

The application of multi-Criteria decision making in the selection of personal protective equipment: A narrative review

Vahid Jalili ^{1*}, Milad Derakhshanjafari²

1. Social Determinants of Health Research Center, Saveh University of Medical Sciences, Saveh, Iran.

2. Department of Occupational Health Engineering, School of Health, Baqiyatallah University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

*Corresponding Author: Vahid Jalili, E-mail: vahidjalili92@yahoo.com

Received: 23/02/2026

Revised: 15/07/2026

Published: 05/08/2026

ABSTRACT

Introduction: The selection of Personal Protective Equipment (PPE) constitutes a pivotal pillar of risk management within occupational settings. Given its multidimensional nature, this process necessitates the simultaneous evaluation of technical, ergonomic, economic, and behavioral criteria. Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) methodologies serve as robust frameworks for structuring such complex decision-making processes and enhancing the overall quality of outcomes. Accordingly, this study examines the utility of Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) methods in optimizing PPE selection.

Methods: Through a narrative review framework, this research explores the utility of MCDM approaches in the context of PPE selection. Data collection involved a search of Scopus, ScienceDirect, Web of Science, and Google Scholar, employing specific keyword combinations to ensure comprehensive coverage. The search strategy utilized a combination of Boolean operators (AND/OR) encompassing keywords such as Multi-Criteria Decision Making, MCDM, AHP, TOPSIS, Fuzzy, VIKOR, ELECTRE, Personal Protective Equipment, PPE selection, Safety equipment selection, and Occupational health. Articles were included without restriction on study type, year, or language. However, studies failing to provide comprehensive data, such as conference abstracts lacking full-text availability, were excluded from the review.

Results: The findings indicate that MCDM techniques facilitate the concurrent management of multifaceted criteria including protective performance, comfort, fit, cost-effectiveness, and user acceptance by formalizing the evaluation process. These methods enhance analytical realism by integrating quantitative and qualitative data, particularly in scenarios characterized by subjectivity or ambiguity.

Conclusion: Integrating MCDM methodologies into PPE selection transforms intuitive, subjective choices into a structured, evidence-based process, effectively managing complex decision-making scenarios. While these frameworks enhance transparency, selection quality, and user acceptance, their ultimate efficacy depends on seamless alignment with comprehensive occupational health protocols, specifically hazard assessment, stakeholder engagement, and post-implementation evaluation. A comparative analysis of these techniques reveals that methodologies such as the Analytic Hierarchy Process (AHP), TOPSIS, fuzzy-set theories, and outranking models are each uniquely suited to distinct data structures and situational contexts. Essentially, the primary function of MCDM extends beyond simple alternative ranking; it serves to elucidate trade-offs and bolster the defensibility of decision-making in occupational health contexts.

Keyword: Personal Protective Equipment, Multi-Criteria Decision Making, PPE Selection Criteria, Alternatives Prioritization.

CITATION: Jalili V, Derakhshan Jafari M. Application of multi-criteria decision-making methods in the process of selecting personal protective equipment: A narrative review. Journal of Saveh University of Medical Sciences, 2026; 2(2): 66 - 65. doi:[10.22034/sumsj.2026.582935.1105](https://doi.org/10.22034/sumsj.2026.582935.1105)



کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در فرآیند انتخاب تجهیزات حفاظت فردی:

یک مرور روایتی

وحید جلیلی¹، میلاد درخشان جزری^۲

۱. مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی موثر بر سلامت، دانشکده علوم پزشکی ساوه، ساوه، ایران.

۲. گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله، تهران، ایران.

* نویسنده مسئول: وحید جلیلی، ایمیل: vahidjalili92@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۳/۰۲

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۵/۰۴/۲۴

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۵/۱۴

چکیده

مقدمه: انتخاب تجهیزات حفاظت فردی (PPE) یکی از ارکان حیاتی مدیریت ریسک در محیط‌های کاری است و به دلیل ماهیت چندبعدی آن، نیازمند ارزیابی هم‌زمان معیارهای فنی، ارگونومیک، اقتصادی و رفتاری است. روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) ابزارهایی کارآمد برای ساختارسازی این فرآیند و بهبود کیفیت تصمیم‌گیری محسوب می‌شوند. از این رو، پژوهش حاضر به منظور واکاوی کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در انتخاب تجهیزات حفاظت فردی انجام شده است.

روش‌ها: این مطالعه با رویکرد مرور روایتی، به بررسی کاربرد روش‌های MCDM در انتخاب PPE پرداخته است. جستجوی نظام‌مند در پایگاه‌های Science Direct، Scopus، Web of Science و Google Scholar با استفاده از کلیدواژه‌های ترکیبی صورت گرفت. کلیدواژه‌های مورد استفاده شامل ترکیباتی از عبارات زیر بود:

Personal Protective Equipment selection, PPE selection, Safety equipment selection, Occupational health و استفاده از عملگرهای بولی AND و OR ترکیب شدند. مقالات منتشر شده بدون محدودیت از نظر نوع مطالعه، سال انتشار و زبان مورد بررسی قرار گرفتند. با این حال مطالعاتی که گزارش کاملی ارائه نمی‌کردند یا به‌صورت چکیده کنفرانسی بدون متن کامل منتشر شده بودند در نظر گرفته نشد.

یافته‌ها: یافته‌ها نشان می‌دهند که روش‌های MCDM، از طریق ساختارمند کردن فرآیند ارزیابی، مدیریت هم‌زمان معیارهای چندگانه از جمله عملکرد حفاظتی، راحتی، تناسب، مقرون‌به‌صرفه بودن و میزان پذیرش کاربر را تسهیل می‌کنند. این روش‌ها با ادغام داده‌های کمی و کیفی، به‌ویژه در سناریوهایی که با ماهیت ذهنی یا ابهام همراه هستند، واقع‌گرایی تحلیلی را ارتقا می‌بخشند. **نتیجه‌گیری:** به‌کارگیری روش‌های MCDM با تبدیل تصمیم‌گیری از رویکردهای سلیقه‌ای به فرآیندی نظام‌مند و مبتنی بر شواهد، مدیریت پیچیدگی‌های انتخاب PPE را تسهیل می‌کند. با این وجود، اثربخشی عملیاتی این مدل‌ها تنها در هم‌افزایی با چرخه جامع بهداشت حرفه‌ای، شامل ارزیابی دقیق مخاطرات، مشارکت ذی‌نفعان و پایش پس از اجرا، محقق می‌گردد. این روش‌ها با ادغام داده‌های کمی و کیفی، به‌ویژه در شرایطی که بخشی از اطلاعات ماهیت ذهنی یا مبهم دارند، واقع‌گرایی تحلیل را افزایش می‌دهند. مقایسه روش‌ها نیز نشان می‌دهد که تکنیک‌هایی مانند تحلیل سلسله‌مراتبی، تاپسیس، روش‌های فازی و مدل‌های برتری‌سنجی هر یک برای شرایط و نوع داده متفاوت مناسب هستند. به‌طور کلی، نقش اصلی MCDM نه صرفاً رتبه‌بندی گزینه‌ها، بلکه شفاف‌سازی مبادله‌ها و ارتقای قابلیت دفاع‌پذیری تصمیم‌گیری در محیط‌های بهداشت حرفه‌ای است.

کلید واژه‌ها: تجهیزات حفاظت فردی، تصمیم‌گیری چندمعیاره، معیارهای انتخاب PPE، اولویت‌بندی گزینه‌ها

ارجاع: جلیلی وحید، درخشان جزری میلاد. کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در فرآیند انتخاب تجهیزات حفاظت فردی: یک مرور روایتی. مجله

دانشکده علوم پزشکی ساوه ۱۴۰۵؛ ۲ (۲): ۵۰-۶۵. doi:10.22034/sumsj.2026.582935.1105

حق انتشار این مستند، متعلق به مجله علوم پزشکی ساوه است. ۱۴۰۵ ©. ناشر این مقاله، دانشکده علوم پزشکی ساوه است.

این مقاله تحت گواهی زیر منتشر شده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط بر استناد صحیح به مقاله و با رعایت شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است.

Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)



مقدمه

حفظ و ارتقای سلامت و ایمنی کارکنان همواره یکی از اهداف بنیادین در حیطه بهداشت حرفه‌ای محسوب می‌شود، به‌ویژه در محیط‌هایی که مواجهه با عوامل زیان‌آور فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی یا ارگونومیکی را نمی‌توان به‌طور کامل حذف کرد. در سلسله‌مراتب کنترل خطرات، تجهیزات حفاظت فردی (PPE)^۱ به‌عنوان آخرین لایه دفاعی شناخته می‌شوند و زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرند که کنترل‌های مهندسی و مدیریتی یا کافی نباشند و یا اجرای آن‌ها از نظر فنی و عملی امکان‌پذیر نباشد. با وجود این جایگاه، تجهیزات حفاظت فردی نقشی اساسی در کاهش مخاطرات شغلی و پیشگیری از آسیب‌ها و بیماری‌های ناشی از کار در طیف گسترده‌ای از صنایع، از جمله ساخت‌وساز، مراقبت‌های بهداشتی، تولید و معدن ایفا می‌کنند (۱، ۲). با این حال، اثربخشی تجهیزات حفاظت فردی صرفاً به قابلیت‌های فنی و حفاظتی آن‌ها محدود نمی‌شود، بلکه تناسب آن‌ها با ویژگی‌های کاربر و شرایط محیط کار نیز اهمیت تعیین‌کننده‌ای دارد. در عمل، انتخاب PPE مناسب فرآیندی پیچیده و چندبعدی در تصمیم‌گیری است که مستلزم ایجاد تعادل میان معیارهای متعدد و گاه متعارض می‌باشد. اگرچه عملکرد حفاظتی بالا یک ضرورت اساسی به‌شمار می‌رود، اما عواملی نظیر راحتی، سهولت استفاده، سازگاری با سایر تجهیزات، هزینه، دوام و میزان پذیرش توسط کارکنان نیز تأثیر قابل‌توجهی بر استفاده واقعی و میزان تبعیت از دستورالعمل‌های ایمنی دارند. انتخاب نامناسب تجهیزات حفاظت فردی می‌تواند منجر به بروز ناراحتی، کاهش بهره‌وری، استفاده نادرست یا حتی عدم استفاده کامل از تجهیزات شود و در نتیجه، کارکرد حفاظتی مورد انتظار آن‌ها را تضعیف کند (۳، ۴). رویکردهای سنتی در انتخاب تجهیزات حفاظت فردی عمدتاً بر پایه انطباق با الزامات

قانونی، قضاوت کارشناسی یا ارزیابی تک‌معیاره (مانند هزینه یا سطح حفاظت) استوار بوده‌اند. اگرچه این رویکردها چارچوب اولیه‌ای برای تصمیم‌گیری فراهم می‌کنند، اما اغلب در بازتاب ماهیت چندبعدی و پیچیده محیط‌های واقعی کار ناتوان هستند (۵). از این‌رو، نیاز فزاینده‌ای به ابزارهای نظام‌مند، شفاف و مبتنی بر پشتیبانی تصمیم‌گیری احساس می‌شود؛ ابزارهایی که بتوانند معیارهای متنوع و دیدگاه‌های مختلف ذی‌نفعان را در فرآیند انتخاب ادغام کنند. روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)^۲ چارچوبی ساختاریافته برای مواجهه با این پیچیدگی فراهم می‌آورند. این روش‌ها به تصمیم‌گیرندگان امکان می‌دهند تا گزینه‌های مختلف را بر اساس مجموعه‌ای از معیارهای از پیش تعیین‌شده ارزیابی کرده و انتخاب‌هایی متعادل‌تر، منطقی‌تر و قابل‌دفاع‌تر انجام دهند. از طریق تلفیق داده‌های کمی و قضاوت‌های کیفی، تکنیک‌های MCDM می‌توانند میزان ذهنیت در تصمیم‌گیری را کاهش داده، انسجام و سازگاری تصمیمات را افزایش دهند و در نهایت کیفیت کلی تصمیم‌گیری را بهبود بخشند. در انتخاب تجهیزات حفاظت فردی، این روش‌ها به متخصصان بهداشت حرفه‌ای کمک می‌کند تا تعامل میان عواملی نظیر ارتقای سطح ایمنی، راحتی کاربر و مقرون‌به‌صرفه‌بودن را به‌شکلی شفاف و نظام‌مند تحلیل کنند (۶، ۷). در سال‌های اخیر، کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در حوزه بهداشت حرفه‌ای گسترش قابل‌توجهی یافته است؛ روندی که بازتاب‌دهنده حرکت گسترده‌تر به‌سوی تصمیم‌گیری مبتنی بر شواهد و مشارکت ذی‌نفعان است. تکنیک‌های متعددی از جمله فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی^۳، روش تاپسیس^۴ و رویکردهای مبتنی بر منطق فازی، برای حمایت از انتخاب تجهیزات حفاظت فردی در صنایع مختلف به‌کار گرفته شده‌اند. این روش‌ها علاوه بر افزایش شفافیت در تصمیم‌گیری، امکان لحاظ کردن ترجیحات کارکنان و نظرات

^۱ Personal Protective Equipment (PPE)

^۲ Multi-Criteria Decision Making (MCDM)

^۳ Analytic Hierarchy Process (AHP)

^۴ Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

از مترادف‌های مرتبط استفاده شد تا جامعیت مرور روایتی حفظ گردد. مقالات منتشرشده بدون محدودیت از نظر نوع مطالعه، سال انتشار و زبان مورد بررسی قرار گرفتند. با این حال مطالعاتی که گزارش کاملی ارائه نمی‌کردند یا به‌صورت چکیده کنفرانسی بدون متن کامل منتشر شده بودند در نظر گرفته نشد.

یافته‌ها

روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در انتخاب تجهیزات حفاظت فردی

به‌دلیل ماهیت چندبعدی و وجود معیارهای متناقض در انتخاب تجهیزات حفاظت فردی (مانند توازن میان عملکرد حفاظتی، راحتی، هزینه و قابلیت استفاده)، روش‌های MCDM به ابزاری حیاتی در بهداشت حرفه‌ای تبدیل شده‌اند. این روش‌ها با تبدیل فرآیندهای ذهنی و شهودی به مدل‌های ساختاریافته و تحلیلی، امکان وزن‌دهی نظام‌مند به معیارها و ارزیابی سیستماتیک گزینه‌ها را فراهم می‌کنند. این رویکرد نه تنها دقت تصمیم‌گیری را افزایش می‌دهد، بلکه با ایجاد شفافیت در فرآیند انتخاب، قابلیت توجیه و بازبینی تصمیمات را برای ممیزان و نهادهای نظارتی تضمین می‌کند (۱۰، ۱۱). یکی از مزایای کلیدی روش‌های MCDM در انتخاب PPE، توانایی ادغام معیارهای کیفی و ذهنی (مانند راحتی، پذیرش کاربر و تناسب فیزیکی) با شاخص‌های فنی و عینی (مانند عملکرد حفاظتی و دوام) است. این انعطاف‌پذیری، امکان کاربرد گسترده این روش‌ها را در طیف وسیعی از تجهیزات (از محافظ‌های تنفسی تا لباس‌های حفاظتی) و صنایع مختلف (شیمیایی، معدن، بهداشت و غیره) فراهم می‌آورد. با این حال، باید تأکید کرد که MCDM جایگزین ارزیابی مخاطرات یا الزامات قانونی نیست، بلکه ابزاری مکمل و حمایتی است که پس از تعیین حداقل استانداردهای حفاظتی، به بهینه‌سازی انتخاب میان گزینه‌های موجود و بهبود فرآیند تصمیم‌گیری می‌پردازد (۱۲-۱۴). جدول ۱ مهم‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری

خبرگان را نیز فراهم می‌سازند؛ عواملی که برای تضمین پذیرش و استفاده صحیح از تجهیزات حفاظت فردی اهمیت حیاتی دارند (۸، ۹). با وجود گسترش روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، هنوز یک رویکرد جامع که بتواند تمامی ابعاد انتخاب تجهیزات حفاظت فردی را پوشش دهد، وجود ندارد. اکثر مطالعات موجود یا تنها بر معیارهای فنی تمرکز دارند و یا به اندازه کافی به نقش عامل انسانی و پذیرش کاربر نپرداخته‌اند. همچنین، نحوه ترکیب این روش‌های ریاضی با فرآیندهای واقعی مدیریت ریسک در محیط کار، همچنان به صورت پراکنده مطرح شده است. این مقاله مروری با هدف بررسی نقش روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در انتخاب تجهیزات حفاظت فردی تدوین شده است و بر مبانی نظری، کاربردهای عملی و پیامدهای آن‌ها در حوزه بهداشت حرفه‌ای تمرکز دارد. از طریق تحلیل کیفی مطالعات موجود، این مقاله می‌کوشد درک جامعی از چگونگی ارتقای فرآیند انتخاب PPE به‌واسطه رویکردهای MCDM ارائه دهد و نشان دهد که این روش‌ها چگونه می‌توانند به توسعه راهبردهای مؤثرتر مدیریت ریسک شغلی کمک کنند.

روش

این مطالعه با رویکرد مرور روایتی انجام شده است تا تحلیلی جامع از کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در انتخاب تجهیزات حفاظت فردی ارائه دهد. در مطالعه حاضر، جستجو در پایگاه‌های اطلاعاتی Web of Science، Scopus، ScienceDirect و Google Scholar صورت گرفت. کلیدواژه‌های مورد استفاده شامل ترکیباتی از عبارات زیر بود: AHP، MCDM، Multi-Criteria Decision Making، Personal، ELECTRE، VIKOR، Fuzzy، TOPSIS، Safety، PPE selection، Protective Equipment، equipment selection و Occupational health که با استفاده از عملگرهای بولی AND و OR ترکیب شدند. کلیدواژه‌ها با هدف پوشش دادن دو محور اصلی پژوهش یعنی موضوع اصلی PPE و MCDM انتخاب شدند. برای اطمینان از اینکه طیف گسترده‌ای از مطالعات در جستجو لحاظ شود،

چندمعیاره مورد استفاده در انتخاب تجهیزات حفاظت فردی را نشان می‌دهد.

