



## Assessment of pollution control technologies by using decision support systems

**Mohamadreza Yarahmadi**, Occupational Health Research Center, Air pollution Research Center, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

① **Farideh Atabi**, (\*Corresponding author) Department of Environmental Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. [far-atabi@jamejam.net](mailto:far-atabi@jamejam.net)

**Parvin Moridi**, Department of Environmental Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

**Somayeh Soleimani Aylar**, Air pollution Research Center, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

### Abstract

**Background and aims:** Air pollution reduction is important in well-being of people and environment. Applying an effective and efficient strategy is key consideration in facing with environmental challenges of management and control of air pollution. Recently, the main effort of environmental researchers is finding low cost and effective methods to control environmental pollutants. Pollution prevention and control account as main techniques of pollution reduction. However, the prevention role is important than pollution control. Implementation of control practices and using of effective devices and technical equipments is necessary to achieve control strategy of pollution. One of the most important steps in air pollution control is selection the appropriate control equipment. Several factors included in selection of proper and technical equipments such as; cost, designing, efficiency, and etc. Choosing of proper control devices with lower emission rate of pollutants would result in lower destruction and environmental costs. Desired decision should be based on different criteria of socio-economic, and management. Choosing of appropriate control devices by consideration of various characteristics is complicated. Recently, one of the management challenges is selection of control devices based on the socio-economical, technical and environmental criteria. MADM models are one of the supportive decision systems applied for priority, and selection of best alternative. These methods seek for choosing the best and effective alternative by considering of multiple criteria. The aim of the present study is selection of air pollution control technologies with considering appropriate aspects of socio-economic and techno-practical criteria. Selection of suitable and effective control devices is key factor in prevention of losing human and financial capital.

**Methods:** In this research, MADM technique based on fuzzy TOPSIS method has been used for appropriate selection of air pollution control equipment and pollution management. By literature review and cooperation of air pollution experts, common technologies in fields of air pollution included in petrochemical industries have been identified and keyed. Firstly, primarily questionnaire is prepared and then its reliability and validity were done using Lawshe's method. Five criteria including filtration efficiency, cost, maintainability, design ability and size for rating the control technologies related to air pollutants include of (NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> and CO) have been considered. Criteria weighting has been done using Shannon entropy and Fuzzy TOPSIS technique has been applied for prioritize of indicators. Data bank of primarily questions including pollution control technologies about three categories of air pollutants (NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, and CO) has been collected and organized to provide final questionnaire. Then, questionnaire has been distributed between expert panel with air pollution discipline to complete it. After that, the weight of study criteria (including; cost, treatment efficiency, size, maintenance, design and build up) is identified using Shannon entropy method. The answers of expert panel to questionnaire were verbal. So, there was a need to be converted as scales with analytical property. As, doing mathematical operations on descriptive qualitative variables were impossible. Therefore, descriptive variables have been converted to fuzzy scales. In this research, triangular fuzzy values have been used. Fuzzy TOPSIS technique has been applied for ranking of indicators. Accordingly, it is implemented during 7 steps including; choosing proper fuzzy scale of measurement, provide

### Keywords

Decision support systems,  
Cold plasma,  
Catalyst,  
Control equipment,  
Fuzzy TOPSIS,  
Technology

Received: 18/08/2015

Accepted: 05/10/2016

decision matrix (calculation of importance degree of each indicator for every criterion), weighting of decision matrix, normalize weighted decision matrix, determination of positive and negative fuzzy ideal responses, identify distance of each indicator, and determination of closeness coefficient of indicators to ranking indicators.

**Results:** The results of this study illustrate that final weighting of study's criteria based on expert panel opinions. After weighting of decision matrix, it was normalized and then positive and negative fuzzy ideal answers were determined. Then, distance of each indicator has been identified and closeness coefficient of indicators was reported to ranking of control technologies based on pollutant type. Cold plasma technology with closeness coefficient of 0.8129 was identified as the most appropriate filtration technology for treatment of NOX pollutant at the petrochemical industry. It has been chosen as proper and selective option due to selective and effective treatment efficiency of this technology for NOx pollutant, very low energy consumption and safe performance of reactor because of very low amperage. Plasma-catalytic hybrid process has been selected as secondary priority because of costly selective catalyst and also generation of unwanted byproducts. Catalytic based methods with closeness coefficient of 0.9194 possess higher ranking for SOX control compared to other techniques and carbon active technology placed at the secondary rank. The main reasons in catalytic priority are high efficiency, availability of absorbent chemical materials, easy and low cost of designing and build up that technology. In priority control technologies for CO removal, non- thermal plasma technology with closeness coefficient of 0.9679 has been identified as the best technology and plasma catalytic hybrid process placed at the next priority.

**Conclusion:** It has been known that one dimensional attitude to proper decision-making process is inefficient. Also, comprehensive considerations in management methods to make appropriate decisions are undeniable. Fuzzy TOPSIS technique is a reliable method to achieve effective and efficient technology based on different and multiple criteria. Selection of appropriate control equipment using multi attribute decision making methods and consideration of multiple criteria using Fuzzy TOPSIS method are possible. In present study, selection of appropriate control technologies using Fuzzy TOPSIS technique is addressed for some pollutants including NOX, SOX and CO. Recognition, prioritize, and selection of proper technologies with low cost and effective performance in field of environmental pollution control according to effective criteria are undeniable requirements of optimum consumption of project's resources. Thus, new designs of control technologies with emphasize on effective efficiency should be identified. Multi attribute decision making method known as efficient tool in this subject. It is applied for prioritize treatment technologies with low uncertainty especially, in petrochemical industries with high level of some considerations including; socio-economic, techno-operational, and environmental.

**Conflicts of interest:** None

**Funding:** None

#### How to cite this article:

Yarahmadi M, Atabi F, Moridi P, Soleimani Aylar S. Assessment of pollution control technologies by using decision support systems. *Iran Occupational Health*. 2019 (Jun-Jul);16(2):11-21.

This work is published under [CC BY-NC-SA 3.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/) licence



## ارزیابی سیستم‌های کنترل آلاینده‌های $SO_x$ ، $NO_x$ و CO با استفاده از سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری

**محمد رضا یاراحمدی:** مرکز تحقیقات بهداشت کار، مرکز تحقیقات آلودگی هوا، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.  
**فریده عتابی:** \*نویسنده مسئول، دانشیار، گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران. far-atabi@jamejam.net  
**پروین مریدی:** گروه مدیریت محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران.  
**سمیه سلیمانی علیار:** مرکز تحقیقات آلودگی هوا، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.

### چکیده

#### کلیدواژه‌ها

سیستم‌های پشتیبانی  
تصمیم‌گیری،  
پلاسمای سرد،  
کاتالیست،  
تجهیزات کنترلی،  
تأسیس فازی،  
تکنولوژی

**زمینه و هدف:** کاهش آلاینده‌ها هوا برای حفظ سلامتی انسان و محیط‌زیست مهم است. اعمال اقدامات کنترلی و استفاده از دستگاه‌ها و تجهیزات فنی و مؤثر جهت دستیابی به استراتژی کنترل آلودگی ضرورت دارد. از گام‌های مهم در کنترل آلودگی انتخاب تجهیزات کنترلی مناسب است. انتخاب تجهیزات کنترلی مناسب به دلیل انتشار آلاینده‌های کمتر، کاهش تخریب و هزینه‌های زیست‌محیطی را به دنبال خواهد داشت. یکی از چالش‌های مدیریتی در حال حاضر انتخاب تجهیزات کنترلی مناسب مبتنی بر معیارهای اقتصادی، فنی و زیست‌محیطی است. هدف تحقیق حاضر انتخاب تکنولوژی‌های کنترل آلودگی هوا با در نظر داشتن معیارهای اقتصادی، اجتماعی، فنی و اجرایی مناسب است. انتخاب تجهیزات کنترلی مناسب و مؤثر یک فاکتور کلیدی در پیشگیری از هدر رفت سرمایه‌های مالی و انسانی است.

