مقاله پژوهشی

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و پنجم، شماره دوازده، اسفند ماه ۱۴۰۲ (۳۳-۱۷)

ارائه یک مدل ترکیبی تصمیم‌گیری چندمعیاره و برنامه‌ریزی تخصیص جهت انتخاب شرکت‌های دفع زباله‌های بیمارستانی

محمد امین ثابتی کرجوندانی [۱]

قاسم عباسی [۲]

امید امیرطاهری [۳]

سهیلا خویشتن‌دار [*۴]

skhishtandar@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۴/۳ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۱**

چکیده

زمینه و هدف: در شرایطی که روزانه مقادیر زیادی زباله‌های بیمارستانی تولید و دفع می‌شود، ناکارآمدی در دفع بهداشتی زباله‌های بیمارستانی می‌تواند خطرات بالقوه زیست‌محیطی ایجاد نموده و هزینه‌های عملیاتی را افزایش دهد. با وجود این، بیمارستان‌ها اغلب برای ارزیابی و انتخاب مناسب ترین شرکت دفع زباله، معیارهای عینی را لحاظ نکرده و در عوض بر قضاوت ذهنی و تجربیات قبلی تکیه می‌کنند. در تحقیق حاضر یک چارچوب تصمیم‌گیری برای ارزیابی و انتخاب شرکتهای دفع زباله‌های بیمارستانی ارائه شده است. هدف از این مطالعه پیشنهاد یک مدل ترکیبی تصمیم‌گیری چندمعیاره با مدل برنامه‌ریزی خطی به منظور برون‌سپاری دفع یا بازیافت ایمن پسماندهای بیمارستانی می‌باشد.

روش بررسی: در این مطالعه چارچوبی ارائه می‌شود که توسط آن می‌توان در حالت برون‌سپاری منفرد و چندگانه برای دفع زباله‌های بیمارستانی تصمیم‌گیری نمود. ابتدا با مطالعه ادبیات موضوع، معیارهایی برای ارزیابی شرکتهای دفع زباله شناسایی می‌شوند. با استفاده از روش دیمتل، روابط علت و معلولی بین معیارها، مورد بررسی قرار گرفته، تأثیرگذارترین معیارها انتخاب و الگوی روابط علّی آنها در قالب یک شبکه شناسایی می‌شود. برای ارزیابی و انتخاب بهترین شرکت دفع زباله یعنی برون‌سپاری منفرد، از روش فرآیند تحلیل شبکه استفاده می‌شود. همچنین به منظور به حداقل رساندن خطر برون‌سپاری منفرد، یک مدل برنامه‌ریزی خطی برای برون‌سپاری چندگانه ارائه شده

۱- کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران.

۲- استادیار، گروه ریاضی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران.

۳- دکتری مدیریت تولید و عملیات، دانشگاه شهیدبهشتی، تهران، ایران.

۴- استادیار، گروه مدیریت صنعتی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران. *(مسوول مکاتبات)

است. مدل ریاضی با هدف حداکثر نمودن مقدار زباله دفع شده توسط شرکتها، تخصیص بهینه زباله به شرکتهای دفع پسماند را تعیین می‌نماید.

یافته ها: چارچوب ارائه شده برای ارزیابی و انتخاب شرکتهای دفع زباله‌های بیمارستانی در زمستان سال ۱۴۰۱ در تهران پیاده سازی شد. با مطالعه ادبیات موضوع ۱۰ معیار شناسایی شدند. ۶ معیار از اثرگذارترین معیارها بر مبنای روش دیمتل انتخاب شدند و شبکه روابط علّی نگاشته شد. با استفاده از روش فرایند تحلیل شبکه معیارهای ارزیابی شرکتها و شرکتهای کاندید دفع زباله وزن‌دهی شدند. معیارهای ارزیابی به ترتیب اهمیت عبارتند از نیروی انسانی شایسته، ظرفیت بازیافت و دفع، تجربه، هزینه، زیرساختهای جمع‌آوری و حمل و فناوری دفع و بازیافت زباله. همچنین حل مدل برنامه ریزی خطی با استفاده از نرم افزار لینگو تخصیص بهینه زباله به شرکتهای کاندید را مشخص نمود.

بحث و نتیجه گیری: مدیران بیمارستان‌ها و مسئولان شهری کنترل آلودگی، به طور همزمان از قابلیت مدل تصمیم‌گیری پیشنهادی این مقاله برای برون‌سپاری دفع بهداشتی زباله بهره‌مند خواهند شد. نتایج حاصل از به‌کارگیری چارچوب پیشنهادی نشان داد که تصمیم‌گیری مطابق این چارچوب نه تنها به نفع بیمارستان‌ها در انتخاب یک شرکت مناسب است، بلکه می‌تواند تضاد منافع و اختلاف بین بیمارستان‌ها، شرکتهای دفع بهداشتی زباله‌های بیمارستانی و مسئولان شهری کنترل آلودگی را به حداقل برساند.

واژه‌های کلیدی: مدیریت پسماند، دفع زباله‌های بیمارستانی، برون‌سپاری منفرد و چندگانه.

J. Env. Sci. Tech., Vol 24, No.12, March, 2023

A Hybrid Multi-criteria Decision-making and Allocation Model for Selection of Hospital Waste Disposal Firms

Mohammad Amin Sabeti Karajvandani [1]
Ghasem Abbasi [2]
Omid Amirtaheri [3]
Soheila Khishtandar [4 *]
skhishtandar@gmail.com

Admission Date: August 23, 2023 Date Received: June 24, 2023

Abstract

Background and Objective: In a context where substantial volumes of hospital waste are generated and disposed of daily, the ineffective sanitary disposal of such waste can lead to environmental risks and higher operational expenses. However, hospitals frequently overlook objective criteria when evaluating and selecting waste disposal firms, relying instead on subjective judgment and past experiences. This research proposes a decision-making framework that presents a hybrid model combining multi-criteria decision-making and linear programming. The primary objective of this study is to propose a safe and efficient method for outsourcing disposing of or recycling hospital waste.

Material and Methodology: This study presents a framework for decision-making in hospital waste disposal, addressing both single and multiple outsourcing scenarios. Firstly, the literature is reviewed to identify the criteria for evaluating waste disposal firms. The DEMATEL method is employed to explore the cause-and-effect relationships among these criteria, selecting the most significant ones and visualizing their causal relationships in a network format. The analytic network process (ANP) method is then utilized to evaluate and choose the most suitable waste disposal firm in a single outsourcing scenario. Additionally, to mitigate the risks associated with single outsourcing, a linear programming model is introduced for multiple outsourcing. This mathematical model determines the optimal allocation of waste quantities to various waste disposal firms, aiming to maximize the overall amount of waste disposed of by these firms.

Fidings: The framework introduced in this study was put into practice to assess and choose hospital waste disposal firms in Tehran. Through a comprehensive literature review, 10 evaluation criteria were identified. Among these, the six most influential criteria were selected using the DEMATEL method, and their causal relationships were depicted in a network. The ANP was employed to assign weights to the evaluation criteria and the candidate firms. The evaluation criteria, in descending order of importance, include qualified human resources, recycling and disposal capacity, experience, cost, collection and transportation infrastructure, and waste disposal and recycling technology. Furthermore,

1- Department of Industrial Management, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran.
2- Department of Mathematics, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran.
3- Department of Industrial Management, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
4-Department of Industrial Management, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran. *(*Corresponding Author*)

a linear programming model was solved using Lingo software to optimize the allocation of waste among the candidate firms.

Discussion & Conclusion: The decision-making model presented in this article offers advantages to both hospital officials and urban pollution control officials in the context of outsourcing sanitary waste disposal. The outcomes obtained from implementing the proposed framework demonstrate that decision-making based on this model not only benefits hospitals in selecting a suitable firm but also helps to mitigate conflicts of interest and disagreements between hospitals, sanitary waste disposal firms, and urban pollution control officials.

Keyword: Waste Management, Hospital Waste Disposal, Single and Multiple Outsourcing.

