



Using the Analytical Hierarchy Process to Study the Industrial Air Pollution Control Equipment: Optimal Choice

Asadollah Karimi^{1*}, Hannane Nejhab Abyaz², Kowsar Rahimzadeh², Esmail Fatehifar³

¹ Associate Professor, University of Maragheh Maragheh, Iran

² B. Sc student of Chemical Engineering, University of Maragheh, Maragheh, Iran

³ Professor, Sahand University and Technology, Tabriz, Iran

Received: 25 Apr 2022 Accepted: 1 Aug 2022

Abstract

Undoubtedly, the air pollution issue is one of the most prominent problems in today's societies. Therefore, one of the human goals is to enhance air quality. The main challenge in this paper is to choose the best air pollution control equipment based on the perspective of an analytical hierarchical process (AHP). The AHP is a multifaceted method of decision-making based on different regulations in order to achieve logical consequences, which Expert Choice software was employed. Cost parameters (operational and material), yield, environmental regulations, pollution sources and operating conditions are selected as process criteria. Also, cyclone separators, scrubbers, electrostatic precipitators, and fabric or bag filters are alternatives for this process. Due to a pairwise comparison of criteria, sub-criteria and alternatives in software, the electrostatic precipitator was chosen as the best control equipment with a preference of 38% over other apparatus. Also, the cost criterion was the most preferred with 31.2%.

Keyword: Electrostatic Precipitators, Expert Choice Software, Air Pollution

* a.karimi@maragheh.ac.ir

بکارگیری فرایند تحلیل سلسله مراتبی جهت بررسی دستگاه‌های صنعتی کنترل آلودگی هوا: انتخاب بهینه

اسداله کریمی^{1*}، حنا نژادابیض²، کوثر رحیم زاده²، اسماعیل فاتحی فر³

¹ دانشیار، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران

² دانشجوی کارشناسی مهندسی شیمی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران

³ استاد تمام مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران

دریافت: 1401/05/10 پذیرش: 1401/07/02

چکیده

بدون تردید پدیده آلودگی هوا یکی از مهم‌ترین معضلات جوامع امروزی می‌باشد. بنابراین یکی از اهداف بشر کاهش این دست آلودگی‌ها است. دستگاه‌های مختلفی برای این منظور استفاده می‌شوند. چالش اصلی در این مقاله انتخاب بهترین دستگاه کنترل آلودگی هوا بر اساس دیدگاه فرایند تحلیلی سلسله مراتبی است. این فرایند یک روش چندوجهی تصمیم‌گیری براساس قواعد و ضوابط‌های مختلف به منظور دستیابی به نتایج منطقی است، که به کمک نرم افزار اکسپرت چویس انجام شده است. پارامترهای هزینه (عملیاتی و مواد)، کارایی، مقررات زیست‌محیطی، منابع آلودگی و شرایط عملیاتی به عنوان معیارهای فرایند برگزیده شده‌اند. همچنین دستگاه‌های جداکننده سیکلونی، اسکرابرها، رسوب‌گیرهای الکترواستاتیک، غبارگیرها یا فیلترهای کیسه‌ای گزینه‌های این فرایند محسوب می‌شوند. بعد از بررسی و مقایسه زوجی معیارها، زیر معیارها و گزینه‌ها در نرم افزار رسوب‌گیر الکترواستاتیک بهترین دستگاه با 38٪ ارجحیت نسبت به دیگر دستگاه‌ها انتخاب شد. همچنین معیار هزینه با 31/2٪ دارای بیشترین ارجحیت بود.