**روش بررسی:** در این تحقیق برای انتخاب تجهیزات کنترلی مناسب و مدیریت آلودگی از روش تصمیم‌گیری چند معیاره مبتنی بر فازی تأسیس استفاده شده است. وزن معیارهای تحقیق یعنی معیارهای هزینه، راندمان تصفیه، اندازه، هزینه نگهداری و قابلیت طراحی و ساخت بر اساس روش شانون آنتروپی مشخص شد. تکنولوژی‌های کنترل آلودگی هوا با استفاده از تکنیک فازی تأسیس و بر اساس معیارهای ذکر شده پس از محاسبه ضریب نزدیکی، اولویت‌بندی و رتبه‌بندی شدند.

**یافته‌ها:** نتایج نشان می‌دهد وزن نهایی معیارهای تحقیق بر اساس نظرات افراد خبره با کمک تکنیک آنتروپی شانون به تفکیک هر آلاینده متفاوت است. میزان اهمیت معیار "راندمان تصفیه‌کنندگی"، با ضریب وزنی (۰/۳۷۸) برای آلاینده  $NO_x$  حداکثر وزن را به خود اختصاص داده است. تکنولوژی پلاسمای سرد با ضریب وزنی (نزدیکی) ۰/۸۱۲۹ به عنوان مناسب‌ترین تکنولوژی تصفیه برای آلاینده  $NO_x$  در صنایع پتروشیمی شناخته شد. با توجه به راندمان تصفیه مؤثر و انتخابی این تکنولوژی در خصوص آلاینده  $NO_x$ ، مصرف انرژی بسیار کم و ایمن بودن راکتور به دلیل امپراژ بسیار کم به‌عنوان گزینه منتخب و مناسب تعیین شده است. پلاسمای شیمیایی به دلیل گران بودن کاتالیست‌های انتخابی و تولید محصولات جانبی و ناخواسته به عنوان اولویت دوم انتخاب شده است. کاتالیست با ضریب (نزدیکی) ۰/۹۱۹۴ برای کنترل  $SO_x$  و تکنولوژی پلاسمای سرد با ضریب (نزدیکی) ۰/۹۶۷۹ بهترین تکنولوژی‌های کنترلی بر اساس معیارهای تحقیق شناسایی شدند.

**نتیجه‌گیری:** ناکارآمد بودن نگرش تک‌بعدی برای تصمیم‌گیری درست ناکارآمد بوده و جامع‌نگری برای اتخاذ بهترین تصمیم‌ها و شیوه‌های مدیریتی انکارناپذیر است. تکنیک تأسیس فازی روشی قابل‌اعتماد برای دستیابی به تکنولوژی مؤثر و کارآمد بر اساس معیارهای مختلف و چندانگانه است. در این تحقیق، انتخاب تکنولوژی‌های کنترل آلودگی مناسب برای آلاینده‌های  $NO_x$ ،  $SO_x$  و CO با استفاده از تکنیک تأسیس آدرس داده شد. شناسایی، اولویت‌بندی و انتخاب تکنولوژی‌های مناسب کم‌هزینه و مؤثر در زمینه کنترل آلاینده‌های زیست‌محیطی بر اساس معیارهای مؤثر لزوم صرف بهینه منابع پروژه است؛ بنابراین طرح‌های کنترلی با کارایی مؤثر با تأکید بر تکنولوژی‌های نوین و کارآمد باید تعیین و شناسایی شود.

**تعارض منافع:** گزارش نشده است.

**منبع حمایت‌کننده:** حامی مالی نداشته است.

شیوه استناد به این مقاله:

Yarahmadi M, Atabi F, Moridi P, Soleimani Aylar S. Assessment of pollution control technologies by using decision support systems. Iran Occupational Health. 2019 (Jun-Jul);16(2):11-21.

\*انتشار این مقاله به صورت دسترسی آزاد مطابق با CC BY-NC-SA 3.0 صورت گرفته است

## مقدمه

تلاش عمده‌ی محققان زیست‌محیطی در سال‌های اخیر یافتن روش‌های کم‌هزینه و مؤثر در زمینه کنترل آلاینده‌های زیست‌محیطی است (۴-۱). برای کنترل آلودگی نیاز به سرمایه‌گذاری در زمینه‌های متعدد وجود دارد. انتخاب استراتژی مناسب کنترل آلودگی هوا با در نظر داشتن محدودیت سرمایه یک ضرورت محسوب می‌شود (۴). مدل‌های MADM از جمله سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری هستند که به منظور اولویت‌بندی و انتخاب بهترین گزینه مورد استفاده قرار می‌گیرند چون تصمیم‌گیری مطلوب بر مبنای معیارهای مختلف اقتصادی، اجتماعی، مدیریتی باید صورت بگیرد. روش‌های تصمیم‌گیری با در نظر گرفتن معیارهای چندگانه به دنبال انتخاب بهترین و مؤثرترین گزینه است (۵). برای دستیابی به استراتژی کنترل مؤثر و کارآمد، استفاده از دستگاه‌ها و تجهیزات فنی و مناسب است (۶). به همین دلیل طرح‌های کنترلی با کارایی مؤثر برای سیستم‌های کنترل آلودگی (PCS)<sup>۱</sup> با تأکید بر تکنولوژی‌های نوین و کارآمد باید تعیین و شناسایی شود (۷-۱۰). مسائل تصمیم‌گیری از مسائل مهمی است که پیشروی مدیران، تصمیم‌گیران و سیاستگذاران در کشورهای در حال توسعه وجود دارد. استفاده از چندین معیار و گروهی بودن تصمیم‌گیری آن در فرایند ارزیابی و انتخاب فناوری‌های مناسب بسیار مؤثر و اثرگذار است (۱۱). استفاده از منطق فازی می‌تواند مسائل حاصل از عدم وجود اطمینان را حل کند (۱۲). با استفاده از تکنیک تاپسیس فازی امکان انتخاب مناسب‌ترین تصمیم جهت انتخاب و اولویت‌بندی با در نظر گرفتن معیارهای مؤثر میسر است (۱۳ و ۱۴). از طرفی کنترل آلاینده‌های شیمیایی محیط کار اعم از SO<sub>x</sub>، VOCs، NO<sub>x</sub> مبتنی بر تکنیک‌های دقیق ارزیابی و مدیریت ریسک عوامل مخاطره‌زای بالفعل در محیط کار و محیط‌زیست می‌باشد (۱۵-۱۸).

همواره در مسائل پیچیده عدم اطمینان وجود دارد، به این معنی که افزایش پیچیدگی مسئله، منجر به کاهش درجه اطمینان می‌گردد. با استفاده از روش تاپسیس فازی می‌توان مسائل حاصل از عدم وجود

اطمینان را حل کرد. برای شناسایی، دسته‌بندی، انتخاب و اولویت‌بندی فعالیت‌های مختلف که در آن شاخص‌های گوناگون و مهم نقش دارند تصمیم‌گیری امری پیچیده و توجه به لزوم صرف بهینه منابع پروژه دارای اهمیت انکارناپذیری است (۱۹ و ۲۰).

ناکارآمد بودن نگرش تک‌بعدی برای تصمیم‌گیری درست ناکارآمد بوده و جامع‌نگری برای اتخاذ بهترین تصمیم‌ها و شیوه‌های مدیریتی انکارناپذیر است. روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره از تصمیم‌گیری گروهی و در نظر گرفتن معیارهای متعدد برای تصمیم‌گیری استفاده می‌کنند (۲۱ و ۲۲).

به این ترتیب ملاحظه می‌شود که انتخاب تجهیزات کنترلی با در نظر داشتن معیارهای مختلف اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی و... نسبتاً پیچیده است و به عنوان مسئله اساسی مطرح می‌شود. هدف از انجام این تحقیق انتخاب فناوری‌های بهینه تصفیه آلاینده‌های هوا در یک صنعت منتخب با استفاده از تکنیک تصمیم‌گیری چند معیاره (MADM) می‌باشد.

