرف منابع
۸	ریژش و نشت روغن از فلنج ها، اتصالات به محیط	آلودگی خاک / آلودگی آب	۲۰	انتشار گازهای لایننده به محیط از اسکنک بخش LP	آلودگی هوا
۹	انتشار گاز آمونیاک از لوله سنتز	آلودگی هوا	۲۱	ریخت و پاش مواد شیمیایی کولینگ	مصرف منابع / آلودگی آب
۱۰	نشت آمونیاک از سیل کمپرسور	مصرف منابع	۲۲	انتشار گرد و خاک اوره و آمونیاک از بخش گرانول	آلودگی هوا
۱۱	تخلیه گاز لایننده به محیط بصورن در اثر توقف های اضطراری	آلودگی هوا	۲۳	تخلیه پساب اوره ناشی از شستشوی فن های گرانول	آلودگی آب
۱۲	تخلیه پساب آغشته به زائن به محیط آبی (یک واش میکس بد)	آلودگی آب / مصرف منابع	۲۴	انتشار بخارات اوره و فرمالدهید	آلودگی هوا / مصرف منابع
۱	انتشار گاز آمونیاک در بخش آمونیاک ریکاوری	آسیب به سیستم تنفسی و پوست	۱۹	نشت گاز هیدروژن در اتاق باطری	انفجار و آتش سوزی
۲	انتشار هیدروژن در بخش هیدروژن ریکاوری	آتش سوزی	۲۰	برخورد افراد با خودروهای سنگین در زمان اورهال	جراحت، شکستگی، مرگ
۳	نشت گاز H_2S در بخش جداسازی H_2S از گاز متان	گاز گرفتگی / مسمومیت با H_2S	۲۱	انفجار کپسول / برق گرفتگی در اثر جوشکاری و تراشکاری	جراحت، مرگ
۴	قرارگیری در معرض سرو صدا کمپرسورها	آسیب به شنوایی افراد	۲۲	سقوط بار بر روی افراد	جراحت / مرگ
۵	انتشار بخار آب از کمپرسور (۳۲۰-C۰۱)	سوختگی و آسیب به افراد	۲۳	برخورد بوم جرثقیل با افراد زمان حرکت	جراحت / مرگ

۶	انفجار مایع آمونیاک از لوله سنتز	آسیب به چشم، پوست و سیستم تنفسی	۲۴	نشت و استنشاق گاز آمونیاک ناشی از شکسته سازی آمونیاک
۷	انفجار گاز آمونیاک از کمپرسور ۳۲۰۱-C	آسیب به سیستم تنفسی افراد	۲۵	نشت آمونیاک از خوراک ورودی واحد
۸	انفجار گاز سنتز از کمپرسور ۳۲۰۱-C	آتش سوزی	۲۶	نشت بخار پرفشار در ورودی واحد و سنتز
۹	انفجار هیدروژن ناشی از فشرده سازی هیدروژن	آتش سوزی	۲۷	نشت اوره مذاب در بخش تغلیظ
۱۰	انفجار گاز هیدروژن ناشی از تخلیه مایع از درام فلر گرم	آتش سوزی	۲۸	سقوط از ارتفاع طی فعالیت هواگیری کندانسورها
۱۱	شکست / انفجار درام های آمونیاک	انفجار / مرگ	۲۹	ریزش اوره مذاب در بخش دانه بندی
۱۲	نشت آمونیاک از خطوط لوله، فلنج ها و اتصالات آن	آسیب به چشم، سوختگی، مسمومیت با آمونیاک	۳۰	برخورد با جسم دوار در بخش دانه بندی
۱۳	نشت گاز از تیوب ها، تجمع گاز در محفظه کوره ریفورمر	آتش سوزی/ انفجار	۳۱	برخورد با تسمه نقاله در بخش کرانول
۱۴	پک فایر و آتش سوزی بویلرها	آسیب به تجهیزات، سوختگی افراد	۳۲	برق گرفتگی ناشی از کار با تجهیزات
۱۵	سقوط از ارتفاع	مرگ / جراحت شدید	۳۳	سقوط جرثقیل سقفی
۱۶	برق گرفتگی	برق گرفتگی افراد، سوختگی، مرگ	۳۴	ریزش سازه چوبی پیرامون برج خنک کننده
۱۷	انفجار نیتروژن، کمبود اکسیژن در مخازن	مسمومیت و خفگی	۳۵	سقوط آسانسور
۱۸	تماس طولانی چشم با مانیتور/ خستگی چشم	ناراحتی چشمی	۳۶	خستگی چشم/ قرارگیری در معرض پرتو

