مطالعه یک مدل ریاضی برای مساله مدیریت پسماند بیمارستانی

علی سحابی[1*] ، سیدهادی ناصری[2] و محمد مهدی پایدار[3]

[1] دانشجوی دکتری، دانشکده علوم ریاضی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

[2] دانشیار، دانشکده علوم ریاضی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

[3] استاد، دانشکده مهندسی، دانشگاه نوشیروانی بابل، بابل، ایران

رسید مقاله: ۱۵ فروردین ۱۴۰۳

پذیرش مقاله: ۱۷ شهریور ۱۴۰۳

چکیده

در سال‌های اخیر، تولید انبوه پسماندها یکی از معضلات دنیای امروز است. یکی از گونه‌های بسیار خطرناک پسماندها، پسماندهای بیمارستانی می‌باشد که مدیریت نادرست آن، آلودگی زیست محیطی و به تبع آن اثرات نامطلوب بر زندگی بشر دارد. بنابراین انتخاب و استفاده از تکنولوژی مناسب در مسیر مدیریت پسماند بیمارستانی بسیار حایز اهمیت است. اگرچه درسال‌های اخیر تحقیقات متعددی درخصوص مدیریت پسماند بیمارستانی صورت گرفته است، اما در کشور ما توجه کمی به تکنولوژی‌های مورد استفاده در مسیر مدیریت پسماند شده است، بنابراین هدف این پژوهش مطالعه یک مدل ریاضی برای مساله مدیریت پسماند بیمارستانی است. مساله پسماند بیمارستانی مورد مطالعه در قالب یک مساله برنامه‌ریزی خطی با اهداف اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی مدلسازی شده است. از جمله شرایط استفاده از این مدلسازی ریاضی، داشتن اطلاعات دقیق و معینی است که با توجه به ماهیت مسایل دنیای واقعی، دست‌یابی به چنین داده‌ها و پارامترهایی عملا دشوار و تا حدودی نادقیق است. از این‌رو در این مطالعه پیشنهاد می‌شود یکی از رویکردهای مواجهه با تصمیم‌گیری تحت شرایط عدم قطعیت همچون فازی، خاکستری، بازه‌ای و یا تصادفی استفاده شود. در این مطالعه پارامترهای فازی مدل در دو بخش ضرایب هدف و منابع دردسترس (ظرفیت مراکز) در راستای توسعه مدل در نظر گرفته می‌شود. برای حل این مساله از روش برنامه‌ریزی آرمانی با ترکیب اعداد فازی مثلثی استفاده خواهد شد. برای توصیف بهتر مدل و نتایج، یک مثال موردی از پسماندهای بیمارستانی تشریح می‌شود.

کلمات کلیدی: مدیریت پسماند بیمارستانی، برنامه‌ریزی ریاضی، بهینه‌سازی چندهدفه، برنامه‌ریزی آرمانی، عدم قطعیت.

۱ مقدمه و پیشینه پژوهش

یکی از مهم‌ترین مسایلی که مدیران شهری در انجام بهینه خدمات شهری با آن مواجه هستند مدیریت پسماند شهری و همچنین پسماندهای بیمارستانی و پزشکی است. پسماندهای مربوط به حوزه‌ی بهداشت و درمان شامل دو گروه زباله‌های خطرناک و غیرخطرناک هستند و محدوده‌ی وسیعی از مواد را شامل می‌شوند. به عبارت دیگر، اصطلاح زباله‌های بهداشت و درمان، شامل تمام زباله‌هایی است که در مراکز بهداشتی، مراکز تحقیقاتی و

* عهده‌دار مکاتبات

آدرس الکترونیکی: alisahabi1398@gmail.com

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2273]

آزمایشگاه‌های مربوط به پزشکی تولید می‌شوند. علاوه براین، زباله‌هایی که در خانه‌ها به منظور مراقبت‌های پزشکی نیز تولید می‌شوند، در این دسته از زباله‌ها قرار می‌گیرند. زباله‌های بهداشتی به عنوان مواد خطرناک نقش بسیار مهمی در آلودگی محیط زیست و انتشار انواع بیماری‌ها ایفا می‌کنند. همچنین حمل و نقل این مواد نیز به دلیل ماهیت این نوع مواد دارای ویژگی‌های منحصر به فرد است. به همین علت مدیریت پسماند بیمارستانی به لحاظ بروز خطرات محیطی و سلامت عمومی اهمیت زیادی دارد. شاید بهترین روش برای مدیریت پسماند بیمارستانی جلوگیری از تولید محصولات کم خطر و کاهش تولید و انتخاب بهترین و کم خطرترین روش دفع می‌باشد. درنتیجه طراحی یک شبکه زنجیره تامین مناسب به منظور مدیریت زباله‌های حوزه بهداشت و درمان یکی از چالش‌های اصلی این حوزه است؛ چرا که عدم مدیریت مناسب آن علاوه بر آلودگی زیست محیطی، بیمارستان و مراکز بهداشت و درمان را با مشکلات جدی مواجه خواهد کرد. در این طراحی معیار کمینه‌سازی هزینه‌ها و انتخاب مکان‌های مناسب برای جمع‌آوری، بازیافت و دورریز زباله‌های عفونی، حمل و نقل و انتخاب تکنولوژی پالایش مناسب از جمله تصمیمات استراتژیکی است که عدم انتخاب مناسب آن هزینه‌های قابل توجهی به زنجیره تحمیل کرده و چالش زنجیره را افزایش می‌دهد. همچنین توجه به تصمیمات تاکتیکی مانند مسیریابی وسایل نقلیه به منظور جمع‌آوری زباله‌های عفونی از بیمارستان‌ها، تاثیر به سزایی در کاهش هزینه‌ها و به خصوص کاهش چالش جمعیت در معرض خطر خواهد داشت. مساله پسماند بیمارستانی را می‌توان با برنامه‌ریزی خطی تحت شرایط دنیای واقعی مدلسازی کرده و با توجه به اهداف اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی به حل آن پرداخت. از جمله شرایط استفاده از این مدلسازی ریاضی، داشتن اطلاعات دقیق و معین است که با توجه به ماهیت مسایل دنیای واقعی امروزی، دست‌یابی به چنین داده‌ها و پارامترهایی دشوار، پرهزینه، زمان‌بر و تا حدودی ناشدنی است. از این‌رو باید از یکی از رویکردهای مواجهه با تصمیم‌گیری تحت شرایط عدم قطعیت چون فازی، خاکستری، بازه‌ای و یا تصادفی استفاده کرد.

استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی در حوزه‌های مختلف مدیریت پسماندهای بیمارستانی به‌خصوص حمل و نقل نیز مورد توجه محققین بوده است. یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی جهت حل مساله مسیریابی و زمانبندی وسایل نقلیه به منظور جمع‌آوری زباله‌های عفونی توسط شیه و چانگ[1] [۱] توسعه داده شد. آنها از یک رویکرد حل دو مرحله‌ای برای حل مساله خود استفاده کردند. جقتایی[2] و همکاران [۲] یک مدل مبتنی بر برنامه-ریزی عدد صحیح مختلط خطی چندهدفه برای مکانیابی مراکز پالایش، بازیافت و دفع زباله‌های بیمارستانی و مسیریابی وسایط نقلیه جهت جمع‌آوری زباله‌ها از بیمارستان‌ها ارایه دادند. مدل ارایه‌شده توسط آنها دارای چهار تابع هدف شامل کمینه‌سازی هزینه‌ها، کمینه‌سازی ریسک جمعیتی در طول مسیر، کمینه‌سازی ریسک جمعیتی در مراکز دفع و پالایش و بیشینه‌سازی قابلیت اطمینان مسیرهای حمل زباله است. جهت مدیریت هزینه‌ها در مسأله‌ی جمع‌آوری زباله‌های بیمارستانی، مدلی توسط منتزاراس و وودریاس[3] [۳] توسعه داده شد که ظرفیت و محل مراکز پالایش و ظرفیت وسایل نقلیه و مسیرهای انتقال در آن در نظر گرفته شده است. یک رویکرد ترکیبی

[1] Shih, Chang
[2] Joghtaei
[3] Mantzaras, Voudrias

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2273]