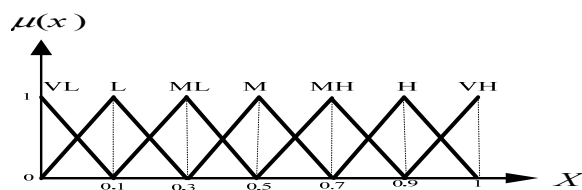
## روش بررسی

در این مطالعه با استفاده و بررسی شاخص‌های ارائه شده توسط سازمان محیط‌زیست آمریکا<sup>۲</sup>، سازمان محیط‌زیست ایران، اداره اجرائی بهداشت و ایمنی انگلستان<sup>۳</sup>، سازمان توسعه پایدار کلان‌شهرها، وزارت نفت، سازمان بنادر کشتیرانی و تحقیقات صورت گرفته فهرستی از شاخص‌های فنی، اقتصادی و اجرایی تجهیزات کنترل آلاینده‌های هوا تهیه گردید. سپس با توجه به نظر خبرگان شاخص‌های مؤثر از میان فهرست مبسوط شاخص‌های عملکردی انتخاب می‌گردد. سپس شاخص‌های کلیدی در ارتباط با ارزیابی عملکرد سیستم‌های کنترل آلودگی با کمک معیارهای تحقیق یعنی هزینه، ابعاد و اندازه سیستم، راندمان تصفیه، هزینه نگهداری و قابلیت طراحی و ساخت وزن دهی و رتبه‌بندی انجام گردید (۶). با بررسی متون، همکاری و همفکری متخصصان آلودگی هوا تکنولوژی‌های متداول در زمینه کنترل آلودگی هوا برای آلاینده‌های مورد نظر تحقیق شامل (CO، NO<sub>x</sub>، SO<sub>x</sub>) شناسایی و کلیدی

<sup>۲</sup>. United States Environmental Protection Agency

<sup>۳</sup>. UK HSE

<sup>۱</sup>. Pollution Control System



شکل ۱- اعداد فازی برای تعیین اهمیت معیارهای انتخاب تکنولوژی تصفیه

اطمینان است که به‌وسیله‌ی توزیع احتمال مشخص بیان می‌شود. اندازه‌گیری این عدم اطمینان به‌وسیله‌ی شانون به‌صورت زیر بیان شده است (۲۹).

(۱)

$$E_i = S(P_1, P_2, \dots, P_n) = -K \sum_{i=1}^n P_i \ln(P_i) \quad (i=1,2,\dots,m)$$

پس از جمع‌آوری پاسخ‌های خبرگان در قالب پاره‌ای گویه‌های کلامی، لازم است پاسخ‌های مذکور به مقیاسی با قابلیت تجزیه و تحلیل تبدیل شوند، زیرا انجام عملیات ریاضی بر روی متغیرهای بیانی کیفی غیرممکن است. بنابراین متغیرهای بیانی باید به مقیاس‌های فازی تبدیل شوند. در این تحقیق، از اعداد فازی مثلثی<sup>۶</sup> که در شکل ۱ نیز نشان داده شده به‌عنوان توابع عضویت اعداد فازی استفاده شده است. دلیل استفاده از اعداد فازی مثلثی، کمک به تصمیم‌گیرنده در تصمیم‌گیری ساده‌تر است.

۲- تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری برای تعیین اهمیت هر شاخص با توجه به هر معیار

برای این منظور ابتدا لازم است که مقیاس مناسب فازی برای سنجش هر شاخص با توجه به هر معیار تعیین گردد. در این تحقیق از مقیاس‌های فازی به کارگرفته شده توسط وانگ و الهاگ<sup>۷</sup> (۲۰۰۶) استفاده شده است (۳۰). تصمیم‌گیری چند شاخصه معمولاً توسط فرمول ذیل فرموله می‌گردد. بطوریکه  $A_i$  نشان‌دهنده گزینه  $A_m$ ،  $C_j$  نشان‌دهنده شاخص  $X_{ij}$  و  $X_{ij}$  نشان‌دهنده شاخص  $A_m$  برای گزینه  $A_m$  می‌باشد.

(۲)

$$A = [a_{ij}] = \begin{matrix} & c_1 & c_2 & \dots & c_n \\ A_1 & \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ A_2 & \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_m & \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{matrix} \quad i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n$$

<sup>۶</sup>. Triangular Fuzzy number

<sup>۷</sup>. Wang and Elhang

سازی شدند (۲۳ و ۲۴). با توجه به اینکه پرسش‌نامه استاندارد در زمینه اولویت‌بندی تکنولوژی‌های بهینه وجود نداشت ابتدا پرسش‌نامه اولیه تهیه شد. سپس برای بررسی پایایی همسانی درونی (۲۵) و روایی پرسشنامه از روش لاوشه استفاده شده است (۲۶). در این تحقیق جهت اولویت‌بندی فناوری‌های تصفیه آلاینده‌های شاخص هوا ( $CO$ ,  $NO_x$ ,  $SO_x$ ) در راستای منتخب مورد استفاده قرار گرفته است. در راستای اهداف تحقیق، تبیین توابع وزن دهی شاخص‌های معیار (هزینه، راندمان تصفیه، سایز، هزینه نگهداری، طراحی، ساخت و ...) بررسی شد. پرسش‌نامه اولیه بر اساس روش تاپسیس فازی و معیارهای تحقیق آماده گردید. پرسش‌نامه بین ۱۵ نفر از افراد خبره و اساتید مجرب دانشگاهی توزیع شد. روایی پرسشنامه توسط گروه خبرگان و کارشناسان با تجربه تأیید قرار گرفت و پس از رفع ابهامات، نهایی شد. پرسش‌نامه نهایی برای جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز برای رتبه‌بندی و وزن دهی، در بین افراد متخصص و صاحب‌نظر با گرایش آلودگی هوا توزیع و تکمیل شد.

در این تحقیق برای رتبه‌بندی و انتخاب فناوری بهینه تصفیه آلاینده‌های هوا شامل ( $CO$ ,  $NO_x$ ,  $SO_x$ ) از روش فازی تاپسیس فازی استفاده شده است. تکنیک TOPSIS<sup>۴</sup> به‌وسیله هوانگ و یون<sup>۵</sup> به سال ۱۹۸۱ پیشنهاد شد (۲۷ و ۲۸). مراحل هفت‌گانه اجرای تکنیک تاپسیس فازی در زیر نشان داده شده است:

۱- تعیین وزن معیارهای ارزیابی پالایش آلودگی: ابتدا وزن معیارهای مسئله یعنی معیارهای هزینه، اندازه، راندمان تصفیه، هزینه نگهداری و قابلیت طراحی و ساخت با استفاده از روش آنتروپی شانون تعیین گردید. آنتروپی در نظریه‌ی اطلاعات یک معیار عدم

<sup>۴</sup>. Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution

<sup>۵</sup>. Hwang and Yoon

$$d^+_i = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^+), i = 1, 2, \dots, m;$$

$$d^-_i = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-), i = 1, 2, \dots, m;$$

که اگر  $\tilde{v}_{ij} = (a, b, c)$  آنگاه:  
(۹)

$$d(\tilde{v}_i, \tilde{v}_j^+) = \sqrt{\frac{1}{3}[(a-1)^2 + (b-1)^2 + (c-1)^2]} \text{ and } d(\tilde{v}_i, \tilde{v}_j^-) = \sqrt{\frac{1}{3}[(a-0)^2 + (b-0)^2 + (c-0)^2]}$$

گام هفتم: محاسبه ضریب نزدیکی<sup>۸</sup> و رتبه شاخص‌ها با محاسبه ضریب نزدیکی<sup>۹</sup> و رتبه شاخص‌ها در گام هفتم اولویت‌بندی شاخص‌ها انجام می‌شود.  $CC_i$  یا ضریب نزدیکی معیاری برای رتبه‌بندی شاخص‌ها و اولویت‌بندی آن‌ها می‌باشد.