مقدمه

زباله‌های بیمارستانی در دسته پسماندهای خطرناک قرار می‌گیرند و می‌توانند شامل مواد تیز و برنده، مواد حاوی خون و ترشحات آلوده و عفونی بیماران، داروهای تاریخ گذشته و موادی که سمیت سلولی دارند، تجهیزات مستعمل پزشکی و زباله‌های حاوی مواد رادیواکتیو باشند (۱). پسماندهای بیمارستانی به فرآیندهای مدیریتی ویژه‌ای از جمله جمع‌آوری، ذخیره‌سازی، جداسازی و دفع نیاز دارند. مدیریت این زباله‌ها می‌تواند نقش مهمی در کنترل آلودگی‌های زیست محیطی و کاهش میزان بروز عفونت‌های بیمار ستانی ایفا کند. در صورتی که این زباله‌ها به درستی مدیریت نشده و از محیط زندگی انسانها زدوده نشوند می‌توانند تهدید جدی برای سلامت افراد و جامعه ایجاد کرده و احتمال بروز و شیوع بیماری‌ها و همه‌گیری‌های منطقه‌ای و شهری را افزایش دهند (۲).

رشد جمعیت شهری در تهران و افزایش مراقبتهای بهداشتی، موجب افزایش تولید زباله‌های بیمارستانی در تهران و به تبع آن لزوم مدیریت این زباله‌ها در سالهای اخیر شده است. روزانه ۹۱ تن زباله پزشکی در استان تهران تولید می‌شود و سرانه هر تخت حدود ۳/۵ کیلوگرم است که رقم آن بالاتر از استانداردهای سازمان بهداشت جهانی است. آمار و گزارش‌ها حاکی از این است که در کمتر از نیمی از بیمارستانهای تهران تفکیک زباله‌ها به صورت اصولی و مطابق ضوابط صورت می‌گیرد. هرچند معمولاً پسماندهای عفونی و نیز پسماندهای تیز و برنده در محل بیمارستان و با استفاده از دستگاههای تصفیه و بی‌خطرسازی مانند اتووکلاو، هیدروکلاو و گندزدایی با روش شیمیایی بی‌خطر می‌شوند، ولی به دلیل کارا نبودن دستگاههای مذکور در بی‌خطرسازی و امحای پسماندها، معمولاً این پسماندها به سایتهای مجاز دفع پسماندهای خطرناک (ویژه) به خارج از بیمارستان منتقل می‌شوند. البته شایان ذکر است که ۶ درصد از بیمارستانهای استان تهران به سیستم های بی‌خطرسازی اولیه پسماند بیمارستانی مجهز نیستند و از بیمارستانهای مجهز نیز ۱۸ درصد عملکرد مناسبی ندارند. متأسفانه پسماندهای بیمارستانی به استثنای پسماندهای شیمیایی و دارویی به صورت مخلوط و با ناوگان شهرداری‌ها به مراکز دفن زباله منتقل می‌شوند. این مسئله یکی از مشکلات عمده مدیریت پسماندهای پزشکی در تهران محسوب می‌شود (۳).

با توجه به اجتناب‌ناپذیر بودن هزینه‌های فزاینده حمل‌ونقل پسماندهای پزشکی به محلهای دفن، در دسترس نبودن تجهیزات بی‌خطرسازی و دفع زباله‌های پزشکی در محل بیمارستان‌ها و لزوم رعایت مقررات زیست محیطی در رابطه با دفع زباله‌های خطرناک، مدیران بیمارستان‌ها معمولاً ترجیح می‌دهند دفع بهداشتی زباله‌های بیمارستانی را به پیمانکاران برون سپاری کنند تا ضمن حفظ کیفیت خدمات، هزینه‌ها را به حداقل برسانند. حدود ۸۰ درصد بیمارستانها در تهران برای مدیریت موثر پسماندهای پزشکی، پسماندهای شیمیایی و دارویی خود را به شرکت‌های دفع می سپارند و از مخلوط شدن با سایر پسماندهای بیمار ستانی تحویلی به شهرداری جلوگیری می‌کنند (۳). نرخ برون سپاری دفع زباله‌های پزشکی در تایوان، ۵۰ درصد گزارش شده است (۴).

هرچند بسیاری از بیمارستان‌ها، خودشان شرکتهای دفع زباله‌هایشان را انتخاب می‌کنند، اما مدیریت بیمارستان اغلب برای انتخاب شرکت مورد نظر برای دفع زباله، بر اساس تجربه حرفه‌ای و یا برگزاری مزایده و بدون بررسی‌های همه جانبه و مدون عمل می‌نماید. چنین فرآیندی برای تصمیم‌گیری در مورد برون‌سپاری فاقد عینیت بوده و ابزار کمّی برای ارزیابی نامزدها در اختیار قرار نمی‌دهد. همچنین لزوماً به انتخاب مناسب‌ترین شرکت دفع بهداشتی پسماند منتهی نمی‌شود (۴). لذا در این مقاله چارچوبی ارائه می شود که مدیران بیمار ستانی می‌توانند برای ارزیابی شرکت های نامزد برون‌سپاری، تصمیم‌گیری در مورد انتخاب بهترین شرکت دفع زباله و یا تخصیص زباله به چند شرکت برتر از آن استفاده نمایند. همچنین نظر به اهمیت مسئله مدیریت پسماند بیمار ستانی در استان تهران، چارچوب پیشنهادی به صورت مطالعه موردی برای یکی از بیمارستانهای استان تهران پیاده سازی شده است. فرایندهای مدیریت پسماندهای پزشکی و بیمارستانی مانند انتخاب پیمانکار، انتخاب مکان دفع پسماند و انتخاب تکنولوژی پالایش پسماند نیازمند تحلیل و بررسی موشکافانه و در نظر گرفتن عوامل متعدد می باشند. با توجه به گستردگی و پیچیدگی عوامل موثر در تصمیم‌گیری، اغلب مطالعات انجام شده در این حوزه چارچوبهایی را برای تصمیم‌گیری پیشنهاد می‌کنند که مبتنی بر روشهای تصمیم‌گیری چندمعیاره هستند. تا از این طریق تصمیم‌گیرندگان را یاری کنند تصمیماتی اخذ کنند که همه جنبه‌های پایداری شامل عوامل اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی را در نظر می‌گیرد. همچنین از آنجا که اغلب روشهای تصمیم‌گیری چندمعیاره را می‌توان در قالب تصمیم‌گیری گروهی مورد استفاده قرار داد، در مقالات مختلف اقبال زیادی به این رویکرد تصمیم‌گیری شده است.

سو و همکاران (۴) برای انتخاب شرکت دفع پسماند پزشکی از روشی مبتنی بر فرایند تحلیل سلسله مراتبی استفاده نمودند. نتایج تحقیق نشان داد که بخش پزشکی برای انتخاب شرکت دفع مناسب به ترتیب معیارهای میزان انطباق، صلاحیت پیمانکاران، تجهیزات پیمانکاران و عوامل اقتصادی را مدنظر قرار می‌دهند. سِیک و مندال (۵) برای انتخاب توانمندترین شرکت مدیریت پسماندهای زیست پزشکی، یک روش تصمیم‌گیری چند معیاره گروهی ارائه نمودند که مبتنی بر مجموعه فازی فرماتین با مقادیر بازه‌ای است. در روش ارائه شده، برای تخمین وزن معیارها از روش سوارا یا تحلیل نسبت ارزیابی وزن‌دهی تدریجی و برای رتبه‌بندی گزینه‌ها از روش پرامتی دو یا روش سازماندهی رتبه‌بندی ترجیحی جهت ارزیابی بهتر، استفاده شده است. در این مطالعه برای ارزیابی شرکتها از معیارهای میزان تولید پسماند، مهارت کارگران و اقدامات ایمنی، زیر ساخت و تلاش برای آگاهی رسانی عمومی استفاده شده است.

گورچون و همکاران (۶) یک روش یکپارچه استوار برای ارزیابی و انتخاب ارائه‌دهندگان خدمات لجستیک دفع زباله‌های پزشکی ارائه نمودند. مدل ارائه شده که مبتنی بر روش های سوارا یا تحلیل نسبت ارزیابی وزن‌دهی تدریجی و کوپراس یا ارزیابی تناسبی پیچیده است به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند در شرایطی که در فرایند ارزیابی، عدم‌قطعیت وجود دارد با استفاده از اعداد فازی تصمیم بهینه و عقلانی در رابطه با انتخاب شرکت مناسب را اخذ نمایند. کایا (۷) ارزیابی نامزدهای برون‌سپاری مدیریت پسماندهای الکترونیکی و الکتریکی را با رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی مورد تحلیل قرار داده است.