کلمات کلیدی: رسوب‌گیر الکترواستاتیک، آلودگی هوا، نرم افزار Expert Choice

* a.karimi@maragheh.ac.ir

1- مقدمه

تغییر در ویژگی‌های طبیعی جو و هوای محیط دیر زمانی است که، خطری بالقوه برای سلامتی جوامع بشری و نیز زیست‌بوم‌ها محسوب می‌شود. آلودگی هوا ممکن است به دو صورت طبیعی (مانند فعالیت آتش‌فشان‌ها)، یا مصنوعی رخ دهد. آلودگی‌های مصنوعی عمدتاً ناشی از وسایل نقلیه (حمل و نقل)، منازل شهری و صنایع بزرگ و کوچک هست. سالیانه نزدیک به 3 میلیون نفر در اثر آلودگی هوا جان خود را از دست می‌دهند. این تلفات انسانی عموماً مربوط به آسم، برونشیت، تنگی نفس و حملات قلبی و آلرژی‌های مختلف تنفسی است. طبیعتاً مواد مضر در هوا می‌توانند بر سلامت انسان، حیوان یا گیاه تاثیر گذاشته و در مناطق با تراکم جمعیت زیاد بویژه کشورهای صنعتی، عمده این منابع ناشی از فعالیت‌های انسانی است [1-2]. امروزه آلودگی هوا به یکی از مهم‌ترین و مرگ‌بارترین علل مرگ و میر تبدیل شده است. آمار سازمان جهانی بهداشت حدود 6/5 میلیون مرگ ناشی از آلودگی هوا در سال 2012 بوده که معادل 11/6 درصد از کل مرگ و میرهای جهانی است. سازمان جهانی بهداشت نشان می‌دهد که آلودگی هوا عامل یک سوم مرگ و میر ناشی از سکته مغزی، سرطان ریه و بیماری‌های مزمن تنفسی است. حدوداً 92 درصد از جمعیت جهان در معرض آلودگی هوا هستند که فراتر از حد مجاز تعیین شده توسط سازمان بهداشت جهانی است [3]. در میان روش‌های مختلف جهت کنترل آلودگی‌های محیطی استفاده از دستگاه‌های کنترل ذرات و گازهای آلاینده می‌تواند بسیار مثرتر واقع گردد. با کاربرد این دستگاه‌ها، میزان آلودگی هوا از یک منبع و محیط را می‌توان تا حد قابل قبولی کاهش داد. لازم به توضیح است که، دستگاه‌های کنترل آلودگی هوا بار آلاینده‌گی صنایع را به صفر نمی‌رسانند. بنابراین این دستگاه‌ها در محدوده مشخصی قابل تعریف هستند [2]. در حقیقت کنترل ذرات اولیه قسمت اساسی هر بخش مهندسی کنترل آلودگی هوا است. بسیاری از ذرات اولیه نظیر آریست و فلزات سنگین، آلودگی بیشتری را نسبت به ذرات ثانویه ایجاد می‌کنند. اگرچه ذرات اولیه به طور کلی بزرگتر از ذرات ثانویه بوده ولی بیشتر ذرات اولیه به حدی کوچک هستند که به راحتی وارد مجاری تنفسی شده و مشکلات عدیده‌ای را برای انسان بوجود می‌آورند [2]. تجهیزات مختلفی از جمله جداکننده‌های سیکونی¹، اسکرابرها²، رسوب‌گرهای الکترواستاتیک³ و غبارگیرها یا فیلترهای کیسه‌ای (فابریک)⁴ برای کنترل آلودگی صنعتی از صنایع مختلف استفاده می‌شوند. اسکرابرها، غبارگیرهایی هستند که برای حذف آلودگی‌ها از سیال مایعات استفاده می‌شوند و به عنوان اسکرابر مرطوب⁵ شناخته می‌گردند. در این دستگاه‌ها سیال مایع تازه با جریان هوا که شامل ذرات گرد و غبار برخورد می‌کند و موجب حذف بار آلاینده‌گی می‌شود. هرچقدر میزان تماس گاز و مایع بیشتر باشد میزان کارایی⁶ دستگاه اسکرابر بالاتر خواهد رفت. انواع مختلفی از اسکرابرها مرطوب وجود دارند اما همه آن‌ها از سه بخش مرطوب‌سازی، تماس مایع و گاز و جداساز مایع از گاز تشکیل شده‌اند [2]. یکی از مزیت‌های اسکرابرها تر تحمل بالای این اسکرابرها در برابر طیف وسیعی از دماها می‌باشد. که این مورد آن‌ها را برای عملکرد در همه‌ی محیط‌ها مناسب می‌سازد همچنین برای طیف