### یافته‌ها

وزن نهایی معیارهای تحقیق بر اساس نظرات افراد خبره برای بیان اهمیت معیارهای مورد استفاده به تفکیک هر آلاینده بر اساس روش آنتروپی شانون در جدول ۱ نشان داده شده است.

در جدول ۲ ماتریس تصمیم‌گیری فازای شده به تفکیک تکنولوژیهای کنترلی هر سه آلاینده در تحقیق حاضر محاسبه شده است. جدول تصمیم‌گیری به دست آمده از میانگین نظرات افراد را (مطابق جدول شماره ۳) بی‌مقیاس می‌کنیم.

نتایج محاسبه ماتریس تصمیم‌گیری و ماتریس تصمیم‌گیری نرمال شده به تفکیک سه گروه آلاینده و تکنولوژیهای تصفیه به ترتیب در جدول ۴ و ۵ آمده است.

با استفاده از فاصله ایده آل مثبت و منفی به دست آمده از فرمول محاسبه  $CC$ ، فناوری‌ها رتبه‌بندی و نتایج در جدول ۶ آورده شده است.

### بحث و نتیجه‌گیری

**بحث مربوط به معیارهای انتخاب فناوری‌ها به تفکیک هر آلاینده**

وزن معیارها مربوط به آلاینده  $NO_x$ : اکسیدهای

(۳)

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{1}{k}(\tilde{x}_{ij}^1 + \tilde{x}_{ij}^2 + \dots + \tilde{x}_{ij}^k) \text{ and } \tilde{x}^k = (a^k_{ij}, b^k_{ij}, c^k_{ij})$$

۳- محاسبه ماتریس تصمیم‌گیری موزون: در این گام باید هر کدام از اعداد فازای به دست آمده برای اهمیت هر معیار را در عنصر متناظر ماتریس تصمیم (اهمیت هر شاخص با توجه به هر معیار) ضرب کنیم. ماتریس موزون به شکل زیر تعریف می‌شود:

(۴، ۵)

$$\tilde{V} = [\tilde{v}_{ij}]_{m \times n}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$$

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{a}_{ij} \otimes \tilde{w}_j$$

گام چهارم: به دست آوردن ماتریس تصمیم‌گیری نرمال شده

در مرحله بعدی جداول تصمیم‌گیری که از میانگین نظرات افراد به دست می‌آیند و موزون شده‌اند را نرمال می‌کنیم. اگر فرض کنیم ماتریس فازای نرمال شده با  $\tilde{R}$  نشان داده شود:

$$\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m \times n}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$$

این ماتریس از فرمول‌های زیر به دست می‌آید که در این فرمول‌ها  $B$  و  $C$  به ترتیب نشانگر مثبت و منفی بودن معیارهای مسئله است.

(۶)

$$\tilde{r}_{ij} = \left( \frac{a_{ij}}{c^+_{ij}}, \frac{b_{ij}}{c^+_{ij}}, \frac{c_{ij}}{c^+_{ij}} \right) \quad c^+_{ij} = \max_i c_{ij} \quad j \in B$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left( \frac{a^-_{ij}}{c^-_{ij}}, \frac{a^-_{ij}}{b^-_{ij}}, \frac{a^-_{ij}}{a^-_{ij}} \right) \quad a^-_{ij} = \min_i a_{ij} \quad j \in C$$

گام پنجم: تعیین پاسخ ایده آل مثبت و پاسخ ایده آل منفی فازای

در این گام پاسخ ایده آل مثبت و پاسخ ایده آل منفی فازای  $A^+$  و  $A^-$  به شکل زیر تعریف می‌شوند:

(۷)

$$A^+ = (\tilde{v}_1^+, \tilde{v}_2^+, \dots, \tilde{v}_n^+) \quad , \quad A^- = (\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^-)$$

$$\tilde{v}_j^+ = (1, 1, 1) \quad \text{and} \quad \tilde{v}_j^- = (0, 0, 0) \quad j = 1, 2, \dots, n.$$

گام ششم: محاسبه فاصله هر شاخص از ایده آل مثبت و ایده آل منفی فازای

فاصله  $(d^+_i, d^-_i)$  هر شاخص از  $A^+$  و  $A^-$  به کمک رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

(۸)

<sup>۸</sup>. Closeness Coefficient

<sup>۹</sup>. Closeness Coefficient

**جدول ۱- وزن نهایی معیارها با آنتروپی شانون به تفکیک هر آلاینده**

ردیف	وزن نهایی معیارها برای هر آلاینده Wi	هزینه	اندازه	نگهداری	راندمان	طراحی
۱	(NO <sub>x</sub> ) Wi	۲۱۲/۰	۰۶۳/۰	۰۴۷/۰	۳۷۸/۰	۳۰۰/۰
۲	(SO <sub>x</sub> ) Wi	۲۷۸/۰	۱۶۵/۰	۰۵۹/۰	۳۹۰/۰	۱۰۷/۰
۳	(CO) Wi	۱۱۱/۰	۱۵۴/۰	۰۴۲/۰	۶۵۱/۰	۰۴۲/۰