برای دفع زباله‌های عفونی توسط ویچاپا و خوخاجایکیات[1] [۴] توسعه داده شد. برای این منظور ابتدا معیارها یا عوامل ارزیابی مکان‌های کاندید دفع، با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی ارزیابی‌شده و سپس توسط یک مدل ریاضی و روش برنامه‌ریزی آرمانی با اهداف کمینه‌سازی هزینه‌ها و بیشینه‌سازی وزن محل‌های دفع، مکان مناسب جهت دفع زباله‌های عفونی انتخاب شد. سپس با استفاده از الگوریتم ژنتیک، مسیرهای بهینه تعیین شدند. هو[2] [۵] از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی برای ارزیابی بهینه شرکت‌های دفع پسماندهای پزشکی و بیمارستانی عفونی استفاده کرد. تیرکلایی[3] و همکاران [۶] یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی عدد صحیح مختلط خطی با در نظر گرفتن مساله مسیریابی وسایط نقلیه و پنجره زمانی برای طراحی شبکه جمع‌آوری زباله‌های شهری توسعه دادند. آنها از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید برای حل مساله مبتنی بر روش محدودیت شانس برای در نظر گرفتن عدم قطعیت در تقاضا استفاده کردند. در مطالعه‌ی پورافقی[4] و همکاران [۷] رویکردی برای حل مساله حمل‌ونقل با استفاده از نظریه سیستم‌های خاکستری معرفی شده است که به مقابله با عدم قطعیت داده‌ها پرداخته و جواب‌ها را به‌صورت اعداد خاکستری تعیین می‌کند. این روش به‌ویژه در مواقعی مانند بلایای طبیعی و جنگ که داده‌ها دقیق نیستند، کارایی خود را نشان می‌دهد. قمی[5] و همکاران [۸] یک مدل کنترل موجودی دو هدفه را برای انتخاب توزیع‌کننده‌های تک محصولی با تقاضای احتمالی نرمال معرفی کردند که در آن هزینه‌های مرتبط با سفارش‌دهی، نگهداری و کمبود کمینه‌سازی می‌شود. مدل آن‌ها از طریق الگوریتم NSGA-II و روش محدودیت اپسیلون حل می‌شود تا بهینه‌سازی در انتخاب توزیع‌کننده‌ها با اندازه بسته و قیمت متفاوت را امکان‌پذیر کند. ناصری و غفاری‌فر[6] [۹] یک مدل چندهدفه با رویکرد فازی انعطاف‌پذیر برای حل مساله‌ای با اهداف حداقل‌سازی هزینه‌های مرتبط با استقرار مراکز توزیع و حمل و نقل، و همچنین به حداکثر رساندن رضایت مشتری و کاهش اثرات مخرب زیست‌محیطی را ارایه دادند. این مدل با رعایت قیود فازی برای ظرفیت وسایل نقلیه و محدودیت‌های مسافتی به صورت چند دوره‌ای طراحی شده است. همچنین در مطالعه دیگر، مدلی چندهدفه برای مساله مکان‌یابی و مسیریابی وسایل نقلیه در زنجیره‌تامین لجستیک با تاکید بر کاهش هزینه‌ها و بهبود رضایت مشتری ارایه دادند. این مدل محدودیت‌های دنیای واقعی را در نظر گرفته و از طریق یک مثال عددی در مدیریت پسماند اثربخشی خود را نشان می‌دهد [۱۰]. یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی دو هدفه با هدف کمینه‌سازی کل هزینه‌ها و کمینه‌سازی ریسک‌های حمل و نقل به منظور طراحی یک شبکه جمع‌آوری و انهدام زباله‌های بیمارستانی خطرناک تحت شرایط عدم قطعیت توسط همایونی و پیشوایی[7] [۱۱] ارایه شد. آنها از رویکرد بهینه‌سازی استوار برای در نظر گرفتن عدم قطعیت استفاده کردند و در نهایت مدل پیشنهادی خود را با استفاده از روش محدودیت اپسیلون حل کردند. به طور مشابه، کارگر[8] و همکاران [۱۲] یک مدل ریاضی به منظور جمع‌آوری پسماندهای عفونی بیمارستان‌ها در شرایط همه‌گیری و شیوع ویروس کرونا توسعه دادند. آنها

[1] Wichapa, Khokhajaikiat
[2] Ho
[3] Tirkolaee
[4] Pourofaghi
[5] Qomi
[6] Nasseri & Ghaffari-far
[7] Homayouni & Pishvaee
[8] Kargar

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2273]

از یک رویکرد برنامه‌ریزی ریاضی با هدف کمینه‌سازی هزینه‌ها و کمینه‌سازی ریسک‌های حمل و نقل برای این منظور استفاده کردند. زعیمی و راصفی[1] [۱۳] یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط چندهدفه را تحت محدودیت شانس فازی برای کمینه‌سازی هزینه‌های کل شبکه و همچنین انتشار گازهای گلخانه‌ای محیطی تحت شرایط عدم قطعیت فرموله کردند. جدول ۱ خلاصه‌ای از مطالعات مهم اخیر در مدیریت پسماند را بازگو می‌کند. همان‌طور که در بررسی مطالعات مهم انجام شده اخیرا ملاحظه می‌شود تمرکز بر داده‌های نادقیق با توجه به ماهیت مدل‌های ریاضی مرتبط با مدیریت پسماند از اهمیت خاصی برخوردار است. از این‌رو در مطالعه حاضر نیز به چگونگی در نظر گرفتن شرایط عدم قطعیت از نوع فازی در مدل مورد مطالعه پرداخته خواهد شد.

جدول ۱. دسته‌بندی اجمالی مطالعات انجام‌شده در زمینه مدیریت پسماند

	نویسندگان			نوع مساله		نوع هدف			نوع مساله				مطالعه موردی	تابع هدف		روش حل			
				قطعی	غیر قطعی	اقتصادی	زیست محیطی	اجتماعی	مسیریابی	مکانیابی	زنجیره تامین	حمل و نقل		تک هدفه	چند هدفه	دقیق	ابتکاری	فرا ابتکاری	روش
۱	Huang et al.	۲۰۰۱	[۱۴]	*		*						*		*				*	Ant colony
۲	Alumur et al.	۲۰۰۷	[۱۵]	*		*	*		*	*		*	*		*			*	Genetic algorithm
۳	Shih et al.	۲۰۰۹	[۱۶]	*		*					*			*				*	Genetic algorithm
۴	Medaglia et al.	۲۰۰۹	[۱۷]	*		*	*				*		*		*			*	MILP and NSGA
۵	Liu et al.	۲۰۱۵	[۱۸]		*	*	*				*		*		*	*			Dematel
۷	Inghles et al.	۲۰۱۶	[۱۹]	*		*	*	*				*			*	*			LP
۸	Lopez sanchez et al.	۲۰۱۶	[۲۰]		*	*		*				*			*		*		Neighborhood search
۹	Mantzaras et al.	۲۰۱۷	[۳]			*				*			*	*				*	Genetic algorithm
۱۰	Yadav et al.	۲۰۱۸	[۲۱]		*	*				*		*		*		*			Interval-valued
۱۱	Habib et al.	۲۰۱۹	[۲۲]		*	*	*	*		*		*			*	*			MOLP under fuzzy environment
۱۲	Yu et al.	۲۰۲۰	[۲۳]		*	*	*			*		*			*	*			MOLP under Stochastic environment
۱۳	Abdullah et al.	۲۰۲۱	[۲۴]	*		*	*					*			*	*			MOLP with AHP
۱۴	Linfati et al.	۲۰۲۱	[۲۵]	*		*			*					*			*		MILP and Branch and bound
۱۵	Ebadi et al.	۲۰۲۱	[۲۶]		*	*	*	*		*		*	*		*	*			MILP and goal programming
۱۶	Negarandeh et al.	۲۰۲۱	[۲۷]		*	*	*	*			*	*	*		*	*			MOMILP

در این پژوهش یک مدل مدیریت پسماند سه هدفه با اهداف به حداقل رساندن هزینه‌ها، به کمترین حد رساندن انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از پردازش و حمل و نقل، حداقل رساندن زباله‌های خطرناک در سیستم زباله شهری و حداکثرسازی ایجاد فرصت اشتغال در قالب مزیت اجتماعی مورد مطالعه قرار می‌گیرد. مدل پیشنهادی در بخش دوم مقاله آورده شده است. در بخش سوم نیز روش آرمانی-فازی برای حل مدل مورد مطالعه

[1] Zaeimi & Rassafi

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2273]

و تشریح فرآیند حل آن آورده شده است. بخش چهارم به مثال کاربردی در مورد مدیریت پسماند زباله‌های بیمارستانی اختصاص دارد و در نهایت بخش پنجم به نتیجه گیری و پیشنهادات آتی مطالعات مربوط می‌شود.