¹ Cyclone Separator

² Scrubber

³ Electrostatic Precipitator

⁴ Bag or Fabric Filter

⁵ Wet

⁶ Yield

وسیع‌تری از آلاینده‌ها، مانند گازهای اسیدی استفاده می‌شوند [2-3]. باوا⁷ و همکارانش یک اسکرابر مرطوب را معرفی کردند که برای کاربردهای در مقیاس کوچک مناسب است که دارای سیستم خنک کننده گاز و سیستم تمیز کردن مبتنی بر اسکرابر بستر مرطوب است [4-5]. رسوب‌دهنده‌های الکترواستاتیک، حاوی فیلتری هستند که با ایجاد یک میدان الکتریکی ذرات موجود در گاز را از آن جدا می‌کند. این رسوب‌دهنده‌ها ذرات را باردار کرده و این ذرات معلق در هوا توسط صفحات الکتریکی جذب می‌شوند، هر یک از ذرات به طرف صفحه با بار مخالف حرکت کرده و به آن می‌چسبند. صفحات این نوع از رسوب‌دهنده‌ها را می‌توان شستشو داده که همین امر موجب افزایش طول عمر دستگاه می‌شود. این رسوب‌دهنده‌های الکترواستاتیک به عنوان بخش اولیه سیستم تهویه در نیروگاه‌ها و صنایع بزرگ جهت کنترل آلودگی هوا به کار می‌روند [6]. غبارگیرهای یا فیلترهای کیسه‌ای (فابریک)، را می‌توان یکی از مهمترین و کارآمدترین انواع دستگاه‌های کنترل آلودگی هوا و گرد و غبار نامید. این غبارگیرها شامل یک یا چند ردیف از کیسه‌های پارچه‌ای با بستر متخلخل هستند، جنس فیلترهای صرفاً از پارچه نبوده و می‌تواند از کاغذ، شبکه توری فلزی، سرامیک، حصیر، کتان، پلی پروپیلن، پلی استر، نومکس⁸، تفلون، فایبر گلس⁹ تشکیل شود. ابعاد و اندازه فیلترهای کیسه‌ای و نوع کیسه براساس شرایط عملیاتی، میزان غبار و شدت جریان هوای لازم متغیر می‌باشد، و ممکن است از یک تا چند صد کیسه تشکیل شده باشد. فیلترهای کیسه‌ای در دماهای متفاوت (شرایط دمایی حاد¹⁰) نیز کارایی بالایی دارند. از مزایای استفاده از فیلترهای کیسه‌ای می‌توان به بازدهی زیاد و خوردگی کم اشاره کرد. از این فیلترها در صنایع مختلف نظیر صنعت سیمان، تولید فولاد و صنایع شیمیایی استفاده می‌شود [6-5]. یکی از مرسوم‌ترین و ساده‌ترین دستگاه‌های آلودگی هوا جداکننده سیلکونی می‌باشد. این جداکننده براساس نیروی گریز از مرکز که توسط بدنه چرخشی¹¹ آن تولید می‌شود، کار می‌کند. کارکرد اصلی این دستگاه براساس جریان هوای گردبادی توسط بدنه (به عنوان شتاب دهنده جریان گردبادی) است. با توجه به اینکه جداکننده سیلکونی هیچ قسمت متحرکی ندارند، از هزینه‌های نصب، تعمیر و نگهداری پایینی نسبت به سایر دستگاه‌های کنترل آلودگی هوا برخوردار هستند. مشکل بزرگ این جداکننده‌ها در جداسازی مطلوب ذرات ریزتر، ذرات چسبان و مرطوب است [5-2].

براساس کمبود اطلاعات مفید در زمینه انتخاب بهینه دستگاه‌های کنترل آلودگی هوا، در این مقاله فرایند تحلیل سلسله مراتبی¹² (AHP) جهت گزینش سیستماتیک و منطقی بهترین دستگاه انجام پذیرفت. لازم به ذکر است که در این تحقیق نگرش کلی¹³ به انتخاب دستگاه‌ها بوده، چون طبیعتاً هر دستگاهی را نمی‌توان در هر صنعت خاصی استفاده کرد. همچنین پیامدهای تحریم کشور نیز بایستی در انتخاب مناسب در نظر گرفته شود. براساس مطالعات انجام شده بر روی دستگاه‌های کنترل آلودگی هوا چهار گزینه¹⁴ جداکننده سیلکونی، اسکرابرها، رسوب‌گیرهای الکترواستاتیک، غبارگیرهای یا فیلترهای کیسه‌ای برای این کار در فرایند تحلیل سلسله مراتبی انتخاب گردید.

⁷ Bhava

⁸ Nomex

⁹ Fiber Glass

¹⁰ Severe

¹¹ Helical

¹² Analytical Hierarchy Process

¹³ Overall

¹⁴ Alternatives

همچنین با توجه به مسائل موجود در واحدهای فرایندی پنج معیار¹⁵ پارامترهای هزینه (عملیاتی و مواد)، کارایی، مقررات زیست محیطی، منابع آلودگی و شرایط عملیاتی برای انتخاب بهترین گزینه در فرایند AHP مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