جدول ۱. مهم‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مورد استفاده در انتخاب تجهیزات حفاظت فردی

روش	منطق اصلی	نقاط قوت در انتخاب PPE	محدودیت‌های اصلی	کاربرد متداول در انتخاب PPE
AHP	استفاده از مقایسه‌های زوجی برای تعیین وزن معیارها و رتبه‌بندی گزینه‌ها	تفسیر آسان، مقبولیت گسترده، مناسب برای استفاده از قضاوت خبرگان	در صورت افزایش تعداد معیارها زمان بر می‌شود؛ سازگاری قضاوت‌ها باید کنترل شود	انتخاب ماسک‌های تنفسی، کلاه ایمنی، دستکش‌ها یا لباس‌های حفاظتی در شرایطی که نظر خبرگان نقش محوری دارد
TOPSIS	رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس فاصله از راه‌حل ایده‌آل و ضدایده‌آل	تولید رتبه‌بندی شفاف، کارایی محاسباتی بالا، اجرای نسبتاً ساده	حساسیت به روش نرمال‌سازی و نحوه وزن‌دهی معیارها	مقایسه چندین محصول PPE دارای داده‌های عملکردی قابل اندازه‌گیری
Fuzzy AHP	توسعه AHP با استفاده از اعداد فازی برای مدیریت عدم قطعیت در قضاوت‌ها	مناسب برای معیارهای ذهنی مانند راحتی و مقبولیت کاربران	از نظر روش شناختی پیچیده‌تر بوده و توضیح آن برای افراد غیرمتخصص دشوارتر است	تصمیم‌گیری درباره PPE در شرایطی که ارزیابی‌ها زبانی، ذهنی یا مبتنی بر داده‌های ناقص هستند
Fuzzy TOPSIS	ترکیب منطق فازی با رتبه‌بندی TOPSIS	مدیریت عدم قطعیت همراه با حفظ ساختار عملی رتبه‌بندی	نیازمند مدل‌سازی دقیق و انتخاب مناسب پارامترها	انتخاب PPE در محیط‌هایی با داده‌های فنی و عوامل انسانی غیرقطعی یا مبهم
ELECTRE	استفاده از روابط برتری (Outranking) برای مقایسه گزینه‌ها	مناسب در شرایطی که عملکرد ضعیف در یک معیار حیاتی نباید با مزایای سایر معیارها جبران شود	کمتر شهودی است؛ تعیین آستانه‌ها می‌تواند بر نتایج اثر بگذارد	تصمیمات ایمنی محور مربوط به PPE که حداقل سطح حفاظت در آن غیرقابل مصالحه است
PROMETHEE	مقایسه گزینه‌ها از طریق جریان‌های ترجیحی میان معیارها	انعطاف‌پذیری و شفافیت مناسب برای رتبه‌بندی جزئی	نیازمند تخصص در تعریف توابع ترجیح	ارزیابی چند گزینه PPE با پروفایل‌های عملکردی متفاوت و ترکیبی
Hybrid Models	ترکیب دو یا چند روش MCDM در یک چارچوب واحد	استحکام بیشتر، امکان تفکیک مرحله وزن‌دهی از رتبه‌بندی، قابلیت انطباق با مسائل پیچیده	اجرا و تبیین پیچیده‌تر	انتخاب جامع تجهیزات حفاظت فردی در سازمان‌های بزرگ یا چندرشته‌ای

فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)

فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) یکی از رایج‌ترین روش‌های انتخاب تجهیزات حفاظت فردی است زیرا ساختاری منظم و قابل فهم دارد. در این روش، مسئله تصمیم‌گیری به سطوح مختلف شامل هدف، معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها تقسیم می‌شود. AHP با استفاده از مقایسه‌های زوجی، اهمیت نسبی معیارها را تعیین و آن‌ها را به وزن‌های عددی

تبدیل می‌کند. این قابلیت امکان کمی‌سازی قضاوت‌های کیفی را فراهم کرده و ارزیابی و مقایسه معیارهایی مانند سطح حفاظت، راحتی استفاده و هزینه را تسهیل می‌کند (۱۵، ۱۶). جذابیت محوری روش AHP در توانایی آن جهت تبدیل قضاوت‌های ذهنی و شفاهی به یک ساختار وزن‌دهی رسمی و شفاف است. در حوزه بهداشت حرفه‌ای، این روش با فراهم آوردن بستری برای تعامل میان خبرگان و کاربران، امکان دستیابی به اجماع را تسهیل کرده و از تسلط دیدگاه‌های

ارائه می‌دهد، شناسایی کند. این قابلیت به‌ویژه در تصمیمات خرید و تأمین تجهیزات اهمیت دارد؛ جایی که چندین محصول تجاری ممکن است حداقل استانداردهای ایمنی را برآورده سازند، اما از نظر عملکرد عملی تفاوت‌های معناداری داشته باشند. مهم‌ترین محدودیت روش تاپسیس حساسیت آن به نحوه نرمال‌سازی داده‌ها و وزن‌دهی معیارها است. چنانچه معیارها به‌درستی مقیاس‌بندی نشوند یا وزن‌ها به‌صورت ناسازگار تعیین گردند، رتبه‌بندی نهایی می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی تغییر کند. از این‌رو، تحلیل‌گران باید اطمینان حاصل کنند که داده‌های ورودی با دقت آماده شده و وزن‌های انتخاب‌شده بازتاب‌دهنده اولویت‌های واقعی محیط کار هستند (۲۲-۲۴).

روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی (Fuzzy MCDM)

روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی برای انتخاب تجهیزات حفاظت فردی در شرایطی مناسب‌اند که اطلاعات با عدم قطعیت، ابهام یا قضاوت‌های زبانی همراه باشد. این روش‌ها معیارهای ذهنی مانند راحتی، مقبولیت، مهارت حرکتی و تناسب را با تبدیل اصطلاحات زبانی (مانند زیاد، متوسط و کم) به اعداد فازی مدل‌سازی می‌کنند. در نتیجه، نظرات خبرگان و ارزیابی‌های نسبی کارکنان و متخصصان ایمنی، بدون تحمیل دقت مصنوعی، به‌صورت واقع‌بینانه در فرآیند تصمیم‌گیری لحاظ می‌شود (۱۲، ۲۵). از میان روش‌های ترکیبی فازی، «AHP فازی»^۶ و «تاپسیس فازی» از رایج‌ترین تکنیک‌های مورد استفاده در پژوهش‌های PPE هستند. در AHP فازی، وزن معیارها از طریق مقایسه‌های زوجی نامطمئن و مبهم استخراج می‌شود؛ درحالی‌که TOPSIS فازی امکان رتبه‌بندی گزینه‌ها را در شرایطی فراهم می‌کند که ارزیابی عملکرد آن‌ها مبهم یا ناقص باشد. این رویکردها به‌ویژه در محیط‌هایی کاربرد دارند که داده‌های آزمایشگاهی کامل در دسترس نیست یا تجربه ذهنی کاربران

فردی بر فرآیند تصمیم‌گیری می‌کاهد. یکی از ویژگی‌های متمایز AHP، برخورداری از شاخص ناسازگاری است که نوعی انضباط روش‌شناختی به فرآیند می‌بخشد و از رتبه‌بندی‌های ناشی از قضاوت‌های متناقض جلوگیری می‌کند. با این حال، باید توجه داشت که با افزایش پیچیدگی مدل، افزایش تعداد مقایسه‌های زوجی می‌تواند منجر به تحمیل بار شناختی بر تصمیم‌گیرنده گردد. همچنین، با توجه به فرض ثبات ترجیحات در این روش، در محیط‌های دارای عدم قطعیت بالا، بهره‌گیری از رویکردهای تکمیلی نظیر منطق فازی^۵ می‌تواند دقت و پایداری مدل را ارتقا بخشد (۱۷-۱۹).

روش تاپسیس (TOPSIS)

روش تاپسیس یکی از پرکاربردترین روش‌ها برای انتخاب تجهیزات حفاظت فردی است که گزینه‌ها را بر اساس میزان نزدیکی به راه‌حل ایده‌آل رتبه‌بندی می‌کند. در این روش، بهترین گزینه علاوه بر بیشترین نزدیکی به حالت ایده‌آل (حداکثرسازی معیارهای مطلوب و حداقل‌سازی معیارهای نامطلوب)، باید بیشترین فاصله را از بدترین گزینه نیز داشته باشد. این رویکرد امکان ارزیابی هم‌زمان معیارهایی مانند راندمان فیلتراسیون، مقاومت تنفسی، وزن، هزینه و سازگاری با سایر تجهیزات را فراهم کرده و انتخاب تجهیز با عملکرد متوازن در تمامی معیارهای مهم را تسهیل می‌کند. (۲۰، ۲۱). یکی از مهم‌ترین مزایای تاپسیس سادگی آن است. پس از تعیین وزن معیارها و نرمال‌سازی ماتریس داده‌ها، فرآیند رتبه‌بندی نسبتاً ساده، شفاف و قابل تکرار خواهد بود. این ویژگی باعث شده است که این روش در مطالعات کاربردی بهداشت حرفه‌ای، که تصمیم‌گیرندگان به دنبال روشی شفاف اما نه بیش از حد پیچیده هستند، بسیار مورد توجه قرار گیرد. تاپسیس همچنین در شرایطی که مسئله تصمیم‌گیری شامل چندین گزینه نسبتاً مشابه باشد، عملکرد مؤثری دارد. این روش می‌تواند تفاوت‌های ظریف میان محصولات مختلف PPE را آشکار کرده و گزینه‌ای را که بهترین تعادل کلی را

^۵ Fuzzy logic

^۶ Fuzzy AHP

قابل مقایسه نیستند. این وضعیت در بهداشت حرفه‌ای بسیار رایج است؛ به‌گونه‌ای که ممکن است یک محصول از نظر راحتی عملکرد بهتری داشته باشد اما در دوام یا سطح حفاظت ضعیف‌تر عمل کند. این روش به‌جای تحمیل یک رتبه‌بندی ساده از بهترین تا بدترین، امکان تعریف روابط «برتری نسبی» و جزئی را فراهم می‌سازد (۳۰، ۳۱).

