



## وزن دهی و رتبه بندی فناوری های کنترل آلاینده های گازی $\text{NH}_3$ ، $\text{PM}$ و $\text{VOCs}$ با استفاده از روش تاپسیس فازی

پروین مریدی<sup>۱</sup>، فریده عتابی<sup>۲</sup>، جعفر نوری<sup>۳</sup>

تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۵/۰۴

تاریخ ویرایش: ۹۴/۰۴/۱۴

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۰/۱۴

### چکیده

**زمینه و هدف:** یکی از عوامل مهم در تقابل با کیفیت محیط زیست در بسیاری از شهرها در سرتاسر جهان آلودگی هواست که اثرات منفی ژرفی بر سلامت انسان دارد. کنترل انتشار آلودگی هوا از منابع صنعتی و خانگی هوا در راستای اهداف توسعه پایدار یک مشکل و چالش بسیار مهم است. تصمیم گیری با در نظر گرفتن شاخص های مختلف اجتماعی، اقتصادی، عملیاتی، امری پیچیده است. هدف تحقیق حاضر وزن دهی، اولویت بندی و انتخاب فناوری مناسب کنترلی با ملاحظات فنی - اقتصادی و اجرایی بالا و عدم قطعیت پایین است.

**روش بررسی:** در این مطالعه برای وزن دهی و رتبه بندی فناوری های کنترل آلودگی از روش تاپسیس فازی استفاده شده است. پنج معیار تحقیق عبارتند از: راندمان، هزینه، قابلیت نگهداری، طراحی و اندازه. این معیارها برای رتبه بندی فناوری های کنترلی مربوط به آلاینده های هوا شامل ( $\text{VOCs}$ ،  $\text{PM}$ ،  $\text{NH}_3$ ) در نظر گرفته شده اند.

**یافته ها:** نتایج تحقیق نشان می دهد که HEPA (High-Efficiency Particulate Air) با ضریب نزدیکی ۰/۹۲۳ به عنوان مناسب ترین فناوری تصفیه ذرات در صنایع پتروشیمی انتخاب شد. جاذب شیمیایی با ضریب نزدیکی ۰/۸۶۷ برای کنترل بخارات آمونیاک و فناوری پلاسما شیمیایی با ضریب نزدیکی ۰/۹۵۸۶ برای کنترل  $\text{VOCs}$  به عنوان بهترین فناوری ها شناسایی شدند.

**نتیجه گیری:** تاپسیس فازی روشی مطمئن و قابل اعتماد برای فن تصمیم سازی و تصمیم گیری می باشد. مشکل انتخاب فناوری های بهینه تصفیه آلاینده های هوا برای سه آلاینده مورد نظر تحقیق شامل  $\text{VOCs}$  و  $\text{PM}$ ،  $\text{NH}_3$  بر اساس روش تاپسیس فازی در این تحقیق آدرس داده شد.

**کلیدواژه ها:** فازی تاپسیس، فناوری تصفیه، آلودگی هوا، ذرات، پلاسما شیمیایی.

### مقدمه

آلودگی، شناسایی و مورد بررسی قرار گیرد [۴]. با وجود نیاز به سرمایه گذاری های متعدد برای کنترل آلودگی و محدودیت سرمایه در بسیاری از موارد، انتخاب استراتژی مناسب کنترل آلودگی هوا با ملاحظات فنی - اقتصادی و اجرایی بالا و عدم قطعیت پایین یک ضرورت محسوب می شود. ماهیت چند معیاره بودن تصمیم گیری و گروهی بودن آن در فرایند ارزیابی و انتخاب فناوری های مناسب بسیار مؤثر و اثرگذار است [۵]. مدل های MADM به منظور اولویت بندی و انتخاب راهبرد مورد استفاده قرار می گیرند چون تصمیم گیری ها زمانی مطلوب است که بر مبنای چندین معیار صورت گرفته باشد و تصمیم گیری با معیارهای چندگانه به دنبال گزینه ای است که بیشترین مزیت ها را برای تمامی معیارها ارائه نماید [۶]. ترکیب

عمده آلاینده های هوا در صنایع پتروشیمی شامل  $\text{PM}$ ،  $\text{VOCs}$ ،  $\text{CO}$ ،  $\text{NH}_3$ ،  $\text{SO}_x$ ،  $\text{CO}_2$  می باشد [۱، ۲]. در این تحقیق ۳ گروه از آلاینده ها شامل  $\text{VOCs}$ ،  $\text{PM}$ ،  $\text{NH}_3$  مورد بررسی قرار گرفته است. تحقیق و بررسی پیرامون آلودگی هوا، کنترل و کاهش آلاینده های آن، به عنوان یک فوریت بهداشتی و زیست محیطی از زمان های خیلی قبل مطرح و روش های زیادی برای مدل سازی و کنترل آلودگی هوا ارائه گردیده است [۳]. استراتژی کنترل آلودگی هوا در یک منطقه باید با توجه به سطح مجاز انتشار آلاینده ها و ظرفیت پذیرش محیط زیست اتخاذ گردد. استراتژی مؤثر کنترل آلودگی هوا باید بلندمدت، واقع بینانه، قابل اجرا و با هدف کاهش

۱- دانشجوی دکتری، گروه مدیریت محیط زیست، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران.

۲- (نویسنده مسئول) دانشیار، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران.

far-atabi@jamejam.net

۳- استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.