۲ مدل ریاضی

پسماند بیمارستانی به کلیه پسماندهای عفونی و زیان آور ناشی از بیمارستان‌ها، مراکز بهداشتی و درمانی، آزمایشگاه‌های تشخیص طبی و مراکز مشابه اطلاق می‌شود. سیستم مدیریت پسماند بیمارستانی در حالت کلی شامل تعدادی منابع تولید زباله، پردازش در بیمارستان، بخش زباله سوز یا بی‌خطر کردن زباله‌ها در بیمارستان، پردازش در مدیریت پسماند شهری، مراکز دفن و حمل و نقل می‌باشد. در این سیستم جریان زباله از منابع تولید زباله آغاز می‌شود و به مراکز دفن و بازیافت و انرژی حاصل از فرآیند پردازش ختم می‌شود.

مسایل مدیریت پسماند بیمارستانی با لحاظ کلیه شرایط اقتصادی و اجتماعی می‌توانند تک‌هدفه یا چندهدفه در نظر گرفته شوند و همچنین همه متغیرها و پارامترها قطعی باشند. با توجه به ظرفیت مرکز زباله سوز بیمارستان، زمان جمع‌آوری زباله بیمارستانی از سایر سطوح و مراکز شهر، مراکز بازیافت، تاسیسات، مراکز دفن، به کارگیری هرکدام از تاسیسات و وسایل نقلیه و غیره می‌توان محدودیت‌های مدل را تشکیل داد. انواع زباله‌ها، مراکز، نیروی انسانی و تاسیسات و ظرفیت مرکز زباله سوز بیمارستان، ظرفیت دپو زباله‌ها در مراکز سطح شهر و غیره متغیرهای تصمیم را تشکیل می‌دهند. یکی از اهداف مساله مدیریت پسماند به حداقل رساندن هزینه‌ها است که این هزینه‌ها عبارتند از: مجموع هزینه‌های ثابت، هزینه‌های پردازش، هزینه‌های حمل و نقل، هزینه‌های پرداختی منهای درآمد سیستم، و در عین حال به کمترین حد رساندن انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از پردازش و حمل و نقل است. از طرف دیگر، به حداقل رساندن زباله‌های خطرناک در سیستم زباله شهری از اهداف مهم دیگر این مدل است. برای دستیابی به این اهداف، می‌توان محدودیت‌های زیر را برای مساله مورد مطالعه دسته‌بندی کرد:

- محدودیت‌های حجم زباله
- محدودیت تقاضا
- محدودیت‌های زمانبندی
- محدودیت‌های منابع انسانی
- محدودیت‌های بودجه
- محدودیت‌های تخصیص
- محدودیت سیاست برون سپاری
- محدودیت ظرفیت امکانات دفع
- محدودیت جمع‌آوری و ظرفیت ایستگاه انتقال
- محدودیت‌های ظرفیت محل‌های دفن زباله

و سایر محدودیت‌های منطقی که می‌توان لحاظ کرد.

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2273]

این بخش به تشریح مساله و معرفی مدل ریاضی مورد مطالعه اختصاص دارد. یک سیستم مدیریت زباله‌های بهداشتی پایدار شامل مراکز تولید زباله، مراکز تصفیه زباله، مراکز بازیافت زباله و مراکز دفع زباله را در نظر بگیرید. هدف، یافتن بهترین تصمیم از نظر تصمیمات مکانی و برنامه‌ریزی حمل و نقل در شبکه است. فرمول بندی مدل با مفروضات زیر در نظرگرفته می‌شود:

(۱) تصمیمات مکانی در سه رده تصفیه، بازیافت و مراکز دفع درنظر گرفته می‌شود.

(۲) سه نوع وسیله نقلیه برای استفاده در سطوح مختلف تعریف‌شده است که در آن نوع اول وسایل نقلیه حمل و نقل بین مراکز تولید زباله و مراکز تصفیه زباله / مراکز بازیافت زباله استفاده می‌شود، نوع دوم وسایل نقلیه حمل و نقل بین مراکز دفع زباله و مراکز بازیافت زباله / مراکز دفع زباله و نوع سوم وسایل نقلیه حمل و نقل بین مراکز بازیافت زباله و مراکز دفع زباله استفاده می‌شود.

(۳) یک مدل برنامه‌ریزی خطی مبتنی بر رویکرد مواجهه با شرایط حاکم بر سیستم در نظر گرفته می‌شود.

(۴) انواع مختلفی از زباله‌های بیمارستانی وجود دارد.

(۵) اساسا همه پارامترها قطعی هستند مگر در تطبیق با شرایط واقعی یکی از انواع عدم قطعیت در مدلسازی ظاهر شوند.

(۶) نقاط تولید زباله شامل بیمارستان‌ها و درمانگاه‌ها است.

(۷) نرخ جریان داده شده زباله بین مراکز مختلف در نظر گرفته می‌شود.

(۸) ظرفیت مراکز مختلف و همچنین ظرفیت وسایل نقلیه محدود است.

برای پرداختن به پایداری سیستم، سه تابع هدف به حداقل رساندن هزینه کل، به حداقل رساندن اثرات مخرب زیست محیطی و حداکثرسازی تعداد کل فرصت های شغلی در قالب هدف اجتماعی در این مساله دنبال می‌شود. مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه مورد مطالعه در زیر آورده شده است.

در این بخش اطلاعاتی در مورد نمادهایی که در مدل ریاضی استفاده شده ارایه می‌شود.

مجموعه‌ها و شاخص‌ها:

H مجموعه مراکز تولید زباله (بیمارستان‌ها و درمانگاه‌ها) $h \in H$،

C مجموعه‌ای از مراکز تصفیه زباله $c \in C$،

R مجموعه‌ای از مراکز بازیافت زباله $r \in R$،

D مجموعه‌ای از مراکز دفع زباله $d \in D$،

T مجموعه‌ای از دوره های زمانی $t \in T$،

I مجموعه‌ای از انواع زباله $i \in I$،

K مجموعه وسایل نقلیه $k \in K$، شامل K_1، K_2 و K_3 به ترتیب به عنوان مجموعه وسایل نقلیه نوع ۱، ۲ و ۳.

W_{iht} مقدار زباله نوع i تولیدشده در مرکز تولید زباله h در دوره t.

P_{iht} نرخ جریان زباله تولیدی نوع i که از مرکز تولید زباله h به مراکز تصفیه زباله در دوره t منتقل می‌شود.

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2273]

$(1-P_{iht})$ نرخ جریان زباله تولیدشده از نوع i که از مرکز تولید زباله h به مراکز بازیافت زباله در دوره t منتقل می‌شود.

P_{ict} نرخ جریان زباله تولیدی نوع i که از مرکز تصفیه زباله c به مراکز بازیافت زباله در دوره t منتقل می‌شود.

$(1-P_{ict})$ نرخ جریان زباله تولید شده از نوع iکه از مرکز تصفیه زباله c به مراکز دفع زباله در دوره t منتقل می‌شود.

P_{irt} نرخ جریان زباله تولیدی نوع i که در دوره t از مرکز بازیافت زباله r به مراکز دفع زباله منتقل می‌شود.

CA_c ظرفیت مرکز تصفیه زباله c برای پردازش ضایعات نوع iدر هر دوره.

CB_rظرفیت مرکز بازیافت زباله r برای پردازش ضایعات نوع i در هر دوره.

CC_d ظرفیت مرکز دفع زباله d برای پردازش زباله نوع i در هر دوره

VAظرفیت وسایل نقلیه حمل و نقل نوع ۱.

VB ظرفیت وسایل نقلیه حمل و نقل نوع ۲.

VCظرفیت وسایل نقلیه حمل و نقل نوع ۳ .

dis_{hc} فاصله بین مرکز تولید زباله h و مرکز تصفیه زباله c

dis_{hr} فاصله بین مرکز تولید زباله h و مرکز بازیافت زباله r

dis_{cr} فاصله بین مرکز تصفیه زباله c و مرکز بازیافت زباله r

dis_{cd} فاصله بین مرکز تصفیه زباله c و مرکز دفع زباله d

dis_{rd} فاصله بین مرکز بازیافت زباله r و مرکز دفع زباله d

TR_{ihckt} هزینه حمل زباله نوع i از مرکز تولید زباله h به مرکز تصفیه زباله c با وسیله نقلیه حمل نوع اول در دوره t

TR_{ihrkt} هزینه حمل زباله نوع i از مرکز تولید زباله h به مرکز بازیافت زباله r با وسیله نقلیه حمل و نقل نوع اول در دوره t

TR_{icrkt} هزینه حمل زباله نوع i از مرکز تصفیه زباله c به مرکز بازیافت زباله r با وسیله نقلیه حمل و نقل نوع دوم در دوره t

TR_{icdkt} هزینه حمل زباله نوع i از مرکز تصفیه زباله c به مرکز دفع زباله d با وسیله نقلیه حمل نوع دوم در دوره t