با وجود ارزش علمی بالا، روش‌های برتری‌سنجی محدودیت‌هایی نیز دارند. این روش‌ها ممکن است برای افراد غیرمتخصص کمتر شهودی بوده و از نظر ریاضی پیچیده و غیرشفاف به‌نظر برسند. افزون بر این، نتایج آن‌ها به انتخاب پارامترهایی مانند آستانه‌های توافق^۷ و عدم توافق^۸ وابسته است. در نتیجه، اگرچه این روش‌ها از منظر علمی بسیار ارزشمند هستند، اما در تصمیم‌گیری‌های روزمره مرتبط با PPE کمتر از AHP یا تاپسیس مورد استفاده قرار می‌گیرند (۳۲).

رویکردهای ترکیبی (Hybrid Approaches)

رویکردهای ترکیبی با ادغام دو یا چند روش تصمیم‌گیری چندمعیاره، دقت و قابلیت اعتماد ارزیابی تجهیزات حفاظت فردی را افزایش می‌دهند. در این رویکردها معمولاً یک روش برای وزن‌دهی معیارها (مانند AHP) و روش دیگر برای رتبه‌بندی گزینه‌ها (مانند تاپسیس) به‌کار می‌رود. این ترکیب از نقاط قوت هر روش بهره گرفته، ضعف‌های مدل‌های منفرد را کاهش می‌دهد و تصمیم‌گیری را مستحکم‌تر و واقع‌بینانه‌تر می‌کند (۳۳، ۳۴). مدل‌های ترکیبی MCDM، مانند ادغام AHP، تاپسیس و منطق فازی، برای انتخاب تجهیزات حفاظت فردی در شرایط پیچیده، همراه با عدم قطعیت و اطلاعات ناقص، بسیار مؤثر هستند. این رویکردها با تلفیق دیدگاه‌های ذی‌نفعان مختلف، تصمیم‌گیری را جامع‌تر، متعادل‌تر و کارآمدتر از روش‌های منفرد می‌کنند (۳۵، ۳۶). درعین‌حال، طراحی مدل‌های ترکیبی نیازمند دقت و انسجام بالاست. چنانچه روش‌ها به‌صورت ناسازگار با یکدیگر ترکیب شوند، مدل ممکن است دچار افزونگی، پیچیدگی غیرضروری یا

نقش مهمی در ارزیابی تجهیزات ایفا می‌کند. مزیت علمی اصلی روش‌های فازی آن است که عدم قطعیت ذاتی در قضاوت انسانی را حفظ می‌کنند. به‌جای تحمیل یک مقدار قطعی و صلب، این روش‌ها دامنه‌ای از مقادیر محتمل را در فرآیند ارزیابی لحاظ می‌کنند. در نتیجه، بازنمایی واقع‌بینانه‌تری از تصمیم‌گیری در محیط کار ارائه می‌شود، به‌ویژه در شرایطی که میان ذی‌نفعان مختلف توافق کامل وجود ندارد (۲۶، ۲۷). با این حال، روش‌های فازی اگرچه دقیق‌تر هستند اما به دلیل پیچیدگی روش‌شناختی و نیاز به دانش آماری، تفسیر آن‌ها دشوار است. بنابراین، اثربخشی این روش‌ها در بهداشت حرفه‌ای به حضور تحلیل‌گرانی وابسته است که بتوانند نتایج را به توصیه‌های عملی و قابل فهم تبدیل کنند.

روش‌های برتری‌سنجی (Outranking Methods)

روش‌های برتری‌سنجی مانند ELECTRE و PROMETHEE برخلاف روش‌های جبرانی نظیر AHP و تاپسیس، اجازه نمی‌دهند ضعف در یک معیار حیاتی با عملکرد بهتر در معیارهای دیگر جبران شود. این ویژگی در انتخاب تجهیزات حفاظت فردی اهمیت زیادی دارد؛ زیرا ناکافی بودن یک معیار ایمنی، حتی در صورت برتری در سایر جنبه‌ها، می‌تواند گزینه را نامناسب کند. همچنین این روش‌ها امکان در نظر گرفتن آستانه‌ها، شرایط وتو و ترجیحات جزئی را فراهم کرده و منطق تصمیم‌گیری را واقع‌بینانه‌تر منعکس می‌کنند (۲۸، ۲۹). روش PROMETHEE اغلب به‌دلیل قابلیت تفسیر بالای آن مورد توجه قرار می‌گیرد. این روش «جریان ترجیح» تولید می‌کند که از طریق آن می‌توان گزینه‌های قوی‌تر و ضعیف‌تر را در میان مجموعه معیارها شناسایی کرد. در انتخاب PPE، این ویژگی زمانی مفید است که تصمیم‌گیرندگان بخواهند چند تجهیز را که تنها در چند ویژگی مهم با یکدیگر تفاوت دارند، مقایسه کنند. روش ELECTRE نیز برای مسائل مرتبط با تجهیزات حفاظت فردی مناسب است؛ زیرا برای شرایطی طراحی شده که در آن گزینه‌ها در تمامی ابعاد به‌صورت کامل

^۷ Concordance

^۸ Discordance

جداگانه هر تجهیز است (۴۰). پذیرش کاربر نیز باید به عنوان یک معیار اساسی در انتخاب PPE در نظر گرفته شود، نه صرفاً یک ترجیح ثانویه. تجهیزاتی که از دید کاربران غیرعملی، سنگین، دشوار برای پوشیدن یا محدودکننده تلقی شوند، احتمال کمتری دارد که به صورت مداوم و صحیح استفاده شوند. به همین دلیل، ادبیات علمی بهداشت حرفه‌ای به طور فزاینده‌ای تأکید می‌کند که ارزش واقعی حفاظتی تجهیزات تنها به مشخصات فنی رسمی وابسته نیست، بلکه رفتار کاربر و تمایل او به استفاده از تجهیز نیز نقش تعیین‌کننده‌ای دارد (۴۱). هزینه همچنان یکی از معیارهای مهم انتخاب است، اما نباید صرفاً به قیمت خرید اولیه محدود شود. تصمیمات خرید باید چرخه عمر تجهیز را نیز دربرگیرد؛ از جمله دفعات تعویض، نیازهای تعمیر و نگهداری، دوام و پیامدهای عملیاتی ناشی از عدم استفاده صحیح. در بسیاری از محیط‌های کاری، یک محصول ارزان‌تر ممکن است در بلندمدت از نظر اقتصادی نامناسب‌تر باشد، اگر به سرعت مستهلک شود، به درستی استفاده نگردد یا نتواند حفاظت پایدار ایجاد کند (۴۲). انطباق با استانداردهای ملی یا بین‌المللی شرطی ضروری، اما ناکافی برای انتخاب PPE است. انتخاب مناسب باید علاوه بر استانداردها، عواملی مانند آموزش، نگهداری، سهولت استفاده، شرایط کاری و محیطی را نیز در نظر بگیرد. بنابراین، انتخاب PPE یک تصمیم چندمعیاره است که نیازمند ایجاد تعادل میان حفاظت، راحتی، سازگاری، دوام و قابلیت استفاده بوده و MCDM چارچوبی مناسب برای ارزیابی هم‌زمان و نظام‌مند این معیارها فراهم می‌کند (۴۳، ۴۴). جدول ۲، مهم‌ترین معیارهای مورد استفاده در مطالعات تصمیم‌گیری چندمعیاره برای ارزیابی تجهیزات حفاظت فردی را نشان می‌دهد.

دشواری در تفسیر شود. از منظر علمی، لازم است هر جزء از مدل دارای نقش مشخص و تعریف‌شده باشد و کل چارچوب نیز به اندازه کافی شفاف باقی بماند تا در عمل قابلیت استفاده داشته باشد.