**جدول ۲- ماتریس تصمیم فازی شده تکنولوژی‌های کنترل**

آلاینده	تکنولوژی‌های کنترلی	هزینه	اندازه	نگهداری	راندمان	طراحی
NO <sub>x</sub>	پلاسمای سرد	(۱/۱۳, ۱/۵۲, ۲/۲۶)	(۰/۶۱, ۰/۸۶, ۱/۰۶)	(۰/۴۵, ۰/۶۷, ۰/۸۹)	(۰/۶۸, ۰/۸۸, ۰/۹۹)	(۰/۴, ۰/۶۱, ۰/۸۲)
	پلاسمای شیمیایی	(۱/۱۴, ۱/۴۸, ۲/۱۸)	(۰/۵۱, ۰/۷۵, ۰/۹۷)	(۰/۴۶, ۰/۷۳, ۰/۹۶)	(۰/۵۴, ۰/۷۴, ۰/۸۸)	(۰/۶, ۰/۸۳, ۱)
	فلر <sup>۱</sup> (سیستم بازیابی گازها)	(۱/۲۶, ۱/۶۴, ۲/۳۵)	(۰/۵۶, ۰/۷۸, ۰/۹۷)	(۰/۵, ۰/۷, ۰/۹)	(۰/۶۹, ۰/۸۸, ۱)	(۰/۵۳, ۰/۷۳, ۰/۹)
SO <sub>x</sub>	دودکش مرتفع	(۱/۱۲, ۱/۵, ۲/۱۴)	(۰/۵۵, ۰/۷۹, ۱)	(۰/۵۱, ۰/۷۶, ۱)	(۰/۷۳, ۰/۹۱, ۱)	(۰/۵۵, ۰/۷۸, ۰/۹۶)
	اسکرابر	(۱, ۱/۲۵, ۱/۷۶)	(۰/۵۳, ۰/۷۶, ۰/۹۹)	(۰/۵۱, ۰/۷۶, ۰/۹۸)	(۰/۴۹, ۰/۶۹, ۰/۸۶)	(۰/۶, ۰/۸۲, ۰/۹۸)
	کربن فعال	(۴/۶۷, ۶/۵۳, ۸/۲)	(۵, ۶/۹۳, ۸/۶)	(۴/۱۳, ۵/۹۳, ۴/۷/۴)	(۶/۰۷, ۷/۸, ۸/۹۳)	(۵/۷۶, ۷/۴, ۸/۶)
CO	اسکرابر	(۲/۵۳, ۴/۱۳, ۵/۹۳)	(۴/۳۳, ۶/۱۳, ۷/۸۷)	(۳/۹۳, ۵/۷۳, ۷/۲۷)	(۵/۹۳, ۷/۶۷, ۸/۷۳)	(۴/۳۳, ۶/۱۳, ۷/۵۳)
	فلر (سیستم بازیابی گازها)	(۲/۸۷, ۴/۱۴, ۶/۱۳)	(۳/۴, ۵/۲, ۶/۹۳)	(۳/۲۷, ۴/۹۳, ۶/۶)	(۴/۶, ۶/۴۷, ۸)	(۴/۴, ۶/۲۷, ۷/۷۳)
	کاتالیست	(۳/۸, ۵/۲, ۶/۵۳)	(۳/۲۷, ۴/۷۳, ۶/۲۷)	(۴/۲, ۵/۸, ۷/۱۳)	(۲/۰۷, ۴/۵۷, ۶/۱۴)	(۴, ۵/۵۳, ۶/۸۷)
انتخابی	دودکش مرتفع	(۲/۶, ۴/۲, ۶)	(۴/۱۳, ۵/۹۳, ۷/۶)	(۳/۲۷, ۴/۹۳, ۶/۷۳)	(۴/۴۷, ۶/۰۷, ۷/۶)	(۴/۴, ۶/۱۳, ۷/۶۷)
	جذب شیمیایی	(۲/۷۳, ۴/۲۷, ۵/۹۳)	(۳/۸۷, ۵/۸, ۷/۵۳)	(۴/۲۷, ۶, ۷/۶۷)	(۷, ۸/۷۳, ۹/۷۳)	(۴/۴۷, ۶/۸, ۸/۴)
	احیا کاتالیستی غیر انتخابی	(۳/۲, ۴/۸۷, ۶/۶)	(۴/۳۳, ۶/۳۳, ۸/۰۷)	(۴/۲۷, ۶/۱۳, ۷/۸۷)	(۶/۸۷, ۸/۵۳, ۹/۶)	(۵/۰۷, ۶/۸, ۸/۲)
پلاسمای بازیابی	دودکش مرتفع	(۳/۳۳, ۴/۸۷, ۶/۴۷)	(۳/۱۳, ۴/۸۷, ۶/۷۳)	(۳/۴, ۰/۷, ۶/۷۳)	(۴/۳۳, ۶/۰۷, ۷/۶)	(۴/۱۳, ۵/۷۳, ۷/۱۳)
	دودکش مرتفع	(۳/۰۷, ۴/۶, ۶/۲)	(۲/۹۳, ۴/۶, ۶/۴۷)	(۴/۲, ۵/۹۳, ۷/۵۳)	(۲/۹۳, ۴/۴, ۶/۰۷)	(۴/۴, ۶, ۷/۴)
	فلر (سیستم بازیابی گازها)	(۴/۰۷, ۵/۸۷, ۷/۴۷)	(۴/۴, ۶/۲۷, ۷/۸)	(۴/۲, ۵/۹۳, ۷/۰۷)	(۵/۵۳, ۷/۰۷, ۸/۱۳)	(۵/۰۷, ۶/۶۷, ۸)

1. Flare Gas Recovery System

حدافل وزن ممکن برخوردار شده است (جدول ۱). هزینه نگهداری تکنولوژی‌های کنترلی مربوط به آلاینده NO<sub>x</sub> به دلیل پایین بودن هزینه اجزا راکتور و مصرف انرژی بسیار کم از حدافل وزن لازم برخوردار بوده است. وزن معیارها مربوط به آلاینده SO<sub>x</sub>: ترکیبات تشکیل دهنده SO<sub>x</sub> باعث خوردگی تجهیزات فلزی (مخازن، لوله‌ها و اتصالات فلزی) و همچنین مسموم شدن کاتالیست‌های گران‌قیمت پالایشگاهی می‌شوند. با توجه به گستردگی و شرایط خاص جغرافیایی منطقه‌ای که بخش اعظم تأسیسات نفت و گاز کشور در آن قرار دارد، مسئله خوردگی در صنعت نفت ایران از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد. اعمال درست و دقیق مدیریت خوردگی و استفاده از تکنولوژی‌های جدید در این حوزه می‌تواند از بروز سالانه میلیون‌ها دلار خسارت به این مراکز جلوگیری کند. اهمیت مسئله خوردگی در صنعت نفت جنبه دیگری نیز دارد؛ تأسیسات نفتی، گازی و

نیتروژن جزء گروه گازهای سمی با واکنش بالا هستند. به عنوان یک آلاینده اصلی ثانویه در بسیاری از کشورهای جهان شناخته شده است (۳۱). الزامات قانونی سخت‌گیرانه برای به حداقل رساندن انتشار اکسیدهای نیتروژن و استفاده از تکنولوژی‌های جدید در صنایع برای به حداقل رساندن NO<sub>x</sub> رو به افزایش است. با توجه به اهمیت کنترل اکسیدهای نیتروژن در صنایع پتروشیمی، فاکتورهای زیادی برای ارزیابی تکنولوژی‌های جدید شامل سرمایه، هزینه‌های عملیاتی، قابلیت نگهداری و ایمنی و... باید در نظر گرفته شود (۳۲). میزان اهمیت معیار "راندمان تصفیه‌کنندگی"، با ضریب وزنی (۰/۳۷۸) حداکثر وزن را به خود اختصاص داده است. این ضریب مؤید اهمیت رساندن NO<sub>x</sub> به سطح مطلوب به عنوان اساس برای پروسه انتخاب تکنولوژی مناسب است. هزینه نگهداری تکنولوژی‌های تصفیه مربوط به این آلاینده با ضریب وزنی (۰/۰۴۷) از