TR_{irdkt} هزینه حمل زباله نوع i از مرکز بازیافت زباله r به مرکز دفع زباله d با وسیله نقلیه حمل نوع سوم در دوره t

PR_{ict} هزینه پردازش زباله نوع i در مرکز تصفیه زباله c در دوره t

PR_{irt} هزینه پردازش زباله نوع i در مرکز بازیافت زباله r در دوره t

PR_{idt} هزینه پردازش زباله نوع i در مرکز دفع زباله d در دوره t

OC_c هزینه ثابت ایجاد مرکز تصفیه زباله c در دوره t

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2273]

OR_r هزینه ثابت ایجاد مرکز بازیافت زباله r در دوره t

OD_d هزینه ثابت ایجاد مرکز دفع زباله d در دوره t

OV_{k1} هزینه ثابت استفاده از وسیله نقلیه حمل و نقل نوع اول در دوره t

OV_{k2} هزینه ثابت استفاده از وسیله نقلیه حمل و نقل نوع دوم در دوره t

OV_{k3} هزینه ثابت استفاده از وسیله نقلیه حمل و نقل نوع سوم در دوره t

$POP1_{ihc}$ خطر جمعیت برای حمل زباله نوع i بین مرکز تولید زباله h و مرکز تصفیه زباله c

$POP2_{ihr}$ خطر جمعیت برای حمل زباله نوع i بین مرکز تولید زباله h و مرکز بازیافت زباله r

$POP3_{icr}$ خطر جمعیت برای حمل زباله نوع i بین مرکز تصفیه زباله c و مرکز بازیافت زباله r

$POP4_{icd}$ خطر جمعیت برای حمل زباله نوع i بین مرکز تصفیه زباله c و مرکز دفع زباله d

$POP5_{ird}$ خطر جمعیت برای حمل زباله نوع i بین مرکز بازیافت زباله r و مرکز دفع زباله d

J_c تعداد فرصت‌های شغلی بالقوه به‌دست‌آمده در هنگام ایجاد مرکز تصفیه زباله c

J_r تعداد فرصت های شغلی بالقوه ای که با ایجاد مرکز بازیافت زباله r ایجاد می شود.

J_d تعداد فرصت های شغلی بالقوه به‌دست آمده در هنگام ایجاد مرکز دفع زباله d

متغیرها:

Y_{ihckt} مقدار زباله نوع i منتقل‌شده از مرکز تولید زباله h به مرکز تصفیه زباله c توسط وسیله نقلیه حمل و نقل نوع اول در دوره t

Y_{ihrkt} مقدار زباله نوع i منتقل‌شده از مرکز تولید زباله h به مرکز بازیافت زباله r توسط وسیله نقلیه حمل و نقل نوع دوم در دوره t

Y_{icrkt} مقدار زباله نوع i منتقل‌شده از مرکز تصفیه زباله c به مرکز بازیافت زباله r توسط وسیله نقلیه حمل و نقل نوع دوم در دوره t

Y_{icdkt} مقدار زباله نوع i منتقل‌شده از مرکز تصفیه زباله c به مرکز دفع زباله d توسط وسیله نقلیه حمل و نقل نوع دوم در دوره t

Y_{irdkt} مقدار زباله نوع i منتقل‌شده از مرکز بازیافت زباله r به مرکز دفع زباله d توسط وسیله نقلیه حمل و نقل نوع سوم در دوره t

α_c ۱ اگر مرکز تصفیه زباله c در ابتدای شروع برنامه‌ریزی ایجاد شود، ۰ در غیر این صورت

α_r ۱ اگر مرکز بازیافت زباله r در ابتدای شروع برنامه‌ریزی ایجاد شود، ۰ در غیر این صورت

α_d ۱ اگر مرکز دفع پسماند d در ابتدای شروع برنامه‌ریزی ایجاد شود، ۰ در غیر این صورت

VA_{k1} ۱ اگر وسیله نقلیه حمل و نقل نوع اول در دوره t استفاده شود، ۰ در غیر این صورت

VB_{k1} ۱ اگر وسیله نقلیه حمل و نقل نوع اول در دوره t استفاده شود، ۰ در غیر این صورت

VC_{k2} ۱ اگر وسیله نقلیه نوع دوم در دوره t استفاده شود، ۰ در غیر این صورت

VD_{k2} ۱ اگر وسیله نقلیه نوع دوم در دوره t استفاده شود، ۰ در غیر این صورت

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2273]

VE_{k3} ۱ اگر وسیله حمل و نقل نوع سوم در دوره t استفاده شود، ۰ در غیر این صورت

براساس اندیس‌ها، متغیرها و پارامترهای تعریف شده در بالا و شرایط محدودیت ها، مدلسازی ریاضی به صورت زیر است:

مساله (۱)

توابع هدف

$$
\begin{aligned}
Min\ z_1 = & \sum_{i\in I}\sum_{h\in H}\sum_{c\in C}\sum_{k\in K_1}\sum_{t\in T} dis_{hc} TR_{ihckt} Y_{ihckt} + \sum_{i\in I}\sum_{h\in H}\sum_{r\in R}\sum_{k\in K_1}\sum_{t\in T} dis_{hr} TR_{ihrkt} Y_{ihrkt} + \\
& \sum_{i\in I}\sum_{c\in C}\sum_{r\in R}\sum_{k\in K_2}\sum_{t\in T} dis_{cr} TR_{icrkt} Y_{icrkt} + \sum_{i\in I}\sum_{c\in C}\sum_{d\in D}\sum_{k\in K_2}\sum_{t\in T} dis_{cd} TR_{icdkt} Y_{icdkt} + \\
& \sum_{i\in I}\sum_{r\in R}\sum_{d\in D}\sum_{k\in K_2}\sum_{t\in T} dis_{rd} TR_{irdkt} Y_{irdkt} + \sum_{i\in I}\sum_{h\in H}\sum_{c\in C}\sum_{k\in K_1}\sum_{t\in T} PR_{ict} Y_{ihckt} + \\
& \sum_{i\in I}\sum_{h\in H}\sum_{r\in R} PR_{irt}\Big(\sum_{h\in H}\sum_{k\in K_1} Y_{ihrkt} + \sum_{c\in C}\sum_{k\in K_2} Y_{icrkt}\Big) + \\
& \sum_{i\in I}\sum_{d\in D}\sum_{t\in T} PR_{idt}\Big(\sum_{k\in K_2}\sum_{c\in C} Y_{icdkt} + \sum_{r\in R}\sum_{k\in K_2} Y_{irdkt}\Big) + \sum_{c\in C}\sum_{t\in T} OC_c \alpha_c + \\
& \sum_{r\in R}\sum_{t\in T} OR_r \alpha_r + \sum_{d\in D}\sum_{t\in T} OD_d \alpha_d + \sum_{t\in T} OV_{k1}\Big(\sum_{k\in K_1} VA_{k1} + \sum_{k\in K_1} VB_{k1}\Big) + \\
& \sum_{t\in T} OV_{k2}\Big(\sum_{k\in K_2} VC_{k2} + \sum_{k\in K_2} VD_{k2}\Big) + \sum_{t\in T} OV_{k3}\Big(\sum_{k\in K_2} VE_{k3}\Big)
\end{aligned}
\qquad (1)
$$

معادله (۱) تابع هدف اول را نشان می‌دهد که حداقل رساندن هزینه کل است. پنج جمله اول برای هزینه‌های حمل و نقل است، جملات (۶) تا (۸) نشان‌دهنده هزینه های پردازش، جملات (۹) تا (۱۱) هزینه‌های تاسیس و جملات (۱۲) تا (۱۴) هزینه های استفاده از وسایل نقلیه را نشان می‌دهد. از آنجا که ضرایب هزینه ها درشرایط واقعی با توجه به تغییرات مکرر و زودهنگام نرخ‌های مختلف وابسته به هزینه دارای نوسان هستند، لحاظ کردن این شرایط در ضرایب هزینه با اعداد فازی واقع‌بینانه است. از این‌رو، با توجه به شرایط حاکم بر مساله، جهت سازگاری با مدل مورد مطالعه ضرایت هزینه در هدف اول به ترتیب TR_{ihckt}، TR_{ihrkt}، TR_{icrkt}، TR_{icdkt} و TR_{irdkt} به صورت اعدادفازی مثلثی در نظر گرفته می‌شوند و در قید (۱) به صورت غیرفازی‌سازی شده نمایش داده شده است.