چلیک و همکاران (۸) چارچوب تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی شهودی را برای ارزیابی بیمارستان‌ها در زمینه مدیریت زباله‌های پزشکی ارائه دادند. در چارچوب چهارمرحله‌ای پیشنهادی، از روش میانگین وزنی فازی برای تعیین اهمیت تصمیم‌گیرندگان، از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی برای تعیین وزن معیارها، از تاپسیس فازی برای رتبه بندی بیمارستان‌ها و از تحلیل حساسیت برای بررسی استواری تصمیم استفاده می‌شود.

لی یو و همکاران (۹) یک راهکار سازشی ترکیبی فازی فیثاغورثی برای ارزیابی تکنولوژی‌های پالایش پسماندهای پزشکی ارائه نمودند. در این مطالعه، چند تکنولوژی پالایش پسماندهای پزشکی شامل سوزاندن، ضدعفونی شیمیایی، مایکروویو، اتوکلاو و پلیمریزاسیون معکوس به عنوان راهکارهای کاندید برای انتخاب شدن در نظر گرفته شدند. این راهکارها بر اساس معیارهای

عملکرد فناوری، پذیرش اجتماعی، حفاظت از محیط زیست، هزینه کل و خطرات بهداشتی مورد ارزیابی قرار گرفتند.

توشار و همکاران (۱۰) چالش های مدیریت پسماند در دوران همه‌گیری کووید ۱۹ را شناسایی، ارزیابی و اولویت‌بندی نمودند. در این مطالعه چالش‌های شناسایی شده با روش بهترین بدترین اولویت بندی شده و توسط روش‌های مدل‌سازی ساختاری تفسیری و روش تحلیل اثرات متقابل و ماتریسی، روابط متقابل آنها مورد بررسی قرار گرفته است. هو (۱۱) برای ارزیابی شرکتهای دفع پسماندهای پزشکی عفونی روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی را ارائه نمود. معیارهای اصلی مورد استفاده برای ارزیابی شامل محصول، قابل اعتماد بودن، تجربه، دردسترس بودن و قیمت بودند.

گوموس (۱۲) یک روش دو مرحله‌ای شامل فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی و تاپسیس برای ارزیابی شرکتهای حمل پسماندهای خطرناک ارائه نمود. برخی معیارهای ارزیابی که از اجرای روش دلفی به دست آمده بودند عبارت بودند از بهداشت و ایمنی، کیفیت خدمات، زمان خدمت‌رسانی، توجه به استانداردهای حفاظت از محیط زیست و توانایی حل مسئله. مدیری (۱۳) شرکتهای برون‌سپاری دفع پسماندهای بیمارستانی را با روش ترکیبی فرایند تحلیل شبکه‌ای و دیمتل فازی رتبه بندی نمود. نتایج این تحقیق نشان داد که معیار مالی تأثیرگذارترین و قابلیت خدمات تأثیرپذیرترین معیار موفقیت شرکتهای برون‌سپاری پسماند بیمارستانی هستند و زیرمعیار پاسخگویی در خدمات بیشترین اهمیت را دارد.

مردانی و همکاران (۱۴) بیمارستان‌های آموزشی دانشگاه علوم پزشکی شهیدبهشتی را در زمینه معیارهای کاهش پسماندهای بیمارستانی با ترکیب روشهای تاپسیس و ویکور رتبه بندی نمودند. مانوپاتی و همکاران (۱۵) بهترین تکنیک دفع پسماندهای بیمارستانی را در دوره همه‌گیری کووید ۱۹ و پس از آن با روش ویکور فازی انتخاب کردند و نتایج روش خود را با روش تاپسیس فازی مقایسه نمودند.با درنظر گرفتن معیارهای اجتماعی فنی، سوزاندن به عنوان بهترین تکنیک شناسایی شد.

برخی از مقالات به موضوع مدیریت ریسک در برون‌سپاری مدیریت پسماندهای پزشکی پرداخته‌اند. لیاو و هو (۱۶) با روش تحلیل حالات شکست و آثار آن، عوامل مهم انتخاب شرکت‌های برون‌سپاری دفع پسماندهای زیست‌پزشکی توسط بیمارستان‌ها را از نظر مدیریت ریسک شناسایی نمودند. مکرینی و عوام (۱۷) یک ابزار پشتیبان تصمیم برای سیاست‌گذاران ارائه نمودند تا ریسک درک شده در برون‌سپاری لجستیک زنجیره تأمین مراقبت‌های بهداشتی را کمّی نموده و به طور همزمان طراحی شبکه و برون‌سپاری لجستیک را بهینه کنند.

در برخی از مقالات، تصمیمات مربوط به مدیریت زباله‌های بیمارستانی مانند انتخاب مکان دفع زباله‌ها یا تخصیص زباله به مکان‌های مختلف با رویکرد مدلسازی ریاضی و بهینه‌یابی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. تیرکلایی و همکاران (۱۸) مسأله چندهدفه مکان‌یابی-مسیریابی برای مدیریت پسماندهای پزشکی در طی دوره همه‌گیری کووید-۱۹ را مدلسازی و بهینه‌یابی نمودند. تیرکلایی و آیدین (۱۹) مدل جمع‌آوری و حمل‌ونقل زباله‌های پزشکی را برای همه‌گیری‌ها فرمول‌بندی کردند.

بر اساس بررسی پیشینه صورت گرفته، مسأله انتخاب شرکت دفع پسماندهای بیمارستانی در حالت‌های برون‌سپاری منفرد و چندگانه، موضوعی پرداخته نشده باقی مانده است. بنابراین در این مطالعه با بهره‌گیری از معیارهای شناسایی شده مطالعات پیشین شامل معیارهای اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی، چارچوبی طراحی می‌شود که بتوان بر مبنای آن در برون‌سپاری منفرد و چندگانه تصمیم‌گیری نمود. لیست این معیارها به همراه شرح مختصر آنها در جدول ۱ آورده شده است.

در تحقیق حاضر یک چارچوب تصمیم‌گیری برای ارزیابی و انتخاب شرکتهای دفع زباله‌های بیمارستانی ارائه شده است. هدف از این مطالعه پیشنهاد یک مدل ترکیبی تصمیم‌گیری چندمعیاره با مدل برنامه‌ریزی خطی تخصیص به منظور برون‌سپاری دفع یا بازیافت ایمن پسماندهای بیمارستانی می‌باشد.

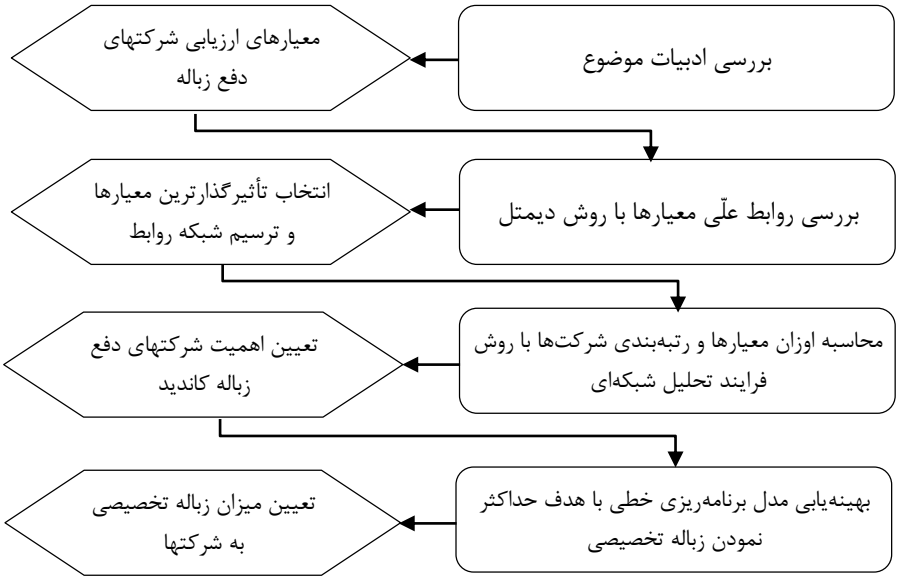
جدول ۱- معیارهای شناسایی شده برای ارزیابی شرکت‌های دفع پسماند