2- روش کار

واضح و مشخص است که روش‌ها و فناوری‌های مختلفی برای حذف و یا کاهش بار آلاینده‌های هوای محیط وجود دارد ولی طبیعتاً تمامی این روش‌ها و فناوری‌ها را نمی‌توان پیاده‌سازی کرد. اساساً در گذشته برای انتخاب روش‌های حذف و یا کاهش بار آلاینده‌های زیست‌محیطی جنبه‌های اقتصادی آن را در نظر می‌گرفتند. ولی امروزه با تشدید قوانین زیست محیطی و چالش زندگی سالم برای جوامع بشری معیارهای مختلف زیادی بایستی در نظر گرفته شوند. بنابراین در انتخاب روش، فناوری و یا دستگاه‌های مرتبط زیست‌محیطی معیارها و پارامترهای مختلف را بایستی در کنار هم و بصورت سیستماتیک و ضابطه‌مند مقایسه و انتخاب کرد [7]. بر همین اساس، برای مقایسه میان این روش‌ها، فناوری‌ها و یا دستگاه‌های مرتبط از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی استفاده شده است. فرایند سلسله مراتبی تحلیلی (AHP) یک روش ساختاری مبتنی بر ضوابط منطقی برای سازماندهی و تجزیه و تحلیل تصمیمات پیچیده، بر پایه علم ریاضیات و روانشناسی است [8]. فرایند تحلیل سلسله مراتبی به عنوان یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره توسط توماس ال ساعتی ارائه شده است. هدف از فرایند تحلیل سلسله مراتبی تشکیل سلسله مراتب پیچیدگی مسئله طبقه بندی شده، از بهترین به متوسط‌ترین دستگاه است تا اینکه بتوان مطابق درک از موضوع، با دقت بیشتری دستگاه را انتخاب کرد. برای اجرای فرایند تحلیل سلسله مراتبی بایستی چند مرحله (گام) را طی نمود. در گام اول باید درخت سلسله مراتبی را ترسیم کرده تا درک بهتری از پارامترهای مختلف ایجاد گردد. در گام بعدی بایستی هدف تعیین شود و در گام سوم باید جداول مقایسه‌های زوجی معیارها، زیر معیارها و گزینه‌ها را تهیه کرد و در گام آخر، بایستی از لحاظ ناسازگاری بررسی شده و جداولی که نرخ ناسازگاری بیش تر از 10 درصد دارند تجدید نظر شود. تمامی محاسبات دوتایی و مقایسه‌ای با استفاده از نرم افزار اکسپرت چویس¹⁶ انجام می‌شود تا خطای انسانی در محاسبات به کمترین مقدار خود برسد. براساس قابلیت این نرم افزار می‌توان ارجحیت‌ها را بصورت دوتایی (زوجی)¹⁷ مقایسه کرده، و تحلیل حساسیت تصمیم‌گیری در پارامترهای مساله را بررسی کرد [9-11]. فرایند سنجش دوتایی در نرم‌افزار بصورت‌های مختلفی از جمله گرافیکی، عددی و غیره انجام می‌پذیرد که برای دقت و تسهیل در انجام محاسبات سنجش عددی انتخاب شده که مبنای آن در جدول 1 ارائه شده است.

¹⁵ Criteria

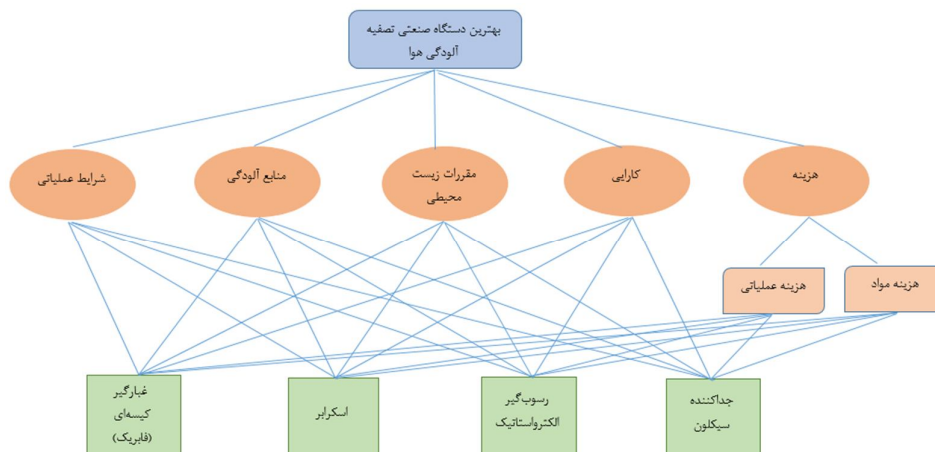
¹⁶ Expert Choice

¹⁷ Pairwise

جدول 1- میزان مقایسه دوتایی بصورت عددی در نرم افزار اکسپرت چویس [7-8]