معیارهای انتخاب PPE

فرآیند انتخاب PPE مستلزم یک ارزیابی ساختاریافته از مخاطرات شغلی است؛ چرا که پارامترهایی نظیر نوع، شدت، فراوانی و مدت زمان مواجهه، تعیین‌کننده حداقل سطح حفاظت مورد نیاز و الزامات عملکردی تجهیز هستند. از این منظر، شناسایی دقیق مخاطرات (شامل عوامل شیمیایی، بیولوژیکی، فیزیکی، مکانیکی، حرارتی یا پرتویی)، زیربنای تصمیم‌گیری‌های بعدی محسوب می‌شود. در نهایت، عملکرد حفاظتی به عنوان حیاتی‌ترین معیار، باید با قابلیت مقابله مستقیم تجهیز با ماهیت مخاطره هم‌راستا باشد (۳۷، ۳۸). تناسب^۹ و ارگونومی از معیارهای کلیدی در انتخاب PPE هستند؛ زیرا حتی تجهیزات فنی مؤثر نیز اگر ناراحت، محدودکننده حرکت یا مزاحم انجام کار باشند، کارایی خود را از دست می‌دهند. عواملی مانند اندازه، تناسب، سازگاری و وزن، استفاده صحیح و پذیرش PPE را افزایش داده و باید به گونه‌ای باشند که حرکات طبیعی کارگر را تسهیل کرده و از خستگی و اختلال در عملکرد جلوگیری کنند (۳۹). سازگاری تجهیزات حفاظت فردی زمانی اهمیت ویژه‌ای دارد که چندین تجهیز به طور هم‌زمان استفاده شوند. تداخل میان تجهیزاتی مانند کلاه ایمنی، عینک، ماسک، گوشی، دستکش و لباس حفاظتی می‌تواند اثربخشی سیستم حفاظتی را کاهش دهد، به‌ویژه در محیط‌های پرخطر. بنابراین، ارزیابی یکپارچه مجموعه تجهیزات، رویکردی علمی‌تر و مؤثرتر از بررسی

جدول ۲. معیارهای اصلی مورد استفاده برای ارزیابی تجهیزات حفاظت فردی در مطالعات تصمیم‌گیری چندمعیاره

معیار	اهمیت آن	شاخص‌های نمونه	ارتباط با بهداشت حرفه‌ای
عملکرد حفاظتی	میزان اثربخشی تجهیزات حفاظت فردی در کاهش یا کنترل مواجهه با خطرات را تعیین می‌کند.	راندمان فیلتراسیون، مقاومت در برابر ضربه، سطح حفاظت شیمیایی	معیار اصلی محسوب می‌شود، زیرا تجهیزات حفاظت فردی باید توانایی کافی برای کنترل مخاطرات شغلی را فراهم کنند.

^۹ Fit

معیار	اهمیت آن	شاخص‌های نمونه	ارتباط با بهداشت حرفه‌ای
راحتی	بر مدت زمان استفاده و میزان تحمل کاربران هنگام استفاده از تجهیزات تأثیر می‌گذارد.	وزن، قابلیت تنفس‌پذیری، بار حرارتی، نقاط فشار	راحتی نامناسب اغلب موجب کاهش پایداری کاربران به استفاده صحیح و مداوم از تجهیزات می‌شود.
تناسب و ارگونومی	بر عملکرد تجهیزات، تحرک کاربر و اجرای صحیح وظایف شغلی اثرگذار است.	قابلیت تطبیق اندازه، کیفیت آب‌بندی، دامنه حرکت، مهارت دستی	برای تضمین حفاظت مؤثر بدون ایجاد اختلال در عملکرد کاری ضروری است.
سازگاری	اطمینان می‌دهد که تجهیزات حفاظت فردی می‌توانند بدون ایجاد تداخل با یکدیگر به طور هم‌زمان مورد استفاده قرار گیرند.	تعامل با کلاه ایمنی، ماسک‌های تنفسی، عینک ایمنی، وسایل حفاظت شنوایی	در محیط‌های کاری چندمخاطره‌ای که نیاز به استفاده هم‌زمان از چند نوع PPE دارند، اهمیت حیاتی دارد.
هزینه	امکان‌پذیری تأمین و پایداری اقتصادی تجهیزات را تعیین می‌کند.	قیمت خرید، هزینه جایگزینی، هزینه نگهداری	برای سازمان‌هایی با محدودیت بودجه و پروژه‌های تأمین در مقیاس بزرگ اهمیت ویژه‌ای دارد.
دوام	طول عمر مفید و ارزش چرخه عمر تجهیزات را مشخص می‌کند.	مقاومت در برابر سایش، پارگی، تخریب، تعداد دفعات قابل شست‌وشو	موجب کاهش دفعات جایگزینی تجهیزات و افزایش مقرون‌به‌صرفه بودن آن‌ها می‌شود.
پذیرش کاربر	تمایل کاربران به استفاده صحیح و مستمر از تجهیزات را پیش‌بینی می‌کند.	ترجیحات کارکنان، ادراک از مفید بودن، میزان رضایت کاربران	ارتباط مستقیم با میزان پایداری به استفاده از PPE و اثربخشی واقعی آن در محیط کار دارد.
سهولت استفاده	بر میزان پذیرش، نیازهای آموزشی و احتمال بروز خطا در استفاده اثر می‌گذارد.	زمان پوشیدن و درآوردن تجهیزات، سادگی تنظیم، میزان نیاز به نگهداری	برای استفاده روزمره و همچنین در شرایط اضطراری اهمیت زیادی دارد.
اثرات زیست‌محیطی	بیانگر ملاحظات مربوط به پایداری محیط‌زیستی و مدیریت پسماند است.	قابلیت استفاده مجدد، قابلیت بازیافت، بار دفع و پسماند	در سیاست‌های نوین بهداشت حرفه‌ای و فرآیندهای تأمین تجهیزات به طور فزاینده‌ای مورد توجه قرار گرفته است.

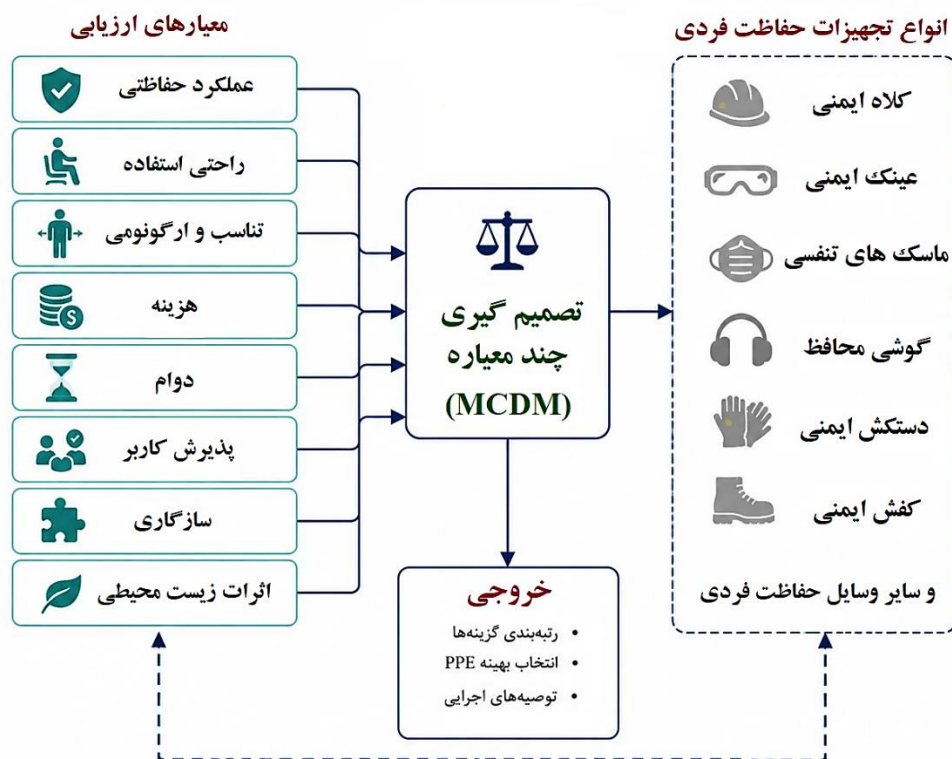
انتخاب روش تصمیم‌گیری چندمعیاره

انتخاب روش MCDM باید بر اساس ماهیت مسئله و ویژگی‌های داده‌ها صورت گیرد، نه بر اساس ترجیحات روش‌شناختی. در حالی که روش‌های ساختاریافته‌ای مانند AHP برای مسائل با معیارهای محدود و قضاوت خبره مناسب هستند، روش‌های رتبه‌بندی نظیر تاپسیس برای اولویت‌بندی مستقیم گزینه‌های PPE کارآمدتر هستند. همچنین، با توجه به ماهیت کیفی برخی معیارها (مانند راحتی) و وجود عدم قطعیت، استفاده از مدل‌های فازی جهت یکپارچه‌سازی معیارهای کمی و کیفی ضرورت می‌یابد (۴۵، ۴۶). تعداد گزینه‌های PPE در انتخاب روش MCDM مؤثر است؛ به‌گونه‌ای که برای گزینه‌های محدود، روش‌های مقایسه زوجی

و برای گزینه‌های بیشتر، روش‌های رتبه‌بندی مناسب‌تر هستند. با افزایش معیارها و گزینه‌ها، روش انتخابی باید ضمن کاهش پیچیدگی، از تحمیل بار تحلیلی غیرضروری جلوگیری کند. همچنین، شفافیت و قابلیت بازتولید نتایج برای اعتبار تصمیم‌گیری، به‌ویژه در بهداشت حرفه‌ای، ضروری است. در نهایت، به‌کارگیری رویکردهای مشارکتی و ترکیبی با حضور کاربران، متخصصان ایمنی و کارشناسان فنی، اعتبار ارزیابی و استفاده صحیح از PPE را تقویت کرده و MCDM را به فرآیندی ساختاریافته در مدیریت ایمنی و بهداشت حرفه‌ای تبدیل می‌کند (۴۷-۴۹). همان‌گونه که در شکل ۱ نشان داده شده است، انتخاب PPE به کمک MCDM در یک فرآیند ساختاریافته انجام می‌شود که در آن مجموعه‌ای از معیارهای

ارزیابی قرار می گیرند.