$$
\begin{aligned}
Min\ z_2 = & \sum_{i\in I}\sum_{h\in H}\sum_{c\in C}\sum_{k\in K_1}\sum_{t\in T} POP1_{ihc} Y_{ihckt} + \sum_{i\in I}\sum_{h\in H}\sum_{r\in R}\sum_{k\in K_1}\sum_{t\in T} POP2_{ihr} Y_{ihrkt} + \\
& \sum_{w\in W}\sum_{i\in I}\sum_{c\in C}\sum_{r\in R}\sum_{k\in K_2}\sum_{t\in T} POP3_{icr} Y_{icrkt} + \sum_{i\in I}\sum_{c\in C}\sum_{d\in D}\sum_{k\in K_2}\sum_{t\in T} POP4_{icd} Y_{icdkt} + \\
& \sum_{i\in I}\sum_{r\in R}\sum_{d\in D}\sum_{k\in K_2}\sum_{t\in T} POP5_{ird} Y_{irdkt}
\end{aligned}
\qquad (2)
$$

معادله (۲) تابع هدف دوم را نشان می‌دهد که سعی می کند خطرحمل زباله بین تاسیسات مختلف را به حداقل برساند.

$$
Max\ Z_3 = \sum_{c\in C} J_c \alpha_c + \sum_{r\in R} J_r \alpha_r + \sum_{r\in R} J_d \alpha_d \qquad (3)
$$

معادله (۳) تابع هدف سوم را نشان می‌دهد که تعداد کل فرصت های شغلی، پس از ایجاد مراکز تصفیه، بازیافت و دفع به حداکثر می‌رساند. با توجه به معادلات (۱) تا (۳)، سه رکن توسعه پایدار تعریف شده است.

$$
\sum_{h\in H}\sum_{k\in K_1} Y_{ihckt} \le CA_c \alpha_c, \quad \forall c \in C, i \in I, t \in T, \qquad (4)
$$

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2273]

$$\sum_{h\in H}\sum_{k\in K_1} Y_{ihrkt} + \sum_{c\in C}\sum_{k\in K_2} Y_{icrkt} \le CB_r\alpha_r, \quad \forall r \in R, i \in I, t \in T, \tag{۵}$$

$$\sum_{c\in C}\sum_{k\in K_2} Y_{icdkt} + \sum_{r\in R}\sum_{k\in K_2} Y_{irdkt} \le CC_d\alpha_d, \quad \forall d \in D, i \in I, t \in T, \tag{۶}$$

محدودیت های (۴) تا (۶) به ترتیب محدودیت ظرفیت تصفیه، بازیافت و دفع را مراکز نشان می‌دهد که در آن $CA_c\alpha_c$، $CB_r\alpha_r$ و $CC_d\alpha_d$ به ترتیب نسخه فازی ظرفیت‌های تصفیه، بازیافت و دفع مراکز می‌باشند که در مدل فعلی قیود (۴) تا (۶) به صورت مقادیر غیر فازی شده متناظرشان ملاحظه می‌شوند. به واسطه عدم تخلیه مناسب در دوره زمانی قبلی یا شکل هندسی زباله‌های ورودی، ظرفیت مراکز تصفیه، بازیافت و دفع در قیود (۴) تا (۶) به صورت پارامترهای نادقیق (در این مطالعه به صورت عدد فازی) در نظر گرفته شده است. برای پاسخگویی به این نقض، در نظر گرفتن شرایط عدم قطعیت از نوع فازی می‌تواند واقع‌بینانه باشد.

$$\sum_{i\in I}\sum_{h\in H}\sum_{c\in C} Y_{ihckt} \le VA \times VA_{k_1}, \quad \forall k \in K_1, t \in T, \tag{۷}$$

$$\sum_{i\in I}\sum_{h\in H}\sum_{r\in R} Y_{ihrkt} \le VA \times VB_{k_1}, \quad \forall k \in K_1, t \in T, \tag{۸}$$

محدودیت های (۷) و (۸) محدودیت ظرفیت وسایل نقلیه نوع اول را بیان می‌کند.

$$\sum_{i\in I}\sum_{r\in R}\sum_{c\in C} Y_{icrkt} \le VB \times VC_{k_2}, \quad \forall k \in K_2, t \in T, \tag{۹}$$

$$\sum_{i\in I}\sum_{d\in D}\sum_{c\in C} Y_{icdkt} \le VB \times VD_{k_2}, \quad \forall k \in K_2, t \in T, \tag{۱۰}$$

محدودیت (۹) و (۱۰) محدودیت ظرفیت وسایل نقلیه نوع دوم را بیان می‌کند.

$$\sum_{i\in I}\sum_{r\in R}\sum_{d\in D} Y_{irdkt} \le VC \times VE_{k_3}, \quad \forall k \in K_3, t \in T, \tag{۱۱}$$

محدودیت (۱۱) بیانگر محدودیت ظرفیت وسایل نقلیه نوع سوم است.

$$\sum_{c\in C}\sum_{k\in K_1} Y_{ihckt} = P_{iht} \times W_{iht}, \quad \forall i \in I, h \in H, t \in T, \tag{۱۲}$$

محدودیت (۱۲) تضمین می‌کند که مقدار مشخصی از تقاضا باید به مراکز دفع منتقل شود.

$$\sum_{r\in R}\sum_{k\in K_1} Y_{ihrkt} = W_{iht} - \sum_{k\in K_1}\sum_{t\in T} Y_{ihckt}, \quad \forall i \in I, h \in H, t \in T, \tag{۱۳}$$

محدودیت (۱۳) تضمین می‌کند که مقدار باقی مانده تقاضا به مراکز بازیافت منتقل می‌شود.

$$\sum_{r\in R}\sum_{k\in K_2} Y_{icrkt} = (1 - P_{ict}) \times \sum_{h\in H}\sum_{k\in K_1} Y_{ihckt}, \quad \forall i \in I, c \in C, t \in T, \tag{۱۴}$$

$$\sum_{k\in K_2}\sum_{d\in D} Y_{icdkt} = (1 - P_{ict}) \times \sum_{g\in G}\sum_{k\in K_1} Y_{ihckt}, \quad \forall i \in I, c \in C, t \in T, \tag{۱۵}$$

محدودیت‌های (۱۴) و (۱۵) به ترتیب جریان خروجی زباله از مراکز تصفیه به سمت مراکز بازیافت و دفع را کنترل می‌کنند.

$$\sum_{d\in D}\sum_{k\in K_2} Y_{irdkt} = P_{irt} \times \left(\sum_{h\in H}\sum_{k\in K_1} Y_{ihrkt} + \sum_{c\in C}\sum_{k\in K_2} Y_{icrkt}\right), \quad \forall i \in I, w \in W, t \in T, \tag{۱۶}$$

محدودیت (۱۶) مقدار جریان خروجی از مراکز بازیافت به سمت مراکز دفع را محاسبه می‌کند.

$$Y_{ihckt}, Y_{ihrkt}, Y_{icrkt}, Y_{icdkt}, Y_{irdkt} \ge 0, \alpha_c, \alpha_r, \alpha_d, VA_{k_1}, VB_{k_1}, VC_{k_2}, VD_{k_2}, VE_{k_3} \in \{0,1\}, \tag{۱۷}$$
$$\forall k \in K, h \in H, , r \in R, d \in D, i \in I, c \in C, t \in T.$$

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2273]

محدودیت (۱۷) انواع متغیرها را نمایش می‌دهد. بخش بعدی مقاله به تشریح فرآیند حل مدل بالا اختصاص دارد.

۳ فرآیند حل مدل

برنامه‌ریزی آرمانی یکی از قوی‌ترین تکنیک‌های بهینه‌سازی چندهدفه است که بر اساس تابع فاصله انجام می‌شود، تصمیم‌گیرنده به دنبال راه حلی است که انحراف مطلق بین سطح دستیابی به هدف و سطح آرمان آن را به حداقل برساند. در این بخش برای حل مساله پسماند چندهدفه با محدودیت‌های فازی، روش ترکیبی آرمانی-فازی به‌کار گرفته است. در حالت کلی، فرآیند حل مبتنی بر غیرفازی‌سازی پارامترهای فازی است که درآن ابتدا عدد فازی را با روش‌های متداول غیرفازی‌سازی به شکل قطعی تبدیل کرده و سپس با استفاده از برنامه آرمانی، جواب بهینه پارتو برای مدل پیشنهادی به‌دست آورد.