Table 1. Identified criteria for evaluating waste disposal companies

ردیف	شاخص	شرح شاخص	منابع
۱	نیروی انسانی شایسته	نیروی انسانی متخصص در شرکت دفع پسماند	(۵) (۸)
۲	دعاوی حقوقی علیه شرکت	پرونده‌های شکایت ثبت شده علیه شرکت دفع پسماند	(۲۰)
۳	هزینه	هزینه ارائه خدمات شرکت دفع پسماند به بیمارستان	(۴) (۱۱) (۱۳)
۴	وضعیت مشتریان	شهرت مشتریان فعلی شرکت دفن پسماند	(۲۰)
۵	تجربه	تعداد سالهای فعالیت شرکت در زمینه مدیریت پسماندهای بیمارستانی	(۱۱)
۶	فناوری دفع و بازیافت زباله	فناوری و ابزارهای موجود در شرکت دفع پسماند برای بازیافت یا دفع پسماند	(۴)
۷	زیرساخت‌های جمع‌آوری و حمل	ابزارهای جمع‌آوری و وسایل نقلیه موجود در شرکت دفع پسماند	(۵) (۱۲) (۱۳)
۸	برنامه‌های‌آموزشی و آگاهی‌بخشی	برنامه‌های آموزشی در مورد زباله‌های بیمارستانی به کارکنان نظافتی و بیماران	(۵) (۱۱)
۹	ظرفیت بازیافت و دفع	برنامه‌ریزی ظرفیت برای بازیافت پسماند جمع‌آوری شده توسط شرکت دفع پسماند	(۱۱) (۱۳)
۱۰	مدیریت ریسک	ریسک‌های مرتبط با جابجایی و دفع زباله‌های بیمارستانی	(۱۶) (۱۷)

روش بررسی

همان‌طور که در چارچوب تصمیم‌گیری پیشنهادی این مقاله در شکل ۱ نشان داده شده است، در مرحله اول ابتدا با مطالعه ادبیات پژوهش، معیارهایی برای ارزیابی شرکتهای دفع پسماند بیمارستانی شناسایی می‌شوند. سپس با استفاده از روش دیمتل روابط بین معیارهای مختلف مورد تحلیل قرار می‌گیرد. مرحله بعدی ترسیم شبکه روابط بین معیارها است تا با استفاده از روش فرایند تحلیل شبکه، شرکت برتر دفع زباله بیمارستانی انتخاب شود. از آنجا که در بسیاری از موارد بیمارستان‌ها مایلند دفع پسماندهایشان را به جای یک شرکت به چند شرکت برون‌سپاری نمایند، تا به این وسیله ریسک عملیات را کاهش دهند، در چارچوب پیشنهادی، برای حالتی که برون‌سپاری چندگانه موردنظر باشد یک مدل برنامه‌ریزی خطی توسعه داده شده است که با بهینه‌یابی آن نحوه تخصیص مقادیر زباله به هر شرکت دفع پسماند مشخص می‌شود. برای حل مسأله از نرم‌افزار لینگو استفاده می‌شود. در ادامه روش‌های دیمتل، فرایند تحلیل شبکه‌ای و مدل برنامه‌ریزی خطی تخصیص پسماند تشریح می‌شوند.



شکل ۱- چارچوب تصمیم‌گیری پیشنهادی برای ارزیابی و انتخاب شرکتهای دفع زباله‌های بیمارستانی

Figure 1. A proposed decision-making framework for the evaluation and selection of hospital waste disposal companies

روش دیمتل

با استفاده از دیمتل، وابستگی متقابل بین معیارها مورد بررسی قرار می‌گیرد و شبکه روابط میان معیارها طراحی و تحلیل می‌شود. باید توجه داشت که دیمتل به رتبه‌بندی آلترناتیوها نمی‌پردازد، بلکه میزان اثرگذاری و اثرپذیری معیارها را تعیین می‌کند. این تکنیک اغلب به تنهایی مورد استفاده قرار نمی‌گیرد بلکه همراه روش دیگری خصوصاً روش فرایند تحلیل شبکه‌ای استفاده می‌شود. مراحل روش دیمتل (۲۱) در ادامه شرح داده می‌شود:

مرحله اول: تعریف مقیاس و ترکیب‌بندی ماتریس تأثیر مستقیم

در مرحله اول، ماتریس تأثیر مستقیم ایجاد می‌شود. پاسخ‌های کارشناسان در مورد تأثیر مستقیم هر جفت عنصر، در ماتریس ثبت می‌شود. مقایسه زوجی با استفاده از مقیاس لیکرت از ۰ تا ۴ به ترتیب «بدون تأثیر»، «تأثیر کم»، «تأثیر برابر» «تأثیر زیاد» و «تأثیر بسیار زیاد» انجام می‌شود. هرچه کارشناسی نمره بالاتری به یک مقایسه زوجی بدهد به این معناست که ناکارمدی در معیار i اثر بیشتری بر ناکارآمدی در معیار j دارد. یا به عبارت دیگر برای بهبود معیار j مقدار بهبود بیشتری در معیار i مورد نیاز است. با میانگین گرفتن از پاسخهای کارشناسان، ماتریس تأثیر مستقیم $K = [k_{ij}]_{n\times n}$ تشکیل می‌شود.

مرحله دوم : ترکیب بندی ماتریس تأثیر مستقیم نرمال شده

برای ایجاد ماتریس تأثیر مستقیم نرمال‌شده $X = [x_{ij}]_{n\times n}$ ابتدا مطابق رابطه (۱) مقداری برای s در نظر گرفته می‌شود. سپس با ضرب نمودن عناصر ماتریس تأثیر مستقیم در s عناصر ماتریس تأثیر مستقیم نرمال شده مطابق رابطه (۲) به دست می‌آیند.

$$0 \le s \le sup,\ \ sup = \min\left(\frac{1}{\max\limits_{1\le i\le n}\sum_{j=1}^{n}|k_{ij}|}, \frac{1}{\max\limits_{1\le j\le n}\sum_{i=1}^{n}|k_{ij}|}\right) \quad (۱)$$

$$x_{ij} = s.k_{ij} \quad \forall i,j = 1,2,\dots,n \quad (۲)$$

همه عناصر ماتریس تأثیر مستقیم نرمال شده، مقداری مثبت و کمتر از یک دارند $0 \le x_{ij} \le 1$ و همه عناصر قطر اصلی برابر با صفر هستند.

مرحله سوم: محاسبه ماتریس تأثیر کل

از آنجا که ماتریس X یک ماتریس همگراست. برای محاسبه ماتریس تأثیر کل $T = [t_{ij}]_{n\times n}$ مطابق رابطه (۳) باید ماتریس

همانی I را منهای ماتریس تأثیر مستقیم نرمال شده نمود، سپس معکوس ماتریس حاصل را در ماتریس تأثیر مستقیم نرمال شده ضرب ماتریسی نمود. مجموع هر سطر ماتریس تأثیر کل، میزان تاثیرگذاری عامل مربوطه را بر سایر عامل‌ها و مقادیر مجموع هر ستون میزان تاثیرپذیری عامل مربوطه از سایر عامل‌ها را نشان می‌دهند.

$$T = X(\mathrm{I} - X)^{-1} \qquad (۳)$$

مرحله چهارم: تعیین مقدار آستانه و رسم نمودار اثر

هریک از عناصر ماتریس تأثیر کل t_{ij} نشان‌دهنده میزان تأثیری هستند که عامل i بر عامل j می‌گذارد. معمولاً در صورتی که همه اطلاعات در ماتریس تأثیر کل وجود دارد، آن را در نمودار اثر بیاوریم، تفسیر آن سخت می‌شود. بنابراین به منظور جلوگیری از دشواری تفسیر نتایج، آستانه‌ای تعیین می‌شود و فقط عناصری که سطح اثرشان بیشتر از سطح آستانه باشد، انتخاب می‌شوند و در نمودار اثر نمایش داده می‌شوند.

روش فرایند تحلیل شبکه‌ای

روشی برای تصمیم‌گیری چندمعیاره است و با استفاده از آن می‌توان معیارهای تصمیم‌گیری را وزن‌دهی و گزینه‌های تصمیم را رتبه‌بندی نمود. روش فرآیند تحلیل شبکه، حالت خاصی از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی است. در ساختار سلسله‌مراتبی فقط عناصر سطوح بالایی بر عناصر سطوح پایین‌تر موثر بوده و رابطه یک طرفه و از بالا به پایین است در حالی‌که بسیاری از مسائل تصمیم‌گیری را نمی‌توان با یک ساختار سلسله مراتبی تبیین نمود به طوریکه عناصر سطوح بالایی با عناصر سطوح پائین تعامل و وابستگی دو سویه دارند یعنی نه تنها اهمیت معیار، تعیین کننده اهمیت گزینه‌ها است (همانند آنچه در ساختار سلسله مراتبی وجود دارد) بلکه اهمیت خود گزینه‌ها هم تعیین کننده اهمیت معیارها می‌باشد. از آنجایی که در این مقاله از روش دیمتل برای درک رابطه علّی بین معیارها و ترسیم شبکه روابط بین معیارها استفاده می‌شود، روش فرایند تحلیل شبکه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. در ادامه مراحل این روش تشریح شده است (۲۱).