فنی، ارگونومیک و رفتاری به صورت هم زمان و نظام مند مورد



شکل ۱. چارچوب فرآیند انتخاب PPE مبتنی بر رویکرد MCDM

تجربی و ارزیابی های مبتنی بر ریسک در این پژوهش ها، نشان دهنده گذار MCDM از یک چارچوب نظری به ابزاری عملی، انعطاف پذیر و کارآمد در مدیریت ایمنی و بهداشت حرفه ای است (جدول ۳).

مطالعات کاربردی اخیر با به کارگیری MCDM در انتخاب طیف متنوعی از تجهیزات حفاظت فردی (مانند محافظ های تنفسی و ایمنی سر)، کارایی این روش ها را در محیط های شغلی اثبات کرده اند. ترکیب قضاوت خبرگان، داده های

جدول ۳. خلاصه مطالعات به کارگیرنده روش های تصمیم گیری چندمعیاره در انتخاب تجهیزات حفاظت فردی

منبع	دستاوردهای اصلی	معیارهای اصلی	نوع داده	روش (های) مورد استفاده	تمرکز PPE	مطالعه
(۵۰)	ایجاد تعادل میان عملکرد فنی حفاظتی و ویژگی های کاربرمحور	سطح حفاظت، مقاومت تنفسی، راحتی، قابلیت استفاده	داده های مقایسه و ارزیابی محصولات	رویکرد تصمیم گیری چندمعیاره	ماسک های تنفسی	Optimal selection of respiratory mask for protection against volatile organic compounds
(۵۱)	ادغام اصول طراحی همگانی در فرآیند انتخاب تجهیزات ایمنی	ایمنی، قابلیت استفاده، طراحی همگانی، تناسب ارگونومیک	قضاوت خبرگان و مقایسه های ساختاریافته	AHP، PROMETHEE، فازی	تجهیزات ایمنی شغلی با ارتباط مستقیم با انتخاب PPE	Selecting Occupational Safety Equipment by MCDM Approach Considering Universal Design Principles
(۵۲)		ایمنی، راحتی، ملاحظات اقتصادی	امتیازدهی و مقایسه ای و	AHP	انتخاب تجهیزات حفاظت فردی با	Selection of Personal Protective Equipment – a complex issue of multi-criteria analysis

منبع	دست‌آورد اصلی	معیارهای اصلی	نوع داده	روش(های) مورد استفاده	تمرکز PPE	مطالعه
	نشان داد که انتخاب PPE یک مسئله واقعی تصمیم‌گیری چندمعیاره است		ارزیابی مبتنی بر نظر خبرگان		مثال متمرکز بر کلاه ایمنی	
(۳۶)	ارائه چارچوب مرحله‌ای برای اولویت‌بندی برنامه‌های PPE در شرایط عدم قطعیت	معیارها و زیرمعیارهای متعدد	چارچوب برنامه‌ریزی مبتنی بر نظر خبرگان	منطق فازی	برنامه‌های استفاده از PPE در صنعت ساخت‌وساز	Prioritization of Personal Protective Equipment Plans for Construction Safety
(۵۳)	ارائه منطق شفاف و قابل تکرار برای انتخاب PPE	ریسک مواجهه، تناسب، فرآیند پوشیدن و درآوردن، عملی بودن	ارزیابی ریسک و ارزیابی قابلیت استفاده	راهبرد ساختاریافته مبتنی بر ریسک	مجموعه‌های PPE برای حفاظت در برابر بیماری‌های عفونی	A systematic risk-based strategy to select personal protective equipment
(۵۴)	رتبه‌بندی گزینه‌های PPE با استفاده از یک ساختار سلسله‌مراتبی معیارها	ویژگی‌های ایمنی، راحتی، کارایی، طراحی	امتیازدهی خبرگان و ارزیابی مقایسه‌ای	AHP	انتخاب تجهیزات حفاظت فردی	Selection of an appropriate personal protective equipment using AHP
(۵۵)	گسترش مسئله PPE از انتخاب به حوزه توزیع و تخصیص	دسترس‌پذیری، تقاضا، کارایی، تخصیص	داده‌های برنامه‌ریزی عملیاتی	مدل پشتیبان تصمیم برای توزیع	توزیع و تخصیص PPE	Distribution Model of Personal Protective Equipment (PPE)
(۲۰)	رتبه‌بندی ۴۰ کلاه ایمنی موجود در بازار و نشان دادن کارایی روش TOPSIS	امتیاز کاربران، تعداد نظرات، تعداد افزودن به علاقه‌مندی‌ها، قیمت، نسبت قیمت به امتیاز کاربر، نسبت تعداد نظرات به امتیاز کاربر	داده‌های ثانویه از پلتفرم‌های فروش آنلاین	TOPSIS	انتخاب کلاه ایمنی	TOPSIS Method Application for Personal Protective Equipment Selection
(۱۲)	شناسایی و انتخاب مؤثر بهترین طرح حفاظت در برابر سقوط، کاهش ریسک سقوط، افزایش بهره‌وری نیروی کار و کاهش هزینه‌ها، همچنین رفع ابهام و عدم قطعیت در وزن‌دهی معیارها	ایمنی، بهره‌وری، و هزینه اقتصادی	داده‌های تصمیم‌گیری فازی و چندمعیاره	مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی شامل AHP، نظریه مجموعه‌های فازی، و TOPSIS	سیستم‌های حفاظت در برابر سقوط در صنعت ساخت‌وساز	Optimal Fall Protection System Selection Using a Fuzzy Multi-Criteria Decision-Making Approach for Construction Sites

بحث

روش‌های MCDM با فراهم کردن یک چارچوب علمی، انتخاب تجهیزات حفاظت فردی را از تصمیم‌گیری‌های سنتی و مبتنی بر حدس به فرآیندی منسجم، مستند و مبتنی بر شواهد تبدیل می‌کنند. این روش در شرایطی مانند اطلاعات ناقص، تعارض اولویت‌ها و محدودیت بودجه، کارایی بالایی دارد. همچنین، MCDM علاوه بر معیارهای فنی، عوامل انسانی مانند راحتی، تناسب و سهولت استفاده را نیز در نظر

می‌گیرد تا تجهیزات از پذیرش و اثربخشی بیشتری برخوردار باشند. از سوی دیگر، این رویکرد با ارزیابی هزینه‌های پنهان مانند کاهش بهره‌وری، تعویض مکرر و عدم تبعیت، از تصمیم‌گیری صرفاً بر اساس کمترین قیمت خرید جلوگیری می‌کند. این رویکرد باعث می‌شود انتخاب‌ها با هدف اثربخشی و پایداری در بلندمدت انجام شوند، نه صرفاً کاهش هزینه‌های اولیه. یکی از مزایای کلیدی MCDM، فراهم کردن بستری ساختاریافته برای ورود دانش تجربی کارکنان به فرآیند

سامانه‌های ایمنی متصل و پایش بلادرنگ مواجهه می‌توانند داده‌های عینی و قابل اندازه‌گیری فراهم کنند که ارزیابی تجهیزات حفاظت فردی را غنی‌تر می‌سازد. ترکیب این منابع داده با روش‌های MCDM می‌تواند به تصمیم‌گیرندگان امکان دهد نه تنها تناسب نظری تجهیزات، بلکه عملکرد واقعی آن‌ها در شرایط استفاده عملی را نیز ارزیابی کنند. هوش مصنوعی و یادگیری ماشین نیز احتمالاً نقش فزاینده‌ای در مدل‌های آینده تصمیم‌گیری برای PPE ایفا خواهند کرد. این روش‌ها می‌توانند در وزن‌دهی معیارها، شناسایی الگوها و مدل‌سازی پیش‌بینی‌کننده، به‌ویژه در شرایطی که مجموعه‌های داده بزرگ در دسترس باشند، مفید واقع شوند. در حوزه بهداشت حرفه‌ای، استفاده از MCDM مبتنی بر هوش مصنوعی می‌تواند به شناسایی گزینه‌های PPE کمک کند که بیشترین احتمال را برای تحقق هم‌زمان حفاظت مؤثر و تبعیت کاربران در شرایط کاری خاص دارند. جهت‌گیری امیدوارکننده دیگر، گسترش مدل‌های تصمیم‌گیری مشارکتی است. چارچوب‌های آینده انتخاب PPE باید به‌صورت نظام‌مندتر مشارکت کارگران، سرپرستان، متخصصان بهداشت حرفه‌ای و کارشناسان تدارکات را در فرآیند تصمیم‌گیری در نظر بگیرند. اهمیت این موضوع از آنجا ناشی می‌شود که پذیرش و قابلیت استفاده از تجهیزات حفاظت فردی تا حد زیادی تحت تأثیر تجربه کاربران نهایی قرار دارد و تصمیماتی که بدون مشارکت کارکنان اتخاذ می‌شوند ممکن است در عمل با شکست مواجه شوند. همچنین انتظار می‌رود پژوهش‌های آینده بر مدیریت پیشرفته‌تر عدم قطعیت تمرکز کنند. استفاده از منطق فازی، روش‌های بازه‌ای و سایر رویکردهای حساس به عدم قطعیت می‌تواند واقع‌گرایی ارزیابی‌های مربوط به PPE را در شرایطی که شواهد ناقص یا متناقض هستند افزایش دهد. این مسئله به‌ویژه در محیط‌های به‌سرعت در حال تغییر مانند کنترل بیماری‌های عفونی نوظهور، پاسخ به حوادث شیمیایی و عملیات صنعتی پرخطر