جهت رتبه‌بندی ریسک‌های نهایی در مرحله پیگیری از مطالعات پسا ارزیابی، از تکنیک واسپاس فازی استفاده شد. به این منظور ریسک ها به‌عنوان گزینه و پارامترهای شدت، احتمال وقوع، احتمال کشف، میزان مواجهه و گستره آلودگی به‌عنوان معیارهای تصمیم‌گیری در نظرگرفته شد. در ادامه، براساس روابط مندرج در بخش مواد و روش‌ها ، وزن نهایی معیارها (جدول ۴) تعیین شد.

جدول ۴- وزن نهایی معیارها با روش آنتروپی شانون فازی

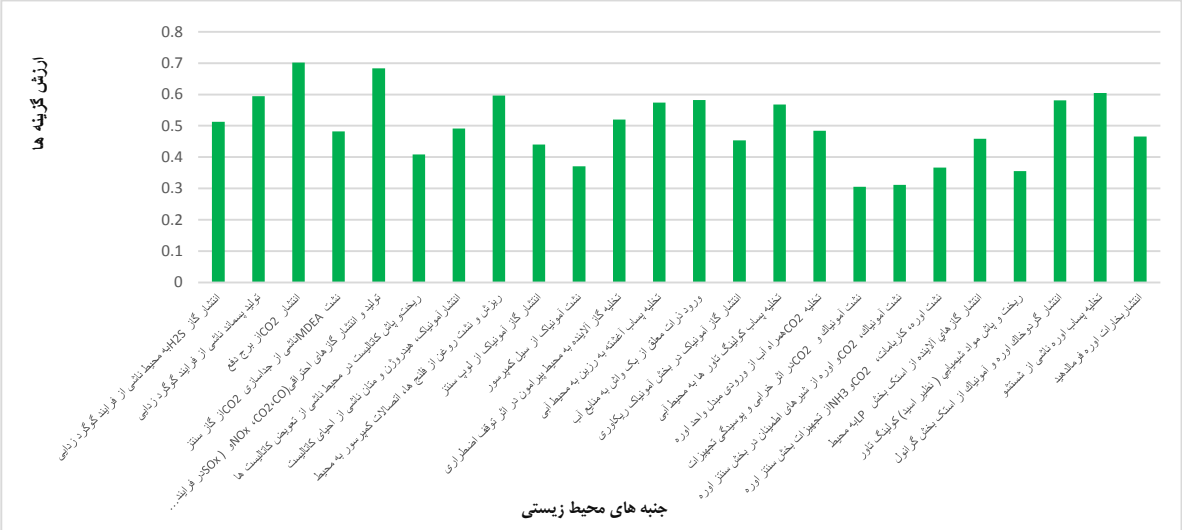
Table 4. final weight of the criteria with the fuzzy Shannon entropy method

وزن ها	معیارها			
	C1	C2	C3	C4
محیط زیستی	۰/۲۷۰۱	۰/۲۰۶۲	۰/۲۶۳۰	۰/۲۶۰۷
ایمنی و بهداشتی	۰/۲۰۲۸	۰/۲۸۷۲	۰/۲۳۰۷	۰/۲۷۹۲