در مسایل با توابع هدف چندگانه، جوابی موجه است که موجب بهینه‌شدن هر یک از توابع هدف به‌طور هم زمان شوند، یعنی این جواب تمام هدف‌ها را هم‌زمان در بهترین مقدار خود قرار دهد. در این رویکرد، برای مساله با سه هدف ابتدا هر تابع هدف، به صورت جداگانه با محدودیت‌های داده شده حل می‌شود که سه مقدار بهینه برای توابع هدف به صورت Z_1^*, Z_2^*, Z_3^* به دست می‌آید. سپس مدل آرمانی با تابع هدف که در آن مجموع متغیرهای انحرافات از سطح آرمان توابع هدف به کم‌ترین مقدار ممکن رسانده می‌شود حل می‌شود. اخیرا یکی از نسخه‌های برنامه‌ریزی آرمانی بهبودیافته، برنامه‌ریزی آرمانی چندانتخابی بهبودیافته‌ای است که اولین بار توسط جدیدی[1] و همکاران [۲۸] ارایه‌شده و توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است. (مراجع [۱۵] و [۲۹] را هم ببینید). یکی از ویژگی‌های اصلی برنامه‌ریزی آرمانی چندانتخابی بهبودیافته افزودن یک تابع اولویت است و در حقیقت به جای یک هدف، یک فاصله هدف را در نظر می‌گیرد. انگیزه اصلی این است که از آنجایی که در برخی موارد، مقدار تابع هدف ممکن است سطح مورد انتظار یا خواسته را نقض کند، باید جریمه‌ای در مدل در نظر گرفته شود. این ویژگی توسط انواع قبلی تکنیک‌های برنامه‌ریزی آرمانی مورد مطالعه قرار نگرفته است [۲۰]. بر این اساس، با توجه به برآورد غیرقابل پیش‌بینی زباله در مراکز درمانی، از روش برنامه‌ریزی آرمانی چند انتخابی بهبودیافته برای مواجهه با مدل چندهدفه معرفی می‌گردد [۳۰]. بر اساس روش برنامه‌ریزی آرمانی چند انتخابی بهبودیافته و برای ارایه یک مدل برنامه‌ریزی آرمانی چندانتخابی تک هدفه نهایی، معادله (۱۸) به عنوان تابع هدف جدید مساله در نظرگرفته شده است. علاوه بر این، معادلات (۱۹)-(۲۴) با حفظ معادلات (۴)-(۱۷) به عنوان محدودیت‌های جدید در مدل گنجانده شده است.

$$\text{Max } Z_{IMCGP} = \sum_{j=1}^{3} (w_j^{\alpha} \alpha_j - w_j^{\beta} \beta_j) \quad (18)$$

به‌طوری که

$$Z_j = \alpha_j GA_{j,\min} + (1-\alpha_j) GA_{j,\max} + \beta_j (GB_j^- - GA_{j,\max}), \quad (j = 1,2), \quad (19)$$

$$Z_j = \alpha_j GB_j^+ + (1-\alpha_j) GA_{j,\min} + \beta_j (GB_j^- - GA_{j,\min}), \quad (j = 3), \quad (20)$$

[1] Jadidi et al.

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2273]

$$\alpha_j \le y_j < 1+\alpha_j, \quad (j=1,2,3), \tag{21}$$

$$\beta_j + y_j \le 1, \quad (j=1,2,3), \tag{22}$$

$$0 \le \alpha_j, \ \beta_j \le 1, \quad (j=1,2,3), \tag{23}$$

$$y_j \in \{0,1\}, \quad (j=1,2,3). \tag{24}$$

معادلات (۱۷)-(۴) که در آن α_j یک متغیر پیوسته مثبت، فاصله نرمال‌شده توابع هدف j ام از GB_j^+ نشان می‌دهد که مقداری بین ۰ و ۱ می‌گیرد. علاوه بر این، GB_j^+ و GB_j^- به عنوان شاخصی برای مقادیر مطلوب و نامطلوب تابع هدف j ام درنظر گرفته شده‌اند. در اینجا $\left[GA_{j,\min}, GA_{j,\max}\right]$ بازه سطح آرمان توابع هدف j ام را نشان می‌دهد که باید توسط تصمیم‌گیرنده تعیین شود. در این مطالعه، حد بالایی $GA_{j,\max}$ برابر با GB_j^+ در نظر گرفته شده است، در حالی که کران پایین بازه $GA_{j,\min}$ مقداری بزرگ‌تر یا مساوی با GB_j^- درنظر گرفته می‌شود. به عبارت دیگر، بازه $\left[GB_j^-, GB_j^+\right]$ به بازه مطلوب‌تر $\left[GA_{j,\min}, GA_{j,\max}\right]$ و مطلوبیت کمتر $\left[GB_j^-, GA_{j,\min}\right]$ تقسیم می‌شود. علاوه بر این، β_j فاصله نرمال‌شده تابع هدف j ام از $GA_{j,\min}$ را نشان می‌دهد. اگر مقدار تابع هدف j ام بزرگ‌تر از $GA_{j,\min}$ باشد، جریمه‌ای در نظر گرفته می‌شود که مقداری بین ۰ و ۱ می‌گیرد. در نهایت، β_j به عنوان یک متغیر باینری (دودویی) تعریف می‌شود و W_j^α و W_j^β نشان‌دهنده وزن تابع هدف j ام با توجه به ضرایب α_j و β_j است.

٤ مثال عددی و نتایج محاسباتی

در این بخش، یک مثال عددی برای تشریح کاربردی بودن روش یاد شده آورده شده است که فرآیند حل آن از نرم افزار GAMS استفاده شده است. اگرچه اجرای آن با نرم افزار لینگو و دیگر نرم افزارهای حل کارکرد مشابه دارد. در این راستا، اطلاعات مربوط به نمونه ها و مقادیر پارامترها در جدول‌های ۲ و ۳ آورده شده است.[۳۱]

جدول ۲. اطلاعات مربوط به تعداد هر پارامتر

پارامترها	توضیحات	اندازه یا تعداد عناصر مجموعه
$\lvert H\rvert$	مجموعه مراکز تولید زباله (بیمارستان ها و درمانگاه ها) $h \in H$	۱۸
$\lvert C\rvert$	مجموعه ای از مراکز تصفیه زباله C $c \in C$	۶
$\lvert R\rvert$	مجموعه ای از مراکز بازیافت زباله R $r \in R$	۶
$\lvert D\rvert$	مجموعه ای از مراکز دفع زباله D $d \in D$	۶
$\lvert T\rvert$	مجموعه ای از دوره های زمانی T $t \in T$	۷
$\lvert I\rvert$	مجموعه ای از انواع زباله I $i \in I$	۳
$\lvert K_1\rvert$	مجموعه وسایل نقلیه نوع ۱	۷
$\lvert K_2\rvert$	مجموعه وسایل نقلیه نوع ۲	۷
$\lvert J_1\rvert$	تعداد فرصت‌های شغلی بالقوه به‌دست‌آمده در هنگام ایجاد مرکز تصفیه زباله ۱	۷
$\lvert J_2\rvert$	تعداد فرصت‌های شغلی بالقوه به‌دست‌آمده در هنگام ایجاد مرکز تصفیه زباله ۲	۷
$\lvert K\rvert$	مجموعه وسایل نقلیه K $k \in K$	۷

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2273]

جدول ۳. مقادیر ورودی مدل

پارامتر	بازه سطح آرمان	پارامتر	بازه سطح آرمان
W_{iht}	$(۱۰۰۰,۵۰۰۰)$	P_{iht}	$(۰/۴,۰/۶)$
P_{ict}	$(۰/۴,۰/۶)$	P_{irt}	$(۰/۱,۰/۳)$
CA_c	$(۱۸۰۰۰۰,۲۰۰۰۰۰,۲۲۰۰۰۰)$	CB_r	$(۱۸۰۰۰۰,۲۰۰۰۰۰,۲۲۰۰۰۰)$
CC_d	$(۱۸۰۰۰۰,۲۰۰۰۰۰,۲۲۰۰۰۰)$	VA	۱۵۰۰۰
VB	۱۰۰۰۰	VC	۸۰۰۰
dis_{hc}	$(۱۰,۱۰۰)$	dis_{hr}	$(۱۰,۱۰۰)$
dis_{cr}	$(۱۰,۱۰۰)$	dis_{cd}	$(۱۰,۱۰۰)$
dis_{rd}	$(۱۰,۱۰۰)$	TR_{ihckt}	$(۱,۳)$
TR_{ihrkt}	$(۱,۳)$	TR_{icrkt}	$(۱,۳)$
TR_{icdkt}	$(۱,۳)$	TR_{irdkt}	$(۱,۳)$
PR_{ict}	$(۲,۵)$	PR_{irt}	$(۲,۵)$
PR_{idt}	$(۲,۵)$	OC_c	$(۱۰۰۰۰۰,۳۰۰۰۰۰)$
OR_r	$(۱۰۰۰۰۰,۳۰۰۰۰۰)$	OD_d	$(۱۰۰۰۰۰,۳۰۰۰۰۰)$
$OV_{k۱}$	$(۱۰۰۰,۳۰۰۰)$	$OV_{k۲}$	$(۱۰۰۰,۳۰۰۰)$
$OV_{k۳}$	$(۱۰۰۰,۳۰۰۰)$	$POP1_{ihc}$	$(۰/۱,۰/۳)$
$POP۲_{ihr}$	$(۰/۱,۰/۳)$	$POP۳_{icr}$	$(۰/۱,۰/۳)$
$POP۴_{icd}$	$(۰/۱,۰/۳)$	$POP۵_{ird}$	$(۰/۱,۰/۳)$
J_c	$(۱۰۰,۲۰۰)$	J_r	$(۱۰۰,۲۰۰)$
J_d	$(۱۰۰,۲۰۰)$	B	$۱۰^{۸}$
W_j^{α}	$(۰/۵,۰/۳,۰/۲)$	W_j^{β}	$(۰/۵,۰/۳,۰/۲)$
$GA_{j,\min}$	$(۴/۶۸۵۵۱۲\times۱۰^{۸},۵۲۳۶۶۳/۱۴۹۳۵۴)$	$GA_{j,\max}$	$(۶/۹۴۱۷۱۴\times۱۰^{۷},۲۸۲۹۶۶/۱۳۷۱۷۱۵)$
GB_j^{+}	$(۶/۹۴۱۷۱۴\times۱۰^{۷},۲۸۲۹۶۶/۱۳۷۱۷۱۵)$	GB_j^{-}	$(۴/۶۸۵۵۱۲\times۱۰^{۸},۵۲۳۶۶۳/۱۴۹۳۵۴)$