اقدامات کنترلی و استفاده از دستگاه‌ها و تجهیزات فنی و مؤثر جهت رسیدن به استراتژی کنترل آلودگی ضرورت دارد [۷]. به همین منظور باید طرح‌های کنترلی و پایش با کارایی مؤثر زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی برای سیستم‌های کنترل آلودگی (PCS) (Pollution Control System) تعیین و شناسایی شوند. به طوری که سیستم‌های کنترل آلودگی‌ها بر این اساس و با توجه به عملکرد، ابعاد، هزینه، قوانین و مقررات و ملاحظات زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی کلیه پارامترهای شاخص و مشخصات آلاینده‌ها اهمیت داده شده و انتخاب شوند. به همین دلیل مدیران کارخانجات و صنایع با چالش جدی در امر تصمیم‌گیری برای انتخاب فناوری‌های مناسب کنترل آلودگی هوا با در نظر گرفتن کلیه ملاحظات اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی مواجهه می‌باشند. همواره ارتباط و نزدیکی میان پیچیدگی و عدم اطمینان وجود دارد، بدین گونه که افزایش پیچیدگی مسئله، منجر به کاهش درجه اطمینان می‌گردد. استفاده از منطق فازی می‌تواند مسائل حاصل از عدم وجود اطمینان را حل کند [۸]. با استفاده از تکنیک آنالیز تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDA) (The Multiple Criteria Decision Analysis method)، امکان انتخاب مناسب‌ترین تصمیم جهت انتخاب فناوری‌های مناسب به منظور اولویت‌بندی آن‌ها با در نظر گرفتن معیارهای کلیدی میسر است [۹]. به این ترتیب ملاحظه می‌شود که راه‌حل مطلوب اقتصادی برای انتخاب تجهیزات کنترلی نسبتاً پیچیده است. در چنین حالت و شرایطی است که مسئله مشخص نمودن و انتخاب فناوری‌های مناسب به عنوان مسئله اساسی مطرح می‌شود؛ به عبارت دیگر مسئله اساسی در این رابطه، تعیین و معرفی فناوری‌های مناسب بر اساس اولویت‌های ترجیحی می‌باشد که تاکنون در بحث مدیریت کنترل آلاینده‌ها و بر اساس اولویت‌بندی فناوری‌های بهینه تصفیه آلاینده‌های هوا در کشور در مجتمع‌های صنعتی بخصوص در مجتمع‌های پتروشیمی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. به نحوی که عدم انجام پژوهش‌های لازم در این زمینه موجب تحمیل خسارت

### روش بررسی

تصمیم‌گیری در خصوص تجهیزات کنترلی مناسب بر اساس شاخص‌ها و معیارهای متعددی صورت می‌پذیرد. برای دستیابی به شاخص‌های مؤثر جهت شناسایی و ارزیابی عملکرد سیستم بهینه پالایش آلاینده‌های هوا (OAPCS) (Optimized Air Pollutants Control System) ابتدا با استفاده و بررسی شاخص‌های ارائه شده توسط سازمان محیط‌زیست آمریکا (United States Environmental Protection Agency)، سازمان محیط‌زیست ایران، اداره اجرائی بهداشت و ایمنی انگلستان (UK HSE)، 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. شاخص‌های محدودی قادر به ارزیابی عملکرد OAPCS می‌باشد، لذا با توجه به نظر خبرگان، شاخص‌های مؤثر از میان فهرست مسبوط شاخص‌های عملکردی سامانه‌های مورد نظر (OAPCS) به تفکیک سه آلاینده مورد نظر تحقیق شامل  $PM$ ,  $VOCs$ ,  $NH_3$  و همچنین ۵ معیار هزینه، ابعاد و اندازه سیستم، راندمان تصفیه، هزینه نگهداری و قابلیت طراحی و ساخت انتخاب گردید [۱۰]. به منظور رتبه‌بندی شاخص‌های کلیدی عملکرد با توجه به معیارهای هزینه، ابعاد و اندازه سیستم، راندمان تصفیه، هزینه نگهداری و قابلیت طراحی و ساخت از تکنیک تاپسیس فازی استفاده شد. با توجه به اینکه پرسش‌نامه استاندارد در زمینه اولویت‌بندی فناوری‌های بهینه هوا در صنایع پتروشیمی وجود نداشت ابتدا پرسش‌نامه اولیه تهیه شد. با بررسی متون، همکاری و همفکری متخصصان آلودگی هوا

فناوری‌های متداول در زمینه کنترل آلودگی هوا در صنایع پتروشیمی شناسایی و کلیدی سازی شدند. سپس برای بررسی پایایی همسانی درونی [۱۱] و روایی پرسشنامه از روش لاوشه استفاده شده است [۱۲]. در این تحقیق روش تصمیم‌گیری چند معیاره مبتنی بر روش فازی تاپسیس به‌عنوان ابزاری کارآمد جهت اولویت‌بندی فناوری‌های تصفیه آلاینده‌های شاخص هوا (PM، VOCs، NH<sub>3</sub>) در صنایع پتروشیمی مورد استفاده قرار گرفته است. در راستای اهداف تخصصی و کاربردی این تحقیق، تبیین توابع وزن دهی شاخص‌های معیار (هزینه، راندمان تصفیه، سایز، هزینه نگهداری، طراحی، ساخت و ... ) بررسی شد. بانک سؤالات اولیه که شامل فناوری‌های کنترل آلودگی در مورد سه گروه از آلاینده‌ها (PM، VOCs، NH<sub>3</sub>) گردآوری شد. پرسش‌نامه اولیه ب اساس روش تاپسیس فازی و بر اساس فناوری‌های کلیدی سازی شده برای هر آلاینده و معیارهای تحقیق آماده گردید. به‌منظور روایی و پایایی و حصول اطمینان از درک معانی و منظور سؤالات، 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. تکنیک (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) TOPSIS به‌وسیله هوانگ و یون

(and Yoon) به سال ۱۹۸۱ پیشنهاد شد [۱۳]. این روش یکی از بهترین روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره برای انتخاب بهترین راه‌کار است. بهترین گزینه آن است که بیشترین فاصله را از عوامل منفی و کمترین فاصله را از عوامل مثبت داشته باشد [۱۴].