مرحله اول: تعریف معیارها و گزینه‌های تصمیم‌گیری

مرحله دوم: ترسیم شبکه روابط معیارها و گزینه های تصمیم

فرض می‌شود که مسأله دارای N خوشه به نام های $C_1, C_2, \dots, C_N$ باشد و در خوشه i ام تعداد n_i عنصر وجود داشته باشد.

مرحله سوم: انجام مقایسه زوجی مطابق شبکه روابط توسط کارشناسان

دو خوشه i و j که توسط شاخه‌ای از خوشه i به خوشه j با یکدیگر مرتبط هستند را در نظر گرفته و تمامی عناصر خوشه i به صورت زوجی نسبت به عنصر اول j مقایسه شده و ماتریس مقایسه زوجی عناصر i نسبت به عنصر اول خوشه j به صورت رابطه (۴) بدست می‌آید.

$$\begin{array}{c} \\ i_1 \\ i_2 \\ \vdots \\ i_{n_i} \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} i_1 & i_2 & \cdots & i_{n_i} \end{array} \\ \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n_i} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n_i} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n_i1} & a_{n_i2} & \cdots & a_{n_in_i} \end{bmatrix} \end{array} \Rightarrow \begin{bmatrix} w_{i_1}^{j_1} \\ w_{i_2}^{j_1} \\ \vdots \\ w_{i_{n_i}}^{j_1} \end{bmatrix} \qquad (۴)$$

پس از تکمیل مقایسات زوجی عناصر خوشه i نسبت به عنصر اول خوشه j ، ابتدا با تقسیم نمودن هر مقدار ماتریس مقایسات زوجی به جمع ستون مربوطه ماتریس به هنجار شده و سپس از میانگین حسابی هر سطر اوزان نسبی محاسبه می‌شود.

عناصر خوشه i به صورت زوجی نسبت به بقیه عناصر خوشه j نیز مقایسه شده و بردارهای وزن‌های نسبی حاصل، مطابق رابطه (۵) در ماتریس W_{ij} قرار داده می‌شوند.

$$W_{ij} = \begin{bmatrix} w_{i_1}^{j_1} & w_{i_1}^{j_2} & \cdots & w_{i_1}^{j_{n_j}} \\ w_{i_2}^{j_1} & w_{i_2}^{j_2} & \cdots & w_{i_2}^{j_{n_j}} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_{i_{n_i}}^{j_1} & w_{i_{n_i}}^{j_2} & \cdots & w_{i_{n_i}}^{j_{n_j}} \end{bmatrix} \qquad (۵)$$

مرحله چهارم: بررسی سازگاری مقایسات زوجی انجام شده

شرح این مرحله به منظور طولانی نشدن توضیحات در مقاله نیامده است. برای اطلاع از نحوه بررسی سازگاری به (۲۱) مراجعه شود.

مرحله پنجم: تشکیل سوپرماتریس

ماتریس W_{ij} برای تمام شاخه‌هایی که خوشه‌ها را به هم مرتبط می‌کنند، محاسبه می‌شود در صورتی‌که رابطه ای بین خوشه i و

j نباشد می‌بایست $W_{ij} = 0$ در نظر گرفته شود. همچنین در صورتی که خوشه ای وابستگی درونی داشته باشد ماتریس همانی I به عنوان W_{ij} در نظر گرفته می‌شود. بنابراین سوپر ماتریس W به صورت رابطه (۶) تشکیل می‌شود.

$$W = \begin{array}{c} \\ C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_N \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} C_1 & C_2 & \cdots & C_N \end{array} \\ \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & \cdots & W_{1N} \\ W_{12} & W_{22} & \cdots & W_{2N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ W_{N1} & W_{N2} & \cdots & W_{NN} \end{bmatrix} \end{array} \qquad (۶)$$

مرحله ششم: تعیین وزن معیارها و رتبه گزینه‌ها

با استفاده از ماتریس های احتمالی و زنجیره های مارکف اثبات می‌شود که وزن نهایی عناصر از رابطه (۱۰) به‌دست می‌آید. سوپرماتریس به توان یک عدد فرد بزرگ رسانده می‌شود تا همگرا شده و عناصر هر سطر با هم برابر شوند، عناصر هر سطر، اوزان عناصر مربوطه خواهند بود.

$$W = \lim_{k\to\infty} W^{2k+1} \qquad (۷)$$

مدل برنامه‌ریزی خطی تخصیص پسماند

در مطالعه حاضر، یک مدل برنامه‌ریزی خطی برای تخصیص زباله‌های بیمارستانی به شرکتهای دفع پسماند ارائه شده است. استفاده از این مدل برای مواردی مناسب است که بیمارستان مایل است به منظور کاهش ریسک دفع زباله به جای منبع‌یابی منفرد، از منبع‌یابی چندگانه استفاده نماید. مدل ارائه شده با درنظر گرفتن وزن شرکتهای دفع پسماند که خروجی فرایند تحلیل شبکه است به عنوان ورودی، تابع هدف مدل که حداکثر نمودن مقدار کل پسماند تخصیص داده شده برای بازیافت و دفع بیمارستان است را فرمول‌بندی می‌نماید. مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم مدل در جدول ۲ تشریح شده‌اند.

جدول ۲- مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرهای مدل ریاضی

Table 2. sets, parameters and variables of mathematical model

پارامتر	شرح
i	مجموعه شرکتهای دفع پسماند $i = 1,2,\dots,m$
w_i	وزن هریک از شرکتهای دفع پسماند حاصل از فرایند تحلیل شبکه
l_i	درصد پسماند جمع‌آوری شده هریک از شرکتها که از دست رفته
r_i	درصدی از پسماند بیمارستانی که توسط شرکتها قابل بازیافت است
t_i	مدت زمان لازم برای بارگیری هر کیلو پسماند در وسایل حمل توسط هریک از شرکتها
p_i	هزینه دریافت شده توسط هریک از شرکتها برای دفع هر کیلو پسماند
K_i	ظرفیت پردازش پسماند هریک از شرکتها
S	کل پسماند موجود در یک بیمارستان که باید هر روز دفع شود (کیلوگرم)
L	درصدی از کل پسماند جمع‌آوری شده که انتظار می‌رود از دست برود
T	حداکثر زمانی که یک وسیله حمل می‌تواند برای بارگیری هر کیلو پسماند در بیمارستان سپری کند
B	بودجه‌ای که بیمارستان برای دفع پسماندها در نظر گرفته
R	کل درصد پسماند بیمارستانی که قابل بازیافت است
x_i	مقدار پسماندی که هر روز به هریک از شرکتها باید تخصیص داده شود (کیلوگرم)

رابطه (۸) تابع هدف مدل را نشان می‌دهد که مقدار زباله تخصیص داده شده به شرکتها را حداکثر می‌نماید.

$$Max\ Z = \sum_{i=1}^{m} w_i\, x_i \qquad (۸)$$

رابطه (۹) محدودیت عرضه پسماند بیمارستان را نشان می‌دهد. این رابطه بیان می‌کند که مجموع زباله تخصیص داده شده به شرکتها باید با کل پسماند موجود در بیمارستان که باید دفع شود برابر باشد.

$$\sum_{i=1}^{m} x_i = S \qquad (۹)$$

رابطه (۱۰) محدودیت از دست رفتن زباله را نشان می‌دهد. معمولاً درصدی از زباله جمع‌آوری‌شده تا زمانی که به محل دفع زباله برسد، از دست می‌رود. اما از نظر قانونی و مسائل زیست‌محیطی برای بیمارستان و مسئولان بهداشتی مهم است که میزان زباله از دست رفته در طی فرایند حمل از مقدار مشخصی تجاوز نکند، زیرا ماهیت این زباله‌ها خطرناک بوده و نشت آنها برای مردم و جامعه مشکلاتی ایجاد می‌نماید.

$$\sum_{i=1}^{m} l_i\, x_i \le L\, S \qquad (۱۰)$$

رابطه (۱۱) محدودیت پردازش زباله در هریک از شرکت‌های دفع زباله را نشان می‌دهد. هریک از شرکتها ظرفیت محدودی برای پردازش زباله های جمع‌آوری شده از بیمارستان دارند. پردازش شامل فعالیتهای تفکیک مواد قابل بازیافت، اتوکلاو، سوزاندن و دفن است.