تصمیم‌گیری است. کارکنان قادر به شناسایی چالش‌های عملیاتی (مانند تنش حرارتی، محدودیت دید یا تداخل عملکردی) هستند که در مشخصات فنی تجهیزات دیده نمی‌شود. این روش با ترکیب نظرات کاربران و قضاوت‌های تخصصی، مدلی متعادل از انتخاب ایجاد می‌کند که بدون آسیب به استانداردهای ایمنی، قابلیت اجرایی تجهیز را تضمین می‌نماید. استفاده از MCDM، فرآیند انتخاب را از حالت تصمیمات انفرادی به یک فرآیند مستند و سیستماتیک تبدیل می‌کند. این مستندسازی، توانایی سازمان را در توجیه منطقی معیارها و انتخاب‌های خود در برابر نهادهای نظارتی، کمیته‌های ایمنی و مدیریت افزایش می‌دهد. در نتیجه، در صورت بروز حوادث یا بازرسی‌های مقرراتی، سازمان می‌تواند با ارائه شواهد مبتنی بر مدل‌های تصمیم‌گیری، پاسخگویی خود را اثبات کند. از منظر علمی، ارزش اصلی MCDM در توانایی آن برای صورت‌بندی رسمی و تحلیل تعارضات میان معیارهاست. در انتخاب PPE، اغلب تعارضاتی میان سطح حفاظت در مقابل راحتی یا هزینه در مقابل دوام وجود دارد. برخلاف رویکردهای سنتی که این تعارض‌ها را به‌صورت غیررسمی مدیریت می‌کنند، MCDM آن‌ها را آشکار و قابل تحلیل می‌سازد. آینده کاربرد MCDM در انتخاب تجهیزات حفاظت فردی احتمالاً تحت تأثیر سه تحول اصلی شکل خواهد گرفت: ادغام بیشتر روش‌شناختی، دسترسی گسترده‌تر به داده‌های معتبر، و پیوند قوی‌تر با سامانه‌های دیجیتال بهداشت حرفه‌ای. با پیچیده‌تر شدن محیط‌های کاری و افزایش اتکای تصمیمات ایمنی به داده‌ها، MCDM می‌تواند از یک ابزار ارزیابی ایستا به یک چارچوب پویای پشتیبان تصمیم‌گیری تکامل یابد. این تحول به‌ویژه در حوزه تجهیزات حفاظت فردی اهمیت دارد، زیرا رفتار کارکنان، شرایط مواجهه و عملکرد واقعی تجهیزات ممکن است در طول زمان تغییر کنند. یکی از جهت‌گیری‌های مهم آینده، ادغام MCDM با فناوری‌های دیجیتال است. حسگرهای پوشیدنی،

اهمیت ویژه‌ای دارد. در نهایت، نیاز به مطالعات اعتبارسنجی قوی‌تر وجود دارد زیرا بیشتر پژوهش‌های MCDM تنها بر امکان‌پذیری روش تمرکز کرده‌اند. پژوهش‌های آینده باید بررسی کنند که آیا انتخاب PPE بر پایه MCDM در عمل باعث افزایش تبعیت از استفاده، کاهش مواجهه با مخاطرات و بهبود پیامدهای سلامت می‌شود و همچنین اثربخشی اجرایی، پذیرش کاربران و نتایج بلندمدت شغلی را ارزیابی کنند.

نتیجه‌گیری

روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره ابزاری مؤثر برای انتخاب تجهیزات حفاظت فردی در بهداشت حرفه‌ای هستند، زیرا امکان ارزیابی هم‌زمان معیارهایی مانند سطح حفاظت، راحتی، قابلیت استفاده، هزینه، سازگاری، دوام و پذیرش کارکنان را فراهم می‌کنند. مزیت اصلی این روش‌ها تنها رتبه‌بندی گزینه‌ها نیست، بلکه شفاف‌سازی و توجیه مبادله میان معیارهای مختلف است. از این رو، تجهیزاتی که از نظر فنی مناسب باشد اما به دلیل ناراحتی یا عدم پذیرش کارکنان به درستی استفاده نشود، در عمل اثربخشی حفاظتی خود را از دست می‌دهد. MCDM با فراهم کردن امکان ارزیابی متعادل گزینه‌ها و ترکیب قضاوت خبرگان با تجربه کاربران به حل این مسئله کمک می‌کند. روش‌های مختلف MCDM هر یک اهداف عملی متفاوتی را دنبال می‌کنند. AHP برای ساختاربخشی به قضاوت خبرگان و تعیین وزن معیارها مناسب است، تاپسیس برای رتبه‌بندی گزینه‌های جایگزین کارآمد است، روش‌های فازی در شرایط عدم قطعیت بالا کاربرد دارند، و مدل‌های ترکیبی به‌ویژه در محیط‌های شغلی پیچیده ارزشمند هستند. بنابراین انتخاب روش مناسب باید بر اساس زمینه تصمیم‌گیری، کیفیت داده‌های در دسترس و ظرفیت تحلیلی سازمان انجام شود. با این حال، MCDM نباید به‌عنوان یک راه‌حل مستقل در نظر گرفته شود. نتایج این روش تنها زمانی معنا پیدا می‌کنند که در چارچوب یک فرآیند جامع بهداشت حرفه‌ای قرار گیرند؛ فرآیندی که شامل

ارزیابی مخاطرات، مشارکت کارکنان، برنامه‌ریزی برای اجرا و ارزیابی پس از انتخاب تجهیزات باشد. بدون این عناصر، حتی یک رتبه‌بندی دقیق از نظر ریاضی نیز ممکن است نتواند در عمل به حفاظت مؤثر منجر شود. به‌طور کلی، MCDM با افزایش شفافیت، نظام‌مندی و انطباق تصمیمات با شرایط واقعی محیط کار فرآیند انتخاب تجهیزات حفاظت فردی را تقویت می‌کند. برای متخصصان بهداشت حرفه‌ای، این رویکرد یک چارچوب تصمیم‌گیری مبتنی بر شواهد فراهم می‌آورد که نه تنها کیفیت تصمیمات را بهبود می‌بخشد، بلکه احتمال پذیرش و استفاده صحیح از تجهیزات انتخاب‌شده را نیز افزایش می‌دهد. از این منظر، MCDM صرفاً یک ابزار تحلیلی نیست، بلکه چارچوبی عملی برای ارتقای سطح حفاظت از کارکنان در محیط‌های کاری محسوب می‌شود.

ملاحظات اخلاقی

در تمامی مراحل این مطالعه، از گردآوری داده‌ها تا تحلیل و ثبت نتایج، ملاحظات و اصول اخلاقی به طور کامل رعایت شده است.

کد اخلاق

IR.BMSU.BAQ.REC.1402.120

تضاد منافع

در این مطالعه هیچگونه تعارض منافی برای نویسندگان وجود نداشت.

حمایت مالی

این مطالعه از حمایت مالی سازمان یا نهاد خاصی برخوردار نبوده است.

سهم نویسندگان

وحید جلیلی: طراحی و نگارش مطالعه

میلاد درخشان: گردآوری داده‌ها

نویسندگان نسخه نهایی را مطالعه و تایید کردند.

References

1. Ludy S, Eyre AJ. 49 - Personal Protective Equipment. In: Ciottone G, editor. Ciottone's Disaster Medicine (Third Edition). New Delhi: Elsevier; 2024. p. 323-9.
2. Bartkowiak G, Baszczyński K, Bogdan A, Brochocka A, Dąbrowska A, Hrynyk R, et al. USE OF PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT. HANDBOOK OF HUMAN FACTORS AND ERGONOMICS 2021. p. 668-84.
3. Nill RJ. HOW TO SELECT AND USE PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT. Handbook of Occupational Safety and Health 2019. p. 469-94.
4. Seçkiner SU, Ünal H. Comparing the alternatives for the most favourable personal protective equipment. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics. 2021;27(3):921-7.
5. Önder M, Kurşunoğlu N, Önder S. SELECTION OF AN APPROPRIATE PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT USING THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi. 2022;30(1):141-51.
6. Ceballos B, Lamata MT, Pelta DA. A comparative analysis of multi-criteria decision-making methods. Progress in Artificial Intelligence. 2.22-315:(4)5,016
7. Keshavarz-Ghorabae M, Amiri M, Zavadskas EK, Turskis Z, Antucheviciene J. Determination of objective weights using a new method based on the removal effects of criteria (MEREC). Symmetry. 2021;13(4):525.
8. Gul M. A review of occupational health and safety risk assessment approaches based on multi-criteria decision-making methods and their fuzzy versions. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal. 2018;24(7):1723-60.
9. Gul M, Ak MF, Guneri AF. Occupational health and safety risk assessment in hospitals: A case study using two-stage fuzzy multi-criteria approach. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal. 2017;23(2):187-202.
10. Li J, Dai Y, Jiang R, Li J. Objective multi-criteria decision-making for optimal firefighter protective clothing size selection. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics. 2024;30(3):968-76.
11. Hodgett RE. Comparison of multi-criteria decision-making methods for equipment selection. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2016;85(5):1145-57.
12. Jin H, Goodrum PM. Optimal Fall Protection System Selection Using a Fuzzy Multi-Criteria Decision-Making Approach for Construction Sites. Applied Sciences. 2021;11(11):5296.
13. Riascos CEM, Ensslin SR, Merino EAD. Development of performance indicators for Occupational Health and Safety: a constructivist multicriteria approach for PPE. Production. 2021;31:e20200106.
14. Crosby L, Crosby E. Applying the precautionary principle to personal protective equipment (PPE) guidance during the COVID-19 pandemic: did we learn the lessons of SARS? Can J Anaesth. 2020;67(10):1327-32.
15. Mousavi SM, Naeini MJ. Application of the Analytical Hierarchy Process (AHP) in Occupational Health and Safety .The Art of Decision Making-Appling AHP in Practice: Applying AHP in Practice. 2025:147.
16. Ferrari GN, Leal GCL, Galdamez EVC, Souza RCTd. Prioritization of occupational health and safety indicators using the Fuzzy-AHP method. Production. 2020;30:e20200.
17. Chourabi Z, Khedher F, Babay A, Cheikhrouhou M. Multi-criteria decision making in workforce choice using AHP, WSM and WPM. The Journal of The Textile Institute. 2019;110(7):1092-101.
18. Salehzadeh R, Ziaeeian M. Decision making in human resource management: a systematic review of the applications of analytic hierarchy process. Frontiers in Psychology. 2024;Volume 15 - 2024.
19. Lee S. Determination of Priority Weights under Multiattribute Decision-Making Situations: AHP versus Fuzzy AHP. Journal of Construction Engineering and Management. 2015;141(2):05014015.
20. Koçali K. TOPSIS Method Application for Personal Protective Equipment Selection. Social Sciences Studies Journal. 2023;9 (115).