با توجه به تحقیقات انجام شده روش تاپسیس فازی به‌طور گسترده‌ای در زمینه اولویت‌بندی و رتبه‌بندی استفاده شده است. رابرت، صالحی، چن، لی، یانگ، صدوقی، ولاکاستاس، یزدانی، کالبر و یاراحمدی از روش تاپسیس فازی برای وزن دهی، اولویت‌بندی و تعیین بهترین استراتژی استفاده کرده‌اند [۱۵-۲۲، ۹]. پس از تکمیل پرسش‌نامه‌ها و دریافت اطلاعات، پاسخ‌های خبرگان در قالب گویه‌های کلامی، به مقیاسی با قابلیت تجزیه و تحلیل تبدیل شدند، زیرا انجام عملیات ریاضی بر روی متغیرهای بیانی کیفی غیرممکن است. اعداد فازی مثلثی (Triangular Fuzzy number) استفاده شده در جدول ۱ نشان داده شده‌اند. دلیل استفاده از اعداد فازی مثلثی، کمک به تصمیم‌گیرنده در تصمیم‌گیری ساده‌تر است. در گام اول از پنج معیار برای تصمیم‌گیری و اولویت‌بندی فناوری‌های کنترلی آلاینده‌های مورد نظر تحقیق استفاده شده است. در گام اول ابتدا ماتریس امتیازدهی گزینه‌ها بر اساس معیارها تشکیل شده است. برای امتیازدهی گزینه‌ها بر اساس هر معیار از دیدگاه گروه خبرگان و طیف هفت درجه تاپسیس فازی استفاده شده است.

سنجش هر شاخص با توجه به هر معیار تعیین گردد. در این تحقیق از مقیاس‌های فازی به کارگرفته شده

جدول ۱- اعداد فازی مثلثی ارزیابی گزینه‌ها

متغیر زبان شناختی	معادل فازی
خیلی ضعیف (Very poor)	(0, 0, 1)
ضعیف (Poor)	(0, 1, 3)
ضعیف تا متوسط (Medium poor)	(1, 3, 5)
متوسط (Fair)	(3, 5, 7)
تقریباً خوب (Medium good)	(5, 7, 9)
خوب (Good)	(7, 9, 10)
خیلی خوب (Very good)	(9, 10, 10)



محاسبه ضریب نزدیکی (Closeness Coefficient) و رتبه شاخص‌ها در گام هفتم اولویت‌بندی شاخص‌ها انجام می‌شود.  $CC_i$  یا ضریب نزدیکی معیاری برای رتبه‌بندی شاخص‌ها و اولویت‌بندی آن‌ها می‌باشد.

### یافته‌ها

نتایج تعیین ضریب نزدیکی و رتبه‌بندی شاخص‌ها در جداول و نمودارهای ذیل آمده است. ماتریس تصمیم‌گیری فاز ۲ برای فناوری‌های کنترل برای هر سه آلاینده در جدول ۲ محاسبه گردیده است. جدول تصمیم‌گیری به دست آمده از میانگین نظرات افراد مطابق جدول شماره ۳ بی‌مقیاس می‌گردد. متوسط وزن متغیرهای زبان‌شناختی به تفکیک پنج معیار تحقیق در جداول ۵-۳ آورده شده است. معیارهای مورد مطالعه در تحقیق مثبت می‌باشند.

ماتریس تصمیم‌گیری محاسبه شده بر اساس روش تحقیق در جدول ۴ نشان داده شده است. سپس جدول تصمیم‌گیری موزون شده را مطابق جدول ۵ نرمال شده

توسط وانگ و الهاگ (Wang and Elhang) (۲۰۰۶) استفاده شده است [۲۳]. در گام سوم باید ماتریس بی‌مقیاس موزون فاز ۱ را تشکیل داد. برای به دست آوردن ماتریس بی‌مقیاس موزون باید اوزان شاخص‌ها را داشته باشیم. برای وزن دهی با استفاده از تکنیک آنتروپی شانون استفاده شده است. در این روش همانند روش‌های دیگر تصمیم‌گیری چندمعیاره ابتدا ماتریس تصمیم‌گیری تشکیل، نرمال و سپس وزن نهائی بر اساس الگوریتم روش محاسبه خواهد شد. با توجه به وزن‌های به دست آمده از معیارها در این مرحله، معیارهایی که دارای وزن بیشتر هستند، اهمیت بیشتری داشته و تأثیر آن‌ها در انتخاب گزینه بهینه بیشتر است. در گام چهارم جدول تصمیم‌گیری که از میانگین نظرات افراد به دست می‌آیند و موزون شده‌اند را نرمال می‌کنیم و ماتریس تصمیم‌گیری نرمال شده را به دست می‌آوریم. در گام پنجم پاسخ ایده‌آل مثبت و پاسخ ایده‌آل منفی فاز ۱ مشخص می‌شود. فاصله هر شاخص از ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی فاز ۱ در گام ششم محاسبه می‌شود. با