جدول ۳ اطلاعات مربوط به هر شاخصی را نشان می‌دهد که در مدل ریاضی پیشنهادی استفاده شده است. در این راستا ۱۸ مرکز تولید زباله مورد مطالعه که قرار است به ۶ مرکز تصفیه پسماند، ۶ مرکز بازیافت زباله و ۶ مرکز دفع اختصاص یابد در نظر گرفته است. اکنون نتایج محاسباتی بر حسب مقادیر تابع هدف و زمان اجرا در جدول ۴ گزارش شده است.

جدول ٤. نتایج محاسباتی

متغیر	Z_{IMCGP}	$Z_۱$	$Z_۲$	$Z_۳$
مقدار	۰/۷۵۵	$۳/۳۶۰۹۰۳\times۱۰^{۸}$	۴۶۴۲۷۷/۶۷۹	۱۶۸۴

با توجه به نتایج گزارش‌شده، در هر بازه زمانی از انواع خودروها برای بهینه‌سازی مساله استفاده می‌شود. همچنین تعداد مراکز تصفیه، بازیافت و دفع تاسیس‌شده به ترتیب شش، چهار و دو مرکز است. بنابراین، مدل مورد مطالعه با هدف تخصیص بهینه انواع زباله مناسب به مراکز تصفیه و بازیافت به جای مراکز دفع می‌باشد.

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2273]

بنابراین، در شیوه‌های واقعی، این می تواند تضمین کند که شهرداری‌ها می‌توانند از نظر مالی سود خود را از طریق مراکز تصفیه و بازیافت به حداکثر برسانند. همراه با مقدار تابع هدف برای جنبه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی، تابع هدف Z_4 نشان‌دهنده چه تعداد شغل‌هایی می‌توانند با طراحی یک شبکه مناسب و جامع برای رسیدگی به ضایعات بهداشتی ایجاد کرد. به عنوان مثال، در نتایج عددی مرتبط با مدل دیده شد که می‌توان ۱۶۸۴ فرصت شغلی ایجاد کرد که قطعاً از نظر اجتماعی و اقتصادی تعداد قابل توجهی است. بنابراین، برای شیوه‌های زندگی واقعی با مجموعه داده‌های بزرگ مقیاس، منجر به تعداد زیادی فرصت شغلی خواهد شد که قطعاً می‌تواند بر نرخ بیکاری در هر شهر تاثیر بگذارد. از سوی دیگر مکان‌یابی مراکز مدیریت پسماند یکی از مسایل چالش برانگیز است که مدیران همواره در این بخش با آن دست و پنجه نرم می‌کنند. این مدل به مدیران در تصمیم‌گیری بهینه مدیریت پسماند حوزه سلامت کمک های زیادی می‌کند تا در مورد ایجاد مراکز تصفیه، بازیافت و دفع در مناسب‌ترین مکان‌ها به منظور افزایش مزیت‌های اقتصادی و به حداقل رساندن خطرات زیست محیطی درست عمل کنند. از آنجایی که انواع پسماندهای بهداشتی و پزشکی با پسماندهای جامد شهری بسیار متفاوت است، عملیات حمل و نقل با وسایل نقلیه مناسب برای سازمان‌های ذیربط از اهمیت بالایی برخوردار است. در این راستا، تحقیقات نشان می‌دهد که چگونه انتخاب بهینه انواع خودرو می‌تواند برای کل شبکه مفید باشد. با این حال، مدل شامل پارامترهای مهمی مانند ظرفیت برای تاسیسات مختلف و همچنین نرخ جریان است که اگر محدودیت‌ها یا عدم قطعیت‌های احتمالی را برای آنها در نظر گرفته شود، می‌تواند تاثیرات شگرفی بر زمان اجرای محاسباتی و پیچیدگی مدل داشته باشد. بنابراین، نرخ تولید زباله نیز یکی دیگر از پارامترهای حیاتی است که اگر عدم قطعیت در نظر گرفته شود، می‌تواند تاثیرات جدی بر زمان و پیچیدگی محاسبات داشته باشد. اگرچه در مطالعات برخی قیود به صورت فازی مدنظر قرار گرفته است.

۵ نتیجه‌گیری و مطالعات آتی

مدیریت زباله‌های بیمارستانی می‌تواند به یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های برنامه‌ریزی و مدیریت زیست محیطی تبدیل شود. بررسی نشان می‌دهد که مدیریت شهری عموماً از دفع سنتی زباله‌های مراقبت‌های بهداشتی استفاده می‌کنند. از این‌رو تداوم رویه موجود می‌تواند آسیب های چشمگیر و غیرقابل جبرانی را به اقتصاد، جامعه و اکوسیستم وارد کند. بنابراین، تدوین دستورالعمل‌های اجرایی برای ایجاد انگیزه در سازمان‌های مدیریت پسماند و مراکز بهداشتی درمانی مانند بیمارستان‌ها برای به حداقل رساندن ردپای زباله و همچنین به حداکثر رساندن بازیافت و تصفیه زباله پاک‌تر بسیار موثر است. با این حال، پیچیدگی فرآیندها در مدیریت پسماند بهداشتی، فرآیند تصمیم‌گیری را بسیار پیچیده کرده است. این مطالعه به یک مدل بهینه‌سازی چند هدفه برای مقابله با مشکلات تصمیم‌گیری مربوط به مکان‌یابی، مدیریت موجودی و حمل و نقل در طراحی شبکه زباله از جمله بیمارستان‌ها، تاسیسات تصفیه زباله، تاسیسات بازیافت زباله و تاسیسات دفع زباله را بررسی کرده مساله مدلسازی شده با هدف بهینه‌سازی تصمیمات شبکه نه تنها از طریق جنبه های اقتصادی بلکه از طریق جنبه‌های زیست محیطی و اجتماعی با در نظر گرفتن وسایل نقلیه مختلف حمل و نقل انجام می‌شود. برای مواجهه با چندهدفه

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2273]

بودن مدل و مطالعه فرآیند حل مساله، رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی چندانتخابی بهبود پیشنهادشده مورد مطالعه قرار گرفت. با توجه به ماهیت عدم قطعیت برخی از پارامترهای هزینه تابع هدف و ظرفیت های مراکز از رویکرد غیر فازی پارامترها استفاده شد که رویه ای متداول و عملیاتی جهت تسریع فرآیند محاسباتی و حل عددی مساله می‌باشد. توابع هدف به نوسانات پارامترهای کلیدی، یعنی تقاضا و نرخ جریان زباله در شبکه حساس هستند و بنابراین بسیار مهم است که مدیران این موضوع را در نظر بگیرند. در فرآیندهای تصمیم‌گیری جهت ارزیابی، ترکیبات مختلف وزن در عملکرد هدف مدل برنامه‌ریزی آرمانی بهبودیافته گزارش شد. علاوه بر آن یک مطالعه موردی واقعی با داده‌های سه بیمارستان انتخابی برای کار آینده با الگوریتم متفاوتی با داده‌های غیرقطعی مورد مطالعه قرار گرفته است. به دلیل عدم موافقت این مراکز از ارایه جزییات بیشتر منع شده‌ایم ولی فرآیند کار مشابه است.