مقدار عددی	اهمیت یا ارجحیت
1	با اندازه برابر ترجیحی
3	تا حدودی ترجیحی
5	تا حد زیادی ترجیحی
7	بسیار ترجیحی
9	بسیار بسیار ترجیحی
2, 4, 6 و 8	اهمیت یا ارجحیت بین مقادیر فوق

همانطور که قبلاً بیان شد و براساس گام دوم فرایند تحلیل سلسله مراتبی هدف از این مطالعه انتخاب بهینه دستگاه کنترل آلودگی هوا است. نمودار درختی فرایند تحلیل سلسله مراتبی شامل دو بخش اصلی معیارها و گزینه‌ها می‌باشد. معیارهای اصلی این تحقیق هزینه، بازدهی، مقررات زیست محیطی، منابع آلودگی و شرایط عملیاتی است. همچنین دو زیر معیار (معیارهای فرعی) هزینه عملیاتی و هزینه مواد برای این کار در نظر گرفته شده‌اند. مشخص است که انتخاب معیارها بایستی براساس روند مشخصی مانند کارهای قبلی انتخاب گردند. پر واضح است که بر مبنای قوانین سخت گیرانه زیست محیطی یکی از معیارها بایستی پارامتر مقررات زیست محیطی باشد. بطوریکه بررسی‌های لازم در جهت تحقق استانداردهای زیست محیطی انجام گیرد. همچنین با افزایش قیمت انرژی در ایران و جهان معیار کارایی دستگاه نیز بایستی پارامتر مهمی تلقی گردد، بطوریکه ایده‌ها از نظر اقتصادی زمانی کارایی لازم را دارند که منافع حاصل از آنها بیش از هزینه‌های آن باشد. پیش تر نیز اشاره شد که هر دستگاهی برای تمامی صنایع قابل کاربرد نیست از همین رو معیار منابع آلودگی نیز بهتر است، بررسی گردد. شکل 1 روند نمای درختی فرایند تحلیل سلسله مراتبی و ارتباط سازنده مابین معیارها و گزینه‌ها را نشان می‌دهد.



شکل 1- روندنمای روش تحلیل سلسله مراتبی برای انتخاب بهترین دستگاه

نصب و نگهداری جداکننده سیکلونی چندان پر هزینه نبوده و قسمت متحرکی ندارند این موضوع باعث می‌شود که هزینه نگهداری آنها پایین باشد و ذرات معلق خارج شده در صورت خشک شدن جمع می‌شوند و دفع آنها به

سادگی صورت می‌گیرد. ولی بررسی اجمالی جداکننده سیکلونی نشان می‌دهد که از راندمان بالای برخوردار نیست. شرط جداسازی موثر در این جداکننده‌ها این است که، سرعت به اندازه کافی سریع باشد تا ذرات در مدت زمان ماند سیال در سیکلون از یکدیگر جدا شوند [12]. اسکرابرهای مرطوب بیشتر در ریخته‌گری‌ها برای جداسازی انتشار ذرات از کوره استفاده می‌شوند. علاوه بر این، اسکرابرهای مرطوب در صنایع شیمیایی، صنایع سیمان، صنایع نساجی، صنایع معدنی و کارخانه‌های کاغذ برای جداسازی انتشار ذرات از جریان هوا استفاده می‌شوند. رسوب‌دهنده‌های الکترواستاتیکی اساساً فیلتر نبوده و نیاز به منبع ولتاژ ورودی بالا دارد. دو پایانه با بار مخالف وجود دارد که ممکن است به شکل صفحه، سیم یا میله باشد. مزیت مهم این نوع رسوب‌دهنده‌ها این است که هر اندازه از ذرات ممکن است از هوای آلوده از دستگاه خارج شود، برخلاف فیلترهای مکانیکی که قادر نخواهند بود طیف وسیعی از ذرات از خود عبور دهند. تنها چیزی که در این نوع رسوب‌دهنده‌ها اهمیت دارد ولتاژ تغذیه است. هرچه ولتاژ تغذیه بیشتر باشد، اندازه آلاینده‌های قابل فیلتر کردن ریزتر می‌شود [5]. غبارگیر کیسه‌ای یک دستگاه کنترلی برای حذف ذرات ریز (تا 50 ppm) است. با این حال، کیسه‌های فیلتر به راحتی در هنگام استفاده از بین می‌روند و نیاز به تعویض منظم دارند.