جدول ۲- ماتریس تصمیم‌گیری فاز ۱ شده تکنولوژی‌های کنترل

آلاینده	فناوری‌های کنترلی	هزینه	اندازه	نگهداری	راندمان	طراحی
PM	بگ فیلتر	(۴/۶، ۶/۵۳، ۸/۱۳)	(۴/۹۳، ۶/۸۷، ۸/۴۷)	(۴/۷۳، ۶/۶، ۸/۳۷)	(۷/۳۳، ۸/۸۷، ۹/۷۳)	(۶/۱۳، ۷/۸، ۸/۸۷)
	اتاقک ته نشینی	(۶/۴، ۷/۹۳، ۸/۸)	(۲/۶، ۳/۸۷، ۵/۴)	(۶/۶، ۸/۲۷، ۹/۲۷)	(۲/۶۷، ۴/۱۳، ۵/۸)	(۶/۴، ۸/۲۷، ۹/۴)
	سیکلون	(۵/۱۳، ۷/۰۷، ۸/۶)	(۴/۷۳، ۶/۷۳، ۸/۴)	(۵/۶، ۷/۴، ۸/۷۳)	(۵/۲۷، ۷/۲، ۸/۶)	(۵/۹۳، ۷/۸۷، ۹/۲)
	HEPA	(۲/۴، ۳/۴۷، ۴/۹۳)	(۵/۴۷، ۷/۳۳، ۸/۶۷)	(۳/۶، ۵/۱۳، ۶/۶۷)	(۸/۶، ۹/۸، ۱۰)	(۵/۸، ۷/۷۳، ۹/۱۳)
	Wet Scraber	(۴/۱۳، ۶، ۷/۸)	(۴/۲۷، ۶/۲، ۷/۸)	(۳/۴، ۵/۲، ۶/۹۳)	(۶/۰۷، ۷/۸، ۸/۹۳)	(۴/۸۷، ۶/۴۷، ۷/۸)
NH <sub>3</sub>	ESP	(۴/۳۳، ۵/۴، ۶/۴۷)	(۳/۳۳، ۵/۱۳، ۶/۸۷)	(۴/۲۷، ۵/۸۷، ۷/۳۳)	(۷/۸، ۹/۲، ۹/۷۳)	(۴/۷۳، ۶/۴، ۷/۸)
	جذب شیمیایی	(۳/۰۷، ۴/۹۳، ۶/۷۳)	(۴/۴۷، ۶/۴۷، ۸/۳۳)	(۳/۳۳، ۵/۲۷، ۷/۲)	(۵/۹۳، ۷/۶۷، ۸/۹۳)	(۴/۷۳، ۶/۶۷، ۲/۸)
	احیا کاتالیستی غیر انتخابی	(۲/۶۷، ۴/۴، ۶/۲)	(۳/۸، ۵/۷۳، ۷/۵۳)	(۳/۲۷، ۵/۲۷، ۷/۱۳)	(۵/۲۷، ۷/۲۷، ۸/۷۳)	(۴/۱۳، ۶، ۷/۷۳)
VOCs	پلاسما	(۲/۷۳، ۴/۲، ۵/۸۷)	(۳/۵۳، ۵/۴۷، ۷/۲۷)	(۲/۵۳، ۴/۲، ۶/۱۳)	(۵/۳۳، ۷/۱۳، ۸/۴)	(۴/۲۷، ۶/۱۳، ۷/۷۳)
	دود کش مرتفع	(۳/۱۳، ۴/۷۳، ۶/۲۷)	(۲/۸، ۴/۴۷، ۶/۲۷)	(۵/۲، ۶/۸۷، ۸/۰۷)	(۲/۶۷، ۳/۸۷، ۵/۴)	(۴/۴، ۶/۰۷، ۷/۴۷)
	فلرینگ	(۳، ۴/۶۷، ۶/۳۳)	(۴/۴، ۶/۲، ۷/۸)	(۳/۴، ۵/۰۷، ۶/۷۳)	(۳/۸، ۵/۱۳، ۶/۵۳)	(۳/۶۷، ۵/۴۷، ۷/۲۷)
	فلرینگ	(۲/۰۶، ۳/۸۸، ۵/۸۸)	(۱/۰۶، ۲/۸۸، ۴/۸۸)	(۱/۲۵، ۲/۷۵، ۴/۶۳)	(۴/۱۳، ۶، ۷/۷۵)	(۳/۵، ۵/۵، ۷/۴۴)
	پلاسما	(۵/۸۱، ۷/۷۵، ۹/۱۹)	(۶، ۸، ۹/۴۴)	(۶/۱۳، ۸/۰۶، ۹/۳۸)	(۷/۵، ۸/۸۸، ۹/۵۶)	(۷/۵، ۸/۸۸، ۹/۵۶)
پلاسما شیمی	پلاسما شیمی	(۷/۰۶، ۸/۶۹، ۹/۵)	(۷/۸۸، ۹/۳۱، ۹/۸۱)	(۶/۸۸، ۸/۶۳، ۹/۵۶)	(۵/۱۳، ۷/۱۳، ۸/۸۱)	(۵/۸۱، ۷/۶۹، ۹/۰۶)
	کربن فعال	(۱/۵۶، ۳/۱۹، ۵/۱۳)	(۲/۷۵، ۴/۷۵، ۶/۷۵)	(۰/۸۸، ۲/۰۶، ۳/۸۸)	(۳، ۴/۸۸، ۶/۸۸)	(۴، ۶، ۷/۹۴)



جدول ۳- ماتریس تصمیم فازی بی‌مقیاس شده تکنولوژی‌های کنترلی برای سه آلاینده مورد نظر تحقیق