**جدول ۳- ماتریس تصمیم فازی شده بی مقیاس تکنولوژی‌های کنترل**

آلاینده	تکنولوژیهای کنترلی	هزینه	اندازه	نگهداری	راندمان	طراحی
NO <sub>x</sub>	پلاسمای سرد	(۰/۴۸, ۰/۶۵, ۰/۹۶)	(۰/۶۱, ۰/۸۶, ۱/۰۶)	(۰/۴۵, ۰/۶۷, ۰/۸۹)	(۰/۶۸, ۰/۸۸, ۰/۹۹)	(۰/۴, ۰/۶۱, ۰/۸۲)
	پلاسمای شیمیایی	(۰/۴۹, ۰/۶۳, ۰/۹۳)	(۰/۵۱, ۰/۷۵, ۰/۹۷)	(۰/۴۶, ۰/۷۳, ۰/۹۶)	(۰/۵۴, ۰/۷۴, ۰/۸۸)	(۰/۶, ۰/۸۳, ۱)
	فلر (سیستم بازیابی گازها)	(۰/۵۴, ۰/۷, ۱)	(۰/۵۶, ۰/۷۸, ۰/۹۷)	(۰/۵, ۰/۷, ۰/۹)	(۰/۶۹, ۰/۸۸, ۱)	(۰/۵۳, ۰/۷۳, ۰/۹)
SO <sub>x</sub>	دودکش مرتفع	(۰/۴۸, ۰/۶۴, ۰/۹۱)	(۰/۵۵, ۰/۷۹, ۱)	(۰/۵۱, ۰/۷۶, ۱)	(۰/۷۳, ۰/۹۱, ۱)	(۰/۵۵, ۰/۷۸, ۰/۹۶)
	اسکراپر	(۰/۴۳, ۰/۵۳, ۰/۷۵)	(۰/۵۳, ۰/۷۶, ۰/۹۹)	(۰/۵۱, ۰/۷۶, ۰/۹۸)	(۰/۴۹, ۰/۶۹, ۰/۸۶)	(۰/۶, ۰/۸۲, ۰/۹۸)
	کربن فعال	(۱, ۱/۲۶, ۱/۷۶)	(۰/۵۸, ۰/۸۱, ۱)	(۰/۵۵, ۰/۷۹, ۱)	(۰/۶۸, ۰/۸۷, ۱)	(۰/۶۶, ۰/۸۶, ۱)
CO	اسکراپر	(۱/۳۸, ۱/۹۸, ۳/۲۴)	(۰/۵, ۰/۷۱, ۰/۹۱)	(۰/۵۳, ۰/۷۷, ۰/۹۷)	(۰/۶۶, ۰/۸۶, ۰/۹۸)	(۰/۵, ۰/۷۱, ۰/۸۸)
	فلر (سیستم بازیابی گازها)	(۱/۳۴, ۱/۸۶, ۲/۸۶)	(۰/۴, ۰/۶, ۰/۸۱)	(۰/۴۴, ۰/۶۶, ۰/۸۸)	(۰/۵۱, ۰/۷۲, ۰/۹)	(۰/۵۱, ۰/۷۳, ۰/۹)
	کاتالیست	(۱/۲۶, ۱/۵۸, ۲/۸۶)	(۰/۳۸, ۰/۵۵, ۰/۷۳)	(۰/۵۶, ۰/۷۸, ۰/۹۶)	(۰/۳۴, ۰/۵۱, ۰/۶۹)	(۰/۴۷, ۰/۶۴, ۰/۸)
CO	دودکش مرتفع	(۱/۳۷, ۱/۹۵, ۳/۱۵)	(۰/۴۸, ۰/۶۹, ۰/۸۸)	(۰/۴۴, ۰/۶۶, ۰/۹)	(۰/۵, ۰/۶۸, ۰/۸۵)	(۰/۵۱, ۰/۷۱, ۰/۸۹)
	جذب شیمیایی	(۰/۴۶, ۰/۶۴, ۱)	(۰/۴۸, ۰/۷۲, ۰/۹۳)	(۰/۵۴, ۰/۷۶, ۰/۹۷)	(۰/۷۲, ۰/۹, ۱)	(۰/۵۸, ۰/۸۱, ۱)
	احیا کاتالیستی غیر انتخابی	(۰/۴۱, ۰/۵۶, ۰/۸۵)	(۰/۵۴, ۰/۷۹, ۱)	(۰/۵۴, ۰/۷۸, ۱)	(۰/۷۱, ۰/۸۸, ۰/۹۹)	(۰/۶, ۰/۸۱, ۰/۹۸)
CO	پلاسمای سرد	(۰/۴۲, ۰/۵۶, ۰/۸۲)	(۰/۳۹, ۰/۶, ۰/۸۳)	(۰/۴۳, ۰/۶۴, ۰/۸۶)	(۰/۴۵, ۰/۶۲, ۰/۷۸)	(۰/۴۹, ۰/۶۸, ۰/۸۵)
	دودکش مرتفع	(۰/۴۴, ۰/۵۹, ۰/۸۹)	(۰/۳۶, ۰/۵۷, ۰/۸)	(۰/۵۳, ۰/۷۵, ۰/۹۶)	(۰/۳, ۰/۴۵, ۰/۶۲)	(۰/۵۲, ۰/۷۱, ۰/۸۸)
	فلر (سیستم بازیابی گازها)	(۰/۳۷, ۰/۴۷, ۰/۶۷)	(۰/۵۵, ۰/۷۸, ۰/۹۷)	(۰/۴۸, ۰/۶۹, ۰/۹)	(۰/۵۷, ۰/۷۳, ۰/۸۴)	(۰/۶, ۰/۷۹, ۰/۹۵)

**جدول ۴- ماتریس تصمیم‌گیری تکنولوژی‌های کنترلی برای سه آلاینده مورد نظر تحقیق**

آلاینده	تکنولوژیهای کنترلی	هزینه	اندازه	نگهداری	راندمان	طراحی
NO <sub>x</sub>	پلاسمای سرد	۱۳/۴	۹۳/۴	۰/۷/۴	۸۰/۵	۷۰/۴
	پلاسمای شیمیایی	۱۳/۴	۴۷/۴	۲۷/۴	۱۳/۵	۰۰/۵
	فلر (سیستم بازیابی گازها)	۹۳/۳	۶۷/۴	۲۰/۴	۵/۸۷	۶۰/۴
SO <sub>x</sub>	دودکش مرتفع	۲۰/۴	۶۷/۴	۴۰/۴	۷۰/۶	۸۰/۴
	اسکراپر	۷۳/۴	۵۳/۴	۴۰/۴	۸۷/۴	۰۰/۵
	کربن فعال	۸۰/۴	۴/۲۷	۴/۵۳	۵/۵۳	۵/۳۳
CO	اسکراپر	۵۳/۳	۴/۶۰	۴۷/۴	۵/۴۷	۶۷/۴
	فلر (سیستم بازیابی گازها)	۶۷/۳	۴/۰۷	۴/۰۰	۴/۸۰	۶۷/۴
	کاتالیست	۰/۷/۴	۳/۸۷	۴/۴۰	۳/۷۱	۴/۲۷
CO	دودکش مرتفع	۶۰/۳	۴/۴۷	۴/۰۰	۴/۶۰	۴/۶۰
	پلاسمای سرد	۶۰/۳	۴۰/۴	۴۷/۴	۰۰/۶	۴/۹۳
	پلاسمای شیمیایی	۹۳/۳	۶۷/۴	۴/۶۰	۵/۹۳	۰۰/۵
CO	فلر (سیستم بازیابی گازها)	۹۳/۳	۹۳/۳	۴/۰۷	۴/۶۰	۴/۴۷
	دودکش مرتفع	۸۰/۳	۳/۸۰	۴/۵۳	۶۷/۳	۴/۶۰
	اسکراپر	۴۷/۴	۴/۶۷	۴/۲۷	۵/۱۳	۴/۹۳

وزن معیارها در ارتباط با آلاینده CO: مدیریت انتشار کربن یکی از مهم‌ترین موضوعات در سبز کردن زنجیره عرضه است (۳۳). تولیدکنندگان محصولات شیمیایی و پتروشیمی دومین مصرف‌کننده بزرگ در بخش‌های تولید جهان هستند و تقریباً ۵ درصد از گازهای گلخانه‌ای دنیا را تولید می‌کنند. این میزان آلاینده شامل انتشار مستقیم دی اکسید کربن ناشی از سوخت‌های فسیلی در محل کارخانه، انتشار غیرمستقیم آلاینده‌ها در اثر استفاده از برق در جریان تولید و انتشار گازهای غیر دی اکسید کربن در فرآیندهای صنعتی مختلف است (۳۴). یکی از بخش‌های صنعتی که منجر به تولید دی اکسید کربن می‌شود، فرایندهای شیمیایی،

پتروشیمیایی کشور در حال توسعه است و لحاظ قواعد مدیریت خوردگی در طراحی و ساخت کارخانجات و تجهیزات مورد استفاده می‌تواند از بروز خسارات هنگفتی در آینده جلوگیری کند. به همین دلیل راندمان جداسازی و حذف حداکثر وزن لازم (۰/۳۹۰) را از میان معیارها به خود اختصاص داده است. عملکرد مکانیکی و شیمیایی ساده در تجهیزات تصفیه و حذف آلاینده‌های SO<sub>x</sub> مانند Paeletwer, Scrubber, Venturi، از طرفی مهارت بالای کارشناسان در طراحی این گروه به دلیل سابقه استفاده در صنعت درجه و وزن مربوط به طراحی حداقل به دست آمده است (جدول ۱).