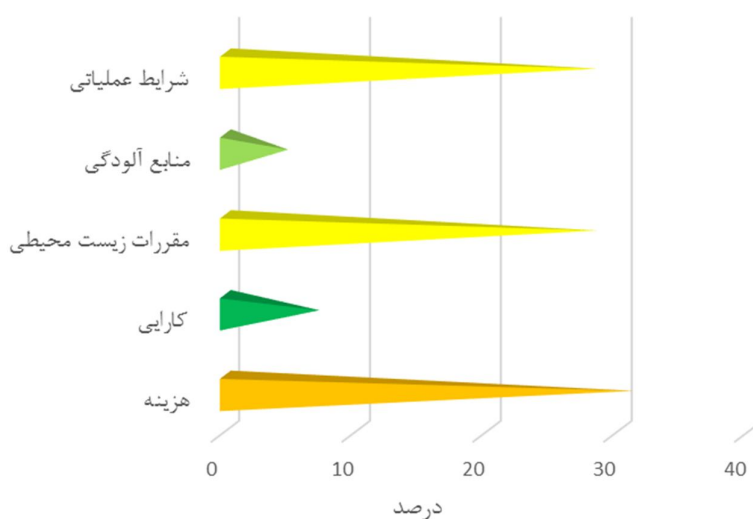
3- نتایج و بحث

براساس مطالب عنوان شده در بخش‌های قبلی برای هر یک از دستگاه‌ها و با توجه به معیارهای انتخابی در این مقاله، مقایسه دوتایی ما بین معیارها، زیر معیارها و گزینه‌ها انجام شد. برای هر کدام از معیارها با در نظر گرفتن ارجحیت و براساس دیدگاه سنجش دوتایی عددی، مقایسه شکل گرفت. ذات هر فرایند صنعتی طوری است که، معیار اقتصادی نسبت به دیگر معیارها دارای اولویت نسبی می‌باشد. همچنین مخاطرات زیست محیطی بصورتی است که پارامتر هزینه چندان نبایستی در آن ملاک عمل قرار گیرد. بر مبنای محاسبات زوجی در نرم افزار معیار شرایط زیست محیطی و شرایط عملیاتی دارای ارجحیت یکسان می‌باشند. لازم به توضیح است معیار شرایط عملیاتی بر روی معیار کارایی فرایند تاثیر خواهد گذاشت و به همین دلیل است که معیار شرایط عملیاتی تا حدودی ترجیحی نسبت به معیار کارایی می‌باشد. بر طبق دیدگاه مهندسی هر دستگاهی برای هر منبع آلودگی قابل کاربرد نیست بنابراین معیار منابع آلودگی دارای کمترین اهمیت بوده است، می‌باشد. ارجحیت هر یک از معیارها موجود براساس محدودیت‌ها و ضوابط موجود در جدول 2 نمایش داده شده است.

جدول 2- سنجش دوتایی معیارهای فرایند انتخاب بهینه دستگاه کاهش آلودگی

شرایط عملیاتی	منابع آلودگی	مقررات زیست محیطی	کارایی	هزینه (عملیاتی و مواد)	هزینه (عملیاتی و مواد)
3	5	1	4	1	هزینه (عملیاتی و مواد)
2	3	1/5	1		کارایی
3	5	1			مقررات زیست محیطی
2	1				منابع آلودگی
1					شرایط عملیاتی
					ناسازگاری (درصد)
					4

برای بررسی پایایی روش در فرایند تحلیل سلسله مراتبی، شاخصی¹⁸ به نام نرخ ناسازگاری¹⁹ توسط نرم افزار اکسپرت چویس بدست می آید. زمانیکه نرخ ناسازگاری بیش از 10 درصد بدست آید، بدین معنی است که مقایسه های انجام شده دارای هماهنگی مطلوبی نیستند. نتایج بدست آمده از نرم افزار حاکی از این مطلب است که نرخ ناسازگاری برای معیارها و زیرمعیارها درصد می باشد. نتایج محاسبات نرم افزار اکسپرت چویس نشان دهنده این موضوع است که، معیار هزینه (پارامتر اقتصادی) با بالاترین ارزش یعنی 31/2 درصد نسبت به سایر معیارها دارای بیشترین ارجحیت است. همچنین پس از آن معیار مقررات زیست محیطی و شرایط عملیاتی و بازدهی و منابع آلودگی به ترتیب با 28/4 و 28/4 و 7/2 و 4/8 درصد از ارجحیت های بعدی برخوردارند. شکل 2 نتایج مقایسه دوتایی معیارها را ارائه می دهد.