آلاینده	فناوری‌های کنترلی	هزینه	اندازه	نگهداری	راندمان	طراحی
PM	بگ فیلتر	(۱/۰۸, ۱/۳۵, ۱/۴۱)	(۰/۵۷, ۰/۷۹, ۰/۹۸)	(۰/۵۱, ۰/۷۱, ۰/۸۹)	(۰/۷۱, ۰/۸۹, ۰/۹۷)	(۰/۶۵, ۰/۸۳, ۰/۹۴)
	اتاقک ته نشینی	(۱, ۱/۱۱, ۱/۰۱)	(۰/۳, ۰/۴۵, ۰/۶۲)	(۰/۷۱, ۰/۸۹, ۱)	(۰/۳۷, ۰/۴۱, ۰/۵۸)	(۰/۶۸, ۰/۸۸, ۱)
	سیکلون	(۱/۰۲, ۱/۲۵, ۱/۲۶)	(۰/۵۵, ۰/۷۸, ۰/۹۷)	(۰/۶, ۰/۸, ۰/۹۴)	(۰/۵۳, ۰/۷۲, ۰/۸۶)	(۰/۶۳, ۰/۸۴, ۰/۹۸)
NH <sub>3</sub>	HEPA	(۱/۷۸, ۲/۵۴, ۲/۶۹)	(۰/۶۳, ۰/۸۵, ۱)	(۰/۳۹, ۰/۵۵, ۰/۷۲)	(۰/۸۶, ۰/۹۸, ۱)	(۰/۶۲, ۰/۸۲, ۰/۹۷)
	Wet Scraber	(۱/۱۳, ۱/۴۷, ۱/۵۶)	(۰/۴۹, ۰/۷۲, ۰/۹)	(۰/۳۷, ۰/۵۶, ۰/۷۵)	(۰/۶۱, ۰/۷۸, ۰/۸۹)	(۰/۵۲, ۰/۶۹, ۰/۸۳)
	ESP	(۱/۳۶, ۱/۶۳, ۱/۴۹)	(۰/۳۸, ۰/۵۹, ۰/۷۹)	(۰/۴۶, ۰/۶۳, ۰/۷۹)	(۰/۷۸, ۰/۹۲, ۰/۹۷)	(۰/۵, ۰/۶۸, ۰/۸۳)
VOCs	جذب شیمیایی	(۰/۴, ۰/۵۴, ۰/۸۷)	(۰/۵۷, ۰/۸۳, ۱/۰۷)	(۰/۴۱, ۰/۶۵, ۰/۸۹)	(۰/۶۶, ۰/۸۶, ۱)	(۰/۵۸, ۰/۸۱, ۱)
	احیا کاتالیستی غیر انتخابی	(۲/۶۷, ۴/۴, ۶/۲)	(۳/۸, ۵/۷۳, ۷/۵۳)	(۳/۲۷, ۵/۲۷, ۷/۱۳)	(۵/۲۷, ۷/۲۷, ۸/۷۳)	(۴/۱۳, ۶, ۷/۷۳)
	پلاسما	(۲/۷۳, ۴/۲, ۵/۸۷)	(۳/۵۳, ۵/۴۷, ۷/۲۷)	(۲/۵۳, ۴/۲, ۶/۱۳)	(۵/۳۳, ۷/۱۳, ۸/۴)	(۴/۲۷, ۶/۱۳, ۷/۷۳)
VOCs	دود کش مرتفع	(۳/۱۳, ۴/۷۳, ۶/۲۷)	(۲/۸, ۴/۴۷, ۶/۲۷)	(۵/۲, ۶/۸۷, ۸/۰۷)	(۲/۶۷, ۳/۸۷, ۵/۴)	(۴/۴, ۶/۰۷, ۴/۴۷)
	فلرینگ	(۳, ۴/۶۷, ۶/۳۳)	(۴/۴, ۶/۲, ۷/۸)	(۳/۴, ۵/۰۷, ۶/۷۳)	(۳/۸, ۵/۱۳, ۶/۵۳)	(۲/۶۷, ۵/۴۷, ۷/۲۷)
	فلرینگ	(۰/۱, ۰/۱۹, ۰/۲۸)	(۰/۰۲, ۰/۰۶, ۰/۰۹)	(۰/۰۳, ۰/۰۶, ۰/۰۹)	(۰/۰۲, ۰/۰۳, ۰/۰۳)	(۰/۰۴, ۰/۰۷, ۰/۰۹)
	پلاسما	(۰/۲۸, ۰/۳۷, ۰/۴۴)	(۰/۱۲, ۰/۱۶, ۰/۱۸)	(۰/۱۲, ۰/۱۶, ۰/۱۹)	(۰/۰۳, ۰/۰۴, ۰/۰۴)	(۰/۰۹, ۰/۱۱, ۰/۱۲)
	پلاسما شیمی	(۰/۳۴, ۰/۴۲, ۰/۴۶)	(۰/۱۵, ۰/۱۸, ۰/۱۹)	(۰/۱۴, ۰/۱۷, ۰/۱۹)	(۰/۰۲, ۰/۰۳, ۰/۰۴)	(۰/۰۷, ۰/۱, ۰/۱۱)
	کربن فعال	(۰/۰۸, ۰/۱۵, ۰/۲۵)	(۰/۰۵, ۰/۰۹, ۰/۱۳)	(۰/۰۲, ۰/۰۴, ۰/۰۸)	(۰/۰۱, ۰/۰۲, ۰/۰۳)	(۰/۰۵, ۰/۰۷, ۰/۱)

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

آلاینده	فناوری‌های کنترلی	هزینه	اندازه	نگهداری	راندمان	طراحی
PM	بگ فیلتر	۴/۸۰	۴/۹۳	۴/۸۷	۶/۰۷	۵/۴۷
	اتاقک ته نشینی	۵/۶۷	۳/۳۳	۵/۸۰	۳/۵۳	۵/۶۷
	سیکلون	۵/۰۷	۴/۸۷	۵/۲۰	۵/۱۳	۵/۴۷
NH <sub>3</sub>	HEPA	۳/۲۷	۵/۲۰	۴	۶/۸۰	۵/۴۰
	Wet Scraber	۴/۵۳	۴/۶۰	۴/۱۳	۵/۵۳	۴/۸۷
	ESP	۴/۲۰	۴/۰۷	۴/۵۳	۶/۴۰	۴/۸۰
VOCs	جذب شیمیایی	۳/۹۳	۴/۷۳	۴/۱۳	۵/۴۷	۴/۸۷
	احیا کاتالیستی غیر انتخابی	۳/۷۳	۴/۴۰	۴/۱۳	۵/۱۳	۴/۵۳
	پلاسما	۳/۶۷	۴/۲۷	۳/۶۰	۵/۱۳	۴/۶۰
VOCs	دود کش مرتفع	۳/۹۳	۳/۷۳	۵/۹۷	۳/۳۳	۴/۶۷
	فلرینگ	۳/۸۰	۴/۶۷	۴/۰۷	۴/۰۷	۴/۲۷
	فلرینگ	۴	۴/۳۰	۴	۴/۷۰	۴/۸۰
	پلاسما	۴/۳۰	۴/۶۰	۴/۳۰	۵	۵
	پلاسما شیمی	۴/۷۸	۴/۷۸	۴/۴۴	۴/۸۹	۵
	کربن فعال	۴/۷۸	۴/۸۹	۴/۵۶	۴/۸۹	۴/۵۶