- **نتایج الویت بندی بر اساس تکنیک واسپاس فازی**

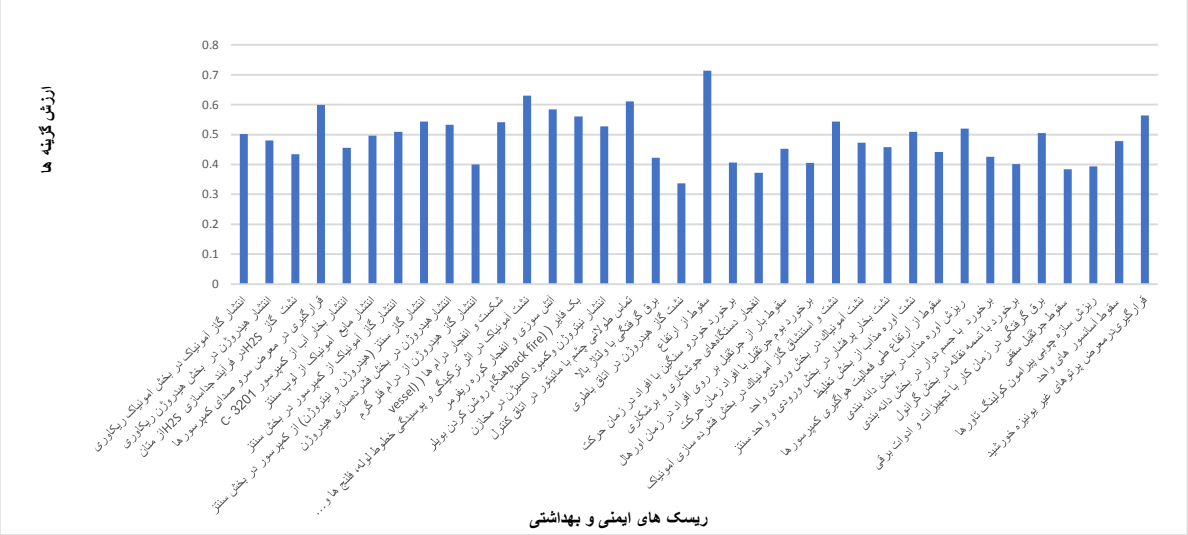
در این مرحله، هدف رتبه‌بندی ریسک‌های نهایی با استفاده از تکنیک واسپاس فازی می باشد. برای استفاده از روش واسپاس نخست مقادیر مربوط به دو روش WSM (جمع وزنی) و WPM(ضرب وزنی) محاسبه گردید. سپس با استفاده از روابط ارائه شده، مقادیر Q و P دیفازی شده و مقادیر قطعی به دست آمد.

در ادامه، مقدار ارزش کل هر گزینه (با استفاده از رابطه ۱۲) تعیین گردید. نتیجه به‌دست آمده از روش واسپاس با انحراف در پارامتر (λ) که از ۰ تا ۱ متغیر است، متفاوت می‌باشد (۱۷). بیشترین کاربرد روش واسپاس براساس مقدار λ با ارزش ۰,۵ تصمیم‌گیری می‌کند(۱۸). از این رو، در این پژوهش نیز مقدار λ برابر با ۰,۵ در نظر گرفته شد. رتبه بندی جنبه‌های محیط زیستی و ریسک های ایمنی و بهداشتی به ترتیب در شکل ۲ و۳ ارائه شده است.



شکل ۲- رتبه بندی جنبه های محیط زیستی با روشFuzzyWASPAS

Figure 2. Ranking of environmental aspects with the FuzzyWASPAS method



شکل ۳- رتبه بندی ریسک های ایمنی و بهداشتی با روش FuzzyWASPAS

Figure 3. Ranking of health and safety risks with the FuzzyWASPAS method

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به رتبه‌بندی صورت گرفته با استفاده از تکنیک واسپاس فازی، در میان ۲۴ جنبه محیط‌زیستی، بالاترین امتیاز (۰,۷۰۲) در جنبه‌های محیط‌زیستی به انتشار CO_2 از برج دفع اختصاص یافته است، که باعث ایجاد آلودگی هوا، اتلاف منابع و افزایش گازهای گلخانه‌ای می‌شود. همچنین در میان ۳۶ ریسک ایمنی و بهداشتی، بالاترین امتیاز (۰,۷۱۳) به سقوط از ارتفاع اختصاص یافته است.