شکل 2- نتایج بدست آمده از مقایسه دوتایی برای معیارها در نرم افزار

بر طبق رویه قبل، برای سنجش دوتایی میان گزینه ها بایستی مزایا و معایب هر یک به دقت مطالعه و بررسی گردد. همچنین عواملی نظیر شرایط محیطی کشور نیز در انتخاب بهینه بی تاثیر نخواهد بود. جداکننده های سیکلونی فضای کمتری را نسبت به دیگر دستگاهها اشغال می کنند ولی این جداکننده دارای یک ایراد بزرگ بوده بطوریکه برای آلاینده های مرطوب قابل کاربرد نیستند. غبارگیرهای الکترواستاتیک اساساً نیازی به فیلترهای پارچه ای و کیسه ای ندارند و تمیز کردن آنها ساده و سریع می باشد. همچنین هزینه تعمیر و نگهداری (هزینه مواد) آنها نسبت به فیلترهای کیسه ای پایین تر است. همچنین افت فشار در این دستگاهها الکترواستاتیک پایین است. به اسکرابرها مرطوب در طیف وسیعی از دماها می تواند فعالیت کنند، اما برخلاف مزایایی که دارند اسکرابرها نیاز به نگهداری مداوم دارند که این امر باعث افزایش هزینه عملیاتی می شود. فیلترهای کیسه ای به خوبی می توانند از ورود گرد و غبار جلوگیری کنند و همچنین می توانند تا ذرات 50 میکرومتر را در خود نگه دارند. ولی در صورت عدم رعایت تعمیرات دوره ای منظم کارایی دستگاه پایین می آید. لازم به ذکر است که هزینه ای تعمیر و نگهداری بسیار بالایی دارند. جدول

¹⁸ Index

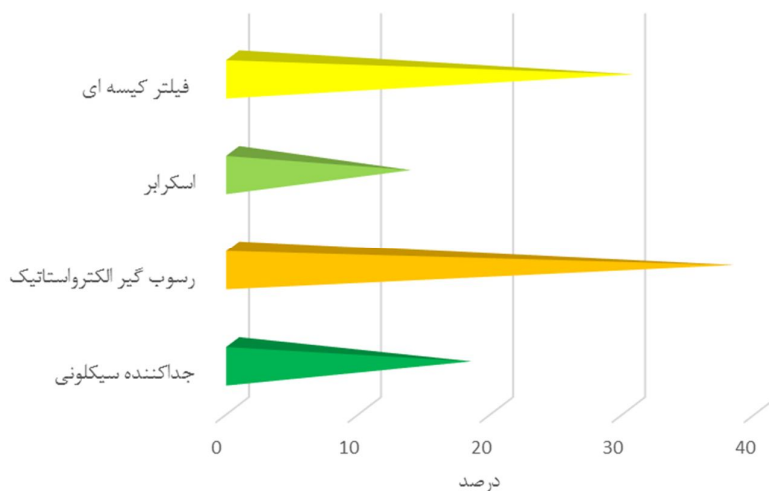
¹⁹ Inconsistency Rate

3 مقایسه دوتایی گزینه‌های فرایند AHP را برای انتخاب بهینه دستگاه نشان می‌دهد. با توجه به اینکه تجزیه و تحلیل گزینه‌ها برای هر معیار یکبار بصورت مجزا در نرم افزار محاسبه می‌گردد، جدول 3 براساس اعداد میانگین نوشته شده‌اند.

جدول 3- سنجش دوتایی گزینه‌های فرایند انتخاب بهینه دستگاه کاهش آلودگی

فیلترهای کیسه‌ای	رسوب‌گیرهای الکترواستاتیک	اسکرابرها	جداکننده سیکلونی	
1/4	1/4	2	1	جداکننده سیکلونی
1/5	1/5	1		اسکرابرها
2	1			رسوب‌گیرهای الکترواستاتیک
1				فیلترهای کیسه‌ای
6				ناسازگاری (درصد)

براساس مطالعات انجام شده و علل عنوان شده در بخش‌های مختلف سنجش دوتایی گزینه‌ها با استفاده از نرم افزار اکسپرت چویس صورت گرفت. نتایج خروجی نرم افزار نشان می‌دهد که دستگاه رسوب‌گیر الکترواستاتیک با 38 درصد نسبت به سایر گزینه‌ها بالاترین ارجحیت را داشت. با توجه به تجزیه و تحلیل انجام شده اختلاف ارجحیت غبارگیر کیسه‌ای با رسوب‌گیر الکترواستاتیک کم بوده و به کمتر از 8 درصد می‌رسد. بعد از گزینه‌های رسوب‌گیر الکترواستاتیک و غبارگیر کیسه‌ای، جداکننده سیکلونی به دلیل جنبه اقتصادی مطلوب نسبت به اسکرابر در جایگاه بعدی با حدود 18 درصد ارجحیت قرار دارد. دستگاه اسکرابر با 13/5 درصد کمترین اولویت را بین دستگاه‌های حاضر دارد. طبیعتاً یکی از مهمترین دلایلی که می‌توان اشاره کرد که باعث این اختلاف مابین دستگاه‌ها می‌شود معیار هزینه است. همانطور که قبلاً مشاهده شد دو معیار هزینه و مقررات زیست محیطی به دلیل ارجحیت بالا در انتخاب بهینه دستگاه تاثیر گذار بوده‌اند. نتیجه این مقایسه در شکل 3 نمایش داده شده است.