است. در نهایت با استفاده از فاصله ایده آل مثبت و منفی به دست آمده از فرمول محاسبه ضریب نزدیکی (CCI)، فناوری‌ها رتبه‌بندی و نتایج در جدول ۶ آورده شده است. با توجه به بررسی و آنالیز اطلاعات جمع‌آوری شده از گروه خبرگان وزن نهایی معیارهای تحقیق با کمک تکنیک آنتروپی شانون به شرح ذیل آمده است:



جدول ۵- ماتریس تصمیم نرمال شده

آلاینده	فناوریهای کنترلی	هزینه	اندازه	نگهداری	راندمان	طراحی
PM	بگ فیلتر	۰/۱۷	۰/۱۸	۰/۱۷	۰/۱۸	۰/۱۷
	اتاقک ته نشینی	۰/۲۱	۰/۱۲	۰/۲۰	۰/۱۱	۰/۱۸
	سیکلون	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۵	۰/۱۷
	HEPA	۰/۱۲	۰/۱۹	۰/۱۴	۰/۲۰	۰/۱۷
	Wet Scraber	۰/۱۶	۰/۱۷	۰/۱۴	۰/۱۷	۰/۱۵
	ESP	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۶	۰/۱۹	۰/۱۵
NH <sub>3</sub>	جذب شیمیایی	۰/۲۱	۰/۲۲	۰/۲۰	۰/۲۴	۰/۲۱
	احیا کاتالیستی غیر انتخابی	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۲	۰/۲۰
	پلاσμα	۰/۱۹	۰/۲۰	۰/۱۷	۰/۲۲	۰/۲۰
	دود کش مرتفع	۰/۲۱	۰/۱۷	۰/۲۴	۰/۱۴	۰/۲۰
VOCs	فلرینگ	۰/۲۰	۰/۲۱	۰/۱۹	۰/۱۸	۰/۱۹
	فلرینگ	۰/۲۲	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۲۴	۰/۲۵
	پلاσμα	۰/۲۴	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۶	۰/۲۶
	پلاσμα شیمی	۰/۲۷	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۲۵	۰/۲۶
	کربن فعال	۰/۲۷	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۲۴
	دود کش مرتفع	۰/۲۱	۰/۱۷	۰/۲۴	۰/۱۴	۰/۲۰
	فلرینگ	۰/۲۰	۰/۲۱	۰/۱۹	۰/۱۸	۰/۱۹

### آنالیز اولویت فناوری منتخب به تفکیک

**آلاینده‌ها:** در جدول ۶ بیشترین امتیاز در انتخاب فناوری‌های بهینه تصفیه و جداسازی ذرات PM مربوط به فناوری HEPA برابر ۰/۹۲۳ می‌باشد. با توجه به دامنه قطر ذرات منتشره در فعالیت‌های صنعتی صنایع پتروشیمی ( $20-101 \mu m$ ) [۲۴] و از طرفی دامنه عملکرد مناسب فناوری‌های HEPA برای ذرات با قطر بزرگ‌تر از  $0.1 \mu m$  [۲۵] این فناوری به‌عنوان گزینه منتخب و مناسب تعیین شده است. فناوری ESP در تصفیه ذرات بسیار کوچک ولی با نقص در جداسازی ذرات درشت‌تر، با ضریب نزدیکی ۰/۴۹ به‌عنوان گزینه دوم تعیین شده است. سیکلون و اتاقک ته‌نشینی به دلایل کاهش راندمان در جداسازی ذرات زیر ۱۰ میکرون در آخرین اولویت فناوری‌های منتخب قرار گرفته‌اند. در ارتباط با آلاینده PM در صنعت پتروشیمی، میزان اهمیت معیار راندمان تصفیه‌کنندگی، حداکثر وزن و طراحی فناوری‌های تصفیه مربوط به این آلاینده از حداقل وزن ممکن برخوردار شده است. همچنین در ارتباط با آلاینده NH<sub>3</sub>، راندمان جداسازی و حذف حداکثر وزن لازم را از میان معیارها به خود اختصاص داده است.

### بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق به‌منظور کنترل بخارات آمونیاک، فناوری مبتنی بر جاذب‌های شیمیایی با بیشترین ضریب نزدیکی ۰/۸۶۷ به‌عنوان گزینه مناسب تعیین شده است. از مهم‌ترین دلایل اولویت فناوری ذکر شده می‌توان به راندمان جداسازی بخارات آمونیاک به شیوه جذب شیمیایی، در دسترس بودن مواد شیمیایی جاذب، سهولت و هزینه پایین طراحی و ساخت فناوری ذکر شده اشاره نمود. دودکش مرتفع به دلایل عدم تأثیر در کاهش و حذف آلاینده‌گی و از طرفی انتقال آلاینده‌ها به فواصل دورتر از صنعت که ممکن است بخش‌های مسکونی و شهری باشد با ضریب نزدیکی ۰/۲۱۱۷ در اولویت آخر قرار گرفته است. استفاده از سیستم‌های استفاده مجدد یا جذب و بازگرداندن آمونیاک به چرخه‌های تولید که جزء لاینفک فرایندهای پتروشیمی است، درجه و وزن مربوط به معیار هزینه حداقل می‌باشد [۲۶].