$$x_i \le k_i \quad \forall i = 1,2,\dots,m \qquad (۱۱)$$

رابطه (۱۲) محدودیت زمانی بارگیری پسماند در وسایل نقلیه جمع‌آوری زباله شرکتها را نشان می‌دهد. این زمان به طراحی سطل زباله، آموزش کارکنان بارگیری زباله و دستورالعمل‌های ورود و خروج بیمارستان و شرکت جمع‌آوری زباله بستگی دارد.

$$\sum_{i=1}^{\mathrm{m}} \frac{x_i}{t_i} \le \frac{S}{\mathrm{T}} \qquad (۱۲)$$

رابطه (۱۳) محدودیت بودجه بیمارستان برای دفع زباله را نشان می‌دهد. دفع زباله‌ها یک فعالیت ضروری و مصرف کننده منابع برای بیمارستان‌ها است. بیمارستان برای این منظور همیشه بودجه‌ای درنظر می‌گیرند تا بتوانند ضمن برآورده نمودن نیاز به دفع پسماند با حداقل هزینه از نظر اجتماعی و زیست محیطی راهکاری پایدار باشد.

$$\sum_{i=1}^{m} p_i\, x_i \le B \qquad (۱۳)$$

رابطه (۱۴) محدودیت بازیافت پسماندهای قابل بازیافت را نشان می‌دهد. بازیافت زباله‌های قابل بازیافت فرصتی برای شرکت‌های دفع زباله برای کسب درآمد است. با این حال، بازیافت زباله‌های قابل بازیافت رابطه مستقیمی با شیوه‌های تفکیک اجرا شده در بیمارستان و تسهیلات جمع‌آوری شرکت دفع زباله دارد.

$$\sum_{i=1}^{m} r_i\, x_i \le R\, S \qquad (۱۴)$$

یافته‌ها

به منظور اعتبارسنجی چارچوب ارائه شده در این مقاله، ارزیابی وانتخاب شرکتهای دفع زباله، برای بیمارستانی در تهران به عنوان مطالعه موردی در زمستان ۱۴۰۱ انجام شد. داده‌های لازم در روش دیمتل و روش فرایند تحلیل شبکه از ۵ کارشناس در حوزه پسماندهای بیمارستانی جمع‌آوری شده است. تعداد ۱۰ معیار برای ارزیابی شرکتهای دفع پسماند با مطالعه ادبیات موضوع شناسایی شدند (جدول ۱). برای انتخاب تأثیرگذارترین معیارها و نیز ترسیم شبکه روابط معیارها، روش دیمتل مورد استفاده قرار گرفت. از کارشناسان خواسته شد در مورد میزان تأثیرگذاری هریک از معیارها بر دیگر معیارها با مقیاس لیکرت ۰ تا ۴ اظهار نظر نمایند. جدول ۳، ماتریس تأثیر مستقیم تجمیعی کارشناسان را نشان می‌دهد.

جدول۳- ماتریس تأثیر مستقیم

Table 3. direct-relation matrix

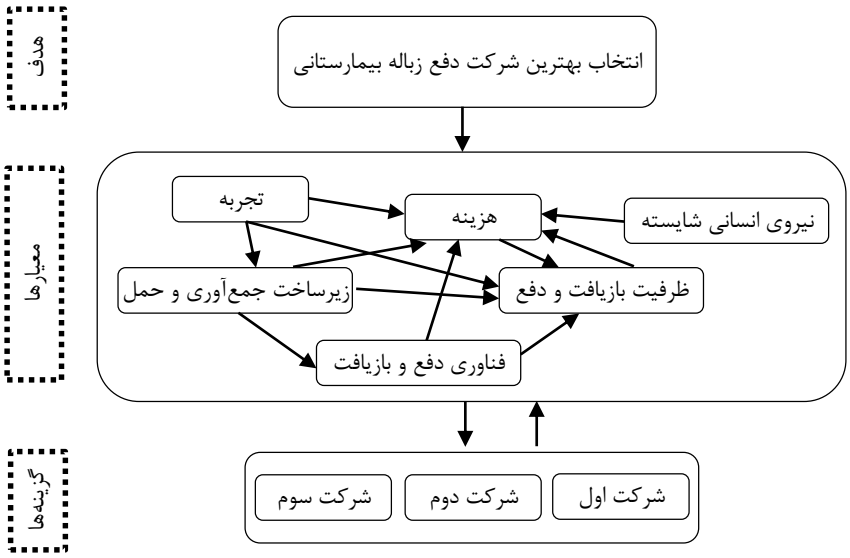
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
C1	۰	۳/۵	۳/۷	۱/۱	۰/۱	۳/۱	۱/۸	۳/۶	۰	۱/۹
C2	۰/۴	۰	۰	۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۱
C3	۰/۲	۱	۰	۳/۳	۰/۲	۳/۴	۳/۳	۳	۳/۵	۲
C4	۰	۲/۲	۲/۶	۰	۰	۰	۰	۲	۰	۰/۵
C5	۲/۷	۳/۴	۳/۱	۳/۵	۰	۱/۹	۳/۳	۱/۴	۳/۱	۲/۲
C6	۳/۶	۰	۳/۹	۳	۰	۰	۱/۳	۲/۹	۴	۳/۲
C7	۳/۱	۰	۳/۸	۳/۸	۰/۵	۳/۸	۰	۲/۷	۴	۱/۵
C8	۱/۲	۰/۲	۲/۸	۱/۶	۰/۲	۰	۰	۰	۳	۱/۳
C9	۰	۰	۳/۶	۳/۷	۰/۱	۰/۸	۳/۵	۰/۲	۰	۲/۷
C10	۱/۶	۱/۱	۱/۸	۲/۷	۱/۵	۱	۰/۹	۱/۴	۰/۳	۰

بعد از نرمال‌کردن ماتریس تأثیر مستقیم، ماتریس رابطه کل مطابق جدول ۴ حاصل شد. مقدار آستانه مطابق نظر کارشناسان ۰/۲۵ در نظر گرفته شد. عناصری که در ماتریس تأثیر کل مقداری بالاتر از آستانه تعیین شده دارند در جدول ۴ به صورت توپر نمایش داده شده‌اند. بنابراین معیارهایی که بیشترین تأثیرگذاری را دارند شامل معیارهای هزینه، تجربه، نیروی انسانی شایسته، ظرفیت بازیافت و دفع، فناوری دفع و بازیافت و زیرساخت جمع‌آوری و حمل انتخاب و برای رتبه‌بندی شرکتها مورد استفاده قرار می‌گیرند. در ضمن شبکه روابط هدف، معیارها و گزینه‌ها برای بیمارستان مورد مطالعه مطابق شکل ۲، به‌دست می‌آید.

جدول ۴- ماتریس تأثیر کل

Table 4. total relation matrix

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
C1	۰/۰۸	۰/۲	**۰/۳۱**	۰/۲۲	۰/۰۲	۰/۲۱	۰/۱۶	**۰/۲۶**	۰/۱۴	۰/۱۸
C2	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۱۳	۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱
C3	۰/۱	۰/۱۱	۰/۲۱	**۰/۳۲**	۰/۰۳	۰/۲۳	۰/۲۳	**۰/۲۵**	**۰/۲۸**	۰/۲
C4	۰/۰۲	۰/۱۱	۰/۱۵	۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۱۲	۰/۰۵	۰/۰۵
C5	۰/۲	۰/۲۳	**۰/۳۵**	**۰/۳۷**	۰/۰۳	۰/۲۱	**۰/۲۵**	۰/۲۲	**۰/۲۸**	۰/۲۳
C6	۰/۲۲	۰/۰۹	**۰/۳۶**	**۰/۳۲**	۰/۰۳	۰/۱۳	۰/۱۸	**۰/۲۷**	**۰/۳**	**۰/۲۶**
C7	۰/۲۲	۰/۱	**۰/۳۸**	**۰/۳۷**	۰/۰۴	**۰/۲۷**	۰/۱۴	**۰/۲۸**	**۰/۳۲**	۰/۲۱
C8	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۲۱	۰/۱۷	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۱۸	۰/۱۲
C9	۰/۰۷	۰/۰۶	**۰/۲۸**	**۰/۲۹**	۰/۰۲	۰/۱۳	۰/۲۲	۰/۱۳	۰/۱۱	۰/۱۹
C10	۰/۱۱	۰/۱	۰/۱۹	۰/۲۲	۰/۰۷	۰/۱۱	۰/۱	۰/۱۴	۰/۱	۰/۰۷