**جدول ۵- ماتریس تصمیم نرمال شده**

آلاینده	تکنولوژیهای کنترلی	هزینه	اندازه	نگهداری	راندمان	طراحی
NO <sub>x</sub>	پلاسمای سرد	۲۰/۰	۰/۲۱	۰/۱۹	۰/۲۱	۰/۱۷
	پلاسمای شیمیایی	۲۰/۰	۰/۱۹	۲۰/۰	۰/۱۹	۰/۲۱
	فلر (سیستم بازیابی گازها)	۰/۱۹	۲۰/۰	۲۰/۰	۲۰/۰	۲۰/۰
	دودکش مرتفع	۲۰/۰	۲۰/۰	۰/۲۱	۰/۲۲	۲۰/۰
SO <sub>x</sub>	اسکراپر	۰/۲۲	۰/۱۹	۰/۲۱	۰/۱۸	۰/۲۱
	کربن فعال	۰/۲۴	۰/۲۳	۰/۲۱	۰/۲۳	۰/۲۳
	اسکراپر	۰/۱۸	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۲۳	۲۰/۰
	فلر (سیستم بازیابی گازها)	۰/۱۹	۰/۱۸	۰/۱۹	۲۰/۰	۲۰/۰
CO	کاتالیست	۰/۲۱	۰/۱۸	۰/۲۱	۰/۱۵	۰/۱۸
	دودکش مرتفع	۰/۱۸	۲۰/۰	۰/۱۹	۰/۱۹	۲۰/۰
	پلاسمای سرد	۰/۱۸	۲۰/۰	۲۰/۰	۰/۲۴	۰/۲۱
	پلاسمای شیمیایی	۲۰/۰	۰/۲۲	۰/۲۱	۰/۲۳	۰/۲۱
	فلر (سیستم بازیابی گازها)	۲۰/۰	۰/۱۸	۰/۱۹	۰/۱۸	۰/۱۹
	دودکش مرتفع	۰/۱۹	۰/۱۸	۰/۲۱	۰/۱۴	۰/۱۹
	اسکراپر	۰/۲۳	۰/۲۲	۰/۱۹	۰/۲۰	۰/۲۱

**جدول ۶- رتبه بندی و انتخاب تکنولوژی بهینه تصفیه آلاینده‌های هوا در تحقیق مورد نظر**

رتبه	cci	-D	+D	تکنولوژی های کنترلی SO <sub>x</sub>	رتبه	cci	-D	+D	تکنولوژی های کنترلی NO <sub>x</sub>
۴	۴۲۵۴/۰	۲۰۱/۰	۰/۲۷۲	اسکراپر	۴	۰/۵۷۸۲	۱۴۳/۰	۰/۱۰۴	احیاء کاتالیستی انتخابی (SCR)
۱	۹۱۹۴/۰	۴۳۵/۰	۰/۰۳۸	کاتالیست	۳	۰/۵۸۰۸	۰/۱۴۲	۰/۱۰۲	احیاء کاتالیستی غیر انتخابی (NSCR)
۳	۶۳۸۴/۰	۳۰۴/۰	۰/۱۷۲	فلر	۱	۰/۸۱۲۹	۰/۱۹۹	۰/۰۴۶	پلاسمای سرد
۵	۲۰۴۹/۰	۰۹۸/۰	۰/۳۸۲	دودکش مرتفع	۲	۰/۷۷۶۹	۰/۱۸۹	۰/۰۵۴	پلاسمای شیمیایی
۲	۷۴۰۷/۰	۳۵۱/۰	۰/۱۲۳	کربن فعال	۵	۰/۲۵۸۴	۰/۰۶۳	۰/۱۸۱	اسکراپر

رتبه	cci	-D	+D	تکنولوژی های کنترلی CO
۱	۹۶۵۷/۰	۳۱۳/۰	۰/۱۱/۰	پلاسمای سرد
۲	۹۳۱۶/۰	۳۰۲/۰	۰/۲۲/۰	پلاسمای شیمیایی
۴	۳۳۲۷/۰	۱۰۸/۰	۲۱۷/۰	فلر
۵	۰۳۴۱/۰	۰۱۱/۰	۳۱۳/۰	دودکش مرتفع
۳	۶۰۴۹/۰	۲۱۱/۰	۱۳۸/۰	اسکراپر

کاتالیست‌های انتخابی و تولید محصولات جانبی و ناخواسته به عنوان اولویت دوم انتخاب شده است. احیای کاتالیستی انتخابی و غیر انتخابی به دلیل انتخاب انحصاری آلاینده NO<sub>x</sub> و از طرفی حساسیت بالا به عوامل مزاحم (مسمومیت) در اولویت‌های آخر تکنولوژیهای منتخب قرار گرفته‌اند. در این تحقیق به منظور کنترل SO<sub>x</sub>، تکنولوژی اسکراپر با ضریب نزدیکی ۰/۹۱۹۴ به عنوان اولویت اول انتخاب شده است. از مهم‌ترین دلایل اولویت تکنولوژی ذکر شده می‌توان به راندمان بالا، در دسترس بودن مواد شیمیایی جاذب، سهولت و هزینه پایین طراحی و ساخت تکنولوژی ذکر شده اشاره نمود. دودکش مرتفع به دلیل هزینه پایین در طراحی و ساخت و از طرفی انتقال

آزمایشگاهی و صنعت پتروشیمی است (۳۵). راندمان با ضریب وزنی حداکثر معادل (۰/۶۵۱) برخوردار می‌باشد و از طرفی وزن مربوط به معیار نگهداری و طراحی برابر و معادل (۰/۰۴۱) تعیین شده است (جدول ۱).

### بحث مربوط به اولویت تکنولوژی‌های منتخب به تفکیک آلاینده‌ها

انتخاب تکنولوژیهای بهینه تصفیه مربوط به آلاینده NO<sub>x</sub> بیشترین امتیاز مربوط به تکنولوژی پلاسمای سرد برابر ۰/۸۱۲۹ می‌باشد. با توجه به راندمان تصفیه مؤثر و انتخابی این تکنولوژی در خصوص آلاینده NO<sub>x</sub>، مصرف انرژی بسیار کم و ایمن بودن راکتور به دلیل آمپراژ بسیار کم به عنوان گزینه منتخب و مناسب تعیین شده است. پلاسمای شیمیایی به دلیل گران بودن

## References

1. Robert J, Erson JR. An Empirical Analysis of Economic Strategies for Controlling Air Pollution. *J Enviro Econ Manag*. 1983;10:112-124.
2. Moridi P, Atabi F, Nouri J. Air Pollution Management based on the Selection of Appropriate Technologies for Air Pollutants Filtration using Multi-Criteria Decision-Making. *Ann Acad Bras Cienc*. 2015;87(1).
3. Yarahmadi R, Sadoughi Sh. Evaluating and prioritizing of performance indices of environment using fuzzy TOPSIS. *Indian J Sci Technol*. 2012;5(5):2713-2719.
4. Yarahmadi R, Mortazavi SB, Omidkha MR, Asilian H, Khavanin A, Moridi P. Examination of optimized conditions for the conversion of NOx pollution DBD Plasma reactor. *Iran J Chem Chem Eng*. 2010;29(53):133-140.
5. Taslimi MS, Barghi M, Asgharizade E, Roshandel Arbatani T, Ghorbani R. Prioritizing of the Strategic Aims of the Organization: The Computational Model of Multiple – Criteria Decision Making (MCDM) with the Approach of Multiple Attribute Decision Making (MADM). *Res Mag Manag Know*. 2004;67:3-18. (Persian)
6. Moridi P, Atabi F, Nouri J, Yarahmadi R. Selection of optimized air pollutant filtration technologies for petrochemical industries through multiple-attribute decision-making. *J Enviro Manag*. 2017;197:456-463.
7. Shahna FG, Bahrami A, Alimohammadi I, Yarahmadi R, Jaleh B, Gandomi M, et al. Chlorobenzene degeradation by non-thermal plasma combined with EG-TiO<sub>2</sub>/ZnO as a photocatalyst: Effect of photocatalyst on CO<sub>2</sub> selectivity and byproducts reduction. *J Hazard Mat*. 2017 Feb 15;324:544-53.
8. Abedi K, Ghorbani-Shahna F, Bahrami A, Jaleh B, Yarahmadi R. Effect of TiO<sub>2</sub>-ZnO/GAC on by-product distribution of CVOCs decomposition in a NTP-assisted catalysis system. *Polish J Chem Technol*. 2015 Mar 1;17(1):32-40.
9. Moradi G, Sadighzadeh A, Yarahmadi R, Bakand S, Farshad A, Rzaipour B, et al. Collection efficiency of ulpa filter operating on the removal of nano-sized aerosol particles. *Iran Occup Health*. 2013;10(2):1-10.
10. Pirsaraei SRA, Mahabadi HA, Jafari AJ. Airborne toluene degradation by using manganese oxide supported on a modified natural diatomite. *J Porous Mat*. 2016;23(4):1015-1024.
11. Moradi AM, Akhtar Kavan M. Methodology of the Multiple – Criteria Decision Making (MCDM). *Arman Shahr Mag*. 2009;2:113-125. (Persian)
12. Lotfi ZA. Fuzzy sets, *Inform. Control*. 1965;8:338-356.
13. Kalbar PP, Karmakar S, Asolekar SD.