برای کنترل VOCs فناوری پلاσμα شیمی با بیشترین ضریب نزدیکی ۰/۹۵۸۶ جهت تصفیه و تبدیل مواد فرار آلی، اولویت اول انتخاب شده است. دلیل انتخاب این



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

رتبه	ضریب	فاصله از	فاصله از ایده	فناوری‌های	رتبه	ضریب	فاصله از	فاصله از	فناوری‌های	رتبه	ضریب	فاصله از	فاصله از	فناوری‌های
	نزدیکی	ایده آل	مثبت	کنترلی		نزدیکی	ایده آل	مثبت	کنترلی		نزدیکی	ایده آل	مثبت	کنترلی
		منفی		VOCs					NH <sub>3</sub>					
۴	۰/۰۸۸۶	۰/۰۴۹	۰/۴۹۹	فلرینگ	۱	۰/۸۶۷۳	۰/۲۹۸	۰/۰۴۶	جذب شیمیایی	۳	۰/۴۷۶۵	۰/۳۲۰	۰/۳۵۲	بگ فیلتر
۲	۰/۸۵۲۶	۰/۴۷۱	۰/۰۸۱	پلازما	۲	۰/۷۳۸۹	۰/۲۵۶	۰/۰۹۱	احیا کاتالیستی غیر انتخابی	۶	۰/۰۸۵۸	۰/۰۵۷	۰/۶۰۸	اتاقک ته نشینی سیکلون
۱	۰/۹۵۸۶	۰/۵۲۴	۰/۰۲۳	پلازما شیمی	۳	۰/۶۲۹۰	۰/۲۱۵	۰/۱۲۷	پلازما	۵	۰/۳۶۵۹	۰/۲۴۶	۰/۴۲۶	HEPA
۳	۰/۰۷۵۸	۰/۰۴۱	۰/۵۰۶	کربن فعال	۵	۰/۲۱۷۱	۰/۰۷۴	۰/۲۶۸	دود کش مرتفع	۱	۰/۹۲۳۱	۰/۶۱۴	۰/۰۵۱	Wet Scraber
					۴	۰/۳۲۲۸	۰/۱۲۸	۰/۲۱۵	فلرینگ	۴	۰/۴۰۶۶	۰/۲۷۳	۰/۱۹۸	ESP
										۲	۰/۴۹۰۸	۰/۳۲۸	۰/۳۴۱	

آنالیز اولویت به تفکیک آلاینده‌ها، بیشترین امتیاز در انتخاب فناوری‌های بهینه تصفیه و جداسازی ذرات PM مربوط به فناوری HEPA می‌باشد و فناوری‌های ESP، بگ فیلتر، Wet Scraber، سیکلون و اتاقک ته‌نشینی به ترتیب در اولویت دوم تا ششم قرار گرفتند. در ارتباط با آلاینده NH<sub>3</sub> ترتیب فناوری‌ها به صورت جذب شیمیایی، فلرینگ، پلازما، احیا کاتالیستی غیرانتخابی و دودکش مرتفع می‌باشد. در ارتباط با آلاینده VOCs ترتیب فناوری‌ها به صورت پلازما شیمی، پلازما، کربن فعال و فلرینگ می‌باشد. امید است خوانندگان این مقاله بتوانند با در پیش گرفتن این شیوه و تبدیل آن به بسته‌های نرم‌افزاری (جهت سرعت و دقت محاسباتی) فرآیند تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری را به نحوه مطلوب انجام دهند. با استفاده از نتایج این پژوهش صنایع می‌توانند با اطمینان بیشتری نسبت عملکرد سیستم‌های کنترل آلودگی صنعت خود را ارزیابی و در صورت انحراف، اقدامات اصلاحی مناسب را اعمال نمایند.

### منابع

1. Cholakov STG. Association between Petrochemical Air Pollution and Adveres Pregnancy Outcomes in Taiwan. 2002.
2. Tassi F, Capecchiacci F, Giannini L, Vougioukalakis GE, Vaselli O. Volatile organic compounds (VOCs) in air from Nisyros Island (Dodecanese Archipelago, Greece): Natural versus anthropogenic, Journal Environment Pollution. 2013;180:111-121.

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 فناوری است. فناوری فلرینگ به دلیل هزینه‌های تأمین ساخت و نصب بسیار بالا و همچنین ضرورت استفاده از فضای مورد نیاز بزرگ با ضریب نزدیکی ۰/۰۸۸ اولویت آخر این گروه از فناوری‌ها جهت کنترل VOCs می‌باشد. در ارتباط با آلاینده VOCs، این آلاینده‌ها به دلیل پیچیدگی در ساختار و ترکیبات تشکیل‌دهنده دارای پتانسیل خطر بیشتری هستند [۲۷]. آلاینده‌های فرار آلی برای کنترل نیاز به فناوری‌های پیچیده‌تری دارند، لذا هزینه لازم جهت تأمین فناوری‌های تصفیه هم‌زمان ترکیبات VOCs با راندمان بالا از حداکثر وزن لازم برخوردار است و از طرفی این دستگاه‌ها راندمان مناسبی برای جداسازی و حذف همه ترکیبات VOCs به‌طور هم‌زمان را ندارند به همین دلیل وزن معیار راندمان بسیار کم تعیین شده است [۲۴].