شکل 3- نتیجه بدست آمده از مقایسه دوتایی برای گزینه‌ها در نرم‌افزار

همچنین میزان ناسازگاری برای مقایسه دوتایی دستگاه‌های کاهش آلاینده‌های هوا حدود 6 درصد بدست آمد.

4- نتیجه گیری

با توجه به مشکلات آلودگی هوا و اینکه یکی از روش‌های حذف یا کاهش آلاینده‌های جوی دستگاه‌های مرتبط هستند. در این مقاله انتخاب بهینه دستگاه‌های کاهش بار آلاینده‌گی جوی مورد بررسی قرار گرفت. به همین منظور، برای انتخاب صحیح و مناسب دستگاه بهینه کنترل آلودگی هوا روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) به کار گرفته شد. محاسبات در نرم افزار اکسپرت چویس وارد شده و نتایج خروجی حاکی از این است که، معیار هزینه (عملیاتی و مواد) دارای بیشترین ارجحیت با اولویت 31/2 است. همچنین دستگاه رسوب‌گیر الکترواستاتیک با اختلاف کمی نسبت به غبارگیر کیسه‌ای اولویت 38 درصد را به خود اختصاص داد. بنابراین غبارگیر الکترواستاتیک انتخاب بهینه برای این تجزیه و تحلیل خواهد بود، با عنایت به این موضوع که شرایط موجود در کشور و محدودیت‌های تامین قطعات نیز در این مطالعه تاثیر گذاشته است. ضریب ناسازگاری کلی فرایند تحلیل سلسله مراتبی برای این تجزیه و تحلیل در نرم‌افزار کمتر از 7 درصد بدست آمد.

5- منابع

- [1] Act A. *Air (Prevention and Control of Pollution) Act 1981*, Government of India, New Delhi.
- [2] De Nevers, Noel. *Air pollution control engineering*. Waveland press, 2010.
- [3] R. Aditya, "A review of general and modern methods of air purification". *Journal of Thermal Engineering*, Vol. 5(2), pp. 22-28, 2018.
- [4] K. Ramaswamy, L.T. Jule, K. Subramanian, and V. Seenivasan, "Reduction of environmental chemicals, toxicity and particulate matter in wet scrubber device to achieve zero emissions". *Scientific Reports*, Vol. 12(1), pp.1-10, 2022.
- [5] Brauer, Heinz, and Yalamanchili BG Varma. *Air pollution control equipment*. Springer Science & Business Media, 2012.
- [6] Helsen, Lieve. "Sampling technologies and air pollution control devices for gaseous and particulate arsenic: A review". *Environmental Pollution*. Vol. 137.2, pp. 305-315, 2005.
- [7] S. H. Ghodsipur. "Multiple objective decision making (MODM)" Amirkabir University Press, Tehran, Iran, 32-35, 2006.
- [8] اسداله کریمی، حمیدرضا محمدمرادی، بررسی روش‌های کاهش مقدار روغن سبزی در واحد بنزین‌سازی شرکت‌های پالایش نفت، مهندسی شیمی/ ایران، شماره 18، صص 18-6، 1398.
- [9] R. Ramanathan. "A note on the use of the analytic hierarchy process for environmental impact assessment". *Journal of Environmental Management*. Vol. 63, pp. 27-35, 2001.
- [10] A. Karimi, E. fatehifar, R. alizade, I. Ahadzadeh. "Regeneration and Treatment of Sulfidic Spent Caustic using Analytic Hierarchy Process". *Environmental Health Engineering and Management Journal*. Vol. 3, pp. 203-208, 2016.
- [11] A. Karimi, A. Sadeghi, "AHP-Based Amine Selection in Sour Gas Treating Process: Simulation and Optimization". *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 2022.
- [12] A. Sakin, I. Karagoz, M. Ergul, U. Demirtas, and Savas, F.H. "An investigation into the use of a cyclone separator in the intake air system and its influence on the engine performance. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers", Part D: *Journal of Automobile Engineering*, Vol. 232(5), pp. 667-678, 2018.