آلاینده‌ها به فواصل دورتر از صنعت (Improve dispersion) در اولویت دوم قرار گرفته است. کاتالیست و کربن فعال به دلیل جداسازی غیر انتخابی، ایجاد افت در مسیر جریان و مسمومیت در کاتالیست‌ها اولویت‌های آخر تکنولوژی کنترل SO<sub>x</sub> به دست آمده است. برای کنترل CO تکنولوژی پلاسما شیمی با ضریب نزدیکی ۰/۹۳۱۶ در اولویت اول قرار گرفته است. دلیل انتخاب این گزینه هزینه‌های اولیه کم برای طراحی و ساخت و همچنین هزینه‌های نگهداری متوسط در مقایسه با سایر فناوری‌ها است. از طرفی دوره عملکرد با ثبات بالا و به دور از تأثیرپذیری از مداخلات فیزیکی و شیمیایی سایر آلاینده‌ها و فاکتورهای محیطی از نکات برجسته این تکنولوژی است. دودکش مرتفع با ضریب نزدیکی ۰/۳۴۱ در اولویت آخر قرار گرفته است که همان‌طور گفته شد به دلیل عدم تأثیر در کاهش و حذف و انتقال آلاینده‌ها عدد پایینی را به خود اختصاص داده است.

مشکل انتخاب تکنولوژی‌های بهینه تصفیه آلاینده‌های هوا برای سه آلاینده مورد نظر تحقیق شامل (SO<sub>x</sub>، CO، NO<sub>x</sub>) بر اساس روش فازی تاپسیس در این تحقیق آدرس داده شد. فازی تاپسیس یکی از روش‌های علمی و مدیریتی مطمئن برای فن تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری می‌باشد. نتایج این تحقیق نشان داد با استفاده از این تکنیک می‌توان با در نظر گرفتن تمامی جوانب شامل معیارها (هزینه، اندازه، قابلیت نگهداری، راندمان و طراحی)، اولویت و وزن معیارها نسبت به یکدیگر و ... شاخص‌ها را نسبت به یکدیگر سنجیده و آن‌ها را به شیوه‌ای منطقی اولویت‌بندی نمود. پنج معیار پس از وزن دهی به منظور اولویت‌بندی تکنولوژی منتخب برای ۳ آلاینده شاخص گازی شکل در یک صنعت منتخب استفاده شده است. بر این اساس در میان هر گروه از تکنولوژی‌های مورد تحقیق، گزینه برتر مبتنی بر روش تاپسیس فازی انتخاب گردید. امید است خوانندگان این مقاله بتوانند با در پیش گرفتن این شیوه و تبدیل آن به بسته‌های نرم-افزاری (جهت سرعت و دقت محاسباتی) فرآیند تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری را به نحوه مطلوب انجام دهند.

- Selection of an appropriate wastewater treatment technology: A scenario-based multiple-attribute decision-making approach. *J Environ Manage.* 2012;113:158-169.
14. Yazdani M. Risk Analysis for Critical Infrastructures Using Fuzzy TOPSIS. *J Manag Res.* 2011;4(1):E6.
15. Yarahmadi R, Esrafil A, Panjali Z, Rashidi M, Borhani Jebeli M, Salahshour A. Airborne contaminants evaluation of central animal housing of Iran University of medical sciences. *Iran Occup Health.* 2017 Mar 15;13(6):34-45.
16. Khadem M, Faridbod F, Norouzi P, Rahimi Foroushani A, Ganjali MR, Yarahmadi R. Designing and Development of an Electrochemical Sensor Modified with Molecularly Imprinted Polymer and Carbon Nanotubes for Evaluation of Occupational and Environmental Exposures to Dicloran Pesticide. *Iran Occup Health.* 2017.;14(3):1-12.
17. Samimi K, Asiliyan H, Khasedar K, Khavanin A. Assessment of health risks of exposure to hazardous chemicals by semi-quantitative method in a gas refinery complex. *J Occup Health Epidemiol.* 2016;5(4):194-201.
18. Lotfi A. Zadeh. Fuzzy Logic=Computing With Work. *IEEE.* 1996;4(2).
19. Khadem M, Faridbod F, Norouzi P, Rahimi Foroushani A, Ganjali MR, Shahtaheri SJ, et al. Modification of Carbon Paste Electrode Based on Molecularly Imprinted Polymer for Electrochemical Determination of Diazinon in Biological and Environmental Samples. *Electroanalysis.* 2017;29(3):708-715.
20. Yang M, Faisal IKh, Sadiq R. Prioritization of environmental issues in offshore oil and gas operations. *Process Safe Environ Protect.* 2011;89(1):22-34.
21. Lotfi ZA. Fuzzy sets, *Inform. Control.* 1985;8:338-356.
22. Moradi A, Akhtarkavan M. Multi-criteria decision analysis models methodology. *J Armanshahr.* 2008;1:113-125.(Persian)
23. Borhani Jebeli M, Golbabaei F, Ghorbanzadeh A, Yarahmadi R. Carbon monoxide treatment by non-thermal plasma. *Iran Occup Health.* 2017;13(3):1-9. (Persian)
24. Yarahmadi R, Mortazavi SB, Asilian H, Moridi P. The relationship between sulfur dioxides' emissions and sulfuric acid mist with individual employees exposure, *Iran Occup Health.* 2007;1- 2. (Persian)
25. Jackson C, Furnham A. Designing and analyzing questionnaires and surveys: A manual for health professionals and administrators. London: Whurr Publishers. 2000.
26. Lawshe C. A quantitative approach to content validity. *Person Psychol.* 1975;28:563-575.
27. Hwang CL, Yoon K. Multiple attributes decision making methods and applications, Springer, Berlin, Heidelberg. 1981.
28. Yarahmadi R, Shahkahi F, Taheri F, Moridi P. Priority of Occupational Safety and Health indexes Based on the Multi Criteria Decision Making in Construction Industries. *Iran Occup Health.* 2016;12(6):39-47.
29. Mahbob S, Ghashghaei A. Ranking of Public libraries in the world based on quantitative performance indicators of using MADM and SAW model. *J Inform Res Public Lib.* 2008;2:3-18.(Persian)
30. Wang YM, Elhag T. Fuzzy TOPSIS method based on alpha level sets with a application to bridge risk assessment. *Expert Syst Appl.* 2006;1(2):309-319.
31. Li Y, Lao AKH, Fung JCH, Zheng J, Liu SH. Importance of NOx control for peak ozone reduction in the Pearl River Delta region. *JGR Atmospheres.* 2013;118(16):9428-9443.
32. Baukal ChE, Hayes R, Grant M, Singh P, Foote D. Nitrogen oxides emissions reduction technologies in the petrochemical and refining industries, *Environmental Progress and total energy. Environ Progress.* 2004;23(1):19-28.
33. Moharammed N, Aghajani M, Atabi F, Azarkamand Sahar. Petrochemical Supply Chain's Share in Emission of Green House Gases, case study: Shazand Petrochemical Complex. *Am Environ Sci.* 2013;9(4):334-342.
34. Baumert KA. Navigating the Numbers: Greenhouse Gas Data and International Climate Policy. World Resources Institute. 2005.
35. Yarahmadi R, Moridi P, Roumiani Y. Health, safety and environmental risk management in laboratory fields. *Med J Islam Repub Iran.* 2016;30:343.