شکل ۲- شبکه روابط هدف، معیارها و گزینه‌ها برای ارزیابی شرکت برون‌سپاری دفع پسماند

Figure 2. goal, criteria and alternatives network for waste disposal firm evaluation

با توجه به شبکه روابط به دست آمده از روش دیمتل، از کارشناسان خواسته شد تا مقایسات زوجی مربوط به روش فرایند تحلیل شبکه‌ای را انجام دهند. نمونه‌هایی از مقایسات زوجی انجام‌شده در جدول‌های ۵ و ۶ آمده است. پس از بررسی و اطمینان از سازگاری مقایسات زوجی انجام شده، سوپر ماتریس مطابق جدول ۷ به دست آمد. وزن‌های حاصل از همگرایی سوپرماتریس وزن معیارها و گزینه‌ها را مشخص نمود. وزن معیارها به صورت نیروی انسانی شایسته ۰/۱۵، هزینه ۰/۱، تجربه ۰/۱، فناوری دفع و بازیافت زباله ۰/۰۹، زیرساختهای جمع‌آوری و حمل ۰/۱ و ظرفیت بازیافت و دفع ۰/۱۲ و همچنین وزن شرکتهای دفع پسماند کاندید به صورت شرکت اول ۰/۱۴، شرکت دوم ۰/۱ و شرکت سوم ۰/۰۹ تعیین شدند.

جدول ۵- مقایسه زوجی معیارها در راستای هدف

Table 5. Pair wise comparison matrix for criteria

Goal	C1	C3	C5	C6	C7	C9
C1	۱	۰/۱۴	۱	۰/۵	۰/۲	۱
C3	۷	۱	۶	۵	۲	۹
C5	۱	۰/۱۷	۱	۰/۵	۰/۲۵	۳
C6	۲	۰/۲	۲	۱	۱	۳
C7	۵	۰/۵	۴	۱	۱	۵
C9	۱	۰/۱۱	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۲	۱

جدول ۶- مقایسه زوجی گزینه‌ها در معیار هزینه

Table 6. Pair wise comparison matrix for alternatives in cost criteria

C3	A1	A2	A3
A1	۱	۳	۵
A2	۰/۳۳	۱	۳
A3	۰/۲	۰/۳۳	۱

جدول ۷- سوپرماتریس

Table 7. supermatrix

	Goal	C1	C3	C5	C6	C7	C9	A1	A2	A3
Goal	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
C1	۰/۰۶	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰۵	۰/۴۵	۰/۲۳
C3	۰/۴۶	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰/۲	۰/۲	۰/۰۳
C5	۰/۰۸	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰/۲۸	۰/۰۶	۰/۰۷
C6	۰/۱۴	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰/۱۲	۰/۰۷	۰/۲۵
C7	۰/۲۳	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰/۱۱	۰/۰۸	۰/۲۸
C9	۰/۰۴	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰/۲۴	۰/۱۴	۰/۱۴
A1	۰	۰/۰۹	۰/۶۳	۰/۷۳	۰/۲۱	۰/۲۲	۰/۶۹	۰	۰	۰
A2	۰	۰/۷۳	۰/۲۶	۰/۱۹	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۲	۰	۰	۰
A3	۰	۰/۱۸	۰/۱۱	۰/۰۸	۰/۶۷	۰/۶۵	۰/۱	۰	۰	۰

به منظور تعیین نحوه تخصیص پسماند به شرکتها، اطلاعات مربوط به دفع پسماند از بیمارستان مربوطه جمع‌آوری و مدل ریاضی به صورت رابطه (۱۵) فرمول‌بندی شد. با بهینه‌یابی مدل با استفاده از نرم‌افزار لینگو مشخص شد تخصیص بهینه زباله به سه شرکت دفع پسماند به ترتیب باید برابر با ۵۵۰، ۴۰۰ و ۵۰ کیلوگرم باشد.

$$
\begin{aligned}
&Max\ Z = 0.14x_1 + 0.1x_2 + 0.09x_3 \\
&\text{s.t.} \quad x_1 + x_2 + x_3 = 1000 \\
&\quad 0.08x_1 + 0.1x_2 + 0.11x_3 \le 1000 \times 0.12 \\
&\quad x_1 \le 550 \\
&\quad x_2 \le 400 \\
&\quad x_1 \le 200 \\
&\quad \frac{x_1}{110} + \frac{x_2}{150} + \frac{x_3}{100} \le \frac{1000}{100} \\
&\quad 5x_1 + 8x_2 + 9x_3 \le 7500 \\
&\quad 0.08x_1 + 0.06x_2 + 0.15x_3 \le 1000 \times 0.2 \\
&\quad x_1, x_2, x_3 \ge 0
\end{aligned}
\qquad (۱۵)
$$

بحث و نتیجه گیری

مطابق قانون مدیریت پسماند مصوب مجلس در ایران، بازیافت پسماندهای بیمارستانی ممنوع است. درحالی‌که در کشورهای پیشرفته بعد از بی‌خطرسازی اولیه پسماندهای بیمارستانی با روش‌هایی مانند اتوکلاو کردن، مایکروویو کردن، ضدعفونی شیمیایی و استریلیزاسیون با بخار (۲۲) در چرخه بازیافت قرار می‌گیرند. از طرف دیگر در ایران، شهرداری‌ها فقط مدیریت

پسماندهای عادی را به عهده دارند و وظیفه دفع پسماندهای ویژه به عهدهٔ تولیدکننده آنها است. بنابراین بیمارستان‌ها باید بتوانند به نحوی مدیریت پسماندهایشان را انجام دهند که در ضمن این‌که کمترین هزینه را برای آنها ایجاد می‌کند، خطرات زیست محیطی و مشکلات اجتماعی کمتری ایجاد نماید. برون‌سپاری مدیریت پسماندها می‌تواند به بیمارستان‌ها برای دستیابی همزمان به این اهداف کمک کند. اما فرایند برون‌سپاری، خود فرایندی پیچیده و حساس است که تصمیم اشتباه در آن می‌تواند علاوه بر ضررهایی که برای بیمارستان ایجاد می‌کند برای جامعه و محیط زیست هم زیانبار باشد. از طرف دیگر بیمارستان‌ها برای انتخاب شرکت مناسب برون‌سپاری باید معیارهای مختلفی را در نظر بگیرند که بعضاً کیفی هستند و یا داده‌ها و ارقام دقیقی در رابطه با آنها دردسترس نیست. لذا استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به رفع این مشکل کمک می‌کند.

مرور ادبیات موضوع به منظور شناسایی معیارهای ارزیابی شرکتهای دفع پسماند نشان داد که تحقیقات متعددی پیرامون این موضوع انجام شده است، لذا از بین معیارهایی که در تحقیقات قبلی شناسایی شده بود، ۱۰ معیار که از نظر محققان بیشترین سازگاری را با شرایط تصمیم‌گیری در ایران و دغدغه های مدیران بیمارستانها داشت انتخاب شدند. از آنجا که در تصمیم‌گیری در مورد شرکت دفع پسماند ارتباط متقابل بین معیارهای تصمیم‌گیری و گزینه‌های تصمیم وجود داشت، به این معنا که معیارها با در نظر گرفتن شرکتی که مورد ارزیابی است اهمیت متفاوتی پیدا می‌کردند، تصمیم بر این شد که به جای روش تحلیل سلسله مراتبی از روش تحلیل فرایند شبکه برای ارزیابی و انتخاب شرکتهای دفع پسماند استفاده شود.

برای اجرای روش فرایند تحلیل شبکه لازم است شبکه روابط بین معیارها و گزینه‌ها مشخص باشد تا بر مبنای آن مقایسات زوجی انجام شود. از طرف دیگر در صورتی که تعداد معیارها یا گزینه ها زیاد باشد، انجام مقایسات زوجی وقت‌گیر بوده و ضمن بالا بردن خطای کارشناسان، تفسیر نتایج را دشوار می‌سازد. لذا در این مقاله برای شناسایی معیارهایی که بیشترین اهمیت و اثر گذاری را دارند و همچنین رسم شبکه روابط بین معیارها قبل از اجرای روش فرایند تحلیل شبکه، از روش دیمتل استفاده شده است. با اجرای روش دیمتل ۶ معیار که بیشترین تأثیرگذاری را بر سایر معیارها داشتند انتخاب شدند و شبکه روابط هدف، معیارها و گزینه‌ها بر اساس نتایج رسم شد. نتایج نشان می‌دهد که تجربه شرکت دفع پسماند و نیز داشتن زیرساختهای جمع‌آوری و حمل از اثرگذارترین معیارها هستند و از طرفی هزینه پیشنهادی شرکت به بیمارستان و نیز وضعیت و شهرت مشتریان شرکت دفع پسماند اثرپذیرترین معیارها محسوب می‌شوند.