الگوریتم Topsis یکی از مطمئن‌ترین روش‌های علمی و مدیریتی فن تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری می‌باشد. نتایج این تحقیق نشان داد با استفاده از این تکنیک می‌توان با در نظر گرفتن تمامی جوانب شامل جنس معیارها، اولویت و وزن معیارها را نسبت به یکدیگر و همچنین شاخص‌ها را نسبت به معیارها سنجیده و آن‌ها را به شیوه‌ای منطقی اولویت‌بندی نماید. در ارتباط با



- Management. 1983;10:112- 124.
16. Salehi M, Tavakkoli R. Project Selection by Using a FuzzyTOPSIS Technique, World Academy of Science, Engineering and Technology. 2000;40: 85-90.
  17. Chen MF, Tzeng GH, Ding CG. Fuzzy MCDM approach to select service provider, IEEE international Conference on Fuzzy System. 2003; 572-577.
  18. Lei J. A Fuzzy multi-criteria decision analysis for assessing technologies of air pollution abatement at coal-fired power plants M.S thesis engineering in Environment, University of Regina. 2005.
  19. Yang M, Faisal I, Sadiq R. Prioritization of environmental issues in offshore oil and gas operations .Process Safety and Environmental Protection. 2011;89(1):22-34.
  20. Sadoughi Sh, Yarahmadi R, Taghdisi MH, Mehrabi Y. Evaluating and Prioritizing of Performance Indicators of HEALTH, Safety and Environment Using Fuzzy TOPSIS , African Journal of Business Management. 2012;6(5):2026-2033.
  21. Yazdani M. Risk Analysis for Critical Infrastructures Using Fuzzy TOPSIS , Journal of Management Research. Journal of Management Research. 2011;4(1):E6.
  22. Yarahmadi R, Sadoughi Sh. Evaluating and Prioritizing of Performance Indices of Environment Using Fuzzy TOPSIS, Indian Journal of Science & Technology. 2012;5(5).
  23. Wang YM, Elhag T. Fuzzy TOPSIS method based on alpha level sets with a application to bridge risk assessment. Expert systems with applications. 2006;31(2):309–319.
  24. Matar S, Hatch LF. Chemistry of Petrochemical processes, second edition. 2001
  25. DOE-STD-3025. 2007.
  26. Radmehr M, Ghamkhar S. Assessment of air pollution in the petrochemical industry (production of urea and ammonia) and strategies for control and reduce pollution, Technical Seminar on Oil, Gas and Environmental. 2006. (Persian)
  27. Vigliani EC. Leukemia associated with benene: exposure, Anals of the New York Academy of sciences. 1979;271(143-151).
  3. Zannetti P. Environmental Modeling, Computational Mechanics, Pub & Elsevier Applied Science. 1993;1:108.
  4. Vlachokostas Chllas Ch, Moussiopoulon N, Banias G. Multicriteria Methodological Approach to Manage Urban Air Pollution, Atmospheric Environment. 2011;41:4160-4169.
  5. Moradi AM, Akhtar Kavan M. Methodology of the Multiple – Criteria Decision Making (MCDM). Arman Shahr Magazine. 2009;2:113-125. (Persian)
  6. 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). Research Magazine of Management Knowledge. 2004;67:3-18. (Persian)
  7. Air Pollution Control Cost Manual, United States Environmental Protection Agency Office of Air Quality Planning and Standards, Sixth Edition, EPA/452/B-02-001, 2002 January.
  8. Lotfi ZA. Fuzzy sets, Inform. Control. 1965;8: 338 -356.
  9. Kalbar PP, Karmakar S, Asolekar SD. Selection of an appropriate wastewater treatment technology: A scenario-based multiple-attribute decision-making approach. Jornal of Environmental Management. 2012;113:158-169.
  10. Air Pollution Control Cost Manual, United States Environmental Protection Agency Office of Air Quality Planning and Standards, Sixth Edition, EPA/452/B-02-001, 2002 January.
  11. Jackson C, Furnham A. Designing and analyzing questionnaires and surveys: A manual for health professionals and administrators. London: Whurr Publishers. 2000.
  12. Lawshe C. A quantitative approach to content validity. Personnel psychology. 1975;28:563-575.
  13. Hwang CL, Yoon K. Multiple attributes decision making methods and applications, Springer, Berlin, Heidelberg. 1981.
  14. Chen MF, Tzeng GH, Ding CG. Fuzzy MCDM approach to select service provider, IEEE international Conference on Fuzzy System. 2003; 572-577.
  15. Robert J, Erson JR. An Empirical Analysis of Economic Strategies for Controlling Air Pollution, Journal of Environmental Economics and



## Weighting and Prioritizing of Air Pollutant Filtration Technologies for Controlling NH<sub>3</sub>, PM and VOCs by Fuzzy TOPSIS Method

Parvin Moridi<sup>1</sup>, Farideh Atabi<sup>2</sup>, Jafar Nouri<sup>3</sup>

Received: 2015/01/04

Revised: 2015/07/05

Accepted: 2015/07/26

### Abstract

**Background and aims:** Air pollution is one of the most important factors in conflict with environmental quality in many cities around the world that can have negative effects on human health. Emission control from industrial and domestic sources in line with the objectives of sustainable development is an important and challenging problem. Decision making with regard to various indices of social, economic, and operational, is complicated. The aim of the present study is weighting, prioritization and selection of appropriate filtration technology with consideration of technical aspects, economic, high performance and low uncertainty.

**Methods:** In this study a fuzzy TOPSIS method was used for weighting and ranking of air pollutant filtration technologies. Five research criteria were efficiency, cost, maintenance, design and size. This five criteria were considered for ranking of air pollutant filtration technologies related to NH<sub>3</sub>, PM, and VOCs.

**Results:** According to the results HEPA filters with coefficient of 0.923 were identified as the most appropriate filtration technology for the particles in the petrochemical industry. Chemical absorption with coefficient of 867/0 for controlling particulate matter and plasma chemical technology with coefficient of 9586/0 for controlling VOCs were identified as the best technology.

**Conclusion:** TOPSIS is one of the most reliable scientific and managerial methods of decision-making. In this study selecting the appropriate filtration technology for air pollutants including NH<sub>3</sub>, PPM, VOCs was addressed using TOPSIS fuzzy method.

**Keywords:** Filtration Technology, Fuzzy TOPSIS method, Air pollutant, Particulate matter, Plasma chemical.

---

1. PhD student, Department of Environmental Management, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

2. (**Corresponding author**) Associate Professor, Department of Environmental Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

3. Professor, Department of Environmental Health Engineering, Tehran University of Medical Science, Tehran, Iran. far-atabi@jamejam.net