پس از ارزیابی و رتبه بندی ریسک های محیط زیستی، ایمنی و بهداشتی، ارائه اقدامات کنترلی و اصلاحی متناسب با شرایط و نوع فعالیت، با هدف کنترل و کاهش ریسک های موجود امری ضروری است. بر این اساس برخی راهکارهای کنترلی و کاهشی به شرح زیر ارائه شده است؛

- ساخت واحد اوره در مجاورت واحد آمونیاک جهت ایجاد توازن در تولید و مصرف CO_2 به‌عنوان محصول جانبی واحد آمونیاک
- فروش CO_2 مازاد بر مصرف واحد اوره به سایر مجتمع های پتروشیمی مجاور
- استفاده از نازل های کنترل آلودگی در مشعل ها و دودکش ها
- تنظیم میزان اکسیژن سوخت احتراق
- آموزش افراد جهت استفاده از تجهیزات حفاظت فردی نظیر، عینک، دستکش، کفش ایمنی و ...
- اجرای عملیات تعمیر و نگهداری مناسب و به موقع تجهیزات
- نصب توری ایمنی در زیر داربست و نصب گارد ریل
- نصب سیستم اعلان هشدار نشت آمونیاک

در این پژوهش ارزیابی ریسک‌های محیط‌زیستی، ایمنی و بهداشتی در طی مطالعه پسا ارزیابی اثرات محیط زیستی در زمینه صنعت پتروشیمی(واحدهای آمونیاک و اوره) انجام شده است. همچنین استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (واسپاس) در محیط فازی برای اولویت‌بندی ریسک‌ها به منظور افزایش دقت مطالعه پیشنهاد گردیده است. استفاده از این روش‌ها در ارزیابی ریسک باعث می‌شود تا دسترسی به دانش افراد خبره به سهولت انجام پذیرد. در مطالعات صورت گرفته توسط song و همکاران در سال ۲۰۱۳ و خدادادی و شیرویه زاد در سال ۲۰۲۰ از تکنیک تاپسیس فازی به همراه روش FMEA استفاده شده است. نتایج مطالعات مذکور نشان می‌دهد که استفاده از روش‌های چندمعیاره فازی مشکل عدم قطعیت داده‌ها را برطرف نموده و نتایج دقیق‌تری به دست می‌آید. از این منظر، نتایج پژوهش حاضر با مطالعات ذکر شده همخوانی دارد. همچنین یافته های پژوهش

غریبی و همکاران در سال ۲۰۲۰ نشان داد که برخی از استراتژی‌ها مانند تلفیق مدل‌های رایج ارزیابی ریسک محیط‌زیستی (EFMEA) و تکنیک‌های تصمیم‌گیری (ANP) برای کاهش بحران‌های محیط‌زیستی در حفاری نفت و گاز بسیار مفید و مناسب بوده است. براساس نتایج این پژوهش، رویکردهای تحلیلی ریسک، به ویژه اصلاح عدم قطعیت ها می‌تواند به ارزیابی اثرات محیط‌زیستی کمک کند. بنابراین، ارزیابی ریسک باید برای تعیین اثرات نامطلوب واقعی در مرحله پیگیری از مطالعات پسا ارزیابی اثرات محیط‌زیستی، انجام شود.