ارزیابی معیارها و گزینه‌های تصمیم مطابق روش فرایند تحلیل شبکه نشان داد که معیارهای ارزیابی شرکتهای پسماند به ترتیب عبارتند از نیروی انسانی شایسته، ظرفیت بازیافت و دفع، تجربه، هزینه، زیرساختهای جمع‌آوری و حمل و فناوری دفع و بازیافت زباله. همچنین رتبه‌بندی شرکتها به ترتیب شرکت اول، شرکت دوم و شرکت سوم مشخص شد. در شرایطی که بیمارستان بخواهد برون‌سپاری دفع پسماندهایش را فقط به یک شرکت بسپارد اجرای روش فرایند تحلیل شبکه منجر به تصمیم نهایی مورد نظر مدیر خواهد شد. اما در عمل مدیران برای پرهیز از ریسک برون‌سپاری منفرد مایلند با چند شرکت قرار داد داشته باشند. لذا در این مقاله مدلی پیشنهاد شده است که نحوه تخصیص پسماند با توجه به ارجحیت شرکتها از نظر معیارهای مختلف را مشخص می‌کند.

هدف مدل ریاضی ارائه شده تخصیص پسماند، حداکثر نمودن ارزش تخصیص پسماند مطابق با وزنهای اهمیت شرکتهای پسماند می‌باشد. همچنین در مدل ریاضی ارائه شده، محدودیت‌های زیست‌محیطی مربوط به جلوگیری از انتشار و از دست‌رفتن پسماندهای بیمارستانی در فرایند جمع آوری و حمل و نیز بازیافت درصدی از پسماند جمع‌آوری شده درنظر گرفته شده‌اند. محدودیت بودجه بیمارستان برای دفع پسماند و نیز ظرفیت هریک از شرکتها برای جمع آوری و حمل پسماند از دیگر موضوعاتی است که در مدل ریاضی لحاظ شده است. نتیجه اجرای چارچوب تصمیم‌گیری ارائه شده در این مقاله در بیمارستان مورد مطالعه، از نظر مدیران رضایت‌بخش ارزیابی

شد. از نظر مدیران بیمارستان، چارچوب ارائه شده مدت زمان تصمیم‌گیری و ریسک‌های مرتبط با تصمیم‌گیری را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد.

References

1. Saeb, K., Kardar, S., Salehi, F., & Alidoust, S. (2017). Assessment of Hospital Waste Management system with focus on disinfection method. *Journal of Environmental Science and Technology*, 19(3), 113-127. doi: 10.22034/jest.2017.11073 (In Persian)
2. Chen, C., Chen, J., Fang, R., Ye, F., Yang, Z., Wang, Z., Shi, F., & Tan, W. (2021). What medical waste management system may cope with COVID-19 pandemic: Lessons from Wuhan. *Resources, conservation, and recycling*, 170, 105600. doi: 10.1016/j.resconrec.2021.105600
3. Gitipour, S., Akbarpoursareskanroud, F., & Firouzbakht, S. (2017). Assessment of Medical Waste in Tehran Province Hospitals. *Journal of Environmental Studies*, 42(4), 709-718. doi: 10.22059/jes.2017.60936 (In Persian)
4. Hsu, P., Wu, C., & Li, Y. (2008). Selection of infectious medical waste disposal firms by using the analytic hierarchy process and sensitivity analysis, *Waste Management*, 28(8),1386-1394. doi: 10.1016/j.wasman.2007.05.016.
5. Seikh, M. R., & Mandal, U. (2023). Interval-valued Fermatean fuzzy Dombi aggregation operators and SWARA based PROMETHEE II method to bio-medical waste management, *Expert Systems with Applications*, 226,120082, doi: 10.1016/j.eswa.2023.120082.
6. Görçün, Ö. F., Aytekin, A., Korucuk, S., & Tirkolaee, E. B. (2023). Evaluating and selecting sustainable logistics service providers for medical waste disposal treatment in the healthcare industry. Journal of Cleaner Production, 408, 137194. doi: 10.1016/j.jclepro.2023.137194
7. Kaya, İ. (2012). Evaluation of outsourcing alternatives under fuzzy environment for waste management. Resources, *Conservation and Recycling*, 60, 107-118. doi: 10.1016/j.resconrec.2011.12.006
8. Çelik, S., Peker, İ., Gök-Kısa, A. C., & Büyüközkan, G. (2023). Multi-criteria evaluation of medical waste management process under intuitionistic fuzzy environment: A case study on hospitals in Turkey. *Socio-Economic Planning Sciences*, 86, 101499. doi: 10.1016/j.seps.2022.101499
9. Liu, P., Rani, P., & Mishra, A. R. (2021). A novel Pythagorean fuzzy combined compromise solution framework for the assessment of medical waste treatment technology. *Journal of Cleaner Production*, 292, 126047. doi: 10.1016/j.jclepro.2021.126047
10. Tushar, S. R., Alam, M. F. B., Bari, A. M., & Karmaker, C. L. (2023). Assessing the challenges to medical waste management during the COVID-19 pandemic: Implications for the environmental sustainability in the emerging economies. *Socio-Economic Planning Sciences*, 101513. doi: 10.1016/j.seps.2023.101513

11. Ho, C. C. (2011). Optimal evaluation of infectious medical waste disposal companies using the fuzzy analytic hierarchy process. *Waste management*, 31(7), 1553-1559.
12. Gumus, A. T. (2009). Evaluation of hazardous waste transportation firms by using a two-step fuzzy-AHP and TOPSIS methodology. *Expert systems with applications*, 36(2), 4067-4074. doi: 10.1016/j.eswa.2008.03.013
13. Modiri, M. (2020). Ranking of hospital waste disposal outsourcing companies with the new fuzzy multiple criteria decision-making hybrid method and grey. *Modern Research in Decision Making*, 5(1), 1-23. (In Persian)
14. Mardani S, Alimohammadzade K, Maher A, Hoseini S., & Yaghmaeian K. (2019). Ranking the hospitals in terms of hospital waste reduction criteria case study: educational hospitals of Shahid Beheshti University of Medical Sciences (SBUMS). *Iranianian Journal of Health and Environment*, 12 (2), 217-234. (In Persian)
15. Manupati, V. K., Ramkumar, M., Baba, V., & Agarwal, A. (2021). Selection of the best healthcare waste disposal techniques during and post COVID-19 pandemic era. *Journal of cleaner production*, 281, 125175. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.125175
16. Liao, C. J., & Ho, C. C. (2014). Risk management for outsourcing biomedical waste disposal–Using the failure mode and effects analysis. *Waste management*, 34(7), 1324-1329. doi: 10.1016/j.wasman.2014.03.007
17. El Mokrini, A., & Aouam, T. (2022). A decision-support tool for policy makers in healthcare supply chains to balance between perceived risk in logistics outsourcing and cost-efficiency. *Expert Systems with Applications*, 201, 116999. doi: 10.1016/j.eswa.2022.116999
18. Tirkolaee, E. B., Abbasian, P., & Weber, G. W. (2021). Sustainable fuzzy multi-trip location-routing problem for medical waste management during the COVID-19 outbreak. *Science of the Total Environment*, 756, 143607. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.143607
19. Babaee Tirkolaee, E., & Aydın, N. S. (2021). A sustainable medical waste collection and transportation model for pandemics. *Waste Management & Research*, 39, 34-44. doi: 10.1177/0734242X211000437
20. Chauhan, A., & Singh, S. P. (2021). Selection of healthcare waste disposal firms using a multi-method approach. *Journal of Environmental Management*, 295, 113117. doi: 10.1016/j.jenvman.2021.113117
21. Tzeng, G. H., & Huang, J. J. (2011). Multiple attribute decision making: methods and applications. CRC press.
22. Torkashvand, J., Farzadkia, M., Jonidi Jafari, A., Heidari, M., & Ghalkhanbaz, A. (2019). Comparison and Prioritization of the Different Disinfection Methods of Infectious Waste. *Journal of Research in Environmental Health*, 5(3), 194-204. doi: 10.22038/jreh.2019.41016.1310 (In Persian)