جدول ۵. مقدار پسماندهای تولیدشده در ماه بر حسب نوع پسماند تولیدی به تفکیک بیمارستان

بیمارستان	تعداد پرسنل	پسماند عفونی	تیز و برنده	شیمیایی	عادی
حضرت زینب	۱۰۲	۱/۳	۰/۴	۰/۲	۱/۲
شفا	۲۵۰	۱/۳۵	۰/۱	۰/۱	۰/۷
شهیدرجایی	۱۴۰	۰/۷		۲۸۰-۲۵۰	۴۵۰

علاوه بر این اطلاعات مربوط به ۹۰ مرکز اعم از مطب، آزمایشگاه، ... روزانه جمعاً ۵۰ کیلو زباله عفونی تولید می‌کنند از شهر بابلسر جمع آوری و در قالب مدل ریاضی مورد مطالعه قرار گرفته شد. در مساله مطالعه‌شده با توجه به شرایط محدودیت ظرفیت امحای زباله عفونی به صورت روزانه حداکثر (یک تن در روز) اساسا مطالعات به دیدگاه تخصیص بهینه ظرفیت مراکز تسویه، بازیافت و دفع کارکرد عینی دارد که پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی مدنظر قرار گیرد.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از داوران محترم جهت نقطه‌نظرات ارزشمند اصلاحی جهت بهبود مقاله ارسال شده، کمال تشکر و قدردانی را دارند.

منابع

[1] Shih, L. H., & Chang, H. C. (2001). A routing and scheduling system for infectious waste collection. Environmental Modeling & Assessment, 6(4), 261-269.

[2] Joghtaei, M. Mahmoodian, V., Fazli, M. & Bozorgi-Amirai, A. (2016). A Multi Objective Location-Routing Model for Treatment, Recycling and Disposal Centers of Hospital Wastes. International Journal of Industrial Engineering & Production Management, 27(2), 262-274.

[3] Mantzaras, G., & Voudrias, E. A. (2017). An Optimization Model for Collection, Haul, Transfer, Treatment and Disposal of Infectious Medical Waste: Application to a Greek Region. Waste Management, 69, 518-534.

[4] Wichapa, N., & Khokhajaikiat, P. (2018). Solving a Multi-objective Location routing problem for infectious waste disposal using hybrid goal programming and hybrid genetic algorithm. International Journal of Industrial Engineering Computations, 9(1), 75-98

[5] Ho, C. C. (2001). Optimal evaluation of infectious medical waste disposal using the fuzzy analytic hierarchy process. Waste Management, 31(7), 1553-1562.

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2273]

[6] Tirkolaee, E.B., Abbasian, P., Soltani, M., & Ghaffarian, S. A. (2019). Developing an applied algorithm for multi-trip vehicle routing problem with time windows in urban waste collection: A case study. Waste Management & Research, 37(1), 4-13.
[7] Pourofoghi F, Darvishi Salokolaei D, Saffar Ardabili J. (2021). A New Approach to Find the Solution of Transportation Problem with Grey Parameters.Journal of Operations Research and its Applications (JOR), 18 (2) :59-73, In Persian.
[8] Tahanian Qomi S M, Hamedi M, Tavakkoli Moghaddam R. (2023). Developing a Stochastic Bi-Objective Inventory Control Model through Packing Ordering System and a Multi-level Distribution based on Bin Packaging Problem. Journal of Operations Research and its Applications (JOR), 20 (3) :1-17, In Persian.
[9] Nasseri S H, Ghaffari-far F. (2023). A Multi-Objective Mathematical Model for Vehicle Location-Routing Problem with Flexible Fuzzy Constraints. Journal of Operations Research and its Applications (JOR), 20 (2) :149-169. , In Persian.
[10] Ghaffarifar. F., Nasseri. S H., Tavakkoli-Moghaddam. R. (2023). A Vehicle Location-Routing Model for Waste Management Problem under Fuzzy Flexible Conditions. Iranian Journal of Operations Research (IJOR), 14(1): 80-103.
[11] Homayouni, Z., & Pishvaee, M. S. (2020). A Bi-Objective Robust Optimization Model for Hazardous Hospital Waste Collection and Disposal Network Design Problem. Journal of Material Cycles and Waste Management, 22(6), 1965-1984.
[12] Kargar, S., Pourmehdi, M., & Paydar, M. M. (2020). Reverse logistics network design for medical waste management in the epidemic outbreak of the Novel Coronavirus (COVID-19). Science of The Total Environment, 746, 141183.
[13] Zaeimi, M. B., & Rassafi, A. A. (2021). Designing an integrated municipal solid waste management system using a fuzzy chanceconstrained programming model considering economic and environmental aspects under uncertainty. Waste Management, 125, 268-279.
[14] Huang, G.H., Sae-Lim, N., Liu, L., & Chen, Z. (2001). An interval-parameter fuzzystochastic programming approach for municipal solid waste management and planning. Environmental Modeling and Assessment, 6(4), 271–283.
[15] Alumur, S., & Kara, B. Y. (2007). A new model for the hazardous waste location routing problem. Computer & Operations Research, 34(5), 1406-1423.
[16] Shi, L. H., Fan, H., Gao, P., & Zhang, H. (2009). Network model and optimization of medical waste reverse logistics by improved genetic algorithm. International Symposium on Intelligence computation and applications, Springer, Berlin, Heidelberg, 40-52.
[17] Medaglia, A. L., Villegas, J. G., & Radriguez-Coca, D. M. (2009). Heybrid bi-objective evolutionary algorithms for the design of a hospital waste managenment network. Journal of Heuristics, 15, 153.
[18] Liu, H. C., You, J. X., Lu, C., & Chen, Y. Z. (2015). Evaluating healthcare waste treatment technologies using a hybrid multi-criteria decision-making model. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 41, 932-942.
[19] Inghels, D., Dullaert, W., & Vigo, D. (2016). A service network design model for multimodal municipal solid waste transport. European Journal of Operational Research, 254, 68–79.
[20] López-Sánchez, A., Hernández-Díaz, A., Gortázar, F., & Hinojosa, M. (2016). A multi-objective GRASP–VND algorithm to solve the waste collection problem. International Transactions in Operational Research, 25, 545–567.
[21] Yadav, V., Karmakar, S., Dikshit, A. K., & Bhurjee, A. (2018). Interval-valued facility location model: An appraisal of municipal solid waste management system. Journal of Cleaner Production, 171, 250–263.
[22] Habib, M.S., Sarkar, B., Tayyab, M., Saleem, M.W., Hussain, A., Ullah, M., Omair, M., & Iqbal, M.W. (2019). Large-scale disaster waste management under uncertain environment. Journal of Clean Production, 212, 200–222.
[23] Yu, H., Sun, X., Solvang, W. D., Laporte, G., & Lee, C. K. M. (2020). A stochastic network design problem for hazardous waste management. Journal of Cleaner Production, 277, 123566.
[24] Abdollah, M., Hamdan, S., & Shabib, A. (2021). A multi-objective optimization model for strategic waste management master plans. Journal of Cleaner Production, 284, 124714.
[25] Linfati, R., Gatica, G., & Escobar, J. W. (2021). A mathematical model for scheduling and assignment of customer in hospital waste collection routes. Applied Science, 11, 10557.
[26] Ebadi Torkayesh, A., Rezaei Vandchali, H., & Babaee Tirkolaee, E. (2021). Multi-objective optimization for healthcare waste management network design with sustainability perspective. Sustainability, 13, 8279.

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2273]

[27] Negarandeh, R., & Tajdin, A. (2021). A robust fuzzy multi-objective programming model to design a sustainable hospital waste management network considering resiliency and uncertainty: A case study. Waste Management & Research, 40(4), 439-457.
[28] Shakouri, G., Nassery, S. H., & Paydar, M. M. (2023). A two-phase parametric approach for solving flexible fuzzy transportation problem. Journal of Decisions and Operations Research, 8(1), 236-255.
[29] Motevalli-Taher, F., Paydar, M.M. (2021). Supply chain design to tackle coronavirus pandemic crisis by tourism management. Appl. Soft Comput. 104, 107217.
[30] Torkayesh AE, Vandchali HR, Tirkolaee EB. (2021). Multi-Objective Optimization for Healthcare Waste Management Network Design with Sustainability Perspective. Sustainability., 13(15):8279.
[31] Tirkolaee, E.B., Mahdavi, I., Esfahani, M.M.S., Weber, G.-W. (2020). A robust green location-allocation-inventory problem to design an urban waste management system under uncertainty. Waste Manag. 102, 340–350.

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.71773/jamlu-2024-1-2273]