References

1. Tenney A, Kværner J, Gjerstad K I. Uncertainty in environmental impact assessment predictions: the need for better communication and more transparency. Impact Assessment and Project Appraisal. 2006; 24(1), p. 45-56. https://doi.org/10.3152/147154606781765345
2. Huang R H, Yang C L, Kao CS. Assessment model for equipment risk management: Petrochemical industry cases. Safety Science. 2012; 50(4), p. 1056-1066. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2010.02.024
3. Noori H, Cheraghi M, Eslami Baladeh A. A hybrid fuzzy MADM model for environmental risk assessment: a case of an oil and gas exploitation area. J Health Saf Work. 2019; 9 (3), p. 200-21. http://jhsw.tums.ac.ir/article-1-6166-fa.html. (In Persian)
4. Mete S. Assessing occupational risks in pipeline construction using FMEA-based AHP-MOORA integrated approach under Pythagorean fuzzy environment. HUMAN AND ECOLOGICAL RISK ASSESSMENT. 2019; 25(7), p.1645-1660. https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1546115
5. Song W, Ming X, Wu Z, Zhu B. Failure modes and effects analysis using integrated weight-based fuzzy TOPSIS. International Journal of Computer Integrated Manufacturing. 2013; 26(12), p. 1172-1186. http://dx.doi.org/10.1080/0951192X.2013.785027
6. Johari Z, Cheraghi M, Sobhan Ardakani S. Environmental Risk Assessment of Ilam Petrochemical Company Using Analytical Network Analysis and the Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution Methods in 2016. J Ilam Uni Med Sci. 2019; 26(5), p. 79-88. http://sjimu.medilam.ac.ir/article-1-4791-fa.html. (In Persian)
7. Khodadadi-Karimvand M, Shirouyehzad H. Well Drilling Fuzzy Risk Assessment using Fuzzy FMEA and Fuzzy TOPSIS. Journal of Fuzzy Extension and Applications. 2021; 2(2), p 144–155. http://dx.doi.org/10.22105/jfea.2021.275955.1086
8. Gharibi V, Ghaedi Jahromi M, Mohammadnia M R, Hosseini Gharbi S M. Environmental Risk Assessment of Gas Wells Drilling Effluents: Integration of Environmental Failure Mode and Effects Analysis and Analytic Network Process Models. Journal of Health Sciences & Surveillance System. 2020; 8(1), p. 49-56. https://jhsss.sums.ac.ir/article_46583.html
9. Ghosh S, Jintanapakanont J. Identifying and assessing the critical risk factors in an underground rail project in Thailand: a factor analysis approach. International

Journal of Project Management. 2004; 22(8), p. 633-643. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2004.05.004

10. Kakaei H, Jafari Nodoushan R, Kamalvandi M, Azad P, Normohammadi P, Kakaei Z. Identification and Classification of Risks and Potential Events by using Preliminary Hazard Analysis Method (PHA) in Kermanshah Oil Refinery. jehe. 2015; 3 (1), p.1-9. http://jehe.abzums.ac.ir/article-1-196-fa.html. (In Persian)
11. Cavallaro F, Zavadskas E K, Raslanas S. Evaluation of combined heat and power (CHP) systems using fuzzy Shannon entropy and fuzzy TOPSIS. Sustainability. 2016; 8(6), p. 556. https://doi:10.3390/su8060556.
12. Hosseinzadeh Lotfi F, Fallahnejad R. Imprecise Shannon's entropy and multi-attribute decision making. Entropy. 2010; 12(1), p. 53-62. https://doi.org/10.3390/e12010053
13. Patil S K, Kant R. A fuzzy AHP-TOPSIS framework for ranking the solutions of Knowledge Management adoption in Supply Chain to overcome its barriers. Expert Systems with Applications. 2014; 41(2), p. 679-693. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.07.093
14. Safari H, Kazemi A, Mehrpoor Layeghi A. Performance Assessment of Iranian Gas Transmission Company's Operational Zones through a Hybrid Method of DEA – WASPAS – SWARA. J. Industrial management studies. 2017; 16 (49), p. 139-171. https://doi.org/10.22054/jims.2018.8788. (In Persian)
15. Turskis Z, Goranin N, Nurusheva A, Boranbayev S. A fuzzy WASPAS-based approach to determine critical information infrastructures of EU sustainable development. Sustainability. 2019; 11, 424. https://doi.org/10.3390/su11020424
16. Zavadskas E K, Turskis Z, Antucheviciene J, Zakarevicius A. Optimization of weighted aggregated sum product assessment. Elektronika ir elektrotechnika. 2012; 122(6), p. 3-6. https://doi.org/10.5755/j01.eee.122.6.1810
17. Bid S, Siddique G. Human risk assessment of Panchet dam in India using TOPSIS and WASPAS multi-criteria decision-making (MCDM) methods. Heliyon. 2019; 5(6): e01956. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01956
18. Ighravwe D E, Oke S A. A fuzzy-grey-weighted aggregate sum product assessment methodical approach for multi-criteria analysis of maintenance performance systems. International Journal of Systems Assurance Engineering and Management. 2017; 8(S2), p. 961–973.DOI: 10.1007/s13198-016-0554-8