21. Tabor J. Fuzzy TOPSIS in occupational risk management assessment. *Scientific Papers of Silesian University of Technology*. 2024;207:591-601.
22. Madanchian M, Taherdoost H. A comprehensive guide to the TOPSIS method for multi-criteria decision making. Madanchian M, Taherdoost H A comprehensive guide to the TOPSIS method for multi-criteria decision making Sustainable Social Development. 2023;1(1):2220.
23. Chaube S, Pant S, Kumar A, Uniyal S, Singh MK, Kotecha K, et al. An overview of multi-criteria decision analysis and the applications of AHP and TOPSIS methods. *International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences*. 2024;9(3):581.
24. Papathanasiou J, Ploskas N. TOPSIS. In: Papathanasiou J, Ploskas N, editors. *Multiple Criteria Decision Aid : Methods, Examples and Python Implementations*. Cham: Springer International Publishing; 2018. p. 1-30.
25. Clemente-Suárez VJ, Navarro-Jiménez E, Ruisoto P, Dalamitos AA, Beltran-Velasco AI, Hormeño-Holgado A, et al. Performance of Fuzzy Multi-Criteria Decision Analysis of Emergency System in COVID-19 Pandemic. An Extensive Narrative Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021;18(10):5208.
26. Rahmati A, Noorbehbahani F, editors. A new hybrid method based on fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS for employee performance evaluation. 2017 IEEE 4th International Conference on Knowledge-Based Engineering and Innovation (KBEI); 2017: IEEE.
27. Sun C-C. A performance evaluation model by integrating fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods. *Expert systems with applications*. 2010;37(12):745-754.
28. Valls A, Moreno A. Constructing an Outranking Relation from Semantic Criteria and Ordinal Criteria for the ELECTRE Method. In: Greco S, Mousseau V, Stefanowski J, Zopounidis C, editors. *Intelligent Decision Support Systems : Combining Operations Research and Artificial Intelligence - Essays in Honor of Roman Słowiński*. Cham: Springer International Publishing; 2022. p. 159-84.
29. Liu Z, Wang D, Zhao Y, Zhang X, Liu P. An Improved ELECTRE II-Based Outranking Method for MADM with Double Hierarchy Hesitant Fuzzy Linguistic Sets and Its Application to Emergency Logistics Provider Selection. *International Journal of Fuzzy Systems*. 2023;25(4):1495-517.
30. Taherdoost H, Madanchian M. Using PROMETHEE method for multi-criteria decision making: applications and procedures. *Iris Journal of Economics & Business Management*. 2023;1(1).
31. Behzadian M, Kazemzadeh RB, Albadvi A, Aghdasi M. PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. *European Journal of Operational Research*. 2010;200(1):198-215.
32. Leoneti AB. Considerations regarding the choice of ranking multiple criteria decision making methods. *Pesquisa Operacional*. 2016;36:259-77.
33. Kabak M, Aktas A, Park CS-Y, editors. A Hybrid Supplier Evaluation Model for Personal Protective Equipment Procurement to Healthcare Employees. *Proceedings of the Sixteenth International Conference on Management Science and Engineering Management – Volume 2*; 2022 2022//; Cham: Springer International Publishing.
34. Siva Bhaskar A, Khan A. Comparative analysis of hybrid MCDM methods in material selection for dental applications. *Expert Systems with Applications*. 2022;209:118268.
35. Zavadskas EK, Antucheviciene J, Turskis Z, Adeli H. Hybrid multiple-criteria decision-making methods: A review of applications in engineering. *Scientia Iranica*. 2016;23(1):1-20.
36. Jin H, Goodrum PM. Prioritization of Personal Protective Equipment Plans for Construction Projects Based on an Integrated Analytic Network Process and Fuzzy VIKOR Method. *Applied Sciences*. 2024;14(21):9904.
37. Equipment PP. Personal protective equipment. 2011.
38. Han D-H, Chung S-T, Kim J-i, Cho Y-S, Lee C-S. A study on selecting personal protective

equipment for listed hazardous chemicals (1): Analysis of hazard ranks and workplace exposure risks. 2016.

39. Borell J, Osvalder A-L, Aryana B. Evaluating the Correct Usage, Comfort and Fit of Personal Protective Equipment in Construction Work. *Applied Human Factors and Ergonomics International*. 2024;129:67-74.

40. Reddy SC, Valderrama AL, Kuhar DT. Improving the use of personal protective equipment: applying lessons learned. *Clinical Infectious Diseases*. 2019;69 (Supplement_3):S165-S70.

41. Noviarimi FSI, Prananya LH. Knowledge and attitudes workers toward compliance use personal protective equipment. *The Indonesian Journal of Occupational Safety and Health*. 2023;12(3):391-401.

42. Safi M, Sundquist H, Karoumi R. Cost-efficient procurement of bridge infrastructures by incorporating life-cycle cost analysis with bridge management systems. *Journal of Bridge Engineering*. 2015;20(6):04014083.

43. Wiengarten F, Humphreys P, Onofrei G, Fynes B. The adoption of multiple certification standards: perceived performance implications of quality, environmental and health & safety certifications. *Production Planning & Control*. 2017;28(2):131-41.

44. Mohammadfam I, Kamalinia M, Momeni M, Golmohammadi R, Hamidi Y, Soltanian A. Evaluation of the Quality of Occupational Health and Safety Management Systems Based on Key Performance Indicators in Certified Organizations. *Safety and Health at Work*. 2017;8(2):156-61.

45. Rezaei J. Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega*. 2015;53:49-57.

46. Hodosi G, Sule E, Bodis T, editors. Multi-criteria decision making: A comparative analysis. *Economic and Social Development (Book of Proceedings)*, 103rd International Scientific Conference on Economic and Social Development; 2023.

47. Pinzon Amorochio JA, Hartmann T. A multi-criteria decision-making framework for residential building renovation using pairwise comparison and TOPSIS methods. *Journal of Building Engineering*. 2022;53:104596.

48. Kumar A, Garg P, Pant S, Ram M, Kumar A. Multi-Criteria Decision-Making Techniques for Complex Decision Making Problems. *Mathematics in Engineering, Science & Aerospace (MESA)*. 2022;13 (2).

49. Chellappa V, Al-Bayati AJ, Luximon Y. Determining the Factors Influencing Noncompliance with PPE among Construction Workers: A Multiattribute Decision-Making Approach. *Journal of Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction*. 2026;18(1):04525085.

50. Jalili V, Farhang Dehghan S, Panahi D, Valipour F, Derakhshanjafari M. Optimal selection of respiratory mask for protection against volatile organic compounds with a multivariate decisionmaking approach. *Environmental Health Engineering And Management Journal*. 2024;11(4):459-67.

51. Yılmaz Kaya B, Dağdeviren M. Selecting Occupational Safety Equipment by MCDM Approach Considering Universal Design Principles. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*. 2016;26(2):224-42.

52. Haraga A-R, Cazac A-M, Lohan N-M, Corăbieru A, Toma S-L, editors. Selection of Personal Protective Equipment-a complex issue of multi-criteria analysis. *MATEC Web of Conferences*; 2021: EDP Sciences.

53. Jones RM, Bleasdale SC, Maita D, Brosseau LM, Program CPE. A systematic risk-based strategy to select personal protective equipment for infectious diseases. *American Journal of Infection Control*. 2020;48(1):46-51.

54. Kurşunoğlu N, Önder S, Önder M. Selection of an appropriate personal protective equipment using the analytic hierarchy process. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*. 202.51-141:(1) 30, 2.

55. Purwayoga V, Yuliyanti S, Nurkholis A, Gunawan H, Sokid S, Kartini N. Distribution Model of Personal Protective Equipment (PPE) Using the Spatial Dominance Test and Decision Tree Algorithm. *JOIV: International Journal on Informatics Visualization*. 2024;8(3):1445-52.